

# Bölüm-1

## Giriş

# I - GİRİŞ

- **TANIM:**

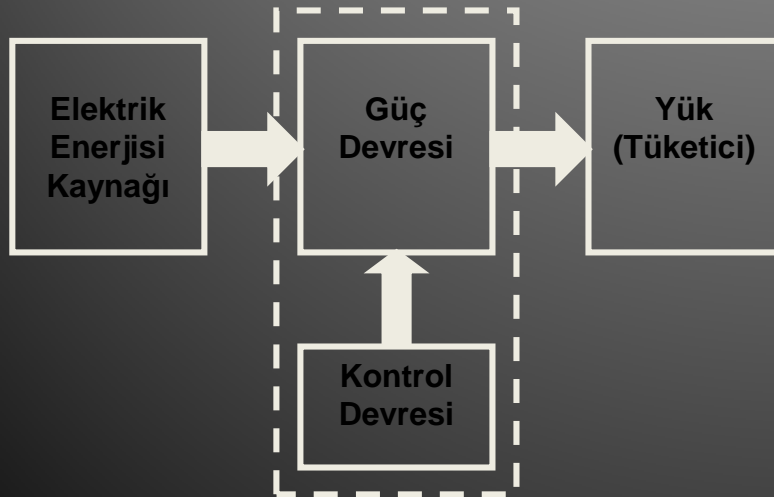
- Güç elektroniği, herhangi bir kaynaktan alınan elektrik enerjisinin, elektronik yöntemlerle kontrol edilerek (dönüştürülerek veya işlenerek) kontrollü olarak yüke aktarılması işlemidir.

- Güç Elektroniği, gün geçtikçe daha da genişleyen elektronik sektörünün en önemli dallarından birisidir.
- Önceleri endüstriyel alanlardaki elektronik çözümlerde kullanılan güç elektroniği devre ve düzenekleri, günümüzde endüstrinin dışına taşarak evlere, ofislere ve araçlara girmiştir.

# I - GİRİŞ

## ■ TEMEL YAPI:

- Bir güç elektroniği düzeneğinin temel yapısı blok olarak Şekil-1.1'de görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi bir güç düzeneği, güç devresi ve kontrol devresi olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.



## • TARİHÇE:

- Güç elektroniği serüveni, 1900'lü yılların başlarında endüstriyel makinelerde çok yoğun olarak kullanılmakta olan doğru akım motorlarının hız kontrolü ile başlamıştır.
- 1950'li yıllara kadar güç elektroniğinin endüstriyel uygulamaları ile ilgili pek çok teorik çalışma yapılmış, fakat elektron tüplerinden başka kullanılabilen malzeme geliştirilemediği için uygulamaya sokulamamıştır.

# I - GİRİŞ

- 1950'lerin başında yarıiletken malzemelerin geliştirilmesi ve bu malzemeler kullanılarak diyot, transistor gibi devre elemanlarının yapılmaya başlanması güç elektroniği uygulamalarının önünün açılma işaretini vermiştir.
- Nihayet 1960'ların başında Tristör'ün bulunması güç elektroniği açısından çok önemli bir devrim olmuştur.
- Tristör'ün bulunmasıyla o zamana kadar elektron tüpleri ile yapılan uygulamalar artık tristörle yapılmaya başlamıştır.
- Tristör kullanılarak hem daha basit, hem daha küçük, hem de daha ucuza yapılabilir hale gelen güç elektroniği devrelerinin uygulama alanları da hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.
- Aynı zamanda, yine o zamana kadar düşünülüp de yapılamayan pek çok uygulama Tristör sayesinde yapılabilir hale gelmiştir.
- 1960'lı ve 1970'li yıllar tristör'ün altın yılları olmuş ve güç elektroniği uygulamaları her alana yayılmıştır.

# I - GİRİŞ

- 1980'lerin başlarından itibaren ise sayısal elektronik alanındaki gelişmeler ve mikroişlemcilerin geliştirilmeye başlaması ile güç elektroniğinde yeni ufuklar açılmaya başlamıştır.
- Bu gelişmelere uygun olarak tristör'e alternatif yeni güç elektroniği elemanları geliştirilme çalışmaları başlamış ve bu çalışmalar sonucunda o zamana kadar düşük güçlülere kullanılmakta olan "Güç Transistör'leri ve Güç Mosfet'leri" geliştirilmiştir.
- Güç transistör'leri, güç mosfet'leri ve bu elemanların daha ileri versiyonlarının geliştirilmesiyle birlikte, daha önceki yıllarda tristörler kullanılarak hem daha zor hem de daha pahalı olarak yapılmaya çalışılan birtakım güç elektroniği devreleri ve endüstriyel uygulamalar, bu yeni elemanların kullanılmaya başlamasıyla, hem daha basit, hem daha küçük, hem daha fonksiyonel hem de çok daha ucuza yapılabilir ve kullanılabilir hale gelmiştir.

# I - GİRİŞ

- GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİNİN KULLANIM ALANLARI:

- Endüstride;

- 1- Enerji iletimi ve dağıtımında,
- 2- Her tür motor kontrolünde,
- 3- Makine otomasyonunda,
- 4- Her tür ısıtma soğutma işlemlerinde,
- 5- Her tür üretim ve montaj sanayinde,
- 6- Her tür güç kaynağı ve güç kontrol sistemlerinde.

- Bina, Ofis ve Evlerde;

- 1- Bina otomasyon sistemlerinde,
- 2- Isıtma, soğutma, havalandırma ve güvenlik sistemlerinde,
- 3- Tüm ofis araçlarında,
- 4- Eğlence, spor ve oyun araçlarında,
- 5- Tıbbi cihazlarda,
- 6- Çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, buzdolabı, klima, elektrik süpürgesi vb. ev cihazlarında.

# I - GİRİŞ

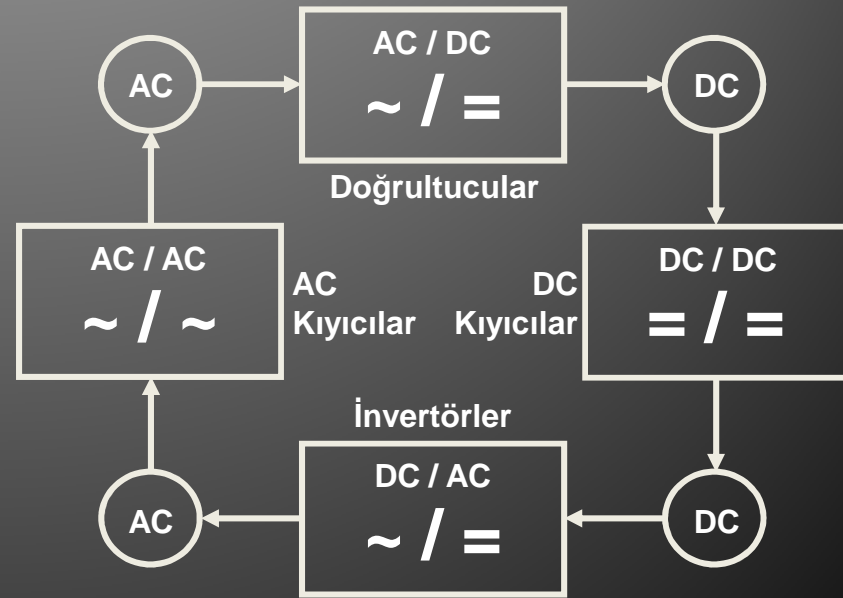
- Ulaşım Araçlarında;
  - 1- Uçak ve diğer hava araçlarındaki tüm güç sistemlerinde,
  - 2- Demiryolu ve metro araçlarında ve yer sistemlerinde,
  - 3- Otobüs, kamyon ve çekici gibi ağır vasıtaların tüm elektronik sistemlerinde,
  - 4- Otomobillerdeki tüm elektriksel güç ve kontrol sistemlerinde,
  - 5- Forklift, seyyar vinç, beton makinesi vb. araçlarda.
- Tarım ve Hayvancılıkta;
  - 1- Sera otomasyonu ve kontrolünde,
  - 2- Açık hava sulama ve ürün kontrol sistemlerinde,
  - 3- Tarım makinelerinin otomasyonunda,
  - 4- Kümes, ahır vb. hayvan yetiştirme tesislerinin bakım ve otomasyonunda,
  - 5- Tarla ve arazilerin ekim, dikim ve gübreleme kontrollerinde.
  - 6- Tohumculuk, fide yetiştirme vb. çalışmalarda.

# I - GİRİŞ

- **TEMEL GÜÇ DEVRELERİ:**

- Güç elektroniği kapsamında yapılan tüm işler ve uygulamalar 4 temel devre yapısı üzerine kurulmuştur.
- Bu devre yapıları, alternatif akım veya doğru akım türündeki elektrik enerjisinin bir birlerine veya kendi içlerinde farklı şekillere ve seviyelere döndürülmesi işlemini gerçekleştirmektedir.
- Bu durumda, güç elektroniğinin temel devre yapıları yan tarafta Şekil-1.2'de olduğu gibi gösterilebilmektedir.

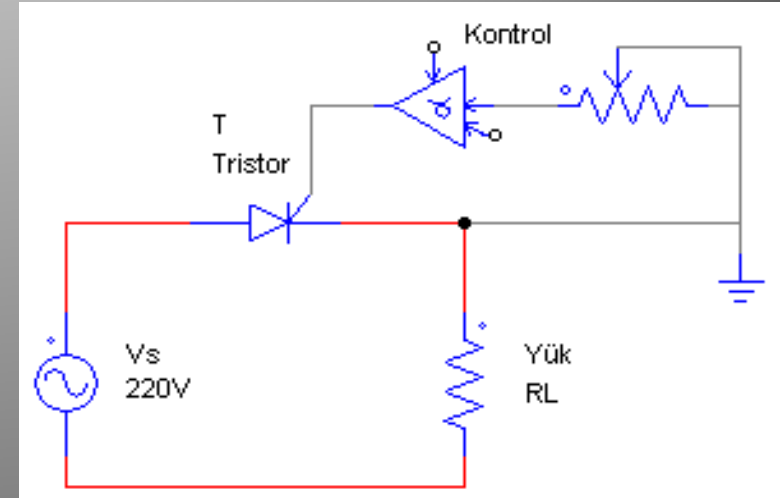
- Şekil-1.2'den görüldüğü gibi temel güç devreleri,
  - 1) AC-DC dönüştürücüler,
  - 2) AC-AC dönüştürücüler,
  - 3) DC-DC dönüştürücüler,
  - 4) DC-AC dönüştürücülerdir.



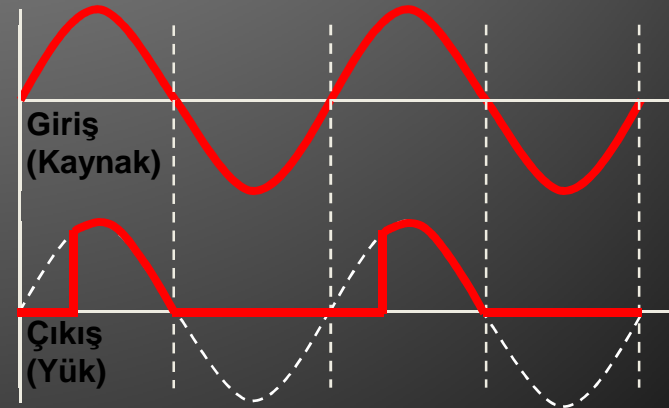


# I - GİRİŞ

- AC-DC Dönüştürücüler (Doğrultucular);
- Güç elektroniğinin temel devrelerinden birincisi olan doğrultucular, bir fazlı veya üç fazlı AC kaynağı kullanarak, sabit veya değişken DC gerilim elde etmek için kullanılmaktadır.
- AC-DC dönüştürücüler (doğrultucular);
  - 1- Kontrolsüz doğrultucular,
  - 2- Kontrollü doğrultucular,olarak 2 ana gruba ayrılır. Şekil 1.3'de basit bir kontrollü doğrultucu devresi ve dalga şekilleri görülmektedir.

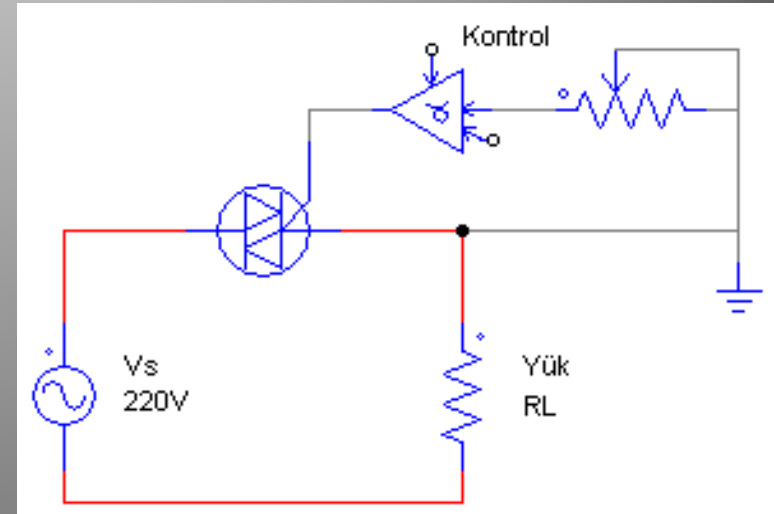


Şekil 1.3 - 1 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucu devresi ve dalga şekilleri.

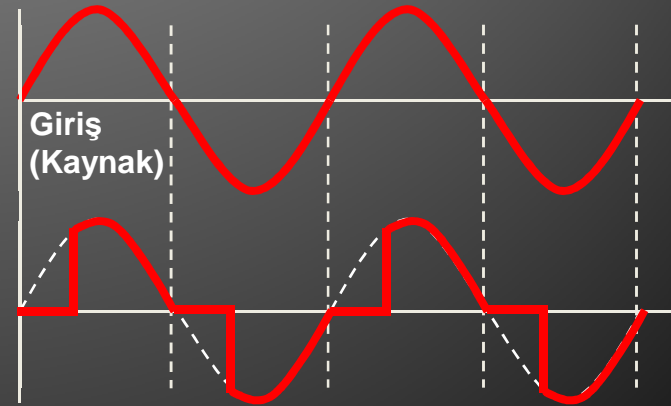


# I - GİRİŞ

- AC-AC Dönüştürücüler (AC kıyıcılar);
- Güç elektroniğinin temel devrelerinden ikincisi olan AC kıyıcılar, bir fazlı veya üç fazlı AC kaynağı kullanarak, sabit veya değişken frekanslı ve genlikli AC gerilim elde etmek için kullanılmaktadır.
- AC-AC dönüştürücüler;
  - 1- AC voltaj kontrolcular,
  - 2- Direkt frekans çeviriciler,olarak 2 ana gruba ayrılır. Şekil 1.4'de basit bir AC kıyıcı devresi ve dalga şekilleri görülmektedir.

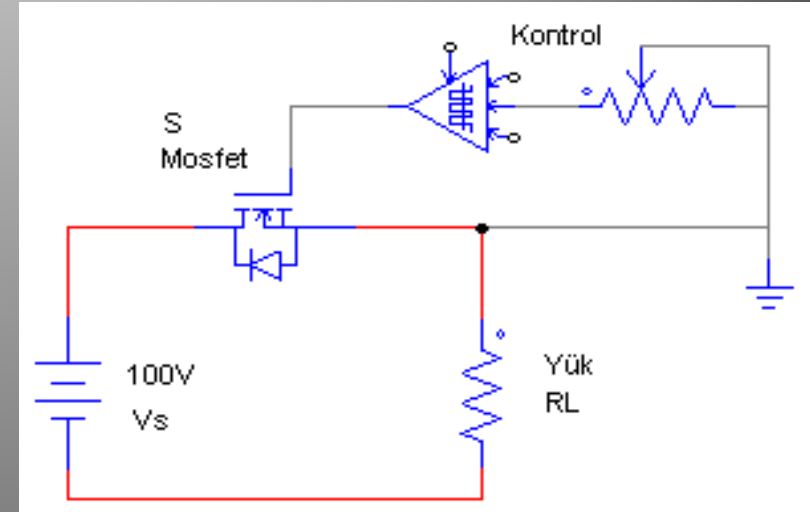


Şekil 1.4 - 1 fazlı faz kontrollü AC kıyıcı devresi ve dalga şekilleri.

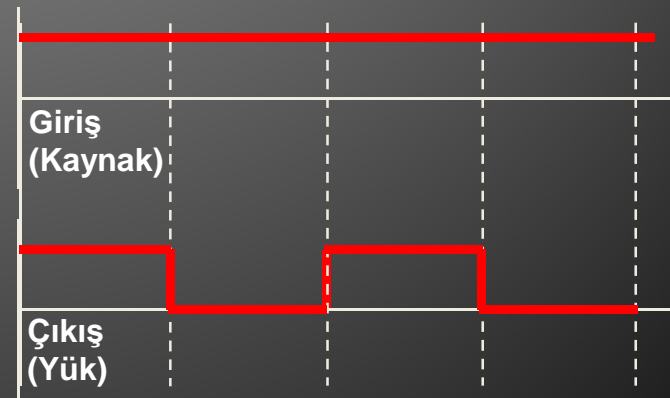


# I - GİRİŞ

- **DC-DC Dönüştürücüler**
- Güç elektroniğinin temel devrelerinden üçüncüsü olan DC-DC dönüştürücüler, herhangi bir DC kaynaktan aldığı gerilimi yükselterek, düşürerek veya çoğullayarak, sabit veya değişken DC gerilim(ler) elde etmek için kullanılmaktadır.
- DC-DC dönüştürücüler;
  - 1- DC kıyıcılar,
  - 2- Anahtarlama regülatörler,olarak 2 ana gruba ayrılır. Şekil 1.5'de basit bir DC kıyıcı devresi görülmektedir.

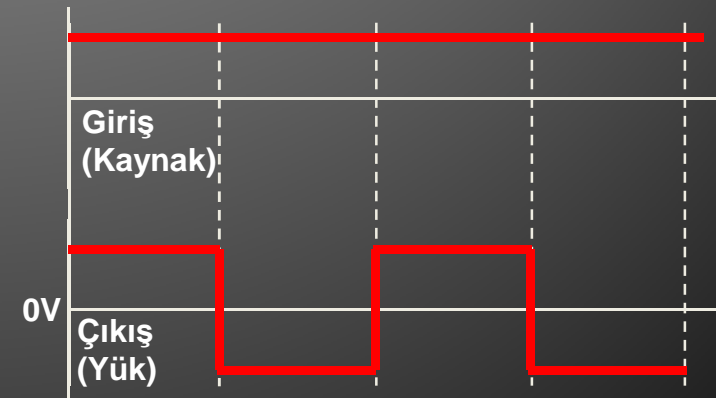
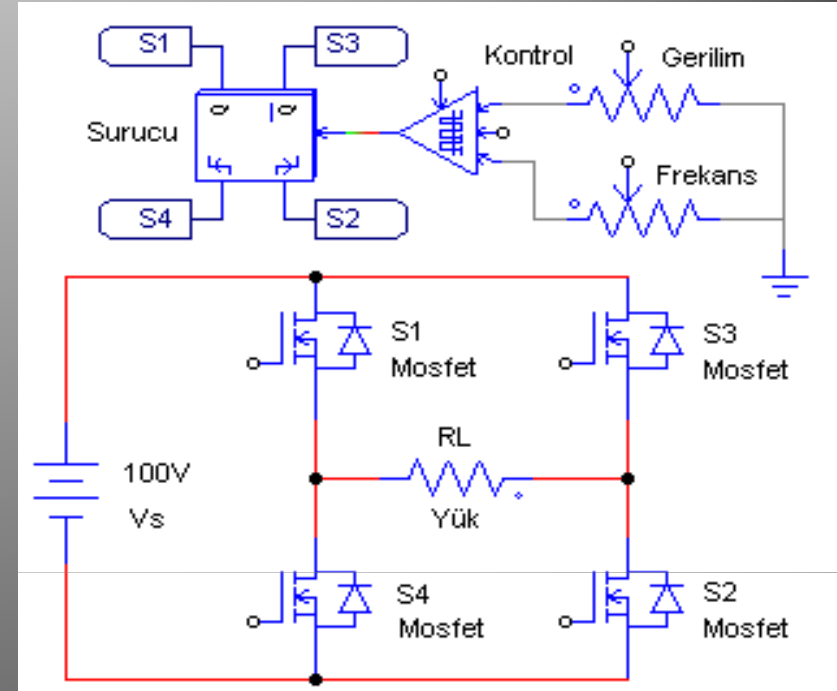


Şekil 1.5 – A sınıfı PWM kontrollü DC kıyıcı devresi ve dalga şekilleri.



# I - GİRİŞ

- DC-AC Dönüştürücüler (İnvertörler);
- Güç elektroniğinin temel devrelerinden sonuncusu olan İnvertörler, herhangi bir DC kaynaktan aldığı gerilimi işleyerek, sabit veya değişken genlik ve frekanslı AC gerilim elde etmek için kullanılan güç elektroniği devreleridir.
- İnvertörler;
  - 1- PWM invertörler,
  - 2- Rezonanslı invertörler,olarak 2 ana gruba ayrılır. Şekil 1.6'da basit bir PWM invertör devresi görülmektedir.



# I - GİRİŞ

- **Temel Güç Elemanları;**
- Güç devrelerinin, istenilen güç dönüşümlerini uygun olarak gerçekleştirebilmeleri, bu devrelerde kullanılan uygun güç elemanlarıyla mümkün olabilmektedir.
- Güç devrelerinde kullanılan güç elemanları, hangi tür dönüşümde olursa olsun, daima kaynak ile yük arasındaki bağlantıyı kesip bırakmakla görevlendirilmiştir. Dolayısıyla bu elemanlar birer “**ANAHTAR**” olarak çalışmakta ya da çalıştırılmaktadır.
- Bu durumda anahtar yapısı güç elektroniği için çok önemlidir ve burada ayrıntısı ile incelenecektir.
- **Anahtar Türleri;**
- Elektrik-Elektronik güç düzeneklerinde kullanılan 3 tür anahtar bulunmaktadır. Bunlar,
  - 1- Mekanik anahtarlar,
  - 2- Elektromekanik anahtarlar,
  - 3- Yarıiletken anahtarlardır.
- Bu anahtar türlerini incelemeden önce “**ideal anahtar**” yapısı incelenmelidir.

# I - GİRİŞ

- **İdeal Anahtar Özellikleri;**

İdeal anahtar, çalışması sırasında üzerinde herhangi bir kayıp oluşturmayan anahtardır.

İdeal anahtar sadece 2 durumda bulunabilir. Bunlar,

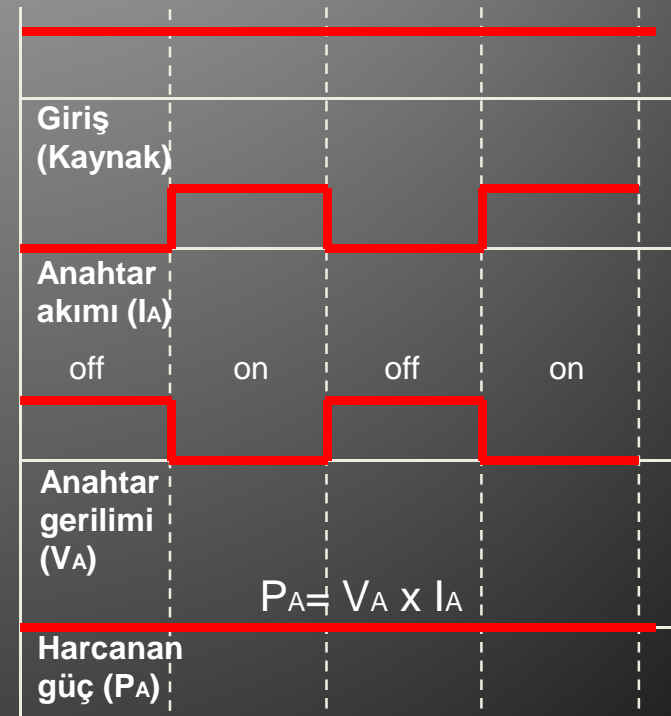
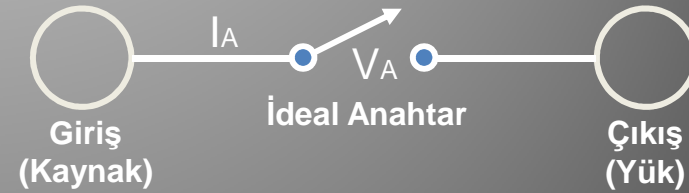
- 1- Yalıtım durumu (kapalı-off),
- 2- İletim durumu (açık-on).

Anahtarların çalışması sırasında üzerinde iki tür kayıp oluşmaktadır. Bu kayıplar,

- 1- Anahtarlama (açma-kapama) kayıpları,
- 2- İletim kayıplarıdır.



Bu anahtarda kayıplar sıfırdır.

- Şekil-1.7, ideal anahtar.



# I - GİRİŞ

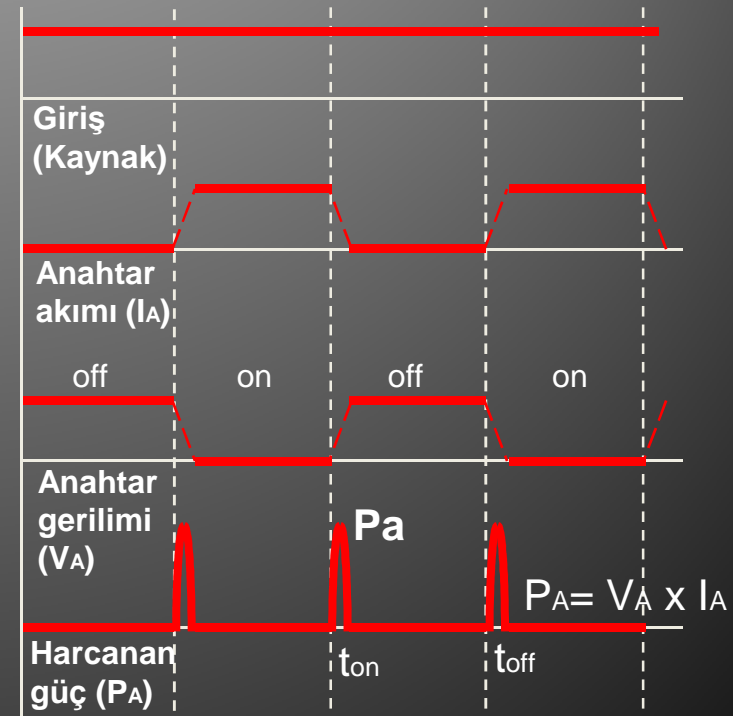
- Bu durumda ideal anahtarlar ilgili önemli parametreler Tablo-1.1'deki gibi gösterilebilir.
- Tabii ki böyle bir anahtar gerçekte yoktur.

Kn.	V(a)	I(a)	R(o)	f(a)	t(a)	Yn.
off 	$\infty$ V	0 A	$\infty$ $\Omega$	$\infty$	0	Ç i F T
 on	0 V	$\infty$ A	0 $\Omega$	Hz	s	

- Yandaki Tablo-1.1'den görülebileceği gibi anahtarlar için öncelikli 6 parametre kullanılmaktadır. Bunlar,
  - 1) Çalışma gerilimi ( $V_A$ ),
  - 2) Çalışma akımı ( $I_A$ ),
  - 3) İletim direnci ( $R_{on}$ ),
  - 4) Çalışma frekansı ( $f_A$ ),
  - 5) Anahtarlama zamanı ( $t_A$ ),
  - 6) Anahtar yönüdür.
- İdeal bir anahtarda “iletim iç direncinin” ve “geçiş zamanının” sıfır olması nedeniyle iletim ve anahtarlama kayıpları sıfırdır.

# I - GİRİŞ



- **Mekanik Anahtarlar;**
- Mekanik anahtarlar, elektrik devrelerini kesmek için kullanılan, adi anahtar, pako şalter vb. anahtarlardır.
- Mekanik anahtarlar da, iletimi sırasında üzerinde herhangi bir kayıp oluşturmayan anahtardır.
- Mekanik anahtarlar da sadece 2 durumda bulunabilir.  
1- Yalıtım durumu (kapalı-off),  
2- İletim durumu (açık-on).
- Mekanik anahtarlar, devrelerde genellikle açma-kapama elemanı olarak kullanılmaktadır.





# I - GİRİŞ

- Mekanik anahtarla ilgili öncelikli parametreler Tablo-1.2'de örnek değerler kullanılarak gösterilmiştir.

Kn.	V(a)	I(a)	R(o)	f(a)	t(a)	Yn.
off 	500 V	0 A	$\infty$ $\Omega$	0	1	Ç i F T
 on	0 V	25 A	0 $\Omega$	Hz	s	Y Ö N

- Tablo-1.2'den görüldüğü gibi, mekanik anahtarda "iletim iç direncinin" sıfır olması nedeniyle iletim kayıpları da sıfır olacaktır.
- Yine Tablo-1.2'den görüldüğü gibi, mekanik anahtarlarda "frekans" ve "geçiş zamanı" parametreleri hızlı anahtarlama için uygun değildir.
- Piyasada anahtar, pako şalter, şalter, kesici vb. isimler verilen mekanik anahtarlar çeşitli gerilimlerde, birkaç amperden birkaç yüz ampere kadar bulunabilmektedir.



# I - GİRİŞ

- **Elektromekanik Anahtarlar;**
- Elektromekanik anahtarlar, elektrik devrelerini kesmek-değiştirmek için kullanılan, röle, kontaktör, kesici vb. anahtarlardır.
- Elektromekanik anahtarlar da sadece 2 durumda bulunabilir.  
1- Yalıtım durumu (kapalı-off),  
2- İletim durumu (açık-on).
- Elektromekanik anahtarlar, devrelerde genellikle güç anahtarlama ve otomatik güç kontrol elemanı olarak kullanılmaktadır (Şekil-1.9).



# I - GİRİŞ

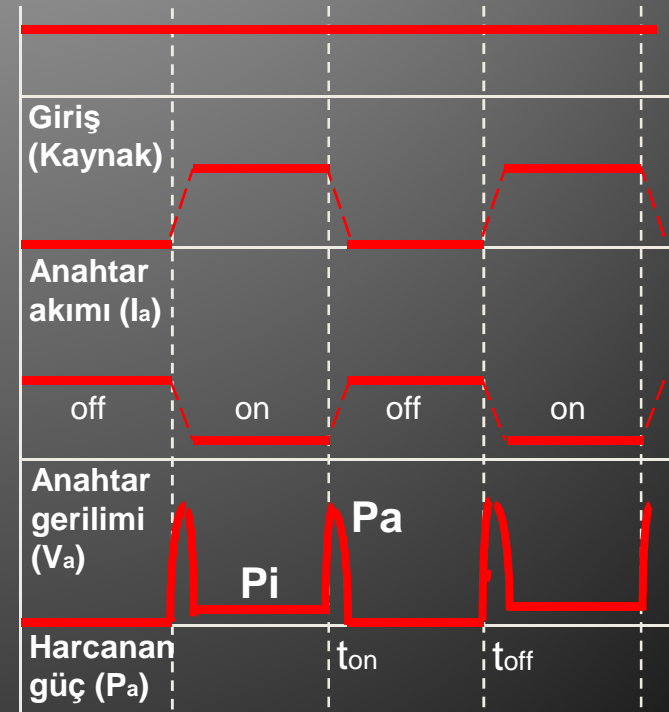
- Elektromekanik anahtarla ilgili öncelikli parametreler Tablo-1.3'de örnek değerler kullanılarak gösterilmiştir.

Kn.	V(a)	I(a)	R(o)	f(a)	t(a)	Yn.
off 	380 V	0 A	$\infty$ $\Omega$	0	1	Ç İ F T
 on	0 V	63 A	0 $\Omega$	Hz	s	Y Ö N

- Elektromekanik anahtarda kontakların temiz olması durumunda “iletim iç direnci” sıfır olması nedeniyle iletim kayıpları da sıfır olacaktır.
- Elektromekanik anahtarlarda da “frekans” ve “geçiş zamanı” parametreleri oldukça kötüdür. Bu nedenle hızlı anahtarlama yapamazlar.
- Elektromekanik anahtarda da hızlı anahtarlama yapılacak olursa, “geçiş zamanının” çok uzun olması nedeniyle ise anahtarlama kayıpları çok yüksek olacaktır.



# I - GİRİŞ

- Yarıiletken (Statik) Anahtarlar;
- Yarıiletken anahtarlar, elektrik-elektronik devrelerde yüksek hızlı anahtarlama işleri için kullanılan, Tristör, Transistör, Mosfet vb. elemanlardır.
- Yarıiletken anahtarların pek çoğu 3 durumda bulunabilir.
  - 1- Tam yalıtım durumu,
  - 2- Tam iletim durumu.
  - 3- Ara (yükseltme) durumu.
- Bu anahtarlar, istenirse on-off anahtar olarak, istenirse de yükseltme elemanı olarak kullanılabilirler.



# I - GİRİŞ

- Yarıiletken anahtarla ilgili öncelikli parametreler Tablo-1.4'de örnek değerler kullanılarak gösterilmiştir.

Kn.	V(a)	I(a)	R(o)	f(a)	t(a)	Yn.
off 	600 V	0 A	$\infty$ $\Omega$	20	10	T E K
 on	2,1 V	120 A	0,02 $\Omega$	kHz	$\mu$ s	Y Ö N

- Tablo-1.4'den görüldüğü gibi, yarıiletken anahtarlarda “frekans” ve “geçiş zamanı” parametreleri çok çok iyidir. Bu nedenle çok hızlı anahtarlama yapılabilir.
- Fakat yarıiletken anahtarlarda “iletim iç direncinin” sıfır olmaması nedeniyle iletim kayıpları diğerlerinde olduğu gibi sıfır olamayacaktır.
- Yine bu anahtarlarda “geçiş zamanının” çok kısa olması nedeniyle hızlı anahtarlama yapılsa bile anahtarlama kayıpları az olacaktır.

# I - GİRİŞ

- **Güç Elektroniği Devrelerinde Kullanılan Anahtar Türü Hangisidir?**
- Güç elektroniği devrelerinde daha önceden açıklanan güç dönüşümü işlemlerinin yapılabilmesinde kullanılacak anahtarların, basit bir dönüşüm işlemi için bile çok sayıda açma-kapama yapması gerekmektedir.
- Örneğin; basit bir şebeke doğrultucu devresinde, diyotlar 1 saniye içinde 50 kez açma-kapanma yapmak zorundadırlar.
- Bu durumda, güç dönüşümü için frekansları düşük olan mekanik veya elektromekanik anahtarları kullanma imkanı kesinlikle yoktur.
- Güç elektroniği devrelerinde güç dönüşümü için, iletim kayıpları yüksek olmasına rağmen, çalışma frekansları yüksek ve geçiş zamanları çok küçük olan **yarıiletken (statik) anahtarlar** kullanılmaktadır.
- Mekanik ve elektromekanik anahtarlar ise güç devrelerin giriş ve çıkışlarında enerji verme ve kesmede kullanılır.

# I - GİRİŞ

- Yarıiletken Güç Anahtarlarının Kullanımı Sırasında Dikkat Edilmesi Gereken Konular;
- Mekanik ve elektromekanik anahtarların kullanımı sırasında anahtarın uygun yere yerleştirilmesi ve bağlantılarının doğru yapılması dışında dikkat edilmesi gereken bir şey yoktur.
- Yarıiletken güç anahtarlarında ise bu iki konu dışında anahtarın güvenli olarak çalışabilmesi (korunması) için bir takım işlemler yapılması (önlemler alınması) gerekmektedir.
- Yarıiletken anahtarın korunması için alınacak önlemler;
  - 1 – Güç anahtarının ısıl güvenliğinin sağlanması.
  - 2 – Güç anahtarının ani değişen gerilime karşı korunması.
  - 3 – Güç anahtarının ani değişen akıma karşı korunmasıdır.
- Yukarıda belirtilen önlemler alınmadığı takdirde güç anahtarı işini istendiği gibi yapamayacak ve bozulacaktır.

# I - GİRİŞ

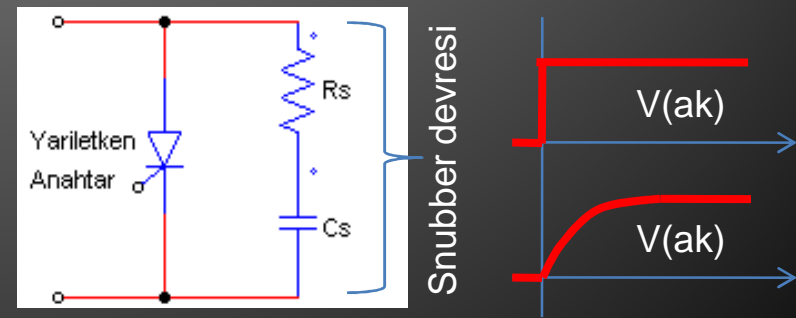
- Yarıiletken Güç Anahtarının Isıl Güvenliğinin Sağlanması;
- Yarıiletken güç anahtarları, küçük de olsa bir iletim direncine sahip oldukları için, iletimde kaldıkları sürece üzerlerinde bir güç harcaması olmaktadır ( $I^2 \times R$ ).
- Ayrıca yarıiletken güç anahtarları devrelerde çok sayıda aç-kapa yapılarak çalıştırıldığı için anahtarlama sırasında da üzerlerinde güç harcaması olmaktadır.
- Harcanan bu güçler elemanın ısınmasına yol açmaktadır.
- Yarıiletken güç anahtarlarında sıcaklık arttıkça performans düşmekte ve belli bir seviyeden sonra da eleman yanmaktadır.
- Bu olumsuz durumun önüne geçebilmek için eleman üzerinde oluşan ısı enerjisinin alınarak dağıtılması gerekmektedir.
- Bu iş için uygun boyutta “Heatsink-Isı emici” yada yaygın söylenişle “Soğutucu” kullanmak gerekmektedir.
- Soğutucu olarak, özel olarak üretilmiş yapraklı alüminyum levhalar kullanılmaktadır.



# I - GİRİŞ

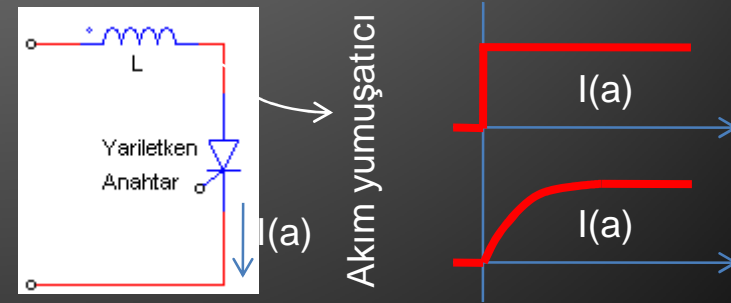
- **Yarıiletken Güç Anahtarının Ani Değişen Gerilimden Korunması**
- Yarıiletken güç anahtarları, p ve n katmanlardan oluşmaktadır. Bu katmanlar arasındaki akım taşıma işlemi de elektron ve boşlukların yer değiştirmesi ile olmaktadır.
- Güç anahtarlarında akımın başlaması,
  - Elemanın uyarılması,
  - Aşırı derecede ısınması,
  - Yüksek voltaj verilmesi,
  - Ani voltaj değişikliği olması,durumlarında gerçekleşir.

- Yarıiletken güç anahtarlarının, ani voltaj değişikliklerinde istenmediği halde iletme geçerek hem kendisinin hem de devredeki diğer elemanların zarar görmesini engellemek için Şekil-1.11'de görüldüğü gibi bir "Snubber-Gerilim yumuşatma devresi" kullanılmaktadır.
- Bu sayede ani gelen gerilimin değişim hızı istenen seviyeye düşürülür.



# I - GİRİŞ

- **Yarıiletken Güç Anahtarının Ani Değişen Akımdan Korunması**
- Yarıiletken güç anahtarları, kristalize yapıya sahip olan silisyum malzemesi kullanılarak yapılmışlardır.
- Bu malzemenin üretim sırasında belirlenen bir ani akım taşıma hızı bulunmaktadır.
- Üreticinin belirlemiş olduğu bu hız kullanıcı tarafından aşıldığı takdirde malzemenin kristal yapısı dağılır ve eleman yanar.
- Yarıiletken güç anahtarlarının, ani akım değişikliklerinde istenmediği halde bozularak hem kendisinin hem de devredeki diğer elemanların zarar görmesini engellemek için Şekil-1.12'de görüldüğü gibi bir "akım yumuşatma devresi" kullanılmaktadır.
- Bu sayede akımın değişim hızı istenen seviyeye düşürülür.



# ÖDEV-1

1.1 - Güç elektroniği devrelerinin enerji girişlerini kesmek ve bırakmakta kullanılan, **Mekanik Anahtarların** genel yapıları, türleri, üreticileri, satış fiyatları vb. konularda internet üzerinde araştırma yaparak bir rapor hazırlayınız.

1.2 - Güç elektroniği devrelerinin enerji girişlerini kesmek ve bırakmakta kullanılan, **Elektromekanik Anahtarların** genel yapıları, türleri, üreticileri, satış fiyatları vb. konularda internet üzerinde araştırma yaparak bir rapor hazırlayınız.

# Bölüm-2

## Yarı İletken Güç Anahtarları

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Giriş;**
- Güç elektroniğinin temel taşları ve ağır işçileri olan Yarıiletken Güç Anahtarları, özel bazı elemanlar ile temel elektronikte kullanılan klasik elemanlardan bazılarının daha yüksek akım ve gerilimlerde çalışabilir hale getirilmesi veya ihtiyaca göre yeni bazı tasarımların yapılmasıyla ortaya çıkmışlardır.
- Yarıiletken güç anahtarlarının temel malzemesi diğer yarıiletken malzemelerde de olduğu gibi yine Silisyum'dur.
- Bu bölümde yarıiletken güç anahtarlarının;
  - 1) Temel yapıları ve çalışması,
  - 2) Temel test devreleri,
  - 3) Temel karakterisitik eğrileri,
  - 4) Temel uyarma yöntemleri,
  - 5) Çalışma dalga şekilleri,
  - 6) Seri ve paralel bağlanmaları
  - 7) Koruma yöntemleri,
  - 8) Güçleri ve kılıf yapıları,
  - 10) Temel kullanım alanları,vb. konular ayrıntısıyla incelenecek ve bu elemanlara hükmedilmesi öğretilecektir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Yarıiletken Güç Anahtarlarının Türleri;

Yarıiletken güç anahtarları 3 temel grup altında toplanmaktadır. Bunlar,

### 1- Güç Diyotları:

- a) Genel amaçlı diyotlar,
- b) Hızlı toparlanan diyotlar,
- c) Schottky diyotlar.

### 2- Güç Tristörleri:

- a) Genel amaçlı tristörler (SCR),
- b) Çift yönlü tristörler (TRIAC),
- c) Kapısından tıkanabilen tristörler (GTO).

### 3- Güç Transistörleri:

- a) Çift polariteli transistörler (BJT),
- b) MOS transistörler (MOSFET),
- c) Yalıtılmış kapılı transist. (IGBT).

- Yarıiletken güç anahtarları piyasaya 3 farklı kılıf şeklinde sunulmuşlardır. Bunlar,

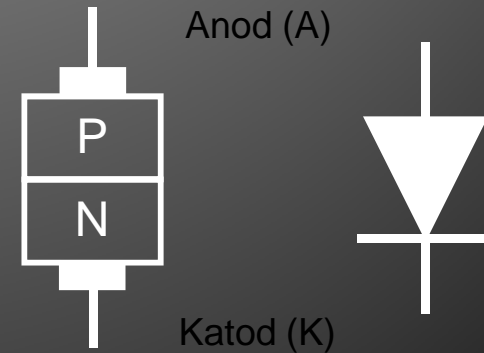
- a) Tek elemanlar.
- b) Güç modülleri.
- c) Akıllı modüller.

- Kurulacak devreye ve çalışılacak olan güce göre uygun kılıflı malzeme seçilir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **GÜÇ DIYOTLARI:**
- Güç diyotları, kontrolsüz güç anahtarlarıdır. Bu diyotlar;
  - 1) Genel amaçlı (şebeke) diyotlar,
  - 2) Hızlı toparlanan (hızlı) diyotlar,
  - 3) Schottky (çok hızlı) diyotlar,olmak üzere 3 ayrı türde bulunmaktadır, bu türlerin kendilerine ait özellikleri ve buna bağlı olarak da kullanım alanları bulunmaktadır. Şimdi bu türleri ayrıntısıyla inceleyelim.

- 1) Genel Amaçlı Diyotlar;
- Şekil-2.1'de yapısı görülen genel amaçlı güç diyotlarının genel yapısı ve çalışması temel elektronikte kullanılan diyotlarla aynıdır. Bu diyotlarda da normal diyotlarda olduğu gibi, anod terminali, katoda göre 0,7V daha pozitif olduğunda ilettime geçer.



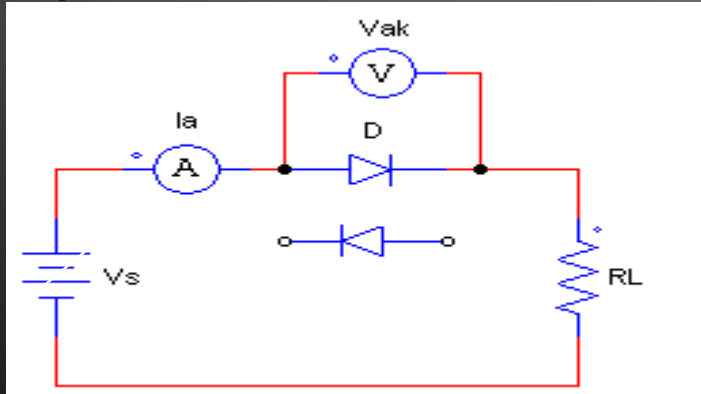
## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Bilindiği gibi diyodun yalıtıma geçebilmesi içinse anod-katod arasındaki potansiyel farkının 0,7V altına inmesi veya negatife düşmesi yeterlidir.
- Diyot iletimde olduğunda tam iletim, yalıtımda olduğunda ise tam yalıtım durumunda bulunur, geçiş anı dışında herhangi ara durumu yoktur.
- Genel amaçlı diyotların en önemli özelliği düşük frekanslarda çalışmak için imal edilmiş olmalarıdır (ideal frekans 50-60Hz, max. frekans: 1kHz).
- Genel amaçlı diyotlar düşük frekansta çalışmaları nedeniyle çok yüksek akım-gerilimlerde kullanılabilirler (5kV-5kA gibi).
- Genel amaçlı diyotların en önemli özelliklerinden birisi de, geçiş zamanının uzun olmasına rağmen, iletim iç direncinin çok düşük olması nedeniyle iletim kayıplarının çok düşük olmasıdır.
- Bu özellikleri ile genel amaçlı diyotlar şebeke geriliminde kontrolsüz anahtar olarak çalışabilen çok kullanışlı yarıiletken elemanlardır.

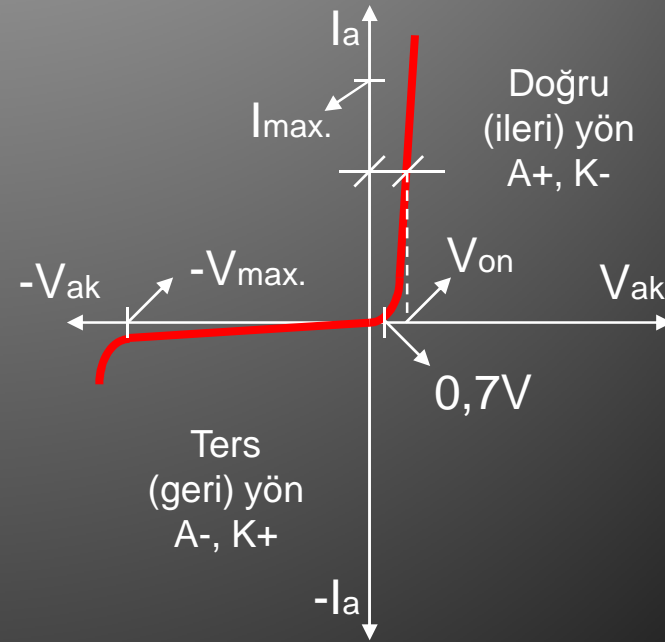


## II – YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Diyodun Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.2’de diyodun temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Aşağıdaki bağlantı şekli ile diyodun doğru yön çalışması, devredeki “Vs” bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.3’de genel amaçlı diyodun temel karakteristik eğrilerinden olan akım-gerilim ( $I_a$ - $V_{ak}$ ) eğrisi görülmektedir.

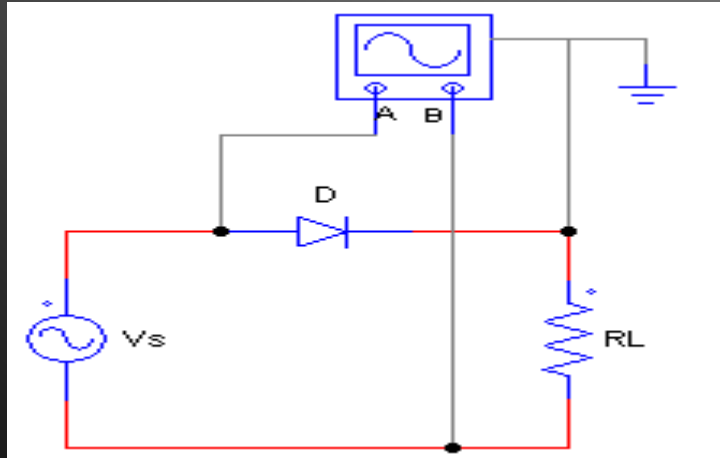


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

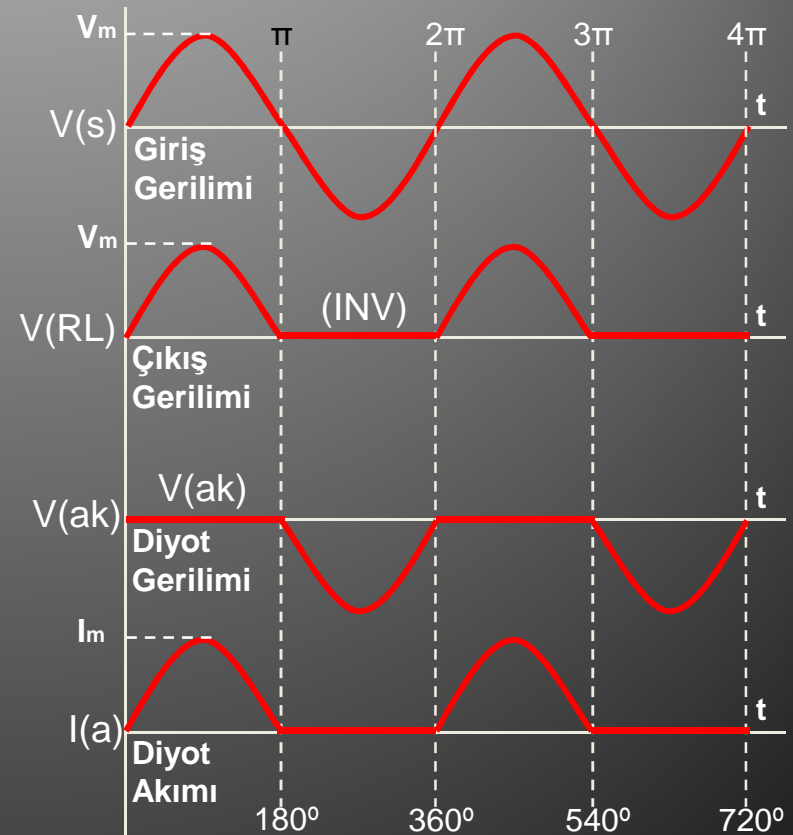
- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi doğru yönde 0,7V'dan sonra ilettime geçen diyot,  $I_{max}$ . akımına kadar güvenle çalışabilmektedir. Bu akım aşıldığında ise diyot yanar. Diyot üzerinden akacak akım değerini  $R_L$  yük direnci belirlemektedir.
- Ters yönde ise  $V_{max}$ . gerilim değerine kadar diyot güvenle yalıtımda kalacak (blokaj yapacak), bu değer aşılsa ise diyot yanacaktır. Diyot üzerine gelecek olan ters gerilim değeri, tamamen  $V_s$  kaynak gerilim değerine bağlıdır.
- Bu durumda, genel amaçlı diyodun; doğru yönlü (A+, K-) gerilimde kendiliğinden tam ilettime geçen, doğru yönlü gerilimi asla bloke edemeyen, ters yönlü (A-, K+) gerilimde ise yine kendiliğinden tam yalıtıma geçen (ters yönlü gerilimi sürekli olarak bloke eden) bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- Diyot bu özellikleriyle AC'de tek yönlü iletim sağladığı için doğrultucu olarak, DC'de ise anahtarlama elemanı olarak çalıştırılabilmektedir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Diyodun Çalışma Dalga Şekilleri;
- Yarıiletken güç anahtarlarının çalışma durumlarının görülmesi için aktif çalışma sırasındaki akım-gerilim dalga şekilleri incelenmelidir.
- Diyodun doğru ve ters polarmada davranışları Şekil-2.6'dan gözlenebilir.



- Şekil-2.7'de diyot devresinin AC kaynakta çalışması sırasındaki dalga şekilleri görülmektedir.

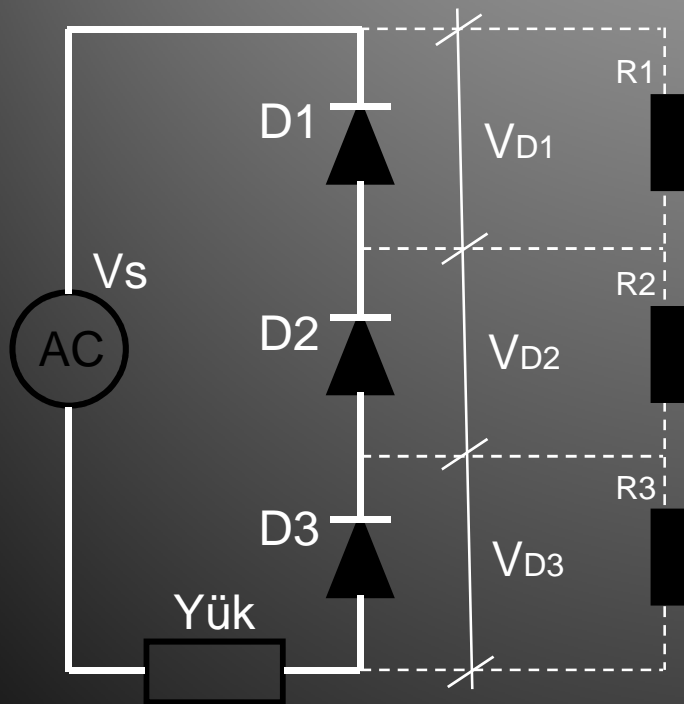


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.7'den görüldüğü gibi 0-180° aralığında diyot iletimde (on) olup, çıkış gerilimi giriş gerilimi ile aynıdır. Bu sırada diyot üzerindeki gerilim sıfır olacaktır (iletim gerilim düşümü ihmal ediliyor), diyot üzerinden geçen akım ise yüke bağlı olup, kaynak veya yük akımı ile aynıdır.
- 180°-360° aralığında ise diyot ters polarmada olduğu için yalıtımdadır (off). Bu durumda çıkış gerilimi sıfır, diyot üzerindeki gerilim düşümü ise kaynak gerilimi ile aynıdır (diyodun bloke ettiği gerilim). Bu durumda diyot üzerinden geçen akım, dolayısıyla da devre akımı ise sıfırdır.
- **Diyotların Seri Bağlanması;**
- Özellikle yüksek gerilim altında çalıştırılacak olan diyotlarda diyodun üzerine gelen çok yüksek ters gerilimleri bloke etmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen diyodun çalışma gerilimi, uygulamada üzerine gelecek olan ters gerilimden en az %30 daha fazla olması gerekmektedir ki sağlıklı bir çalışma sağlanabilsin.
- Uygulama sırasında mevcut diyotların bu şartı sağlayamaması durumunda diyotların seri bağlama yoluna gidilir. Bu sayede istenilen çalışma gerilimine ulaşılabilir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.8'de diyotların seri bağlanarak çalışma geriliminin arttırılması görülmektedir. Gerilim;  
 $V_D = V_{D1} + V_{D2} + V_{D3}$  olur.

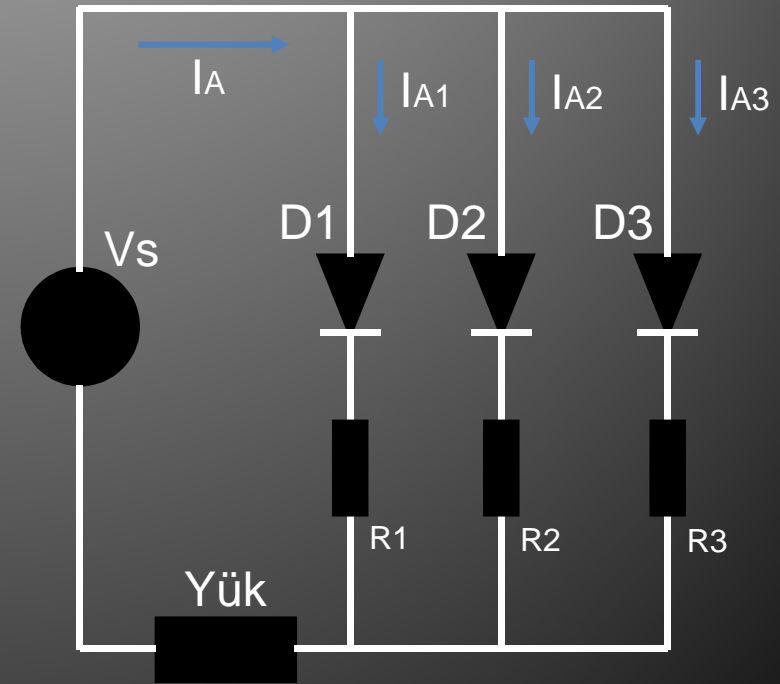


- Şekil-2.8'den görüldüğü gibi yüksek gerilimde çalışma gerektiğinde diyotlar seri bağlanarak bu gerilim değeri elde edilebilmektedir. Burada;  
 $V_D \geq (V_{max.} + \%30)$  olacak şekilde seri bağlanacak olan diyot sayısı belirlenebilmektedir.
- Fakat, diyotların seri bağlanması çok istenen bir uygulama değildir. Çünkü seri bağlama sayesinde dayanma gerilimi artar fakat buna bağlı olarak anahtarın iletim iç direnci de yükselir. Bu da kayıpların artması anlamına gelir.
- Ayrıca diyotlar ters gerilimi eşit paylaşamayacağı için paralel dirençler kullanılması gerekir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Diyotların Paralel Bağlanması;**
- Özellikle yüksek akım altında çalıştırılacak olan diyotlarda diyodun üzerinden geçmesi gereken çok yüksek seviyeli akımı geçirebilmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen diyodun çalışma akımı, uygulamada üzerinden geçecek olan akımdan en az %30 daha fazla olması gerekmektedir ki sağlıklı bir çalışma sağlanabilsin.
- Uygulama sırasında mevcut diyotların bu şartı sağlayamaması durumunda diyotların paralel bağlama yoluna gidilir. Bu sayede istenilen çalışma akımına ulaşılabilir.

- Aşağıdaki Şekil-2.9'da diyotların paralel bağlanarak çalışma akımı arttırılması görülmektedir.
- Burada toplam akım;  
 $I_A = I_{A1} + I_{A2} + I_{A3}$  olacaktır.

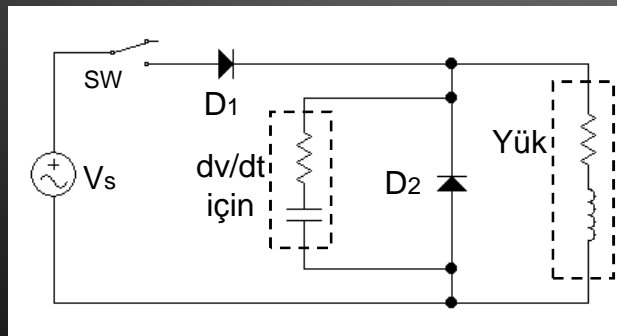
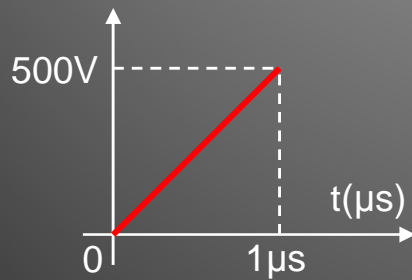


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.9'dan görüldüğü gibi yüksek akımda çalışma gerektiğinde diyotlar paralel bağlanarak bu akım değeri elde edilebilmektedir. Burada;  
 $I_D \geq (I_{max.} + \%30)$  olacak şekilde paralel bağlanacak olan diyot sayısı belirlenebilmektedir.
- Fakat, diyotların paralel bağlanması çok istenen bir uygulama değildir. Çünkü paralel bağlama sayesinde dayanma akımı artar fakat, diyotlar iletim dirençlerinin eşit olmaması nedeniyle, üzerlerinden geçecek akımı eşit paylaşamayacağı için seri dirençler kullanılması gerekir. Bu da ayrıca kayıp anlamına gelir.
- **Diyotlarda  $dv/dt$  Korumasının Sağlanması;**
- Yarıiletken malzeme, ani gerilim değişiminde istenmeyen davranışlar gösterebilmektedir.
- Güç diyotlarında, diyot üzerindeki ters gerilim çok kısa sürede çok ani olarak değer değiştirecek olursa P-N birleşim yüzeyleri boş bir kondansatör gibi davranarak istenmeyen akımların akmasına neden olabilmekte bu da elemanda veya devrede hasarlar oluşturabilmektedir.
- **Bu olayın sınırları üretici tarafından belirtilmekte olup kullanıcı buna göre uygun önlem almak zorundadır.**

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.10'da üretici tarafından verilen, diyodun örnek  $dv/dt$  karakteristik eğrisi ve diyodun bu olaydan etkilenmesini önlemek için alınan önlem görülmektedir.
- Burada örnek  $dv/dt$ :  $500V/\mu s$



- Şekil-2.10'dan görüldüğü gibi, çok ani olarak ters gerilim altında kalma riski olan D2 diyodunun paraleline, onu bu ani ters gerilimin bozucu etkisinden korumak için bir R-C devresi yerleştirilmiştir.
- Bu sayede diyot üzerine gelen ani gerilim yumuşatılarak karakteristik eğrideki  $500V/\mu s$  sınırının altına indirilmekte ve diyotta oluşacak olan ters akım (ters toparlanma) engellenmiş olmaktadır.
- Burada R-C devresi;

$$T = R.C$$

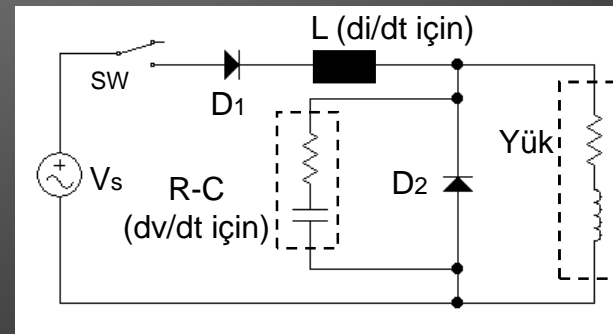
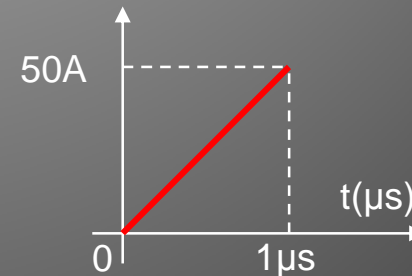
zaman sabitesine göre istenilen oranda yumuşatma yapmaktadır.



## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Diyotlarda  $di/dt$  Korumasının Sağlanması;**
- Yarıiletken malzeme, ani akım değişiminde istenmeyen davranışlar gösterebilmektedir.
- Güç diyotlarında, diyot üzerinden geçen akım çok kısa sürede çok ani olarak değer değiştirecek olursa yarıiletken P-N maddesinin kristal yapısı dağılarak istenmeyen akımların akmasına neden olabilmekte bu da elemanın kısa devre olması ve devrede hasarlar oluşması anlamına gelmektedir.
- **Bu olayın sınırları üretici tarafından elemanın  $di/dt$  eğrisi olarak belirtilmekte olup kullanıcı buna göre uygun önlem almak zorundadır.**

- Aşağıdaki Şekil-2.11'de üretici tarafından verilen, diyodun örnek  $di/dt$  karakteristik eğrisi ve diyodun bu olaydan etkilenmesini önlemek için alınan önlem görülmektedir.
- **Burada örnek  $di/dt$ :  $50A/\mu s$**



## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.11'den görüldüğü gibi, çok ani olarak yüksek akım altında kalma riski olan D1 diyoduna seri olarak, onu bu ani yüksek akımın bozucu etkisinden korumak için bir "L" endüktansı yerleştirilmiştir.
- Bu sayede diyot üzerinden geçmek isteyen ani yüksek akım yumuşatılarak karakteristik eğrideki 50A/μs sınırının altına indirilmekte ve diyotta oluşacak olan kristal dağılması (yanma) engellenmiş olmaktadır.
- Burada L (L-R) devresi;  
$$T = L / R$$

zaman sabitesine göre istenilen oranda yumuşatma yapmaktadır.
- dv/dt ve di/dt önlemlerini her zaman kullanmak gerekli değildir. Ancak yüksek güçte ani yüksek gerilime veya ani yüksek akıma maruz kalma riski varsa kullanılması gerekmektedir.
- Diyotların seri ve paralel bağlanmaları sırasında da ani gerilim ve akım riski bulunduğu takdirde dv/dt ve di/dt önlemlerinin alınması gerekmektedir.
- Bu durumda gerekli yumuşatmayı sağlamak için, seri bağlama sırasında her bir seri diyoda paralel olarak R-C devresi, veya paralel bağlama sırasında her bir paralel diyoda seri olarak "L" elemanı yerleştirilmelidir.

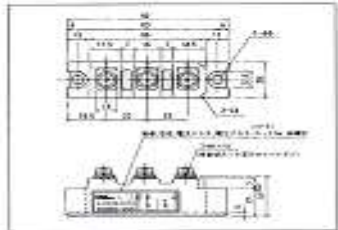
# II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda genel amaçlı bir diyodun bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.

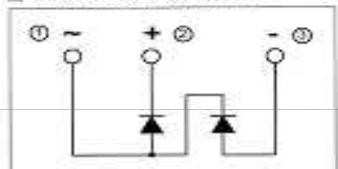
**2RI100E(2x100A)**  
**600V,800V / 100A**  
**2 in one-package**

**POWER DIODE MODULE**

**Outline Drawings, mm**



**Inner Circuit Schematic**



**■ Features**

- Glass Passivation Chip
- Easy Connection
- Insulated Type

**■ Applications**

- Inverters
- Battery Chargers
- DC Motors
- General Purpose DC Power Supplies

**■ Maximum ratings and characteristics**

■ Absolute maximum ratings

Item	Symbol	Conditions	Rating		Unit
			-QSD	-QSD	
Repetitive peak reverse voltage	$V_{RRM}$		600	800	V
Non-repetitive peak reverse voltage	$V_{RSM}$		660	880	V
Average output current	$I_{O(AV)}$	50/60Hz Sine wave, $T_c=103^\circ\text{C}$	2 x 100		A
Surge current	$I_{SM}$	From rated load, Sine wave 10ms	2000		A
PI	PI	From rated load	15000		A <sup>2</sup> s
Operating junction temperature	$T_j$		-40 to +150		°C
Storage temperature	$T_{stg}$		-40 to +125		°C
Isolation voltage	$V_{is}$		AC2000(1min.)		V
Screw torque			3.5 *1		N.m

\*1: Recommendable value: 2.5 to 3.0 N.m(M5)

■ Electrical characteristics ( $T_a=25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

Item	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Forward voltage drop	$V_{fM}$	$T_j=25^\circ\text{C}$ , $I_{SM}=320\text{A}$			1.30	V
Reverse current	$I_{RM}$	$T_j=150^\circ\text{C}$ , $V_{RM}=V_{RRM}$			20	mA

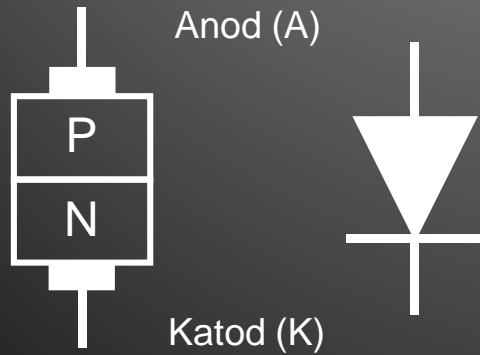
■ Thermal Characteristics

Item	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Thermal resistance	$R_{\theta(j-c)}$	Junction to case			0.2	°C/W
	$R_{\theta(j-a)}$	the base to cooling fin *			0.10	°C/W

\*: With Thermal Compound

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

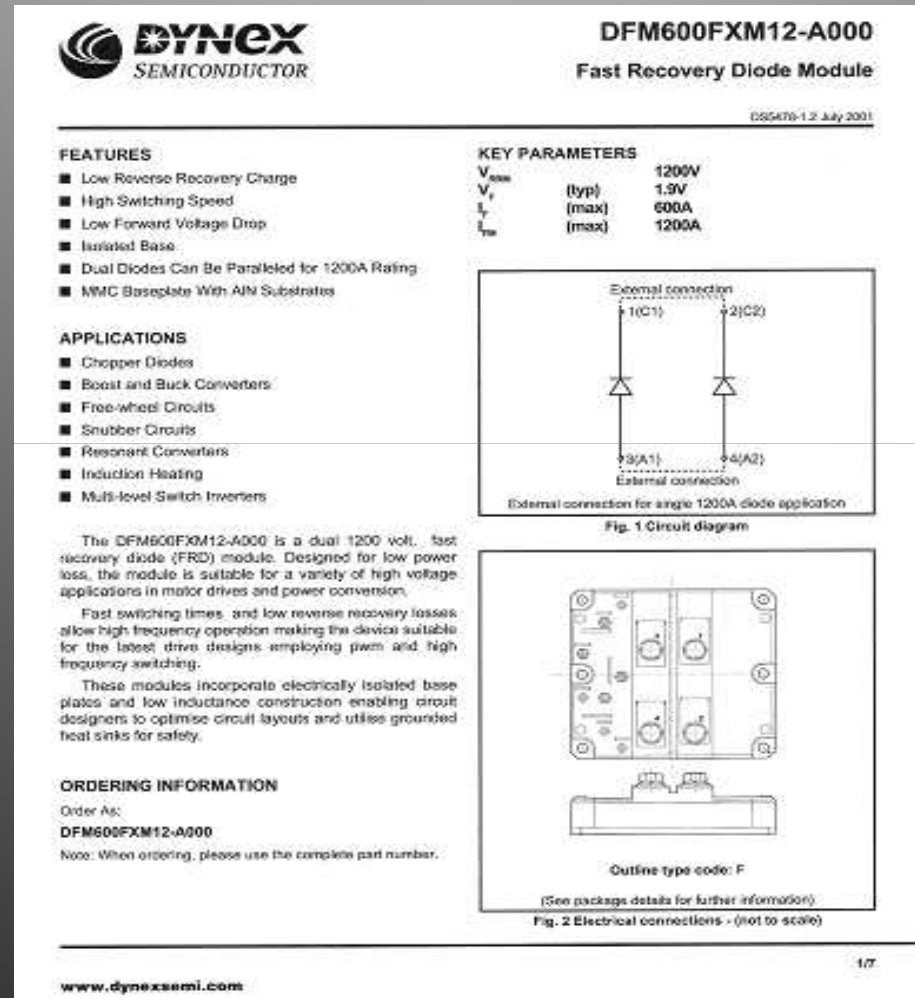
- **Hızlı Toparlanan Diyot;**
- Hızlı toparlanan güç diyotlarının genel yapısı ve çalışması da Şekil-2.12'de görüldüğü gibi temel elektronikte kullanılan diyotlarla tamamen aynıdır. Bu diyotlarda da normal diyotlarda olduğu gibi, anod terminaline, katoda göre 0,7V daha pozitif gerilim geldiğinde eleman kendiliğinden iletme geçer.



- Hızlı toparlanan (hızlı) diyotlarda, genel çalışma ilkeleri, temel karakteristik eğriler, ters toparlanma, çalışma dalga şekilleri, seri ve paralel bağlanmaları, ani akım ve gerilim davranışları ve korunmaları genel amaçlı diyotlardaki gibidir.
- Hızlı diyotların geçiş zamanları 3-5µs gibi çok kısa, dolayısıyla da çalışma frekanslarının 150-200kHz gibi yüksek olmasıdır. 2-3kV, 200-300A gibi değerlere kadar bulunabilen bu diyotlar DC-DC ve DC-AC dönüştürücülerde ve yüksek frekanslı uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

# II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

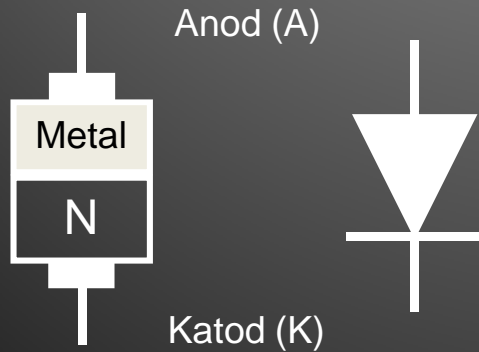
Aşağıda hızlı toparlanan bir diyodun bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.



## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

### Schottky Diyot, Temel Yapısı ve Çalışması;

- Schottky güç diyotlarının genel yapısı, temel elektronikte kullanılan diyotlardan oldukça farklıdır. Bu diyotlarda Şekil-2.13'de görüldüğü gibi normal diyotlarda olduğu gibi P-N birleşimi yerine, daha hızlı olması için N-Metal birleşimi kullanılmıştır.



- Schottky diyotlarda N-Metal birleşimi kullanılması sayesinde çok düşük geçiş zamanı dolayısıyla da çok yüksek çalışma frekansı elde edilmekle beraber, N-Metal birleşiminin ters polarmada sızıntı akım seviyesinin oldukça yüksek olması en önemli dezavantajlarıdır.
- Bu diyotların daha çok düşük gerilim yüksek akımlı dönüştürücü devrelerinde anahtar olarak ve normal güç devrelerinde koruma elemanı olarak kullanımları yaygındır.
- Çalışma gerilimleri 100V civarında çalışma akımları ise 250-300A seviyelerine kadar çıkmaktadır.

# II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda bir Schottky diyodun bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.

**MBR41H100CT,  
MBRB41H100CT,  
MBRB41H100CT-1**

**ON Semiconductor®**  
http://onsemi.com

**SWITCHMODE™  
Power Rectifier  
100 V, 40 A**

**Features and Benefits**

- Low Forward Voltage: 0.67 V @ 125°C
- Low Power Loss/High Efficiency
- High Surge Capacity
- 175°C Operating Junction Temperature
- 40 A Total (20 A Per Diode Leg)
- Guard-Ring for Stress Protection
- Pb-Free Package is Available

**Applications**

- Power Supply – Output Rectification
- Power Management
- Instrumentation

**Mechanical Characteristics:**

- Case: Epoxy, Molded
- Epoxy Meets UL 94 V-0 @ 0.125 in
- Weight (Approximate): 1.9 Grams (TO-220AB)  
1.7 Grams (D<sup>2</sup>PAK)  
1.5 Grams (TO-262)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 1-3 Seconds
- Shipped 50 Units Per Plastic Rail for TO-220AB and TO-262  
Shipped 800 Units Per Tape & Reel for D<sup>2</sup>PAK

**MARKING DIAGRAM**

TO-220AB  
CASE 221A  
PLASTIC

D<sup>2</sup>PAK  
CASE 418B  
STYLE 1

FPAK (TO-262)  
CASE 419D  
PLASTIC

841H100 = Device Code  
A = Assembly Location  
Y = Year  
WW = Work Week  
AKA = Polarity Designator  
G = Pb-Free Device

**MAXIMUM RATINGS**

Please See the Table on the Following Page

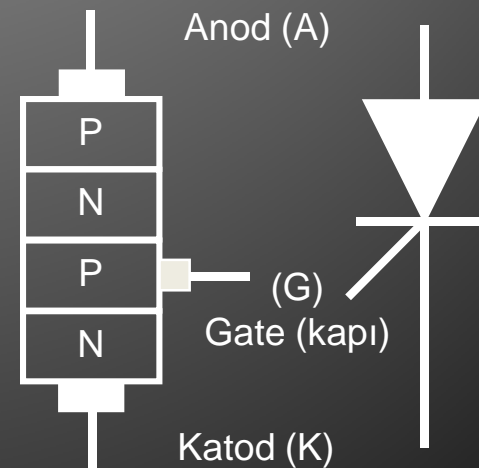
**ORDERING INFORMATION**

Device	Package	Shipping
MBR41H100CT	TO-220	50 Units/Rail
MBR41H100CTG	TO-220 (Pb-Free)	50 Units/Rail
MBR41H100CT-1G	TO-262 (Pb-Free)	50 Units/Rail
MBR41H100CTT4G	D <sup>2</sup> PAK (Pb-Free)	800 Units/ Reel

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Güç Tristörleri;
- Güç tristörleri, kontrollu güç anahtarlarıdır. Bu tristörler;
  - 1- Genel amaçlı tristörler (SCR),
  - 2- Çift yönlü tristörler (TRIAC),
  - 3- Kapısından tıkanabilen tristörler (GTO),olmak üzere 3 ayrı türde bulunmaktadır.
- Bu türlerin kendilerine ait özellikleri ve buna bağlı olarak da kullanım alanları bulunmaktadır. Şimdi bu türleri ayrıntısıyla inceleyelim.

- 1- Genel Amaçlı Tristör (SCR),  
Temel Yapısı ve Çalışması:
- Genel amaçlı güç tristörlerini “genel amaçlı diyodun kontrollu versiyonu” olarak tanımlamak mümkündür. Şekil-2.14’de görülen bu tristörler normal diyotlarda olduğu gibi kendiliğinden ilettime geçmezler, ancak bir uyarı aldıklarında ilettime geçerler.



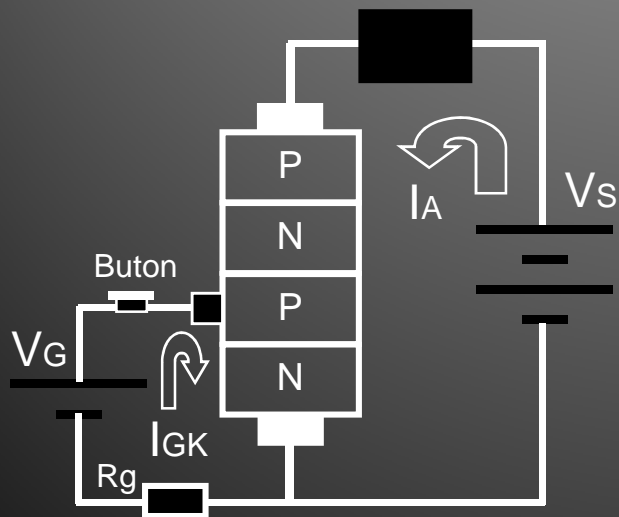


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Tristörün (SCR) yalıtıma geçebilmesi için içinden geçmekte olan akımın sıfıra düşmesi veya düşürülmesi gerekmektedir.
- Tristör iletimde olduğunda tam iletim, yalıtımda olduğunda ise tam yalıtım durumunda bulunur, geçiş anı dışında herhangi bir ara durumu yoktur.
- Genel amaçlı tristörlerin en önemli özelliği düşük frekanslarda çalışmak için imal edilmiş olmalarıdır (ideal frekans 50-60Hz, max.1kHz).
- Genel amaçlı tristörler düşük frekansta çalışmaları nedeniyle yüksek akım ve gerilimlerde kullanılabilirler (5kV-5kA gibi).
- Genel amaçlı tristörlerin en önemli özelliklerinden birisi de, geçiş zamanının uzun olmasına rağmen, iletim iç direncinin çok düşük olması nedeniyle iletim kayıplarının çok düşük olmasıdır.
- Bu özellikleri ile genel amaçlı tristörler, şebeke geriliminde kontrollü anahtar olarak çalışabilen ve yaygın kullanılan yarıiletken elemanlardır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

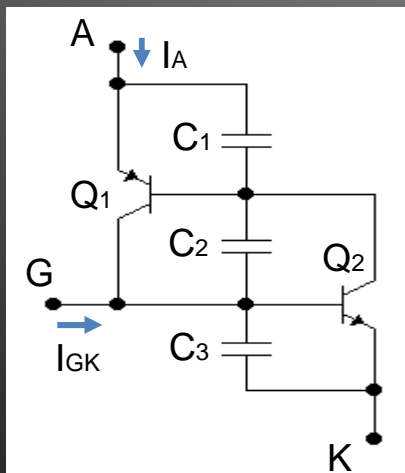
- Genel Amaçlı Tristörün (SCR) Çalıştırılması;
- Aşağıdaki Şekil-2.15'de genel amaçlı tristörün çalıştırılması yarıiletken yapı üzerinde görülmektedir. Burada  $V_s$  kaynağı yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır,  $V_G$  ise tristörü uyarmak için kullanılan kaynaktır.



- Devrede butona basılmadığı sürece tristör, doğru yönde blokaj (yalıtım) durumunda kalacaktır. Tristörü ilettime geçirebilmek için butona basıldığında tristörün G-K terminalleri arasından çok kısa bir süre için  $I_{GK}$  akımı dolaşır.
- Bu durumda G-K arasındaki P-N maddeleri iletken haline gelir ve A-K arasında sadece tek P-N birleşimi kalacağı için tristör iletim "on" durumuna geçer ve yük üzerinden  $I_A$  akımı akar.
- Tristör dc'de ilettime geçtiğinde artık uyarma gerektirmez.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

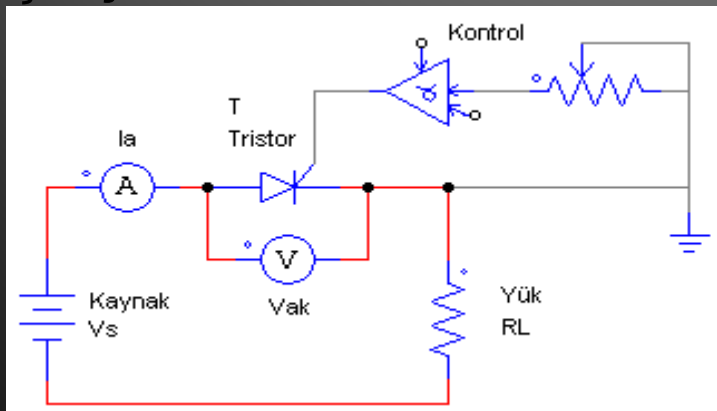
- **Tristörün Eşdeğer Devresi;**
- Şekil-2.16'da tristörün çalışmasını farklı bir şekilde açıklamak için kullanılmakta olan transistörlü eşdeğer devresi görülmektedir.
- Devredeki transistörler P-N birleşimlerini, kondansatörler ise kaçak kapasitelerdir.



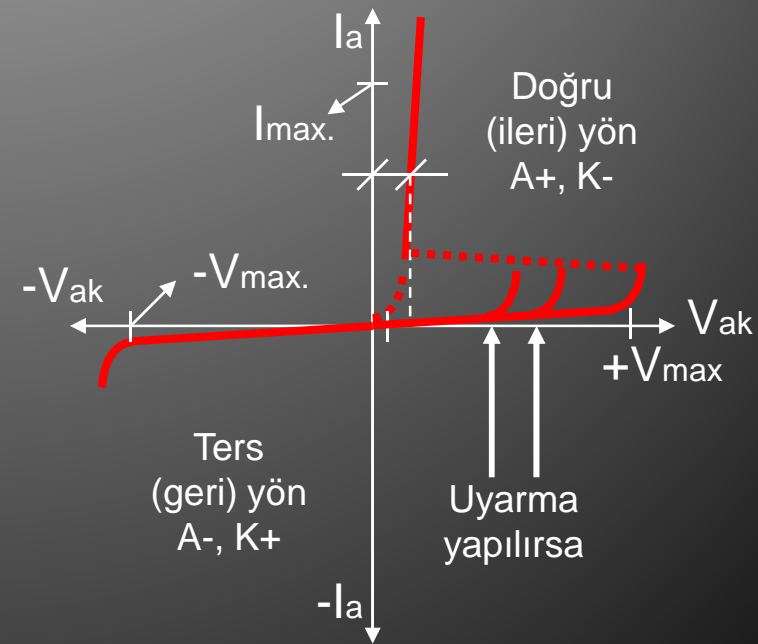
- Eşdeğer devreye göre, G-K terminalleri arasına bağlanan bir kaynak yardımıyla  $I_{GK}$  akımı akıtıldığında  $Q_2$  ilettime geçer ve  $Q_1$ 'in baz akımını sağlayarak,  $I_{GK}$  kesilse de  $Q_2$ 'nin iletimde kalmasını sağlar. Böylelikle ana besleme kaynağından çekilen  $I_A$  akımı akmaya başlar, yani tristör tamamen ilettime geçmiş olur.
- $C_{1,2,3}$  kondansatörleri ise P-N birleşimleri arasındaki boşluktan kaynaklanan kapasiteleri ifade etmekte olup tristörün kontrolsüz ilettime geçmesine neden olur.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Tristörün (SCR) Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.17'de genel amaçlı tristörün temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Aşağıdaki bağlantı şekli ile SCR'nin doğru yön çalışması, devredeki " $V_s$ " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil2.18'de genel amaçlı tristörün (SCR) temel karakteristik eğrilerinden akım-gerilim ( $I_a$ - $V_{ak}$ ) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) görülmektedir.

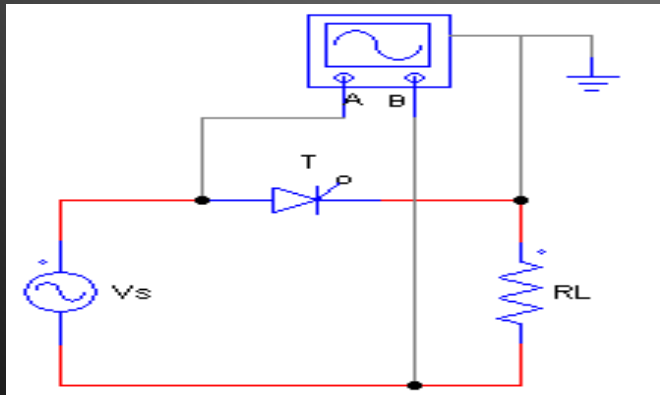


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

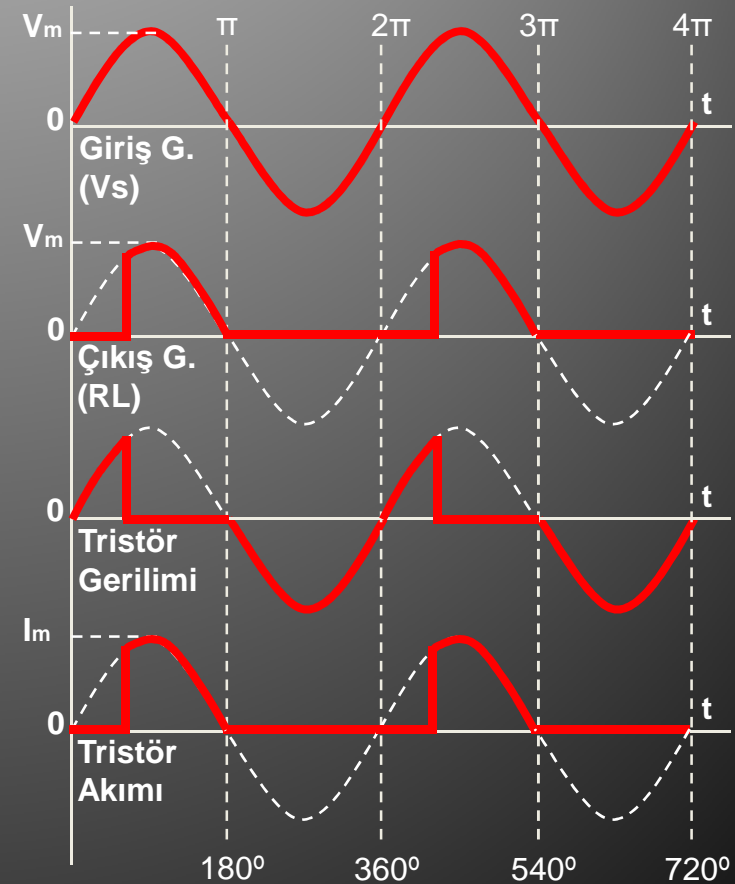
- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde  $0,7V$ 'dan sonra kendiliğinden ilettime geçerken, SCR ancak  $V_{max}$ . gerilimine ulaşıldığında kendiliğinden ilettime geçmektedir.
- Bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. SCR'nin normal olarak ilettime geçebilmesi için uyarılması gerekmektedir.
- SCR'nin uyarılması G-K terminalleri arasından yapılır.
- Ters yönde ise  $V_{max}$ . gerilim değerine kadar yine SCR güvenle yalıtımda kalacak (blokaj yapacak), bu değer aşılsa ise ilettime geçerek yanacaktır. Tristör üzerine gelecek olan ters gerilim değeri, tamamen  $V_s$  kaynak gerilim değerine bağlıdır.
- Bu durumda, genel amaçlı tristörün; doğru yönlü (A+, K-) gerilimde uyarılmaz ise blokaj yapan, uyarıldığı takdirde ise tam ilettime geçen, doğru yönlü gerilim altında kontrol edilebilen, ters yönlü (A-, K+) gerilimde ise tam yalıtımda kalan bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- Genel amaçlı tristör (SCR), bu özellikleriyle hem AC, hem de DC'de çalıştırılabilmektedir.
- SCR'nin bazı durumlarda sıkıntıya yol açan özelliği ise, doğru yönde ilettime geçirildikten sonra, üzerine gelen gerilim doğru da olsa ters de olsa, ancak içinden geçen akım sıfıra düşünce yalıtım geçmesidir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Tristörün Çalışma Dalga Şekilleri;
- Güç anahtarlarının çalışma durumlarının görülmesi için aktif çalışma sırasındaki akım-gerilim dalga şekillerinin incelenmesi gerekmektedir. Tristörün doğru ve ters polarmada davranışları inceleyebilmek için Şekil-2.19'daki bağlantı yapılabilir.



- Şekil-2.20'de tristörün devresinin AC kaynaktan çalışması sırasındaki dalga şekilleri görülmektedir.

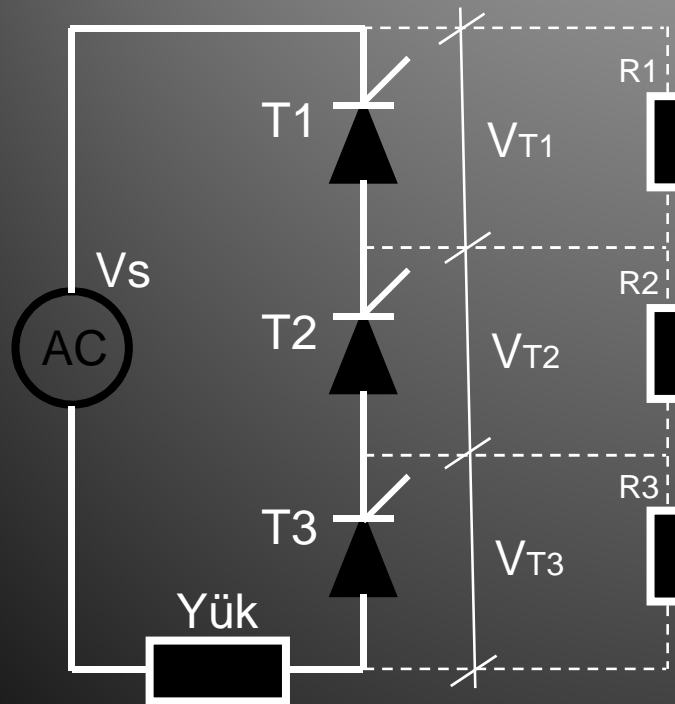


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.20'den görüldüğü gibi 0-180° aralığında tristör istenirse uyarılarak iletme (on) geçirilebilir, çıkış gerilimi tristörün iletme geçmesinden itibaren görünmeye başlar. Bu sırada tristör üzerindeki gerilim sıfır (iletim gerilim düşümü ihmal ediliyor), tristör üzerinden geçen akım ise kaynak veya yük akımı ile aynıdır.
- 180°-360° aralığında ise tristör ters polarmada olduğu için yalıtımdadır (off). Bu durumda çıkış gerilimi sıfır, tristör üzerindeki gerilim düşümü ise kaynak gerilimi ile aynıdır (tristörün bloke ettiği gerilim). Bu durumda tristör üzerinden geçen akım, dolayısıyla da devre akımı ise sıfırdır.
- **Tristörlerin Seri Bağlanması;**
- Özellikle yüksek gerilim altında çalıştırılacak olan tristörlerde tristörün üzerine gelen çok yüksek doğru ve ters gerilimleri bloke etmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen tristörün çalışma gerilimi, uygulamada üzerine gelecek olan gerilimden en az %30 daha fazla olması gerekmektedir ki sağlıklı bir çalışma sağlanabilsin.
- Uygulama sırasında mevcut tristörlerin bu şartı sağlayamaması durumunda tristörlerin seri bağlama yoluna gidilir. Bu sayede istenilen çalışma gerilimine ulaşılabilir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.21'de tristörlerin seri bağlanarak çalışma geriliminin arttırılması görülmektedir. Burada gerilim;  
 $V_T = V_{T1} + V_{T2} + V_{T3}$  olur.



- Şekil-31'den görüldüğü gibi yüksek gerilimde çalışma gerektiğinde tristörler seri bağlanarak bu gerilim değeri elde edilebilmektedir. Burada;  
 $V_T \geq (V_{max.} + \%30)$  olacak şekilde seri bağlanacak olan tristör sayısı belirlenebilmektedir.
- Fakat, tristörlerin seri bağlanması çok istenen bir uygulama değildir. Çünkü seri bağlama sayesinde dayanma gerilimi artar fakat buna bağlı olarak anahtarın iletim iç direnci de yükselir. Bu da kayıpların artması anlamına gelir.
- Ayrıca tristörlerin hepsinin aynı anda ve birbirinden yalıtılarak uyarılması gerekecektir.



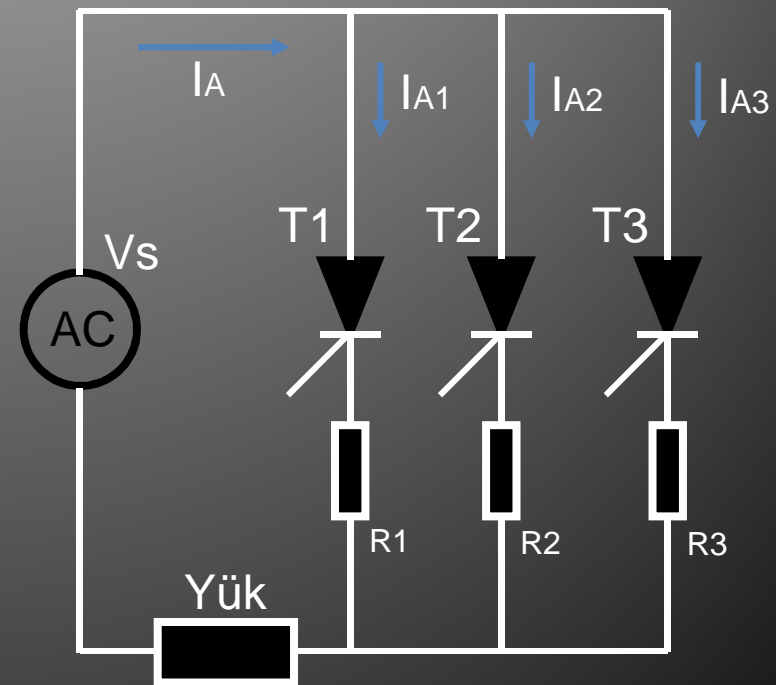
## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Tristörlerin Paralel Bağlanması;**
- Özellikle yüksek akım altında çalıştırılacak olan tristörlerde, tristörün üzerinden geçmesi gereken çok yüksek seviyeli akıma dayanabilmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen tristörün çalışma akımı, uygulamada üzerinden geçecek olan akımdan en az %30 daha fazla olması gerekmektedir.
- Uygulama sırasında mevcut tristörlerin bu şartı sağlayama durumunda tristörlerin paralel bağlama yoluna gidilir. Bu sayede istenilen çalışma akımına ulaşılabilir.

- Aşağıdaki Şekil-2.22'de tristörlerin paralel bağlanarak çalışma akımı arttırılması devresi görülmektedir.

- Burada toplam akım;

$$I_A = I_{A1} + I_{A2} + I_{A3}$$

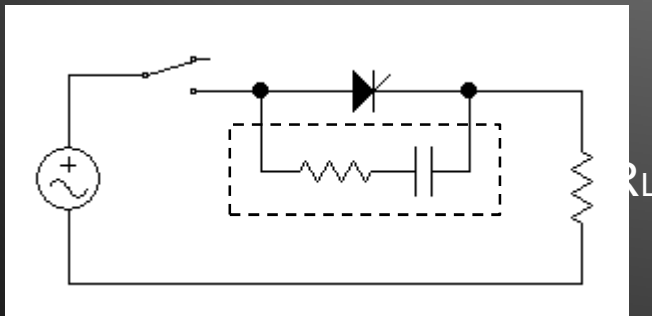
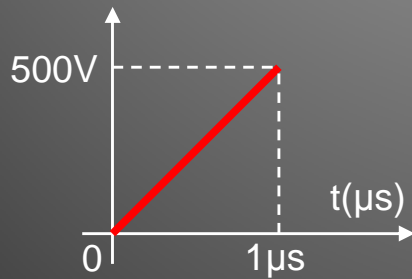


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.22'den görüldüğü gibi yüksek akımda çalışma gerektiğinde tristörler paralel bağlanarak bu akım değeri elde edilebilmektedir. Burada;  
 $I_T \geq (I_{max.} + \%30)$  olacak şekilde paralel bağlanacak olan tristör sayısı belirlenebilmektedir.
- Fakat, tristörlerin paralel bağlanması çok istenen bir uygulama değildir. Çünkü paralel bağlama sayesinde dayanma akımı artar fakat, tristörlerin iletim dirençlerinin eşit olmaması nedeniyle, üzerlerinden geçecek akımı eşit paylaşamayacağı için seri dirençler kullanılması gerekir. Ayrıca ayrı ayrı uyarılmalıdırlar.
- **Tristörlerde dv/dt korumasının sağlanması;**
- Yarıiletken malzeme, ani gerilim değişiminde istenmeyen davranışlar gösterebilmektedir.
- Güç tristörlerinde, tristör üzerindeki gerilim çok kısa sürede çok ani olarak değer değiştirecek olursa P-N birleşim yüzeyleri boş bir kondansatör gibi davranarak istenmeyen akımların akmasına ve iletme neden olabilmekte bu da elemanda veya devrede hasarlar oluşturabilmektedir.
- **Bu olayın sınırları üretici tarafından belirtilmekte olup kullanıcı buna göre uygun önlem almak zorundadır.**

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.23'de üretici tarafından verilen, tristörün örnek  $dv/dt$  karakteristik eğrisi ve tristörün bu olaydan etkilenmesini önlemek için alınan önlem görülmektedir.
- Burada örnek  $dv/dt$ :  $500V/\mu s$



- Şekil-2.23'den görüldüğü gibi, çok ani olarak doğru veya ters gerilim altında kalma riski olan T tristörünün paraleline, onu bu ani gerilimin bozucu etkisinden korumak için bir R-C devresi yerleştirilmiştir.
- Bu sayede tristör üzerine gelen ani gerilim yumuşatılarak karakteristik eğrideki  $500V/\mu s$  sınırının altına indirilmekte ve istenmeyen kontrol dışı iletim (akım) engellenmiş olmaktadır.
- Burada R-C devresi;

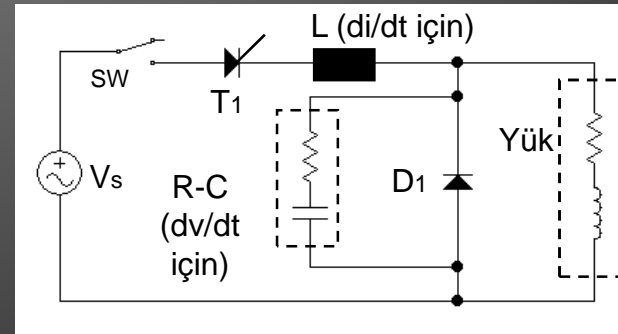
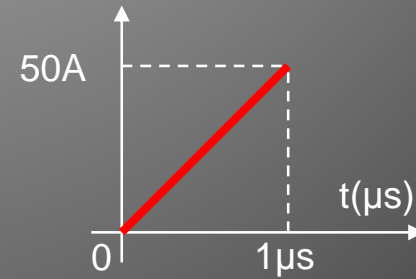
$$T = R.C$$

zaman sabitesine göre istenilen oranda yumuşatma yapmaktadır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Tristörlerde di/dt korumasının sağlanması;**
- Güç tristörlerinde, tristör üzerinden geçen akım çok kısa sürede çok ani olarak değer değiştirecek olursa yarıiletken P-N maddesinin kristal yapısı dağılarak istenmeyen akımların akmasına neden olabilmekte bu da elemanın kısa devre olması ve devrede hasarlar oluşması anlamına gelmektedir.
- **Bu olayın sınırları üretici tarafından elemanın di/dt eğrisi olarak belirtilmekte olup kullanıcı uygun önlem almak zorundadır.**

- Aşağıdaki Şekil-2.24'de üretici tarafından verilen, tristörün örnek di/dt karakteristik eğrisi ve tristörün bu olaydan korunması görülmektedir.
- **Burada örnek di/dt: 50A/μs'dir.**



## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.24'den görüldüğü gibi, çok ani olarak yüksek akım altında kalma riski olan T1 tristörüne seri olarak, onu bu ani yüksek akımın bozucu etkisinden korumak için bir "L" endüktansı yerleştirilmiştir.
- Bu sayede tristör üzerinden geçmek isteyen ani yüksek akım yumuşatılarak karakteristik eğrideki 50A/μs sınırının altına indirilmekte ve tristörde oluşacak olan kristal dağılması (yanma) engellenmiş olmaktadır.
- Burada L (L-R) devresi;  
$$T = L / R$$

zaman sabitesine göre istenilen oranda yumuşatma yapmaktadır.
- dv/dt ve di/dt önlemlerini her zaman kullanmak gerekli değildir. Ancak yüksek güçte ani yüksek gerilime veya ani yüksek akıma maruz kalma riski varsa kullanılması gerekmektedir.
- Tristörlerin seri ve paralel bağlanmaları sırasında da ani gerilim ve akım riski bulunduğu takdirde dv/dt ve di/dt önlemlerinin alınması gerekmektedir.
- Bu durumda gerekli yumuşatmayı sağlamak için, seri bağlama sırasında her bir seri tristöre paralel olarak R-C devresi, veya paralel bağlama sırasında her bir paralel tristöre seri olarak "L" elemanı yerleştirilmelidir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Tristörün (SCR) Kontrol Dışı İletime Geçmesi;**
- Bilindiği gibi tristörlerin kontrollu olarak ilettime geçirilmesi için G-K arasından kısa süreli bir akım akıtmaktadır. Bu durumda tristör “off” konumdan “on” konuma geçmektedir.
- Bazı durumlarda ise tristör istenmediği halde kontrol dışı olarak ilettime geçebilmekte ve hem kendisinin, hem yükün hem de etrafındaki elemanların tahrip olmasına neden olmaktadır.
- Tristörlerin kontrol dışı olarak ilettime geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar;
  - 1) Yüksek sıcaklık,
  - 2) Yüksek voltaj,
  - 3) Hızlı gerilim değişimi,
  - 4) Hızlı akım değişimi.
- **1- Yüksek sıcaklıkla iletim;**

Tristör, çalışması sırasında iletim ve anahtarlama kayıpları nedeniyle ısınmaktadır. Eğer bu ısı enerjisi tristör üzerinden yeterince alınamazsa ısınmaya devam eder ve dayanma sıcaklığı aşıldığında yanar.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Tristörün yüksek sıcaklıktan etkilenerek zarar görmesini engelleyebilmek için tristör üzerinde oluşacak ısı enerjisi hesaplanarak bu enerjiyi ortama yaymak için uygun boyutta soğutucu belirlenmeli ve tristör bu soğutucuya bağlanmalıdır.
- Eğer gerekiyorsa fan veya sıvılı soğutma düzeneği kullanılarak soğutucu üzerinden ısı transferi daha hızlı yapılmalıdır.
- 2- Yüksek voltajla iletim:  
Yüksek voltaj nedeniyle tristörün kontrol dışı olarak ilettime geçerek zarar görmesi, tristörün üzerine gelen doğru veya ters yönlü gerilimin, tristörün dayanma (çalışma) geriliminin üzerine çıkması durumunda gerçekleşir.
- Tristörün bu olaydan zarar görmesini engelleyebilmek için tristör gerilimi, tristör üzerine gelebilecek olan en yüksek gerilim değerinden en az %30 daha yüksek seçilmelidir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 3- Hızlı gerilim değişimi ( $dv/dt$ );  
Daha önce açıklandığı gibi tristör, üretici tarafından belirlenen  $dv/dt$  değerinden daha hızlı değişen bir gerilimle karşı karşıya kaldığında, iç kapasitelerinin etkisiyle uyarılmadığı halde üzerinden akım akıtmaya başlar yani ilettime geçer. Bu istenmeyen iletim tristöre, yüke ve devreye zarar verir.
- Bilindiği gibi bu olayı engellemek için, ani gerilimi yumuşatmak amacıyla, tristöre paralel olarak bir RC bağlanır.
- 4- Hızlı akım değişimi ( $di/dt$ );  
Yine daha önce açıklandığı gibi tristör, üretici tarafından belirlenen  $di/dt$  değerinden daha hızlı değişen bir akımla karşı karşıya kaldığında, iç kapasitelerinin etkisiyle uyarılmadığı halde üzerinden akım akıtmaya başlar ve kısa devre olur. Bu istenmeyen iletim tristöre, yüke ve devreye zarar verir.
- Bilindiği gibi bu olayı engellemek için, ani akımı yumuşatmak amacıyla, tristöre seri olarak bir “L” bağlanır.



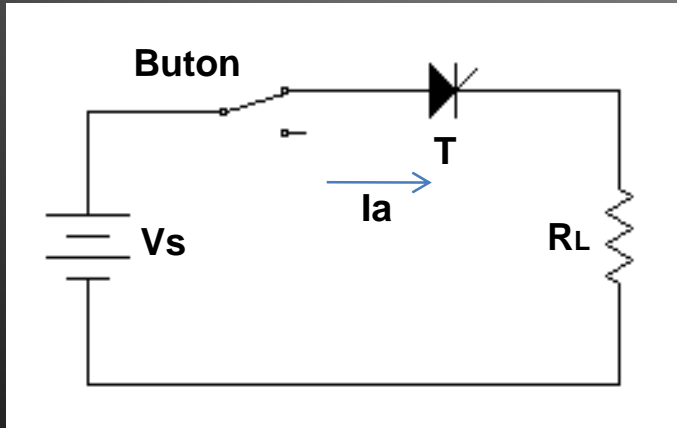
## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Tristörün Yalıtıma Geçirilmesi;**
- Bilindiği gibi tristör (SCR), ilettime geçmesi kontrol edilebilen fakat yalıtıma geçmesi kontrol edilemeyen bir yarıiletken güç anahtarıdır.
- Tristörün yalıtıma geçebilmesi için diyotlarda olduğu gibi ters polarma altına girmesi yeterli değildir. Tristörün yalıtıma geçebilmesinin tek şartı, A-K arasından akmakta olan akımın çok kısa bir süre için “sıfır”a çekilmesidir. **AC kaynakta yön değiştiği için bu olay kendiliğinden gerçekleşir.**
- Bu durumda özellikle DC’de çalışmakta olan bir tristörü yalıtıma geçirebilmek için içinden geçen akımı kısa bir süre için sıfıra düşürebilecek yöntemler kullanmak gerekmektedir. Bu durumda, tristörü susturma yöntemleri;
  - 1) **Seri anahtar kullanarak,**
  - 2) **Paralel anahtar kullanarak,**
  - 3) **Seri ayarlı direnç kullanılarak,**
  - 4) **Ayarlı kaynak kullanarak,**
  - 5) **Ters gerilim kullanılarak,**olmak üzere 5 farklı türdedir. Bu yöntemleri ayrıntılı olarak açıklayalım.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 1- Tristörün (SCR) seri anahtar kullanarak yalıtıma geçirmesi;

Bu yöntem, aşağıdaki Şekil-2.25'de görüldüğü gibi tristörün anod devresine seri bir anahtar (buton) bağlayarak uygulanabilmektedir. Burada iletimde olan bir tristör görülmektedir.

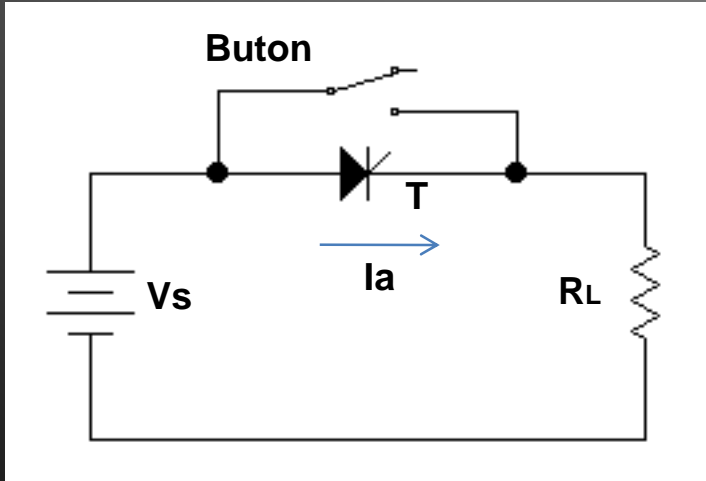


- Bu yöntemde, iletimde olan “T” tristörünü yalıtıma geçirebilmek amacıyla butona basılarak çok kısa bir süreliğine “ $I_a$ ” akımı kesildiğinde tristör içinden geçen akım sıfıra düşeceği için yalıtıma geçmiş olur.
- Bu yöntem çok basit ve kolay uygulanabilir olmasına karşın ancak düşük akım ve gerilim seviyelerinde kullanılabilir.
- Bunun nedeni, yüksek akım ve gerilimde ark oluşması nedeniyle buton ile kontrolün imkansız hale gelmesidir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 2- Tristörün (SCR) paralel anahtar kullanarak yalıtıma geçirmesi;

Bu yöntem, aşağıdaki Şekil-2.26'da görüldüğü gibi tristörün anod-katod arasına paralel bir anahtar (buton) bağlayarak uygulanabilmektedir. Burada iletimde olan bir tristör görülmektedir.

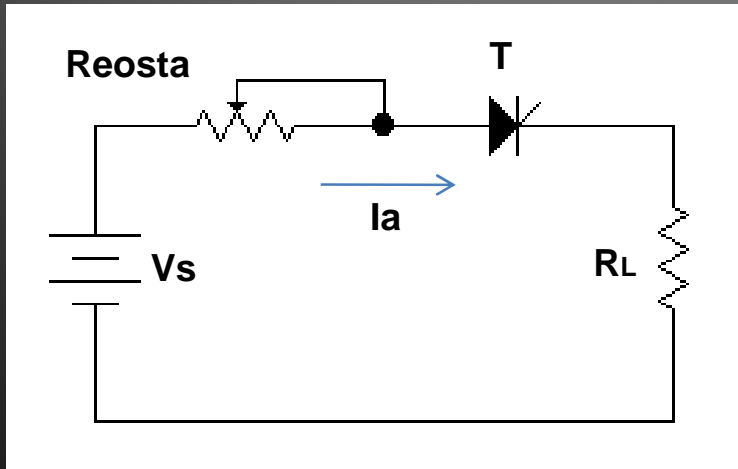


- Bu yöntemde, iletimde olan "T" tristörünü yalıtıma geçirebilmek amacıyla butona basılarak çok kısa bir süreliğine devreden geçen " $I_a$ " akımı buton üzerine alınır, bu sırada tristör akımı sıfıra düşeceğinden eleman yalıtıma geçmiş olur.
- Bu yöntem çok basit ve kolay uygulanabilir olmasına karşın ancak düşük akım ve gerilim seviyelerinde kullanılabilir.
- Bunun nedeni, yüksek akım ve gerilimde ark oluşması nedeniyle buton ile kontrolün imkansız hale gelmesidir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 3- Tristörün (SCR) seri direnç kullanarak yalıtıma geçirmesi;

Bu yöntem, aşağıdaki Şekil-2.27’de görüldüğü gibi tristöre seri bir ayarlı direnç (reosta) bağlayarak ve bu ayarlanarak uygulanabilmektedir. Burada tristör iletimde, reosta ise kısa devre konumundadır.

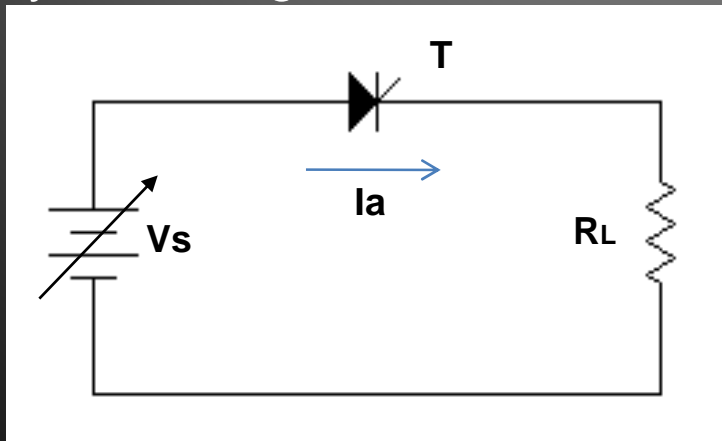


- Bu yöntemde, iletimde olan “T” tristörünü yalıtıma geçirebilmek amacıyla reosta değeri artırılıp açık devreye götürülerek, bir süreliğine “ $I_a$ ” akımı sıfırlanır, bu sırada tristör akımı sıfıra düşeceğinden eleman yalıtıma geçmiş olur.
- Bu yöntem çok basit ve yüksek güçte uygulanabilir olmasına karşın, reosta maliyeti, boyutu ve kayıpları oldukça büyüktür.
- Ayrıca, her seferinde tristör susturulduktan sonra reostanın tekrar kısa devre konumuna getirilmesi gerekmektedir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 4- Tristörün (SCR) ayarlı kaynak kullanarak yalıtıma geçirmesi;

Bu yöntem, aşağıdaki Şekil-2.28'de görüldüğü gibi yükü besleyen ana kaynağı ayarlı yaparak ve bu ayarlanarak uygulanabilmektedir. Burada tristör iletimde, kaynak ise en yüksek değer konumundadır.

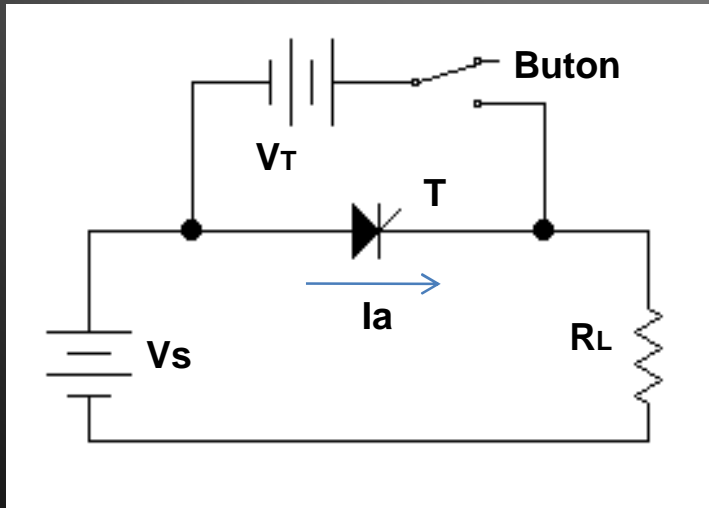


- Bu yöntemde, iletimde olan “T” tristörünü yalıtıma geçirebilmek amacıyla kaynak gerilimi değeri azaltılıp sıfıra doğru götürülerek, bir süreliğine “ $I_a$ ” akımı sıfırlanır, bu sırada tristör akımı sıfıra düşeceğinden eleman yalıtıma geçmiş olur.
- Bu yöntem yüksek güçte uygulanabilir olmasına karşın, ayarlı kaynak maliyeti oldukça yüksek, hızı düşük olacaktır.
- Ayrıca, bu kaynak başka yükleri beslemek için kullanılamayacaktır. Bu nedenle pek uygun değildir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 5- Tristörün (SCR) ters gerilim kullanarak yalıtıma geçirmesi;

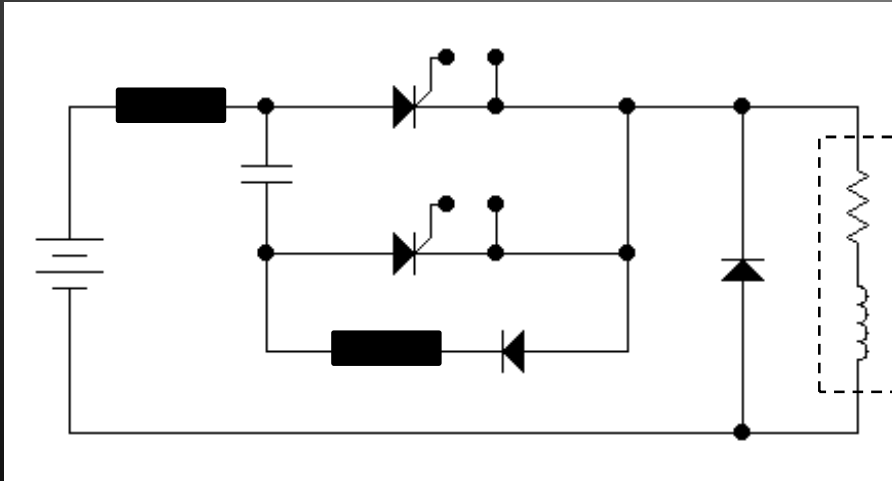
Bu yöntem, aşağıdaki Şekil-2.29'da görüldüğü gibi, tristör uçlarına, bir anahtar üzerinden ters bir kaynak bağlanarak uygulanabilmektedir. Burada tristör iletimde, ters kaynak ise pasif konumdadır.



- Bu yöntemde, iletimde olan “T” tristörünü yalıtıma geçirebilmek amacıyla butona basılarak “ $V_T$ ” kaynağı tristör uçlarına ters olarak bağlanır.  $V_T \geq V_s$  olduğundan  $V_T$  kaynağı  $V_s$ 'nin tristör üzerinden geçirmekte olduğu “ $I_a$ ” akımını bastırarak kendi akımını akıtmak isteyecektir. Bu sırada tristör akımı sıfıra düşeceğinden eleman yalıtıma geçmiş olur.
- Bu yöntem tüm güçlerde rahatlıkla uygulanabilmektedir. Uygulamada “ $V_T$ ” kaynağı yerine şarj edilmiş bir kondansatör kullanılmaktadır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI


- Özellikle orta ve yüksek güçlü DC kaynaklı uygulamalarda, anahtar olarak tristör seçilmesi durumunda, kullanılmakta olan ters gerilimle susturma (yalıtıma geçirme) yöntemi ile ilgili bir uygulama devresi aşağıdaki Şekil-2.30'da görülmektedir.



- Şekil-2.30'dan görüldüğü gibi T1 tristörünün susturmak için gerekli olan ters gerilim "C" kondansatörüne depolanmakta T2 tristörü ise bu kondansatör üzerindeki ters gerilimin, susturulmak istenen T1 tristörüne uygulanmasını sağlamaktadır.
- Kısacası, T1 tristörü uyarıldığında devre çalışmakta, T2 tristörü uyarıldığında ise durmaktadır.
- Bu arada kondansatör de yardımcı elemanlar üzerinden tekrar şarj olmaktadır.

# II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda genel amaçlı bir tristörün bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.




**IXYS**

**MCC 310**  
**MCD 310**


**Thyristor Modules**  
**Thyristor/Diode Modules**

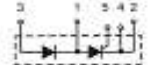
**$I_{T(RMS)} = 2 \times 500 \text{ A}$**   
 **$I_{T(AVM)} = 2 \times 320 \text{ A}$**   
 **$V_{RRM} = 800\text{-}2200 \text{ V}$**

$V_{DRM}$	$V_{RRM}$	Type	
V	V	Version 1	Version 1
800	800	MCC 310-08io1	MCD 310-08io1
1300	1300	MCC 310-12io1	MCD 310-12io1
1500	1400	MCC 310-14io1	MCD 310-14io1
1700	1600	MCC 310-16io1	MCD 310-16io1
1900	1800	MCC 310-18io1	MCD 310-18io1



Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings
$I_{T(AV)}$	$T_{vj} = T_{vj(max)}$ $T_c = 85^\circ\text{C}; 180^\circ \text{ sine}$	500 A
$I_{T(RMS)}$	$T_{vj} = 85^\circ\text{C}; 180^\circ \text{ sine}$	320 A
$I_{TSM}$	$T_{vj} = 45^\circ\text{C}; V_{ce} = 0$	1 = 10 ms (50 Hz) sine 9200 A 1 = 0.3 ms (50 Hz) sine 9800 A
$I_{TSM}$	$T_{vj} = T_{vj(max)}; V_{ce} = 0$	1 = 10 ms (50 Hz) sine 8000 A 1 = 0.3 ms (50 Hz) sine 8600 A
(Pd)	$T_{vj} = 45^\circ\text{C}; V_{ce} = 0$	1 = 10 ms (50 Hz) sine 420 000 A/s 1 = 0.3 ms (50 Hz) sine 400 000 A/s
$(di/dt)_{max}$	$T_{vj} = T_{vj(max)}; V_{ce} = 0$	1 = 10 ms (50 Hz) sine 320 000 A/s 1 = 0.3 ms (50 Hz) sine 300 000 A/s
$(di/dt)_{non-rep}$	$T_{vj} = T_{vj(max)}; f = 50 \text{ Hz}; t_r = 200 \mu\text{s}; V_{ce} = 2/3 V_{DRM}; I_{TSM} = 1 \text{ A}; dI_{TSM}/dt = 1 \text{ A}/\mu\text{s}$	repetitive, $I_T = 990 \text{ A}$ 100 A/ $\mu\text{s}$ non repetitive, $I_T = 320 \text{ A}$ 500 A/ $\mu\text{s}$
$(di/dt)_{lin}$	$T_{vj} = T_{vj(max)}; R_{th(j-c)} = \infty; \text{method 1 (linear voltage rise)}$	1000 A/ $\mu\text{s}$
$P_{tot}$	$T_{vj} = T_{vj(max)}; L = 30 \mu\text{s}$	120 W
$P_{tot}$	$T_{vj} = T_{vj(max)}; L = 500 \mu\text{s}$	60 W
$P_{tot}$		20 W
$V_{DRM}$		10 V
$T_{vj}$		+40...+140 °C
$T_{vj}$		140 °C
$T_{vj}$		-40...+125 °C
$V_{RRM}$	50/60 Hz, RMS	1 = 1 min 2000 V~ $I_{TSM} < 1 \text{ mA}$ 3600 V~
$M_t$	Mounting torque (M5) Terminal connection torque (M8)	2.5-5/22-44 Nm/in. 12-15/106-132 Nm/in.
Weight	Typical including screws	320 g

**MCC** 

**MCD** 

**Features**

- International standard package
- Direct copper bonded Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic base plate
- Fluxless passivated chips
- Isolation voltage 3600 V~
- UL registered, E 72873
- Keyed gate/cathode twin pins

**Applications**

- Motor control
- Power converter
- Heat and temperature control for industrial furnaces and chemical processes
- Lighting control
- Contactless switches

**Advantages**

- Space and weight savings
- Simple mounting
- Improved temperature and power cycling
- Reduced protection circuits



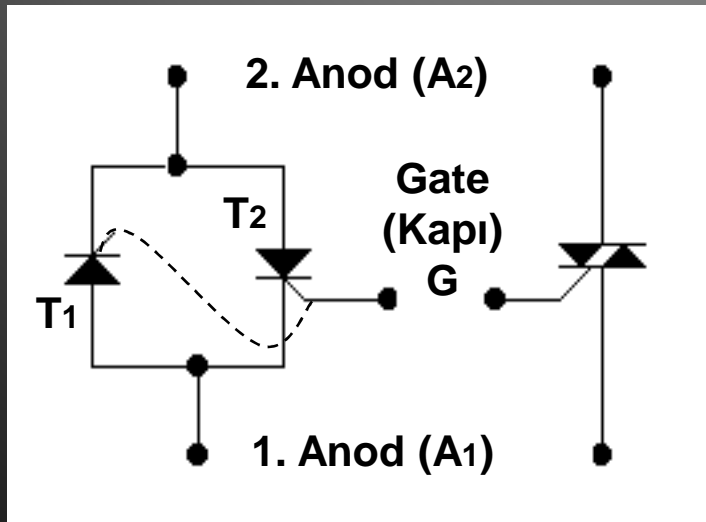
## ÖDEV-2

2.1 - 380V-50Hz 3 fazlı şebekeden yararlanarak 512V-50A'lık bir kontrolsüz doğrultucu yapılmak istenmektedir. Bu doğrultucu için uygun bir **diyot** belirleyerek internet ortamında bilgi yapıtları (datasheets) üzerinden araştırınız. Diyot yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.

2.2 - 380V-50Hz 3 fazlı şebekeden yararlanarak 512V-100A'lık bir kontrollü doğrultucu yapılmak istenmektedir. Bu doğrultucu için uygun bir **tristör** belirleyerek internet ortamında bilgi yapıtları (datasheets) üzerinden araştırınız. Tristör yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Çift Yönlü Tristör (Tiyak),  
Temel Yapısı ve Çalışması;
- Çift yönlü tristörler (Triac-  
Tiyak), aslında aşağıdaki  
Şekil-2.31'de görüldüğü gibi  
birbirine ters paralel bağlanmış  
iki adet tristör gibi  
düşünülebilmektedir.



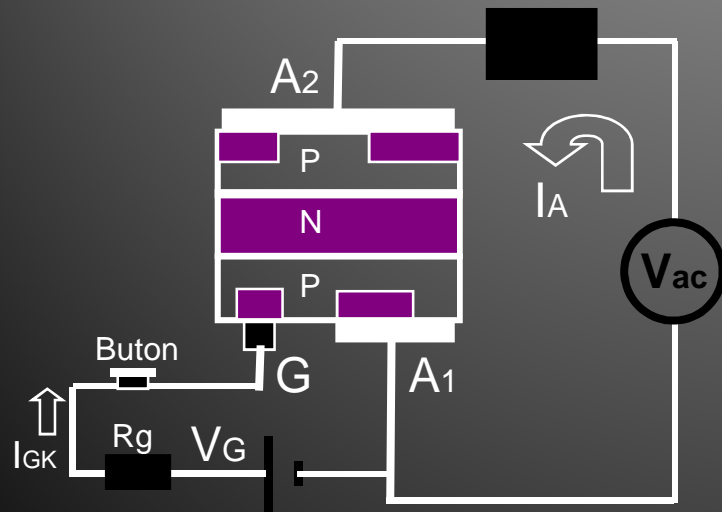
- Triyak, her alandaki endüstriyel elektronik uygulamalarında, AC gerilimin anahtarlama ve kontrol edilmesi amacıyla çok yoğun olarak kullanılan bir güç yarıiletken elemanıdır.
- Yapısından da anlaşılacağı gibi tristör (SCR) ile aynı özellikleri göstermektedir. Tristörden tek farkı, her iki yönde de rahatlıkla iletme geçebilmesidir.
- Triyak, tıpkı SCR gibi sadece iletme geçmesi kontrol edilebilen bir anahtardır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Triyak'ın yalıtıma geçebilmesi için ise içinden geçmekte olan akımın sıfıra düşmesi veya düşürülmesi gerekmektedir.
- Triyak, iletimde olduğunda tam iletim, yalıtımda olduğunda ise tam yalıtım durumunda bulunur, geçiş anı dışında herhangi ara durumu yoktur.
- Triyak'ın, genel amaçlı tristörler (SCR) gibi en önemli özelliği düşük frekanslarda çalışmak için imal edilmiş olmalarıdır ki ideal çalışma frekansları 50-60Hz, max. frekansları ise 1kHz'dir.
- Triyaklar, çift yönlü olmaları nedeniyle, genel amaçlı tristörler gibi, çok yüksek akım ve gerilimlerde kullanılamamaktadır. Ancak 1200V-300A civarına kadar olanlar bulunmaktadır.
- Ayrıca triyakların iletim iç dirençleri de SCR'ler gibi çok düşük değildir. Bu nedenle çok yüksek akımlı uygulamalarda genellikle triyak yerine birbirine ters paralel bağlanmış olan SCR'ler tercih edilmektedir.
- Bu özellikleri ile triyaklar, şebeke geriliminde kontrollü anahtar ve şebeke değiştirici olarak çalışabilen çok kullanışlı yarıiletken elemanlardır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

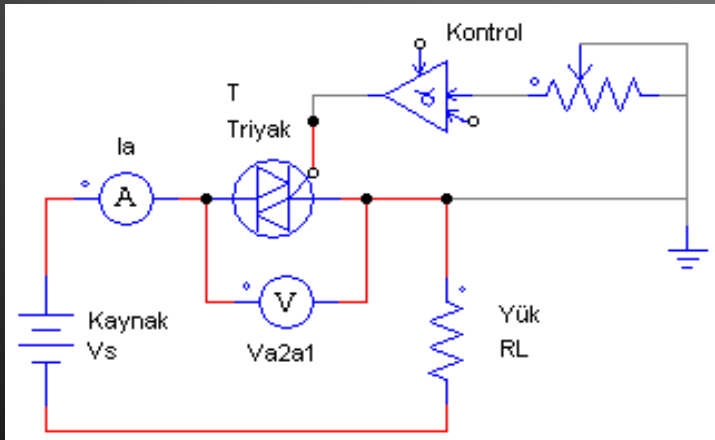
- Çift Yönlü Tristörün (Triyak) Çalıştırılması;
- Şekil-2.32'de triyak'ın çalıştırılması yarıiletken yapı üzerinde görülmektedir. Burada " $V_{ac}$ " kaynağı, yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır.  $V_G$  ise tristörü uyarmada kullanılan kaynaktır.



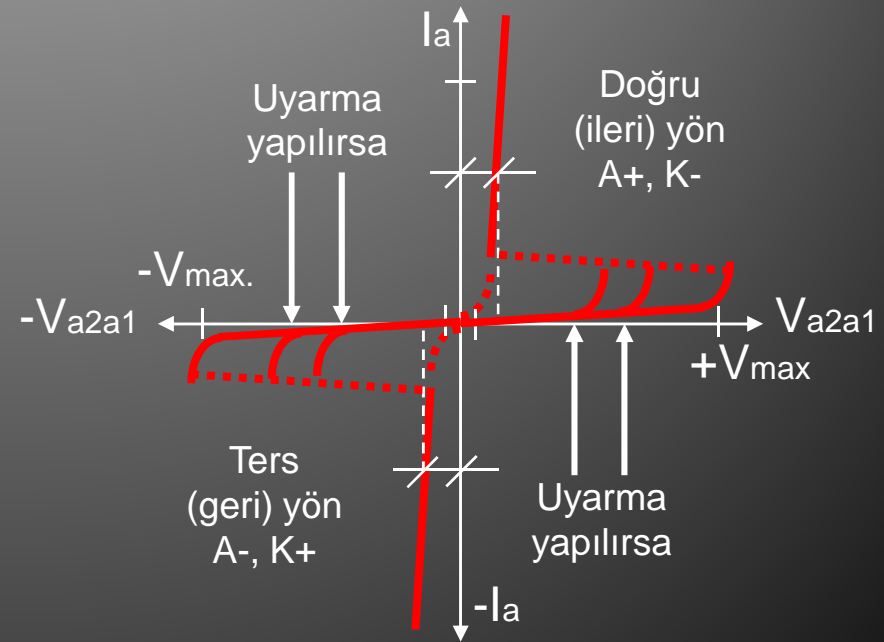
- Triyak'ın çalışmasını görebilmek için Şekil-2.32'de görülen bağlantı yapılır. Butona basılmadığı sürece triyak, doğru ve ters yönde blokaj (yalıtım) durumunda kalacaktır.
- Triyak'ı iletme geçirebilmek için butona basıldığında triyak'ın G-A1 terminalleri arasında çok kısa bir süre için  $I_{GK}$  akımı dolaşır.
- Bu durumda G-K arasındaki P-N maddeleri iletken haline gelir ve  $A_2$ - $A_1$  arasında sadece tek P-N birleşimi kalacağı için triyak iletim "on" durumuna geçer ve yük üzerinden  $I_A$  akımı akar.
- Triyak iletime geçtikten sonra alternans değişiminde susacağı için butona sürekli basmalıdır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Triyak'ın Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.33'de triyak'ın temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Aşağıdaki bağlantı şekli ile Triyak'ın doğru yön çalışması, devredeki " $V_s$ " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.34'de ise triyak'ın temel karakteristik eğrilerinden akım-gerilim ( $I_a$ - $V_{a1a2}$ ) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) görülmektedir.



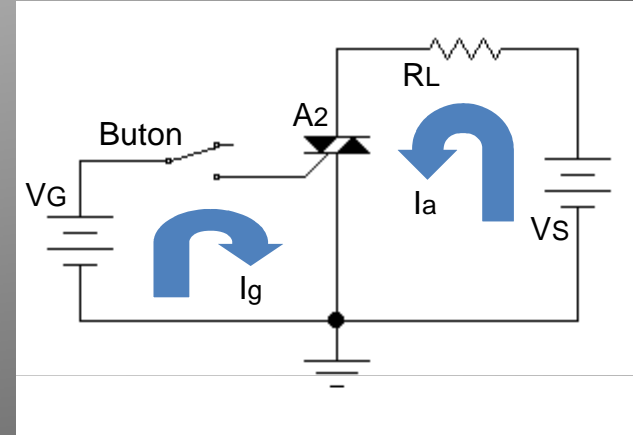
## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde  $0,7V$ 'dan sonra kendiliğinden ilettime geçerken, triyak ancak  $V_{max}$ . gerilimine ulaşıldığında kendiliğinden ilettime geçmektedir.
  - Bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. Triyak'ın her iki yönde de normal olarak ilettime geçebilmesi için uyarılması gerekmektedir.
  - Triyak'ın uyarılması G-A<sub>1</sub> terminalleri arasından yapılır.
  - Ters yönde ise triyak yine  $V_{max}$ . gerilim değerine kadar güvenle yalıtımda kalacak (blokaj yapacak), bu değer aşılsa ise ilettime geçecektir. Tabii ki bu şekilde ilettime geçme asla istenmez.
- Bu durumda, triyak'ın, doğru yönlü ( $A_{2+}$ ,  $A_{1-}$ ) gerilimde uyarılmaz ise blokaj yapan, uyarıldığı takdirde ise tam ilettime geçen, doğru yönlü gerilim altında kontrol edilebilen,
  - Ters yönlü ( $A_{2-}$ ,  $A_{1+}$ ) gerilimde ise yine uyarılmaz ise blokaj yapan, uyarıldığı takdirde ise tam ilettime geçen, hem doğru hem de ters yönlü gerilim altında kontrol edilebilen, bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
  - Triyak, bu özellikleriyle AC'de çalıştırılmak için uygun bir anahtar durumundadır.
  - Fakat, triyak da SCR gibi içinden geçen akım sıfıra düşmedikçe yalıtıma geçmemektedir.

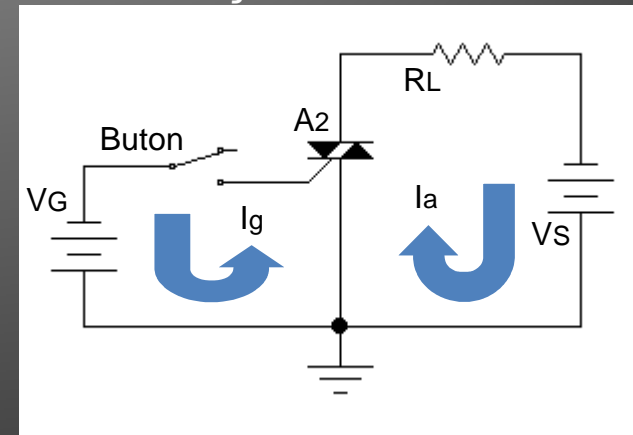
## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Triyak'ın uyarılma yöntemleri;
- Triyak'ın G-A<sub>1</sub> arasından uyarılması sırasında 4 farklı durum bulunmaktadır.
- 1- A<sub>2</sub>(+) A<sub>1</sub>(-) olması durumunda, G(+) A<sub>1</sub>(-).
- 2- A<sub>2</sub>(-) A<sub>1</sub>(+) olması durumunda, G(-) A<sub>1</sub>(+).
- 3- A<sub>2</sub>(+) A<sub>1</sub>(-) olması durumunda, G(-) A<sub>1</sub>(+).
- 4- A<sub>2</sub>(-) A<sub>1</sub>(+) olması durumunda, G(+) A<sub>1</sub>(-) olması durumlarıdır.

- 1. ve 2. durumlar Şekil-2.35 ve Şekil-2.36'da gösterilmiştir.



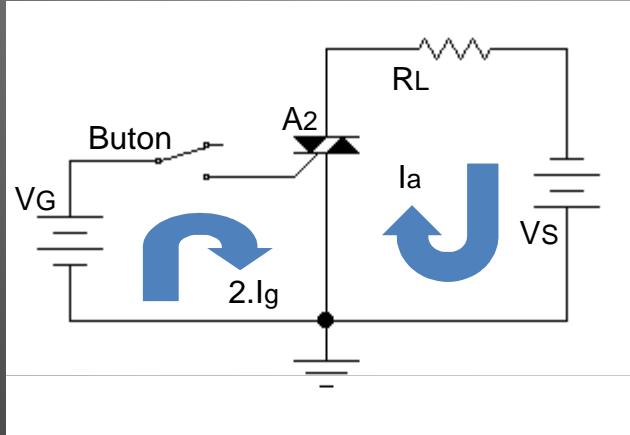
ŞEKİL-2.35



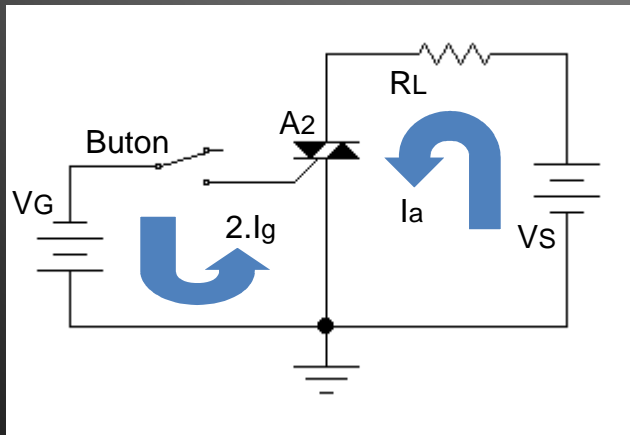
ŞEKİL-2.36

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 3. ve 4. durumlar ise Şekil-2.37 ve Şekil-2.38'de gösterilmiştir.



ŞEKİL 2.37



ŞEKİL 2.38

- Şekillerden görüldüğü gibi 1. ve 2. durumlarda triyakın gate ( $I_g$ ) ve anod ( $I_a$ ) akımları aynı yönlü olarak, 3. ve 4. durumlarda ise bu akımlar birbirlerine ters hareket etmektedir.
- Her durumda da triyak'ın uyarılması mümkün olmaktadır. Fakat, triyak 1. ve 2. durumlarda daha düşük uyarma akımıyla ve daha kolaylıkla uyarılabilirken, 3. ve 4. durumlarda ise daha yüksek uyarma akımıyla (yaklaşık 2 kat) uyarılabilmektedir.

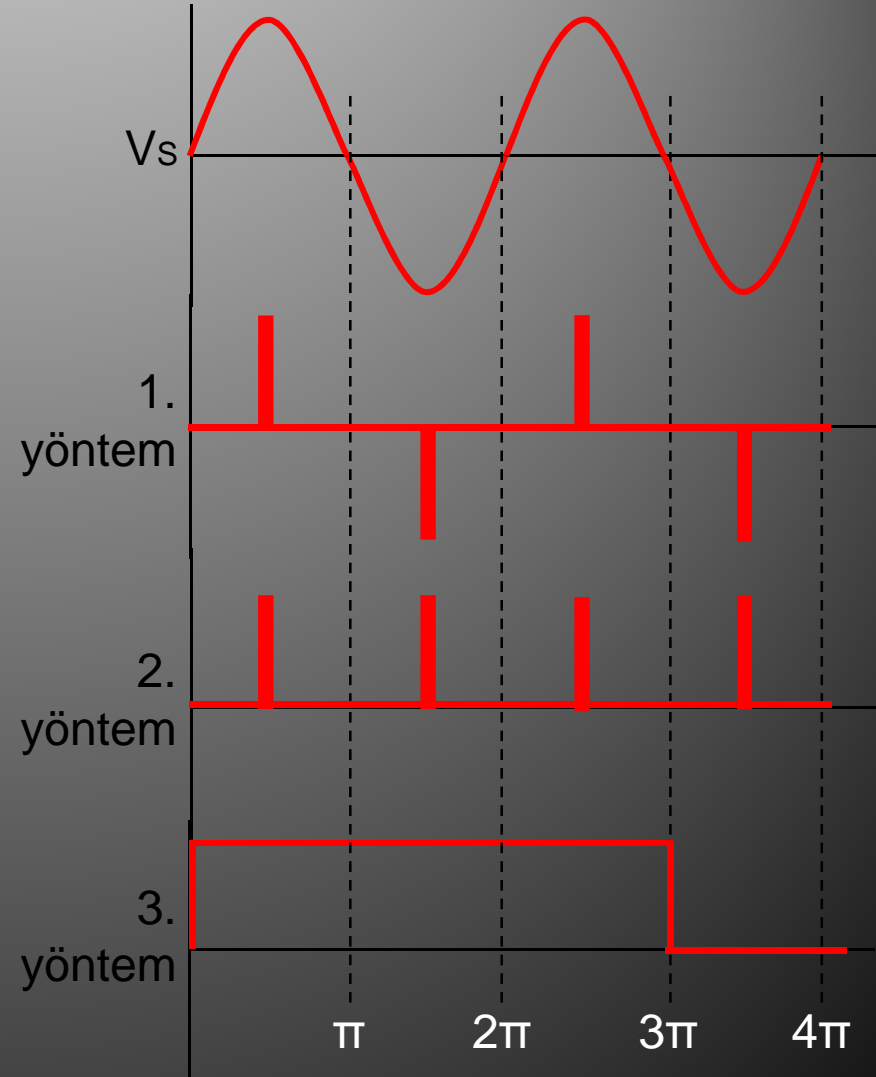


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Bu durumda triyak'ın AC kaynaktan çalıştırılırken uyarılabilmesi için farklı farklı uyarma yöntemi kullanılmasına imkan tanımaktadır.

Buna göre triyak'ın uyarılması Şekil-2.39'dan görüldüğü gibi,

- 1- Çift yönlü iğne pals kullanılarak uyarma,
  - 2- Tek yönlü iğne pals kullanılarak uyarma,
  - 3- Düşük frekanslı kare dalga kullanarak uyarma,
- olmak üzere 3 farklı şekilde yapılabilmektedir.

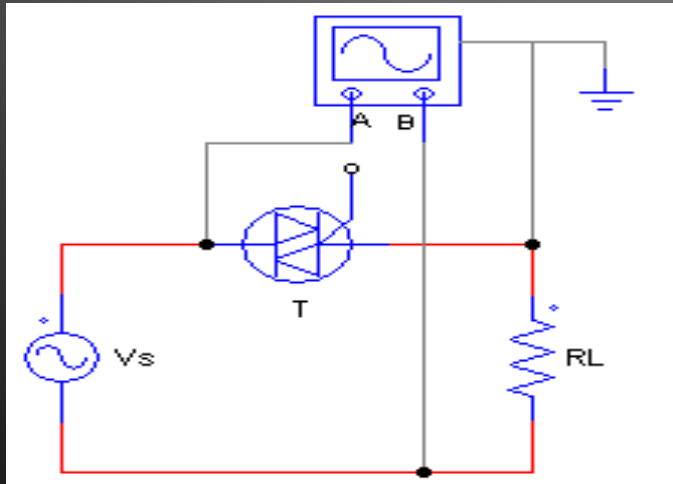


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

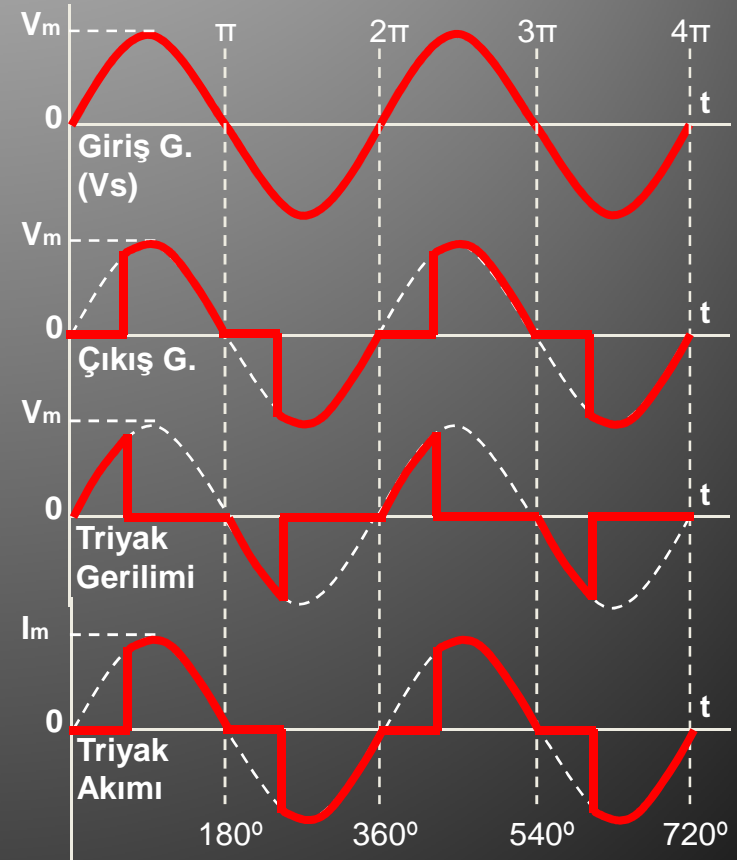
- Uygulamada, yukarıda belirtilen uyarma yöntemlerinin hepsi de triyak uyarmak için kullanılabilmesine rağmen, triyak'ın kullanıldığı yere ve yapacağı işe göre en uygun yöntem seçilerek kullanılmaktadır.
- Bu yöntemlerden birincisi, triyak uyarmak için, daha sonra ayrıntısıyla tanıtılacak, özel olarak üretilmiş olan “Diyak” isimli uyarma elemanı ile oluşturulmakta ve basit uygulamalarda kullanılmaktadır.
- İkinci uyarma yöntemi özel uyarma entegreleri veya analog-lojik devre elemanları yardımıyla oluşturulup profesyonel uygulamalarda kullanılmaktadır.
- Üçüncü yöntem ise kare dalga üreteçleri veya mikroişlemci yardımıyla oluşturulmakta ve hem basit hem de profesyonel uygulamalarda kullanılmaktadır.
- Bu uyarma sinyallerinin üretilmesi ve triyak'a uygulanması daha sonra ayrıntısıyla açıklanacaktır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Triyak'ın Çalışma Dalga Şekilleri;
- Yarıiletken güç anahtarlarının çalışma durumlarının görülmesi için aktif çalışma sırasındaki akım-gerilim dalga şekillerinin incelenmesi gerekmektedir.
- Triyak'ın doğru ve ters polarmada davranışlarını inceleyebilmek için Şekil-2.40'daki bağlantı yapılabilir.



- Şekil-2.41'de ise triyak devresinin AC kaynaktan çalışması sırasındaki dalga şekilleri görülmektedir.



## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.41'den görüldüğü gibi 0-180° aralığında triyak istenirse uyarılarak iletme (on) geçirilebilir, çıkış gerilimi triyak iletme geçmesinden itibaren görünmeye başlar. Bu sırada triyak üzerindeki gerilim sıfır (iletim gerilim düşümü ihmal ediliyor), triyak üzerinden geçen akım ise kaynak veya yük akımı ile aynıdır.
- 180°-360° aralığında ise triyak istenirse uyarılarak iletme (on) geçirilebilir, çıkış gerilimi triyak iletme geçmesinden itibaren görünmeye başlar. Bu sırada triyak üzerindeki gerilim sıfır (iletim gerilim düşümü ihmal ediliyor), triyak üzerinden geçen akım ise kaynak veya yük akımı ile aynıdır.
- **Triyakların Seri Bağlanması;**
- Özellikle yüksek gerilim altında çalıştırılacak olan triyaklarda triyak, uyarılmadığında üzerine gelen çok yüksek doğru ve ters gerilimleri bloke etmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen triyak'ın çalışma gerilimi, uygulamada üzerine gelecek olan gerilimden en az %30 daha fazla olması gerekmektedir ki sağlıklı bir çalışma sağlanabilsin.
- Uygulama sırasında mevcut triyakların bu şartı sağlayamaması durumunda daha önce açıklanan kurallara uygun olarak seri bağlama yoluna gidilir ve istenilen çalışma gerilimine ulaşılabilir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI


- Triyakların Paralel Bağlanması;
- Özellikle yüksek akım altında çalıştırılacak olan triyak'larda, triyak'ın üzerinden geçmesi gereken çok yüksek seviyeli akıma dayanabilmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen triyak çalışma akımı, uygulamada üzerinden geçecek olan akımdan en az %30 daha fazla olması gerekmektedir ki sağlıklı bir çalışma sağlanabilsin.
- Uygulama sırasında mevcut triyakların bu şartı sağlayamaması durumunda daha önceden açıklandığı gibi paralel bağlama yoluna gidilir ve bu sayede istenilen çalışma akımına ulaşılabilir.
- Triyaklarda  $dv/dt$  ve  $di/dt$  korumasının sağlanması;
- Bilindiği gibi ani değişen akım ve gerilimde yarıiletken güç anahtarları istenmediği halde üzerlerinden akım geçirmekte ve yanmaktadırlar.
- Triyak için de bu olay tamamen geçerlidir ve bu iş için mutlaka önlem alınmalıdır.
- $dv/dt$  için alınması gereken önlem tıpkı diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana paralel olarak uygun bir R-C devresinin bağlanmasıdır.
- $di/dt$  için alınması gereken önlem ise yine diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana seri olarak uygun bir endüktansın (L) bağlanmasıdır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Triyak'ın Kontrol Dışı İletime Geçmesi;
  - Triyakların kontrol dışı olarak iletme geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar;
    - 1- Yüksek sıcaklık,
    - 2- Yüksek voltaj,
    - 3- Hızlı gerilim değişimi,
    - 4- Hızlı akım değişimidir.
  - Triyakın bu durumlarda kontrol dışı olarak iletme geçmesini engellemek için genel amaçlı tristörde (SCR) açıklandığı gibi alınan tüm önlemlerin aynı şekilde alınması gerekmektedir.
- Triyak'ın Yalıtıma Geçirilmesi;
  - Triyak, genel amaçlı tristör (SCR) gibi iletme geçmesi kontrol edilebilen fakat yalıtıma geçmesi kontrol edilemeyen bir yarıiletken güç anahtarıdır.
  - Triyak'ın yalıtıma geçebilmesi için diyotlarda olduğu gibi ters polarma altına girmesi yeterli değildir. Triyak'ın yalıtıma geçebilmesinin tek şartı,  $A_2-A_1$  arasından akmakta olan akımın çok kısa bir süre için "sıfır"a çekilmesidir. AC'de çalışma sırasında bu olay kendiliğinden gerçekleşir.

# II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

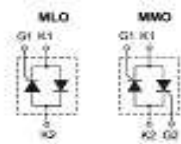
Aşağıda bir triyak'ın bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.

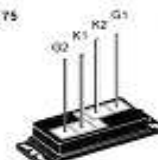


**MLO 75**  
**MMO 75**

### AC Controller Modules

$V_{max}$	$V_{max}$	Type
$V_{max}$	$V_{max}$	
V	V	
1200	1200	MLO 75-120e1
1600	1600	MMO 75-160e1





**$I_{RMS} = 86\text{ A}$**   
 **$V_{RRM} = 1200-1600\text{ V}$**

Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings
$I_{avg}$	$T_c = 85^\circ\text{C}$ , 50 - 400 Hz (for single controller)	88 A
$I_{rms}$	$T_c = T_{max}$	82 A
$I_{DRM}$	$T_c = 85^\circ\text{C}$ , (180° sine)	39 A
$I_{TSM}$	$T_c = 45^\circ\text{C}$ , $V_a = 0$ , $t = 10\text{ ms}$ (50 Hz), sine	1150 A
	$t = 8.3\text{ ms}$ (50 Hz), sine	1230 A
P <sub>T</sub>	$T_c = 45^\circ\text{C}$ , $V_a = 0$ , $t = 10\text{ ms}$ (50 Hz), sine	1000 A
	$t = 8.3\text{ ms}$ (50 Hz), sine	1100 A
di/dt  <sub>SM</sub>	$T_c = T_{max}$ , $f = 50\text{ Hz}$ , $I_a = 200\text{ }\mu\text{A}$ , $V_a = 2/3 V_{DRM}$ , $I_a = 0.45\text{ A}$ , $d_a/dt = 0.45\text{ A}/\mu\text{s}$	100 A/ $\mu\text{s}$
	non repetitive, $I_a = I_{TSM}$	500 A/ $\mu\text{s}$
dv/dt  <sub>SM</sub>	$T_c = T_{max}$ , $R_{th} = \infty$ , method 1 (linear voltage rise)	1000 V/ $\mu\text{s}$
P <sub>case</sub>	$T_c = T_{max}$ , $I_a = I_{DRM}$	10 W
	$t_p = 30\text{ }\mu\text{s}$	5 W
P <sub>control</sub>	$I_a = I_{DRM}$ , $t_p = 300\text{ }\mu\text{s}$	0.5 W
		10 V
T <sub>case</sub>		-40...+125 °C
T <sub>case</sub>		125 °C
T <sub>case</sub>		-40...+125 °C
V <sub>peak</sub>	50/50 Hz, RMS	3000 V-
	$I_{DRM} \leq 1\text{ mA}$	3500 V-
M <sub>0</sub>	Mounting torque (N·m) (JNF 4-32)	0.7 ± 0.1 N·m
		8 ± 0.9 lb·in.
Weight	typ.	15 g

K1 = Cathode 1, G1 = Gate 1  
 K2 = Cathode 2, G2 = Gate 2  
 (MLO 36 has no G2 lead)

**Features**

- Thyristor controller for AC (circuit W1C acc. to IEC) for mains frequency
- Direct copper bonded Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -ceramic base plate
- Isolation voltage 3800 V-
- Plastic passivated chips
- UL registered, E 72873
- Long wire leads suitable for PCB board soldering

**Applications**

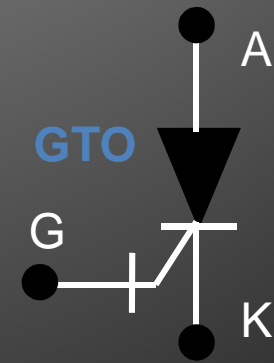
- Switching and control of single and three phase AC
- Softstart AC motor controller
- Solid state switches
- Light and temperature control

**Advantages**

- Easy to mount with two screws
- Space and weight savings
- Improved temperature and power cycling
- High power density

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Kapısından Tıkanabilen Tristör (GTO), Yapısı ve Çalışması;**
  - Bilindiği gibi genel amaçlı tristörler ve triyak'larda sadece iletme geçme işi kontrol terminalleri üzerinden kontrol edilebilmekte, yalıtıma geçmeleri ise kontrol terminalleri üzerinden kontrol edilememektedir.
  - Bu olay özellikle DC kaynakta çalışma sırasında bu çok kötü bir özellik ve eksiklik olarak karşımıza çıkmakta ve elemanı yük altında susturabilmek için başka işlemler gerekmektedir.
- İşte GTO bu eksikliğı gidermek amacıyla yapılan çalışmalar sonrasında ortaya çıkan bir güç anahtarıdır. Şekil-2.42'de sembolü görülen GTO, gate (kapı) terminali ile katod terminali arasından, pozitif pals ile uyarıldığında iletme, negatif pals ile uyarıldığında ise yalıtıma geçmektedir.



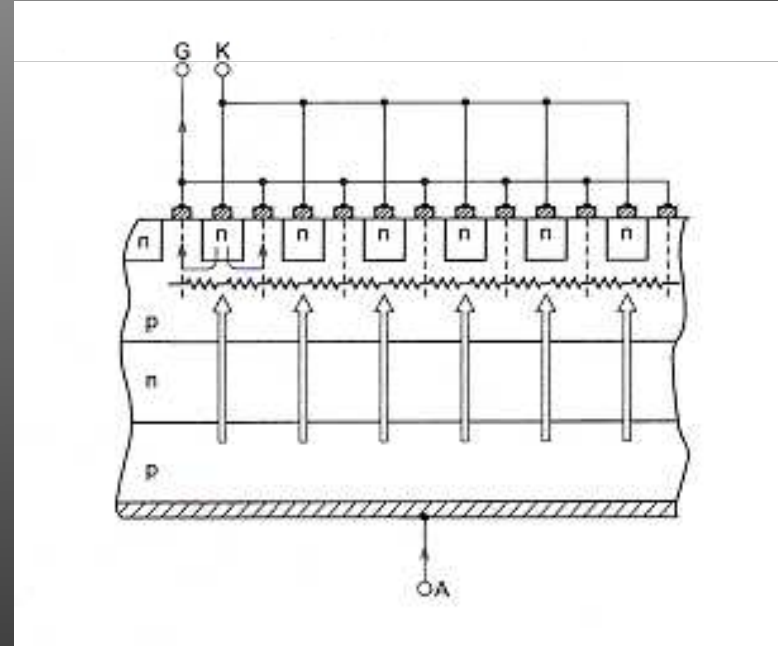


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- GTO'nun kontrollu olarak ilettime geçirilebilmesi için SCR ve triyak'ta olduğu gibi çok kısa süreli (1-2ms) bir pozitif pals uygulanması ve G'den K'ya doğru küçük bir uyarma akımının akıtılması yeterli olmaktadır.
- Yine GTO'nun kontrollu olarak yalıtıma geçirilebilmesi için ise çok kısa süreli fakat bu defa G-K arasına negatif bir palsin uygulanması ve K'dan G'ye doğru daha büyük negatif bir susturma akımının akıtılması gerekmektedir.
- Bu özellikleri nedeniyle kapısından tıkanabilen tristör(GTO), DC'de çalıştırılan bir SCR'ye göre aşağıdaki avantajlara sahip olunmaktadır.
  - 1- Tristör susturma düzeneklerinden kurtulma,
  - 2- Daha temiz, küçük, ucuz düzenekler elde edilmesi,
  - 3- Hızlı susturulabildiği için yüksek frekansta çalışma,
  - 4- Devre veriminin artmasıdır.
- Bu durumda özellikle yüksek güçlü DC devrelerde uygundur.

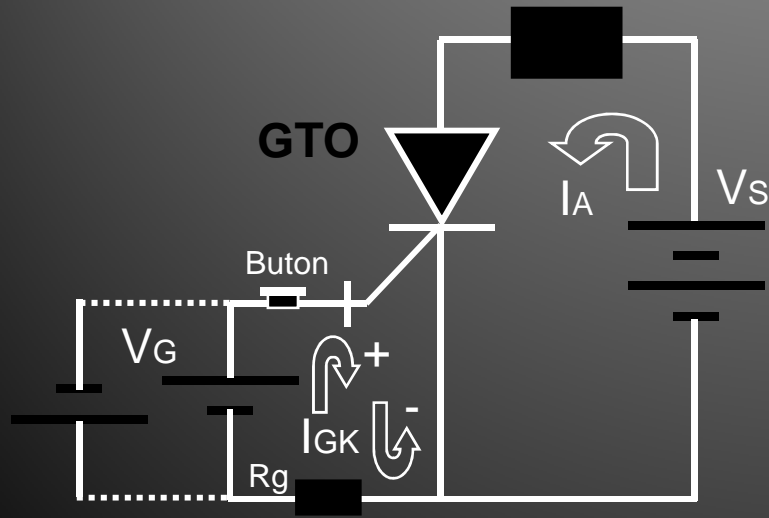
## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 1200V-500A seviyelerine kadar versiyonları olan GTO'lar özellikle çok yüksek güçlü DC-DC dönüştürücülerde ve yüksek güçlü düşük frekanslı invertör uygulamalarında tercih edilmektedirler.
  - Özellikle metro, elektrikli tren gibi toplu taşıma araçlarında DC motor kullanılması durumunda GTO'lar çok yüksek güçlü olan bu motorların kontrolünde vazgeçilmez hale gelmektedir.
  - Örnek olarak, 750Vdc ile çalışan İzmir metrosunun araçlarıdır.
- Aşağıdaki şekilde bir GTO'nun yarıiletken katman yapısı görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi tek gate (kapı) terminali olduğu halde açma ve kapatma işi farklı tabakalardan yapılmaktadır.



## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

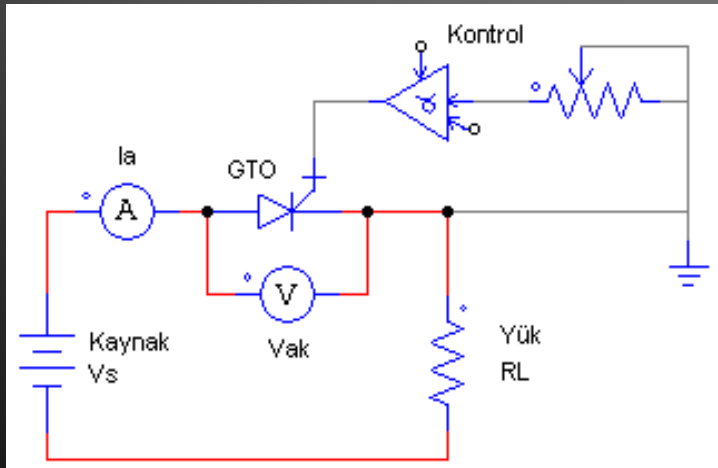
- **Kapısından Tıkanabilen Tristörün Çalıştırılması;**
- Aşağıdaki Şekil-2-44'de GTO'nun çalıştırılması görülmektedir. Burada " $V_s$ " kaynağı, yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır.  $V_G$  ise GTO'yu uyardırma kullanılan kaynaktır.



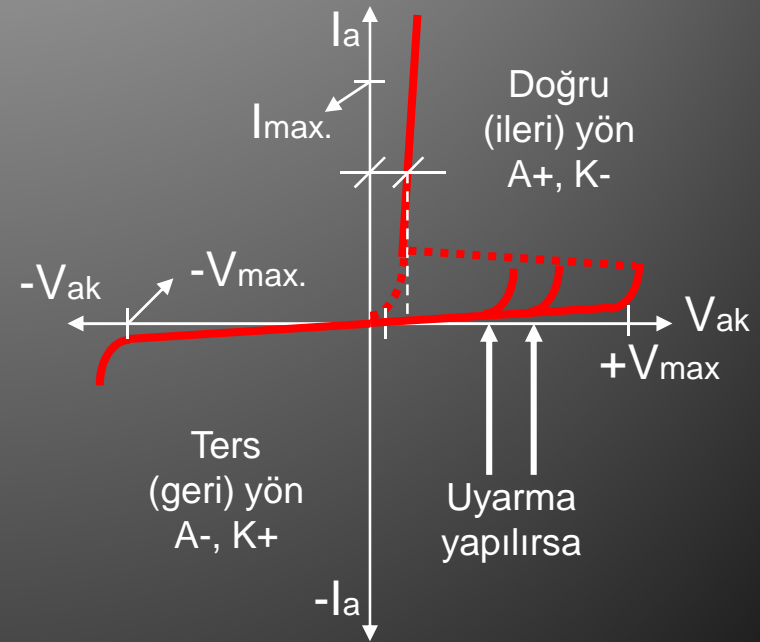
- Şekil-2.44'den görüldüğü gibi GTO pozitif akımla (gate'den katod'a) veya negatif akımla (katod'dan gate'e) uyarılabilmekte fakat yük akımı olarak ( $I_A$ ) sadece pozitif yönde (anod'dan katod'a doğru) akabilmektedir.
- GTO iletme geçirilmek istendiğinde çok kısa bir süre için butona basılarak G-K arasından düz (pozitif) bir akım akması sağlanır.
- GTO yalıtıma geçirilmek istendiğinde ise G-K arasından ters (negatif) akım akıtılır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- GTO'nun Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.45'de GTO'nun temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Şekil-2.45'de verilen bağlantı ile GTO'nun doğru yön çalışması, devredeki " $V_s$ " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.46'da ise GTO'nun temel karakteristik eğrilerinden akım-gerilim ( $I_a$ - $V_{ak}$ ) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) görülmektedir.

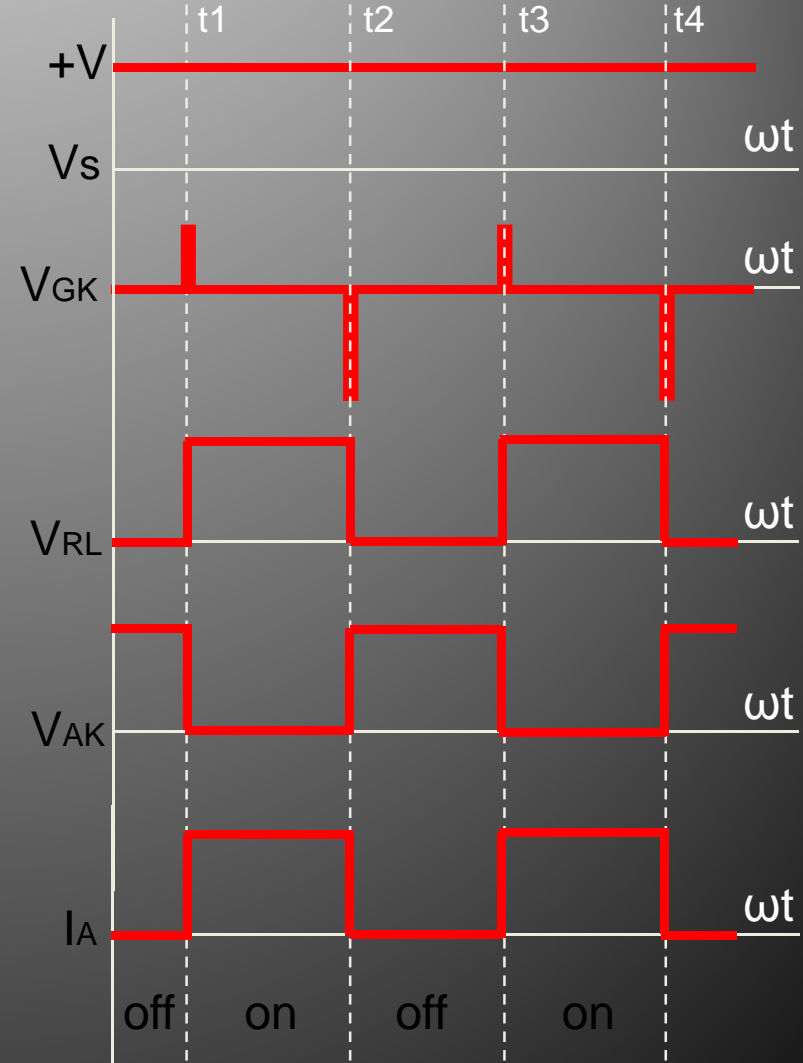
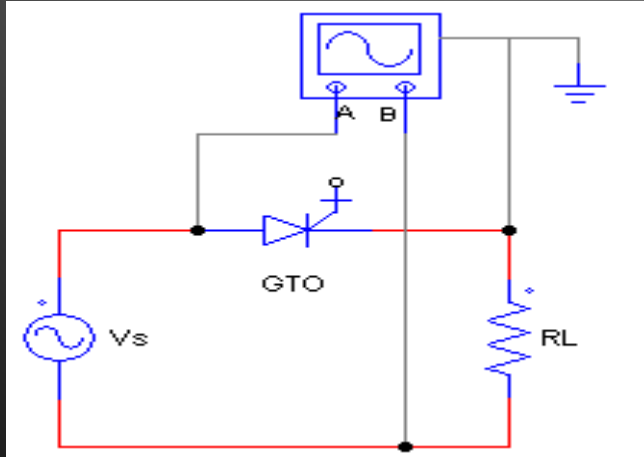


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde 0,7V'dan sonra kendiliğinden ilettime geçerken, GTO ancak  $V_{max}$  gerilimine ulaşıldığında kendiliğinden ilettime geçmektedir.
  - Bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. GTO'nun doğru yönde de normal olarak ilettime geçebilmesi için pozitif akımla, yalıtıma geçirilebilmesi içinse negatif akımla uyarılması gerekmektedir.
  - Ters yönde ise GTO yine  $V_{max}$  gerilim değerine kadar güvenle yalıtımda kalacak (blokaj yapacak), bu değer aşılsa ise ilettime geçecektir. Tabii ki bu şekilde ilettime geçme asla istenmez.
- Bu durumda GTO'nun, doğru yönlü (A+, K-) gerilimde uyarılmaz ise blokaj yapan, uyarıldığı takdirde ise tam ilettime geçen, doğru yönlü gerilim altında iletimi ve yalıtımı kontrol edilebilen,
  - Ters yönlü (A-, K+) gerilimde ise yine uyarılmaz ise blokaj yapan, uyarıldığı takdirde ise bozulma ihtimali yüksek olan tek yönlü akım akıtan bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
  - GTO, bu özellikleriyle DC'de çalıştırılmak için çok uygun bir anahtar durumundadır.
  - GTO'nun bu özelliği sayesinde SCR'de kullanılan zorla susturma düzenekleri kullanılmaz.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.47'de GTO'nun DC çalışmasını izleyebilmek için kurulan devre görülmektedir.
- Yandaki Şekil-2.48'de ise GTO'nun DC kaynak altında iletim ve yalıtımının kontrol edilmesi, devrenin çalışma dalga şekilleriyle birlikte verilmiştir.



## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.48'den görüldüğü gibi 0-t1 aralığında herhangi bir uyarı verilmediği için GTO yalıtımda bulunmaktadır.
  - t1 anında GTO'nun G-K arasına pozitif bir uyarma (tetikleme) palsi uygulandığında eleman hemen ilettime geçmektedir.
  - t1-t2 aralığında iletimde kalan GTO'ya t2 anında daha büyük ve negatif bir tetikleme palsi uygulandığında eleman hemen yalıtıma geçmektedir.
  - t3 anında eleman tekrar pozitif pals ile uyarıldığında yine ilettime geçmektedir.
  - Kısacası hem ilettime hem de yalıtıma geçmesi G-K arasından rahatlıkla kontrol edilebilir ve bu işlem istenilen sıklıkta yapılır.
- **GTO'ların Seri ve Paralel Bağlanması;**
  - GTO'lar özellikle DC'de yüksek akım ve gerilimlerde çalışmak için imal edilmiş yarıiletken güç anahtarları olduğu için pek fazla seri ve paralel bağlamaya ihtiyaç olmaz.
  - Buna rağmen çok daha yüksek akım ve gerilimlerde çalışılması gerektiğinde tıpkı tristörlerde olduğu gibi seri veya paralel bağlanma prosedürü uygulanır.
  - Tabii ki kontrol devresi de tüm elemanlar için yapılandırılır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- GTO'larda  $dv/dt$  ve  $di/dt$  korumasının sağlanması;
- Bilindiği gibi ani değişen akım ve gerilimde yarıiletken güç anahtarları istenmediği halde üzerlerinden akım geçirmekte ve yanmaktadırlar.
- GTO için de bu olay tamamen geçerlidir ve bu iş için mutlaka önlem alınmalıdır.
- $dv/dt$  için alınması gereken önlem tıpkı diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana paralel olarak uygun bir R-C devresinin bağlanmasıdır.
- $di/dt$  için alınması gereken önlem ise yine diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana seri olarak uygun bir endüktansın (L) bağlanmasıdır.
- GTO'nun Kontrol Dışı İletime Geçmesi;
- GTO'nun kontrol dışı olarak iletme geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar;
  - 1) Yüksek sıcaklık,
  - 2) Yüksek voltaj,
  - 3) Hızlı gerilim değişimi,
  - 4) Hızlı akım değişimi.
- GTO'nun bu durumlarda kontrol dışı olarak iletme geçmesini engellemek için diyotlarda ve genel amaçlı tristörde (SCR) açıklandığı gibi alınan tüm önlemlerin aynı şekilde alınması gerekmektedir.



# II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda bir GTO'nun bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.

**DYNEX**

**DGT304RE**  
Reverse Blocking Gate Turn-off Thyristor

Replaces February 2002 version, issue DG5518-2.1

D55518-3.0 July 2004

**FEATURES**

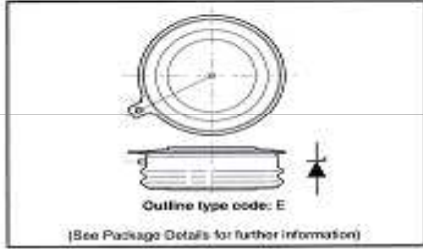
- Reverse Blocking Capability
- Double Side Cooling
- High Reliability In Service
- High Voltage Capability
- Fault Protection Without Fuses
- High Surge Current Capability
- Turn-off Capability Allows Reduction In Equipment Size And Weight, Low Noise Emission Reduces Acoustic Cladding Necessary For Environmental Requirements

**KEY PARAMETERS**

$I_{TCM}$	700A
$V_{DRM}/V_{RRM}$	1300V
$I_{TAV}$	250A
$dV_G/dt$	500V/ $\mu$ s
$di_G/dt$	500A/ $\mu$ s

**APPLICATIONS**

- Variable speed A.C. motor drive inverters (VSD-AC)
- Uninterruptable Power Supplies
- High Voltage Converters
- Choppers
- Welding
- Induction Heating
- DC/DC Converters



**VOLTAGE RATINGS**

Type Number	Repetitive Peak Off-state Voltage $V_{DRM}$ V	Repetitive Peak Reverse Voltage $V_{RRM}$ V	Conditions
DGT304RE13	1300	1300	$T_{st} = 125^{\circ}\text{C}$ , $I_{TSM} = 50\text{mA}$ , $I_{TAV} = 50\text{mA}$ , $V_{G0} = 2\text{V}$

**CURRENT RATINGS**

Symbol	Parameter	Conditions	Max.	Units
$I_{TCM}$	Repetitive peak controllable on-state current	$V_G = 60\%V_{DRM}$ , $T_{st} = 125^{\circ}\text{C}$ , $dI_G/dt = 15\text{A}/\mu\text{s}$ , $C_s = 2.0\mu\text{F}$	700	A
$I_{TAV}$	Mean on-state current	$T_{st} = 80^{\circ}\text{C}$ , Double side cooled, Half sine 50Hz.	250	A
$I_{TRMS}$	RMS on-state current	$T_{st} = 80^{\circ}\text{C}$ , Double side cooled, Half sine 50Hz.	230	A

1/14

www.dynexsemi.com

## ÖDEV-3

3.1) 380V-50Hz 3 fazlı şebekede çalışacak 380V-50A'lık bir AC kıyıcı yapılmak istenmektedir. Bu kıyıcı için uygun bir **Triyak** belirleyerek internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. Triyak yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.

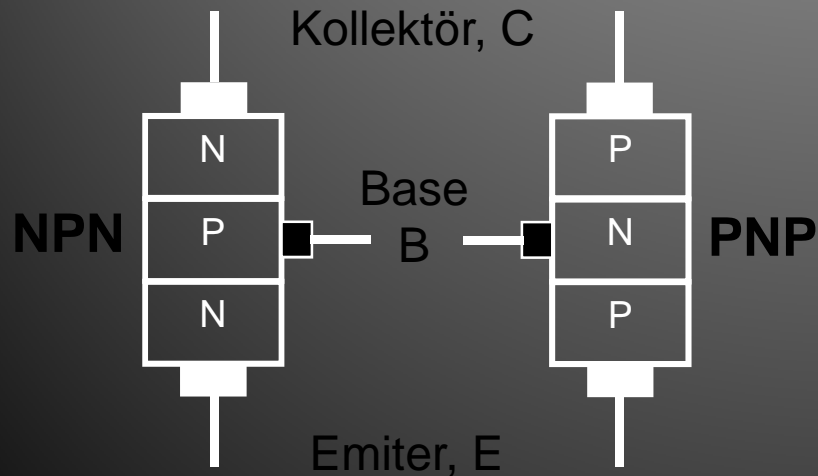
3.2) 750Vdc şebekede çalışacak 100A'lık bir DC-DC dönüştürücü (DC kıyıcı) yapılmak istenmektedir. Bu devre için uygun bir **GTO** belirleyerek internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. GTO yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

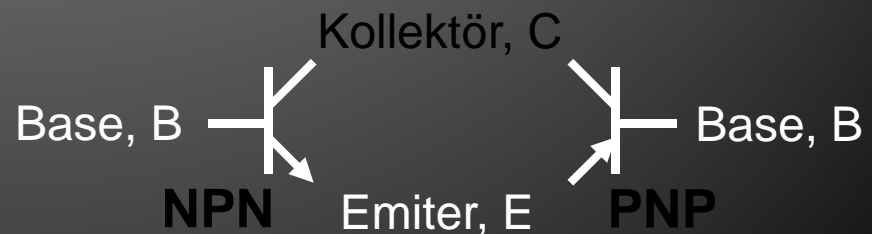
- **GÜÇ TRANSİSTÖRLERİ:**
- Güç transistörleri, kontrollu güç anahtarlarıdır. Üç temel yapıda bulunan bu transistörler;
- 1- Çift polariteli, genel amaçlı transistör (BJT),
- 2- Metal oksitli, alan etkili transistörler (MOSFET),
- 3- Yalıtılmış kapılı transistörler (IGBT),
- Bu türlerin kendilerine ait özellikleri ve buna bağlı olarak da kullanım alanları bulunmaktadır. Şimdi bu türleri ayrıntısıyla inceleyelim.
- **Çift Polariteli Transistör (BJT), Temel Yapısı ve Çalışması:**
- Elektronik alanında ilk geliştirilen ve çok kullanılan elemanlardan birisi olan BJT, bu güne kadar pek çok alanda yoğun bir şekilde kullanılmış ve kullanılmaktadır. Bu alanlardan bazıları;
- Yükselteç olarak,
- Sinyal üretici (osilatör) olarak,
- Alıcı-verici olarak,
- Mantık işlemcisi olarak,
- Anahtarlama elemanı vb. olarak.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Bu kadar fazla iş için kullanılan BJT, güç elektroniği devrelerinde ve endüstriyel elektroniğe de “anahtar” olarak kullanılmaktadır.
- Şekil-2.51’de temel transistör (BJT)’nin yarıiletken yapısı ve sembolleri görülmektedir.



- Görüldüğü ve önceden de bilindiği gibi yarıiletken katmanlarının sıralanışına göre NPN ve PNP olmak üzere iki tür transistör (BJT) bulunmaktadır.
- Transistör (BJT), şu ana kadar tanıtılan elemanların aksine, sadece “on” ve “off” olmak üzere iki durumu olan bir yarıiletken anahtar değildir.
- BJT’nin on ve off arasında bir de amplifikasyon (yükseltme) durumu (bölgesi) bulunmaktadır.

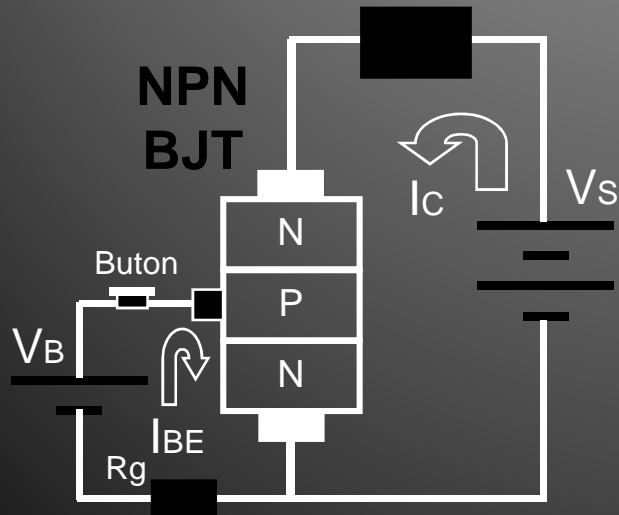


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- BJT' bu sayede çok farklı uygulamalarda kullanılabilir.
- Fakat güç elektroniği uygulamalarında transistörün (BJT) bir anahtar gibi çalışması ve sadece "on" ve "off" durumlarında olması istenmektedir.
- Bu nedenle güç elektroniğinde transistörün (BJT) kullanılması sırasında "anahtar" olarak çalışacak şekilde kontrol edilir.
- Ayrıca güç elektroniği uygulamalarında daha çok NPN transistör tercih edilir.
- Güç elektroniği uygulamalarında daha çok DC-DC dönüştürücü (DC kıyıcı) ve DC-AC dönüştürücü (İnvertör) devrelerinde tercih edilen transistör (BJT), çok düşük frekanslardan (1-2Hz), yüksek frekanslara (20-30kHz) kadar kontrollü anahtar olarak kullanılabilir.
- BJT, tıpkı tristör, triyak ve GTO gibi akım kontrollü bir yarıiletken anahtardır. Farkı ise uyarıldığı sürece iletimde olması uyarı kesildiğinde ise yalıtıma geçmesidir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

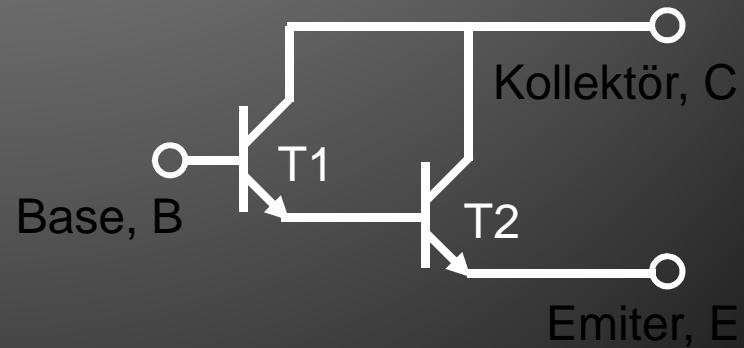
- Çift Polariteli Transistörün (BJT) Çalıştırılması;
- Aşağıdaki Şekil-2.52'de çift polariteli transistörün çalıştırılması yarıiletken yapı üzerinde görülmektedir. Burada  $V_s$  kaynağı yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır.  $V_B$  ise transistörü uyarmada kullanılan kaynaktır.



- Şekil-2.52'den görüldüğü gibi, uyarma butonuna basılmadığı sürece BJT, kollektörü ile emiteri arasına gelen doğru yönlü gerilime blokaj yapacak ve yalıtımda kalacaktır.
- BJT iletme geçirilmek istendiğinde ise uyarma butonuna basılarak beyz (base)'den emitere doğru bir uyarma akımı ( $I_{BE}$ ) akması sağlanır ve bu sayede BJT iletme geçerek kollektörden emitere doğru yük akımını ( $I_c$ ) akıtmaya başlar.  $I_{BE}$  akımı kesildiğinde BJT susar.

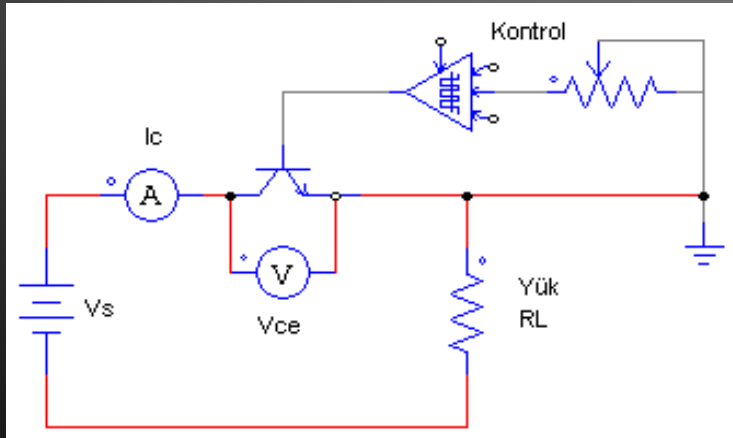
## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Yalnız burada çok önemli bir ayrıntı vardır. BJT'nin sadece “on” ve “off” durumları olmadığı ve ara durumlarda da yarı geçirgen olarak çalışabildiği için, güç elektroniği uygulamalarında BJT'yi uyaracak olan akımın ( $I_{BE}$ ), elemanı tam olarak ilettime geçirebilecek akım seviyesinde olması gerekmektedir.
- BJT'yi tam ilettime geçirecek olan uyarma akımı ( $I_{BE}$ ) seviyesi, üretici tarafından elemanın bilgi yapraklarında ayrıntılı olarak verilmektedir.
- Güç elektroniği uygulamalarında transistör tek olarak kullanılabildiği gibi, yüksek akım seviyelerine çıkabilmek için genellikle üretici tarafından veya kullanıcı tarafından aşağıdaki Şekil-2.53'de görüldüğü gibi “darlington” bağlanarak kullanılmaktadır.

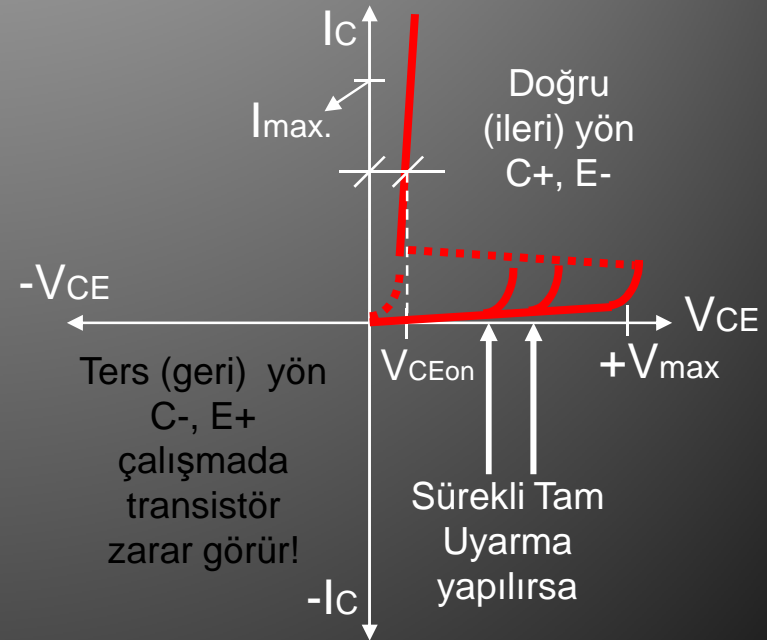


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- BJT'nin Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.54'de BJT'nin temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Şekil-2.54'deki bağlantı şekli ile BJT'nin doğru yön çalışması, devredeki " $V_s$ " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.55'de BJT'nin temel karakteristik eğrilerinden akım-gerilim ( $I_c$ - $V_{CE}$ ) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) farklı bir şekilde görülmektedir.



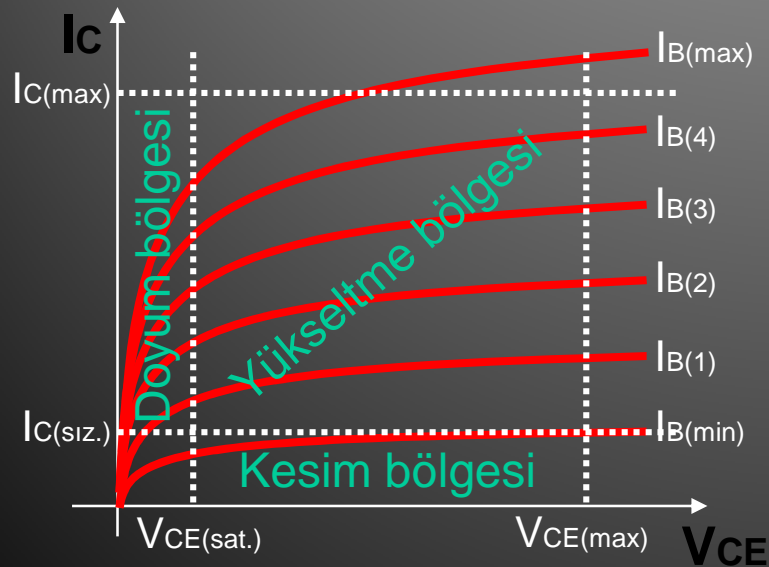


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde 0,7V'dan sonra ilettime geçerken, BJT ancak  $V_{max}$  gerilimine ulaşıldığında ilettime geçer fakat bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. BJT'nin doğru yönde de normal olarak ilettime geçebilmesi için uyarı verilmesi, yalıtıma geçirilebilmesi içinse uyarının çekilmesi gerekmektedir.
- Ters yönde ise BJT asla çalışmaz, yani BJT'nin ters gerilim blokaj kabiliyeti yoktur.
- Bu durumda BJT'nin, doğru yönlü (C+, E-) gerilimde, uyarılmaz ise blokaj yapan, **tam uyarıldığı takdirde ise tam ilettime geçen**, doğru yönlü gerilim altında iletimi ve yalıtımı kontrol edilebilen,
- Ters yönlü (C-, E+) gerilimde ise asla çalışamayan, çalıştırıldığı takdirde bozulan, tek (+) yönlü akım akıtan bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- **BJT, bu özellikleriyle DC'de çalıştırılmak için uygun bir anahtar durumundadır.**
- BJT'nin bu özelliği sayesinde SCR'de kullanılan zorla susturma düzenekleri kullanılmaz.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

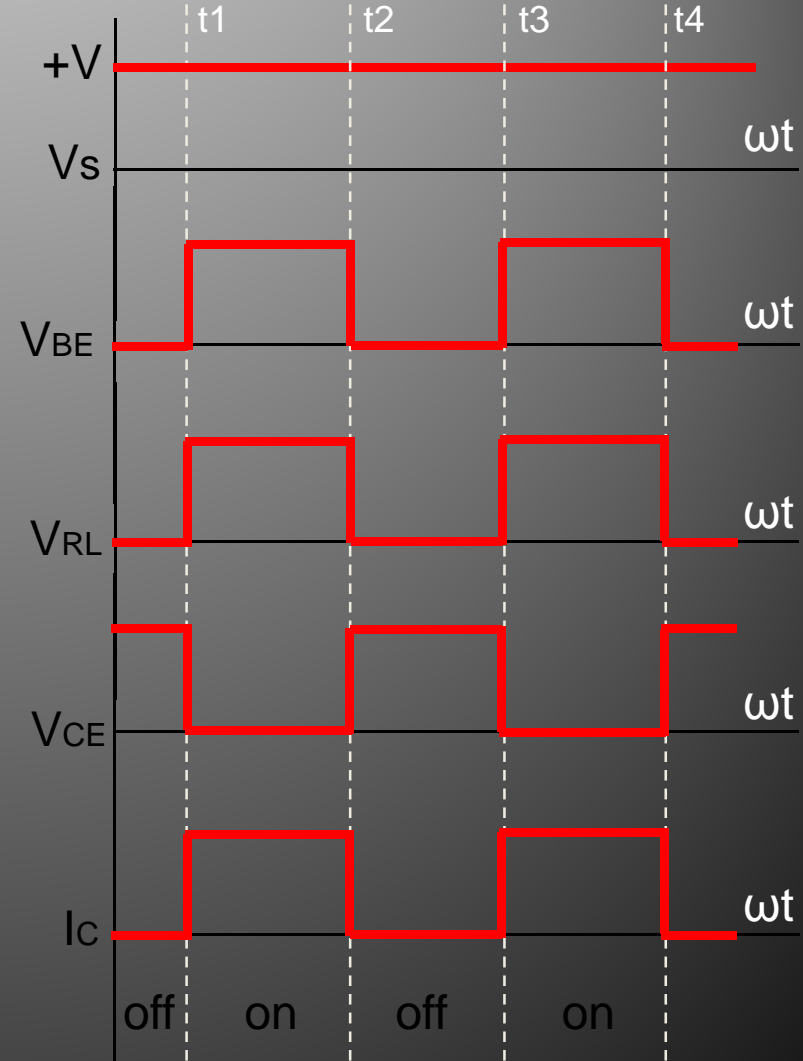
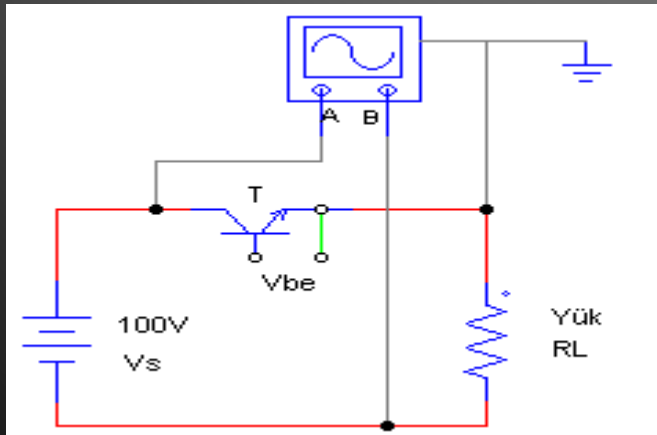
- BJT'lerde elemanın hangi durumlarda tam iletim veya tam yalıtım, hangi durumlarda da amplifikasyon (yükseltme) modunda olduğunu gösteren çok önemli bir karakteristik eğri daha vardır, bu eğri aşağıda Şekil-2.56'da görülmektedir.



- Şekil-2.56'dan görüldüğü gibi BJT'nin kollektör akımının ( $I_c$ ) miktarı, tamamen B-E arasından akıtılan akımın ( $I_B$ ) değerine bağlıdır.
- Bu bağlantı üretici tarafından bir parametreyle ( $\beta$ ) verilmekte olup, aşağıdaki gibi gösterilir;
- Örnek,  $\beta = 150$  ( $\beta = I_c / I_B$ )
- $I_c = \beta \cdot I_B$  veya  $I_B = I_c / \beta$
- Görüldüğü gibi kollektör akımı beyz akımının " $\beta$ " katıdır.
- Anahtarlama uygulamalarında beyz akımı ( $I_B$ ), ya "max." yada "0" seçilerek kontrol yapılır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.57'de BJT'nin DC'de çalışmasını izleyebilmek için kurulan devre görülmektedir.
- Yandaki Şekil-2.58'de ise BJT'nin dc kaynak altında iletim ve yalıtımının kontrol edilmesi, devrenin çalışma dalga şekilleriyle birlikte verilmiştir.
- Zaten BJT ac kaynaktan asla çalıştırılmaz çünkü ters gerilimi bloke edemez ve yanar.



## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI


- Şekil-2.58'den görüldüğü gibi 0-t1 aralığında BJT yalıtımda bulunmaktadır. t1 anında BJT'nin B-E arasına pozitif bir uyarma gerilimi uygulandığında IB akarak eleman hemen ilettime geçmektedir.
  - t1-t2 aralığında iletimde kalan BJT'nin t2 anında uyarma gerilimi dolayısıyla da IB akımı kesildiğinde, eleman hemen yalıtıma geçmektedir.
  - t3 anında eleman tekrar pozitif gerilim ile uyarıldığında yine ilettime geçmektedir.
  - Kısacası hem ilettime hem de yalıtıma geçmesi B-E arasından rahatlıkla kontrol edilebilmektedir.
- **BJT'lerin Seri ve Paralel Bağlanması;**
  - BJT'ler, sadece DC'de çalışabilen yarıiletken elemanlar olduğu için daha çok dc-dc dönüştürücü ve invertörlerde eskiden yoğun olarak kullanılmak idi.
  - Günümüzde pek fazla kullanılmamasına rağmen yüksek akım ve gerilimlerde çalışılması gerektiğinde **darlington bağlantı yapılır** veya diğer elemanlarda olduğu gibi seri veya paralel bağlanma prosedürü uygulanabilir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- BJT'lerde  $dv/dt$  ve  $di/dt$  korumasının sağlanması;
- Bilindiği gibi ani değişen akım ve gerilimde yarıiletken güç anahtarları istenmediği halde üzerlerinden akım geçirmekte ve yanmaktadırlar.
- BJT için de bu olay tamamen geçerlidir ve bu iş için mutlaka önlem alınmalıdır.
- $dv/dt$  için alınması gereken önlem tıpkı diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana paralel olarak uygun bir R-C devresinin bağlanmasıdır.
- $di/dt$  için alınması gereken önlem ise yine diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana seri olarak uygun bir endüktansın (L) bağlanmasıdır.
- BJT'nin Kontrol Dışı İletime Geçmesi;
- BJT'nin kontrol dışı olarak ilettime geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar yine;
  - 1) Yüksek sıcaklık,
  - 2) Yüksek voltaj,
  - 3) Hızlı gerilim değişimi,
  - 4) Hızlı akım değişimi.
- BJT'nin bu durumlarda kontrol dışı olarak ilettime geçmesini engellemek için diyotlarda ve diğer güç elemanlarında ayrıntısıyla açıklandığı gibi alınan tüm önlemlerin aynı şekilde alınması gerekmektedir.

# II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda bir BJT'nin bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.



**DARLINGTON COPLEMENTARY  
SILICON POWER TRANSISTORS**


...designed for general-purpose amplifier and low speed switching applications

**FEATURES:**

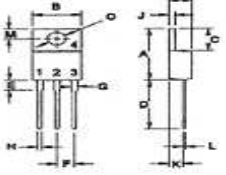
- \* Collector-Emitter Sustaining Voltage-  
 $V_{CE(sus)}$  = 45 V (Min) - BDX53, BDX54  
 = 60 V (Min) - BDX53A, BDX54A  
 = 80 V (Min) - BDX53B, BDX54B  
 = 100 V (Min) - BDX53C, BDX54C
- \* Monolithic Construction with Built-in Base-Emitter Shunt Resistor

NPN	PNP
BDX53	BDX54
BDX53A	BDX54A
BDX53B	BDX54B
BDX53C	BDX54C

**8 AMPERE  
DARLINGTON  
COMPLEMENTARY SILICON  
POWER TRANSISTORS  
45-100 VOLTS  
60 WATTS**



TO-220



PIN 1: BASE  
2: COLLECTOR  
3: EMITTER  
4: COLLECTOR/CASE

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	14.68	15.31
B	9.78	10.42
C	5.01	6.52
D	13.06	14.62
E	3.57	4.07
F	2.42	3.66
G	1.12	1.38
H	0.72	0.96
I	4.22	4.68
J	1.14	1.36
K	2.20	2.97
L	0.33	0.55
M	2.48	2.68
O	3.70	3.90

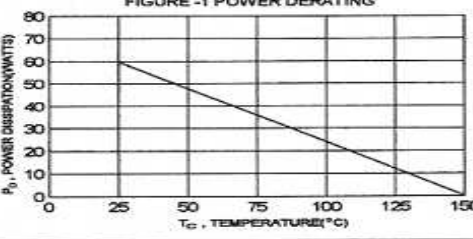
**MAXIMUM RATINGS**

Characteristic	Symbol	BDX53 BDX54	BDX53A BDX54A	BDX53B BDX54B	BDX53C BDX54C	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE}$	45	60	80	100	V
Collector-Base Voltage	$V_{CB}$	45	60	80	100	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EB}$	5.0				V
Collector Current - Continuous	$I_C$	8.0				A
Peak	$I_{CM}$	12				
Base Current	$I_B$	0.2				A
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	60 0.48				W W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{sto}$	-65 to +150				$^\circ\text{C}$

**THERMAL CHARACTERISTICS**

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	2.08	$^\circ\text{C/W}$

**FIGURE -1 POWER DERATING**

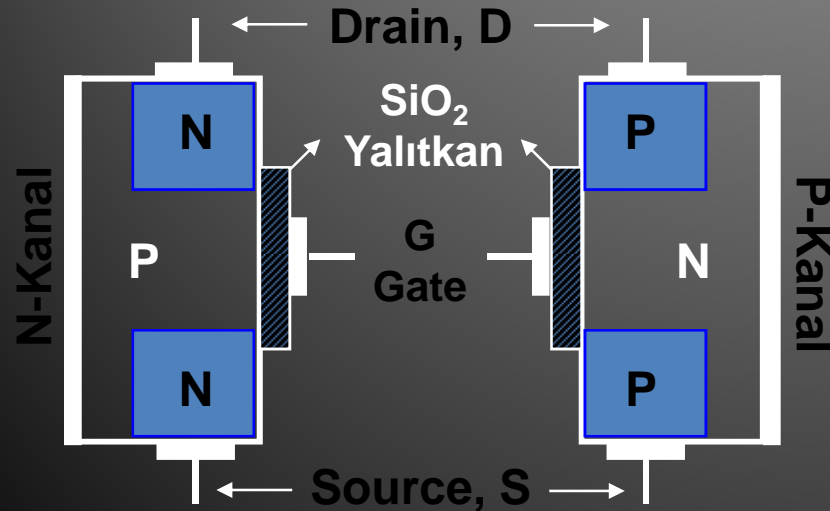


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

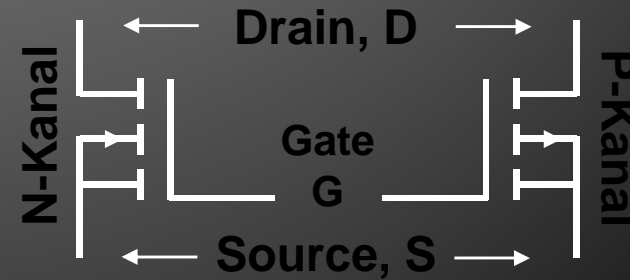
- Metal Oksitli Alan Etkili Transistör (Mosfet) Temel Yapısı ve Çalışması;
- Elektronik alanında çok kullanılan elemanlardan birisi olan Mosfet, bu güne kadar pek çok alanda yoğun bir şekilde kullanılmış ve kullanılmaktadır. Bu alanlar;
  - Yükselteç olarak,
  - Sinyal üretici (osilatör) olarak,
  - Regülatör olarak,
  - Alıcı-verici olarak,
  - Mantık işlemcisi olarak,
  - Anahtarlama elemanı olarak.
- Mosfet'in temeli alan etkili transistöre (FET) dayanmaktadır. Alan etkili transistörler analog elektroniğin temel elemanlarından birisi olup özellikle yükseltme ve osilasyon üretme işlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır.
- Mosfet'ler FET'in bir ileri versiyonu olup, transistör gibi kontrol edilebilme özelliğine sahip elemanlardır.
- Mosfet'ler D ve E-Mosfet olarak ikiye ayrılmaktadır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Bunlardan arttırmalı Mosfet olarak bilinen E-Mosfet'ler güç elektroniği devrelerinde yarı iletken "anahtar" olarak kullanılmaktadır.
- Aşağıdaki Şekil-2.59'da E-Mosfet'in yarıiletken yapısı ve sembolleri görülmektedir.



- Şekilden görüldüğü gibi yarıiletken katmanların sıralanışına göre N-Kanal ve P-Kanal olmak üzere iki tür E-Mosfet bulunmaktadır.
- E-Mosfet, tıpkı transistör (BJT) gibi, sadece "on" ve "off" olmak üzere iki durumu olmayan, ara durumlara da sahip olan bir yarıiletken anahtardır.
- E-Mosfet'in on ve off arasında bir de amplifikasyon (yükseltme) durumu (bölgesi) bulunmaktadır.



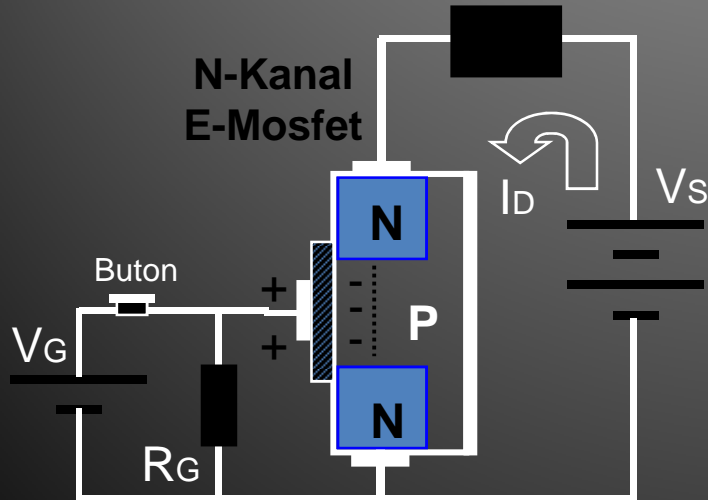


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- E-Mosfet, bu sayede çok farklı uygulamalarda kullanılabilir.
- Fakat güç elektroniği uygulamalarında E-Mosfet'in bir anahtar gibi çalışması ve sadece "on" ve "off" durumlarında olması istenmektedir.
- Bu nedenle güç elektroniğinde E-Mosfet'in kullanılması sırasında "anahtar" olarak çalışacak şekilde kontrol edilir.
- Ayrıca güç elektroniği uygulamalarında daha çok N-Kanal E-Mosfet tercih edilir.
- Güç elektroniği uygulamalarında daha çok DC-DC dönüştürücü (DC kıyıcı) ve DC-AC dönüştürücü (İnvertör) devrelerinde tercih edilen E-Mosfet'ler, çok düşük frekanslardan (1-2Hz), yüksek frekanslara (80-100kHz) kadar kontrollü anahtar olarak kullanılabilir.
- E-Mosfet, tıpkı MCT gibi gerilim kontrollü bir yarıiletken anahtardır. Farkı ise uyarıldığı sürece iletimde olması uyarı kesildiğinde ise yalıtıma geçmesidir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Metal Oksitli Fet Transistörün (E-Mosfet) Çalıştırılması;**
- Aşağıdaki Şekil-2.60'da N-kanal E-Mosfet'in çalıştırılması yarıiletken yapı üzerinde görülmektedir. Burada  $V_s$  kaynağı yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır.  $V_G$  ise transistörü uyardırma için kullanılan kaynaktır.



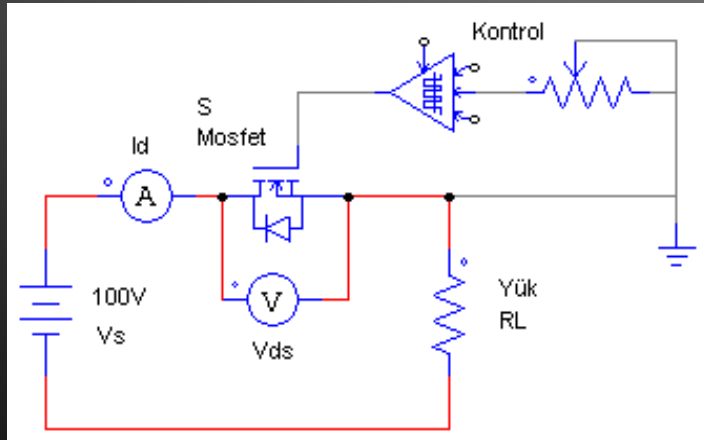
- Şekil-2.60'dan görüldüğü gibi, uyardırma butonuna basılmadığı sürece E-Mosfet, Drain ile Source arasına gelen doğru yönlü gerilime blokaj yapacak ve yalıtımda kalacaktır.
- E-Mosfet iletime geçirilmek istendiğinde ise uyardırma butonuna basılarak Gate (kapı) ile Source arasında bir uyardırma geriliminin oluşması sağlanır ve bu sayede E-Mosfet iletime geçerek Drain'den Source'e doğru yük akımını ( $I_D$ ) akıtmaya başlar.  $V_G$  gerilimi kesildiğinde E-Mosfet susar.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

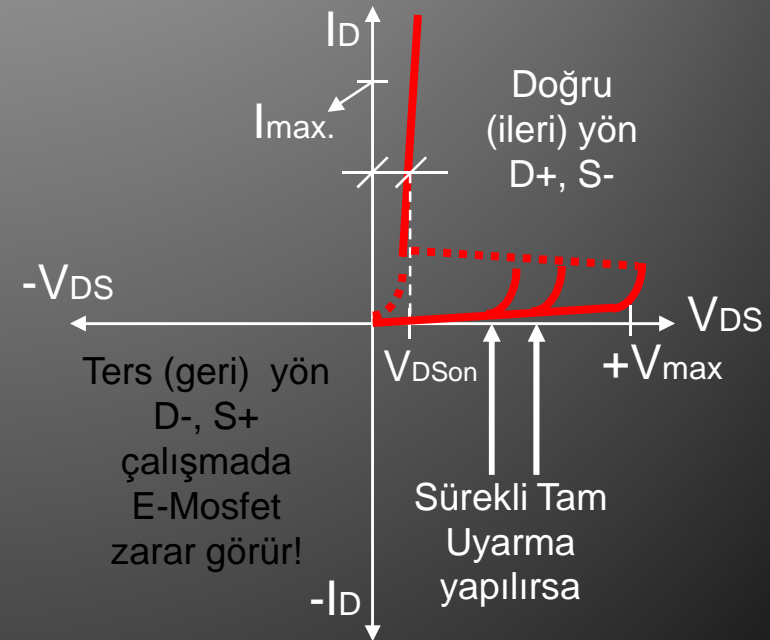
- Yalnız burada çok önemli bir ayrıntı vardır. E-Mosfet'in sadece "on" ve "off" durumları olmadığı ve ara durumlarda da yarı geçirgen olarak çalışabildiği için, güç uygulamalarında E-Mosfet'i uyaracak olan gerilimin (VGS), elemanı tam olarak ilettime geçirebilecek gerilimin seviyesinde olması gerekmektedir.
- E-Mosfet'i tam ilettime geçirecek olan uyarma gerilimi (VGS) seviyesi, üretici tarafından elemanın bilgi yapraklarında verilmektedir.
- Buraya kadar açıklananlardan yola çıkarak E-Mosfet ile transistörün (BJT) aynı mantıkla çalıştıkları yani uyarıldığı sürece iletimde oldukları, uyarı kesildiğinde ise başka bir işleme gerek kalmaksızın yalıtıma geçtikleri görülmektedir.
- Peki ikisi arasındaki fark ne?
- E-mosfet ile BJT arasındaki fark, BJT'nin akımla (IBE), E-Mosfet'in ise gerilimle (VGS) kontrol edilmesidir ki bu sayede E-Mosfet BJT'e göre daha hızlı anahtarlanabilir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- E-Mosfet'in Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.61'de E-Mosfet'in temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Aşağıdaki bağlantı şekli ile E-Mosfet'in doğru yön çalışması, devredeki " $V_s$ " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.62'de ise E-Mosfet'in temel karakteristik eğrilerinden akım-gerilim ( $I_D$ - $V_{DS}$ ) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) görülmektedir.

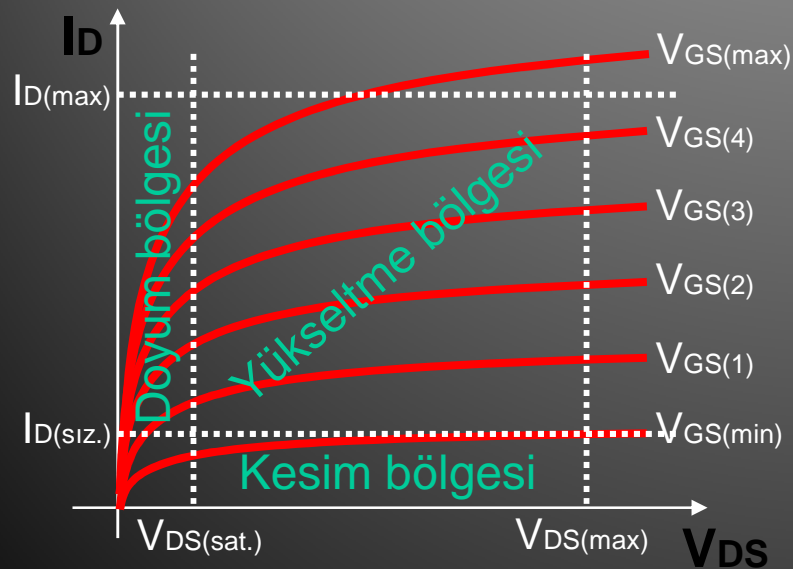


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde 0,7V'dan sonra kendiliğinden ilettime geçerken, E-Mosfet ancak  $V_{max}$  gerilimine ulaşıldığında kendiliğinden ilettime geçmektedir.
- Bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. E-Mosfet'in doğru yönde de normal olarak ilettime geçebilmesi için uyarı verilmesi, yalıtıma geçirilebilmesi içinse uyarının çekilmesi gerekmektedir.
- Ters yönde ise E-Mosfet asla çalışmaz, yani E-Mosfet'in ters gerilim blokaj kabiliyeti yoktur. Ters gerilim verildiğinde BJT blokaj yapamayarak yanar.
- Bu durumda E-Mosfet'in, doğru yönlü (D+, S-) gerilimde, uyarılmaz ise blokaj yapan, **tam uyarıldığı takdirde ise tam ilettime geçen**, doğru yönlü gerilim altında iletimi ve yalıtımı kontrol edilebilen,
- Ters yönlü (D-, S+) gerilimde ise asla çalışmayan, çalıştırıldığı takdirde bozulan, tek (+) yönlü akım akıtan bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- E-Mosfet, bu özellikleriyle DC'de çalıştırılmak için uygun bir anahtar durumundadır.
- E-Mosfet'in bu özelliği sayesinde SCR'de kullanılan zorla susturma düzenekleri kullanılmaz.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

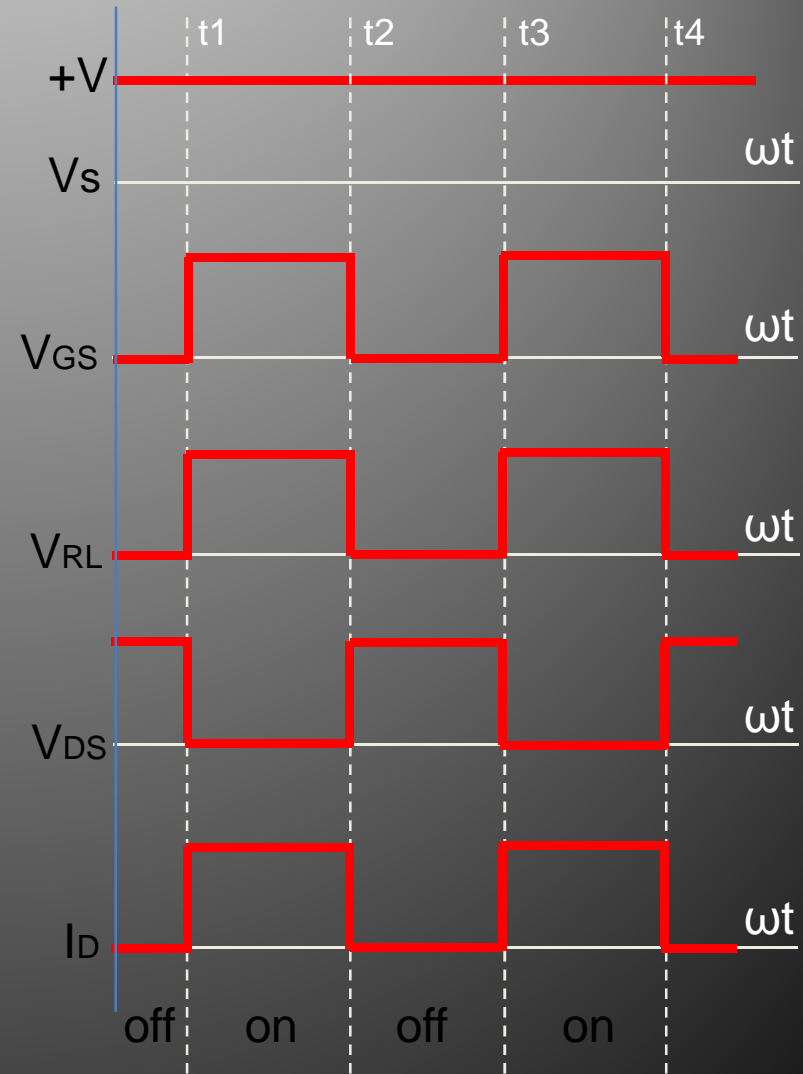
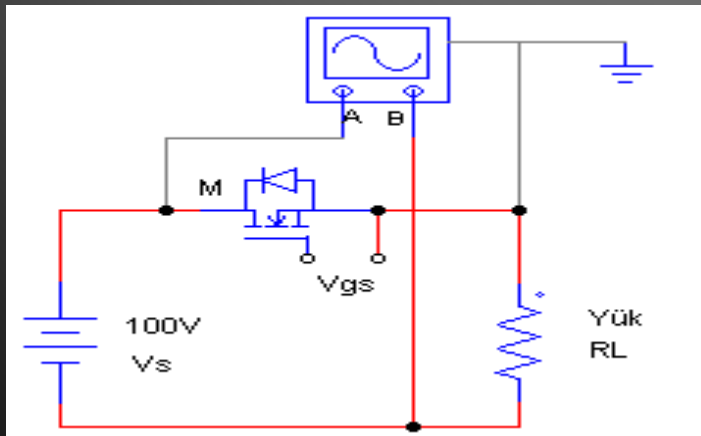
- E-Mosfet'lerde, elemanın hangi durumlarda tam iletim veya tam yalıtım, hangi durumlarda da amplifikasyon (yükseltme) modunda olduğunu gösteren çok önemli bir karakteristik eğri daha vardır, bu eğri aşağıda Şekil-2.63'de görülmektedir.



- Şekil-2.63'den görüldüğü gibi E-Mosfet'in Drain akımının ( $I_D$ ) miktarı, tamamen G-S arasındaki kontrol geriliminin değerine bağlıdır.
- Bu bağlantı üretici tarafından parametreyle ( $g_m$ ) verilmekte olup, aşağıdaki gibi gösterilir;
- Örnek,  $g_m = 50$  ( $g_m = I_D / V_{GS}$ )
- $I_D = g_m \cdot V_{GS}$  veya  $V_{GS} = I_D / g_m$
- Görüldüğü gibi Drain akımı  $V_{GS}$  geriliminin " $g_m$ " katıdır.
- Anahtarlama uygulamalarında  $V_{GS}$  gerilimi ya " $max.$ " yada " $0$ " seçilerek kontrol yapılır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.64'de E-Mosfet DC'de çalışmasını izleyebilmek için kurulan devre görülmektedir.
- Yandaki Şekil-2.65'de ise E-Mosfet'in DC kaynak altında iletim ve yalıtımının kontrol edilmesi, devrenin çalışma dalga şekilleriyle birlikte verilmiştir.
- Zaten E-Mosfet'ler ac kaynakta asla çalıştırılmaz çünkü ters gerilimi bloke edemez ve yanarlar.



## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2-65'den görüldüğü gibi 0-t1 aralığında E-Mosfet yalıtımda bulunmaktadır.
  - t1 anında E-Mosfet'in G-S arasına pozitif bir uyarma gerilimi uygulandığında eleman hemen ilettime geçmektedir.
  - t1-t2 aralığında iletimde kalan E-Mosfet'in t2 anında uyarma gerilimi kesildiğinde (sıfıra düştüğünde), eleman hemen yalıtıma geçmektedir.
  - t3 anında eleman tekrar pozitif gerilim ile uyarıldığında yine ilettime geçmektedir.
  - Kısacası hem ilettime hem de yalıtıma geçmesi G-S arasından rahatlıkla kontrol edilebilmektedir.
- E-Mosfet'lerin Seri ve Paralel Bağlanması;
  - E-Mosfet'ler, sadece DC'de çalışabilen yarıiletken elemanlar olduğu için daha çok DC-DC dönüştürücü ve invertörlerde yoğun olarak kullanılmaktadır.
  - Günümüzde oldukça fazla kullanılan E-Mosfetler'in yüksek akım ve gerilimlerde çalışması gerektiğinde diyot, tristör ve diğer elemanlarda olduğu gibi seri veya paralel bağlanma prosedürü uygulanabilir.




## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- E-Mosfet'lerde  $dv/dt$  ve  $di/dt$  korumasının sağlanması;
- Bilindiği gibi ani değişen akım ve gerilimde yarıiletken güç anahtarları istenmediği halde üzerlerinden akım geçirmekte ve yanmaktadırlar.
- E-Mosfet'ler için de bu olay tamamen geçerlidir ve bu iş için mutlaka önlem alınmalıdır.
- $dv/dt$  için alınması gereken önlem tıpkı diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana paralel olarak uygun bir R-C devresinin bağlanmasıdır.
- $di/dt$  için alınması gereken önlem ise yine diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana seri olarak uygun bir endüktansın (L) bağlanmasıdır.
- E-Mosfet'in Kontrol Dışı İletime Geçmesi;
- E-Mosfet'in kontrol dışı olarak ilettime geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar;
  - 1) Yüksek sıcaklık,
  - 2) Yüksek voltaj,
  - 3) Hızlı gerilim değişimi,
  - 4) Hızlı akım değişimi.
- E-Mosfet'in bu durumlarda kontrol dışı olarak ilettime geçmesini engellemek için diyotlarda ve diğer güç elemanlarında ayrıntısıyla açıklandığı gibi alınan tüm önlemlerin aynı şekilde alınması gerekmektedir.

# II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda bir E-Mosfet'in bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.



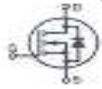

Preliminary Technical Information

**TrenchMV™**  
**Power MOSFET**



**IXTH130N10T**  
**IXTQ130N10T**

$V_{DS} = 100$  V  
 $I_{D25} = 130$  A  
 $R_{DS(on)} \leq 8.5$  m $\Omega$

N-Channel Enhancement Mode  
Avalanche Rated

TO-247 (IXTH)

TO-3P (IXTQ)

G = Gate    D = Drain  
S = Source    TAB = Drain

Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings
$V_{DS}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$ to $175^\circ\text{C}$	100 V
$V_{GS}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$ to $175^\circ\text{C}$ ; $R_{GS} = 1\text{M}\Omega$	100 V
$V_{AS}$	Transient	$\pm 20$ V
$I_{DM}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$	130 A
$I_{LM}$	Lead Current Limit, RMS	75 A
$I_{SM}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$ ; pulse width limited by $T_{DM}$	300 A
$I_{RM}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$	10 A
$E_{AS}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$	750 mJ
dv/dt	$I_G \leq I_{GM}$ ; dv/dt $\geq 100$ A/ $\mu\text{s}$ ; $V_{GS} < V_{GSmax}$ $T_c \leq 175^\circ\text{C}$ ; $R_{GS} = 5\Omega$	3 V/ns
$P_{tot}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$	380 W
$T_c$		$-55 \dots +175$ °C
$T_{DM}$		175 °C
$T_{SD}$		$-55 \dots +175$ °C
$T_{th}$	1.8 mm (0.082 in.) from case for 10 s Plastic body for 10 seconds	300 °C 280 °C
$M_{tor}$	Mounting torque	1.13 $\pm$ 10 Nm/In.
Weight	TO-3P TO-247	5.5 g 5.0 g

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values		
		Min.	Typ.	Max.
$BV_{DS}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ ; $I_D = 250\ \mu\text{A}$	100		V
$V_{GSmax}$	$V_{DS} = V_{AS}$ ; $I_D = 250\ \mu\text{A}$	2.9		4.5 V
$I_{DM}$	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$ ; $V_{DS} = 0\text{V}$			$\pm 200$ mA
$I_{GM}$	$V_{GS} = V_{GSmax}$ $V_{DS} = 0\text{V}$			5 $\mu\text{A}$ 250 $\mu\text{A}$
$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{V}$ ; $I_D = 25\text{A}$ ; Notes 1, 2	7.0		8.5 m $\Omega$

**Features**

- Ultra-low On-Resistance
- Unclamped Inductive Switching (UIS) rated
- Low package inductance - easy to drive and to protect
- 175 °C Operating Temperature

**Advantages**

- Easy to mount
- Space savings
- High power density

**Applications**

- Automotive
  - Motor Drives
  - 42V Power Bus
  - ABS Systems
- DC/DC Converters and Off-line UPS
- Primary Switch for 24V and 48V Systems
- Distributed Power Architectures and VRMs
- Electronic Valve Train Systems
- High Current Switching Applications
- High Voltage Synchronous Rectifier

© 2002 IXYS CORPORATION. All rights reserved.

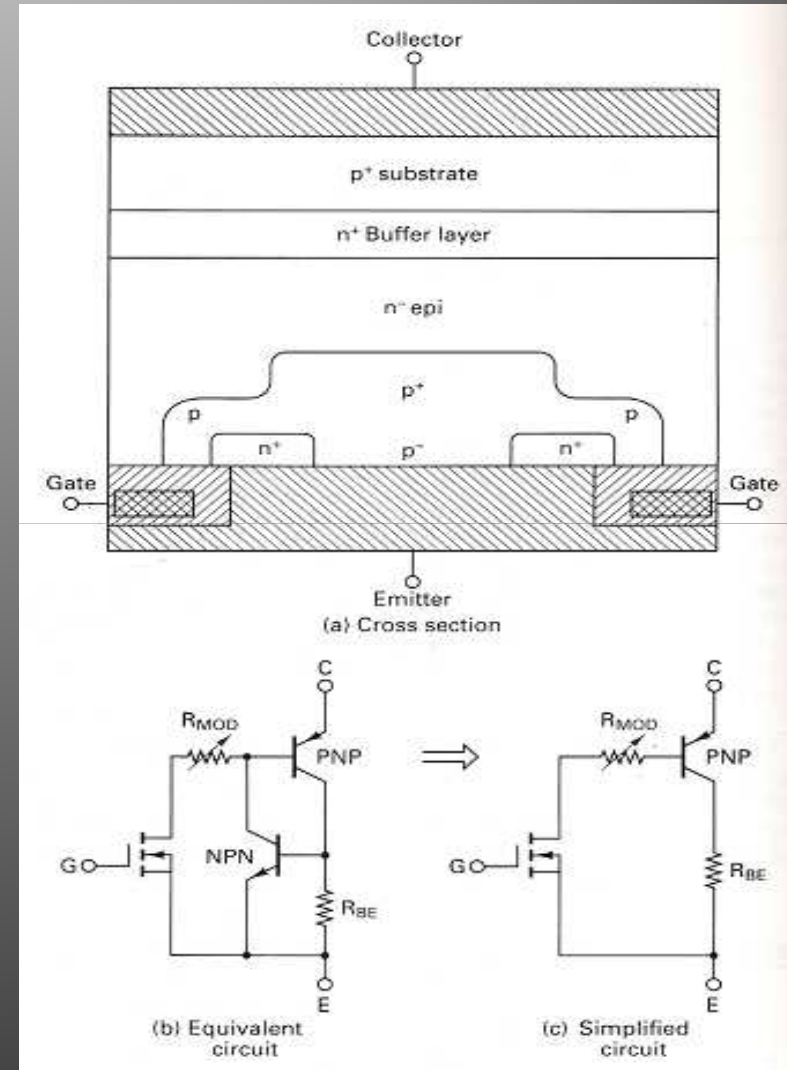
0299708 (11/02)

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Yalıtılmış Kapılı Transistör (IGBT), Temel Yapısı ve Çalışması;
- Günümüzde güç elektroniği uygulamalarında en fazla kullanılan elemanlardan birisi olan IGBT, transistör (BJT) ile E-Mosfet karışımı özel bir elemandır.
- Bilindiği gibi BJT'nin iyi tarafı iletim iç direncinin dolayısıyla da iletim kayıplarının düşük olmasıdır. Kötü tarafı ise anahtarlama süresinin uzun olması dolayısıyla da anahtarlama kayıplarının yüksek olmasıdır.
- E-Mosfet'lerde ise BJT'ye göre tam tersi durum söz konusudur. Yani Mosfet'in kötü tarafı, iletim iç direncinin yüksek dolayısıyla da iletim kayıpları transistöre göre daha fazla olmasıdır. İyi tarafı ise anahtarlama süresinin düşük, dolayısıyla da anahtarlama kayıplarının transistöre göre daha az olmasıdır.
- İşte her iki elemanın iyi özellikleri alınarak yeni bir eleman geliştirilmiştir. Bu eleman girişi mosfet gibi yapılandırılmış çıkışı ise transistör gibi yapılandırılmış olan IGBT'dir.

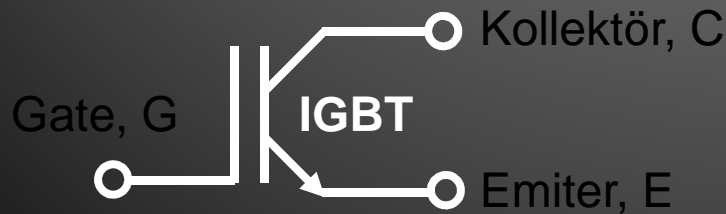
## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- IGBT'er kontrol sırasında mosfet gibi çalışma sırasında ise transistör gibi davranan ve sadece anahtar olarak kullanılan elemanlardır.
- Şekil-2.66'da IGBT'nin yarıiletken yapısı ve eşdeğer devresi görülmektedir. Eşdeğer devreden görüldüğü gibi IGBT yapısı, giriş terminalleri arasına N-Kanal E-Mosfet bağlanmış bir PNP transistör gibidir. Bu sayede Mosfet gibi hızlı anahtarlanan, transistör (BJT) gibi iletim iç direnci düşük olan yeni bir eleman oluşturulmuştur.



## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

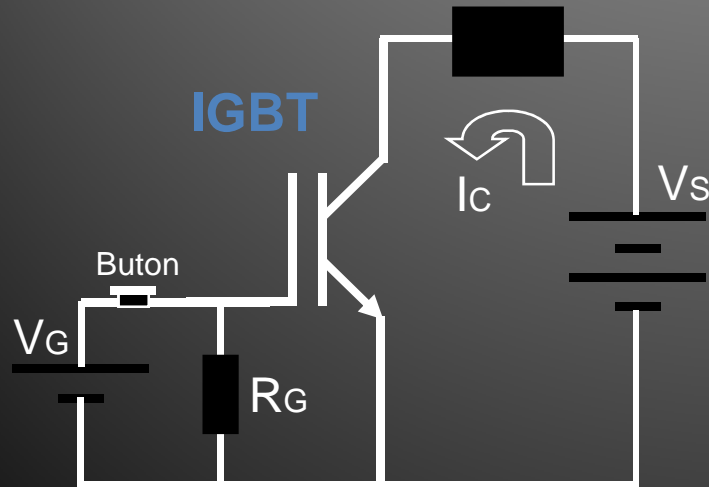
- IGBT, bu sayede son zamanlarda daha önceden transistör ve E-Mosfet'in kullanıldığı tüm anahtarlama uygulamalarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Pratikte düşük gerilimli uygulamalarda daha çok E-Mosfet, yüksek gerilimli (400V ve üzeri) daha çok IGBT tercih edilmekte olup sembolü Şekil-2.67'de görüldüğü gibidir.



- Güç elektroniği uygulamalarında daha çok DC-DC dönüştürücü (DC kıyıcı) ve DC-AC dönüştürücü (İnvertör) devrelerinde tercih edilen IGBT'ler, çok düşük frekanslardan (1-2Hz), orta frekanslara (20kHz) kadar kontrollü anahtar olarak kullanılabilmekte olup, 1200V-400A seviyelerine kadar olan versiyonları bulunmaktadır.
- IGBT'ler, tıpkı E-Mosfet'ler gibi gerilim kontrollü bir yarıiletken anahtardır ve kontrolunda E-Mosfet prosedürü uygulanır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Metal Oksitli Fet Transistörün (E-Mosfet) Çalıştırılması;
- Aşağıdaki Şekil-2.68'de IGBT'nin çalıştırılması sembolü üzerinde görülmektedir. Burada  $V_s$  kaynağı yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır.  $V_G$  ise transistörü uyarmada kullanılan kaynaktır.



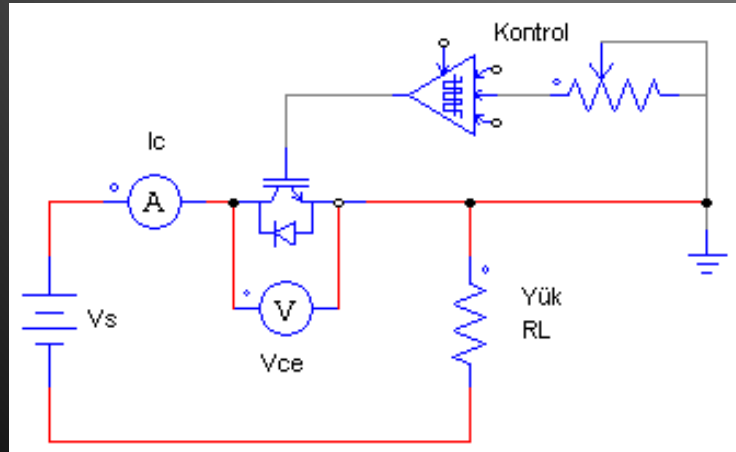
- Şekil-2.68'den görüldüğü gibi, uyarma butonuna basılmadığı sürece IGBT, kollektör ile emiter arasına gelen doğru yönlü gerilime blokaj yapacak ve yalıtımda kalacaktır.
- IGBT iletime geçirilmek istendiğinde ise uyarma butonuna basılarak Gate (kapı) ile Emiter arasında bir uyarma geriliminin oluşması sağlanır ve bu sayede IGBT iletime geçerek kollektör'den emiter'e doğru yük akımını ( $I_c$ ) akıtmaya başlar.  $V_{GE}$  gerilimi kesildiğinde IGBT susar.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

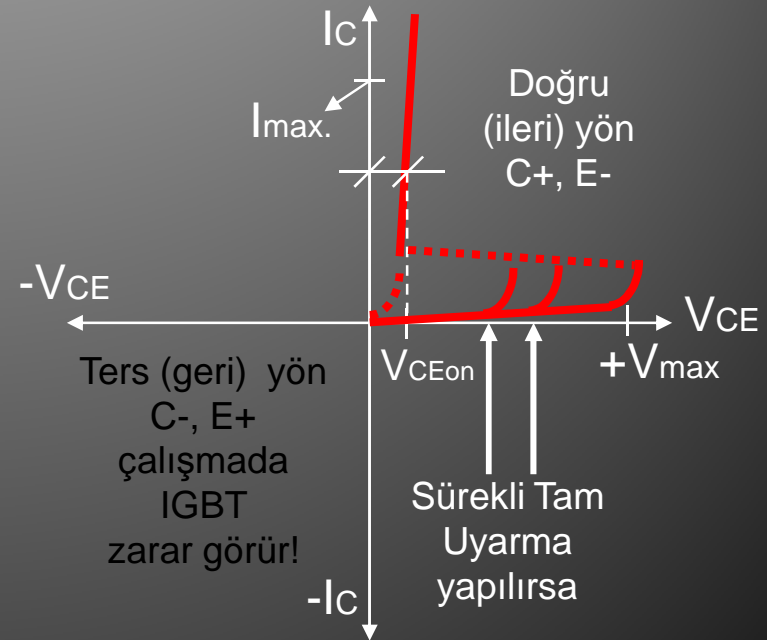
- Yalnız burada çok önemli bir ayrıntı vardır. IGBT'nin sadece “on” ve “off” durumları olmadığı ve ara durumlarda da yarı geçirgen olarak çalışabildiği için, güç elektroniği uygulamalarında IGBT'yi uyaracak olan gerilimin ( $V_{GE}$ ), elemanı tam olarak ilettime geçirebilecek gerilimin seviyesinde olması gerekmektedir.
- IGBT'yi tam ilettime geçirecek olan uyarma gerilimi ( $V_{GE}$ ) seviyesi, üretici tarafından elemanın bilgi yapraklarında ayrıntılı olarak verilmektedir.
- Buraya kadar açıklananlardan yola çıkarak IGBT'i ile E-Mosfet'in aynı mantıkla çalıştıkları yani uyarıldığı sürece iletimde oldukları, uyarı kesildiğinde ise başka bir işleme gerek kalmaksızın yalıtıma geçtikleri görülmektedir.
- Peki ikisi arasındaki fark ne?
- IGBT, özellikle yüksek gerilim ve akım altında hızlı olarak anahtarlanabilecek şekilde imal edildiğinden, yüksek gerilim ve akımda E-Mosfet'e göre avantajlı durumdadır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- IGBT'nin Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.69'da IGBT'nin temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Aşağıdaki bağlantı şekli ile IGBT'nin doğru yön çalışması, devredeki " $V_s$ " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.70'de IGBT'nin temel karakteristik eğrilerinden olan akım-gerilim ( $I_c$ - $V_{CE}$ ) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) görülmektedir.



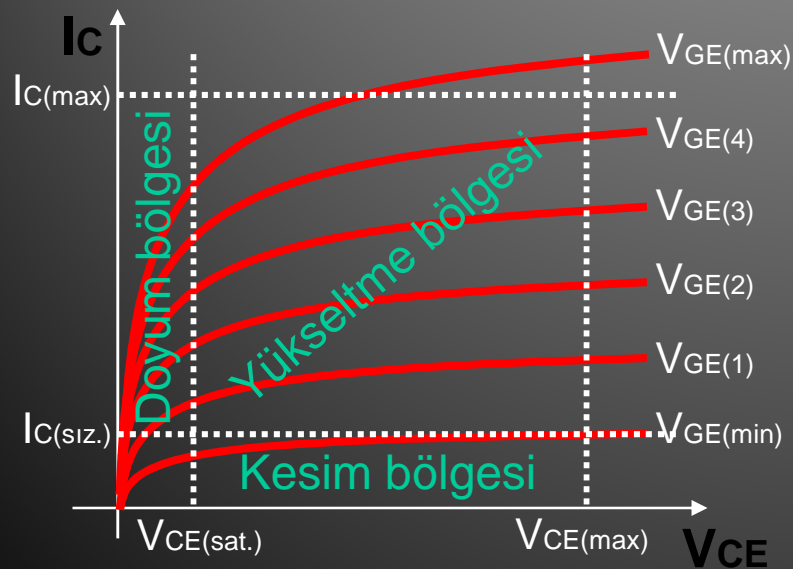


## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde 0,7V'dan sonra kendiliğinden ilettime geçerken, IGBT ancak  $V_{max}$  gerilimine ulaşıldığında kendiliğinden ilettime geçmektedir.
- Bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. IGBT'nin doğru yönde de normal olarak ilettime geçebilmesi için uyarı verilmesi, yalıtıma geçirilebilmesi içinse uyarının çekilmesi gerekmektedir.
- Ters yönde ise IGBT asla çalışmaz, yani IGBT'nin ters gerilim blokaj kabiliyeti yoktur. Ters gerilim verildiğinde IGBT blokaj yapamayarak yanar.
- Bu durumda IGBT'nin, doğru yönlü (C+, E-) gerilimde, uyarılmaz ise blokaj yapan, tam uyarıldığı takdirde ise tam ilettime geçen, doğru yönlü gerilim altında iletimi ve yalıtımı kontrol edilebilen,
- Ters yönlü (C-, E+) gerilimde ise asla çalışmayan, çalıştırıldığı takdirde bozulan, tek (+) yönlü akım akıtan bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- IGBT, bu özellikleriyle DC'de çalıştırılmak için uygun bir anahtar durumundadır.
- IGBT'nin bu özelliği sayesinde SCR'de kullanılan zorla susturma düzenekleri kullanılmaz.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

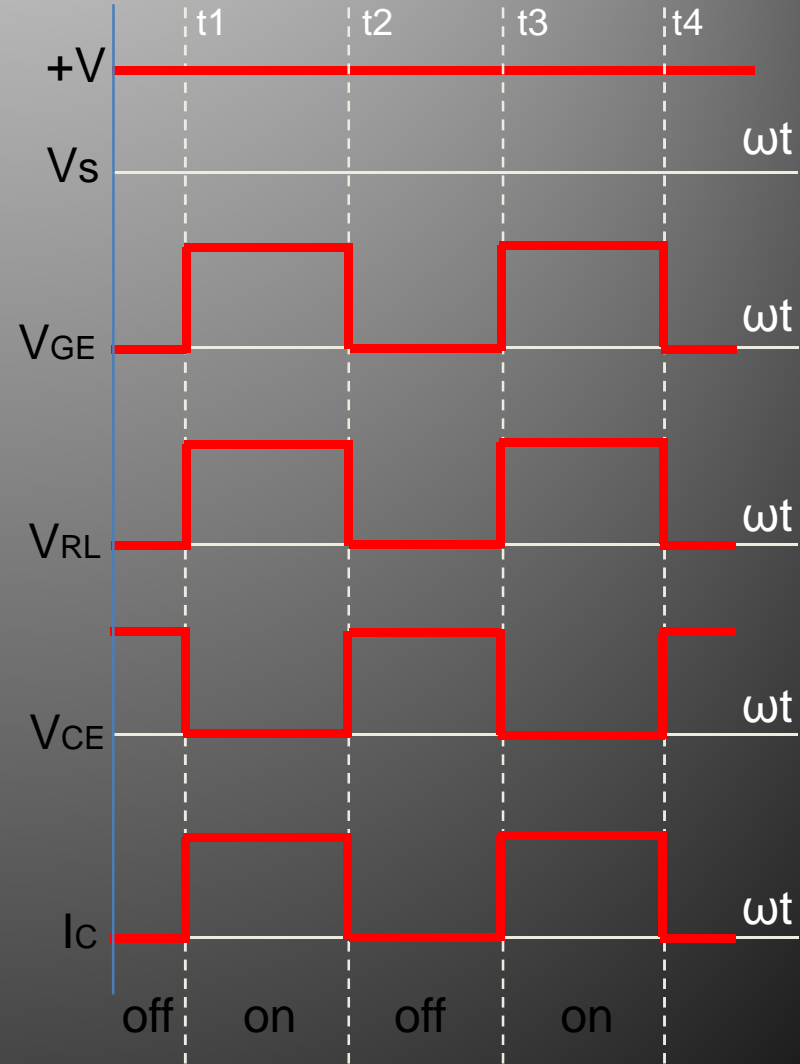
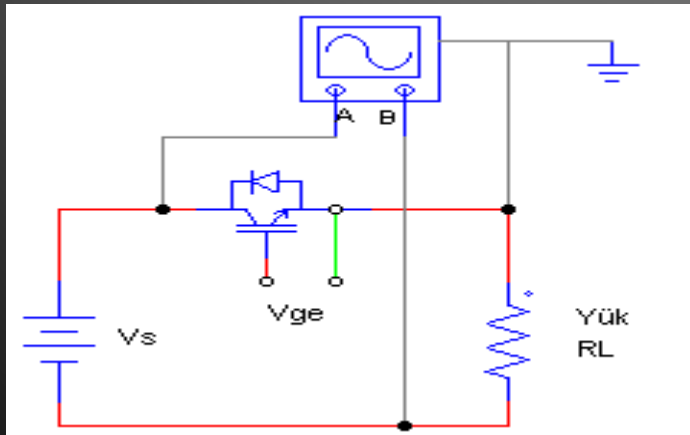
- IGBT'lerde, elemanın hangi durumlarda tam iletim veya tam yalıtım, hangi durumlarda da amplifikasyon (yükseltme) modunda olduğunu gösteren çok önemli bir karakteristik eğri daha vardır, bu eğri aşağıda Şekil-2.71'de görülmektedir.



- Şekil-2.71'den görüldüğü gibi IGBT'nin Kollektör akımının ( $I_c$ ) miktarı, tamamen C-E arasındaki kontrol geriliminin değerine bağlıdır.
- Bu bağlantı, üretici tarafından parametreyle ( $g_m$ ) verilmekte olup, aşağıdaki gibi gösterilir;
- Örnek,  $g_m = 50$  ( $g_m = I_c / V_{GE}$ )
- $I_c = g_m \cdot V_{GE}$  veya  $V_{GE} = I_c / g_m$
- Görüldüğü gibi kollektör akımı  $V_{GE}$  geriliminin " $g_m$ " katıdır.
- Anahtarlama uygulamalarında  $V_{GE}$  gerilimi ya " $max.$ " yada " $0$ " seçilerek kontrol yapılır.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.72'de IGBT'nin dc'de çalışmasını izleyebilmek için kurulan devre görülmektedir.
- Yandaki Şekil-2.73'de ise IGBT'nin dc kaynak altında iletim ve yalıtımının kontrol edilmesi, devrenin çalışma dalga şekilleriyle birlikte verilmiştir.
- Zaten IGBT'ler ac kaynakta asla çalıştırılmaz çünkü ters gerilimi bloke edemez ve yanar.



## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI


- Şekil-2.73'den görüldüğü gibi 0-t1 aralığında IGBT yalıtımda bulunmaktadır.
  - t1 anında IGBT'nin G-E arasına pozitif bir uyarma gerilimi uygulandığında eleman hemen ilettime geçmektedir.
  - t1-t2 aralığında iletimde kalan IGBT'nin t2 anında uyarma gerilimi kesildiğinde (sıfıra düştüğünde), eleman hemen yalıtıma geçmektedir.
  - t3 anında eleman tekrar pozitif gerilim ile uyarıldığında yine ilettime geçmektedir.
  - Kısacası hem ilettime hem de yalıtıma geçmesi G-E arasından rahatlıkla kontrol edilebilmektedir.
- IGBT'lerin Seri ve Paralel Bağlanması;
  - IGBT'ler, sadece DC'de çalışabilen yarıiletken elemanlar olduğu için daha çok DC-DC dönüştürücü ve invertörlerde çok yoğun olarak kullanılmaktadır.
  - Günümüzde oldukça fazla kullanılan IGBT'lerin yüksek akım ve gerilimlerde çalışılması gerektiğinde diyot, tristör ve diğer elemanlarda olduğu gibi seri veya paralel bağlanma prosedürü uygulanabilir.

## II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- IGBT'lerde  $dv/dt$  ve  $di/dt$  korumasının sağlanması;
- Bilindiği gibi ani değişen akım ve gerilimde yarıiletken güç anahtarları istenmediği halde üzerlerinden akım geçirmekte ve yanmaktadırlar.
- IGBT'ler için de bu olay tamamen geçerlidir ve bu iş için mutlaka önlem alınmalıdır.
- $dv/dt$  için alınması gereken önlem tıpkı diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana paralel olarak uygun bir R-C devresinin bağlanmasıdır.
- $di/dt$  için alınması gereken önlem ise yine diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana seri olarak uygun bir endüktansın (L) bağlanmasıdır.
- IGBT'nin Kontrol Dışı İletime Geçmesi;
- IGBT'nin kontrol dışı olarak ilettime geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar;
  - 1) Yüksek sıcaklık,
  - 2) Yüksek voltaj,
  - 3) Hızlı gerilim değişimi,
  - 4) Hızlı akım değişimi.
- IGBT'nin bu durumlarda kontrol dışı olarak ilettime geçmesini engellemek için diyotlarda ve diğer güç elemanlarında ayrıntısıyla açıklandığı gibi alınan tüm önlemlerin aynı şekilde alınması gerekmektedir.

# II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

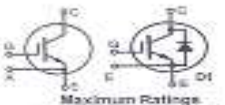
Aşağıda bir IGBT'nin bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.


Advanced Technical Data

**IGBT**  
Optimized for Switching  
up to 5 kHz


**IXGN 80N60A2**  
**IXGN 80N60A2D1**

$V_{CES} = 600\text{ V}$   
 $I_{CES} = 160\text{ A}$   
 $V_{CE(sat)} = 1.35\text{ V}$



Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings
$V_{CES}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	600 V
$V_{CES}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$ , $R_{th(j-c)} = 1\text{ M}\Omega$	600 V
$V_{CES}$	Continuous	$\leq 20$ V
$V_{CES}$	Transient	$\leq 30$ V
$I_{CES}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$	160 A
$I_{CES}$	$T_c = 110^\circ\text{C}$	80 A
$I_{CES}$	$T_c = 110^\circ\text{C}$	60 A
$I_{CES}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$ , 1 ms	320 A
SSOA (RBSOA)	$V_{CE} = 15\text{ V}$ , $T_c = 125^\circ\text{C}$ , $R_{th(j-c)} = 2.0\text{ }^\circ\text{C/W}$ Clamped inductive load	$I_{CE} = 160\text{ A}$ $\leq 0.8 V_{CES}$
$P_{tot}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$	825 W
$T_j$		$-55$ to $+150$ $^\circ\text{C}$
$T_{stg}$		150 $^\circ\text{C}$
$T_{vj}$		$-55$ to $+150$ $^\circ\text{C}$
$V_{sw}$	5000 Hz, $t = 3\text{ } \mu\text{s}$ $I_{CE} \leq 1\text{ mA}$ , $t = 1\text{ } \mu\text{s}$	2500 V <sup>-</sup> 3000 V <sup>+</sup>
$M_t$	Mounting torque Terminal connection torque (M4)	1.5/13 Nm/lb.in 1.5/13 Nm/lb.in
Weight		30 g

**SOT-227B, miniBLDC**  
**E152432**



G = Gate, C = Collector, E = Emitter  
① - other emitter terminal can be used as Main or Kelvin Emitter

**Features**

- International standard package miniBLDC
- UL recognized
- Aluminum nitride isolation - high power dissipation
- Isolation voltage 3000 V<sup>-</sup>
- Very high current IGBT
- Low  $V_{CE(sat)}$  for minimum on-state conduction losses
- MOS Gate turn-on - drive simplicity
- Low collector-to-case capacitance (< 50 pF)
- Low package inductance (< 5 nH)
- easy to drive and to protect

**Applications**

- AC motor speed control
- DC servo and robot drives
- DC choppers
- Uninterruptible power supplies (UPS)
- Switch-mode and resonant-mode power supplies

**Advantages**

- Easy to mount with 2 screws
- Space savings
- High power density

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ( $T_c = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
$V_{CE(sat)}$	$I_C = 1\text{ mA}$ , $V_{CE} = V_{CES}$	2.5		5.5 V
$I_{CE(sat)}$	$V_{CE} = V_{CES}$ , $V_{GE} = 0\text{ V}$ Note 2		25	80 $\mu\text{A}$ 530 $\mu\text{A}$
$I_{CE(sat)}$	$V_{CE} = 0\text{ V}$ , $V_{GE} = \pm 20\text{ V}$			$\leq 400$ $\mu\text{A}$
$V_{CE(sat)}$	$I_C = I_{CES}$ , $V_{CE} = 15\text{ V}$ , Note 1	1.2	1.35	V

## ÖDEV-4

- 4.1) 200Vdc şebeke çalışacak ve  $5\Omega$ 'luk bir yükü besleyecek olan DC-DC dönüştürücü (DC kıyıcı) devresi için uygun bir **Mosfet** belirleyerek internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. Mosfet yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.
- 4.2) 600Vdc şebeke çalışacak ve  $5\Omega$ 'luk bir yükü besleyecek olan DC-AC dönüştürücü (İnvertör) devresi için uygun bir **IGBT** belirleyerek internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. IGBT yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.

# Bölüm-3

## Uyarma Elemanları ve Devreleri



## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

### • A- GÜÇ TRİSTÖRLERİNİN UYARILMASI:

- Daha öncede açıklandığı gibi güç tristörleri, çok kısa süreli (1-2ms gibi) iğne palsler kullanılarak uyarılan kontrollu yarıiletken güç anahtarlarıdır.
- Yine bilindiği gibi, güç tristörleri hem ac'de hem de dc'de çalışabilen elemanlardı. Bu elemanların ac'de çalıştırılması durumunda şebekenin her alternansında en az bir kere uyarılması gerekmektedir. Çünkü her alternans sonunda susmaktadırlar.

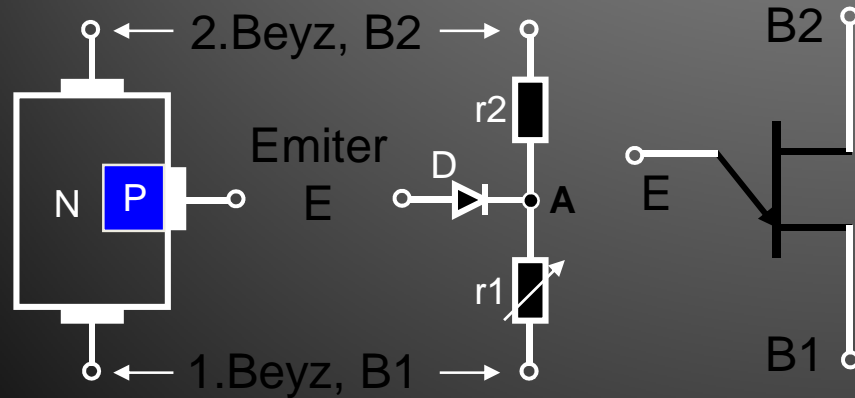
- Tabii ki bu elemanları şebekenin her alternansında şebekeyi görerek uyarabilmek gerekmektedir.
- Bu durumda güç tristörlerini ac'de çalışırken etkin bir şekilde uyarabilmek için şebeke ile senkronize (uyumlu) iğne palsler üretmek gerekmektedir. Düzgün dc'de çalışma sırasında ise şebeke senkronizasyonu gerekmeyecektir.
- İşte bu tür devrelere tristör uyarma (tetikleme) devreleri denilmektedir.

## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Güç tristörlerinin uyarılması için gerekli olan iğne palsleri üretmek için çeşitli elemanlar ve devreler kullanılmaktadır. Bu eleman ve devreler bu iş için özel olarak üretilmiş elemanlar ve devreler olabildiği gibi temel elektronikte kullanılan elemanlarla oluşturulan devreler de olabilmektedir.
  - Tabii ki ac'de çalışma sırasında bu elemanların veya devrelerin, tristörün çalıştığı şebekeyi görerek bu şebekeyle senkronize çalışması gerekir.
- Bu durumda güç tristörlerini uyarmak için kullanılan uyarma elemanları ve devreleri,
    - 1) UJT'li uyarma devreleri,
    - 2) PUT'lu uyarma devreleri,
    - 3) Diyak'lı uyarma devreleri,
    - 4) Analog uyarma devreleri,
    - 5) Sayısal uyarma devreleri,
    - 6) Entegre uyarma devreleri,
    - 7) PIC'li uyarma devreleri,
    - 8) Mikroişlemcili uyarma devreleri,olarak 8 temel grupta toplanabilmektedir. Bu gruplar ayrıntısıyla incelenecektir.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

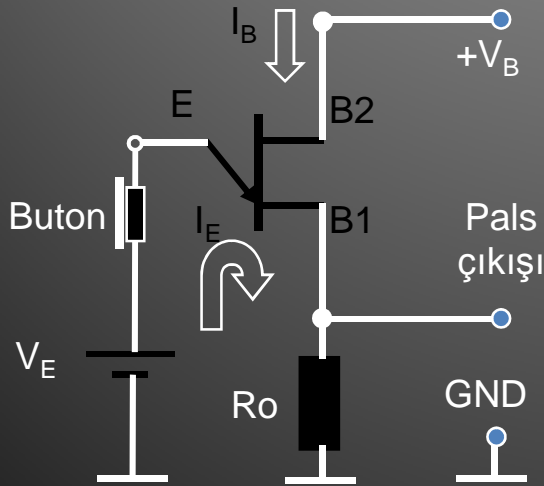
- 1) UJT ve UJT Kullanılarak Yapılan Uyarma Devreleri;
- Tek Birleşimli Transistör (UJT), tristör tetiklemek (uyarmak) için özel olarak üretilmiş bir elemandır ve görevi istenilen frekansta iğne pals üretmektir.
- Aşağıdaki Şekil-3.1’de UJT’nin yapısı, eşdeğer devresi ve sembolü görülmektedir.



- Şekil-3.1’den görüldüğü gibi UJT, bir parça N ve bir parça P maddesinin birleşmesinden oluşmuştur. Bu nedenle UJT’ye tek birleşimli transistör denilmektedir.
- Elemanın 2 adet beyz terminali ve bir adet de emiteer terminali bulunmaktadır.
- Eşdeğer devrede B2-E arasındaki yarıiletken direnci “r2” ile, E-B1 arasındaki yarıiletken direnci ise “r1” ile gösterilmiştir. P-N maddelerinin birleşimi ise “D” ile ifade edilmiştir.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

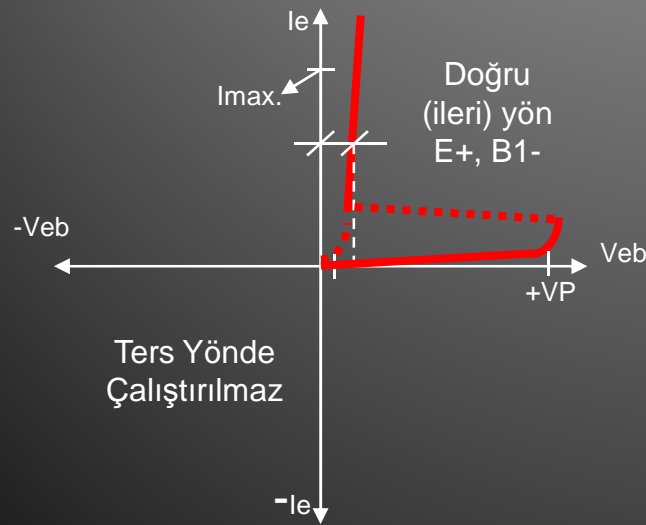
- Eşdeğer devrede “r1” direncinin ayarlı olarak gösterilmesinin nedeni ise UJT'nin iletme geçmesi sırasında bu direncin ortadan kalkmasıdır. Aşağıdaki Şekil-3.2'de UJT'nin temel test devresi görülmektedir.



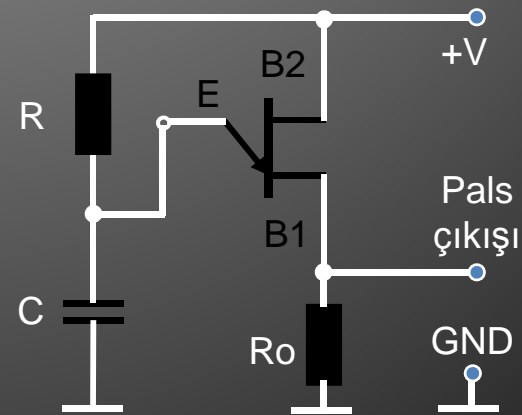
- Şekil-3.2'den görüldüğü gibi, öncelikle UJT'nin çalışmaya hazır hale gelebilmesi için B2 terminali ile GND arasında bir polarma gerilimi ( $+V_B = 12-15V$ ) bağlanması ve “ $I_B$ ” akımının akmasının sağlanması gerekmektedir.
- UJT'nin B2-B1 arasındaki iç direnci 8-10k $\Omega$  civarında olduğu için “ $I_B$ ” akımı 1-2mA civarında olacaktır.
- Bu durumda eşdeğer devrede görülen “A” noktasında yaklaşık  $V_B/2$  kadar bir baraj gerilimi oluşacaktır.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Bu durumda akım çok düşük olduğu için pals çıkışından sinyal elde edilemeyecektir. UJT çıkışından pals elde edebilmek için test devresindeki butona basılacak olursa, eğer  $V_E > V_B/2$  ise, eleman Şekil-3.3'den görüldüğü gibi tristör benzeri davranacak ve E-B1 arası kısa devre olacaktır.



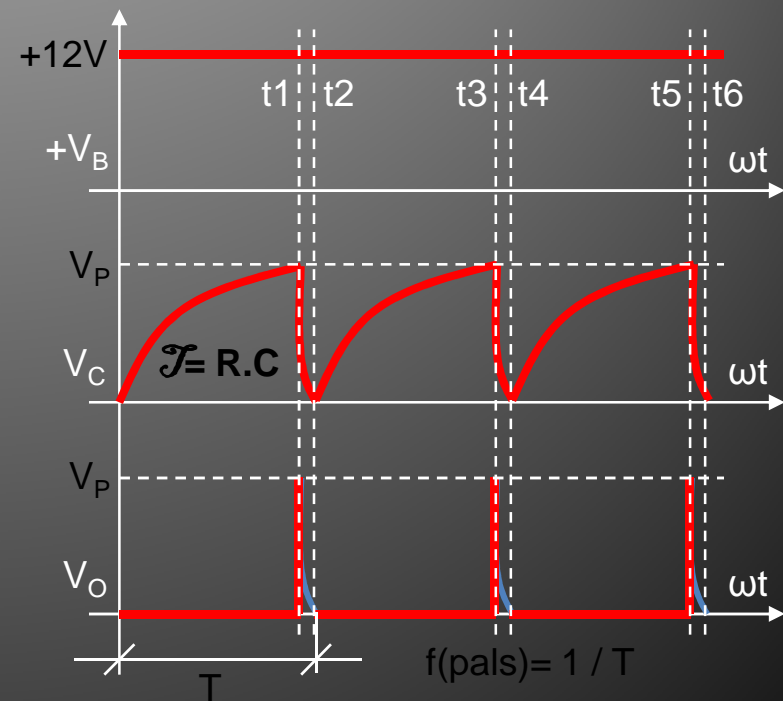
- UJT, uyarılacak değil uyarma palsy üretecek bir elemandır. Bu nedenle aşağıdaki Şekil-3.4'de görülen uygulama devresi kurularak UJT'nin R.C zaman sabitesine bağlı olarak arka arkaya pals üretmesi sağlanabilir. Burada  $V_E$  görevini "C" üstlenmiştir.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.4'deki devreye  $+V_B$  gerilimi uygulandığında hem UJT için gerekli olan polarma akımı akacak ve baraj gerilimi oluşacak, hem de R direnci üzerinden C kondansatörü R.C zaman sabitesine göre dolmaya başlayacaktır.
- C kondansatörünün gerilimi UJT içindeki baraj gerilimini aştığında E-B1 arası kısa devre olacak ve C üzerindeki gerilim çıkışta görünecektir.
- B1, çıkış ucuna bağlı olan  $R_o$  direnci çok küçük değerli (50-100 $\Omega$  civarı) olduğundan C kondansatörü hızla boşalacak ve UJT tekrar yalıtıma geçecektir.

- UJT'nin E-B1 arasının yalıtıma geçmesiyle birlikte devredeki C kondansatörü yeniden şarj olmaya (dolmaya) başlayacaktır. Bu durumda devredeki dalga şekilleri, Şekil-3.5'deki gibi olacaktır.

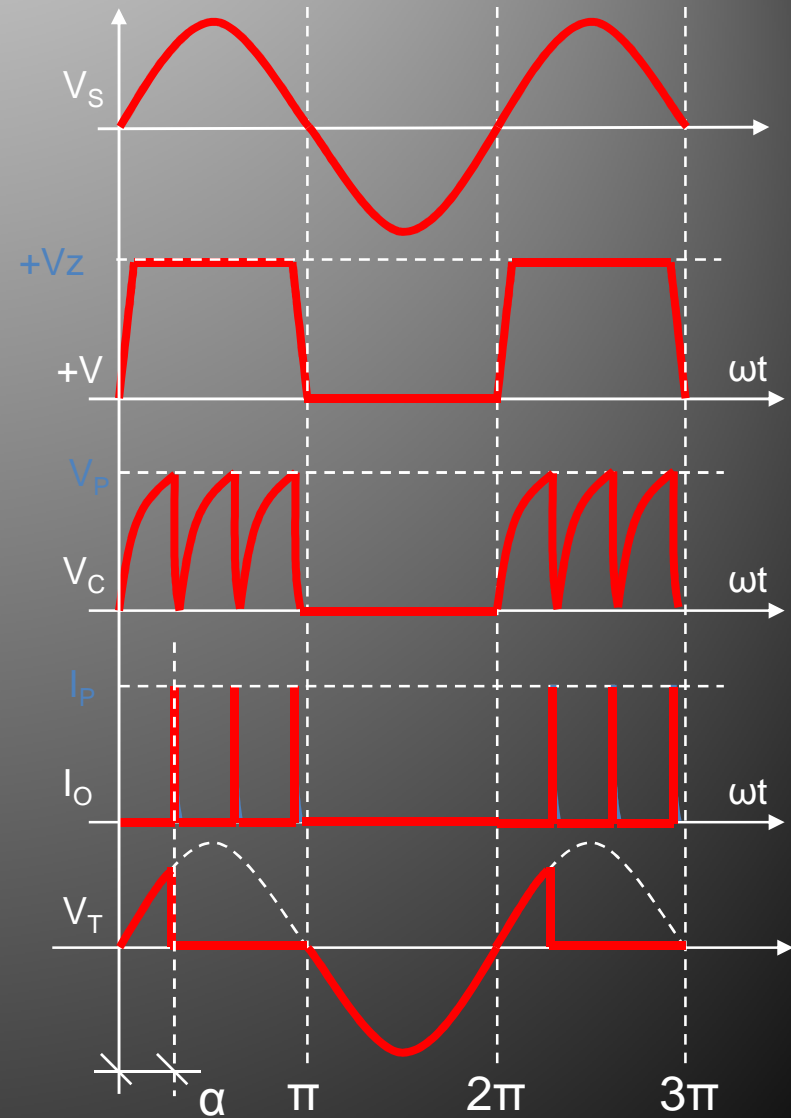
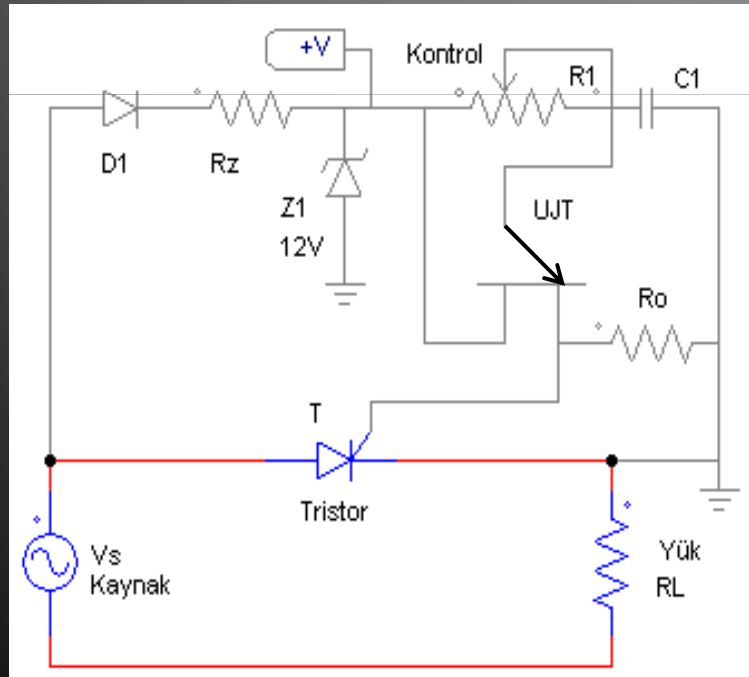


## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.5'den görüldüğü gibi, devredeki C kondansatörü t1 anına kadar R.C zaman sabitesine göre yavaş yavaş dolmakta, gerilim seviyesi  $V_P$  seviyesine ulaştığında ise UJT'nin E-B1 arası kısa devre olacağından C kondansatörü çok hızlı bir şekilde deşarj olmaktadır.
- Bu sırada E-B1 arası iletimde olduğu için kondansatör gerilimi olduğu gibi çıkışta görünmektedir.
- Kondansatör şarjının bitmesiyle akım kesildiği için UJT yalıtıma geçmekte ve kondansatör tekrar şarj olamaya başlamaktadır.
- Bu şekilde çıkış uçlarında iğne palsler oluşmaktadır.
- UJT çıkışında oluşan palslerin frekansı tamamen devredeki R ve C elemanlarının değerine bağlı olarak değişmektedir. Oluşan palslerin periyodu;
- $T \approx R.C.ln[1/(1-\eta)] \approx 1 / f$  eşitliği kullanılarak bulunabilmektedir. Burada,  
T: Palslerin periyot süresi (s),  
R: Devredeki direnç ( $\Omega$ ),  
C: Devredeki kondansatör (F),  
 $\eta$ : UJT'nin gerilim bölme oranı,  
f: Pals frekansı (Hz).
- Yalnız bu durumda devrede üretilen palsler herhangi bir ac şebeke ile uyumlu değildir.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- UJT kullanarak bir tristör'ün çalıştığı ac şebeke ile uyumlu olarak kontrol edilmesi Şekil-3.6'da ki bağlantı ile mümkündür. Şekil-3.7'de ise devrenin dalga şekilleri görülmektedir.



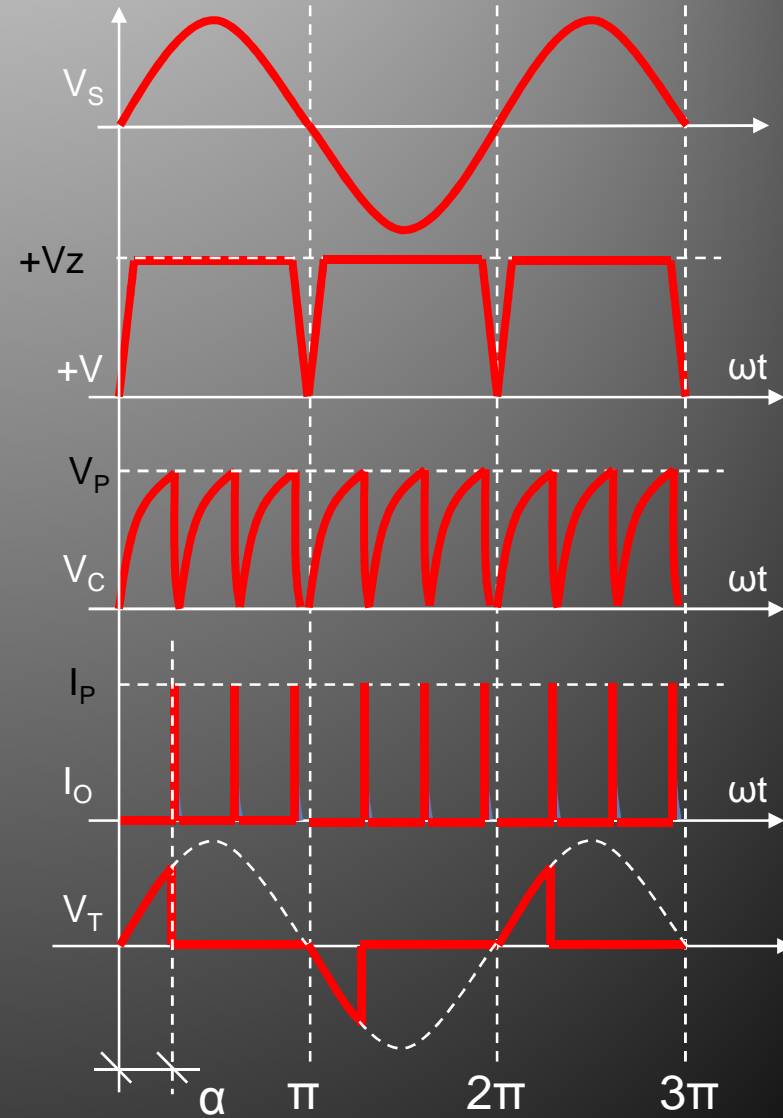
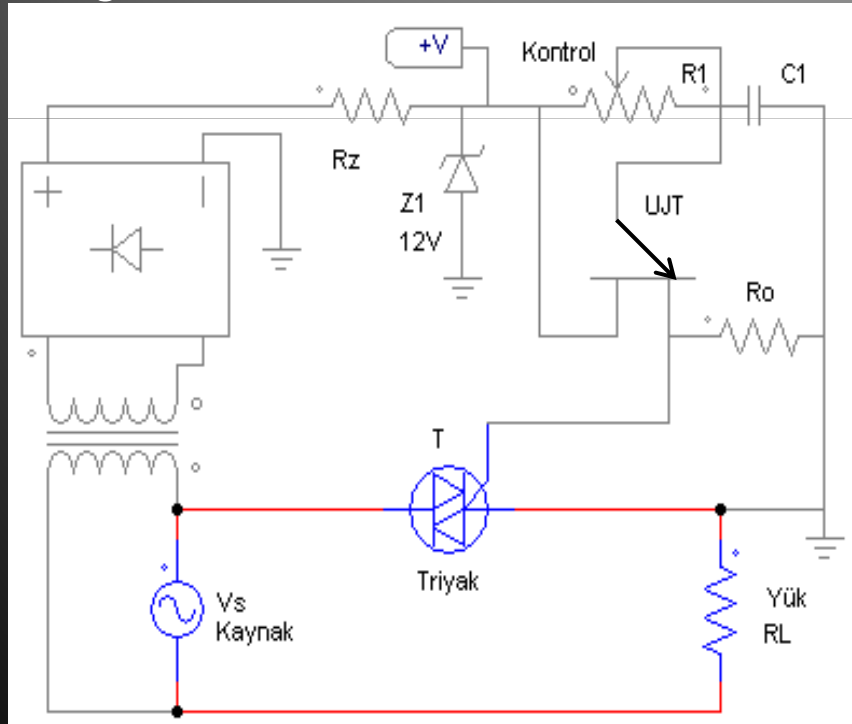


## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.7'den görüldüğü gibi UJT devresine sadece tristörün çalıştığı şebekenin pozitif alternanslarında besleme gerilimi (+V) gelmekte ve UJT bu aralıkta pils üretebilmektedir.
- Şebekenin negatif alternanslarında ise UJT devresine besleme gerilimi (+V) ulaşmayacağı için eleman çalışmayacak ve pils üretemeyecektir.
- Zaten tristör uyarırken bizim istediğimiz de budur, çünkü tristör negatifte uyarılmaz.
- Bu bağlantı yardımıyla ac şebekede çalışan ve her pozitif alternans sonrasında susan tristörün, her pozitif alternansta tekrar uyarılması sağlanmaktadır.
- Aynı zamanda bu bağlantı sayesinde tristörün uyarılma açısını ( $\alpha$ ) değiştirmek de mümkündür. Bunun için UJT devresindeki “R” direncini ayarlı yapmak gerekmektedir.
- Bu sayede pilslerin frekansı (sıklığı) değiştirilerek, tristör yaklaşık  $0^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında istenilen açıda uyarılabilir.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- UJT kullanarak bir triyak'ın da çalıştığı ac şebeke ile uyumlu olarak kontrol edilmesi Şekil-3.8'de ki bağlantı ile mümkündür. Şekil-3.9'da ise devrenin dalga şekilleri görülmektedir.

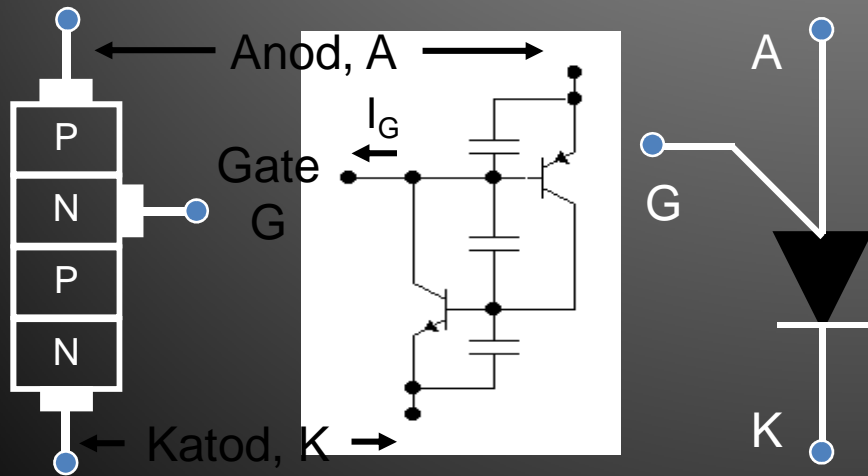


## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.9'dan görüldüğü gibi UJT devresine triyak'ın çalıştığı şebekenin hem pozitif hem negatif alternanslarında besleme gerilimi (+V) gelmekte ve UJT bu aralıklarda puls üretebilmektedir.
- Triyak her iki alternansta da çalıştığı için, her iki alternans için gerekli olan uyarma palsleri bu şekilde üretilebilmektedir.
- Burada tam dalga doğrultmayı gerçekleştirebilmek için şebeke gerilimi bir trafo ile düşürülmüş ve yalıtılmıştır.
- Bu bağlantı yardımıyla ac şebekede çalışan ve her pozitif ve negatif alternans sonrasında susan triyak'ın, her alternansta tekrar uyarılması sağlanmaktadır.
- Aynı zamanda bu bağlantı sayesinde triyak'ın uyarılma açısını ( $\alpha$ ) değiştirmek de mümkündür. Bunun için UJT devresindeki "R" direncini ayarlı yapmak gerekmektedir.
- Bu sayede palslerin frekansı (sıklığı) değiştirilerek, triyak yaklaşık  $0^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında istenilen açıda uyarılabilir.

## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

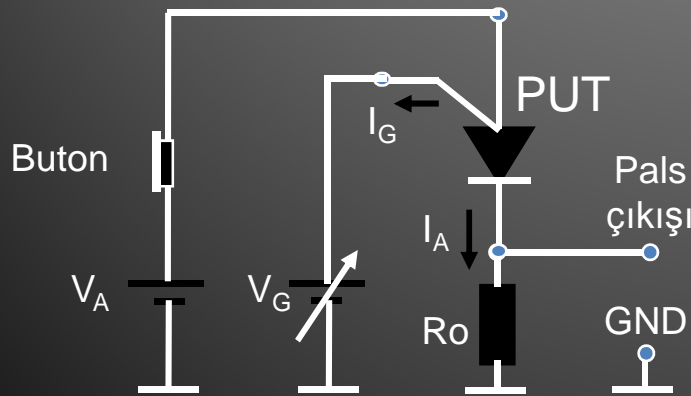
- 2) PUT ve PUT Kullanılarak Yapılan Uyarma Devreleri;
- Programlanabilir UJT (PUT), tristör tetiklemek (uyarmak) için özel olarak üretilmiş bir elemandır ve görevi istenilen frekansta iğne pals üretmektir.
- Aşağıdaki Şekil-3.10'da PUT yapısı, eşdeğer devresi ve sembolü görülmektedir.



- Şekil-3.10'dan görüldüğü gibi PUT, tıpkı genel amaçlı tristör (SCR) gibi, iki parça N ve iki parça P maddesinin birleşmesinden oluşmuştur. Elemanın tristörde olduğu gibi, anod, katod ve gate (kapı) terminalleri bulunmaktadır.
- PUT'un tristörden farkı ise Şekil-3.10'dan görüldüğü gibi gate (G) terminalinin katoda yakın olan P maddesinden değil, anoda yakın olan N maddesinden çıkartılmış olmasıdır. Bu sayede PUT, A'dan G'ye doğru akıtılacak akımla uyarılabilmektedir.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

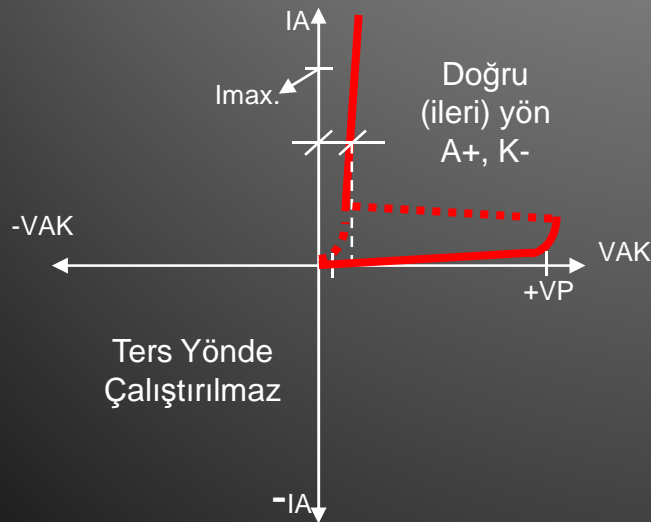
- Bu şekilde bir yapı PUT'un iğne pals üretmek için kullanılmasını kolaylaştırmıştır.
- Elemana PUT denmesinin sebebi ise, UJT'de hiç ayarlanamayan pals boyunun ayarlanabilir hale gelmesidir.
- Aşağıdaki Şekil-3.11'de PUT'un temel test devresi görülmektedir.



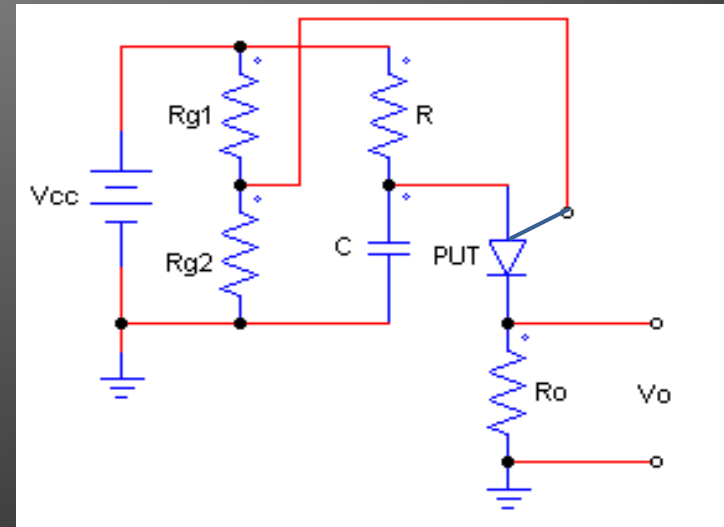
- Şekil-3.11'den görüldüğü gibi, öncelikle PUT'un çalışmaya hazır hale gelebilmesi için Gate terminali ile GND arasında bir eşik gerilimi ( $V_G$ ) ve Anod ile GND arasında da bir besleme gerilimi ( $V_A$ ) bağlanmalıdır.
- Eğer  $V_A$  gerilimi  $V_G$  geriliminden en az 0,7V daha büyük ise butona basıldığında A'dan G'ye doğru bir uyarma akımı akacak, PUT ilettime geçerek  $I_A$  akımı akmaya başlayacak ve  $V_A$  gerilimi devrenin pals çıkış uçlarında görünecektir.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- PUT'un yalıtıma geçebilmesi içinse tristörde olduğu gibi anod akımının ( $I_A$ ) sıfıra düşmesi yeterli olacaktır.
- PUT yapısı ve çalışması tristör gibi olduğu için karakteristik eğrisi Şekil-3.12'de görülmekte olup tristörde olduğu gibidir.



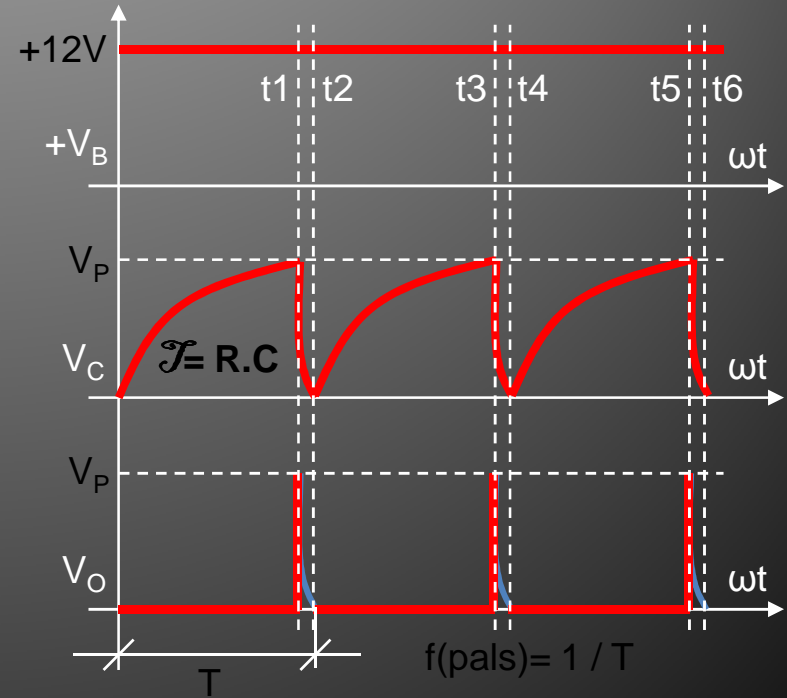
- PUT da uyarılacak bir eleman değil uyarma palsi üretecek bir elemandır. Bu nedenle aşağıdaki Şekil-3.13'de görülen uygulama devresi kurularak PUT'un R.C zaman sabitesine bağlı olarak arka arkaya pals üretmesi sağlanabilir. Burada  $V_G$  gerilimi, R1-R2 gerilim bölücüsü ile sağlanmaktadır.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.13'deki devreye  $+V_E$  gerilimi uygulandığında hem PUT'un G terminali için gerekli olan polarma akımı akacak ve baraj gerilimi oluşacak, hem de R direnci üzerinden C kondansatörü R.C zaman sabitesine göre dolmaya başlayacaktır.
- C kondansatörünün gerilimi PUT geyt'ideki baraj gerilimini aştığında A-K arası kısa devre olacak ve C üzerindeki gerilim tamamen çıkışta görünecektir.
- K, çıkış ucuna bağlı olan  $R_o$  direnci çok küçük değerli (50-100 $\Omega$  civarı) olduğundan C kondansatörü hızla boşalacak ve PUT tekrar yalıtıma geçecektir.

- PUT'un A-K arasının yalıtıma geçmesiyle birlikte devredeki C kondansatörü yeniden şarj olmaya (dolmaya) başlayacaktır. Bu durumda devredeki dalga şekilleri, Şekil-3.14'deki gibi olacaktır.



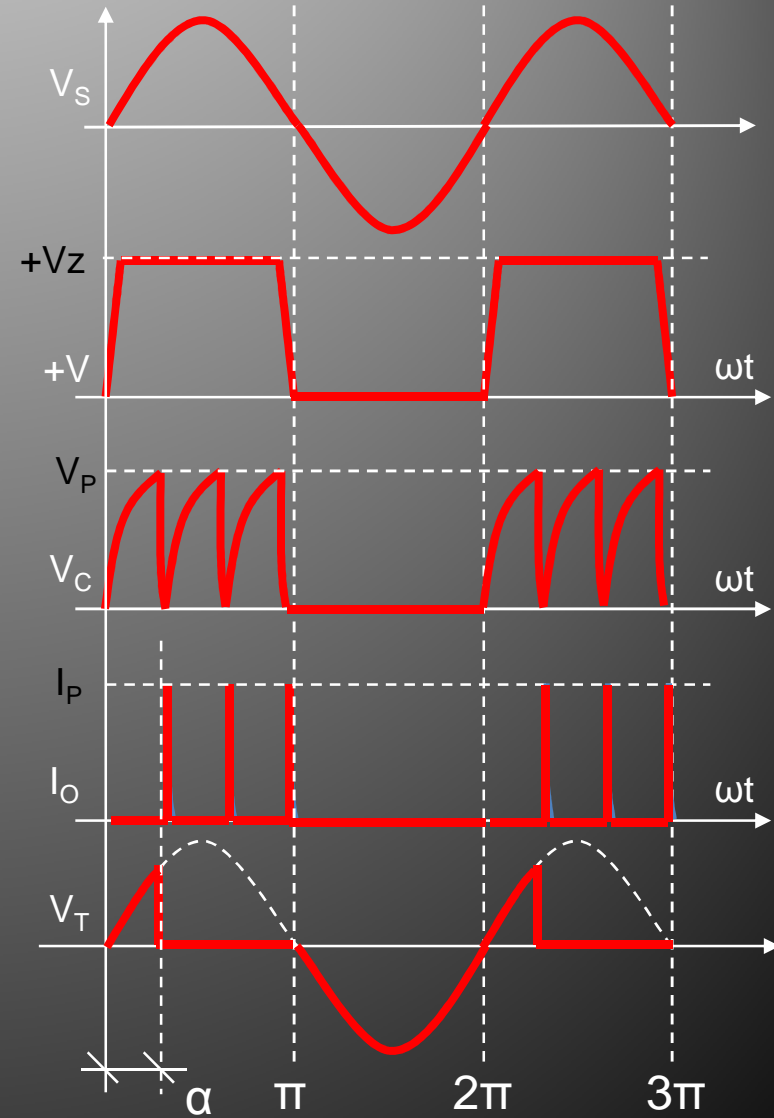
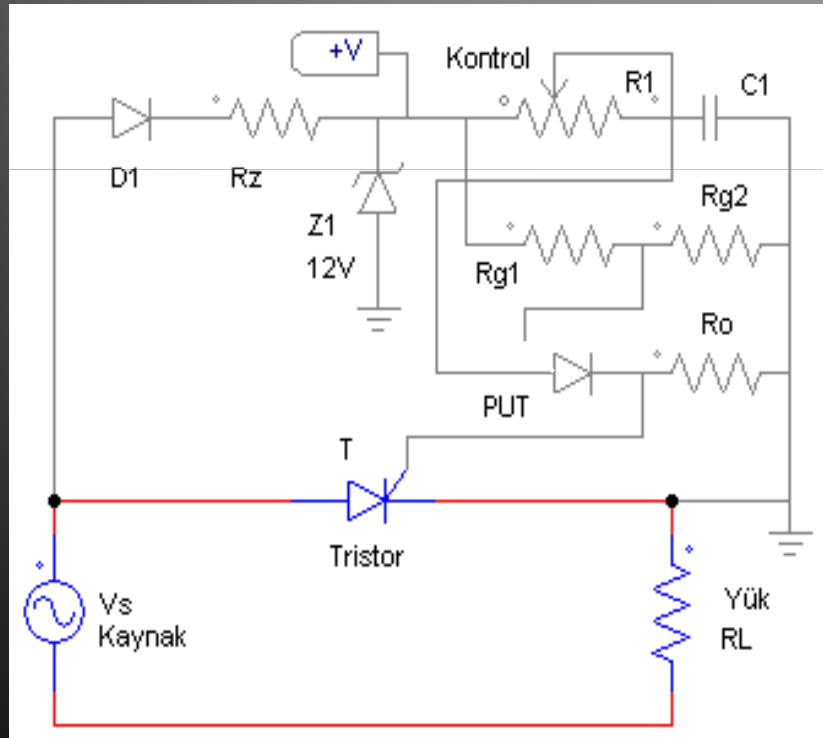
## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.14'den görüldüğü gibi, devredeki C kondansatörü t1 anına kadar R.C zaman sabitesine göre yavaş yavaş dolmakta, gerilim seviyesi  $V_p$  seviyesine ulaştığında ise PUT'un A-K arası kısa devre olacağından C kondansatörü çok hızlı bir şekilde deşarj olmaktadır.
- Bu sırada A-K arası iletimde olduğu için kondansatör gerilimi olduğu gibi çıkışta görünmektedir.
- Kondansatör şarjının bitmesiyle akım kesildiği için PUT yalıtıma geçmekte ve kondansatör tekrar şarj olamaya başlamaktadır.
- Bu şekilde çıkış uçlarında iğne palsler oluşmaktadır.
- PUT çıkışında oluşan palslerin frekansı tamamen devredeki R ve C elemanlarının değerine bağlı olarak değişmektedir. Oluşan palslerin periyodu;  
 **$T \approx R.C.ln[1/(1-\eta)] \approx 1 / f$**   
eşitliği kullanılarak bulunabilmektedir. Burada,  
T: Palslerin periyot süresi (s),  
R: Devredeki direnç ( $\Omega$ ),  
C: Devredeki kondansatör (F),  
 $\eta$ : Gerilim bölücünün oranı,  
f: Pals frekansı (Hz).
- Yalnız bu durumda devrede üretilen palsler herhangi bir ac şebeke ile uyumlu değildir.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- PUT kullanarak bir tristör'ün çalıştığı ac şebeke ile uyumlu olarak kontrol edilmesi Şekil-3.15'de ki bağlantı ile mümkündür. Şekil-3.16'da ise devrenin dalga şekilleri görülmektedir.

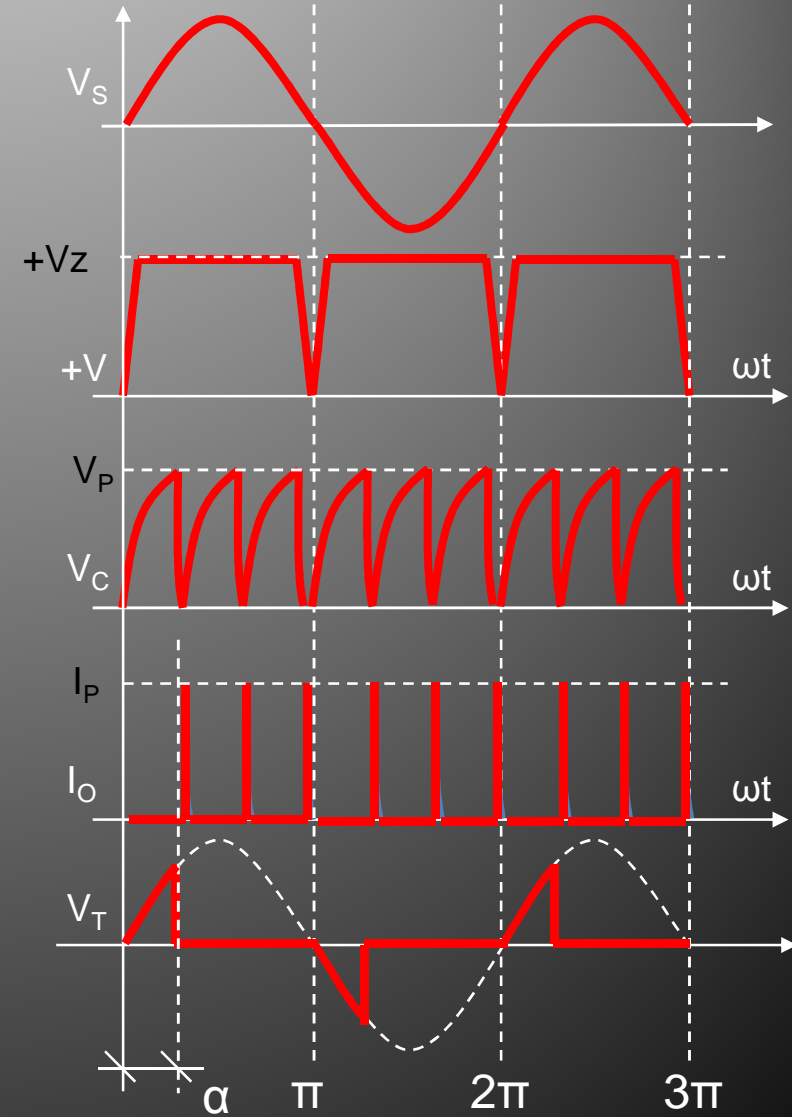
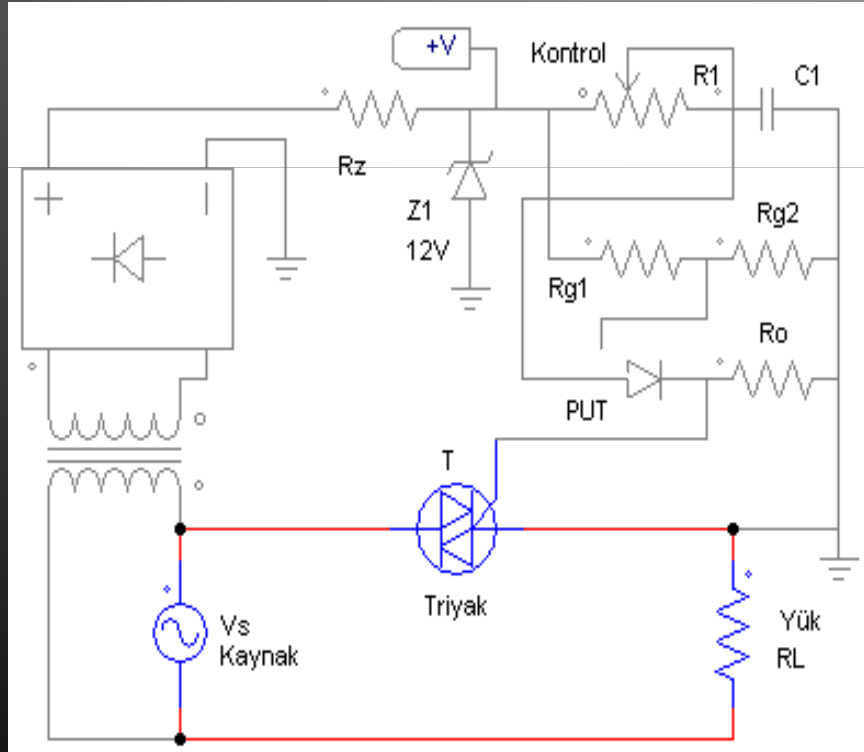


## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.16'dan görüldüğü gibi PUT devresine sadece tristörün çalıştığı şebekenin pozitif alternanslarında besleme gerilimi (+V) gelmekte ve PUT bu aralıkta pals üretebilmektedir.
- Şebekenin negatif alternanslarında ise PUT devresine besleme gerilimi (+V) ulaşmayacağı için eleman çalışmayacak ve pals üretemeyecektir.
- Zaten tristör uyarırken bizim istediğimiz de budur, çünkü tristör negatifte uyarılmaz.
- Bu bağlantı yardımıyla ac şebekede çalışan ve her pozitif alternans sonrasında susan tristörün, her pozitif alternansta tekrar uyarılması sağlanmaktadır.
- Aynı zamanda bu bağlantı sayesinde tristörün uyarılma açısını ( $\alpha$ ) değiştirmek de mümkündür. Bunun için PUT devresindeki "R" direncini ayarlı yapmak gerekmektedir.
- Bu sayede palslerin frekansı (sıklığı) değiştirilerek, tristör yaklaşık  $0^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında istenilen açıda uyarılabilir.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- PUT kullanarak bir triyak'ın da çalıştığı ac şebeke ile uyumlu olarak kontrol edilmesi Şekil-3.17'de ki bağlantı ile mümkündür. Şekil-3.18'de ise devrenin dalga şekilleri görülmektedir.

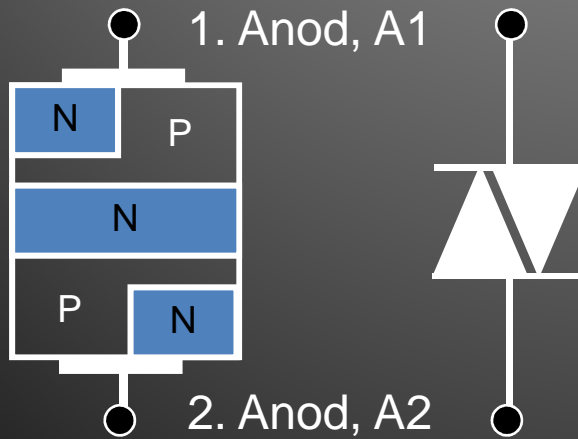


### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.18'den görüldüğü gibi PUT devresine triyak'ın çalıştığı şebekenin hem pozitif hem negatif alternanslarında besleme gerilimi (+V) gelmekte ve PUT bu aralıklarda pals üretebilmektedir.
- Triyak her iki alternansta da çalıştığı için, her iki alternans için gerekli olan uyarma palsleri bu şekilde üretilebilmektedir.
- Burada tam dalga doğrultmayı gerçekleştirebilmek için şebeke gerilimi bir trafo ile düşürülmüş ve yalıtılmıştır.
- Bu bağlantı yardımıyla ac şebekede çalışan ve her pozitif ve negatif alternans sonrasında susan triyak'ın, her alternansta tekrar uyarılması sağlanmaktadır.
- Aynı zamanda bu bağlantı sayesinde triyak'ın uyarılma açısını ( $\alpha$ ) değiştirmek de mümkündür. Bunun için PUT devresindeki "R" direncini ayarlı yapmak gerekmektedir.
- Bu sayede palslerin frekansı (sıklığı) değiştirilerek, triyak yaklaşık  $0^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında istenilen açıda uyarılabilir.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

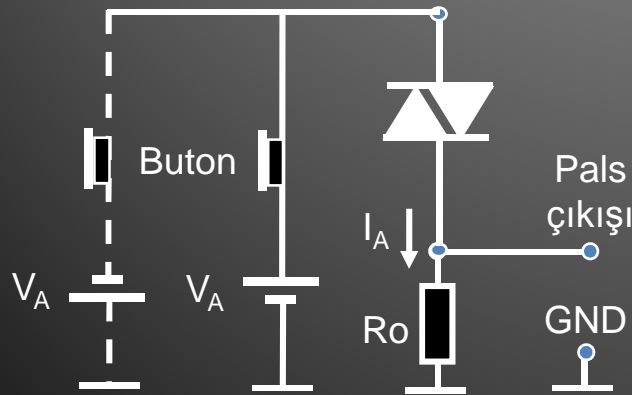
- 3) Diyak ve Diyak Kullanılarak Yapılan Uyarma Devreleri;
- Diyak (Diac), sadece triyak tetiklemek (uyarmak) için özel olarak üretilmiş bir elemandır ve görevi şebeke frekansında uyarma palsi üretmektir.
- Aşağıdaki Şekil-3.19'da Diyak yapısı ve sembolü görülmektedir.



- Şekil-3.19'dan görüldüğü gibi diyak, tıpkı triyak gibi birbirine ters bağlanmış PNP ve NPN yarıiletken yapısına sahiptir.
- Triyaktan farkı ise uyarma terminalinin (gate) bulunmamasıdır. Çünkü diyak bir güç elemanı değil, sadece triyak uyarmak için kullanılan çok düşük güçlü bir uyarma elemanıdır.
- Diyak'ın 1.anod (A1) ve 2.anod (A2) terminallerinin yeri önemli değildir. Eleman üzerinde herhangi bir işaret yoktur.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

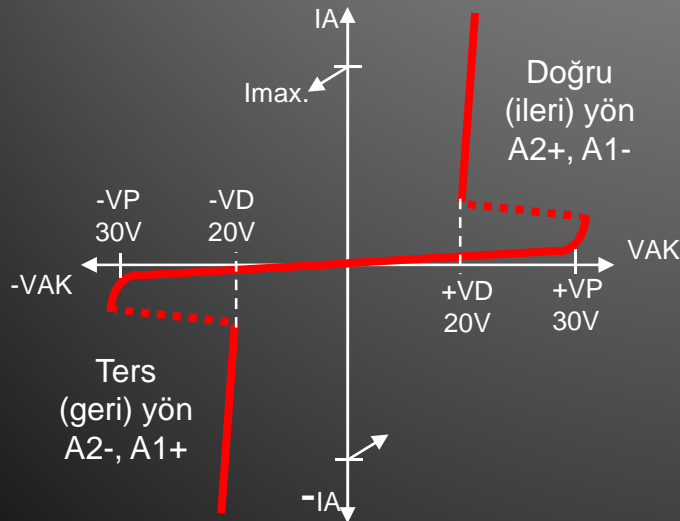
- Diyak, triyak için en kolay uyarma yolu olan, pozitif alternansta pozitif ve negatif alternansta negatif, uyarma palslerini triyak'ın çalıştığı şebekeyi kullanarak üretmektedir. Aşağıdaki Şekil-3.20'de Diyak'ın test bağlantısı görülmektedir.



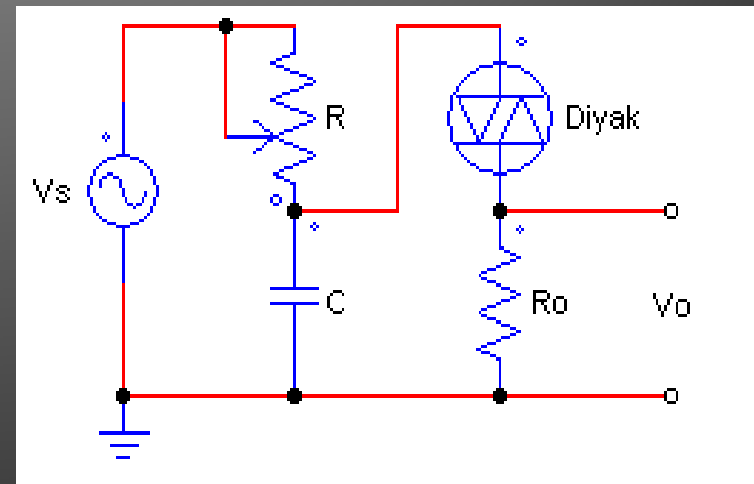
- Şekil-3.20'den görüldüğü gibi buton yardımıyla diyak üzerine pozitif veya negatif gerilim verilmektedir.
- Her iki yönde de diyak'ın ilettime geçebilmesi için üzerine gelen gerilimin, diyak'ın ateşlanma gerilim seviyesinin üzerinde olması gerekmektedir.
- Bu durumda butona basıldığında diyak ilettime geçecek, çıkış direnci üzerinden  $I_A$  akımı akacak ve pals çıkışında bir gerilim oluşmasını sağlayacaktır.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Diyak'ın yalıtıma geçebilmesi içinse triyakda olduğu gibi anod akımının ( $I_A$ ) sıfıra düşmesi yeterli olacaktır.
- Diyak yapısı ve çalışması triyak gibi olduğu için temel karakteristik eğrisi de Şekil-3.21'de olduğu gibidir.



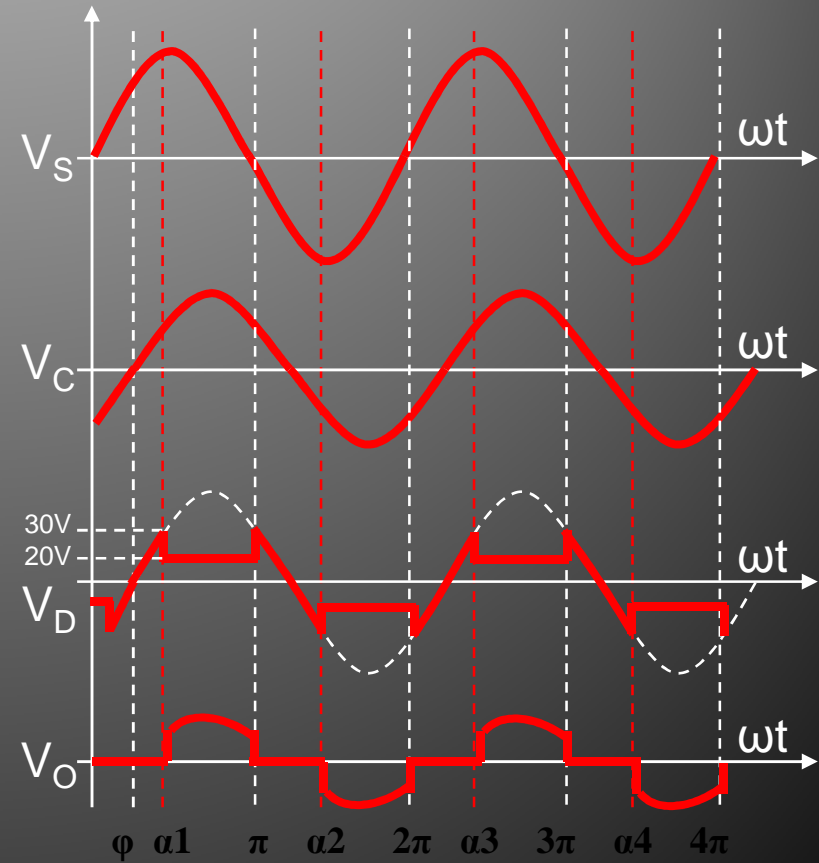
- Şekil-3.21'den görüldüğü gibi diyak  $V_p$  ( $\approx 30V$ ) geriliminde iletme geçmekte fakat iletme geçtiğinde diğer elemanlarda olduğu tamamen kısa devre olmamakta üzerinde  $V_D$  kadarlık ( $\approx 20V$ ) bir gerilim tutmaktadır.
- Aşağıdaki Şekil-3.22'de diyak'ın AC'de puls üreten uygulama devresi görülmektedir.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.22'den görüldüğü gibi AC kaynaktan alınan gerilim bir RC devresinden geçirildikten sonra diyak üzerine uygulanmaktadır.
- Bunun nedeni, daha sonra uygulama devresinde de göreceğimiz gibi AC gerilimi bölmek (azaltmak) ve fazını kaydırarak uyarma açısının ayarlanabilmesini sağlamaktır.
- Devrede R direnci ayarlanarak RC devresinin faz kaydırması değiştirilebilir. Bu da asıl uygulama devresinde uyarma açısının değişmesini sağlar.

- Devrenin çalışması Şekil-3.23'deki dalga şekillerinden daha iyi anlaşılacaktır.



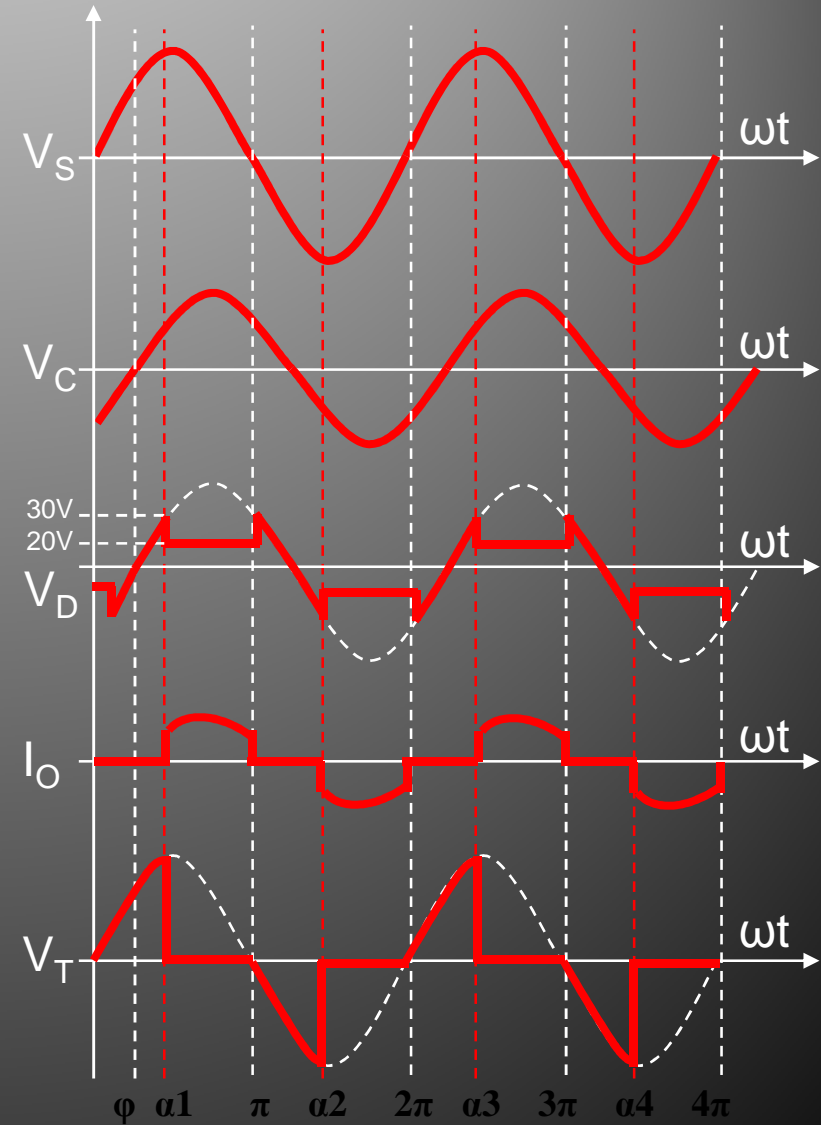
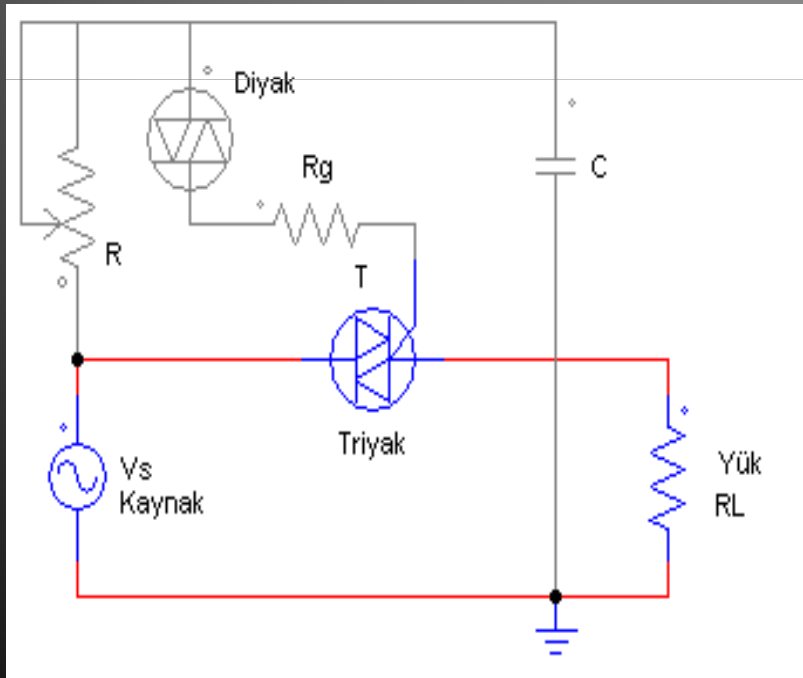


## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.23'den görüldüğü gibi, RC devresi kaynak gerilimini hem zayıflatmakta hem de fazını “ $\phi$ ” açısı kadar kaydırmaktadır.
- Diyak, fazı kaydırılmış kondansatör gerilimi ( $V_C$ ) ile çalışmaktadır. Kondansatör gerilimi her iki yönde de yaklaşık 30V seviyesine geldiğinde diyak iletme geçmekte ve üzerindeki gerilim yaklaşık 20V seviyesine düşmektedir.
- Diyak bu durumda üzerinden akım akıtarak çıkışta uyarma sinyali oluşmasını sağlamaktadır.
- Kondansatör gerilimi her iki yönde de 30V'un altına düştüğünde ise diyak tekrar yalıtıma geçmekte ve üretilen uyarma sinyali kesilmektedir.
- Diyak kullanarak üretilen bu çift yönlü palslerin frekansı, PUT ve UJT gibi diğer uyarma pulsü üreticilerinde olduğu gibi RC zaman sabitesine bağlı değildir.
- Diyak'ın ürettiği uyarma palslerin frekansı, diyak'ın çalıştırıldığı ac kaynağın frekansı ile aynıdır. Dolayısıyla da üretilen palsler kaynakla senkronizedir (uyumludur).
- Diyak, günümüzde basit uygulamalarda triyakla birlikte çok yaygın olarak kullanılan bir uyarma elemanıdır. Bunun nedeni devresinin çok basit ve maliyetinin çok düşük olmasıdır. Ayrıca bir besleme kaynağı da gerektirmez.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Diyak kullanarak bir triyak'ın çalıştığı ac şebeke ile uyumlu olarak kontrol edilmesi Şekil-3.24'de ki bağlantı ile mümkündür. Şekil-3.25'de ise devrenin dalga şekilleri görülmektedir.



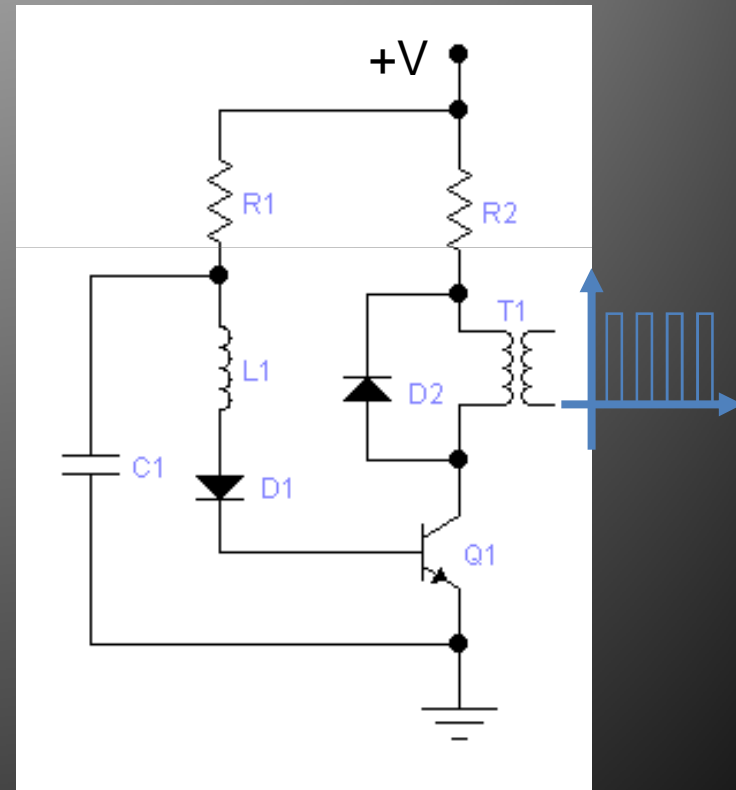
### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.24'den görüldüğü gibi Diyak devresine triyak'ın çalıştığı şebekeden doğrudan ac besleme gerilimi uygulanmaktadır.
- Uygulanan bu gerilimin fazı RC devresi tarafından " $\varphi$ " kadar kaydırılarak diyak üzerine aktarılmaktadır (Şekil-112).
- Diyak, üzerine gelen gerilim yaklaşık 30V seviyesine ulaştığında ilettime geçerek triyak'ın G-A1 arasından " $I_0$ " akımının akmasını sağlamakta ve böylece triyak " $\alpha 1$ " açısında uyarılmış olmaktadır.
- Şekil-3.25'den görüldüğü gibi " $\alpha 1$ " açısında uyarmanın gerçekleşmesiyle triyak ilettime geçerek üzerindeki gerilim ( $V_T$ ) sıfır seviyesine düşmektedir.
- Triyak'ın iletimi pozitif alternansın sonuna kadar devam etmekte, alternans sonunda yalıtıma geçmektedir.
- Diyak, negatif alternans içinde tekrar ilettime geçerek " $\alpha 2$ " açısında triyak'ın tekrar uyarılmasını sağlamaktadır.
- R direnci ayarlandığında ise faz kayması dolayısıyla da uyarma açısı değişecektir.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- 4) Analog uyarma elemanları ve uyarma devreleri:
- Tristör grubu elemanları uyarılmak için gerekli olan uyarma pılslerinin üretilmesi için her zaman UJT, PUT ve Diyak gibi özel elemanlar kullanılmayıp, analog devre elemanlarından yararlanılabilmektedir.
- Bu elemanlar, transistör, fet, mosfet, opamp vb. elemanlardır.
- Bu elemanlar uygun R, C ve L elemanlarıyla desteklenerek pıls üreteçleri kurulmaktadır.

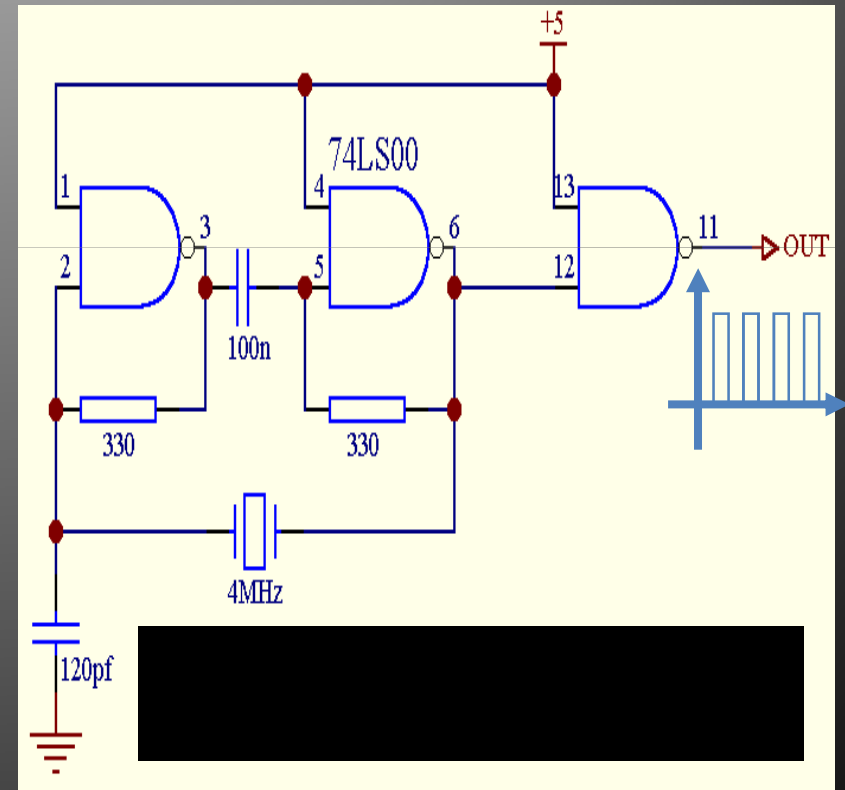
- Aşağıdaki Şekil-3.26'da transistör ve transformatör kullanılarak yapılan bir pıls üreteci görülmektedir.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- 5) Sayısal uyarma elemanları ve uyarma devreleri:
- Tristör grubu elemanları uyarılmak için gerekli olan uyarma pılslerinin üretilmesi için her zaman UJT, PUT ve Diyak gibi özel elemanlar kullanılmayıp, sayısal devre elemanlarından da yararlanılabilmektedir.
- Bu elemanlar, lojik kapılar, flip-floplar vb. elemanlardır.
- Bu elemanlar uygun R, C ve Kristal (Xtal) elemanlarıyla desteklenerek pıls üreteçleri kurulmaktadır.

- Aşağıdaki Şekil-3.27'de lojik kapılar ve kristal kullanılarak yapılan bir pıls üreteci görülmektedir.

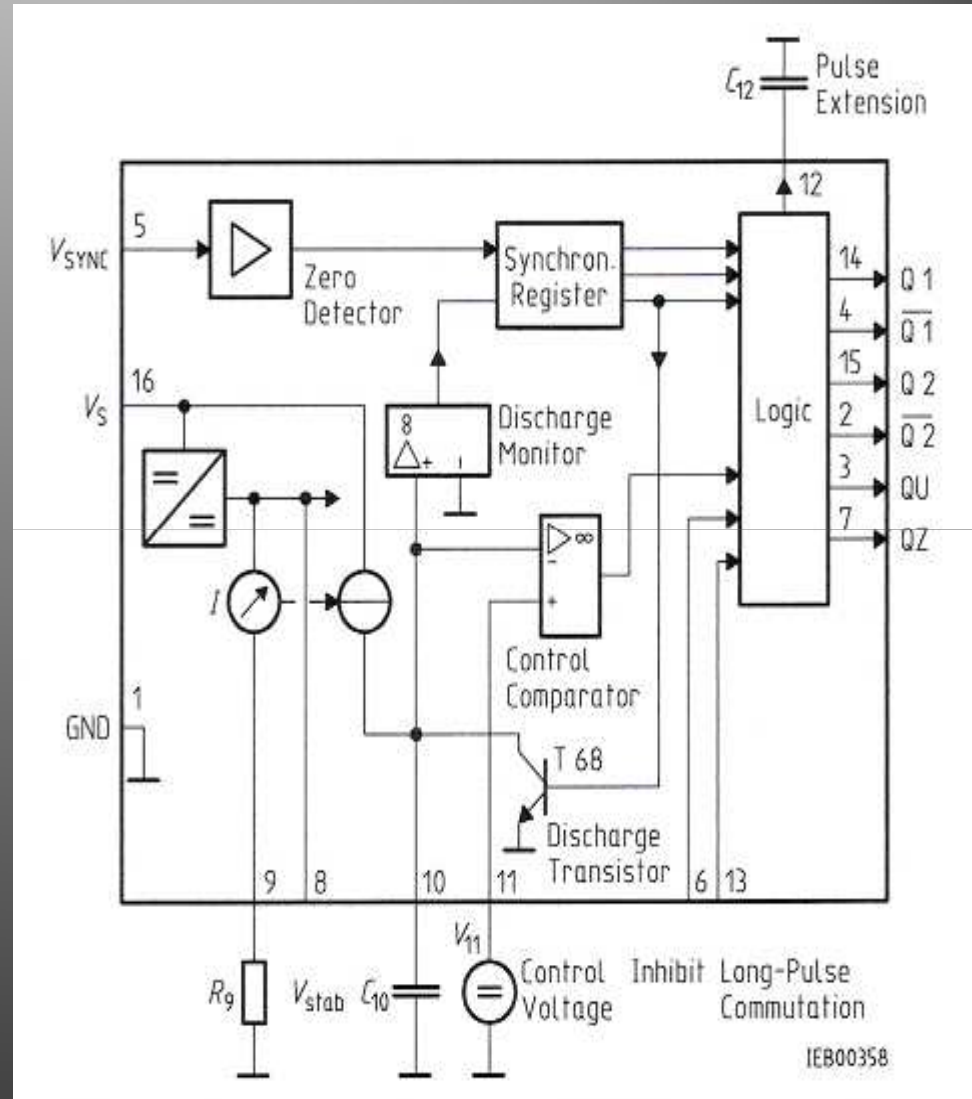
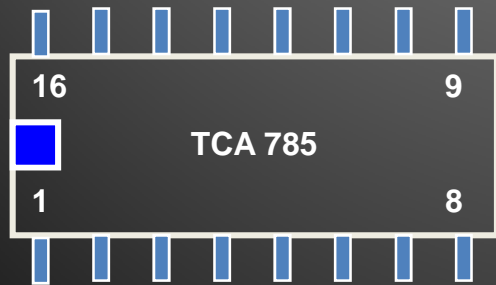


## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- 6) Entegre uyarma elemanları ve uyarma devreleri:
- Özellikle profesyonel uygulamalarda UJT, PUT ve Diyak gibi elemanları kullanarak çok hassas olmayan kontroller yapmak veya analog ve sayısal devreleri kurmakla uğraşmak yerine, bu analog ve sayısal devrelerinin en iyi tasarımlarının birleştirilmesiyle oluşturulmuş ve tek bir kılıf içine yerleştirilmiş olan özel entegre devrelerin kullanılması çok daha uygun olmaktadır.
- Bu sayede tristör grubu elemanları uyarabilmek için, hem daha güvenilir hem de daha kolay kurulabilen hem de daha çok fonksiyona sahip uyarma devreleri elde edilebilmektedir.
- Bilindiği gibi tristör grubu elemanların uyarılması sırasında AC şebekeyle senkronize çalışmanın önemi çok büyüktü, işte bu entegre devrelerin kullanılması sayesinde şebekeyle senkronizasyon ve 0-180 derece arasında uyarma açısı ayarlanması da çok kolaylaşmaktadır.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- En çok kullanılan pals üretic entegrelerinden birisi uygulama kartında da kullanmakta olduğumuz, Siemens'in üretmiş olduğu TCA785 entegresidir.
- Aşağıdaki Şekil-3.28'de entegrenin kılıf yapısı, yan taraftaki Şekil-3.29'da ise entegre içindeki devrelerin blok şeması ve bunların bacak (pin) bağlantısı görülmektedir.



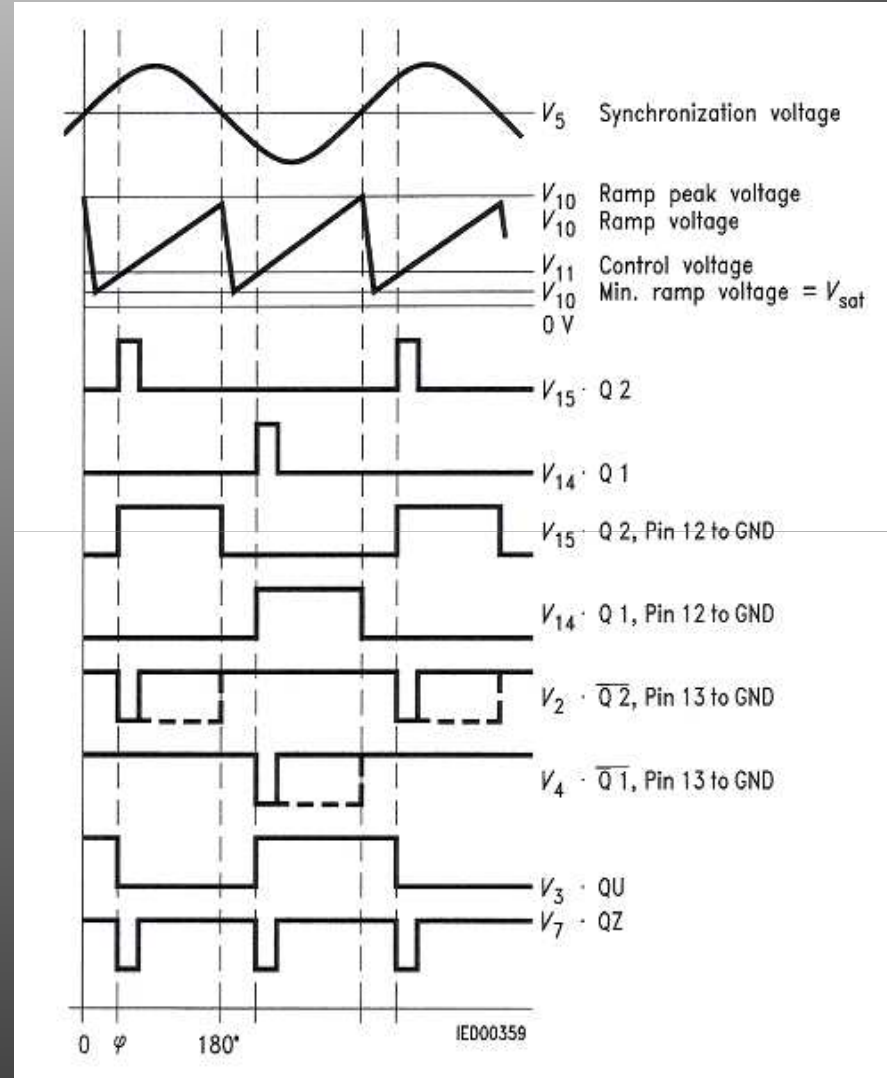
### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.29'dan görüldüğü gibi entegre devre içinde çeşitli analog ve sayısal devreler bulunmaktadır. Bu devreler;
  - Sıfır seviye dedektörü (sezici),
  - Senkronizasyon kaydedici,
  - Çıkış mantık devresi,
  - DC-DC dönüştürücü devresi,
  - Deşarj devresi,
  - Rampa (üçgen) üreteç devresi,
  - Kontrol karşılaştırıcı devresi,
  - Bu devreler dışarıdan bağlanan birkaç elemanla desteklenerek entegrenin pals üretmesi sağlanmaktadır.
- TCA785 entegre devresinin çalışabilmesi için 12-15V civarı dc gerilime ihtiyaç vardır (16 ve 1 nolu terminaller arasına).
- Ayrıca entegrenin pals üretebilmesi için şebeke geriliminden alınacak küçük bir örneğe ihtiyaç duyulmaktadır (5 ve 1 terminalleri arasına).
- Entegrenin ürettiği palslerin şebeke alternanslarının 0-180 dereceleri arasında ayarlanabilmesi içinse 0-10V arasında ayarlanabilen bir dc gerilime ihtiyaç duyulmaktadır (11 ve 1 terminalleri arasına).



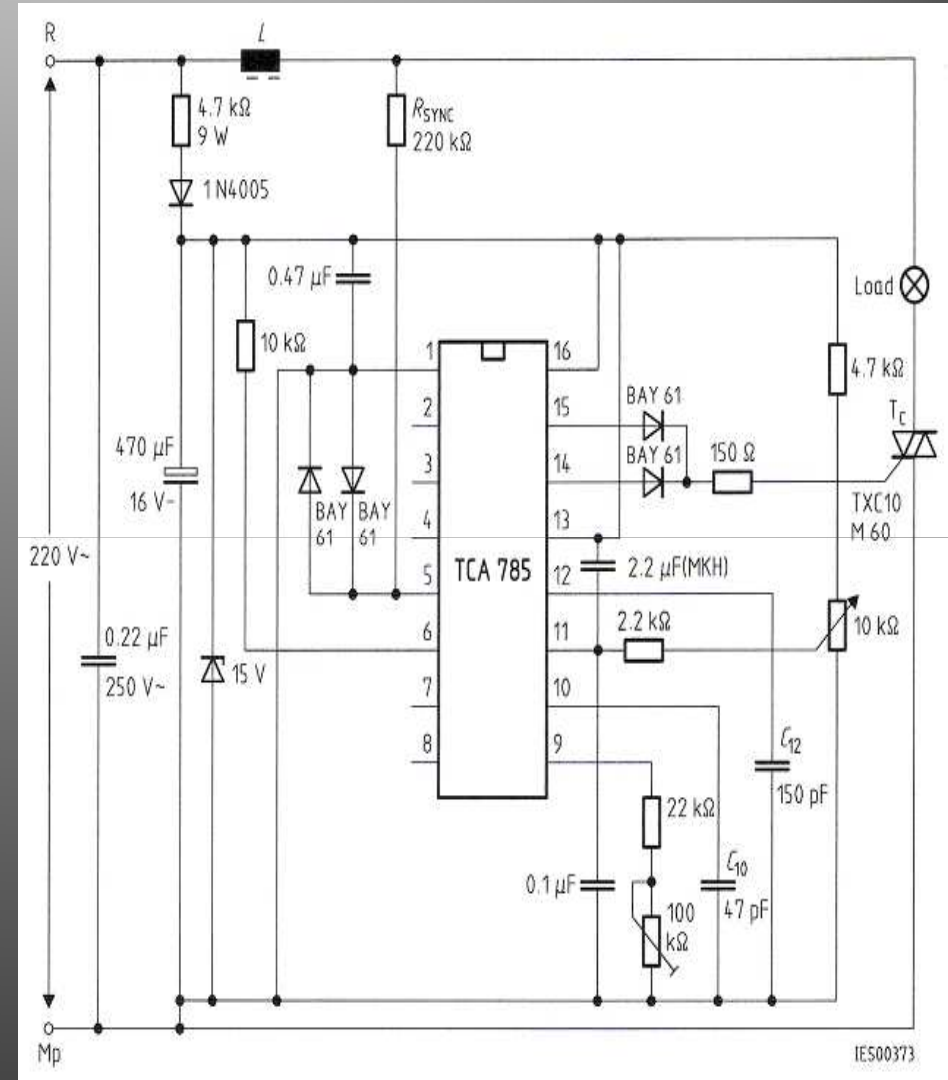
### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Entegre devresinin çalışabilmesi için gerekli olan bu donanım sağlandıktan sonra çıkış terminalleri olan 2, 3, 4, 7, 14 ve 15 numaralı terminallerden yan taraftaki Şekil-3.30'da görülen dalga şekillerine sahip pulsler, şebekeye ve entegre içinde üretilmekte olan rampa (üçgen) referans sinyaline göre oluşmaktadır.
- Bu pulslerden 14 ve 15 numaralı terminallerden elde edilenler daha yaygın olarak kullanılmaktadır.



## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Yan tarafta görülen Şekil-3.31'de TCA785 entegre devresinin basit bir uygulama devresi görülmektedir.
- Bu uygulamada 220Vac şebekeden beslenen bir yükün (lamba) triyak kullanılarak kontrolu yapılmaktadır.
- TCA785'de triyak'ın hassas kontrolu için kullanılmıştır.
- Şekilden görüldüğü gibi TCA785'in çalışabilmesi için gerekli olan 15Vdc gerilim, senkronizasyon gerilimi ve pals ayar gerilimleri aynı şebekeden elde edilmiştir.

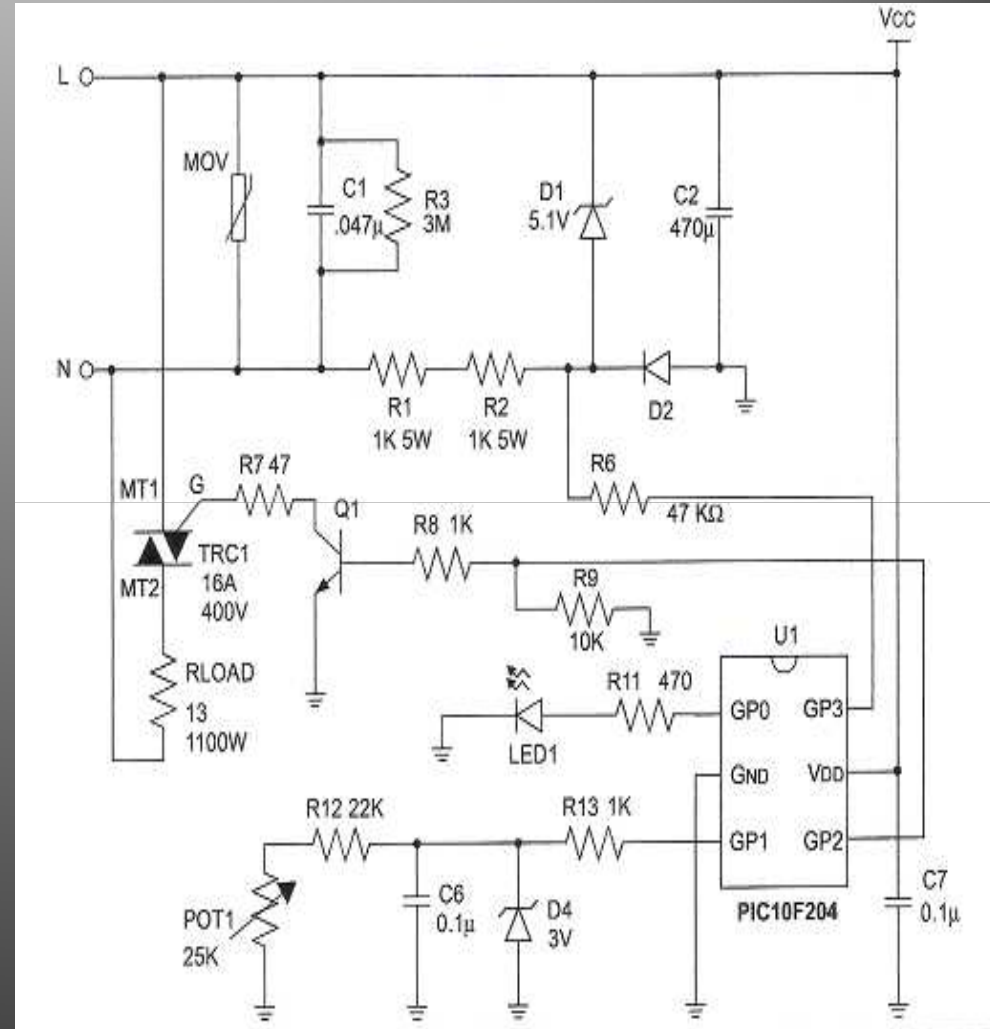


## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- 7) PIC ve PIC kullanılarak yapılan uyarma devreleri:
- Son yıllarda tristör grubu elemanların uyarılması için kullanılan devrelerde önemli değişiklikler meydana gelmiştir.
- Devreler tasarlanırken analog elemanlar ve özel entegre devreler kullanmaktan vazgeçilmiş bunun yerine profesyonel işlerde mikroişlemci tabanlı programlanabilen entegre devrelerin (PIC) kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.
- Tristör grubu elemanları uyararak ve kontrol etmek amacıyla PIC kullanılarak yapılan uyarma devrelerinin diğer yöntemlerle yapılan devrelere göre daha güvenli olduğu rahatlıkla söylenebilmektedir.
- Bunun nedeni devrenin çalışabilmesi ve işlevlerini yerine getirebilmesi için PIC içine uygun bir program yüklenmesinin gerekmesidir.
- Dolayısıyla diğer yöntemlerde olduğu gibi elemanlar temin edilip doğrudan çalıştırılmaz.

## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

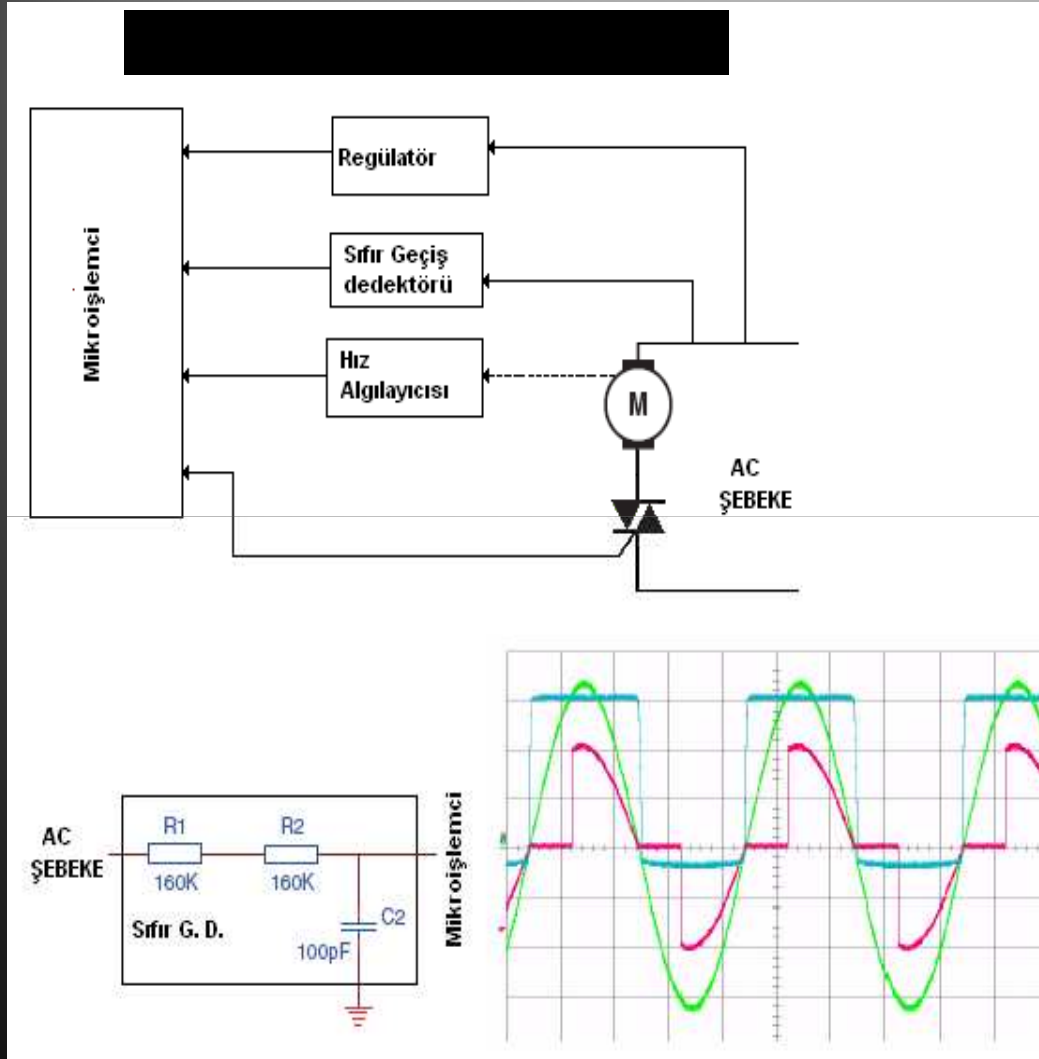
- Yan tarafta görülen Şekil-3.32’de 220Vac şebekede bir rezistansı anahtarlayan triyak, bir PIC yardımıyla kontrol edilmektedir.
- Tabii ki burada yapılan kontrol triyak’ın iletme geçme açısının kontrolü değil doğrudan kare dalga mantığı ile anahtarlanması yöntemidir.
- Devrede bulunan POT1 kullanılarak da üretilen kare dalgaların etkin periyodu ayarlanabilmektedir.
- PIC için gereken dc gerilim şebekeden elde edilmiştir.



## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- 8) Mikroişlemci kullanılarak yapılan uyarma devreleri:
- Son yıllarda tristör grubu elemanların uyarılması için kullanılan devrelerde önemli değişiklikler meydana gelmiştir.
- Devreler tasarlanırken analog elemanlar ve özel entegre devreler kullanılmaktan vazgeçilmiş bunun yerine profesyonel işlerde genel kontrol için kullanılan mikroşlemcilerin doğrudan uyarma işleri için kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.
- Tristör grubu elemanları uyararak ve kontrol etmek amacıyla mikroşlemci kullanılarak yapılan uyarma devrelerinin PIC'de olduğu gibi, diğer yöntemlerle yapılan devrelere göre daha güvenli olduğu söylenebilmektedir.
- Bunun nedeni devrenin çalışabilmesi ve işlevlerini yerine getirebilmesi için mikroşlemciye uygun program yüklenmesinin gerekmesidir.
- Dolayısıyla diğer yöntemlerde olduğu gibi elemanlar temin edilip doğrudan çalıştırılmaz.

## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ



- Yan tarafta görülen Şekil-3.33'de 220Vac şebekede bir motoru kontrol eden triyak, bir mikroişlemci yardımıyla kontrol edilmektedir.
- Tabii ki burada yapılan kontrolün etkin olabilmesi için mikroişlemciye şebeke ile ilgili bilgi aktarımı yapılması gerekmektedir.
- Şekil-3.33'den görüldüğü gibi besleme gerilimi, senkronizasyon gerilimi şebekeden alınmakta, ayrıca kontrol edilecek motorun da hızı sezilerek mikroişlemciye aktarılmakta ve buna göre kontrol yapılmaktadır.

## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Uygulama devrelerinden görüldüğü gibi PIC, daha çok lokal uygulamalarda ve daha basit işlemlerde kullanılırken mikroşlemcili uyarma devreleri, daha karmaşık sistemlerde, tüm sistemi yöneten mikroşlemcinin aynı zamanda sistem içindeki elemanları enerjilendiren güç anahtarlarını da uyarmakta kullanılmaktadır.
- Özellikle tüm fonksiyonları mikroşlemci tarafından kontrol edilen çamaşır makinası, fırın vb. bu uygulamaya örnektir.
- Bu ders içinde PIC ve mikroşlemcilerle yapılan uygulamalara daha fazla girilmeyecektir.
- Bunun nedeni PIC ve mikroşlemcilerin başlı başına bir ders olmasıdır. Bu elemanlar, yapıları, programlama yöntemleri ve uygulama alanları ile uygulama devreleri bu dersler içinde ayrıntısı ile verilecektir.
- Günümüzde güç elektroniği uygulamalarının pek çoğunda artık PIC ve mikroşlemci ile kontrol kullanılmaktadır.

## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- **TRİSTÖR UYARMA PLASLERİNİN SÜRÜLMESİ:**

- Tristör grubu elemanları uyararak için geliştirilen uyarma elemanları ve şu ana kadar üzerinde durulan devreleri incelendiğinde, üretilen palslerin, güç elemanlarının girişine doğrudan uygulandığı görülmektedir.
- Bu uygulama, sadece düşük ve orta güçlerde sadece tek bir güç elemanının kontrol edilmesi durumunda geçerli olmaktadır.

- Yüksek güçlü elemanlar kontrol edileceği veya birden fazla eleman aynı anda kontrol edileceği zaman ise uyarma devreleri ile güç elemanları arasına “pals sürücü” devrelerinin yerleştirilmesi gerekmektedir.
- Pals sürücü devrelerinin üstlenmiş olduğu üç işlev bulunmaktadır. Bunlar,
  - 1) Palslerin akım veya gerilim olarak güçlendirilmesi,
  - 2) Pals üreticinin güç devresinden yalıtılması,
  - 3) Palslerin çoğullanmasıdır.

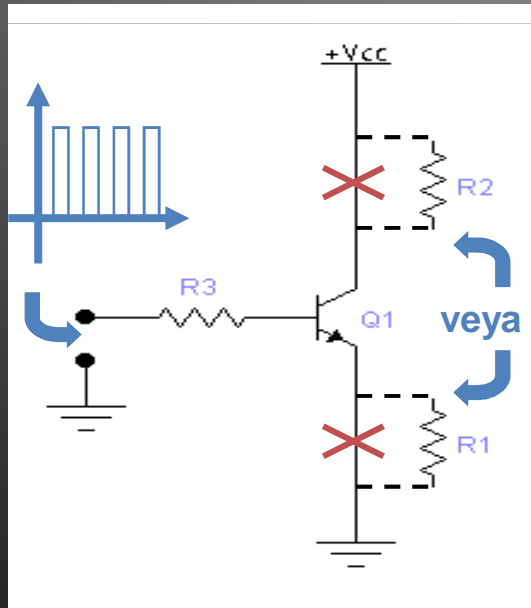


## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- **Palslerin güçlendirilmesi;**
- Bilindiği gibi tristör grubu elemanlar akım kontrollü elemanlardır.
- Güç elemanın kontrol terminalleri üzerinden dolaştırılan kontrol akımı o elemanın kontrol ettiği akım ve gerilim ile doğru orantılıdır.
- Küçük güçlü güç elemanlarının uyarılmasında küçük uyarma akımı, yüksek güçlü güç elemanlarının uyarılmasında ise daha yüksek uyarma akımına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Güç elemanları için gerekli olan en az ve en çok uyarma akım seviyeleri ve süreleri üretici tarafından elemanın bilgi yapraklarında belirtilmektedir.
- Uyarma akımının düşük olması güç elemanının ya uyarılamamasına ya da anahtarlama zamanının uzun olmasına yol açmaktadır.
- Bu nedenlerle güç elemanını uyarırken mümkün olan (üretici tarafından belirtilen) en yüksek uyarma akımıyla uyararak en doğrusu olacaktır.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Daha önce ayrıntısıyla açıklanan pals üretici devrelerin çıkışında elde edilen uyarma palslerini güçlendirmek için genellikle Şekil-3.34'de görüldüğü gibi transistör kullanılmaktadır.

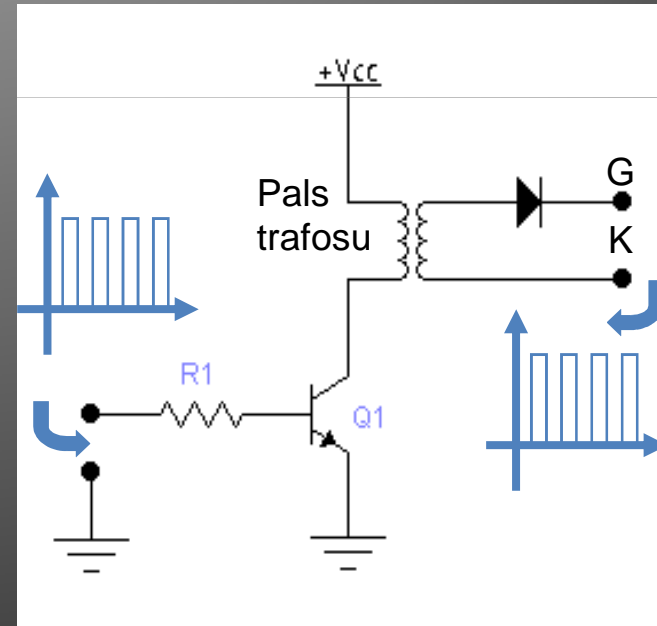


- Şekil-3.34'den görüldüğü gibi, pals üretici tarafından üretilen uyarma palsleri uygun bir transistör girişine uygulanarak ihtiyaca göre kollektör (C) veya emiter (E) terminalinden çıkış alınabilmektedir.
- Çıkış emiterden alınır ise sadece akım olarak yükseltmekte genlik aynı kalmakta, kollektörden alınır ise, hem genlik hem de akım olarak yükseltilmektedir.
- Burada güç elemanını uyaracak akım  $+V_{CC}$  kaynağından çekilmektedir.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- **Palslerin yalıtılması;**
- Palslerin yalıtılması, özellikle orta ve yüksek güçlerde çalışırken şebekeden izole olmak için veya birden fazla güç elemanının kontrolünü sağlarken istenmeyen kısa devrelerin oluşmasını engellemek için mutlak gerekli olan bir uygulamadır.
- Palslerin yalıtılması, aslında pals üreten ve süren devre ile güç devresinin birbirlerinden izole edilmesi işlemidir ve profesyonel uygulamalarda hayati önem taşımaktadır.

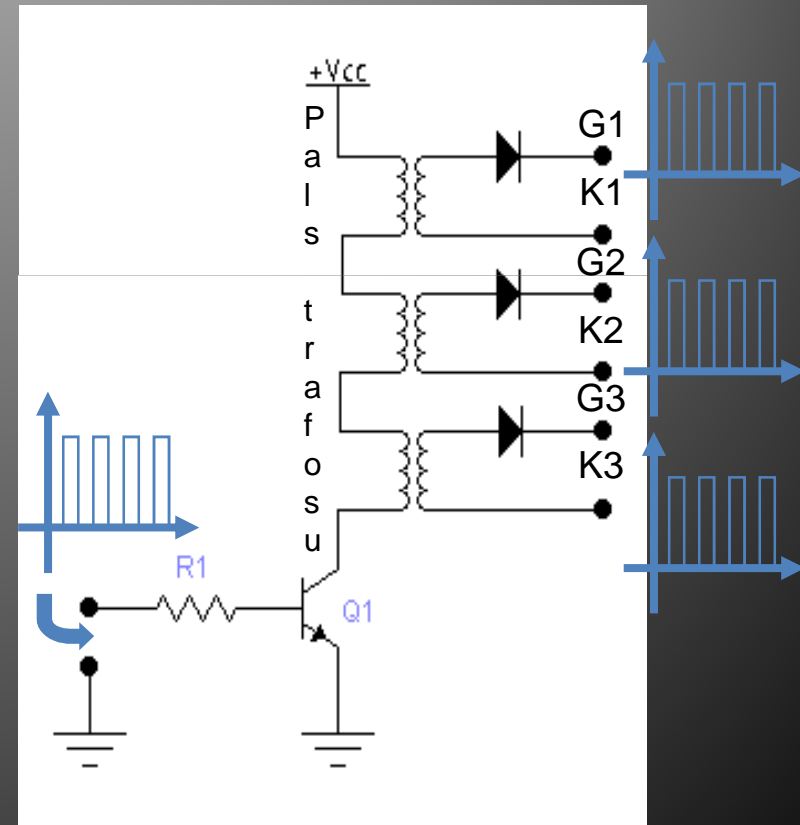
- Yalıtma işlemi için aşağıdaki Şekil-3.35’de görüldüğü gibi “pals transformörü” denilen düşük güçlü özel imal edilmiş küçük transformatörler kullanılmaktadır.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

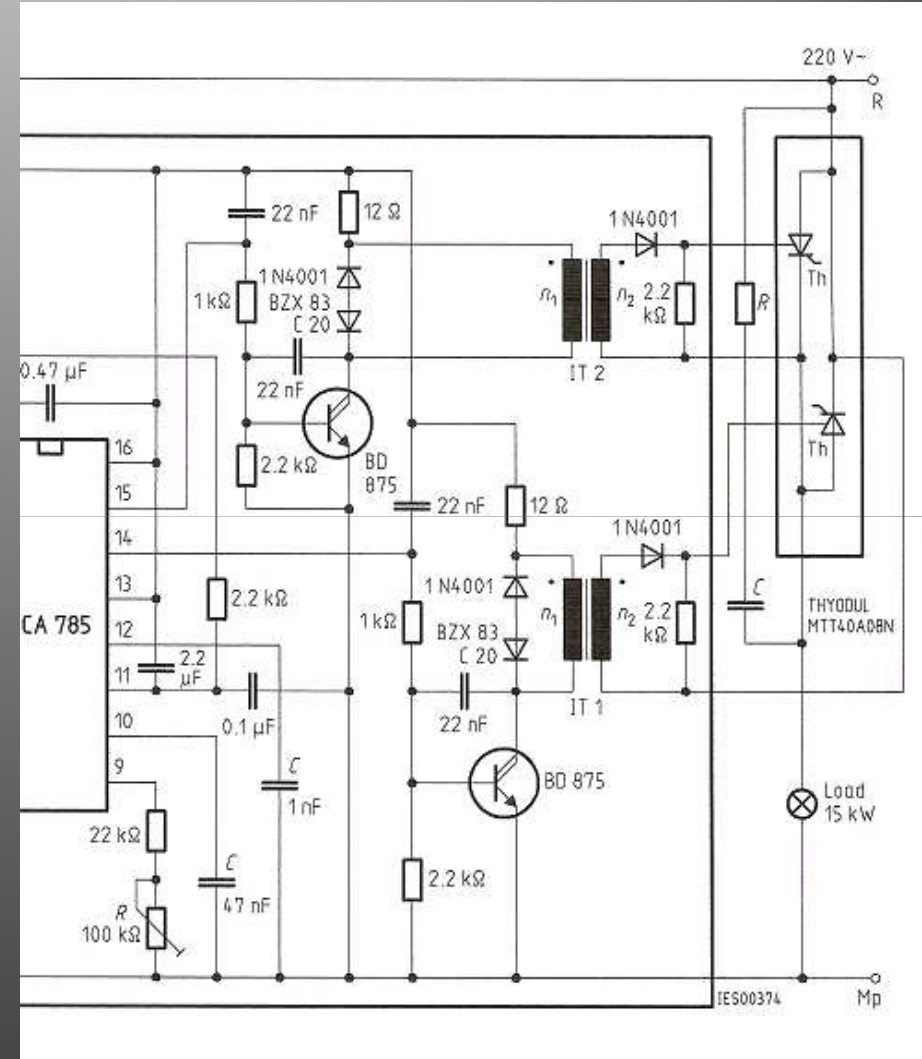
- **Palslerin çoğullanması;**
- Palslerin çoğullanması ihtiyacı, tüm güçlerde çalışırken, özellikle köprü bağlantılarda, seri-paralel bağlantılarda ve aynı anda birden fazla anahtarlamanın yapılması gerektiği durumlarda karşımıza çıkan bir durumdur.
- Aynı anda ve aynı şartlar altında birden fazla elemanın uyarılması gerektiğinde pals üretici ve sürücü devre çıkışı, kısa devreye yol açmamak için doğrudan elemanların uyarma terminallerine bağlanamaz.

- Bu durumda Şekil-3.36'da görüldüğü gibi, hem çoğullama hem de yalıtma yapılmaktadır.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Yan tarafta görülen Şekil-3.37’de birbirine ters paralel bağlı olarak çalıştırılan iki adet güç tristörünün sürülme uygulaması görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi TCA785 tarafından üretilen pulsler birer transistör kullanılarak güçlendirilmekte ve yalıtma için kullanılan puls transformatörünün primer sargısına aktarılmaktadır.
- Sekonder sargısından alınan güçlendirilmiş ve yalıtılmış pulsler, güç elemanın uyarma terminallerine uygulanmıştır.



## ÖDEV-5

5.1) Tristör grubu elemanların uyarılmasında kullanılan **UJT, PUT ve Diyak** yapılarını daha iyi tanımak için uygun elemanlar belirleyerek internet ortamında bilgi yapıları (datasheets) üzerinden araştırınız. Her üç elemanın da yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.

5.2) Tristör grubu elemanların uyarılmasında en çok kullanılan entegre devrelerden olan **TCA785** yapısını daha iyi tanımak için internet ortamında bilgi yapıları (datasheets) üzerinden araştırınız. Elemanın iç yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.

## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- **B- GÜÇ TRANSİSTÖRLERİNİN UYARILMASI:**
- Bilindiği gibi, güç transistörleri, güç tristörlerinden farklı olarak çok kısa süreli palsler (iğne pals) yerine etkin periyodu değişebilen (PWM) kare dalgalar ile uyarılmaktaydı.
- Ayrıca güç transistörlerini yalıtıma geçirmek için ayrıca bir uyarma vermeye veya işlem yapmaya gerek yoktu.
- Bu elemanlar uyarı verildiği sürece ilettime, uyarı kesildiğinde ise yalıtıma geçmekteydiler.
- Bu durumda güç transistörleri grubunda olan BJT, E-Mosfet ve IGBT'lerin uyarılabilmesi ve kontrol edilebilmesi için tasarlanacak olan uyarma devrelerinin, etkin periyodu %0 ile %100 arasında değiştirilebilen, frekansı da istenilen frekans aralığında kontrol edilebilen kare dalga uyarma sinyalleri (PWM-kare dalga) üretebilmelidir.
- Bu uyarma sinyallerinin, tristör grubu elemanları uyaran iğne palsler gibi, çalışılan şebeke ile senkronize (uyumlu) olmalarına ihtiyaç yoktur.

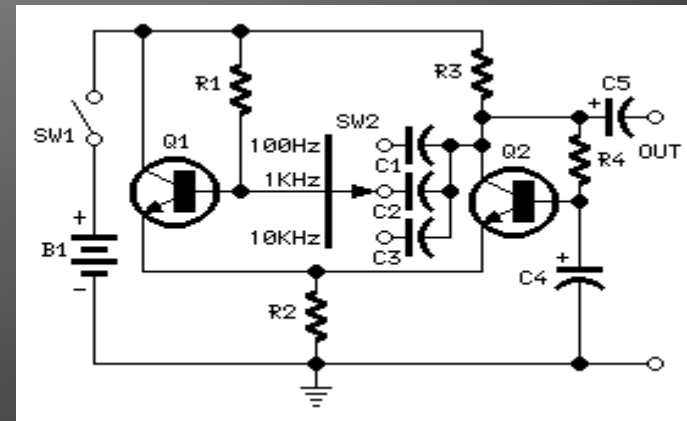
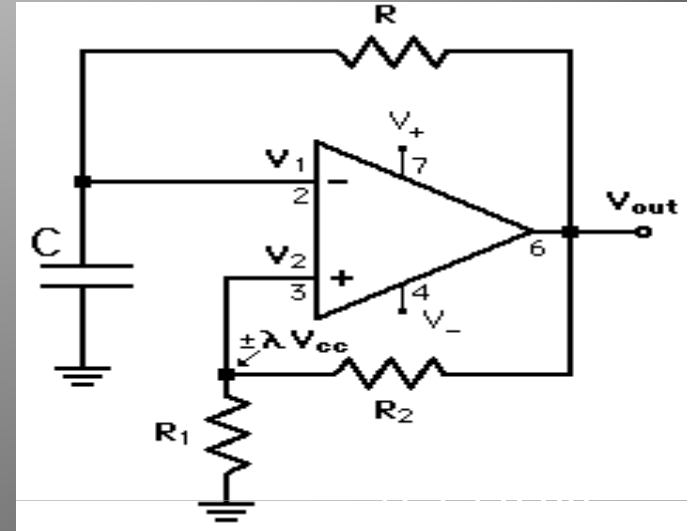
## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Güç transistörlerinin uyarılması için gerekli olan PWM uyarma sinyallerini üretmek için çeşitli elemanlar ve devreler kullanılmaktadır. Bu eleman ve devreler bu iş için özel olarak üretilmiş elemanlar ve devreler olabildiği gibi temel elektronikte kullanılan elemanlarla oluşturulan devreler de olabilmektedir.
- Bu elemanlar ve devreler tarafından üretilen PWM kare dalga sinyallerin, kontrol ettiği güç elemanını tam ilettime veya yalıtıma geçirecek seviyede olması gerekmektedir.
- Bu durumda güç transistörlerini uyararak için kullanılan uyarma elemanları ve devreleri,
  - 1) Analog uyarma devreleri,
  - 2) Sayısal uyarma devreleri,
  - 3) Entegre uyarma devreleri,
  - 4) PIC'li uyarma devreleri,
  - 5) Mikroişlemcili uyarma devreleri,olarak 5 temel grupta toplanabilmektedir. Aslında tüm bu devrelerin yapmaya çalıştığı tek iş PWM kare dalga üretmektedir. Bu gruplar ayrıntısıyla incelenecektir.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

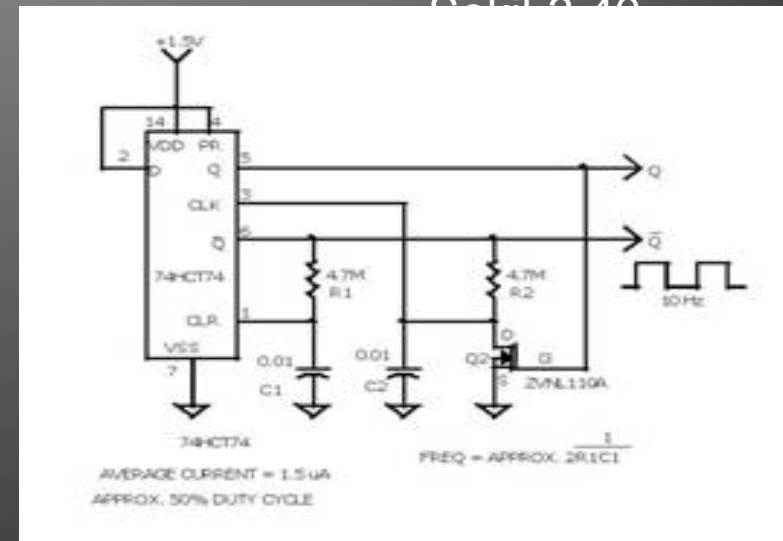
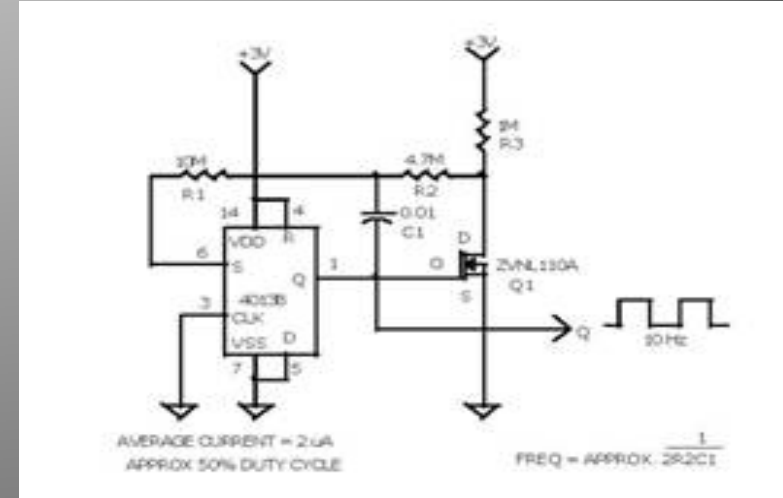
- 1) Analog uyarma devreleri:
- Analog uyarma elemanları olan transistör, fet, mosfet, opamp vb. devre elemanları kullanılarak kare dalga üretmek oldukça kolaydır.
- Yan tarafta görülen Şekil-3.38’de opamp kullanarak yapılmış bir kare dalga üretici, Şekil-3.39’da ise transistör kullanarak yapılmış değişken frekanslı bir kare dalga üretici görülmektedir.
- Tabii ki bu devrelere etkin periyodu değiştirebilmek için bazı eklemeler yapılmalıdır.



Şekil-3.39

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- 2) Sayısal uyarma devreleri:
- Sayısal uyarma elemanları olan lojik kapılar, flip-floplar vb. devre elemanları kullanılarak kare dalga üretmek oldukça kolaydır.
- Yan tarafta görülen Şekil-3.40'de ve Şekil-3.41'de D tipi flip-floplar kullanılarak yapılan iki ayrı karedalga osilatör devresi görülmektedir. Devrede mosfetlerden de destek alınmıştır.
- Tabii ki bu devrelere etkin periyodu değiştirebilmek için bazı eklemeler yapılmalıdır.

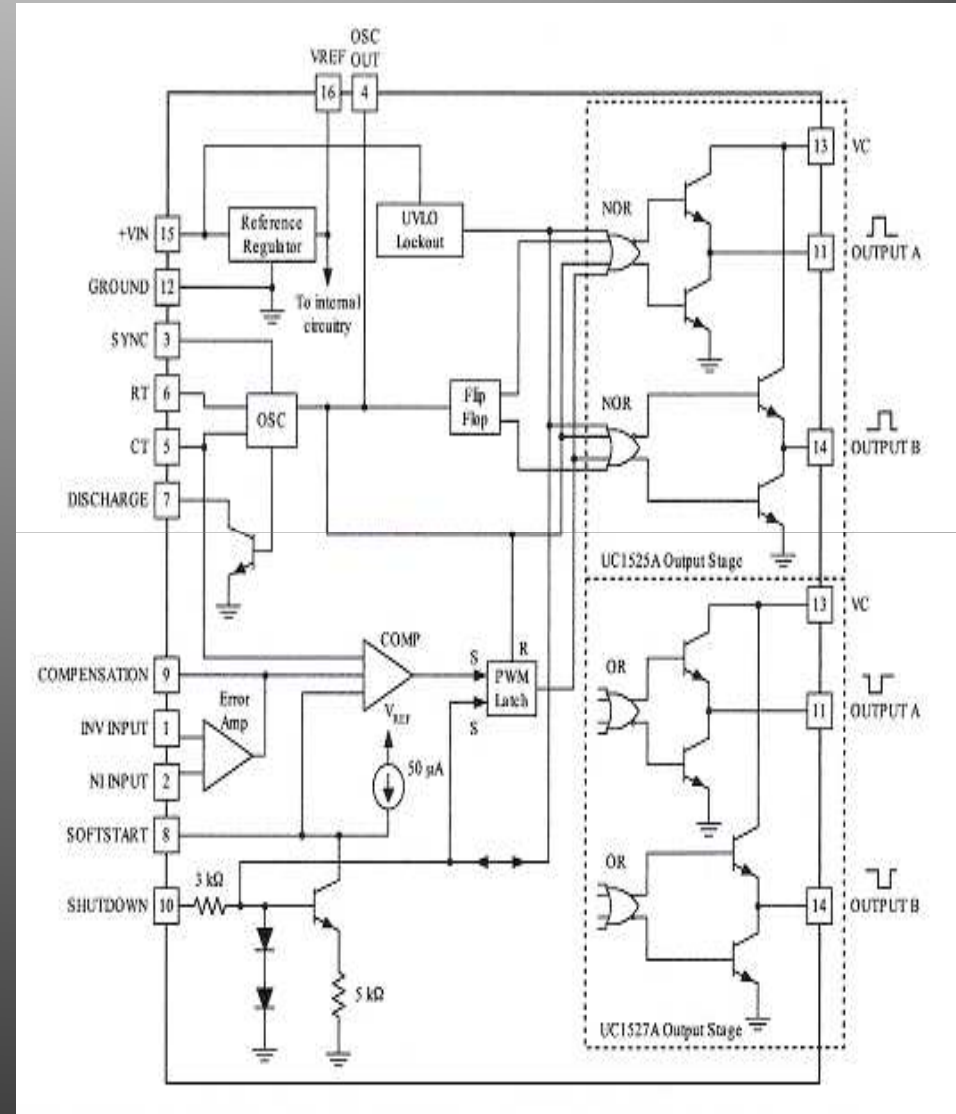
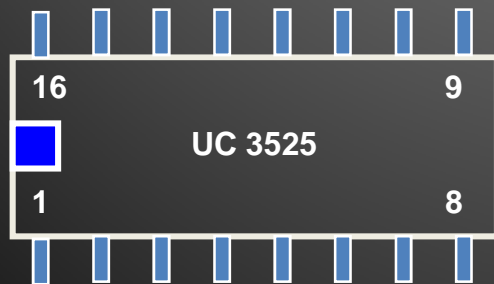


## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- 3) Entegre uyarma devreleri:
- Analog ve sayısal devre elemanları kullanılarak kare dalga üreteçler kolaylıkla yapılabilmesine rağmen, bu devrelerin istenilen özelliklerde PWM kare dalga üretebilmesi için devreye çeşitli eklemelerin yapılması ve devrenin kararlı olarak çalıştırılabilmesi gerekmektedir.
- Uygulamada bu tür devreleri kurup test etmek yerine bu iş için özel olarak üretilmiş entegre devreleri kullanmak daha yaygındır.
- Bu tür entegreler en uygun analog ve sayısal devrelerin birleştirilmesiyle pek çok fonksiyonu kusursuz bir şekilde yerine getirebilmekte ve kararlı bir şekilde çalışabilmektedirler.
- PWM kare dalga entegre devrelerinin etrafına yerleştirilen birkaç destek elemanı ile aynı anda birden fazla sinyal, hem frekansları hem de etkin periyotları kontrol edilebilir şekilde üretilebilmekte ve belli bir seviyeye kadar sürebilmektedirler.

## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- En çok kullanılan PWM kare dalga üreticilerinden birisi uygulama kartında da kullanılmakta olduğumuz, Texas-Unitrode firmasının ürettiği UC3525 entegresidir.
- Aşağıdaki Şekil-3.42’de entegrenin kılıf yapısı, yan taraftaki Şekil-3.43’de ise entegre içindeki devrelerin blok şeması ve bunların bacak (pin) bağlantısı görülmektedir.



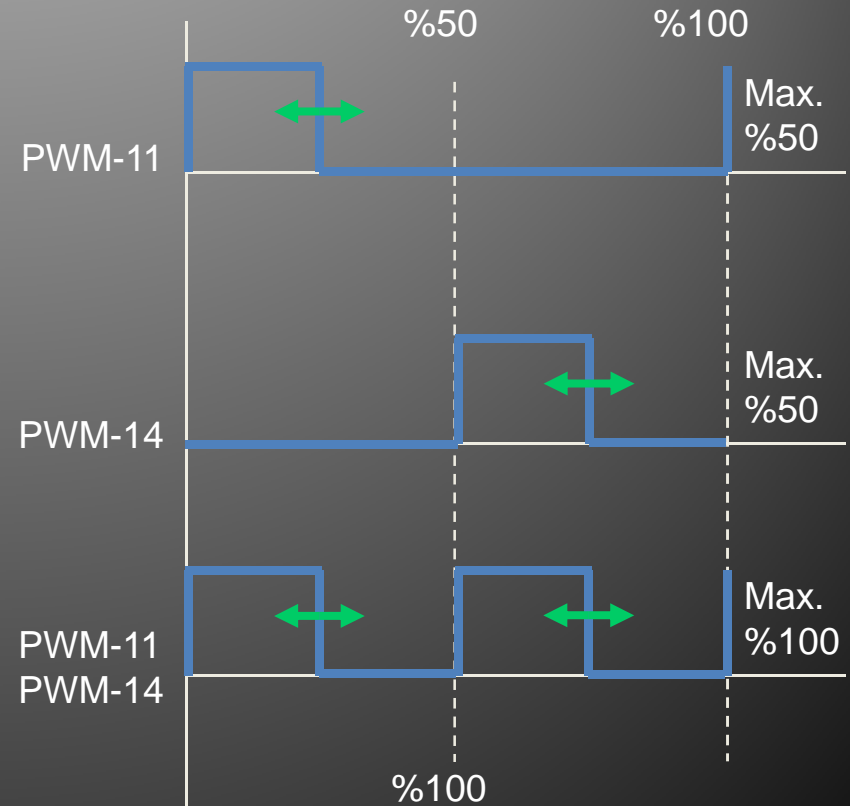
## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Şekil-3.43'den görüldüğü gibi entegre devre içinde çeşitli analog ve sayısal devreler bulunmaktadır. Bu devreler;
  - Referans regülatörü,
  - Osilatör,
  - Hata yükselteci,
  - Karşılaştırıcı,
  - Koruma (kesme) devresi,
  - Lojik sürücü,
  - Push-pull çıkış devresi,
  - Bu devreler dışarıdan bağlanan birkaç elemanla desteklenerek entegrenin pals üretmesi sağlanmaktadır.
- UC3525 entegre devresinin çalışabilmesi için 8-35V arası dc gerilime ihtiyaç vardır (13-15 ile 1 nolu terminaller arası).
- Entegre 11 ve 14 numaralı çıkış terminallerinden 2 adet PWM kare dalga sinyal üretmektedir (100Hz-500kHz arası frekansta).
- Entegrenin 2 numaralı terminaline uygulanan 0V-5V arası gerilim ile entegrenin üretmiş olduğu her iki PWM kare dalganın etkin periyodu %0 ile %50 arasında ayarlanabilmektedir.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

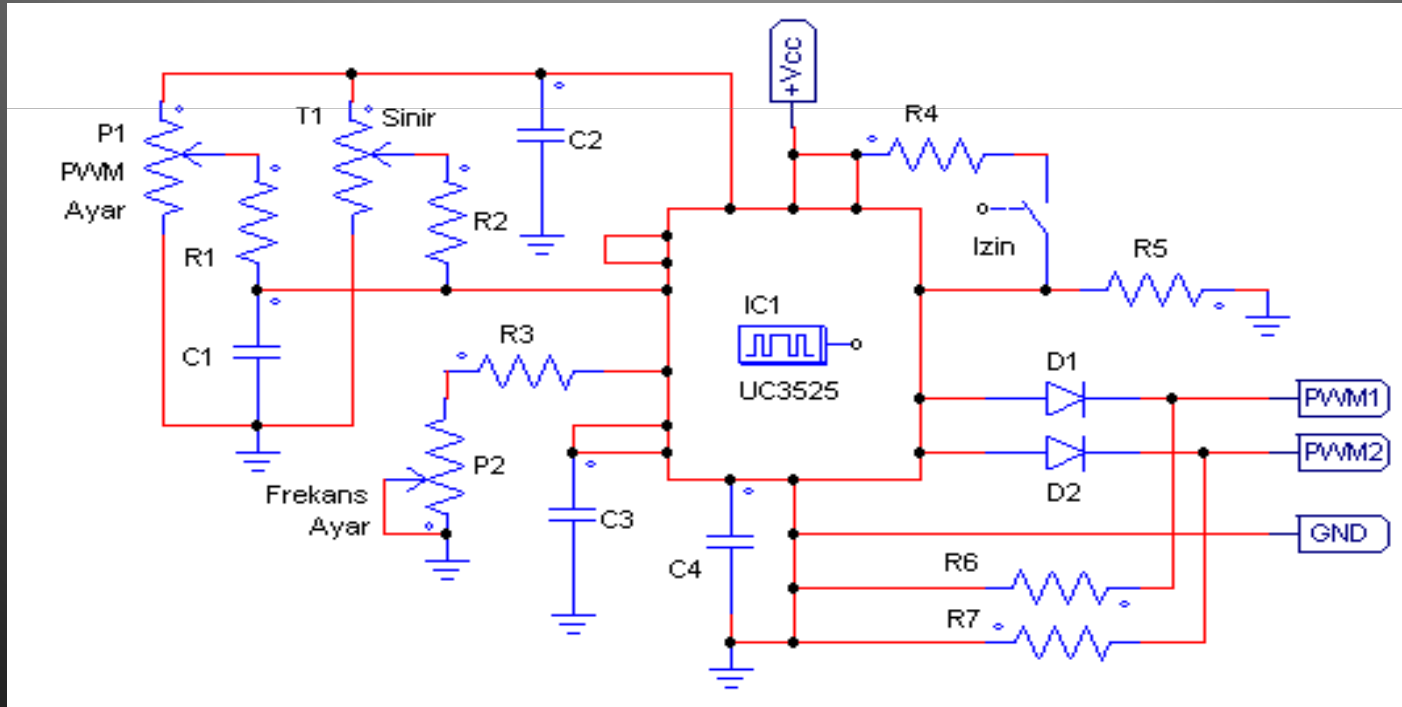
- Entegre devresinin çalışabilmesi için gerekli olan bu donanım sağlandıktan sonra çıkış terminalleri olan 11 ve 14 numaralı terminallerden yan taraftaki Şekil-3.44'de görülen dalga şekillerine sahip PWM kare dalga sinyaller oluşmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi bu sinyaller frekans ve genlik olarak tamamen aynı, fakat 180 derece faz farklıdır. Entegrenin 2 numaralı terminaline uygulanan 0-5V ayarlı gerilimle bu sinyallerin etkin periyodu %0'a kadar düşürülebilmektedir.

- Eğer üretilen bu iki PWM kare dalga birleştirilirse %0 ile %100 arası ayarlana PWM kare dalga sinyal oluşmaktadır.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

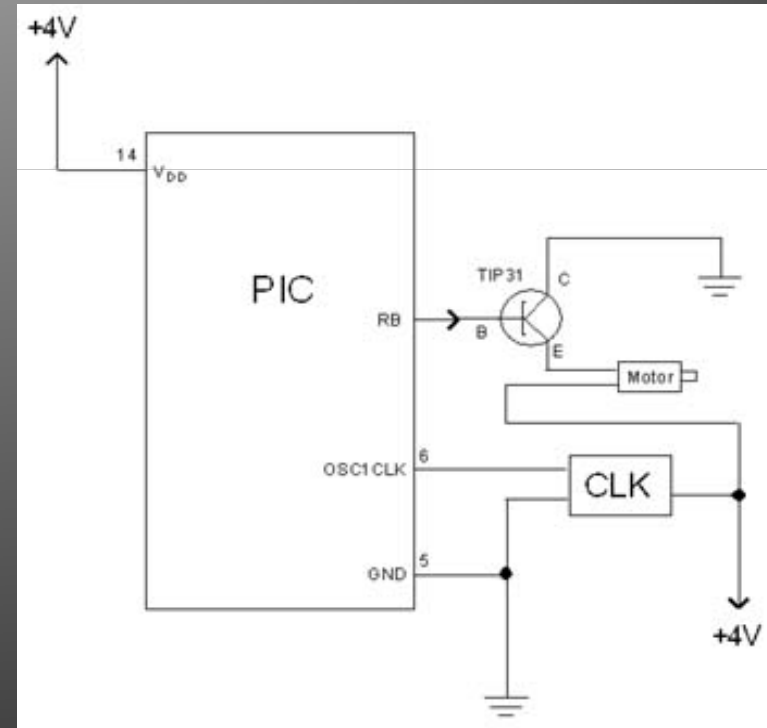
- Şekil-3.45'de UC3525 entegre devresinin basit bir uygulama devresi görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi entegre 12Vdc ile beslenmiş, 16 numaralı terminalinden çıkan 5V regüleli gerilim bir ayarlı dirençle alınarak 2 numaralı PWM ayar terminaline aktarılmıştır. Plas frekansını ise 5, 6 ve 7 numaralı terminallere bağlanan elemanlar belirlemektedir. 10 numaralı terminal 1 veya 0 yapılarak entegre on-off yapılmaktadır.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- 4) PIC ve PIC kullanılarak yapılan uyarma devreleri:
- Tıpkı tristör grubu elemanlarda olduğu gibi transistör grubu elemanların kontrol edilmesinde de son yıllarda klasik analog veya sayısal devreler ve standart entegreler yerine PIC kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.
- Bunun nedeni yine özgün tasarımlar ve uygulamalar gerçekleştirilmesi, ürünlerin kopyalanmasının engellenmesi ve devrelerin daha ucuz ve basit hale getirilmesidir.

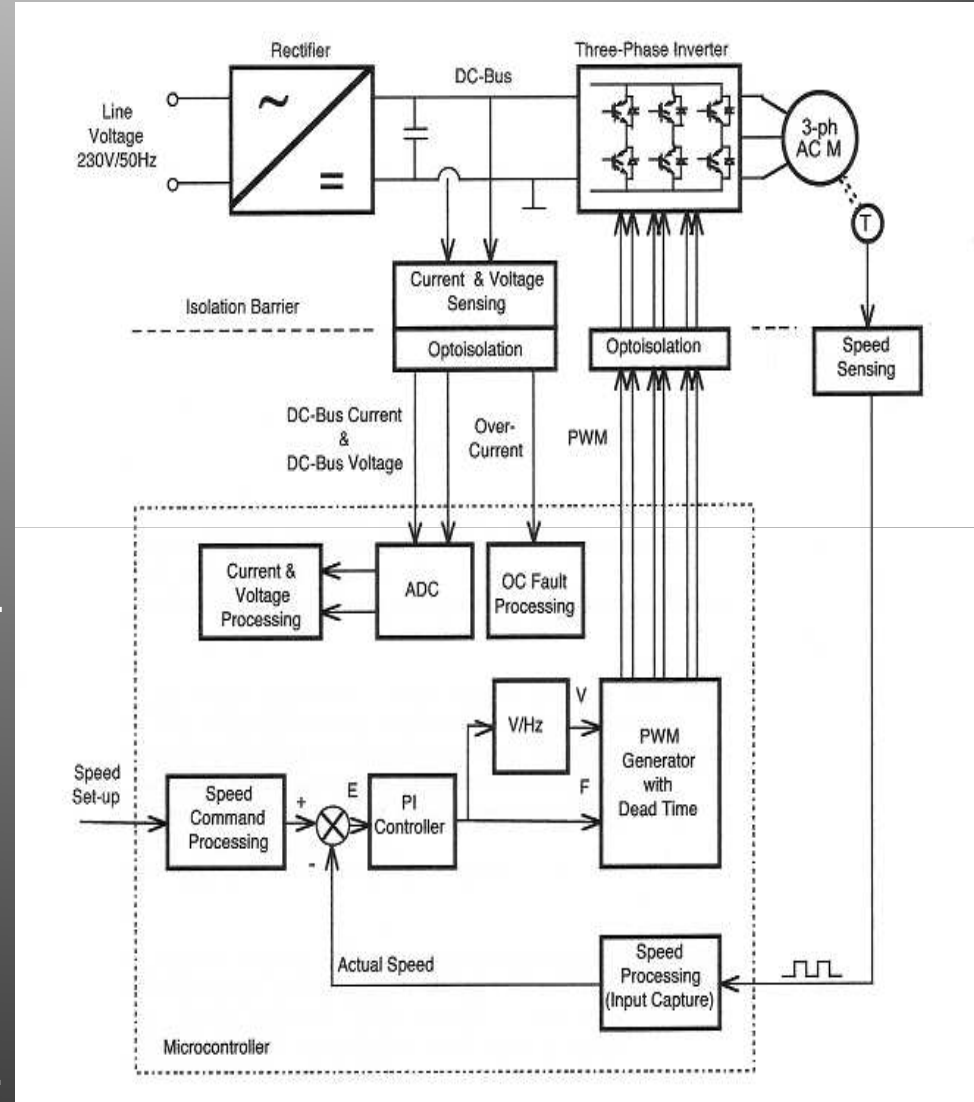
- Aşağıdaki Şekil-3.46'da 16F84 ile yapılmış olan bir uygulama görülmektedir. Uygulamada bir dc motor, PWM ile uyarılan bir BJT ile kontrol edilmektedir.





## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- 5) Mikroişlemci kullanılarak yapılan uyarma devreleri:
- Yine tristör grubu elemanlarda olduğu gibi transistör grubu elemanların kontrol edilmesinde de mikroişlemci kullanımı çok yaygınlaşmıştır. Bunun nedeni özgün tasarım ve devre koruma olduğu gibi tamamıyla zorunluluktan da kullanılmaktadır.
- Örnek olarak yan tarafta Şekil-3.47’de görülen 3 faz asenkron motor kontrolü için kullanılan invertör devresindeki elemanları düzenli bir şekilde uyarabilmek için mikroişlemci kullanılması tamamen bir zorunluluktur. Aksi halde bu devreyi uyarlamak zordur.



## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

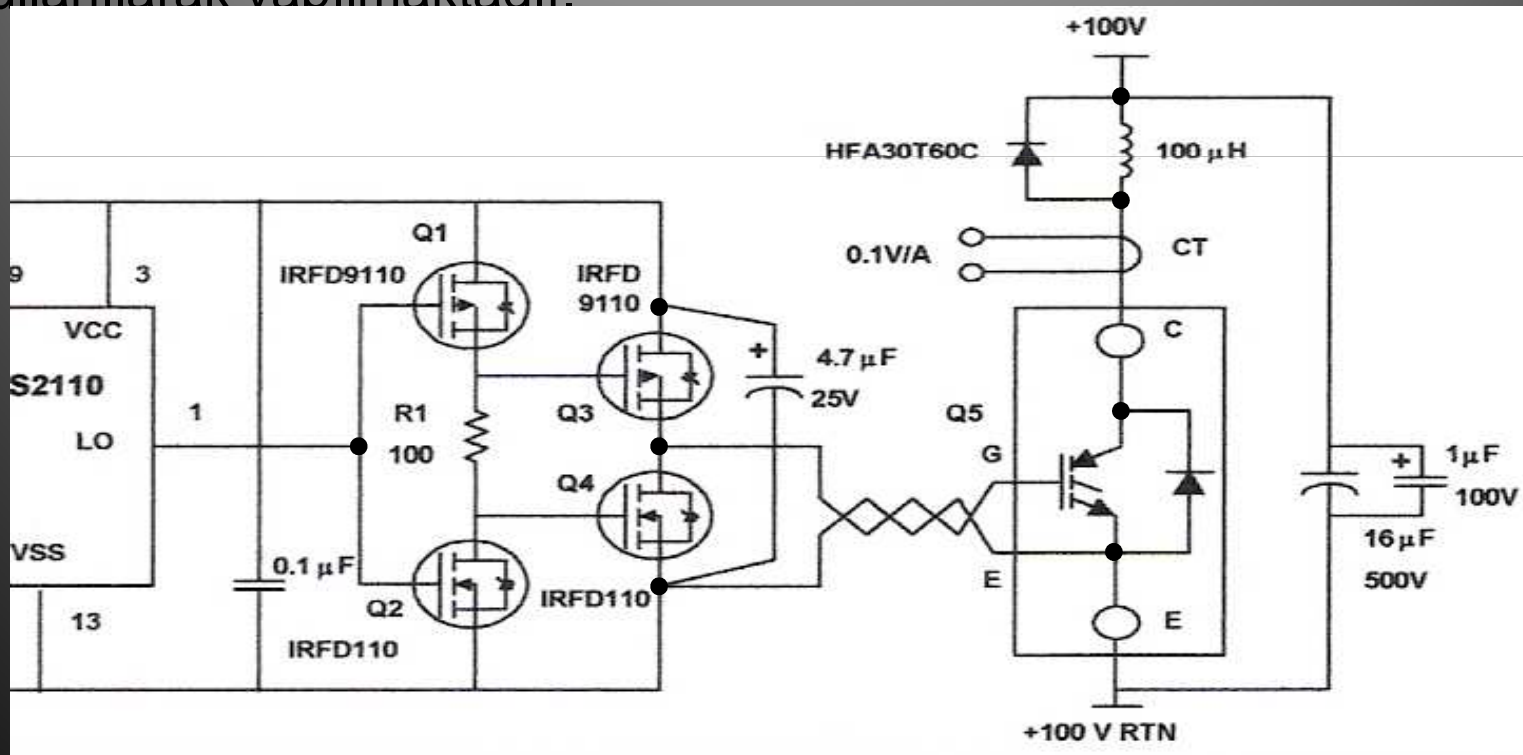
- PWM kare dalga uyarma sinyallerinin sürülmesi:
- Transistör grubu elemanları uyarılmak için geliştirilen uyarma elemanları ve şu ana kadar üzerinde durulan devreleri incelendiğinde, üretilen sinyallerin, güç elemanlarının girişine doğrudan uygulandığı görülmektedir.
- Bu uygulama, sadece düşük ve orta güçlerde sadece tek bir güç elemanının kontrol edilmesi durumunda geçerli olmaktadır.
- Yüksek güçlü elemanlar kontrol edileceği veya birden fazla eleman aynı anda kontrol edileceği zaman ise uyarma devreleri ile güç elemanları arasına “PWM sürücü” devrelerinin yerleştirilmesi gerekmektedir.
- PWM sürücü devrelerinin üstlenmiş olduğu üç işlev bulunmaktadır. Bunlar,
  - 1) Sinyallerin akım veya gerilim olarak güçlendirilmesi,
  - 2) PWM üreticinin güç devresinden yalıtılması,
  - 3) Sinyallerin çoğullanmasıdır.

## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- **Sinyallerin güçlendirilmesi;**
- Bilindiği gibi transistör grubu elemanlardan BJT akım kontrollu, E-Mosfet ve IGBT ise gerilim kontrollu elemanlardır.
- Güç elemanın kontrol terminalleri üzerinden dolaştırılan kontrol akımı veya verilen kontrol gerilimi, o elemanın kontrol ettiği akım ve gerilim ile doğru orantılıdır.
- Küçük güçlü güç elemanlarının uyarılmasında küçük uyarma sinyali, yüksek güçlü güç elemanlarının uyarılmasında ise daha yüksek seviyeli uyarma sinyaline ihtiyaç duyulmaktadır.
- Güç elemanları için gerekli olan en az ve en çok uyarma akım veya gerilim seviyeleri üretici tarafından elemanın bilgi yapraklarında belirtilmektedir.
- Uyarma akımı veya geriliminin düşük olması güç elemanının ya uyarılamamasına ya da anahtarlama zamanının uzun olmasına yol açmaktadır.
- Bu nedenlerle güç elemanını uyarırken mümkün olan (üretici tarafından belirtilen) en yüksek uyarma sinyal seviyesiyle uyararak en doğrusu olacaktır.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

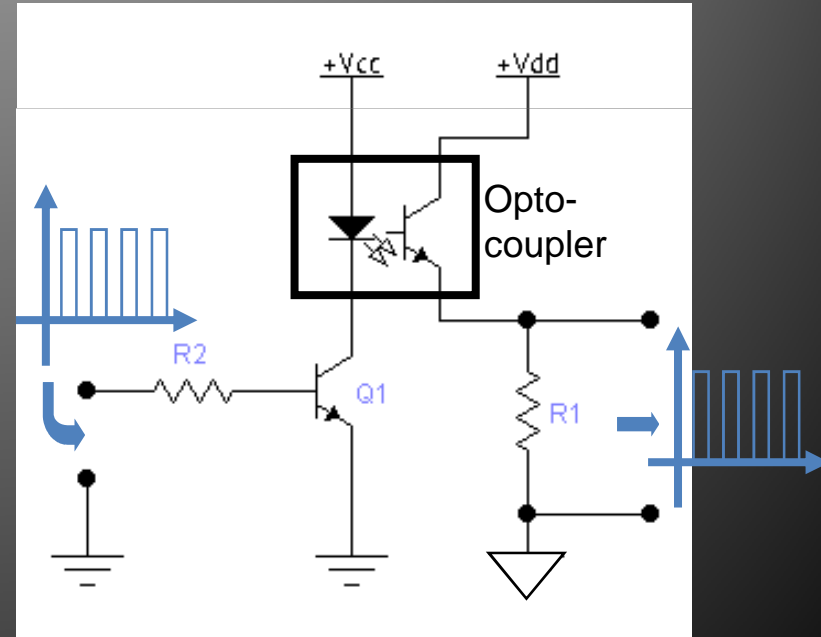
- Daha önce ayrıntısıyla açıklanan PWM üretici devrelerin çıkışında elde edilen PWM sinyallerini güçlendirmek için genellikle Şekil-3.48'de görüldüğü gibi bir devre kullanılmaktadır. Burada yüksek güçlü bir IGBT modül, push pull sürücü devresi kullanılarak uyarılmaktadır. Bu devre transistörler kullanılarak yapılabildiği gibi daha çok mosfetler kullanılarak yapılmaktadır.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- **Sinyallerin yalıtılması;**
- Sinyallerin yalıtılması, özellikle orta ve yüksek güçlerde çalışırken ana kaynaktan izole olmak için veya birden fazla güç elemanının kontrolünü sağlarken istenmeyen kısa devrelerin oluşmasını engellemek için mutlak gerekli olan bir uygulamadır.
- Sinyallerin yalıtılması, aslında sinyal üreten ve süren devre ile güç devresinin birbirlerinden izole edilmesi işlemidir ve profesyonel uygulamalarda hayati önem taşımaktadır.

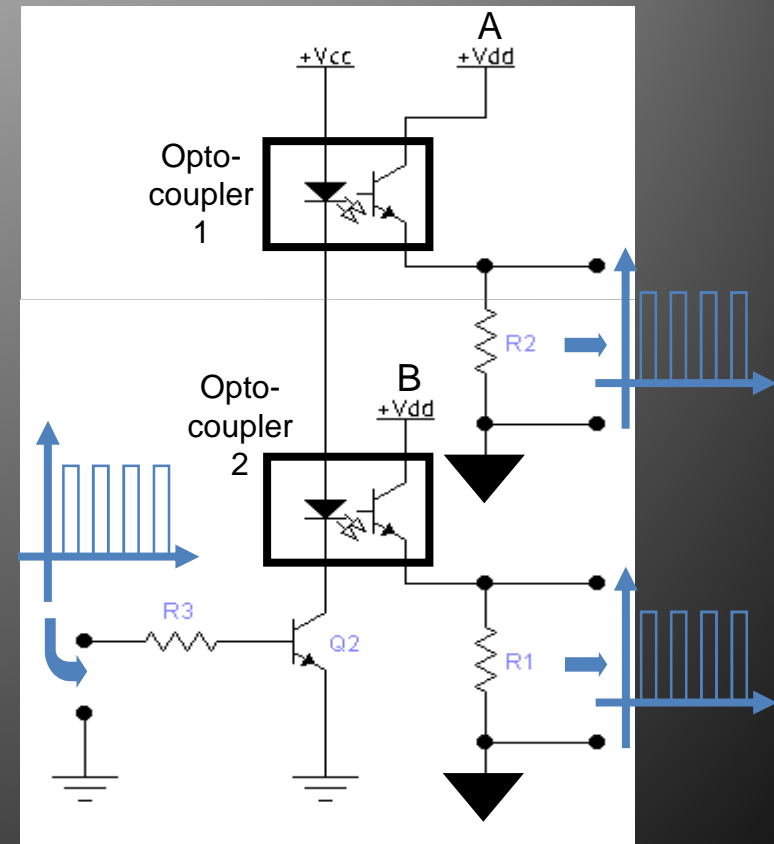
- Yalıtma işlemi için aşağıdaki Şekil-3.49'da görüldüğü gibi “opto-coupler (optik-iletici)” denilen düşük güçlü özel imal edilmiş led+foto transistör vb. entegresi kullanılmaktadır.



### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Sinyallerin çoğullanması;
- Sinyallerin çoğullanması ihtiyacı, tüm güçlerde çalışırken, özellikle köprü bağlantılarda, seri-paralel bağlantılarda ve aynı anda birden fazla anahtarlamanın yapılması gerektiği durumlarda karşımıza çıkan bir durumdur.
- Aynı anda ve aynı şartlar altında birden fazla elemanın uyarılması gerektiğinde PWM üretici ve sürücü devre çıkışı, kısa devreye yol açmamak için doğrudan elemanların uyarma terminallerine bağlanamaz.

- Bu durumda Şekil-3.50'de görüldüğü gibi, hem çoğullama hem de yalıtma yapılmaktadır.

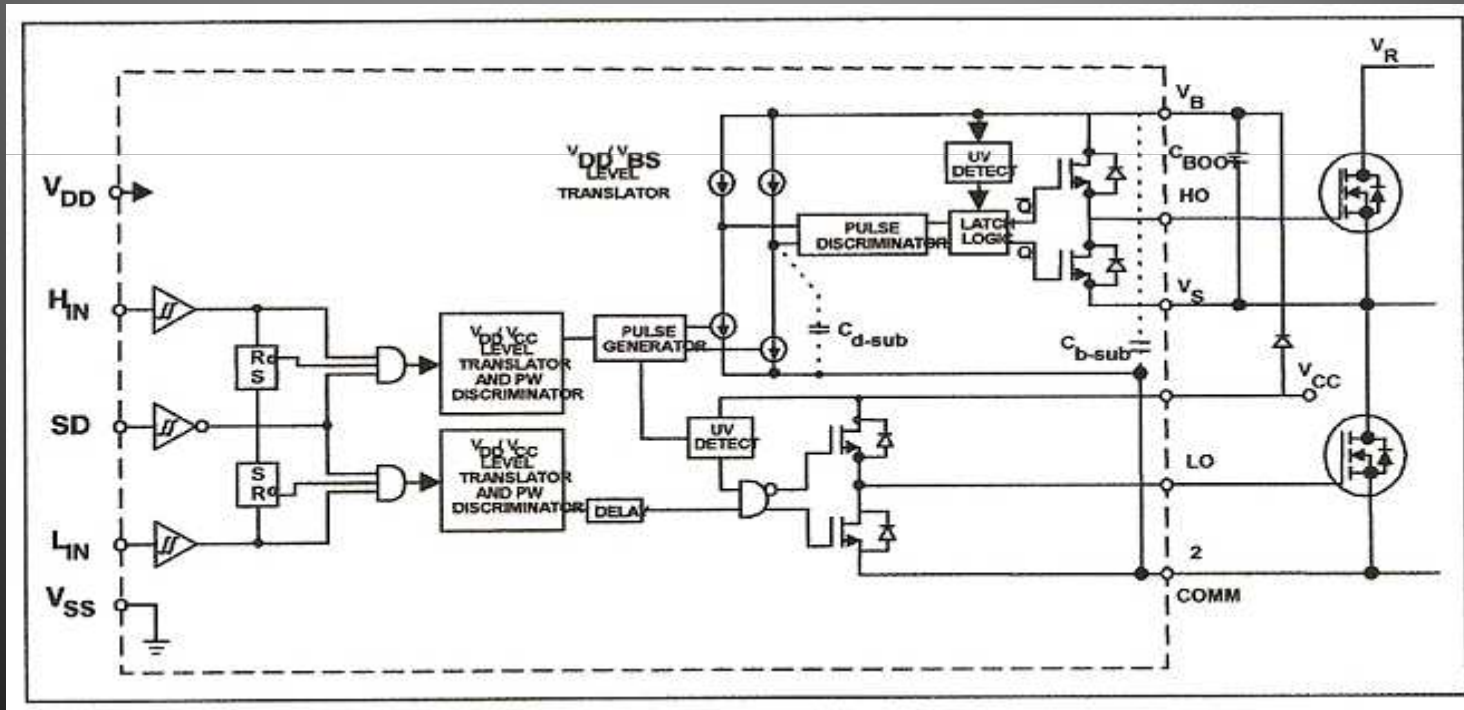


## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- **Sürücü entegre devreler:**
- Sinyallerin çoğullanması ve yalıtılması uygulamasında opto-coupler, transistör ve mosfet gibi elemanların kullanılmasının yanısıra bu iş için özel olarak üretilmiş olan sürücü entegre devreler de kullanılmaktadır.
- Pek çok firma tarafından üretilmekte olan bu entegre devreler sinyal üreticiden aldıkları uyarma sinyallerini bozmadan ve geciktirmeden genlik veya akım olarak yükseltmektedirler.
- Bu entegrelerden bazıları aynı zamanda pals çoğullama işlemini de yapabilmektedir. Üstelik opto-coupler uygulamalarında olduğu gibi birden fazla besleme kaynağına ihtiyaç duymadan bu işi yaparlar.
- Bazı sürücü entegre devreler ise güç elemanlarının anahtarlama kayıplarını azaltabilmek için susturma sırasında uyarma gerilimini kesmek yerine negatife düşürerek geçiş süresini azaltıcı etki yapmaktadırlar.

## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Uygulamalarda oldukça fazla kullanılan PWM sürücü entegrelerinden birisi, I&R firması tarafından üretilmekte olan IR2110 serisi sürücü entegrelerdir. Bu entegreler tek bir elemanı sürebildikleri gibi aynı anda farklı seviyelerde iki elemanı da sürebilmektedirler. Aşağıdaki Şekil-3.51’de bu entegrenin iç yapısı dış bağlantısı görülmektedir.





## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

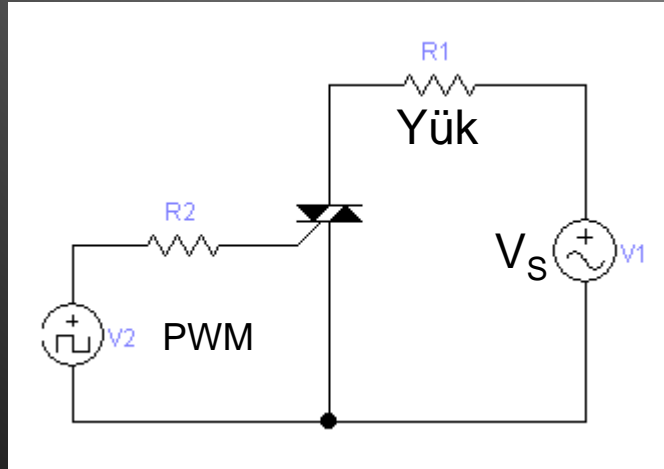
- Şekil-3.51'den görüldüğü gibi, entegrenin görevini yerine getirebilmesi için pek fazla dış eleman desteğine ihtiyacı yoktur.
- Şekilden görüldüğü gibi entegrenin içindeki devreleri beslemek için VDD, çıkış katını beslemek için de VCC olmak üzere iki adet besleme kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Fakat pek çok uygulamada bu iki gerilim tek bir kaynaktan sağlanmakta ve bunun da olumsuz etkisi olmamaktadır.
- Entegre içinde girişten gelen sinyalleri yükseltmek ve kontrol etmek amacıyla lojik ağırlıklı ir yapı kurulmuş ve sinyaller push-pull çıkış katından dışarıya verilmiştir.
- Entegrenin yüksek giriş (HI) ve alçak giriş (LI) olmak üzere iki sinyal girişi ve bir de koruma (SD) girişi vardır.
- Çıkış olarak da yüksek çıkış (HO) ve alçak çıkış (LO) vardır.
- Bu çıkışlar sayesinde şekilden görüldüğü gibi bir köprünün yarısı yalıtma olmadan kontrol edilebilmektedir.

## III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

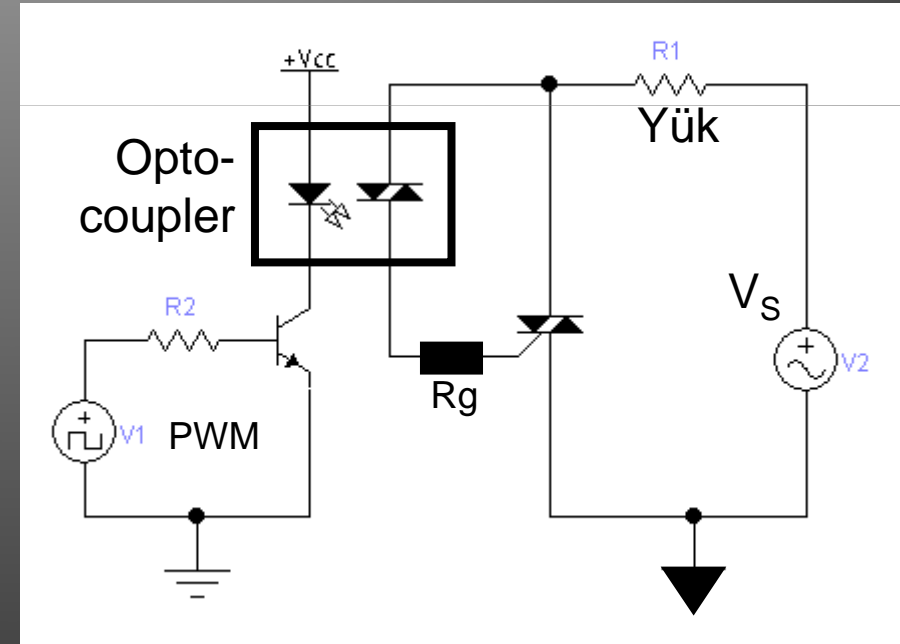
- PWM kare dalga sinyalleri ile ac şebekede Triyak kontrolü:
- Bilindiği gibi triyaklar çift yönlü olarak iletme geçirilip akım akıtabilen güç anahtarlarıdır.
- Bu nedenle hem iğne palslerle hem de kare dalgalar ile uyarılabilmektedir. Bu özellik sayesinde triyaklar pek çok ac devrede düşük frekanslarda (0-25Hz) anahtarlama elemanı olarak kullanılabilir.
- Yanıp sönen ışıklar, cihazların otomatik açılıp kapanma kontrolü vb. bu uygulamalara örnek olarak gösterilebilir.
- Bu tür uygulamalarda şebekede çalışan triyak'ın şebekeyle senkronize (uyumlu) palsler yerine PWM karedalga ile uyarılması daha uygun olmaktadır.
- AC şebekede çalışan triyak'ların herhangi bir PWM üreticiden elde edilen kare dalga sinyallerle uyarılması sırasında, uyarma devresi triyak girişine doğrudan bağlanabildiği gibi, daha çok yalıtılarak da bağlanmaktadır. Aynı zamanda sinyal çoğullama da kullanılmaktadır.

### III – UYARMA ELEMANLARI ve DEVRELERİ

- Aşağıdaki Şekil-3.52’de bir PWM üretcinin AC şebekede çalışan triyak girişlerine bağlanması görülmektedir.
- Görüldüğü gibi bu bağlantıda herhangi bir yalıtma yapılmamıştır. Bu bağlantı ancak basit uygulamalarda kullanılmaktadır.



- Profesyonel uygulamalarda ise Şekil-3.53’de görüldüğü gibi PWM üretci bir opto-coupler yardımıyla yalıtılarak bağlanır. Burada kullanılan opto-coupler led-fotodiyak ikilisidir.



## ÖDEV-6

- 6.1) Transistör grubu elemanların yalıtılarak uyarmasında kullanılan **Optocoupler** yapılarını daha iyi tanımak için uygun elemanlar belirleyerek internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. Tüm optocoupler türlerinin yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.
- 6.2) Transistör grubu elemanların uyarmasında ve sürülmesinde kullanılan entegre devrelerden olan **UC3525 ve IR2110** yapılarını daha iyi tanımak için internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. Elemanların iç yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.

# Bölüm-4

## AC-DC

# Dönüştürücüler

# IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- **GİRİŞ:**
- AC-DC dönüştürücüler (doğrultucular), AC gerilimi DC gerilime dönüştüren güç elektroniği devreleridir.
- Güç elektroniğinin temel güç devrelerinden doğrultucuları 2 temel grup altında incelemek gerekmektedir. Bunlar;
  - 1) **Kontrolsuz doğrultucular,**
  - 2) **Kontrollu doğrultuculardır.**
- Kontrolsuz doğrultucular sabit DC gerilim çıkışlı, kontrollu doğrultucular ise değişken DC çıkışlı güç devreleridir ve genellikle DC motorların kontrolunda kullanılmaktadır.
- Kontrolsuz doğrultucularda kullanılan temel güç elemanı “diyot”dur. Diyot, kontrolsuz bir güç elemanı olduğu için bu doğrultucuya böyle bir isim verilmiştir.
- Kontrollu doğrultucularda kullanılan temel güç elemanı ise “tristör”dür. Tristör, iletme geçmesi kontrol edilebilen bir eleman olduğu için bu doğrultucuya böyle bir isim verilmiştir.
- Aşağıda kontrolsuz ve kontrollu doğrultucuların alt bölümleri verilmiştir.

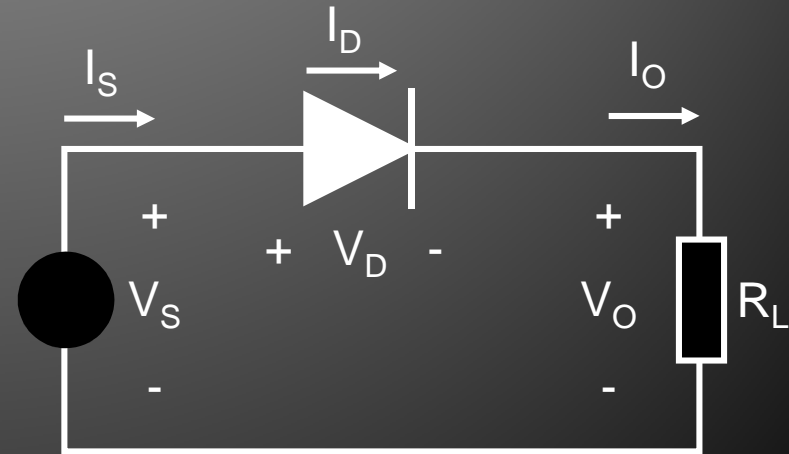
# IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kontrolsüz doğrultucu türleri aşağıdaki gibi sıralanabilir,
  - 1 fazlı doğrultucular;
    - Yarım dalga doğrultucu,
    - Simetrik tam dalga doğrultucu,
    - Köprü tam dalga doğrultucu,
  - 3 fazlı doğrultucular;
    - Yarım dalga doğrultucu,
    - Köprü tam dalga doğrultucu,
  - Bu temel doğrultucular dışında çok fazlı ve özel tasarım doğrultucu devreleri de bulunmaktadır.
- Kontrollü doğrultucu türleri ise;
  - 1 fazlı doğrultucular;
    - Yarım dalga doğrultucu,
    - Simetrik tam dalga doğrultucu,
    - Yarım kontrollü köprü doğrultucu,
    - Tam kontrollü köprü doğrultucu,
    - Tam kontrollü çift köprü doğrultucu.
  - 3 fazlı doğrultucular;
    - Yarım dalga doğrultucu,
    - Yarım kontrollü köprü doğrultucu,
    - Tam kontrollü köprü doğrultucu,
    - Tam kontrollü çift köprü doğrultucu'dur.

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

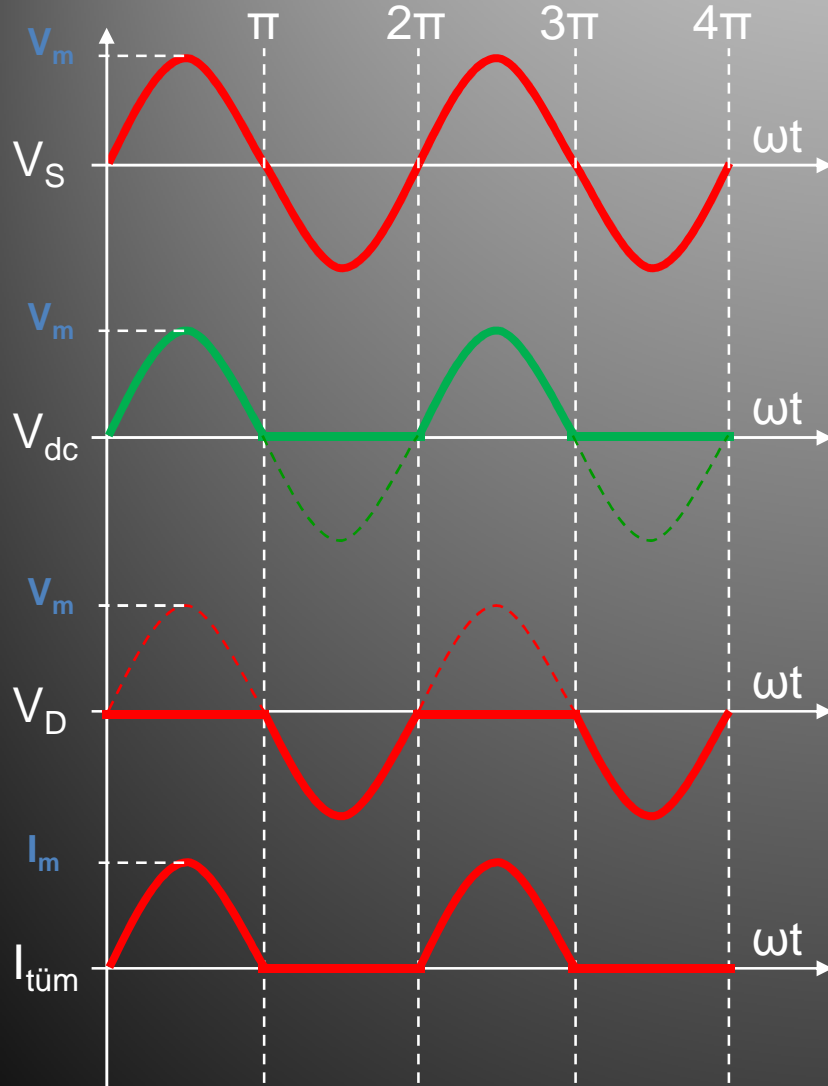
- Doğrultucu türlerini bu şekilde sıraladıktan sonra ilk ve en basit doğrultucu devresi olan 1 fazlı yarım dalga doğrultucu devresinden itibaren tüm doğrultucular incelenmeye başlanacaktır.
- İnceleme sırasında doğrultucunun güç devresi bağlantısı, varsa uyarma devresi yapısı ve güç devresine bağlantısı, güç devresinin çalışmasını gösteren dalga şekilleri ve devredeki akım ve gerilimlerin hesaplanması yapılacaktır.

- 1 Fazlı Yarım Dalga Kontrolsüz Doğrultucu (rezistif yükte):
- Aşağıdaki Şekil-4.1'de 1 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucu devre bağlantısı görülmektedir. Bu devrenin rezistif (R) yükte çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri ise Şekil-4.2'de verilmiştir.





## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Şekil-4.2'den görüldüğü gibi, güç devrelerinin analizinde kullanılan 6 adet parametrenin dalga şekilleri gösterilmiştir.

Bunlar;

- 1) Kaynak gerilimi ( $V_S$ ),
- 2) Çıkış (yük) gerilimi ( $V_O$ ),
- 3) Anahtar (diyot) gerilimi ( $V_D$ ),
- 4) Kaynak akımı ( $I_S$ ),
- 5) Çıkış (yük) akımı ( $I_O$ ),
- 6) Anahtar (diyot) akımı ( $I_D$ )'dir.

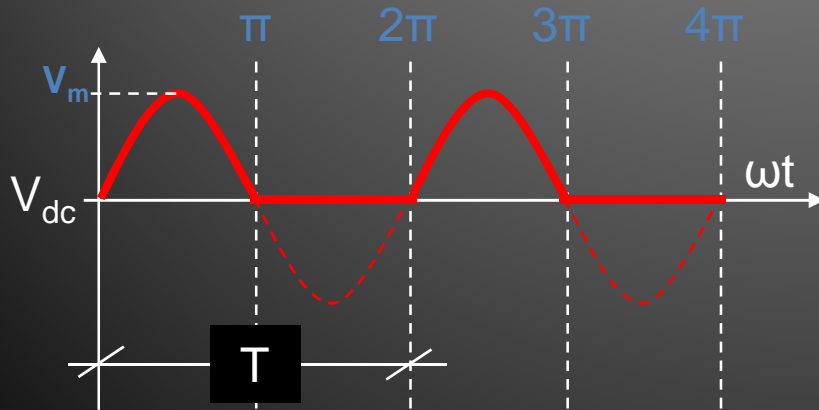
Burada kaynak, yük ve anahtar akımları devre bağlantısı nedeniyle aynı olduğu için tek şekille ( $I_{tüm}$ ) gösterilmiştir.

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-4.2'den görüldüğü gibi, çıkış (yük) üzerinde kaynaktan gelen pozitif alternanslar olduğu gibi görülmekte, negatif alternanslar ise görülmemektedir.
- Bunun nedeni diyodun pozitif alternanslarda iletimde olması, negatif alternanslarda ise yalıtımda kalmasıdır.
- Diyodun yalıtımda kaldığı negatif alternanslarda ise kaynaktan gelen bu negatif alternanslar diyot üzerinde, diyodun bloke ettiği gerilim olarak görülmektedir.
- Şekil-4.2'de görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
  - 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri,
  - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
  - 3) Ortalama çıkış gücü,
  - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
  - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç,
  - 6) Anahtar (diyot) gerilimi,
  - 7) Anahtar (diyot) akımı.
  - 8) Güç katsayısı,

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış gerilimin ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.3'de görülen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Şimdi bu dalga şekline göre çıkış geriliminin ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t).dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m \cdot \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_0^{\pi}$$

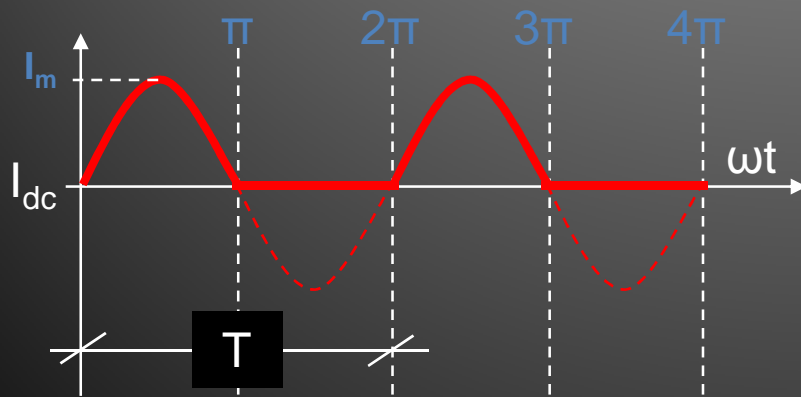
$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(0))]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [ -(-1) + (+1) ]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = 0,318 \cdot V_m$$

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımı ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-4.4'de görülen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Şimdi bu dalga şekline göre çıkış akımının ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T i_o(t).dt$$

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m \cdot \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_0^{\pi}$$

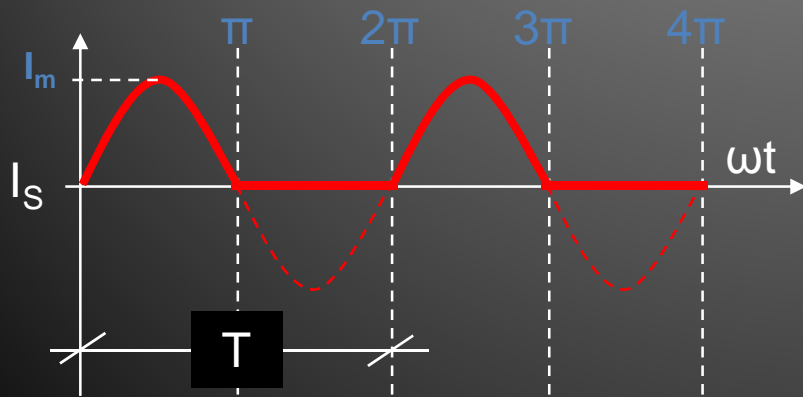
$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(0))]$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [ -(-1) + (+1) ]$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} = 0,318 \cdot I_m = 0,318 \cdot \frac{V_m}{R}$$

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.5'deki gibidir. Buradan;



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_s(t)]^2 .dt}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [I_m \cdot \sin(\omega t)]^2 .d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(\omega t) .d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin(2\omega t)}{4} \right]_0^{\pi}}$$

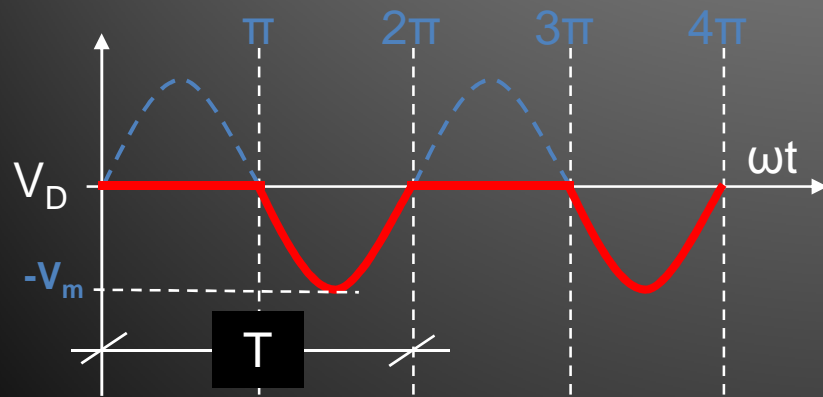
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\sin(2\pi)}{4} \right) - \left( \frac{0}{2} - \frac{\sin(2 \cdot 0)}{4} \right) \right]}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[ \left( \frac{\pi}{2} \right) - (0) \right]} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \frac{\pi}{2}}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{4}} = \frac{I_m}{2} = 0,5 \cdot I_m = 0,5 \cdot \frac{V_m}{R}$$

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen etkin güç;
- Bu devrenin kaynaktan çektiği etkin güç, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımına eşittir.
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Anahtar (diyot) gerilimi;
- Anahtar (diyot) gerilimi,



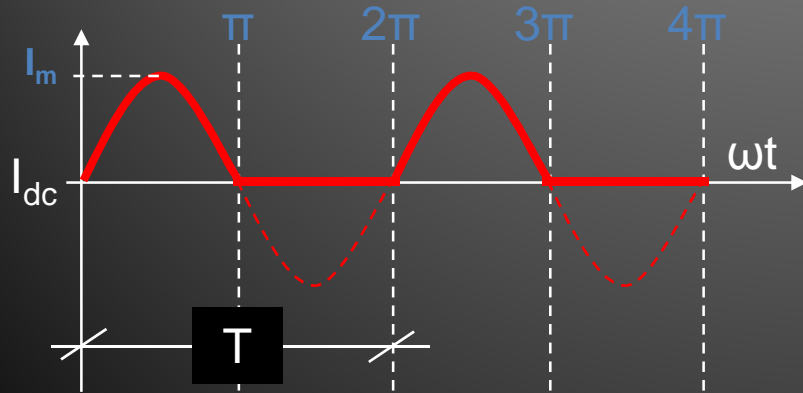
diyot tarafından bloke edilen gerilimdir. Yan tarafta Şekil-4.6'da görüldüğü gibi, kaynağın negatif alternanslarında diyot yalıtımda kalmakta ve tepe değeri " $V_m$ " olan kaynak gerilimini bloke etmektedir.

- Bu durumda devrede kullanılacak olan diyodun çalışma gerilimi aşağıdaki eşitlikten bulunabilecektir.

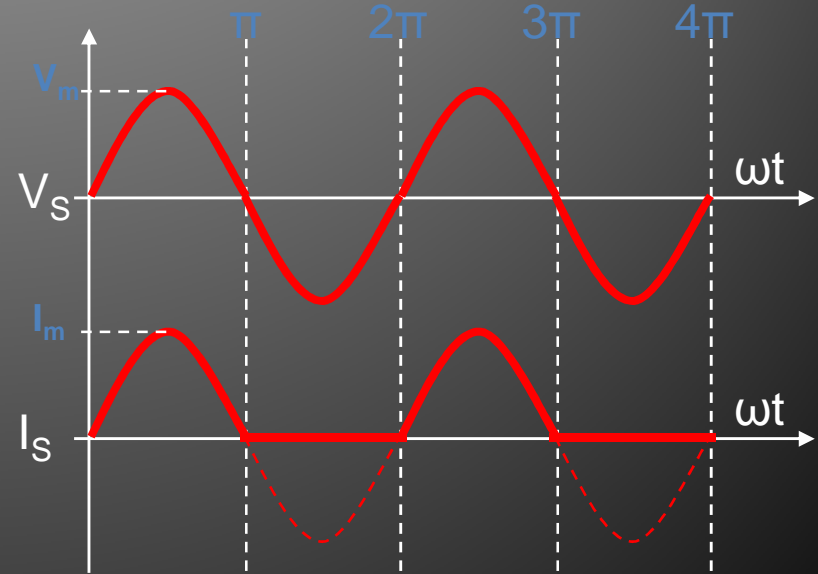
$$V_D \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (diyot) akımı;
- Anahtar (diyot) akımı, aşağıda Şekil-4.7'de görüldüğü gibi yarım dalga bir akımdır.
- Bu durumda devrede kullanılacak olan diyodun çalışma akımı,
- $I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$  eşitliğinden bulunabilmektedir.



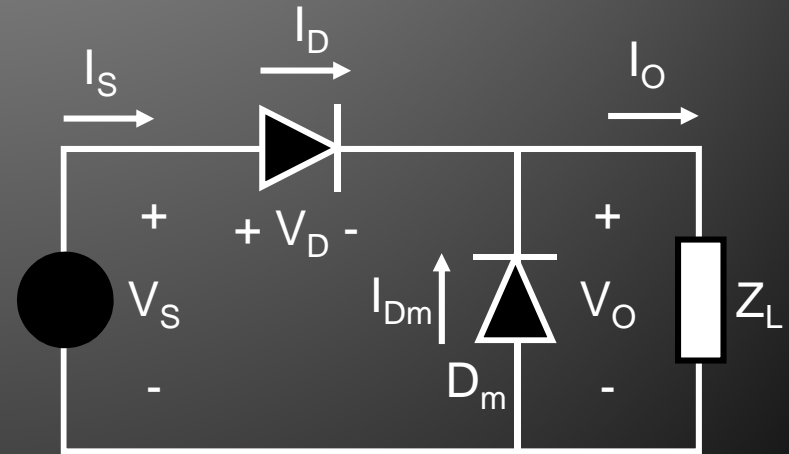
- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.8'deki gibidir. Bu durumda kaynaktan sadece pozitif alternanslarda ve kaynakla aynı fazda akım çekilmektedir.



## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

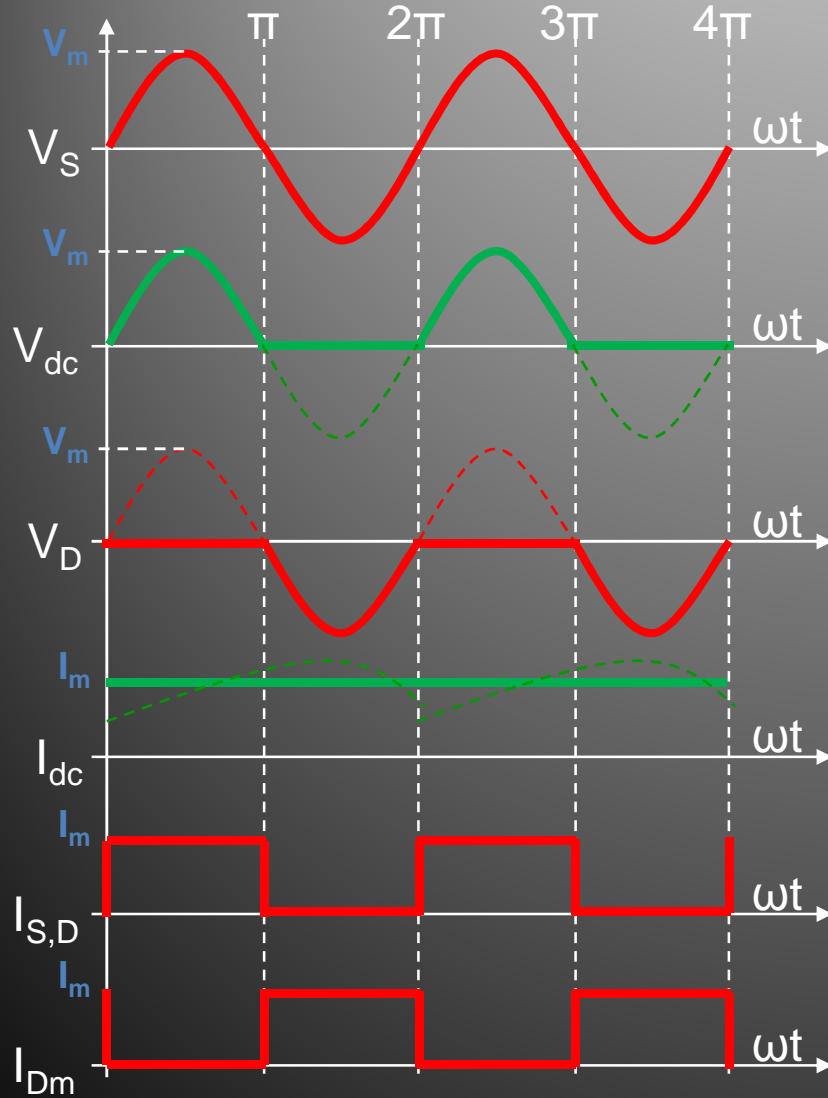
- Bilindiği gibi endüstrideki yüklerin çok büyük bir bölümü endüktif karakterli (L+R) yüklerdir.
- Bu yüklerle verilebilecek en önemli örnek elektrik motorlarıdır. Elektrik motorları içerdikleri bobinler ve bu bobinlerin dirençleri nedeniyle endüktif + rezistif (L+R) durumundadırlar.
- Tabii ki devrede endüktif yük olması başta devre akımları olmak üzere devrede pek çok parametreyi ve şartları değiştirmektedir.

- 1 Fazlı Yarım Dalga Kontrolsüz Doğrultucu (endüktif yükte):
- Aşağıdaki Şekil-4.9'da 1 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucu devre bağlantısı görülmektedir. Bu devrenin endüktif yükte çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri ise Şekil-4.10'da verilmiştir.





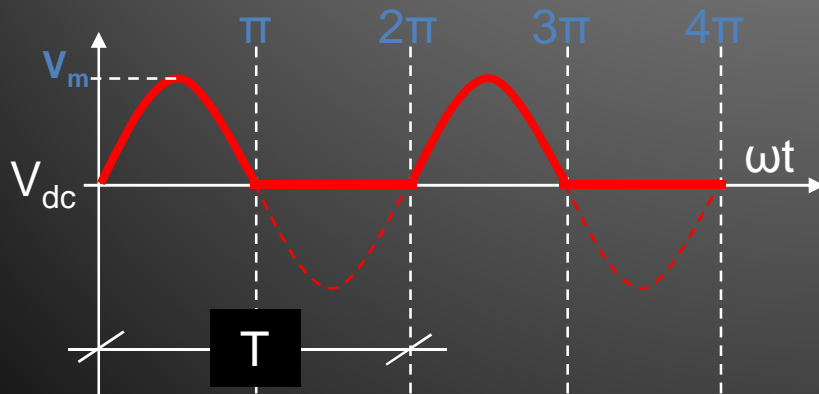
## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Yan taraftaki Şekil-4.10'dan görüldüğü gibi, yükün çok endüktif olduğu kabul edilirse, devrenin çıkış akımı ( $I_O$ ) çok az dalgalanacaktır. Biz çizim ve hesaplama kolaylığı olması açısından bu akımı düz kabul edeceğiz.
- Yine şekilden görüldüğü gibi bu akım, pozitif alternanslarda karnaktan ve diyot üzerinden ( $I_{S,D}$ ), negatif alternanslarda ise yüke ters paralel olarak bağlanmış serbest geçiş diyodu üzerinden dolaşmaktadır. Bu durumda parametreler;

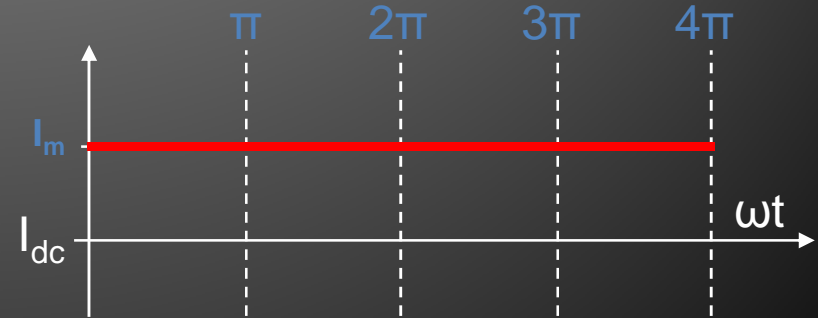
## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun endüktif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.11'de görülen dalga şekli, rezistif yük ile aynı olacaktır.
- Bu durumda resistif yük için elde edilen eşitlik endüktif yük için de aynen geçerlidir.



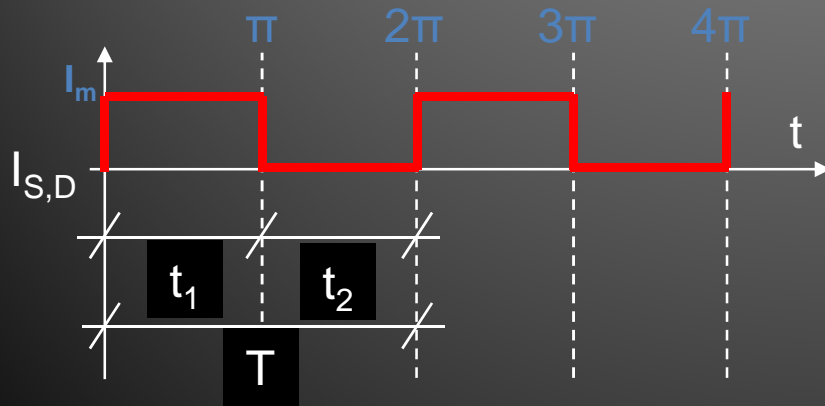
- Çıkış akımının ortalama değeri;
- Endüktif yükte yük üzerinden geçen akım Şekil-4.12'de görüldüğü gibi sürekli ve sabit (düz) kabul edilmektedir.
- Bu durumda ortalama değer,
- $I_{dc} = I_m = V_m / Z$

eşitliği kullanılarak doğrudan hesaplanabilecektir.



## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

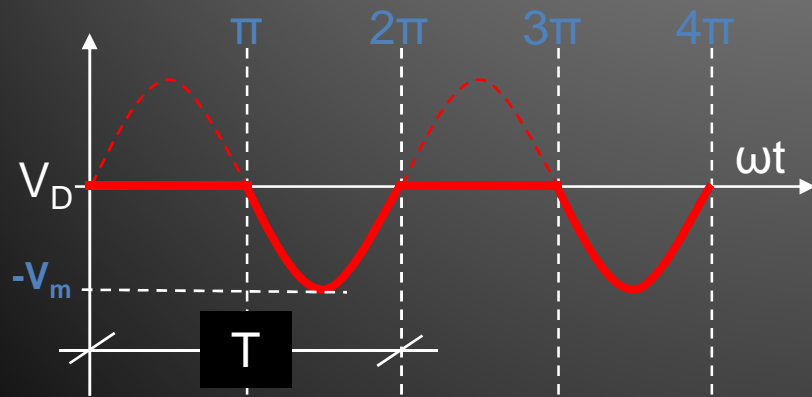
- Ortalama çıkış gücü;
- Endüktif yükte ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.13'deki gibidir.



- Şekil-4.13'de belirtilen ve akımın aktif olduğu "t1" ve pasif olduğu göre "t2" süreleri kullanılarak, "etkin periyot (k)" hesaplaması yapılabilir.
- $k = t_1 / (t_1 + t_2) = t_1 / T$   
(Burada,  $t_1 = t_2$  olduğundan,  $k = 0,5$ 'dir)
- Buradan, kare dalga şeklinde değişen kaynak akımının etkin değeri aşağıdaki eşitlikten bulunabilecektir.
- $I_{S(rms)} = \sqrt{k} \cdot I_m = 0,7 \cdot I_m$
- $I_{S(rms)} = \sqrt{k} \cdot (V_m / Z)$   
eşitliğinden bulunabilecektir.

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen etkin güç;
- Bu devrenin kaynaktan çektiği etkin güç, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımına eşittir.
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Anahtar (diyot) gerilimi;
- Anahtar (diyot) gerilimi,



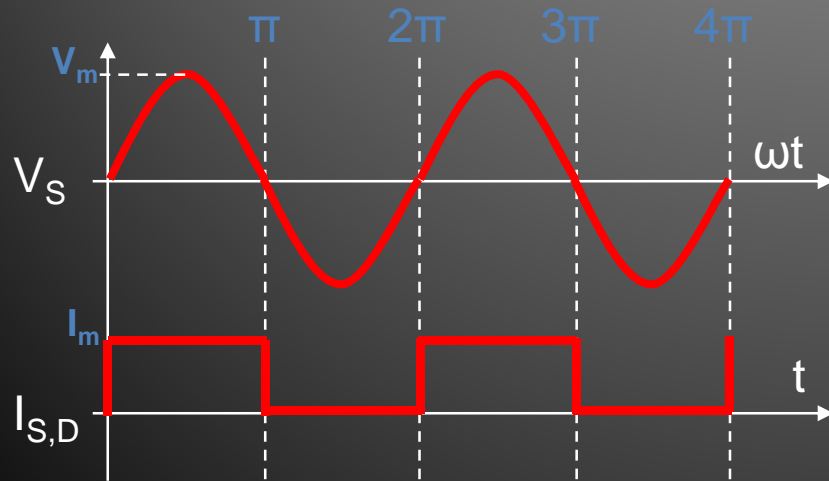
Şekil-4.14'den görüldüğü gibi, rezistif yükteki şeklini koruduğuna göre aynı eşitlikle hesaplanabilecektir.

- $V_D \geq V_m + (\%30.V_m)$
- Anahtar (diyot) akımı;
- Anahtar (diyot) akımı, Şekil-4.13'den görüldüğü gibi, kaynak akımı ile aynı olduğuna göre ve diyot üzerinden akan en yüksek akım " $I_m$ " olduğuna göre bu akım değeri,
- $I_D \geq I_m + (\%30.I_m)$

eşitliğinden bulunabilecektir.

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.15'deki gibidir. Bu durumda kaynaktan sadece pozitif alternanslarda ve kaynakla aynı fazda akım çekilmektedir ve bu durumda güç katsayısı akım dc olduğu için belirsizdir.



- Örnek:
- 220V-50Hz şebekede çalışan yarım dalga kontrolsüz doğrultucu,
- a)  $10\Omega$ 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b)  $10\Omega$ 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

- Çözüm:
- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
- $V_{dc} = 0,318 \cdot V_m$

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$$

$$V_{dc} = 0,318 \cdot 311 = 98,89V$$

- Rezistif yükte çıkış akımının ortalama değeri,

$$I_{dc} = 0,318 \cdot I_m$$

$$I_m = V_m / R = 311 / 10 = 31,1A$$

$$I_{dc} = 0,318 \cdot 31,1 = 9,88A$$

- Rezistif yükte ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 9,88 \cdot 98,89 = 977W$$

- Rezistif yükte kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{S(rms)} = 0,5 \cdot I_m$$

$$I_{S(rms)} = 0,5 \cdot 31,1 = 15,55A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 15,55 \cdot 220 = 3,42kW$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$

$$V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot) akımı,

$$I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$$

$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

b) Çok endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,

- $V_{dc} = 0,318 \cdot V_m$   
 $V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$   
 $V_{dc} = 0,318 \cdot 311 = 98,89V$
- Çıkış akımının ortalama değeri,  
 $I_{dc} = I_m = V_m / R = 311 / 10 = 31,1A$
- Ortalama çıkış gücü,  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$   
 $P_{dc} = 31,1 \cdot 98,89 = 3,07kW$
- Kaynak akımının etkin değeri,  
 $I_{S(rms)} = \sqrt{k} \cdot I_m$   
 $I_{S(rms)} = \sqrt{(0,5)} \cdot 31,1 = 21,77A$

■ Çok endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$
$$P_{S(rms)} = 21,77 \cdot 220 = 4,78kW$$

■ Çok endüktif yükte anahtar (diyot) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$
$$V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

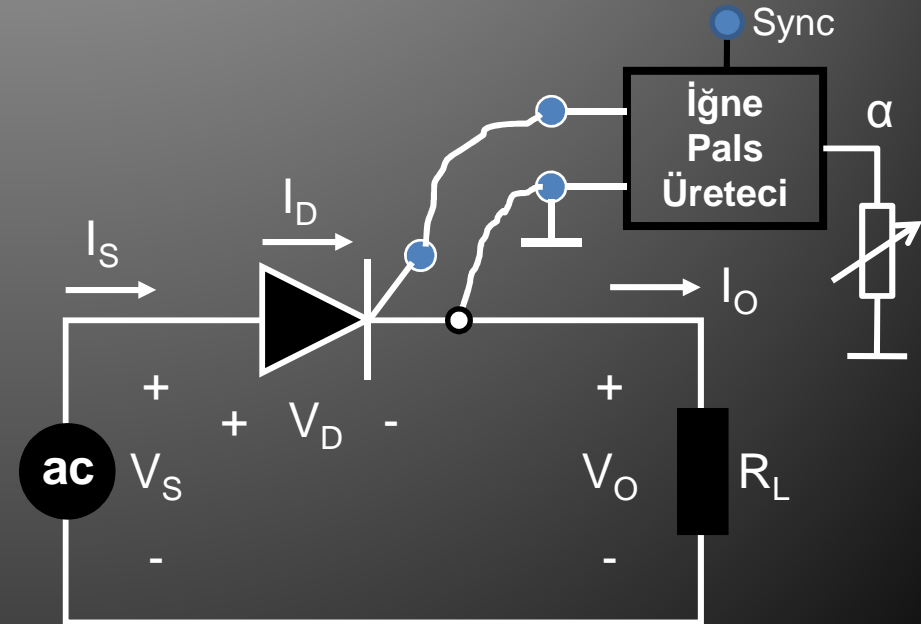
■ Çok endüktif yükte anahtar (diyot) akımı,

$$I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$$
$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

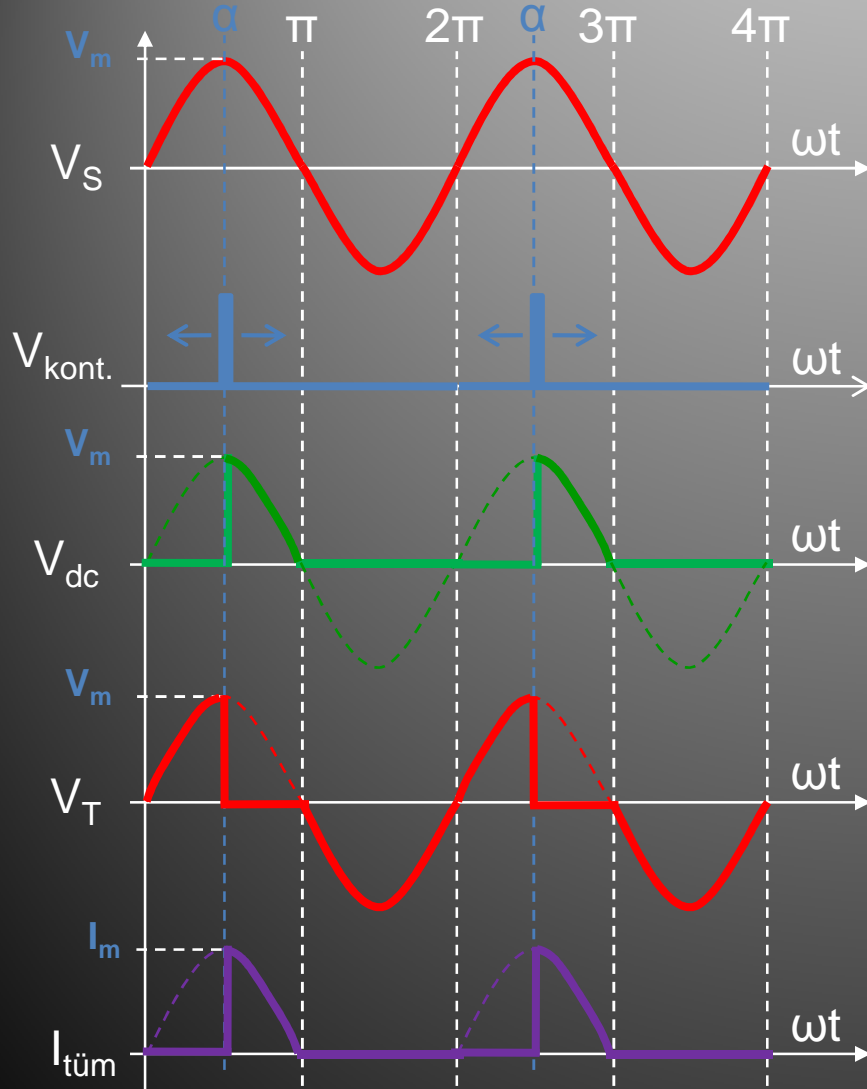
- Örnekten görüldüğü gibi akım ve gerilimlerin dalga şekillerine göre rezistif ve endüktif yüklerle göre devreyle ilgili tüm parametreler (akım, gerilim, güç vb.) rahatlıkla hesaplanabilmektedir.
- Elde edilen bu değerler, giriş gerilimi veya yük değişmedikçe sabittir.
- Şimdi ise aynı devreyi kontrollu versiyonunu inceleyelim. Bu durumda devrede diyot yerine tristör kullanılacak ve tristör pozitif alternansta  $0^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında kontrol edilecektir.

- 1 Fazlı Yarım Dalga Kontrollu Doğrultucu (rezistif yükte):
- Şekil-4.16'da 1 fazlı yarım dalga kontrollu doğrultucu görülmektedir. Bu devrenin rezistif (R) yükte çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri Şekil-4.17'de verilmiştir.





## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Şekil-4.17’de güç devrelerinin analizinde kullanılan 6 adet parametre ve kontrol dalga şekilleri gösterilmiştir. Bunlar;
- 1) Kaynak gerilimi ( $V_S$ ),
- 2) Kontrol gerilimi ( $V_{kont.}$ )
- 3) Çıkış (yük) gerilimi ( $V_O$ ),
- 4) Anahtar (diyot) gerilimi ( $V_D$ ),
- 5) Kaynak akımı ( $I_S$ ),
- 6) Çıkış (yük) akımı ( $I_O$ ),
- 7) Anahtar (diyot) akımı ( $I_D$ )’dir.

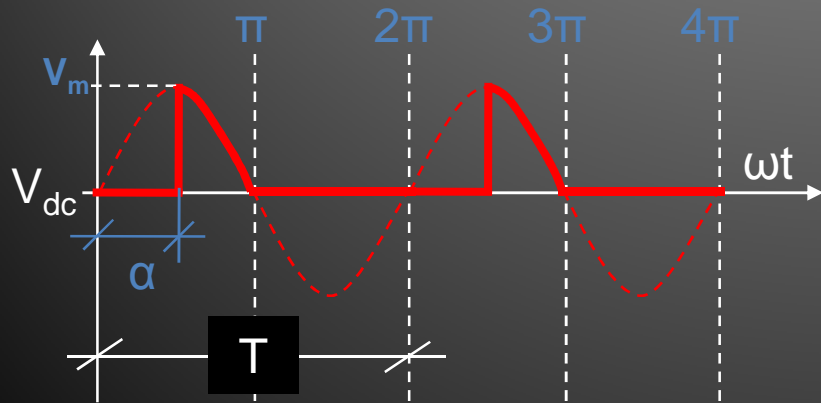
Burada kaynak, yük ve anahtar akımları devre bağlantısı nedeniyle aynı olduğu için tek şekille ( $I_{tüm}$ ) gösterilmiştir.

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-4.17'den görüldüğü gibi, çıkış (yük) üzerinde kaynaktan gelen pozitif alternanslar istenilen miktarda görülmekte, negatif alternanslar ise görülmemektedir.
  - Bunun nedeni tristörün pozitif alternanslarda ilettime geçmesi, negatif alternanslarda ise yalıtımda kalmasıdır.
  - Tristörün, pozitif ve negatif alternanslarda yalıtımda kaldığı zamanlarda kaynak gerilimi tristör üzerinde, tristörün bloke ettiği gerilim olarak görülmektedir.
- Şekil-4.17'de görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
  - 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri,
  - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
  - 3) Ortalama çıkış gücü,
  - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
  - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç,
  - 6) Anahtar (diyot) gerilimi,
  - 7) Anahtar (diyot) akımı.
  - 8) Güç katsayısı,

# IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış gerilimin ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrollu doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.18'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Şimdi bu dalga şekline göre çıkış geriliminin ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t).dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m \cdot \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_{\alpha}^{\pi}$$

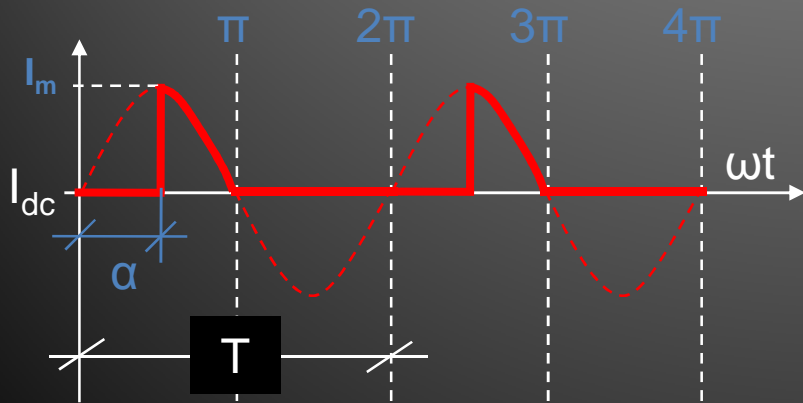
$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(\alpha))]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [-(-1) + (\cos \alpha)]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımı ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrollü doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-4.19'da görülen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Şimdi bu dalga şekline göre çıkış akımının ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T i_o(t).dt$$

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m \cdot \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_{\alpha}^{\pi}$$

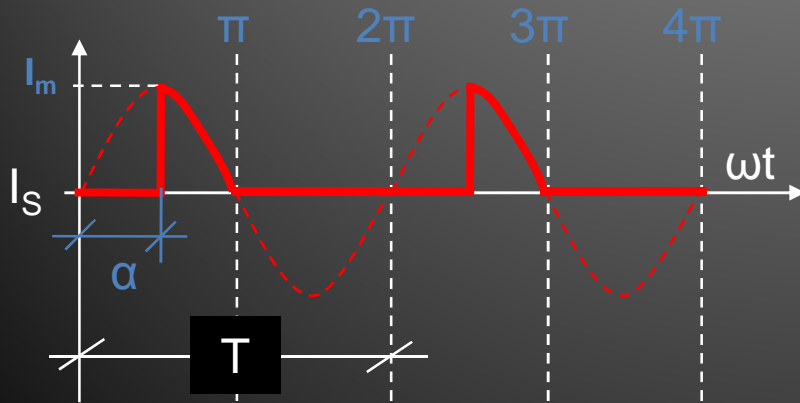
$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(\alpha))]$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [ -(-1) + (\cos \alpha) ]$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{V_{dc}}{R}$$

# IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.20'deki gibidir.



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_s(t)]^2 dt}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [I_m \cdot \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin(2\omega t)}{4} \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

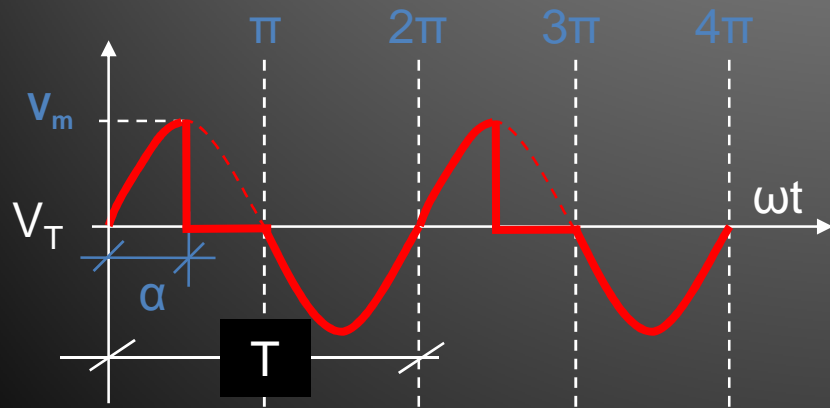
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\sin(2\pi)}{4} \right) - \left( \frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) \right]}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \right)}$$

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{2} \sqrt{\left( 1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right)}$$

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen etkin güç;
- Bu devrenin kaynaktan çektiği etkin güç, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımına eşittir.
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Anahtar (tristör) gerilimi;
- Tristör gerilimi, devredeki-



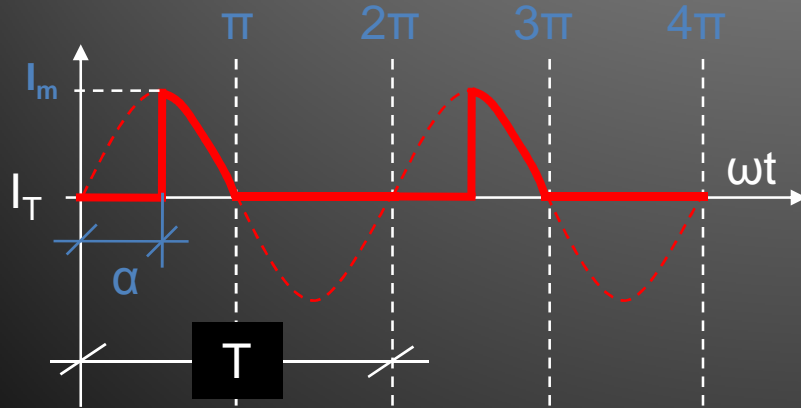
tristör tarafından bloke edilen gerilimdir. Yan tarafta Şekil-4.21'de görüldüğü gibi, kaynağın pozitif ve negatif alternanslarında tristör yalıtımda kalmakta ve tepe değeri " $V_m$ " olan kaynak gerilimini bloke etmektedir.

- Bu durumda devrede kullanılacak olan tristörün çalışma gerilimi aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilecektir.

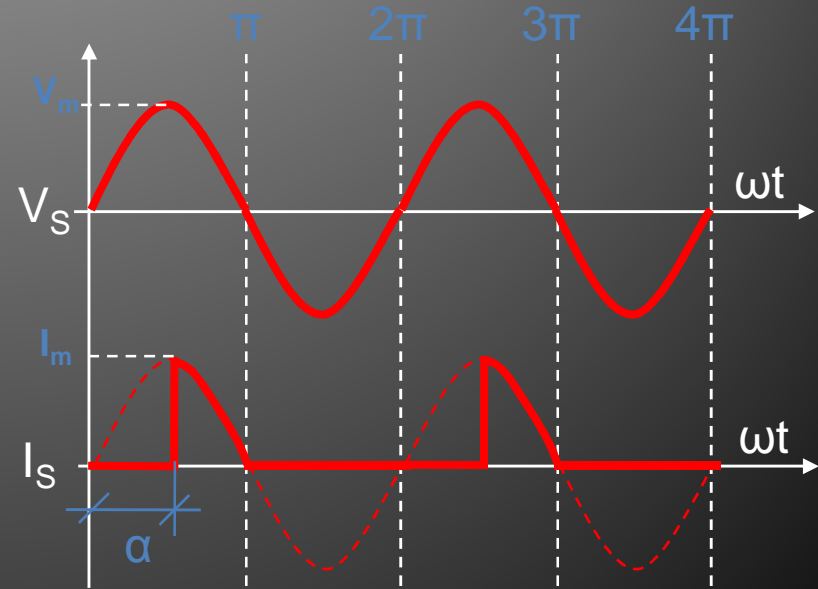
- $V_T \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (tristör) akımı;
- Anahtar (tristör) akımı, aşağıda Şekil-4.22'de görüldüğü gibi max. yarım dalga bir akımdır.
- Bu durumda devrede kullanılacak olan tristörün çalışma akımı,
- $I_T \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$  eşitliğinden bulunabilmektedir.



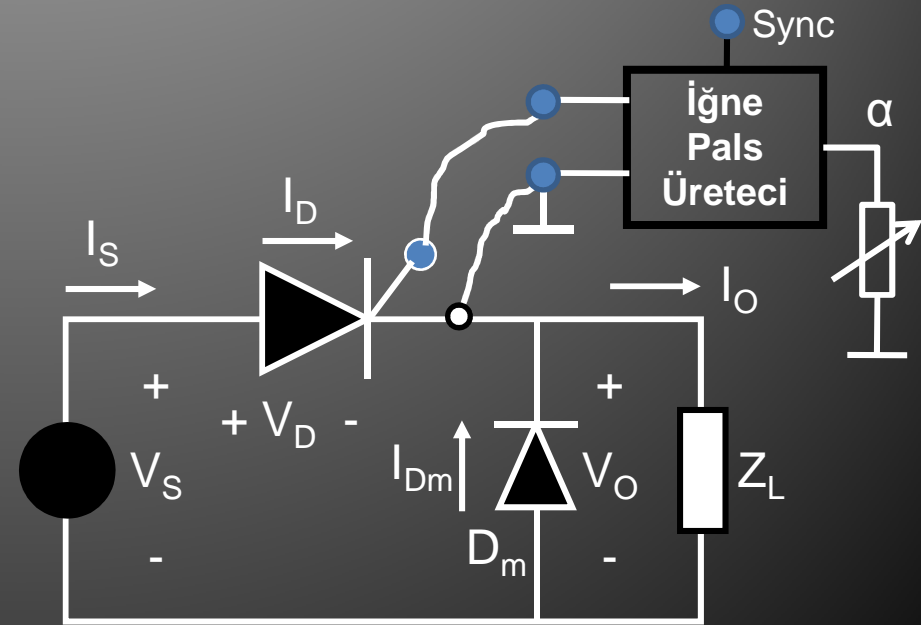
- Güç katsayısı (cosφ);
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.23'deki gibidir. Bu durumda kaynaktan sadece pozitif alternanslarda ve “α” açısıyla bağlantılı dengesiz bir akım çekilmektedir.



## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

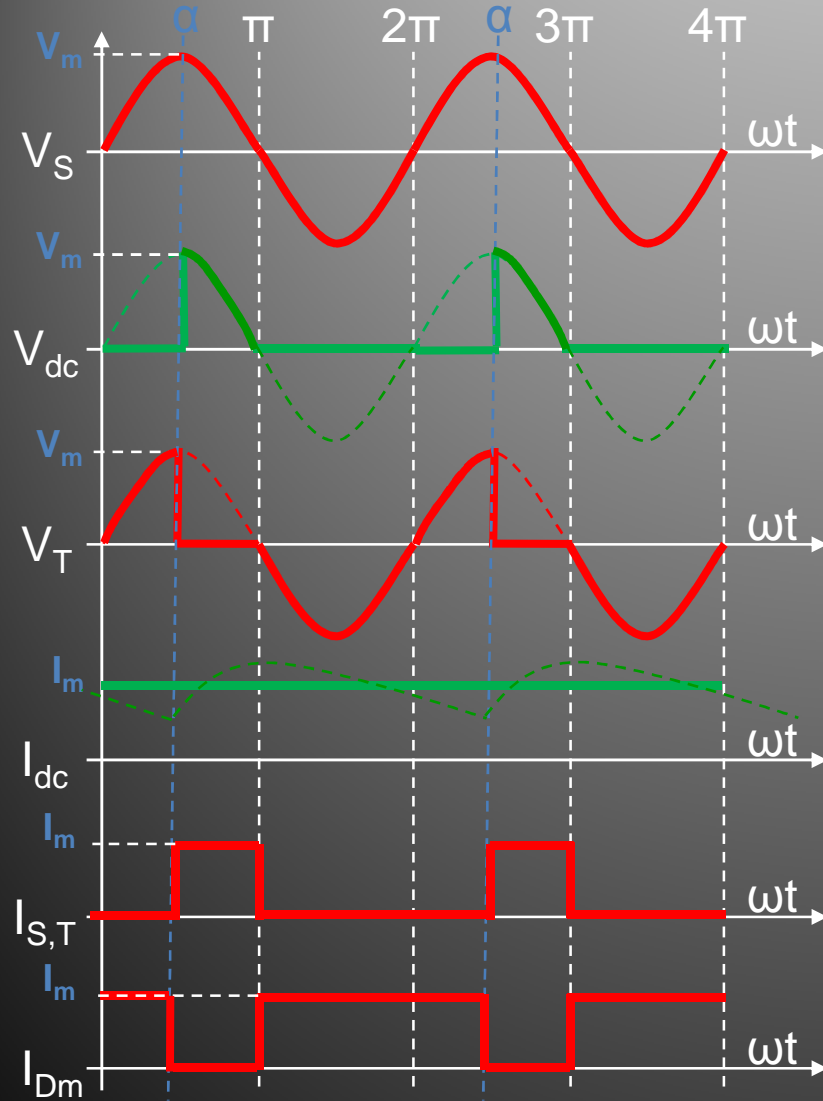
- Endüstride ağırlıklı olarak elektrik motorlarının kullanıldığı bilinmektedir. Elektrik motorları içerdikleri bobinler ve bu bobinlerin dirençleri nedeniyle endüktif + rezistif (L+R) durumundadırlar.
- Kontrollü doğrultucular, özellikle doğru akım elektrik motorlarının kontrolü için geliştirilmiş devrelerdir.
- Tabii ki devrede endüktif yük olması başta devre akımları olmak üzere devrede pek çok parametreyi ve şartları değiştirmektedir.

- 1 Fazlı Yarım Dalga Kontrollü Doğrultucu (endüktif yükte):
- Şekil-4.24'de 1 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucu devre ve devrenin endüktif yükte çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri ise Şekil-4.25'de verilmiştir.





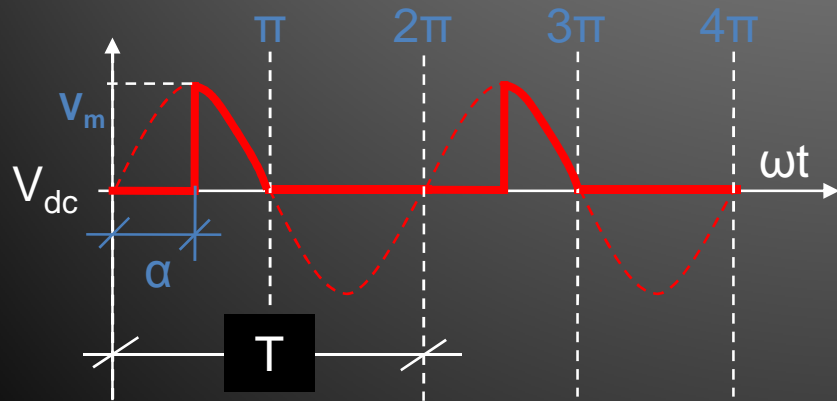
## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Yan taraftaki Şekil-4.25'den görüldüğü gibi, yükün çok endüktif olduğu kabul edilirse, devrenin çıkış akımı ( $I_o$ ) çok az dalgalanacaktır. Biz çizim ve hesaplama kolaylığı olması açısından bu akımı düz kabul edeceğiz.
- Yine şekilden görüldüğü gibi bu akım, tristörün iletimde olduğu zamanlarda tristör üzerinden ( $I_{S,T}$ ), diğer zamanlarda ise yüke ters paralel olarak bağlanmış serbest geçiş diyodu üzerinden dolaşmaktadır. Bu durumda parametreler;

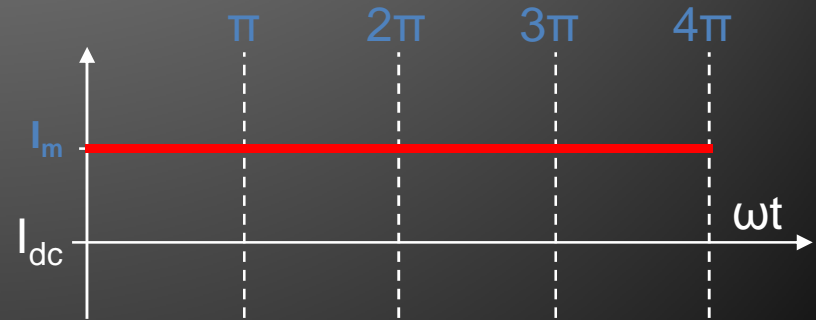
## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrollü doğrultucunun endüktif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.26'da görülen dalga şekli, rezistif yük ile aynı olacaktır.
- Bu durumda resistif yük için elde edilen eşitlik endüktif yük için de aynen geçerlidir.



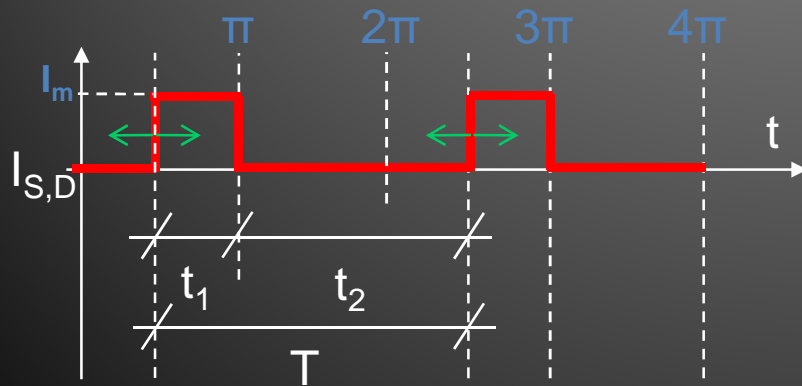
- Çıkış akımının ortalama değeri;
- Endüktif yükte yük üzerinden geçen akım Şekil-4.27'de görüldüğü gibi sürekli ve sabit (düz) kabul edilmektedir.
- Bu durumda ortalama değer,
- $I_{dc} = I_m = V_m / Z$

eşitliğinden doğrudan hesaplanabilecektir.



## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

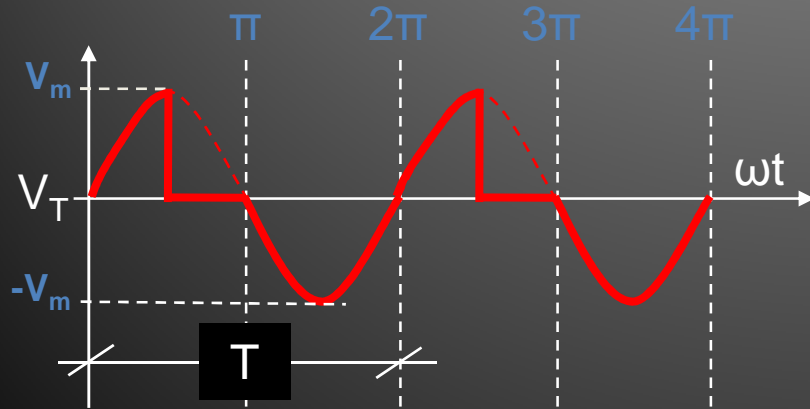
- Ortalama çıkış gücü;
- Endüktif yükte ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.28'deki gibidir.



- Şekil-4.28'de belirtilen ve akımın aktif olduğu "t1" ve pasif olduğu göre "t2" süreleri kullanılarak, "etkin periyot (k)" hesaplaması yapılabilir.
- $k = t_1 / (t_1 + t_2) = t_1 / T$
- Buradan, kare dalga şeklinde değişen kaynak akımının etkin değeri aşağıdaki eşitlikten bulunabilecektir.
- $I_{S(rms)} = \sqrt{k} \cdot I_m$
- $I_{S(rms)} = \sqrt{k} \cdot (V_m / Z)$
- eşitliklerinden bulunabilecektir.

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen etkin güç;
- Bu devrenin kaynaktan çektiği etkin güç, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımına eşittir.
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Anahtar (tristör) gerilimi;
- Tristörün çalışma gerilimi-



Şekil-4.29'dan görüldüğü gibi, rezistif yükteki şeklini koruduğuna göre aynı eşitlikle hesaplanabilecektir.

- $V_T \geq V_m + (\%30.V_m)$

- Anahtar (tristör) akımı;

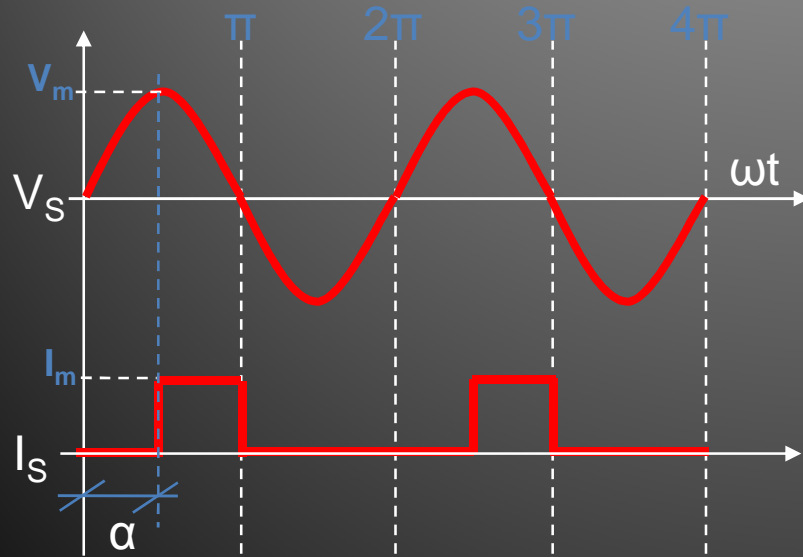
- Anahtar (tristör) akımı, Şekil-4.28'den görüldüğü gibi, kaynak akımı ile aynı olduğuna göre ve diyot üzerinden akan en yüksek akım " $I_m$ " olduğuna göre bu akım değeri,

- $I_T \geq I_m + (\%30.I_m)$

eşitliğinden bulunabilecektir.

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.30'daki gibidir. Bu durumda kaynaktan sadece pozitif alternanslarda ve  $\alpha$  ile orantılı tek yönlü dengesiz bir akım çekilmektedir.



- Örnek:
- 220V-50Hz şebekede çalışan ve  $90^\circ$  de uyarılan yarım dalga kontrollü doğrultucu,
- a)  $10\Omega$ 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b)  $10\Omega$ 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- Çözüm:
- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
- $V_{dc} = (V_m / 2\pi) \cdot (1 + \cos\alpha)$

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$$

$$V_{dc} = 311/6,28 \cdot (1 + \cos 90^\circ) = 49,52V$$

- Rezistif yükte çıkış akımının ortalama değeri,

$$I_{dc} = (I_m / 2\pi) \cdot (1 + \cos \alpha)$$

$$I_m = V_m / R = 311 / 10 = 31,1A$$

$$I_{dc} = 31,1/6,28 \cdot (1 + \cos 90^\circ) = 4,95A$$

- Rezistif yükte ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 49,52 \cdot 4,95 = 245,12W$$

- Rezistif yükte kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left( \pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

$$I_{S(rms)} = \frac{31,1}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left( \pi - \frac{\pi}{2} + \frac{\sin(2 \cdot 90)}{2} \right)}$$

$$I_s(rms) = 10,99A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 10,99 \cdot 220 = 2,41kW$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör) gerilimi,

$$V_T \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$

$$V_T \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör) akımı,

$$I_T \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$$

$$I_T \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

olarak bulunmaktadır.

## IV - AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- b) Çok endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,  
 $V_{dc} = (V_m / 2\pi) \cdot (1 + \cos\alpha)$   
 $V_{dc} = 311/6,28 \cdot (1 + \cos 90^\circ)$   
 $V_{dc} = 49,52V$
- Çok endüktif yükte çıkış akımının ortalama değeri,  
 $I_{dc} = I_m = V_m / Z = 31,1A$
- Çok endüktif yükte ort. çıkış gücü,  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$   
 $P_{dc} = 49,52 \cdot 31,1 = 1,54kW$
- Çok endüktif yükte kaynak akımının etkin değeri,  
 $I_{S(rms)} = \sqrt{k} \cdot I_m$   
 $k = t_1 / T = 5ms / 20ms = 0,25$   
 $I_{S(rms)} = \sqrt{0,25} \cdot 31,1 = 15,55A$
- Çok endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,  
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
 $P_{S(rms)} = 15,55 \cdot 220 = 3,42kW$
- Çok endüktif yükte anahtar (tristör) gerilimi,  
 $V_T \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$   
 $V_T \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$
- Çok endüktif yükte anahtar (tristör) akımı,  
 $I_T \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$   
 $I_T \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$   
olarak bulunmaktadır.

## ÖDEV-7

7.1) 220V-50Hz şebekede  $12\Omega$ 'luk saf rezistif bir yükü besleyen 1 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun,

- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
- Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
- Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

7.2) 220V-50Hz şebekede,  $90^\circ$  uyarma açısında,  $12\Omega$ 'luk çok endüktif bir yükü besleyen 1 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucunun,

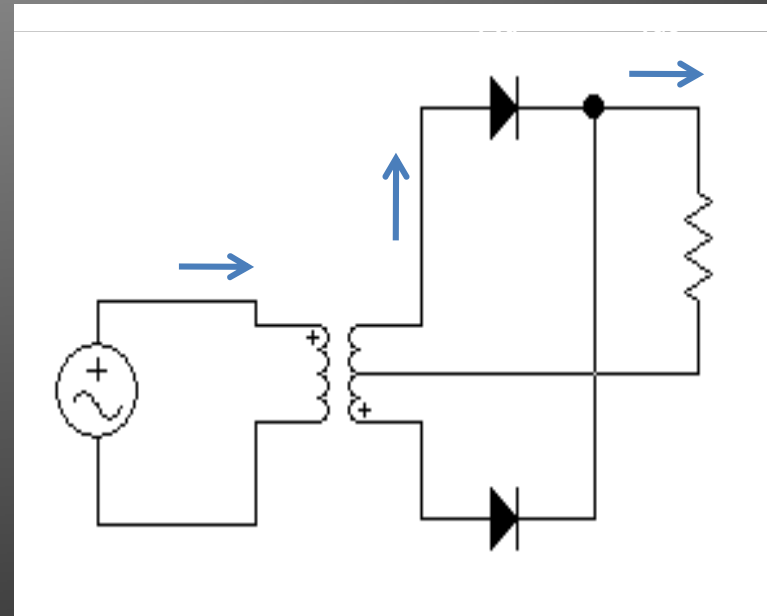
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
- Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
- Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- **1 Fazlı Simetrik Tam Dalga Kontrolsüz Doğrultucu:**
- Bilindiği gibi, 1 fazlı gerilimi tam dalga doğrultabilmek için, simetrik AC kaynağın olduğu veya kolaylıkla elde edilebileceği yerlerde, sadece 2 adet güç anahtarı kullanarak tam dalga doğrultma yapmak mümkündür.
- Bu sayede daha az güç anahtarı kullanılarak anahtar kayıpları azaltılmaktadır. Fakat simetrik AC olmadığı durumlarda ayrıca bir kuruluş maliyeti ortaya çıkmaktadır.

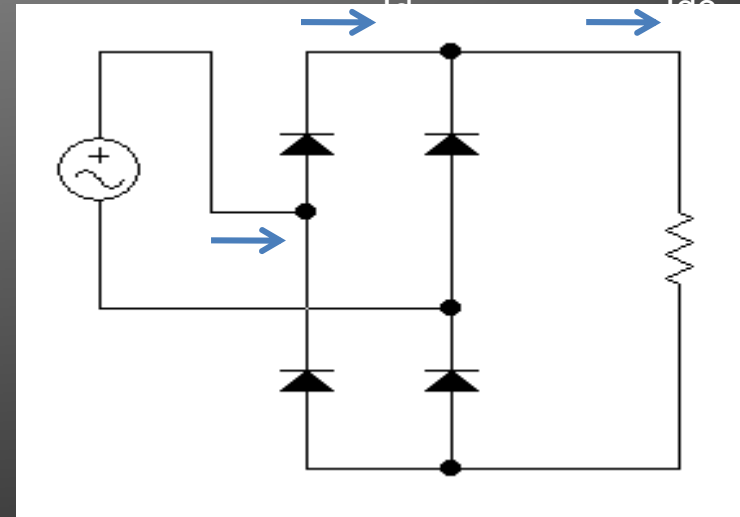
- Aşağıdaki Şekil-4.31'de 1 fazlı simetrik tam dalga kontrolsüz doğrultucu devre bağlantısı görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi kaynak gerilimi orta uçlu bir transfo ile çoğullanmaktadır.



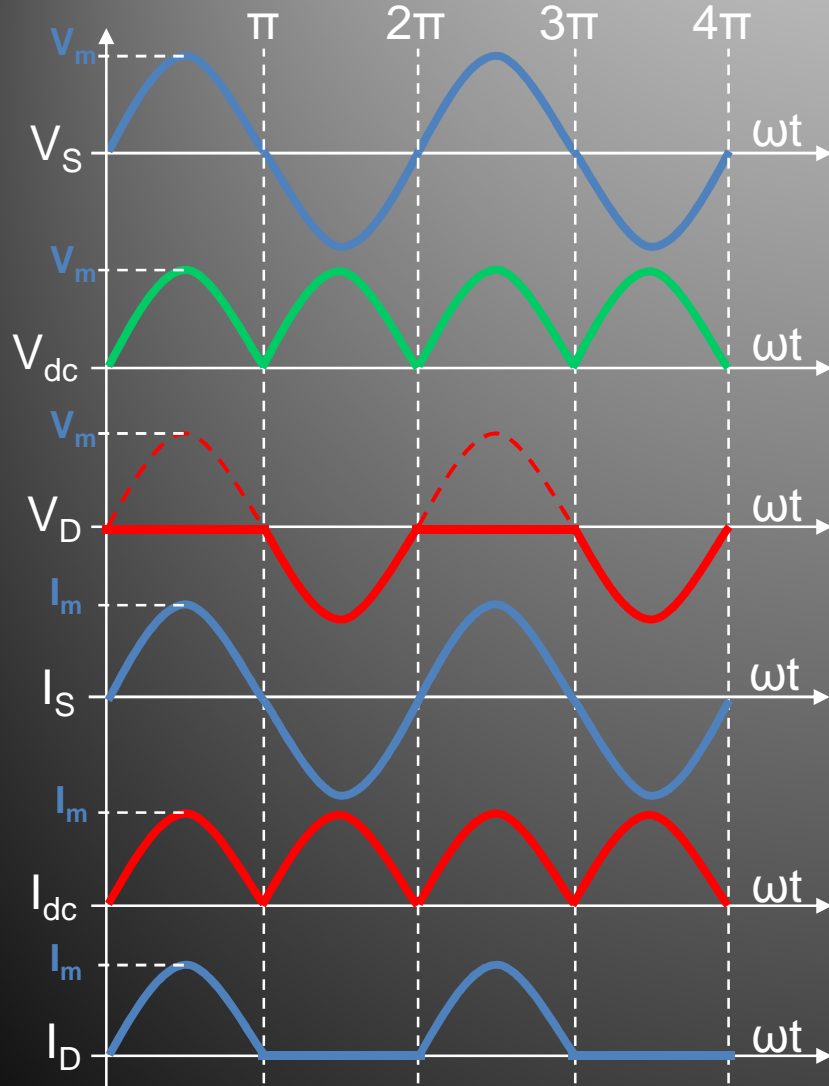
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-4.31’de görülen 1 fazlı simetrik tam dalga kontrolsüz doğrultucu ile aynı işi yapan bir diğer devre de köprü bağlı kontrolsüz doğrultucu devresidir.
- 1 fazlı kontrolsüz köprü doğrultucu devresinde simetrik AC kaynağa ihtiyaç yoktur. Bu nedenle simetrik AC elde etmek için ayrıca transformatör kullanmaya da gerek yoktur.
- Her iki devreden elde edilen çıkış da tam dalga olduğu için **analiz köprü doğrultucuya göre yapılacaktır.**

- **1 Fazlı Kontrolsüz Köprü Doğrultucu (rezistif yükte):**
- Şekil-4.32’de 1 fazlı tam dalga kontrolsüz köprü doğrultucu devre bağlantısı görülmektedir. Devrenin rezistif (R) yükte çalışması dalga şekilleri Şekil-4.33’de verilmiştir.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Şekil-4.33'den görüldüğü gibi, güç devrelerinin analizinde kullanılan 6 adet parametrenin dalga şekilleri gösterilmiştir.

Bunlar;

- 1) Kaynak gerilimi ( $V_S$ ),
- 2) Çıkış (yük) gerilimi ( $V_O$ ),
- 3) Anahtar (diyot) gerilimi ( $V_D$ ),
- 4) Kaynak akımı ( $I_S$ ),
- 5) Çıkış (yük) akımı ( $I_O$ ),
- 6) Anahtar (diyot) akımı ( $I_D$ )'dir.

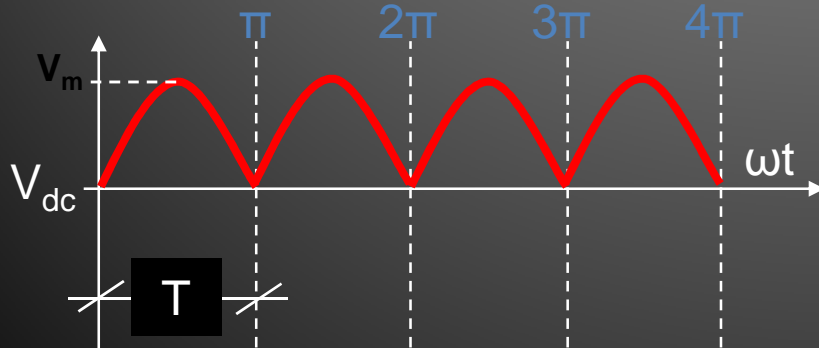
Burada kaynak, yük ve anahtar akımları devre bağlantısı nedeniyle farklı olduğu için ayrı şekillerle gösterilmiştir.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-4.33'den görüldüğü gibi, çıkış (yük) üzerinde kaynaktan gelen pozitif alternanslar olduğu gibi negatif alternanslar ise pozitive katlanmış şekilde görülmektedir.
  - Bunun nedeni pozitif alternanslarda D1 ve D2, negatif alternanslarda ise D3 ve D4 diyotlarının iletimidir.
  - Diyotların yalıtımda kaldığı kendilerine göre ters olan alternanslarda ise kaynaktan gelen bu alternanslar her bir diyot üzerinde, bloke ettiği gerilim olarak görülmektedir.
- Şekil-4.33'de görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
  - 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri,
  - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
  - 3) Ortalama çıkış gücü,
  - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
  - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç,
  - 6) Anahtar (diyot) gerilimi,
  - 7) Anahtar (diyot) akımı.
  - 8) Güç katsayısı,

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri;
- 1 fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.34'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Şimdi bu dalga şekline göre çıkış geriliminin ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t).dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \cdot \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [-\cos(\omega t)]_0^{\pi}$$

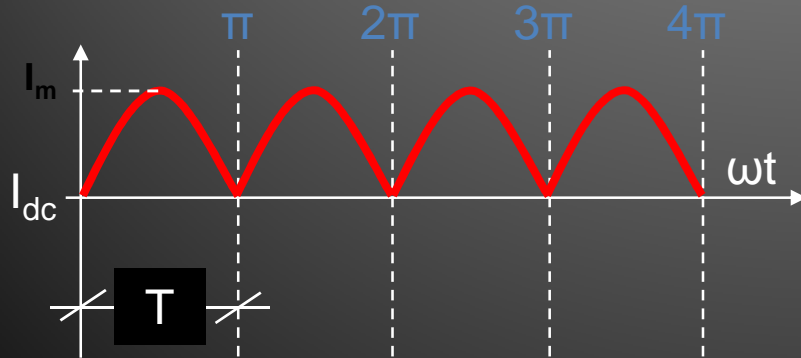
$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(0))]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [ -(-1) + (+1) ]$$

$$V_{dc} = \frac{2 \cdot V_m}{\pi} = 0,636 \cdot V_m$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımı ortalama değeri;
- 1 fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-4.35'de görülen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Şimdi bu dalga şekline göre çıkış akımının ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T i_o(t).dt$$

$$I_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \cdot \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} [-\cos(\omega t)]_0^{\pi}$$

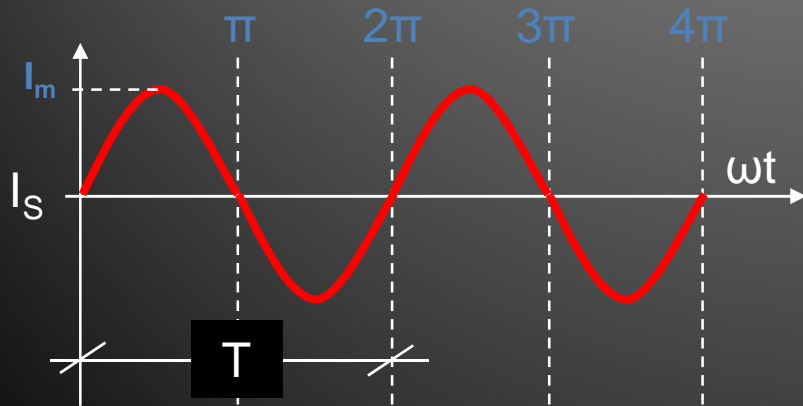
$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(0))]$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} [ -(-1) + (+1) ]$$

$$I_{dc} = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} = 0,636 \cdot I_m = 0,636 \cdot \frac{V_m}{R}$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.36'daki gibidir.



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_s(t)]^2 . dt}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [I_m . \sin(\omega t)]^2 . d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) . d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin(2\omega t)}{4} \right]_0^{2\pi}}$$

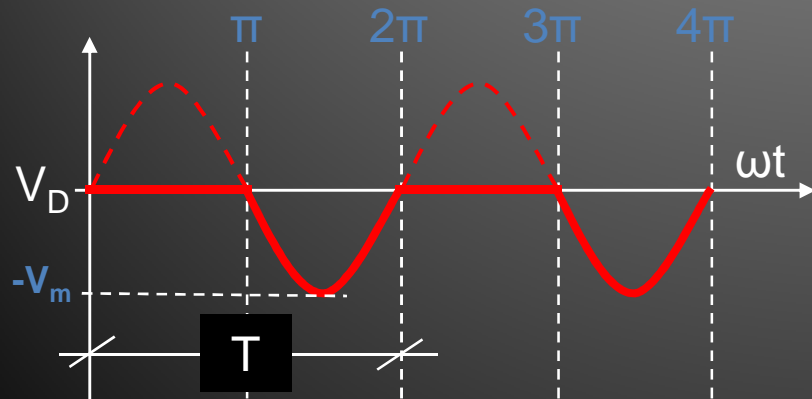
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[ \left( \frac{2\pi}{2} - \frac{\sin(4\pi)}{4} \right) - \left( \frac{0}{2} - \frac{\sin(2 \cdot 0)}{4} \right) \right]}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[ \left( \frac{\pi}{1} \right) - (0) \right]} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \frac{\pi}{1}}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}} = 0,7 . I_m = 0,7 . \frac{V_m}{R}$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen etkin güç;
- Bu devrenin kaynaktan çektiği etkin güç, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımına eşittir.
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Anahtar (diyot) gerilimi;
- Anahtar (diyot) gerilimi,



diyot tarafından bloke edilen gerilimdir. Yan tarafta Şekil-4.37’de görüldüğü gibi, kaynağın negatif alternanslarında diyot yalıtımda kalmakta ve tepe değeri “ $V_m$ ” olan kaynak gerilimini bloke etmektedir.

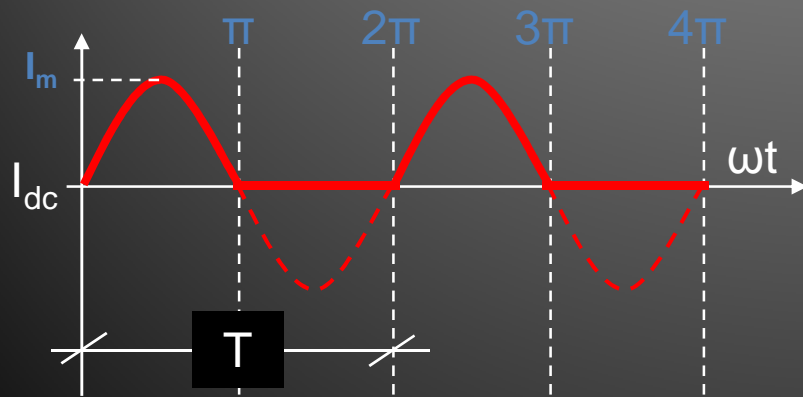
- Bu durumda devrede kullanılacak olan diyodun çalışma gerilimi aşağıdaki eşitlikten bulunabilecektir.

- $V_D \geq V_m + (\%30.V_m)$

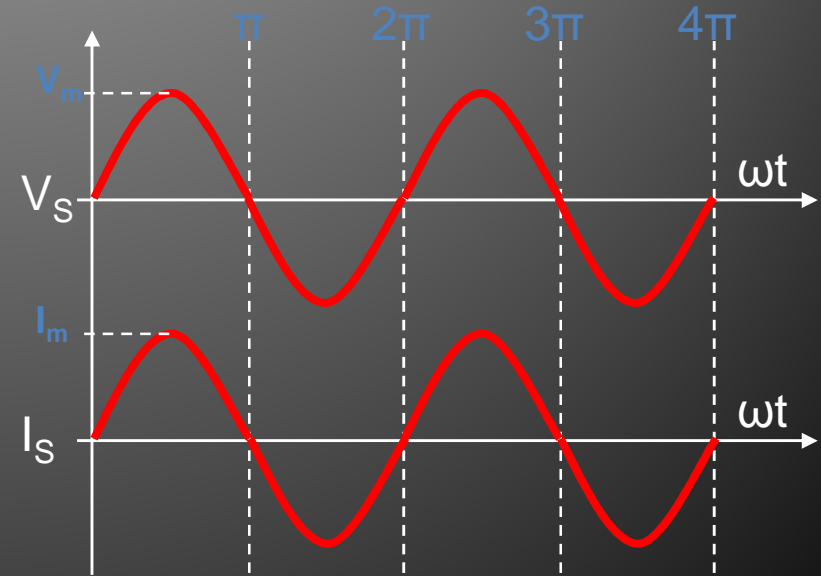


## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (diyot) akımı;
- Anahtar (diyot) akımı, aşağıda Şekil-4.38'de görüldüğü gibi yarım dalga bir akımdır.
- Bu durumda devrede kullanılacak olan diyodun çalışma akımı,
- $I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$  eşitliğinden bulunabilmektedir.



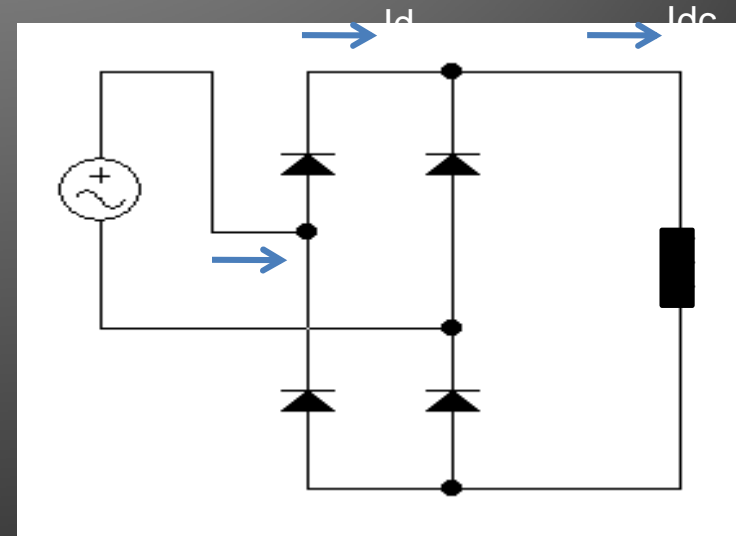
- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.39'daki gibidir. Bu durumda kaynaktan her iki alternansta da ve kaynakla aynı fazda akım çekilmektedir. Bu durumda  $\cos\phi = 1$ 'dir.



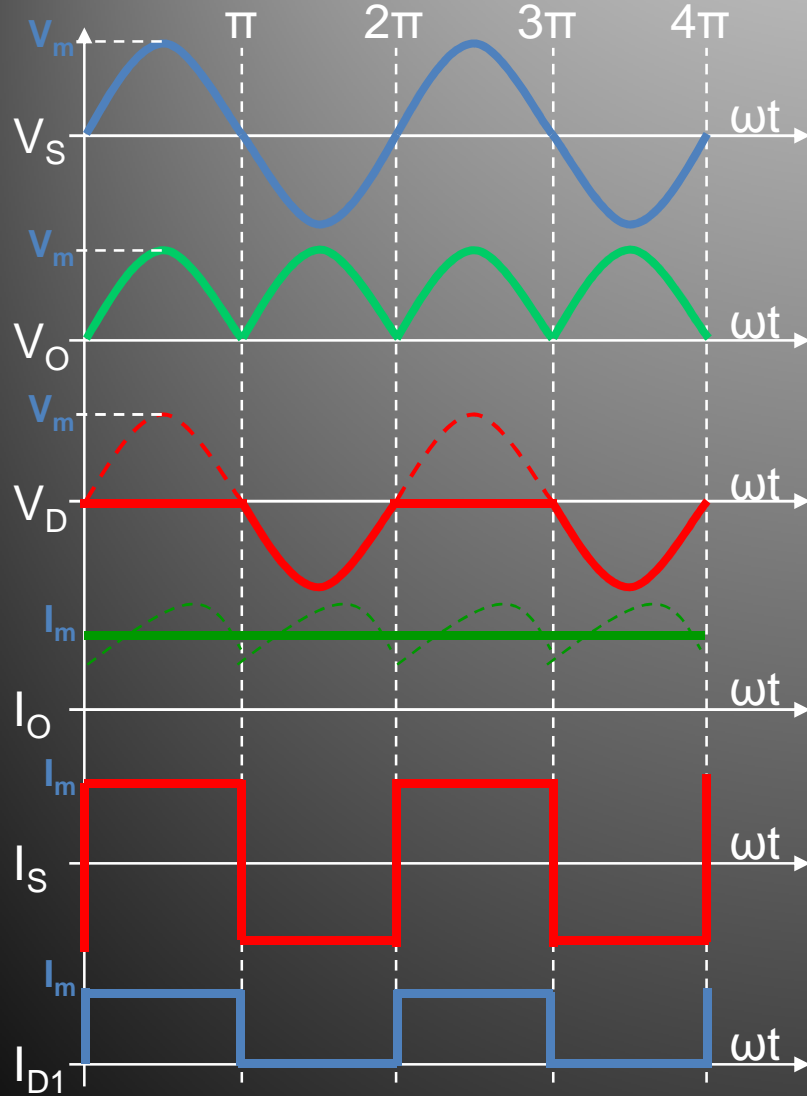
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Bilindiği gibi endüstrideki yüklerin çok büyük bir bölümü endüktif karakterli (L+R) yüklerdir.
- Bu yüklerle verilebilecek en önemli örnek elektrik motorlarıdır. Elektrik motorları içerdikleri bobinler ve bu bobinlerin dirençleri nedeniyle endüktif + rezistif (L+R) durumundadırlar.
- Tabii ki devrede endüktif yük olması başta devre akımları olmak üzere devrede pek çok parametreyi ve şartları değiştirmektedir.

- 1 Fazlı Kontrolsüz Köprü Doğrultucu (endüktif yükte):
- Şekil-4.40'da 1 fazlı tam dalga kontrolsüz köprü doğrultucu devre bağlantısı görülmektedir. Devrenin endüktif (L+R) yükte çalışmasını gösteren dalga şekilleri Şekil-4.41'de verilmiştir.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

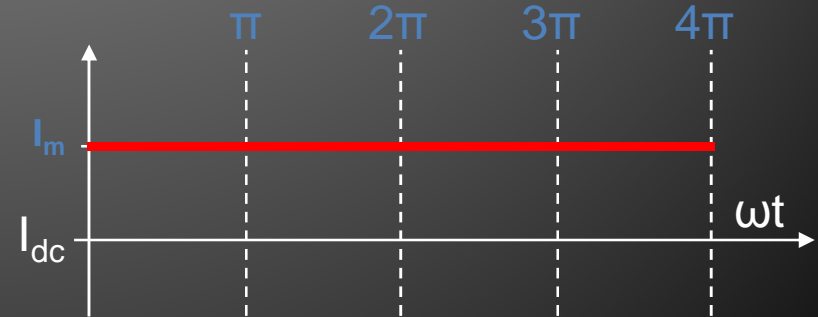
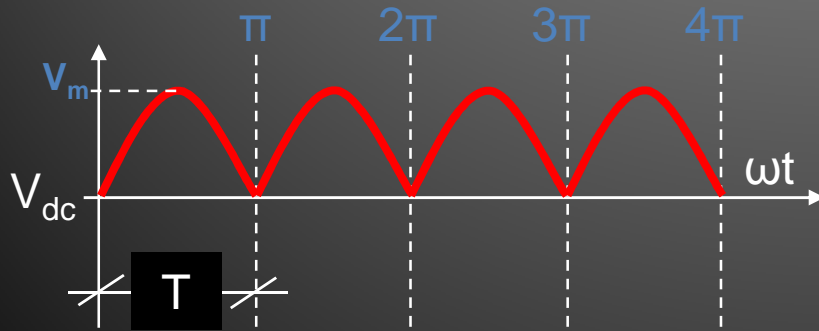


- Yan taraftaki Şekil-4.41'den görüldüğü gibi, yükün çok endüktif olduğu kabul edilirse, devrenin çıkış akımı ( $I_o$ ) çok az dalgalanacaktır. Biz çizim ve hesaplama kolaylığı olması açısından bu akımı düz kabul edeceğiz.
- Yine şekilden görüldüğü gibi bu akım, pozitif ve negatif alternanslarda kaynaktan çift yönlü olarak çekilmekte, diyotlardan ise kendilerine uygun olan alternanslarda akım almaktadır. Bu durumda parametreler;

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

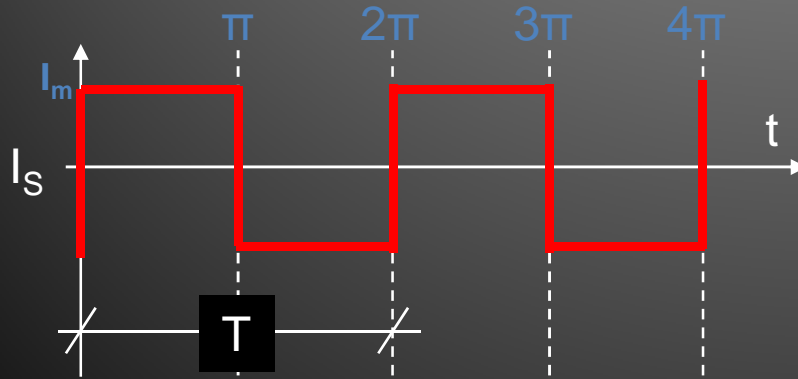
- Çıkış geriliminin ortalama değeri;
  - Yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun endüktif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.42'de görülen dalga şekli, rezistif yük ile aynı olacaktır.
  - Bu durumda resistif yük için elde edilen eşitlik endüktif yük için de aynen geçerlidir.
- Çıkış akımının ortalama değeri;
  - Endüktif yükte yük üzerinden geçen akım Şekil-4.43'de görüldüğü gibi sürekli ve sabit (düz) kabul edilmektedir.
  - Bu durumda ortalama değer,
  - $I_{dc} = I_m = V_m / Z$

eşitliğinden doğrudan hesaplanabilecektir.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

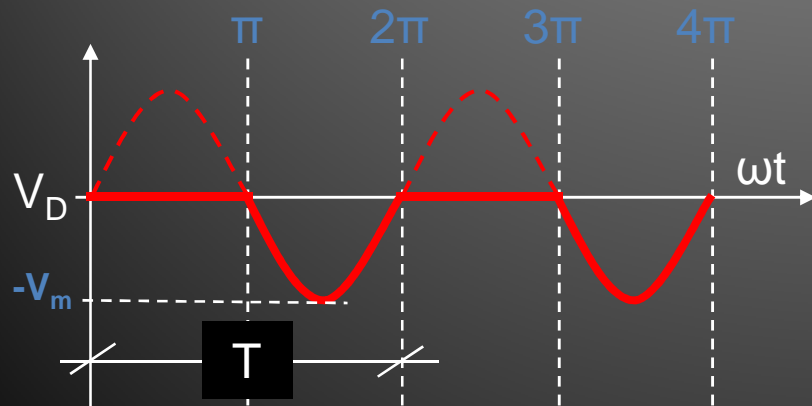
- Ortalama çıkış gücü;
- Endüktif yükte ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.44'deki gibidir.



- Şekil-4.44'de görülen çok endüktif yük için kaynak akımı şeklinden hareketle kaynak akımının etkin değeri kolaylıkla bulunabilecektir.
- Bilindiği gibi şebeke geriliminde etkin değer hesabı tek alternans için bulunmaktadır, çünkü kare alındığı için negatif alternansta da aynı sonuca ulaşılmaktadır.
- Bu durumda sadece “0-π” aralığı için etkin değer doğrudan tepe değer ( $I_m$ ) veya çıkış akımı değerine eşit olacaktır yani “ $I_{rms} = I_m$ ”dir.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen etkin güç;
- Bu devrenin kaynaktan çektiği etkin güç, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımına eşittir.
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Anahtar (diyot) gerilimi;
- Anahtar (diyot) gerilimi,



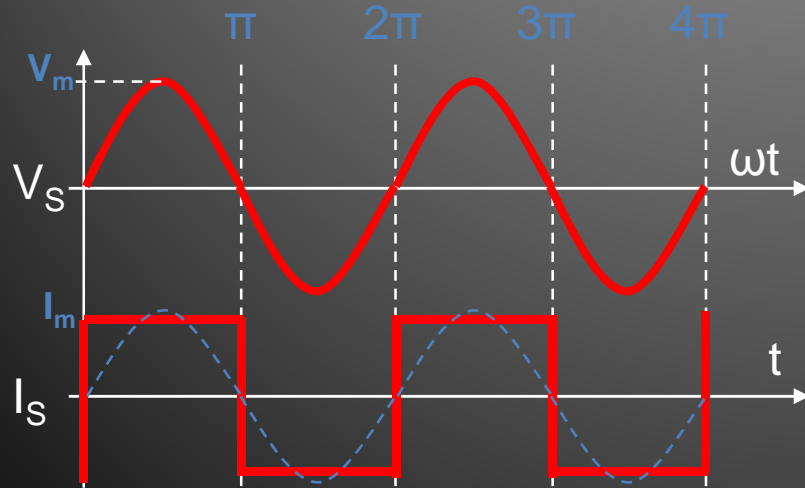
Şekil-4.45'den görüldüğü gibi, rezistif yükteki şeklini koruduğuna göre aynı eşitlikle hesaplanabilecektir.

- $V_D \geq V_m + (\%30.V_m)$
- Anahtar (diyot) akımı;
- Anahtar (diyot) akımı, Şekil-4.41'den görüldüğü gibi, kaynak akımı ile aynı olduğuna göre ve diyot üzerinden akan en yüksek akım " $I_m$ " olduğuna göre bu akım değeri,
- $I_D \geq I_m + (\%30.I_m)$

eşitliğinden bulunabilecektir.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.46'daki gibidir. Bu durumda kaynaktan hem pozitif hem de negatif alternanslarda kaynak gerilimiyle aynı fazlı akım çekilmekte yani  $\cos\phi = 1$ 'dir.



- Örnek:
- 220V-50Hz şebekede çalışan tam dalga köprü kontrolsüz doğrultucu,
- a)  $10\Omega$ 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b)  $10\Omega$ 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- Çözüm:
- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
- $V_{dc} = 0,636 \cdot V_m$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$$

$$V_{dc} = 0,636 \cdot 311 = 197,79V$$

- Rezistif yükte çıkış akımının ortalama değeri,

$$I_{dc} = 0,636 \cdot I_m$$

$$I_m = V_m / R = 311 / 10 = 31,1A$$

$$I_{dc} = 0,636 \cdot 31,1 = 19,77A$$

- Rezistif yükte ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 19,77 \cdot 197,79 = 3,91kW$$

- Rezistif yükte kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{S(rms)} = 0,7 \cdot I_m$$

$$I_{S(rms)} = 0,7 \cdot 31,1 = 21,77A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 21,77 \cdot 220 = 4,78kW$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$

$$V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot) akımı,

$$I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$$

$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

b) Çok endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,

- $V_{dc} = 0,636 \cdot V_m$   
 $V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$   
 $V_{dc} = 0,636 \cdot 311 = 197,79V$
- Çok endüktif yükte çıkış akımının ortalama değeri,  
 $I_{dc} = I_m = V_m / R = 311 / 10 = 31,1A$
- Endüktif yükte ort. çıkış gücü,  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$   
 $P_{dc} = 31,1 \cdot 197,79 = 6,15kW$
- Çok endüktif yükte kaynak akımının etkin değeri,  
 $I_{S(rms)} = I_m$   
 $I_{S(rms)} = 31,1A$

■ Çok endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$
$$P_{S(rms)} = 31,1 \cdot 220 = 6,84kW$$

■ Çok endüktif yükte anahtar (diyot) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$
$$V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

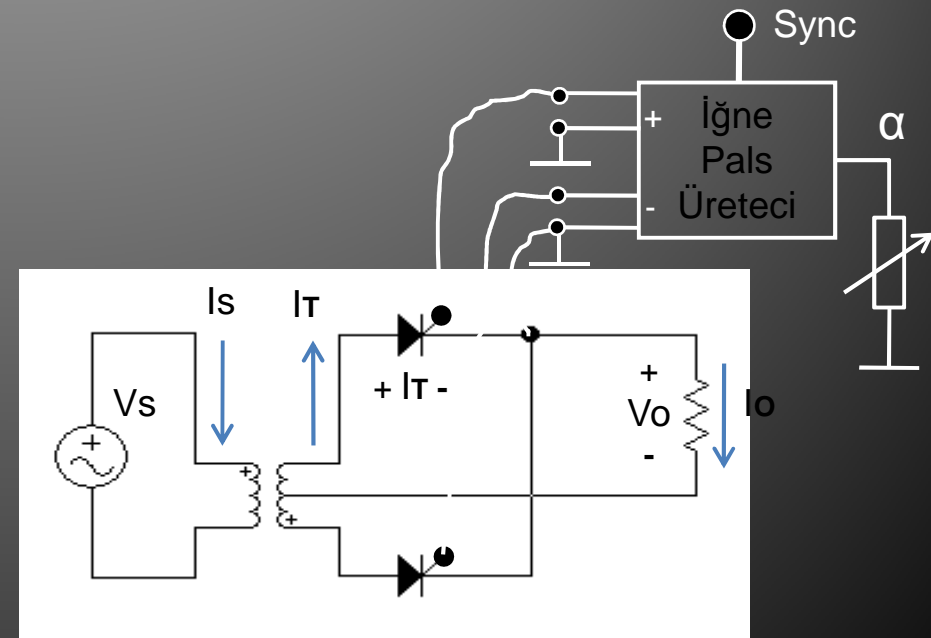
■ Çok endüktif yükte anahtar (diyot) akımı,

$$I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$$
$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- **1 Fazlı Simetrik Tam Dalga Kontrollü Doğrultucu:**
- Bilindiği gibi, 1 fazlı gerilimi tam dalga doğrultabilmek ve kontrol edebilmek için, simetrik AC kaynağın olduğu veya kolaylıkla elde edilebileceği yerlerde, sadece 2 adet güç anahtarı kullanarak doğrultma yapmak mümkündür.
- Bu sayede daha az güç anahtarı kullanılarak anahtar kayıpları azaltılmaktadır. Fakat simetrik AC olmadığı durumlarda ayrıca bir kuruluş maliyeti ortaya çıkmaktadır.

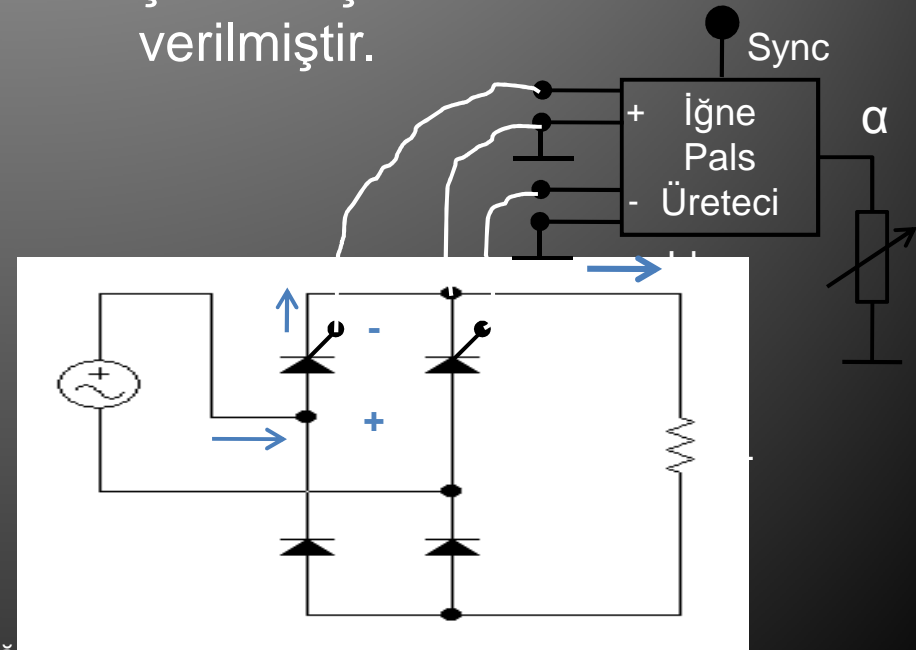
- Aşağıdaki Şekil-4.47'de 1 fazlı simetrik tam dalga kontrollü doğrultucu devre bağlantısı görülmektedir. Görüldüğü gibi kaynak gerilimi çoğullanmakta ve tristörlere uygulanmaktadır.



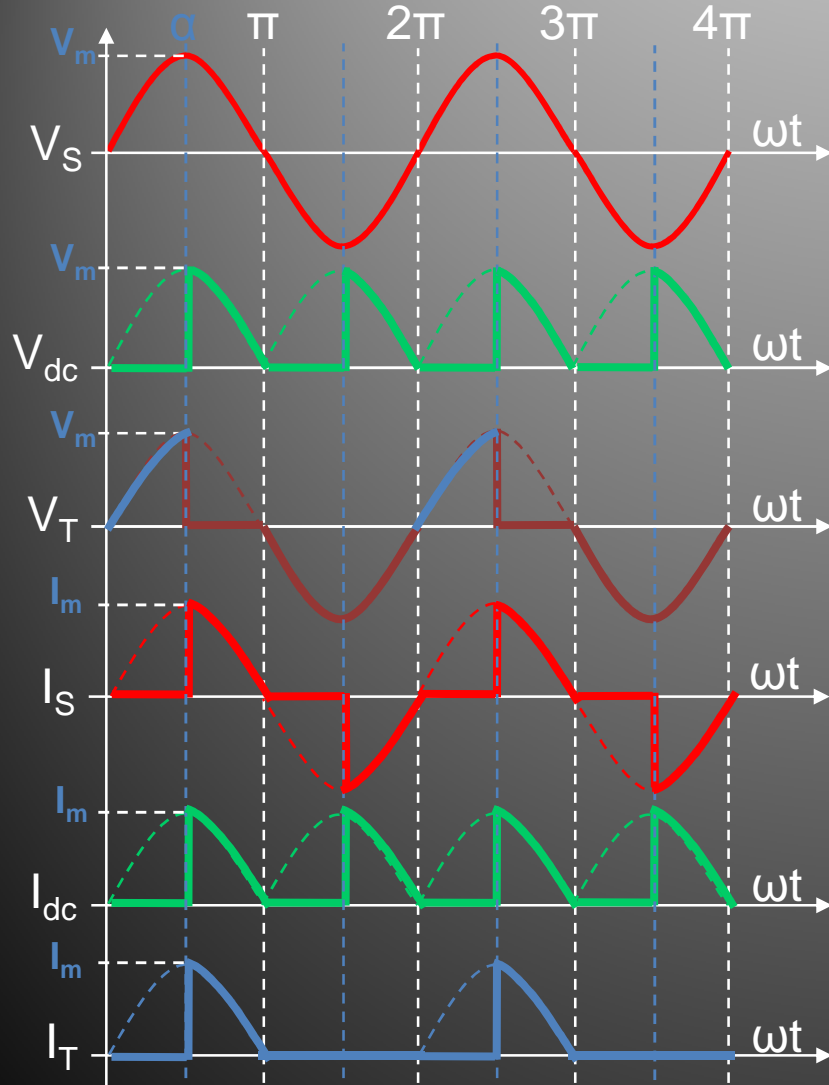
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-4.47’de görülen 1 fazlı simetrik tam dalga kontrollu doğrultucu ile aynı işi yapan bir diğer devre de köprü bağlı kontrollu doğrultucu devresidir.
- 1 fazlı kontrollu köprü doğrultucu devresi, yarım kontrollu ve tam kontrollu olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir.
- Öncelikle yarım kontrollu köprü doğrultucu devresi, daha sonra da tam kontrollu köprü doğrultucu devresi hem rezistif hem de endüktif yükte ayrıntısıyla analiz edilecektir.

- 1 Fazlı Yarım Kontrollu Köprü Doğrultucu (rezistif yükte):
- Şekil-4.48’de 1 fazlı tam dalga yarım kontrollu köprü doğrultucu devre bağlantısı görülmektedir. Devrenin rezistif (R) yükte çalışma dalga şekilleri Şekil-4.49’da verilmiştir.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Şekil-4.49'dan görüldüğü gibi, güç devrelerinin analizinde kullanılan 6 adet parametrenin dalga şekilleri gösterilmiştir.

Bunlar;

- 1) Kaynak gerilimi ( $V_S$ ),
- 2) Çıkış (yük) gerilimi ( $V_O$ ),
- 3) Anahtar (diyot) gerilimi ( $V_D$ ),
- 4) Kaynak akımı ( $I_S$ ),
- 5) Çıkış (yük) akımı ( $I_O$ ),
- 6) Anahtar akımı ( $I_{D-T}$ )'dir.

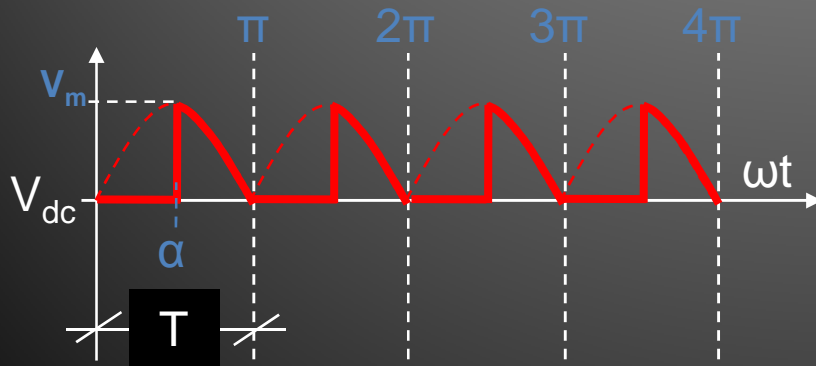
Burada kaynak, yük ve anahtar akımları devre bağlantısı nedeniyle farklı olduğu için ayrı şekillerle gösterilmiştir.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-4.49'dan görüldüğü gibi, çıkış (yük) direnci üzerinde kaynaktan gelen pozitif alternanslar “ $\alpha$ ” açısından itibaren, negatif alternanslar ise pozitive katlanmış şekilde yine “ $\alpha$ ” açısından itibaren görülmektedir.
  - Bunun nedeni , pozitif alternanslarda T1-D1, negatif alternanslarda ise T2-D2 elemanlarının birbirlerine seri olarak iletme geçmeleri ve pozitif alternanslarda T1'in, negatif alternanslarda ise T2'nin “ $\alpha$ ”da uyarılmasıdır.
- Şekil-4.49'da görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
    - 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri,
    - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
    - 3) Ortalama çıkış gücü,
    - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
    - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç,
    - 6) Anahtar (diyot-tristör) gerilimleri,
    - 7) Anahtar (diyot-tristör) akımları,
    - 8) Güç katsayısı,

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri;
- 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.50'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Şimdi bu dalga şekline göre çıkış geriliminin ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t).dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \cdot \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [-\cos(\omega t)]_{\alpha}^{\pi}$$

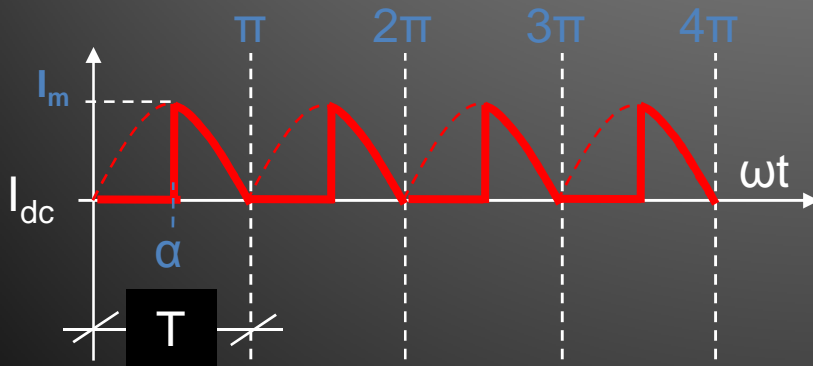
$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(\alpha))]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [-(-1) + (\cos \alpha)]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımı ortalama değeri;
- 1 fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-4.51'de görülen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Şimdi bu dalga şekline göre çıkış akımının ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) \cdot dt$$

$$I_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} [-\cos(\omega t)]_{\alpha}^{\pi}$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(\alpha))]$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} [-(-1) + (\cos \alpha)]$$

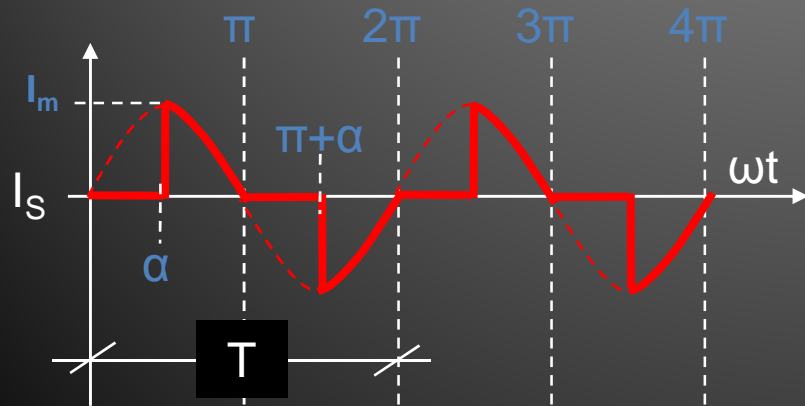
$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{V_{dc}}{R}$$

# IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.

$$P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$$

- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.52'deki gibidir.



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_s(t)]^2 dt}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [I_m \cdot \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{2 \cdot I_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin(2\omega t)}{4} \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\sin(2\pi)}{4} \right) - \left( \frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) \right]}$$

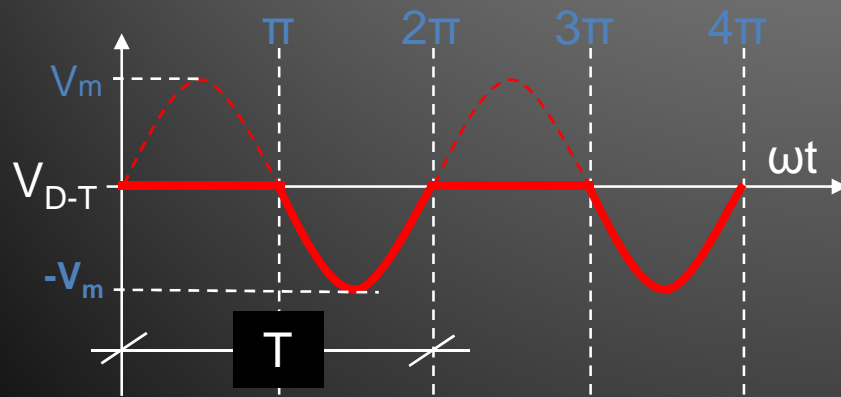
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \right)}$$

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\left( 1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right)}$$



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen etkin güç;
- Bu devrenin kaynaktan çektiği etkin güç, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımına eşittir.
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Anahtar (diyot-tristör) gerilimi;
- Diyot ve tristörlerin gerilimi,



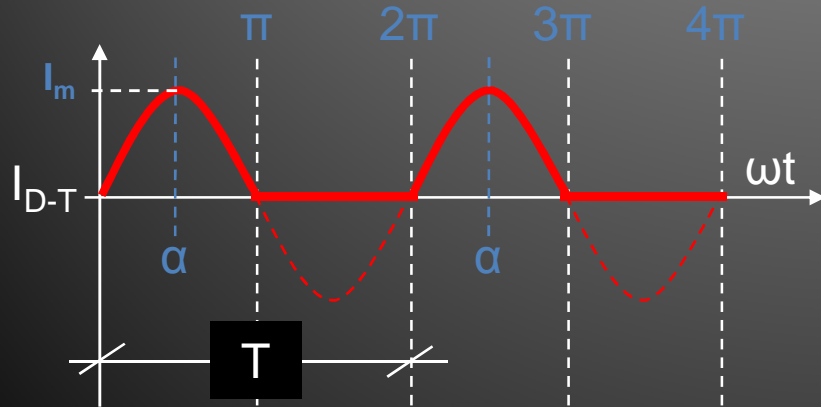
diyot ve tristörler tarafından bloke edilen gerilimdir. Yan tarafta Şekil-4.53'de görüldüğü gibi, kaynağın negatif ve pozitif alternanslarında anahtarlar yalıtımda kalabilmekte ve kaynak gerilimini bloke etmektedir.

- Bu durumda devrede kullanılacak olan anahtarların çalışma gerilimleri aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

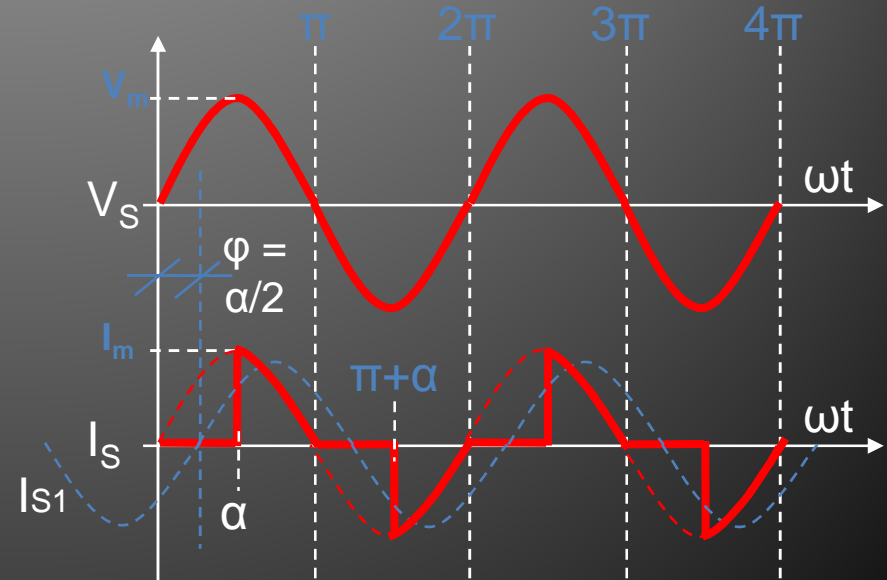
- $V_D \geq V_m + (\%30.V_m)$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (diyot-tristör) akımı;
- Diyot ve tristörlerin akımı, Şekil-4.54'de görüldüğü gibi en fazla yarım dalga bir akımdır.
- Bu durumda devrede kullanılacak olan diyodun çalışma akımı,
- $I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$  eşitliğinden bulunabilmektedir.



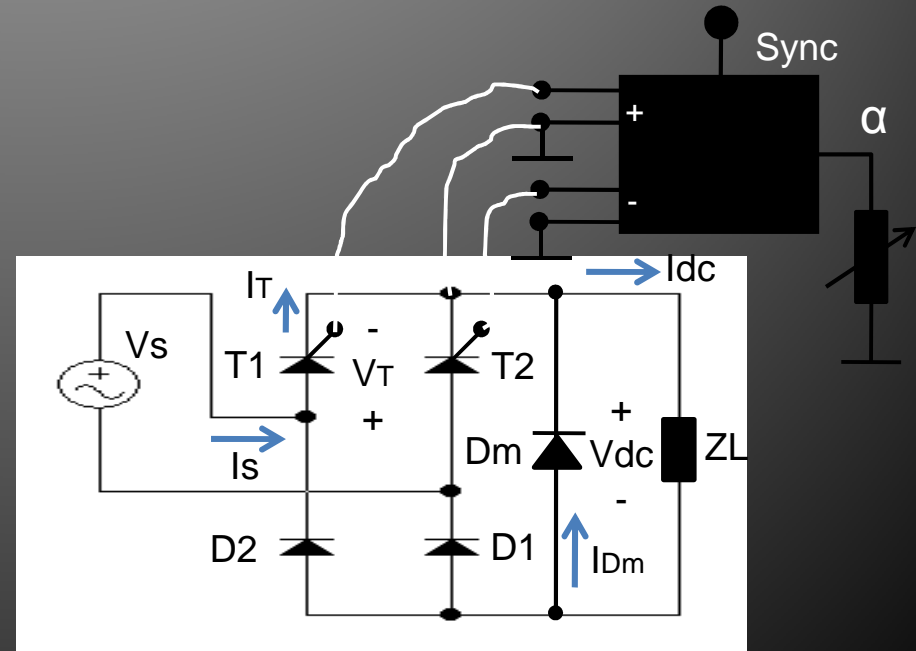
- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.55'deki gibidir. Bu durumda kaynaktan her iki alternansta da ve kaynakla farklı fazda akım çekilmektedir. Bu durumda  $\cos\phi = \cos(\alpha/2)$ 'dir



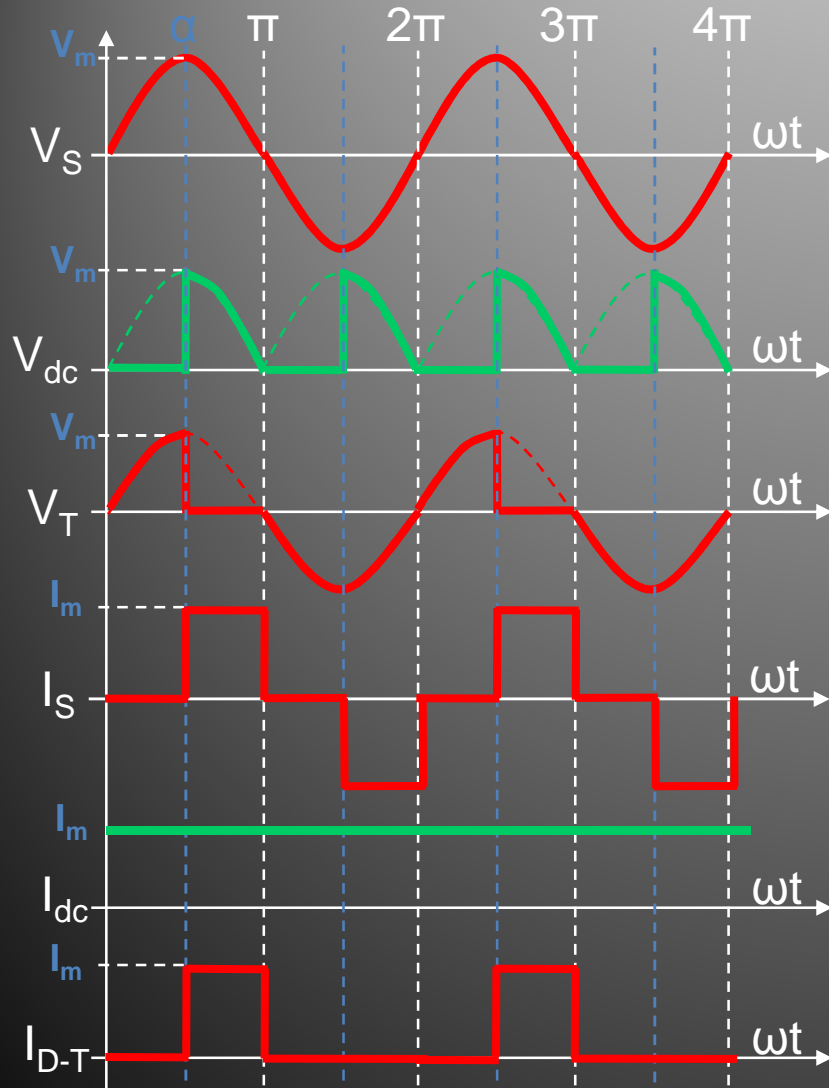
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-4.55'den görüldüğü gibi kaynak gerilimi ile kaynaktan çekilen akımın aralarındaki faz farkını bulabilmek için kaynak akımının temel bileşeni ( $I_{s1}$ ) çizilmiştir.
- Temel bileşen çizilirken kaynak akımı kare dalga gibi kabul edilmiş ve bunun sinüs eşdeğerinin nasıl olabileceği düşünülmüştür.
- Yan tarafta ise 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucu devresinin endüktif ( $L+R$ ) yükteki davranışı ayrıntısıyla incelenmeye başlanmıştır.

- 1 Fazlı Yarım Kontrollü Köprü Doğrultucu (endüktif yükte):
- Şekil-4.56'da 1 fazlı tam dalga yarım kontrollü köprü doğrultucu devre bağlantısı görülmektedir. Devrenin endüktif ( $L+R$ ) yükte çalışmasını gösteren dalga şekilleri Şekil-4.57'de verilmiştir.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Şekil-4.57'den görüldüğü gibi, güç devrelerinin analizinde kullanılan 6 adet parametrenin dalga şekilleri gösterilmiştir.

Bunlar;

- 1) Kaynak gerilimi ( $V_S$ ),
- 2) Çıkış (yük) gerilimi ( $V_O$ ),
- 3) Anahtar (diyot) gerilimi ( $V_D$ ),
- 4) Kaynak akımı ( $I_S$ ),
- 5) Çıkış (yük) akımı ( $I_O$ ),
- 6) Anahtar akımı ( $I_{D-T}$ )'dir.

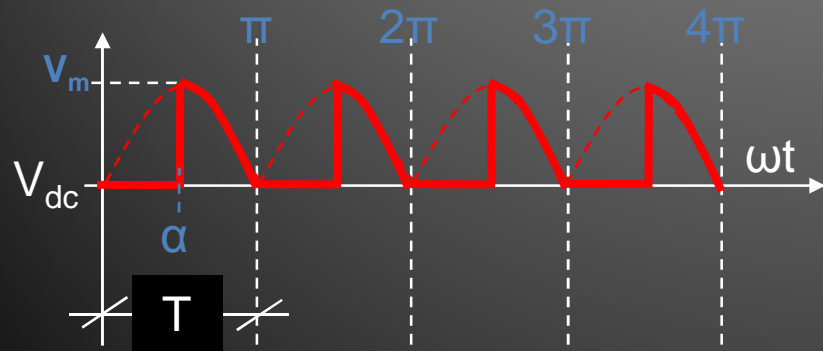
Burada kaynak, yük ve anahtar akımları devre bağlantısı nedeniyle farklı olduğu için ayrı şekillerle gösterilmiştir.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

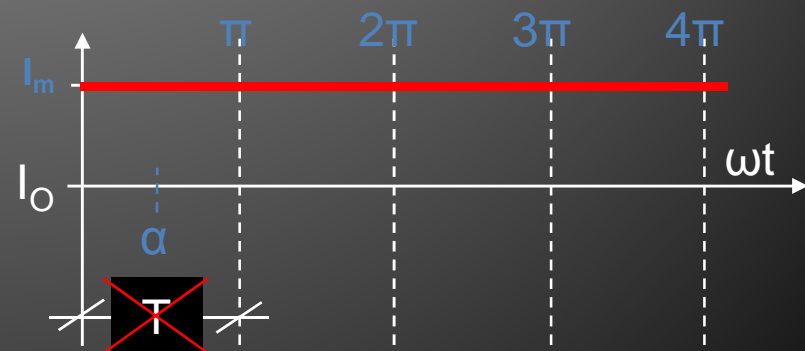
- Şekil-4.57'den görüldüğü gibi, çıkış (yük) direnci üzerinde kaynaktan gelen pozitif alternanslar “ $\alpha$ ” açısından itibaren, negatif alternanslar ise pozitive katlanmış şekilde yine “ $\alpha$ ” açısından itibaren görülmektedir.
  - Devre çıkışına bağlı yük çok endüktif kabul edildiğinde devrenin çıkış akımı da tepe değerinde düz olarak kabul edilmiş ve çizilmiştir.
  - Köprüdeki elemanların yalıtımında olduğu durumlarda akım “ $D_m$ ” üzerinden dolaşır.
- Şekil-4.57'de görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
    - 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri,
    - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
    - 3) Ortalama çıkış gücü,
    - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
    - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç,
    - 6) Anahtar (diyot-tristör) gerilimleri,
    - 7) Anahtar (diyot-tristör) akımları,
    - 8) Güç katsayısı,

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış gerilimin ortalama değeri;
- 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun endüktif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.58'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda çıkış gerilimi eşitliği rezistif yük eşitliği ile aynı olacaktır.

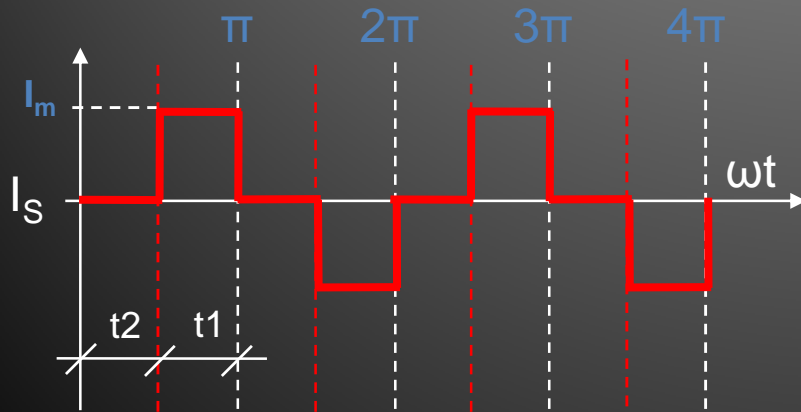


- Çıkış gerilimin ortalama değeri;
- 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun endüktif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-4.59'da verilen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Bu durumda çıkış akımı;  
 $I_{dc} = I_m = V_m / R$  olacaktır.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.60'deki gibidir.



- Önceden açıklandığı gibi kaynak akımının etkin periyodu;  
 $k = t_1 / (t_1 + t_2)$   
eşitliği ile bulunup, buradan da akımın etkin değeri;  
 $I_{s(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.

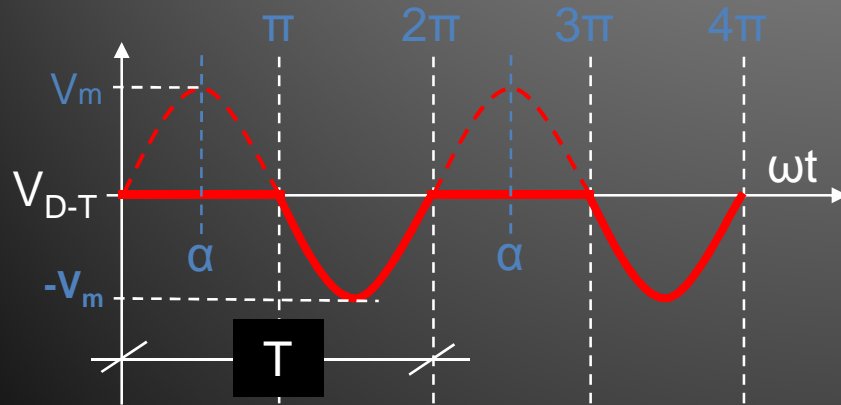
- Kaynaktan çekilen etkin güç;  
Kaynaktan çekilen etkin güç değeri, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımıdır;  
Bu durumda,  
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$  olacaktır.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

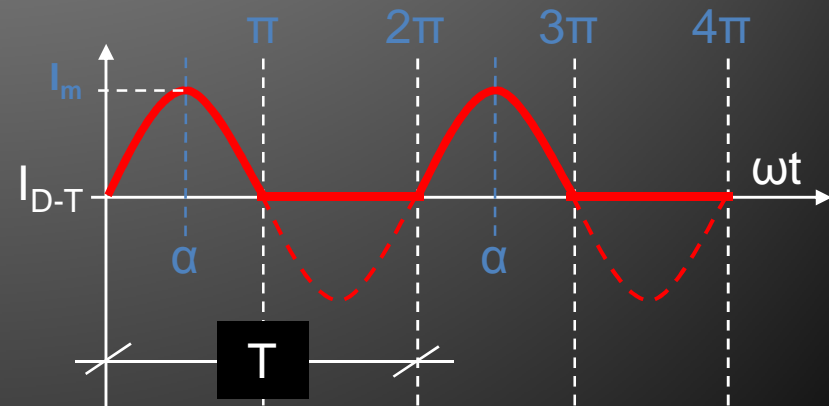
- Anahtar (diyot-tristör) gerilimi;
- Diyot ve tristörlerin gerilimi aşağıdaki Şekil-4.61'deki gibi olduğundan anahtar gerilimi,

$$V_{D-T} \geq V_m + (\%30.V_m)$$

olacaktır.



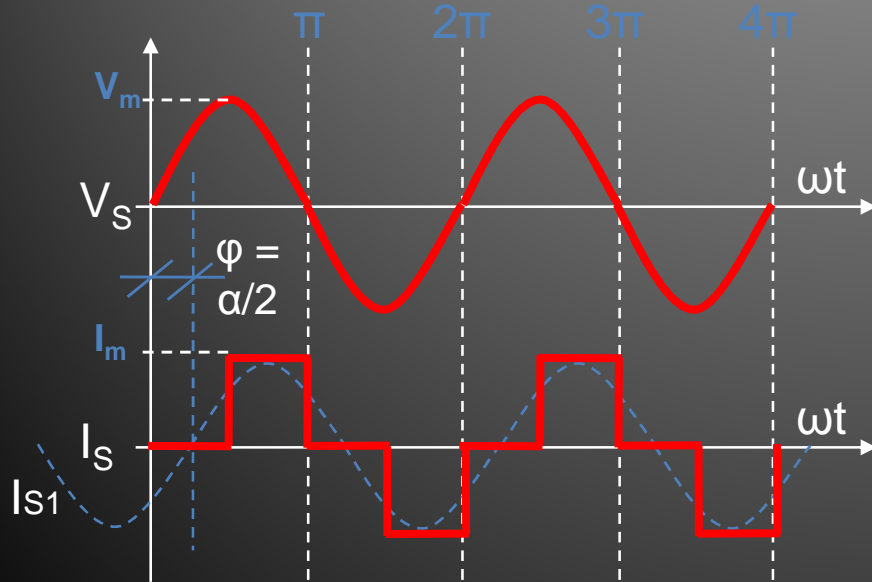
- Anahtar (diyot-tristör) akımı;
- Diyot ve tristörlerin akımı aşağıdaki Şekil-4.62'deki gibi olduğundan anahtar akımları,
- $I_{D-T} \geq I_m + (\%30.I_m)$  olacaktır.
- Kısacası, devrede kullanılan diyot ve tristörler aynı akım ve gerilimde olmalıdır.





## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.63'deki gibidir. Bu durumda kaynaktan her iki alternansta da ve kaynakla farklı fazda akım çekilmektedir. Bu durumda  $\cos\phi = \cos(\alpha/2)$ 'dir.



- Örnek:
- 220V-50Hz şebekede  $90^\circ$ 'de uyarılan tam dalga yarım kontrollü köprü doğrultucu,
- a)  $10\Omega$ 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b)  $10\Omega$ 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- Çözüm:
- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
- $V_{dc} = (V_m / \pi) \cdot (1 + \cos\alpha)$ 'dan

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$$

$$V_{dc} = (311/3,14) \cdot (1 + \cos 90)$$

$$V_{dc} = 99,04V$$

- Çıkış akımı ortalama değeri,

$$I_{dc} = V_{dc} / R$$

$$I_{dc} = 99,04 / 10 = 9,9A$$

- Ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 9,9 \cdot 99,04 = 980,49W$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

$$I_m = V_m / R = 311 / 10 = 31,1A$$

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left( \pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

$$I_{S(rms)} = \frac{31,1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{3,14} \left( 3,14 - \frac{3,14}{2} + \frac{\sin(2 \cdot 90)}{2} \right)}$$

$$I_{S(rms)} = 15,43A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 15,43 \cdot 220 = 3,39kW$$

- Rezistif yükte anahtar (diyotristör) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$

$$V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

- Rezistif yükte anahtar (diyotristör) akımı,

$$I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$$

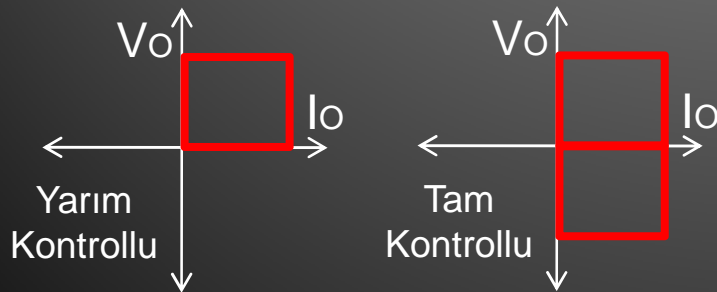
$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

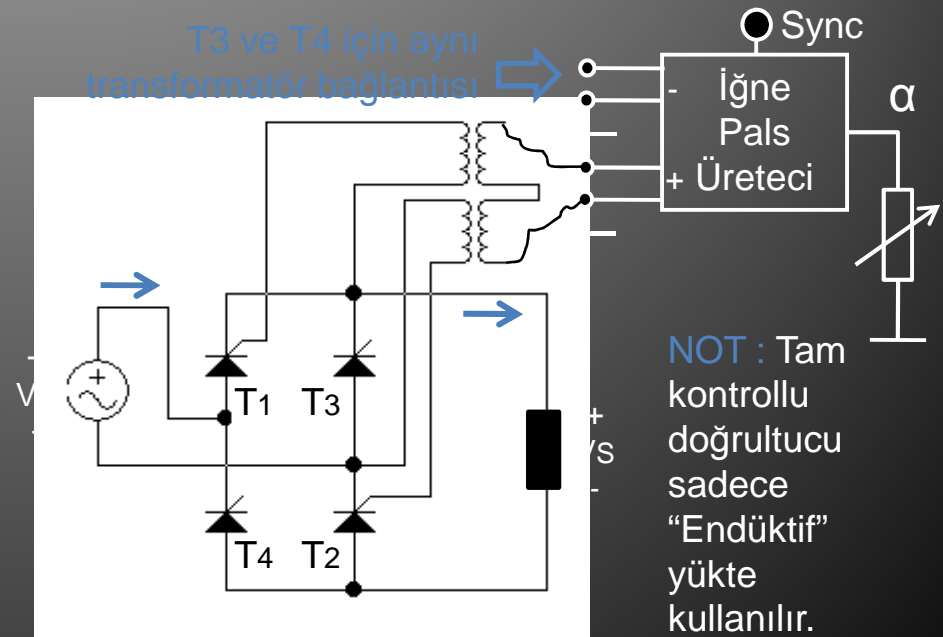
- b) Çok endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
- $V_{dc} = (V_m / \pi) \cdot (1 + \cos\alpha)$ 'dan  
 $V_{dc} = (311/3,14) \cdot (1 + \cos 90)$   
 $V_{dc} = 99,04V$
  - Çok endüktif yükte çıkış akımının ortalama değeri,  
 $I_{dc} = I_m = V_m / R = 311 / 10 = 31,1A$
  - Endüktif yükte ort. çıkış gücü,  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$   
 $P_{dc} = 31,1 \cdot 99,04 = 3,08kW$
  - Çok endüktif yükte kaynak akımının etkin değeri,  
 $I_{S(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k} = 31,1 \cdot \sqrt{(5/10)}$   
 $I_{S(rms)} = 21,77A$
  - Çok endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,  
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
 $P_{S(rms)} = 21,77 \cdot 220 = 4,78kW$
  - Çok endüktif yükte anahtar (diyot-tristör) gerilimi,  
 $V_D \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$   
 $V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$
  - Çok endüktif yükte anahtar (diyot-tristör) akımı,  
 $I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$   
 $I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$

# IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Yarım kontrollü doğrultucularda, endüktif yükte çalıştırılırken, köprüdeki elemanların korunması için, yüke ters paralel olarak bir serbest geçiş diyodu bağlama zorunluluğu vardır. Bu durumda doğrultucu Şekil-4.64'deki gibi sadece 1.bölgede çalışacak ve kaynaktan yüke doğru enerji transferine izin verecektir. Eğer doğrultucunun çift yönlü enerji transferine izin vermesi isteniyorsa "Tam Kontrollü" kullanılmalıdır.

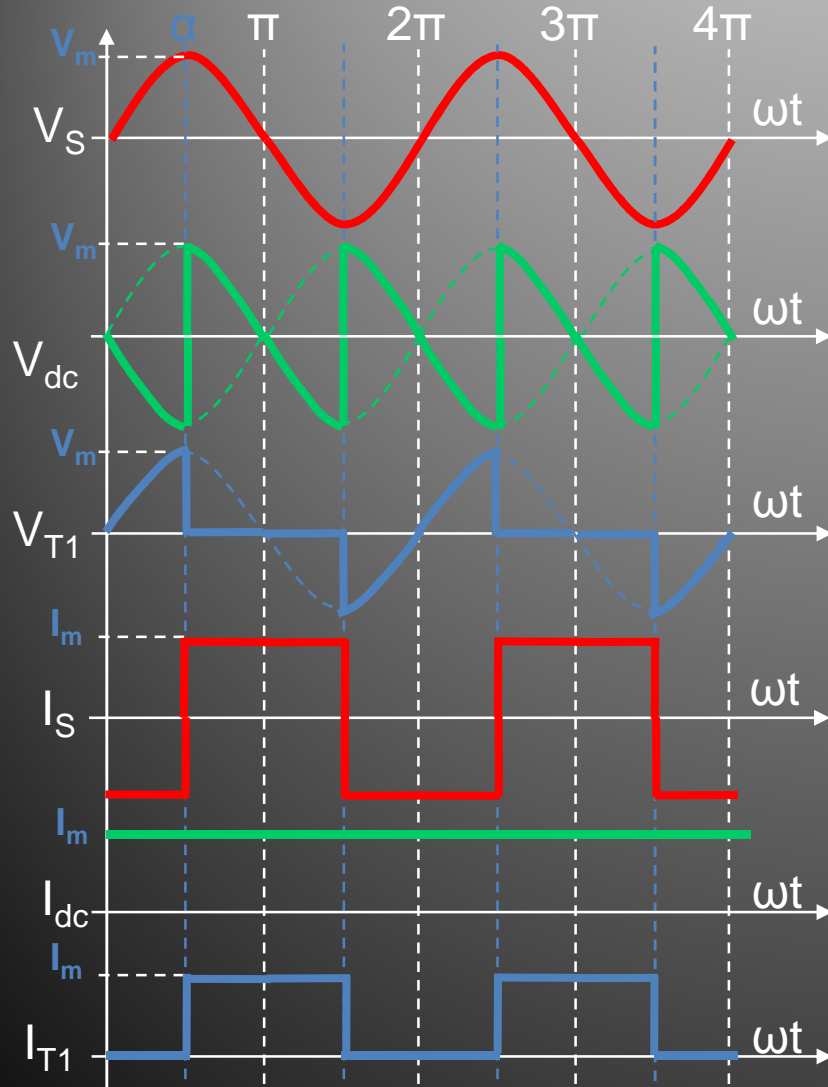


- 1 Fazlı Tam Kontrollü Köprü Doğrultucu (endüktif yükte):
- Şekil-4.65'de 1 fazlı tam dalga tam kontrollü köprü doğrultucu devre bağlantısı görülmektedir. Devrenin rezistif yükte çalışmasını gösteren dalga şekilleri Şekil-4.66'da dır.



NOT : Tam kontrollü doğrultucu sadece "Endüktif" yükte kullanılır.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



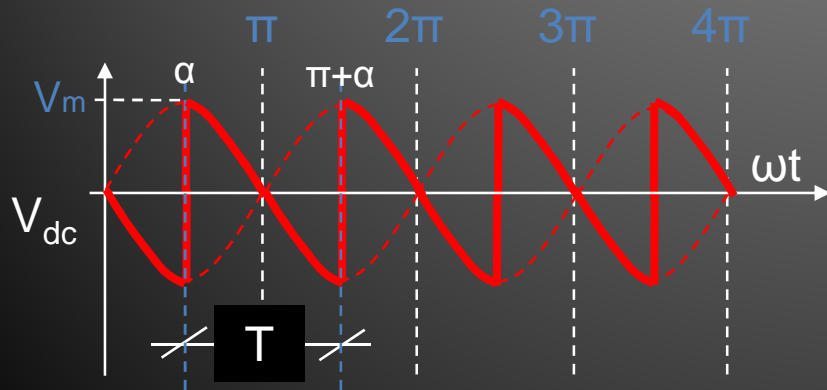
- Şekil-4.66'dan görüldüğü gibi, yükün çok endüktif olduğu kabul edilirse, devrenin çıkış gerilimi tristörlerin uyarma açısı değiştiği halde hiç sıfıra düşmemekte, ya pozitifte ya da negatifte yer almaktadır.
- Uyarma açısına göre değişen sadece pozitif ya da negatifteki alanlardır. Bu sayede tetikleme açısının 0-180 derece arasındaki hareketinde çıkış gerilimi en yüksek pozitif değerden en düşük negatif değere kadar çift yönlü değiştirilebilmektedir.
- Çıkış akımı ise tamamen tek yönlü ve düz olmaktadır. Bunu nedeni tristörlerin iletme devam etmesidir.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin zaman zaman pozitif zaman zaman negatif olmasına rağmen çıkış akımının hep pozitifte olması, güç akış yönünün de zaman zaman değişmesine neden olmaktadır.
  - Çıkış gerilimi pozitif olduğu zamanlarda kaynaktan yüke doğru pozitif güç akışı ( $+V \cdot +I = +P$ ), çıkış geriliminin negatif olduğu zamanlarda ise yükten kaynağa doğru negatif güç akışı gerçekleşmektedir ( $-V \cdot +I = -P$ ).
  - Devredeki tristörler ters polarma altında olsalar bile içlerinden geçen akım sıfıra düşmeden yalıtıma geçemedikleri için bu olay gerçekleşmektedir.
- Şekil-4.66'da görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
    - 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri,
    - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
    - 3) Ortalama çıkış gücü,
    - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
    - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
    - 6) Güç katsayısı,
    - 7) Anahtar (diyot-tristör) gerilimleri,
    - 8) Anahtar (diyot-tristör) akımları,

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış gerilimin ortalama değeri;
- 1 fazlı tam kontrollü köprü doğrultucunun endüktif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.67’de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda çıkış gerilimi eşitliği yan tarafta olduğu gibi bulunabilecektir.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) \cdot dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [-\cos(\omega t)]_{\alpha}^{\pi+\alpha}$$

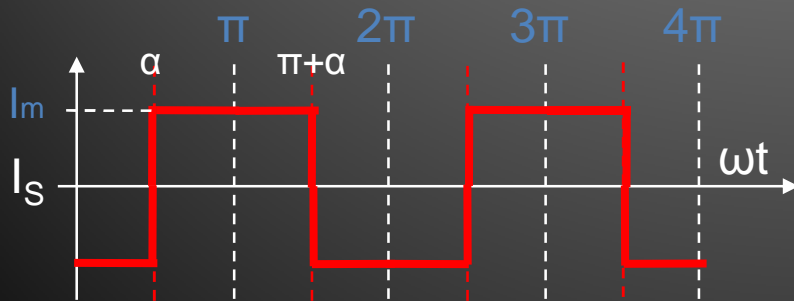
$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [-(\cos(\pi + \alpha) - \cos(\alpha))]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [-(\cos\pi \cdot \cos\alpha - \sin\pi \cdot \sin\alpha) + (\cos\alpha)]$$

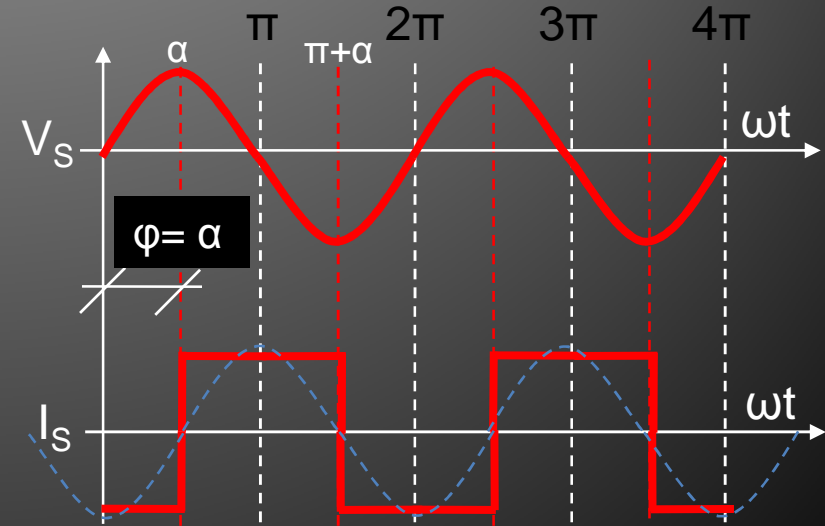
$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} (2\cos\alpha) = \frac{2V_m}{\pi} \cos\alpha = 0,636 \cdot V_m \cdot \cos\alpha$$

# IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımının ortalama değeri;  
Çıkış akımı düz kabul edildiğinden  
 $I_{dc} = I_m = V_m / Z$
- Ortalama çıkış gücü;
- Çıkış akım ve geriliminin çarpımı,
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.68'deki gibidir ve " $I_{s(rms)} = I_m$ " dir.



- Etkin giriş gücü;
- Giriş akımı ve geriliminin çarpımı,
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.69'daki gibidir. Buradan;  
" $\cos\phi = \cos\alpha$ " olacaktır.

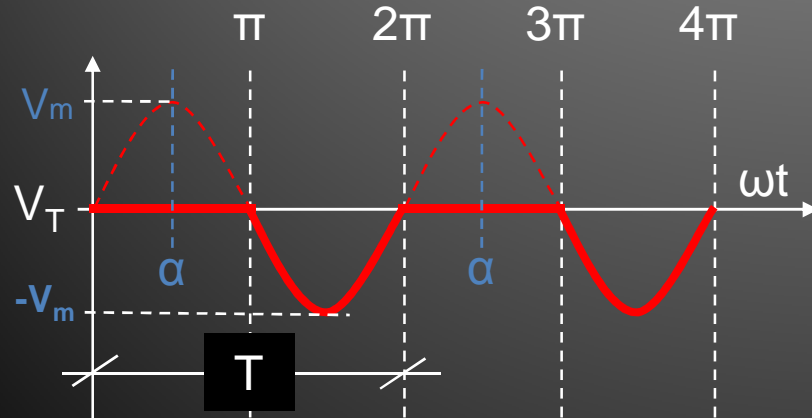




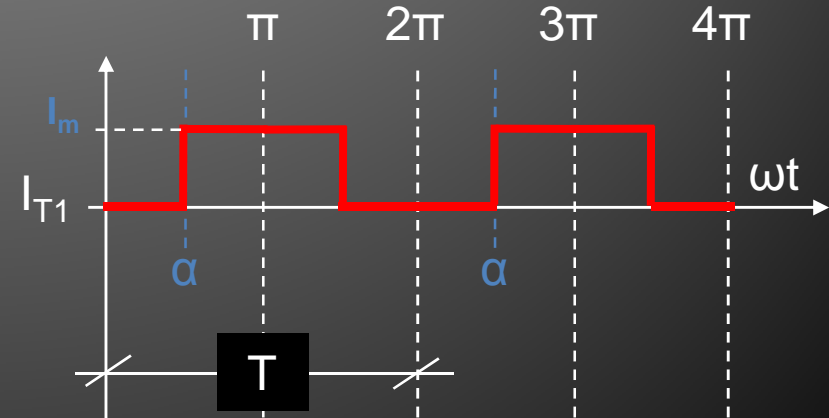
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (tristör) gerilimi;
- Devredeki tristörlerin gerilimi aşağıdaki Şekil-4.70'deki gibi olduğundan anahtar gerilimi,

$V_T \geq V_m + (\%30.V_m)$   
olacaktır.



- Anahtar (tristör) akımı;
- Devredeki tristörlerin akımı aşağıdaki Şekil-4.71'deki gibi olduğundan anahtar akımları,
- $I_T \geq I_m + (\%30.I_m)$  olacaktır.
- Uyarma açısının artması yada azalması tristör gerilim ve akımını etkilememektedir.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1 fazlı tam kontrollü doğrultucu devreleri, özellikle doğru akım motorlarının tek yönlü kontrolü için kullanılan güç elektroniği devreleridir.
- Devrede serbest geçiş diyodu kullanılmadığı için yük üzerindeki enerjiden dolayı dolaşmak isteyen akım, doğrudan köprüdeki tristörler ve kaynak üzerinden dolaşmakta ve çift yönlü enerji transferi gerçekleşmektedir.
- Bu özellik sayesinde doğru akım motorlarında enerjiyi geri kazanarak yapılan frenleme yöntemi olan “rejeneratif frenleme” yapabilme olanağı da ortaya çıkmaktadır.

### ■ Örnek:

- 220V-50Hz şebekede  $90^\circ$ 'de uyarılan tam dalga tam kontrollü köprü doğrultucu devresi  $10\Omega$ 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

### ■ Çözüm:

- Endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
- $V_{dc} = (2 \cdot V_m / \pi) \cdot \cos\alpha$ 'dan

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$$

$$V_{dc} = (2 \cdot 311 / 3,14) \cdot \cos 90$$

$$V_{dc} = 0V$$

- Çıkış akımı ortalama değeri,

$$I_{dc} = I_m = V_m / Z$$

$$I_{dc} = 311 / 10 = 31,1A$$

90 derecelik uyarma açısında çıkış gerilimi sıfır olmasına rağmen akım devam eder.

- Ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 31,1 \cdot 0 = 0W$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{s(rms)} = I_m = V_m / Z = 31,1A$$

- Endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 31,1 \cdot 220 = 6,84kW$$

- Endüktif yükte anahtar (tristör) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$

$$V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

- Endüktif yükte anahtar (tristör) akımı,

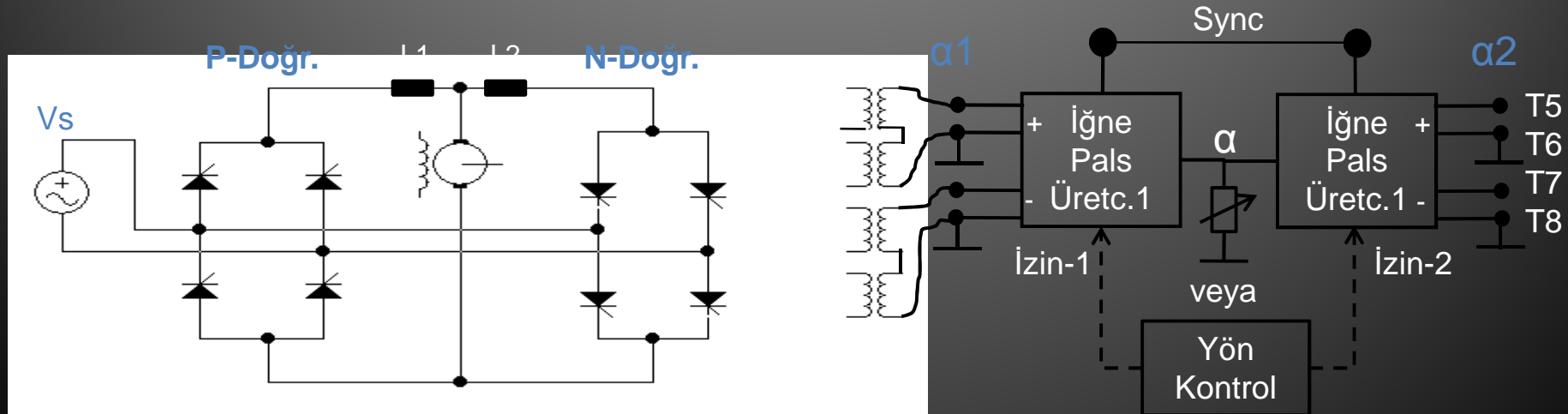
$$I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$$

$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

# IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

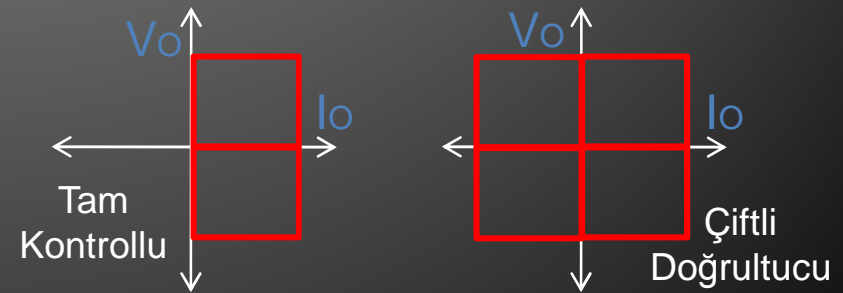
- 1 Fazlı çiftli tam kontrollu köprü;
- Tam kontrollu doğrultucular kullanılarak DC motor kontrolu yapıldığında, motorun yön kontrolü dışındaki kontrolleri gerçekleştirilebilir.
- Eğer motorda rotor devresinde yön kontrolü da yapılmak isteniyorsa “çiftli tam kontrollu köprü doğrultucu” kullanılmalıdır.

- Çiftli doğrultucu devresi aşağıdaki Şekil-4.72’de görülmektedir. Görüldüğü gibi iki tam kontrollu köprünün çıkışları birbirine ters paralel olarak yüke bağlanmıştır.
- Şekil-4.72’den görüldüğü gibi her iki doğrultucu için de ayrı ayrı uyarma devresi kullanılmış fakat her ikisinin de kontrolü tek noktadan yapılmıştır.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Bir fazlı tam kontrollü çiftli doğrultucu, iki farklı yöntemle çalıştırılabilmektedir.
- Bu yöntemlerden birincisinde, kontrol devrelerinin izin girişleri bir yön kontrol devresi yardımıyla 1 veya 0 yapılarak istenilen doğrultucu çalıştırılmakta, dolayısıyla da istenen yöne dönüş sağlanabilmektedir.
- İkinci yöntemde ise her iki kontrol devresi, dolayısıyla da her iki doğrultucu aynı anda çalıştırılmakta fakat uyarma açıları arasında aşağıdaki eşitlik daima korunmaktadır.  
Kontrol eşitliği;  
 $\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$  'dir.
- Bu durumda 1. doğrultucunun (P),  $60^\circ$  ile uyarılması gerekirse 2. doğrultucu (N)  $120^\circ$  açı ile uyarılacaktır.
- Böylelikle doğrultuculardan birincisi aktif bölgede çalışıp kaynakta yüke güç aktarırken, ikinci doğrultucu ise pasif bölgede çalışıp yükten kaynağa doğru güç aktaracaktır.
- Bu durumda Şekil-4.73'de görüldüğü gibi 4 bölgeli çalışma sağlanacaktır.

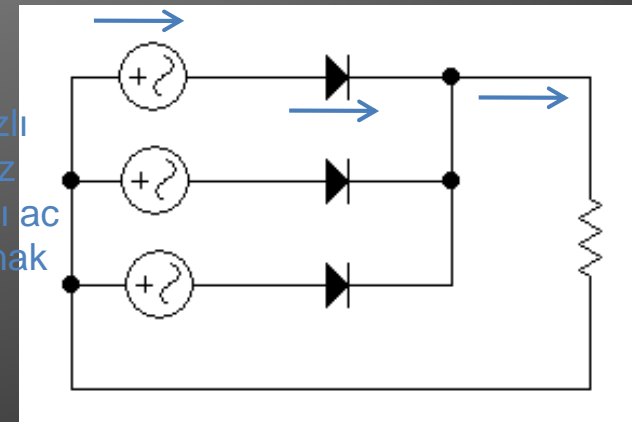


## ÖDEV-8

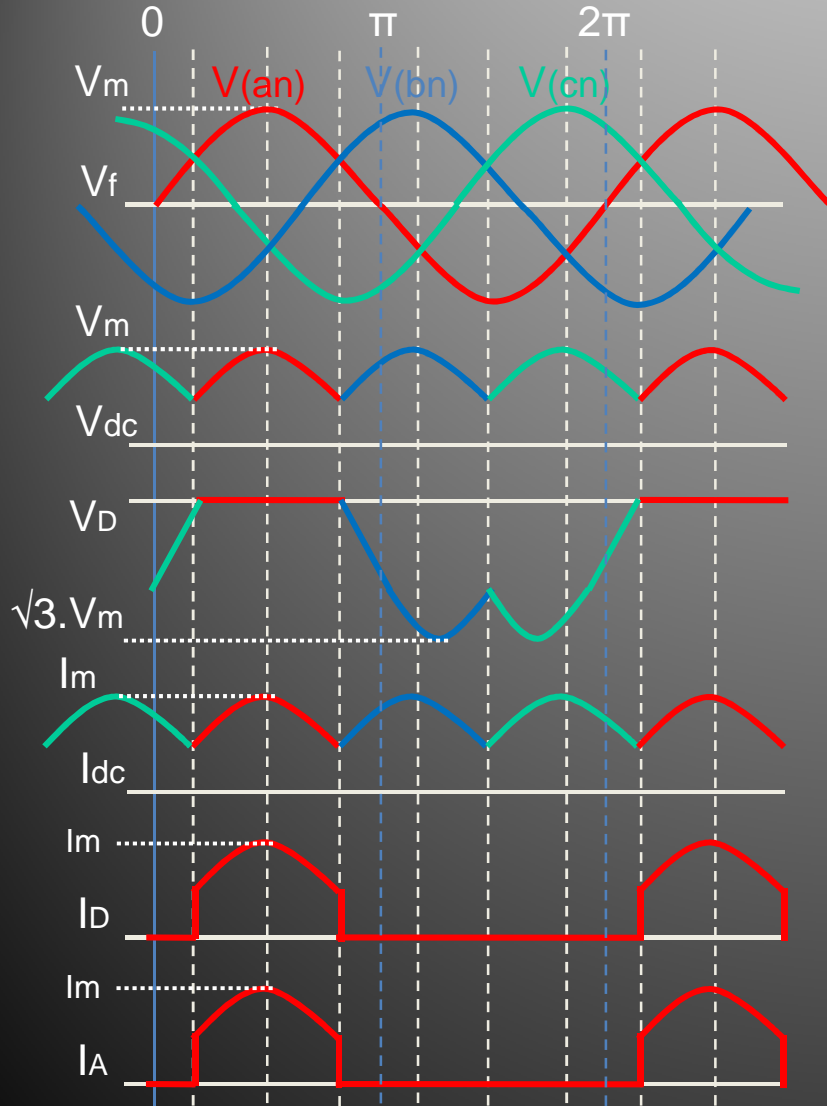
- 8.1) 220V-50Hz şebekede,  $120^\circ$  uyarma açısında,  $9\Omega$ 'luk saf rezistif bir yükü besleyen 1 fazlı tam dalga yarım kontrollü doğrultucunun,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
  - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
  - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.
- 8.2) 220V-50Hz şebekede,  $60^\circ$  uyarma açısında,  $2\Omega$ 'luk çok endüktif bir yükü besleyen 1 fazlı tam dalga tam kontrollü doğrultucunun,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
  - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
  - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- **3 FAZLI DOĞRULTUCULAR:**
- 3 fazlı doğrultucular hem daha yüksek güç elde etmek için hem de daha düzgün DC gerilim sağlamak için kullanılan güç elektroniği devreleridir.
- 1 fazlı doğrultucu devrelerle yaklaşık 15kW güçlere kadar çıkılmakta daha yüksek güçler için ise 3 faz kullanımı gerekmektedir.
- 3 fazlı doğrultucular da 1 fazlılar gibi önce kontrolsüz daha sonra da kontrollü olarak incelenecek ve analizi yapılacaktır.
- 3 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucu (rezistif yükte);
- 3 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucu bağlantısı rezistif yükte çalışma için Şekil-4.74'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi her fazın pozitif alternansı bir diyot tarafından iletilmektedir.
- Şekil-4.75'de ise devreye ait temel dalga şekilleri görülmektedir.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

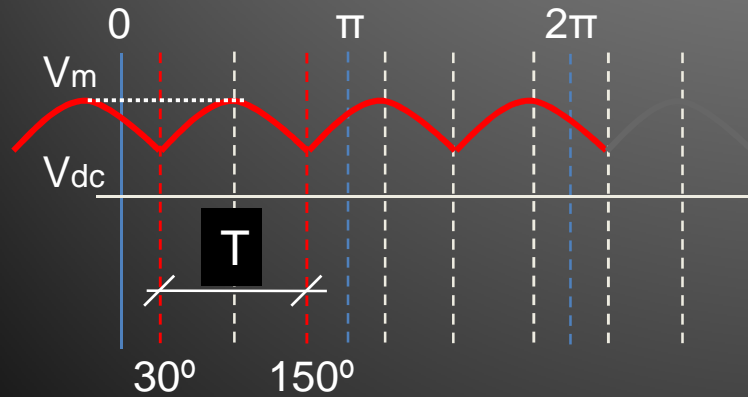


- Yan taraftaki dalga temel şekillerinden görülebileceği gibi, yarım dalga doğrultma yapılmasına ve filtreleme kullanılmamasına rağmen her 3 faz gerilimi arasındaki  $120^\circ$  'lik faz kaymalarından dolayı çıkış gerilimi oldukça düzgün olmuştur.
- Devrenin faz gerilimlerini doğrulttuğu görülmektedir. Fakat diyotlar üzerine gelen ters gerilimin hat gerilimi olduğu görülmektedir.
- Kaynaklardan çekilen akım ise kare dalga formatında olup  $120^\circ$  faz farklıdır.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri ( $V_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun rezistif yükteki çıkış gerilim dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.76'da görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda gerilimin ortalama değeri yan taraftaki gibi bulunabilecektir.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_m \sin \alpha d(\alpha)$$

$$V_{dc} = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_m \sin \alpha d(\alpha)$$

$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} (-\cos \alpha)_{\pi/6}^{5\pi/6}$$

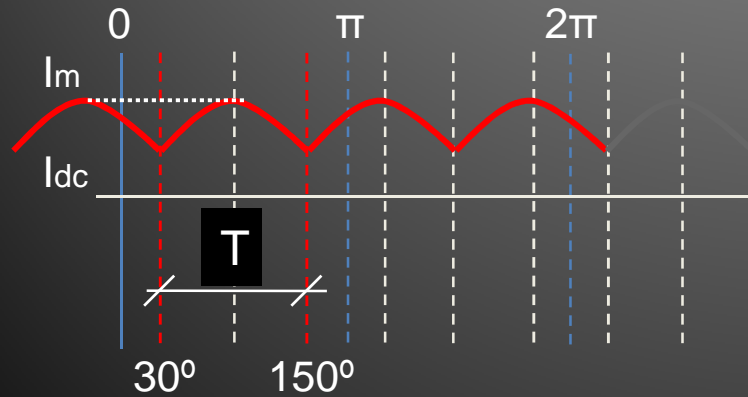
$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} [-(\cos(5\pi/6) - \cos(\pi/6))]$$

$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} [ -(-0,866 - 0,866) ] = \frac{3.V_m}{2\pi} \cdot 1,732$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{2\pi} = 0,827.V_m$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımının ortalama değeri ( $I_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun rezistif yükteki çıkış akımı dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.77'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda akımın ortalama değeri yan taraftaki gibi bulunabilecektir.



$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T i_o(t) dt$$

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} I_m \sin \omega t d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} I_m \sin \omega t d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{3I_m}{2\pi} (-\cos \omega t)_{\pi/6}^{5\pi/6}$$

$$I_{dc} = \frac{3I_m}{2\pi} [-(\cos(5\pi/6) - \cos(\pi/6))]$$

$$I_{dc} = \frac{3I_m}{2\pi} [ -(-0,866 - 0,866) ] = \frac{3I_m}{2\pi} \cdot 1,732$$

$$I_{dc} = \frac{3\sqrt{3}I_m}{2\pi} = 0,827I_m = \frac{V_{dc}}{R}$$

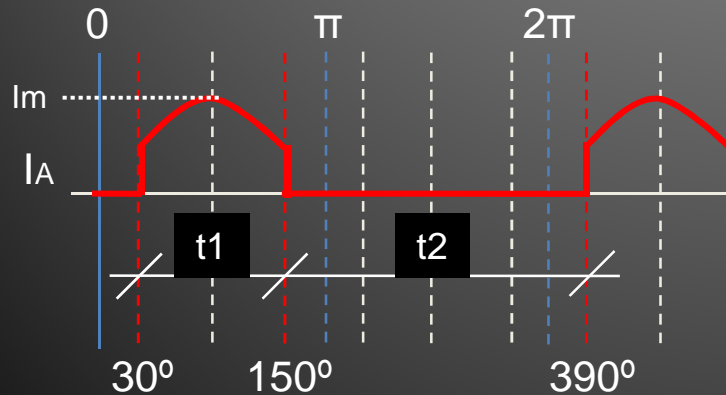
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü ( $P_{dc}$ );

$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$  'den bulunabilir.

- Kaynak akımının etkin değeri ( $I_{A(rms)}$ );

Kaynağın bir fazından çekilen akım Şekil-4.78'de görülmekte olup bu akımın etkin değeri yandaki gibi bulunabilecektir.



- Şekil-4.78'de verilen şekle göre kaynak akımını " $I_m$ " tepe değerli kare dalga formatında bir akım olarak kabul edersek bu akımın yaklaşık etkin değeri

- $I_{A(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k}$

eşitliğinden bulunabilecektir.

Burada etkin periyot ( $k$ ),

$k = t_1 / (t_1 + t_2)$  'den bulunacaktır.

- 5) Kaynaktan çekilen toplam etkin güç ( $P_{S(rms)}$ );

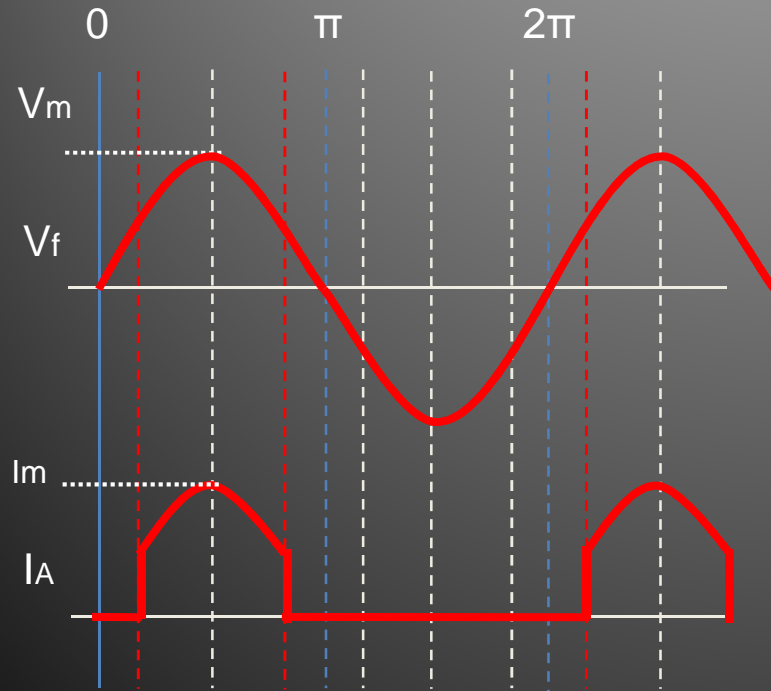
$$P_{A(rms)} = I_{A(rms)} \cdot V_{f(rms)}$$

Üç fazdan çekilen toplam güç;

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot P_{A(rms)}$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Devrenin güç katsayısı ( $\cos\phi$ );  
Kaynağın bir fazından çekilen akım ve ilgili faz gerilimi Şekil-4.79'da görülmektedir.



- Şekil-4.79'da verilen şekle göre kaynak akımı, kaynağın sadece pozitif alternanslarında çekildiği için dengesiz ve güç katsayısı da belirsizdir.

- Anahtar (diyot) akımı ( $I_D$ );  
Anahtar (diyot) akımı dalga şekli Şekil-4.80'deki gibidir. Bu şekle göre anahtar akımı;

$$I_D = I_m + (0.30 \cdot I_m) = 1.3 \cdot V_m/R$$

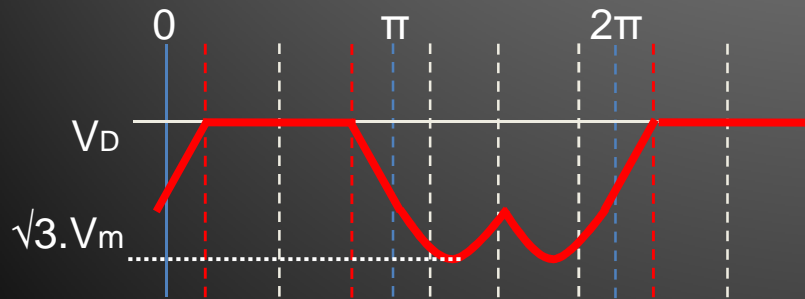


## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

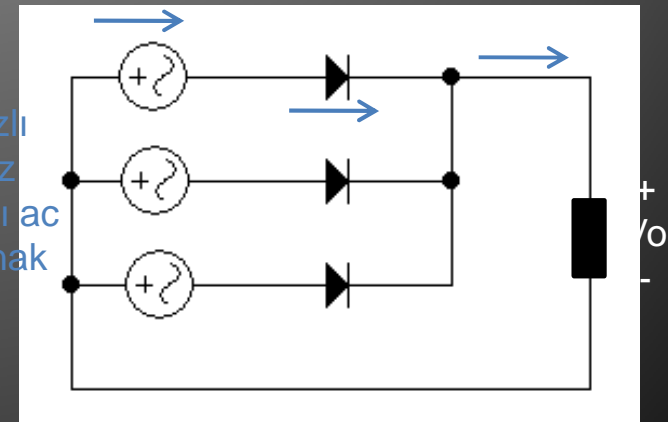
- Anahtar (diyot) gerilimi ( $V_D$ );  
Anahtar gerilimi aşağıdaki Şekil-4.81'de görülmektedir. Görüldüğü gibi anahtar üzerine doğrudan kaynağın hat gerilimi gelmektedir. Bu durumda anahtar gerilimi, hat gerilimi tepe değerinin ( $\sqrt{3} \cdot V_m$ ) en az %30 daha fazlası olmalıdır.

$$V_D = \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

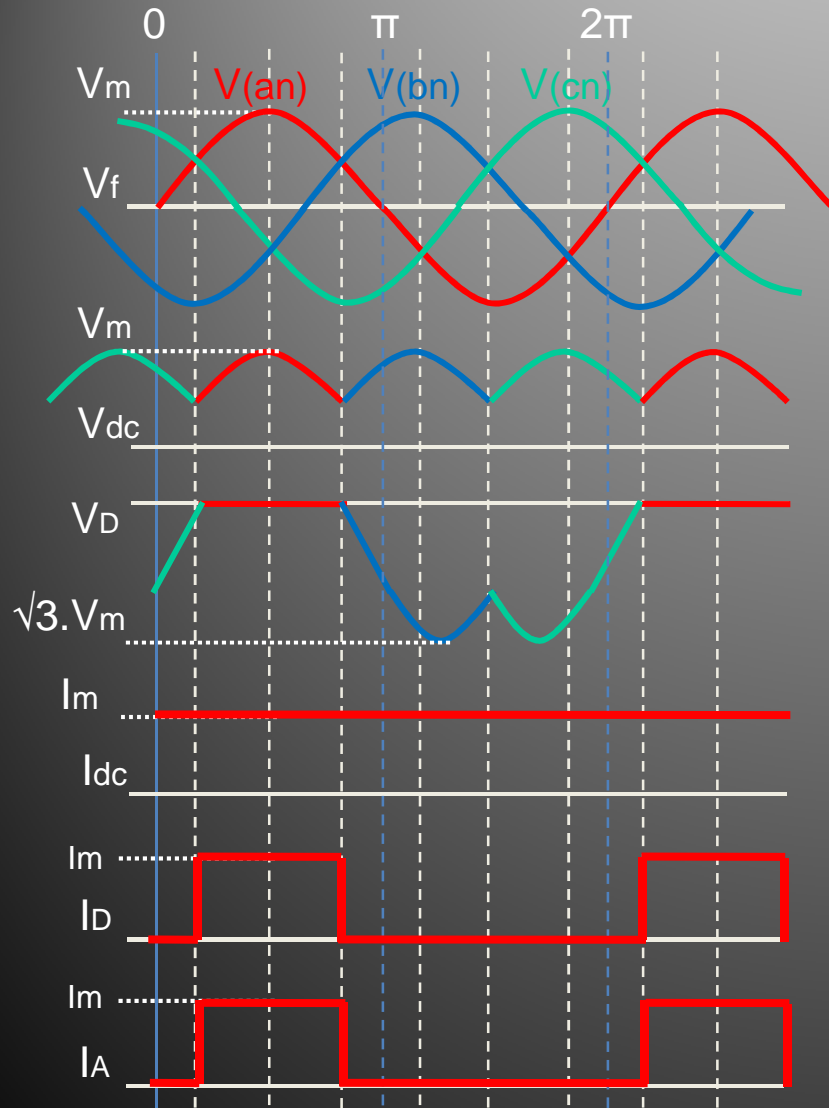
$$V_D = \sqrt{3} \cdot V_m \cdot 1,3 \text{ olur.}$$



- 3 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucu (endüktif yükte);
- 3 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucu bağlantısı endüktif yük için aşağıdaki Şekil-4.82'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yüke ters paralel bir serbest geçiş diyodu bağlanmamıştır.
- Şekil-4.83'de ise devreye ait temel dalga şekilleri görülmektedir.



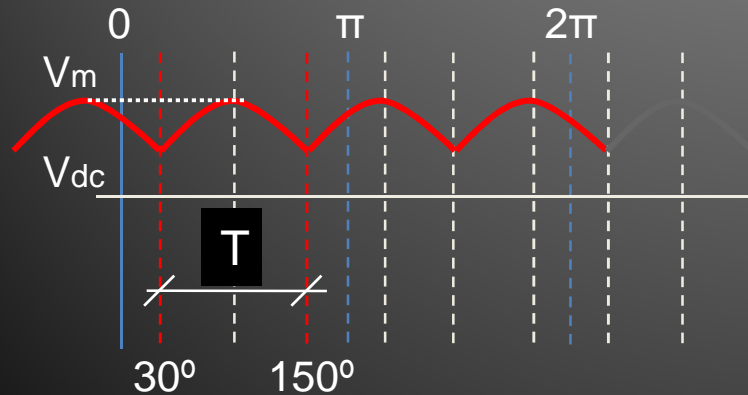
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Yan taraftaki dalga temel şekillerinden görülebileceği gibi, yarım dalga doğrultma yapılmasına ve filtreleme kullanılmamasına rağmen her 3 faz gerilimi arasındaki  $120^\circ$  'lik faz kaymalarından dolayı çıkış gerilimi oldukça düzgün olmuştur.
- Devrenin faz gerilimlerini doğrulttuğu görülmektedir. Fakat diyotlar üzerine gelen ters gerilimin hat gerilimi olduğu görülmektedir.
- Kaynaklardan çekilen akım ise kare dalga formatında olup  $120^\circ$  faz farklıdır.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri ( $V_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun endüktif yükteki çıkış gerilim dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.84'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda gerilimin ortalama değeri yan taraftaki gibi bulunabilecektir.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_m \sin \omega t d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_m \sin \omega t d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3V_m}{2\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\pi/6}^{5\pi/6}$$

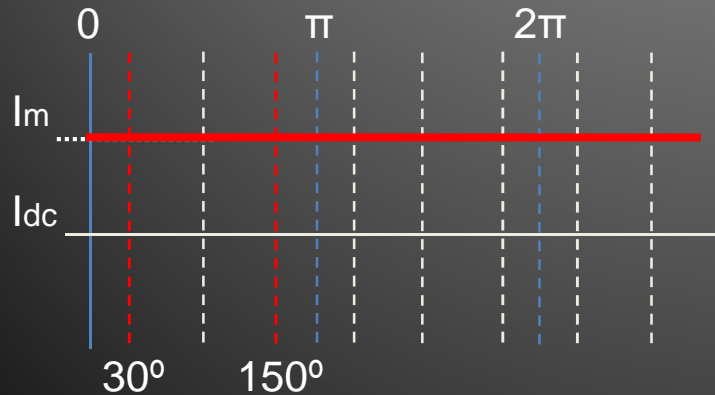
$$V_{dc} = \frac{3V_m}{2\pi} [-(\cos(5\pi/6) - \cos(\pi/6))]$$

$$V_{dc} = \frac{3V_m}{2\pi} [ -(-0,866 - 0,866) ] = \frac{3V_m}{2\pi} \cdot 1,732$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} = 0,827V_m$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımının ortalama değeri ( $I_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun endüktif yükteki çıkış akımı dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.85'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda akımın ortalama değeri yan taraftaki gibi bulunabilecektir.



- Burada yük çok endüktif kabul edilerek çıkış akımı da tamamen düz kabul edilmiştir.
- Bu akım her 120 derecede devreye giren fazlara ait diyotlar üzerinden sağlanmakta olup serbest geçiş diyoduna ihtiyaç kalmamaktadır.
- Bu nedenle serbest geçiş diyodu kullanılmamıştır.
- Bu durumda akımın ortalama değeri, etkin değeri, ani değeri tepe değere eşit olacaktır.
- $I_{dc} = I_m = V_m / Z$  olacaktır.



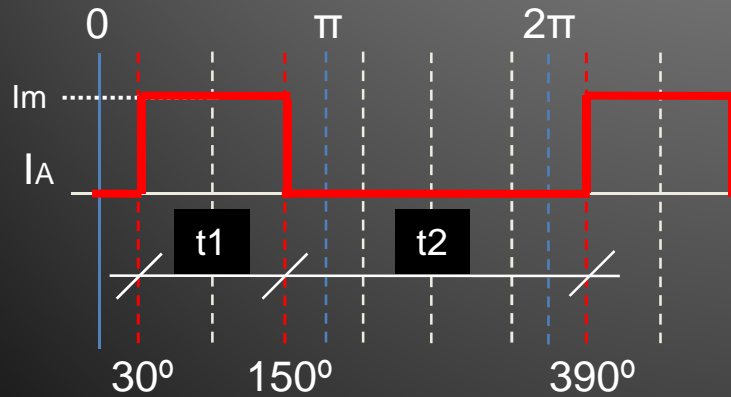
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü ( $P_{dc}$ );

$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$  'den bulunabilir.

- Kaynak akımının etkin değeri ( $I_{A(rms)}$ );

Kaynağın bir fazından çekilen akım Şekil-4.85'de görülmekte olup bu akımın etkin değeri yandaki gibi bulunabilecektir.



- Şekil-4.85'de verilen şekle göre kaynak akımını " $I_m$ " tepe değerli kare dalga formatında bir akım olduğu görülmektedir. Buna göre akımın etkin değeri,

- $I_{A(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k}$

eşitliğinden bulunabilecektir.

Burada etkin periyot ( $k$ ),

$k = t_1 / (t_1 + t_2)$  'den bulunacaktır.

- 5) Kaynaktan çekilen toplam etkin güç ( $P_{S(rms)}$ );

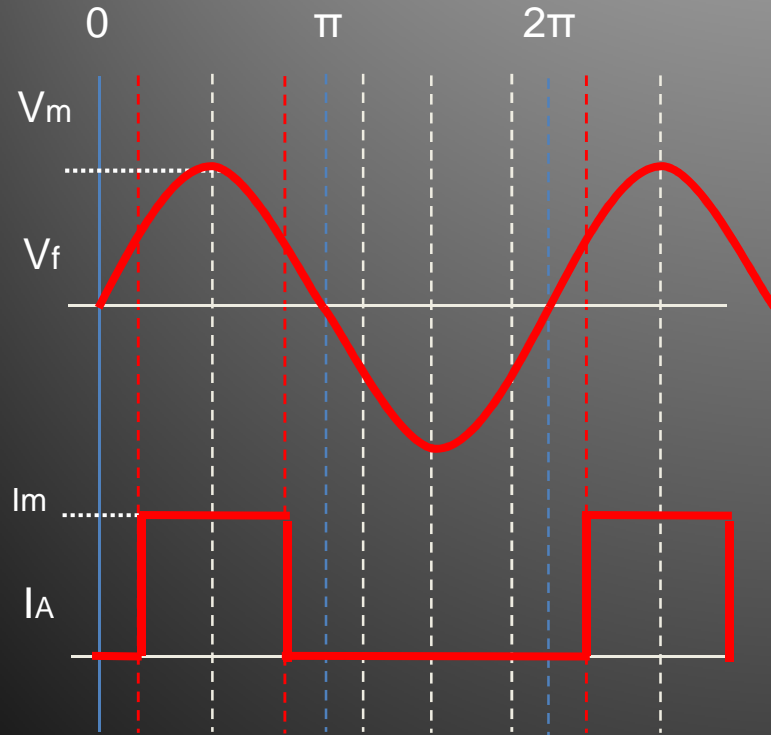
$$P_{A(rms)} = I_{A(rms)} \cdot V_{f(rms)}$$

Üç fazdan çekilen toplam güç;

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot P_{A(rms)}$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

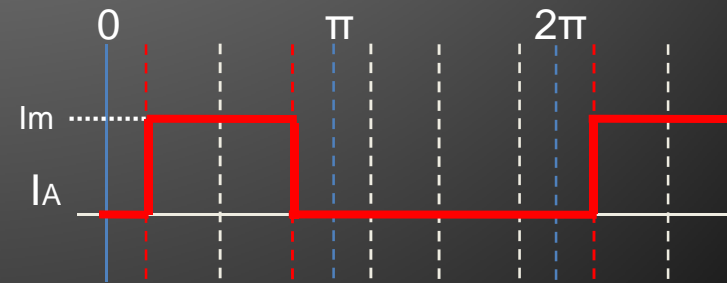
- Devrenin güç katsayısı ( $\cos\phi$ ); Kaynağın bir fazından çekilen akım ve ilgili faz gerilimi Şekil-4.86'da görülmektedir.



- Şekil-4.86'da verilen şekle göre kaynak akımı, kaynağın sadece pozitif alternanslarında çekildiği için dengesiz ve güç katsayısı da belirsizdir.

- Anahtar (diyot) akımı ( $I_D$ ); Anahtar (diyot) akımı dalga şekli Şekil-4.87'deki gibidir. Bu şekle göre anahtar akımı;

$$I_D = I_m + (0.30 \cdot I_m) = 1.3 \cdot V_m/R$$

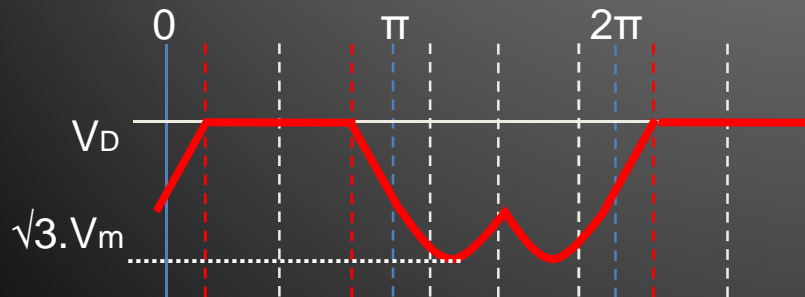


## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (diyot) gerilimi ( $V_D$ );  
Anahtar gerilimi aşağıdaki Şekil-4.88'de görülmektedir. Görüldüğü gibi anahtar üzerine doğrudan kaynağın hat gerilimi gelmektedir. Bu durumda anahtar gerilimi, hat gerilimi tepe değerinin ( $\sqrt{3}.V_m$ ) en az %30 daha fazlası olmalıdır.

$$V_D = \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

$$V_D = \sqrt{3} \cdot V_m \cdot 1,3 \text{ olur.}$$



- Örnek:
  - 220V/380V-50Hz şebekede çalıştırılan 3 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucu,
  - a)  $10\Omega$ 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
  - b)  $10\Omega$ 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

- Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
- $V_{dc} = 0,827.V_m$  'den

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$$

$$V_{dc} = 0,827 \cdot 311$$

$$V_{dc} = 257,19V$$

- Çıkış akımı ortalama değeri,

$$I_{dc} = V_{dc} / R = 257,19 / 10$$

$$I_{dc} = 25,72A$$

Ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 25,72 \cdot 257,19 = 6,61kW$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{A(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k}$$

$$I_{A(rms)} = V_m / R \cdot \sqrt{[t_1 / (t_1 + t_2)]}$$

$$I_{A(rms)} = 311 / 10 \cdot \sqrt{(6,66ms / 20ms)}$$

$$I_{A(rms)} = 17,94A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot 17,94 \cdot 220 = 11,84kW$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot) gerilimi,

$$V_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

$$V_D \geq \sqrt{3} \cdot 311 \cdot 1,3 \geq 700V$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot) akımı,

$$I_D \geq I_m + \%30$$

$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

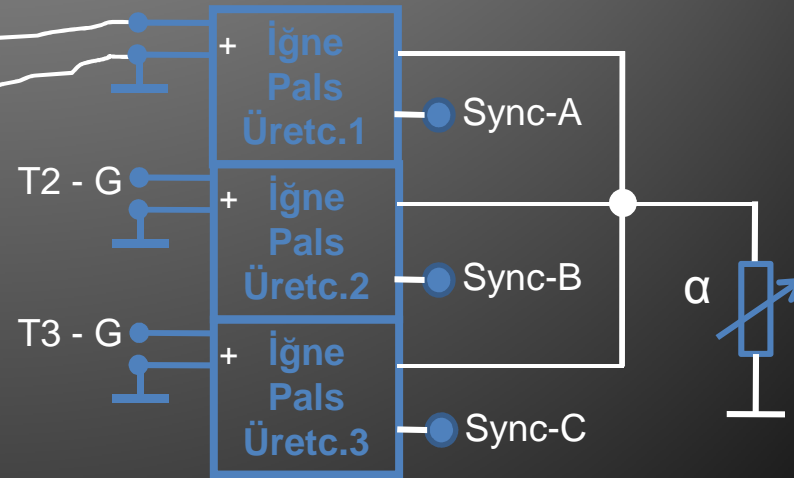
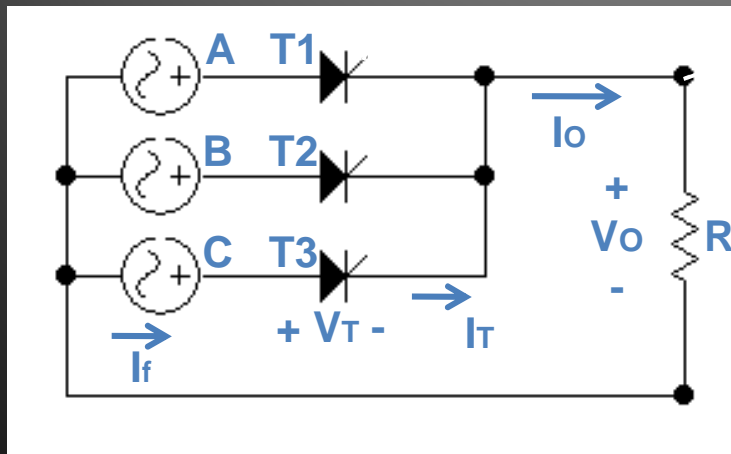
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- b) Endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,  
 $V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$   
 $V_{dc} = 0,827 \cdot 311 = 257,19V$
- Çıkış akımı ortalama değeri,  
 $I_{dc} = I_m = V_m / Z = 311 / 10 = 31,1A$
- Ortalama çıkış gücü,  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$   
 $P_{dc} = 31,1 \cdot 257,19 = 7,99kW$
- Kaynak akımının etkin değeri,  
 $I_A(rms) = I_m \cdot \sqrt{k}$   
 $I_A(rms) = V_m / Z \cdot \sqrt{[t_1 / (t_1 + t_2)]}$   
 $I_A(rms) = 311 / 10 \cdot \sqrt{(6,66ms / 20ms)}$   
 $I_A(rms) = 17,94A$
- Endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,  
 $P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
 $P_{S(rms)} = 3 \cdot 17,94 \cdot 220 = 11,84kW$
- Endüktif yükte anahtar (diyot) gerilimi,  
 $V_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$   
 $V_D \geq \sqrt{3} \cdot 311 \cdot 1,3 \geq 700V$
- Endüktif yükte anahtar (diyot) akımı,  
 $I_D \geq I_m + \%30$   
 $I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$

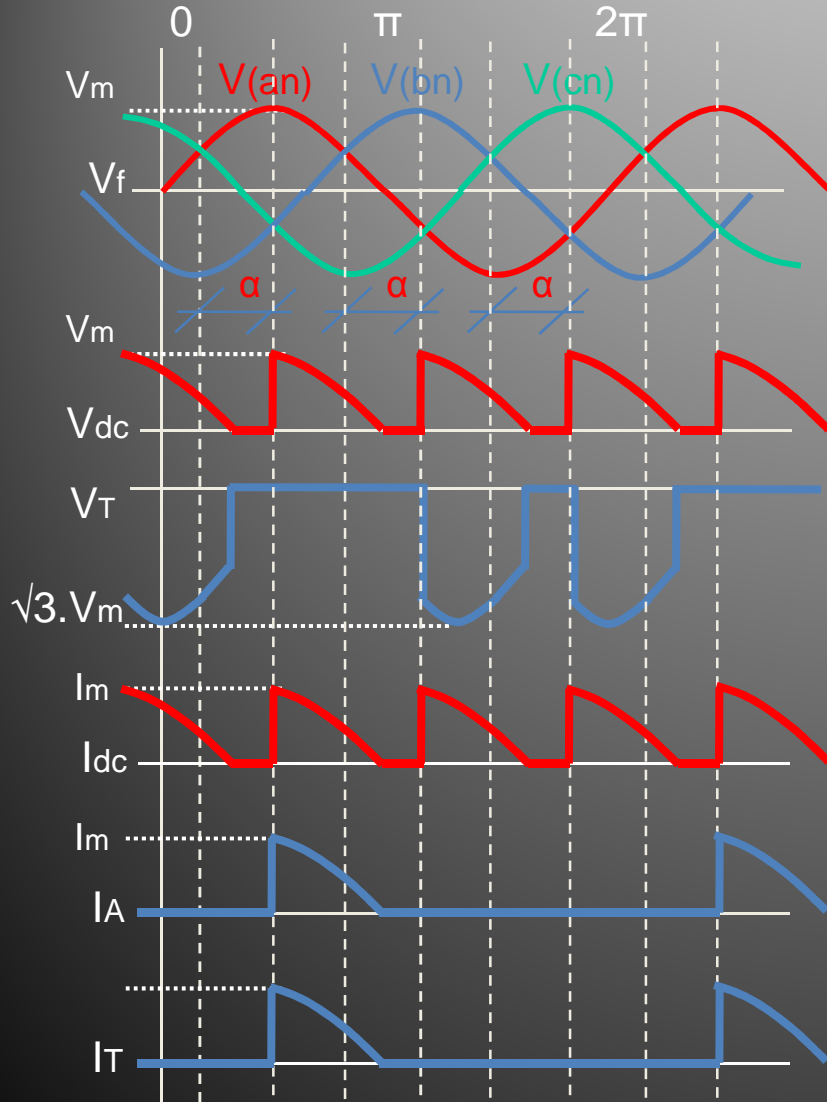
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3 fazlı yarım dalga kontrollu doğrultucu (rezistif yükte);
- 3 fazlı yarım dalga kontrollu doğrultucu devre bağlantısı saf rezistif yükte çalışma için aşağıdaki Şekil-4.89'da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi her fazın pozitif alternansı ayrı bir tristör tarafından kontrol edilmektedir.

- Şekil-4.89'da görülen devredeki tristörleri kontrol etmek için ise aşağıdaki Şekil-229'da görüldüğü gibi 3 fazlı bir uyarma devresine ihtiyaç duyulmaktadır.
- Şekil-4.90'da ise devrenin çalışmasını gösteren dalga şekilleri verilmiştir.



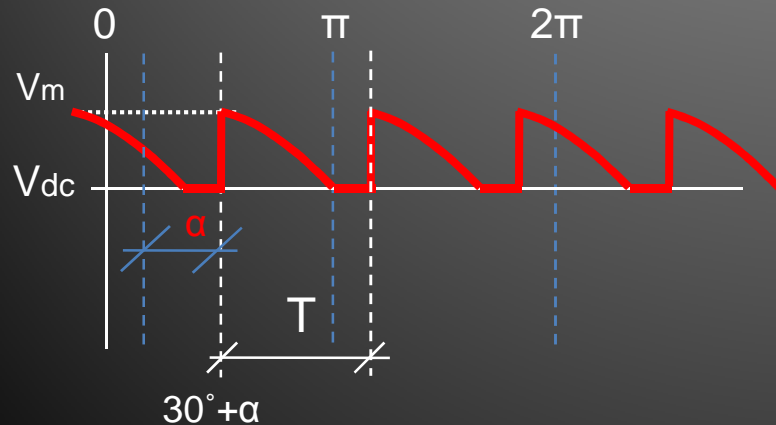
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Şekil-4.90'daki temel dalga şekillerinden görüldüğü gibi, her bir tristör kendi fazının pozitif alternansında ilk  $30^\circ$ 'den sonra kontrol edilmeye başlanmakta ve bu kontrol alternans sonuna kadar devam edebilmektedir.
- Devre faz gerilimlerini doğrultmakta fakat devredeki tristörler üzerine çalışma sırasında darbeler halinde hat gerilimi gelmektedir.
- Yük rezistif olduğu için çıkış akımının dalga şekli, çıkış geriliminin şekliyle tamamen aynıdır.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri ( $V_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucunun rezistif yükteki çıkış gerilim dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.91'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda gerilimin ortalama değeri yan taraftaki gibi bulunabilecektir.



$\alpha \geq 30^\circ$  için

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t).dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi} V_m \cdot \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi} \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_{\pi/6+\alpha}^{\pi}$$

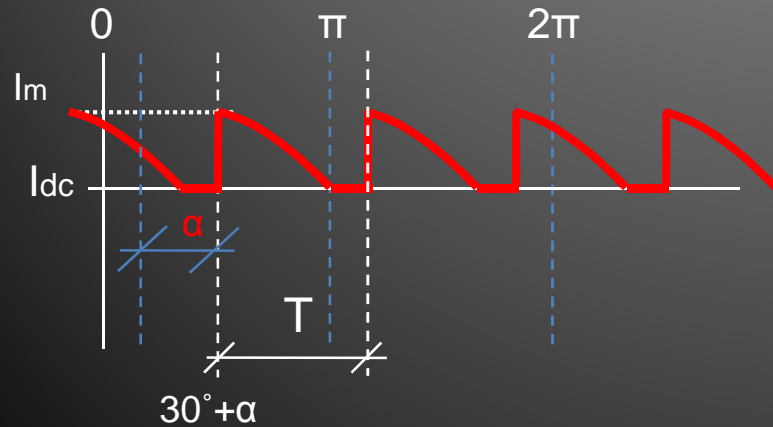
$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} [-\cos \pi + \cos(\pi/6 + \alpha)]$$

$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} [1 + \cos(30^\circ + \alpha)]$$



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımının ortalama değeri ( $I_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucunun rezistif yükteki çıkış akımının dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.92’de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda akımın ortalama değeri yan taraftaki gibi bulunabilecektir.



$\alpha \geq 30^\circ$  için

$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T i_o(t) \cdot dt$$

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi} I_m \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{3 \cdot I_m}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi} \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{3 \cdot I_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_{\pi/6+\alpha}^{\pi}$$

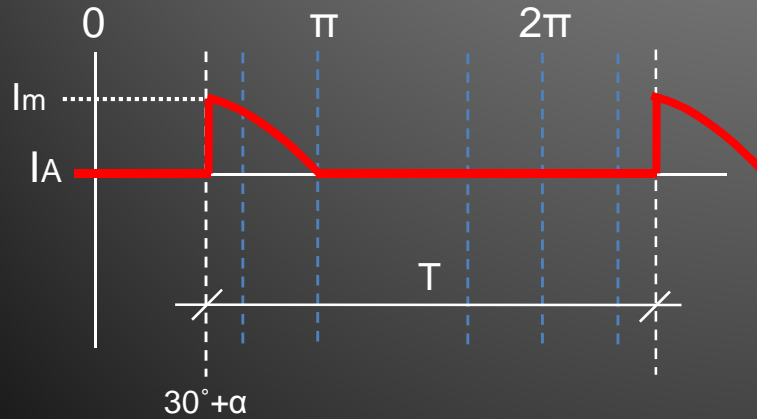
$$I_{dc} = \frac{3 \cdot I_m}{2\pi} [-\cos \pi + \cos(\pi/6 + \alpha)]$$

$$I_{dc} = \frac{3 \cdot I_m}{2\pi} [1 + \cos(30^\circ + \alpha)] = \frac{V_{dc}}{R}$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü ( $P_{dc}$ );  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$  'den bulunabilir.

- Kaynak akımının etkin değeri ( $I_{A(rms)}$ );  
Kaynağın bir fazından çekilen akım Şekil-4.93'da görülmekte olup bu akımın etkin değeri yandaki gibi bulunabilecektir.



$$I_{A(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_s(t)]^2 dt}$$

$$I_{A(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [I_m \cdot \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)}$$

$$I_{A(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$I_{A(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin(2\omega t)}{4} \right]_{\pi/6+\alpha}^{\pi}}$$

$$I_{A(rms)} = \frac{I_m}{2} \sqrt{\frac{5}{6} - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(\pi/3 + 2\alpha)}{2\pi}}$$

Kaynaktan çekilen toplam etkin güç ( $P_{S(rms)}$ );

$$P_{A(rms)} = I_{A(rms)} \cdot V_{f(rms)}$$

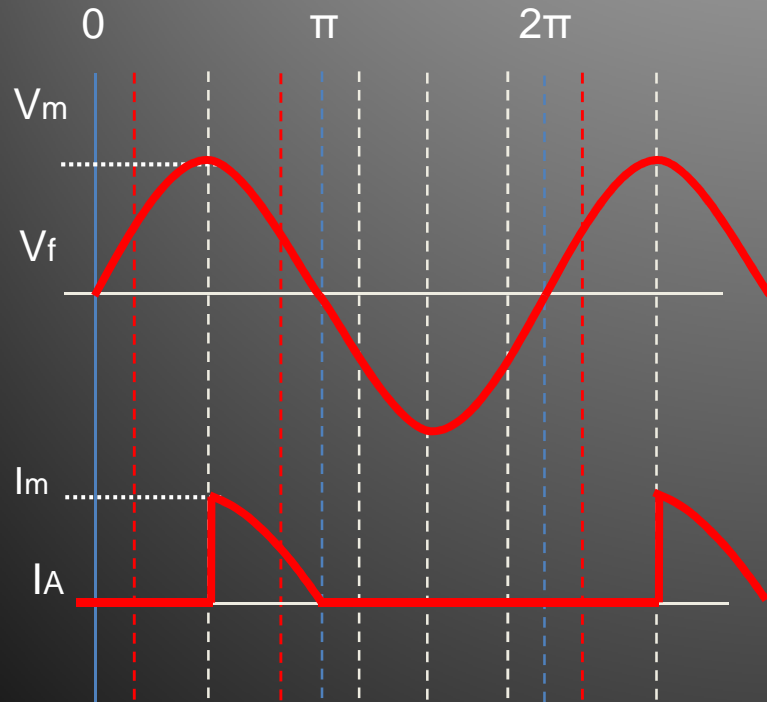
Üç fazdan çekilen toplam güç;

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot P_{A(rms)}$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Devrenin güç katsayısı ( $\cos\phi$ );

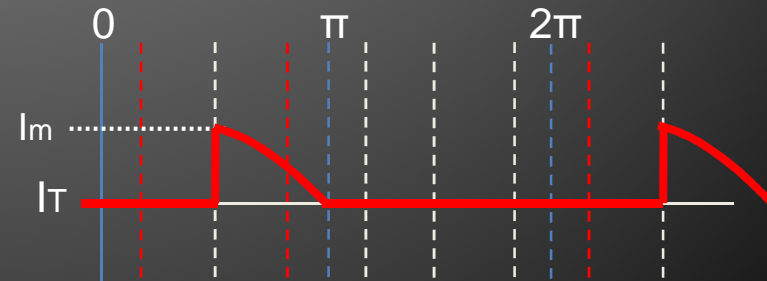
Kaynağın bir fazından çekilen akım ve ilgili faz gerilimi Şekil-4.94'de görülmektedir.



- Şekil-4.94'de verilen şekle göre kaynak akımı, kaynağın sadece pozitif alternanslarında çekildiği için dengesiz ve güç katsayısı da belirsizdir.

- Anahtar (tristör) akımı ( $I_T$ );  
Anahtar (tristör) akımı dalga şekli Şekil-4.95'deki gibidir. Bu şekle göre anahtar akımı;

$$I_T = I_m + (30\% \cdot I_m) = 1,3 \cdot V_m/R$$

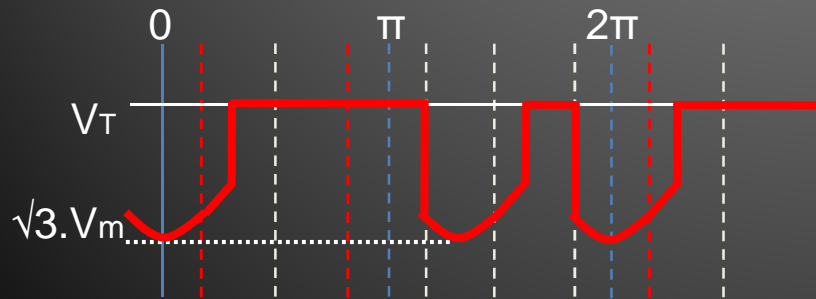


## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

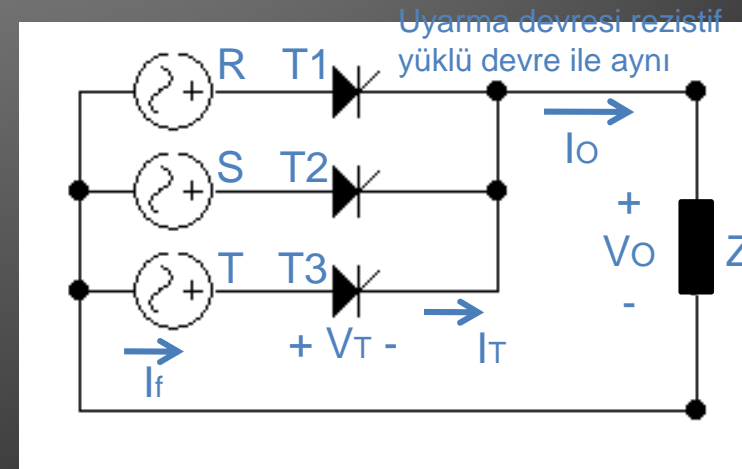
- Anahtar (trist.) gerilimi ( $V_T$ );  
Anahtar gerilimi aşağıdaki Şekil-4.96'da görülmektedir. Görüldüğü gibi anahtar üzerine doğrudan kaynağın hat gerilimi gelmektedir. Bu durumda anahtar gerilimi, hat gerilimi tepe değerinin ( $\sqrt{3} \cdot V_m$ ) en az %30 daha fazlası olmalıdır.

$$V_T = \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

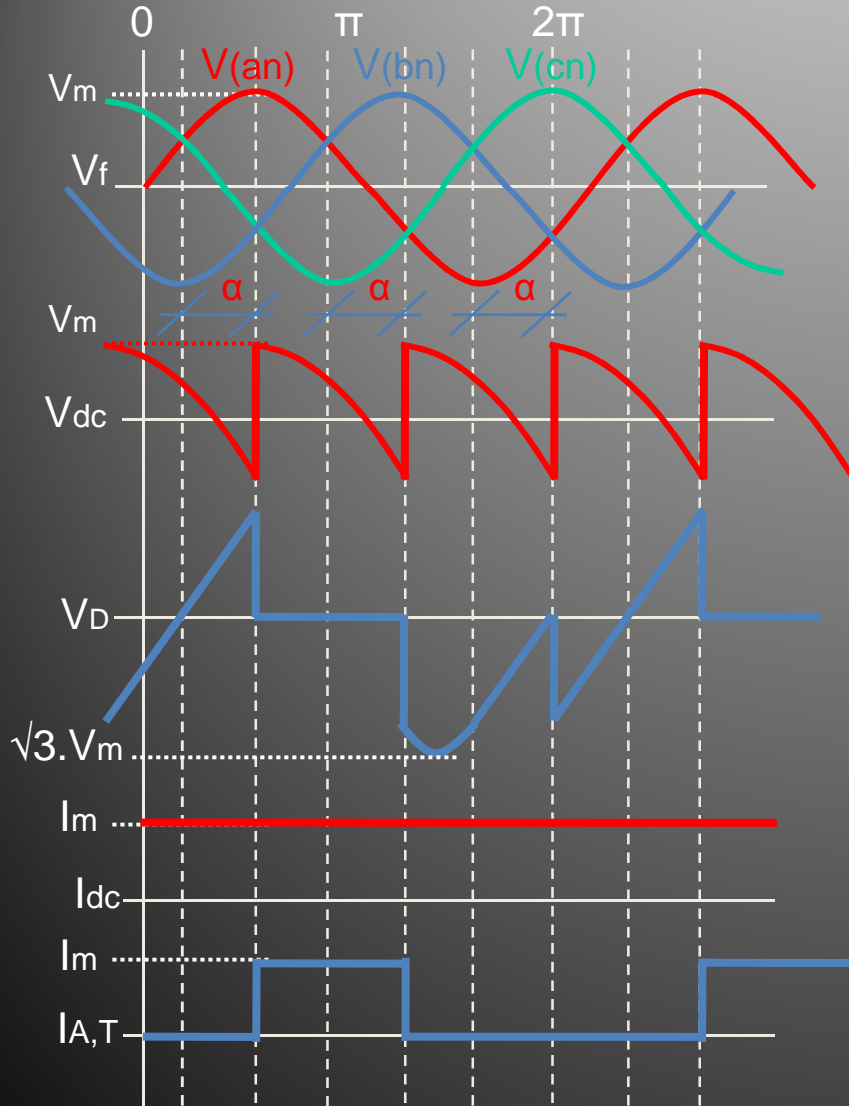
$$V_T = \sqrt{3} \cdot V_m \cdot 1,3 \text{ olur.}$$



- 3 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucu (endüktif yükte);
- 3 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucu devre bağlantısı endüktif yük için Şekil-4.97'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yüke ters paralel bir serbest geçiş diyodu bağlanmamıştır.
- Şekil-4.98'de ise devreye ait temel dalga şekilleri görülmektedir.



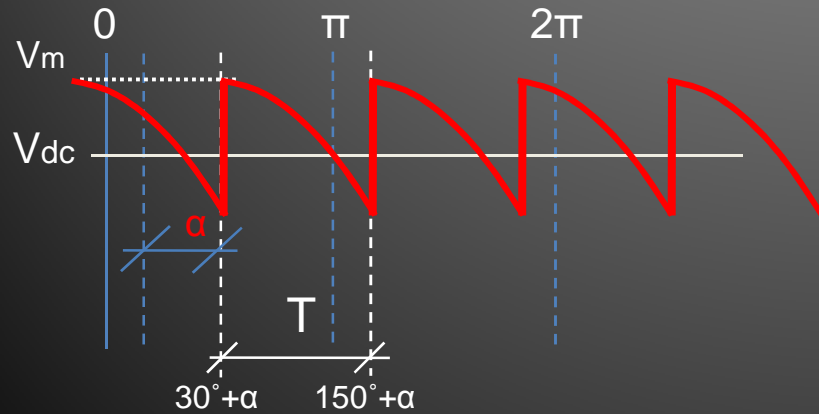
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Şekil-4.98'deki temel dalga şekillerinden görüldüğü gibi, çok endüktif yükte her bir tristör yine kendi fazının pozitif alternansında ilk  $30^\circ$ 'den sonra kontrol edilmeye başlanmakta ve bu iletim diğer tristör uyarılana kadar sürmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi, çıkış akımı tamamen düz kabul edilmiştir. Serbest geçiş diyoduna gerek kalmaksızın her bir tristör diğeri uyarılana kadar iletimde kalarak bu devamlılığı sağlamaktadır.
- Devre çıkışına serbest geçiş diyonu bağlanacak olursa, çıkış geriliminin negatife geçişleri kesilecektir.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri ( $V_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucunun endüktif yükteki çıkış gerilim dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.99'da görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda gerilimin ortalama değeri yan taraftaki gibi bulunabilecektir.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t).dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha} V_m \cdot \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha} \sin(\omega t).d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha}$$

$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} [-\cos(5\pi/6 + \alpha) + \cos(\pi/6 + \alpha)]$$

$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} [-(\cos 150^\circ \cdot \cos \alpha - \sin 150^\circ \cdot \sin \alpha..$$

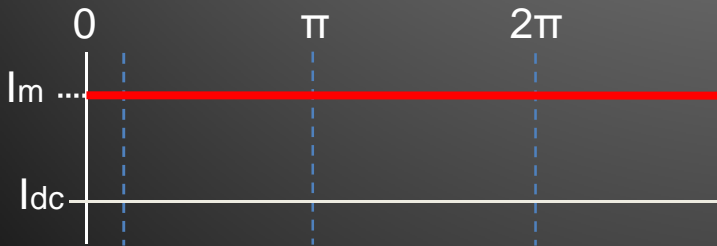
$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} 1,73 \cdot \cos \alpha = \frac{3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m}{2\pi} \cos \alpha$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımının ortalama değeri ( $I_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucunun endüktif yükteki çıkış akımının dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.100'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda akımın ortalama değeri,

$$I_{dc} = I_m = V_m / Z$$

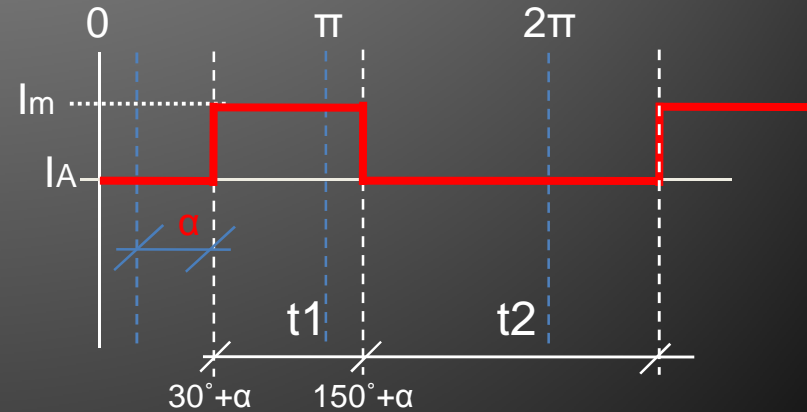
eşitliğinden bulunabilecektir.



- Ortalama çıkış gücü ( $P_{dc}$ );  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$  'den bulunabilir.

- Kaynak akımının etkin değeri ( $I_{A(rms)}$ );

Kaynağın bir fazından çekilen akım Şekil-4.101'de görülmekte olup, etkin değeri etkin periyoda göre bulunabilir.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Şekil-4.101'e göre, kaynak akımının etkin periyodu,

$$k = t_1 / (t_1 + t_2)$$

Buradan akımın etkin değeri,

$$I_{A(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k}$$

ifadesinden bulunabilecektir.

- Kaynaktan çekilen toplam etkin güç ( $P_{S(rms)}$ );

Bir fazdan çekilen güç,

$$P_{A(rms)} = I_{A(rms)} \cdot V_{f(rms)}$$

olduğuna göre buradan,

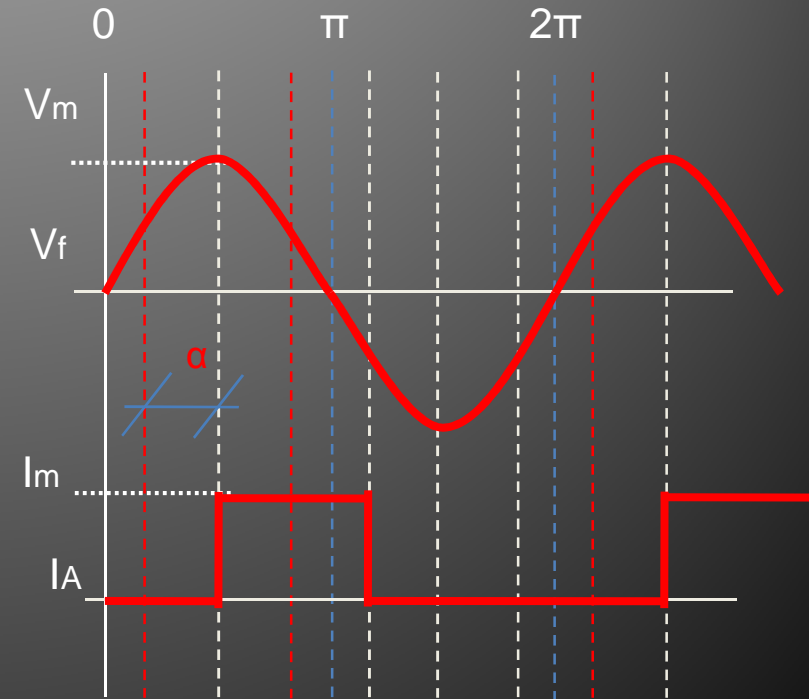
üç fazdan çekilen toplam güç;

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot P_{A(rms)}$$

olur.

- Devrenin güç katsayısı ( $\cos\phi$ );

Kaynağın bir fazından çekilen akım ve ilgili faz gerilimi Şekil-4.102'de görülmektedir.

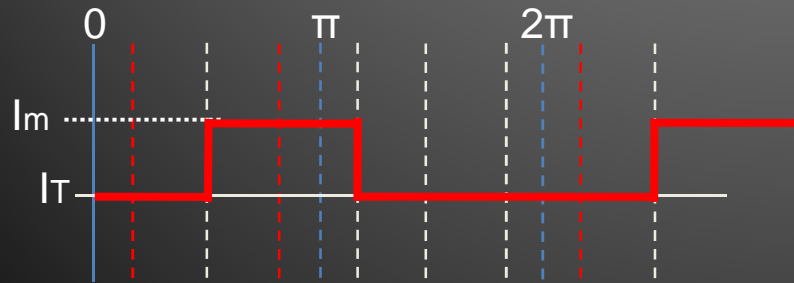




## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-4.102'de verilen şekle göre kaynak akımı, kaynaktan sadece tek yönlü olarak (pozitif yönde) çekildiği için dengesiz ve güç katsayısı da belirsizdir.

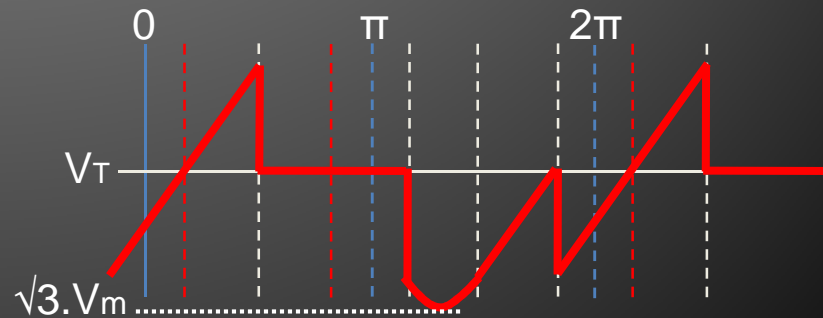
- 8) Anahtar (tristör) akımı ( $I_T$ ): Anahtar (tristör) akımı dalga şekli Şekil-4.103'deki gibidir. Bu şekle göre anahtar akımı;  
 $I_T = I_m + (\%30 \cdot I_m) = 1,3 \cdot V_m/R$



- 9) Anahtar (trist.) gerilimi ( $V_T$ ): Anahtar gerilimi aşağıdaki Şekil-4.104'de görülmektedir. Görüldüğü gibi anahtar üzerine doğrudan kaynağın hat gerilimi gelmektedir. Bu durumda anahtar gerilimi, hat gerilimi tepe değerinin ( $\sqrt{3} \cdot V_m$ ) en az %30 daha fazlası olmalıdır.

$$V_T = \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

$$V_T = \sqrt{3} \cdot V_m \cdot 1,3 \text{ olur.}$$



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Üç fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucunun rezistif ve tam endüktif yükler altında çalıştırılmasında yapılan analizlerde her bir güç elemanının 360 derecelik bir periyot içinde 120'şer derece çalıştığı, 240 derece ise yalıtımda kaldığı görülmüştür.
- Bu çalışma sırasında her bir elemandan faz akımı akmakta ve her bir eleman hat gerilimine dayanmak zorunda kalmaktadır.
- Kaynaktan çekilen akım tek yönlü olduğu için dengesizdir.

### ■ Örnek:

- 220V/380V-50Hz şebekede 90° uyarımda çalıştırılan 3 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucu,
- a) 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

### ■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,

$$V_{dc} = \frac{3.V_m}{2\pi} [1 + \cos(30^\circ + \alpha)]$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$$

$$V_{dc} = 3 \cdot 311 / 6,28 \cdot (1 + \cos 120^\circ)$$

$$V_{dc} = 74,28V$$

- Çıkış akımı ortalama değeri,

$$I_{dc} = V_{dc} / R = 74,28 / 10$$

$$I_{dc} = 7,42A$$

Ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 7,42 \cdot 74,28 = 551,15W$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{2} \sqrt{\frac{5}{6} - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(\pi/3 + 2\alpha)}{2\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = (31,1 / 2) \cdot \sqrt{0,197} = 6,9A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot 6,9 \cdot 220 = 4,55kW$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör) gerilimi,

$$V_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

$$V_D \geq \sqrt{3} \cdot 311 \cdot 1,3 \geq 700V$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör) akımı,

$$I_D \geq I_m + \%30$$

$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- b) Çok endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,  
 $V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$   
 $V_{dc} = (3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m / 2\pi) \cdot \cos\alpha$   
 $V_{dc} = 257 \cdot \cos 90^\circ = 0V$
- Çıkış akımı ortalama değeri,  
 $I_{dc} = I_m = V_m / Z = 311 / 10 = 31,1A$
- Ortalama çıkış gücü,  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$   
 $P_{dc} = 31,1 \cdot 0 = 0W$   
(ani değer).
- Kaynak akımının etkin değeri,  
 $I_A(rms) = I_m \cdot \sqrt{k}$   
 $I_A(rms) = V_m / Z \cdot \sqrt{[t_1 / (t_1 + t_2)]}$   
 $I_A(rms) = 311 / 10 \cdot \sqrt{(6,66ms / 20ms)}$   
 $I_A(rms) = 17,94A$
- Endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,  
 $P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
 $P_{S(rms)} = 3 \cdot 17,94 \cdot 220 = 11,84kW$
- Endüktif yükte anahtar (tristör) gerilimi,  
 $V_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$   
 $V_D \geq \sqrt{3} \cdot 311 \cdot 1,3 \geq 700V$
- Endüktif yükte anahtar (tristör) akımı,  
 $I_D \geq I_m + \%30$   
 $I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$

## ÖDEV-9

9.1) 380V/220V-50Hz şebekede  $19\Omega$ 'luk saf rezistif bir yükü besleyen 3 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun,

- a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
- b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
- c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

9.2) 380V/220V-50Hz şebekede,  $60^\circ$  uyarma açısında,  $22\Omega$ 'luk rezistif bir yükü besleyen 3 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucunun,

- a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
- b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
- c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

# Quiz-1

## A grubu:

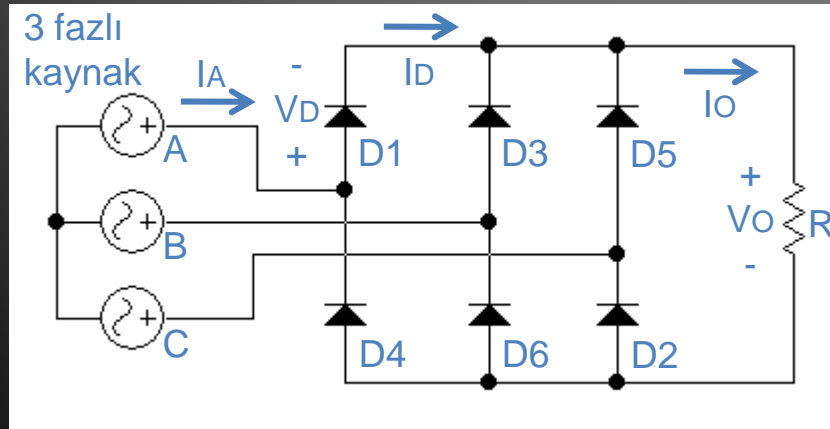
220V/50Hz şebekede,  $5\Omega$  çok endüktif yükü besleyen bir fazlı tam dalga tam kontrollü doğrultucu devresini ve  $60^\circ$  çalışma açısı için giriş-çıkış gerilim dalga şekillerini çiziniz.

## B grubu:

220V/380V-50Hz şebekede,  $15\Omega$  rezistif yükü besleyen üç fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucu devresini ve  $60^\circ$  çalışma açısı için giriş-çıkış gerilim dalga şekillerini çiziniz.

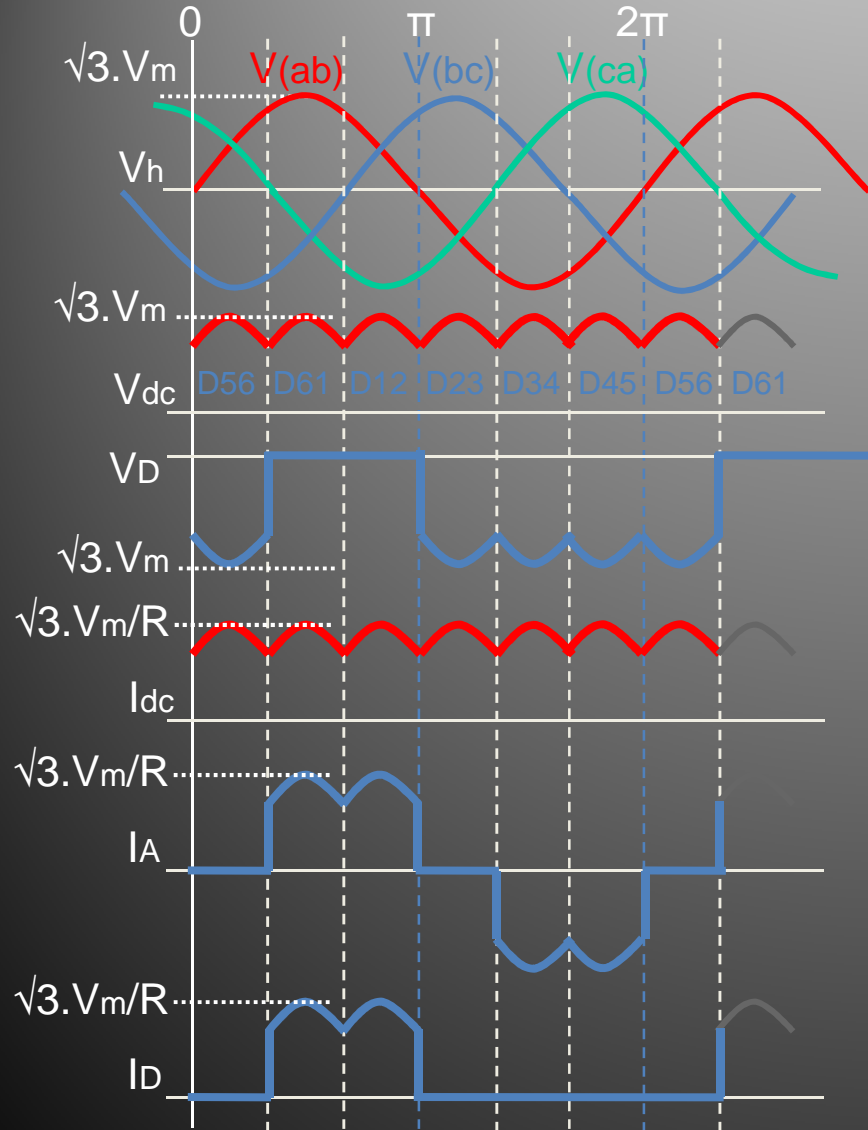
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3 fazlı tam dalga kontrolsüz köprü doğrultucu (rezistif yük);
- 3 fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucu bağlantısı rezistif yükte çalışma için Şekil-4.105'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kaynağın nötr (N) ucu çıkışta kullanılmamış sadece 3 fazın canlı uçları kullanılmıştır. Bu durumda köprü hat gerilimlerini doğrultur.



- Köprüdeki diyotlardan D1 ve D4, A fazına bağlanmış olup, D1 pozitif, D4 ise negatif alternansı iletmekle görevlendirilmiştir. Aynı şekilde D3 ve D6 diyotları B fazının pozitif ve negatif alternanslarını, D5 ve D2 diyotları ise C fazının pozitif ve negatif alternanslarını iletmektedirler.
- Diyotlara verilen bu numaralar standarttır ve asla değiştirilmez, çünkü bu numaralar 120 derece faz farklı 3 fazlı gerilim altında çalışma sırasında köprüdeki diyotların iletme geçme sırasını ifade etmektedir.
- Devreye ait dalga şekilleri Şekil-4.106'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

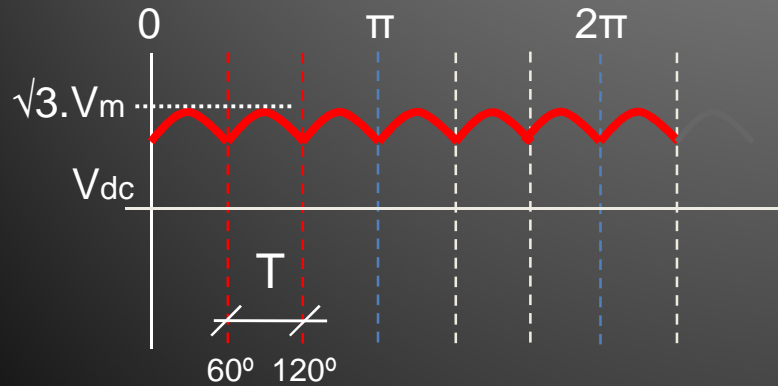


- Yan taraftaki dalga temel şekillerinden görülebileceği gibi, tam dalga doğrultma yapılması halinde filtreleme kullanılmamasına rağmen her 3 faz gerilimi arasındaki  $120^\circ$  'lik faz kaymalarından dolayı çıkış gerilimi çok düzgün bir şekilde oluşmuştur.
- Devrenin hat gerilimlerini doğrulttuğu görülmektedir. Her bir diyot  $120$  derece iletimde kalmakta fakat  $60$  derecede bir eş değiştirmektedir.
- Kaynaklardan çekilen akım ise AC kare dalga formatında olup  $120^\circ$  faz farklıdır.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri ( $V_{dc}$ );
- 3 fazlı kontrolsüz köprü doğrultucunun rezistif yükteki çıkış gerilim dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.107'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda gerilimin ortalama değeri yan taraftaki gibi bulunabilecektir.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t).dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{3}.V_m \sin \omega t .d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{3}.V_m \sin \omega t .d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{\pi} (-\cos \omega t)_{\pi/3}^{2\pi/3}$$

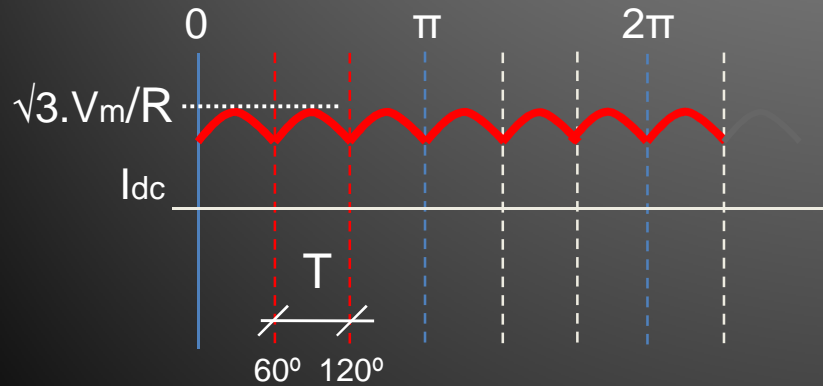
$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{\pi} [-(\cos(2\pi/3) - \cos(\pi/3))]$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{\pi} [ -(-0,5 - 0,5) ] = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{\pi} .1$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{\pi}$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımının ortalama değeri ( $I_{dc}$ );
- 3 fazlı kontrolsüz köprü doğrultucunun rezistif yükteki çıkış akımının dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.108'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda gerilimin ortalama değeri yan taraftaki gibi bulunabilecektir.



$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T i_o(t) dt$$

$$I_{dc} = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{3} I_m \sin \omega t d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{3} I_m \sin \omega t d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{3\sqrt{3} I_m}{\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\pi/3}^{2\pi/3}$$

$$I_{dc} = \frac{3\sqrt{3} I_m}{\pi} [-(\cos(2\pi/3) - \cos(\pi/3))]$$

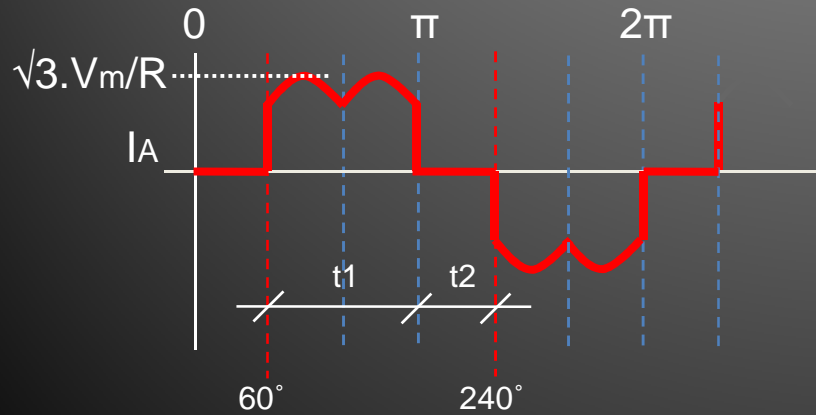
$$I_{dc} = \frac{3\sqrt{3} I_m}{\pi} [ -(-0,5 - 0,5) ] = \frac{3\sqrt{3} I_m}{\pi} \cdot 1$$

$$I_{dc} = \frac{3\sqrt{3} I_m}{\pi} = \frac{V_{dc}}{R}$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü ( $P_{dc}$ );  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$  'den bulunabilir.

- Kaynak akımının etkin değeri ( $I_{A(rms)}$ );  
Kaynağın bir fazından çekilen akım Şekil-4.109'da görülmekte olup etkin değeri yandaki gibi bulunabilecektir.



Şekil-4.109'da verilen kaynak akımını " $\sqrt{3} \cdot V_m / R$ " tepe değerli bir kare dalga olarak kabul edersek çözüm kolaylaşacaktır. Bu durumda akımın etkin periyodu,

$$k = t_1 / (t_1 + t_2) \text{ olacaktır.}$$

Buradan akımın etkin değeri,

$$I_{A(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k} \text{ veya,}$$

$$I_{A(rms)} = (\sqrt{3} \cdot V_m / R) \cdot \sqrt{k} \text{ olur.}$$

- Kaynaktan çekilen toplam etkin güç ( $P_{S(rms)}$ );

$$P_{A(rms)} = I_{A(rms)} \cdot V_{f(rms)}$$

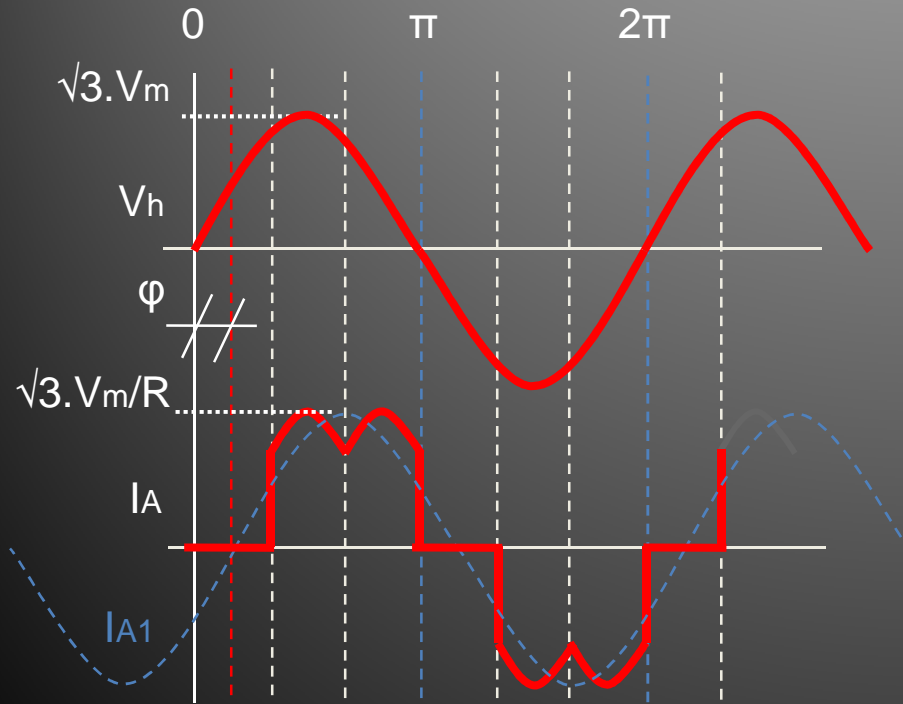
Üç fazdan çekilen toplam güç;

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot P_{A(rms)}$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

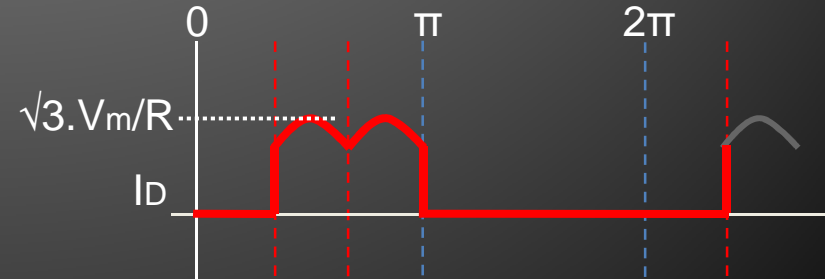
- Devrenin güç katsayısı ( $\cos\phi$ );

Kaynağın bir fazından çekilen akım ve ilgili hat gerilimi Şekil-4.110'da görülmektedir.



- Şekil-4.110'da verilen şekle göre kaynak akımı, kaynak gerilimine göre " $\phi$ " kadar ( $30^\circ$ ) geridedir. Bu durumda,  $\cos\phi = \cos 30^\circ = 0,866$  'dır.

- Anahtar (diyot) akımı ( $I_D$ );  
Anahtar (diyot) akımı dalga şekli Şekil-4.111'deki gibidir. Bu şekle göre anahtar akımı;  
 $I_D = I_m + (0,30 \cdot I_m) = 1,3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m / R$

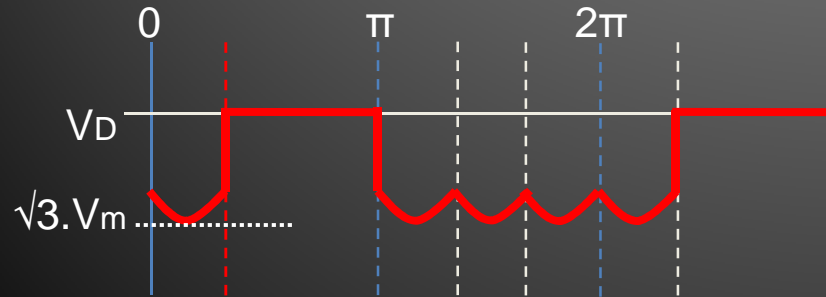


## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

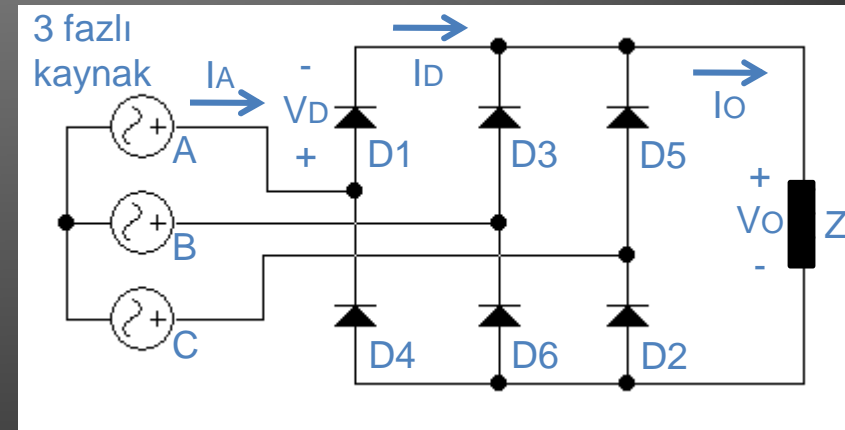
- Anahtar (diyot) gerilimi ( $V_D$ );  
Anahtar gerilimi aşağıdaki Şekil-4.112'de görülmektedir. Görüldüğü gibi anahtar üzerine doğrudan kaynağın hat gerilimi gelmektedir. Bu durumda anahtar gerilimi, hat gerilimi tepe değerinin ( $\sqrt{3} \cdot V_m$ ) en az %30 daha fazlası olmalıdır.

$$V_D = \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

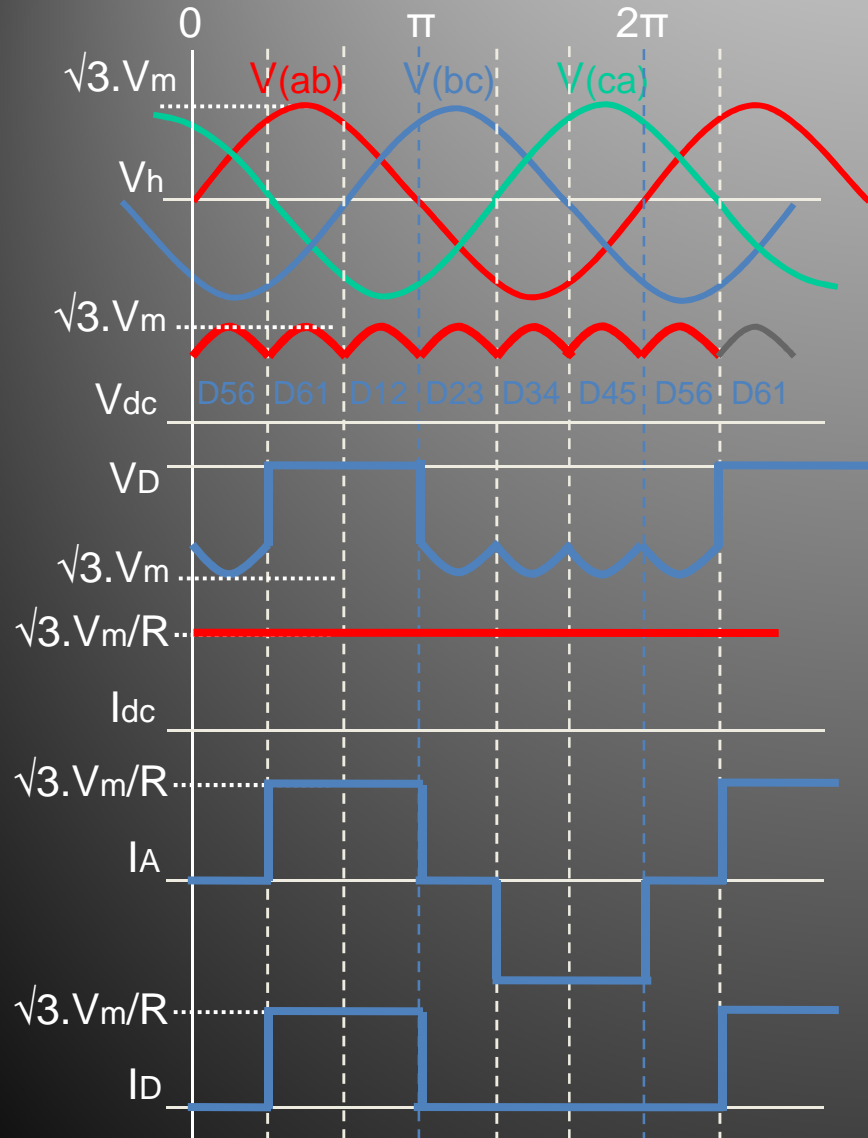
$$V_D = \sqrt{3} \cdot V_m \cdot 1,3 \text{ olur.}$$



- 3 fazlı kontrolsüz köprü doğrultucu (endüktif yükte);
- 3 fazlı kontrolsüz köprü doğrultucu devre bağlantısı endüktif yük için Şekil-4.113'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yüke ters paralel bir serbest geçiş diyodu bağlanmamıştır.
- Şekil-4.114'de ise devreye ait temel dalga şekilleri görülmektedir.



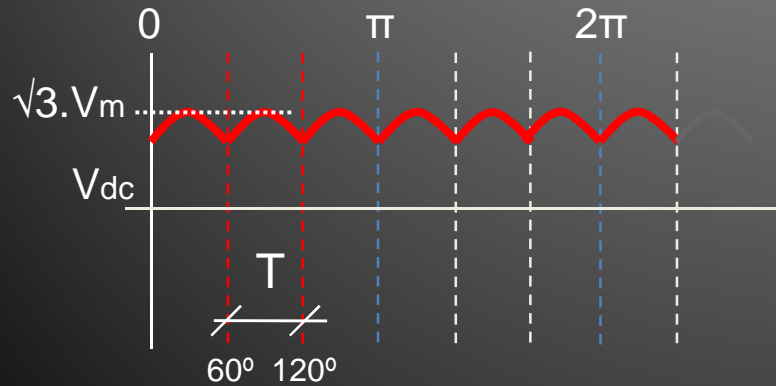
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



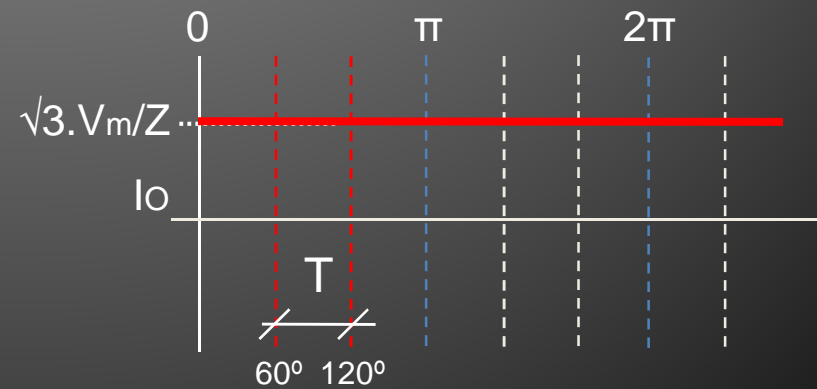
- Yan taraftaki dalga temel şekillerinden görülebileceği gibi, tam dalga doğrultma yapılması halinde filtreleme kullanılmamasına rağmen her 3 faz gerilimi arasındaki  $120^\circ$  'lik faz kaymalarından dolayı çıkış gerilimi çok düzgün bir şekilde oluşmuştur.
- Devrenin hat gerilimlerini doğrulttuğu görülmektedir. Her bir diyot 120 derece iletimde kalmakta fakat 60 derecede bir eş değiştirmektedir.
- Kaynaklardan çekilen akım ise AC kare dalga formatında olup  $120^\circ$  faz farklıdır.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri ( $V_{dc}$ );
- 3 fazlı kontrolsüz köprü doğrultucunun endüktif yükteki çıkış gerilim dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.115'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda gerilimin ortalama değeri rezistif yükteki eşitlikle aynıdır.



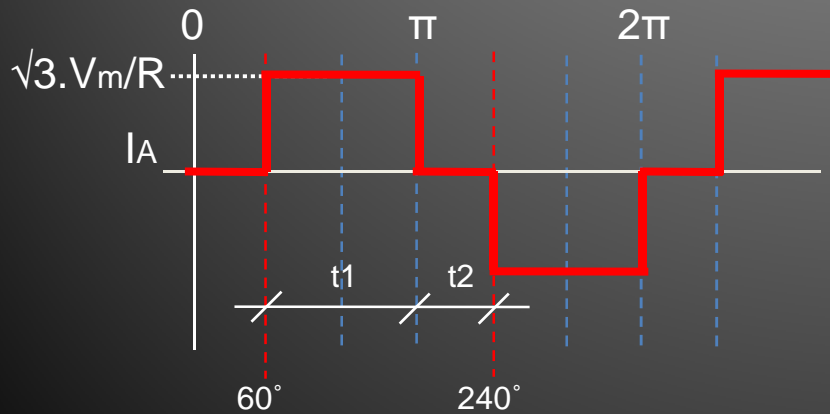
- Çıkış akımının ortalama değeri ( $I_{dc}$ );
- 3 fazlı kontrolsüz köprü doğrultucunun endüktif yükteki çıkış akımının dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.116'da görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda gerilimin ortalama değeri,  $I_{dc} = I_m = \sqrt{3} \cdot V_m / Z$  olacaktır.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü ( $P_{dc}$ );  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$  'den bulunabilir.

- Kaynak akımının etkin değeri ( $I_{A(rms)}$ );  
Kaynağın bir fazından çekilen akım Şekil-4.117'de görülmekte olup, etkin değeri yandaki gibi bulunabilecektir.



Şekil-4.117'de verilen kaynak akımını " $\sqrt{3} \cdot V_m / R$ " tepe değerli bir kare dalga olarak kabul edersek çözüm kolaylaşacaktır. Bu durumda akımın etkin periyodu,

$$k = t_1 / (t_1 + t_2) \text{ olacaktır.}$$

Buradan akımın etkin değeri,

$$I_{A(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k} \text{ veya,}$$

$$I_{A(rms)} = (\sqrt{3} \cdot V_m / R) \cdot \sqrt{k} \text{ olur.}$$

- 5) Kaynaktan çekilen toplam etkin güç ( $P_{S(rms)}$ );

$$P_{A(rms)} = I_{A(rms)} \cdot V_{f(rms)}$$

Üç fazdan çekilen toplam güç;

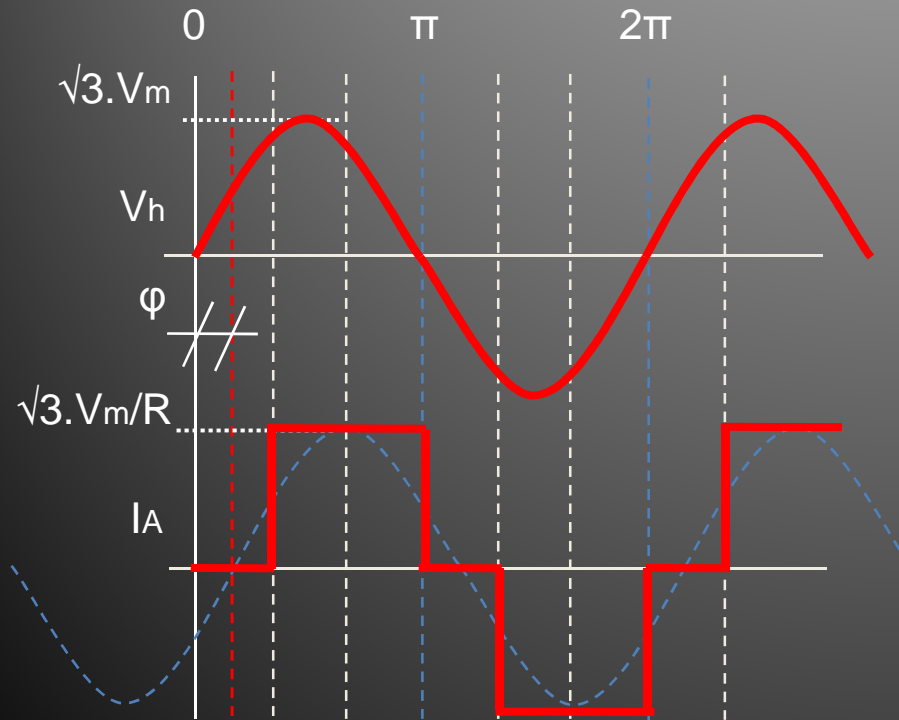
$$P_{S(rms)} = 3 \cdot P_{A(rms)}$$



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

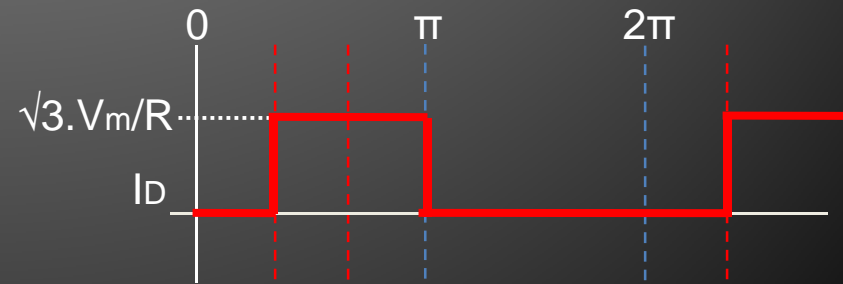
- Devrenin güç katsayısı ( $\cos\varphi$ );

Kaynağın bir fazından çekilen akım ve ilgili hat gerilimi Şekil-4.118'de görülmektedir.



- Şekil-4.118'de verilen şekle göre kaynak akımı, kaynak gerilimine göre " $\varphi$ " kadar ( $30^\circ$ ) geridedir. Bu durumda,  $\cos\varphi = \cos 30^\circ = 0,866$  'dır.

- Anahtar (diyot) akımı ( $I_D$ );  
Anahtar (diyot) akımı dalga şekli Şekil-4.119'daki gibidir. Bu şekle göre anahtar akımı;  
 $I_D = I_m + (0,30 \cdot I_m) = 1,3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m / R$

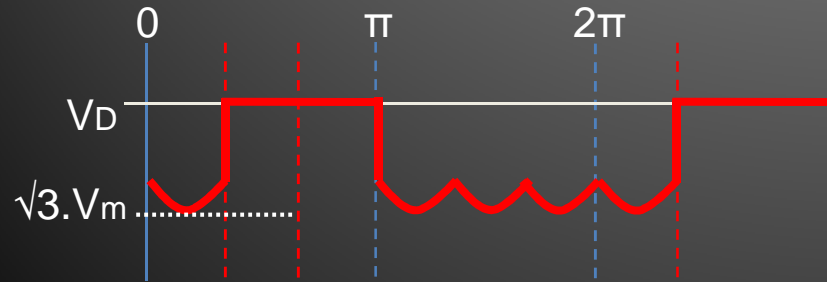


## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (diyot) gerilimi ( $V_D$ );  
Anahtar gerilimi aşağıdaki Şekil-4.120'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi hat geriliminin tepe değerine blokaj yapmaktadır. Bu durumda anahtar gerilimi, hat gerilimi tepe değerinin ( $\sqrt{3} \cdot V_m$ ) en az %30 daha fazlası olmalıdır.

$$V_{D-T} = \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

$$V_{D-T} = \sqrt{3} \cdot V_m \cdot 1,3 \text{ olur.}$$



- Örnek:
  - 220V/380V-50Hz şebekede çalıştırılan 3 fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucu,
  - a)  $10\Omega$ 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
  - b)  $10\Omega$ 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

### ■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,  
 $V_{dc} = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m / \pi$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$$

$$V_{dc} = 3 \cdot 1,73 \cdot 311 / 3,14$$

$$V_{dc} = 514V$$

- Çıkış akımı ortalama değeri,

$$I_{dc} = V_{dc} / R = 514 / 10$$

$$I_{dc} = 51,4A$$

Ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 51,4 \cdot 514 = 26,42kW$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

$$k = t_1 / T = 6,66ms / 10ms = 0,66$$

$$I_{A(rms)} = (\sqrt{3} \cdot V_m / R) \cdot \sqrt{k}$$

$$I_{A(rms)} = (\sqrt{3} \cdot 311 / 10) \cdot \sqrt{0,66}$$

$$I_{A(rms)} = 43,7A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot 43,7 \cdot 220 = 28,84kW$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot) gerilimi,

$$V_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

$$V_D \geq \sqrt{3} \cdot 311 \cdot 1,3 \geq 700V$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot) akımı,

$$I_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m / R + \%30$$

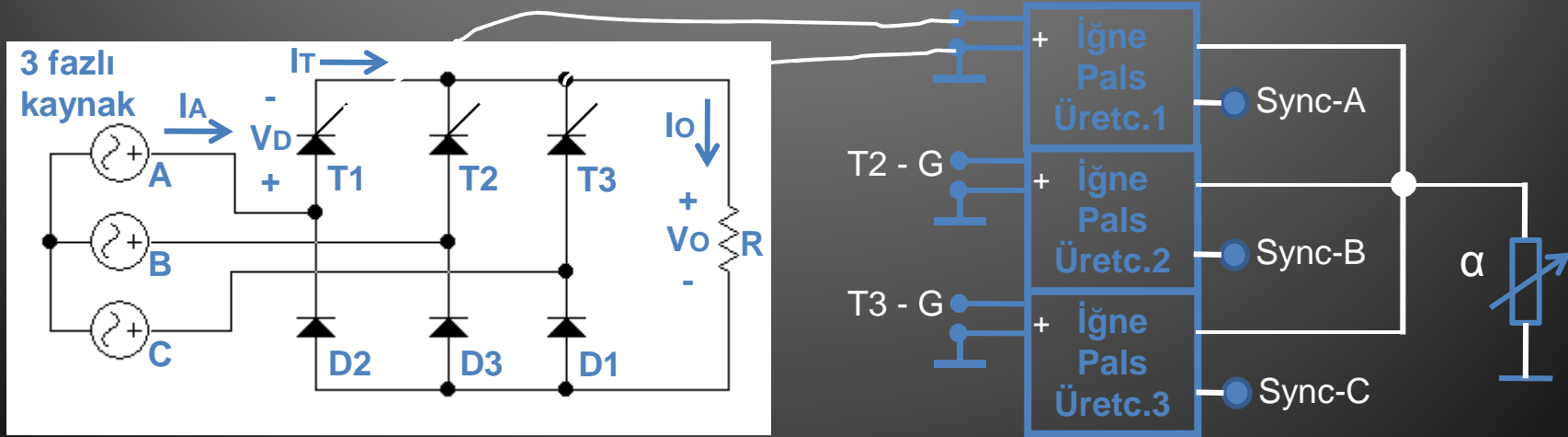
$$I_D \geq 53,8 \cdot 1,3 \geq 70A$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

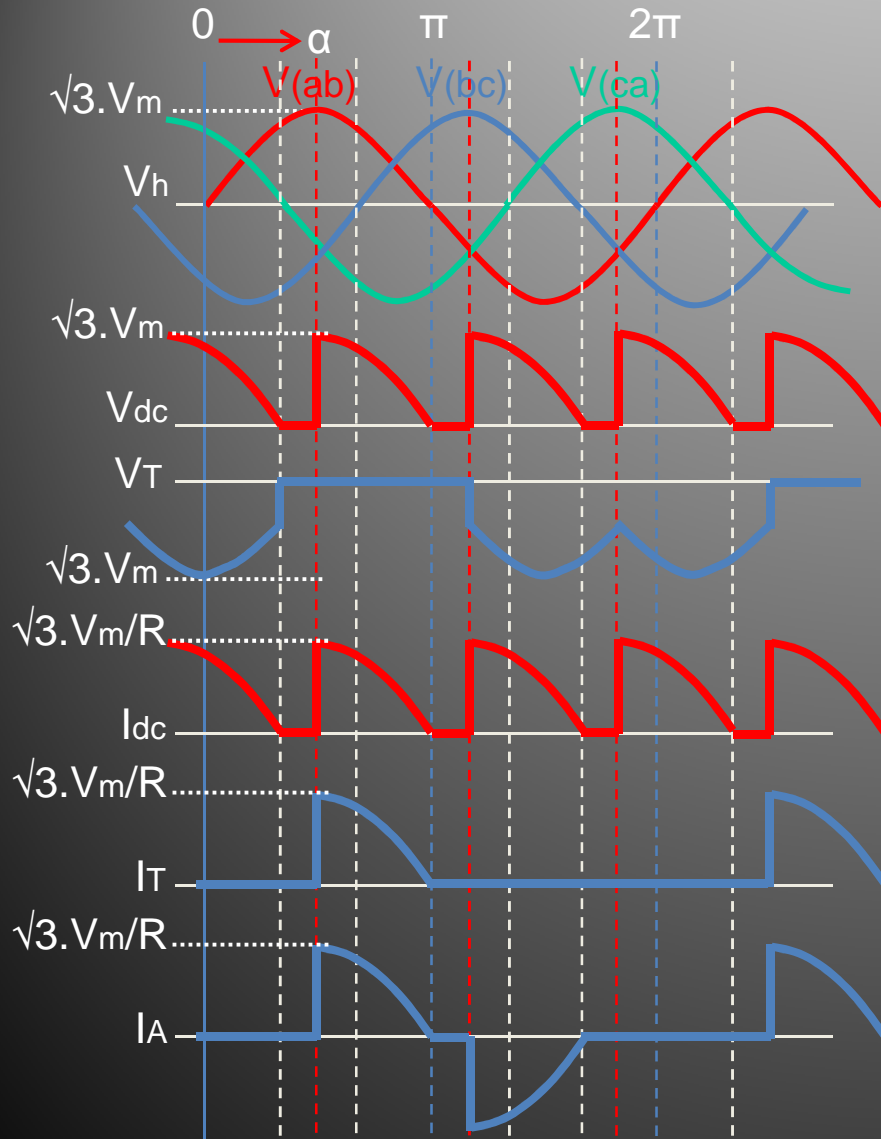
- b) Çok endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,  
 $V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$   
 $V_{dc} = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m / \pi$   
 $V_{dc} = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot 311 / 3,14$   
 $V_{dc} = 514V$
- Çıkış akımı ortalama değeri,  
 $I_{dc} = I_m = \sqrt{3} \cdot V_m / Z = 538 / 10 = 53,8A$
- Ortalama çıkış gücü,  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$   
 $P_{dc} = 53,8 \cdot 514 = 27,65kW$
- Kaynak akımının etkin değeri,  
 $I_A(rms) = I_m \cdot \sqrt{k}$   
 $I_A(rms) = \sqrt{3} \cdot V_m / Z \cdot \sqrt{[t1/(t1+t2)]}$   
 $I_A(rms) = 538/10 \cdot \sqrt{(6,66ms / 10ms)}$   
 $I_A(rms) = 43,7A$
- Endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,  
 $P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
 $P_{S(rms)} = 3 \cdot 43,7 \cdot 220 = 28,84kW$
- Endüktif yükte anahtar (diyot) gerilimi,  
 $V_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$   
 $V_D \geq \sqrt{3} \cdot 311 \cdot 1,3 \geq 700V$
- Endüktif yükte anahtar (diyot) akımı,  
 $I_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m / R + \%30$   
 $I_D \geq 53,8 \cdot 1,3 \geq 70A$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucu (rezistif yükte);
- 3 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucu güç devresi bağlantısı rezistif yük için Şekil-4.121'de gösterilmiştir.
- Bu devrede de 1 fazlı köprüde olduğu gibi sürme kolaylığı açısından üstteki elemanlar tristör, alttaki elemanlar ise diyottur.
- Şekilden görüldüğü gibi, 3 faz yarım kontrollü köprü doğrultucu devresini sürmek için, daha önce 3 faz yarım dalga kontrollü doğrultucu devresini sürmekte kullanılan 3 fazlı uyarma devresi aynen kullanılmıştır.
- Bu devreye ait temel dalga şekilleri aşağıda Şekil-4.122'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



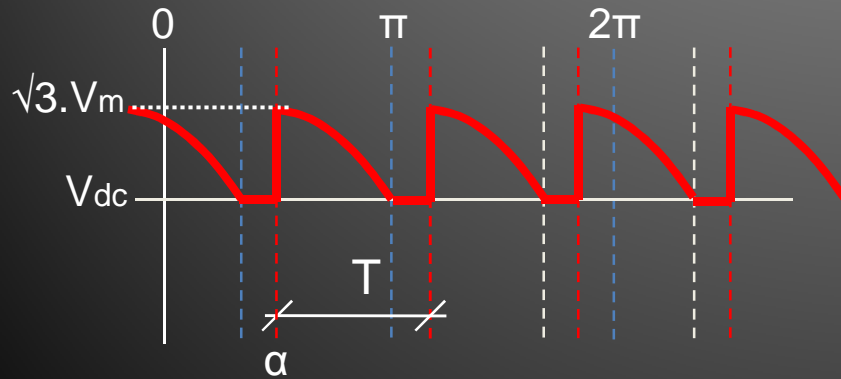
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Yan taraftaki dalga temel şekillerinden görülebileceği gibi, T1 tristörü  $V_{ab}$  geriliminin, T2 tristörü  $V_{bc}$  geriliminin, T3 tristörü ise  $V_{ca}$  geriliminin 90'inci derecesinde uyarılmıştır.
- Bunun sonucunda çıkış gerilimi ve çıkış akımı kesikli olarak oluşmuştur.
- A fazından çekilen akım ise T1 iletimde olduğunda pozitif, T2 iletimde olduğunda negatif olarak akmakta, T3 iletimde olduğuna ise A fazından herhangi yönde bir akım akmamaktadır.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri ( $V_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun rezistif yükteki çıkış gerilim dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.123'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda gerilim ortalama değeri  $\alpha \geq 60$  derece için yandaki gibidir.



$\alpha \geq 60^\circ$  için

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t).dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{3}.V_m \sin \omega t.d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin \omega t.d(\omega t)$$

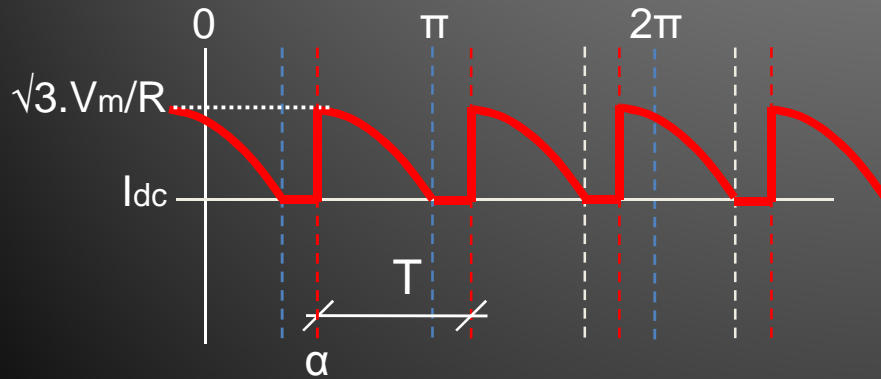
$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{2\pi} (-\cos \omega t)_{\alpha}^{\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{2\pi} [-(\cos \pi - \cos \alpha)]$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımının ortalama değeri ( $I_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun rezistif yükteki çıkış akımının dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.124'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda akımın ortalama değeri  $\alpha \geq 60$  derece için yandaki gibidir.



$\alpha \geq 60^\circ$  için

$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T i_o(t) \cdot dt$$

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{3} \cdot I_m \sin \omega t \cdot d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{3\sqrt{3} \cdot I_m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin \omega t \cdot d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{3\sqrt{3} \cdot I_m}{2\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\alpha}^{\pi}$$

$$I_{dc} = \frac{3\sqrt{3} \cdot I_m}{2\pi} [-(\cos \pi - \cos \alpha)]$$

$$I_{dc} = \frac{3\sqrt{3} \cdot I_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{V_{dc}}{R}$$

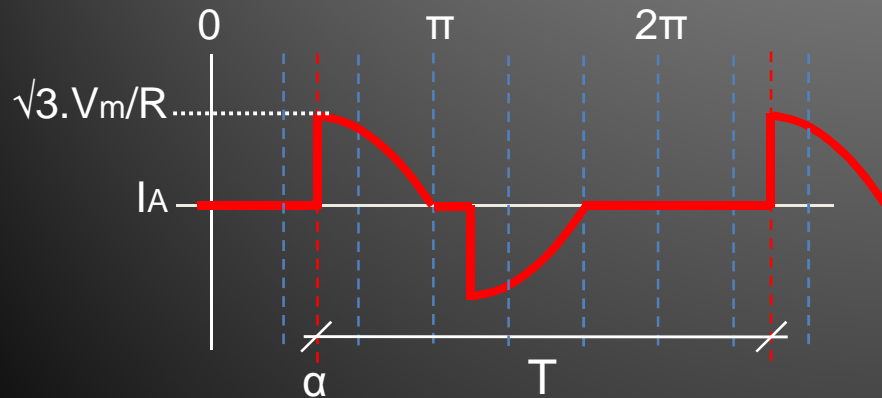


## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü ( $P_{dc}$ );  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$  'den bulunabilir.

- Kaynak akımının etkin değeri ( $I_{A(rms)}$ );

Kaynağın bir fazından çekilen akım Şekil-4.125'de görülmekte olup, etkin değeri yandaki gibi bulunabilecektir.



$$I_{A(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_s(t)]^2 dt}$$

$$I_{A(rms)} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [I_m \cdot \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)}$$

$$I_{A(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$I_{A(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin(2\omega t)}{4} \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

$$I_{A(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\left[ \frac{\omega t}{\pi} - \frac{\sin(2\omega t)}{2\pi} \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

$$I_{A(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\left[ \left( \frac{\pi}{\pi} - \frac{\sin(2\pi)}{2\pi} \right) - \left( \frac{\alpha}{\pi} - \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi} \right) \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

$$I_{A(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen toplam etkin güç ( $P_{S(rms)}$ );

$$P_{A(rms)} = I_{A(rms)} \cdot V_{f(rms)}$$

Üç fazdan çekilen toplam güç;

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot P_{A(rms)}$$

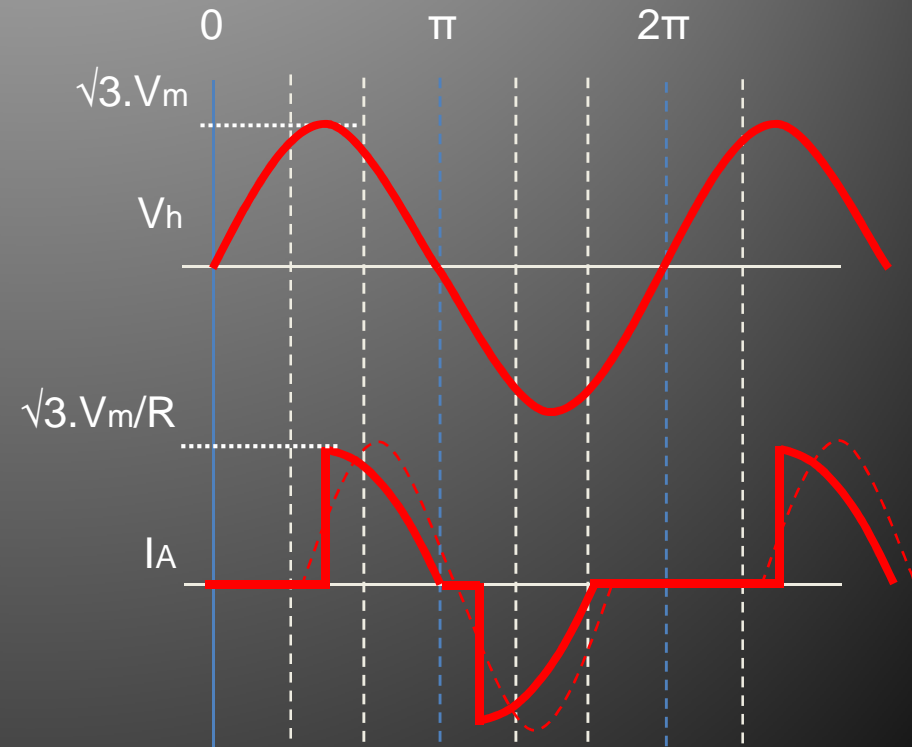
- Devrenin güç katsayısı ( $\cos\phi$ );

Kaynağın bir fazından çekilen akım ve ilgili hat gerilimi yan tarafta Şekil-4.126'da görülmektedir.

Şekilden görüldüğü gibi, kaynak akımı, kaynaktan kesikli olarak çekilmekte ve güç katsayısı aşağıdaki şekil üzerinden tam olarak belirlenmemektedir.

- Bu durumda güç katsayısı, aktif gücün görünür güce oranından yani,

$$\cos\phi = P / S \text{ 'den bulunabilir.}$$

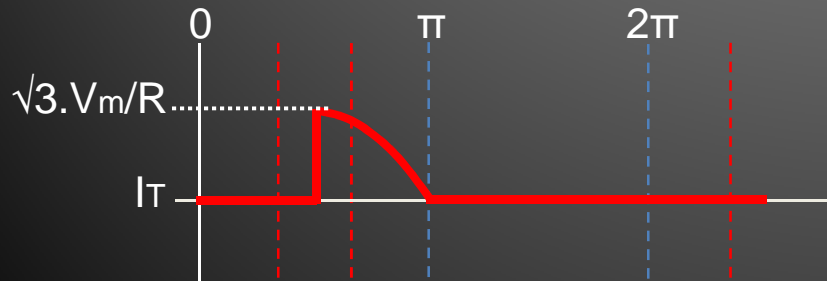


## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (diyot-tristör) akımı ( $I_D$ );

Devredeki anahtar (diyot-tristör) akımının dalga şekli Şekil-4.127'deki gibidir. Bu şekle göre anahtar akımı, diğer uygulamalarda da olduğu gibi, üzerinden geçen akımın tepe değerine en az %30 tolerans payı eklenerek bulunabilir.

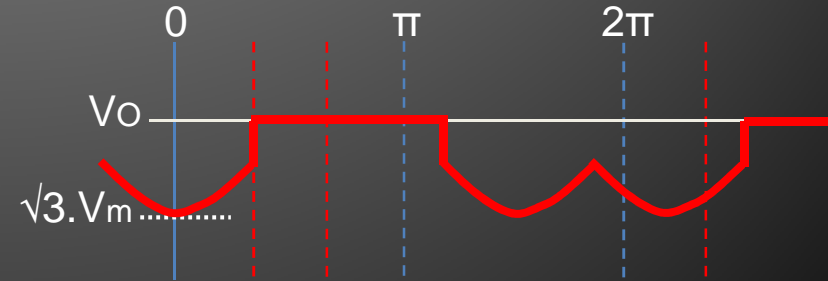
$$I_D = I_m + (\%30 \cdot I_m) = 1,3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m / R$$



- Anahtar (diyot-tristör) gerilimi ( $V_D$ );

Devredeki anahtar (diyot-tristör) geriliminin dalga şekli Şekil-4.128'deki gibidir. Bu şekle göre anahtar gerilimi de, diğer uygulamalarda da olduğu gibi, üzerindeki gerilimin tepe değerine en az %30 tolerans payı eklenerek bulunabilir.

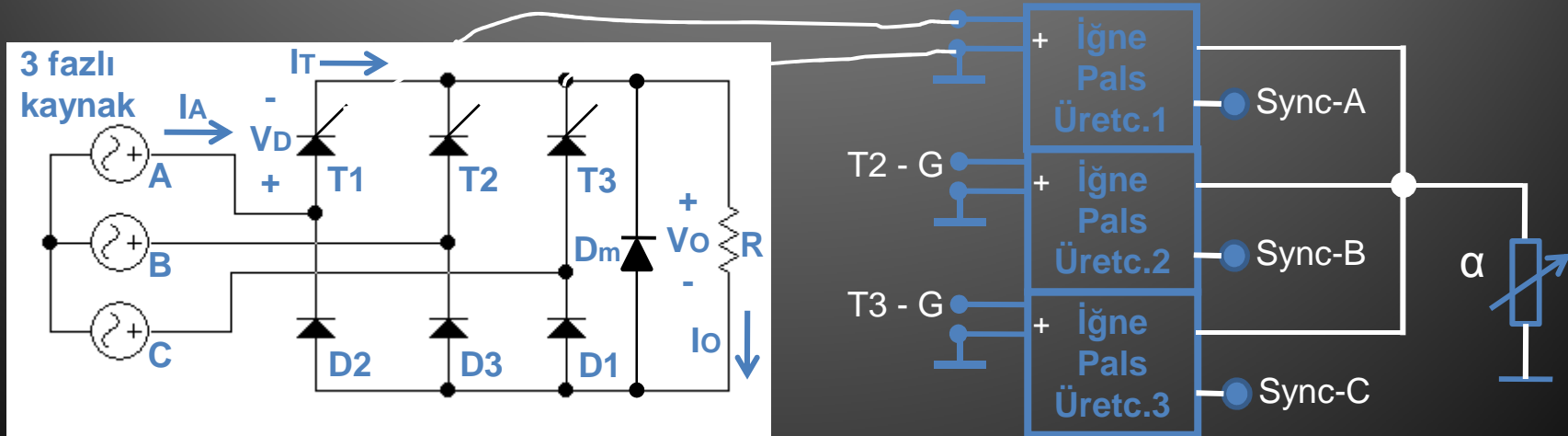
$$V_D = 1,3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m$$



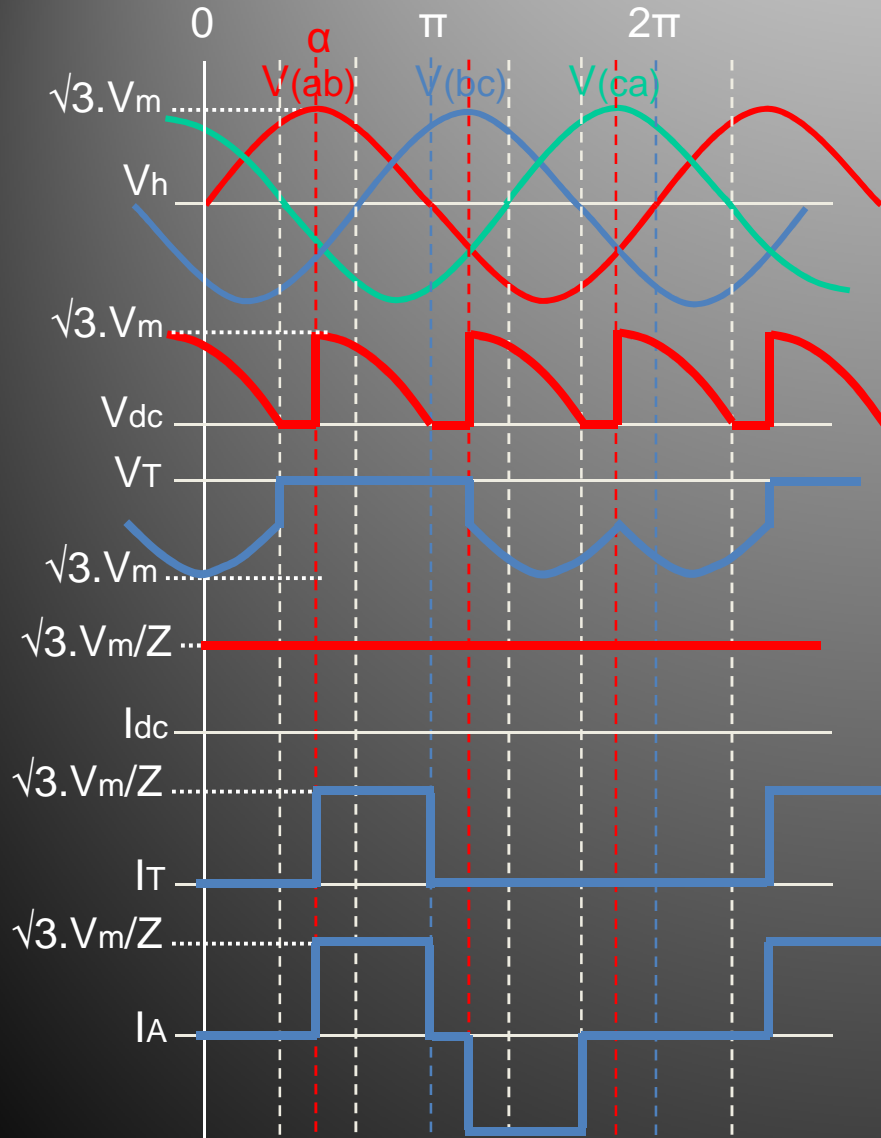
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucu (endüktif yükte);
- 3 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucu güç devresi bağlantısı endüktif yük için Şekil-4.129'da gösterilmiştir.
- Bu devrede de 1 fazlı köprüde olduğu gibi sürme kolaylığı açısından üstteki elemanlar tristör, alttaki elemanlar ise diyottur.

- Şekilden görüldüğü gibi, 3 faz yarım kontrollü köprü doğrultucu devresini sürmek için, daha önce 3 faz yarım dalga kontrollü doğrultucu devresini sürmekte kullanılan 3 fazlı uyarma devresi aynen kullanılmıştır.
- Bu devreye ait temel dalga şekilleri aşağıda Şekil-4.130'da ayrıntılı olarak verilmiştir.



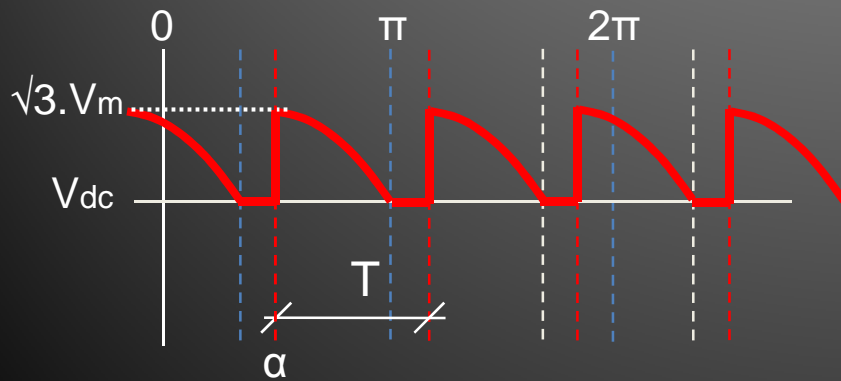
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



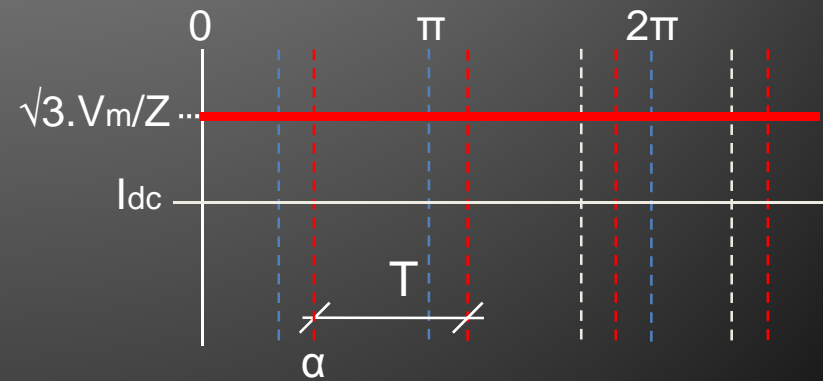
- Yan taraftaki dalga temel şekillerinden görülebileceği gibi, T1 tristörü  $V_{ab}$  geriliminin, T2 tristörü  $V_{bc}$  geriliminin, T3 tristörü ise  $V_{ca}$  geriliminin 90'inci derecesinde uyarılmıştır. Bu durumda çıkış akımı serbest geçiş diyodunun etkisiyle düz olarak gerçekleşmiştir.
- A fazından çekilen akım ise T1 iletimde olduğunda pozitif, T2 iletimde olduğunda negatif olarak akmakta, T3 iletimde olduğuna ise A fazından herhangi yönde bir akım akmamaktadır.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri ( $V_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun endüktif yükteki çıkış gerilim dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.131'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda gerilim ortalama değeri rezistif yükle aynıdır.

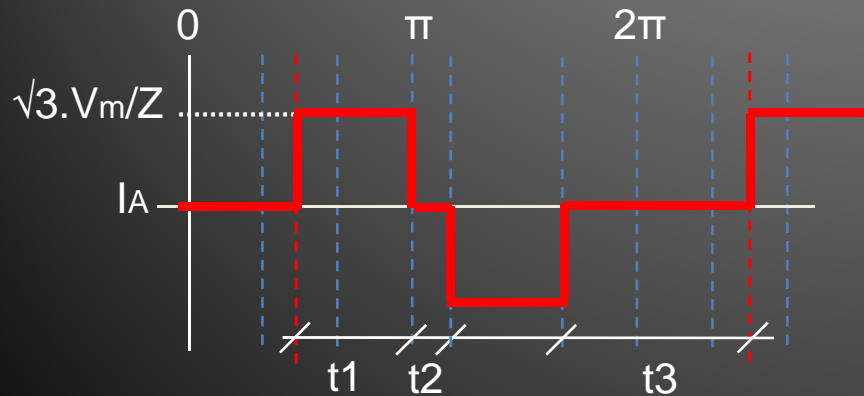


- Çıkış akımının ortalama değeri ( $V_{dc}$ );
- 3 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun endüktif yükteki çıkış akımı dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.132'de görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda akımın ortalama değeri,  $I_{dc} = I_m = \sqrt{3}.V_m / Z$  olacaktır.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü ( $P_{dc}$ );  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$  'den bulunabilir.
- Kaynak akımının etkin değeri ( $I_{A(rms)}$ );  
Kaynağın bir fazından çekilen akım Şekil-4.133'de görülmekte olup, etkin değeri yandaki gibi bulunabilecektir.



- Şekil-4.133'den görüldüğü gibi AC kare dalga formatında olan kaynak akımı ancak etkin peryotla yaklaşık olarak hesaplanabilecektir.
- Bu durumda etkin peryot,  
 $k = t_1 / [t_1 + (t_2 + t_3)/2]$
- Etkin peryodu kullanarak kaynak akımının etkin değeri,  
 $I_{S(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k}$   
veya,  
 $I_{S(rms)} = (\sqrt{3} \cdot V_m / Z) \cdot \sqrt{k}$   
eşitliğinden hesaplanabilecektir.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen toplam etkin güç ( $P_{S(rms)}$ );

$$P_{A(rms)} = I_{A(rms)} \cdot V_{f(rms)}$$

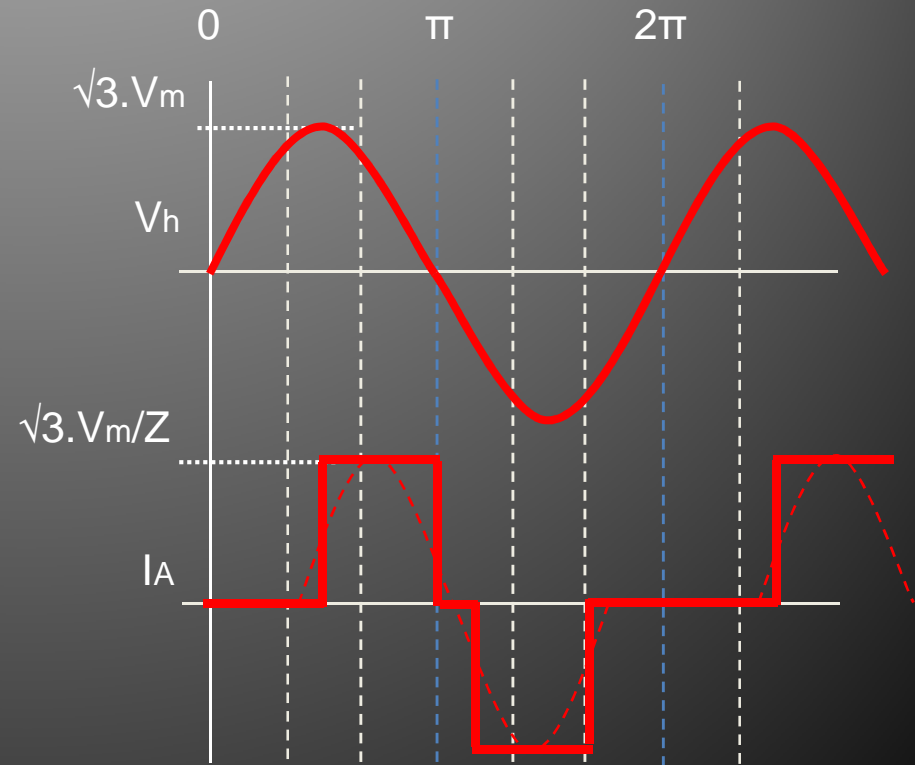
Üç fazdan çekilen toplam güç;

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot P_{A(rms)}$$

- Devrenin güç katsayısı ( $\cos\phi$ );

Kaynağın bir fazından çekilen akım ve ilgili hat gerilimi yan tarafta Şekil-4.134'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, kaynak akımı, kaynaktan kesikli olarak çekilmekte ve güç katsayısı aşağıdaki şekil üzerinden tam olarak belirlenmemektedir.

- Bu durumda güç katsayısı, aktif gücün görünür güce oranından yani,  $\cos\phi = P / S$ 'den bulunabilir.



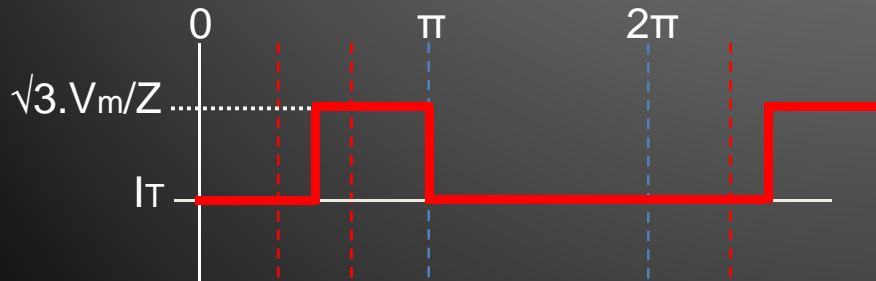


## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (diyot-tristör) akımı ( $I_D$ );

Devredeki anahtar (diyot-tristör) akımının dalga şekli Şekil-4.135'deki gibidir. Bu şekle göre anahtar akımı, diğer uygulamalarda da olduğu gibi, üzerinden geçen akımın tepe değerine en az %30 tolerans payı eklenerek bulunabilir.

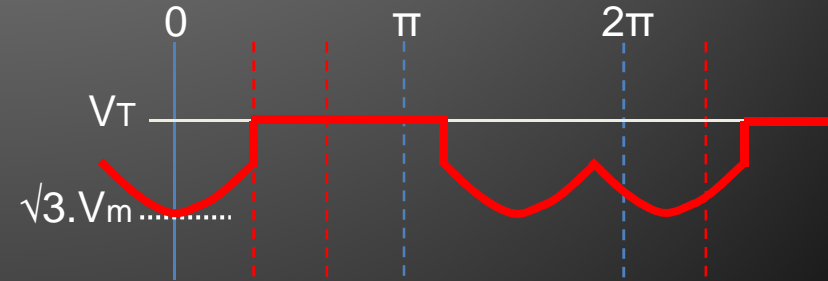
$$I_D = I_m + (\%30 \cdot I_m) = 1,3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m / Z$$



- Anahtar (diyot-tristör) gerilimi ( $V_D$ );

Devredeki anahtar (diyot-tristör) geriliminin dalga şekli Şekil-4.136'daki gibidir. Bu şekle göre anahtar gerilimi de, diğer uygulamalarda da olduğu gibi, üzerindeki gerilimin tepe değerine en az %30 tolerans payı eklenerek bulunabilir.

$$V_D = 1,3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m$$



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

### ■ Örnek:

- 220V/380V-50Hz şebekede çalıştırılan 3 fazlı tam dalga yarım kontrollü doğrultucu,
- a) 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

### ■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3} \cdot V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$$

$$V_{dc} = 3 \cdot 1,73 \cdot 311 / 6,28 (1 + \cos 90)$$

$$V_{dc} = 257V$$

- Çıkış akımı ortalama değeri,

$$I_{dc} = V_{dc} / R = 257 / 10$$

$$I_{dc} = 25,7A$$

Ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 25,7 \cdot 257 = 6,6kW$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

$$k = t_1 / T = 5ms / 10ms = 0,5$$

$$I_{A(rms)} = (\sqrt{3} \cdot V_m / Z) \cdot \sqrt{k}$$

$$I_{A(rms)} = (\sqrt{3} \cdot 311 / 10) \cdot \sqrt{0,5}$$

$$I_{A(rms)} = 37,66A$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot 37,66 \cdot 220 = 24,85 \text{ kW}$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot-tristör) gerilimi,

$$V_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

$$V_D \geq \sqrt{3} \cdot 311 \cdot 1,3 \geq 700 \text{ V}$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot-tristör) akımı,

$$I_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m / R + \%30$$

$$I_D \geq 53,8 \cdot 1,3 \geq 70 \text{ A}$$

- b) Çok endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311 \text{ V}$$

$$V_{dc} = (3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m / \pi) \cdot (1 + \cos 90)$$

$$V_{dc} = (3 \cdot \sqrt{3} \cdot 311 / 6,28) \cdot (1 + 0)$$

$$V_{dc} = 257 \text{ V}$$

- Çıkış akımı ortalama değeri,

$$I_{dc} = I_m = \sqrt{3} \cdot V_m / Z = 538 / 10 = 53,8 \text{ A}$$

- Ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 53,8 \cdot 257 = 13,82 \text{ kW}$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

$$I_A(rms) = I_m \cdot \sqrt{k}$$

$$I_A(rms) = \sqrt{3} \cdot V_m / Z \cdot \sqrt{[t_1 / (t_1 + t_2)]}$$

$$I_A(rms) = 538 / 10 \cdot \sqrt{(5 \text{ ms} / 10 \text{ ms})}$$

$$I_A(rms) = 37,66 \text{ A}$$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot 37,66 \cdot 220 = 24,85 \text{ kW}$$

- Endüktif yükte anahtar (diyot-tristör) gerilimi,

$$V_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

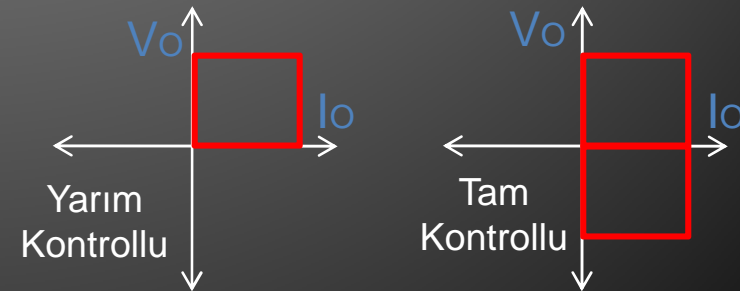
$$V_D \geq \sqrt{3} \cdot 311 \cdot 1,3 \geq 700 \text{ V}$$

- Endüktif yükte anahtar (diyot-tristör) akımı,

$$I_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m / R + \%30$$

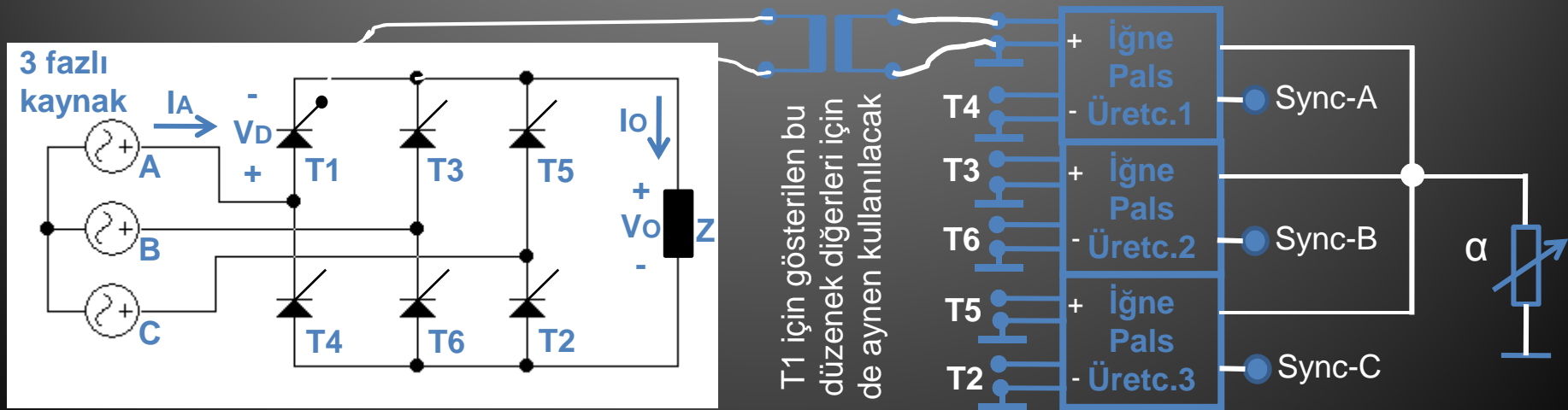
$$I_D \geq 53,8 \cdot 1,3 \geq 70 \text{ A}$$

- Bilindiği gibi yarım kontrollü köprünün endüktif yükte çalıştırılması durumunda yükten kaynağa doğru enerji transferi olamamakta ve aşağıdaki Şekil-4.137'den görüldüğü gibi doğrultucu sadece 1. bölgede çalışmaktadır. Doğrultucunun çift bölgede çalışabilmesi için tam kontrollü doğrultucu olması gerekecektir.

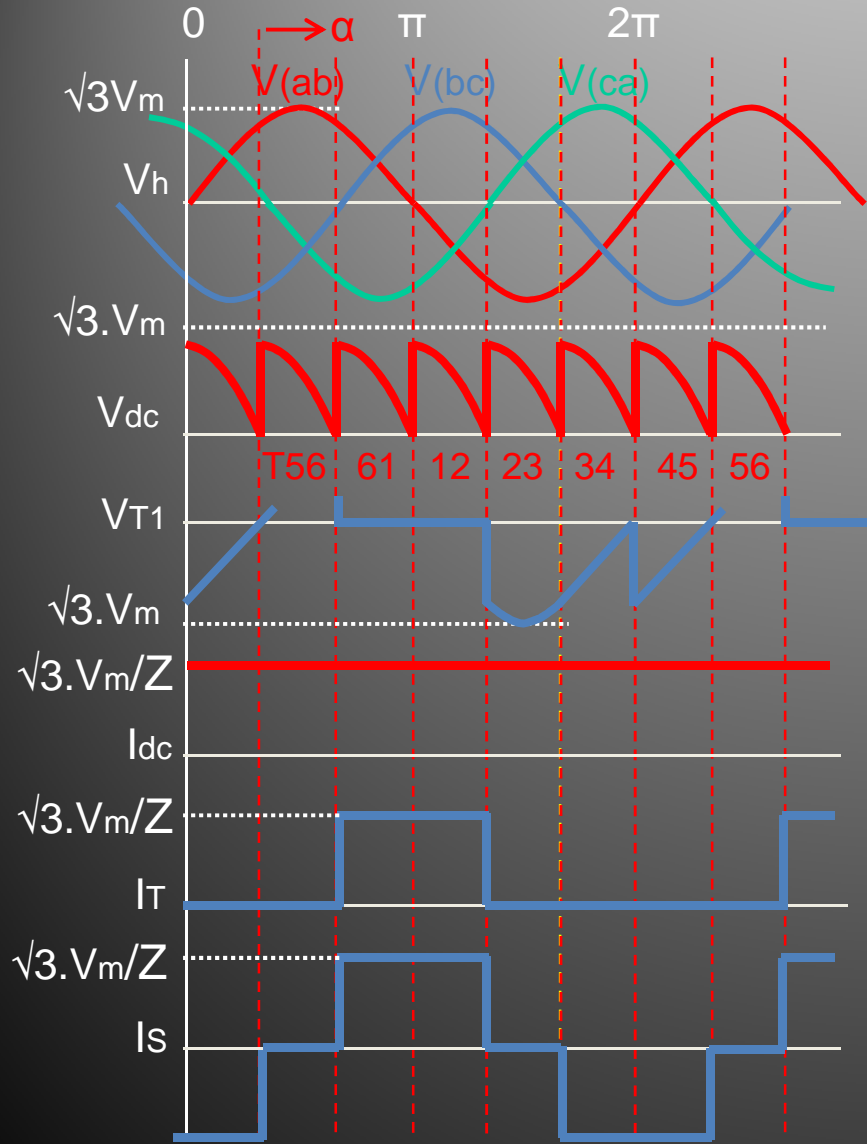


# IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3 fazlı tam kontrollü köprü doğrultucu (endüktif yükte);
- 3 fazlı tam kontrollü köprü doğrultucu güç devresi bağlantısı endüktif yük için Şekil-4.138'de gösterilmiştir.
- Bu devrede de 1 fazlı köprüde olduğu gibi köprüdeki tüm elemanlar tristördür ve serbest geçiş diyodu kullanılmamıştır.
- Şekilden görüldüğü gibi, 3 faz tam kontrollü köprü doğrultucu devresini sürmek için, daha önce 3 faz yarım dalga kontrollü doğrultucu devresini sürmekte kullanılan 3 fazlı uyarma devresi yalıtma yapılarak kullanılmıştır.
- Bu devreye ait temel dalga şekilleri aşağıda Şekil-4.139'da ayrıntılı olarak verilmiştir.



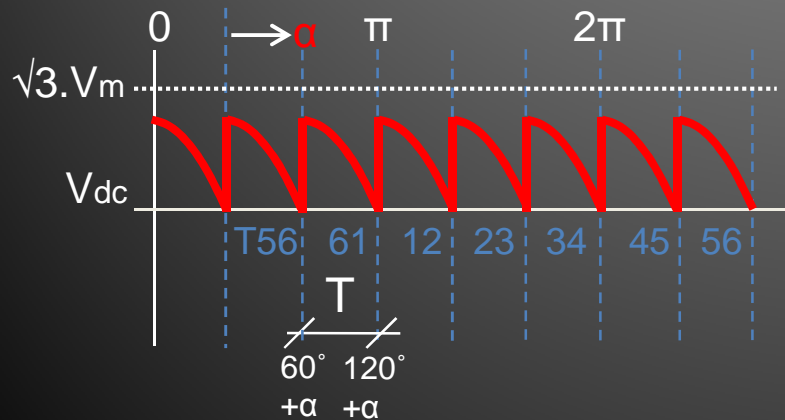
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Yan taraftaki dalga temel şekillerinden görülebileceği gibi, devredeki tristörler tıpkı 3 fazlı kontrolsüz köprüdeki diyotların doğal hareketlerinde olduğu gibi uyarılmışlardır.
- Burada kullanılan uyarma tekniği ile her bir tristör 120 derece iletimde tutulmakta, her 60 derecede eş değiştirmekte ve çıkışta hat gerilimini doğrultarak kontrol etmektedir.
- 60 derecelik uyarma açısı için çizilen bu şekilde negatif kısımlar oluşmamıştır. Açı büyüdükçe gerilim negatife doğru sarkmaktadır.

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış geriliminin ortalama değeri ( $V_{dc}$ );
- 3 fazlı tam kontrollü köprü doğrultucunun endüktif yükteki çıkış gerilim dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.140'da görüldüğü gibi olduğunu belirtmiştik. Bu durumda gerilim ortalama değeri için yandaki gibi olacaktır.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t).dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3+\alpha}^{2\pi/3+\alpha} \sqrt{3}.V_m \sin \omega t.d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{\pi} \int_{\pi/3+\alpha}^{2\pi/3+\alpha} \sin \omega t.d(\omega t)$$

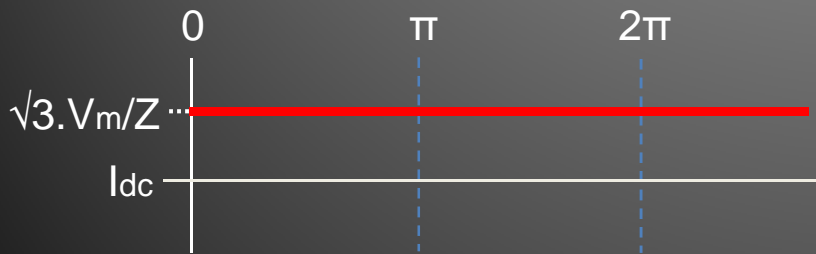
$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\pi/3+\alpha}^{2\pi/3+\alpha}$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{\pi} [-\cos(2\pi/3 + \alpha) + \cos(\pi/3 + \alpha)]$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}.V_m}{\pi} \cos \alpha$$

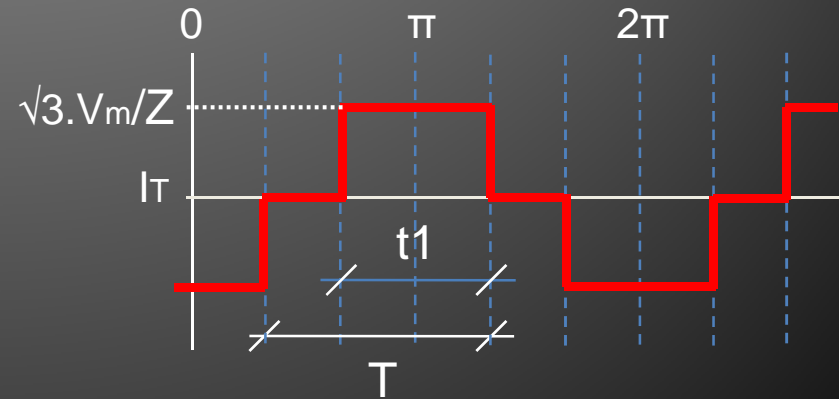
## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımının ortalama değeri ( $V_{dc}$ );
- 3 fazlı tam kontrollü köprü doğrultucunun endüktif yükteki çıkış akımı dalga şekli aşağıdaki Şekil-4.141'de görüldüğü gibidir. Bu durumda akımın ortalama değeri,  $I_{dc} = I_m = \sqrt{3} \cdot V_m / Z$  olacaktır.



- Ortalama çıkış gücü ( $P_{dc}$ );  $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$  'den bulunabilir.

- Kaynak akımının etkin değeri ( $I_{A(rms)}$ );  
Kaynağın bir fazından çekilen akım Şekil-4.142'de görülmekte olup etkin değeri,  $k = t_1 / (t_1 + t_2)$   
 $I_{S(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k}$   
 $I_{S(rms)} = (\sqrt{3} \cdot V_m / Z) \cdot \sqrt{k}$  eşitliğinden bulunabilecektir.





## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen toplam etkin güç ( $P_{S(rms)}$ );

$$P_{A(rms)} = I_{A(rms)} \cdot V_{f(rms)}$$

Üç fazdan çekilen toplam güç;

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot P_{A(rms)}$$

- Devrenin güç katsayısı ( $\cos\phi$ );

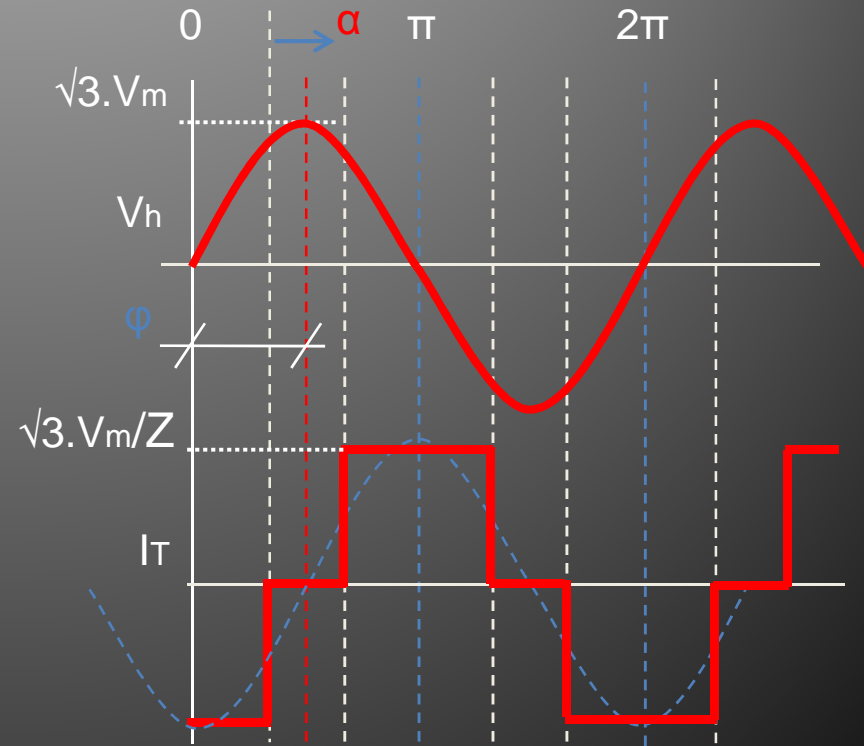
Kaynağın bir fazından çekilen akım ve ilgili hat gerilimi yan tarafta Şekil-4.143'de görülmektedir.

Şekilden görüldüğü gibi, kaynak akımı, kaynaktan çift yönlü ve kesikli olarak çekilmekte ve bu akım periyodik olarak değişmektedir.

- Bu durumda güç katsayısı,

$$\cos\phi = \cos(60^\circ + \alpha/2)$$

eşitliğinden bulunabilecektir.

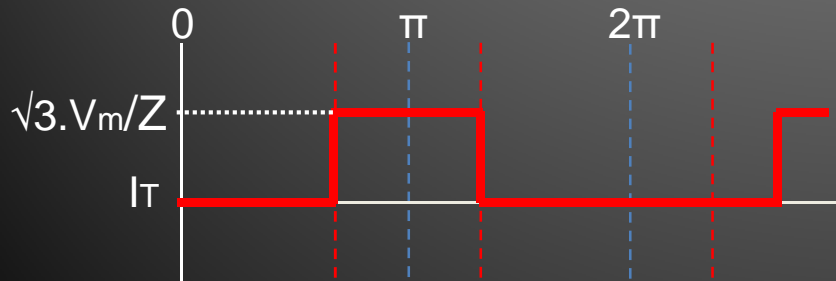


## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (diyot-tristör) akımı ( $I_T$ );

Devredeki anahtar (diyot-tristör) akımının dalga şekli Şekil-4.144'deki gibidir. Bu şekle göre anahtar akımı, diğer uygulamalarda da olduğu gibi, üzerinden geçen akımın tepe değerine en az %30 tolerans payı eklenerek bulunabilir.

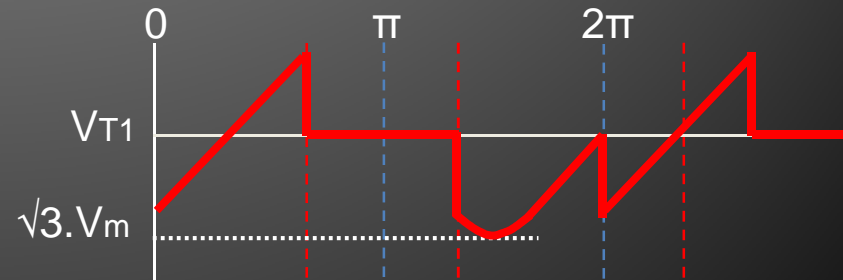
$$I_T = I_m + (\%30 \cdot I_m) = 1,3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m / Z$$



- Anahtar (diyot-tristör) gerilimi ( $V_T$ );

Devredeki anahtar (diyot-tristör) geriliminin dalga şekli Şekil-4.145'deki gibidir. Bu şekle göre anahtar gerilimi de, diğer uygulamalarda da olduğu gibi, üzerindeki gerilimin tepe değerine en az %30 tolerans payı eklenerek bulunabilir.

$$V_T = 1,3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m$$



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

### ■ Örnek:

- 220V/380V-50Hz şebekede  $90^\circ$  uyarda çalıştırılan 3 fazlı tam dalga tam kontrollü doğrultucu,
- a)  $10\Omega$ 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b)  $10\Omega$ 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

### ■ Çözüm:

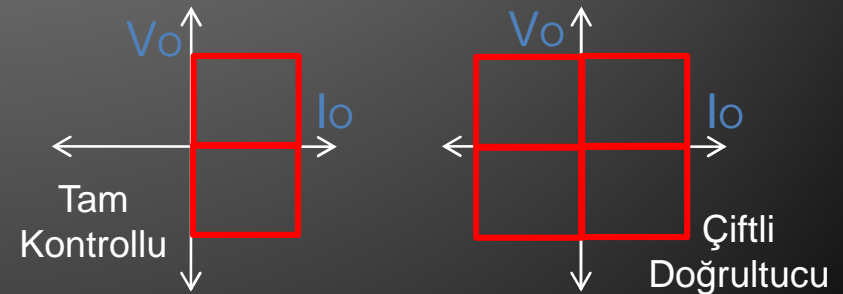
- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,  
Bu tür bir doğrultucu rezistif yükte kullanılmaz, kullanılacak olursa yarım kontrollü gibi olur.

- b) Çok endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,  
 $V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$   
 $V_{dc} = (3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m / \pi) \cdot \cos 90$   
 $V_{dc} = (3 \cdot \sqrt{3} \cdot 311 / 6,28) \cdot 0$   
 $V_{dc} = 0V$
- Çıkış akımı ortalama değeri,  
 $I_{dc} = I_m = \sqrt{3} \cdot V_m / Z = 538 / 10 = 53,8A$
- Ortalama çıkış gücü,  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$   
 $P_{dc} = 53,8 \cdot 0 = 0kW$  (ani değer).
- Kaynak akımının etkin değeri,  
 $I_A(rms) = I_m \cdot \sqrt{k}$   
 $I_A(rms) = \sqrt{3} \cdot V_m / Z \cdot \sqrt{[t_1 / (t_1 + t_2)]}$   
 $I_A(rms) = 538 / 10 \cdot \sqrt{(6,66ms / 10ms)}$   
 $I_A(rms) = 43,9A$

## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

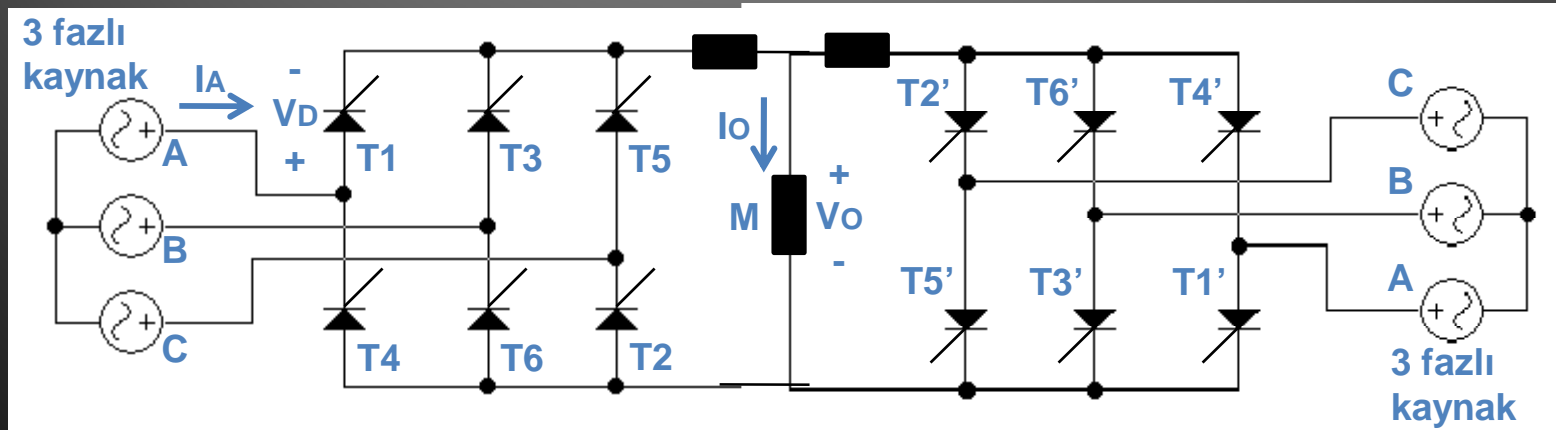
- Endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,  
 $P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
 $P_{S(rms)} = 3.43,9.220 = 28,97kW$
- Endüktif yükte anahtar (diyot-tristör) gerilimi,  
 $V_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$   
 $V_D \geq \sqrt{3} \cdot 311 \cdot 1,3 \geq 700V$
- Endüktif yükte anahtar (diyot-tristör) akımı,  
 $I_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m / R + \%30$   
 $I_D \geq 53,8 \cdot 1,3 \geq 70A$

- Bilindiği gibi tam kontrollü köprü doğrultucu çıkış gerilimi çok endüktif yükte, pozitif maksimum ile negatif maksimum arasında değişmekte ve doğrultucu çift yönlü çalışmaktadır.
- DC motorlarda yön değişimi için çiftli kullanılan bu devre ile Şekil-4.146'da görüldüğü gibi 4 bölge çalıştırılabilir.



## IV – AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3 fazlı tam kontrollü çift köprü doğrultucu;
- 3 fazlı tam kontrollü çift köprü doğrultucu güç devresi bağlantısı endüktif yük için Şekil-4.147’de gösterilmiştir.
- Bu devrede de 1 fazlı uygulamada olduğu gibi iki tan kontrollü köprü birbirine ters paralel olarak bağlanmıştır.
- Devrenin uyarılmasında ise daha önce açıklanan tam kontrollü uyarma düzeneğinden iki adet kullanılmalı ve bu devreler de 1 fazlı çift köprü doğrultucuda olduğu gibi bir lojik kontrol devresiyle kontrol edilmelidir.
- Bilindiği gibi bu devre tek tek ya da daima “ $\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$ ” şartını sağlayacak şekilde uyarılmalıdır.



# ÖDEV-10

- 10.1) 380V/220V-50Hz şebekede  $19\Omega$ 'luk saf rezistif bir yükü besleyen 3 fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucunun,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
  - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
  - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.
- 10.2) 380V/220V-50Hz şebekede,  $120^\circ$  uyarma açısında,  $22\Omega$ 'luk rezistif bir yükü besleyen 3 fazlı tam dalga yarım kontrollü doğrultucunun,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
  - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
  - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.
- 10.2) 380V/220V-50Hz şebekede,  $60^\circ$  uyarma açısında,  $10\Omega$ 'luk rezistif bir yükü besleyen 3 fazlı tam dalga tam kontrollü doğrultucunun,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
  - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
  - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

# Bölüm-5

## AC-AC

# Dönüştürücüler

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

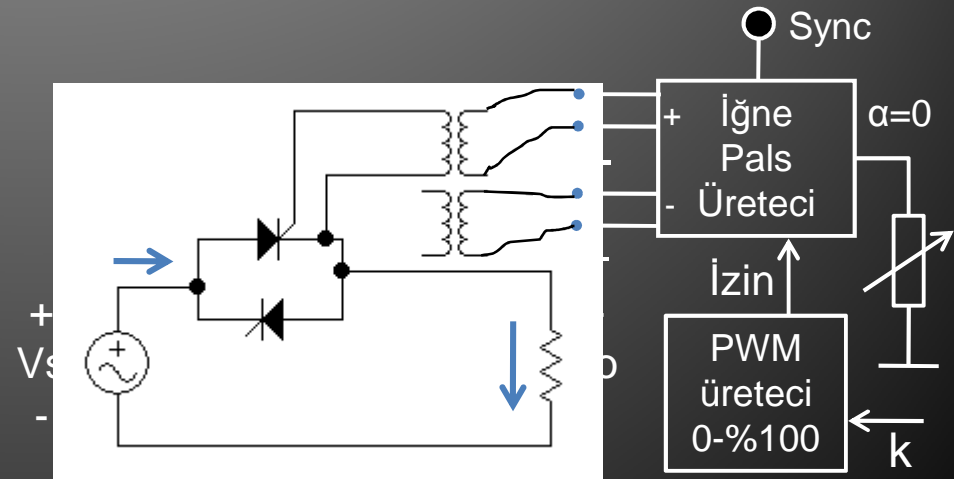
- **Giriş:**
- AC kıyıcılar (AC-AC dönüştürücüler), şebekeden aldıkları sabit genlik ve frekanslı AC gerilimi işleyerek çıkışına yine AC olarak veren güç elektroniği devreleridir.
- Bu devreleri genel olarak 2 gruba ayırmak mümkündür. Bu gruplar,
  - 1) AC voltaj kontrolcular,
  - 2) Direkt frekans çeviricilerdir.
- Bu gruplardan birincisi olan AC voltaj kontrolcular, girişine uygulanan AC gerilimin sadece genliğini kontrol eder.
  - İkinci grupta yer alan direkt frekans çeviriciler ise girişlerine uygulanan AC gerilimin hem genliğini hem de frekansını kontrol edebilmektedirler.
  - AC kıyıcılar bu özellikleriyle 3 farklı alanda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alanlar,
    - 1) Isı kontrolu,
    - 2) Işık kontrolu,
    - 3) Motor kontrolüdür.
  - Isı ve ışık (aydınlatma) kontrolunda sadece AC voltaj kontrolcular, motor kontrolunda ise her iki grup AC kıyıcı da kullanılabilir.



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

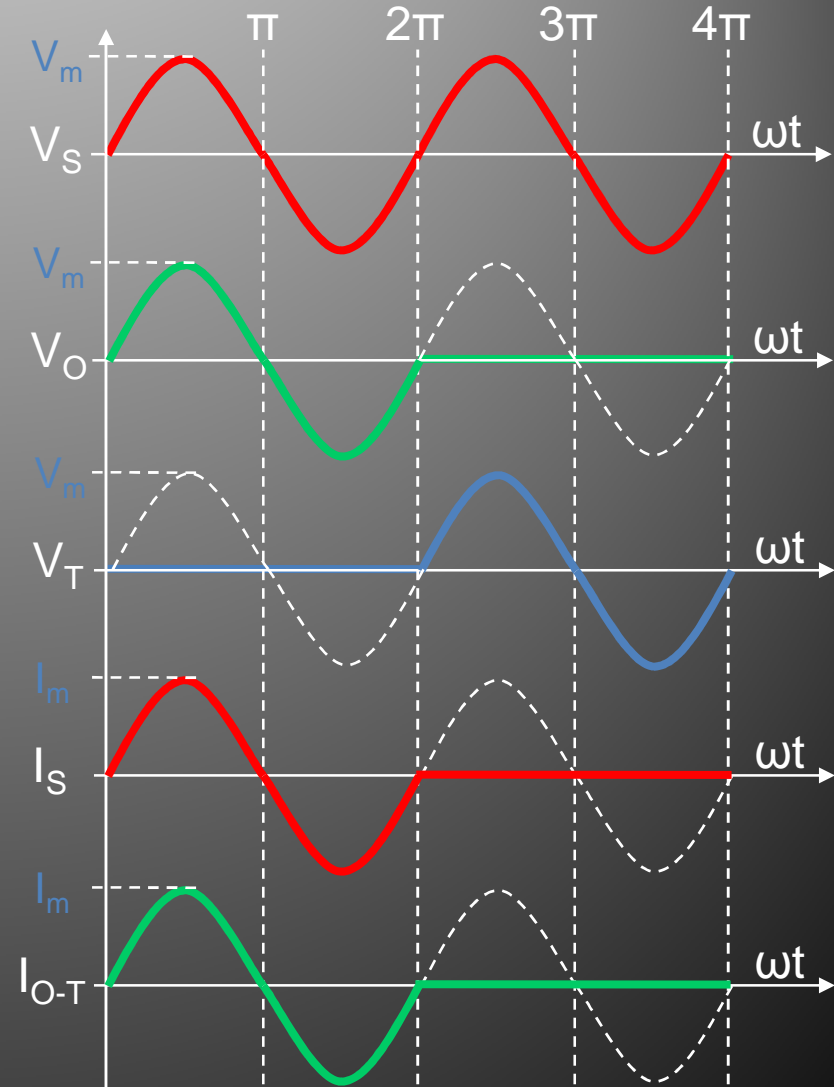
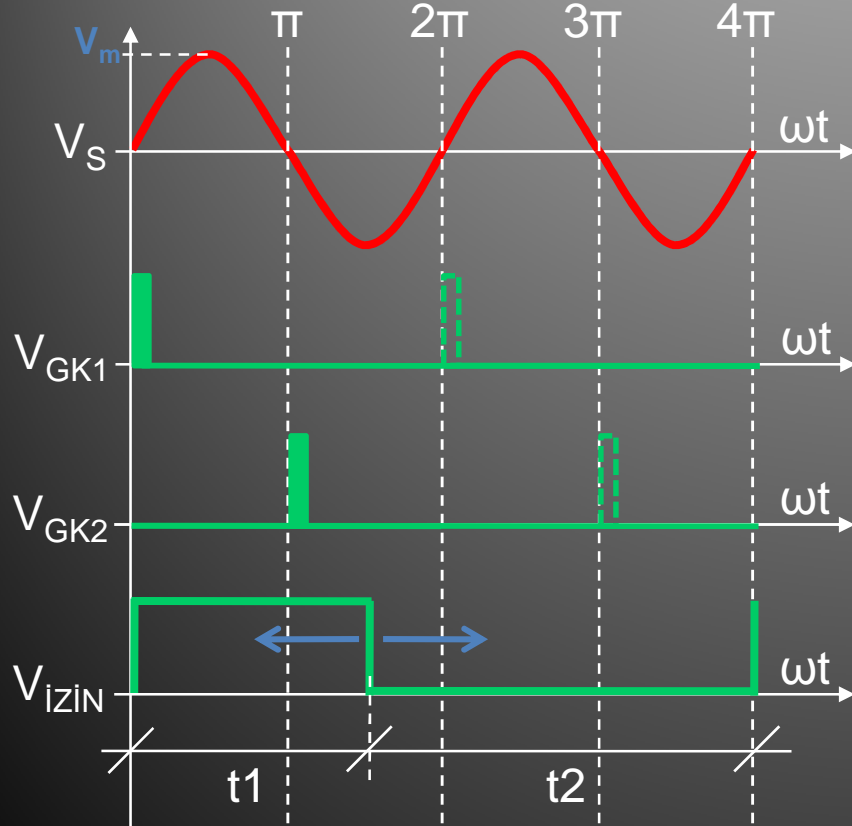
- Temel güç elemanı olarak tristör, triyak ve diyot kullanılan AC kıyılarının alt grupları ise aşağıda görüldüğü gibidir.
- **AC voltaj kontrolcular;**
  - 1) 1 fazlı AC voltaj kontrolcular,
    - 1a- Açma-kapama kontrollü,
    - 1b- Faz açısı kontrollü,
  - 2) 3 fazlı AC voltaj kontrolcular,
    - 2a- Açma-kapama kontrollü,
    - 2b- Faz açısı kontrollü,
- **Direkt frekans çeviriciler (DFÇ)**
  - 1) 1 fazdan-1 faza DFÇ,
  - 2) 3 fazdan-1 faza DFÇ,
  - 3) 3 fazdan-3 faza DFÇ.

- **1 Fazlı Açma-Kapama Kontrollü AC Voltaj Kontrolcu (rezistif yük);**
- Şekil-5.1'de 1 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcu devre bağlantısı görülmektedir. Görüldüğü gibi tristörler bir iğne pals üreticiyle pals üreticinin izin girişi ise bir PWM ile kontrol edilmektedir.



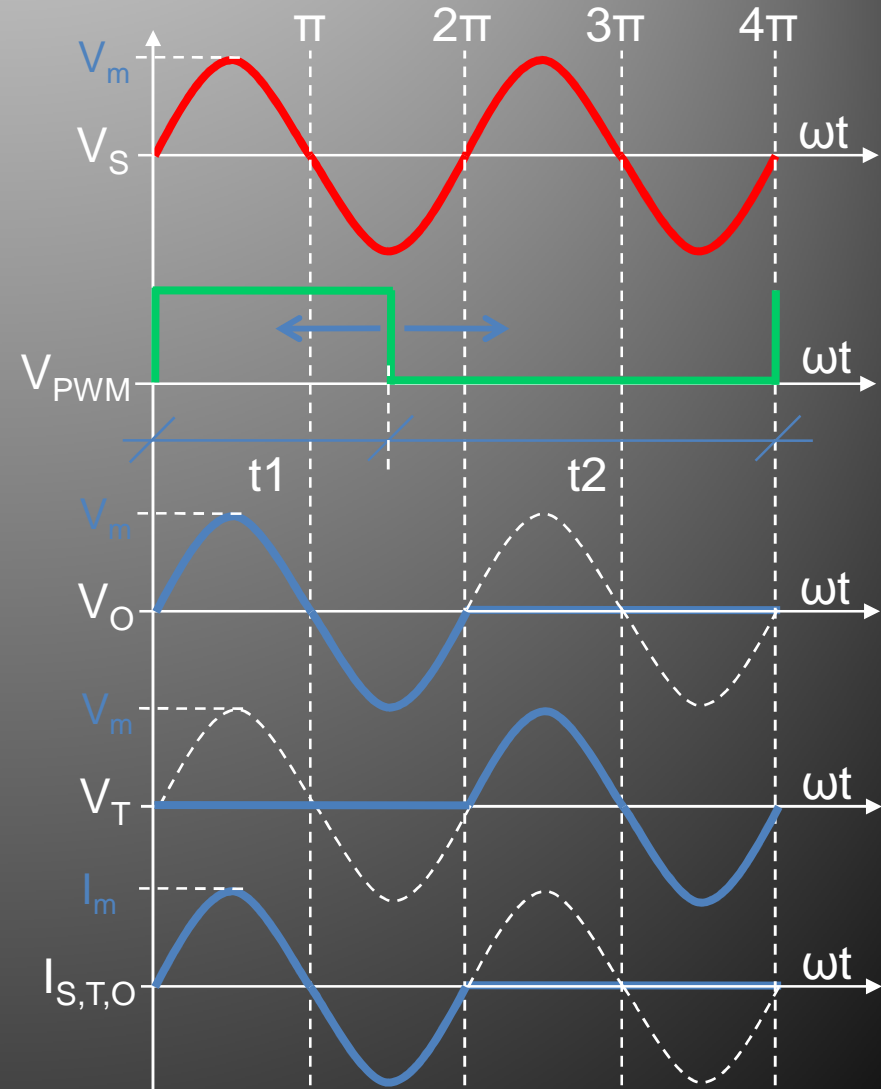
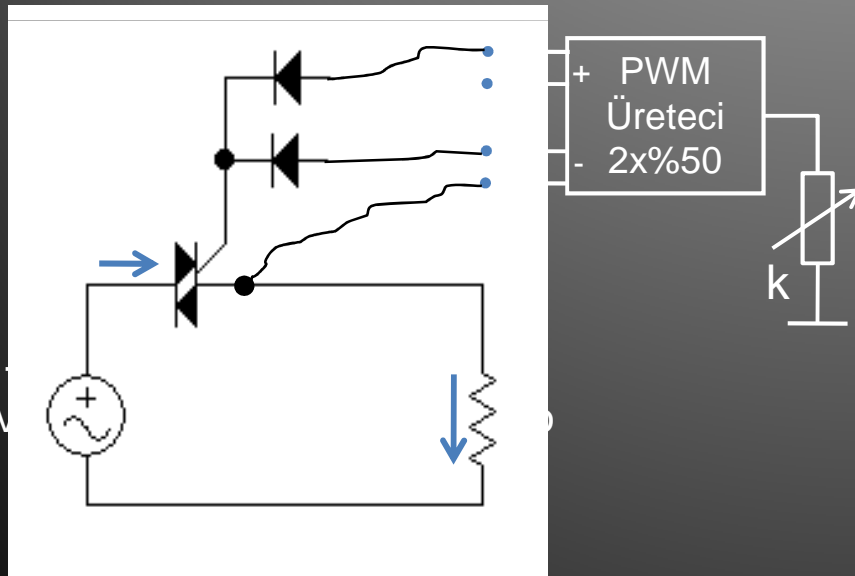
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Şekil-5.2'de devrenin uyarma, Şekil-5.3'de ise güç devresi dalga şekilleri eş zamanlı olarak verilmiştir.



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.1’de görülen açma kapama kontrollü AC voltaj kontrolcü devresini, düşük ve orta güçler için, Şekil-5.4 ve Şekil-5.5’de görüldüğü gibi sadece bir “triyak” kullanarak da yapmak mümkündür.

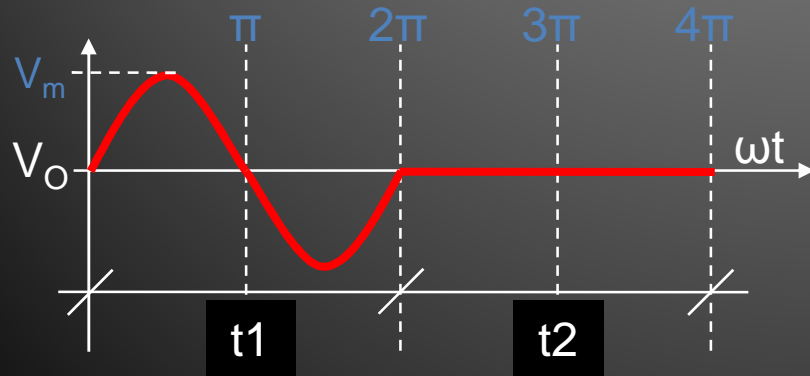


## V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.1 ve 5.5'den görüldüğü gibi 1 fazlı açma kapama kontrollü AC voltaj kontrolcu devresi hem birbirine ters paralel bağlanmış tristörlerle hem de triyak kullanarak yapılabilmektedir.
- Tristörler kullanıldığında iğne pals üretici alternansın hemen başında pals üretecek şekilde ayarlanıp, izin girişi bir PWM sinyali ile kontrol edilmektedir.
- Triyak kullanıldığında ise PWM sinyali doğrudan triyak girişine uygulanabilmekte ve açma-kapama kontrolü olmaktadır.
- Şekil-5.3 ve 5.5'de görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
  - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
  - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
  - 3) Etkin (rms) çıkış gücü,
  - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
  - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
  - 6) Güç katsayısı,
  - 7) Anahtar gerilimleri,
  - 8) Anahtar akımları,

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış gerilimin etkin değeri;
- 1 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcunun rezistif yükte çalıştırılmasında, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.6'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış gerilimi eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T} \int_0^T [v_o(t)]^2 dt}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot (\sqrt{2} \cdot V_{S(rms)})^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot 2 \cdot V_{S(rms)}^2}{2\pi} \cdot \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_0^{2\pi}}$$

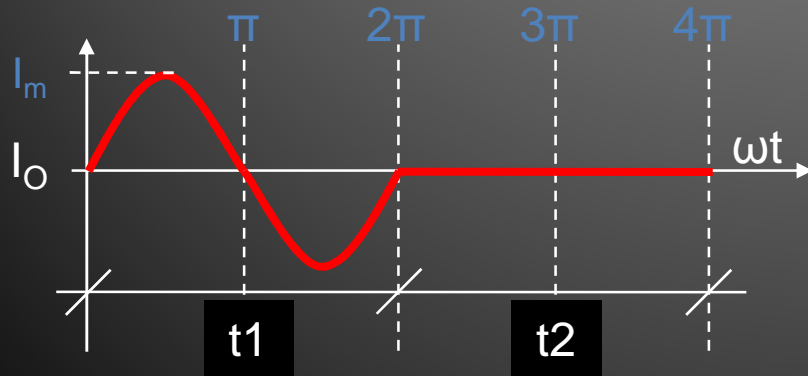
$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot V_{S(rms)}^2}{\pi} \cdot \left[ \left( \frac{2\pi}{2} - 0 \right) - (0) \right]}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot V_{S(rms)}^2}{\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{1} \right)} = \sqrt{k \cdot V_{S(rms)}^2}$$

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \cdot \sqrt{k} = V_{S(rms)} \cdot \sqrt{\frac{t_1}{t_1 + t_2}}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcunun rezistif yükte çalıştırılmasında, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-5.7'de dalga şekli verilen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış akımı eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T} \int_0^T [i_o(t)]^2 dt}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot (\sqrt{2} \cdot I_{S(rms)})^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot 2 \cdot I_{S(rms)}^2}{2\pi} \cdot \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_0^{2\pi}}$$

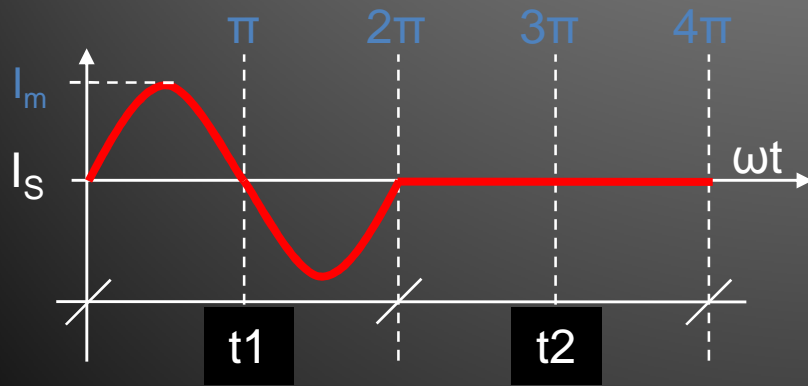
$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_{S(rms)}^2}{\pi} \cdot \left[ \left( \frac{2\pi}{2} - 0 \right) - (0) \right]}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_{S(rms)}^2}{\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{1} \right)} = \sqrt{k \cdot I_{S(rms)}^2}$$

$$I_{O(rms)} = I_{S(rms)} \cdot \sqrt{k} = \frac{V_{O(rms)}}{R}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Etkin çıkış gücü;
- Bilindiği gibi etkin çıkış gücü,  
 $P_{O(rms)} = I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın  
Şekil-5.8'deki gibi olduğunu  
belirtmiştik. Buna göre,



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T} \int_0^T [i_s(t)]^2 \cdot dt}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot (I_m)^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_0^{2\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left[ \left( \frac{2\pi}{2} - 0 \right) - (0) \right]}$$

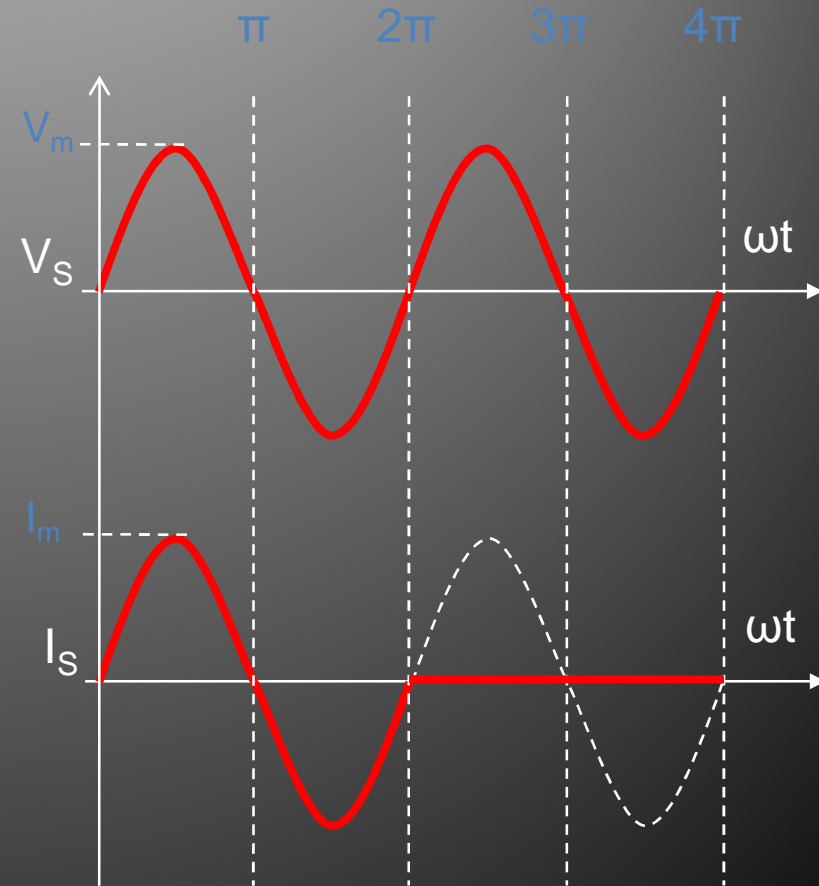
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{1} \right)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2}}$$

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{k} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{t_1}{t_1 + t_2}}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen güç;
- Bilindiği gibi etkin giriş gücü,  
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Güç katsayısı kaynaktan verilen gerilim ile kaynaktan çekilen akım arasındaki açının “cos” değeridir. Şekil-5.9’da kaynak gerilimi ve akımı görülmektedir.
- Buradan, kıyıcı iletimde (on) iken faz kayması olmadığı görülmektedir.

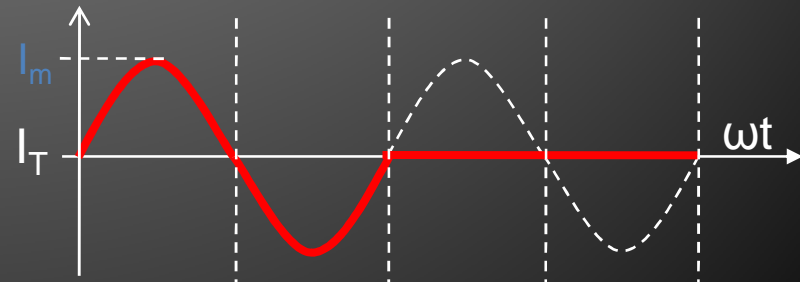
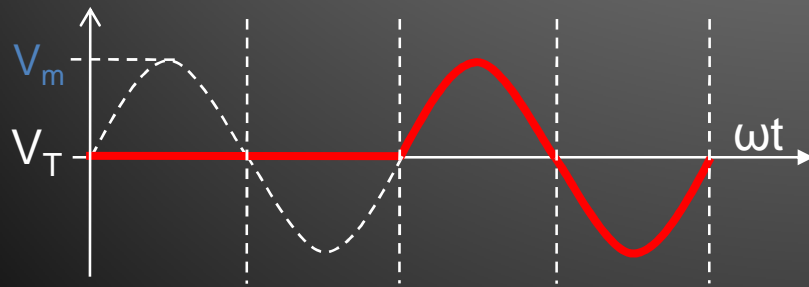
- Kıyıcı yalıtıma (off) geçtiğinde ise akımın olmadığı görülmektedir.





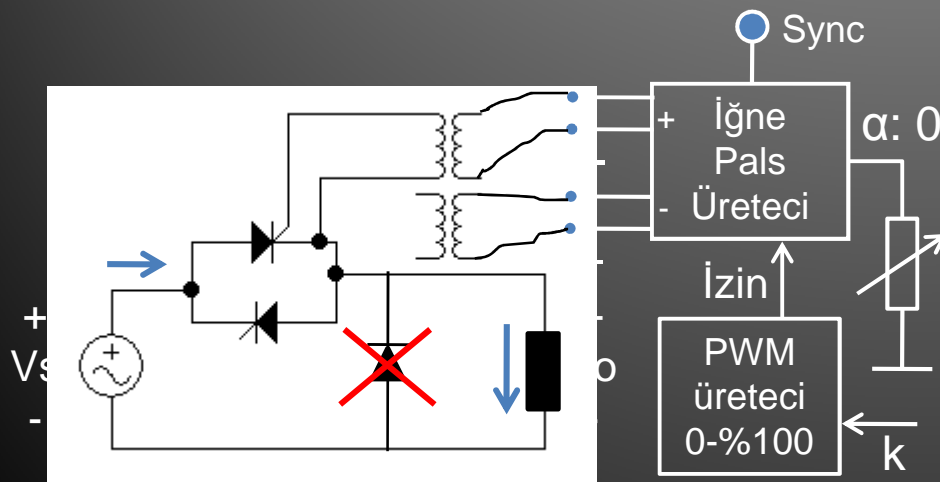
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (tristör) gerilimi;
- Bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının gerilimi, bloke ettikleri gerilimin tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki gerilim Şekil-5.10'daki gibi olduğuna göre anahtar gerilimi,
- $V_T = V_m + (30\% \cdot V_m) = 1,3 \cdot V_m$  olarak hesaplanabilmektedir.
- Anahtar (tristör-triyak) akımı;
- Yine bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının üzerlerinden geçirilen akımın tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki akım Şekil-5.11'deki gibi olduğuna göre anahtar akımı,
- $I_T = I_m + (30\% \cdot I_m) = 1,3 \cdot I_m$  olarak hesaplanabilmektedir.



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

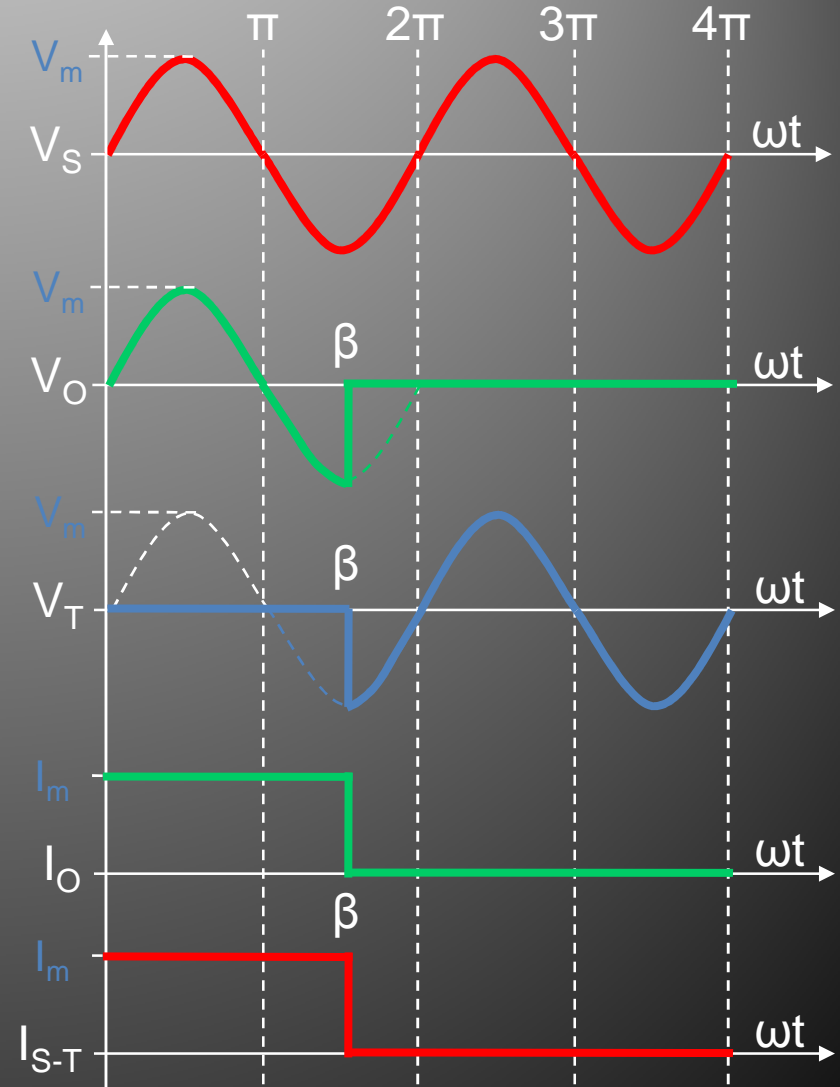
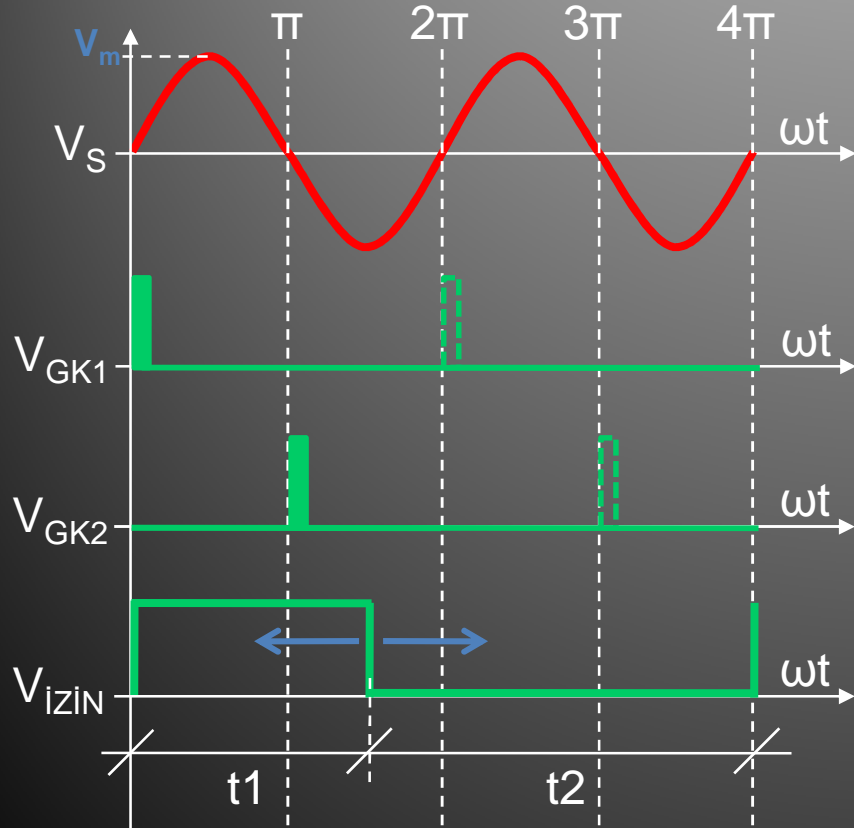
- 1 Fazlı Açma-Kapama Kontrollü AC Voltaj Kontr. (endüktif yük);
- Şekil-5.12'de 1 fazlı açma-kapama kontrollü tristörlü AC voltaj kontrolcu devresinin endüktif yükte bağlantısı görülmektedir. Devrede yüke ters paralel serbest geçiş diyodu kullanılmamaktadır.



- Şekil-5.12'de görülen devrede endüktif yük kullanılması durumunda, özellikle kaynak frekansına yakın frekanslarda (10Hz-50Hz) anahtarlama yapıldığında, özellikle yükün çok endüktif olması durumlarında, yük üzerindeki enerjinin boşalması nedeniyle tristörler hemen yalıtıma geçememekte ve dolayısıyla da paralelindeki tristörün de hemen ilettime geçmesine engel olmaktadır.
- Devreye ait dalga şekilleri Şekil-5.13-5.14'de verilmiştir.

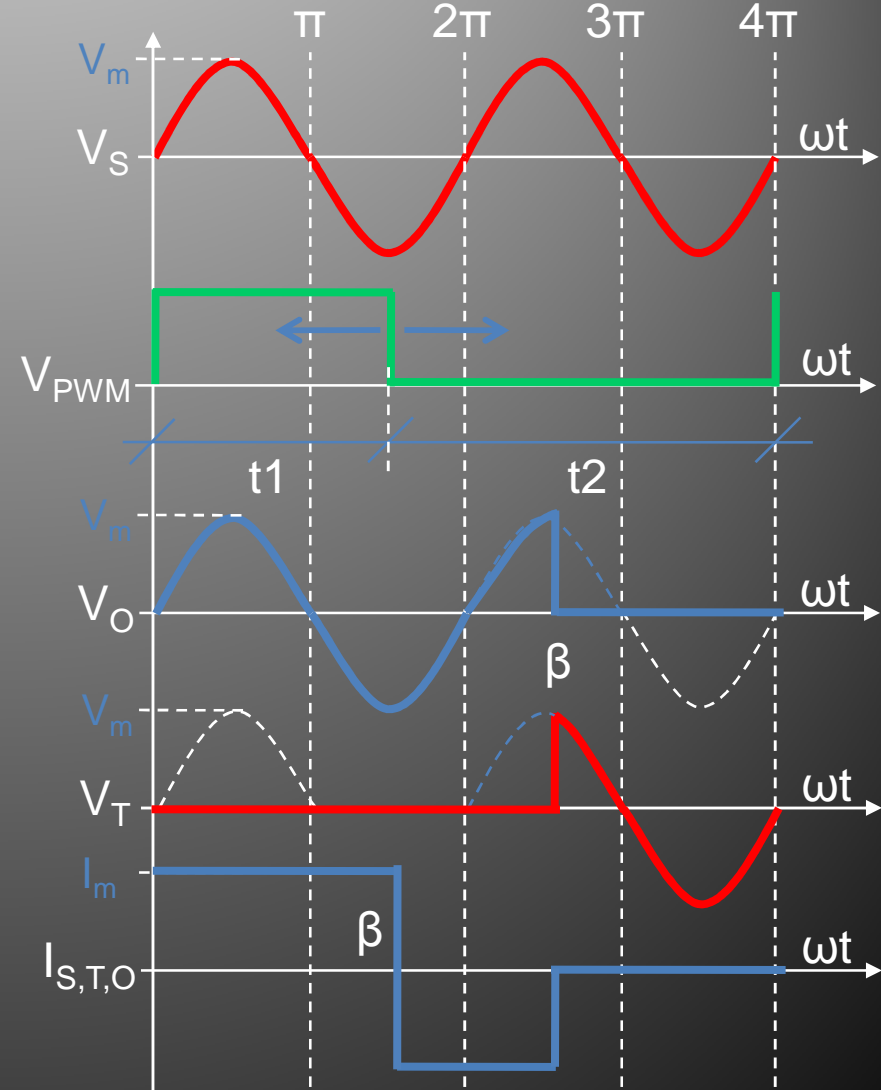
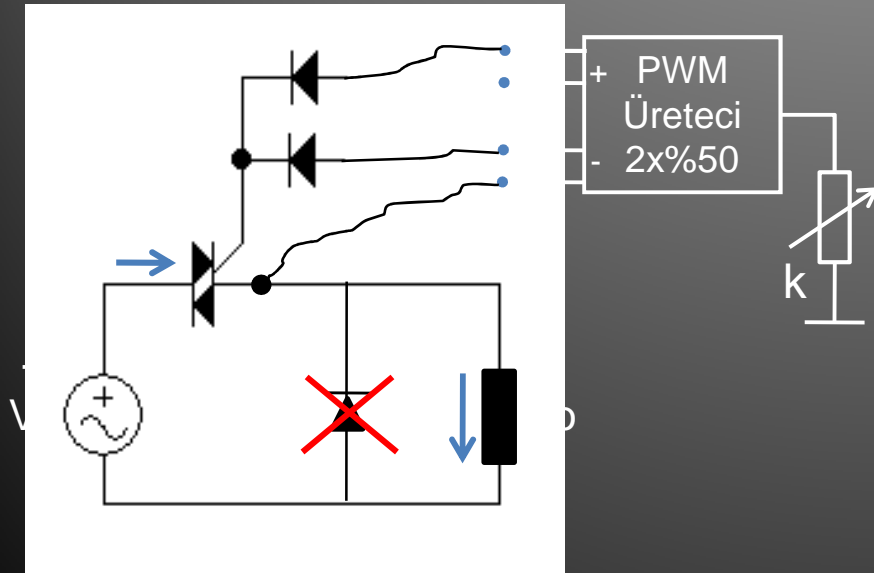
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Şekil-5.13'de devrenin uyarma, Şekil-5.14'de ise güç devresi dalga şekilleri eş zamanlı olarak verilmiştir.



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.12’de görülen açma kapama kontrollü AC voltaj kontrolcü devresinin triyak ile yapılmış olan versiyonunun endüktif yük altında çalışması Şekil-5.15 ve 5.16’da ayrıntılı olarak görülmektedir.



## V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Her iki devreden de görüldüğü gibi, yük endüktif olmasına rağmen serbest geçiş diyodu kullanılamamıştır. Bunun nedeni çıkış geriliminin AC olmasıdır. Bağlanacak olan diyot hangi yönde olursa olsun kısa devreye yol açacaktır.
- Dalga şekillerinden görüldüğü gibi, serbest geçiş diyodu kullanılmadığı için tristörler veya triyak yük tarafından fazladan iletimde tutulmakta ve ancak yükün enerjisi bittiğinde (“ $\beta$ ” açısında) tristör veya triyak yalıtıma geçebilmektedir.
- Bu durumda daha önceki devrelerde olduğu gibi temel dalga şekillerinden yararlanarak genel eşitlikler çıkartılamayacaktır.
- Bunun nedeni, yükün endüktiflik derecesine göre dalga şeklinin uzaması veya kısalmasıdır.
- Düşük endüktifliğe sahip olan yüklerde bu devreler aynen kullanılıp oluşan dalga şekillerine göre hesaplama yapılabilir. Yüksek endüktif yüklerde ise kontrollü bir serbest geçiş kullanılmalıdır.

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Açma kapama kontrolü yöntemi incelemelerden de görüldüğü gibi, kesikli yapısı gereği, AC voltaj kontrolcularının temel kullanım alanlarından olan motor kontrolunda ve ışık kontrolunda kullanılamaz.
- Kullanıldığı taktirde motorlarda kesik kesik enerjilenmeden dolayı performans kaybı oluşur. Aynı şekilde ışığın düşük frekansta yanıp sönmesi kontrol değildir.
- Bu yöntem sadece ısı kontrolunda çok verimli olarak kullanılmaktadır.
- **Örnek:**
  - 220V-50Hz şebekede 10Hz ferkanslı %50 etkin periyotlu uyarmada çalıştırılan açma kapama kontrollü 1 fazlı AC kıyıcı devresinin,
    - a) 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
    - b) 10Ω'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
  - **Çözüm:**
    - a) Rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,  
$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \cdot \sqrt{k}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$k = t_1 / (t_1 + t_2) = \%50 = 0,5$$

$$V_{O(rms)} = 220V \cdot \sqrt{0,5}$$

$$V_{O(rms)} = 155,56V$$

- Çıkış akımı etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 155,56 / 10$$

$$I_{O(rms)} = 15,5A$$

- Etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$$

$$P_{O(rms)} = 155,5 \cdot 15,5 = 2,41kW$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

$$I_m = V_m / R = 220 \cdot \sqrt{2} / 10 = 31,1A$$

$$I_{S(rms)} = (I_m / \sqrt{2}) \cdot \sqrt{k}$$

$$I_{S(rms)} = (31,1 / 1,41) \cdot \sqrt{0,5}$$

$$I_{S(rms)} = 15,5A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 15,5 \cdot 220 = 3,41kW$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + \%30$$

$$V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) akımı,

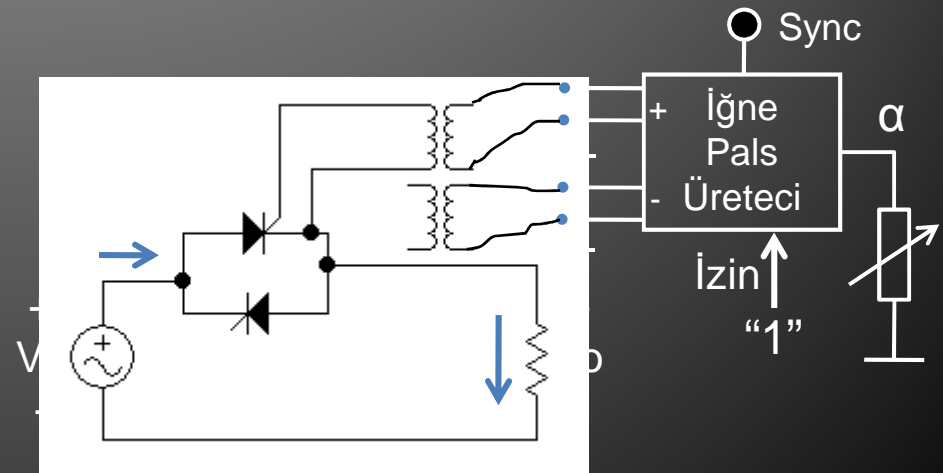
$$I_D \geq V_m / R + \%30$$

$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

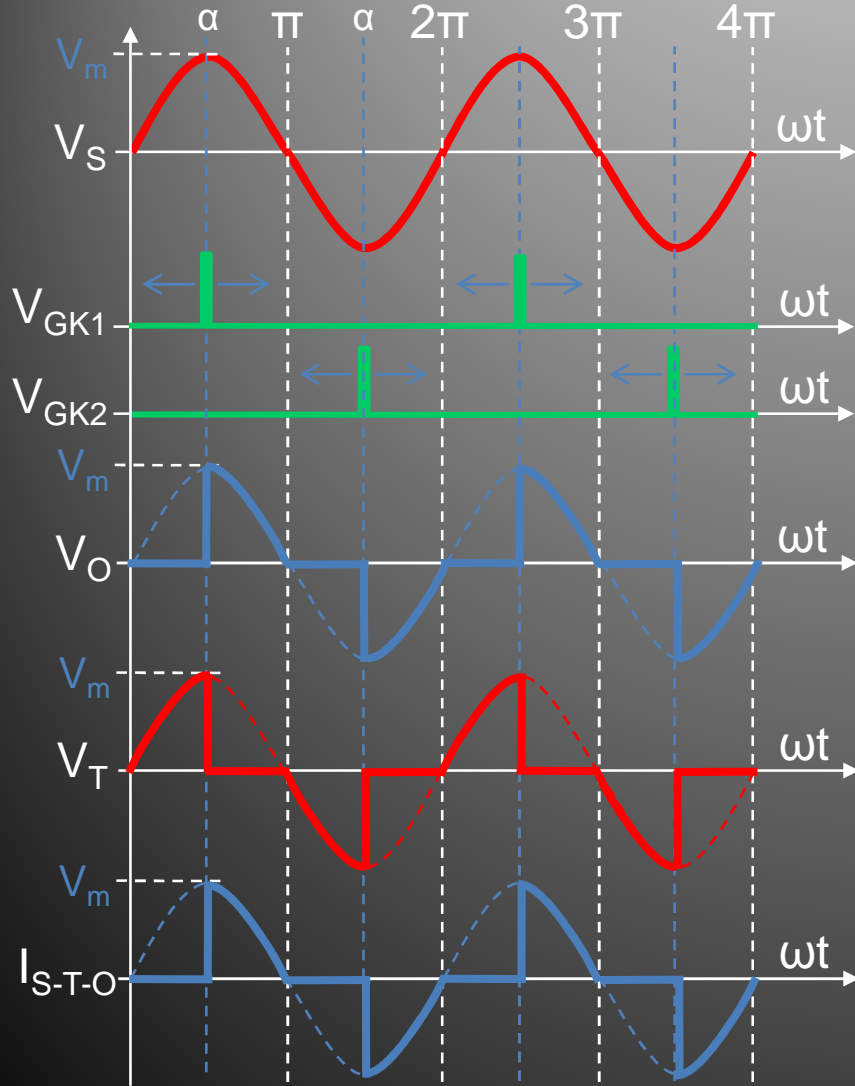
- AC voltaj kontrolcularda kullanılan ikinci kontrol yönteminin “faz açısı kontrolü” yöntemi olduğunu belirtmiştik.
- Bu yöntemde devrede kullanılan tristörler veya triyak hiç ara vermeden tüm alternanslarda sürekli olarak uyarılmaktadır.
- Çıkış geriliminin değiştirilmesi işlemi ise tristör veya triyakların uyarma açılarının  $0-180^\circ$  arasında değiştirilmesiyle olmaktadır. Işık (dimmer) ve motor kontrolünde kullanılan bu yöntem yanda incelenmiştir.

- 1 Fazlı Faz Açısı Kontrollü AC Voltaj Kontrolcu (rezistif yükte);
- Şekil-5.17’de 1 fazlı faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcu devre bağlantısı görülmektedir. Devreyenin çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri ise Şekil-5.18’de ayrıntılı olarak verilmiştir.





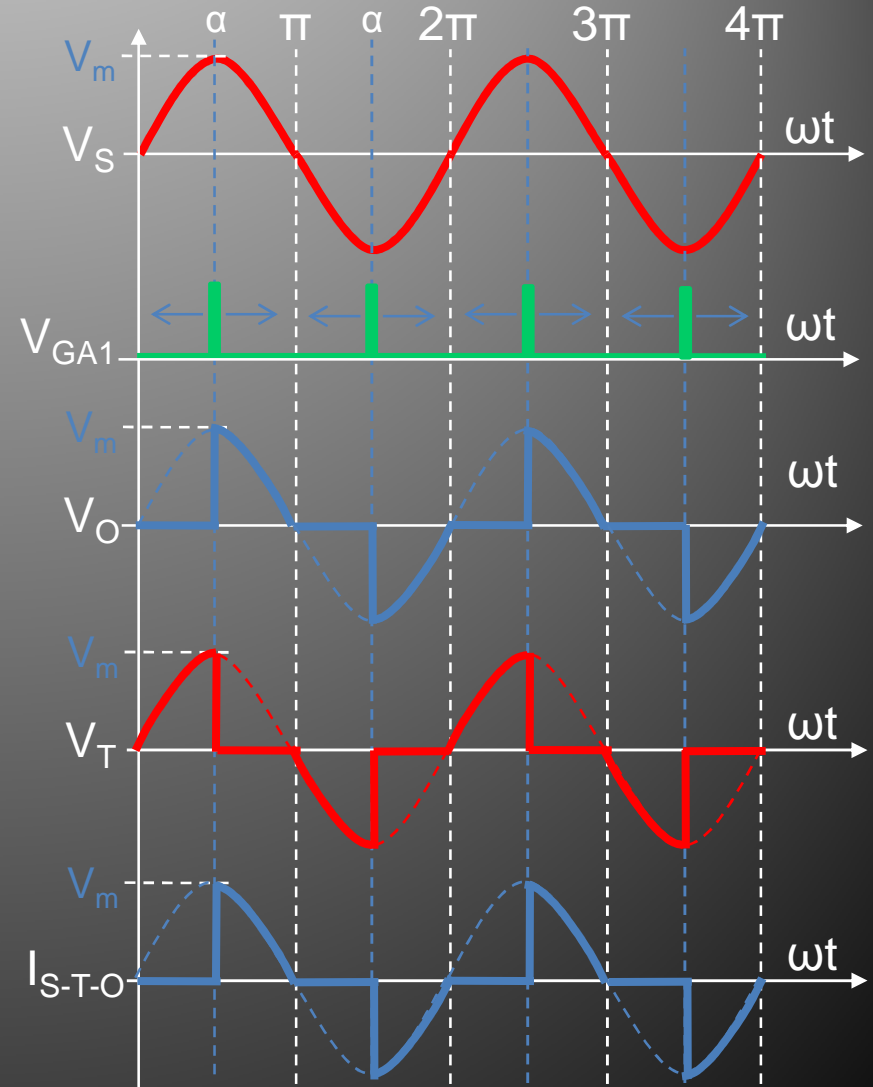
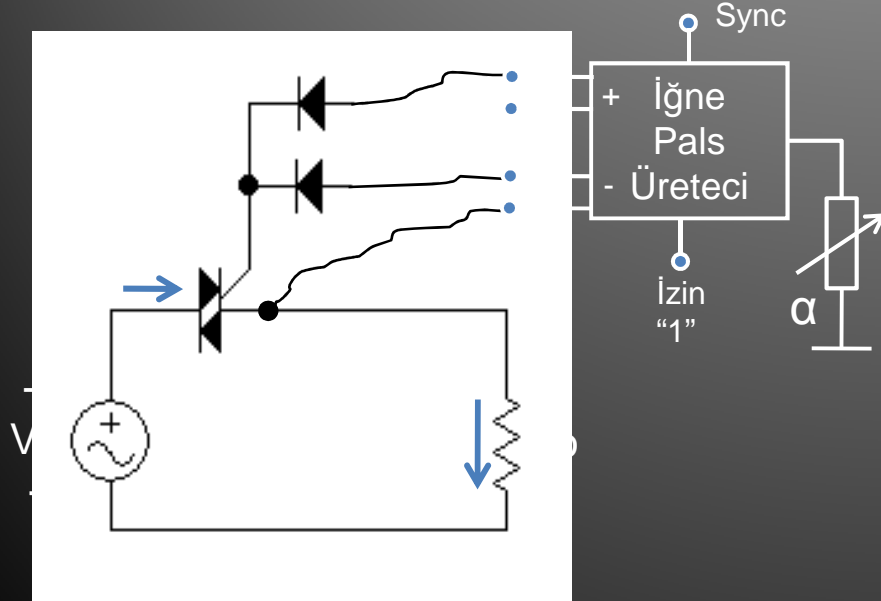
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Şekil-5.18'den görüldüğü gibi her iki tristöre de sürekli olarak kendi alternanslarında puls verilmekte ve uyarılmaktadır.
- Her iki tristörün de uyarma açıları kendi alternansları içinde  $0^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında ayarlanabilmektedir.
- Bu sayede de şekilden görüldüğü gibi devre çıkışındaki AC gerilimin etkin değeri sıfır ile kaynak gerilimi arasında değiştirilebilmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi devrede kaynak, anahtar ve yük akımları tamamen aynıdır.

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.17’de görülen faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcu devresini, düşük ve orta güçler için, Şekil-5.19 ve Şekil-5.20’de görüldüğü gibi sadece bir “triyak” kullanarak da yapmak mümkün olmaktadır.

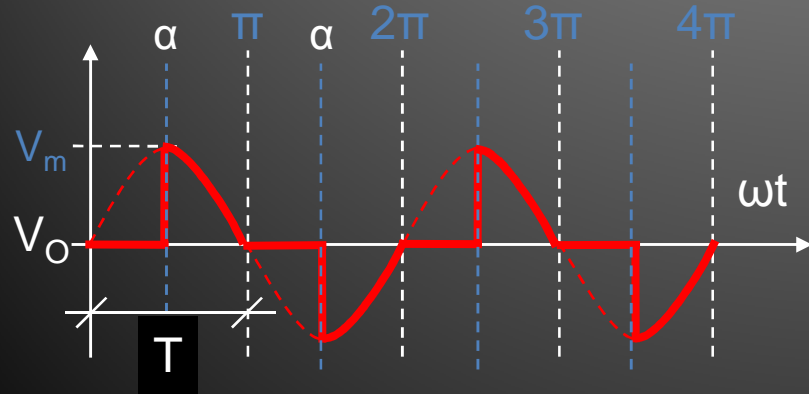


# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.17 ve 5.19'dan görüldüğü gibi 1 fazlı faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcu devresi hem birbirine ters paralel bağlanmış tristörlerle hem de triyak kullanarak yapılabilmektedir.
- Tristörler kullanıldığında iğne pals üretici her bir tristöre ait alternansın istenilen derecesinde ( $\alpha$ ) uyarılmasını sağlamaktadır.
- Triyak kullanıldığında ise yine aynı tristör uyarma devresi kullanılmakta ve triyak her iki alternansta da uyarılmaktadır.
- Şekil-5.18 ve 5.20'de görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
  - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
  - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
  - 3) Etkin (rms) çıkış gücü,
  - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
  - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
  - 6) Güç katsayısı,
  - 7) Anahtar gerilimleri,
  - 8) Anahtar akımları,

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış gerilimin etkin değeri;
- 1 fazlı faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcunun rezistif yükte çalıştırılmasında, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.21’de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış gerilimi eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v_o(t)]^2 dt}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \cdot \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

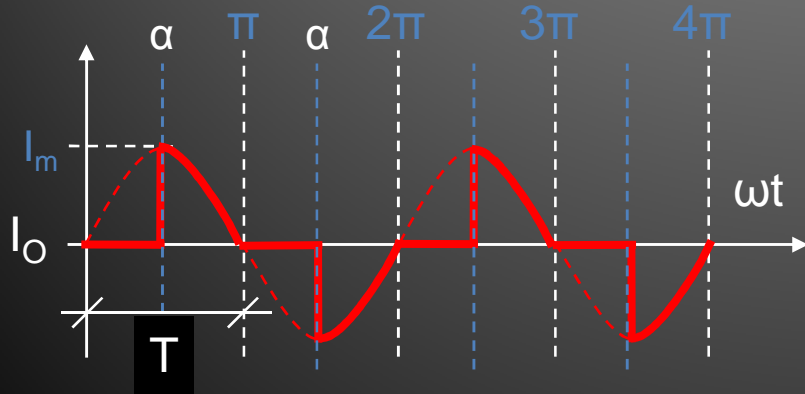
$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \cdot \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\sin 2\pi}{4} \right) - \left( \frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) \right]}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{1} - \frac{\alpha}{1} + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcunun rezistif yükte çalıştırılmasında, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-5.22'de verilen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış akımı eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_o(t)]^2 dt}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

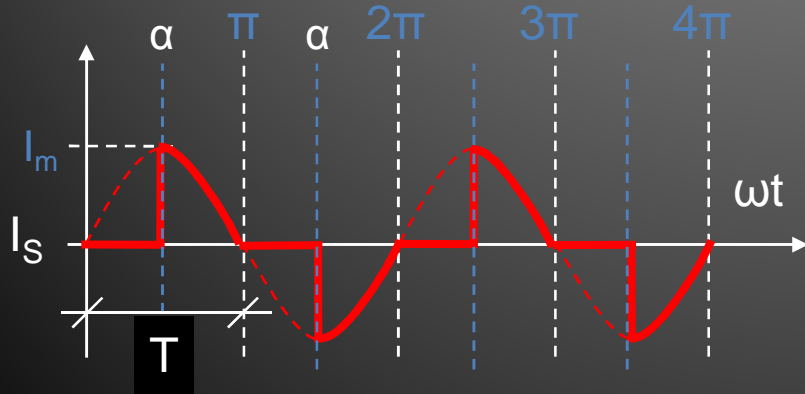
$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\sin 2\pi}{4} \right) - \left( \frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) \right]}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left( \frac{\pi}{1} - \frac{\alpha}{1} + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

$$I_{O(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} = \frac{V_{O(rms)}}{R}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Etkin çıkış gücü;
- Bilindiği gibi etkin çıkış gücü,  
 $P_{O(rms)} = I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın  
Şekil-5.23'deki gibi olduğunu  
belirtmiştik. Buna göre,



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_s(t)]^2 \cdot dt}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \cdot \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \cdot \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\sin 2\pi}{4} \right) - \left( \frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) \right]}$$

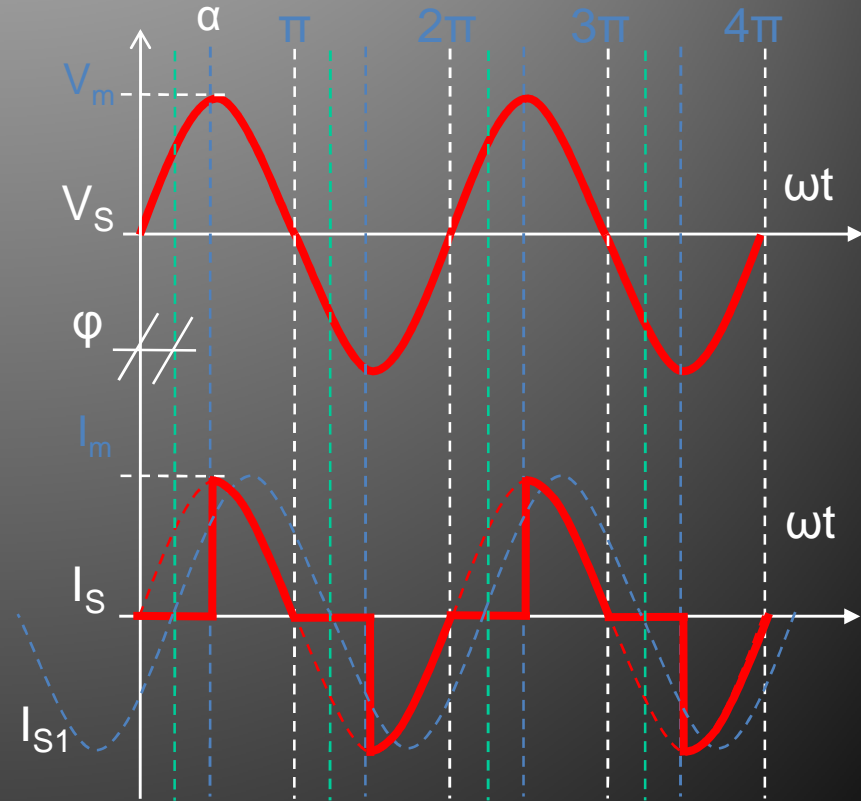
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{1} - \frac{\alpha}{1} + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

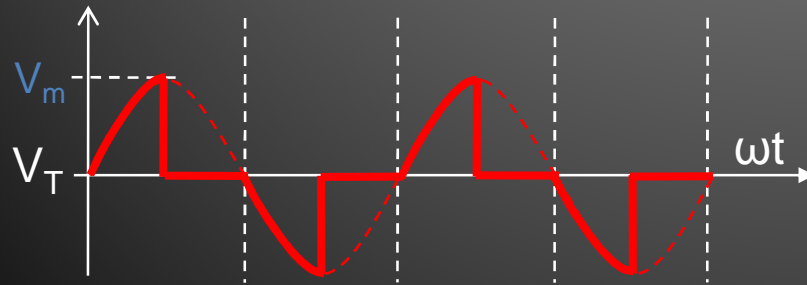
- Kaynaktan çekilen güç;
- Bilindiği gibi etkin giriş gücü,  
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Güç katsayısı kaynaktan verilen gerilim ile kaynaktan çekilen akım arasındaki açının “cos” değeridir. Şekil-5.24’de kaynak gerilimi ve akımı görülmektedir. Buradan, devre çıkışındaki yükün rezistif olmasına rağmen “ $\phi$ ” kadarlık bir faz kaymasının olduğu görülmektedir

- Bu durumda güç katsayısı,  
 $\cos\phi = \cos(\alpha/2)$   
olacaktır.

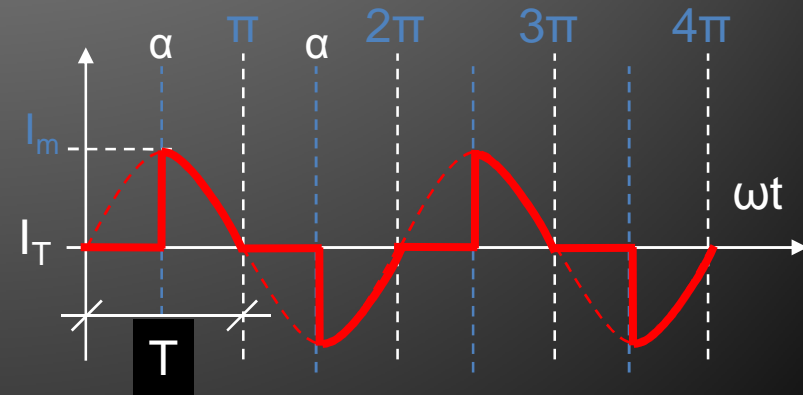


# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (tristör) gerilimi;
- Bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının gerilimi, bloke ettikleri gerilimin tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki gerilim Şekil-5.25'deki gibi olduğuna göre anahtar gerilimi,
- $V_T = V_m + (30\% \cdot V_m) = 1,3 \cdot V_m$  olarak hesaplanabilmektedir.



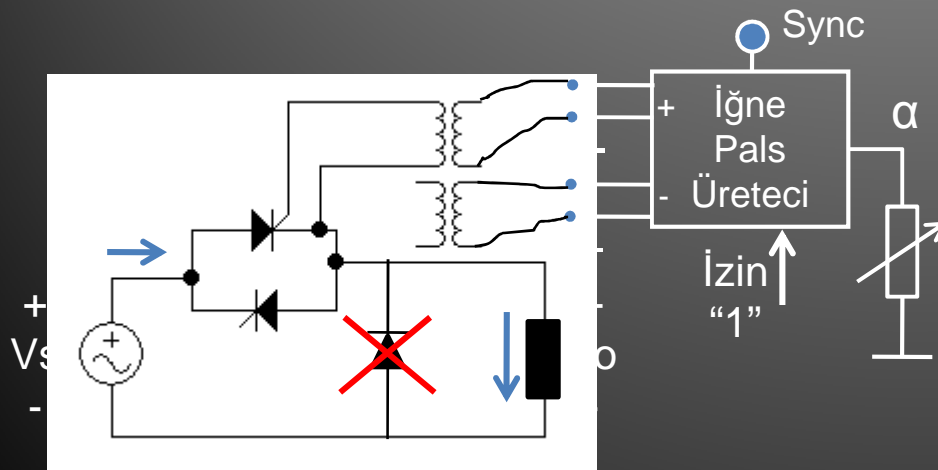
- Anahtar (tristör-triyak) akımı;
- Yine bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının üzerlerinden geçirilen akımın tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki akım Şekil-5.26'daki gibi olduğuna göre anahtar akımı,
- $I_T = I_m + (30\% \cdot I_m) = 1,3 \cdot I_m$





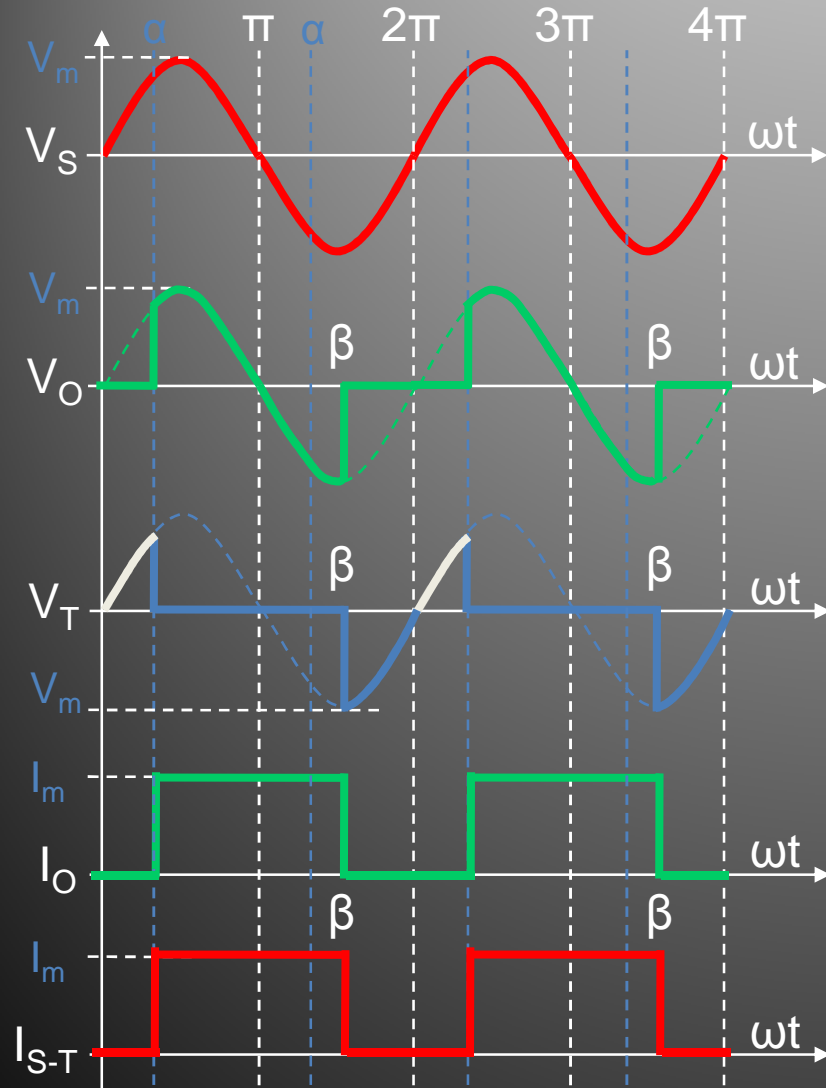
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1 Fazlı Faz Açısı Kontrollü AC Voltaj Kontr. (endüktif yükte);
- Şekil-5.27’de 1 fazlı faz açısı kontrollü tristörlü AC voltaj kontrolcü devresinin endüktif yükte bağlantısı görülmektedir. Devrede yine yüke ters paralel olarak bağlanan serbest geçiş diyodu kullanılmamaktadır.



- Şekil-5.27’de görülen devrede endüktif yük kullanılması durumunda, özellikle yükün çok endüktif olması durumlarında, yük üzerindeki enerjinin boşalması nedeniyle tristörler hemen yalıtıma geçememekte ve dolayısıyla da paralelindeki tristörün de hemen ilettime geçmesine engel olmaktadır. Bu durumda dere sanki yarım dalga kontrollü doğrultucuymuş gibi çalışmaktadır.
- Devreye ait dalga şekilleri Şekil-5.28’de verilmiştir.

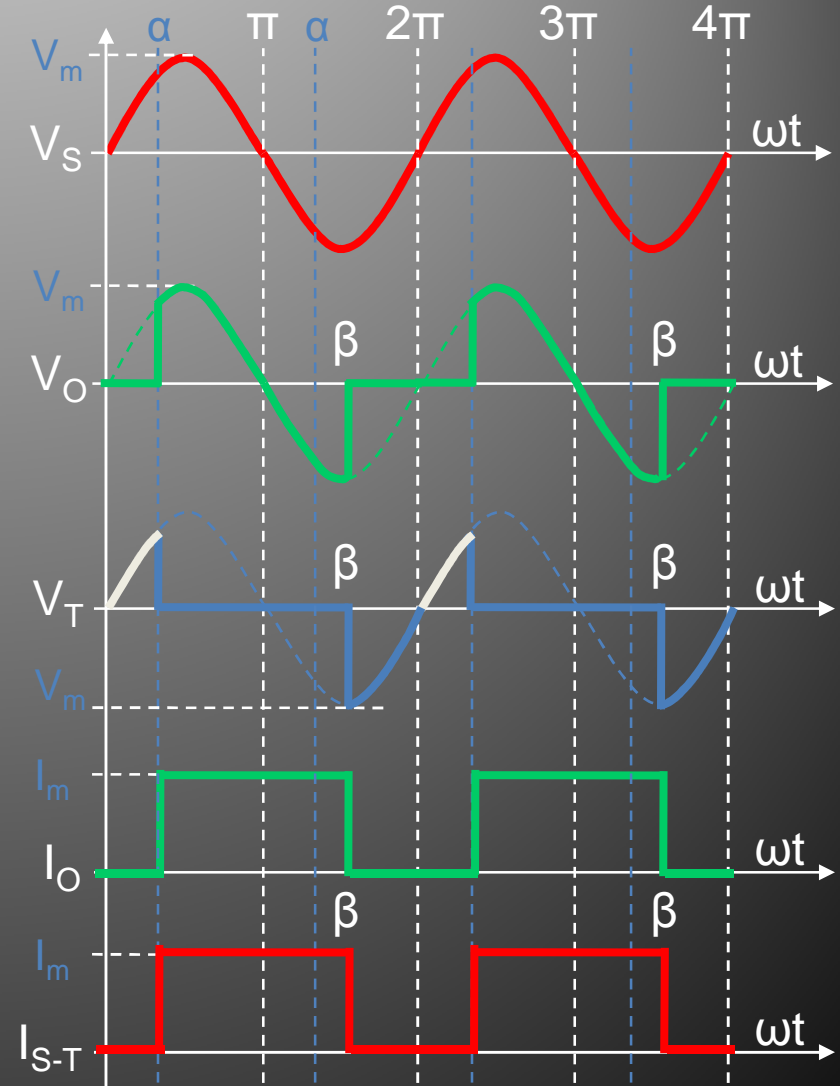
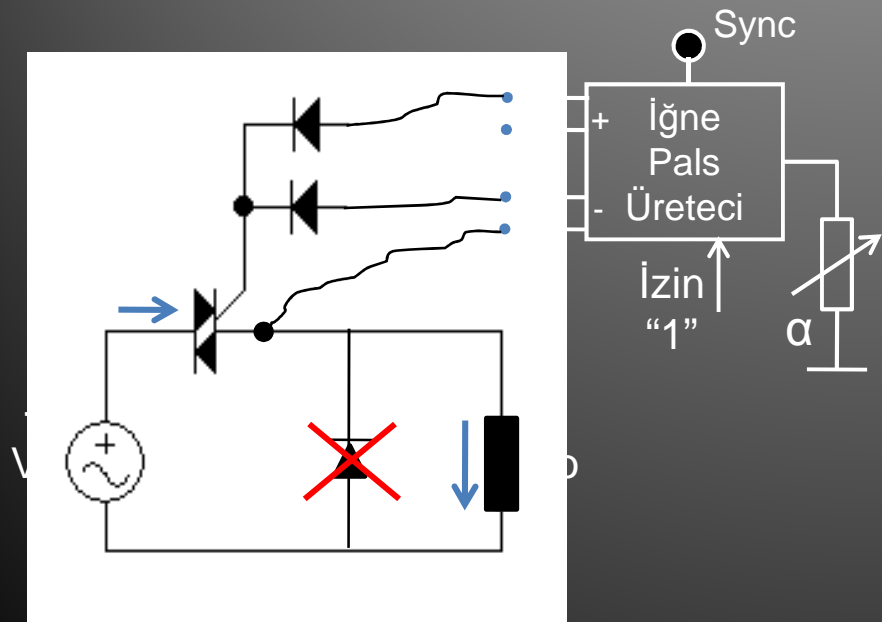
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Şekil-5.28'den görüldüğü gibi kaynağın pozitif alteransını kontrol eden T1 tristörü yaklaşık 60 derecede ( $\alpha$ ) uyarılmış ve ilettime geçmiştir.
- Alternans sonunda tristör yalıtıma geçmek istemesine rağmen yük üzerindeki akımın sıfıra düşmemesi nedeniyle " $\beta$ " açısına kadar ilettime devam etmiştir.
- $\beta$  açısı, yükün endüktifliğine göre değişmektedir. Bu durumda negatif alternansta çalışması gereken T2 tristörü uyarılamamaktadır.

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.27’de görülen açma kapama kontrollü AC voltaj kontrolcü devresinin triyak ile yapılmış olan versiyonunun endüktif yük altında çalışması Şekil-5.29 ve 5.30’da ayrıntılı olarak görülmektedir.



## V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Her iki devreden de görüldüğü gibi, yük endüktif olmasına rağmen serbest geçiş diyodu kullanılmamıştır. Bunun nedeni yine çıkış geriliminin AC olmasıdır. Bağlanacak olan diyot hangi yönde olursa olsun kısa devreye yol açacaktır.
- Dalga şekillerinden görüldüğü gibi, serbest geçiş diyodu kullanılmadığı için tristörler veya triyak yük tarafından fazladan iletimde tutulmakta ve ancak yükün enerjisi bittiğinde (“ $\beta$ ” açısında) tristör veya triyak yalıtıma geçebilmektedir.
- Bu durumda daha önceki devrelerde olduğu gibi temel dalga şekillerinden yararlanarak genel eşitlikler çıkartılamayacaktır.
- Bunun nedeni, yükün endüktiflik derecesine göre dalga şeklinin uzaması veya kısalmasıdır.
- Düşük endüktifliğe sahip olan yüklerde bu devreler aynen kullanılıp oluşan dalga şekillerine göre hesaplama yapılabilir. Yüksek endüktif yüklerde ise kontrollü bir serbest geçiş kullanılmalıdır.

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

## ■ Örnek:

- 220V-50Hz şebekede 90 derecelik uyarma açısında çalıştırılan faz açısı kontrollü 1 fazlı AC kıyıcı,
- a) 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

## ■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 220 \sqrt{1 - \frac{\pi/2}{\pi} + \frac{\sin 2.90}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 220 \cdot \sqrt{0,5} = 154V$$

- Çıkış akımı etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 154 / 10$$

$$I_{O(rms)} = 15,4A$$

- Etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$$

$$P_{O(rms)} = 15,4 \cdot 154 = 2,37kW$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = 31,1/1,41 \cdot \sqrt{0,5} = 15,4A$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 15,4 \cdot 220 = 3,38kW$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + \%30$$

$$V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) akımı,

$$I_D \geq V_m/R + \%30$$

$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

- b) Endüktif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,
  - Daha önce de açıklandığı gibi, endüktif yükte normal olarak serbest geçiş diyodu kullanma imkanı olmadığından, yükün üzerindeki enerjinin etkisiyle güç anahtarı fazladan iletimde kalacak ve ters yöndeki iletimini gerçekleştirme imkanı olmayacaktır. Bu durumda dalga şekli bozulacağından yükün büyüklüğüne göre oluşacak “ $\beta$ ” değerine göre hesap yapmak gerekecektir.

## ÖDEV-11

11.1) 220V-50Hz şebekede, 10Hz-%50 etkin peryotla uyarmada,  $5\Omega$ 'luk saf rezistif bir yükü besleyen 1 fazlı açma-kapama kontrollü AC kıyıcının,

a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.

b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.

c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

11.2) 220V-50Hz şebekede,  $45^\circ$  uyarma açısında,  $15\Omega$ 'luk saf rezistif yükü besleyen 1 fazlı faz açısı kontrollü AC kıyıcının,

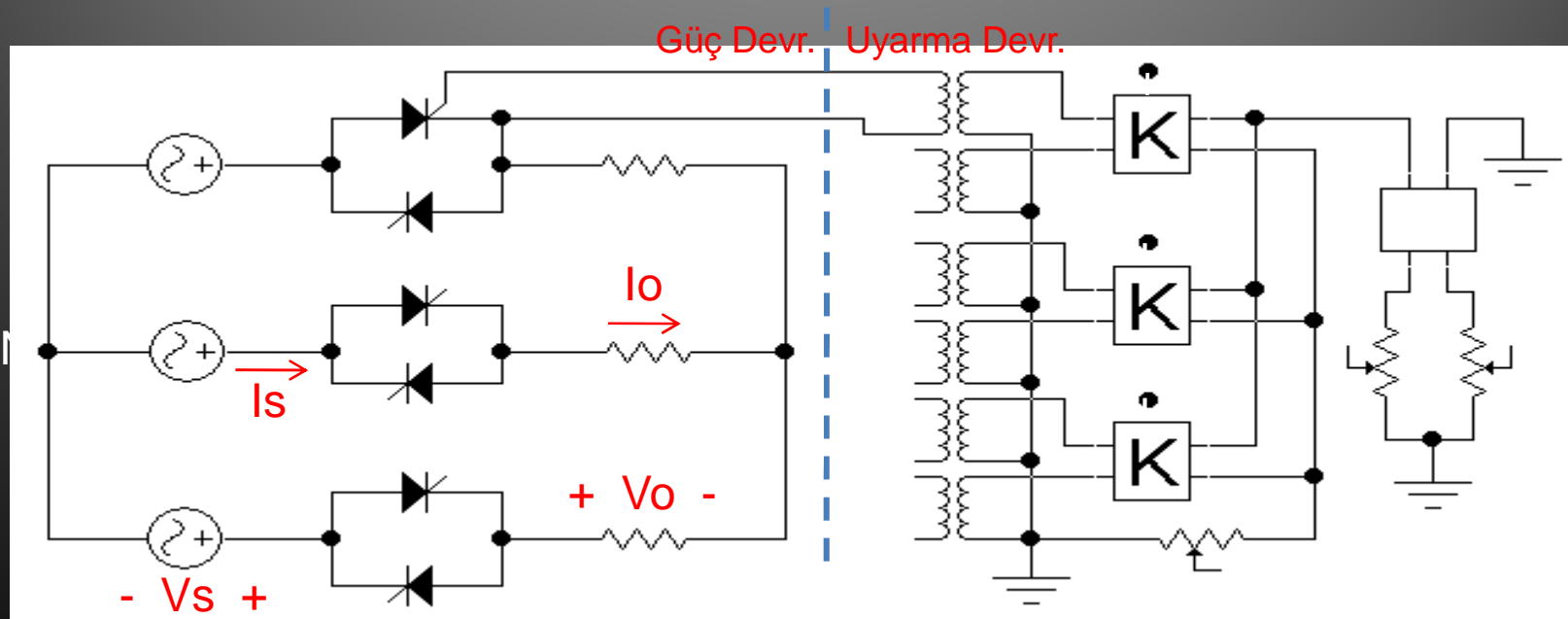
a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.

b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.

c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

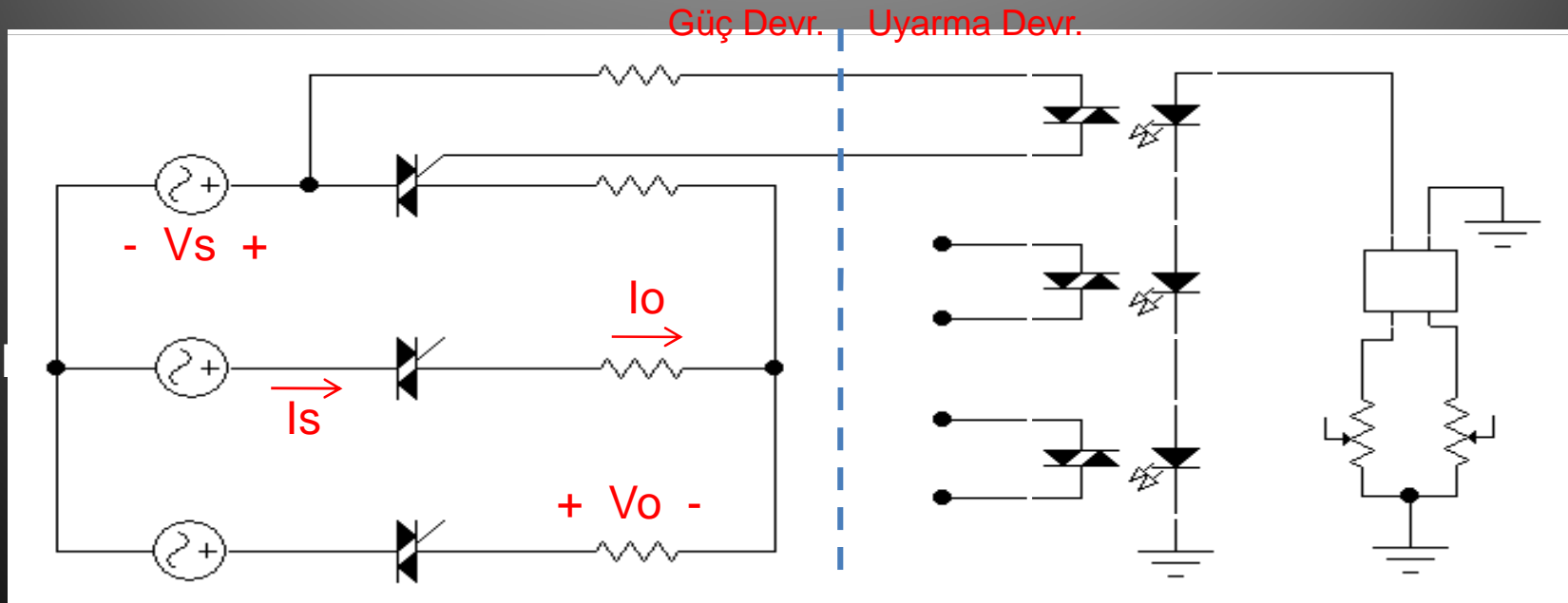
- 3 FAZLI AC KIYICILAR:
- 1 fazlı AC kıyıcılar, daha önce de belirtildiği gibi, düşük güçlü ısıtıcı kontrolü, aydınlatma kontrolü ve motor kontrolünde kullanılmaktadır. Orta ve yüksek güçteki benzer uygulamalarda ise aşağıda görülen 3 fazlı AC kıyıcılar kullanılmaktadır.
- 3 Fazlı Açma-Kapama Kontrollü AC Voltaj Kontrolcu (yıldız bağlı rezistif yükte);
- Şekil-5.31’de 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcu devre bağlantısı görülmektedir. Uyarma devresindeki “K” işaretli bloklar “iğne pals üretici”dir.



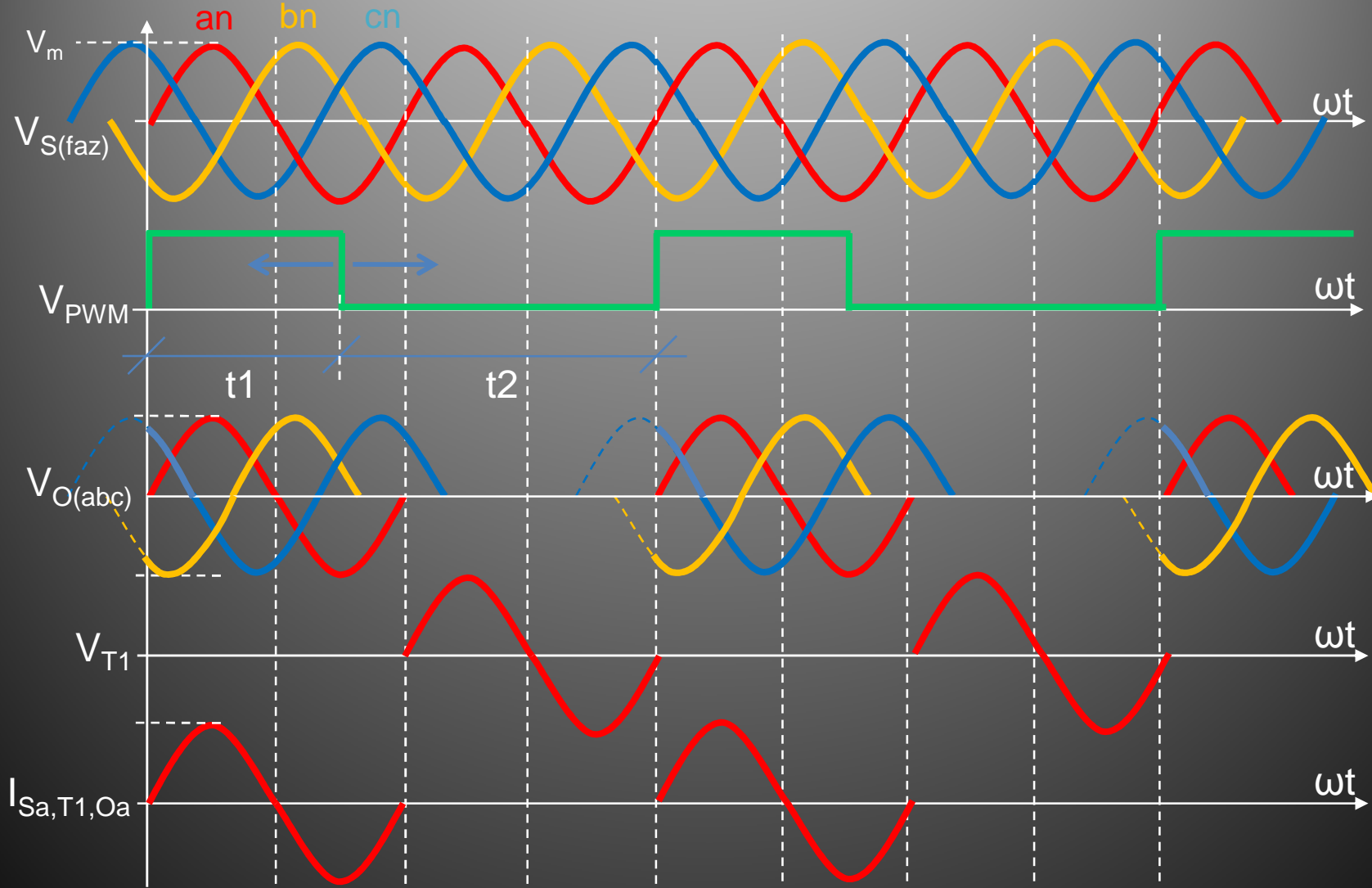


# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Bir fazlı uygulamalardan bilindiği gibi düşük ve orta güçlerde ters paralel bağlı tristörler yerine triyak kullanımı daha uygun olmaktadır. Aynı durum 3 faz uygulamaları için de geçerlidir.
- Şekil-5.32'de 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcu devre bağlantısının triyaklar kullanılarak yapılması görülmektedir. Şekil-5.33'de ise devrenin çalışmasını gösteren dalga şekilleri verilmiştir.



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

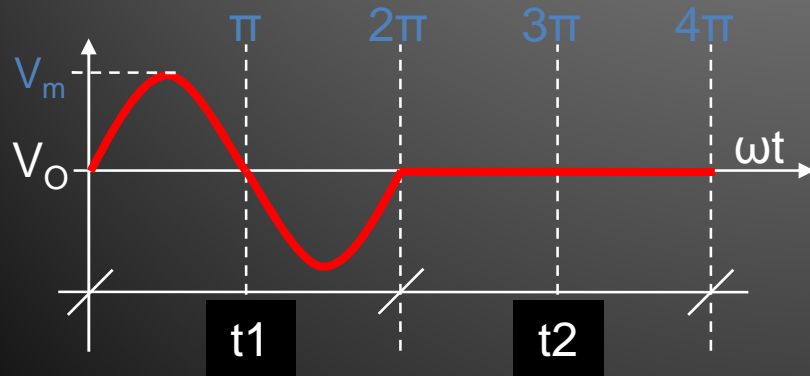


## V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.31 ve 5.32'den görüldüğü gibi yıldız yükte açma kapama kontrollü AC voltaj kontrolcu devresi de hem birbirine ters paralel bağlanmış tristörlerle hem de triyak kullanarak yapılabilmektedir.
  - Tristörler kullanıldığında iğne pals üretici alternansın hemen başında pals üretecek şekilde ayarlanıp, izin girişi bir PWM sinyali ile kontrol edilmektedir.
  - Triyak kullanıldığında ise PWM sinyali doğrudan triyak girişine uygulanabilmekte ve açma-kapama kontrolü olmaktadır.
- Şekil-5.33 görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
  - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
  - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
  - 3) Etkin (rms) çıkış gücü,
  - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
  - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
  - 6) Güç katsayısı,
  - 7) Anahtar gerilimleri,
  - 8) Anahtar akımları,

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Yük gerilimin etkin değeri;
- 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcunun rezistif yükte çalıştırılmasında, her yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.34'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış gerilimi eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T} \int_0^T [v_o(t)]^2 dt}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot (\sqrt{2} \cdot V_{S(rms)})^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot 2 \cdot V_{S(rms)}^2}{2\pi} \cdot \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_0^{2\pi}}$$

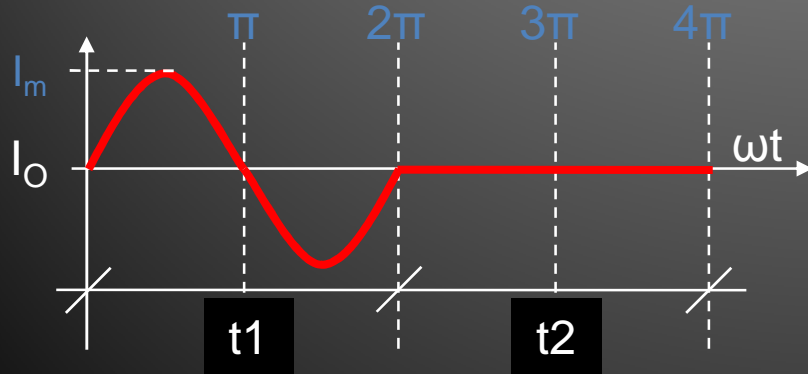
$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot V_{S(rms)}^2}{\pi} \cdot \left[ \left( \frac{2\pi}{2} - 0 \right) - (0) \right]}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot V_{S(rms)}^2}{\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{1} \right)} = \sqrt{k \cdot V_{S(rms)}^2}$$

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \cdot \sqrt{k} = V_{S(rms)} \cdot \sqrt{\frac{t_1}{t_1 + t_2}}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Yük akımının etkin değeri;
- 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcunun rezistif yükte çalıştırılmasında, her yük üzerinden aşağıdaki Şekil-5.35'de dalga şekli verilen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış akımı eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_0^{2\pi}}$$

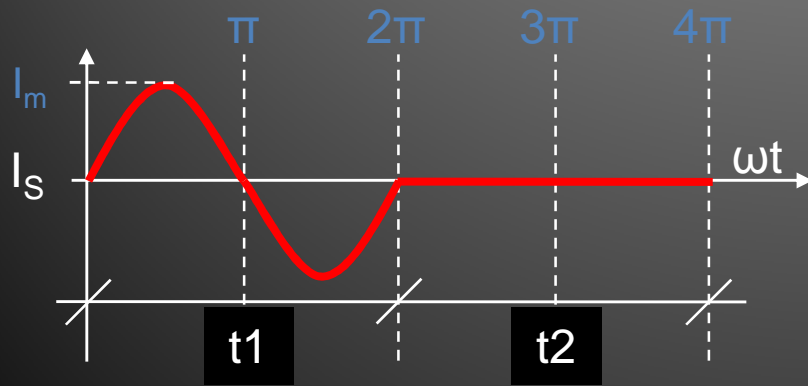
$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left[ \left( \frac{2\pi}{2} - 0 \right) - (0) \right]}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{1} \right)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2}}$$

$$I_{O(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{k} = \frac{V_m / R}{\sqrt{2}} \sqrt{k}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Etkin çıkış gücü;
- Toplam etkin çıkış gücü,  
 $P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın  
Şekil-5.36'daki gibi olduğunu  
belirtmiştik. Buna göre,



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T} \int_0^T [i_S(t)]^2 \cdot dt}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot (I_m)^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_0^{2\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left[ \left( \frac{2\pi}{2} - 0 \right) - (0) \right]}$$

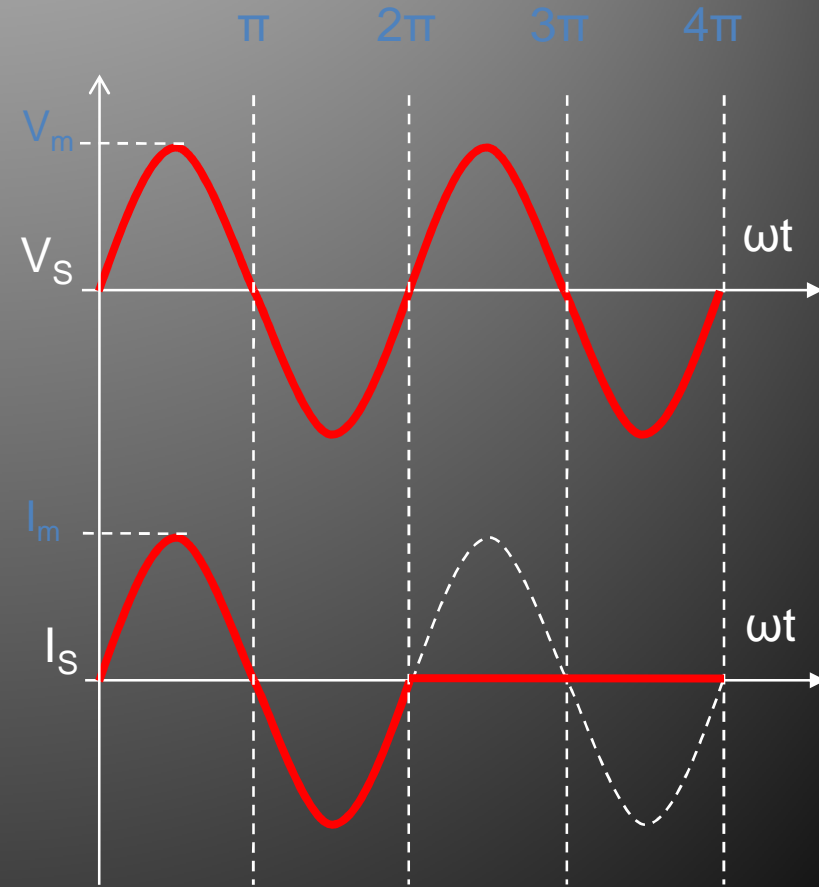
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{1} \right)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2}}$$

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{k} = \frac{V_m / R}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{k}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

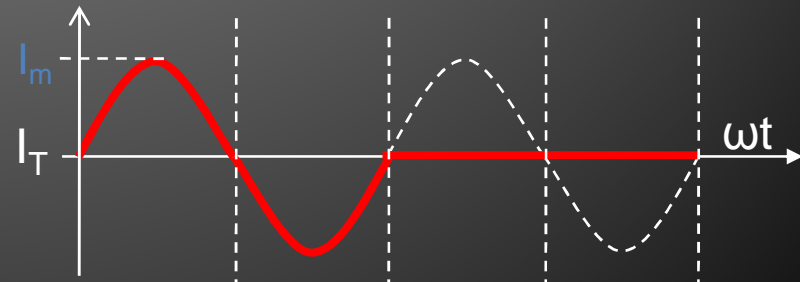
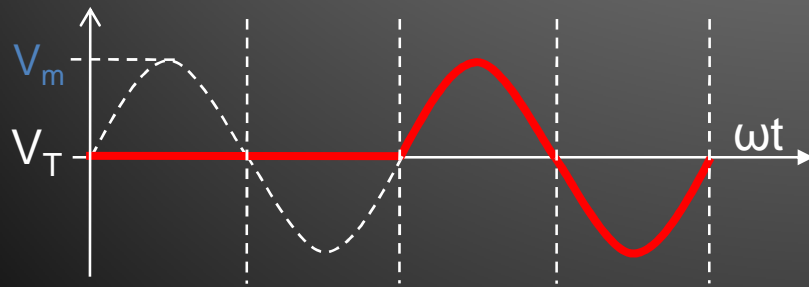
- Kaynaktan çekilen güç;
- Toplam etkin giriş gücü,  
 $P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Güç katsayısı kaynaktan verilen gerilim ile kaynaktan çekilen akım arasındaki açının “cos” değeridir. Şekil-5.37’de kaynak gerilimi ve akımı görülmektedir. Buradan, kıyıcı iletimde (on) iken faz kayması olmadığı açık olarak görülmektedir.

- Kıyıcı yalıtıma (off) geçtiğinde ise akımın olmadığı görülmektedir.



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

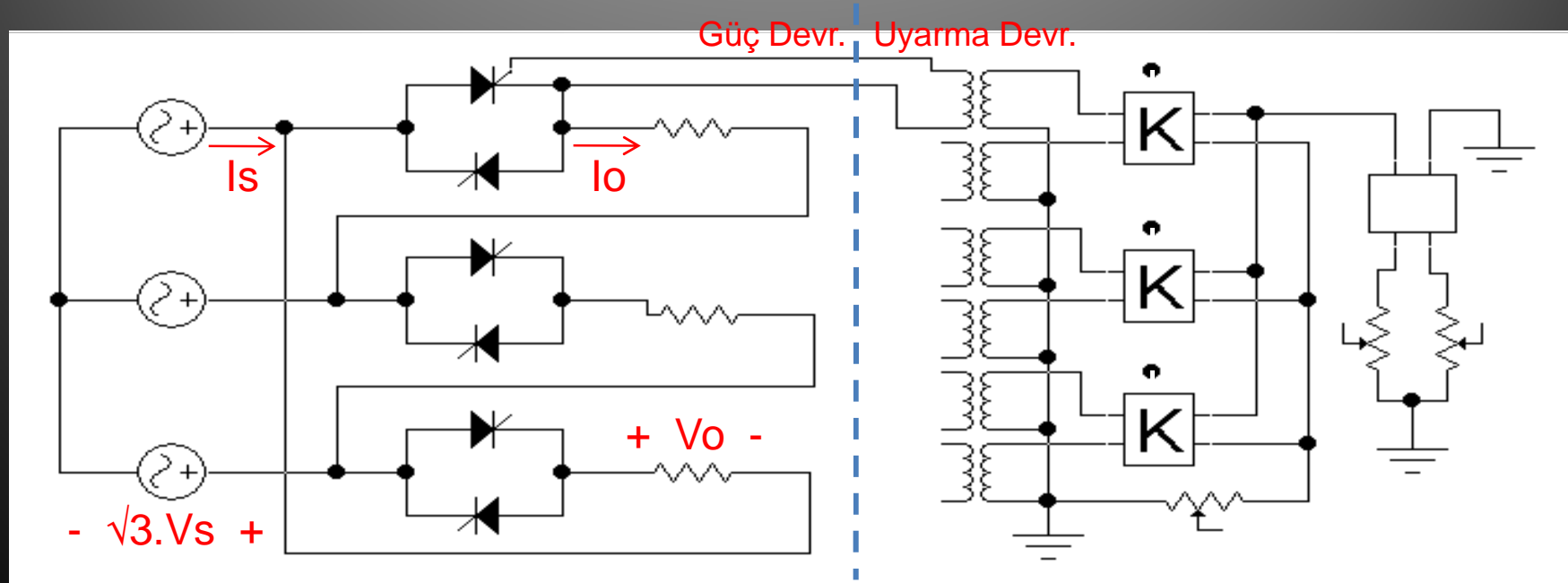
- Anahtar (tristör) gerilimi;
- Bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının gerilimi, bloke ettikleri gerilimin tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki gerilim Şekil-5.38'deki gibi olduğuna göre anahtar gerilimi,
- $V_T = V_m + (30\% \cdot V_m) = 1,3 \cdot V_m$  olarak hesaplanabilmektedir.
- Anahtar (tristör-triyak) akımı;
- Yine bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının üzerlerinden geçirilen akımın tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki akım Şekil-5.39'daki gibi olduğuna göre anahtar akımı,
- $I_T = I_m + (30\% \cdot I_m) = 1,3 \cdot I_m$  olarak hesaplanabilmektedir.





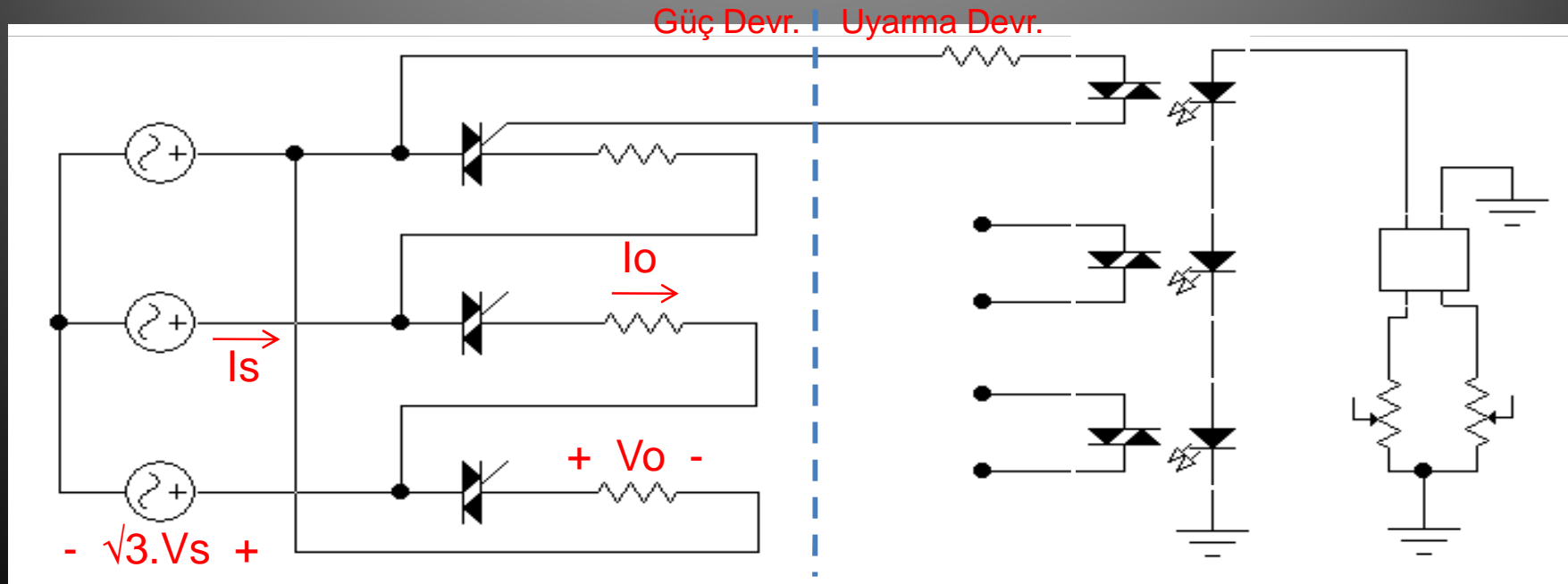
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Bilindiği gibi 3 fazlı sistemde yükler yıldız bağlanabildiği gibi, daha yüksek güç elde edebilmek amacıyla üçgen olarak da bağlanmaktadır. Bu durumda AC kıyıcı devre bağlantısı da değişecektir. Üçgen bağlantı durumu aşağıda gösterilmiştir.
- 3 Fazlı Açma-Kapama Kontrollü AC Voltaj Kontrolcu (üçgen bağlı rezistif yükte);
- Şekil-5.40'da 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcu devre bağlantısı görülmektedir. Uyarma devresindeki "K" işaretli bloklar "iğne pals üretici"dir.

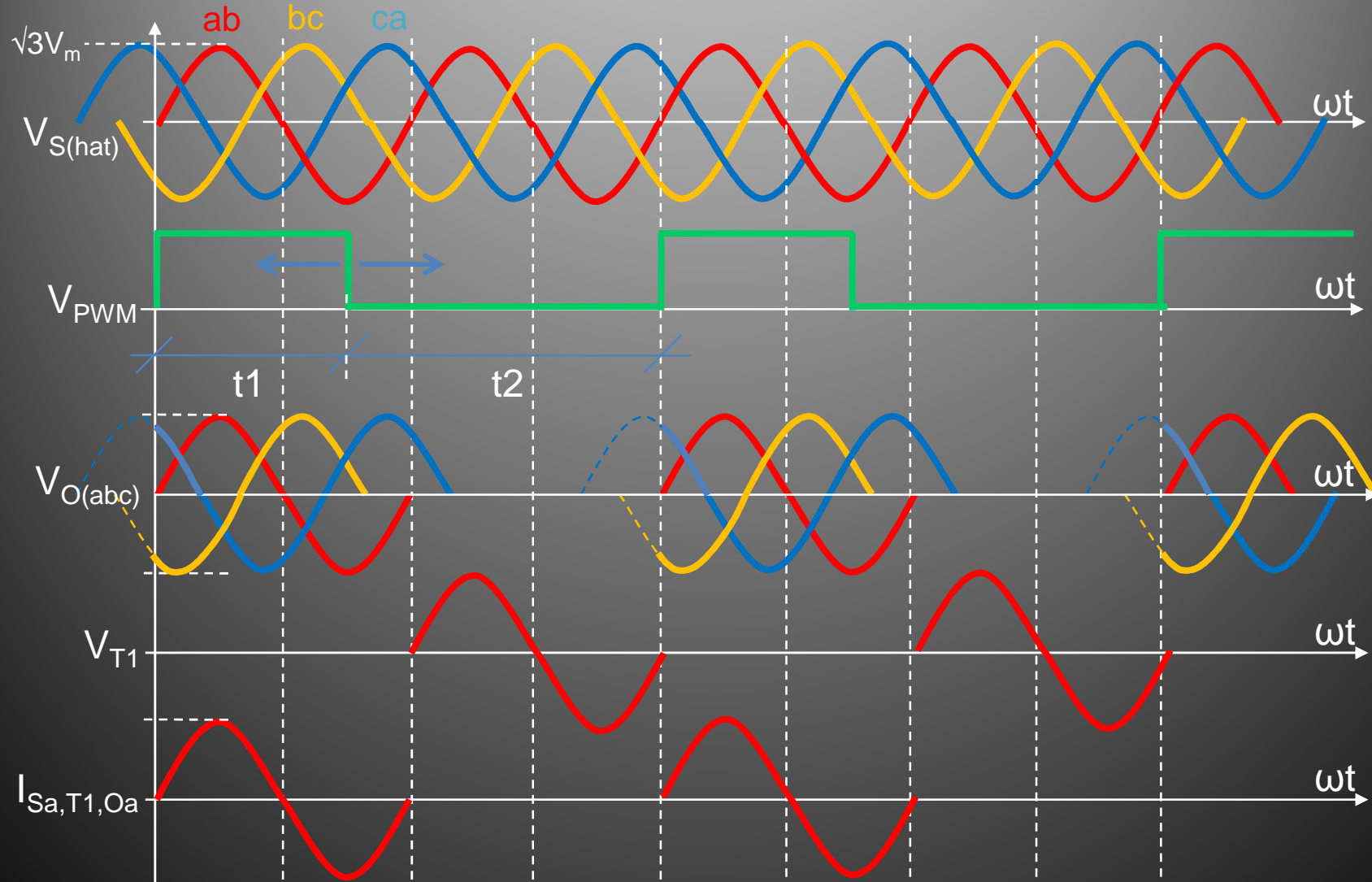


# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Bir fazlı uygulamalardan bilindiği gibi düşük ve orta güçlerde ters paralel bağlı tristörler yerine triyak kullanımı daha uygun olmaktadır. Aynı durum 3 faz uygulamaları için de geçerlidir.
- Şekil-5.41'de 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcu devre bağlantısının triyaklar kullanılarak yapılması görülmektedir. Şekil-5.42'de ise devrenin çalışmasını gösteren dalga şekilleri verilmiştir.



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

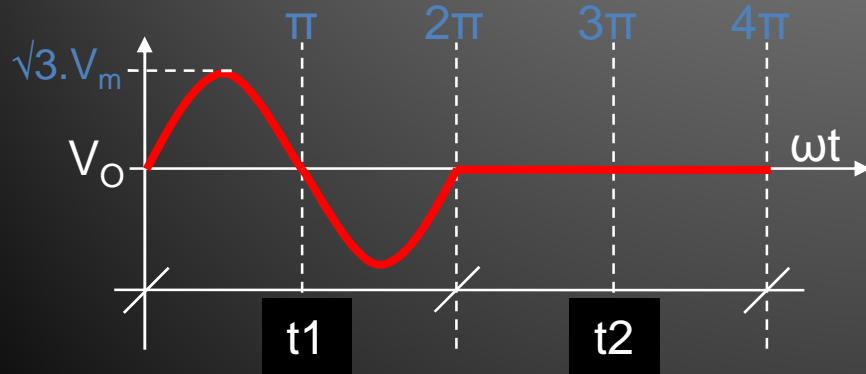


## V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.40 ve 5.41'den görüldüğü gibi üçgen yükte açma kapama kontrollü AC voltaj kontrolcu devresi de hem birbirine ters paralel bağlanmış tristörlerle hem de triyak kullanarak yapılabilmektedir.
  - Tristörler kullanıldığında iğne pals üretici alternansın hemen başında pals üretecek şekilde ayarlanıp, izin girişi bir PWM sinyali ile kontrol edilmektedir.
  - Triyak kullanıldığında ise PWM sinyali doğrudan triyak girişine uygulanabilmekte ve açma-kapama kontrolü olmaktadır.
- Şekil-5.42 görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
  - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
  - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
  - 3) Etkin (rms) çıkış gücü,
  - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
  - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
  - 6) Güç katsayısı,
  - 7) Anahtar gerilimleri,
  - 8) Anahtar akımları,

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Yük gerilimin etkin değeri;
- 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcunun rezistif yükte çalıştırılmasında, her yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.43'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış gerilimi eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\sqrt{3} \cdot V_m)^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot (\sqrt{3} \sqrt{2} \cdot V_{S(rms)})^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot 3 \cdot 2 \cdot V_{S(rms)}^2}{2\pi} \cdot \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_0^{2\pi}}$$

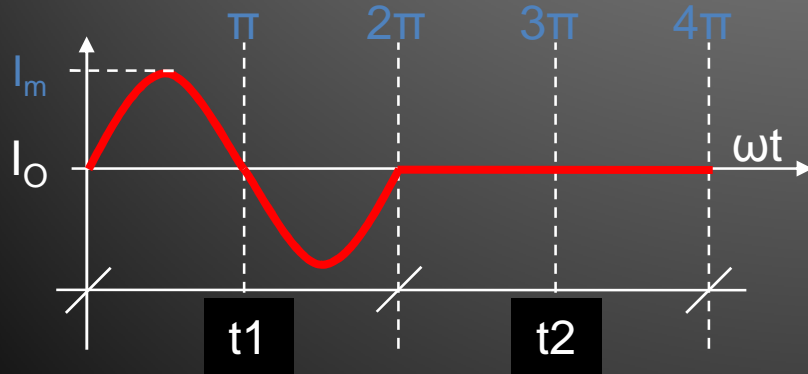
$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot 3 \cdot V_{S(rms)}^2}{\pi} \cdot \left[ \left( \frac{2\pi}{2} - 0 \right) - (0) \right]}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot 3 \cdot V_{S(rms)}^2}{\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{1} \right)} = \sqrt{k \cdot 3 \cdot V_{S(rms)}^2}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{3} \cdot V_{S(rms)} \cdot \sqrt{k} = \sqrt{3} \cdot V_{S(rms)} \cdot \sqrt{\frac{t_1}{t_1 + t_2}}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Yük akımının etkin değeri;
- 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcunun rezistif yükte çalıştırılmasında, her yük üzerinden aşağıdaki Şekil-5.44'de dalga şekli verilen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış akımı eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_0^{2\pi}}$$

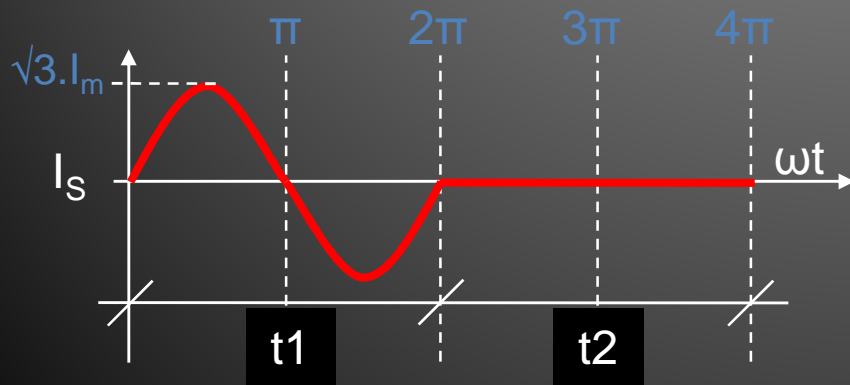
$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left[ \left( \frac{2\pi}{2} - 0 \right) - (0) \right]}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{1} \right)} = \sqrt{\frac{k \cdot I_m^2}{2}}$$

$$I_{O(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{k} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_m / R}{\sqrt{2}} \sqrt{k}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Etkin çıkış gücü;
- Toplam etkin çıkış gücü,  
 $P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın  
Şekil-5.45'deki gibi olduğunu  
belirtmiştik. Buna göre,



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\sqrt{3} \cdot I_m)^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot (\sqrt{3} \cdot I_m)^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot 3 \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_0^{2\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot 3 \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left[ \left( \frac{2\pi}{2} - 0 \right) - (0) \right]}$$

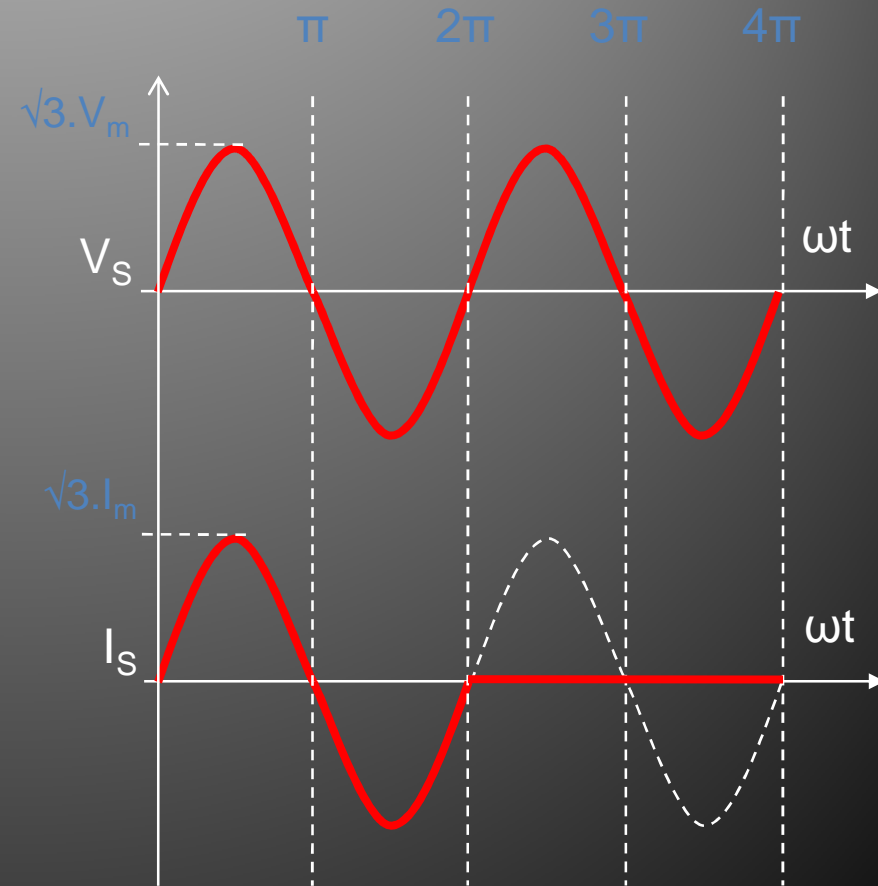
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{k \cdot 3 \cdot I_m^2}{2\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{1} \right)} = \sqrt{\frac{3}{2} k \cdot I_m^2}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{3}{2} k \cdot I_m^2} = \sqrt{3} \cdot I_{O(rms)}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen güç;
- Toplam etkin giriş gücü,  
 $P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Güç katsayısı kaynaktan verilen gerilim ile kaynaktan çekilen akım arasındaki açının “cos” değeridir. Şekil-5.46’da kaynak gerilimi ve akımı görülmektedir. Buradan, kıyıcı iletimde (on) iken faz kayması olmadığı açık olarak görülmektedir.

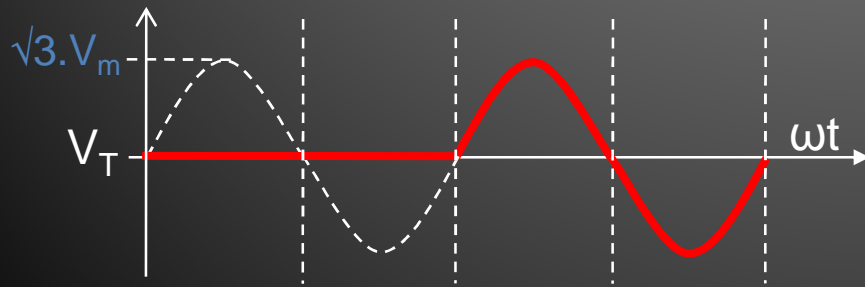
- Kıyıcı yalıtıma (off) geçtiğinde ise akımın olmadığı görülmektedir.



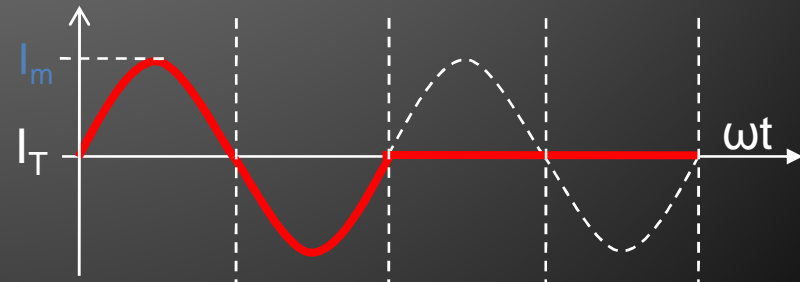


# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (tristör) gerilimi;
- Bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının gerilimi, bloke ettikleri gerilimin tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki gerilim Şekil-5.47'deki gibi olduğuna göre anahtar gerilimi,
- $V_T = \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$  olarak hesaplanabilmektedir.



- Anahtar (tristör-triyak) akımı;
- Yine bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının üzerlerinden geçirilen akımın tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki akım Şekil-5.48'deki gibi olduğuna göre anahtar akımı,
- $I_T = (\sqrt{3} \cdot V_m / R) + \%30$  olarak hesaplanabilmektedir.



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

## ■ Örnek:

- 380V/220V-50Hz şebekede 10Hz ferkanslı %50 etkin periyotlu uyarda çalıştırılan açma kapama kontrollü 3 fazlı yıldız bağlı AC kıyıcı devresinin,
- a)  $10\Omega$ 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- b) Aynı örneği 3 fazlı üçgen bağlı AC kıyıcı devresi için tekrar yapınız.

## ■ Çözüm:

- a) Yıldız bağlı rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,  
 $V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \cdot \sqrt{k}$   
 $V_{O(rms)} = 220 \cdot \sqrt{0,5} = 154V$

Çıkış akımı etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 154 / 10$$

$$I_{O(rms)} = 15,4A$$

Etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$$

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot 154 \cdot 15,4 = 7,11kW$$

Kaynak akımının etkin değeri,

$$I_m = V_m / R = 220 \cdot \sqrt{2} / 10 = 31,1A$$

$$I_{S(rms)} = (I_m / \sqrt{2}) \cdot \sqrt{k}$$

$$I_{S(rms)} = (31,1 / \sqrt{2}) \cdot \sqrt{0,5}$$

$$I_{S(rms)} = 15,4A$$

Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot 15,4 \cdot 220 = 10,16kW$$

olarak bulunur.

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) gerilimi,  
 $V_D \geq V_m + \%30$   
 $V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$
- Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) akımı,  
 $I_D \geq V_m/R + \%30$   
 $I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$
- NOT: Yıldız bağlantıda güç elemanları doğrudan faz gerilimi ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle de akım ve gerilim belirlemesi yapılırken faz gerilimi dikkate alınmaktadır.

- b) Üçgen bağlı rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,  
 $V_{O(rms)} = \sqrt{3} \cdot V_{S(rms)} \cdot \sqrt{k}$   
 $V_{O(rms)} = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot \sqrt{0,5} = 266,4V$   
Çıkış akımı etkin değeri,  
 $I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 266 / 10$   
 $I_{O(rms)} = 26,6A$   
Etkin çıkış gücü,  
 $P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$   
 $P_{O(rms)} = 3 \cdot 266 \cdot 26,6 = 21,22kW$   
Kaynak akımının etkin değeri,  
 $I_m = V_m/R = 380 \cdot \sqrt{2} / 10 = 53,7A$   
 $I_{S(rms)} = (I_m/\sqrt{2}) \cdot \sqrt{k}$   
 $I_{S(rms)} = (53,7 / \sqrt{2}) \cdot \sqrt{0,5}$   
 $I_{S(rms)} = 26,6A$   
olarak bulunur.

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot 26,6 \cdot 380 = 30,32 \text{ kW}$$

Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) gerilimi,

$$V_T \geq V_m + \%30$$

$$V_T \geq 537 \cdot 1,3 \geq 700 \text{ V}$$

Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) akımı,

$$I_T \geq V_m / R + \%30$$

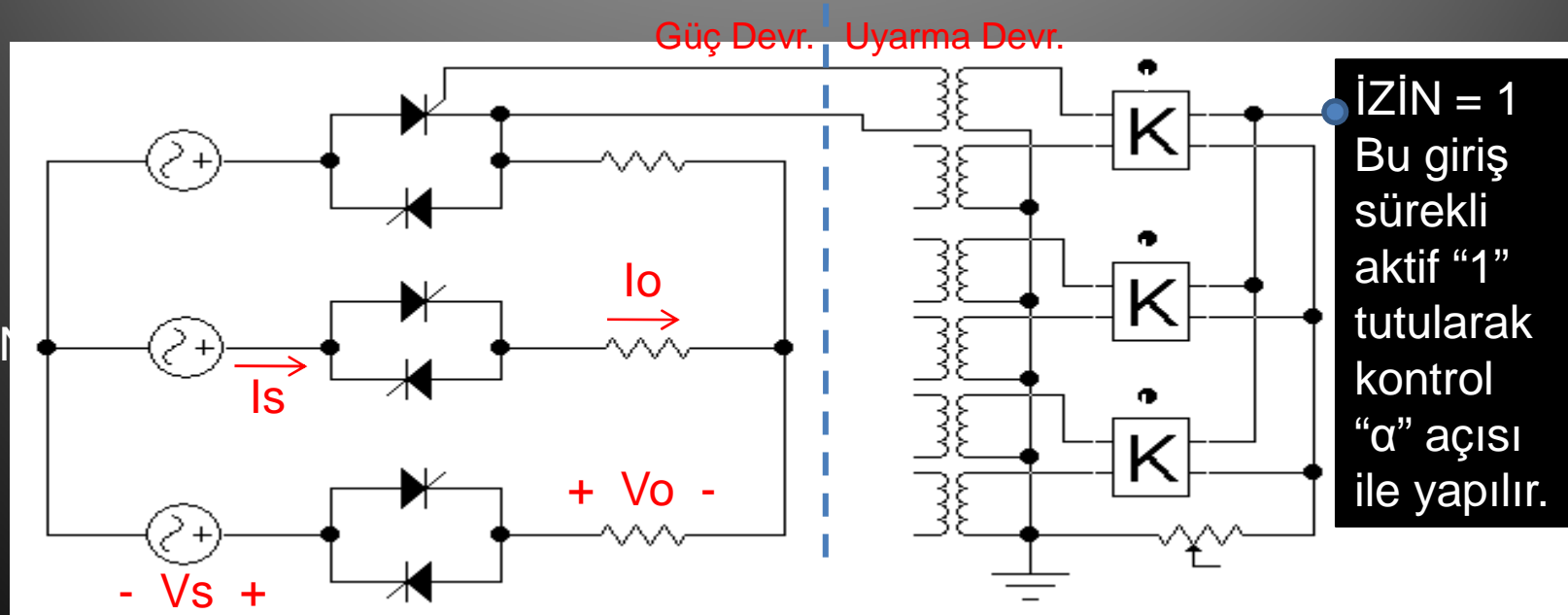
$$I_T \geq 53,7 \cdot 1,3 \geq 70 \text{ A}$$

olarak bulunur.

- NOT: Üçgen bağlantıda güç elemanları doğrudan hat gerilimi ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle de akım ve gerilim belirlemesi yapılırken hat gerilimi dikkate alınmaktadır.

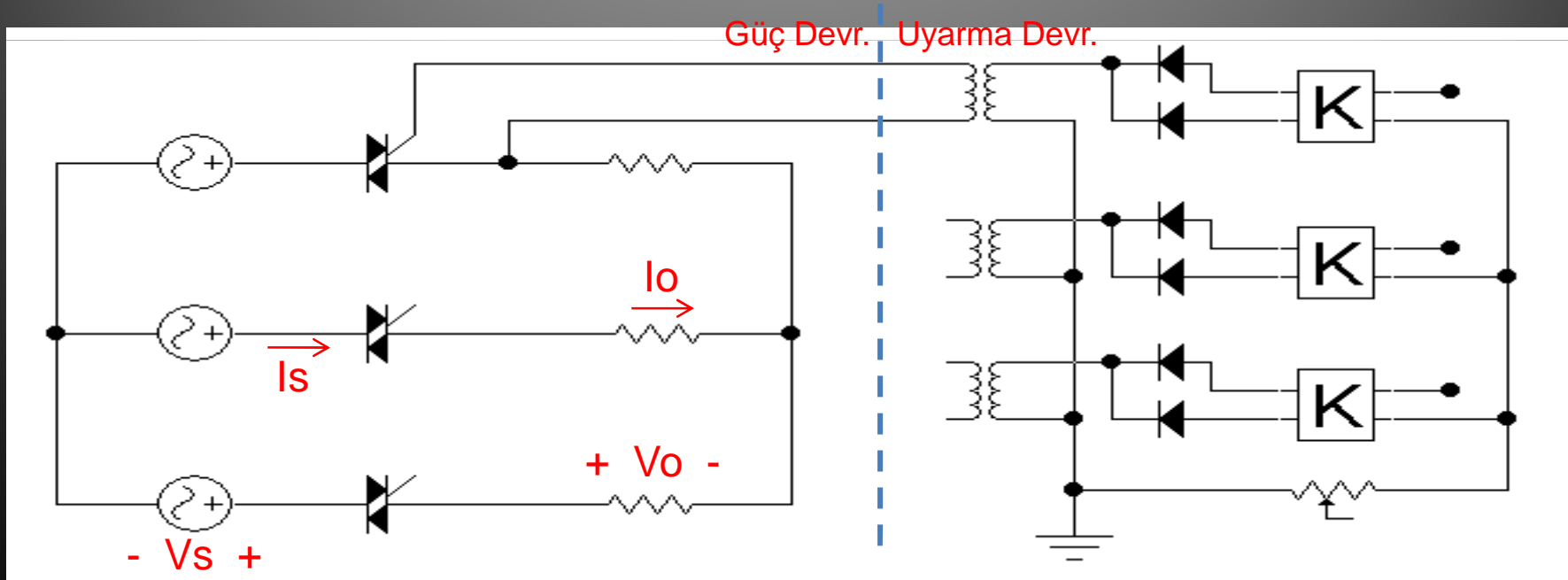
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Bilindiği gibi, açma kapama kontrolü yoğun olarak ısıtıcı kontrolunda kullanılmaktadır. 3 fazlı motor kontrolu ve yüksek güçlü ışık kontrol yapmak için ise aşağıda görüldüğü gibi faz açısı kontrollu AC kıyıcılar kullanmak gerekmektedir.
- 3 Fazlı Faz Açısı Kontrollu AC Voltaj Kontrolcu (yıldız bağlı rezistif yükte);
- Şekil-5.49'da 3 fazlı faz açısı kontrollu AC voltaj kontrolcu devre bağlantısı görülmektedir. Uyarma devresindeki "K" işaretli bloklar "iğne pals üretici"dir.



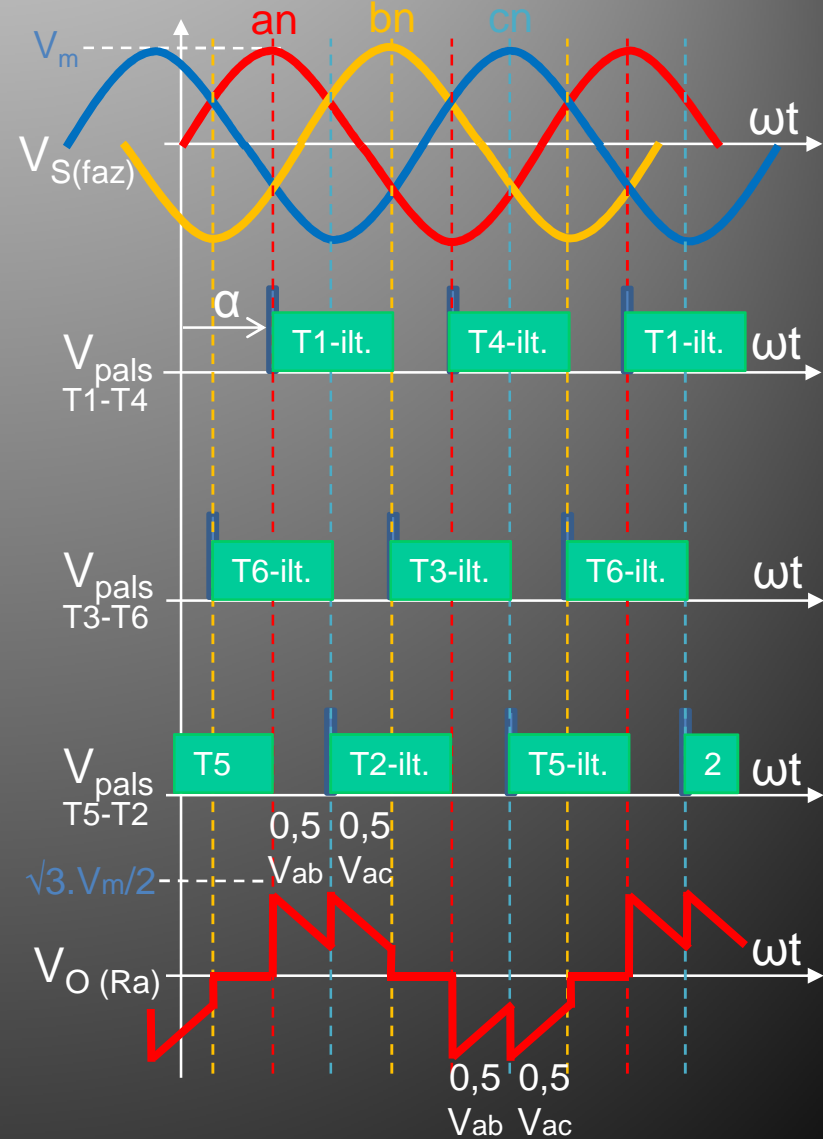
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1 fazlı uygulamalardan bilindiği gibi düşük ve orta güçlerde ters paralel bağlı tristörler yerine triyak kullanımı daha uygun olmaktadır. Aynı durum 3 faz uygulamaları için de geçerlidir.
- Şekil-5.50'de 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcu devre bağlantısının triyaklar kullanılarak yapılması görülmektedir. Şekil-5.51'de ise devrenin çalışmasını gösteren dalga şekilleri verilmiştir.



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.49 ve 5.50'den görüldüğü gibi yıldız yükte faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcu devresi de hem birbirine ters paralel bağlanmış tristörlerle hem de triyak kullanarak yapılabilmektedir.
- Hem tristörlü uygulamada hem de triyaklı uygulamada uyarma devresinde iğne pals üreticiler kullanılmıştır. İğne palsler her faz için ayrı ayrı üretilmekte ve anahtarlara uygulanmaktadır.
- Bu yöntemde kontrol ise tetikleme açısının ayarlanması ile olmaktadır, Şekil-5.51.



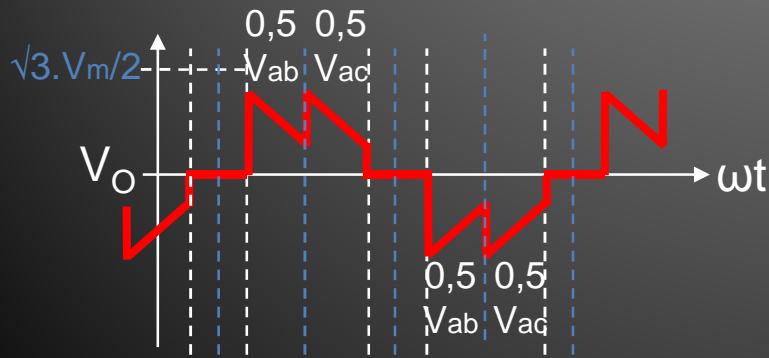
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.51'den görüldüğü gibi, her tristör kendisine ait olan alternansın (T1"A+", T4"A-", T3"B+", T6"B-", T5"C+", T2"C-) 90. derecesinde ( $\alpha$ ) uyarılmış ve iletme geçmesi sağlanmıştır.
  - Örnek olarak izlenen Ra direnci üzerindeki çıkış faz gerilimine bakıldığında hat gerilimlerinin yarı genliğinde olduğu gözlenmektedir.
  - Bunun nedeni her 60 derecelik aralıkta sadece 2 elemanın iletimde kalması ve gerilimin 2 yük üzerinde paylaşılmasıdır.
- Şekil-5.51 görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
  - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
  - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
  - 3) Etkin (rms) çıkış gücü,
  - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
  - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
  - 6) Devrenin verimi,
  - 7) Devrenin güç katsayısı,
  - 8) Anahtar gerilimleri,
  - 9) Anahtar akımları,



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1) Yük gerilimin etkin değeri;
- 3 fazlı faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcunun rezistif yükte çalıştırılmasında, her yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.52'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış gerilimi eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [V_m \cdot \sin(\omega t)]^2 \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$0 \leq \alpha \leq 59^\circ$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{6} \cdot V_s \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{\alpha}{4\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{8\pi}}$$

$$60 \leq \alpha \leq 89^\circ$$

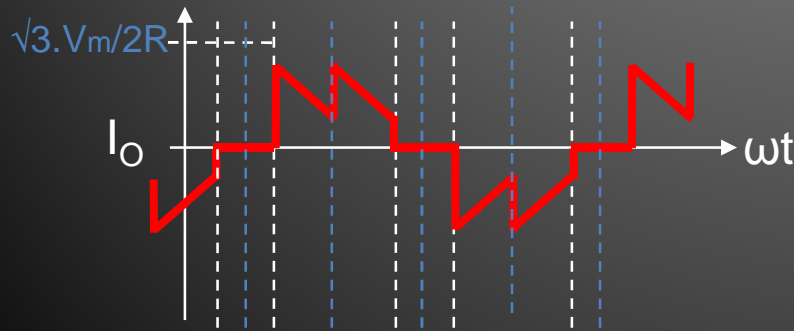
$$V_{O(rms)} = \sqrt{6} \cdot V_s \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{3\sin 2\alpha}{16\pi} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16\pi}}$$

$$90 \leq \alpha \leq 150^\circ$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{6} \cdot V_s \sqrt{\frac{5}{24} + \frac{\alpha}{4\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{16\pi} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16\pi}}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 2) Yük akımının etkin değeri;
- 3 fazlı faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcunun rezistif yükte çalıştırılmasında, her yük üzerinden aşağıdaki Şekil-5.53'de verilen dalga şeklinde akım görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış akımı eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [(V_m / R) \cdot \sin(\omega t)]^2 \cdot d(\omega t)}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{(V_m / R)^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$0 \leq \alpha \leq 59^\circ$$

$$I_{O(rms)} = (\sqrt{6} \cdot V_s / R) \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{\alpha}{4\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{8\pi}}$$

$$60 \leq \alpha \leq 89^\circ$$

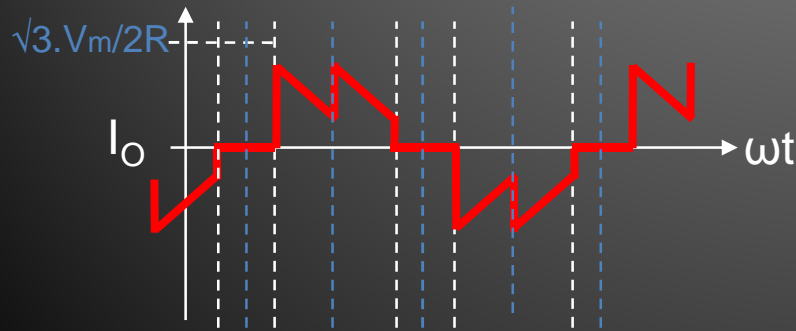
$$I_{O(rms)} = (\sqrt{6} \cdot V_s / R) \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{3\sin 2\alpha}{16\pi} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16\pi}}$$

veya

$$I_{O(rms)} = \frac{V_{O(rms)}}{R}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Toplam etkin çıkış gücü,  
 $P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$   
 eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 4) Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın  
 Şekil-5.54'deki gibi olduğunu  
 belirtmiştik. Buna göre,



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [(\sqrt{3}.V_m / R).\sin(\alpha t)]^2 .d(\alpha t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{(\sqrt{3}.V_m / R)^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\alpha t) .d(\alpha t)}$$

$$0 \leq \alpha \leq 59^\circ$$

$$I_{S(rms)} = (\sqrt{6}.V_s / R) \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{\alpha}{4\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{8\pi}}$$

$$60 \leq \alpha \leq 89^\circ$$

$$I_{S(rms)} = (\sqrt{6}.V_s / R) \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{3\sin 2\alpha}{16\pi} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16\pi}}$$

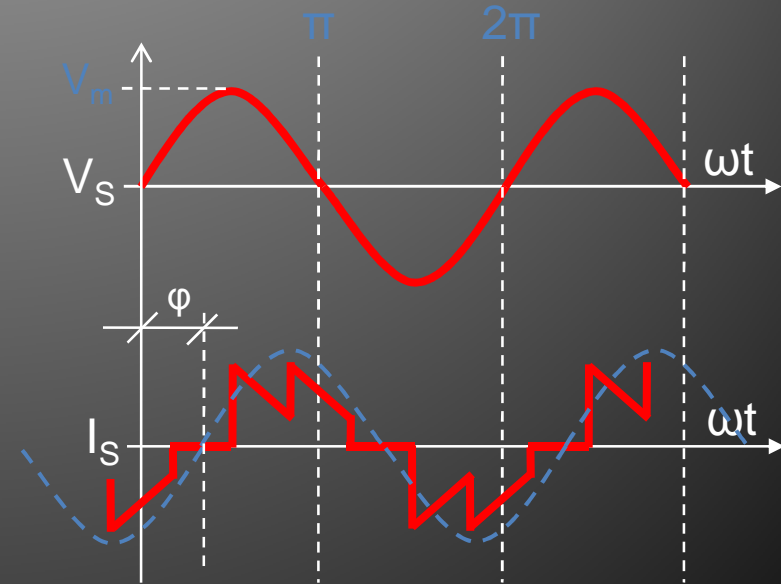
veya

$$I_{S(rms)} = I_{O(rms)} = \frac{V_{O(rms)}}{R}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

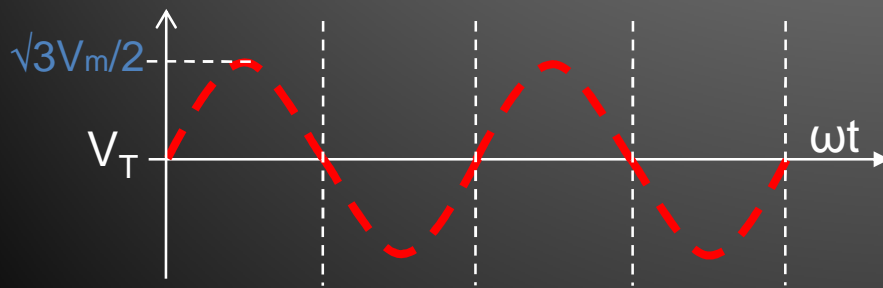
- 5) Kaynaktan çekilen güç;
- Toplam etkin giriş gücü,  
 $P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 6) Devren verimi;
- Bilindiği gibi verim,  
 $\eta = P_{O(rms)} / P_{S(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 7) Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Güç katsayısı kaynaktan verilen gerilim ile kaynaktan çekilen akım arasındaki açının-

- “cos” değeridir. Şekil-5.55’de kaynak gerilimi ve akımı görülmektedir. Buradan, güç katsayısının tetikleme açısına göre değiştiği görülmektedir.
- $\cos\phi = \cos(2\alpha/3)$ ’dır.

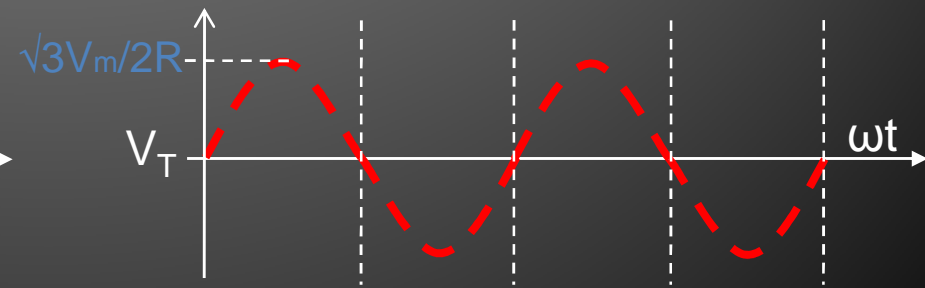


# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 8) Anahtar (tristör) gerilimi;
- Bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının gerilimi, bloke ettikleri gerilimin tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki gerilim Şekil-5.56'daki gibi olduğuna göre anahtar gerilimi,
- $V_T = \sqrt{3} \cdot V_m / 2 + \%30$  olarak hesaplanabilmektedir.

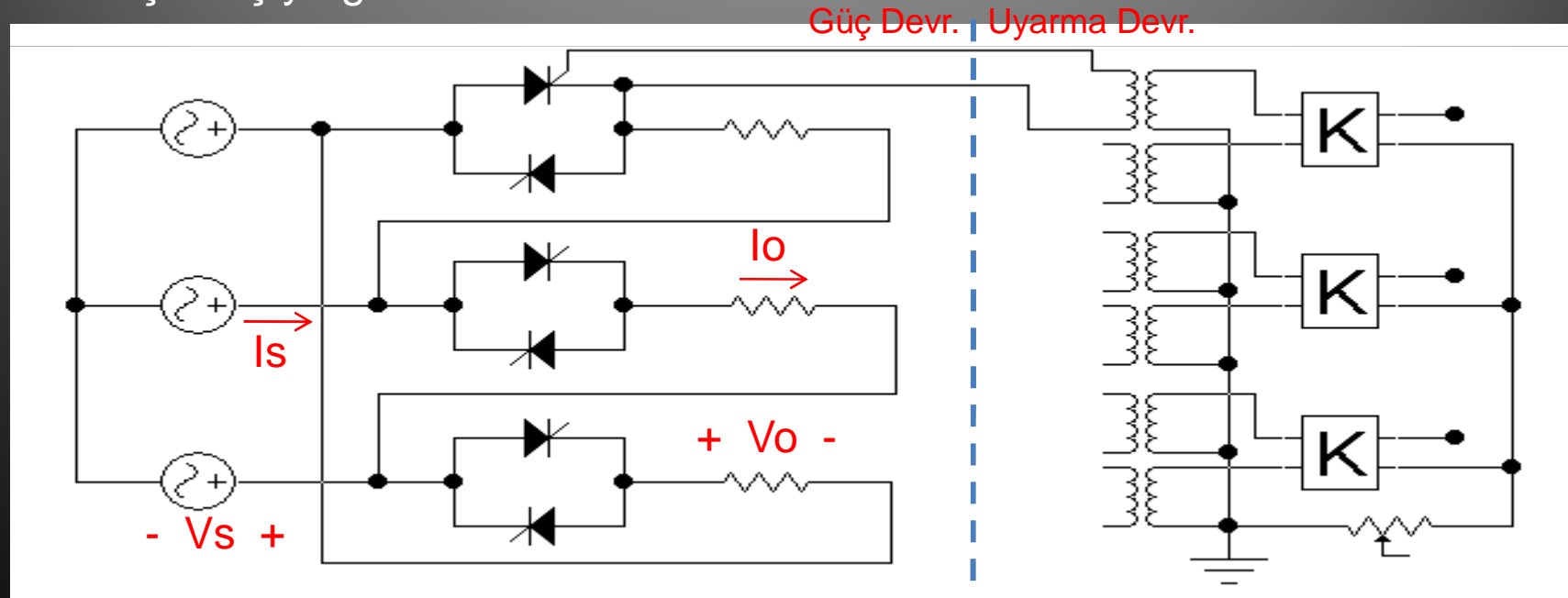


- 9) Anahtar (tristör-triyak) akımı;
- Yine bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının üzerlerinden geçirilen akımın tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki akım Şekil-5.57'deki gibi olduğuna göre anahtar akımı,
- $I_T = \sqrt{3} \cdot V_m / 2R + \%30$  olarak hesaplanabilmektedir.



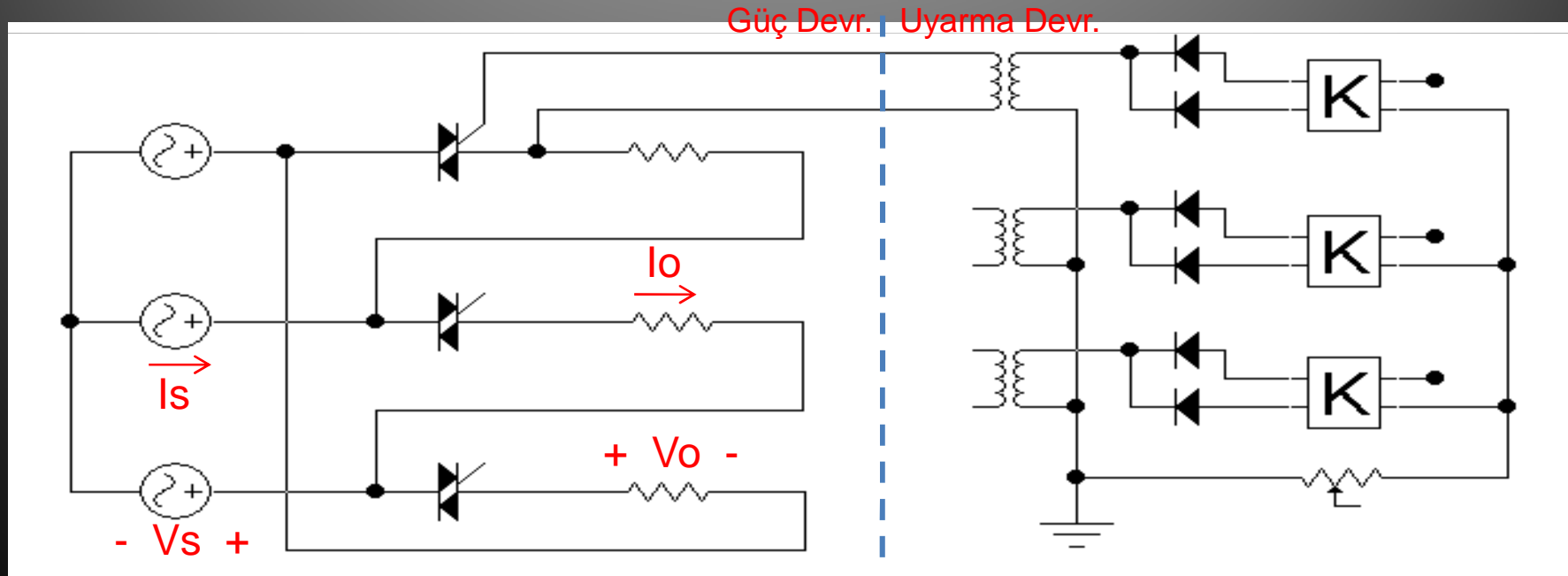
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Bilindiği gibi, 3 fazlı sistemde yüke daha fazla güç aktarabilmek için yıldız yerine üçgen bağlantı kullanılması gerekmektedir. Bu durumda, aşağıdaki şekilden de görüldüğü gibi, yükün her bir parçası doğrudan hat gerilimi ile karşı karşıya gelmektedir.
- 3 Fazlı Faz Açısı Kontrollü AC Voltaj Kontrolcü (üçgen bağlı rezistif yükte);
- Şekil-5.58'de 3 fazlı faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcü devre bağlantısı görülmektedir. "K" işaretli bloklar iğne pals üreticidir.



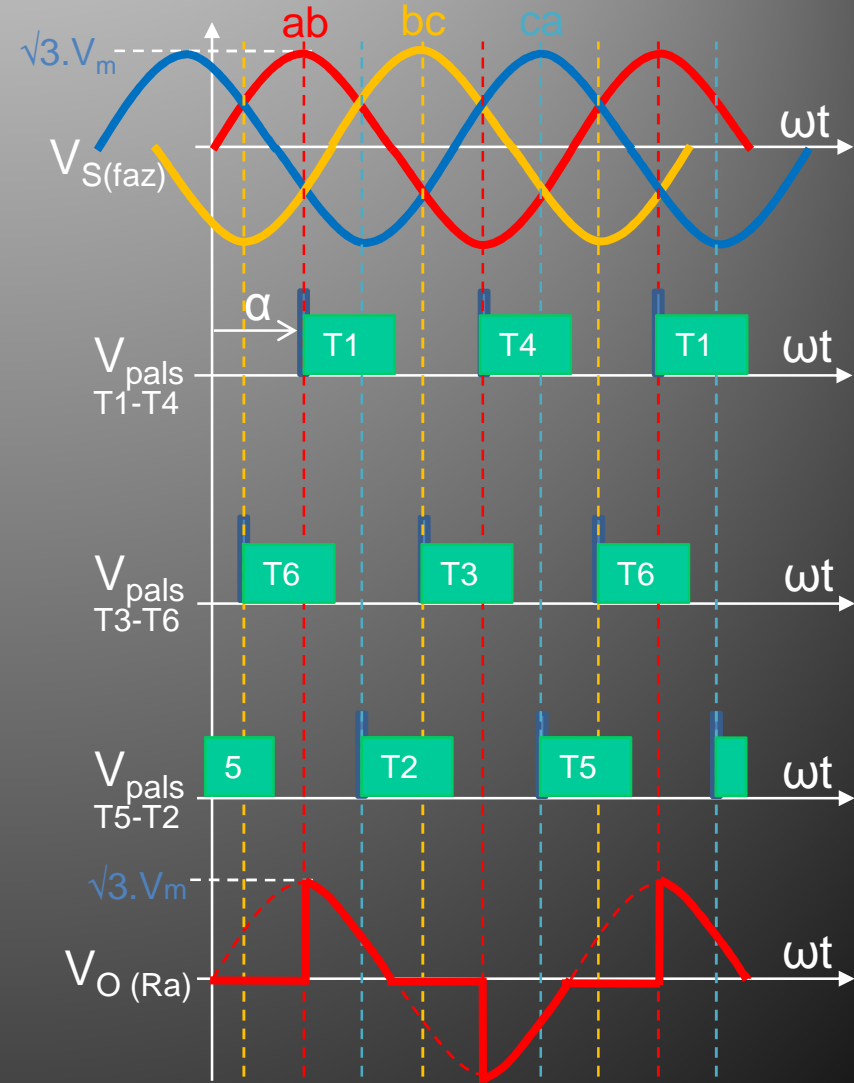
# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1 fazlı uygulamalardan bilindiği gibi düşük ve orta güçlerde ters paralel bağlı tristörler yerine triyak kullanımı daha uygun olmaktadır. Aynı durum 3 faz uygulamaları için de geçerlidir.
- Şekil-5.59'da 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC voltaj kontrolcu devre bağlantısının triyaklar kullanılarak yapılması görülmektedir. Şekil-5.60'da ise devrenin çalışmasını gösteren dalga şekilleri verilmiştir.



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.58 ve 5.59'dan görüldüğü gibi üçgen yükte faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcü devresi de hem birbirine ters paralel bağlanmış tristörlerle hem de triyak kullanarak yapılabilmektedir.
- Hem tristörlü uygulamada hem de triyaklı uygulamada uyarma devresinde iğne pals üreticiler kullanılmıştır. İğne palsler her faz için ayrı ayrı üretilmekte ve anahtarlara uygulanmaktadır.
- Bu yöntemde kontrol ise tetikleme açısının ayarlanması ile olmaktadır, Şekil-5.60.



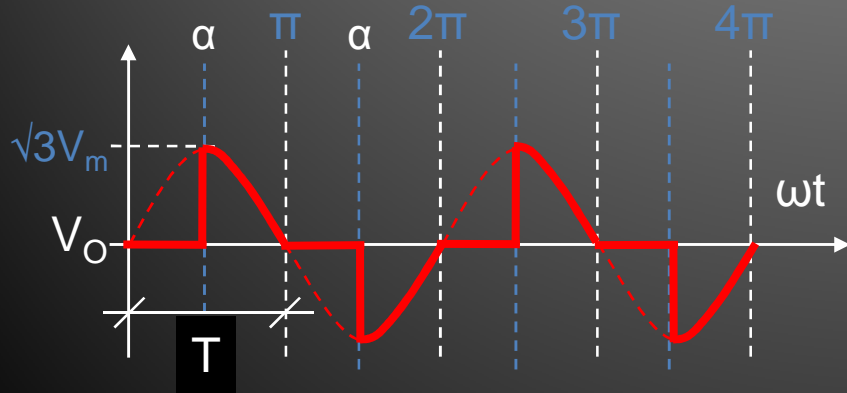


# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-5.60'dan görüldüğü gibi, her tristör kendisine ait olan alternansın (T1"A+", T4"A-", T3"B+", T6"B-", T5"C+", T2"C-) 90. derecesinde ( $\alpha$ ) uyarılmış ve iletme geçmesi sağlanmıştır.
  - Örnek olarak izlenen Ra direnci üzerindeki çıkış faz gerilimine bakıldığında hat gerilimlerinin genliğinde olduğu gözlenmektedir.
  - Bunun nedeni her bir tristörün devreye girmesinde yükün her bir parçasının doğrudan iki faz arasına bağlanmasıdır.
- Şekil-5.60 görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
    - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
    - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
    - 3) Etkin (rms) çıkış gücü,
    - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
    - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
    - 6) Devrenin verimi,
    - 7) Devrenin güç katsayısı,
    - 8) Anahtar gerilimleri,
    - 9) Anahtar akımları,

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1) Çıkış gerilimin etkin değeri;
- 3 fazlı faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcü üçgen rezistif yükte çalıştırılmasında, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.61'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış gerilimi eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v_o(t)]^2 dt}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{3} V_m)^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{3 V_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{3 V_m^2}{\pi} \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

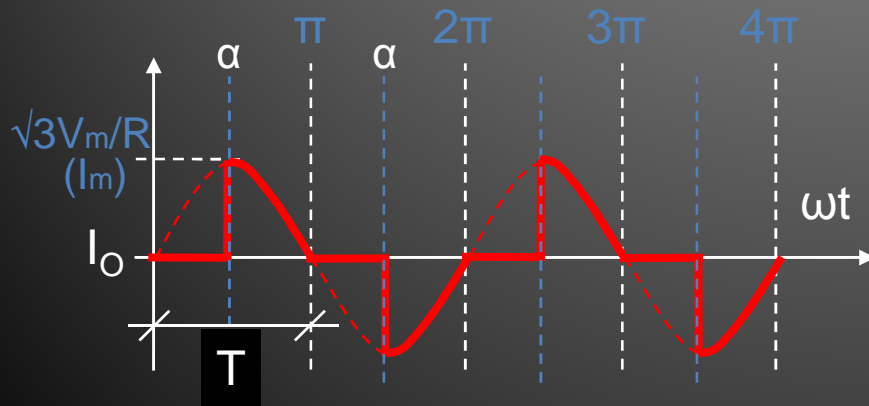
$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{3 V_m^2}{\pi} \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\sin 2\pi}{4} \right) - \left( \frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) \right]}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{3 V_m^2}{2\pi} \left( \frac{\pi}{1} - \frac{\alpha}{1} + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{3} V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 2) Çıkış akımının etkin değeri;
- 3 fazlı faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcunun üçgen rezistif yükte çalıştırılmasında, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-5.62'de verilen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış akımı eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_o(t)]^2 dt}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \left[ \frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

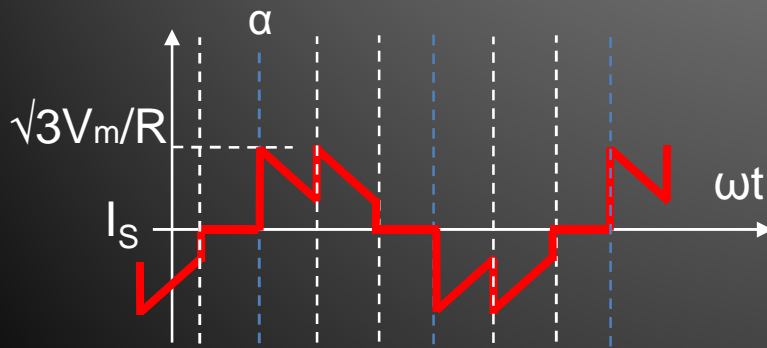
$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\sin 2\pi}{4} \right) - \left( \frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) \right]}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left( \frac{\pi}{1} - \frac{\alpha}{1} + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

$$I_{O(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} = \frac{V_{O(rms)}}{R}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Bilindiği gibi etkin çıkış gücü,  $P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$  eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 4) Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın Şekil-5.63'deki gibi olduğunu belirtmiştik. Buna göre,



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [\sqrt{3} \cdot I_m \cdot \sin(\alpha t)]^2 \cdot d(\alpha t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{(\sqrt{3} \cdot I_m)^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\alpha t) \cdot d(\alpha t)}$$

$$0 \leq \alpha \leq 60^\circ$$

$$I_{S(rms)} = 3\sqrt{6} \cdot (V_S / R) \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{\alpha}{4\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{8\pi}}$$

$$60 \leq \alpha \leq 90^\circ$$

$$I_{S(rms)} = 3\sqrt{6} \cdot (V_S / R) \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{3\sin 2\alpha}{16\pi} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16\pi}}$$

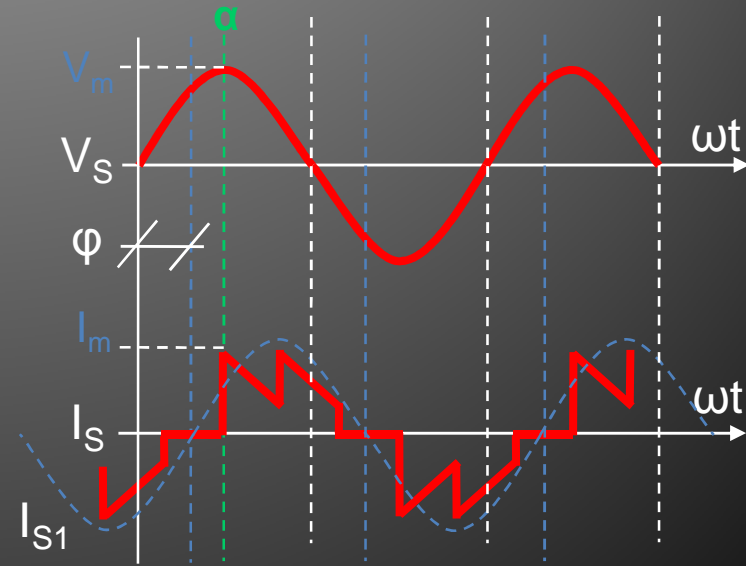
$$90 \leq \alpha \leq 150^\circ$$

$$I_{S(rms)} = 3\sqrt{6} \cdot (V_S / R) \sqrt{\frac{5}{24} + \frac{\alpha}{4\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{16\pi} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16\pi}}$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

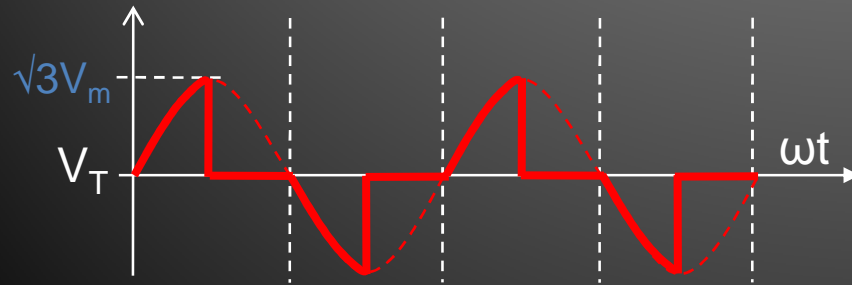
- 5) Kaynaktan çekilen güç;
- Bilindiği gibi etkin giriş gücü,  
 $P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 6) Devren verimi;
- Bilindiği gibi verim,  
 $\eta = P_{O(rms)} / P_{S(rms)}$   
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 7) Güç katsayısı ( $\cos\phi$ );
- Güç katsayısı kaynaktan verilen gerilim ile kaynaktan çekilen akım arasındaki açının-

- “cos” değeridir. Şekil-5.64’de kaynak gerilimi ve akımı görülmektedir. Buradan, devre çıkışındaki yükün rezistif olmasına rağmen “ $\phi$ ” kadarlık bir faz kaymasının olduğu görülmekte ( $\cos\phi = \cos(2\alpha/3)$ ).

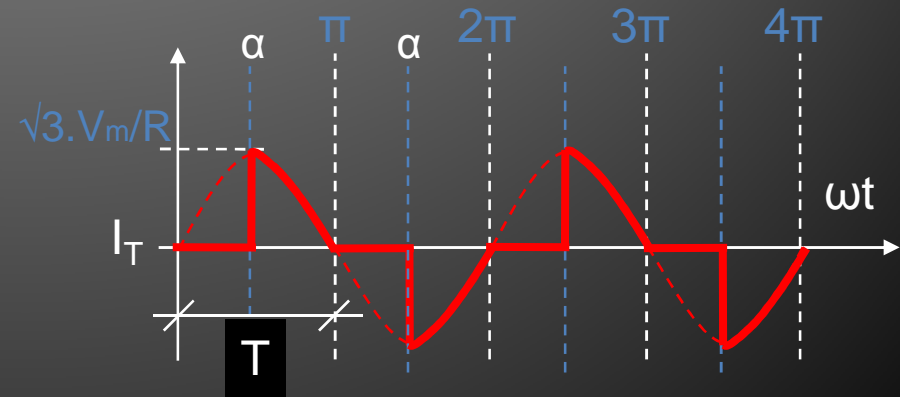


# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 8) Anahtar (tristör) gerilimi;
- Bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının gerilimi, bloke ettikleri gerilimin tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki gerilim Şekil-5.65'deki gibi olduğuna göre anahtar gerilimi,
- $V_T = \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$  olarak hesaplanabilmektedir.



- 9) Anahtar (tristör-triyak) akımı;
- Yine bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının üzerlerinden geçirilen akımın tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki akım Şekil-5.66'daki gibi olduğuna göre anahtar akımı,
- $I_T = \sqrt{3} \cdot V_m / R + \%30$



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

## ■ Örnek:

- 380V/220V-50Hz şebekede 45 derecelik uyarma açısında çalıştırılan faz açısı kontrollü 3 fazlı AC kıyıcı,
- a) Yıldız bağlı 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) üçgen bağlı 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak devre parametrelerini hesaplayınız.

## ■ Çözüm:

- a) Yıldız bağlı rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{6} \cdot V_S \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{\alpha}{4\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{8\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{6} \cdot 220 \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{\pi/4}{4\pi} + \frac{\sin(2.45)}{8\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 204,4V$$

Çıkış akımı etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 204,4 / 10$$

$$I_{O(rms)} = 20,4A$$

Etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$$

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot 20,4 \cdot 204,4 = 12,4kW$$

Kaynak akımının etkin değeri,

Yıldız bağlantıda kaynak akımı

ile çıkış yük akımı aynı

olduğundan,

$$I_{S(rms)} = 20,4A$$

# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Yıldız bağlı rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot 20,4 \cdot 220 = 13,4kW$$

Yıldız yükte devrenin verimi,

$$\eta = P_{O(rms)} / P_{S(rms)}$$

$$\eta = 12,4kW / 13,4kW = \%92,53$$

Yıldız bağlı rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) gerilimi,

$$V_T \geq V_m + \%30$$

$$V_T \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

Yıldız bağlı rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) akımı,

$$I_D \geq V_m / R + \%30$$

$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

b) Üçgen bağlı rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{3} \cdot V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{3} \cdot 220 \sqrt{1 - \frac{\pi/4}{\pi} + \frac{\sin 2 \cdot 45}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 363,29V$$

Çıkış akımı etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 363 / 10$$

$$I_{O(rms)} = 36,3A$$

Etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$$

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot 36,3 \cdot 363 = 39,5kW$$

olarak bulunur.



# V – AC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Kaynak akımının etkin değeri;

$$I_{S(rms)} = 3\sqrt{6} \cdot (V_S / R) \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{\alpha}{4\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{8\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = 3\sqrt{6} \cdot (220/10) \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{\pi/4}{4\pi} + \frac{\sin(2.45)}{8\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = 61,32A$$

Üçgen yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 3 \cdot 61,3 \cdot 220 = 40,4kW$$

Üçgen yükte devrenin verimi,

$$\eta = P_{O(rms)} / P_{S(rms)}$$

$$\eta = 39,5kW / 40,4kW = \%97,77$$

Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) gerilimi,

$$V_T \geq \sqrt{3} \cdot V_m + \%30$$

$$V_T \geq \sqrt{3} \cdot 311 \cdot 1,3 \geq 700V$$

Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) akımı,

$$I_D \geq \sqrt{3} \cdot V_m / R + \%30$$

$$I_D \geq \sqrt{3} \cdot 31,1 \cdot 1,3 \geq 70A$$

## ÖDEV-12

12.1) 380V/220V-50Hz şebekede, 10Hz-%50 etkin peryotla uyarmada, üçgen bağlı  $5\Omega$ 'luk saf rezistif bir yükü besleyen 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC kıyıcının,

- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
- Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
- Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

12.2) 380V/220V-50Hz şebekede,  $45^\circ$  uyarmada, yıldız bağlı  $15\Omega$ 'luk saf rezistif yükü besleyen 3 fazlı faz açısı kontrollü AC kıyıcının,

- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
- Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
- Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

# Bölüm-6

## DC-DC

# Dönüştürücüler

# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

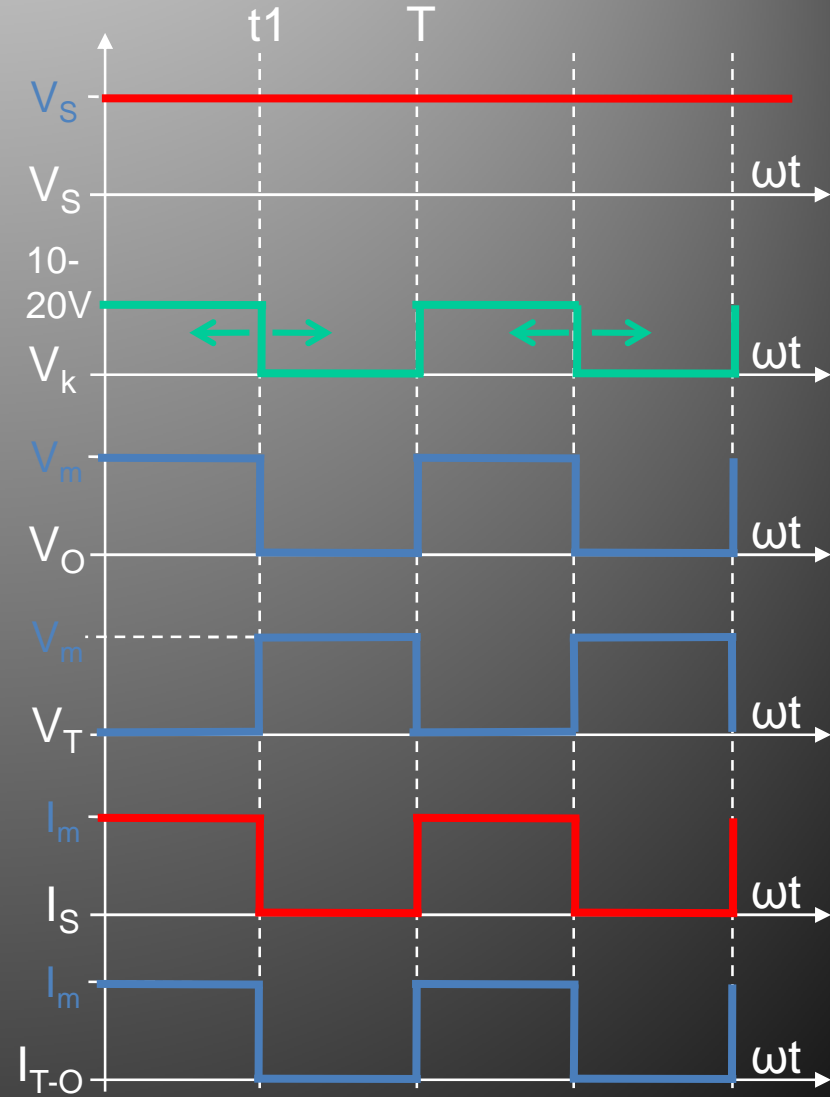
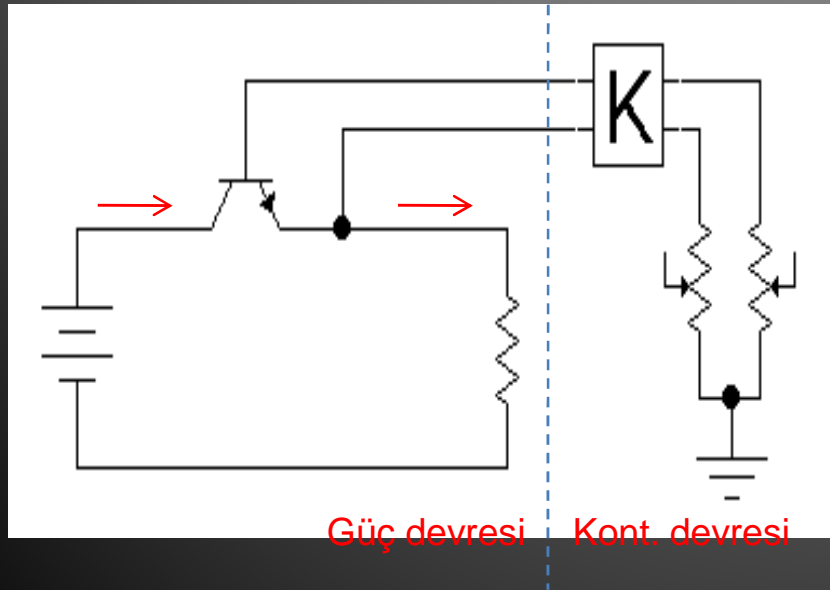
- **GİRİŞ:**
- DC-DC dönüştürücüler, özellikle son dönemlerde güç elektroniği ve endüstriyel elektronik uygulamalarında çok yoğun olarak kullanılmaya başlayan güç devreleridir. DC-DC dönüştürücülerin kullanım alanları,
  - 1) Ulaşım araçlarında,
  - 2) Seyyar elektronik cihazda,
  - 3) Rüzgar ve güneş enerji sistemlerinde,
  - 4) Küçük boyutlara sığdırılması gereken elektronik cihazlarda vb.
- DC-DC dönüştürücüleri iki temel grup altında incelemek mümkündür. Bu gruplar,
  - 1) DC kıyıcılar;
    - a) A sınıfı DC kıyıcı,
    - b) B sınıfı DC kıyıcı,
    - c) C sınıfı DC kıyıcı,
    - d) D sınıfı DC kıyıcı,
    - e) E sınıfı DC kıyıcı.
  - 2) Anahtarlama regülatörleri;
    - a) Sekonder anahtarlama regülatörleri,
    - b) Primer anahtarlama regülatörleri,

# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- **1- DC KIYICILAR:**
- Endüstride özellikle DC motorların kontrolunda yoğun olarak kullanılmakta olan DC kiyicılarda temelde iki farklı çalışma (çalıştırma) şekli vardır. Bunlar;
  - a) Azaltan tip çalışma,
  - b) Arttıran tip çalışmadır.
- Temel güç elemanı olarak BJT, Mosfet veya IGBT kullanılarak gerçekleştirilen DC kiyicıların temel çalışma durumları ayrı ayrı ve detaylı olarak incelenecektir.
- Azaltan tip DC kiyıcı çalışması (rezistif yükte);
- Bu çalışma durumunda, DC kiyıcının çıkış gerilimi, giriş geriliminden daima daha düşük seviyededir. Bu nedenle bu tür çalışmaya “azaltan” tip çalışma denilmektedir.
- Şekil-6.1’de tipik bir azaltan DC kiyıcı bağlantısı görülmektedir. Bağlantıdan görüldüğü gibi temel güç anahtarı olarak BJT kullanılmıştır. Devrede, BJT yerine Mosfet veya IGBT’de kullanılabilir.

# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-6.1'den görüldüğü gibi azaltan tip DC kıyıcıda güç anahtarı yük ile kaynak arasında seri olarak bağlanmıştır.
- Devrenin uyarma ve temel dalga şekilleri yan tarafta Şekil-6.2'de görülmektedir.



## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

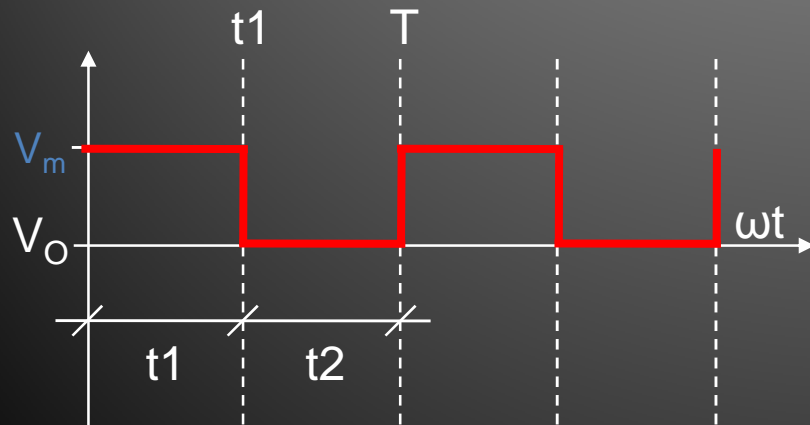
- Şekil-6.2'den görüldüğü gibi devre girişi sabit DC gerilim kaynağına bağlanmış, devredeki güç anahtarı (transistör) ise bir PWM sinyal ile uyarılmıştır.
- Transistör girişine uyarma sinyali verildiği sürece çıkış gerilimi giriş gerilimine eşit, uyarma sinyali verilmediğinde ise eleman yalıtıma geçeceğinden çıkış gerilimi sıfır olmaktadır.
- Uyarma sinyali etkin periyodu %0 ile %100 arasında değiştirilerek çıkış ayarlanabilir
  - Hem rezistif yüklerin ve elektronik devrelerin beslenmesinde hem de doğru akım motorlarının kontrolunda kullanılabilecek olan bu çalıştırma yönteminde diğer güç devrelerinde olduğu gibi,
    - 1) Çıkış geriliminin ortalama değeri,
    - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
    - 3) Ortalama çıkış gücü,
    - 4) Kaynak akımının ortalama değeri,
    - 5) Ortalama giriş gücü,
    - 6) Etkin giriş direnci
    - 7) Anahtar gerilimi,
    - 8) Anahtar akımı hesaplanabilir.

## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri;
- Azaltan tip çalışan devrede çıkış gerilimi, daha önce verildiği ve aşağıdaki Şekil-6.3'den görüldüğü gibi, güç anahtarının iletimde kalma süresine göre,

$$V_{O(dc)} = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} V_m \cdot dt = \frac{t_1}{T} \cdot V_m = k \cdot V_S$$

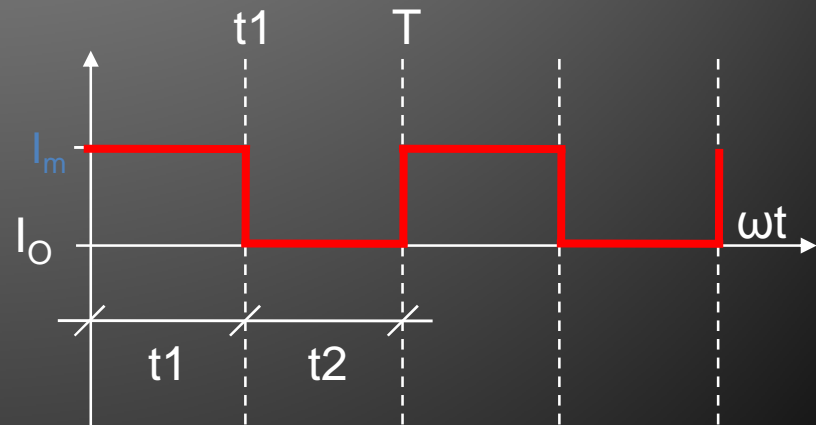
eşitliği kullanarak bulunabilecektir.



- 2) Çıkış akımı ortalama değeri;
- Azaltan tip çalışan devrede çıkış akımı, daha önce verildiği ve aşağıdaki Şekil-6.4'den görüldüğü gibi, güç anahtarının iletimde kalma süresine göre,

$$I_{O(dc)} = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} I_m \cdot dt = \frac{t_1}{T} \cdot I_m = k \cdot \frac{V_S}{R}$$

eşitliği kullanarak bulunabilecektir.

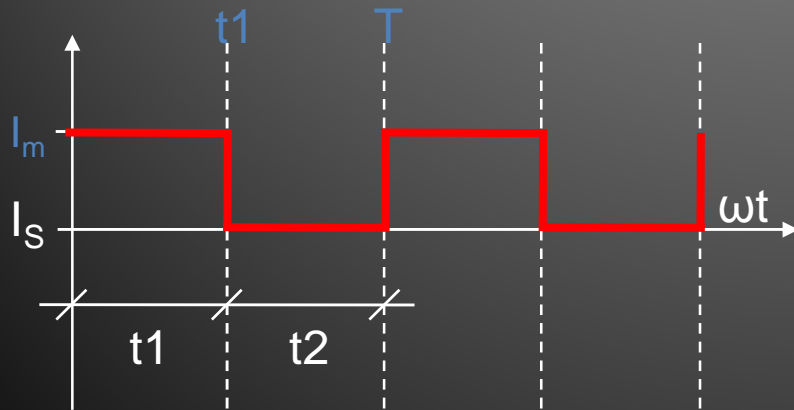




# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3) Ortalama çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,  
 **$P_o = I_o \cdot V_o = V_o^2 / R = k \cdot V_s^2 / R$**   
eşitliğinden bulunabilir.
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli,  
Şekil-6.5'deki gibi olduğuna göre  
ortalama değeri,

$$I_{S(dc)} = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} I_m \cdot dt = \frac{t_1}{T} \cdot I_m = k \cdot \frac{V_s}{R}$$



- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  
 **$P_s = k \cdot I_s \cdot V_s$**   
eşitliğinden bulunabilecektir.
- 6) Devrenin etkin giriş direnci,
- Kaynaktan görünen dirençtir.

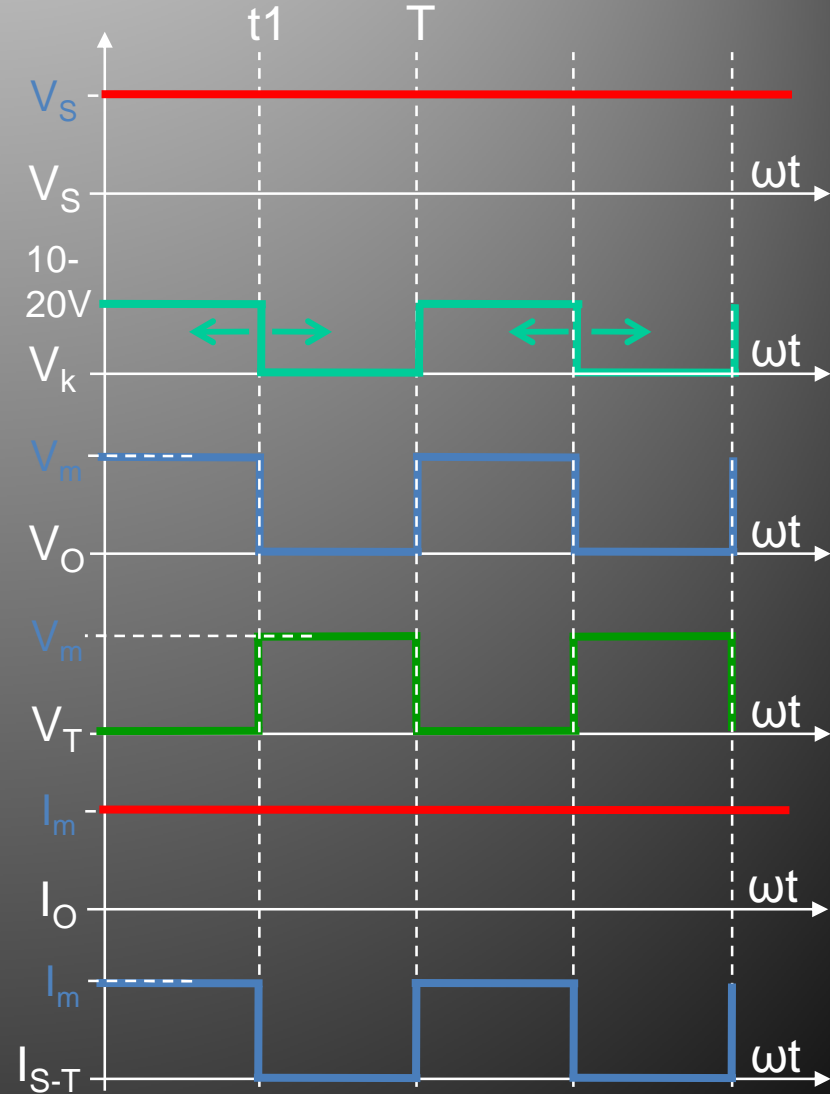
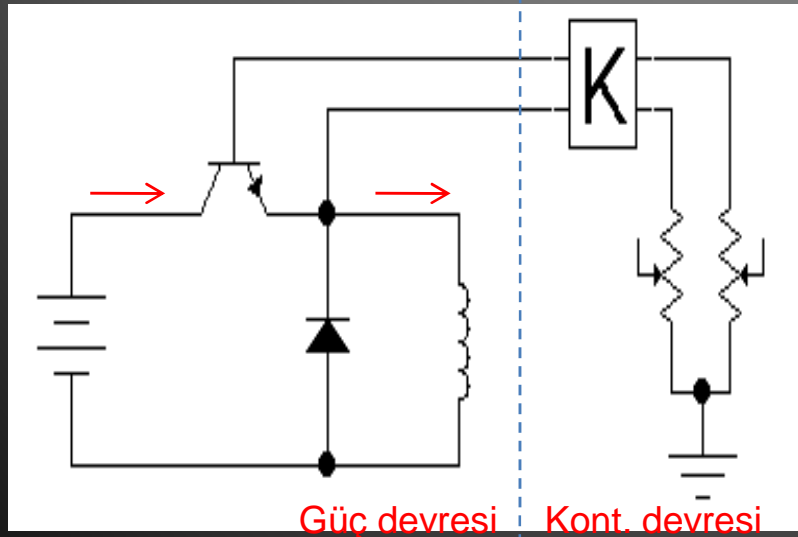
$$R_i = \frac{V_s}{I_s} = \frac{R}{k}$$

- 7) Anahtar akımı;  
 **$I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$**

- 8) Anahtar gerilimi;  
 **$V_T = 1,3 \cdot V_m$**  olacaktır.

# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Azaltan tip DC kıyıcı çalışması (endüktif yükte);
- Azaltan tip çalışmada endüktif yük kullanılması durumunda Şekil-6.6'da görüldüğü gibi serbest geçiş diyodu kullanılmalıdır. Devreyle ilgili dalga şekilleri ise Şekil-6.7'de görülmektedir.



## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

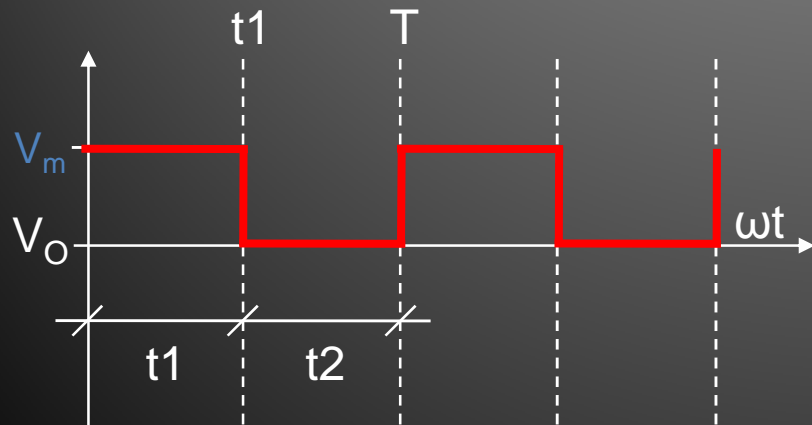
- Şekil-6.6'dan görüldüğü gibi devre girişi yine sabit DC gerilim kaynağına bağlanmış, devredeki güç anahtarı (BJT) ise bir PWM sinyal ile uyarılmıştır.
- Transistör girişine uyarma sinyali verildiği sürece çıkış gerilimi giriş gerilimine eşit, uyarma sinyali verilmediğinde ise eleman yalıtıma geçeceğinden çıkış gerilimi sıfır olmaktadır.
- Çıkış akımı ise sabit olup transistör iletimde olduğunda transistör üzerinden, transistör yalıtımda olduğu zamanlarda ise yüke ters paralel bağlı olan serbest geçiş diyodu üzerinden dolaşmaktadır.
- Hem rezistif yüklerin ve elektronik devrelerin beslenmesinde hem de doğru akım motorlarının kontrolunda kullanılabilecek olan bu çalıştırma yönteminde diğer güç devrelerinde olduğu gibi yine,
  - 1) Çıkış geriliminin ortalama değeri,
  - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
  - 3) Ortalama çıkış gücü,
  - 4) Kaynak akımının ortalama değeri,
  - 5) Ortalama giriş gücü,
  - 6) Etkin giriş direnci
  - 7) Anahtar gerilimi,
  - 8) Anahtar akımı,hesaplanabilir.

## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri;
- Azaltan tip çalışan devrede çıkış gerilimi, daha önce verildiği ve aşağıdaki Şekil-6.8'den görüldüğü gibi, güç anahtarının iletimde kalma süresine göre,

$$V_{O(dc)} = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} V_m \cdot dt = \frac{t_1}{T} \cdot V_m = k \cdot V_S$$

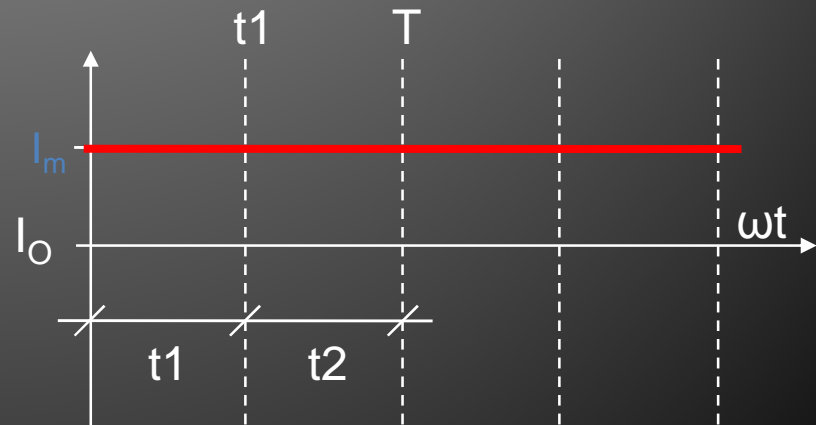
eşitliği kullanarak bulunabilecektir.



- 2) Çıkış akımı ortalama değeri;
- Azaltan tip çalışan devrede çıkış akımı, daha önce verildiği ve aşağıdaki Şekil-6.9'dan görüldüğü gibi, yük üzerinden sürekli akım aktığı düşünülerek,

$$I_{O(dc)} = \frac{1}{T} \int_0^T I_m \cdot dt = \frac{T}{T} \cdot I_m = \frac{V_S}{R}$$

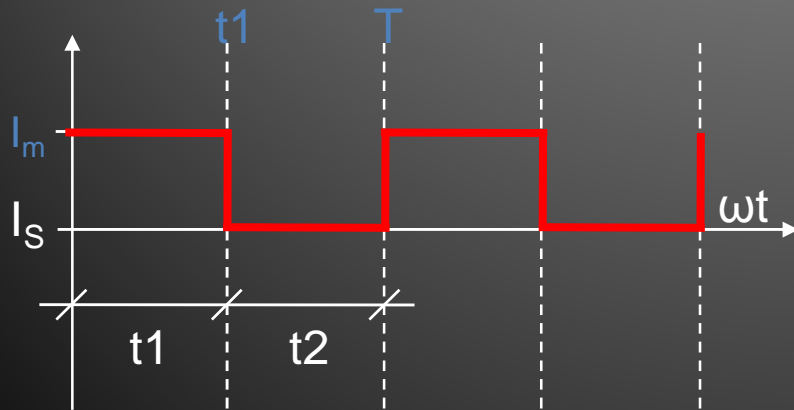
eşitliği kullanarak bulunabilecektir.



# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3) Ortalama çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,  
 **$P_o = I_o \cdot V_o = V_o^2 / R = k \cdot V_s^2 / R$**   
eşitliğinden bulunabilir.
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli,  
Şekil-6.10'deki gibi olduğuna göre  
ortalama değeri,

$$I_{S(dc)} = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} I_m \cdot dt = \frac{t_1}{T} \cdot I_m = k \cdot \frac{V_s}{R}$$



- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  
 **$P_s = k \cdot I_s \cdot V_s$**   
eşitliğinden bulunabilecektir.
- 6) Devrenin etkin giriş direnci,
- Kaynaktan görünen dirençtir.

$$R_i = \frac{V_s}{I_s} = \frac{R}{k}$$

- 7) Anahtar akımı;  
 **$I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$**

8) Anahtar gerilimi;

**$V_T = 1,3 \cdot V_m$**   
olacaktır.

## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

### ■ Örnek:

- 200Vdc şebekede %50 etkin peryotlu uyarmada çalıştırılan azaltan tip DC kıyıcı,
- a) 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

### ■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,  
 $V_o = V_s \cdot k$   
 $V_o = 200 \cdot 0,5$   
 $V_o = 100V$

- Çıkış akımının ortalama değeri,

$$I_o = V_o / R = 100 / 10$$

$$I_o = 10A$$

- Ortalama çıkış gücü,

$$P_o = I_o \cdot V_o$$

$$P_o = 10 \cdot 100 = 1kW$$

- Kaynak akımının ortalama değeri,

$$I_s = I_m \cdot k = (V_m / R) \cdot k$$

$$I_s = (200 / 10) \cdot 0,5$$

$$I_s = 10A$$

NOT: Devrenin girişi de DC olması nedeniyle kaynak akımının ortalama değeri hesaplanmıştır.

## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen güç,  
 $P_s = k \cdot V_s \cdot I_s = 0,5 \cdot 200 \cdot 10$   
 $P_s = 1\text{kW}$
- Devrenin etkin giriş direnci,  
 $R_i = R / k$   
 $R_i = 10 / 0,5 = 20\Omega$
- Anahtar (transistör) akımı,  
 $I_T \geq V_m / R + \%30$   
 $I_T \geq (200 / 10) \cdot 1,3 \geq 26\text{A}$
- Anahtar (transistör) gerilimi,  
 $V_T \geq 200 \cdot 1,3 \geq 260\text{V}$
- b) Endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,  
 $V_o = V_s \cdot k$   
 $V_o = 200 \cdot 0,5$   
 $V_o = 100\text{V}$
- Çıkış akımı ortalama değeri,  
 $I_o = V_s / Z = 200 / 10$   
 $I_o = 20\text{A}$
- Ortalama çıkış gücü,  
 $P_o = I_o \cdot V_o$   
 $P_o = 20 \cdot 100 = 2\text{kW}$
- Kaynak akımı ortalama değeri,  
 $I_s = (V_s / Z) \cdot k = (200/10) \cdot 0,5$   
 $I_s = 10\text{A}$

## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Endüktif yükte kaynaktan çekilen güç,

$$P_S = k \cdot I_S \cdot V_S$$

$$P_S = k \cdot 10 \cdot 200 = 1kW$$

- Endüktif yükte devrenin etkin giriş direnci,

$$Z_i = Z / k$$

$$Z_i = 10 / 0,5 = 20\Omega$$

- Anahtar (transistör) akımı,

$$I_T \geq V_S / R + \%30$$

$$I_T \geq (200 / 10) \cdot 1,3 \geq 26A$$

- Anahtar (transistör) gerilimi,

$$V_T \geq V_S + \%30$$

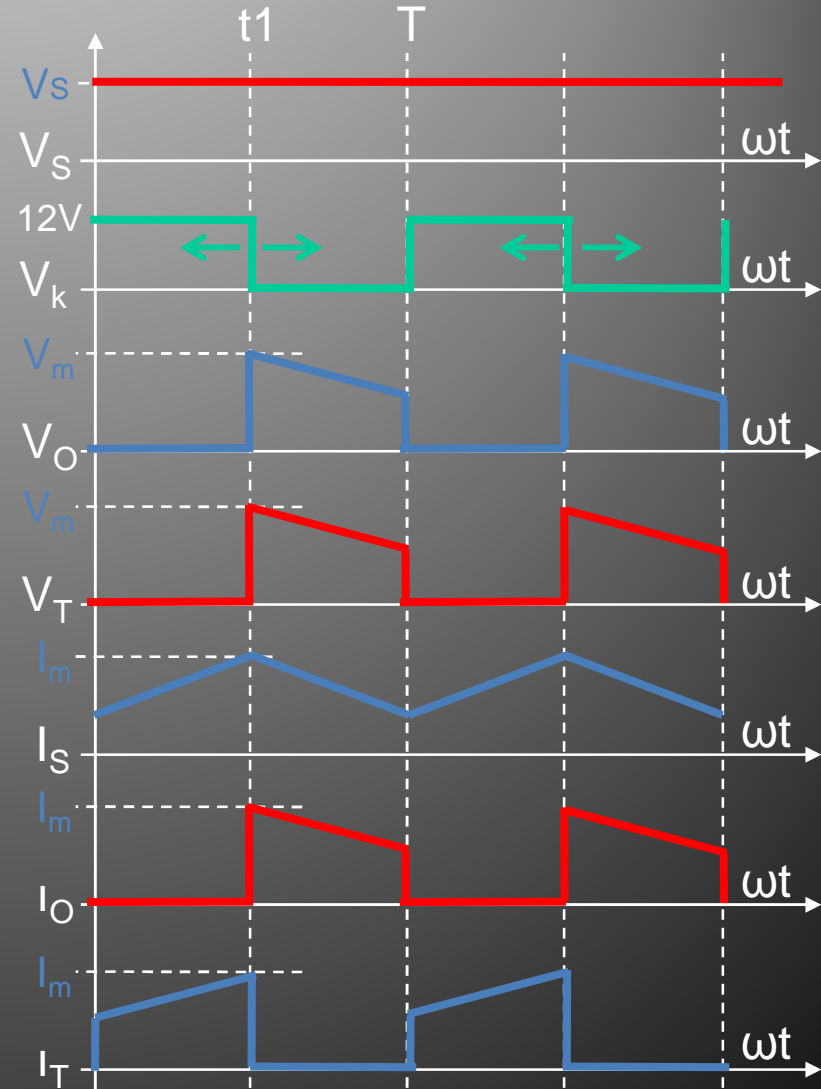
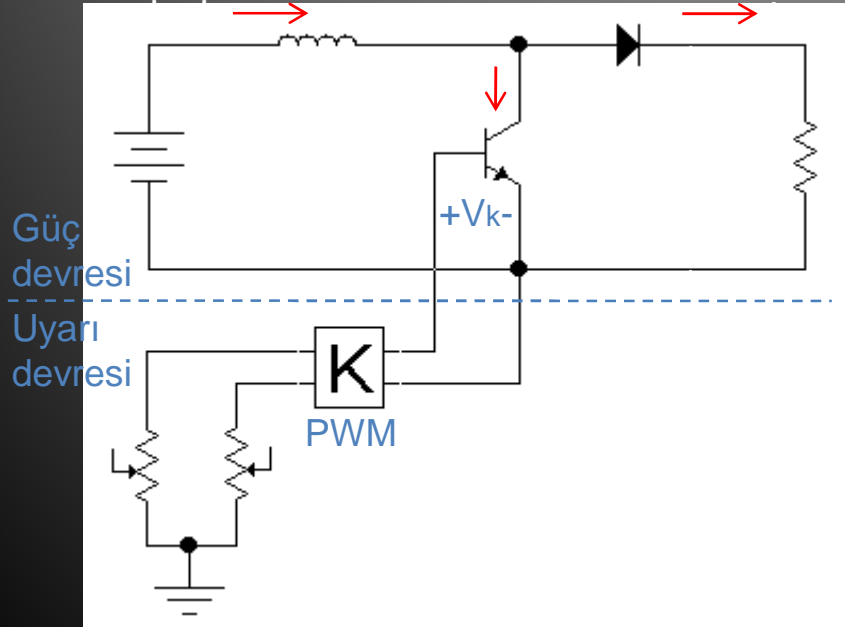
$$V_T \geq 200 \cdot 1,3 \geq 260V$$

**NOT:** Azaltan tip DC kısıyıcı devresinde giriş gerilimi tamamen düzgün bir DC olmasına karşın yapılan anahtarlama sonucu oluşan çıkış gerilimi kare dalga formatındadır. Bu gerilimin düzgünleştirilmesi için kapasitör filtresi kullanılmalıdır. Devre çıkışında filtre için kullanılan kapasiteyi küçültmek ve çıkışın daha düzgün olmasını sağlamak için anahtarlama frekansı yüksek (10-100kHz arası) seçilmektedir.



# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

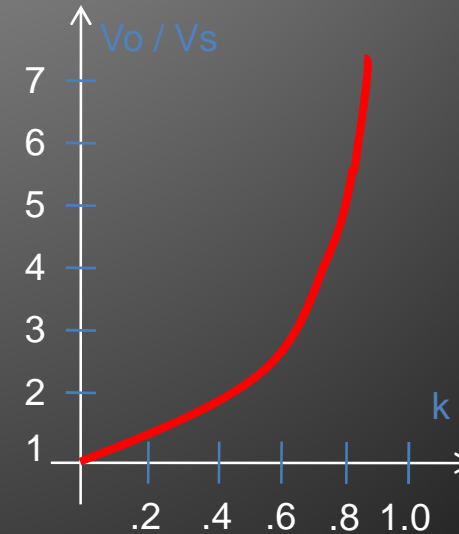
- Arttıran tip DC kıyıcı çalışması (rezistif yükte);
- Şekil-6.11'de arttıran tip devre yapısı, Şekil-6.12'de ise rezistif yükte devrenin dalga şekilleri görülmektedir. Bu devre yapısı genellikle batarya gerilimini yükseltmek için kullanılmaktadır.



## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-6.12'den görüldüğü gibi yükselten tip devrede anahtarlama elemanı azaltan devrenin aksine kaynağa ve yüke paralel olarak bağlanmıştır.
- Bu durumda transistör uyarıldığında kaynağı "L" üzerinden kısa devre ederek akım yüklemekte, yalıtıma geçirildiğinde ise kaynak ve L akımı yük üzerinden geçmektedir.
- Bu akıma göre oluşan çıkış gerilimi tepe değeri "k"ya bağlı olarak değişmektedir.

- Bu devrede çıkış geriliminin etkin değere (k) göre değişim grafiği aşağıdaki Şekil-6.13'de görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi, çıkış gerilimi "k" ile doğru orantılı olarak değişmekte olup girişin 7 katına kadar çıkabilmektedir.



# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

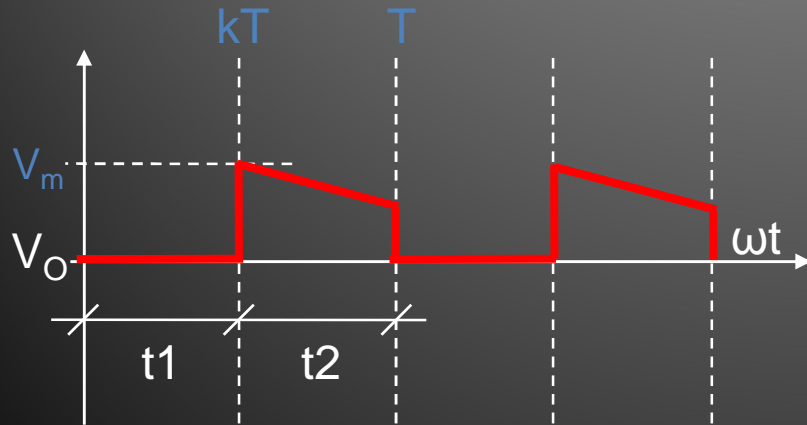
- 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri;
- Rezistif yükte oluşan çıkış gerilimi, daha önce verildiği ve aşağıdaki Şekil-6.14'den görüldüğü gibi, güç anahtarının iletimde kalma süresine göre,

$$k = t_1 / (t_1 + t_2)$$

$$V_{dc} \approx V_s + V_L = V_s + L(di/dt)$$

$$V_{dc} \approx V_s \cdot [(t_1 + t_2) / t_2] = V_s / (1 - k)$$

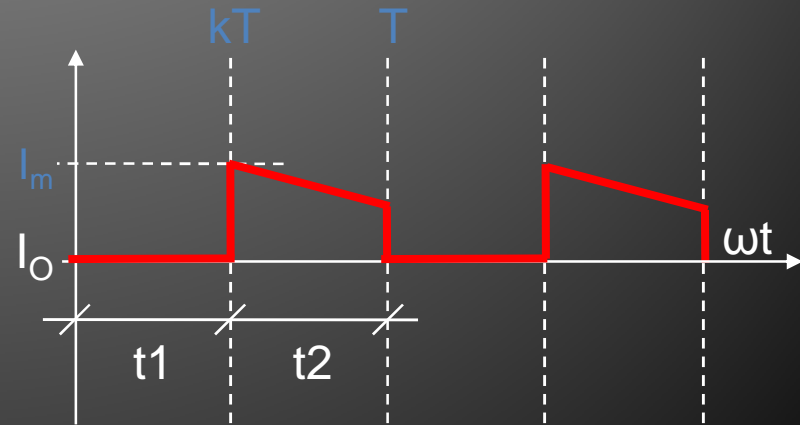
eşitlikleri kullanarak bulunabilir.



- 2) Çıkış akımı ortalama değeri;
- Yükselten tip çalışan devrede çıkış akımı, daha önce verildiği ve aşağıdaki Şekil-6.15'den görüldüğü gibi, güç anahtarının iletimde kalma süresine göre oluşan gerilimle orantılı olarak,

$$I_{dc} = V_{dc} / R$$

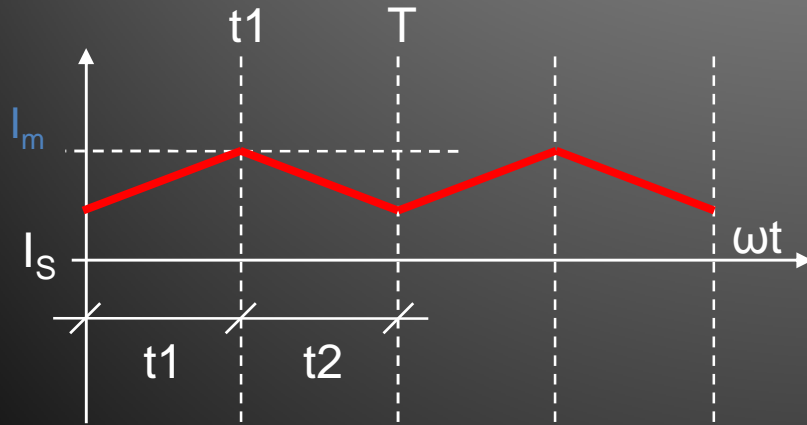
eşitliği kullanarak bulunabilecektir.



## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3) Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü,  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$  olacaktır.

- 4) Kaynak akımı ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-6.16'daki gibidir. Buna göre akımın ortalama değeri şöyledir,  
 $I_s \approx I_m = (V_s/R) + I_L = (V_s/R) / (1-k)$



- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  
 $P_{S(dc)} = (I_{s(dc)} \cdot V_s) / (1-k)$

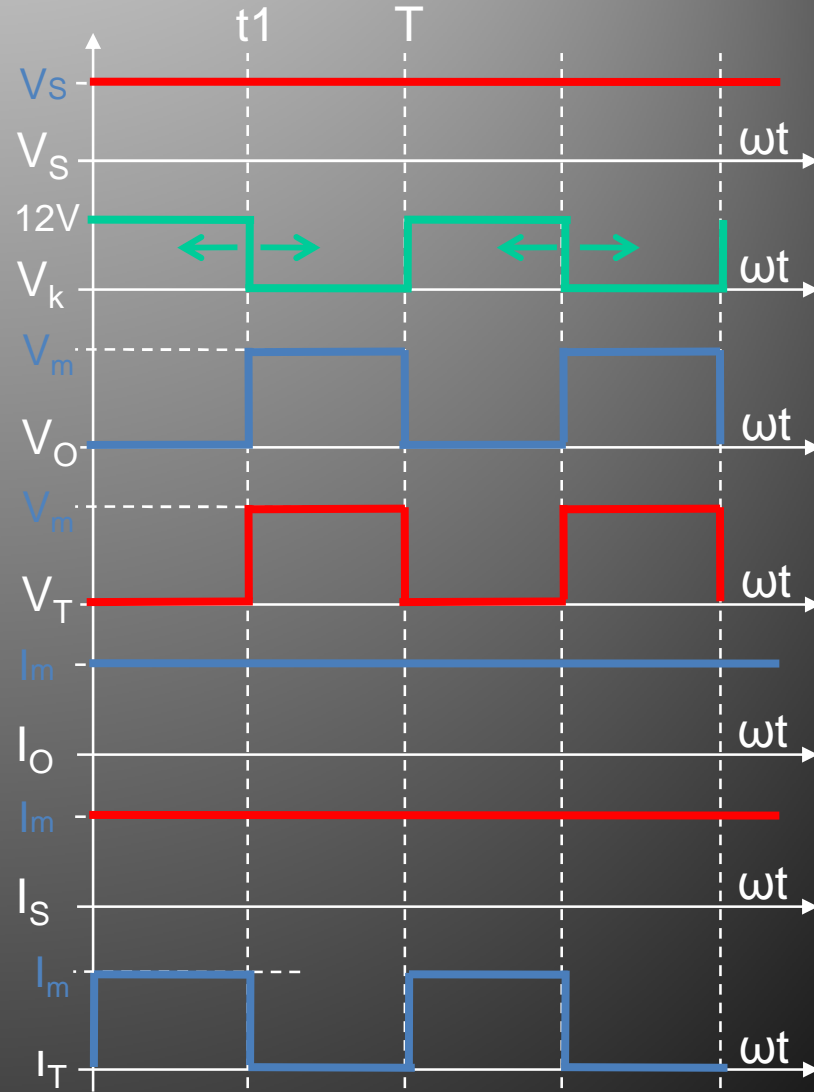
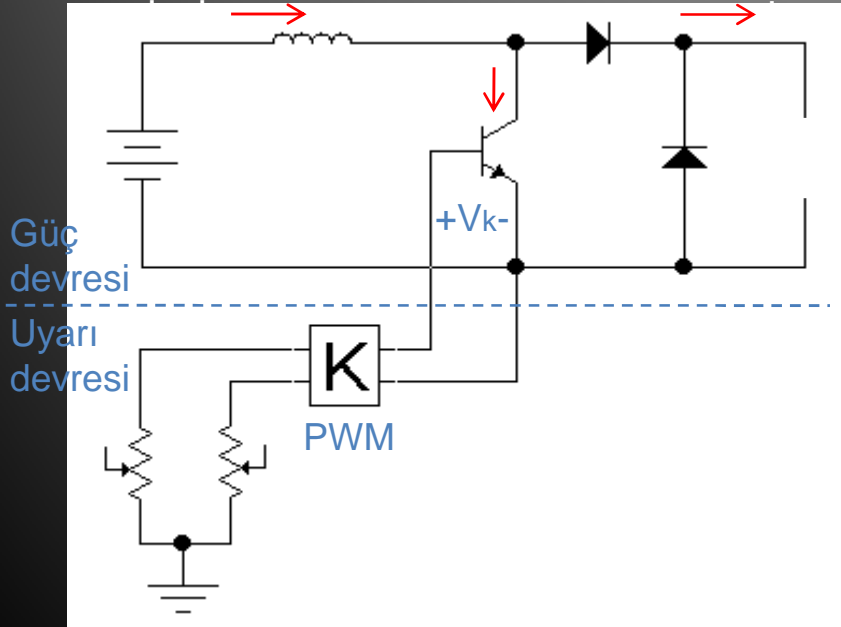
- 6) Devrenin etkin giriş direnci,
- Kaynaktan görünen dirençtir ve  
 $R_i = V_s / I_s = R \cdot (1-k)$  olacaktır.

- 7) Anahtar akımı;  
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$

- 8) Anahtar gerilimi;  
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$  olacaktır.

# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

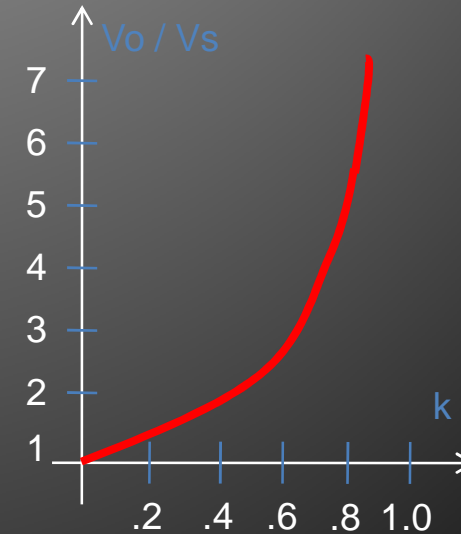
- Arttıran tip DC kıyıcı çalışması (endüktif yükte);
- Bu çalışma şeklinde yükün çok endüktif olduğu kabul edilmiştir. Buna göre Şekil-6.17'de devre yapısı, Şekil-6.18'de ise devrenin çalışmasını gösteren dalga şekilleri görülmektedir.



## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-6.17'den görüldüğü gibi yükselten tip devre endüktif yükte çalıştırıldığında yük üzerindeki yükün boşalması için yüke ters paralel bir serbest geçiş diyodu bağlanmıştır.
- Devrede yine transistör uyarıldığında kaynağı "L" üzerinden kısa devre ederek akım yüklemekte, yalıtıma geçirildiğinde ise kaynak ve L akımı yükten geçmektedir.
- Bu akıma göre oluşan çıkış gerilimi tepe değeri "k"ya bağlı olarak değişmektedir.

- Bu devrede çıkış geriliminin etkin değere (k) göre değişim grafiği yine aşağıdaki Şekil-6.19'da görüldüğü gibidir. Grafikten görüldüğü gibi, çıkış gerilimi "k" ile doğru orantılı olarak değişmekte olup girişin 7 katına kadar çıkabilmektedir.



# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri;

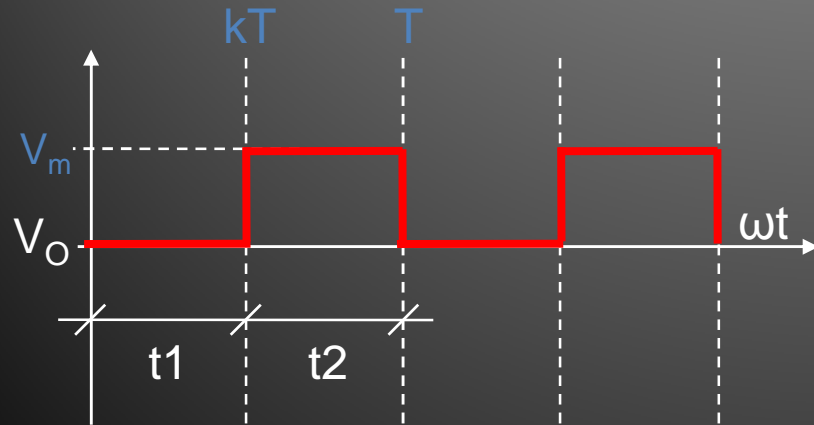
- Endüktif yükte oluşan çıkış gerilimi, daha önce verildiği ve aşağıdaki Şekil-6.20'den görüldüğü gibi, güç anahtarının iletimde kalma süresine göre,

$$k = t_1 / (t_1 + t_2)$$

$$V_{dc} \approx V_s + V_L = V_s + L(di/dt)$$

$$V_{dc} \approx V_s \cdot [(t_1 + t_2) / t_2] = V_s / (1 - k)$$

eşitlikleri kullanarak bulunabilir.

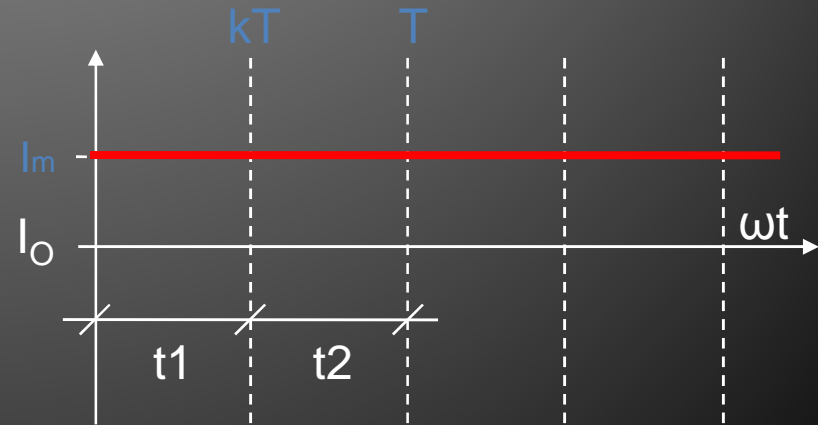


- 2) Çıkış akımı ortalama değeri;

- Yükselten tip çalışan devrede çıkış akımı, daha önce verildiği ve aşağıdaki Şekil-6.21'den görüldüğü gibi, güç anahtarının iletimde kalma süresiyle doğru orantılı olarak,

$$I_{dc} = I_m = V_s/R + I_L = (V_s/R) / (1 - k)$$

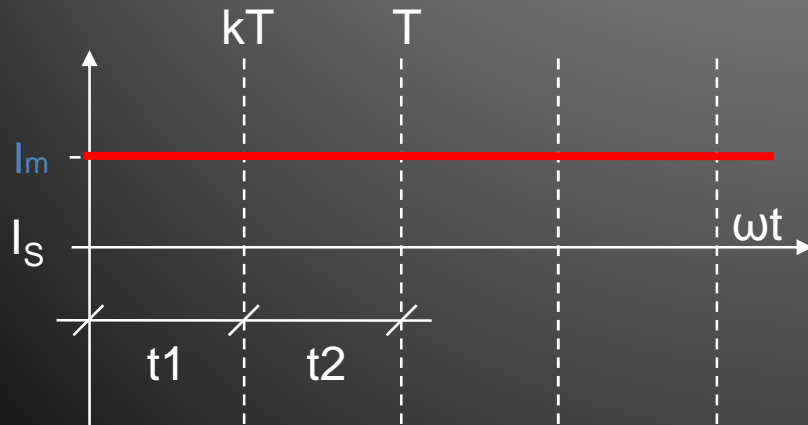
eşitliği kullanarak bulunabilecektir.



## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3) Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü,  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$  olacaktır.

- 4) Kaynak akımı ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-6.22'deki gibidir. Buna göre akımın ortalama değeri şöyledir,  
 $I_{s(dc)} = I_m = V_s/R + I_L = (V_s/R) / (1-k)$



- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  
 $P_{S(dc)} = (I_{s(dc)} \cdot V_s) / (1-k)$
- 6) Devrenin etkin giriş empedansı,
- Kaynaktan görünen dirençtir ve  
 $Z_i = V_s / I_s = Z \cdot (1-k)$  olacaktır.
- 7) Anahtar akımı;  
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$
- 8) Anahtar gerilimi;  
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$  olacaktır.



## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

### ■ Örnek:

- 200Vdc şebekede %50 etkin peryotlu uyarda çalıştırılan arttıran tip DC kıyıcı,
- a) 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

### ■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,  
 $k = t_1 / (t_1 + t_2) = 0,5$   
 $V_{dc} \approx V_s + V_L = V_s / (1 - k)$   
 $V_{dc} \approx 200 / (1 - 0,5) = 400V$

Çıkış akımının ortalama değeri,

$$I_{dc} = V_{dc} / R = 400 / 10$$

$$I_{dc} = 40A$$

- Ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 40 \cdot 400 = 16kW$$

- Kaynak akımının ortalama değeri,

$$I_{S(dc)} \approx I_m = V_s / R + I_L = (V_s / R) / (1 - k)$$

$$I_{S(dc)} \approx I_m = (200 / 10) / (1 - 0,5)$$

$$I_{S(dc)} \approx I_m = 40A$$

## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen güç,  
 $P_{S(dc)} = (I_{S(dc)} \cdot V_{S(dc)}) / (1-k)$   
 $P_S = (40 \cdot 200) / (1-0,5) = 16kW$
- Devrenin etkin giriş direnci,  
 $R_i = R \cdot (1-k)$   
 $R_i = 10 \cdot (1-0,5) = 5\Omega$
- Anahtar (transistör) akımı,  
 $I_T \geq V_m/R + \%30$   
 $I_T \geq (400 / 10) \cdot 1,3 \geq 52A$
- Anahtar (transistör) gerilimi,  
 $V_T \geq 400 \cdot 1,3 \geq 520V$
- b) Endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri etkin periyot kullanılarak,  
 $k = t_1 / (t_1+t_2) = 0,5$   
 $V_{dc} \approx V_S + V_L = V_S / (1-k)$   
 $V_{dc} \approx 200 / (1-0,5) = 400V$   
Çıkış akımının ortalama değeri,  
 $I_{dc} = I_m = V_S/R + I_L = (V_S/R) / (1-k)$   
 $I_{dc} = (200/10) / (1-0,5) = 40A$
- Ortalama çıkış gücü,  
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$   
 $P_{dc} = 40 \cdot 400 = 16kW$

## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynak akımının ortalama değeri,

$$I_{S(dc)} \approx I_m = V_s/R + I_L = (V_s/R) / (1-k)$$

$$I_{S(dc)} \approx I_m = (200/10) / (1-0,5)$$

$$I_{S(dc)} \approx I_m = 40A$$

- Kaynaktan çekilen güç,

$$P_{S(dc)} = (I_{S(dc)} \cdot V_{S(dc)}) / (1-k)$$

$$P_S = (40 \cdot 200) / (1-0,5) = 16kW$$

- Devrenin etkin giriş empedans,

$$Z_i = Z \cdot (1-k)$$

$$Z_i = 10 \cdot (1-0,5) = 5\Omega$$

- Anahtar (transistör) akımı,

$$I_T \geq V_m/Z + \%30$$

$$I_T \geq (400 / 10) \cdot 1,3 \geq 52A$$

- Anahtar (transistör) gerilimi,

$$V_T \geq 400 \cdot 1,3 \geq 520V$$

**NOT:** Arttıran tip DC kısıyıcı devresi genellikle doğru akım motorlarında rejeneratif frenleme uygulanması sırasında kullanılmaktadır.

Bu uygulama sayesinde motor sargılarında indüklenen gerilim kaynak geriliminden daha yüksek hale getirilerek ters akım akması ve bu sayede hem motorun frenlemeye girmesi hem de kazanılan enerjinin kaynağa geri aktarılması sağlanmaktadır.

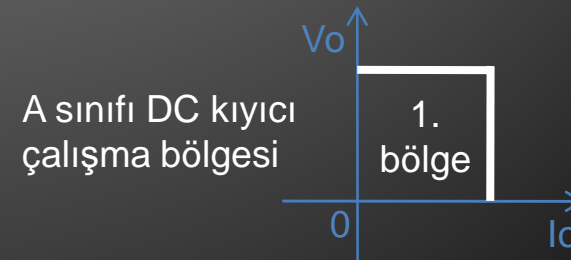
# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- **DC KIYICILARIN SINIFLANDIRILMASI:**
- Giriş bölümünde de belirtildiği gibi DC kıyıcıları çalışma şekline göre 5 farklı sınıfa ayırmak mümkün olmaktadır. Bunlar;

A sınıfı dc kıyıcılar,  
B sınıfı dc kıyıcılar,  
C sınıfı dc kıyıcılar,  
D sınıfı dc kıyıcılar,  
E sınıfı dc kıyıcılardır.

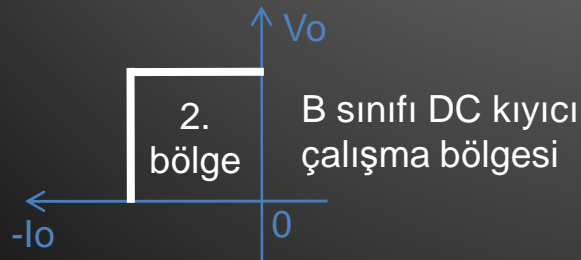
- Şimdi bu kıyıcı türleri ve özellikleri sırasıyla detaylı olarak incelenecektir.

- **A sınıfı DC kıyıcılar;**
- A sınıfı DC kıyıcılar, daha önce ayrıntısı ile incelenen “Azaltan tip DC kıyıcı” yapısıdır.
- Dolayısıyla bu tür bir kıyıcıda çıkış gerilimi daima giriş geriliminin altındadır.
- Şekil-6.23’de görüldüğü gibi, genellikle düşük ve orta güçlerdeki doğru akım motorlarının kontrolünde ve farklı dc besleme gerilimi gereken devrelerde kullanılan A sınıfı DC kıyıcılar sadece 1. bölgede çalışmaktadır.

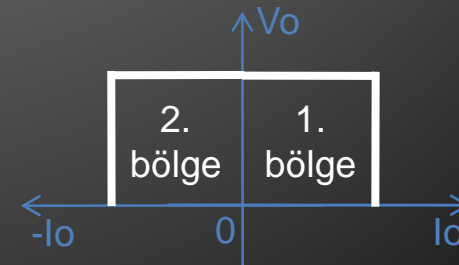


# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- **B sınıfı DC kıyıcılar;**
- B sınıfı DC kıyıcılar, daha önce ayrıntısı ile incelenen “Arttıran tip DC kıyıcı” yapısıdır.
- Dolayısıyla bu tür bir kıyıcıda çıkış gerilimi daima giriş geriliminin üstündedir.
- Genellikle doğru akım motorlarının re-jeneratif (enerjiyi geri kazanarak) frenleme kontrolünde ve gerilim yükseltmekte kullanılan B sınıfı DC kıyıcılar, Şekil-6.24’de görüldüğü gibi sadece 2. bölgede çalışmaktadır.

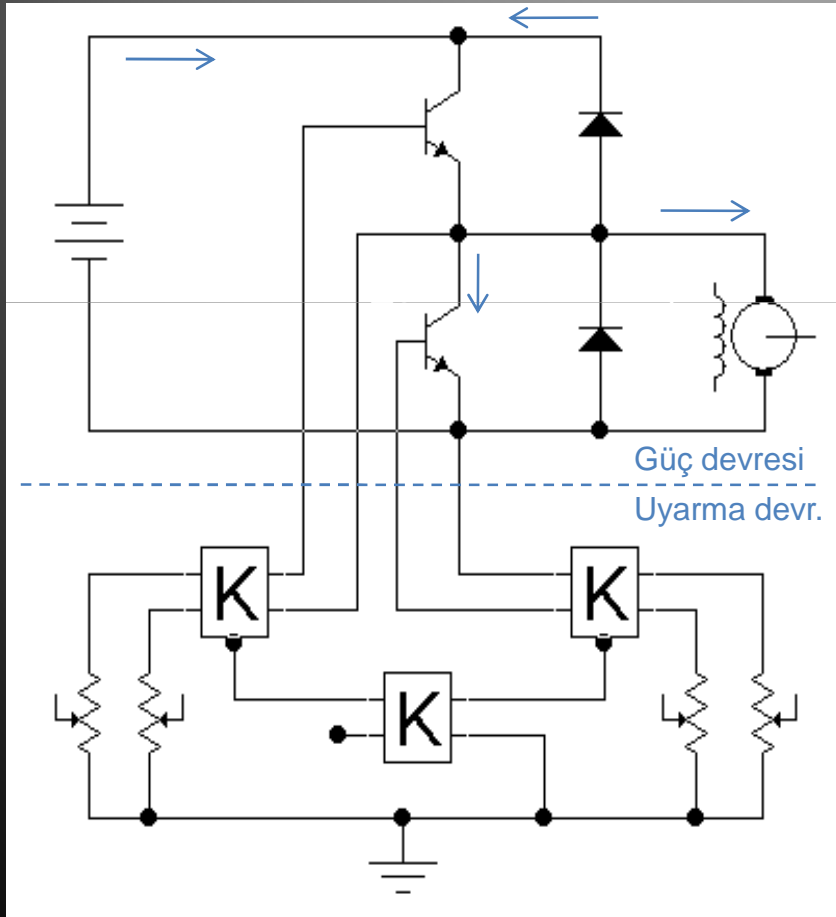


- **C sınıfı DC kıyıcılar;**
- C sınıfı DC kıyıcılar, A sınıfı ve B sınıfı DC kıyıcıların birleştirilmesiyle oluşturulan yeni bir kıyıcı devresidir.
- C sınıfı kıyıcılar, özellikle orta ve yüksek güçteki doğru akım motorlarının tek yönlü hız ve re-jeneratif frenleme kontrolünde kullanılmaktadırlar.
- Bu tür kıyıcılar A ve B sınıflarının birleşimi olduğu için çalışma bölgesi de Şekil-6.25’de görüldüğü gibi 1. ve 2. bölgelerdir.



## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Aşağıdaki Şekil-6.26'da tipik bir C sınıfı DC kıyıcı bağlantısı görülmektedir.

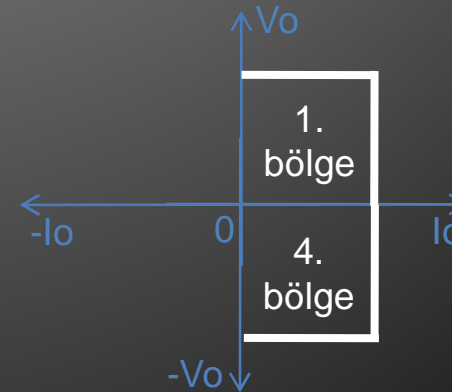


- Şekil-6.26'da görülen bağlantıda T1 transistörü uyarıldığında devre A sınıfı olarak çalışmakta ve motoru enerjilendirerek dönmesini sağlamaktadır.
- T2 transistörü uyarıldığında ise devre B sınıfı olarak çalışmakta ve yükün ataletiyle dönmeye devam ederek bir jeneratör gibi elektrik üreten motorun çıkış gerilimini yükselterek kaynağa doğru akım akıtmasını sağlamaktadır.
- Bu sayede hem motor hızlı olarak frenlenmekte hem de kaynak şarj edilmektedir.

## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

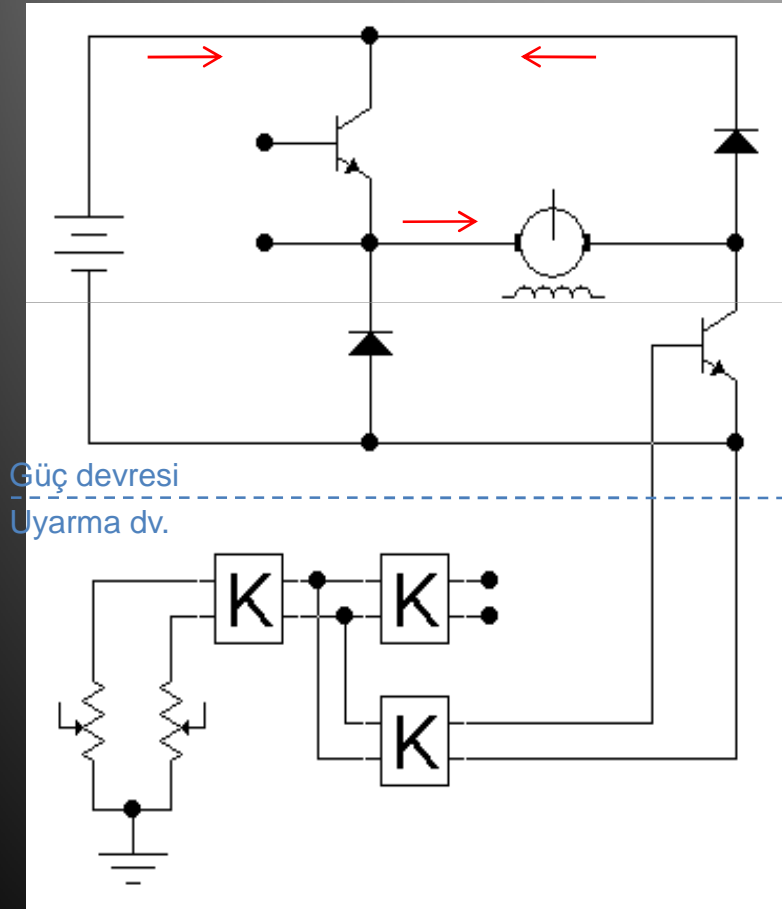
- Şekil-6.26'da görülen bağlantıda T1 transistörü uyarıldığında devreden " $I_s=I_o$ " akımı dolaşmakta, T1 yalıtıma geçtiğinde ise " $I_o$ " akımı "D2" diyodu üzerinden devam etmektedir.
- T2 transistörü uyarıldığında ise devreden " $I_t$ " akımı dolaşmakta, T2 yalıtıma geçtiğinde ise " $I_f$ " akımı "D1" diyodu üzerinden kaynağa doğru akmaktadır.
- Devrenin dalga şekilleri ve hesaplamaları A ve B sınıflarında olduğu gibidir.

- **D sınıfı DC kıyıcılar;**
- D sınıfı DC kıyıcılar, çift yönlü DC kıyıcılara geçişte bir ara durum olup, genellikle tek başına kullanılmazlar.
- Bu tür kıyıcılar, C sınıfı DC kıyıcıda olduğu gibi yine çift bölgede çalışmaktadır. D sınıfı DC kıyıcının çalışma bölgeleri Şekil-6.27'de görüldüğü gibi 1. ve 4. bölgelerdir.



# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Aşağıdaki Şekil-6.28'de tipik bir D sınıfı DC kıyıcı bağlantısı görülmektedir.



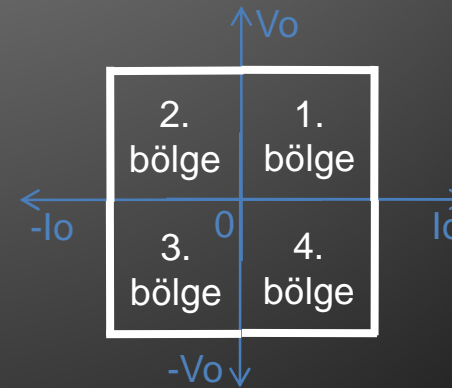
- Şekil-6.28'den görüldüğü gibi T1 ve T2 transistörleri aynı anda uyarılmakta ve seri bağlı gibi çalışmaktadır. D1 ve D2 diyotları ise serbest geçiş diyodu olarak çalışmaktadırlar.
- Devre aslında azaltan tip DC kıyıcı gibi çalışmakta ve motoru tek yönlü olarak kontrol etmektedir. Tek farkı serbest geçiş akımının ( $I_d$ ) kaynak üzerinden dolaşmasıdır.
- Devrenin herhangi bir frenleme fonksiyonu yoktur, çünkü yük akımı hep aynı yönlüdür. Çıkış gerilimi ise sürekli olarak yön değiştirmektedir.



## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

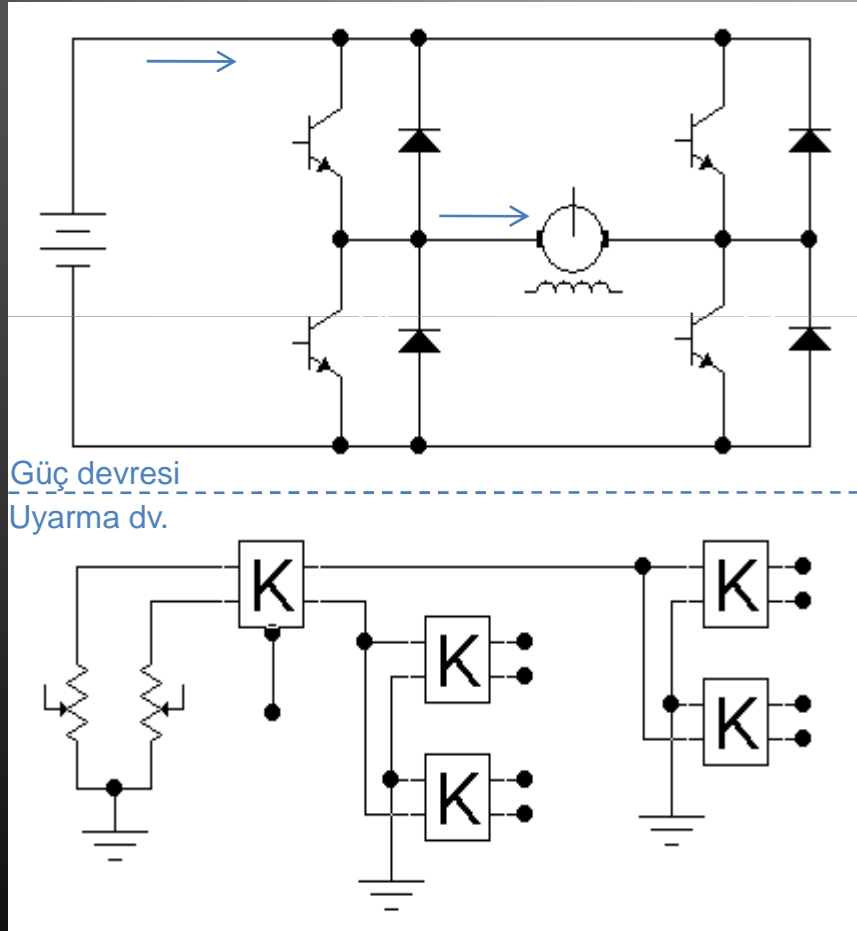
- Şekil-6.28’de görülen bağlantıda transistörler uyarıldığında devreden “ $I_s=I_o$ ” akımı dolaşmakta, transistörler yalıtıma geçtiğinde ise “ $I_o=I_d$ ” akımı diyotlar ve kaynak üzerinden devam etmektedir.
- Bu durumda transistörler iletimdeyken çıkış gerilimi pozitif, transistörler yalıtıma geçtiğinde ise akım diyotlar üzerinden dolaşacağı için çıkış gerilimi negatif olmaktadır.
- Devrenin çıkış dalga şekilleri ve hesaplamaları ise azaltan tip DC kıyıcıda olduğu gibidir.

- E sınıfı DC kıyıcılar;
- E sınıfı DC kıyıcılar, çift yönlü (4 bölge) DC kıyıcılar olarak bilinmekte olup iki adet C veya iki adet D sınıfı DC kıyıcının birleşiminden oluşmuşlardır.
- Bu tür kıyıcılar, iki adet çift bölge DC kıyıcının birleşimi olduğu için, çalışma bölgeleri de Şekil-6.29’da görüldüğü gibi 1.2.3. ve 4. bölgelerdir.



# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Aşağıdaki Şekil-6.30'da tipik bir E sınıfı DC kıyıcı bağlantısı görülmektedir.



- Şekil-6-30'dan görüldüğü gibi, motor ileri yönde döndürülmek istendiğinde T1 ve T2 uyarılmakta ve devre D sınıfı DC kıyıcı gibi çalıştırılmaktadır.
- Motor ileri yönde dönerken regeneratif frenleme yapılması gerektiğinde sadece T4 uyarılarak devre B sınıfı (yükselten tip) DC kıyıcı gibi çalıştırılmakta ve motoru jeneratör gibi çalıştırarak D1-D2 ve kaynak üzerinden frenleme akımı akıtılmaktadır. Bu durumda motor üzerindeki enerji geri kazanılarak hızlı frenleme yapılmaktadır.

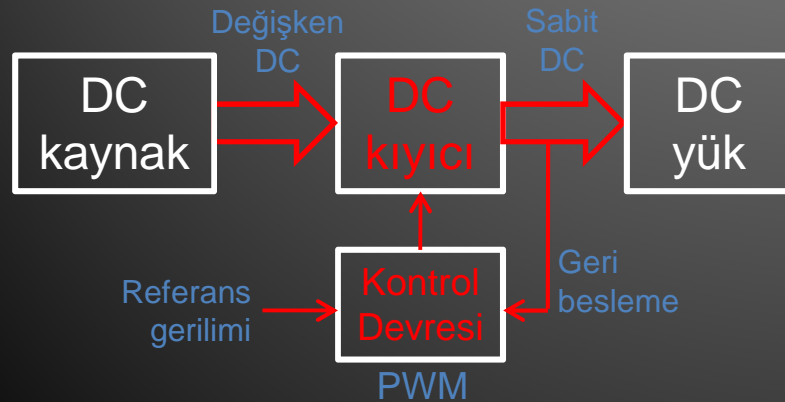
## VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Yine Şekil-6-30'dan görüldüğü gibi, motor geri (ters) yönde döndürülmek istendiğinde T3 ve T4 uyarılmakta ve devre ters yönde yine D sınıfı DC kıyıcı gibi çalıştırılmaktadır.
- Motor geri yönde dönerken re-jeneratif frenleme yapılması gerektiğinde sadece T2 uyarılarak devre yine B sınıfı (yükselten tip) DC kıyıcı gibi çalıştırılmakta ve motoru jeneratör gibi çalıştırarak D3-D4 ve kaynak üzerinden frenleme akımı akıtılmakta ve motor üzerindeki enerji geri kazanılarak fren yapılmaktadır.
- E sınıfı DC kıyıcılar, özellikle sabit mıknatis uyarımlı ve yabancı uyarımlı doğru akım motorlarında hem çift yönlü hız kontrolü hem de çift yönlü frenleme kontrolünde kullanılabilen, hem çıkış akımı hem de çıkış gerilimi ters çevrilebilen tam donanımlı motor sürücü devreleridir.
- E sınıfı DC kıyıcılar istenirse birbirine ters paralel bağlı iki C sınıfı kıyıcı olarak da kontrol edilebilmektedir.
- Devrenin çıkış dalga şekilleri ve hesaplamaları ise azaltan tip DC kıyıcıda olduğu gibidir.

# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

## ■ 2- ANAHTARLAMALI REGÜLATÖRLER:

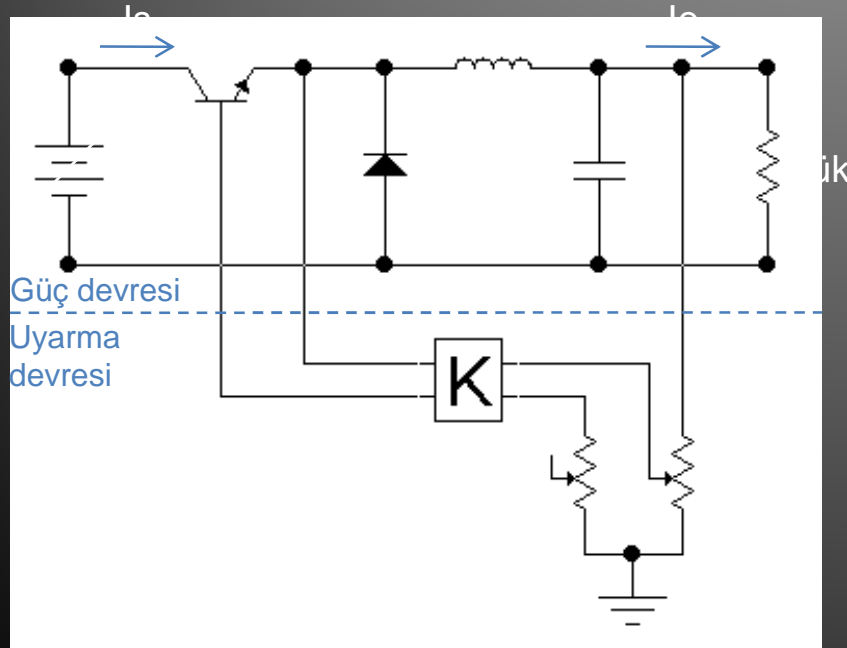
- Anahtarlama regülatörler hemen hemen tüm elektronik cihazların beslemesinde çok yaygın olarak kullanılan dc-dc dönüştürücü uygulamalarıdır.
- Aşağıdaki Şekil-6-31'de anahtarlama regülatörlerin genel yapısı görülmektedir.



- Şekil-6.31'den görüldüğü gibi, devre girişine gelen regülesiz dc gerilim bir DC kıyıcıdan geçirilerek çıkışta bulunan ve sabit gerilim isteyen yüke aktarılmaktadır.
- Çıkış geriliminin sabit kalabilmesi içinse DC kıyıcının PWM kontrol devresi bir geribesleme düzeneği üzerinden sürekli olarak uyarılmaktadır.
- Anahtarlama regülatörlerin 3 temel türü bulunmaktadır. Bunlar, 1- Azaltan (Buck) regülatörler, 2- Arttıran (Boost) regülatörler, 3- Tersleyen (Inverting) regülatörlerdir. Şimdi bu türlerin yapısı ve çalışması sırasıyla incelenecektir.

# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

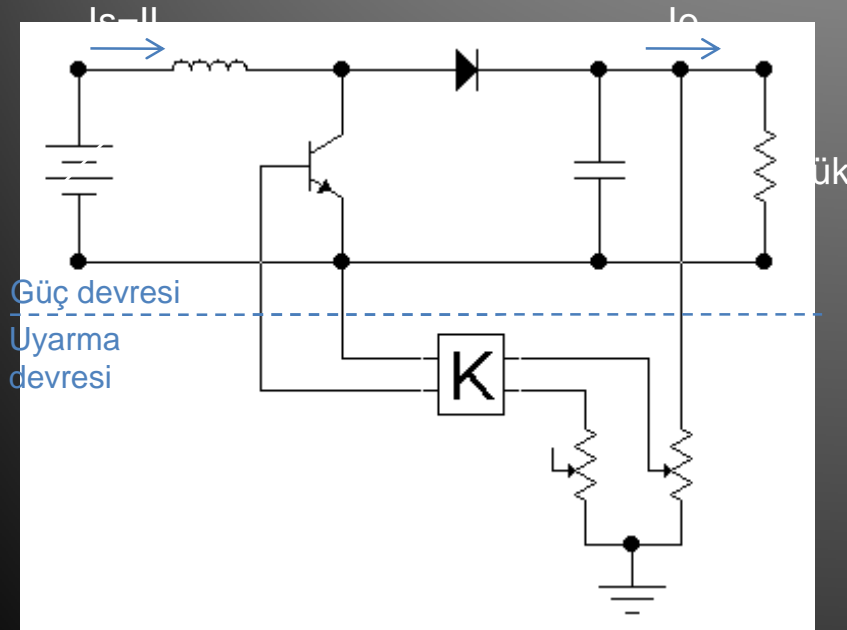
- **Azaltan (Buck) Regülatör;**
- Azaltan regülatör aslında azaltan tip DC kıyıcı güç devresinin dolayısıyla da A sınıfı DC kıyıcı devre yapısının benzeridir. Şekil-6.32'den görüldüğü gibi aradaki tek fark devre çıkışında bir L-C filtre devresinin kullanılmasıdır.



- Şekil-6.32'de görülen azaltan (buck) regülatör devresinin A sınıfı DC kıyıcıdan bir başka farkı da kontrol devresine güç devresi çıkışından bir voltaj geri beslemesi yapılmış olmasıdır.
- Zaten bu sayede devre regülatör (sabitleyici) özelliğini kazanmaktadır. Çıkış gerilimi yükselmek istediğinde geri besleme sayesinde kontrol devresi uyarılarak PWM kare dalganın etkin periyodu daraltılmakta, tersi durumda da genişletilmekte ve çıkış gerilimi hep istenen değerde sabit tutulmaktadır.
- Yüksek frekansta çalışan devrenin dalga şekilleri ve hesaplamaları azaltan tip DC kıyıcıyla aynıdır.

# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

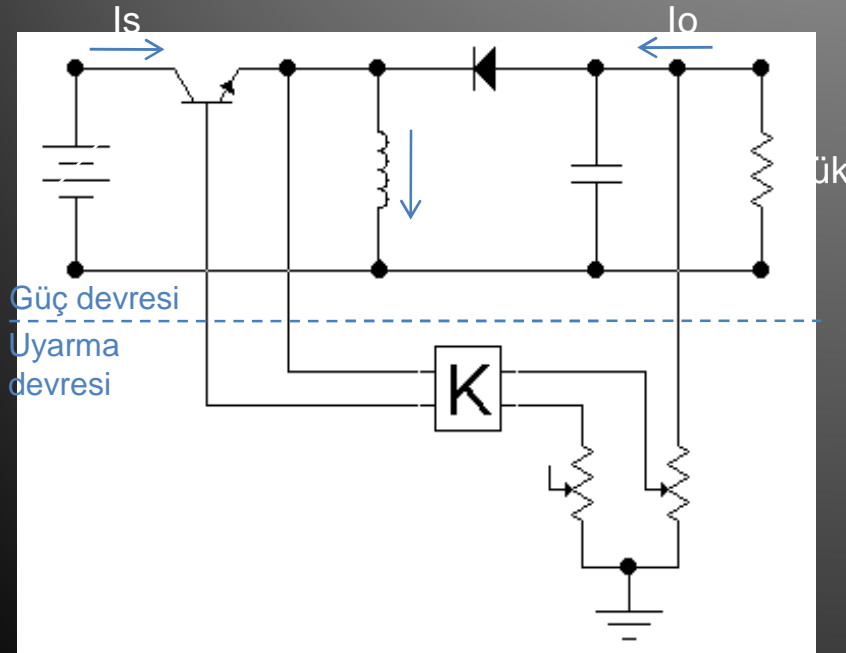
- **Arttıran (Boost) Regülatör;**
- Arttıran regülatör aslında arttıran tip DC kıyıcı güç devresinin dolayısıyla da B sınıfı DC kıyıcı devre yapısının benzeridir. Şekil-6.33'den görüldüğü gibi aradaki tek fark devre çıkışında bir C filtre devresinin kullanılmasıdır.



- Şekil-6.33'de görülen arttıran (boost) regülatör devresinin B sınıfı DC kıyıcıdan bir başka farkı da kontrol devresine güç devresi çıkışından bir voltaj geri beslemesi yapılmış olmasıdır.
- Zaten bu sayede devre regülatör (sabitleyici) özelliğini kazanmaktadır. Çıkış gerilimi yükselmek istediğinde geri besleme sayesinde kontrol devresi uyarılarak PWM kare dalganın etkin periyodu daraltılmakta, tersi durumda da genişletilmekte ve çıkış gerilimi hep istenen değerde sabit tutulmaktadır.
- Yüksek frekansta çalışan devrenin dalga şekilleri ve hesaplamaları arttıran tip DC kıyıcıyla aynıdır.

# VI – DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- **Tersleyen (Inv.) Regülatör;**
- Tersleyen regülatör aslında azaltan ve arttıran regülatörlerin birleşiminden oluşan ve çıkış gerilimi girişe göre ters olan bir regülatör türüdür. Şekil-6.34'de görülen devrede ters çıkış gerilimi  $V_s$ 'in altında veya üstünde olabilir.



- Şekil-6.34'de görülen tersleyen (inv.) regülatör devresinin yine en önemli özelliği, kontrol devresine güç devresi çıkışından bir voltaj geri beslemesi yapılmış olmasıdır.
- Zaten bu sayede devre regülatör (sabitleyici) özelliğini kazanmaktadır. Çıkış gerilimi istenen seviyeden yükselmek istediğinde geri besleme sayesinde kontrol devresi uyarılarak PWM kare dalganın etkin periyodu daraltılmakta, tersi durumda da genişletilmekte ve çıkış gerilimi hep istenen değerde sabit tutulmaktadır.
- Devrenin dalga şekilleri ve hesaplamaları arttıran tip kıyıcıyla benzerdir ( $V_s$  yerine  $k.V_s$ ).

## ÖDEV-13

13.1) 220V-50Hz şebekede, 10kHz frekanslı ve %70 etkin peryotlu PWM ile çalıştırılan ve  $6\Omega$  rezistif bir yükü besleyen A sınıfı DC kıyıcının,

- a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
- b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
- c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

13.2) 50Vdc şebekede, 10kHz frekanslı ve %60 etkin peryotlu PWM ile çalıştırılan ve  $4\Omega$  rezistif bir yükü besleyen B sınıfı DC kıyıcının,

- a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
- b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
- c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.



# Bölüm-7

## DC-AC

# Dönüştürücüler

# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

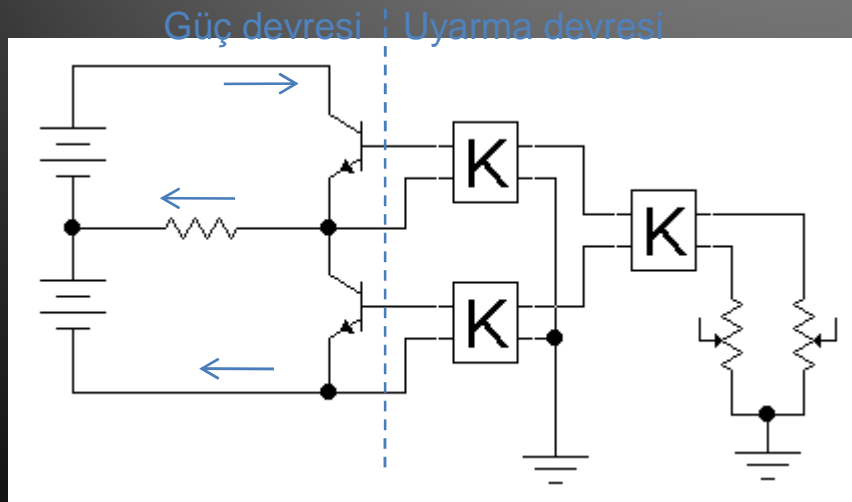
- **GİRİŞ:**
- DC-AC dönüştürücüler, özellikle son dönemlerde güç elektroniği ve endüstriyel elektronik uygulamalarında çok yoğun olarak kullanılmaya başlayan güç devreleridir. DC-AC dönüştürücülerin kullanım alanları,
  - 1) AC motor kontrolunda,
  - 2) Kesintisiz güç kaynaklarında,
  - 3) Rüzgar ve güneş enerji sistemlerinde,
  - 4) İndüksiyonla ısıtmada,
  - 5) Değişken frekanslı uygulamalar.
- DC-AC dönüştürücüleri iki temel grup atında incelemek mümkündür. Bu gruplar,
  - 1) PWM İnvertörler;
    - a) Gerilim Kaynaklı (VSI),
      - 1 faz VSI,
      - 3 faz VSI.
    - b) Akım Kaynaklı (CSI),
      - 1 faz CSI,
      - 3 faz CSI.
  - 2) Rezonanslı İnvertörler;
    - a) Seri Rezonanslı İnvertörler,
    - b) Paralel Rezonanslı İnvertörlerdir.

# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- **A - GERİLİM KAYNAKLI PWM İNVERTÖRLER (VSI):**
- Endüstride özellikle Asenkron motorların kontrolunda yoğun olarak kullanılmakta olan PWM invertörler, DC gerilim kaynağını kullanarak değişken frekanslı ve değişken gerilimli AC üretirler.
- Bu bölümde gerilim kaynaklı türü incelenecek olan PWM invertörlerin en önemli avantajı çıkışta oluşan AC gerilimin genlik ve frekansının çok kolaylıkla ayarlanabilmesidir ki bu sayede senkron ve asenkron motorlarda çok kolaylıkla hız kontrolu yapılabilmektedir.
- 1) 1 fazlı Gerilim Kaynaklı PWM İvertörler (Rezistif yük);
- Bir fazlı VSI invertörler DC gerilim kaynağı kullanarak 1 fazlı, değişken frekanslı ve değişken genlikli AC gerilim elde etmekte kullanılan devrelerdir.
- 1 fazlı tam dalga doğrultucuların tam tersi gibi düşünülebilecek olan bu devrelerde tıpkı 1 fazlı doğrultucularda olduğu gibi iki farklı yöntem kullanılabilir. Bu yöntemler,
  - 1) Simetrik DC kaynakta yarım köprü ile çalışma,
  - 2) Tek DC kaynakta tam köprü ile çalışmadır.

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

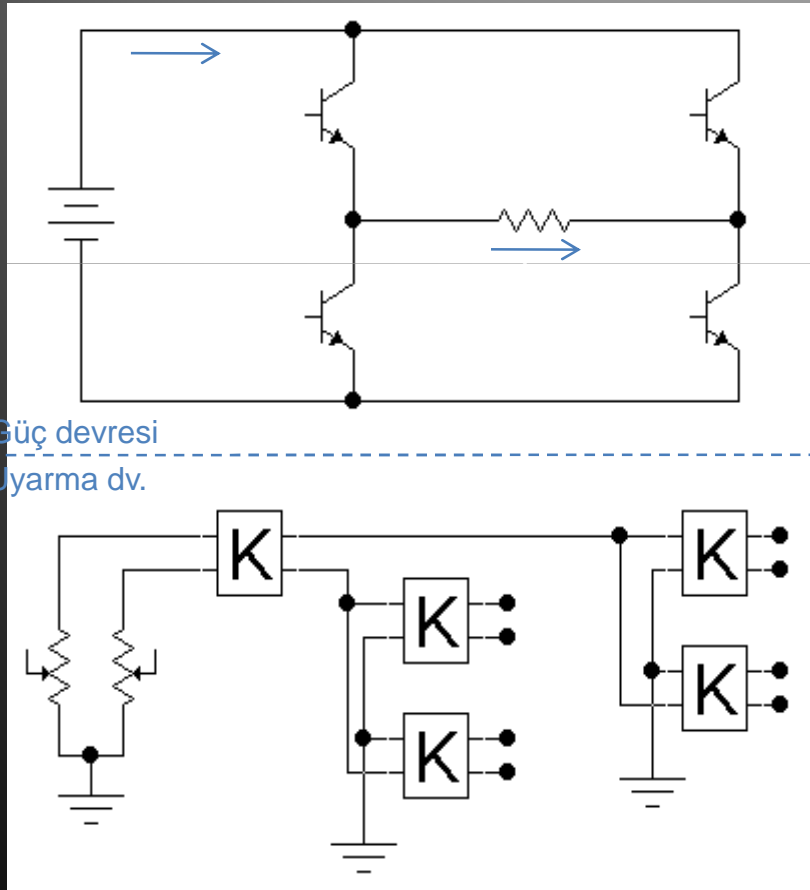
- Aşağıdaki Şekil-7.1’de simetrik DC kaynaktan ve rezistif yükte çalıştırılan yarım köprü tipi PWM invertör (VSI) devre bağlantısı görülmektedir.
- Şekilde BJT olarak görülen güç anahtarları yerine gerektiğinde Mosfet veya IGBT’de kullanılabilir.



- Şekil-7.1’de görülen yarım köprü invertör devresi, aynı güç ve özelliklerde 2 adet DC kaynak gerektirdiği için pratik kullanım için uygun değildir.
- Devre çıkışında AC gerilim elde edebilmek için T1 ve T3 transistörleri sırayla ve eş zamanlı olarak (push-pull) uyarılmalıdır.
- T1 uyarıldığında  $V_s-1$  kaynağı yüke bağlanacak ve çıkış gerilimi pozitif olacaktır. T3 uyarıldığında ise  $V_s-2$  kaynağı yüke bağlanacak ve çıkış gerilimi negatif olacaktır.
- Bu işlem periyodik olarak gerekli olarak frekansta yapıldığında çıkışta istenilen frekanslı AC gerilim elde edilmiş olacaktır.

# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Aşağıdaki Şekil-7.2’de ise tek DC kaynakta ve rezistif yükte tam köprü tipi PWM invertör (VSI) devre bağlantısı görülmektedir.

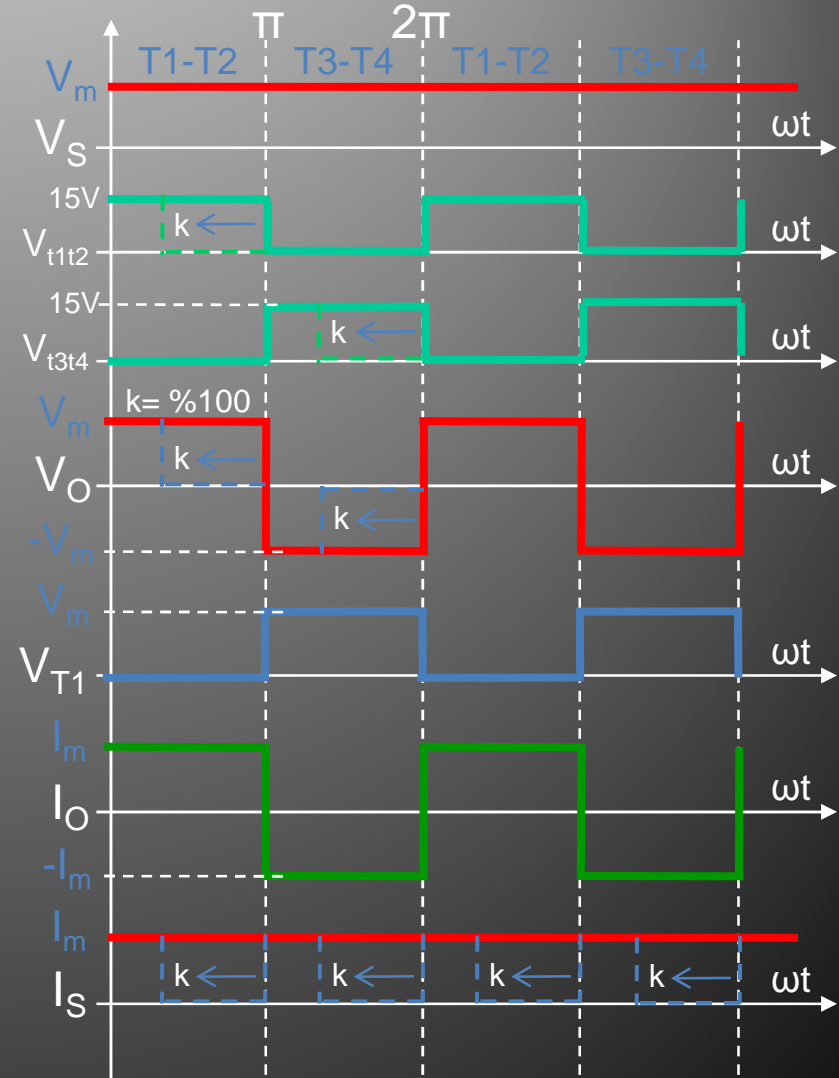


Güç devresi  
Uyarma dv.

- Şekil-7.2’de görülen tam köprü invertör devresiyle, tek bir DC kaynak kullanarak yarım köprü invertörle elde edilen sonucun aynısı elde edilebilmektedir.
- Devre çıkışında AC gerilim elde edebilmek için T1-T2 ve T3-T4 transistörleri sırayla ve eş zamanlı olarak (push-pull) uyarılmalıdır.
- T1-T2 uyarıldığında  $V_s$  kaynağı yüke bağlanacak ve çıkış gerilimi pozitif olacaktır. T3-T4 uyarıldığı zaman ise  $V_s$  kaynağı yüke ters bağlanacak ve çıkış gerilimi negatif olacaktır.
- Bu işlem periyodik olarak yapıldığında çıkışta istenilen frekanslı AC gerilim oluşmaktadır.

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.1 ve Şekil-7.2'de görülen yarım köprü ve tam köprü PWM invertörlerin rezistif performansını gösteren dalga şekilleri yan tarafta Şekil-7.3'de verilmiştir.
- Şekilden görüldüğü gibi T1-T2 ve T3-T4 ikililerinin periyodik olarak devreye sokulmasıyla istenen frekansta kare dalga formatında bir AC gerilim çıkış uçlarında oluşmaktadır.
- Burada gerilimlerin tepe değeri ( $V_m$ ) kaynak gerilimine, akımların tepe değeri ( $I_m$ ) ise kaynak geriliminin yük direncine ( $R$ ) oranına eşit olacaktır.
- Çizilen bu dalga şekillerine göre invertörün tüm performans parametreleri hesaplanacaktır.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

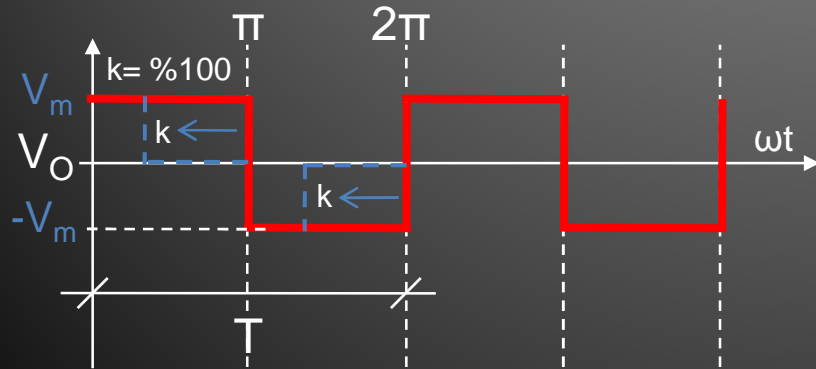
- PWM invertör kullanılarak elde edilen AC gerilimin frekansı tamamen kontrol sinyalinin frekansına bağlı olarak oluşmaktadır.
- İnvörtör kullanılarak elde edilen AC gerilimin genliği ise iki farklı yöntemle kontrol edilebilmektedir. Bu yöntemler,
  - 1) Değişken kaynak gerilimi ( $V_s$ ) kullanılarak,
  - 2) Değişken etkin peryot ( $k$ ) kullanılarakdır.
- PWM invertörlerde adından da anlaşılacağı gibi daha çok ikinci yöntem olan etkin peryot kontrolü yöntemi kullanılmaktadır.
- Değişken frekanslı gerilim gereken uygulamalarda kullanılan 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün rezistif yükte çalışırken diğer güç devrelerinde olduğu gibi,
  - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
  - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
  - 3) Etkin çıkış gücü,
  - 4) Kaynak akımının ortalama değeri,
  - 5) Ortalama giriş gücü,
  - 6) Devrenin verimi,
  - 7) Anahtar gerilimi,
  - 8) Anahtar akımı,hesaplanabilir.

# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1) Çıkış geriliminin etkin değeri;
- 1 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) saf rezistif yükte oluşan çıkış gerilimi Şekil-7.4'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} V_m^2 \cdot dt} = \sqrt{k} \cdot V_s$$

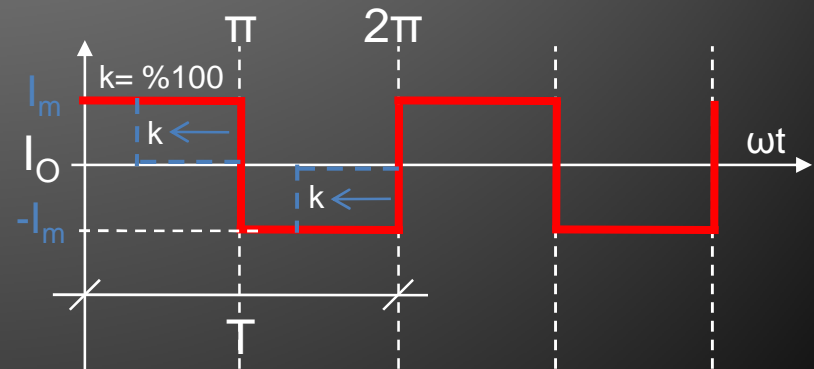
olarak bulunabilecektir.



- 2) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) saf rezistif yükte oluşan çıkış akımı Şekil-7.5'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği,

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} I_m^2 \cdot dt} = \frac{V_{O(rms)}}{R}$$

olarak bulunabilecektir.



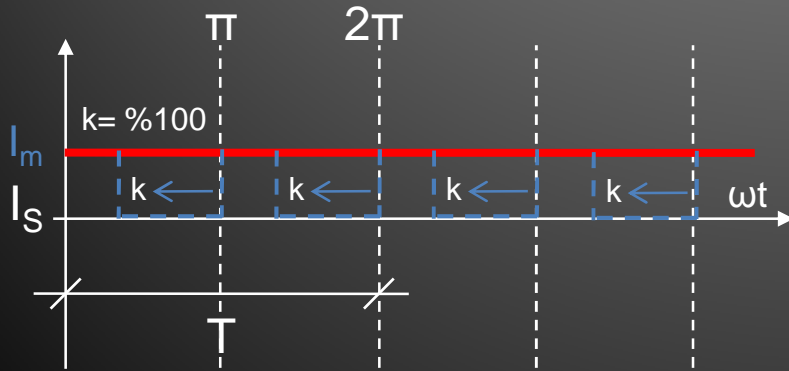


# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,  
 **$P_o = I_o \cdot V_o$**
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.6'daki gibi olduğuna göre,

$$I_{S(rms)} = \frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} I_m \cdot dt = \frac{k \cdot V_s}{R}$$

eşitliğinden bulunabilecektir.



- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  
 **$P_s = I_s \cdot V_s$**   
eşitliğinden bulunabilecektir.

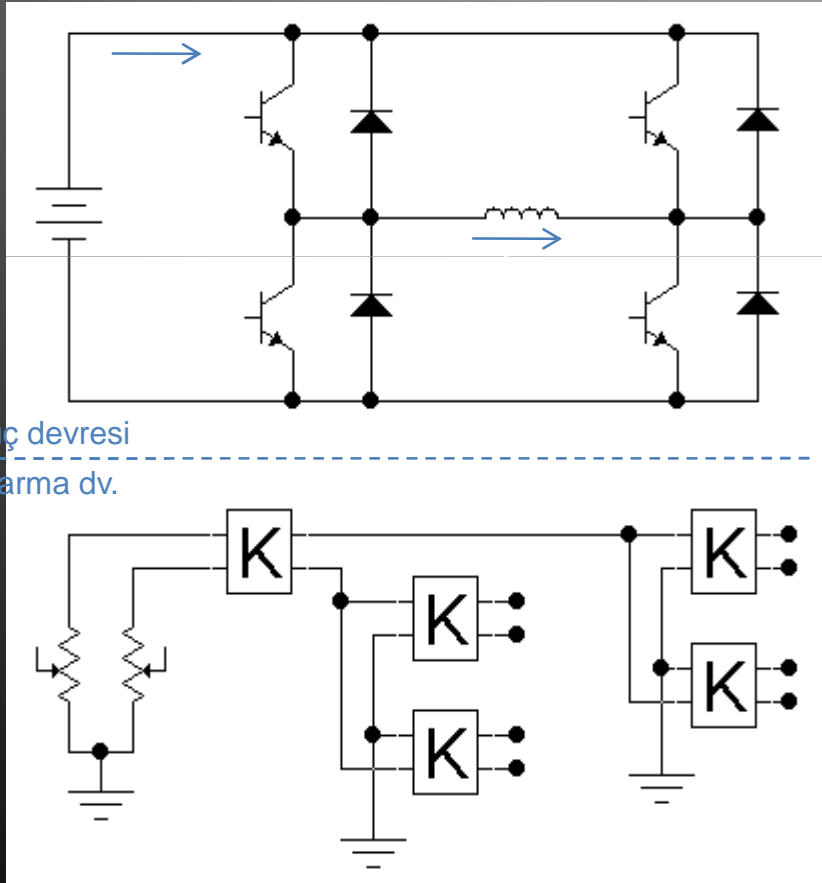
- 6) Devrenin verimi;
- Devrenin verimi,  
 **$\eta = P_o / P_s$**  olacaktır.

- 7) Anahtar gerilimi,
- Anahtarın üzerine gelecek olan gerilime göre,  
 **$V_T = 1,3 \cdot V_m$**  olacaktır.

- 8) Anahtar akımı;
- Anahtarın üzerindeki akıma göre;  
 **$I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$**

# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1 fazlı Gerilim Kaynaklı PWM İvertörler (Endüktif yükte);
- Şekil-7.7’de endüktif yükte çalışan PWM inverter görülmektedir.

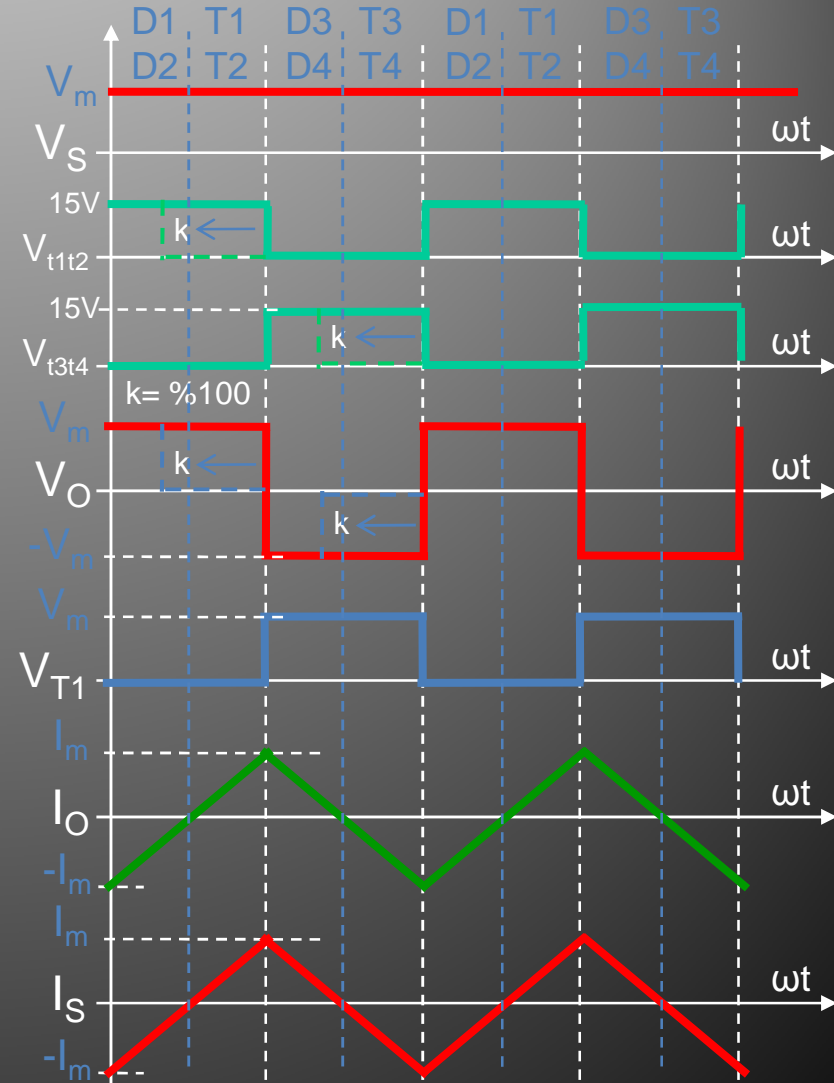


Güç devresi  
Uyarma dv.

- Şekil-7.7’den görüldüğü gibi yükün endüktif olması durumunda, yük üzerindeki enerjinin boşalabilmesi için devreye serbest geçiş diyotları eklenmiş durumdadır.
- Serbest geçiş diyotları her bir transistöre ters paralel olarak eklemiştir. Bu durumda ortaya çıkan devre daha önce DC kiyıcılarda incelenmiş olan E sınıfı DC kiyıcı devresi olmaktadır.
- Tabii ki burada kontrol mantığı E sınıfı kiyıcıdaki gibi değildir. Bu nedenle devre inverter olarak çalışmaktadır.

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.7’de görülen tam köprü PWM invertörün çok endüktif performansını gösteren dalga şekilleri yan tarafta Şekil-7.8’de verilmiştir.
- Şekilden görüldüğü gibi T1-T2 ve T3-T4 ikililerinin periyodik olarak devreye sokulmasıyla istenen frekansta kare dalga formatında bir AC gerilim çıkış uçlarında oluşmaktadır.
- Burada gerilimlerin tepe değeri ( $V_m$ ) kaynak gerilimine, akımların tepe değeri ( $I_m$ ) ise kaynak geriliminin yük empedansına ( $Z$ ) oranına eşit olacaktır.
- Çizilen bu dalga şekillerine göre invertörün tüm performans parametreleri hesaplanacaktır.

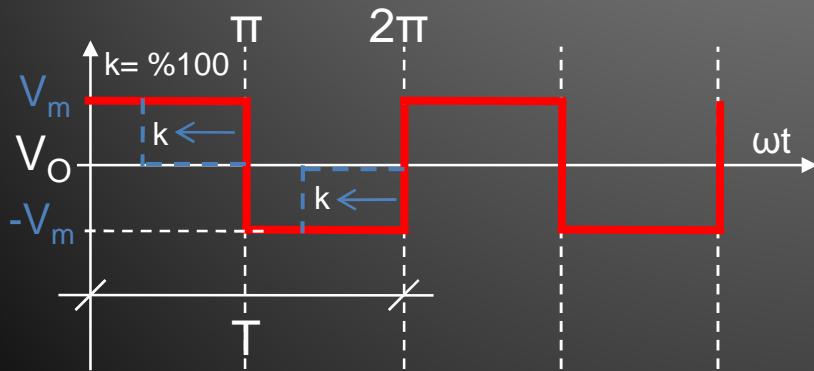


## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1) Çıkış geriliminin etkin değeri;
- 1 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) endüktif yükte oluşan çıkış gerilimi Şekil-7.9'da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} V_m^2 \cdot dt} = \sqrt{k} \cdot V_s$$

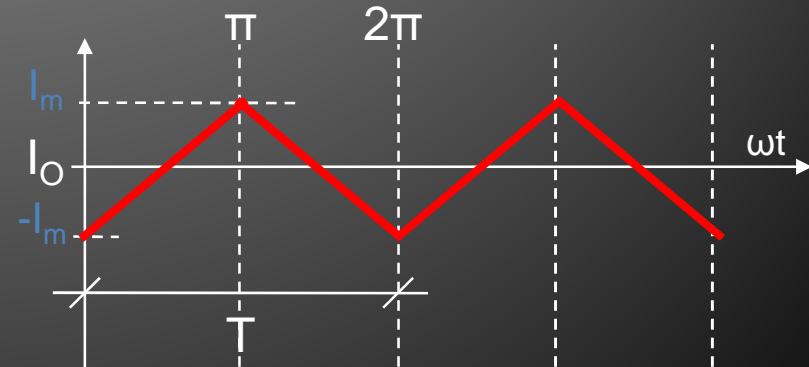
olarak bulunabilecektir.



- 2) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) saf rezistif yükte oluşan çıkış akımı Şekil-7.10'da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği,

$$I_{O(rms)} \cong \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} I_m^2 \cdot dt} \cong \sqrt{\frac{k}{2}} \cdot \frac{V_m}{Z}$$

olarak bulunabilecektir.

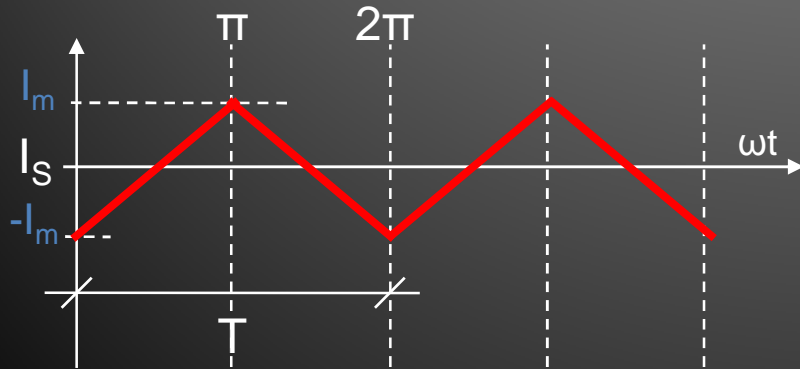


# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,  
 **$P_o = I_o \cdot V_o$**
- 4) Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.11'deki gibi olduğuna göre,

$$I_{S(rms)} \cong \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/4} I_m^2 \cdot dt} \cong \sqrt{\frac{k}{2} \cdot \frac{V_m}{Z}}$$

eşitliğinden bulunabilecektir.



- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  
 **$P_s = I_s \cdot V_s$**   
eşitliğinden bulunabilecektir.

- 6) Devrenin verimi;
- Devrenin verimi,  
 **$\eta = P_o / P_s$**  olacaktır.

- 7) Anahtar gerilimi,
- Anahtarın üzerine gelecek olan gerilime göre,  
 **$V_T = 1,3 \cdot V_m$**  olacaktır.

- 8) Anahtar akımı;
- Anahtarın üzerindeki akıma göre;  
 **$I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$**

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

### ■ Örnek:

- 200Vdc şebekede %50 etkin peryotlu uyarmada çalıştırılan 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün,

- a)  $10\Omega$ 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b)  $10\Omega$ 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

### ■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,  
 $V_o = V_s \cdot \sqrt{k}$   
 $V_o = 200 \cdot \sqrt{0,5} = 140V$  Çıkış akımının etkin değeri,  
 $I_o = V_o / R = 140 / 10$   
 $I_o = 14A$
- Etkin çıkış gücü,  
 $P_o = I_o \cdot V_o$   
 $P_o = 14 \cdot 140 = 1,96kW$
- Kaynak akımının ortalama değeri,  
 $I_s = I_m \cdot k = (V_s / R) \cdot k$   
 $I_s = (200 / 10) \cdot 0,5$   
 $I_s = 10A$

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen güç,  
 $P_s = V_s \cdot I_s = 200 \cdot 10 = 2\text{kW}$
- Devrenin verimi,  
 $\eta = P_o / P_s$   
 $\eta = 1,96\text{kW} / 2\text{kW} = \%98$
- Anahtar (transistör) akımı,  
 $I_T \geq V_m / R + \%30$   
 $I_T \geq (200 / 10) \cdot 1,3 \geq 26\text{A}$
- Anahtar (transistör) gerilimi,  
 $V_T \geq 200 \cdot 1,3 \geq 260\text{V}$
- b) Endüktif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,  
 $V_o = V_s \cdot \sqrt{k} = 200 \cdot \sqrt{0,5} = 140\text{V}$
- Çıkış akımı etkin değeri,  
 $I_o = (V_s / Z) \cdot \sqrt{(k/2)}$   
 $I_o = (200/10) \cdot \sqrt{(0,5/2)} = 10\text{A}$
- Etkin çıkış gücü,  
 $P_o = I_o \cdot V_o$   
 $P_o = 10 \cdot 140 = 1,4\text{kW}$
- Kaynak akımı etkin değeri,  
 $I_s = (V_s / Z) \cdot \sqrt{(k/2)}$   
 $I_s = (200/10) \cdot \sqrt{(0,5/2)} = 10\text{A}$
- Kaynaktan çekilen güç,  
 $P_s = I_s \cdot V_s$   
 $P_s = 10 \cdot 200 = 2\text{kW}$
- Devrenin verimi,  
 $\eta = P_o / P_s$   
 $\eta = 1,4\text{kW} / 2\text{kW} = \%70$
- Anahtar gerilimi ve akımı,  
 $V_T \geq 200 \cdot 1,3 \geq 260\text{V}$   
 $I_T \geq (200 / 10) \cdot 1,3 \geq 26\text{A}$

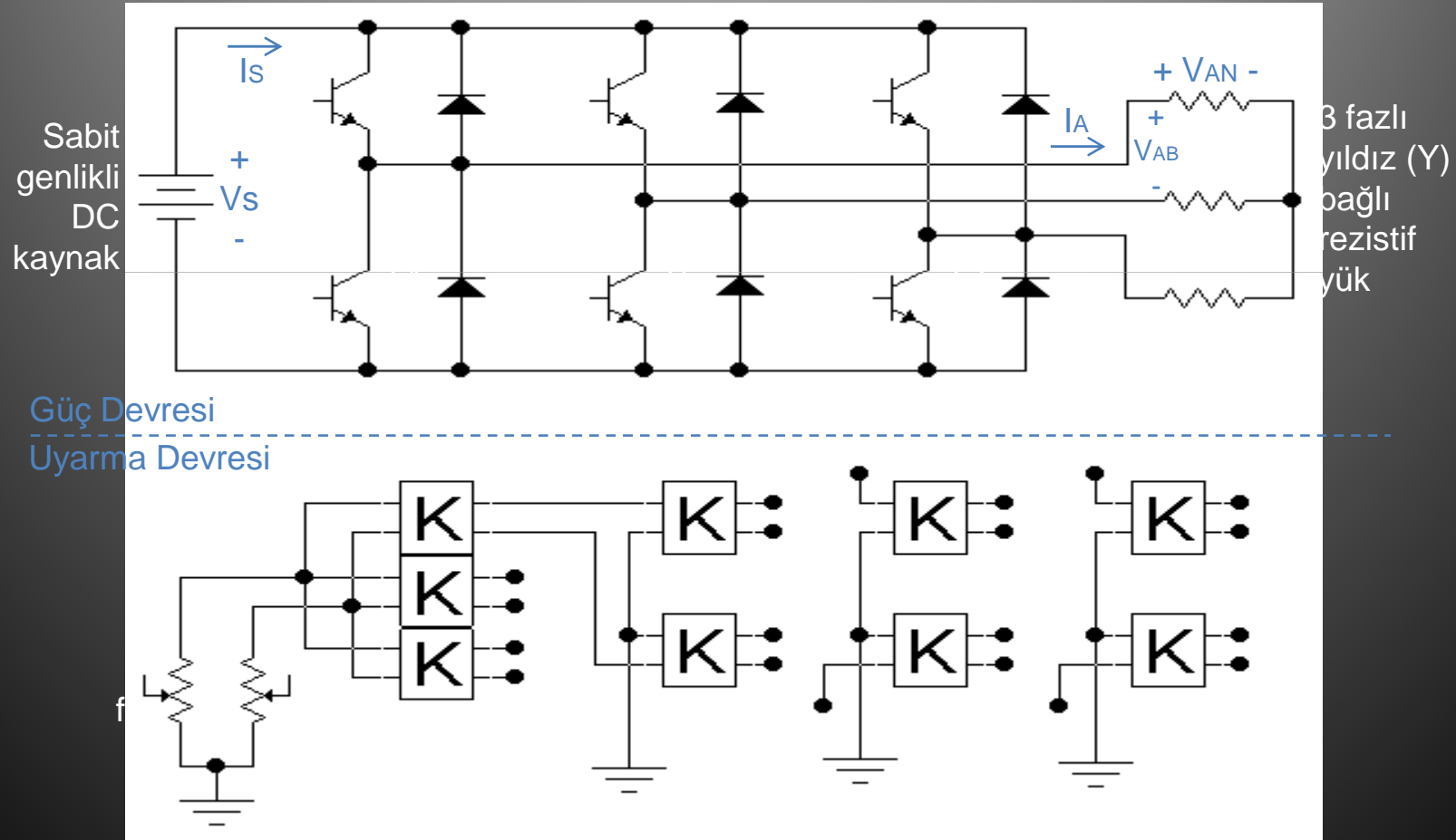
## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 2) 3 Fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörler (VSI):
- 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörler, sanayide çok yoğun olarak kullanılmakta olan 3 fazlı asenkron motorların kontrolü için kullanılmaktadır.
- Bu invertörler sayesinde asenkron motorların,
  - Yol verme,
  - Hız kontrolü,
  - Yön kontrolü,
  - Frenleme kontrolü,kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.
- Son yıllarda IPM'ler kullanılarak bu devreler daha da yayılmıştır.
- 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörlerde kullanılmakta olan 2 farklı kontrol yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler,
  - a- 180° iletim kontrolü,
  - b- 120° iletim kontrolüdür.
- Bu yöntemlerden birincisi olan 180° iletim kontrolünde, invertörü oluşturan her bir güç elemanı, 180° iletimde, 180°'de yalıtımda tutulmaktadır.
- İkinci yöntem olan 120° iletim kontrolünde ise invertörü oluşturan her bir güç elemanı, 120° iletimde, 240°'de yalıtımda tutulmaktadır.
- Şimdi bu yöntemler sırasıyla incelenecektir.



# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3 fazlı Gerilim Kaynaklı PWM İnvörtör (yıldız bağlı yükte ve 180° iletimde);
- Şekil-7.12'de 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün (VSI), yıldız yük ve 180° uyarma için, güç ve kontrol devrelerinin bağlantısı görülmektedir.

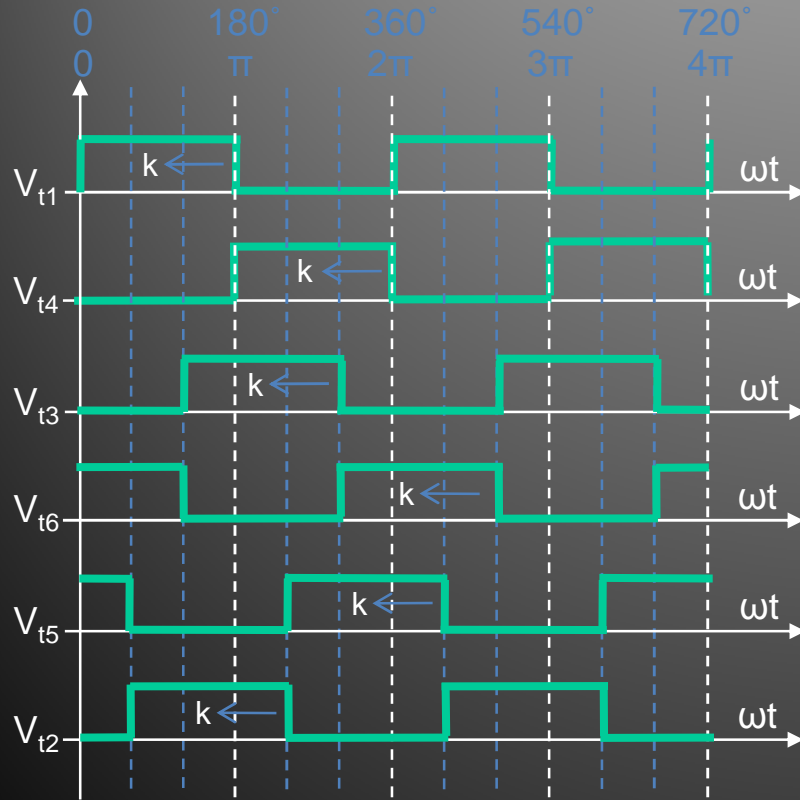


## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.12'den görüldüğü gibi, DC kaynaktan 3 fazlı AC elde edebilmek için 3 fazlı doğrultucuda olduğu gibi 6 adet güç anahtarı kullanılarak bir 3 fazlı transistör köprüsü kurulmuştur.
- Köprüdeki transistörlere ters paralel olarak bağlanmış olan diyotlar ise endüktif yüklerde serbest geçişi sağlamak için kullanılmıştır.
- Bu bağlantıda da anahtarlara 3 fazlı köprü doğrultucuda kullanılan numaraların aynısı verilmiştir. Bunun nedeni köprü çıkışında 120'şer derece faz farklı 3 adet AC gerilim oluşabilmesi için aynı sıranın izlenmesi gerekliliğidir.
- Devrenin çıkışına bağlanmış olan yıldız bağlı üçfazlı yük ise her bir transistör ikilisi çıkışına bağlanmıştır. Yük dirençlerinin ortak ucu ise nötr (N) durumundadır.
- Devrenin kontrol edilebilmesi için ise prensip olarak 3 adet PWM üretici kullanılması gerekmekte olup bunlardan her birisi bir fazın oluşmasını sağlamaktadır.
- Her bir PWM devresinin çıkışına da sürücüler bağlanarak (optoc. vb.) transistörlerin etkin olarak kontrolü sağlanmaktadır.
- Uygulamada her üç fazın PWM sinyalleri tek bir mikroişlemci ile üretilmektedir.

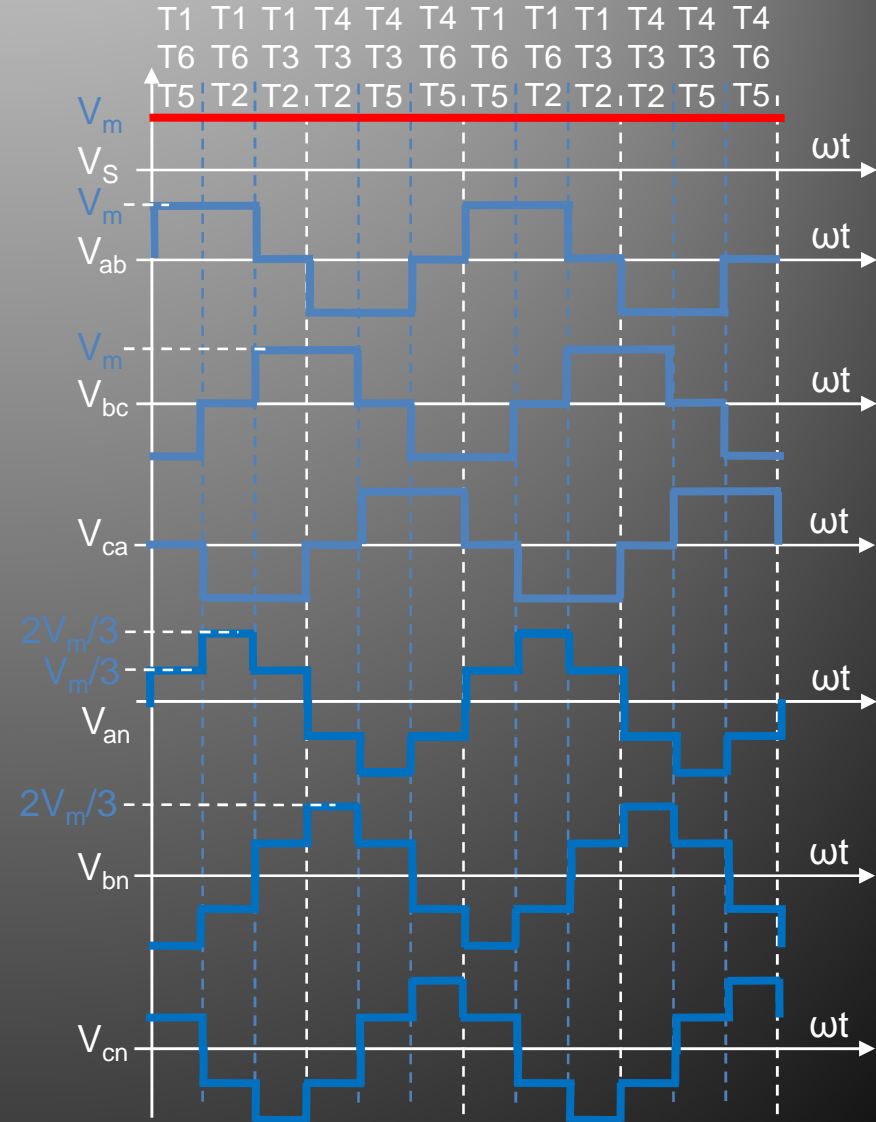
# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.12’de görülen 3 fazlı devrenin performansını gösteren uyarma dalga şekilleri Şekil-7.13’de, güç devresi dalga şekilleri de Şekil-7.14’de verilmiştir.



M.Necdet YILDIZ

GÜÇ ELEKTRONİĞİ-1 DERS NOTLARI

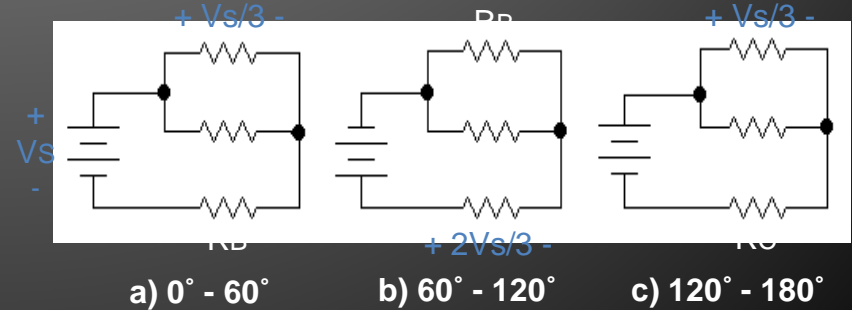


19

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.13'den görüldüğü gibi referans olarak aldığımız birinci fazı (A) oluşturabilmek için T1 ve T4 transistörlerine 180 derece faz farklı iki kare dalga kontrol sinyali uygulanacaktır.
- İkinci fazı (B) oluşturabilmek içinse T3 ve T6 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 120 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Üçüncü fazı oluşturmak için ise T5 ve T2 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 240 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Böylelikle 3 fazlı AC elde edebilmek için T1'den T6'ya kadar transistörler 60'ar derece arayla 180° sürülmüş olmaktadır.

- Şekil-7.14'de verilen güç devresi dalga şekillerine bakıldığında yapılan 180 derecelik uyarma sonucunda, istenilen frekansta, 120'şer derece faz farklı ve " $V_m$ " tepe değerli 3 adet hat gerilimi ( $V_{ab}, \dots$ ) ile yine kendi aralarında 120'şer derece faz farklı ve " $2.V_m/3$ " tepe değerli 3 adet faz gerilimi ( $V_{an}, \dots$ ) oluşmaktadır.
- Şekil-7.14'de gösterilen kademeli faz gerilimlerinin oluşumu aşağıda Şekil-7.15'de gösterilmiştir.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

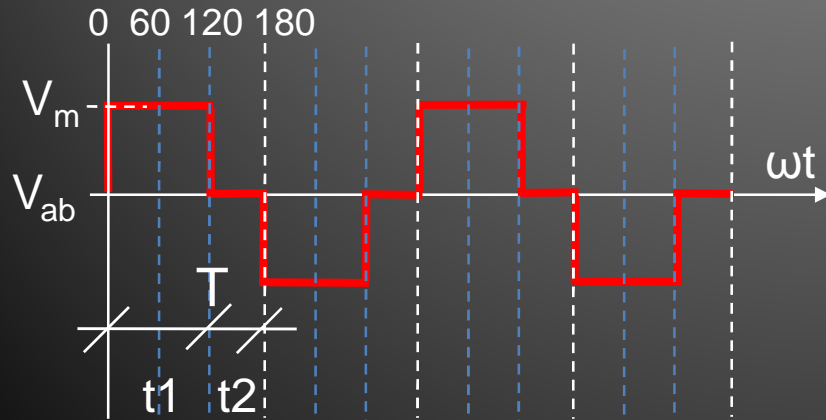
- Şekil-7.15’de verilen yük eşdeğer devrelerinden görüldüğü gibi, ilk 60 derecelik dilimde T1-T6-T5 iletimde olduğu için yük “a” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rc paralel Rb ise onlara seri durumdadır. Bu durumda Ra üzeride “ $V_s/3$ ” kadarlık bir gerilim düşümü olacaktır.
  - İkinci 60 derecelik dilimde ise “b” şeklinde görüldüğü gibi Rb-Rc paralel Ra ise onlara seri durumdadır. Bu durumda Ra üzeride “ $2V_s/3$ ” kadarlık bir gerilim düşümü olacaktır.
  - Üçüncü 60 derecelik dilimde ise Ra direnci yine paralele girdiği için üzerinde “ $V_s/3$ ” görülecektir.
- 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertör devresinin yıldız yükteki daga şekillerinden yararlanarak diğer güç devrelerinde olduğu gibi hesaplamalar yapılabilir.
    - 1) Çıkış faz ve hat gerilimlerinin etkin değeri,
    - 2) Çıkış faz ve hat akımlarının etkin değeri,
    - 3) Etkin çıkış gücü,
    - 4) Kaynak akımı ortalama değeri,
    - 5) Ortalama giriş gücü,
    - 6) Devrenin verimi,
    - 7) Anahtar gerilimi,
    - 8) Anahtar akımı.

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1a) Çıkış hat gerilimi etkin değeri;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) yıldız yükte oluşan çıkış hat gerilimi Şekil-7.16'da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği aşağıdadır.

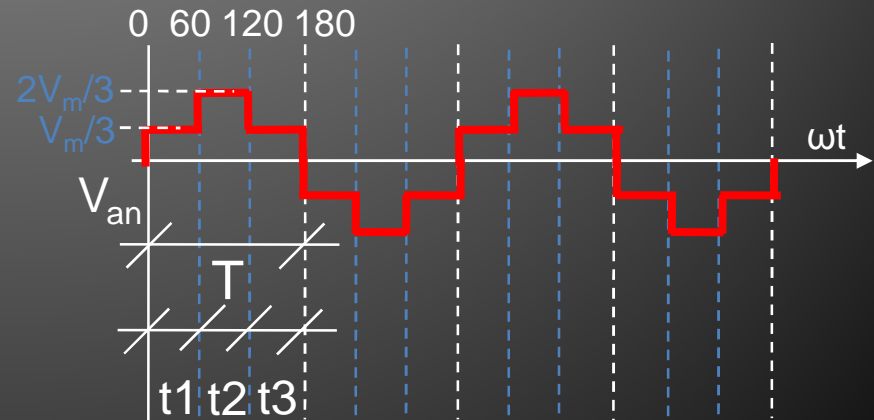
$$V_{ab(rms)} = V_m \cdot \sqrt{k}$$

$$V_{ab(rms)} = V_m \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$



- 1b) Çıkış faz gerilimi etkin değeri;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) yıldız yükte oluşan çıkış faz gerilimi Şekil-7.17'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği aşağıdadır.

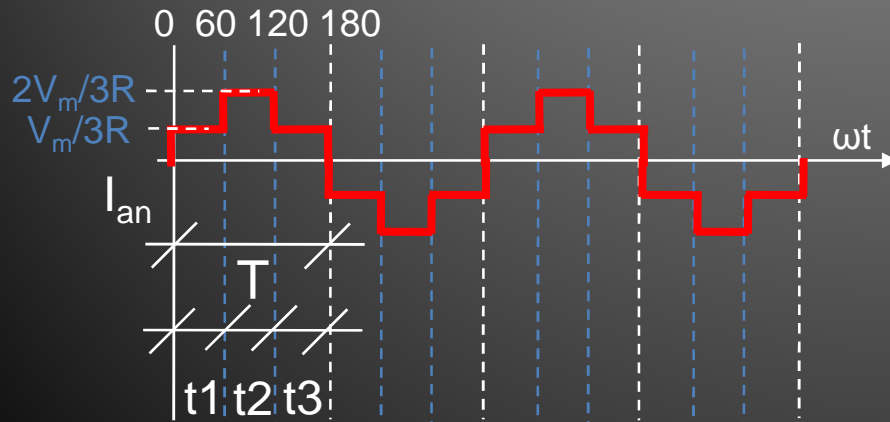
$$V_{an(rms)} \approx (V_m/3) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + (2V_m/3) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 2) Çıkış hat-faz akımı etkin değeri;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün yıldız yükte oluşan çıkış hat ve faz akımı Şekil-7.18'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

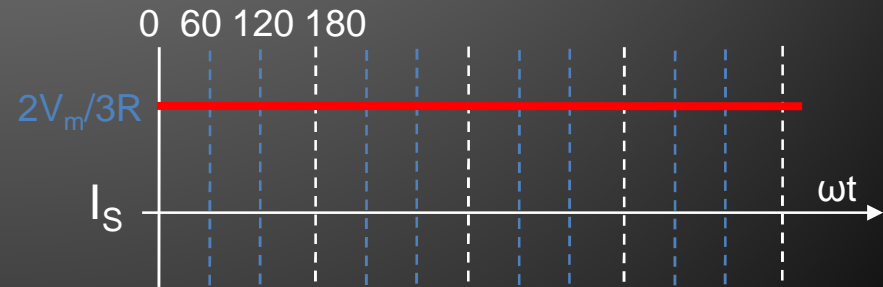
$$I_{a(rms)} \approx (V_m/3R) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} \\ + (2V_m/3R) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$



- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,  $P_o = 3/2 \cdot I_{an} \cdot V_{an}$
- 4) Kaynak akımının ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.19'daki gibi olduğuna göre,

$$I_s = 2 \cdot V_m / 3 \cdot R$$

eşitliğinden bulunabilecektir.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  
 $P_s = I_s \cdot V_s$   
eşitliğinden bulunabilecektir.
- 6) Devrenin verimi;
- Devrenin verimi,  
 $\eta = P_o / P_s$  olacaktır.
- 7) Anahtar gerilimi,
- Anahtarın üzerine gelecek olan gerilime göre,  
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$  olacaktır.
- 8) Anahtar akımı;
- Anahtarın üzerindeki akıma göre;  
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot 2V_m / 3R$
- Bilindiği gibi 3 fazlı sistemde yıldız bağlantının yanısıra üçgen bağlantı da özellikle yüksek güçlerde kullanılmaktadır.
- 180 derece iletimde yıldız bağlı yükteki performansını incelediğimiz 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invetörün üçgen bağlı yükte çalıştırılması durumunda devre yapısında, dalga şekillerinde ve performans hesaplamalarında oluşacak değişiklikler yine 180 derece çalışma durumu için aşağıdaki bölümde ayrıntısıyla incelenecektir.

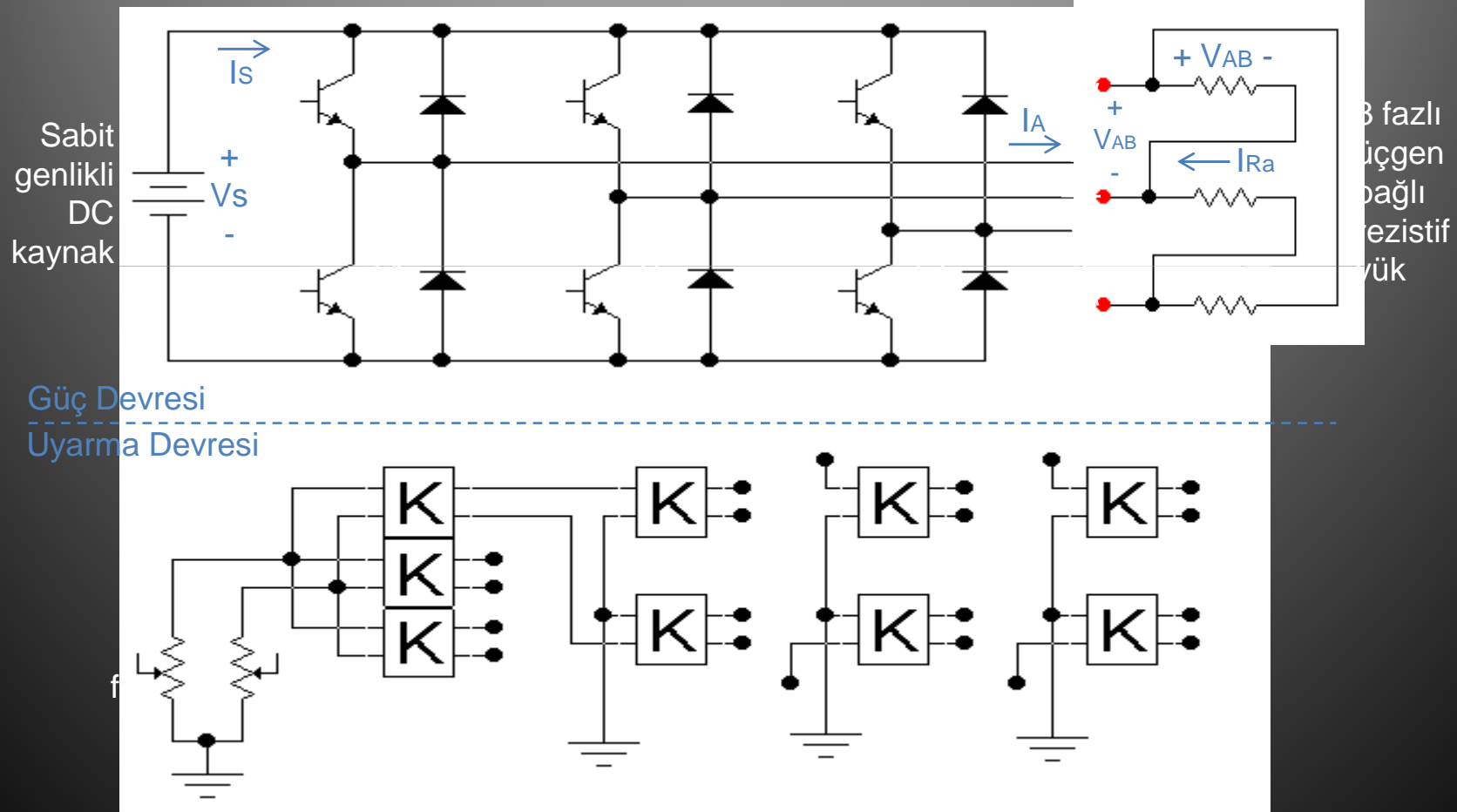


## ÖDEV-14

- 14.1) 300Vdc şebekede, 100Hz frekanslı ve %50 etkin peryotlu PWM ile çalıştırılan ve  $6\Omega$  rezistif bir yükü besleyen 1 fazlı VSI'nın,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
  - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
  - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.
- 14.2) 500Vdc şebekede, 100Hz frekans ve  $180^\circ$  iletim modunda çalıştırılan ve  $5\Omega$  yıldız bir yükü besleyen 3 fazlı VSI'nın,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
  - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
  - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3 fazlı Gerilim Kaynaklı PWM İnvörtör (üçgen bağlı yükte ve  $180^\circ$  iletimde);
- Şekil-7.20'de 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün (VSI), üçgen yük ve  $180^\circ$  uyarma için, güç ve kontrol devrelerinin bağlantısı görülmektedir.

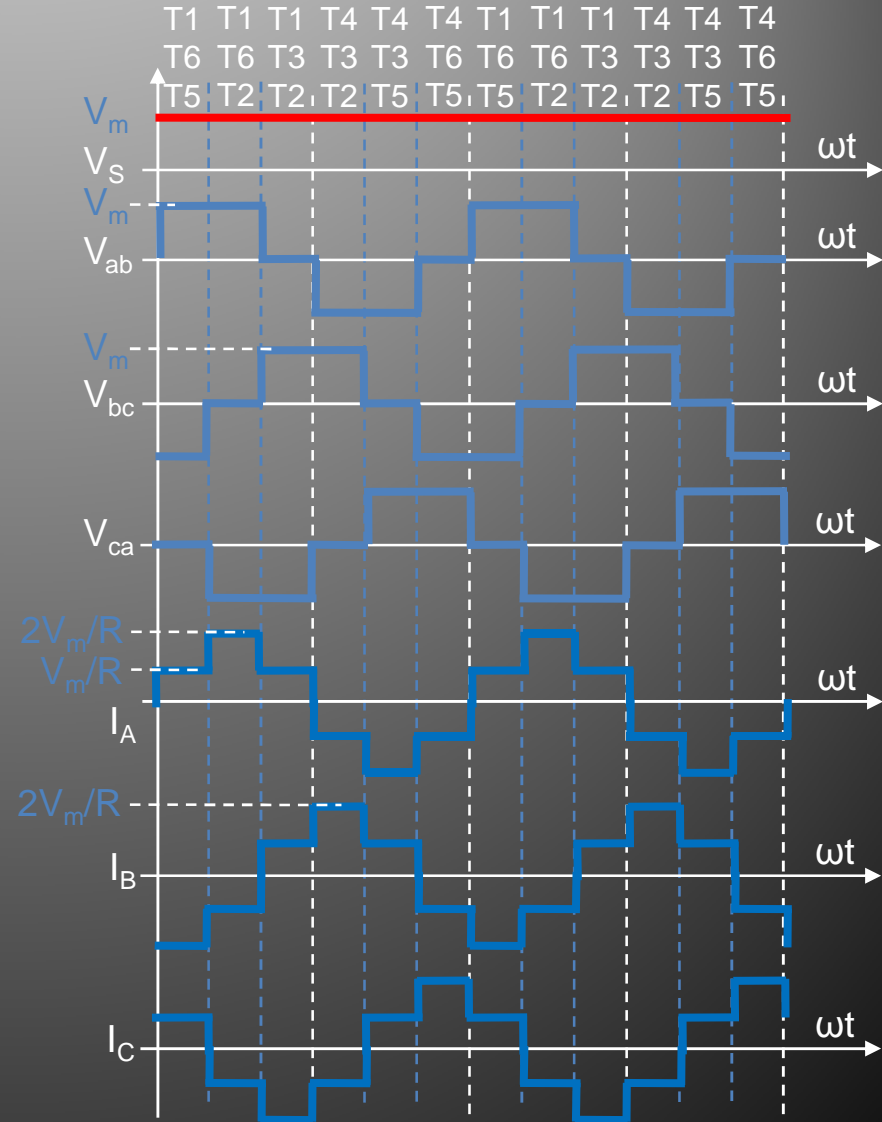
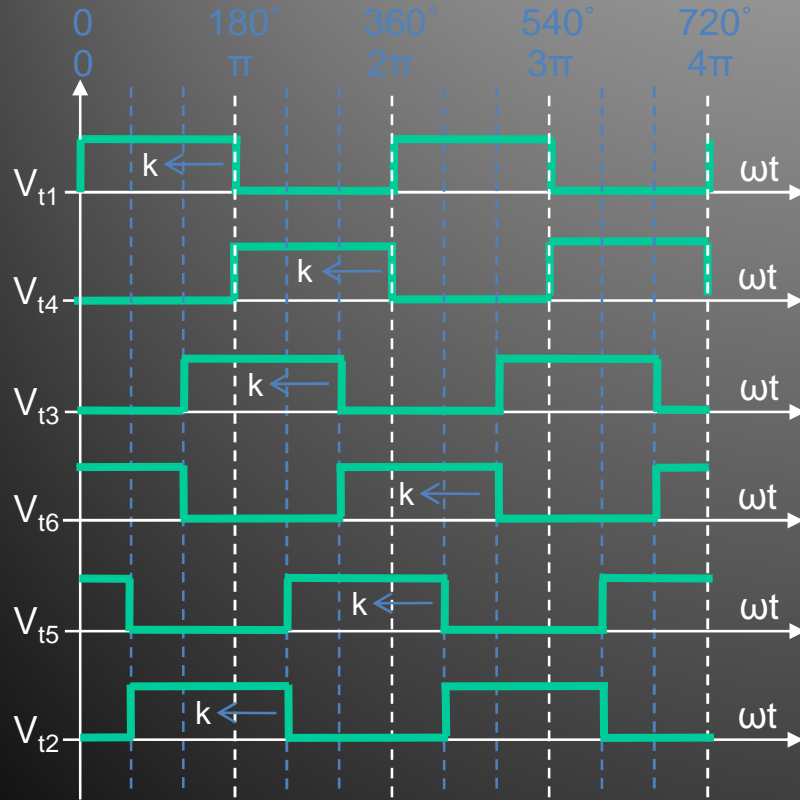


## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.20'den görüldüğü gibi, DC kaynaktan üçgen yükte 3 fazlı AC elde edebilmek için 3 fazlı doğrultucuda olduğu gibi 6 adet güç anahtarı kullanılarak bir 3 fazlı transistör köprüsü kurulmuştur.
- Köprüdeki transistörlere ters paralel olarak bağlanmış olan diyotlar ise endüktif yüklerde serbest geçişi sağlamak için kullanılmıştır.
- Bu bağlantıda da anahtarlara 3 fazlı köprü doğrultucuda kullanılan numaraların aynısı verilmiştir. Bunun nedeni köprü çıkışında 120'şer derece faz farklı 3 adet AC gerilim oluşabilmesi için aynı sıranın izlenmesi gerekliliğidir.
- Devrenin çıkışına bağlanmış olan üçgen bağlı üç fazlı yükün köşeleri ise her bir transistör ikilisi çıkışına bağlanmıştır. Bilindiği gibi üçgen bağlantıda nötr noktası oluşmamaktadır.
- Devrenin kontrol edilebilmesi için ise prensip olarak 3 adet PWM üretici kullanılması gerekmekte olup bunlardan her birisi bir fazın oluşmasını sağlamaktadır.
- Her bir PWM devresinin çıkışına da sürücüler bağlanarak (optoc. vb.) transistörlerin etkin olarak kontrolü sağlanmaktadır.
- Uygulamada her üç fazın PWM sinyalleri tek bir mikroişlemci ile üretilmektedir.

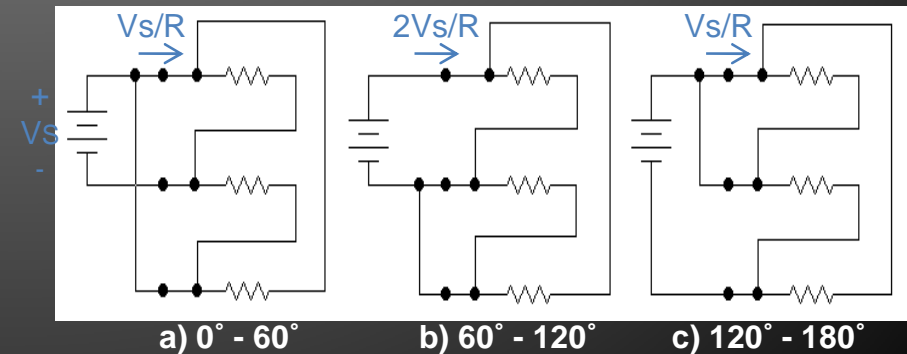
# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.20’de görülen 3 fazlı devrenin performansını gösteren uyarma dalga şekilleri Şekil-7.21’de, güç devresi dalga şekilleri de Şekil-7.22’de verilmiştir.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.21'den görüldüğü gibi referans olarak aldığımız birinci fazı (A) oluşturabilmek için T1 ve T4 transistörlerine 180 derece faz farklı iki kare dalga kontrol sinyali uygulanacaktır.
  - İkinci fazı (B) oluşturabilmek içinse T3 ve T6 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 120 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
  - Üçüncü fazı oluşturmak için ise T5 ve T2 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 240 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
  - Böylelikle 3 fazlı AC elde edebilmek için T1'den T6'ya kadar transistörler 60'ar derece arayla 180° sürülmüş olmaktadır.
- Şekil-7.22'de verilen güç devresi dalga şekillerine bakıldığında yapılan 180 derecelik uyarma sonucunda, istenilen frekansta, 120'şer derece faz farklı ve " $V_m$ " tepe değerli 3 adet hat-faz gerilimi ( $V_{ab}, \dots$ ) ile yine kendi aralarında 120'şer derece faz farklı ve " $2 \cdot V_m/R$ " tepe değerli 3 adet hat akımı ( $I_a, \dots$ ) oluşmaktadır.
  - Şekil-7.22'de gösterilen kademeli hat akımlarının oluşumu aşağıda Şekil-7.23'de gösterilmiştir.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

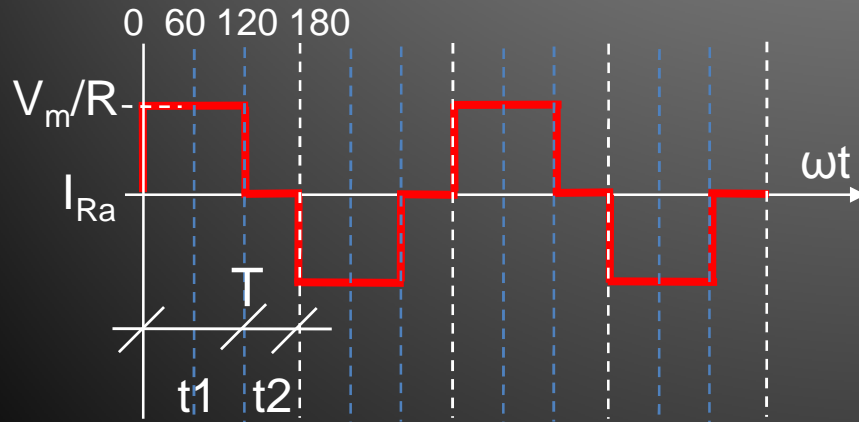
- Şekil-7.23’de verilen yük eşdeğer devrelerinden görüldüğü gibi, ilk 60 derecelik dilimde T1-T6-T5 iletimde olduğu için yük “a” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rb paralel Rb ise kısa devre durumdadır. Bu durumda çıkış A faz hattı üzerinden “Vs/R” kadarlık bir akım geçişi olacaktır.
  - İkinci 60 derecelik dilimde ise “b” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rc paralel Rc ise kısa devre durumdadır. Bu durumda çıkış A faz hattı üzerinden “2Vs/R” kadarlık bir akım geçişi olacaktır.
  - Üçüncü 60 derecelik dilimde ise Ra direnci kısa devreye girdiği için hat üzerinde “Vs/R” görülecektir.
- 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertör devresinin üçgen yükteki daga şekillerinden yararlanarak diğer güç devrelerinde olduğu gibi hesaplamalar yapılabilir.
    - 1) Çıkış faz ve hat akımlarının etkin değeri,
    - 2) Çıkış faz ve hat gerilimlerinin etkin değeri,
    - 3) Etkin çıkış gücü,
    - 4) Kaynak akımı ortalama değeri,
    - 5) Ortalama giriş gücü,
    - 6) Devrenin verimi,
    - 7) Anahtar gerilimi,
    - 8) Anahtar akımı.

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1a) Çıkış faz akımı etkin değeri;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) üçgen yükte oluşan çıkış faz akımı Şekil-7.24'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış faz akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

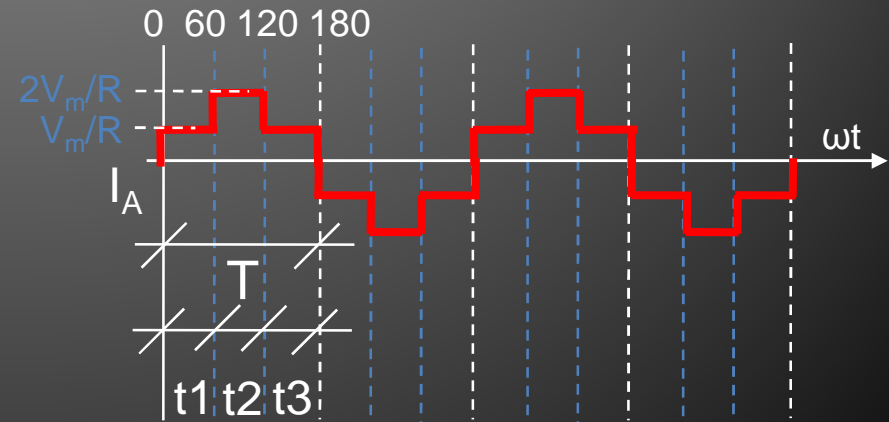
$$I_{Ra(rms)} = V_m/R \cdot \sqrt{k}$$

$$I_{Ra(rms)} = V_m/R \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$



- 1b) Çıkış hat akımı etkin değeri;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) üçgen yükte oluşan çıkış hat akımı Şekil-7.25'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış hat akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$I_A(rms) \approx (V_m/R) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + (2V_m/R) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

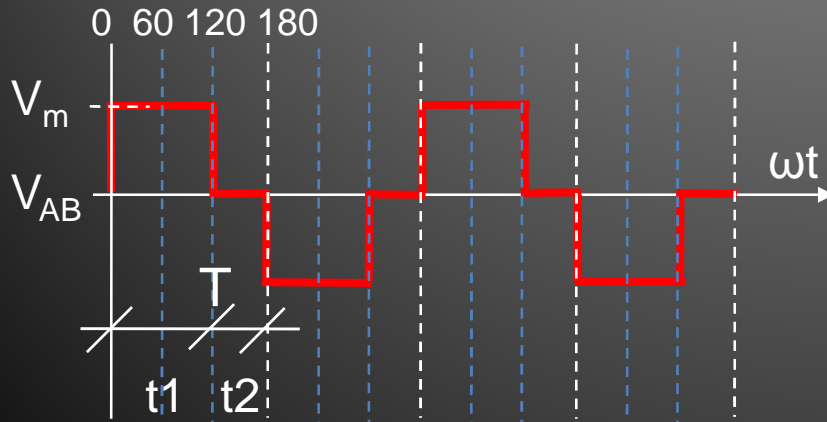


## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 2) Çıkış hat-faz gerilimi etkin değr.;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün üçgen yükte oluşan çıkış hat ve faz gerilim Şekil-7.26'da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$V_{AB(rms)} = V_m \cdot \sqrt{k}$$

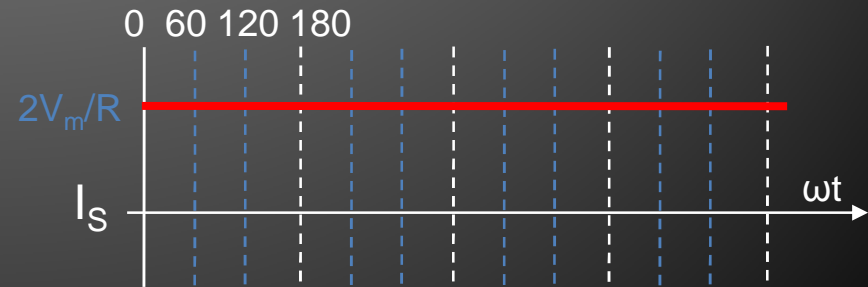
$$V_{AB(rms)} = V_m \cdot \sqrt{(t1/T)}$$



- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,  
 $P_o = 3 \cdot I_{Ra} \cdot V_{AB}$
- 4) Kaynak akımın ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.27'deki gibi olduğuna göre,

$$I_s = 2 \cdot V_m / R$$

eşitliğinden bulunabilecektir.





## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  
 $P_s = I_s \cdot V_s$   
eşitliğinden bulunabilecektir.
- 6) Devrenin verimi;
- Devrenin verimi,  
 $\eta = P_o / P_s$  olacaktır.
- 7) Anahtar gerilimi,
- Anahtarın üzerine gelecek olan gerilime göre,  
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$  olacaktır.
- 8) Anahtar akımı;
- Anahtarın üzerindeki akıma göre;  
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot 2 \cdot V_m / R$

- **Örnek:**
- 200Vdc şebekede 180 derece uyarmada çalıştırılan 3 fazlı gerilim kayn. PWM invertörün,
- a) 3x10Ω'luk yıldız bağlı yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 3x10Ω'luk üçgen bağlı yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- **Çözüm:**
- a) 3x10Ω'luk yıldız bağlı yük beslenmesi durumunda,  
Çıkış hat geriliminin etkin değeri;

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_{ab(rms)} = V_m \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$

$$V_{ab(rms)} = 200 \cdot \sqrt{(6,66/10)}$$

$$V_{ab(rms)} = 163,21V$$

- ÇIKIŞ faz geriliminin etkin değeri;

$$V_{an(rms)} \approx (V_m/3) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} \\ + (2V_m/3) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

$$V_{an(rms)} \approx (200/3) \cdot \sqrt{[(6,66) / 10]} \\ + (2.200/3) \cdot \sqrt{(3.33 / 10)}$$

$$V_{an(rms)} \approx 54,4 + 76,94$$

$$V_{an(rms)} \approx 131,3V$$

- ÇIKIŞ faz ve hat akımlarının etkin değeri;

$$I_{a(rms)} \approx (V_m/3R) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} \\ + (2V_m/3R) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

$$I_{a(rms)} \approx (200/3.10) \cdot \sqrt{[(6,66) / 10]} \\ + (2.200/3.10) \cdot \sqrt{(3.33 / 10)}$$

$$I_{a(rms)} \approx 5,44 + 7,69$$

$$I_{a(rms)} \approx 13,13A$$

- Etkin çıkış gücü;

$$P_o = 3/2 \cdot I_a \cdot V_{an}$$

$$P_o = 3/2 \cdot 13,13 \cdot 131,3 = 2,58kW$$

- Kaynak akımının ortalama değeri;

$$I_s = 2 \cdot V_m / 3 \cdot R$$

$$I_s = 2 \cdot 200 / 3 \cdot 10 = 13,33A$$

- Kaynaktan çekilen güç;

$$P_s = I_s \cdot V_s$$

$$P_s = 13,33 \cdot 200 = 2,66kW$$

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Devrenin verimi;

$$\eta = P_o / P_i$$

$$\eta = 2,58\text{kW} / 2,66\text{kW} = \%97,2$$

- Anahtar gerilimi;

$$V_T = V_m \cdot 1,3 = 200 \cdot 1,3 = 260\text{V}$$

- Anahtar akımı;

$$I_T = I_m \cdot 1,3 = 200/10 \cdot 1,3 = 26\text{A}$$

- b)  $3 \times 10\Omega$ 'luk üçgen bağlı yük beslenmesi durumunda,

- Çıkış hat ve faz gerilimlerinin etkin değeri;

$$V_{ab(\text{rms})} = V_m \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$

$$V_{ab(\text{rms})} = 200 \cdot \sqrt{(6,66/10)}$$

$$V_{ab(\text{rms})} = 163,21\text{V}$$

- Çıkış hat akımının etkin değeri;

$$I_{a(\text{rms})} \approx (V_m/R) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]}$$

$$+ (2V_m/R) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

$$I_{a(\text{rms})} \approx (200/10) \cdot \sqrt{[(6,66) / 10]}$$

$$+ (2 \cdot 200/10) \cdot \sqrt{(3,33 / 10)}$$

$$I_{a(\text{rms})} \approx 16,32 + 23,0 \approx 39,32\text{A}$$

- Çıkış faz akımının etkin değeri;

$$I_{Ra(\text{rms})} = V_m/R \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$

$$I_{Ra(\text{rms})} = 200/10 \cdot \sqrt{(6,66/10)}$$

$$I_{Ra(\text{rms})} = 16,32\text{A}$$

- Etkin çıkış gücü;

$$P_o = 3 \cdot I_{ra} \cdot V_{ab}$$

$$P_o = 3 \cdot 16,32 \cdot 163,21$$

$$P_o = 7,99\text{kW}$$

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynak akımının ortalama değeri;

$$I_s = 2.V_m / R$$

$$I_s = 2.200 / 10 = 40A$$

- Kaynaktan çekilen güç;

$$P_s = I_s . V_s$$

$$P_s = 40 . 200 = 8,0kW$$

- Devrenin verimi;

$$\eta = P_o / P_i$$

$$\eta = 7,99kW / 8,0kW = \%99,8$$

- Anahtar gerilimi;

$$V_T = V_m . 1,3 = 200 . 1,3 = 260V$$

- Anahtar akımı;

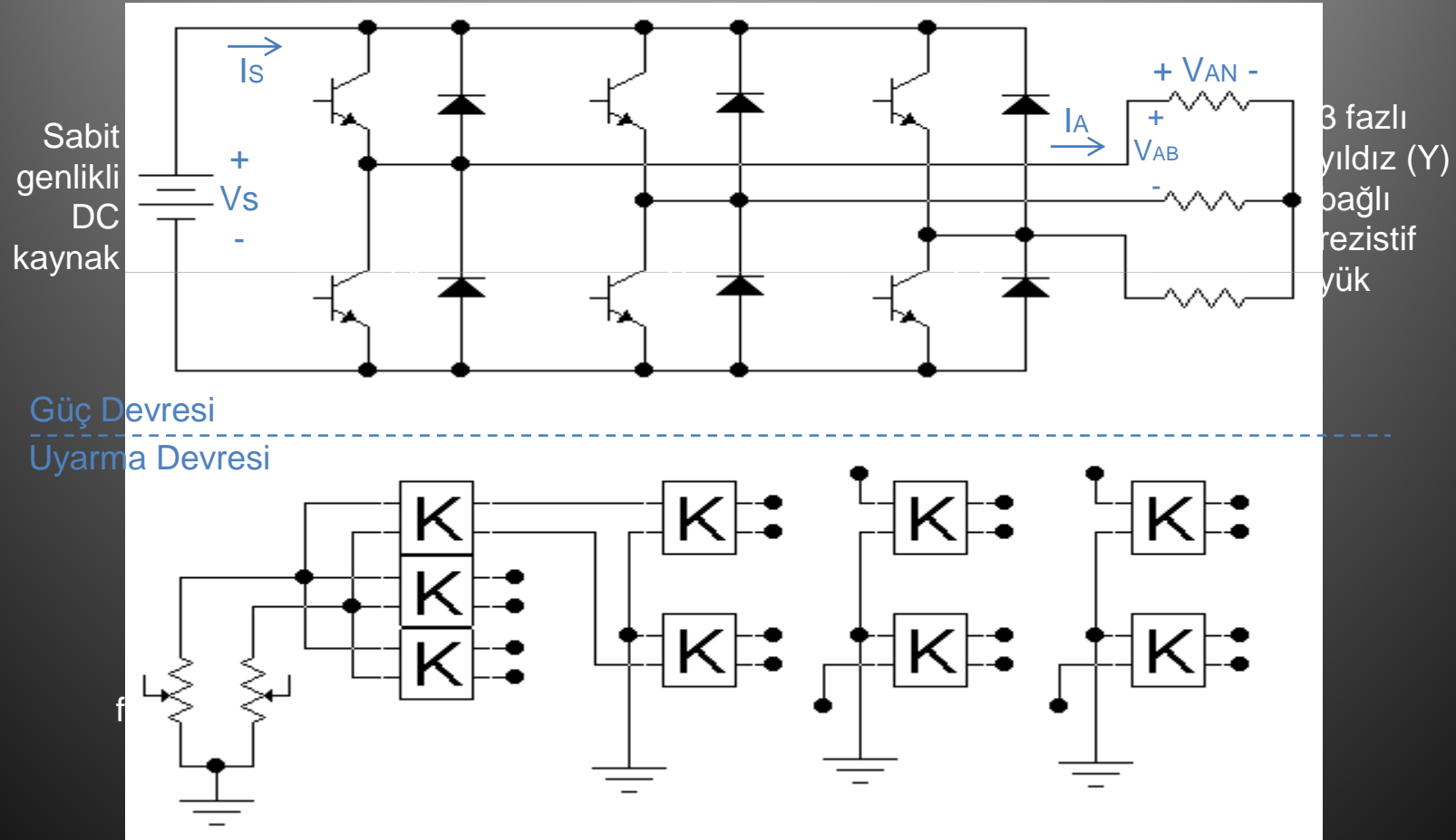
$$I_T = I_m . 1,3 = 200/10 . 1,3 = 26A$$

- ❑ Daha önceden de belirtildiği gibi değişken genlik ve frekanslı üç fazlı sistem oluşturmak için kullanılmakta olan üç fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörlerde 180 derece çalışma durumundan farklı olarak bir de 120 derece çalışma durumu da kullanılmaktadır.

- ❑ Bundan sonraki bölümde gerilim kaynaklı PWM invertörün 120° iletim modunda çalıştırılması durumunda oluşacak performansı ayrıntısıyla incelenmeye çalışılacaktır.

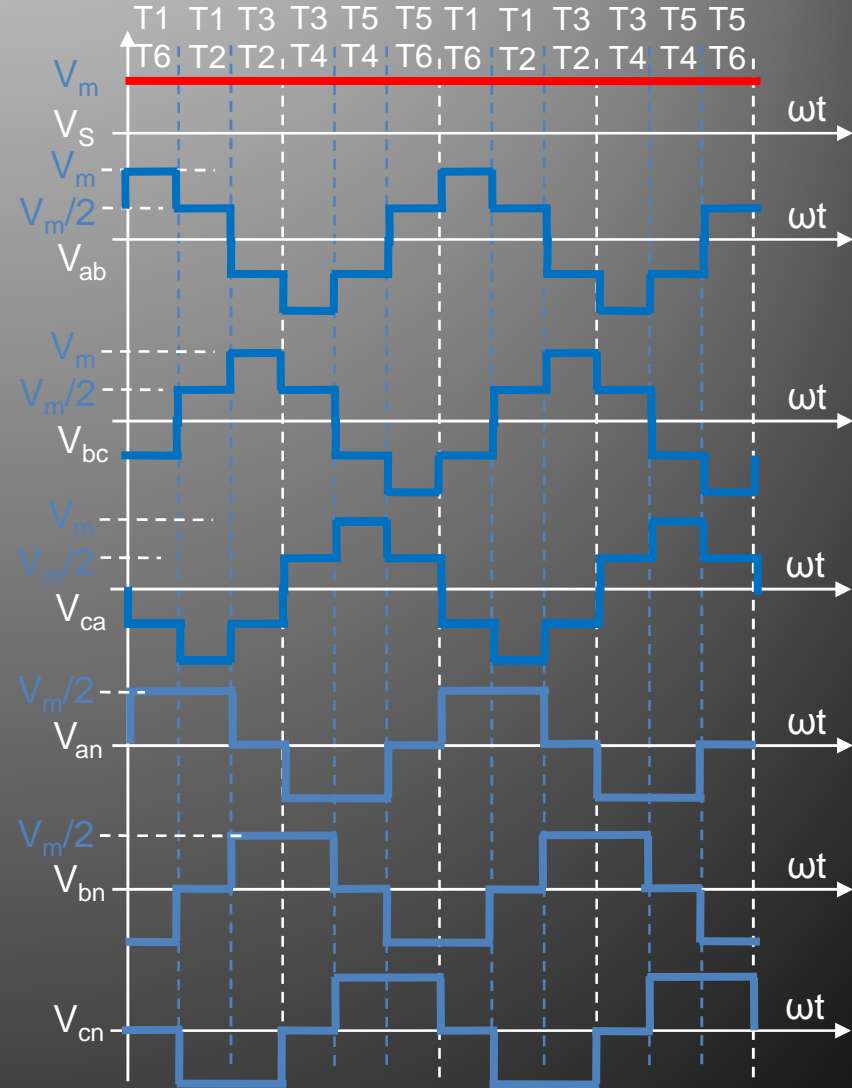
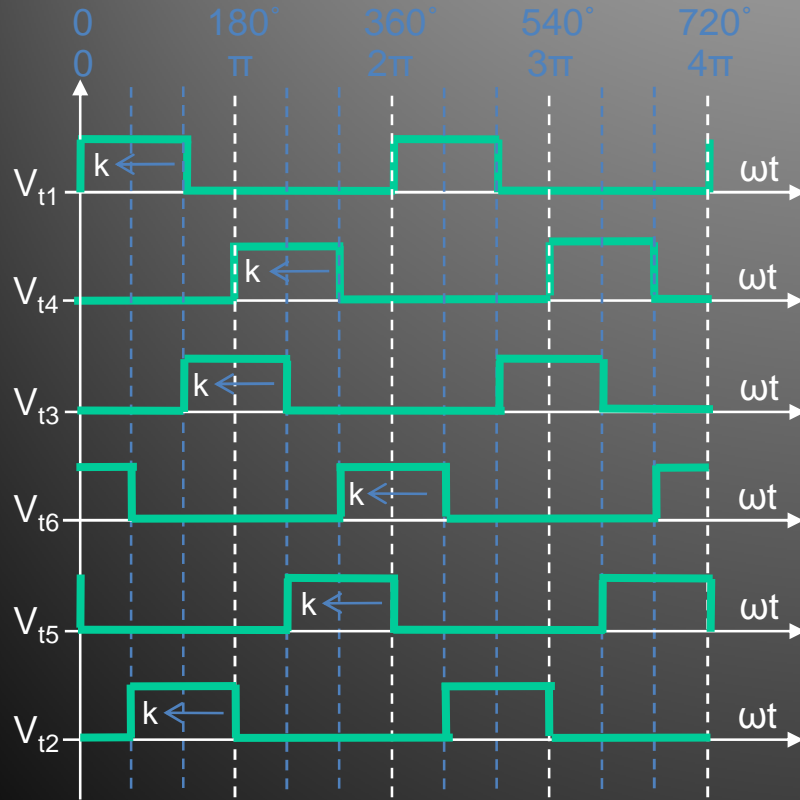
# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3 fazlı Gerilim Kaynaklı PWM İnvörtör (yıldız bağlı yükte ve  $120^\circ$  iletimde);
- Şekil-7.28'de 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün (VSI), yıldız yük ve  $120^\circ$  uyarma için, güç ve kontrol devrelerinin bağlantısı görülmektedir.



# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

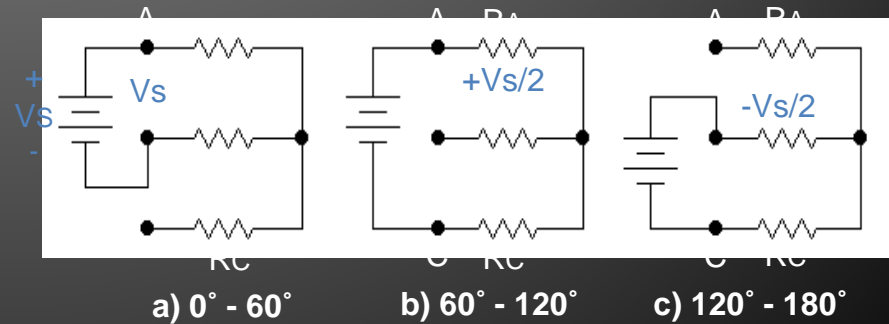
- Şekil-7.28'de görülen 3 fazlı devrenin  $120^\circ$  uyarma performansını gösteren uyarma dalga şekilleri Şekil-7.29'da, güç devresi dalga şekilleri de Şekil-7.30'da verilmiştir.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.29'dan görüldüğü gibi referans olarak aldığımız birinci fazı (A) oluşturabilmek için T1 ve T4 transistörlerine 180 derece faz farklı 120° etkin olan kare dalga kontrol sinyali uygulanacaktır.
- İkinci fazı (B) oluşturabilmek içinse T3 ve T6 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 120 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Üçüncü fazı oluşturmak için ise T5 ve T2 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 240 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Böylelikle 3 fazlı AC elde edebilmek için T1'den T6'ya kadar transistörler yine 60'ar derece arayla 120° sürülmüş olmaktadır.

- Şekil-7.30'da verilen güç devresi dalga şekillerine bakıldığında yapılan 120 derecelik uyarma sonucunda, istenilen frekansta, 120'şer derece faz farklı ve " $V_m$ " tepe değerli 3 adet hat gerilimi ( $V_{ab}$ , ...) ile yine kendi aralarında 120'şer derece faz farklı ve " $V_m/2$ " tepe değerli 3 adet faz gerilimi ( $V_{an}$ , ...) oluşmaktadır.
- Şekil-7.30'da gösterilen kademeli hat gerilimlerinin oluşumu aşağıda Şekil-7.31'de gösterilmiştir.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.31’de verilen yük eşdeğer devrelerinden görüldüğü gibi, ilk 60 derecelik dilimde T1-T6 iletimde olduğu için yük “a” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rb seri Rc ise boş durumdadır. Bu durumda Ra ve Rb üzerinde “ $V_s/2$ ” kadarlık gerilim düşümleri olacak ve  $V_{ab} = V_s$  olacaktır.
  - İkinci 60 derecelik dilimde ise “b” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rc seri Rb ise boş durumdadır. Bu durumda Ra ve Rc üzerinde “ $V_s/2$ ” kadarlık gerilim düşümleri olacak ve  $V_{ab} = V_{ra} = +V_s/2$  olacaktır.
  - Üçüncü 60 derecelik dilimde ise Ra direnci boşta aldığı için  $V_{ab} = -V_{rb} = -V_s/2$  olacaktır.
- 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertör devresinin yıldız yükteki daga şekillerinden yararlanarak diğer güç devrelerinde olduğu gibi hesaplamalar yapılabilir.
    - 1) Çıkış faz ve hat gerilimlerinin etkin değeri,
    - 2) Çıkış faz ve hat akımlarının etkin değeri,
    - 3) Etkin çıkış gücü,
    - 4) Kaynak akımı ortalama değeri,
    - 5) Ortalama giriş gücü,
    - 6) Devrenin verimi,
    - 7) Anahtar gerilimi,
    - 8) Anahtar akımı.

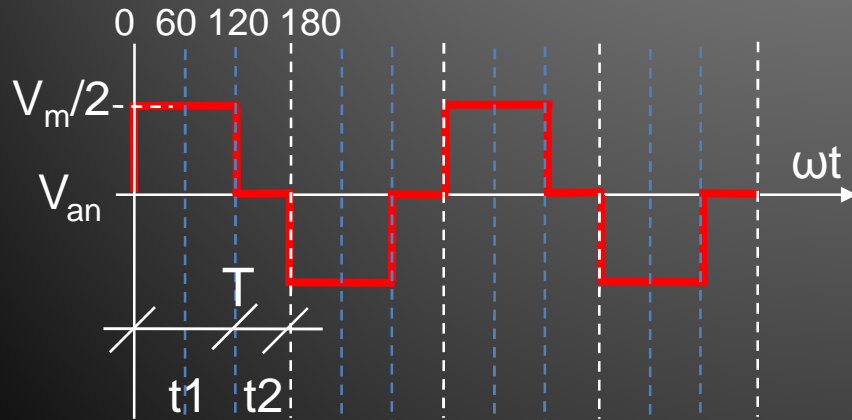


## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1a) Çıkış faz gerilimi etkin değeri;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün yıldız yükte oluşan çıkış faz gerilimi Şekil-7.32'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği aşağıdadır.

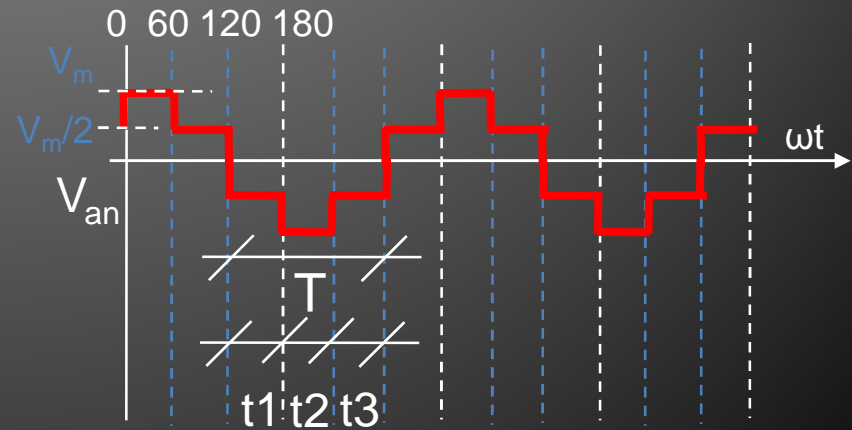
$$V_{an(rms)} = (V_m/2) \cdot \sqrt{k}$$

$$V_{an(rms)} = (V_m/2) \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$



- 1b) Çıkış hat gerilimi etkin değeri;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün yıldız yükte oluşan çıkış hat gerilimi Şekil-7.33'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$V_{ab(rms)} \approx (V_m/2) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + V_m \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

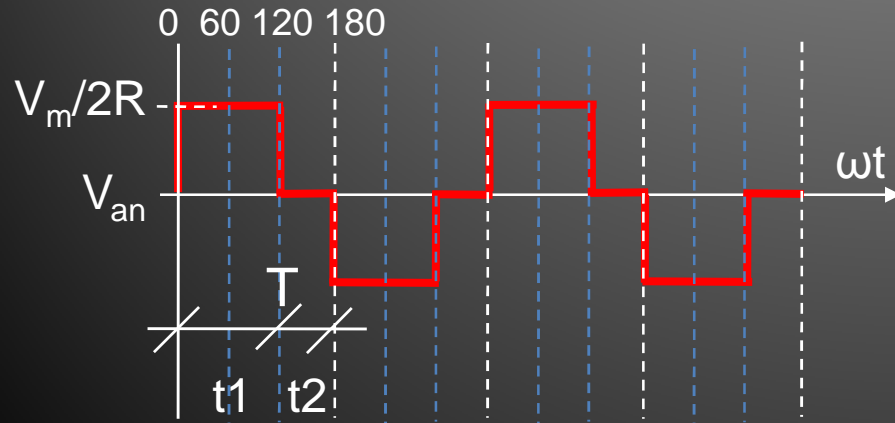


## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 2) Çıkış hat-faz akımı etkin değeri;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün yıldız yükte oluşan çıkış hat ve faz akımı Şekil-7.34'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$I_{\text{faz(rms)}} = (V_m/2R) \cdot \sqrt{k}$$

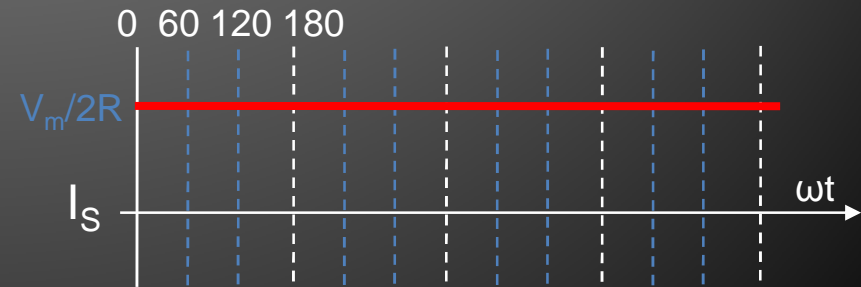
$$I_{\text{faz(rms)}} = (V_m/2R) \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$



- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,  
 $P_o = 3 \cdot I_{\text{an}} \cdot V_{\text{an}}$
- 4) Kaynak akımının ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.35'deki gibi olduğuna göre,

$$I_s = V_m / 2R$$

eşitliğinden bulunabilecektir.

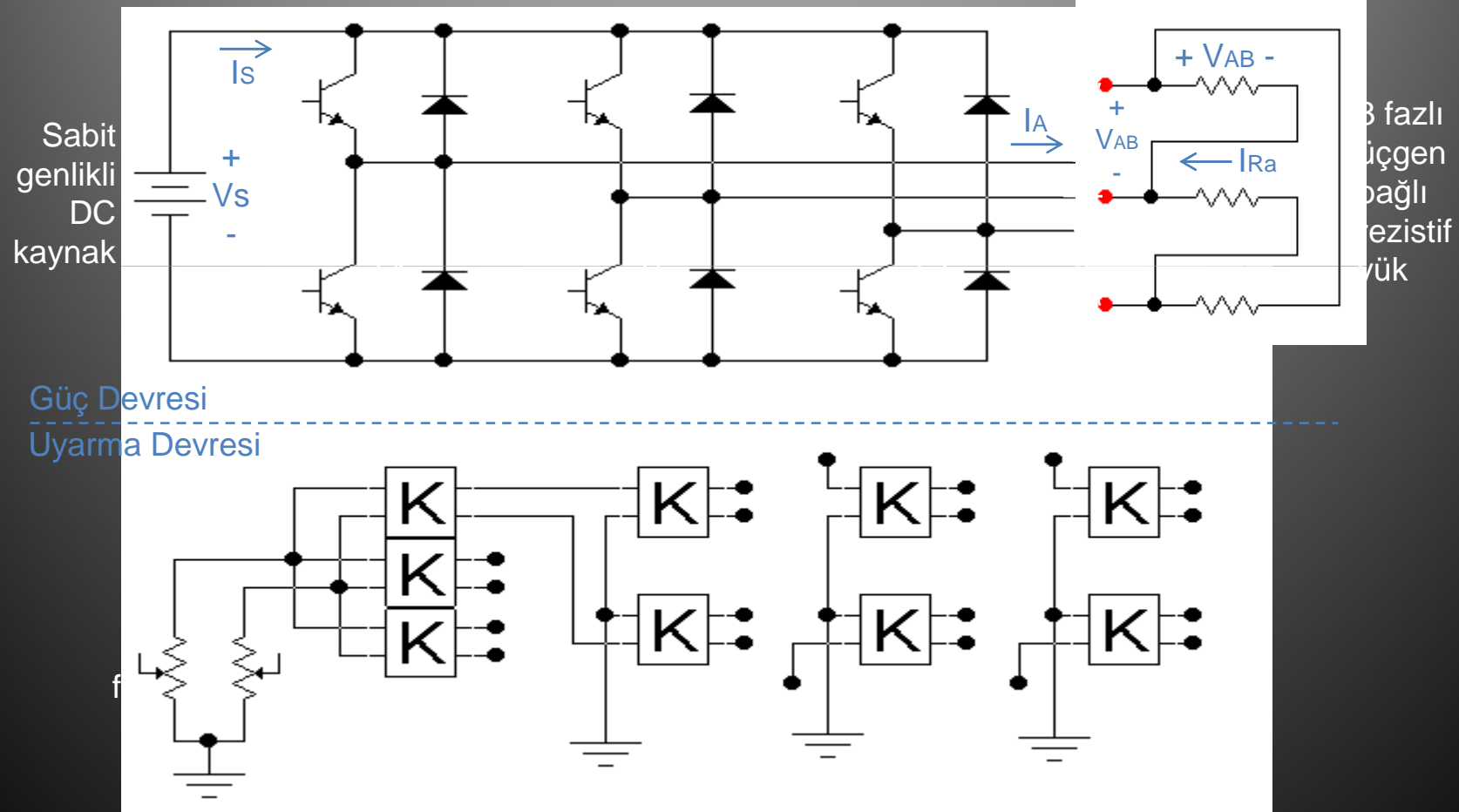


## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  
 $P_s = I_s \cdot V_s$   
eşitliğinden bulunabilecektir.
- 6) Devrenin verimi;
- Devrenin verimi,  
 $\eta = P_o / P_s$  olacaktır.
- 7) Anahtar gerilimi,
- Anahtarın üzerine gelecek olan gerilime göre,  
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$  olacaktır.
- 8) Anahtar akımı;
- Anahtarın üzerindeki akıma göre;  
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / 2R$
- Bilindiği gibi 3 fazlı sistemde yıldız bağlantının yanısıra üçgen bağlantı da özellikle yüksek güçlerde kullanılmaktadır.
- 120 derece iletimde yıldız bağlı yükteki performansını incelediğimiz 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invetörün üçgen bağlı yükte çalıştırılması durumunda devre yapısında, dalga şekillerinde ve performans hesaplamalarında oluşacak değişiklikler yine 120 derece çalışma durumu için aşağıdaki bölümde ayrıntısıyla incelenecektir.

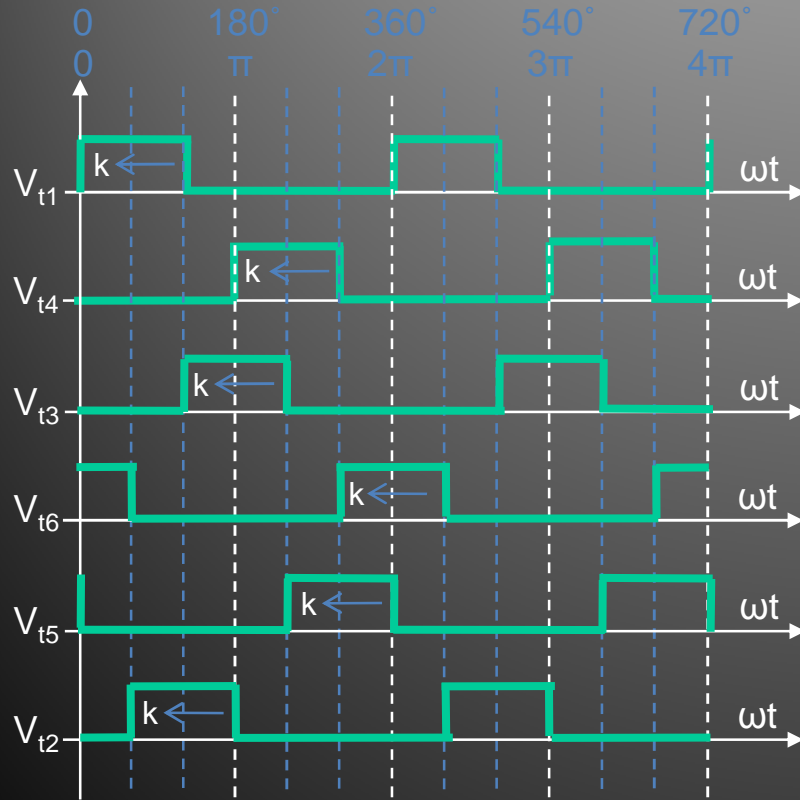
# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3 fazlı Gerilim Kaynaklı PWM İvertör (üçgen bağlı yükte ve 120° iletimde);
- Şekil-7.36'da 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün (VSI), üçgen yük ve 120° uyarma için, güç ve kontrol devrelerinin bağlantısı görülmektedir.



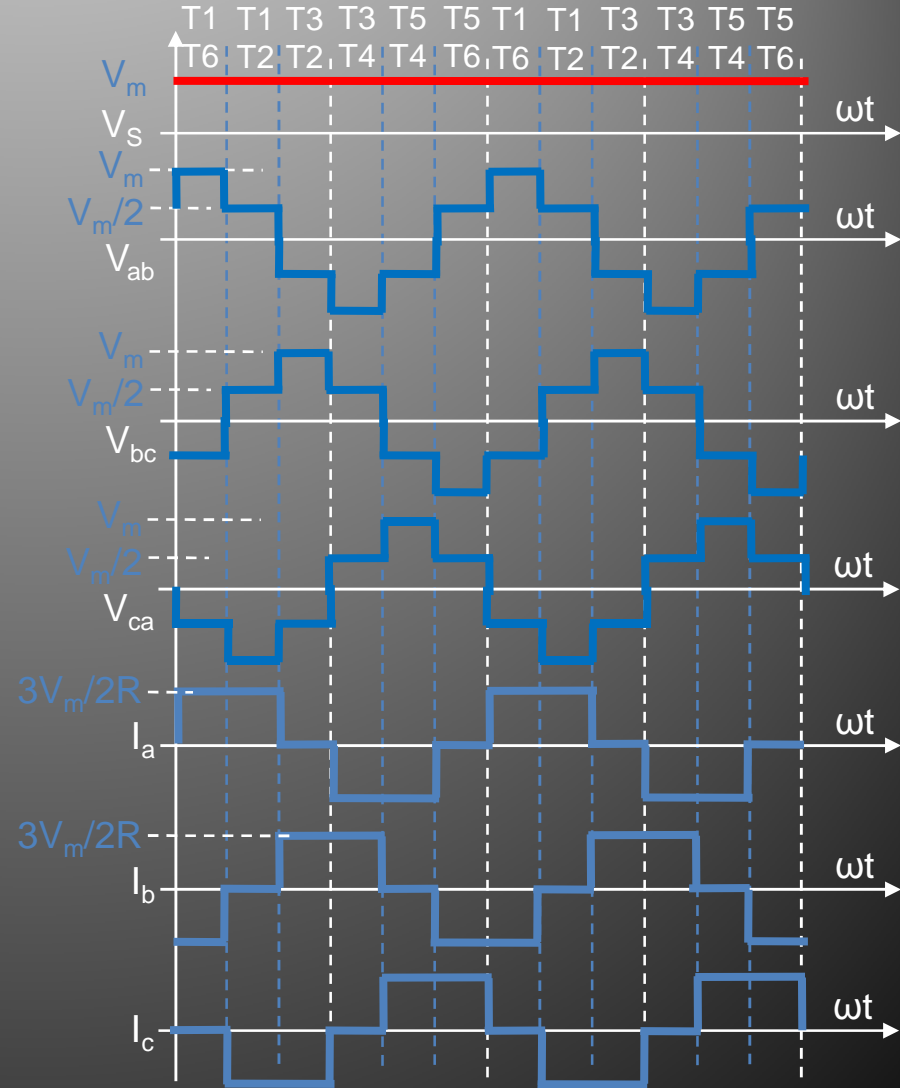
# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.36'da görülen 3 fazlı devrenin performansını gösteren uyarma dalga şekilleri Şekil-7.37'de, güç devresi dalga şekilleri de Şekil-7.38'de verilmiştir.



M.Necdet YILDIZ

GÜÇ ELEKTRONİĞİ-1 DERS NOTLARI

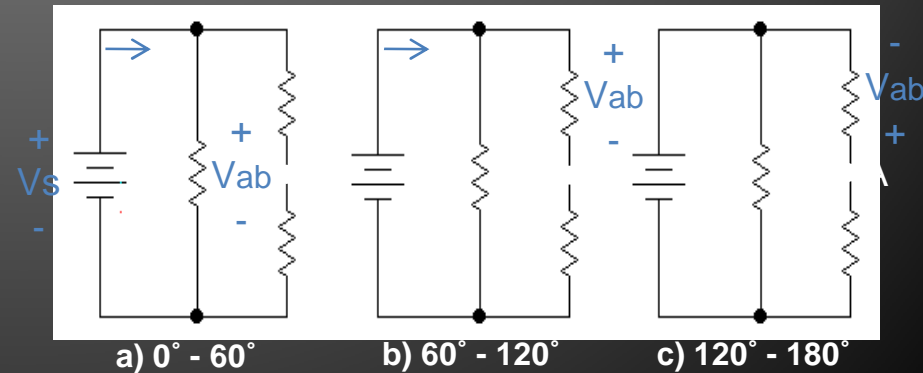


45

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.37'den görüldüğü gibi referans olarak aldığımız birinci fazı (A) oluşturabilmek için T1 ve T4 transistörlerine 120 derece faz farklı iki kare dalga kontrol sinyali uygulanacaktır.
- İkinci fazı (B) oluşturabilmek içinse T3 ve T6 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 120 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Üçüncü fazı oluşturmak için ise T5 ve T2 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 240 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Böylelikle 3 fazlı AC elde edebilmek için T1'den T6'ya kadar transistörler 60'ar derece arayla 120° sürülmüş olmaktadır.

- Şekil-7.38'de verilen güç devresi dalga şekillerine bakıldığında yapılan 120 derecelik uyarma sonucunda, istenilen frekansta, 120'şer derece faz farklı ve " $V_m$ " tepe değerli 3 adet hat-faz gerilimi ( $V_{ab}$ , ...) ile yine kendi aralarında 120'şer derece faz farklı ve " $3V_m/2R$ " tepe değerli 3 adet hat akımı ( $I_a$ , ...) oluşmaktadır.
- Şekil-7.38'de gösterilen kademeli hat gerilimleri-akımlarının oluşumu Şekil-7.39'da gösterilmiştir.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

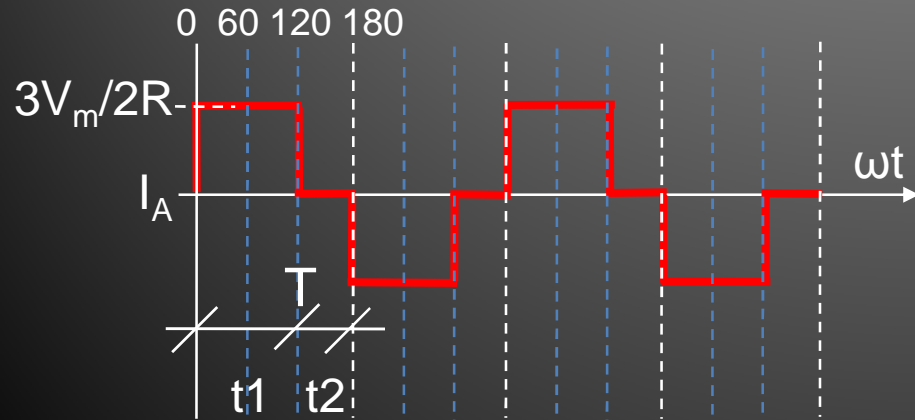
- Şekil-7.39’da verilen yük eşdeğer devrelerinden görüldüğü gibi, ilk 60 derecelik dilimde T1-T6 iletimde olduğu için yük “a” şeklinde görüldüğü gibi Rb-Rc seri Ra ise onlara paralel durumdadır. Bu durumda çıkış  $V_{AB}$  uçları arasında “ $V_s$ ” kadarlık bir gerilim seviyesi olacaktır.
  - İkinci 60 derecelik dilimde ise “b” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rb seri Rc ise onlara paralel durumdadır. Bu durumda çıkış  $V_{AB}$  uçları arasında “ $+V_s/2$ ” kadarlık bir gerilim seviyesi olacaktır.
  - Üçüncü 60 derecelik dilimde ise Ra-Rc seri olduğu için  $V_{AB}$  uçları arasında “ $-V_s/2$ ” görülecektir.
- 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertör devresinin üçgen yükteki daga şekillerinden yararlanarak diğer güç devrelerinde olduğu gibi hesaplamalar yapılabilir.
    - 1) Çıkış faz ve hat akımlarının etkin değeri,
    - 2) Çıkış faz ve hat gerilimlerinin etkin değeri,
    - 3) Etkin çıkış gücü,
    - 4) Kaynak akımı ortalama değeri,
    - 5) Ortalama giriş gücü,
    - 6) Devrenin verimi,
    - 7) Anahtar gerilimi,
    - 8) Anahtar akımı.

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1a) Çıkış hat akımı etkin değeri;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün üçgen yükte 120°'de çıkış hat akımı Şekil-7.40'da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış hat akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

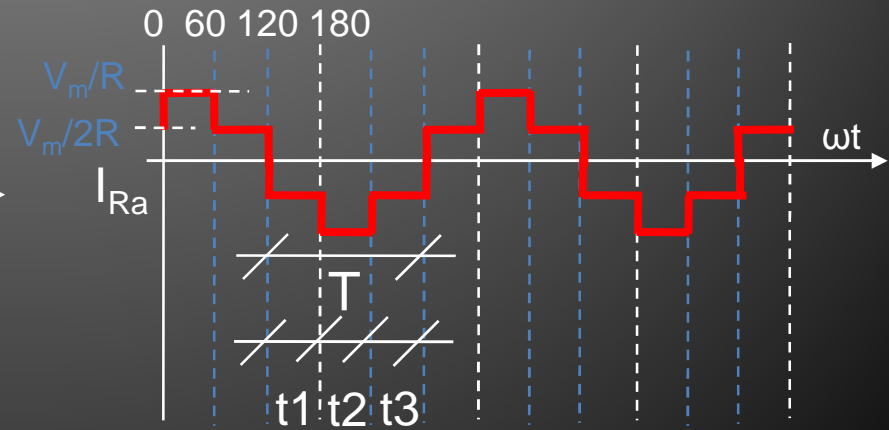
$$I_{a(rms)} = 3V_m/2R \cdot \sqrt{k}$$

$$I_{a(rms)} = 3V_m/2R \cdot \sqrt{(t1/T)}$$



- 1b) Çıkış faz akımı etkin değeri;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün üçgen yükte 120°'de çıkış faz akımı Şekil-7.41'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış faz akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$I_{Ra(rms)} \approx (V_m/2R) \cdot \sqrt{[(t1+t3) / T]} + (V_m/R) \cdot \sqrt{(t2 / T)}$$

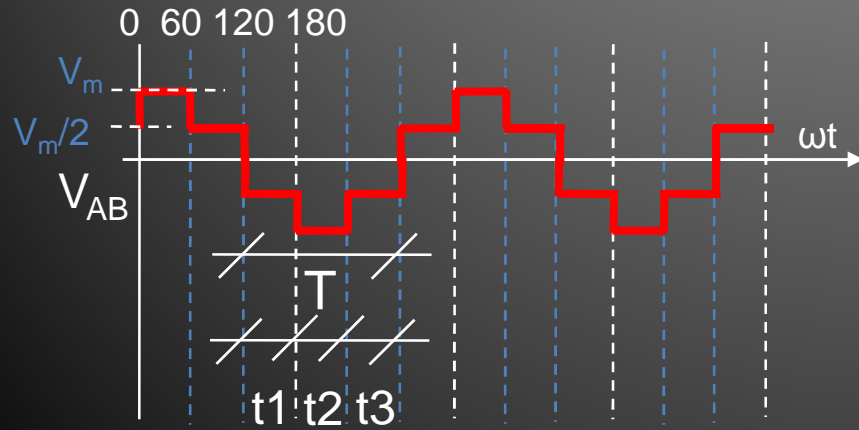




## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 2) Çıkış hat-faz gerilimi etkin değr.;
- 3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün üçgen yükte oluşan çıkış hat ve faz gerilim Şekil-7.42'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği aşağıdadır.

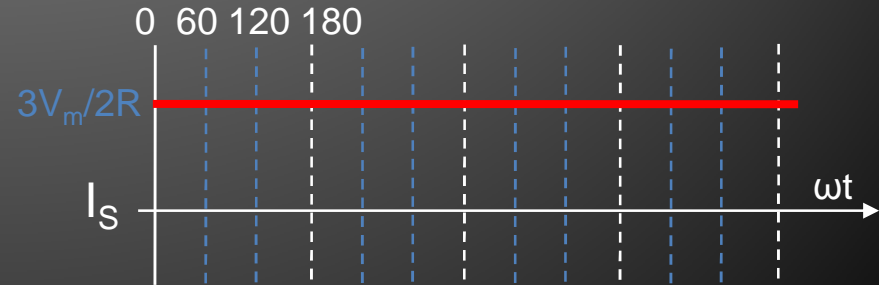
$$V_{AB(rms)} \approx (V_m/2) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + V_m \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$



- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,  
 $P_o = 3/2 \cdot I_{Ra} \cdot V_{AB}$
- 4) Kaynak akımın ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.43'deki gibi olduğuna göre,

$$I_s = 3V_m / 2R$$

eşitliğinden bulunabilecektir.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.

$$P_s = I_s \cdot V_s$$

eşitliğinden bulunabilecektir.

- 6) Devrenin verimi;
- Devrenin verimi,  
 $\eta = P_o / P_s$  olacaktır.
- 7) Anahtar gerilimi,
- Anahtarın üzerine gelecek olan gerilime göre,  
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$  olacaktır.
- 8) Anahtar akımı;
- Anahtarın üzerine göre;  
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot 3V_m / 2R$

### ■ Örnek:

- 200Vdc şebekede 120 derece uyarda çalıştırılan 3 fazlı gerilim kayn. PWM invertörün,
- a) 3x10Ω'luk yıldız bağlı yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 3x10Ω'luk üçgen bağlı yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

### ■ Çözüm:

- a) 3x10Ω'luk yıldız bağlı yük beslenmesi durumunda,  
İlk olarak çıkış faz geriliminin etkin değeri bulunacak olursa;

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_{an(rms)} = V_m/2 \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$

$$V_{an(rms)} = 200/2 \cdot \sqrt{(6,66/10)}$$

$$V_{an(rms)} = 81,65V$$

- ÇIKIŞ hat geriliminin etkin değeri;

$$V_{ab(rms)} \approx (V_m/2) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} \\ + V_m \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

$$V_{ab(rms)} \approx (200/2) \cdot \sqrt{[(6,66) / 10]} \\ + 200 \cdot \sqrt{(3.33 / 10)}$$

$$V_{ab(rms)} \approx 81,6 + 115,41$$

$$V_{ab(rms)} \approx 197V$$

- ÇIKIŞ faz ve hat akımlarının etkin değeri;

$$I_{a(rms)} = (V_m/2R) \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$

$$I_{a(rms)} = (200/2 \cdot 10) \cdot \sqrt{(0,666)}$$

$$I_{a(rms)} = 8,16A$$

olarak bulunur.

- Etkin çıkış gücü;

$$P_o = 3 \cdot I_a \cdot V_{an}$$

$$P_o = 3 \cdot 8,16 \cdot 81,65 = 1,99kW$$

- Kaynak akımının ortalama değeri;

$$I_s = V_m / 2 \cdot R$$

$$I_s = 200 / 2 \cdot 10 = 10,0A$$

- Kaynaktan çekilen güç;

$$P_s = I_s \cdot V_s$$

$$P_s = 10 \cdot 200 = 2,0kW$$

- Devrenin verimi;

$$\eta = P_o / P_i$$

$$\eta = 1,99kW / 2,0kW = \%99,5$$

- Anahtar gerilimi;

$$V_T = V_m \cdot 1,3 = 200 \cdot 1,3 = 260V$$

- Anahtar akımı;

$$I_T = I_m \cdot 1,3 = (200/2 \cdot 10) \cdot 1,3 = 13A$$

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- b)  $3 \times 10\Omega$ 'luk üçgen bağlı yük beslenmesi durumunda,
  - Çıkış gerilimlerinin etkin değeri;  
$$V_{AB(rms)} \approx (V_m/2) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + V_m \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$
$$V_{AB(rms)} \approx (200/2) \cdot \sqrt{[(6,66) / 10]} + 200 \cdot \sqrt{(3,33 / 10)}$$
$$V_{AB(rms)} \approx 81,6 + 115,4 \approx 197V$$
  - Çıkış faz akımının etkin değeri;  
$$I_{Ra(rms)} \approx (V_m/2R) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + (V_m/R) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$
$$I_{Ra(rms)} \approx (200/2 \cdot 10) \cdot \sqrt{[(6,66) / 10]} + (200/10) \cdot \sqrt{(3,33 / 10)}$$
$$I_{Ra(rms)} \approx 8,16 + 11,54 \approx 19,7A$$
  - Çıkış hat akımının etkin değeri;  
$$I_{a(rms)} = 3V_m/2R \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$
$$I_{a(rms)} = 3 \cdot 200/2 \cdot 10 \cdot \sqrt{(0,666)} = 24,5A$$
  - Etkin çıkış gücü;  
$$P_o = 3/2 \cdot I_{ra} \cdot V_{ab}$$
$$P_o = 3/2 \cdot 19,7 \cdot 197 = 5,82kW$$
  - Kaynak akımının ortalama değeri;  
$$I_s = 3V_m / 2R$$
$$I_s = 3 \cdot 200 / 2 \cdot 10 = 30A$$
  - Kaynaktan çekilen güç;  
$$P_s = I_s \cdot V_s$$
$$P_s = 30 \cdot 200 = 6,0kW$$
  - Devrenin verimi;  
$$\eta = P_o / P_i$$
$$\eta = 5,82kW / 6,0kW = \%97$$
  - Anahtar gerilimi;  
$$V_T = V_m \cdot 1,3 = 200 \cdot 1,3 = 260V$$
  - Anahtar akımı;  
$$I_T = I_m \cdot 1,3 = 3 \cdot 200/2 \cdot 10 \cdot 1,3 = 39A$$

## ÖDEV-15

15.1) 500Vdc şebekede, 100Hz frekans ve  $120^\circ$  iletim modunda çalıştırılan ve  $5\Omega$  üçgen bir yükü besleyen 3 fazlı VSI'nın,

- a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
- b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
- c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

15.2) 300Vdc şebekede, 60Hz frekans ve  $180^\circ$  iletim modunda çalıştırılan ve  $15\Omega$  üçgen bir yükü besleyen 3 fazlı VSI'nın,

- a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
- b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
- c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

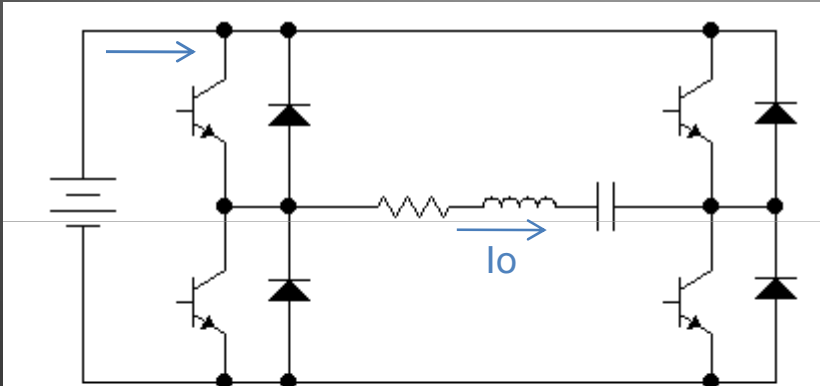
- **II – REZONANSLI İNVERTÖRLER**
- Bilindiği gibi, PWM invertörlerde istenilen çıkış akımını veya gerilimini elde edebilmek için güç anahtarları üzerlerindeki gerilim veya akım baskısı altında anahtarlanmaktadır ki bu anahtarlama türüne “Sert Anahtarlama” denilmektedir.
- Sert anahtarlama kullanıldığında güç anahtarları yüksek  $di/dt$  ve  $dv/dt$  ile karşı karşıya kalmaktadırlar.
- Anahtarlar üzerinde oluşan bu baskı daha önce açıklanan yöntemlerle yumuşatılmaya çalışılmaktadır.
- İşte bu dezavantajları giderebilmek için “Rezonanslı İnvvertörler” üzerinde çalışılmıştır.
- Burada temel amaç güç anahtarlarını üzerlerindeki yüksek gerilim ve akım baskısından kurtarmak, güç anahtarlarını gerilimin veya akımın sıfıra düştüğü yerlerde anahtarlama yapmaktır.
- Daha önce de kısaca belirtildiği gibi rezonanslı invertörlerin,
  - 1) Seri rezonanslı,
  - 2) Paralel rezonanslı,olmak üzere iki temel türü bulunmaktadır. Bu bölümde seri ve paralel rezonanslı invertörler sırayla incelenecektir.

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

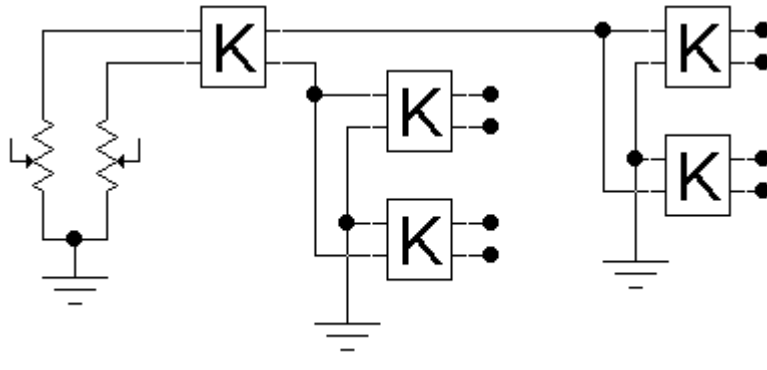
- **1) Seri Rezonanslı İnvvertörler;**
- Seri rezonanslı invertörler, aslında seri RLC rezonans devresi mantığı ile çalışan invertör devreleridir ve rezonans anında en yüksek seviyede sinüsoidal akım osilasyonu oluşturmaktadır.
- Bilindiği gibi seri rezonans devrelerinde rezonans anında  $X_L$  ve  $X_C$  birbirini sıfırlamakta geriye sadece  $R$  kalmaktadır. Yani devre gösterebileceği en düşük empedansı göstermektedir.
- Bu durumda invertör tarafından devre üzerinde uygun anahtarlama yapıldığında devre üzerinde ideal sinüs akım oluşacaktır.
- Seri rezonanslı invertörler kullanılarak 200Hz ile 100kHz aralığında sinüsoidal akım osilasyonları elde edilebilmektedir.
- Seri rezonanslı invertörde rezonans anında akımın sinüsoidal olarak değişmesi ve kendiliğinden sıfırdan geçişlerin gerçekleşmesi, anahtar kullanımında büyük kolaylık ve rahatlık getirmektedir.
- Bu sayede transistör, mosfet ve IGBT'nin yanısıra tristörler bile invertörde güç anahtarı olarak kullanılabilir.
- Çıkış akımı sıfırdan geçerken güç anahtarı olarak kullanılan tristör kendiliğinden yalıtıma geçecektir.

# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Seri rezonanslı invertörler, tek yönlü veya çift yönlü anahtarlar kullanılarak, tek veya çift anahtar, yarım köprü ve tam köprü olarak yapılabilmektedir.



Güç devresi  
Uyarma dv.

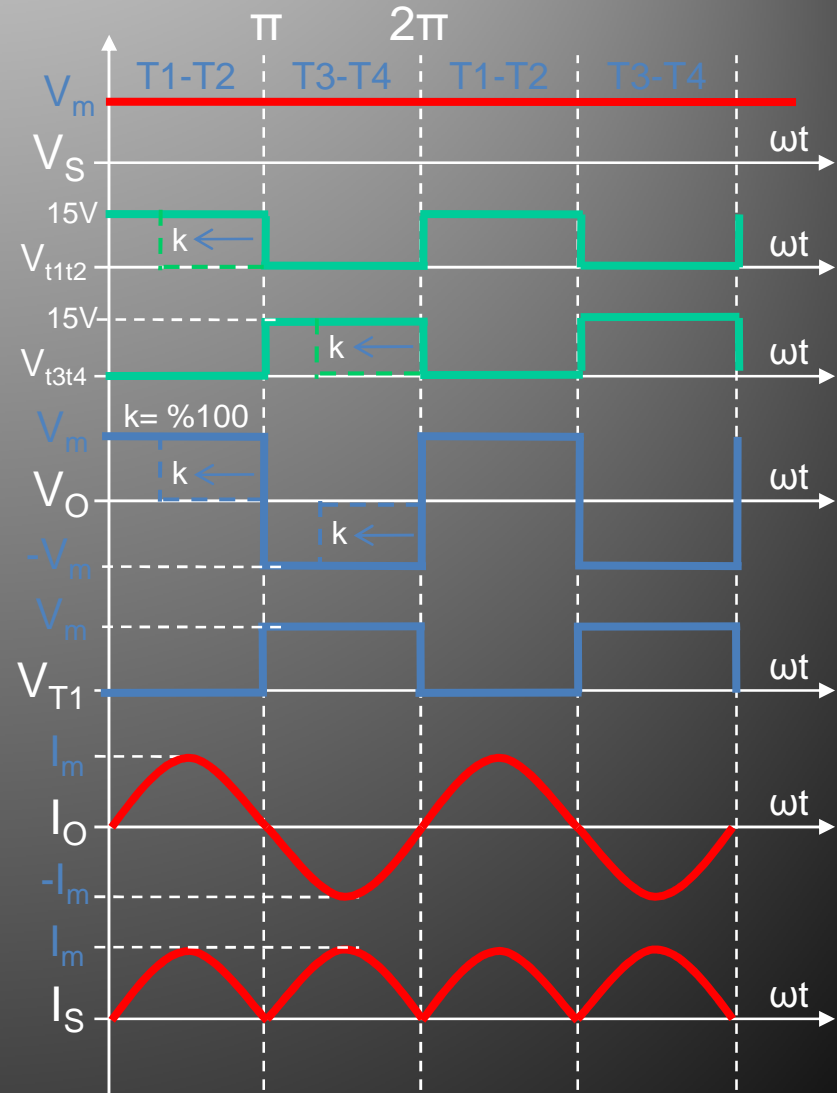


- Yan taraftaki Şekil-7.82’de çift yönlü anahtar kullanılarak yapılmış olan tam köprü seri rezonanslı invertör devresi görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi güç ve kontrol devresi yapısı tamamen 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertör yapısının aynısıdır. Sadece yük olarak çıkışa bir seri LC devresi bağlanmıştır.
- Çıkışta görülen R elemanı ise LC devresinin istenmeyen direncini ifade edebildiği gibi dışarıdan bağlanan rezistif yükü de temsil edebilmektedir.
- Devrenin kontrolü da tamamen PWM invertörde olduğu gibi yapılmaktadır.



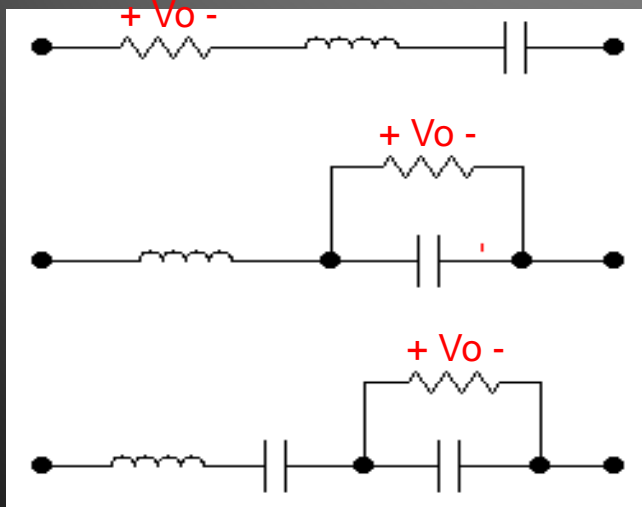
## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.83'de ise devrenin çalışma performansını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi T1-T2 ve T3-T4 anahtarları eş zamanlı olarak iletme alınmakta ve iletim süreleri kontrol edilebilmektedir.
- Rezonans frekansında yapılan bu kontrole bağlı olarak da çıkışa bağlanmış olan seri rezonans devresine istenilen seviyede gerilim aktarmak mümkün olmakta ve bu sayede de rezonans frekansında sinüsoidal bir çıkış akımı elde edilebilmektedir.
- Kaynaktan çekilen akım da çıkış akımına bağlı olarak sinüsoidal formatta tam dalga doğrultulmuş gibi gerçekleşecektir.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Seri rezonanslı invertörlerde yük bağlantısı yükün endüktif olması durumunda Şekil-7.82’de gösterildiği gibi seri RLC tipinde bağlantı yapılabildiği gibi çıkışa başka bir rezistif yük bağlanması gerektiği durumlarda Şekil-7.83’de görüldüğü gibi 3 farklı seçenek bulunmaktadır. Bunlar,



3) Seri LC, paralel RC

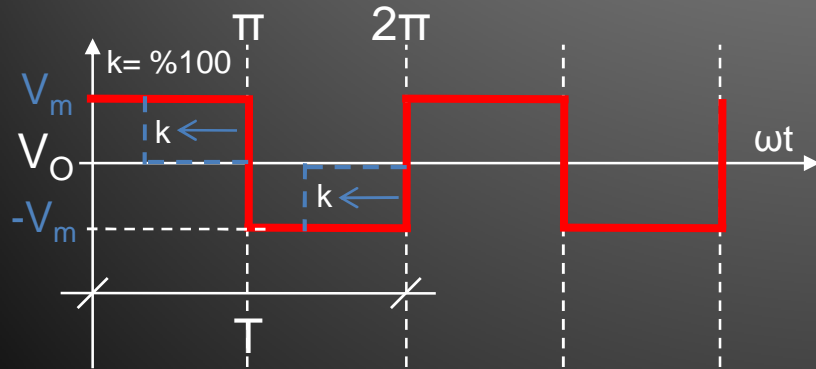
- Sabit frekanslı ve sinüsoidal formatta akım gereken uygulamalarda kullanılan 1 fazlı seri rezonanslı invertörün seri rezistif yükte çalışırken diğer güç devrelerinde olduğu gibi,
  - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
  - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
  - 3) Etkin çıkış gücü,
  - 4) Kaynak akımının ortalama değeri,
  - 5) Ortalama giriş gücü,
  - 6) Devrenin verimi,
  - 7) Devrenin frekansı,
  - 8) Anahtar gerilimi,
  - 9) Anahtar akımı,hesaplanabilir.

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1) Çıkış geriliminin etkin değeri;
- 1 fazlı seri rezonanslı invertörün rezistif yükte oluşan çıkış gerilimi Şekil-7.83'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} V_m^2 \cdot dt} = \sqrt{k} \cdot V_s$$

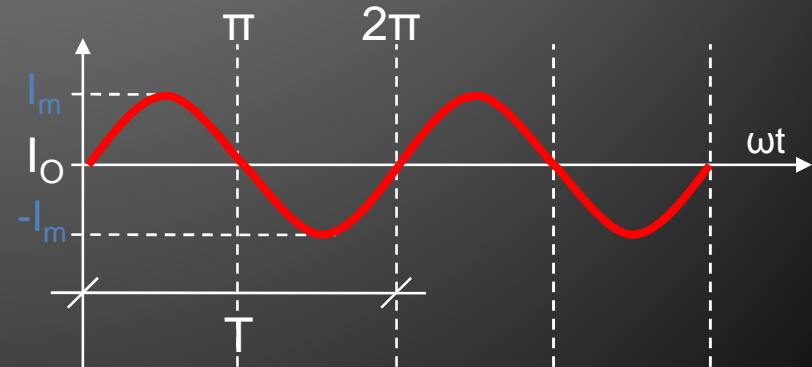
olarak bulunabilecektir.



- 2) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı seri rezonanslı invertörün rezistif yükte oluşan çıkış akımı Şekil-7.84'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği,

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} [I_m \sin(t)]^2 \cdot d(t)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

olarak bulunabilecektir.

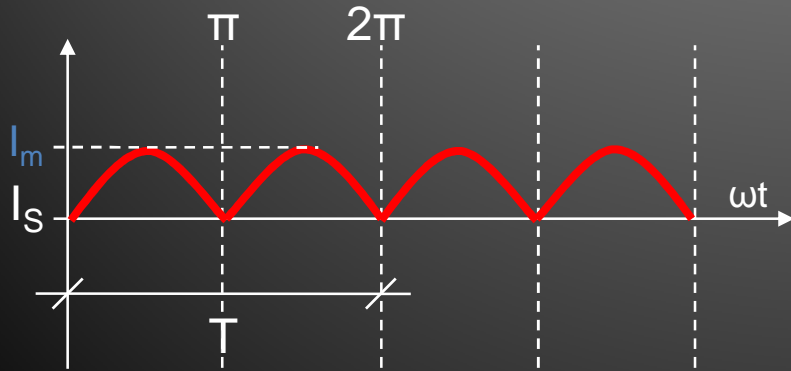


# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,  
 **$P_o = I_o \cdot V_o$**
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.85'deki gibi olduğuna göre,

$$I_{S(rms)} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_m \sin(t).dt = \frac{2I_m}{\pi}$$

eşitliğinden bulunabilecektir.



- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  
 **$P_s = I_s \cdot V_s$**
- 6) Devrenin verimi,  
 **$\eta = P_o / P_s$**  olacaktır.

- 7) Devrenin frekansı,

$$f_o = f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L.C} - \frac{R^2}{4.L^2}}$$

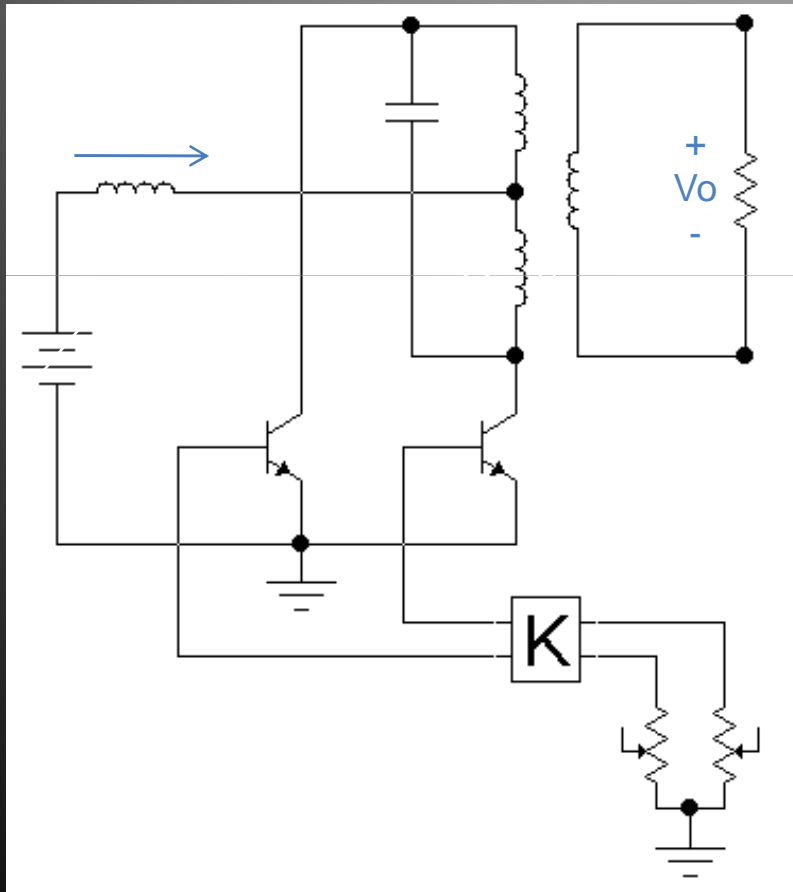
- 8-9) Anahtar gerilimi ve akımı,
- Üzerindeki akım ve gerilime göre,  
 **$V_T = 1,3 \cdot V_m$**   
 **$I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$**   
olacaktır.

# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 2) Paralel Rezonanslı İvertörler;
- Paralel rezonanslı invertörler, aslında paralel RLC rezonans devresi mantığı ile çalışan invertör devreleridir ve rezonans anında en yüksek seviyede sinüsoidal gerilim osilasyonu oluşturmaktadır.
- Bilindiği gibi paralel rezonans devrelerinde rezonans anında  $X_L$  ve  $X_C$  sonsuza doğru gitmekte geriye sadece  $R$  kalmaktadır. Yani devre gösterebileceği en yüksek empedansı göstermektedir.
- Bu durumda invertör tarafından devre üzerinde uygun anahtarlama yapıldığında devre üzerinde ideal sinüs gerilim oluşacaktır.
- Paralel rezonanslı invertörler kullanılarak 200Hz ile 100kHz aralığında sinüsoidal gerilim osilasyonları elde edilebilmektedir.
- Paralel rezonanslı invertörde rezonans anında gerilimin sinüsoidal olarak değişmesi ve kendiliğinden sıfırdan geçişlerin gerçekleşmesi, anahtar kullanımında büyük kolaylık ve rahatlık getirmektedir.
- Bu sayede transistör, mosfet ve IGBT gibi güç anahtarları sıfır gerilimde anahtarlatabilmektedir.
- Bu invertörler genellikle yüksek voltajlı dc iletim hatlarının (HVDC) oluşturulması ve yüksek frekans uygulamalarında kullanılmaktadır.

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

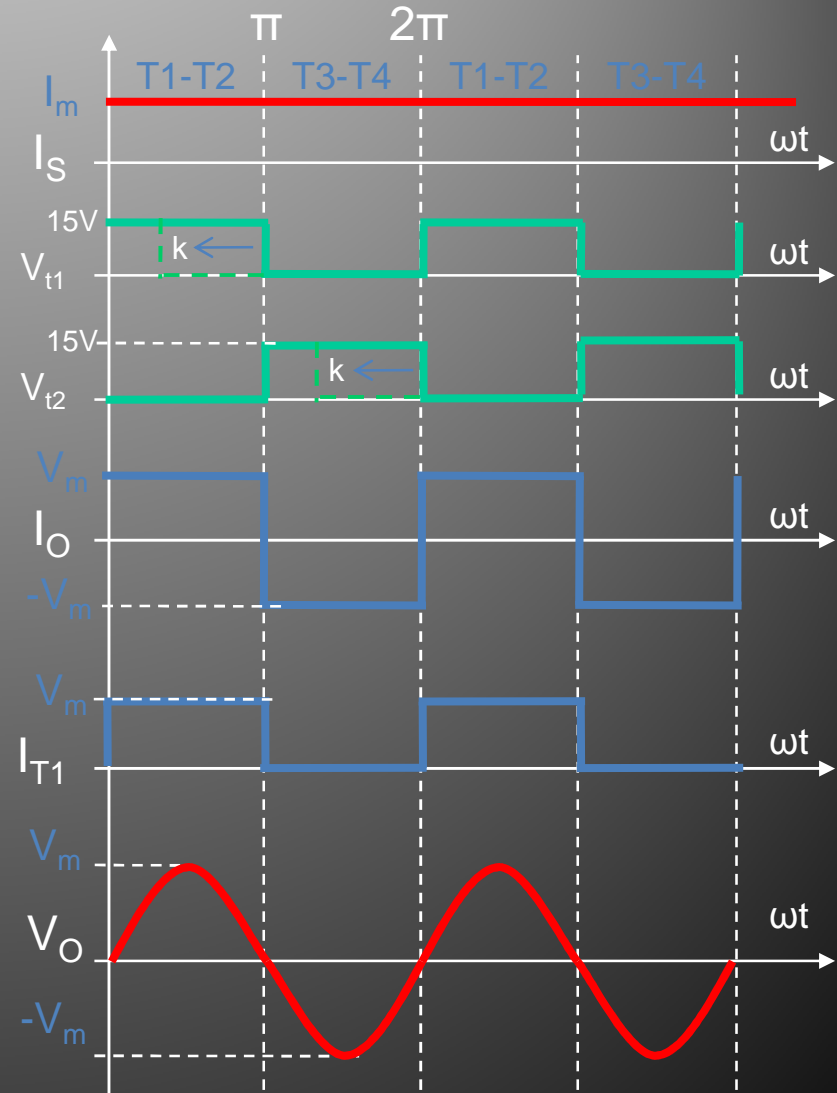
- Paralel rezonanslı invertörler, tek yönlü güç anahtarları kullanılarak, simetrik veya tam köprü olarak yapılabilmektedir.



- Yandaki Şekil-7.86'da simetrik yapılı paralel rezonanslı invertör devresi görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi güç devresi girişine  $I_s$  akımlı bir akım kaynağı bağlanmış durumdadır. Paralel rezonans devresi ise orta uçlu bir transformatorün primer devresinde oluşturulmuştur.
- Orta uçtan giren kaynak akımı push-pull çalıştırılan T1 ve T2 transistörlerinin iletim durumuna göre L1 veya L2 üzerinden akmaktadır.
- Devrenin çıkışı ise  $L_o$  sekonder bobini üzerinden alınmaktadır. Kontrolu kolay olan bu devre özellikle floresant lamba kontrolü vb. işler için kullanılmaktadır.

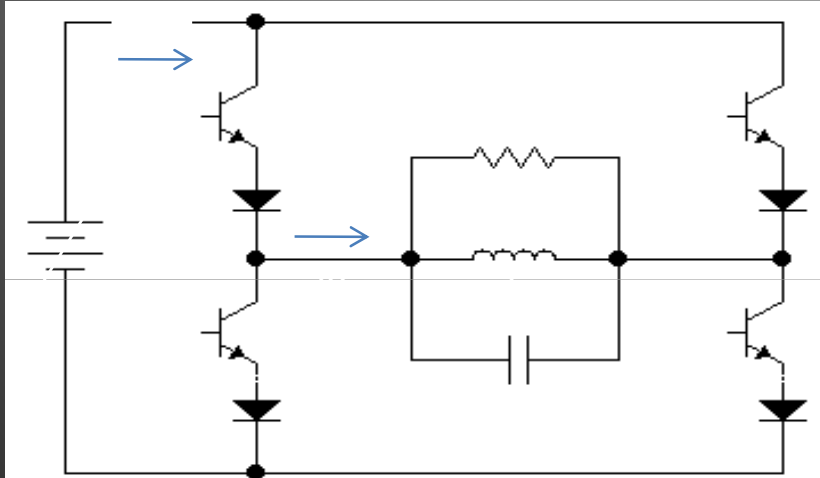
## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.87’de ise devrenin çalışma performansını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi T1 ve T2 anahtarları pushpull (ters zamanlı) olarak iletme alınmakta ve iletim süreleri kontrol edilebilmektedir.
- Rezonans frekansında yapılan bu kontrole bağlı olarak da çıkışa bağlanmış olan paralel rezonans devresine en yüksek seviyede akım aktarmak mümkün olmakta ve bu sayede de rezonans frekansında sinüsoidal bir çıkış gerilimi elde edilebilmektedir.
- Kaynaktan çekilen akım invertör kontrolüne bağlı olarak sürekli ve sabit olmak durumundadır ve değişmeyecektir.

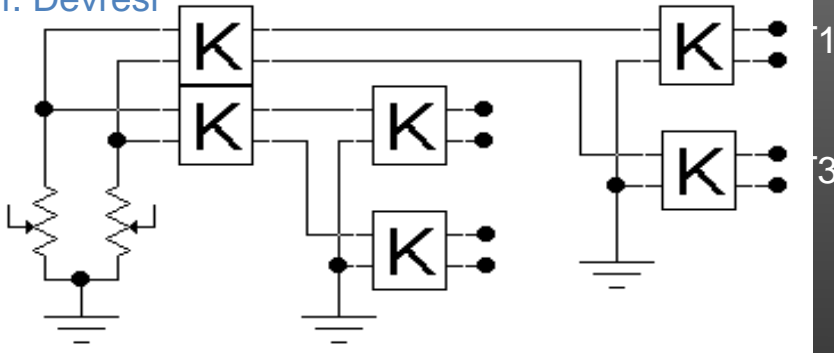


# VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Paralel rezonanslı invertörler, tek yönlü güç anahtarları kullanılarak, simetrik veya tam köprü olarak yapılabilmektedir.



Güç Devresi  
Uyr. Devresi

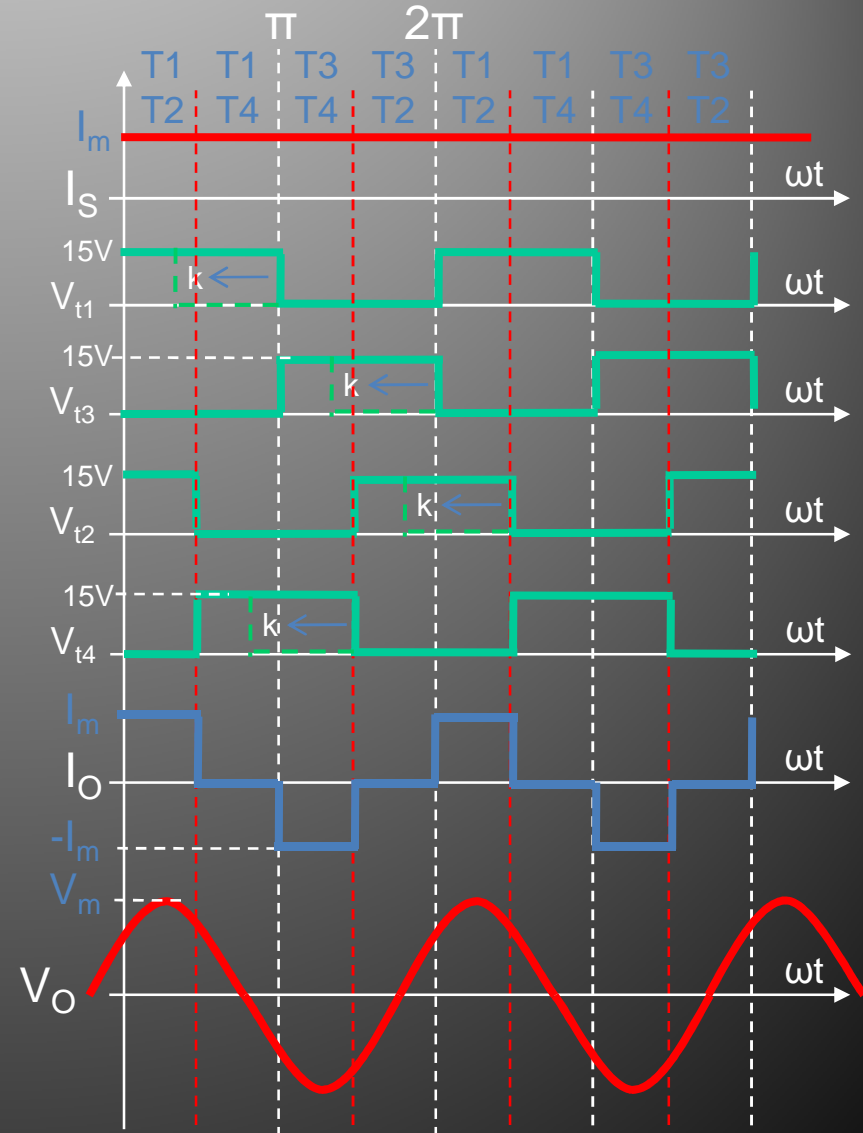


- Yandaki Şekil-7.88'de tam köprü yapılı paralel rezonanslı invertör devresi görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi güç devresi girişine  $I_s$  akımlı bir akım kaynağı bağlanmış durumdadır. Paralel rezonans devresi ise köprü invertör çıkışına yük olarak veya yüklerle birlikte bağlanmıştır.
- Akım kaynağından gelen kaynak akımı push-pull çalıştırılan T1-T2 ve T3-T4 transistörlerinin iletim durumuna göre paralel rezonans devresine aktarılmaktadır.
- Daha çok HVDC vb. uygulamada kullanılan devrenin çıkışı şekilde görüldüğü gibi doğrudan veya L bobini transformator yapılarak sekonderinden alınabilmektedir.



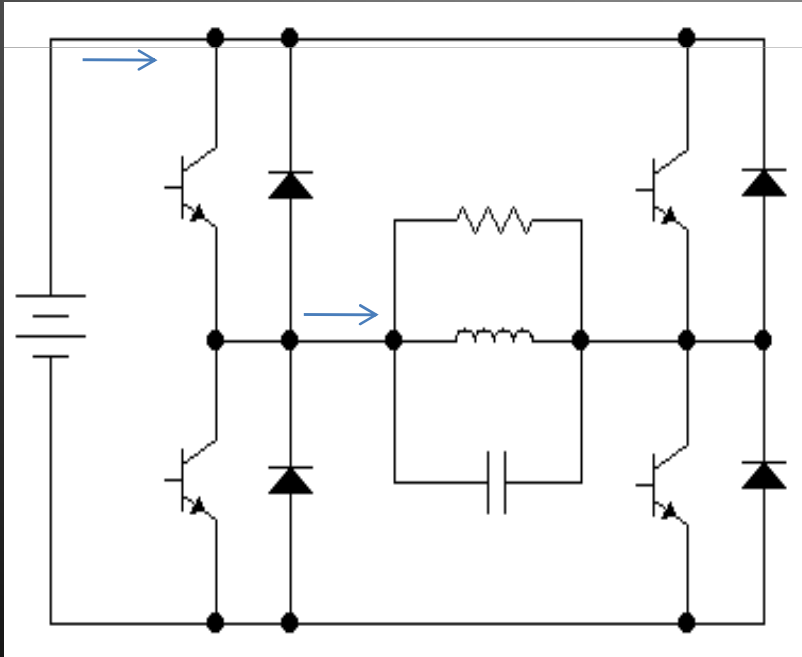
## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil-7.89'da ise devrenin çalışma performansını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi T1-T2 ve T3-T4 anahtarları pushpull (ters zamanlı) olarak iletme alınmakta ve iletim süreleri kontrol edilebilmektedir.
- Rezonans frekansında yapılan bu kontrole bağlı olarak da çıkışa bağlanmış olan paralel rezonans devresine istenilen seviyede akım aktarmak mümkün olmakta ve bu sayede de rezonans frekansında sinüsoidal bir çıkış gerilimi elde edilebilmektedir.
- Kaynaktan çekilen akım invertör kontrolüne bağlı olarak sürekli ve sabit olmak durumundadır ve değişmeyecektir.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Paralel rezonanslı invertörlerde Şekil-7.88'de görüldüğü gibi bir akım kaynaklı köprü invertör kullanılabildiği gibi indüksiyonla ısıtma vb. gibi bazı uygulamalarda aşağıdaki Şekil-7.90'da görüldüğü gibi gerilim kaynaklı köprü bağlantısı da kullanılabilmektedir.



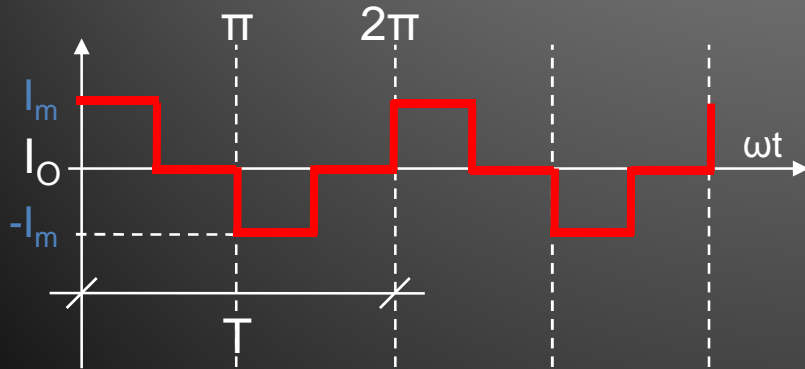
- Sabit frekanslı ve sinüsoidal formatta gerilim gereken uygulamalarda kullanılan 1 fazlı paralel rezonanslı invertörün paralel rezistif yükte çalışırken diğer güç devrelerinde olduğu gibi,
  - 1) Çıkış akımının etkin değeri,
  - 2) Çıkış geriliminin etkin değeri,
  - 3) Etkin çıkış gücü,
  - 4) Kaynak akımının ortalama değeri,
  - 5) Ortalama giriş gücü,
  - 6) Devrenin verimi,
  - 7) Devrenin frekansı,
  - 8) Anahtar gerilimi,
  - 9) Anahtar akımı,hesaplanabilir.

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 1) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı paralel rezonanslı invertörün rezistif yükte oluşan çıkış gerilimi Şekil-7.91'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} V_m^2 \cdot dt} = \sqrt{k} \cdot V_s$$

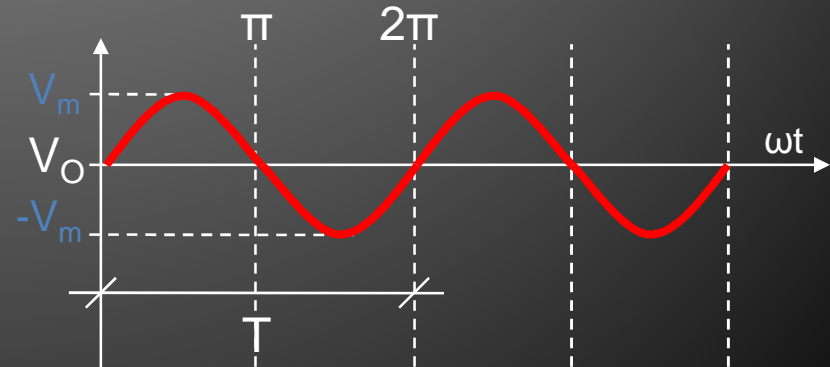
olarak bulunabilecektir.



- 2) Çıkış geriliminin etkin değeri;
- 1 fazlı paralel rezonanslı invertörün rezistif yükte oluşan çıkış gerilimi Şekil-7.92'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} [V_m \sin(t)]^2 \cdot d(t)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

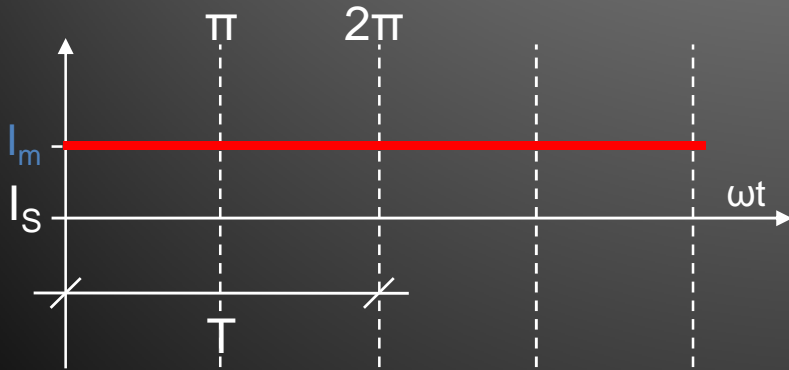
olarak bulunabilecektir.



## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,  
 **$P_o = I_o \cdot V_o$**
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.93'deki gibi olduğuna göre,  
 **$I_s(\text{ort}) = I_m$**

eşitliğinden bulunabilecektir.



- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  
 **$P_s = I_s^2 \cdot Z$**
- 6) Devrenin verimi,  
 **$\eta = P_o / P_s$**  olacaktır.
- 7) Devrenin frekansı,

$$f_o = f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L.C} - \frac{1}{4.R^2.C^2}}$$

- 8-9) Anahtar gerilimi ve akımı,
- Üzerindeki akım ve gerilime göre,  
 **$V_T = 1,3 \cdot V_m$**   
 **$I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$**   
olacaktır.

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

### ■ Örnek:

- a) 200Vdc şebekede, %100 etkin peryotlu uyarmada, 20μH bir bobin 2,5μF bir kondansatör kullanılarak çalıştırılan 1 fazlı seri rezonanslı invertörün, 10Ω'luk seri bağlı rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- b) 50Adc şebekede, %100 etkin peryotlu uyarmada, 20μH bir bobin 2,5μF bir kondansatör kullanılarak çalıştırılan, 1 fazlı paralel rezonanslı invertörün, 10Ω'luk paralel bağlı rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

### ■ Çözüm:

- a) Seri rezonanslı invertörün parametreleri,

- Çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{k} \cdot V_S = \sqrt{1} \cdot 200 = 200V$$

- Çıkış akımının etkin değeri,

$$I_m = V_s / R = 200 / 10$$

$$I_m = 20A$$

$$I_{O(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14,18A$$

- Etkin çıkış gücü,

$$P_O = I_O \cdot V_O$$

$$P_O = 14,18 \cdot 200 = 2,83kW$$

## VII – DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen akım,

$$I_s = V_s \cdot I_s = 200 \cdot 10 = 2kW$$

$$I_{S(rms)} = \frac{2I_m}{\pi} = \frac{2 \cdot 20}{3,14} = 12,73A$$

- Kaynaktan çekilen ortalama güç,

$$P_s = V_s \cdot I_s = 200 \cdot 12,73 = 2,54kW$$

- Devrenin çalışma frekansı,

$$f_o = f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L.C} - \frac{R^2}{4.L^2}}$$

- $f_o \approx 20kHz$

- Anahtar (transistör) akımı,

$$I_T \geq V_m/R + \%30$$

$$I_T \geq (200 / 10) \cdot 1,3 \geq 26A$$

- Anahtar (transistör) gerilimi,

$$V_T \geq 200 \cdot 1,3 \geq 260V$$

- b) Paralel rezonanslı invertör,

- Çıkış akımının etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = \sqrt{k} \cdot I_s = \sqrt{1} \cdot 50 = 50A$$

- Çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_m = I_s \cdot R = 50 \cdot 10 = 500V$$

$$V_{O(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{500}{\sqrt{2}} = 354,6V$$

- Etkin çıkış gücü,

$$P_o = I_o \cdot V_o$$

$$P_o = 50 \cdot 354,6 = 17,73kW$$

- Kaynaktan çekilen ortalama güç,

$$P_s = I_s^2 \cdot R = 50^2 \cdot 10 = 25kW$$

- Devrenin çalışma frekansı,

$$f_o = f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L.C} - \frac{1}{4.R^2.C^2}}$$

$$f_o \approx 20kHz$$

## ÖDEV-16

16.1) 500Vdc kaynakta, %100 etkin peryotlu uyarmada, 200 $\mu$ H bir bobin 25 $\mu$ F bir kondansatör kullanılarak çalıştırılan 1 fazlı seri rezonanslı invertörün, 10 $\Omega$ 'luk seri bağlı rezistif bir yükü beslediğinde

a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.

b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.

c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

16.2) 30Aadc kaynakta, %100 etkin peryotlu uyarmada, 100 $\mu$ H bir bobin 0,5 $\mu$ F bir kondansatör kullanılarak çalıştırılan 1 fazlı paralel rezonanslı invertörün, 10 $\Omega$ 'luk paralel bağlı rezistif yükü beslediğinde

a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.

b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.

c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.