

GÜÇ ELEKTRONİĞİ I

- 1. Güç Elektroniğinin Kapsamı ve Endüstriyel Uygulamaları**
- 2. Temel Yarı İletken Güç Elemanları**
- 3. Diğer Yarı İletken Güç Elemanları**
- 4. Güç Elemanlarında Karşılaştırma, Bastırma ve Isınma**
- 5. Temel Kontrol ve İzolasyon Elemanları**
- 6. AC-AC Dönüştürücüler / AC Kıyıcılar**
- 7. AC-DC Dönüştürücüler / Doğrultucular**
- 8. DC-DC Dönüştürücüler / DC Kıyıcılar**
- 9. DC-AC Dönüştürücüler / İnverterler**

1. GÜÇ ELEKTRONİĞİNİN KAPSAMI VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

GÜÇ ELEKTRONİĞİNİN KAPSAMI

Güç Elektroniği, yüke verilen enerjinin kontrol edilmesi ve enerji şekillerinin birbirine dönüştürülmesini inceleyen bilim dalıdır.

1. Yüke Verilen Enerjinin Kontrolü

Yüke verilen enerjinin kontrolü, enerjinin açılması ve kapanması ile ayarlanması fonksiyonlarını içerir.

1. Statik (Yarı İletken) Şalterler

- a) DC statik şalterler
- b) AC statik şalterler

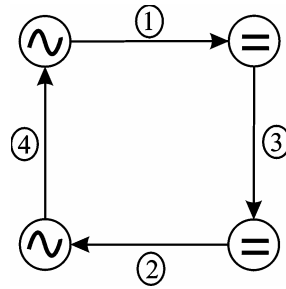
2. Statik (Yarı İletken) Ayarlayıcılar

- a) DC statik ayarlayıcılar
- b) AC statik ayarlayıcılar

2. Enerji Şekillerinin Birbirine Dönüştürülmesi

Elektrik enerji şekillerini birbirine dönüştüren devrelere genel olarak Dönüştürücüler adı verilir. Dört temel dönüştürücü vardır. Bu dönüştürücüler aşağıdaki diyagramda özetlenmiştir.

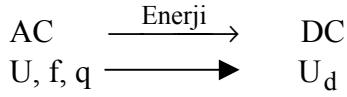
Dönüştürücüler:



Dönüştürücülerde kullanılan kısaltmalar :

- DC : Doğru Akım şeklindeki elektrik enerjisi
- AC : Alternatif Akım şeklindeki elektrik enerjisi
- U_d : DC gerilim (ortalama değer)
- U : AC gerilim (efektif değer)
- f : frekans
- q : faz sayısı

1. AC-DC Dönüştürücüler / Doğrultucular, Redresörler



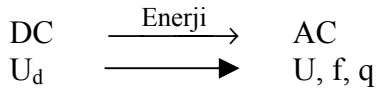
Temel özellikleri :

Doğal komütasyonludur.
Tristör ve diyotlarla gerçekleştirilir.

Başlıca uygulama alanları :

DC motor kontrolü
Akümülatör şarjı
Galvano teknikle kaplama
DC gerilim kaynakları

2. DC-AC Dönüştürücüler / İnverterler, Eviriciler



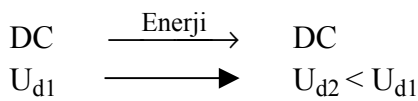
Temel özellikleri :

Zorlamalı komütasyonludur.
Yüksek güç ve düşük frekanslarda SCR kullanılır.
Orta güç ve orta frekanslarda BJT kullanılır.
Düşük güç ve yüksek frekanslarda MOSFET kullanılır.
Ayrıca, diğer güç elemanları,
GTO yüksek güç ve düşük frekanslarda,
IGBT ortanın üzerindeki güç ve frekanslarda,
MCT yüksek güç ve orta frekanslarda kullanılmaktadır.

Başlıca uygulama alanları :

AC motor kontrolü
Kesintisiz güç kaynakları
Endüksiyonla ısıtma sistemleri
Yüksek gerilim DC taşıma sistemleri
AC gerilim kaynakları

3. DC-DC Dönüştürücüler / DC Kıyıcılar



Temel özellikleri :

Zorlamalı komütasyonludur.
Eleman seçimi inverterdeki gibidir.

Başlıca uygulama alanları :

DC motor kontrolü
Akümülatör şarjı
DC gerilim kaynakları

4. AC-AC Dönüştürücüler / AC Kıyıcılar

$$\begin{array}{ccc}
 \text{AC} & \xrightarrow{\text{Enerji}} & \text{AC} \\
 U_1, f_1, q_1 & \longrightarrow & U_2, f_2, q_2
 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} f_1 = f_2 \\ q_1 = q_2 \end{array} \right\} \Rightarrow U_1 \rightarrow U_2 : \quad \begin{array}{l} \text{AC KIYICI} \\ \text{FAZ KESME DEVRESİ} \end{array}$$

Temel özellikleri :

Doğal komütasyonludur.
Tristör ve triyaklarla gerçekleştirilir.

Başlıca uygulama alanları :

Omik yüklerde güç kontrolü, temel olarak ısı ve ışık kontrolü
Vantilatör karakteristikli yükleri (fan, pompa, ve kompresör gibi) tahrik eden düşük güçlü AC motor kontrolü

$$\left. \begin{array}{l} f_1 \neq f_2 \\ q_1 \neq q_2 \\ U_1 \neq U_2 \end{array} \right\} \Rightarrow U_1, f_1, q_1 \rightarrow U_2, f_2, q_2 : \quad \text{DOĞRUDAN FREKANS DÖNÜŞTÜRÜCÜ}$$

Temel özellikleri :

Doğal komütasyonludur.
Tristörlerle gerçekleştirilir.
Düşük hızlarda kontrol imkanı sağlar.

Başlıca uygulama alanları :

Çok düşük devirlerde çalışan ağır iş makinalarının (yol kazma, taş kırma, maden çıkarma makinaları gibi) kontrolü

GÜÇ ELEKTRONİĞİNİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

1. Statik Uygulamalar

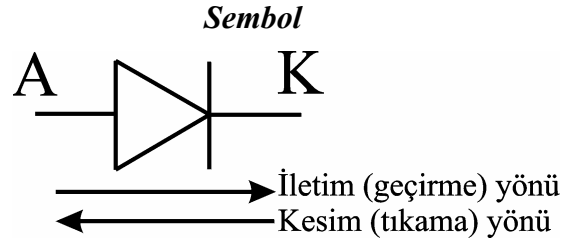
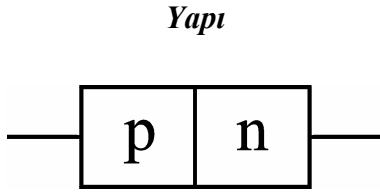
- Kesintisiz güç kaynakları (KGK, UPS)
- Anahtarlama güç kaynakları (AGK, SPS)
- Endüksiyonla ısıtma (EI, EH) sistemleri
- Yüksek gerilim DC taşıma (YGDCT, HVDC) sistemleri
- Elektronik Balastlar (EB)

2. Dinamik Uygulamalar

- DC motor kontrolü
- AC motor kontrolü
- Sincap kafesli (kısa devre rotorlu) asenkron motor kontrolü
- Bilezikli (sargılı rotorlu) asenkron motor kontrolü
- Lineer asenkron motor kontrolü
- Senkron motor kontrolü
- Adım motoru kontrolü
- Relüktans motor kontrolü

2. TEMEL YARI İLETKEN GÜÇ ELEMANLARI

DIYOT



Açıklama

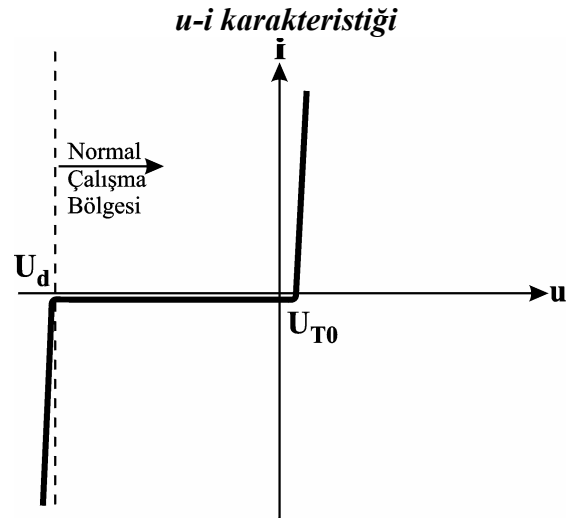
En basit yapıya sahip kontrolsüz yarı iletken elemandır. Geçirme yönünde, eşik geriliminin üzerinde küçük değerli bir iç dirence sahip olan bir iletken gibidir. Tıkama yönünde ise, delinme gerilimine kadar çok küçük sızıntı akımlar geçiren bir yalıtkan gibidir.

U_d : Delinme Gerilimi

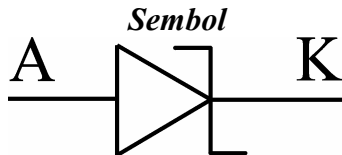
U_{T0} : Eşik Gerilimi

r_T : Eşdeğer Direnç ($\mu\Omega$ - $m\Omega$ mertebelerinde)

U_d geriliminde, güç kaybından dolayı diyot yarı iletken özelliğini kaybeder ve genellikle iletken hale gelir. Bu tür devrilmeye, genel olarak çığ devrilme denilmektedir.



Zener Diyodu



Açıklama

Zener diyodu, dalgalı doğru gerilimden düzgün doğru gerilim elde etmek için veya gerilim regülasyonu amacıyla kullanılır.

U_{BD} : Zener Devrilme Gerilimi

r_Z : Zener Direnci

I_{ZMIN} : Minimum Zener Akımı

P_{DM} : Maksimum Zener Gücü

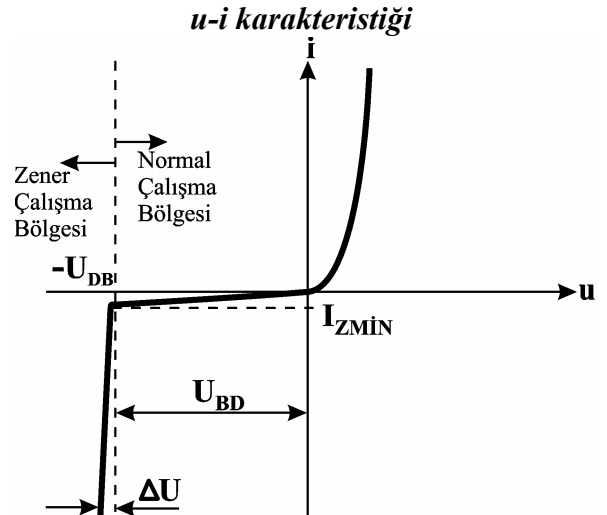
$P_{DM} = U_Z \cdot I_Z \cong U_{BD} \cdot I_{ZDM}$

I_{ZDM} : Maksimum Ortalama Akım

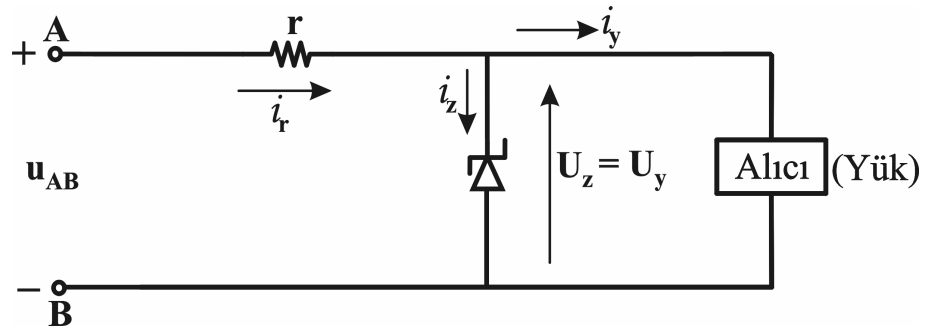
$u_Z = U_{BD} + r_Z \cdot i_Z$

$u_Z = U_{BD} + \Delta U$

$u_Z \cong U_{BD} \cong U_Z \cong \text{Sabit}$



Zener Diyodunun Temel Devresi



Bu devrede,

$$i_Z = \frac{u_{AB} - U_Z}{r} - i_y$$

$$u_Z = U_{BD} + r_Z \cdot i_Z$$

$$u_Z \cong U_{BD} = U_Z = U_y$$

$$I_{Zmin} \leq i_Z \leq I_{Zmax}$$

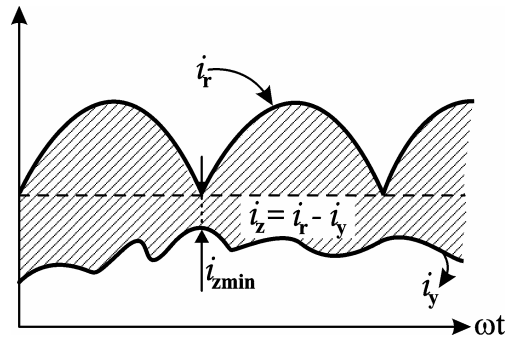
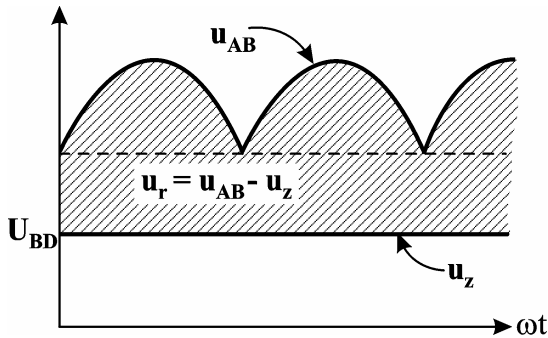
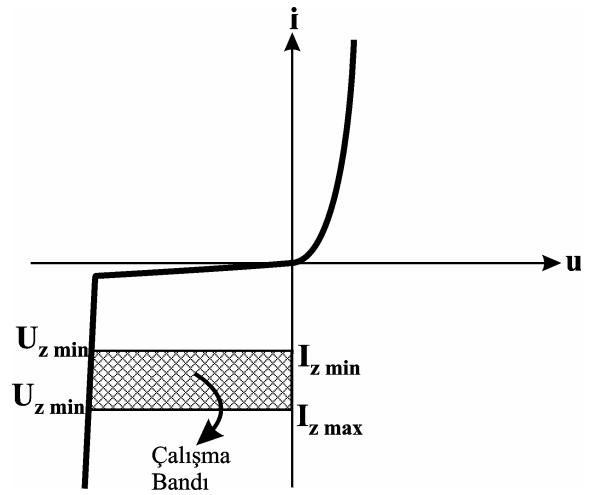
$$I_{Zmin} = \frac{U_{ABmin} - U_{BD}}{r} - I_{Ymax}$$

$$I_{Zmax} = \frac{U_{ABmax} - U_{BD}}{r} - I_{Ymin}$$

r direncinin değişmesiyle bandın aşağı yukarı ($\downarrow \uparrow$) yer değiştirmesi zener diyotun güç kaybını etkiler.

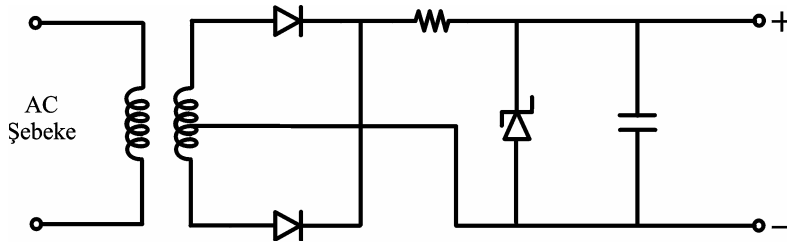
En ekonomik dizayn için: $I_{Zmin} \cong I_{ZMIN}$

$$r \leq \frac{U_{ABmin} - U_{BD}}{I_{Zmin} + I_{Ymax}}$$

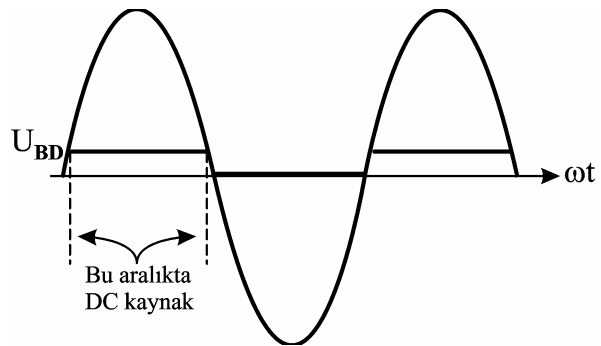
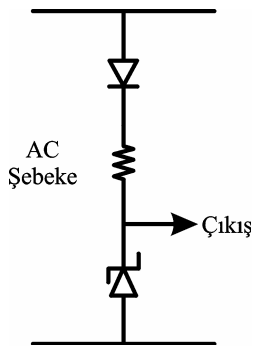


Zener Diyotlu Örnek Devreler

Örnek Devre 1:

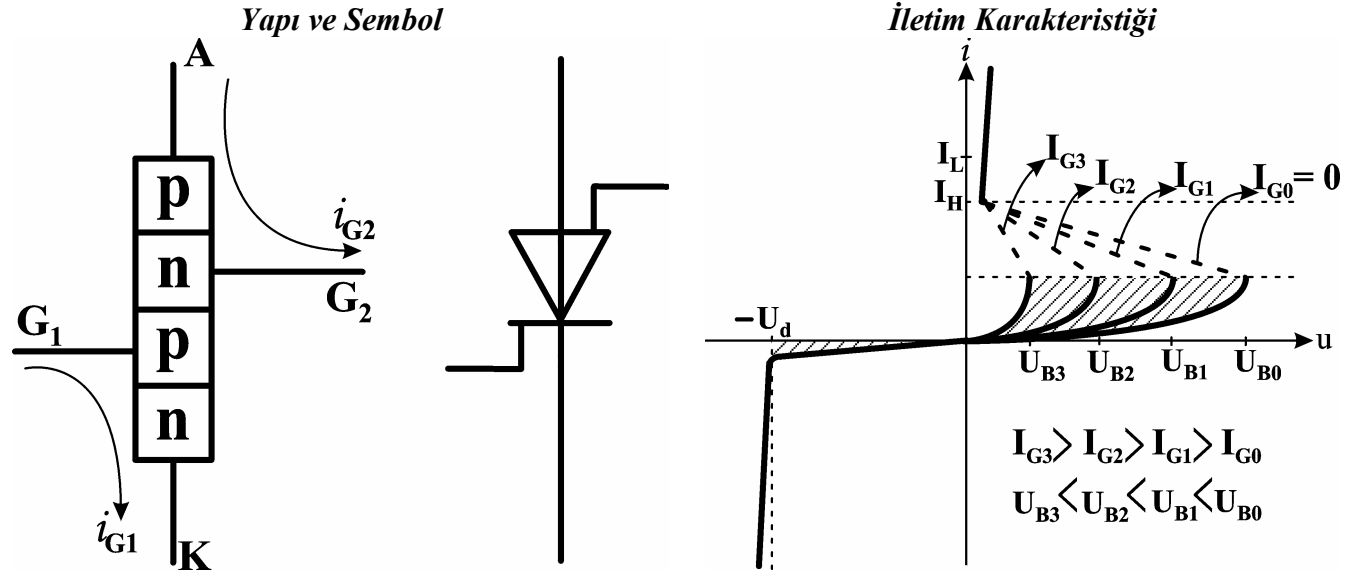


Örnek Devre 2:



TRİSTÖR (SCR)

Yapı, Sembol ve İletim Karakteristiği



Karakteristik Değerler

- i_G : Kapı Akımı
- u_G : Kapı Gerilimi
- I_{GT} : Tetikleme Akımı $\Rightarrow I_{GT} = f(U_{TM}, \theta_{vj})$, I_{GT} : Her türlü şartlar altında tristörü tetikleyebilen değerdir.
- U_{GT} : Tetikleme Gerilimi
- I_{GTM} : Max. Kapı Akımı
- U_{GTM} : Max. Kapı Gerilimi
- u_B : Devrilme gerilimi
- U_{B0} : Sıfır Devrilme Gerilimi
- I_H : Tutma Akımı (mA)
- I_L : Kilitleme Akımı (mA) $\Rightarrow I_L > I_H$
- U_d : Delinme Gerilimi
- $\frac{du}{dt} \Big|_{krt}$: Kritik Gerilim Yükseltme Hızı (V / μs)
- $\frac{di}{dt} \Big|_{krt}$: Kritik Akım Yükseltme Hızı (A / μs)
- t_q : Sönme Süresi (μs)
- Q_s : Taban Tabakalarında Biriken Elektrik Yüğü (μAs)
- U_{DRM} : Max. Periyodik (+) Dayanma Gerilimi $\Rightarrow U_{DRM} < U_{B0}$
- U_{RRM} : Max. Periyodik (-) Dayanma Gerilimi $\Rightarrow U_{RRM} < U_d$
- I_{TAVM} : Sürekli Çalışmada Tristörün Max. Ortalama Akımı
- I_{TEFM} : Sürekli Çalışmada Tristörün Max. Efektif Akımı
- $I_{Tmax} \Big|_{t=10ms}$: 10 ms için Tristörün Max. Akımı
- $\int i^2 dt$: Tristörün Max. Sınır Yüğü ($\mu A^2 s$)
- θ_{vj} : Jonksiyon Sıcaklığı
- θ_{vjmax} : Max. Jonksiyon Sıcaklığı

İletim ve Kesimde Kilitlenme Özelliği

Yeterli kapı akımı uygulanan bir tristörün içinden geçen akım kilitleme akımına eriştiğinde tristör iletimde olarak kilitlenir. Yani artık kapı akımı kesilse de tristör iletimde kalır.

İletimde olan bir tristörün içinden geçen akım herhangi bir şekilde tutma akımının altına düşerse, tristör otomatik olarak kesime girer. Bu anadan itibaren en az sönme süresi kadar tristör negatif bir gerilimle tutulur veya tekrar bir pozitif gerilim ($\geq 0,6$ V) uygulanmaz ise, tristör kesimde olarak kilitlenir. Yani artık gerilim uygulanırsa da kesimde kalır. Bu nedenle, tristöre Tetiklemeli Eleman da denilmektedir.

Tristörün Kendiliğinden İletime Geçme Sebepleri

1. Bir tristörün uçlarındaki gerilimin değeri bu tristörün sıfır devrilme gerilimi değerine erişirse, yani

$$u_T \geq U_{B0} \text{ ise,}$$

bu tristör kendiliğinden iletime geçer.

2. Bir tristörün uçlarındaki gerilimin yükselme hızı değeri bu tristörün kritik gerilim yükselme hızı değerine erişirse, yani

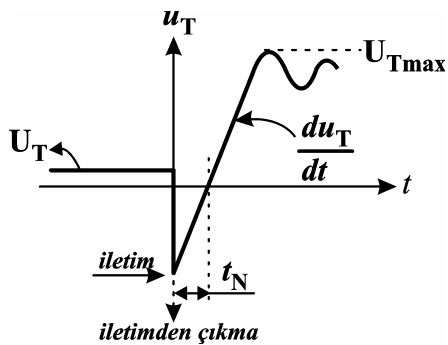
$$\frac{du_T}{dt} \geq \frac{du}{dt} \Big|_{\text{krit}} \text{ ise,}$$

bu tristör kendiliğinden iletime geçer.

3. Yani iletimden çıkan bir tristörün negatif gerilimle tutulma süresi bu tristörün sönme süresinden küçükse, yani

$$t_N < t_q \text{ ise,}$$

bu tristör kendiliğinden iletime geçer.

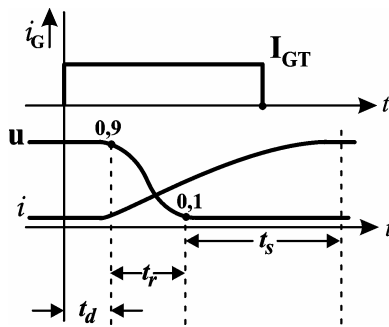


Tristörün Tahrip Olma Sebepleri

1. $u_T > U_d$ ise,
2. $I_{TAV} > I_{TAVM}$ ve $I_{TEF} > I_{TEFM}$ ise,
3. $\int i_T^2 dt > \int i^2 dt$ ise ,
4. $\frac{di_T}{dt} > \frac{di}{dt} \Big|_{krt}$ ise (SİCİM OLAYI),
5. $\theta_{vj} > \theta_{vjmax}$ ise,

tristör tahrip olur. Bu durumda tristör genellikle iletken hale gelir veya kısa devre olur.

Tristörün Tetiklenmesi

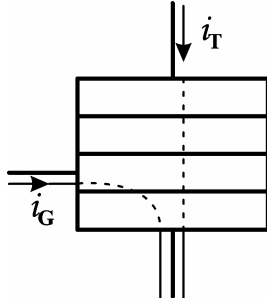


t_d : Gecikme Süresi

t_r : Yükselme Süresi, Açma Süresi

t_s : Yayılma Süresi

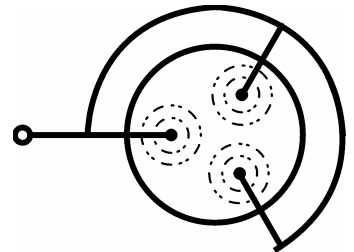
$$t_{ON} = t_d + t_r + t_s$$



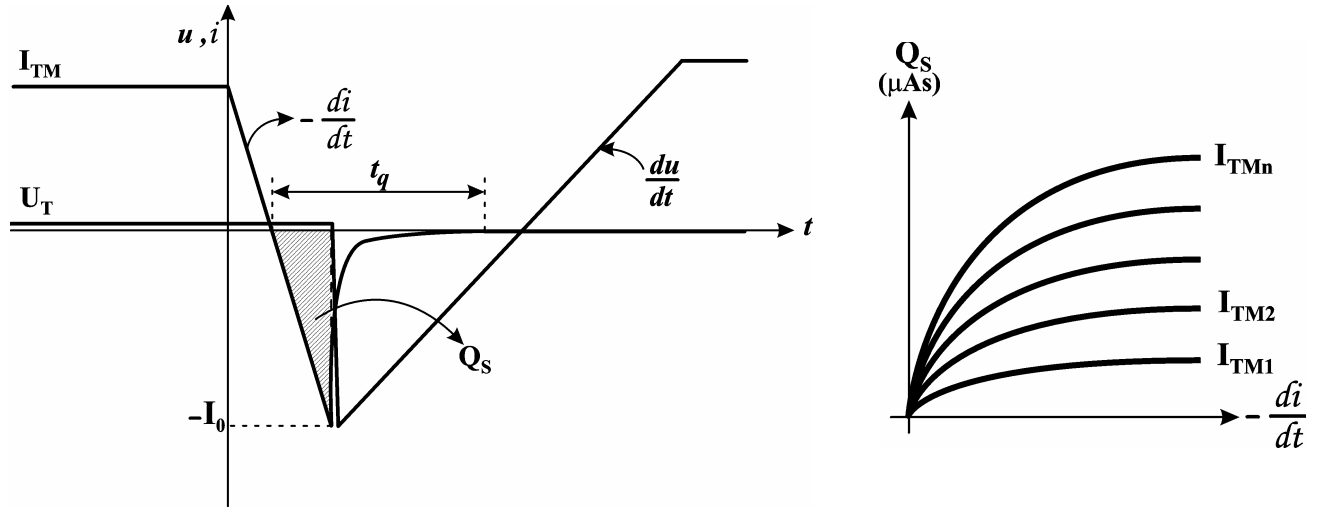
t_r süresi sonunda, kapı akımı civarında akımın geçtiği dar bir kanal oluşur. t_s süresi sonunda ise, ısınma etkisi ile akım bütün jonksiyon yüzeyine yayılır. t_r süresi sonunda oluşan kanaldan geçen akım bu kanalın iletkenliğini artırır. İletkenliği artan kanaldan daha çok akım geçer. Bu olay zincirleme bir şekilde sürer ve akım bütün yüzeye yayılır. Fakat, akımın yükselme hızı kritik akım yükselme hızına erişirse, akım bütün yüzeye yayılmadan bu kanalın sıcaklığı max. değere erişir ve bu kanal tahrip olur. Böylece, yarı iletken yapı bozulur ve iletken hale gelir. Bu şekildeki bozulmaya sicim olayı denir. Bunun olmaması için,

1. $\frac{di_T}{dt} \leq \frac{di}{dt} \Big|_{krt}$ olacak şekilde seri bir endüktans ile akım sınırlandırılmalıdır.

2. Üretimde kapı akımının verildiği nokta veya punta sayısı artırılmalıdır.



Tristörün Söndürülmesi



Q_s : Taban Tabaklarında Biriken Elektrik Yüğü (μAs)

I_{TM} : Sönme Öncesi Tristörden Geçen Akım

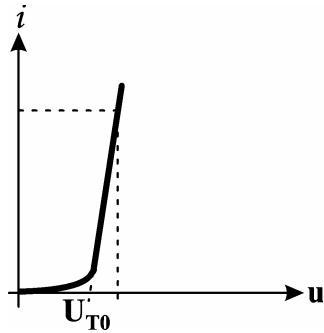
di/dt : Sönme Esnasında Tristör Akımının Azalma Hızı

t_q : Sönme Süresi

U_T : İletim Gerilim Düşümü

Tristör kontrollü bir diyottur. Kapısına sürekli ve yeterli bir sinyal verilen tristör diyoda eşdeğerdir. Diyodun da kontrolsüz bir tristör olduğu söylenebilir. İletimden çıkma olayı ikisinde de aynıdır.

Tristör ve Diyodun İletim Gerilim Düşümü



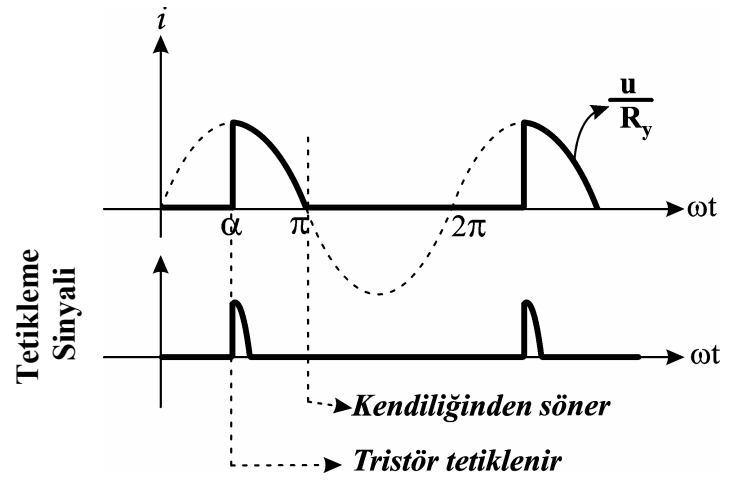
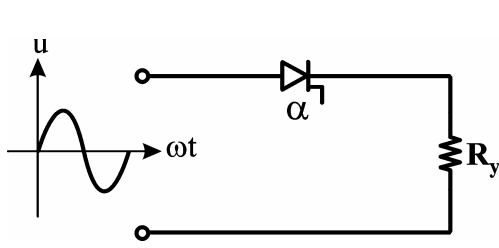
$$u_T = U_{T0} + r_T \cdot i_T$$

U_{T0} : Eşik Gerilimi

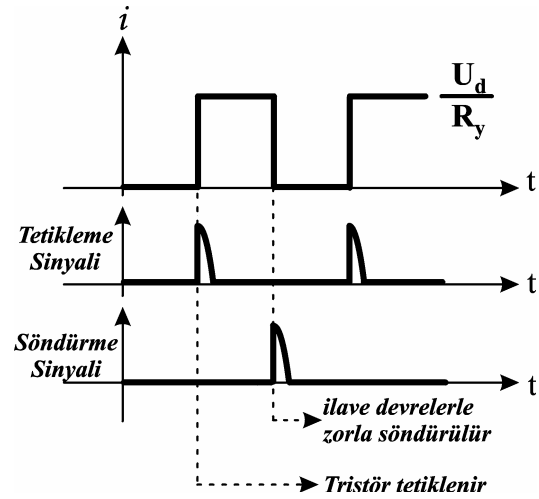
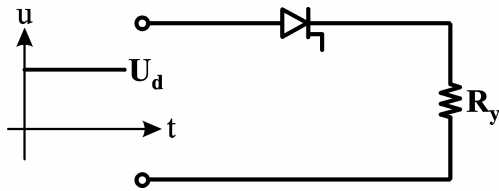
r_T : Eşdeğer Direnç ($\mu\Omega$ - $m\Omega$ mertebelerinde)

Tristörlü Örnek Devreler

1. Tristörlü Bir AC Uygulama :



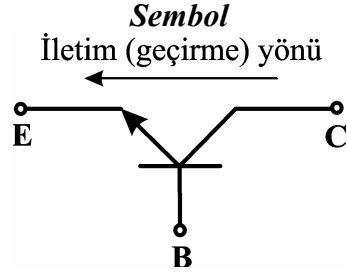
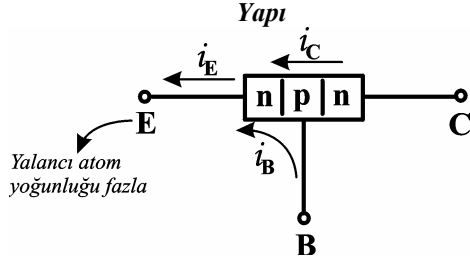
2. Tristörlü Bir DC Uygulama :



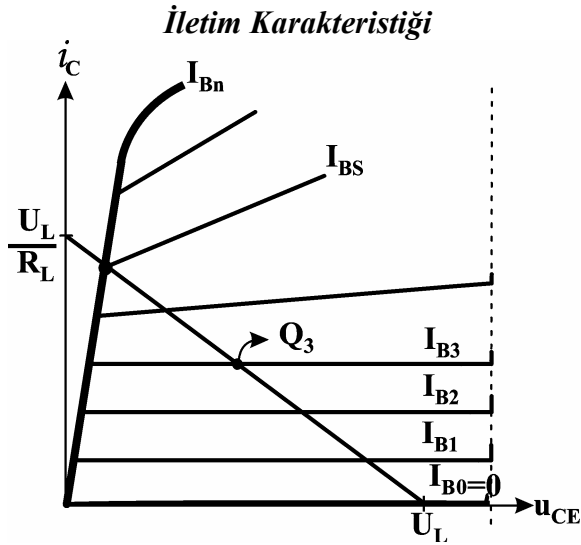
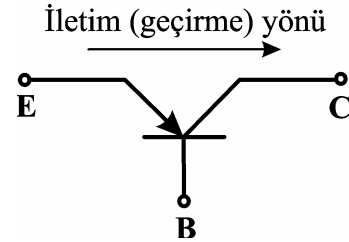
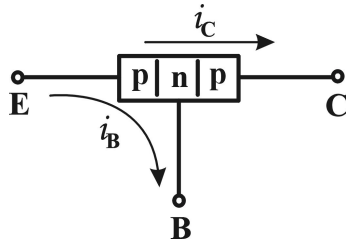
BİPOLAR TRANSİSTÖR (BJT)

Yapı, Sembol ve u-i Karakteristiği

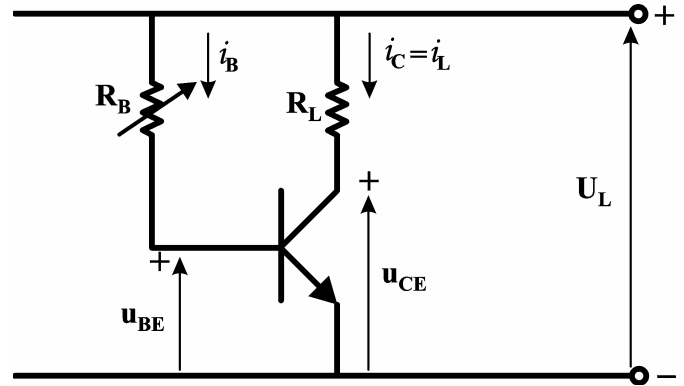
npn türü :



pnp türü :



Temel Bir Transistör Devresi



Genel Özellikler

- Yük genellikle C ucuna bağlanır. Taban akımı daima E – B arasında geçer ve akımın yönü p'den n'ye doğrudur. Ana akım taban akımı ile aynı yöndedir.
- B ile C arasında bir akım geçerek, transistör ters ve istenmeyen kötü bir ilettime girebilir. Bu durum önlenmelidir.
- Transistörün çığ devrilmeye girmesi elemanı tahrip eder.
- Güç devrelerinde transistör ya tam iletimde (kalın çizgi üzerinde) ya da tam kesimde çalıştırılmalıdır. Buna Anahtarlama Elemanı olarak çalışma denilir. Tristörler doğal olarak böyle çalışır.
- Transistörde giriş olduğu sürece çıkış vardır.
- Giriş akım, çıkış akımdır.
- Alt bölgelerde karakteristikler paralel ve eşit aralıktır. Bu bölgede sabit kazançla akım yükseltme işlemi yapılabilir. Fakat güç devrelerinde bu yapılamaz.

Genel Tanımlar

$$i_C = \beta_F \cdot i_B$$

$$i_E = i_C + i_B = (1 + \beta_F) i_B$$

C : Kollektör
E : Emiter
B : Taban
 β_F : DC Akım Kazancı

$$U_{BE} \cong 0,6 \text{ V}$$

$$i_B = \frac{U_L - u_{BE}}{R_B}$$

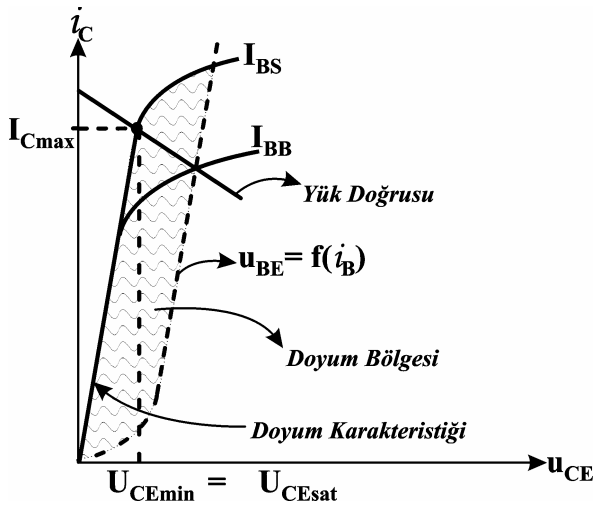
$$i_C = \beta_F \cdot i_B$$

$$u_R = R_L \cdot i_C$$

$$u_{CE} = U_L - u_R$$

$$u_{CE} = U_L - R_L \cdot i_C \rightarrow \text{Yük Doğrusu}$$

Doyum ve Aşırı Doyum



$i_B = I_{BB}$ ise, $u_{CE} = u_{BE}$ olur.
Buna Sınırdaki Çalışma denir.

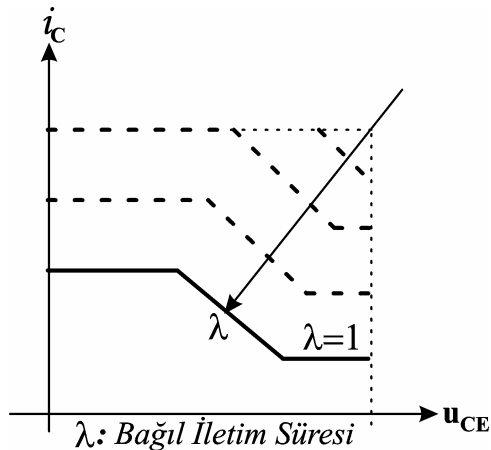
$i_B = I_{BS}$ ise, $u_{CE} = U_{CEsat}$ ve $i_C = I_{Cmax}$ olur.
Buna Doyumda Çalışma denir.

$I_{BB} < i_B < I_{BS}$ ise, $u_{CE} < u_{BE}$ olur.
Buna Doyum Bölgesinde Çalışma denir.

$i_B > I_{BS}$ ise, yine $u_{CE} = U_{CEsat}$ ve $i_C = I_{Cmax}$ olur.
Buna da Aşırı Doyumda Çalışma denilir.

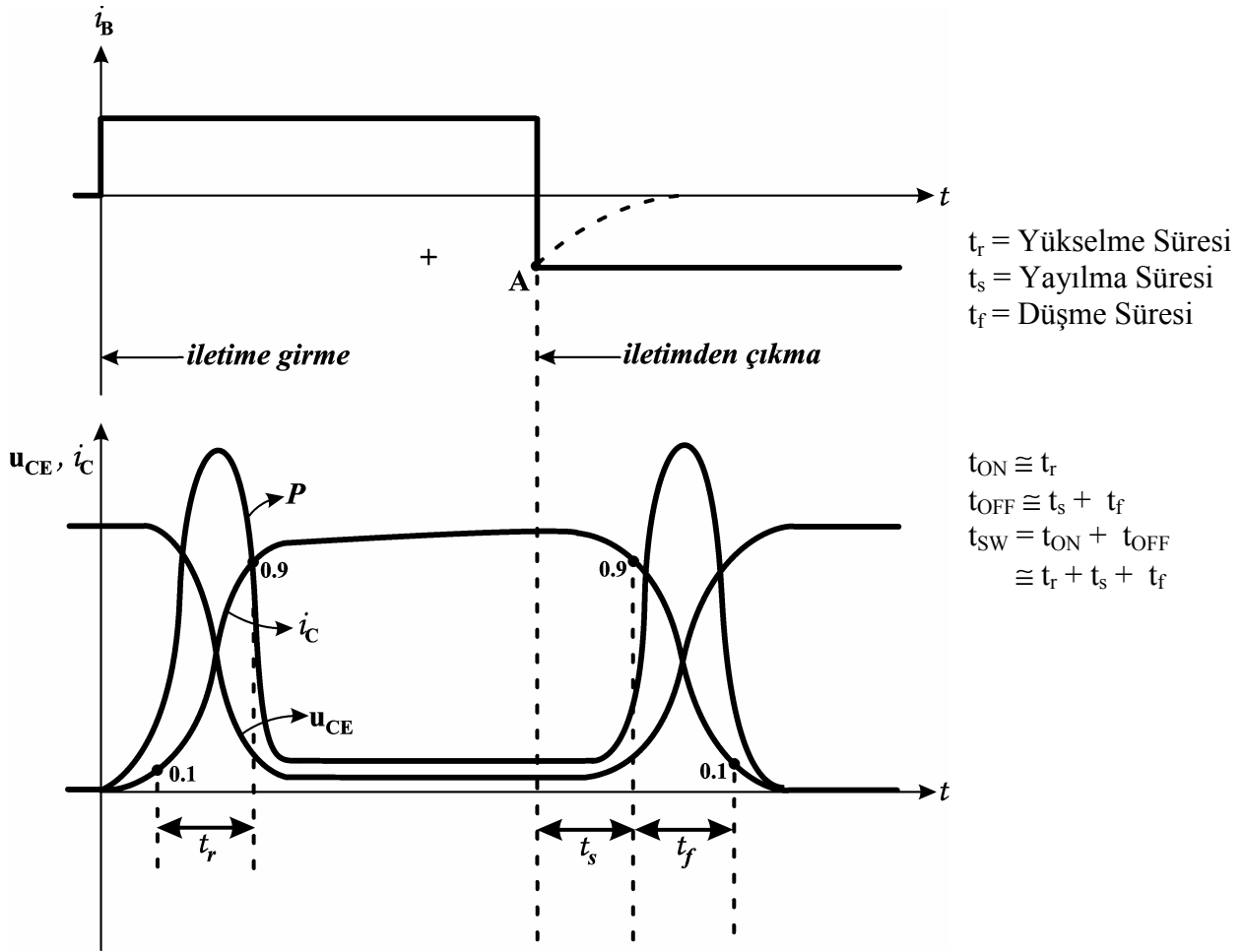
- B-E arası normale göre iç direnci oldukça büyük bir diyot jonksiyonudur. Doyum karakteristiği ile u_{BE} karakteristiği arasındaki bölgeye Doyum Bölgesi denir.
- Bir transistörün iletimden çıkma süresi i_B akımının doyum fazlası ile orantılıdır. Aşırı doyum, transistörün hızını düşürür, anahtarlama kayıplarını artırır ve B-C jonksiyonundan akım geçirerek ilave kayıplara sebep olabilir.

Emniyetli Çalışma Alanı (SOA)



Bir transistörün aynı anda hangi akım ve gerilim değerlerinde kullanılabileceği SOA grafiğinden tespit edilmelidir.

İletime ve Kesime Girme

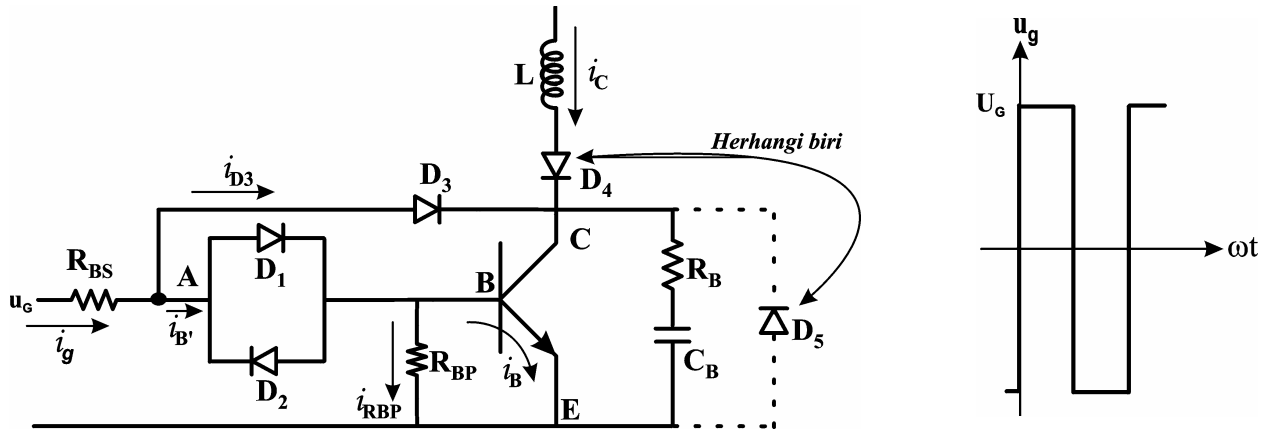


- Anahtarlama esnasındaki ani güç kaybı çok yüksektir. Bir yarı iletkenin toplam güç kaybı, anahtarlama ve iletim güç kayıplarının toplamına eşittir. Düşük frekanslarda iletim güç kaybı, yüksek frekanslarda ise anahtarlama güç kaybı daha etkilidir.
- Transistör, orta güç ve orta frekanslarda en yaygın olarak kullanılan en ucuz yarı iletken güç elemanıdır.

Transistörün Sürülmesinde Önemli Olan Hususlar

- İletime girme ve çıkma SOA alanı içinde olmalıdır.
- Sürekli çalışmada I_{Cmax} değeri aşılmamalıdır.
- İletime girerken di_c / dt ve iletimden çıkarken du_{CE} / dt değerleri sınırlanmalıdır. Bu, kayıp güçleri azaltır.
- İletime sürme ve iletimden çıkarma sinyali; ani akım darbeleri olmalı, sürekli sürme akımı ise; ana akımla tam uyum içinde olmalıdır. Aşırı doyum önlenmelidir. Bu, elemanı hızlandırır ve kayıpları azaltır.
- B – E uçları (eleman girişi) uygun bir dirençle köprülenmelidir. Bu, kaçak, sızıntı ve deplasman akımlarına karşı elemanı korur, kayıpları azaltır.
- Ters gerilim uygulanmamalıdır. Güç transistörünün ters gerilim tutma özelliği yoktur. Normal olarak -30 V civarındadır. Girişi dirençle köprülenmiş bir transistör negatif gerilim tutma özelliğini tamamen kaybeder.
- Eleman elektronik olarak korunmalıdır.

Genel Bir Sürme Devresi ve Aşırı Doyumun Önlenmesi



- L : İletime girerken di_c / dt' yi sınırlar.
- R_B ve C_B : Her yarı iletkene paralel olarak konulması gereken (R - C) elemanıdır. İletimden çıkarken du_{CE} / dt ve U_{CEmax} 'ı sınırlar.
- R_{BS} : Giriş akımını sınırlar. Gerilim sinyalini akım sinyaline dönüştürür.
- R_{BP} : Sızıntı ve deplasman akımına karşı koruma görevi yapar.
- D_1, D_2 ve D_3 : Aşırı doyumu önler, transistörün belirli bir gerilim düşümü ile çalışmasını sağlar.
- D_4 veya D_5 : Transistörü ters akım ve gerilimlere karşı korur.

İletime girme esnasında

D_3 diyodu kesimdedir.

U_{CE} : Çok yüksek veya U_A 'dan büyüktür.

$U_A = 2 U_D$

U_D : Bir diyottaki gerilim düşümü.

$U_D \cong 0,6 \text{ V}$

$U_{BE} \cong U_D$

$i_{D3} = 0$

$$i_g = \frac{U_g - U_A}{R_{BS}}$$

$$i_g = i_B' = i_{RBP} + i_B$$

$$i_{RBP} = \frac{U_{BE}}{R_{BP}}$$

$$i_{RBP} \ll i_B \text{ olmalıdır. } i_B \cong i_g \text{ olur.}$$

İletim durumunda

D_3 diyodu daima iletimde olmalıdır.

$$i_g = i_B + i_{D3}$$

$$i_{D3} = i_g - i_B$$

$$i_B' = i_{RBP} + i_B$$

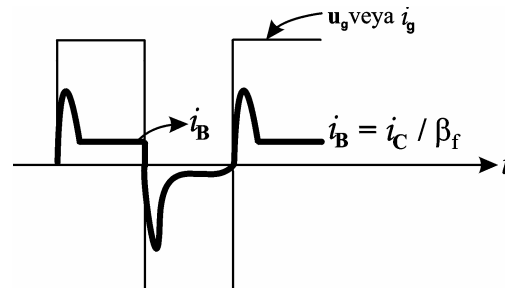
$$i_{RBP} = U_{BE} / R_{BP}$$

$$i_B = i_c / \beta_f$$

$$U_{D1} + U_{BE} = U_{D3} + U_{CE}$$

$$U_{D1} = U_{D3} = U_D$$

$$\Rightarrow U_{CE} = U_{BE} \cong U_D$$



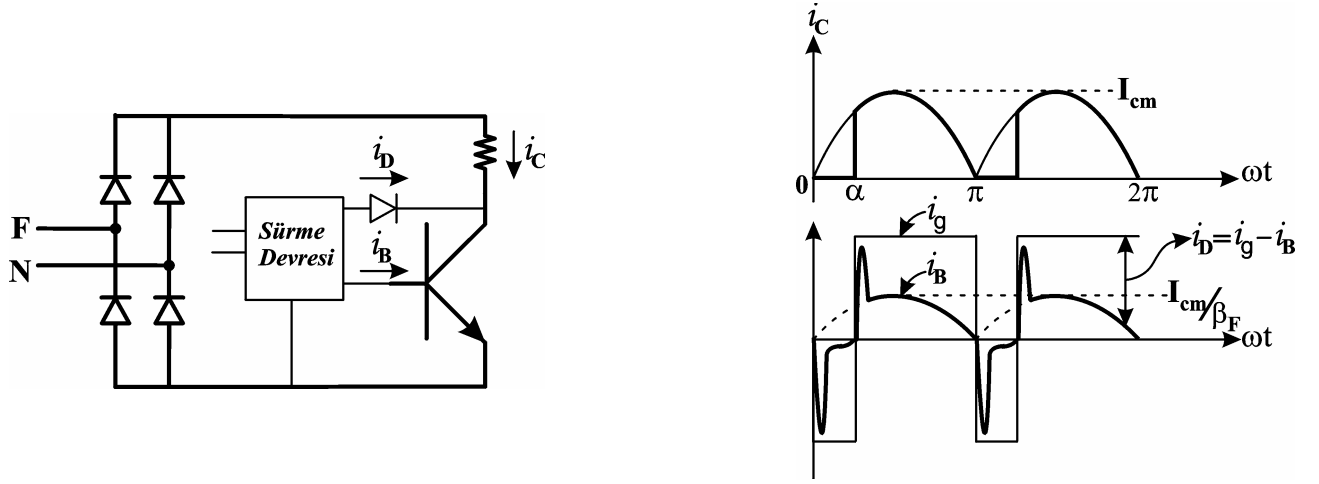
İletimden çıkma esnasında

$$i_g = i_B' = i_{BP} + i_B$$

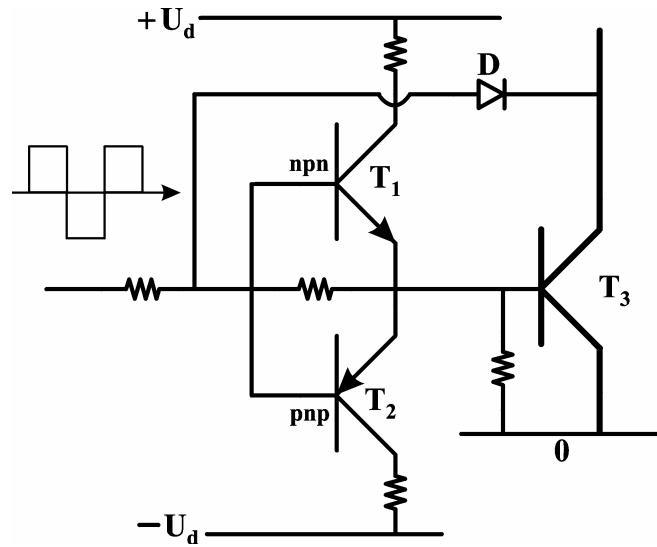
$$i_{D3} = 0, D_3 \text{ kesimde.}$$

Transistörde E'den B'ye doğru kararlı rejimde bir akım geçmez. Sadece transistör iletimden çıkıncaya kadar E'den B'ye doğru bir akım geçer. Bu akım, kesime girmeyi büyük ölçüde hızlandırır. Transistör kesime girdiğinde ters i_B akımını kendiliğinden sıfırlanır.

Transistörlü Örnek Bir Devre



Yükseltmeli Bir Sürme Devresi



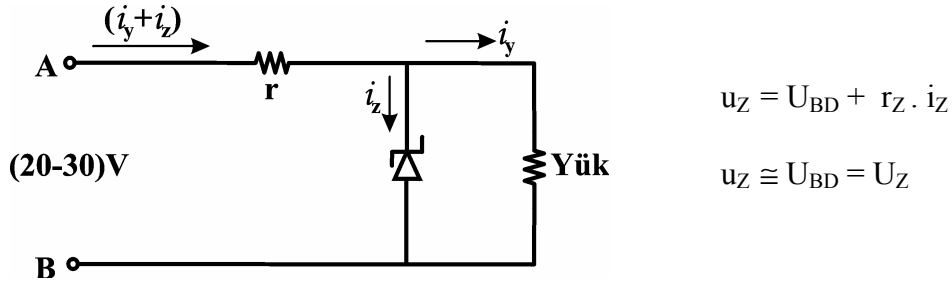
Ters paralel bağlı iki elmandan birisinin iletimde olması, diğersinin kesimde olmasını garanti eder. Burada transistörlerin tabanları ters paralel bağlı olduğundan, iki transistörün birlikte iletime olması mümkün değildir. Herhangi birisinin tabanına bir akım uygulandığında, diğersinin tabanında 0.6 V kadar bir negatif gerilim oluşur, bu transistör iletime giremez, eğer iletimde ise hızlı bir şekilde kesime girer. Bu mükemmel bir kilitlemedir.

Orta ve yüksek frekanslarda (yaklaşık 1kHz'in üzerinde) giriş sinyalinin negatif kısmı mutlaka olmalıdır.

KONU İLE İLGİLİ ÇÖZÜLMÜŞ PROBLEMLER**Problem 1**

20 ile 30 V arasında dalgalanan bir DC gerilim kaynağından, 10 V' luk ve 9 mA'lık bir DC alıcıyı beslemek üzere, 10 V ve 10 Ω 'luk bir zener diyot ile sabit bir DC gerilim kaynağı elde edilmek isteniyor. Bu zener diyodu için, $I_{ZMIN}=1$ mA olduğuna göre,

- Akımı sınırlayıcı direnç en fazla kaç ohm olabilir?
- Aynı direnç için yük uçlarındaki tam gerilimin min ve max değerlerini bulunuz.

Çözüm :

$$u_z = U_{BD} + r_Z \cdot i_z$$

$$u_z \cong U_{BD} = U_Z$$

$$a) u_{AB} = U_Z + r (i_z + i_y)$$

$$I_{Zmin} = \frac{U_{ABmin} - U_{BD}}{r} - I_{Ymax}$$

$$1.10^{-3} = \frac{20 - 10}{r} - 9.10^{-3}$$

$$\Rightarrow \underline{r = 1 \text{ k}\Omega} \text{ bulunur.}$$

$$I_{Zmax} = \frac{U_{ABmax} - U_{BD}}{r} - I_{Ymin}$$

$$I_{Zmax} = \frac{30 - 10}{1000} - 9.10^{-3} = 11 \text{ mA} \Rightarrow I_{Zmax} = 11 \text{ mA}$$

$$b) U_{Ymin} = U_{Zmin} = U_{BD} + r_Z \cdot I_{Zmin} = 10 + 10.1.10^{-2} = 10,010 \text{ V}$$

$$U_{Ymax} = U_{Zmax} = U_{BD} + r_Z \cdot I_{Zmax} = 10 + 10.11.10^{-2} = 10,110 \text{ V}$$

Problem 2

15 – 18 V arasında dalgalanan bir DC gerilim kaynağından 12 V' luk ve 0 – 25 mA arasında akım çeken bir DC alıcıyı beslemek üzere, 12 V ve 5 Ω 'luk bir zener diyot ile sabit bir DC gerilim kaynağı elde edilmek isteniyor. Bu zener diyodu için $I_{Zmin}=5$ mA olduğuna göre,

- Akım sınırlayıcı direnç en fazla kaç ohm olabilir?
- Aynı direnç için yük uçlarındaki tam gerilimin min ve max değerlerini bulunuz?

Çözüm :

$$a) I_{Zmin} = \frac{U_{ABmin} - U_{BD}}{r} - I_{Ymax}$$

$$5.10^{-3} = \frac{15 - 12}{r} - 25.10^{-3}$$

$$\Rightarrow \underline{r = 100 \Omega} \text{ bulunur.}$$

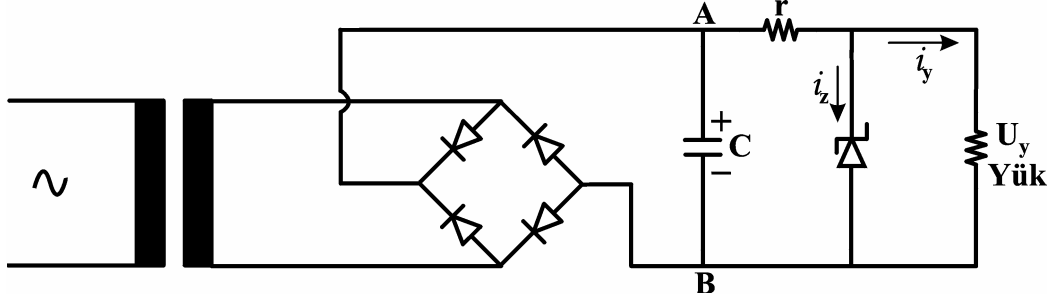
$$b) I_{Zmax} = \frac{18 - 12}{100} - 0$$

$$I_{Z\max} = 60 \text{ mA}$$

$$U_{Y\min} = 12 + 5.5 \cdot 10^{-3} = 12,025 \text{ V}$$

$$U_{Y\max} = 12 + 5.60 \cdot 10^{-3} = 12,300 \text{ V}$$

Problem 3



Şekildeki devrede A ve B uçları arasındaki düzgün olan gerilim şebekedeki dalgalanma sebebiyle 15-20 V arasında değişmektedir. Alıcının gerilimi 12 V olup, çektiği akım 0-10 mA arasında değişmektedir. Devre en ekonomik olacak şekilde, r direncinin değerini ve zener diyodunun gücünü hesaplayınız.

Çözüm :

Devrenin en ekonomik hali, $i_{Z\min} \cong 0$ durumunda oluşur.

$$I_{Z\min} = \frac{U_{AB\min} - U_Z}{r} - I_{Y\max}$$

$$0 = \frac{15 - 12}{r} - 10 \cdot 10^{-3}$$

$$r = 300 \Omega \text{ bulunur.}$$

$$I_{Z\max} = \frac{U_{AB\max} - U_Z}{r} - I_{Y\min}$$

$$I_{Z\max} = \frac{20 - 12}{300} - 0$$

$$I_{Z\max} \cong 26,67 \text{ mA}$$

Bu akım sürekli değerde $I_{ZDM} \cong 26,67 \text{ mA}$ olur.

$$P_{DM} = U_Z \cdot I_{ZDM}$$

$$= 12 \cdot 26,67 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{DM} \cong 320 \text{ mW} \text{ bulunur.}$$

Problem 4

Bir tristör $u_T = 1000 \sin 62800 t$ (V) şeklinde bir gerilime maruz kalacaktır. Bu tristörün kendiliğinden iletme geçmemesi için, bu tristörün,

- a) U_{B0} değeri ne olmalıdır?
 b) $\left. \frac{du}{dt} \right|_{krt}$ değeri ne olmalıdır ?

Çözüm :

- a) $U_{Tmax} < U_{B0}$ olmalıdır.
 $\Rightarrow U_{B0} > U_{Tmax} = 1000 \text{ V}$

- b) $\left(\frac{du_T}{dt} \right)_{max} < \left. \frac{du}{dt} \right|_{krt}$ olmalıdır.

$$u_T = U_{Tmax} \sin \omega t$$

$$\frac{du_T}{dt} = \omega U_{Tmax} \cos \omega t$$

$$\left(\frac{du_T}{dt} \right)_{max} = \omega U_{Tmax}$$

$$= 62800 \cdot 1000 \text{ V/s}$$

$$= 62.8 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$\Rightarrow \left. \frac{du}{dt} \right|_{krt} > 62,8 \text{ V}/\mu\text{s} \text{ olmalıdır.}$$

Problem 5

Kritik gerilim yükselme hızı $125 \text{ V} / \mu\text{s}$ olan bir tristöre, genliği 2000 V olan bir sinüsoidal gerilim uygulanmaktadır. Frekans gittikçe yükseltirse, bu frekans hangi değere ulaştığında tristör kendiliğinden iletme geçer?

Çözüm :

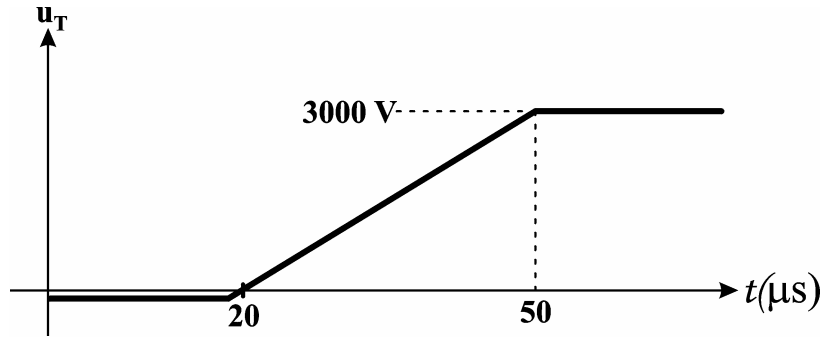
$$\left. \frac{du_T}{dt} \right|_{max} = \left. \frac{du}{dt} \right|_{krt}$$

$$u_T = U_m \sin \omega t$$

$$\frac{du_T}{dt} = U_m \cdot \omega \cdot \cos \omega t$$

$$\left. \frac{du_T}{dt} \right|_{max} = U_m \cdot \omega$$

$$125 \cdot 10^6 \text{ V/s} = 2000 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \Rightarrow f \cong 10 \text{ kHz} \text{ bulunur.}$$

Problem 6

$t=0$ anında yeni iletimden çıkan ve şekildeki gibi bir gerilime maruz kalan bir tristörün kendiliğinden iletime geçmemesi için, bu tristörün,

U_{B0} , $\left. \frac{du}{dt} \right|_{\text{krt}}$ ve t_q değerleri ne olmalıdır?

Çözüm :

$U_{B0} > U_{T\text{max}}$
Şekilden,

$U_{B0} > 3000 \text{ V}$ olmalıdır.

$$t_q \leq t_N$$

Şekilden,

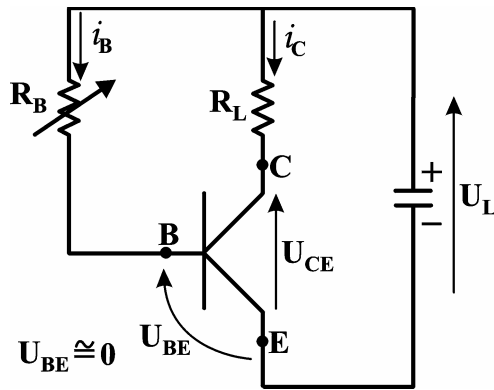
$$t_q \leq 20 \mu\text{s} \text{ olmalıdır.}$$

$$20 \mu\text{s} \leq t \leq 50 \mu\text{s} \text{ için, } u_T = \frac{3000}{30} (t - 20)$$

$$\left. \frac{du}{dt} \right|_{\text{krt}} > \left(\left. \frac{du_T}{dt} \right) \right|_{\text{max}}, \quad \left. \frac{du}{dt} \right|_{\text{krt}} > 100 \text{ V} / \mu\text{s} \text{ olmalıdır.}$$

Problem 7

10Ω 'luk bir yükü 50 V 'luk bir DC kaynak ile beslemek üzere, şekilde verilen bir npn tipi transistörün emiter montajı kullanılmıştır. Transistörün akım kazancı 200 olduğuna göre,



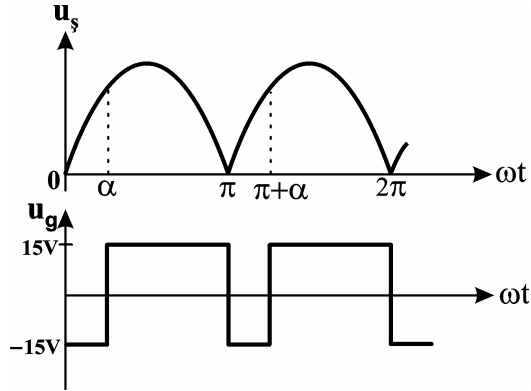
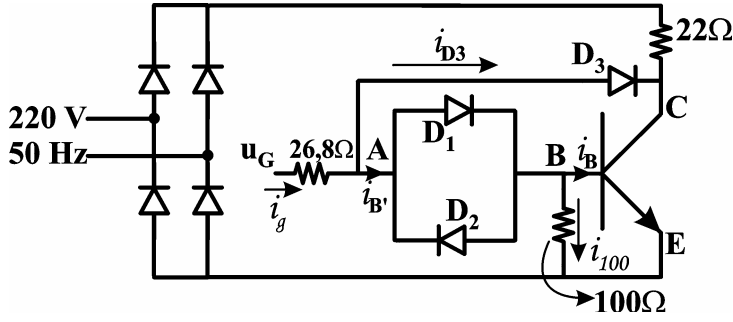
- Taban devresi direnci $5 \text{ k}\Omega$ iken, yük akımı ve gerilimi ne olur ?
- Yükte harcanan gücün 160 W olabilmesi için, taban devresi direnci kaç $\text{k}\Omega$ ' a ayarlanmalıdır ?

Çözüm :

$$\begin{aligned} \text{a) } I_C &= I_L \\ I_B &= \frac{U_L - U_{BE}}{R_B} = \frac{50 - 0}{5 \cdot 10^{-3}} \\ I_B &= 10 \text{ mA} \\ I_C &= 10 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 2 \text{ A} = I_L \\ U_Y &= R_L \cdot I_L = 10 \cdot 2 = 20 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } P_L &= 160 \text{ W} \\ P_L &= R_L \cdot I_L^2 \Rightarrow 160 = 10 \cdot I_L^2 \Rightarrow I_L = 4 \text{ A} = I_C \\ I_B &= 4 / 200 \Rightarrow I_B = 20 \text{ mA} \\ R_B &= \frac{U_L - U_{BE}}{I_B} = \frac{50 - 0}{20 \cdot 10^{-3}} \\ R_B &= 2,5 \text{ k}\Omega \text{ bulunur.} \end{aligned}$$

Problem 8



Şekildeki devrede,

- İletime geçme esnasında ani taban akımı değerini hesaplayınız ($i_{D3} = 0$).
- İletim durumunda, transistörün gerilim düşümü ile taban akımını ve D_3 diyodunun akımını bulunuz.
- İletimden çıkma esnasında, ters taban akımının ani değerini bulunuz.
- Taban akımı değişimini yaklaşık olarak çiziniz.

$$U_{D1,2,3} \cong 0,6 \text{ V}$$

$$U_{BE} = 1 \text{ V}$$

$$\beta_{dc} = 100$$

$$U_{EB} \cong -1 \text{ V}$$

Çözüm

- İletime geçme esnasında, $i_B = ?$

$$i_{D3} = 0,$$

$$i_g = i_B' = i_{100} + i_B$$

$$U_B = U_{BE}$$

$$U_A = U_{D1} + U_B$$

$$= 0,6 + 1$$

$$= 1,6 \text{ V}$$

$$i_g = i_B' = \frac{U_g - U_A}{26,8} = \frac{15 - 1,6}{26,8} = 500 \text{ mA}$$

$$i_{100} = U_B / 100 = 1 / 100 = 10 \text{ mA}$$

$$i_B = i_B' - i_{100} = 500 - 10 = 490 \text{ mA bulunur.}$$

b) İletim durumunda, U_{CE} , i_B , i_{D3} = ?

$$i_C = u_s / 22$$

$$i_C = \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin \omega t / 22$$

$$i_C = 10\sqrt{2} \cdot \sin \omega t \text{ A}$$

$$i_B = \frac{i_C}{\beta_{dc}} = \frac{10\sqrt{2}\sin \omega t}{100} = 100\sqrt{2} \sin \omega t \text{ (mA)}$$

$$i_{100} = 10 \text{ mA}$$

$$i_B' = \sqrt{2} \cdot 100 \cdot \sin \omega t + 10 \text{ (mA)}$$

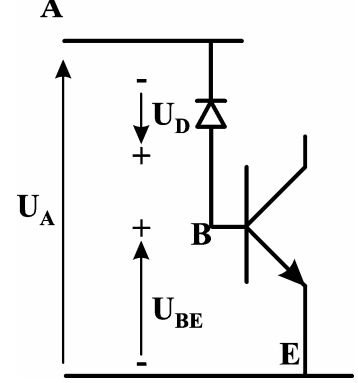
$$i_g = 500 \text{ mA}$$

$$i_{D3} = i_g - i_B' = 490 - \sqrt{2} \cdot 100 \cdot \sin \omega t \text{ (mA) bulunur.}$$

$$U_{D1} + U_{BE} = U_{D3} + U_{CE}$$

$$U_{CE} = 1 \text{ V bulunur.}$$

İletimden çıkmada :



c) İletimden çıkma esnasında, i_B = ?

$$U_B = U_{BE} = 1 \text{ V}$$

$$U_A = -U_{D2} + U_{BE}$$

$$= -0,6 + 1$$

$$= 0,4 \text{ V}$$

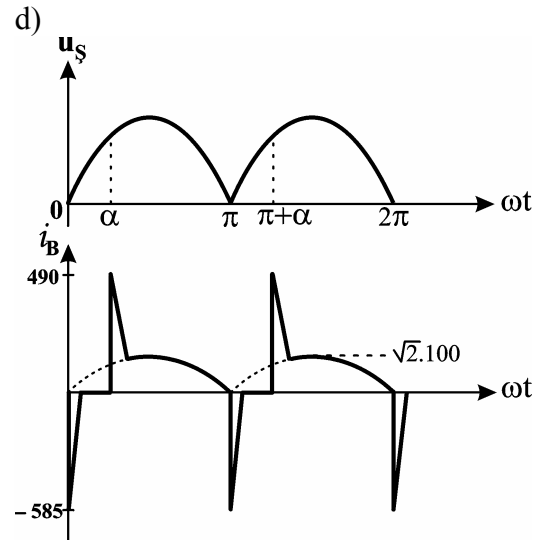
$$i_g = \frac{U_g - U_A}{26,8} = \frac{-15 - 0,4}{26,8} = -575 \text{ mA}$$

$$i_{100} = \frac{U_{BE}}{100} = 10 \text{ mA}$$

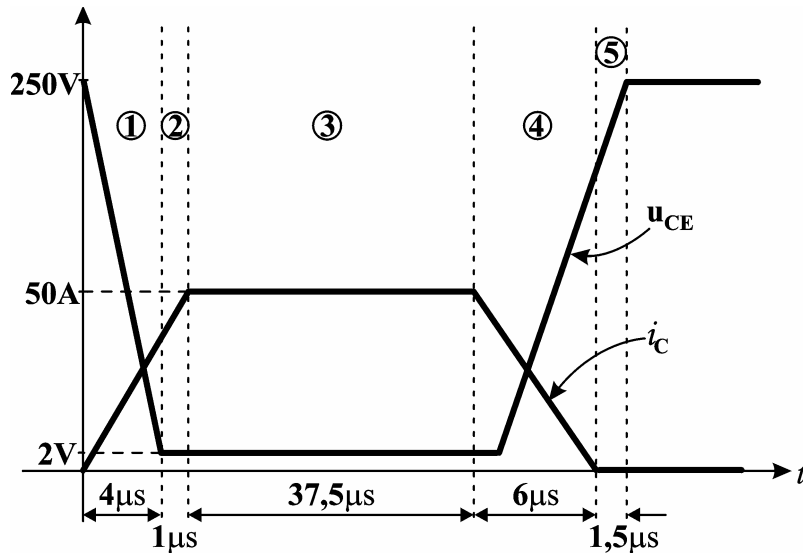
$$i_g = i_B' = -i_{100} + i_B$$

$$i_B = i_g + i_{100} = 575 + 19$$

$$i_B = 585 \text{ mA bulunur.}$$



Problem 9



Peryodik bir çalışmada, kesim dışındaki çalışma durumları için, bir transistörün uçlarındaki gerilim ve içinden geçen akımın değişimleri şekilde verilmiştir. Bu transistör $f_p = 10 \text{ kHz}$ 'lik bir frekansta anahtarlandığına göre,

- Transistörün verilen her bir aralıktaki enerji kaybını hesaplayınız.
- Transistörün toplam enerji ve güç kaybını hesaplayınız.

Çözüm

1. bölge için,

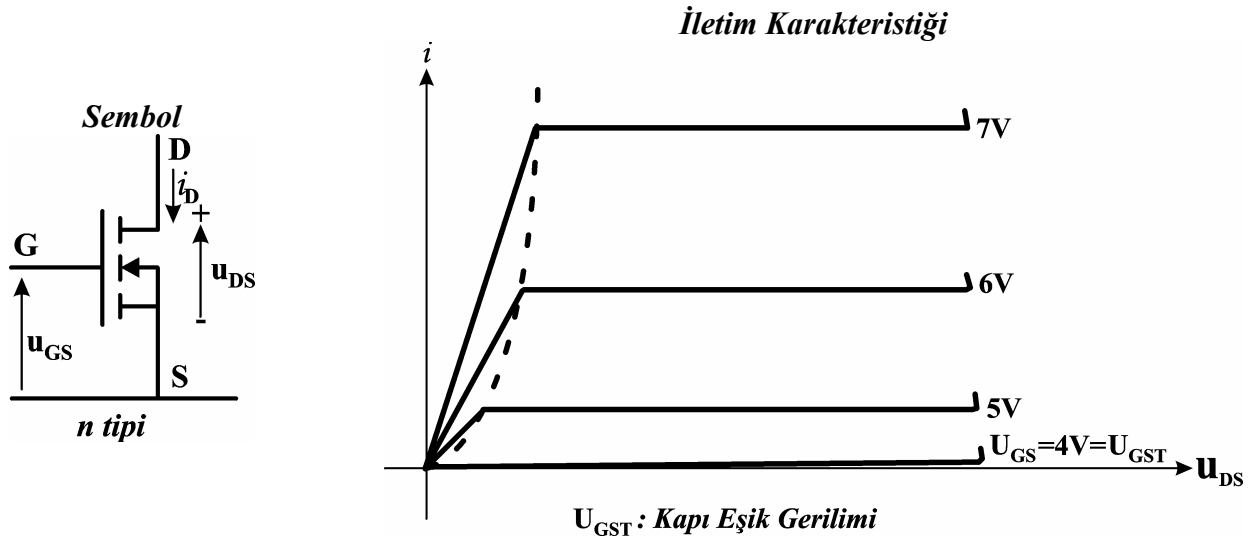
$$u_1 = -\left(\frac{250-2}{4 \cdot 10^{-6}}\right)t + 250 = 250 - 62 \cdot 10^6 t \text{ V}$$

$$i_1 = \left(\frac{50}{5 \cdot 10^{-6}}\right)t = 10 \cdot 10^6 t \text{ A}$$

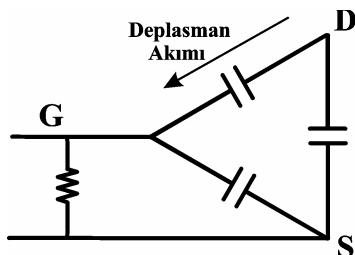
$$W_1 = \int_0^{4 \mu\text{s}} (250 - 62 \cdot 10^6 t) 10 \cdot 10^6 t dt = 6,6773 \text{ mJ}$$

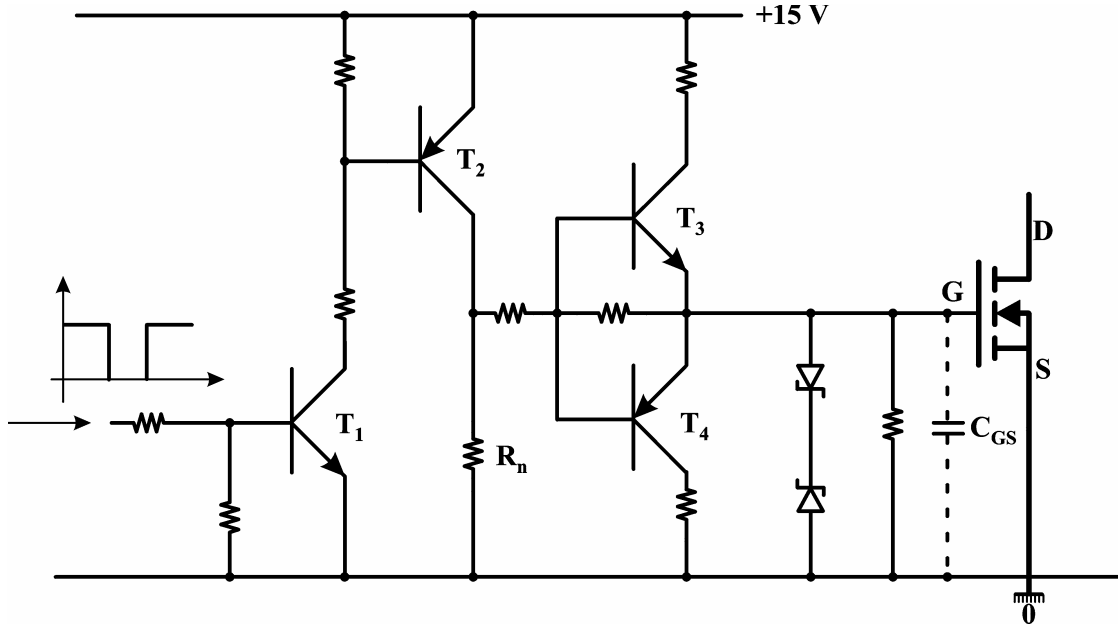
$$\dots$$

$$P_T = 206,13 \text{ W}$$

İZOLE KAPILI ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖR (IGFET, MOSFET)**Genel Özellikler**

- MOSFET daima doyumda kullanılmalıdır.
- Giriş olduğu sürece çıkış vardır.
- Giriş gerilim, çıkış akımdır.
- Kazanç sonsuz kabul edilir.
- En hızlı yarı iletken elemandır. İletime giriş 50-60 ns ve iletimden çıkış 150-200 ns civarındadır.
- İletim gerilim düşümü (iletim güç kaybı) en yüksek olan elemandır.
- Tek dezavantajı, sıcaklıkla artan yüksek değerli bir iç dirence sahip olmasıdır.
- Düşük güç ve yüksek frekanslarda kullanılır.
- Giriş akımı nanoamperler mertebesinde. Ancak, gerilim sinyali ilk verildiğinde yüksek değerli bir şarj akımı çeker. Bu akımın karşılanmasına dikkat edilmelidir. Aksi halde hız düşer.
- Kapı dayanma gerilimi $\pm 20 \text{ V}$ 'tur. Gerçekte, uygulanan gerilim $\pm 18 \text{ V}$ 'u geçmemelidir.

**Örnek bir MOSFET Sürme Devresi**

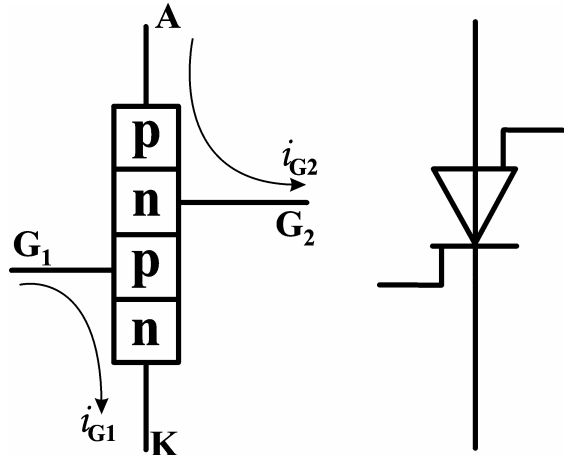


MOSFET ve IGBT elemanlarının sürülmesinde, iki yönlü veya çift kutuplu sinyale de sürme kaynağına da gerek yoktur. BJT'nin sürülmesinde de, düşük güçlerde ve düşük frekanslarda iki yönlü giriş akımına gerek duyulmaz. Bu şartlar altında, bütün bu elemanların sürülmesinde burada verilen devre aynen kullanılabilir. BJT için zenerlere gerek yoktur.

Bu sürme devresinde, giriş sinyali uygulandığında, T₁, T₂ ve T₃ ardışık olarak ilettime girer ve G ucu +15 V'a çekilir. Giriş sinyali kesildiğinde, R_n ile gösterilen direnç üzerinden T₄ ilettime girerek G ucunu 0'a çeker, yani MOSFET'in parasitik giriş kondansatörü C_{GS}'i deşarj eder. Hızlı transistörler seçildiğinde, sürme devresi oldukça hızlı ve emniyetlidir.

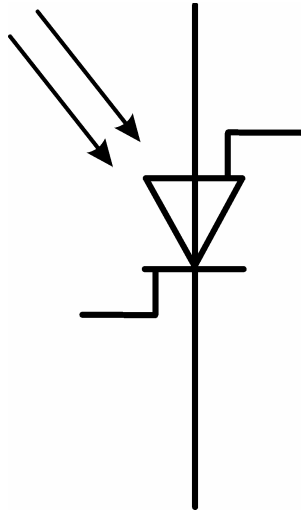
3. DİĞER YARI İLETKEN GÜÇ ELEMANLARI

TRİSTÖR TETROT



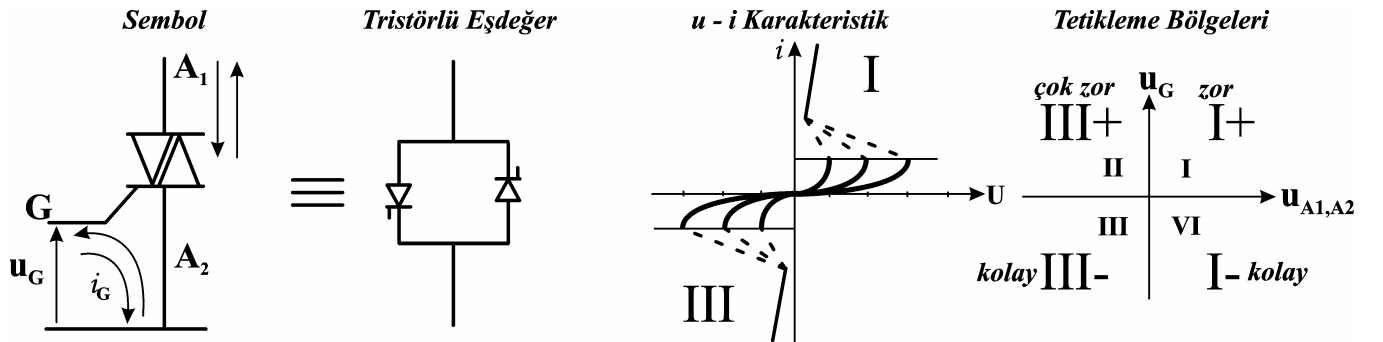
4 uçlu özel bir tristördür. Her iki kapıdan da tetiklenebilir. Tetiklemede, i_{G1} ve i_{G2} akımları ayrı ayrı kullanılabilir.

FOTO TRİSTÖR



Normal ortamda gözle görülen ışıkla iletme giren iki, üç veya dört uçlu özel bir tristördür. Işıkla veya bir kapı akımıyla kontrol edilebilir.

TRİYAK (İKİ YÖNLÜ TRİSTÖR TRİYOT)

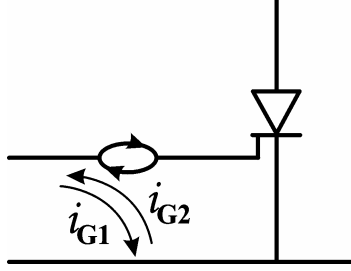


Triyak ters-paralel bağlı iki tristöre eşdeğerdir. İki yönlü tristör de denir. Tetikleme ve montaj kolaylığı sağlar. Sadece AC uygulamalarda kullanılmak üzere üretilmektedir. AC kısıcılarda gücün yettiği yere

kadar bir triyak kullanılır. Aksi halde tristörlere geçilir. Yaklaşık 100-150 A'lere kadar triyaklar üretilmektedir.

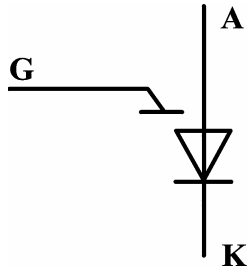
Triyak I- ve III- belgelerinde düşük akımlarla kolay tetiklenir. III+ belgesinde tetikleme çok zor veya imkansızdır. Uygulamalarda, I+ ve III- bölgelerinde çalışma kolaydır.

KAPI SÖNÜMLÜ TRİSTÖR (GTO)



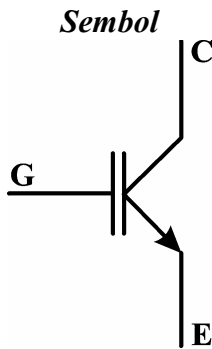
- Kısa süreli i_{G1} ile tetiklenir ve i_{G2} ile söndürülür.
- i_{G1} çok küçük değerlerdedir (normal tristörlerdeki gibi)
- i_{G2} çok büyük değerlerdedir ($\frac{1}{4}$ ana akım kadar)
- Hızlı özel bir tristördür.
- Düşük frekans ve yüksek güçlerde kullanılır.
- Söndürme sinyalinin büyüklüğünden dolayı tetikleme devreleri karmaşık ve pahalıdır.

MOS KONTROLLÜ TRİSTÖR (MCT)

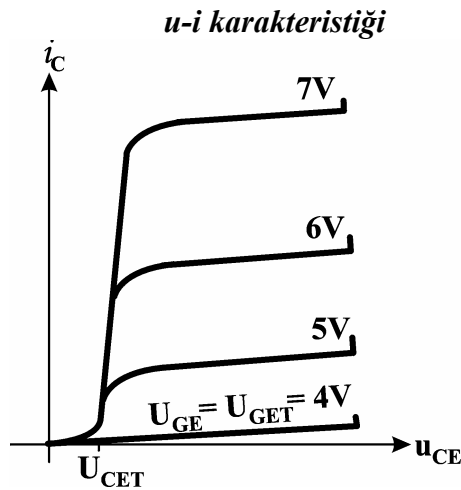


MOSFET ve tristör karışımı, oldukça hızlı, gerilim kontrollü, karma bir elemandır. MOSFET'in ideal sürme özelliği ile tristörün ideal iletim karakteristiğini birlikte taşır. Negatif gerilim sinyali ile tetiklenir. Pozitif gerilim sinyali ile söner. Yine iletimde ve kesimde kilitlenme özelliği vardır. Şu anda en üstün eleman görünümündedir. Fakat henüz gelişimi tamamlanamamıştır. Halen ticari olarak üretilmemektedir.

İZOLE KAPILI BİPOLAR TRANSİSTÖR (IGBT)



U_{CET} : Çıkış Eşik Gerilimi
 U_{GET} : Kapı Eşik Gerilimi
 Genellikle, $U_{CET} > 2 \text{ V}$ ve $U_{GET} 4 \text{ V}$ civarındadır.



MOSFET'in mos kontrolü ve BJT'nin ana akım karakteristiğini birlikte taşır. Tek dezavantajı çıkış eşik geriliminin oluşudur. Ancak iç direnci çok küçük olduğundan, yüksek akımlarda yine avantajlı duruma geçer. Günümüzde ortanın biraz üzerindeki güç ve frekanslarda, en yaygın olarak kullanılan elemanlardır.

4. GÜÇ ELEMANLARINDA KARŞILAŞTIRMA, BASTIRMA VE ISINMA

YARI İLETKEN GÜÇ ELEMANLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

<i>Temel Güç Elemanları GTO, BJT, MOSFET ve IGBT' nin Önemli Bazı Açılardan İYİDEN ⇒ KÖTÜYE Doğru Sıralanması</i>				
<i>Tetikleme veya Sürme Kolaylığı</i>	<i>MOSFET</i>	<i>IGBT</i>	<i>GTO</i>	<i>BJT</i>
<i>Söndürme Kolaylığı</i>	<i>MOSFET</i>	<i>IGBT</i>	<i>BJT</i>	<i>GTO</i>
<i>İletim Güç Kaybı ve İletim Gerilim Düşümü</i>	<i>BJT</i> (1,0 V)	<i>GTO</i> (2,0 V)	<i>IGBT</i> (3,5 V)	<i>MOSFET</i> (4,5 V)
<i>Anahtarlama Hızı</i>	<i>MOSFET</i> (100 kHz)	<i>IGBT₂₀</i> (75 kHz)	<i>BJT₁₀</i> (25 kHz)	<i>GTO₁</i> (15 kHz)
<i>Akım Dayanımı</i>	<i>GTO</i> (3000 A)	<i>IGBT</i> (800 A)	<i>BJT</i> (600 A)	<i>MOSFET</i> (100 A)
<i>Gerilim Dayanımı</i>	<i>GTO</i> (3000 V)	<i>IGBT</i> (1500 V)	<i>BJT</i> (1200 V)	<i>MOSFET</i> (1000 V)
<i>Devre Gücü</i>	<i>GTO</i> (<10M)	<i>IGBT</i> (<500k)	<i>BJT</i> (<100k)	<i>MOSFET</i> (<10k)
<i>Çalışma Frekansı</i>	<i>MOSFET</i> (<100k)	<i>IGBT</i> (<20k)	<i>BJT</i> (<10k)	<i>GTO</i> (<1k)
<i>Fiyat</i>	<i>BJT</i>	<i>GTO</i>	<i>IGBT</i>	<i>MOSFET</i>
<p><i>Not: 1. Güç BJT' leri genellikle Darlington yapıda ve npn türündedir.</i> <i>2. Burada GTO tristör ailesini temsil etmektedir.</i></p>				

YARI İLETKEN GÜÇ ELEMANLARINDA BASTIRMA DEVRELERİ

Genel Giriş

Yarı iletken güç elemanlarında, temel olarak elemanların maruz kaldığı elektriksel değerleri ve elemanlarda oluşan anahtarlama kayıplarını sınırlama veya azaltma amacıyla yapılan Bastırma İşlemi,

- Seri Bastırma

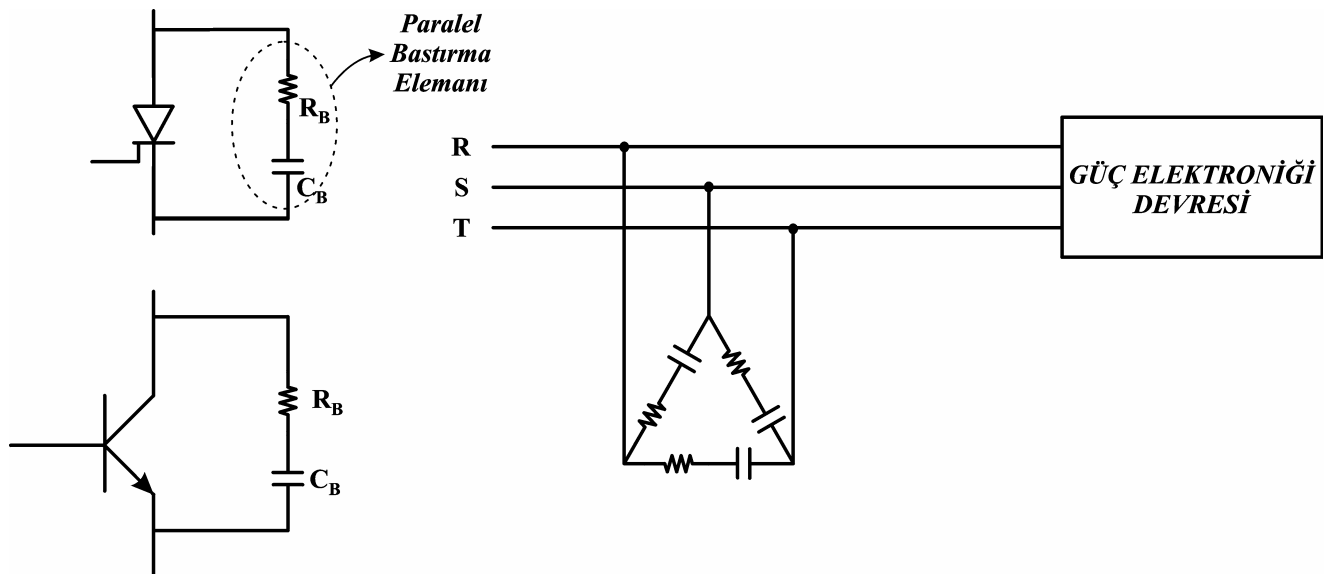
- Paralel Bastırma

olmak üzere iki genel gruba ayrılır.

Temel olarak, seri bastırma, güç elemanına seri olarak bağlanan bir endüktans ile iletme girme işlemi esnasında elemandan geçen akımın yükselme hızının sınırlanmasıdır. Paralel bastırma ise, elemana paralel bağlanan bir kapasitans ile kesime girme işlemi sırasında eleman uçlarında oluşan gerilimin yükselme hızının sınırlanmasıdır. Bu elemanlara, seri ve paralel bastırma elemanları denilir.

Yalın olarak bir endüktansın veya bir kapasitansın kullanılması bazı problemlere neden olur. Bu nedenle, bazı ilavelerle bastırma işlemleri geliştirilmektedir. Böylece, Seri ve Paralel Bastırma Devreleri veya Hücreleri oluşmaktadır. Bu bastırma devreleri, yayınlarda Sıfır Akımda Anahtarlama, Sıfır Gerilimde Anahtarlama ve Yumuşak Anahtarlama gibi isimlerle de yer almaktadır.

Paralel Bastırma Devresi

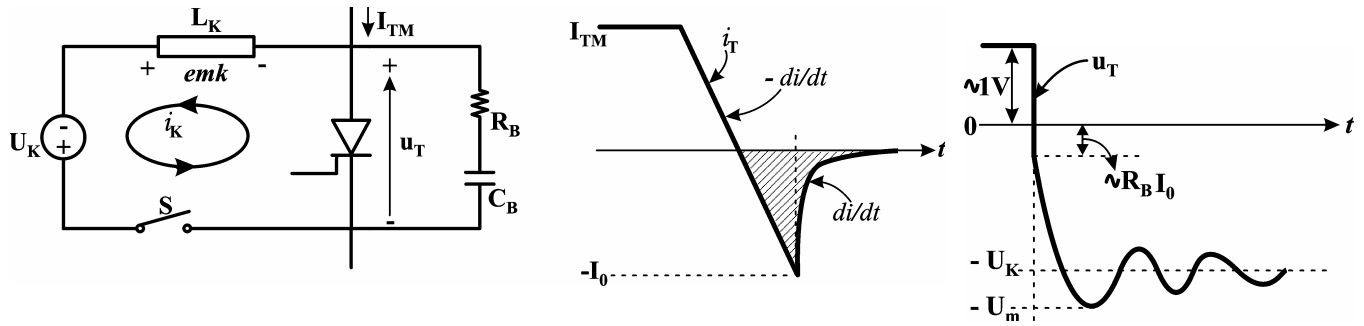


Seri bağlı R_B ve C_B elemanlarına, paralel bastırma devresi, paralel bastırma hücresi veya paralel R-C elemanı denilir. Güç elemanlarına veya genel devre girişlerine paralel olarak bağlanan bu R-C elemanın iki temel görevi vardır.

1. Eleman uçlarındaki gerilimin max. değerini sınırlar veya bastırır. Bu elemanın tahrip olmasını önler.
2. Eleman uçlarındaki gerilimin yükselme hızını ve bunun max. değerini sınırlar veya bastırır. Bu, elemanın anahtarlama güç kaybını azaltır. Tristörde, aynı zamanda kendiliğinden iletme geçmeyi önler.

Şebeke girişine Δ bağlı paralel R-C elemanları ile AC şebekeden gelen bütün akım ve gerilim darbelerine karşı bütün devre korunur.

Örnek Devre Kesiti 1



Tristörün söndürülmesiyle ilgili bu devre kesitinde, ters yönde I_0 akımını geçirmekte olan tristörün hızlı bir şekilde açık devre olmasıyla, L_K - U_K - C_B - R_B yolu ile seri bir R-L-C devresi oluşur. Bu salınımda, ters yöndeki tristör gerilimi en fazla U_m değerini alır ve U_K değerine yerleşir. Bastırma elemanları olmasaydı, tristör çok aşırı gerilimlere maruz kalarak tahrip olurdu.

$$C_B \uparrow \Rightarrow U_m \downarrow \left(\frac{du}{dt} \right)_m \downarrow$$

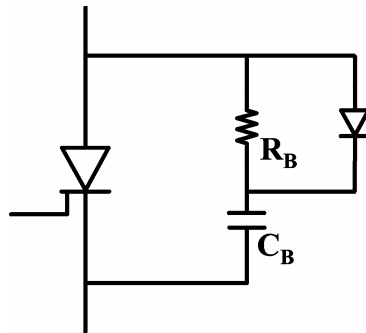
$$R_B \uparrow \Rightarrow U_m \downarrow \uparrow \left(\frac{du}{dt} \right)_m \uparrow$$

C_B değerinin artması, hem U_m hem de $(du/dt)_m$ değerlerini iyi yönde etkiler. R_B 'nin artması, U_m değerini her iki yönde de etkileyebilir, $(du/dt)_m$ değerini olumsuz etkiler. Bu nedenle R_B değerinin optimize edilmesi gerekir. Ayrıca, C_B 'nin hem şarjı hem de deşarjı esnasında R_B 'de enerji kaybı oluşur.

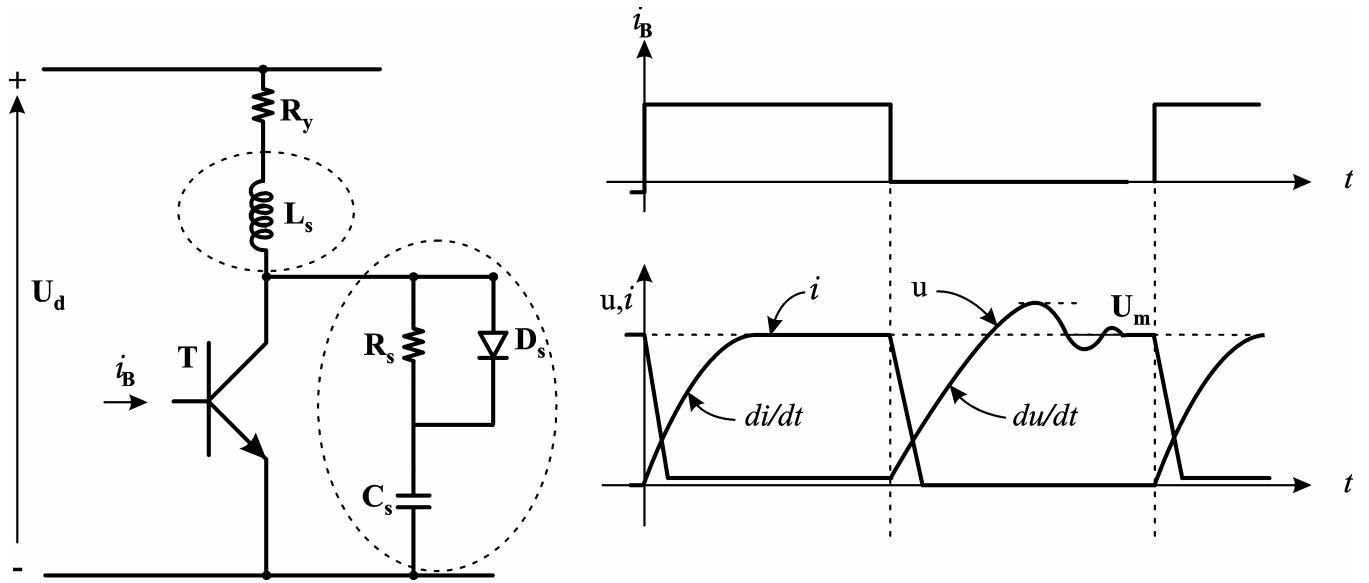
Uygulamada C_B 'nin seçimi, frekansla doğrudan ilgilidir. C_B 'nin sarj ve deşarj süreleri, periyoda göre oldukça küçük olmalıdır. Ayrıca, R_B 'deki güç kaybı, makul seviyelerde kalmalıdır. Aksi halde devre amacından sapar. Normal olarak, frekans arttıkça C_B değeri düşer.

Örneğin, 220 V ve 50 Hz'lik AC şebekede, $R_B = 10 \Omega / 5 \text{ W}$ ve $C_B = 220 \text{ nF}$ seçilebilir. Birkaç yüz V ve 10 kHz'lik bir uygulamada, $R_B = 22 \Omega / 10 \text{ W}$ ve $C_B = 1 \text{ nF}$ gibi seçilebilir.

Özellikle yüksek frekanslarda, R_B 'nin olumsuz etkilerini azaltmak için, güç elemanının iletim yönünde bir diyotla R_B 'nin köprülenmesi iyi sonuçlar vermektedir. Bu durumda bastırma devresine Kutuplu veya Yönlü Bastırma Devresi denilir. Bu bastırma, sadece pozitif yöndeki gerilimlerde etkilidir.



Örnek Devre Kesiti 2



Burada, güç elemanının iletme girmesi esnasında, seri bastırma elemanı L_s elemandan geçen akımın yükselme hızı di/dt 'yi sınırlar. Ayrıca, dolu olan C_s , R_s üzerinden deşarj olur. Güç elemanının kesime girmesi esnasında ise, kutuplu bastırma devresi, eleman uçlarındaki gerilimin yükselme hızı du/dt 'yi ve maksimum değeri U_m 'yi sınırlar. Böylece, güç elemanı hem aşırı elektriksel değerlere karşı korunur hem de elemanın anahtarlama kayıpları büyük ölçüde azalır.

YARI İLETKEN GÜÇ ELEMANLARINDA GÜÇ KAYBI, ISINMA VE SOĞUTMA

Güç Kayıpları

Genel olarak bir yarı iletken güç elemanında aşağıda sıralanan dört çeşit kayıp oluşur.

1. Tetikleme veya sürme kayıpları

Elemanın kontrol akımı nedeniyle oluşur.

$$P_G = \frac{1}{T} \int u_G \cdot i_G \cdot dt$$

2. Anahtarlama güç kayıpları

Elemanın iletme ve kesime girme işlemleri esnasında oluşan kayıplardır.

$$P_S = P_{ON} + P_{OFF}$$

3. Kapama veya tıkama kayıpları

Elemanın pozitif ve negatif kapama durumlarında geçen sızıntı akımlar sebebiyle oluşan kayıplardır.

$$P_B = P_P + P_N$$

4. İletim güç kaybı

Elemanın iletimi esnasında oluşan kayıptır.

$$P_T = \frac{1}{T} \int u_T \cdot i_T \cdot dt$$

Bu durumda, toplam güç kaybı,

$$P = P_G + P_B + P_S + P_T$$

olur. Sürme ve kapama kayıpları genellikle dikkate alınmaz.

Anahtarlama kayıpları, kataloglarda genellikle bir tek anahtarlamadaki enerji kayıpları şeklinde verilir. Bu enerji kayıpları frekansla çarpılarak 1 s'deki enerji kayıpları olan anahtarlama güç kayıpları bulunur.

$$W_s = W_{ON} + W_{OFF}$$

$$P_s = f_p \cdot W_s$$

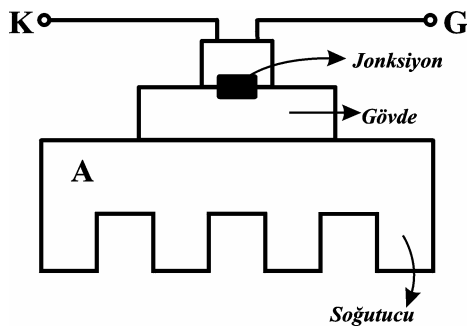
Düşük frekanslarda, örneğin SCR'de 400 Hz, BJT'de 1 kHz ve MOSFET'te 10 kHz değerlerinin altında, anahtarlama güç kayıpları ihmal edilerek,

$$P \cong P_T \text{ alınabilir.}$$

İletim Güç Kayıpları

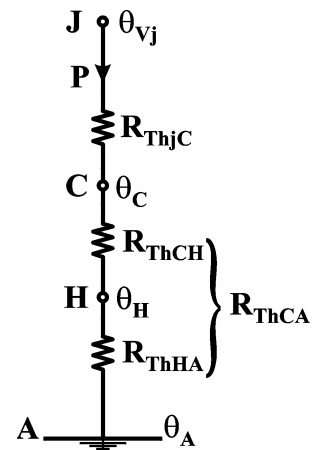
TRANSİSTÖRDE	$P_T = \frac{1}{T} \int u_{CE} \cdot i_C \cdot dt$
MOSFETTE	$P_T = \frac{1}{T} \int u_{DS} \cdot i_D \cdot dt = \frac{1}{T} \int r_{DS} \cdot i_D^2 \cdot dt = r_{DS} \int i_D^2 \cdot dt$
TRİSTÖR VE DİYOTTA	$P_T = \frac{1}{T} \int u_T \cdot i_T \cdot dt = \frac{1}{T} \int (U_{TO} + r_T \cdot i_T) \cdot i_T \cdot dt$ $P_T = U_{TO} \frac{1}{T} \int_0^T i_T \cdot dt + r_T \frac{1}{T} \int_0^T i_T^2 \cdot dt$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $P_T = U_{TO} \cdot I_{TAV} + r_T \cdot I_{TEF}^2$ </div>

Termik Eşdeğer Devre ve Isınma



θ_A : Ortam Sıcaklığı
 θ_H : Soğutucu Sıcaklığı
 θ_C : Gövde Sıcaklığı
 θ_{vj} : Jonksiyon Sıcaklığı

R_{ThJC} : İç Termik Direnç ($^{\circ}C / W$)
 R_{ThCA} : Dış Termik Direnç ($^{\circ}C / W$)



$$\theta_C = \theta_A + P \cdot R_{ThCA}$$

$$\theta_{vj} = \theta_A + P (R_{ThCA} + R_{ThJC})$$

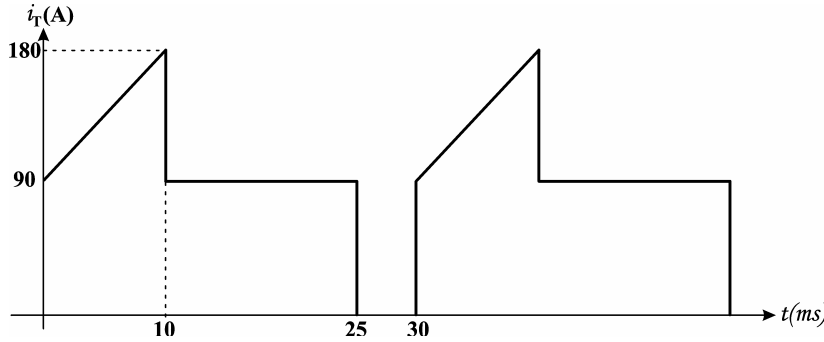
$$= \theta_A + P \cdot R_{ThCA} + P \cdot R_{ThJC}$$

$$\theta_{vj} = \theta_C + P \cdot R_{ThJC}$$

Soğutma

Güç elemanlarında iki türlü soğutma vardır:

- Doğal Soğutma** : Eleman alüminyum veya bakır bir soğutucuya monte edilir. Isı doğal olarak soğutucudan havaya yayılır.
- Zorlamalı Soğutma** : Eleman yine alüminyum veya bakır bir soğutucuya monte edilir. Ayrıca fan, su veya yağ ile soğutma kuvvetlendirilir.

KONU İLE İLGİLİ ÇÖZÜLMÜŞ PROBLEMLER**Problem 1**

$$\begin{aligned}
 U_{TO} &= 1,1 \text{ V} \\
 r_T &= 5 \text{ m}\Omega \\
 R_{ThJC} &= 0,15 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W} \\
 R_{ThCA} &= 0,25 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W} \\
 \text{İşletme Sıcaklığı} &: -55 \text{ }^\circ\text{C} \text{ ile } 125 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

- Tristörde meydana gelen iletim kaybı gücünü bulunuz.
- Toplam kayıp güç 200 W ve soğutma havası sıcaklığı 30 °C iken, tristörün gövde ve jonksiyon sıcaklıklarını bulunuz.
- Soğutma havası sıcaklığı 30 °C iken, toplam kayıp güç en fazla hangi değere çıkarabilir.
- Tristör iletimde iken, anodu ile katodu arasındaki gerilimin en büyük değerini bulunuz.

Çözüm :

$$a) P_T = U_{TO} \cdot I_{TAV} + r_T \cdot I_{TEF}^2$$

$$\begin{aligned}
 0 < t < 10, & \quad i_T = 9t + 90 \\
 10 < t < 25, & \quad i_T = 90 \\
 25 < t < 30, & \quad i_T = 0
 \end{aligned}$$

$$I_{TAV} = \frac{1}{30} \left[\int_0^{10} (9t + 90) dt + \int_{10}^{25} 90 dt + \int_{25}^{30} 0 dt \right] \Rightarrow I_{TAV} = 90 \text{ A}$$

$$I_{TEF}^2 = \frac{1}{30} \left[\int_0^{10} (9t + 90)^2 dt + \int_{10}^{25} 90^2 dt + 0 \right] \Rightarrow I_{TEF}^2 = 10350 \text{ A}^2$$

$$P_T = U_{TO} \cdot I_{TAV} + r_T \cdot I_{TEF}^2 \Rightarrow P_T = 1,1 \cdot 90 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10350 \Rightarrow P_T = 150,75 \text{ W}$$

b)

$$\theta_C = \theta_A + P \cdot R_{ThCA} = 30 + 200 \cdot 0,25 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_{vj} = \theta_C + P \cdot R_{ThJC} = 80 + 200 \cdot 0,15 = 110 \text{ }^\circ\text{C}$$

c)

$$\begin{aligned}
 (\theta_{vj})_{\max} &= \theta_A + P_{T\max} (R_{ThCA} + R_{ThJC}) \\
 125 &= P_{T\max} (0,25 + 0,15) + 30 \Rightarrow P_{T\max} = 237,5 \text{ W}
 \end{aligned}$$

d)

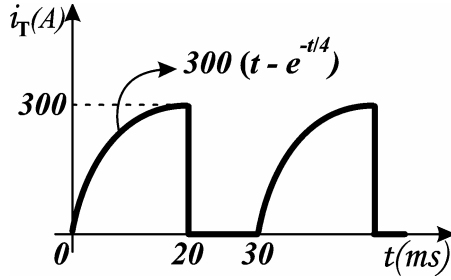
$$U_{T\max} = U_{TO} + r_T \cdot I_{T\max} \Rightarrow U_{T\max} = 1,1 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \Rightarrow U_{T\max} = 2 \text{ V}$$

Problem 2

Aşağıda bazı karakteristik değerleri verilen bir tristörden şekildeki gibi bir akım geçmektedir. Tristör zorlamalı olarak soğutulmakta olup, soğutma havası sıcaklığı 35 °C dir.

- Tristörün iletim kayıp gücünü bulunuz.
- Tristörün gövde ve jonksiyon sıcaklıklarını bulunuz.
- İletimde iken tristörde meydana gelen max. gerilim düşümünü bulunuz.

Çözüm :



$$\begin{aligned}
 U_{TO} &= 1 \text{ V} \\
 r_T &= 1 \text{ m}\Omega \\
 R_{ThJC} &= 0,20 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W} \\
 R_{ThCA} &= 0,10 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W} \\
 \text{İşletme Sıcaklığı} &: -55 \text{ }^\circ\text{C} \text{ ile } 125 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$a) P_T = U_{TO} \cdot I_{TAV} + r_T \cdot I_{TEF}^2$$

$$0 < t < 20 \text{ ms} \Rightarrow i_T = 300 (1 - e^{-t/4})$$

$$0 < t < 20 \text{ ms} \Rightarrow i_T = 0$$

$$\begin{aligned}
 I_{TAV} &= \frac{1}{30} \int_0^{20} 300(1 - e^{-t/4}) dt + \int_{20}^{30} 0 dt \\
 &= \frac{1}{30} 300 \left[t + 4e^{-t/4} \right]_0^{20}
 \end{aligned}$$

$$I_{TAV} = \underline{160 \text{ A}}$$

$$\begin{aligned}
 I_{TEF}^2 &= \frac{1}{30} \int_0^{20} [300(1 - e^{-t/4})]^2 dt + 0 \\
 &= \frac{1}{30} 300 \int_0^{20} (1 - 2e^{-t/4} + e^{-t/2}) dt + 0
 \end{aligned}$$

$$= 3000 \left[t + 8e^{-t/4} - 2e^{-t/2} \right]_0^{20} + 0$$

$$I_{TEF}^2 = 42000 \text{ A}^2$$

$$P_T = 1 \cdot 160 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 42 \cdot 10^3 \Rightarrow P_T = 202 \text{ W}$$

$$b) \theta_C = \theta_A + P \cdot R_{ThCA} = 35 + 202 \cdot 0,10 = 55,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_{vj} = \theta_C + P \cdot R_{ThJC} = 55,2 + 202 \cdot 0,20 = 95,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

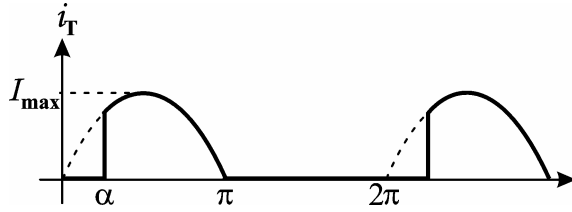
$$c) U_{Tmax} = U_{TO} + r_T \cdot I_{Tmax} = 1 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 300$$

$$U_{Tmax} = \underline{1,3 \text{ V}}$$

Problem 3

Bazı karakteristikleri verilen bir tristörden kesme açısı ayarlanabilen yarım sinüs dalgası şeklinde bir akım akmaktadır. Tristör zorlamalı olarak soğutulmakta olup soğutma havası sıcaklığı $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.

- Kesme açısı 30 ° iken, tristörün jonksiyon sıcaklığı $104\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğuna göre, geçen sinüsoidal akımın max. değeri kaç A'dir?
- 50 A'lik bir DC akım geçirilen bu tristörün jonksiyon sıcaklığı kaç $^{\circ}\text{C}$ olur?
- Bu tristörden en fazla kaç A'lik bir DC akım geçirilebilir?



$$U_{TO} = 1,2\text{ V}$$

$$r_T = 10\text{ m}\Omega$$

$$R_{ThJC} = 0,20\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{W}$$

$$R_{ThCA} = 0,20\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{W}$$

$$\text{İşletme Sıcaklığı} : -55\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ ile } 125\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha = \omega t = 2\pi ft$$

Çözüm :

- $\alpha = 30\text{ }^{\circ}$ için,

$$I_{TAV} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m \sin t \, dt = \frac{I_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$I_{TEF}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m^2 \sin^2 t \, dt = \frac{I_m^2}{4\pi} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha)$$

$$\theta_{vj} = \theta_A + P (R_{ThCA} + R_{ThJC}) \Rightarrow 104 = P \cdot 0,4 + 40 \Rightarrow P = 160\text{ W}$$

$$P = U_{TO} \cdot I_{TAV} + r_T \cdot I_{TEF}^2$$

$$160 = U_{TO} \cdot \frac{I_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) + r_T \cdot \frac{I_m^2}{4\pi} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha)$$

$$I_{m1} = 193,5\text{ A}$$

$$\Rightarrow I_m = 193,5\text{ A}$$

$$I_{m2} = -340\text{ A}$$

- $I_{TAV} = I_{TEF} = 50\text{ A}$ için,

$$P = U_{TO} \cdot I_{TAV} + r_T \cdot I_{TEF}^2 \Rightarrow P = 1,2 \cdot 50 + 10 \cdot 10^{-3} \cdot 50^2 \Rightarrow P = 85\text{ W}$$

$$\theta_{vj} = \theta_A + P (R_{ThCA} + R_{ThJC}) \Rightarrow \theta_{vj} = 85 (0,2+0,2) + 40 \Rightarrow \theta_{vj} = 74\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- $125 = P_{Tmax} \cdot 0,4 + 40 \Rightarrow P_{Tmax} = 212,5\text{ W}$

$$212,5 = 1,2 I_m + 10 \cdot 10^{-3} I_m^2$$

$$I_{m1} = 97,5\text{ A}$$

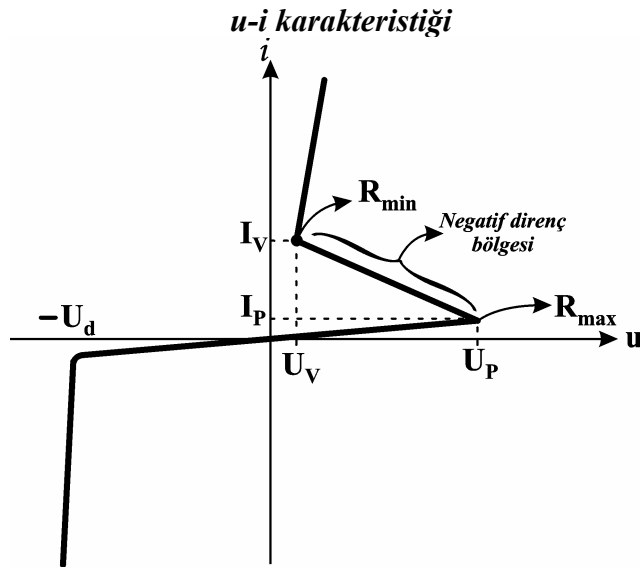
$$I_{m2} = -217,5\text{ A} \Rightarrow I_m = 97,5\text{ A}$$

5. TEMEL KONTROL VE İZOLASYON ELEMANLARI

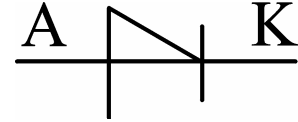
TEMEL KONTROL ELEMANLARI

Shockley Diyodu

Kapı ucu çıkarılmamış özel bir tristördür. İki uçlu ve tek yönlü devrilen bir elemandır.



Sembol



U_P : Devrilme Gerilimi

U_d : Delinme Gerilimi

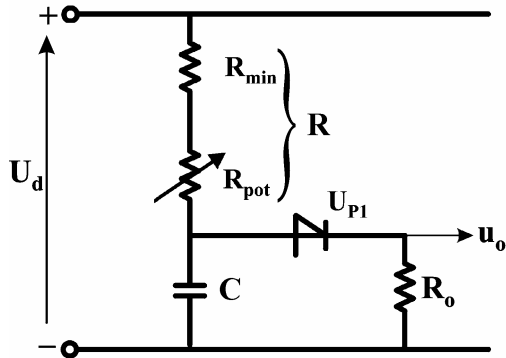
$u \geq U_P$: İletime girer.

$i \geq I_P$: İletime girer.

$i \geq I_V$: İletimde kalır.

$i < I_V$: Kesime girer.

Shockley Diyotlu Bir Osilatör Devresi



$$R_{\min} \geq \text{birkaç } k\Omega$$

$$R_{\text{pot}} \cong \text{birkaç yüz } k\Omega$$

$$R_o \leq 100 \Omega$$

$$R = R_{\min} + R_{\text{pot}}$$

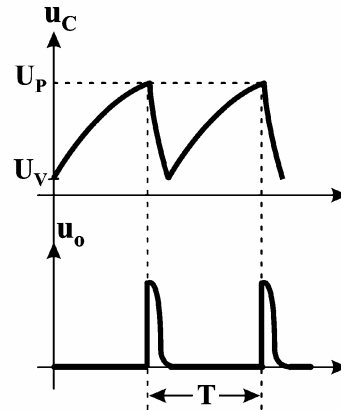
$$R_{\min} \geq \frac{U_d - U_P}{I_V}$$

$$I_{C\max} \leq I_V$$

$U_P < U_d$ ise, devre çalışır.

$I_C < I_P$ ise, u_C hiç U_P 'ye erişemez ve hiç sinyal elde edilemez.

Temel Dalga Şekilleri



U_P, U_V, I_P, I_V : Önemli ve temel katalog değerlerdir.

$$R_{\max} = R_{\min} + R_{\text{potmax}}$$

$$R_{\max} \leq \frac{U_d - U_P}{I_P}$$

$$I_{C\min} \geq I_P$$

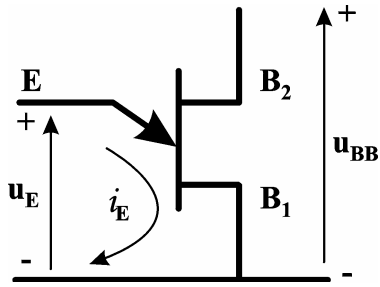
$I_C > I_V$ ise, iletme giren eleman artık iletimden çıkmaz ve birinci sinyalden sonra artık sinyal elde edilemez. Uygulamada sınır değerlerden uzak durulur.

$$u_C = U_d (1 - e^{-t/RC}) \quad \tau = RC \quad \tau : \text{zaman sabiti}$$

$$u_C = U_P \Rightarrow t \cong T \Rightarrow \boxed{T \cong RC \cdot \ln \frac{U_d}{U_d - U_P}} \text{ bulunur.}$$

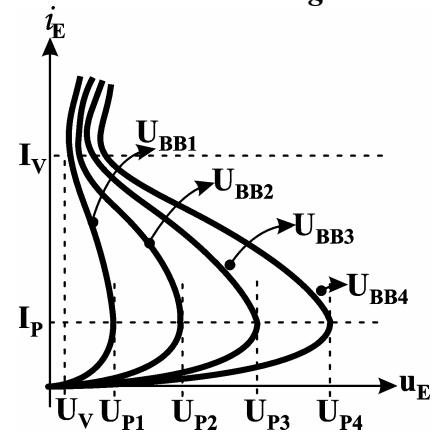
UJT (Unijunction Transistor)

Sembol



- E : Emiter
- B₁, B₂ : Tabanlar
- u_{BB} : Tabanlar arası gerilim
- R_{BB} : Kesim durumunda tabanlar arasındaki direnç
- U_D : E - B₁ jonksiyonu iletim gerilim düşümü
- U_D ≅ 0,6 V
- R_{BB} ≅ 10 kΩ

u-i karakteristiği



$$U_{P1} < U_{P2} < U_{P3} < U_{P4}$$

$$U_{BB1} < U_{BB2} < U_{BB3} < U_{BB4}$$

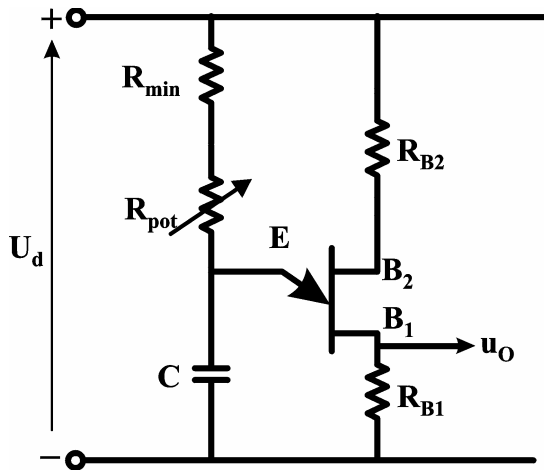
$$U_P = \eta \cdot U_{BB} + U_D$$

η : Öz Standof Oranı
(0,4 ile 0,8 arasında)

$$U_D \ll U_{BB}$$

$$\boxed{U_P \cong \eta \cdot U_{BB}} \text{ yazılabilir.}$$

NOT: UJT, gerilim regülasyonu ve senkronizasyon amaçlarıyla önceleri yaygın olarak kullanılan, üç uçlu ve tek yönlü devrilen bir elemandır.

UJT'li Bir Osilatör Devresi

$$U_P \cong \eta \cdot U_d$$

$$T \cong RC \cdot \ln \frac{U_d}{U_d - U_P} = RC \cdot \ln \frac{1}{1 - \eta}$$

$$R_{B1} \leq 100 \ \Omega$$

$$100 \ \Omega \leq R_{B2} \leq 1 \text{ k}\Omega$$

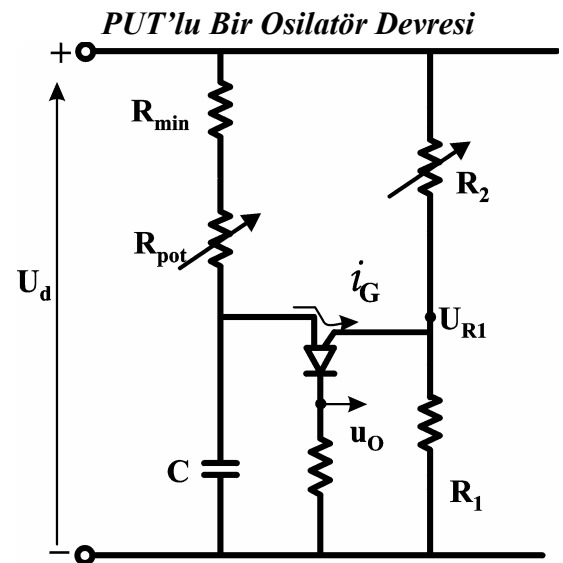
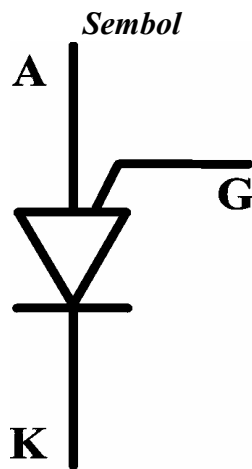
R_{B1} : Çıkış sinyali almayı sağlar.

R_{B2} : İletim durumunda akımı sınırlar.

Kesim durumunda, B_2 'den B_1 'e doğru, $I_{B1B2} = \frac{U_d}{R_{B1} + R_{BB} + R_{B2}}$ kadar bir sızıntı akımı geçer. Bu akım, $U_0 = R_{B1} \cdot I_{B1B2}$ kadar bir kaçak gerilim oluşturur. Bu gerilim tetiklemeye yetmemelidir.

PUT (Programmable Unijunction Transistor)

Anot tarafından kapı ucu çıkarılmış özel bir tristördür.



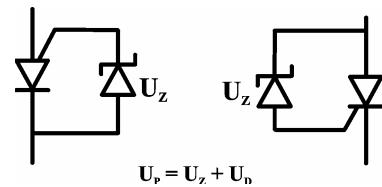
$$U_P = U_{R1} + U_D$$

$$= \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_d + U_D$$

$$U_P = \eta \cdot U_d + U_D$$

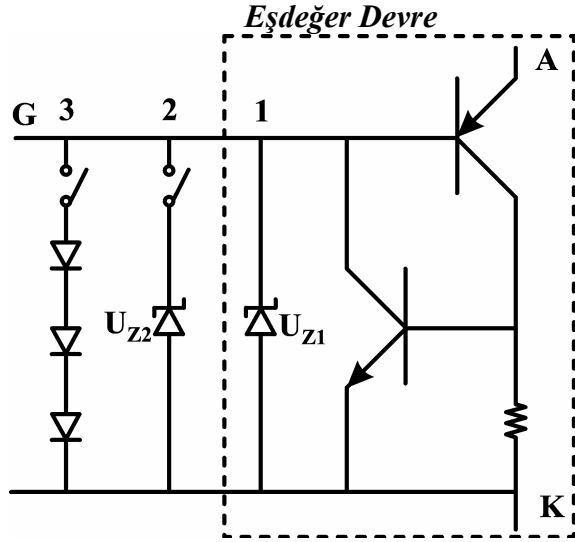
$$U_D \cong 0.6 \text{ V} \ll U_P$$

$$U_P \cong \eta \cdot U_d$$

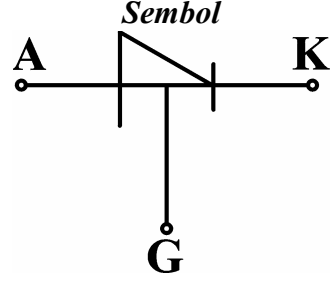


SUS (Silicon Unilateral Switch)

Tek yönde devrilen basit bir entegre devredir. Bir pnp ve bir npn transistör ile bir zener diyodu ve bir dirençten ibarettir.



Normalde G ucunun kullanılmasına gerek yoktur. G ucu dış devre ile devrilme geriliminin düşürülmesini sağlar.



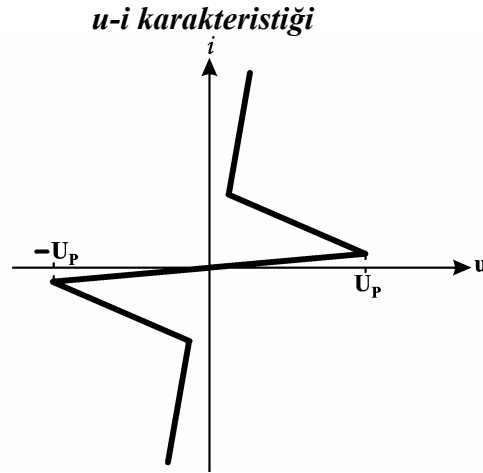
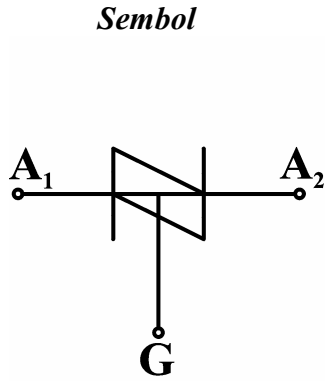
$$U_{P1} = U_{Z1} + U_D \quad (\text{Kapı ucu kullanılmaz ise})$$

$$U_{P2} = U_{Z2} + U_D < U_{P1}$$

$$U_{P3} = 4 U_D < U_{P1}$$

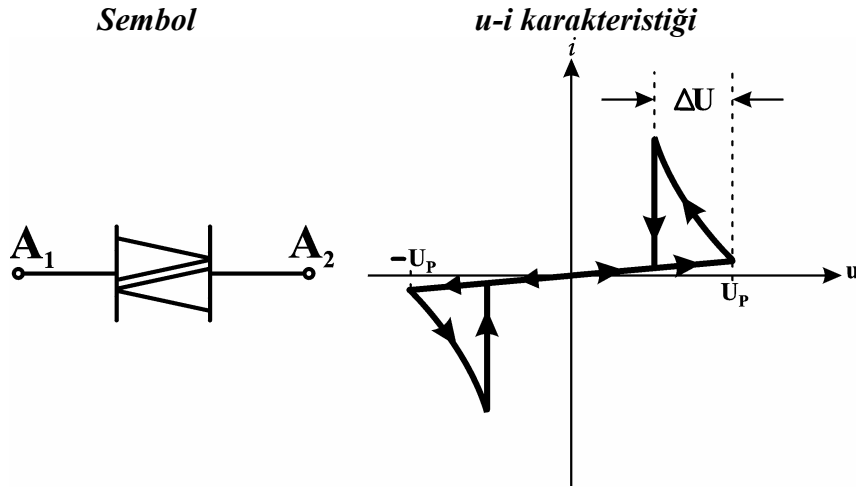
Seri diyotlar, gerilim düşümü oluşturarak sabit gerilim sağlamak amacıyla kullanılır.

SBS (Silicon Bilateral Switch)



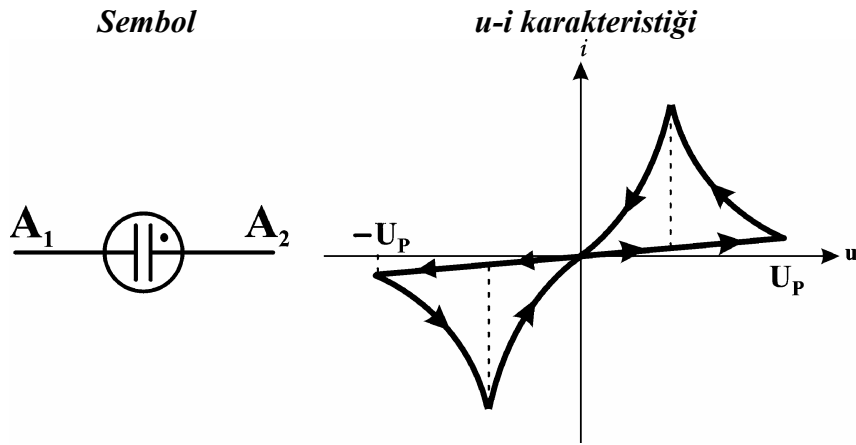
Ters paralel bağlı iki adet SUS' a eşdeğerdir. Yalnız bir kapı vardır. Üç uçlu ve iki yönlü devrilen bir elemandır.

Diyak



AC uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan ve en ucuz olan iki yönlü devrilen elemandır.

Neon Lamba



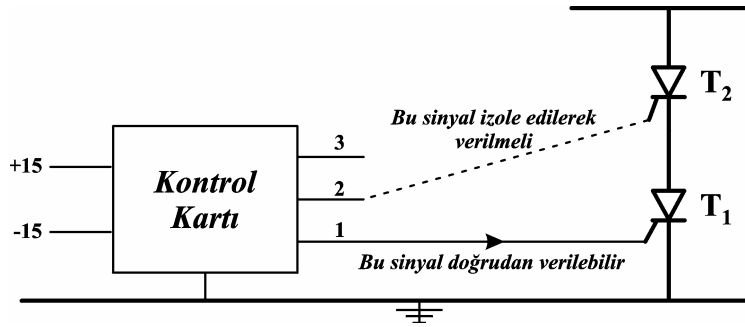
Yarı iletken bir yapıya sahip olmayan ve içerisi neon gazı ile dolu olan iki yönlü devrilen bir elemandır.

Dezavantajı :
 $60V < U_P < 100 V$

Avantajı :
 $i_{sız} = \text{Birkaç } \mu A$

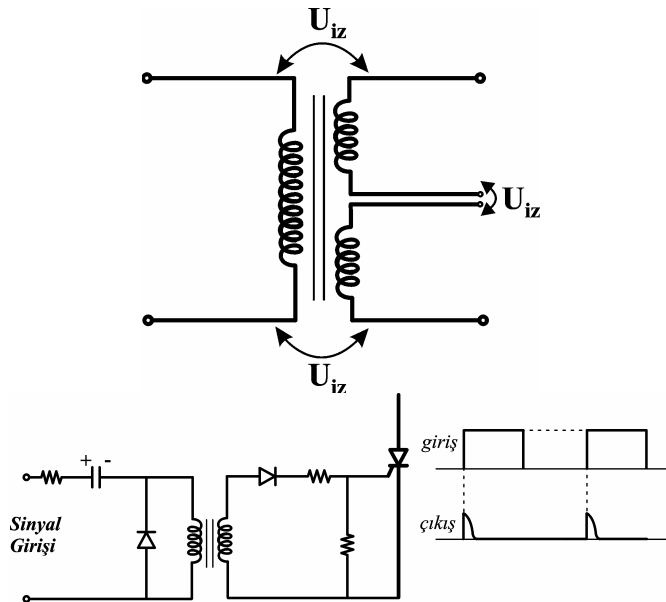
SİNYAL İZOLASYON ELEMANLARI

İzolasyonun Tanımı



Güç elektroniği devrelerinde, tetikleme veya sürme sinyalleri genellikle izole edilerek ana akım elemanlarına iletilir. Bu işlem manyetik alanla ve ışıkla olmak üzere iki şekilde yapılabilir.

Tetikleme Transformatörü

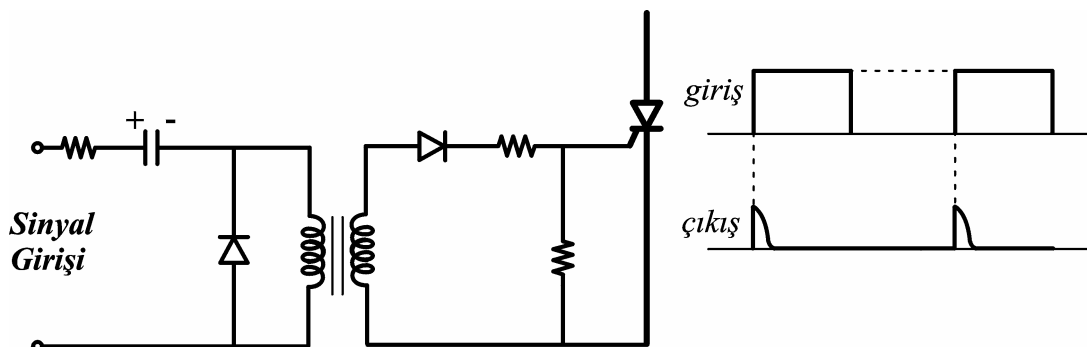


Tetikleme transformatörü, küçük boyutlu bir ferit nüveye az sarım sayılı bir primer ve bir ya da birkaç sekonder sarğı sarılarak elde edilir. Bütün sargıların birbirlerine ve nüveye karşı izole edilmeleri önemlidir.

U_{iz} : İzolasyon Gerilimi (Bir kaç kV mertebesinde)

L değeri birkaç yüz μH mertebelerinde olup, ancak kısa süreli sinyaller iletilebilir. Uzun süreli sinyallerde, ilk anda çıkış verip sonra kısa devre özelliği gösterir.

Örnek Bir Tetikleme Devresi



Uzun süreli sinyallere veya kısa devre olmalara karşı, girişe seri bir kondansatörün bağlanması uygun olur. Kondansatörün şarjı boyunca çıkış alınır ve deşarj ters bir diyot üzerinden sağlanır.

Opto Bağlayıcılar

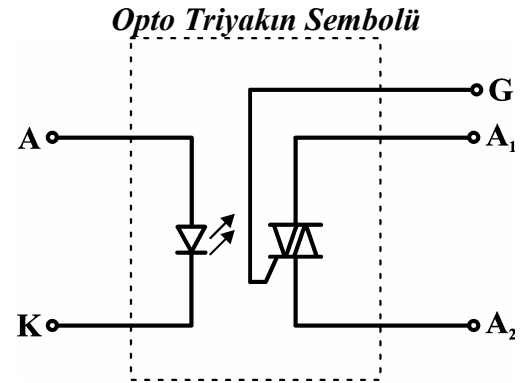
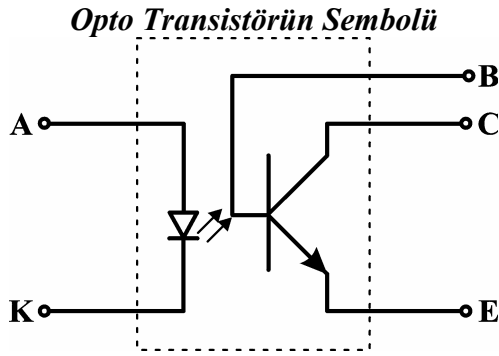
Girişlerindeki LED'den geçen akımın yaydığı ışıkla çıkışları iletme giren elemanlardır. Kısa ya da uzun süreli sinyallerin iletilmesinde kullanılır.

Önemli opto bağlayıcı türleri :

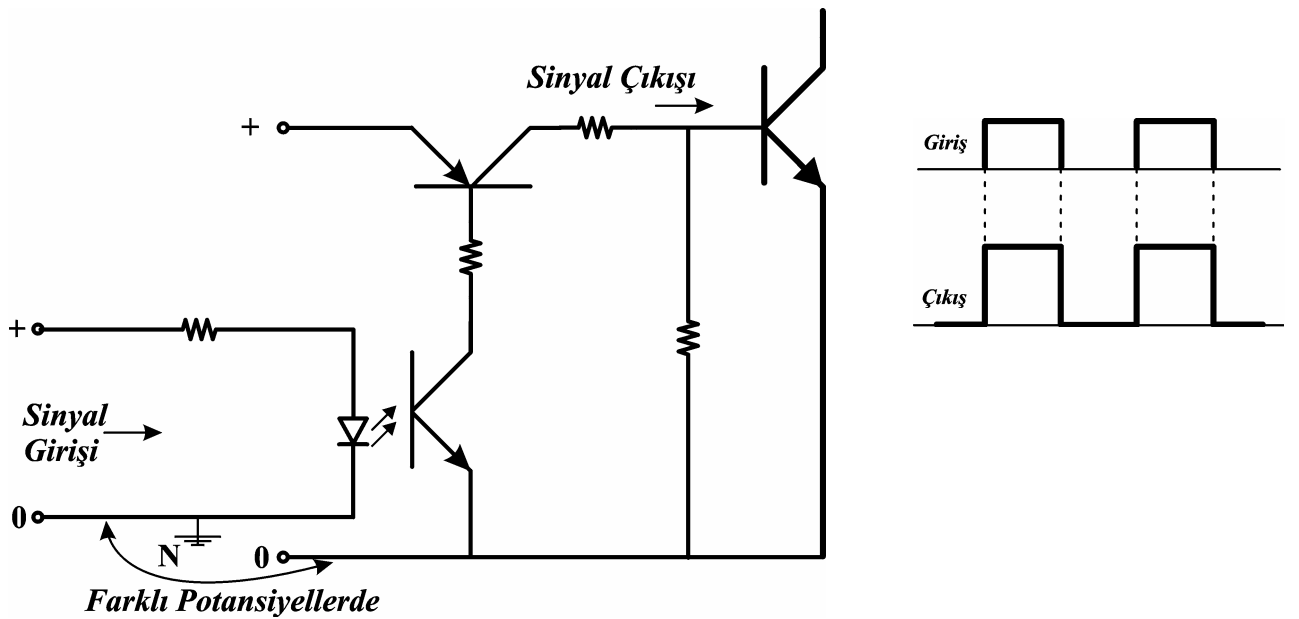
- Opto Transistör
- Opto Darlington
- Opto Tristör
- Opto Triyak

Önemli opto bağlayıcı parametreleri :

- Akım Kazancı
 $a = I_C / I_F$
- Anahtarlama Hızı
 $t_{SW} = t_{ON} + t_{OFF}$
- İzolasyon Gerilimi (U_{iz})



Örnek Bir Sürme Devresi



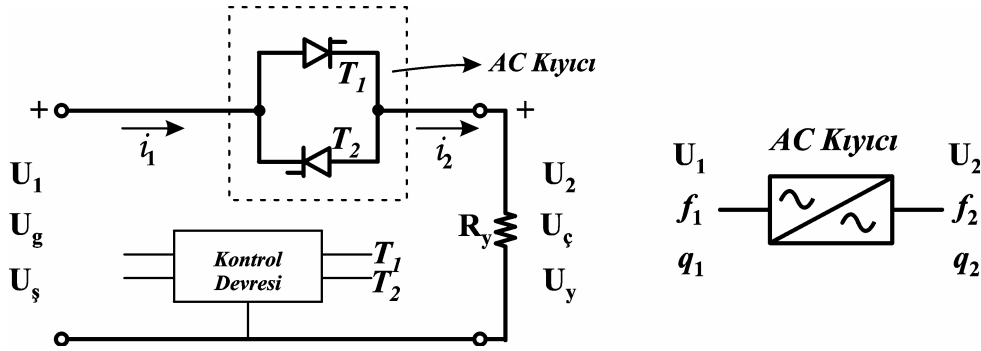
Manyetik Ve Optik Bağlayıcılar Arasındaki Farklar

1. Tetikleme transformatörü sadece kısa süreli sinyalleri iletirken, opto bağlayıcı hem kısa hem de uzun süreli sinyalleri iletir.
2. Tetikleme transformatörü çıkışta ikinci bir gerilim kaynağına ihtiyaç duymazken, opto bağlayıcı çıkışında ikinci bir kaynak gerekir.
3. Yükseltme işlemi, transformatörün primerinde opto bağlayıcının ise sekonderinde yapılır.

6. AC-AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER / AC KIYICILAR

TEK FAZLI AC KIYICILARIN TEMEL PRENSİPLERİ

Temel AC Kıyıcı Devresi



U_1, U_g, U_{ϕ} : Giriş AC şebeke gerilimi
 U_2, U_{ϕ}, U_y : Çıkış AC yük gerilimi

$$U_2 \leq U_1$$

$$f_2 = f_1 \Rightarrow \text{AC KIYICI}$$

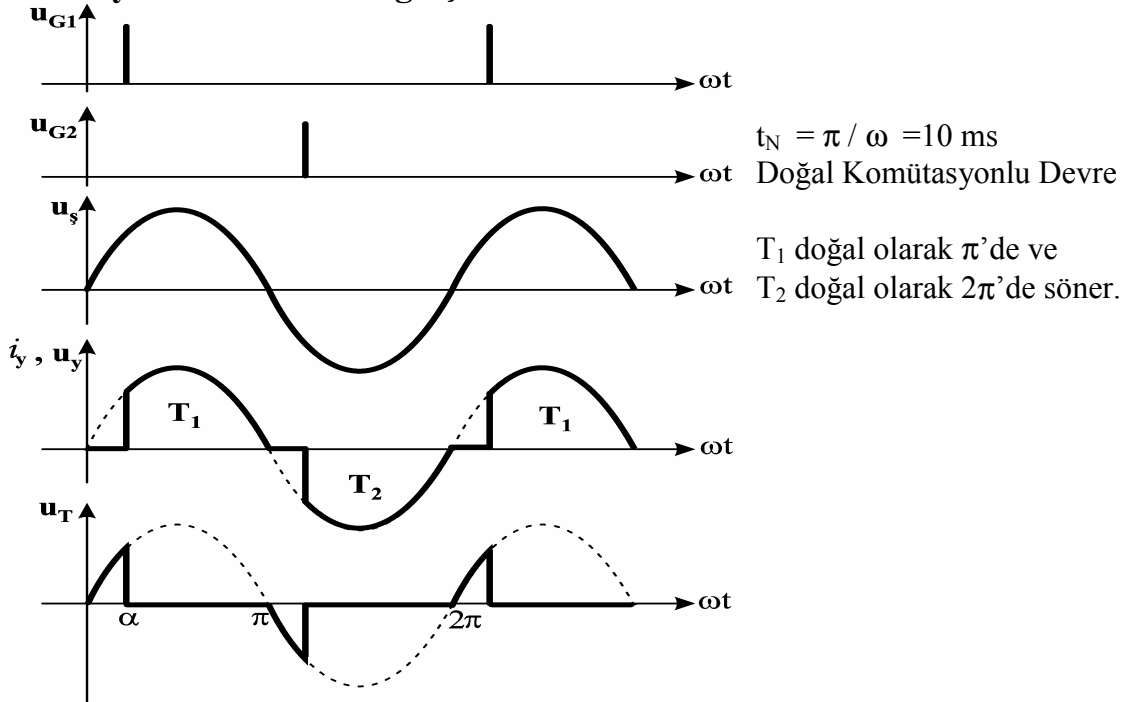
$$q_2 = q_1$$

Omik bir yük için:

$$0 < \alpha < \pi, \quad U_2 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\pi} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha)} \text{ olur.}$$

π, α : Normalde daima rd olarak alınırlar.

AC Kıyıcının Temel Dalga Şekilleri



AC Kıyıcıların Temel Özellikleri

- AC kıyıcılar, AC gerilimin her iki yarım dalgasını belli açılarda keserek, çıkış geriliminin efektif değerini değiştirir.
- Doğal komütasyonlu ve problemsiz devrelerdir.
- Hem şebeke hem de yük tarafında yüksek değerli harmonikler oluşur.
- Tek veya üç fazlı olarak gerçekleştirilirler.
- Endüstride ısı ve ışık kontrolünde yaygın olarak kullanılırlar.
- Vantilatör karakteristikli yükleri tahrik eden düşük güçlü AC motorların kontrolünde de kullanılmaktadır.
- Prensipte olarak her bir faz için, gücünün yettiği yere kadar bir adet triyak daha sonra ters paralel bağlı iki tristör kullanılır. Bilindiği gibi, 100-150 A'lere kadar triyaklar 5000 A' e kadar tristörler üretilmektedir.
- Triyaklar sadece AC kıyıcılarda kullanılmak üzere üretilmektedir.

Kontrol Devrelerinin Temel Özellikleri

Genel olarak AC kıyıcının kontrol devresi aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.

1. Şebeke gerilimi ile senkronize çalışmalıdır. Şebeke geriliminin sıfır noktalarını görerek, bu noktalarda resetlenmeli ve zaman saymaya başlamalıdır.
2. Omik yüklerde α anında kısa süreli (birkaç on μ s), omik endüktif yüklerde ise $\alpha - \pi$ aralığında sürekli olarak yeterli tetikleme akımı sağlamalıdır.
3. Gerektiğinde sinyaller izole edilmeli, yükseltilmeli ve kesilebilmelidir.

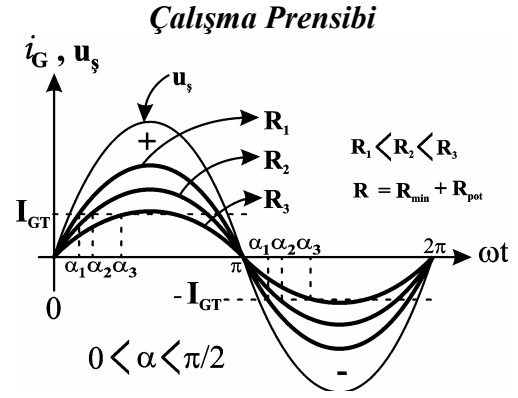
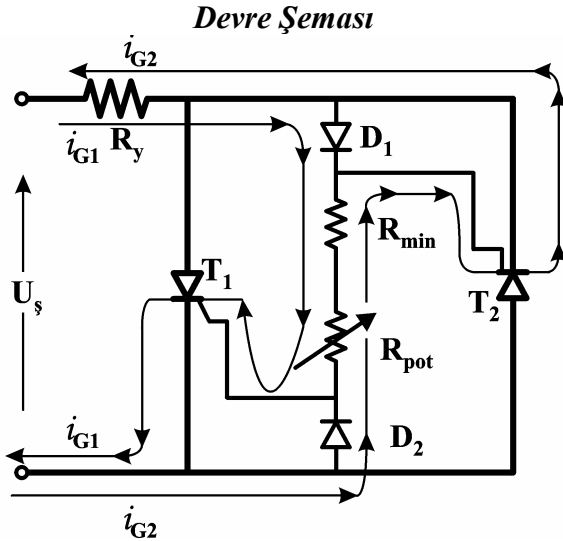
Temel AC Kıyıcı Devreleri

Ana akım elemanlarına göre AC kıyıcılar, genel olarak aşağıda verilen üç şekilde gerçekleştirilmektedir.

1. Ters paralel bağlı 2 tristör ile gerçekleştirilen AC kıyıcı devreleri
2. Bir triyak ile gerçekleştirilen AC kıyıcı devreleri
3. Bir diyot köprüsü ve bir tristör ile gerçekleştirilen AC kıyıcı devreleri

TERS PARALEL BAĞLI 2 TRİSTÖR İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN AC KIYICI DEVRELERİ

1. Tetiklemenin Direnç ile Sağlanması



Pozitif alternansta T_1 kapısından geçen i_{G1} akımı ve negatif alternansta T_2 kapısından geçen i_{G2} akımının tetikleme akımı I_{GT} 'ye erişmesiyle, ilgili tristörler tetiklenerek iletme girer. Tristörler tetiklendiğinde, kontrol devresi devre dışı kalır. i_G akımları $\pi/2$ 'ye kadar I_{GT} 'ye erişemez ise, artık daha erişemez. Dolayısıyla, bu devrede α açısı en fazla $\pi/2$ 'ye çıkarılabilir.

$$R_y \ll R \Rightarrow R_y \cong 0$$

$$R_{\min} \geq \frac{U_m}{I_{GTM}}$$

$$R \uparrow \Rightarrow \alpha \uparrow, \quad 0 < \alpha < \pi/2$$

$$u_s = (R_{\min} + R_{\text{pot}}) i_G + u_G + u_D$$

$$U_1 = (R_{\min} + R_{\text{pot1}}) I_{GT} + U_{GT} + U_D$$

$$R_{\text{pot}} = R_{\text{pot1}}$$

$$R = R_1 = R_{\min} + R_{\text{pot1}}$$

$$i_G = I_{GT}$$

$$u_G = U_{GT} \cong 1 \text{ V}$$

$$u_D = U_D \cong 0,6 \text{ V}$$

$$u_s = U_1$$

$$U_1 = U_m \cdot \sin \alpha_1$$

$$\Rightarrow \alpha_1 = \arcsin(U_1 / U_m)$$

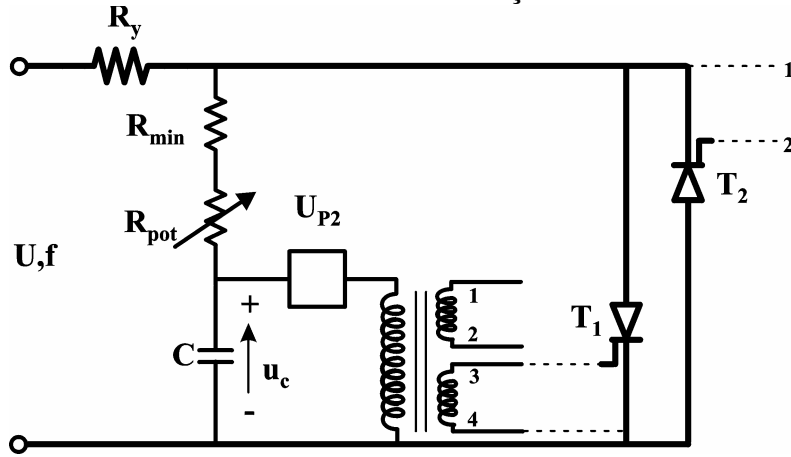
$$R = R_{\min} \Rightarrow \alpha = \alpha_{\min}$$

Bu Devrenin Mahsurları :

1. Kontrol aralığı dardır. $0 < \alpha < \pi/2$
2. Kayıplar fazladır. $0 - \alpha$ aralığında sürekli kapı akımı geçmektedir.
3. Devre stabil (kararlı) değildir.

$I_{GT} = f(U_{TM}, \theta_{vj})$ olarak bilindiğine göre, I_{GT} ve dolayısıyla α kararlı değildir.

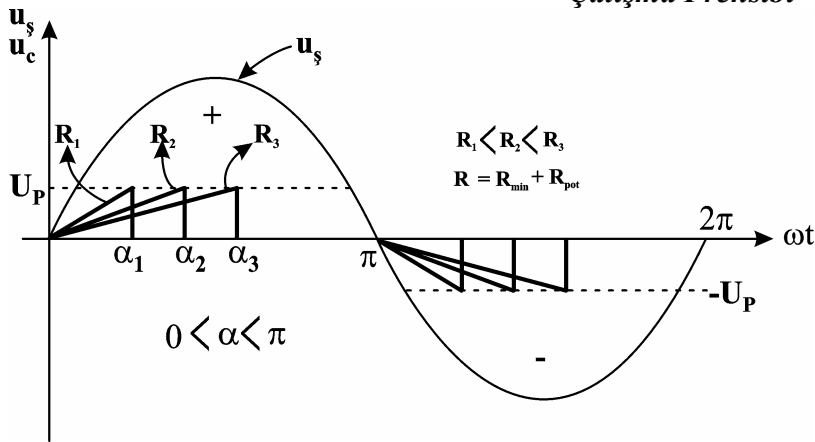
2. Tetiklemenin İki Yönlü Devrilen Bir Eleman ile Sağlanması

Devre Şeması

Pozitif alternansta, 1 ve 3 uçları (+), 2 ve 4 uçları (-) olur, T_1 tetiklenir.
Negatif alternansta, 1 ve 3 uçları (-), 2 ve 4 uçları (+) olur, T_2 tetiklenir.

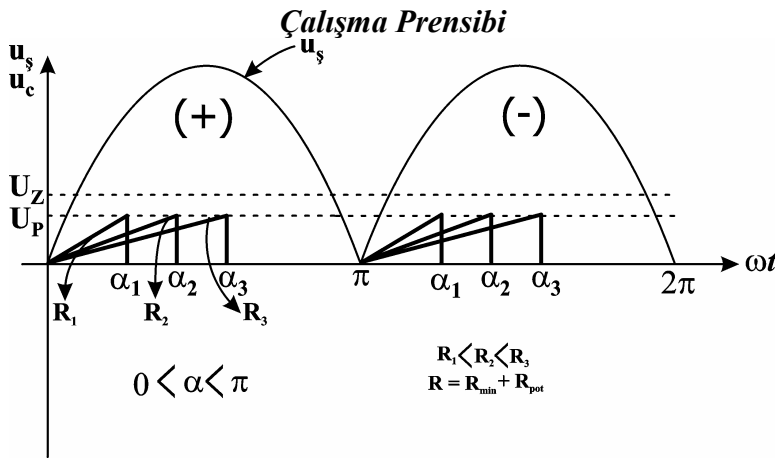
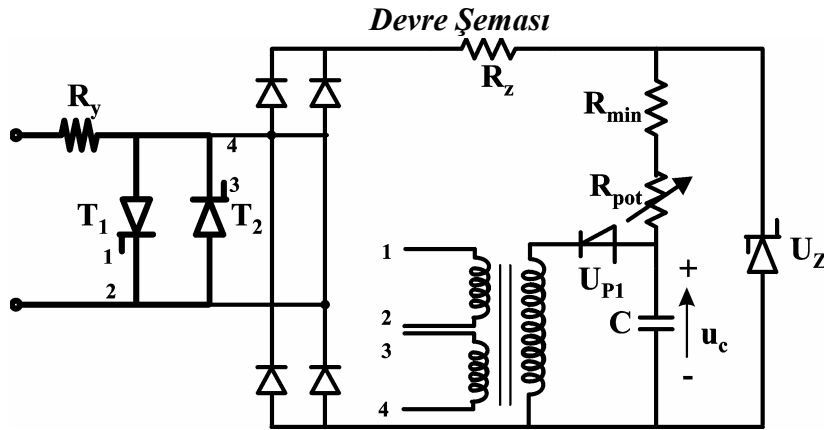
Tetikleme devresi, tristör iletime girdiği andan itibaren devre dışı kalır veya resetlenir.

α açısı, u_s ile U_p 'nin kesiştiği noktalar arasında ayarlanabilir. Gerçekte $u_s \gg U_p$ olduğundan, $0 < \alpha < \pi$ kabul edilebilir.

Çalışma Prensibi

Ters yöndeki kapı akımı veya gerilimiyle tristörler tetiklenmez. Ana uçlarda pozitif gerilim olmadığında, hiçbir şekilde tetiklenemez. Ters paralel bağlı iki tristörden birisi iletimde iken, diğeri tetiklenemez.

3. Tetiklemenin Tek Yönlü Devrilen Bir Eleman ile Sağlanması



U_Z : Zener gerilimi

Osilatörün sıfır anından itibaren sabit U_Z gerilimiyle çalıştığı kabul edilirse,

$$t_{\alpha 1} \cong R_1 C \cdot \ln \frac{U_Z}{U_Z - U_P} \text{ olur.}$$

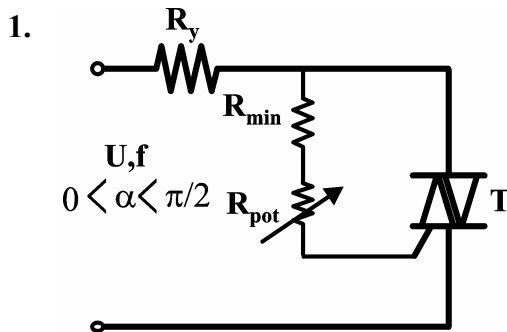
$$\alpha_1 = \omega \cdot t_{\alpha 1}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

AC gerilimde tek yönlü devrilen bir eleman ile tetiklemenin sağlanabilmesi için, kontrol devresinde bir diyot köprüsü gerekmektedir. Tristörlerin iletme girmesi ile yine kontrol devresi devre dışı kalır veya resetlenir. Böylece, AC şebekede ile senkronizasyon sağlanır. Burada, osilatör devresi, her iki alternansta da zener diyodu tarafından sağlanan sabit U_Z gerilimiyle çalışmaktadır. Her iki alternansta da, tetikleme transformatörü çıkışında 1 ile 3 uçları (+) ve 2 ile 4 uçları (-)'dir. Her iki alternansta her iki tristöre de pozitif sinyal uygulanır, fakat ana uçlardaki gerilime göre uygun olan tristör tetiklenir. Yani, pozitif alternansta T_1 ve negatif alternansta T_2 tetiklenir.

BİR TRİYAK İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN AC KIYICI DEVRELERİ



Tetikleme devresinde diyot olmadığına göre,

$$u_s = (R_{min} + R_{pot}) i_G + u_G$$

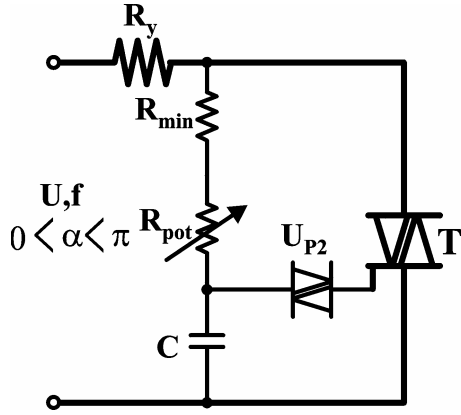
$$U_1 = (R_{min} + R_{pot1}) I_{GT} + U_{GT}$$

$$U_1 = U_m \sin \alpha_1$$

$$\Rightarrow \alpha_1 = \arcsin(U_1 / U_m)$$

bağıntıları yazılabilir.

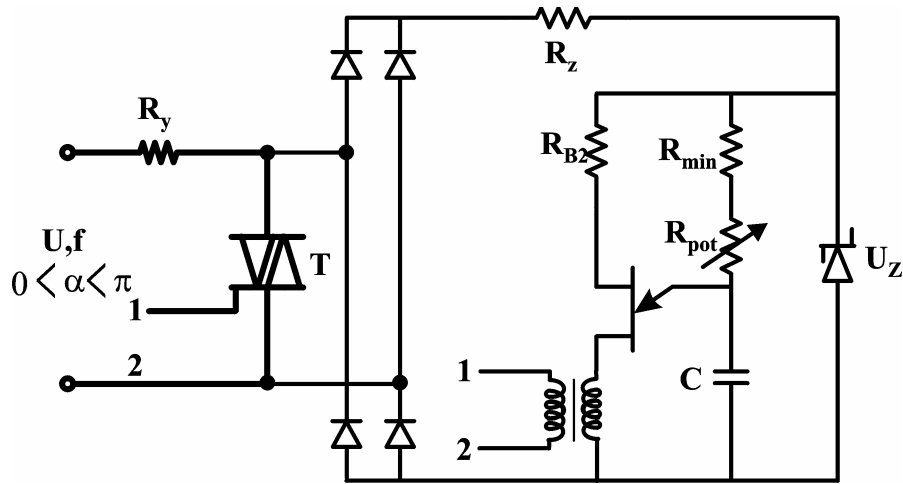
2.



İzolasyona gerek yok.

Endüstride en yaygın olarak kullanılan, en ucuz ve en basit AC kıyıcı devresidir.

3.



UJT için,

$$U_P = \eta \cdot U_Z$$

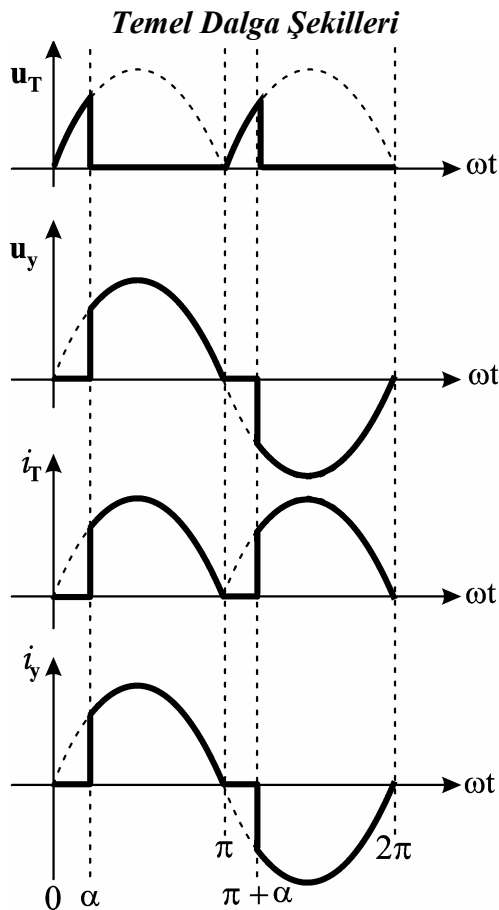
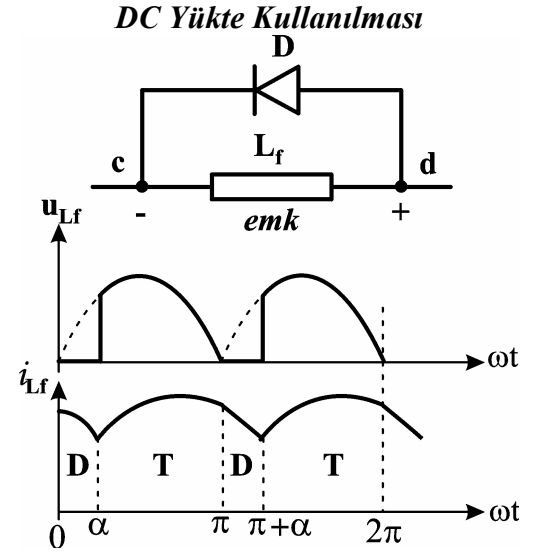
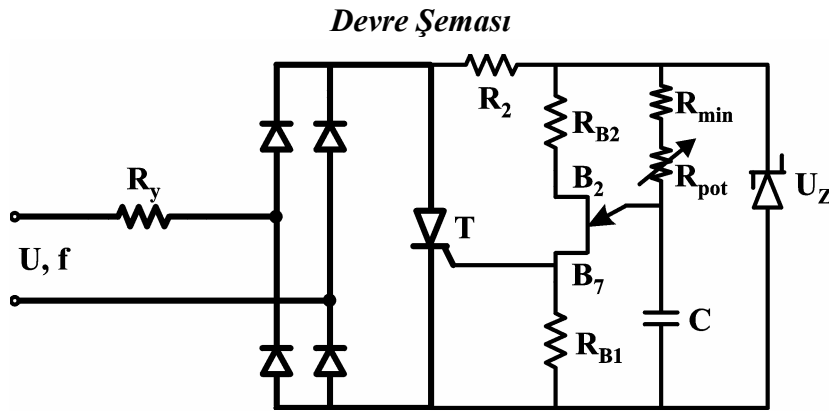
$$t_\alpha = R C \cdot \ln \frac{1}{1 - \eta}$$

yazılabilir. Burada,

$$\alpha = \omega \cdot t_\alpha$$

 η : Öz Standoff Oranı R_Z : Zener diyodunu koruma direnci R_{B2} : UJT'yi koruma direnci.

BİR DİYOT KÖPRÜSÜ VE BİR TRİSTÖR İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN AC KIYICI DEVRELERİ

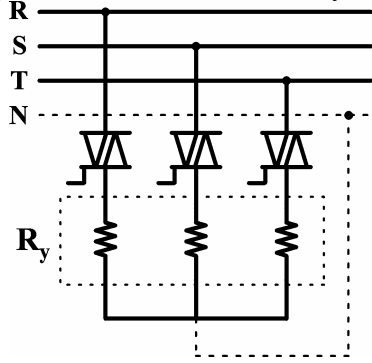


Burada, ana akım devresinde bir diyot köprüsü ve bir tristör kullanılmıştır. Tristörün kontrolü herhangi bir şekilde yapılabilir. Bu devre ile köprü girişine seri bağlanan AC yüklerde veya köprü çıkışına seri bağlanan DC yüklerde güç kontrolü yapılabilir. Endüstride serbest uyarımlı DC motor alan sargısının kontrolünde yaygın olarak kullanılır. Yalnız sargıya ters paralel bir diyot bağlanmalıdır. Aksi halde tetiklenen tristör hiç iletimden çıkmaz ve kontrol yapılamaz.

Bu devredeki temel dalga şekilleri, diğer AC kıyıcılardan biraz farklıdır. Bu nedenle, omik bir yük ve belli bir α açısı için, bu devre ile ilgili temel dalga şekilleri aşağıda verilmiştir.

PRENSİP OLARAK 3 FAZLI AC KIYICI DEVRELERİ

1. Y Bağlı Yük İçin 3 Fazlı AC Kıyıcı Devresi



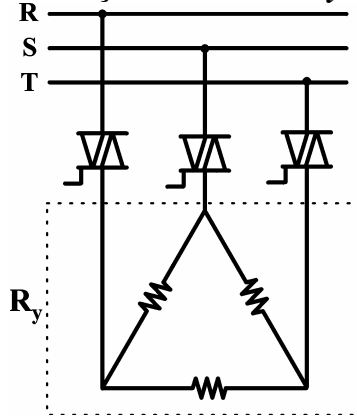
Yıldız noktası topraklı ise devre, 3 ayrı tek fazlı AC kıyıcıya eşdeğerdir. Bu durumda,

$$U_{DRM} ; U_{RRM} > \sqrt{2} U_f \text{ olur.}$$

Yıldız noktası topraklı değil ise,

$$\begin{aligned} U_{DRM} ; U_{RRM} &> \sqrt{2} U_h \\ &> \sqrt{2} \sqrt{3} U_f \text{ 3 fazda} \\ &> \sqrt{6} U_f \end{aligned}$$

2. Δ Bağlı Yük İçin 3 Fazlı AC Kıyıcı Devresi



$$\begin{aligned} U_{DRM} , U_{RRM} &> \sqrt{2} U_h \\ &> \sqrt{6} U_f \end{aligned}$$

AC KIYICILARIN PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜMLERİ

Bu devreler,

$\alpha = 0$ ise, AC Şalter,

$\alpha \neq 0$ ise, AC Kıyıcı olarak tanımlanır.

AC şalterler, devreye giriş ve çıkışlarında AC şebekeden geçici harmoniklerin çekilmesine neden olur. Bunu önlemek için **SIFIR GERİLİM ŞALTERİ** kullanılır. Bu durumda şalter daima (+) alternansın başında devreye girer ve (-) alternansın sonunda devreden çıkar.

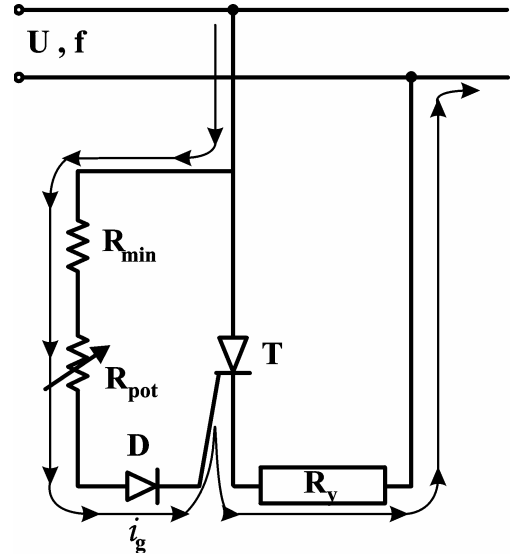
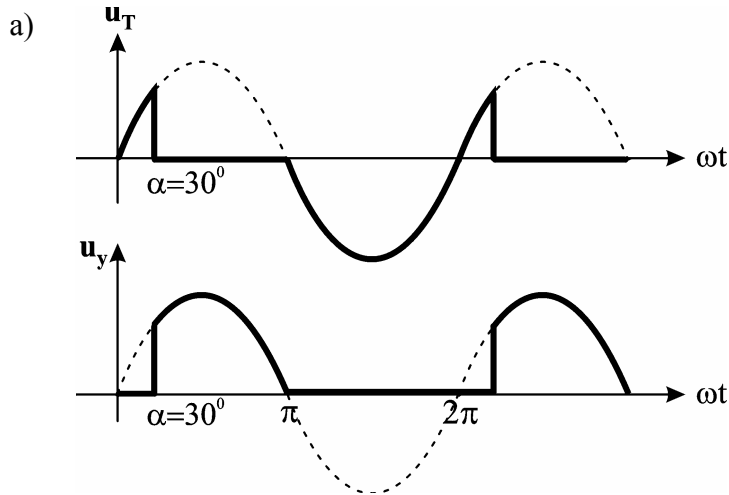
AC kıyıcılarda, kesme açısı α ile güç kontrolü yapıldığı sürece, yük omik dahi olsa şebekeden reaktif güç çekilir ve daima harmonikler oluşur. Bu mahsuru en aza indirebilmek için, sadece omik yüklerde **DALGA PAKETLERİ METODU** ile güç kontrolü yapılır.

KONU İLE İLGİLİ ÇÖZÜLMÜŞ PROBLEMLER**Problem 1**

İlgili bazı değerleri verilen şekildeki devrede,

- $\alpha = 30^\circ$ için, tristör ve yük uçlarındaki gerilimlerin değişimlerini çiziniz.
- Kesme açısının minimum değerini bulunuz.
- $\alpha = 45^\circ$ olabilmesi için, R_{pot} kaç $k\Omega$ 'a ayarlanmalıdır ?
- Tristörde meydana gelebilecek maksimum gerilim düşümü kaç V olur?
- $\alpha = 30^\circ$ için, tristörün jonksiyon sıcaklığı kaç $^\circ C$ olur?

$U = 220 \text{ V}$	$R_{ThJC} = 0,3 \text{ } ^\circ C / W$
$R_y = 2,2 \text{ } \Omega$	$R_{ThCA} = 0,7 \text{ } ^\circ C / W$
$U_{GT} = 1,5 \text{ V}$	$\theta_A = 45 \text{ } ^\circ C$
$I_{GT} = 20 \text{ mA}$	$R_{min} = 1 \text{ k}\Omega$
$U_{TO} = 1,2 \text{ V}$	$U_D = 1 \text{ V}$
$r_T = 5 \text{ m}\Omega$	

**Çözüm :**

- b) $\alpha_{min} = ?$

$$R_{pot} = 0 \Rightarrow \alpha_{min}$$

$$U_{min} = (R_{pot} + R_{min}) I_{GT} + U_D + U_{GT} + R_y I_{GT}$$

$$R_{pot} = 0 \text{ ve } R_y I_{GT} \cong 0 \text{ için,}$$

$$U_{min} = 22,5 \text{ V}$$

$$U_{min} = U_m \text{ Sin}\alpha_{min}$$

$$22,5 = \sqrt{2} 220 \text{ Sin}\alpha_{min}$$

$$\text{Sin}\alpha_{min} = 0,0723$$

$$\Rightarrow \alpha_{min} = 4,15^\circ \text{ bulunur.}$$

- c) $U_1 = \sqrt{2} 220 \text{ Sin}45$
 $= 220 \text{ V}$

$$220 = (R_{pot} + R_{min}) I_{GT} + U_D + U_{GT}$$

$$R_{pot} = 9,87 \text{ k}\Omega \text{ bulunur.}$$

$$d) U_{Tmax} = U_{TO} + r_T I_{Tmax}$$

$$I_{Tmax} = \frac{U_m}{R_y} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{2,2} \Rightarrow I_{Tmax} = \sqrt{2} \cdot 100 \text{ A}$$

$$U_{Tmax} = 1,2 + 5 \cdot 10^{-3} \sqrt{2} \cdot 100$$

$$U_{Tmax} = 1,9 \text{ V bulunur.}$$

$$e) \alpha = 30^\circ \Rightarrow \theta_{vj} = ?$$

$$I_{TAV} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m \sin t dt = \frac{I_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha),$$

$$= \frac{\sqrt{2} \cdot 100}{2\pi} (1 + \cos 60)$$

$$I_{TAV} = 33,76 \text{ A}$$

$$I_{TEF}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m^2 \sin^2 t dt = \frac{I_m^2}{4\pi} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha)$$

$$I_{TEF}^2 = 4022,5 \text{ A}^2$$

$$P = U_T \cdot I_{TAV} + r_T \cdot I_{TEF}^2 = 60,62 \text{ W.}$$

$$\theta_{vj} = \theta_A + P \cdot (R_{ThJC} + R_{ThCA}) = 45 + 60,62 \cdot (0,3 + 0,7)$$

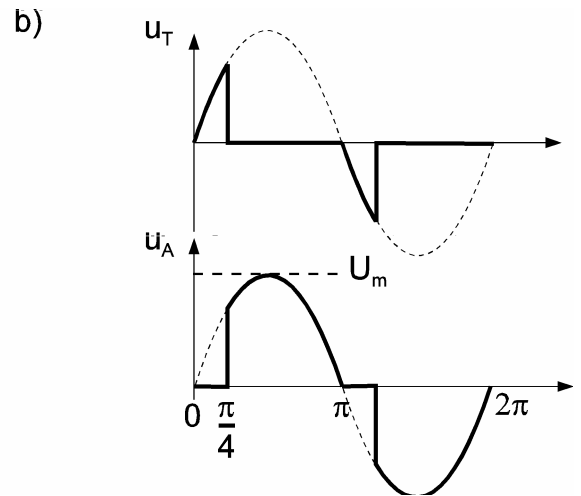
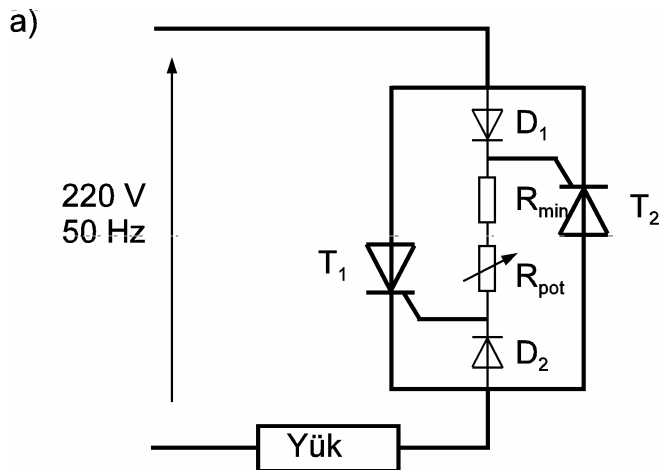
$$\theta_{vj} = \underline{105,62^\circ \text{ C bulunur}}$$

Problem 2

2.2 kW'lık bir ısıtıcı, dirençli tetikleme kullanılarak ters paralel bağlı 2 tristör ile gerçekleştirilen AC ayarlayıcı üzerinden 220 V AC ile beslenmektedir.

- Sistemin bağlantı şemasını gerçekleştiriniz.
- $\alpha = 45^\circ$ için, tristör ve yük uçlarındaki gerilimlerin değişimlerini altalta ve birbirine bağlı olarak çiziniz.
- $\alpha = 60^\circ$ iken, yük akımının efektif değeri ne olur?

Çözüm :



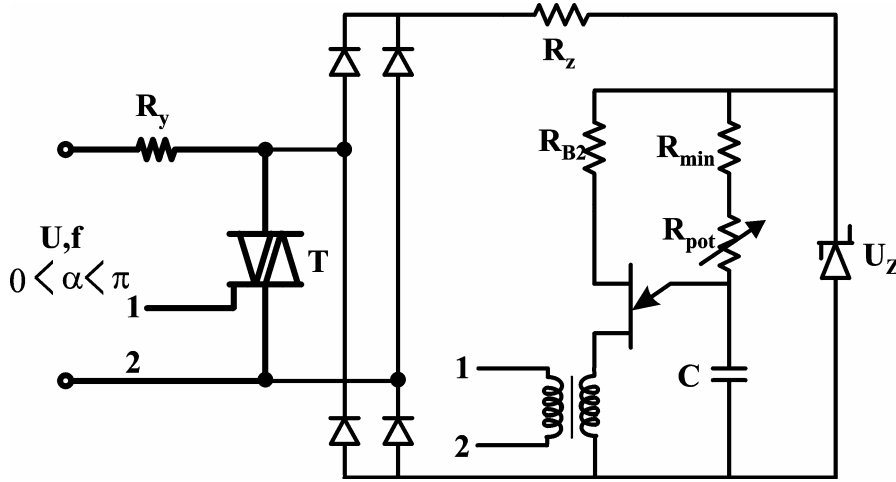
$$d) I_{ef} = \frac{P}{U} = \frac{2,2 \cdot 10^3}{220} = 10 \text{ A}$$

$$I_m = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

$$I_{TEF}^2 = \frac{I_m^2}{2\pi} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha) = \frac{(10\sqrt{2})^2}{2 \cdot 3,14} (3,14 - \frac{3,14}{3} + \frac{1}{2} \sin 120) = 80,45 \text{ A}^2$$

$$I_{TEF} = 8,97 \text{ A}$$

Problem 3



Şekildeki montajda,

a) $\alpha = 90^\circ$ olması için, R_{pot} ne olmalıdır?

b) $\alpha = 120^\circ$ iken, yük akımının efektif değeri ne olur?

$$U = 220 \text{ V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$R_y = 11 \Omega$$

$$\eta = 0.75$$

$$R_{min} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C = 1 \mu\text{F}$$

Çözüm :

a) $\alpha = 90^\circ$ için

$$t_\alpha = \frac{\alpha}{\pi} = \frac{90^\circ}{2 \cdot 180 \cdot 50} = 5 \text{ ms}$$

$$T = RC \ln \frac{1}{1 - \eta}$$

$$5 \cdot 10^{-3} = R \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot \ln \frac{1}{1 - 0.75}$$

$$R = 3.606 \text{ k}\Omega$$

$$R_{pot} = R - R_{min} = 3,6 - 1 = 2.6 \text{ k}\Omega$$

$$b) I_{ef} = \frac{U}{R_y} = \frac{220}{11} = 20 \text{ A}, I_m = 20\sqrt{2} \text{ A}$$

$$I_{TEF}^2 = \frac{I_m^2}{2\pi} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha)$$

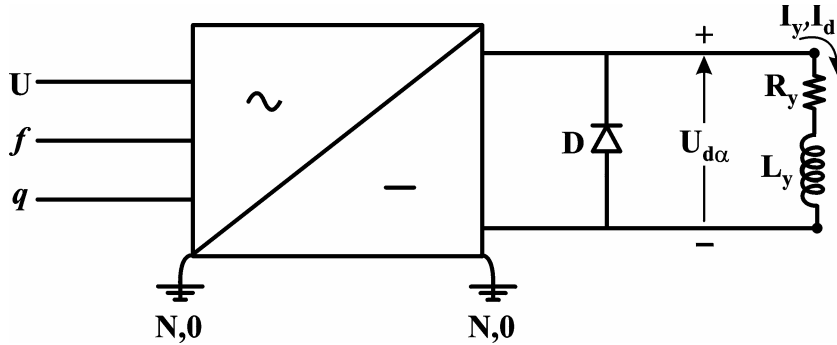
$$= \frac{(20\sqrt{2})^2}{2 \cdot 3,14} (3,14 - \frac{2 \cdot 3,14}{3} + \frac{1}{2} \sin 240)$$

$$I_{TEF}^2 = 78.2 \text{ A}^2$$

$$I_{TEF} = 8,84 \text{ A}$$

7. AC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER / DOĞRULTUCULAR

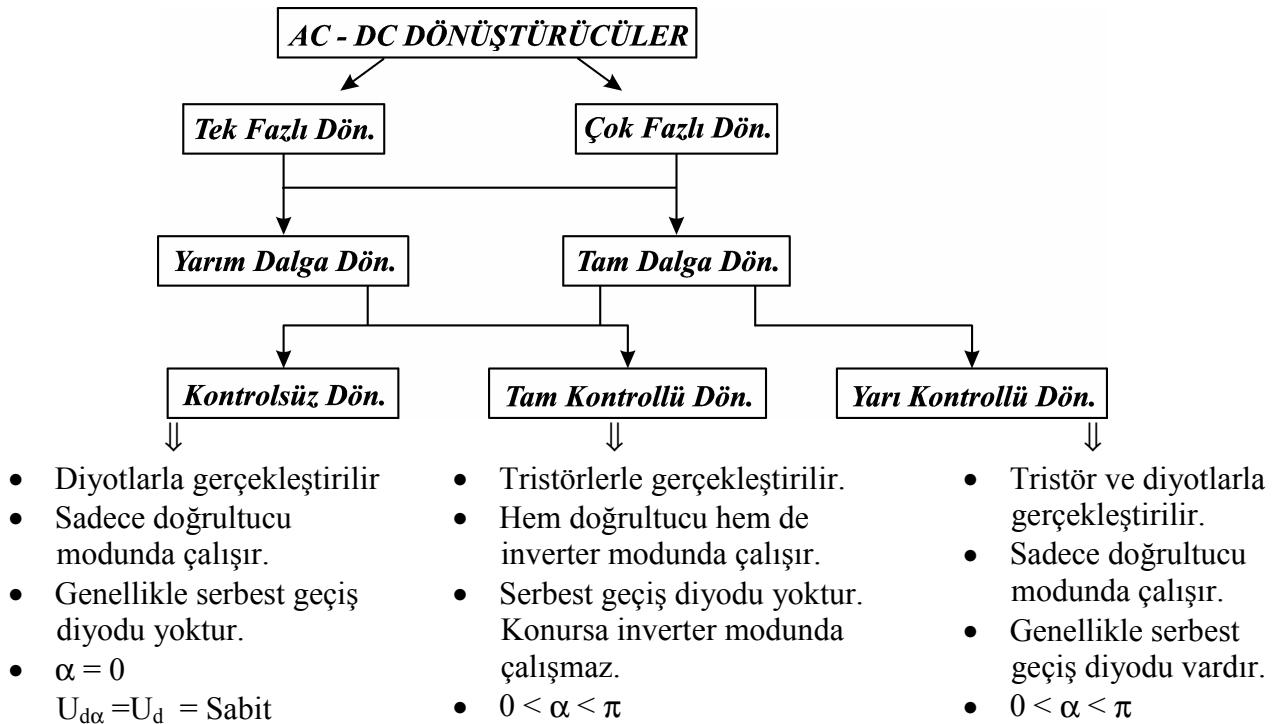
AC-DC Dönüştürücülerin Genel Özellikleri

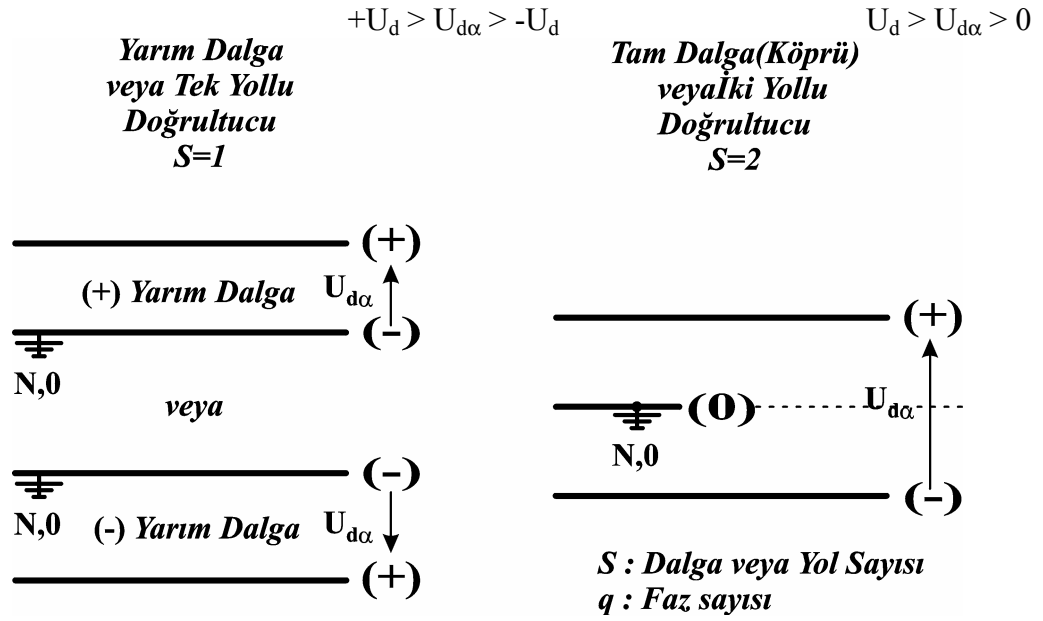


- $U_{1,2,3}$: Giriş (şebeke) faz gerilimleri (efektif değerler)
 f : Frekans
 q : Faz sayısı
 I_d, I_y : Çıkış (yük) akımı (ortalama değer)
 $U_{d\alpha}$: Çıkış gerilimi ($I_d \neq 0$ ve $\alpha \neq 0$), $\alpha = 0 \Rightarrow U_{d\alpha} = U_d$
 U_d : Max. çıkış gerilimi ($I_d \neq 0$ ve $\alpha = 0$)
 $U_{di\alpha}$: İdeal çıkış gerilimi ($I_d = 0$ ve $\alpha \neq 0$)
 U_{di} : Max. ideal çıkış gerilimi ($I_d = 0$ ve $\alpha = 0$)
 D : Serbest geçiş diyodu (Söndürme, komütasyon diyodu)

Doğal komütasyonlu ve problemsiz devrelerdir. Tristör ve diyotlarla gerçekleştirilir. Uygulama alanları: DC motor kontrolü, akümülatör şarjı, galvano teknikte kaplama ve DC gerilim kaynakları şeklinde sıralanabilir. Endüstride en yaygın olarak kullanılan dönüştürücülerdir.

AC-DC Dönüştürücülerin Sınıflandırması ve Karşılaştırılması



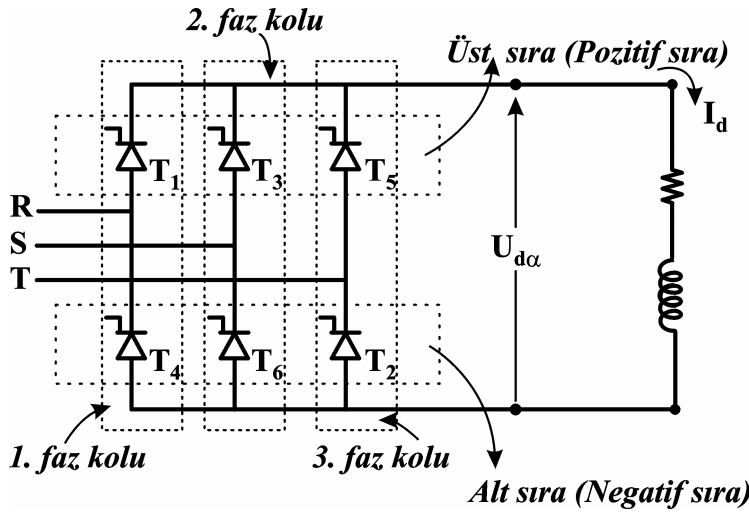


Temel AC-DC Dönüştürücü Devreleri ve Özellikleri

$\begin{matrix} q \\ s \end{matrix}$	1	2	3
1 <i>Pozitif Yarım Dalga</i>			
2 <i>Tam Dalga (Köprü)</i>			

AC şebeke $\xrightarrow{\text{Enerji}}$ DC yük \Rightarrow Doğrultucu Modu

AC şebeke $\xleftarrow{\text{Enerji}}$ DC yük \Rightarrow İnverter Modu

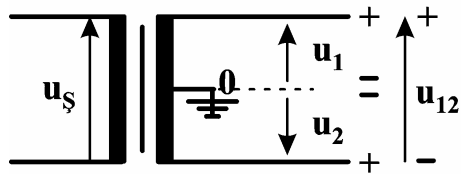


Üst ve alt sıradan herhangi birisi kullanılırsa Yarım Dalga Doğrultucu, her ikisini de kullanılırsa Tam Dalga Doğrultucu elde edilir.

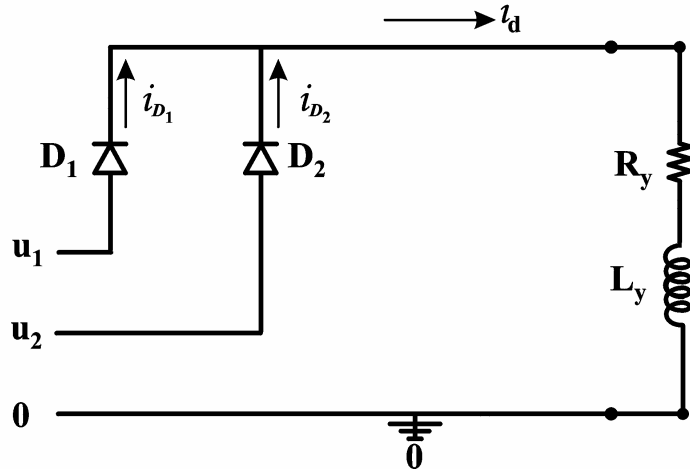
Serbest geçiş diyodu, yük akımının sürekliliğini sağlar. Çıkış gerilimi $U_{d\alpha}$ çok dalgalı da olsa, büyük değerli yük endüktansından dolayı çıkış akımı I_d sürekli ve sabit kabul edilir. Serbest geçiş diyodu olmadığında, sürekli kabul edilen DC yük akımını, hem üst hem de alt sıra elemanlar eşit aralıklarla ve sırayla geçirilirler. Hem üst hem de alt sırada, akımın bir elemandan diğerine aktarılışına Komütasyon Olayı denir ve bu aktarma işlemlerinin başlangıç ya da sıfır noktaları ardışık faz gerilimlerinin kesişim noktalarıdır. Diyotlu devrelerde sıfır noktalarında kendiliğinden oluşan bu aktarım olayları, tristörlü devrelerde tetikleme sinyalleriyle geciktirilebilir. Bu α gecikme açıları $0 - \pi$ aralığında ayarlanabilir. Bu açığa Tetikleme Gecikmesi veya Gecikme Açısı denir. Üst ve alt sıradan aynı anda sadece birer eleman iletimde kalabilir.

İki Fazlı Yarım Dalga Kontrolsüz Doğrultucu ($q=2$, $s=1$ ve $\alpha = 0$)

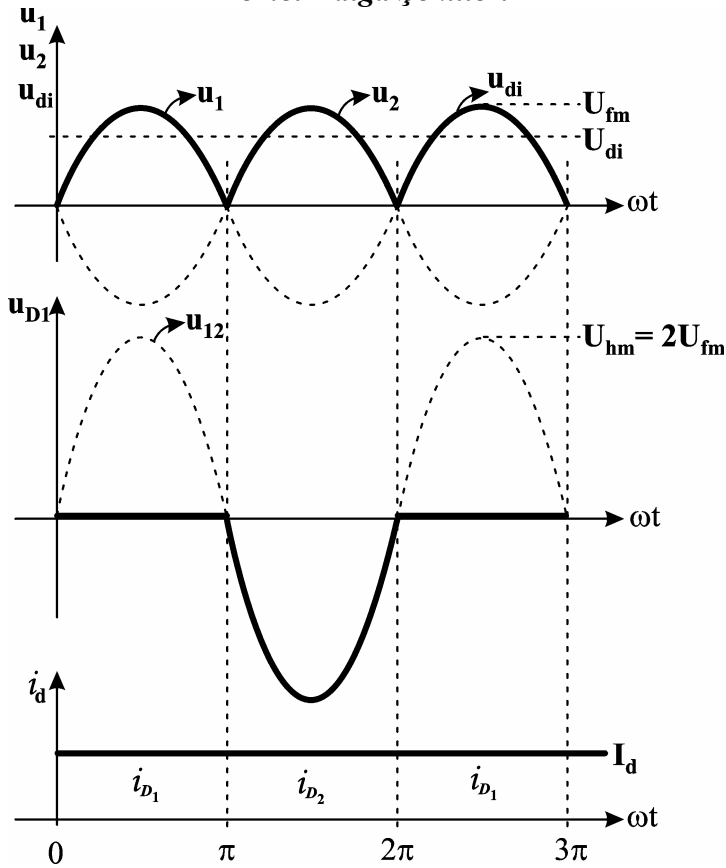
İki Fazlı Sistemin Elde Edilmesi



Devre Şeması



Temel Dalga Şekilleri



İki Fazlı Sistemde:

$$u_{12} = u_1 - u_2$$

$$U_1 = U_2 = U_f$$

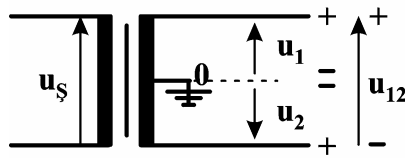
$$U_{12} = U_h = 2U_f$$

$$U_h = 2U_f$$

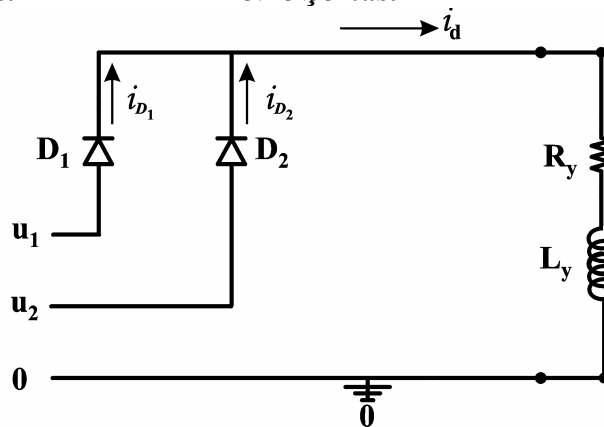
$$U_{hm} = 2U_{fm}$$

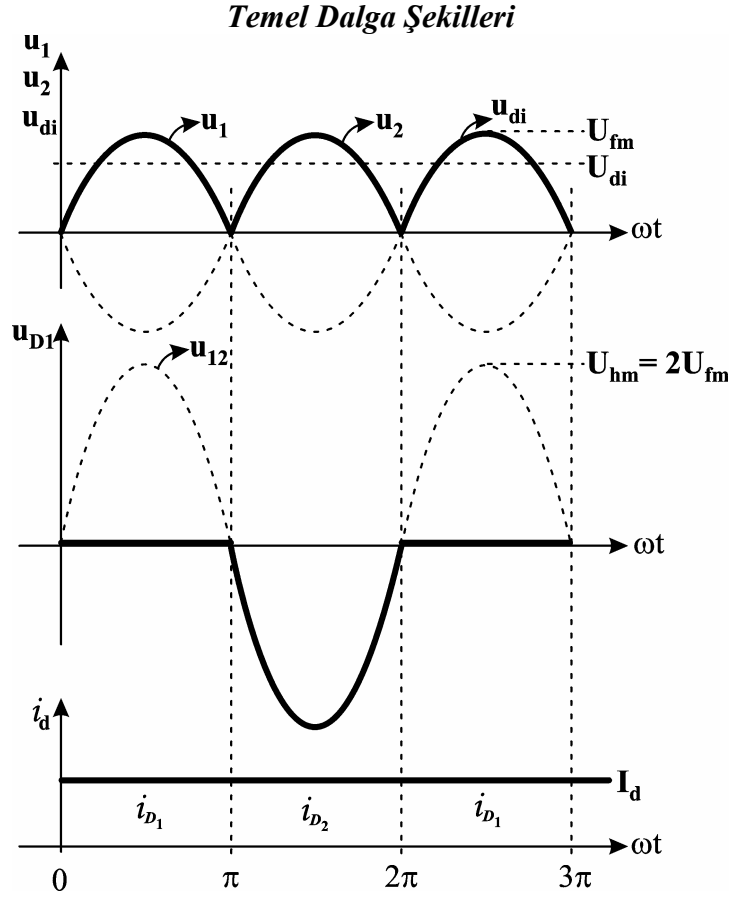
**İki Fazlı Yarım Dalgı Kontrollü Doğrultucu
($q=2$, $s=1$ ve $\alpha \neq 0$)**

İki Fazlı Sistemin Elde Edilmesi



Devre Şeması



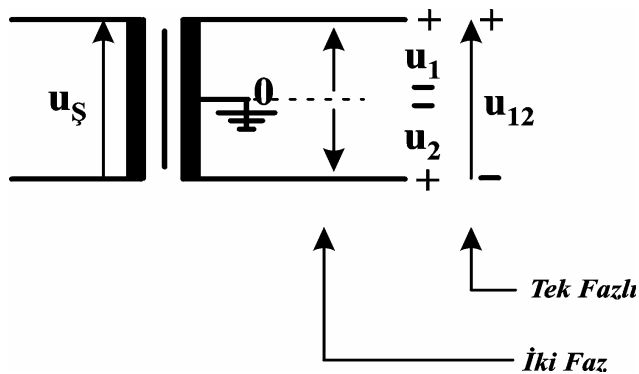


İdeal Çıkış Geriliminin Hesabı

Yukarıda verilen 2 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucuda, çıkış geriliminin bir cosinüs fonksiyonu olduğu düşünülerek, ideal çıkış gerilimi ortalama olarak hesaplanmıştır.

Burada, U girişteki AC şebekenin efektif faz gerilimidir. $\sqrt{2}U$ ise bu gerilimin maksimum değeridir.

Tek Fazlı Dönüştürücünün 2 Fazlı Eşdeğeri



$$U_{di\alpha} = \frac{1}{2\pi/q} \cdot \int_{-(\pi/q-\alpha)}^{(\pi/q+\alpha)} \sqrt{2} \cdot U \cdot \cos(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$U_{di\alpha} = \frac{q}{\pi} \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cos \alpha \text{ bulunur.}$$

$$U_{di} = \frac{q}{\pi} \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \frac{\pi}{q} \text{ olmak üzere,}$$

$$U_{di\alpha} = U_{di} \cdot \cos \alpha \text{ yazılabilir.}$$

Tek Fazlı Sistem

$q=1$
 s
 U_f
 I_d
 R_k
 L_k

İki Fazlı Eşdeğeri

$q=2$
 s
 $U_1 = U_2 = U_f/2$
 I_d
 $R_k/2$
 $L_k/2$

İdeal Çıkış Gerilimi İfadesinin Genelleştirilmesi

Doğrultucularda bütün analiz faz sayısına bağlı olarak genelleştirilecektir. Yarım dalga bir doğrultucuda, tek fazlı hariç, 2π 'lik bir periyotta faz sayısı kadar tepe vardır. Tek fazlı doğrultucu bu genellemeye uymadığından, burada verilen genel bağıntıların kullanılabilmesi için, tek fazlı doğrultucunun 2 fazlı eşdeğeri dikkate alınmalıdır.

Tam dalga bir doğrultucunun çıkış gerilimi, aynı faz sayılı eşdeğer yarım dalga bir doğrultucu çıkış geriliminin 2 katıdır. Bu durumda, doğrultucu çıkış gerilimi,

$$U_{di} = s \cdot \frac{q}{\pi} \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

$$U_{di\alpha} = U_{di} \cdot \cos\alpha$$

şeklinde genelleştirilebilir. Burada, U girişteki AC şebekenin efektif faz gerilimidir. $\sqrt{2} U$ faz geriliminin genliği veya maksimum değeridir.

$\alpha = 0$ için, $U_{di\alpha} = U_{di}$

$\alpha < \pi/2$ için, $U_{di\alpha} > 0 \Rightarrow$ Doğrultucu Modu

$\alpha = \pi/2$ için, $U_{di\alpha} = 0$

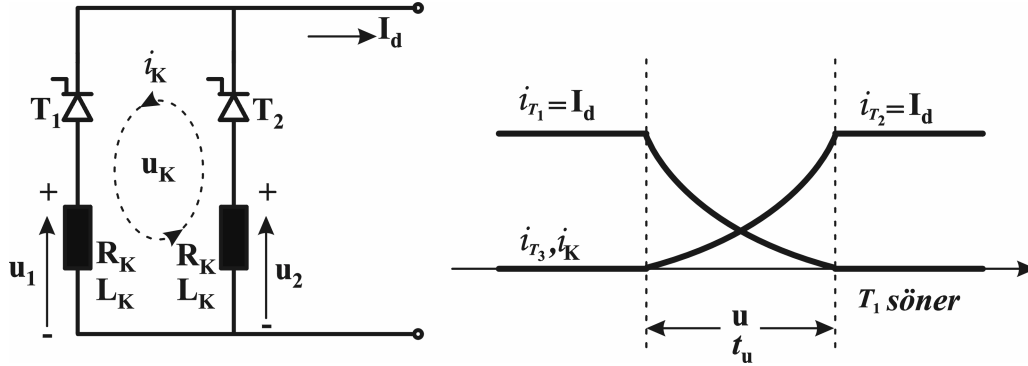
$\alpha > \pi/2$ için, $U_{di\alpha} < 0 \Rightarrow$ İnverter Modu

Bir doğrultucuda, sabit kabul edilen çıkış veya yük akımı I_d 'nin yönü değiştirilemez. Ancak, kontrollü doğrultucularda her iki yönde de gerilim elde edilebilir.

Bu durumda, doğrultucu modunda çıkış gücü pozitifdir, yani AC gerilim DC'ye çevrilir ve AC şebekeden DC yüke enerji aktarılır. İnverter modunda ise, çıkış gücü negatiftir, yani DC gerilim AC'ye çevrilir ve DC çıkıştaki enerji AC şebekeye aktarılır.

Komütasyon Olayı

Burada, üç fazlı bir doğrultucuda, T_3 'ün tetiklenmesiyle T_1 'in geçirmekte olduğu I_d akımını T_3 'ün üzerine alması ve T_1 'in sönmesi olayı incelenmiştir.



T_1 iletimde ve I_d akımını geçirmekte iken, T_3 tetiklendiğinde, çok kısa süren bir Kısa Devre veya Komütasyon Olayı oluşur. Fazlararası u_k gerilimi, i_k komütasyon akımını geçirir. t_u kadar bir sürede T_3 akımı I_d 'ye erişir ve T_1 akımı 0'a düşer. T_1 söner ve böylece I_d yük akımı T_1 'den T_3 'e aktarılmış olur. Komütasyon süresi L_k 'ya bağlıdır.

- u_k : Komütasyon Gerilimi
- i_k : Komütasyon Akımı
- u : Komütasyon Açısı
- t_u : Komütasyon Süresi
- t_q : Sönme Süresi
- γ : Sönme Açısı
- β : Avans Açısı
- α_{max} : Maksimum Tetikleme Açısı
- R_k : Bir Faz Kolunun Direnci
- L_k : Bir Faz Kolunun Endüktansı

$$u_k = u_{21} = u_2 - u_1 = \sqrt{2}U_k \sin \omega t$$

$$u = \omega t_u$$

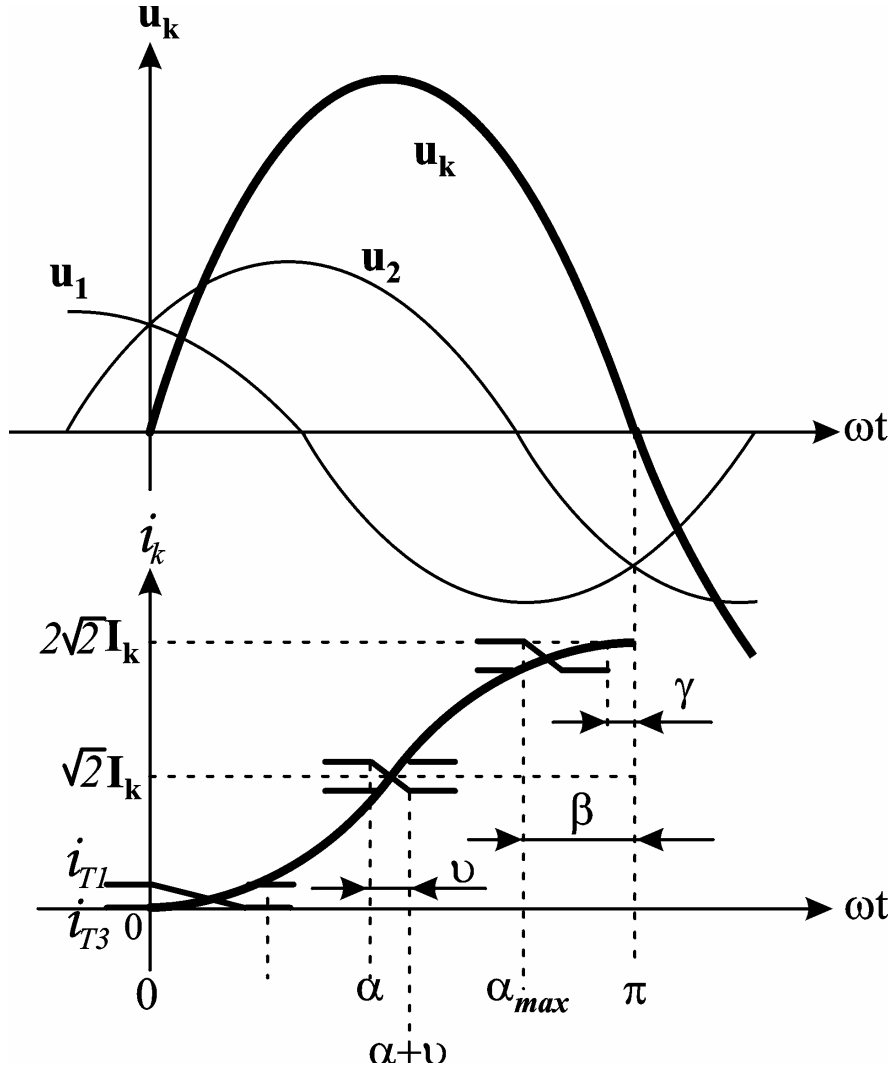
$$\gamma = \omega t_q$$

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_f : \text{Efektif Faz Gerilimi}$$

$$U_{12} = U_{23} = U_{31} = U_h : \text{Efektif Hat (Fazlararası) Gerilimi}$$

$$U_h = 2 U_f \cdot \sin \frac{\pi}{q} \Rightarrow U_h = \sqrt{3} U_f \text{ 3 Fazlı Sistemde}$$

$$v_f = \sqrt{2} U_f \cdot \sin \omega t \quad v_h = \sqrt{2} U_h \cdot \sin \omega t$$



Komütasyonun oluşabilmesi için,

$$u_k = u_{21} = u_2 - u_1 > 0 \text{ olmalıdır.}$$

O halde komütasyon $0-\pi$ aralığında mümkündür.

$$u_k = 2 L_k \frac{di_k}{dt}$$

$$\sqrt{2} U_k \sin \omega t = 2 L_k \cdot \frac{di_k}{dt}$$

$$di_k = \frac{\sqrt{2} \cdot U_k}{2 L_k} \sin \omega t \cdot dt$$

$$i_k = -\sqrt{2} \frac{U_k}{2 \omega L_k} \cos \omega t + C$$

$$i_k = -\sqrt{2} \cdot I_k \cdot \cos \omega t + C$$

$$i_k(0) = -\sqrt{2} \cdot I_k + C = 0$$

$$\Rightarrow C = \sqrt{2} \cdot I_k$$

$$i_k = \sqrt{2} I_k (1 - \cos \omega t) \text{ bulunur.}$$

$$I_k = \frac{U_k}{2 \omega L_k}$$

$$U_k = U_h = \sqrt{3} U_f \text{ üç fazda}$$

Burada I_k , kararlı rejimde fazlararası kısa devre akımının efektif değeridir. Bu devrede böyle bir akım geçmez, çünkü kısa devre T_1 sönene kadar yani çok kısa sürer. Elemanlardan geçen akım hiç I_d 'yi aşmaz.

Herhangi Bir α Anında Komütasyon Süresinin Hesabı

$$i_k(\alpha+u) - i_k(\alpha) = I_d \quad I_d : \text{yük akımı}$$

$$u = \arccos \left[\cos \alpha - \frac{I_d}{\sqrt{2} I_k} \right] - \alpha$$

$$t_u = \frac{u}{\omega}$$

Max. Tetikleme Açısının Hesabı

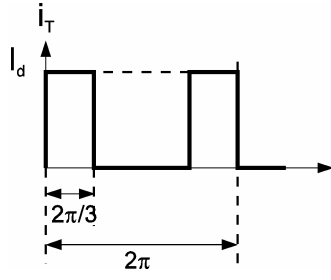
$$i_k(\pi - \gamma) - i_k(\pi - \beta) = I_d$$

$$\beta = \arccos \left[\cos \gamma - \frac{I_d}{\sqrt{2} I_k} \right]$$

$$\gamma = \omega \cdot t_q$$

$$\alpha_{max} = \pi - \beta$$

Bir Elemanın Maruz Kaldığı Akım ve Gerilimin Hesabı



$$I_{TAV} = \frac{1}{q} I_d$$

$$I_{TEF} = \sqrt{\frac{1}{q}} I_d$$

$$\begin{aligned} U_{DRM}, U_{RRM} &> U_{hm} \\ &> \sqrt{2} U_h \\ &> \sqrt{2} \cdot 2 U_f \cdot \sin \frac{\pi}{q} \\ &> \sqrt{6} U_F \text{ 3 fazda} \\ &> 2\sqrt{2} U_F \text{ 2 fazda} \end{aligned}$$

Gerilim Düşümleri

Omik Gerilim Düşümü

$$D_r = s R_k I_d \quad s : \text{Yol Sayısı}$$

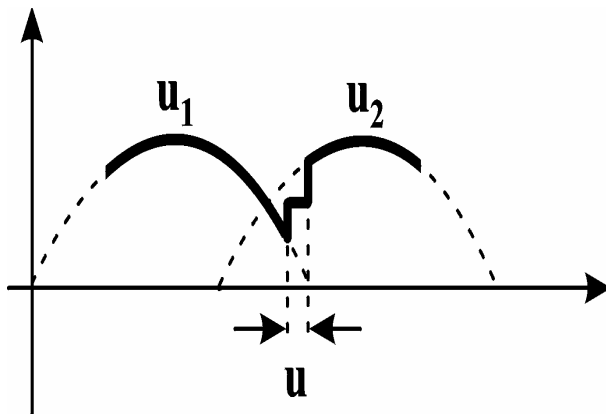
$$R_k : \text{Bir Faz Kolu Direnci}$$

Elemanların Gerilim Düşümü

$$D_T = s U_T \quad U_T : \text{Bir tristör ya da diyodun iletim gerilim düşümü}$$

Endüktif Gerilim Düşümü

Komütasyon olayının sebep olduğu gerilim düşümüdür.



Bir alan kaybı :

$$1AK = \int_0^{t_u} \frac{u_k}{2} dt, \quad u_k = 2 \cdot L_k \cdot \frac{di_k}{dt}$$

$$1AK = \int_0^{t_u} L_k di_k = L_k \cdot \int_0^{I_d} di_k$$

$$1AK = L_k \cdot I_d$$

Tam dalga doğrultucuda ve bir s' deki alan kaybı :

$$D_x = s \cdot f \cdot q \cdot L_k \cdot I_d \text{ bulunur.}$$

Toplam Gerilim Düşümü

$$\Delta U = D_r + D_T + D_x$$

Sonuç Gerilim Bağlıları ve Dönüştürücü Çıkış Karakteristiği

Gerilim Bağlıları Sonuçları:

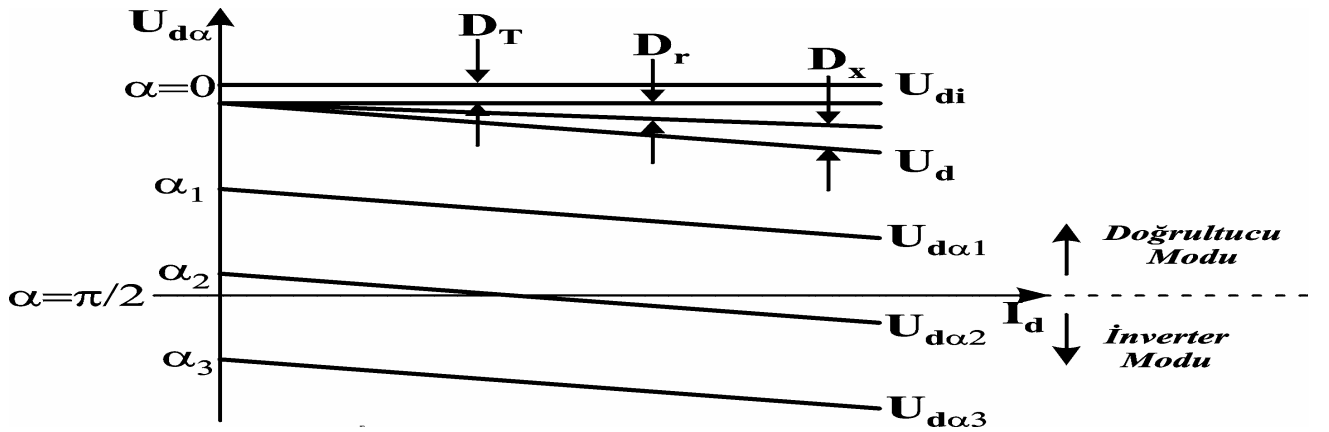
$$U_{di} = s \cdot \frac{q}{\pi} \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \frac{\pi}{q} \quad (\alpha = 0 \text{ ve } I_d = 0)$$

$$U_{di\alpha} = U_{di} \cdot \cos \alpha \quad (\alpha \neq 0 \text{ ve } I_d = 0)$$

$$U_d = U_{di} - \Delta U \quad (\alpha \neq 0 \text{ ve } I_d \neq 0)$$

$$U_{d\alpha} = U_{di\alpha} - \Delta U \quad (\alpha \neq 0 \text{ ve } I_d \neq 0)$$

Çıkış veya Yük Karakteristiği:



KONU İLE İLGİLİ ÇÖZÜLMÜŞ PROBLEMLER

Problem 1

Yanda bazı değerleri verilen 3 fazlı tam dalga bir doğrultucuda, yük geriliminin 55 V olabilmesi için α açısı kaç dereceye ayarlanmalıdır ?

$$U = 110 \text{ V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$q = 3$$

$$I_d = 10 \text{ A}$$

$$R_k = 0,5 \Omega$$

$$L_k = 5 \text{ mH}$$

$$U_T = 1,5 \text{ V}$$

$$t_q = 120 \mu\text{s}$$

Çözüm :

$$U_{di} = s \cdot \frac{q}{\pi} \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \frac{\pi}{q} = 2 \cdot \frac{3}{\pi} \sqrt{2} \cdot 110 \cdot \sin \frac{\pi}{3} = 257,3 \text{ V}$$

$$\Delta U = \underbrace{s U_T}_{D_T} + \underbrace{s R_k I_d}_{D_R} + \underbrace{2 f L_k q I_d}_{D_X} = 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 0,5 \cdot 10 + 2 \cdot 50 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$\Delta U = 28 \text{ V}$$

$$U_{di\alpha} = U_{d\alpha} + \Delta U \quad \Rightarrow \quad U_{di\alpha} = 55 + 28 = 83 \text{ V}$$

$$U_{di\alpha} = U_{di} \cdot \cos \alpha \quad \Rightarrow \quad 83 = 257,3 \cdot \cos \alpha \quad \Rightarrow \quad \cos \alpha = 0,322 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 71,8^\circ$$

Problem 2

İlgili bazı etiket değerleri verilen tek fazlı tam dalga kontrollu bir doğrultucu ile 100 A'lık bir DC motor kontrol edilmektedir.

U=220 V
f=50 Hz
I_d=100 A
R_k=100 mΩ
L_k=1 mH
U_T=2 V
t_q=300 μs

- a) α = 0° iken, yük gerilimi kaç V olur?
b) Yük geriliminin 110 V olabilmesi için, α açısı kaç dereceye ayarlanmalıdır?
c) α = 90° iken, komütasyon kaç μs sürer?
d) α açısı en fazla kaç derece yapılabilir?

Çözüm :

Dönüşüm	q	s	U	I	R _k	L _k
Tek Fazlı Sistem	1	2	220	100	100 m	1 m
İki Fazlı Sistem	2	2	110	100	50 m	500 μ

- a) α=0° iken, U_d=?

$$U_{di} = s \frac{q}{\pi} \sqrt{2} U \sin \frac{\pi}{q}$$

$$= 2 \frac{2}{\pi} \sqrt{2} 110 \sin \frac{\pi}{2}$$

$$U_{di} \cong 198 \text{ V}$$

$$U_d = U_{di} - \Delta U$$

$$= 198 - 24$$

$$U_d = 174 \text{ V}$$

$$D_T = s \cdot U_T = 2 \cdot 2 = 4 \text{ V}$$

$$D_r = s \cdot R_k \cdot I_d = 3 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 10 \text{ V}$$

$$D_x = s \cdot f \cdot q \cdot L_k \cdot I_d$$

$$= 2 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \cdot 100$$

$$= 10 \text{ V}$$

$$\Delta U = D_T + D_r + D_x = 4 + 10 + 10$$

$$\Delta U = 24 \text{ V}$$

- b) U_{dα} = 110 V için α=?

$$U_{di\alpha} = U_d + \Delta U = 110 + 24$$

$$U_{di\alpha} = 134 \text{ V}$$

$$U_{di\alpha} = U_{di} \cdot \cos \alpha$$

$$134 = 198 \cdot \cos \alpha$$

$$\alpha \cong 47,4^\circ$$

- c) α=90° iken, t_u = ?

$$I_k = \frac{U_k}{2\omega L_k} = \frac{2 \cdot U \cdot \sin(\pi/q)}{2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot L_k}$$

$$= \frac{2 \cdot 110 \cdot \sin(\pi/2)}{2 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 500 \cdot 10^{-6}}$$

$$I_k \cong 700 \text{ A}$$

$$u = \arccos \left[\cos \alpha - \frac{I_d}{\sqrt{2} I_k} \right] - \alpha$$

$$= \arccos \left[\cos 90^\circ - \frac{100}{\sqrt{2} \cdot 700} \right] - 90^\circ$$

$$u = 5,7976^\circ$$

$$t_u = \frac{u}{\omega} = \frac{5,7976}{2 \cdot 180 \cdot 50} = 322 \mu\text{s}$$

- d) α_{max} = ?

$$\gamma = \omega \cdot t_q = 2 \cdot 180 \cdot 50 \cdot 300 \cdot 10^{-6} = 5,4^\circ$$

$$\beta = \arccos \left[\cos(\alpha + \gamma) - \frac{I_d}{\sqrt{2} I_k} \right]$$

$$\beta = \arccos \left[\cos(5,4^\circ) - \frac{100}{\sqrt{2} \cdot 700} \right]$$

$$\beta = 26,55^\circ$$

$$\alpha_{\max} = \pi - \beta = 180 - 26,55 = 153,45^\circ \text{ bulunur.}$$

Problem 3

İlgili bazı değerleri verilen üç fazlı yarım dalga kontrollü bir doğrultucu ile 150 A'lık bir DC motor kontrol edilmektedir.

- a) $\alpha = 30^\circ$ iken, yük gerilimi kaç V olur?
 b) $\alpha = 60^\circ$ iken, komütasyon kaç μs sürer?
 c) Bir tristörden geçen akımın ortalama ve efektif değerleri ne olur ?

$$\begin{aligned} U &= 220 \text{ V} \\ f &= 50 \text{ Hz} \\ I_d &= 150 \text{ A} \\ R_k &= 100 \text{ m}\Omega \\ L_k &= 1 \text{ mH} \\ U_T &= 2 \text{ V} \\ t_q &= 200 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Çözüm :

- a) $\alpha=30^\circ$ iken, $U_{d\alpha}=?$

$$\begin{aligned} U_{di} &= s \frac{q}{\pi} \sqrt{2} U \sin \frac{\pi}{q} \\ &= 1 \frac{3}{\pi} \sqrt{2} 220 \sin \frac{\pi}{3} \end{aligned}$$

$$U_{di} \cong 257,3 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} U_{di\alpha} &= U_{di} \cdot \cos \alpha \\ &= 257,3 \cdot \cos 30^\circ \end{aligned}$$

$$U_{di\alpha} \cong 222,8 \text{ V}$$

$$D_T = s \cdot U_T = 1 \cdot 2 = 2 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} D_r &= s \cdot R_k \cdot I_d = 1 \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 150 \\ &= 15 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_x &= s \cdot f \cdot q \cdot L_k \cdot I_d \\ &= 1 \cdot 50 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 150 \\ &= 22,5 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\Delta U = D_T + D_r + D_x = 2 + 15 + 22,5$$

$$\Delta U = 39,5 \text{ V}$$

$$U_{d\alpha} = U_{di\alpha} - \Delta U$$

$$= 222,8 - 39,5$$

$$U_{d\alpha} = 183,3 \text{ V bulunur.}$$

- b) $\alpha=60^\circ$ iken, $t_u=?$

$$\begin{aligned} I_k &= \frac{U_k}{\omega_k} = \frac{2 \cdot U \cdot \sin(\frac{\pi}{q})}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k} \\ &= \frac{2 \cdot 220 \cdot \sin(\frac{\pi}{3})}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} \end{aligned}$$

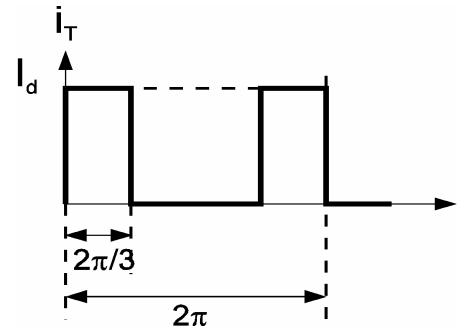
$$I_k \cong 606,5 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} u &= \arccos \left[\cos \alpha - \frac{I_d}{\sqrt{2} I_k} \right] - \alpha \\ &= \arccos \left[\cos 60^\circ - \frac{150}{\sqrt{2} \cdot 606,5} \right] - 60^\circ \end{aligned}$$

$$u = 11,0273^\circ$$

$$t_u = \frac{u}{\omega} = \frac{11,0273}{2 \cdot 180 \cdot 50} = 612,6 \mu\text{s}$$

- c) $I_{TAV} = I_{TEF}=?$

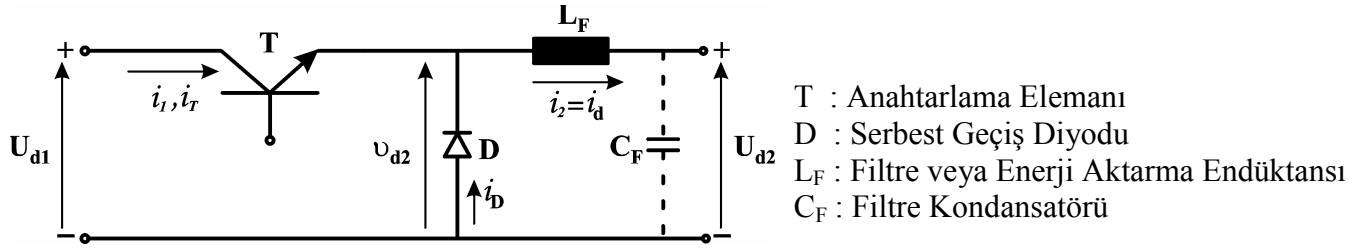


$$I_{TAV} = \frac{1}{q} I_d = \frac{1}{3} 150 = 50 \text{ A}$$

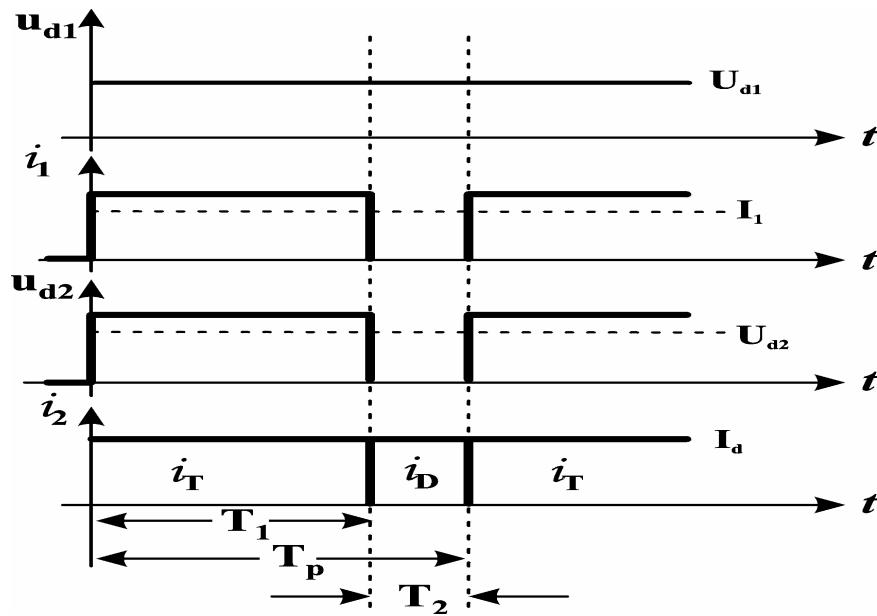
$$I_{TEF} = \sqrt{\frac{1}{q}} I_d = \sqrt{\frac{1}{3}} 150 \cong 86,6 \text{ A}$$

8. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER / DC KIYICILAR

Temel DC Kıyıcı Devresi



DC Kıyıcının Temel Dalga Şekilleri



DC Kıyıcının Temel Özellikleri

DC kıyıcılar zorlamalı komütasyonlu devrelerdir. Öncelikle frekansa ve güce bağlı olarak BJT, IGBT ve MOSFET; çok yüksek güçlerde ise SCR kullanılır. Uygulama alanları, DC motor kontrolü, akümülatör şarjı, anahtarlama güç kaynakları, DC gerilim regülatörleri olarak sıralanabilir. D diyodu, çıkış veya endüktans akımının devamını veya sürekliliğini sağlar. Bu diyodun kullanılması zorunludur. Aksi halde, akımın ani olarak kesilmesiyle, L_f endüktansında U_{d1} kaynak gerilimini destekleyecek yönde büyük değerli bir emk oluşur. Bu durumda, U_{d1} + emk toplam gerilimi elemanı veya yükü tahrip eder.

Frekans arttıkça, çıkış akım ve gerilimindeki dalgalanmalar azalır. Dolayısıyla, frekans yükseldikçe, filtre elemanları küçülür, devrenin boyutu ile fiyatı düşer ve güç yoğunluğu artar. Çalışma frekansı doğrudan kullanılan elemana bağlıdır. L_f endüktansı, akımı sürekli ve sabit hale getirir veya akımı düzleştirir. Buna akım düzeltme bobini de denir.

$$U_{d2} = \frac{T_1}{T_p} U_{d1}$$

$$\frac{T_1}{T_p} = \lambda$$

$$U_{d2} = \lambda \cdot U_{d1}$$

$$f_p = \frac{1}{T_p}$$

$$T_p = T_1 + T_2$$

λ : Bağlı İletim Oranı

T_1 : İletim Süresi

T_2 : Kesim Süresi

T_p : Darbe Periyodu

f_p : Darbe Frekansı

DC Kıyıcıda Gerilim Kontrol Yöntemleri

1. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)

Darbe frekansı dolayısıyla darbe periyodu sabit olmak üzere, darbe genişliğini değiştirerek yapılan kontrol yöntemidir. En çok tercih edilen ve endüstride en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.

$$U_{d2} = \frac{T_1}{T_p} U_{d1} = T_1 \cdot f_p \cdot U_{d1}$$

$$f_p : \text{sabit} \Rightarrow T_1 \uparrow \downarrow, \lambda \uparrow \downarrow, U_{d2} \uparrow \downarrow$$

2. Frekans Modülasyonu (FM)

Darbe genişliği sabit olmak üzere, darbe frekansını dolayısıyla darbe periyodunu değiştirerek yapılan kontrol yöntemidir. Zorunlu hallerde kullanılır.

$$U_{d2} = T_1 \cdot f_p \cdot U_{d1}$$

$$T_1 : \text{sabit} \Rightarrow f_p \uparrow \downarrow, \lambda \uparrow \downarrow, U_{d2} \uparrow \downarrow$$

3. Darbe Genişlik ve Frekans Modülasyonu (PWM ve FM)

Hem darbe genişliğini hem de darbe frekansını değiştirerek yapılan kontrol yöntemidir. Özellikle motor kontrolünde geçici rejimlerde zorunlu olarak kullanılır. Tercih edilmez.

KONU İLE İLGİLİ ÇÖZÜLMÜŞ PROBLEMLER**Problem 1**

Giriş gerilimi 250 V ve darbe frekansı 10 kHz olan bir DC kıyıcı ile 50 A'lık bir DC motor kontrol edilmektedir.

- $\lambda=4/5$ iken, yük gerilimi ile kıyıcı ve serbest geçiş diyodunun iletim sürelerini hesaplayınız.
- Yük geriliminin 100 V olabilmesi için, λ hangi değere ayarlanmalıdır? Bu durumda, serbest geçiş diyonu akımının ortalama ve efektif değerlerini bulunuz.

NOT: Devre kayıplarını ihmal ediniz ve yük akımının sabit kaldığını kabul ediniz.

Çözüm :

$$\begin{aligned} \text{a) } \lambda=4/5 \text{ iken,} \\ U_{d2} &= \lambda \cdot U_{d1} \\ &= 4/5 \cdot 250 \\ U_{d2} &= 200 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_p &= \frac{1}{f_p} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} \\ T_p &= 100 \mu\text{s} \end{aligned}$$

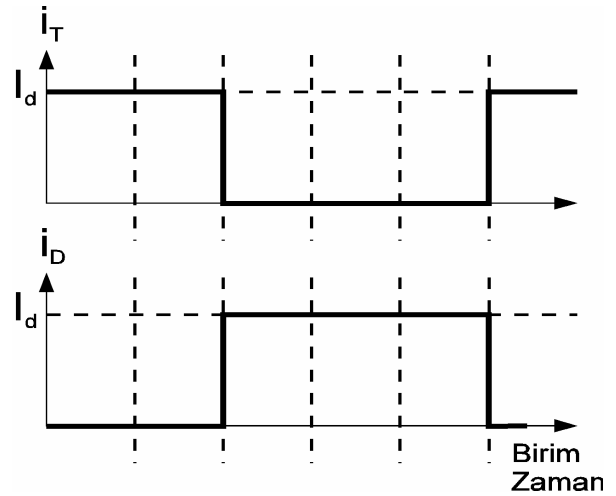
$$\begin{aligned} T_1 &= \lambda \cdot T_p \\ &= 4/5 \cdot 100 \\ T_1 &= 80 \mu\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= T_p - T_1 \\ &= 100 - 80 \\ T_2 &= 20 \mu\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } U_{d2} &= 100 \text{ V} \\ U_{d2} &= \lambda \cdot U_{d1} \\ 100 &= \lambda \cdot 250 \\ \lambda &= 2/5 \Rightarrow (1-\lambda) = 3/5 \end{aligned}$$

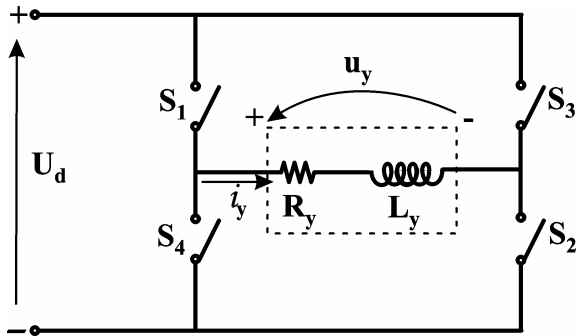
$$\begin{aligned} I_{DAV} &= 3/5 \cdot I_d = 3/5 \cdot 50 \\ &= 30 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{DEF} &= \sqrt{3/5} I_d = \sqrt{3/5} \cdot 50 \\ &= 38,73 \text{ A} \end{aligned}$$

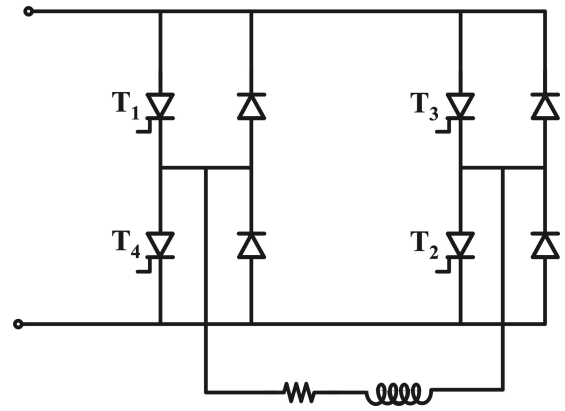


9. DC-AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER / İNVERTERLER

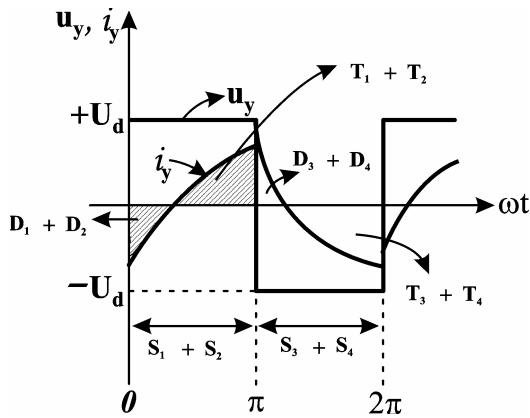
Tek Fazlı Temel İnverter Devresi



S_1, S_2, S_3, S_4 : Yarı İletken Şalterler



Tek Fazlı İnverterin Temel Dalga Şekilleri



Tek Fazlı İnverterin Temel Özellikleri

İnverterler, zorlamalı komütasyonlu devrelerdir. Eleman seçimi DC kıyıcılardaki gibidir. AC motor kontrolü, kesintisiz güç kaynakları, endüksiyonla ısıtma sistemleri, yüksek gerilim DC taşıma ve AC gerilim regülatörleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Tek fazlı bir inverterde, karşılıklı 2 anahtar grubu (S_1+S_2) ile (S_3+S_4)'ün ardışık ve eşit aralıklarla iletimde tutulmasıyla, kare veya dikdörtgen dalga şeklinde bir Alternatif Gerilim elde edilir. Bu invertere Kare Dalga İnverter de denilir.

Burada, enerji akışı, tristörler iletimde iken DC kaynaktan AC yüke doğru, ve diyotlar iletimde iken AC yükten DC kaynağa doğrudur. Diyotlar, temel olarak yükte biriken enerjiyi kaynağa geri verme görevini yaparlar. Yük akımının reaktif bileşeni arttıkça diyottan geçen akım da artar. Omik yüklerde teorik olarak diyotlara gerek kalmaz, fakat uygulamada emniyet açısından diyotlar yine bağlanır. Saf endüktif yüklerde, tristör ve diyotlardan geçen akımlar birbirine eşittir. Yani tristörler üzerinden yüke gelen enerji hiç harcanmadan diyotlar vasıtasıyla kaynağa geri verilir. Yükün gerilim ve akımı arasındaki faz farkı arttıkça, diyotların akımı artar.

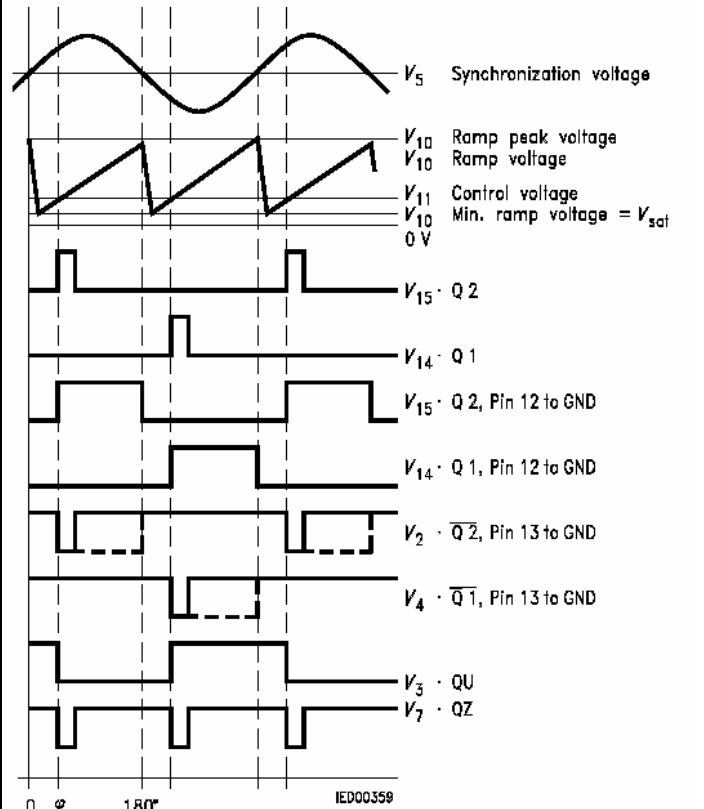
İnverter uygulamalarında Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) yaygın olarak kullanılmaktadır. İnverterlerde PWM metodu ile hem gerilimin hem de frekansın kontrolü sağlanmaktadır. Aynı zamanda, uygun darbe genişlikleri seçilerek harmonik eliminasyonu da yapılabilmektedir.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ I İLE İLGİLİ TEORİK SORULAR

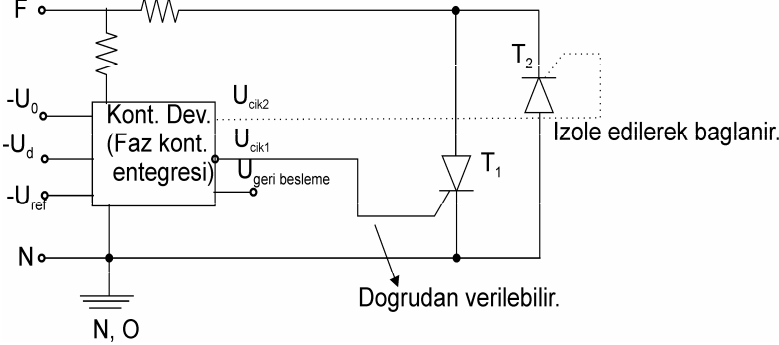
1. Temel dönüştürücülerin genel görev ve özellikleri ile başlıca uygulama alanlarını sıralayınız.
2. Zener diyodunun ne amaçla ve nasıl kullanıldığını, u-i karakteristiği ve basit bir devre üzerinde kısaca açıklayınız.
3. SCR’de kendiliğinden iletim geçme sebeplerini ve Sicim Olayını açıklayınız.
4. BJT’de aşırı doyumun ne olduğunu ve nasıl önlendiğini, iletim karakteristiği ve basit bir sürme devresi üzerinde açıklayınız.
5. GTO, MCT ve IGBT elemanları hakkında bildiklerinizi açıklayınız.
6. BJT, MOSFET, GTO ve IGBT elemanlarını, 5 farklı açıdan karşılaştırınız ya da iyiden kötüye doğru sıralayınız.
7. Yarı iletken elemanlara paralel olarak bağlanan R-C elemanının görev ve fonksiyonlarını açıklayınız.
8. Tetikleme veya sürme sinyallerinin niçin ve nasıl izole edildiğini açıklayınız.
9. Opto bağlayıcıların ne amaçla ve hangi elemanlarla kullanıldığını, basit bir devre üzerinde izah ediniz. Bu elemanlar hakkında bildiklerinizi anlatınız.
10. AC kıyıcıların prensip devresini gerçekleştirerek, omik bir yük ve $\alpha=60^\circ$ için, kıyıcı ve yük gerilimlerinin değişimlerini altalta çiziniz. Devrenin çalışmasını kısaca izah ediniz.
11. Ters paralel bağlı 2 tristör ve bir UJT kullanarak, bir AC kıyıcı devresini gerçekleştiriniz. Omik bir yük ve $\alpha=120^\circ$ için, kıyıcı, yük ve kondansatör gerilimlerinin değişimlerini altalta çizerek devrenin çalışmasını kısaca anlatınız.
12. “Sıfır Gerilim Şalteri” ve “Dalga Paketleri Metodu ile Güç Kontrolü” hakkında bildiklerinizi özetleyiniz.
13. Doğrultucuların bir sınıflandırmasını yaparak, kontrolsüz, yarı kontrollu ve tam kontrollu doğrultucuları kısaca karşılaştırınız.
14. İki fazlı yarım dalga kontrollu bir doğrultucunun devresini gerçekleştiriniz. Sabit kabul edilen yük akımı ve $\alpha=60^\circ$ için, ideal çıkış gerilimi ile T_1 tristörünün akım ve gerilim değişimlerini altalta çiziniz.
15. DC kıyıcıların prensip devresini gerçekleştiriniz. Sabit kabul edilen yük akımı ve $\lambda=3/5$ için, ideal çıkış gerilimi ile kıyıcı ve serbest geçiş diyodu akımlarının değişimlerini altalta çiziniz.
16. İnverterlerin prensip devresini gerçekleştiriniz. Omik-endüktif bir yük için, çıkış gerilimi ve akımının değişimlerini altalta çiziniz. Akım değişimi üzerinde elemanların iletim aralıklarını göstererek, devrenin çalışmasını kısaca açıklayınız.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİNDE KONTROL YÖNTEMLERİ

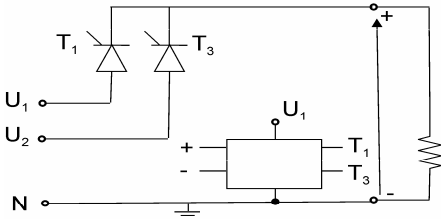
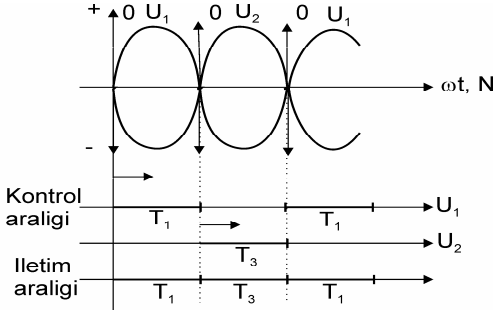
FAZ KONTROL YÖNTEMİ

Temel Dalga Şekilleri	Açıklama
 <p>The diagram shows the timing relationships for a phase control circuit. It includes a synchronization voltage V_5 (sine wave), a ramp voltage V_{10} (sawtooth), a control voltage V_{11} (square wave), and various output signals: V_{15} (Q2), V_{14} (Q1), V_{15} (Q2, Pin 12 to GND), V_{14} (Q1, Pin 12 to GND), V_2 (Q2, Pin 13 to GND), V_4 (Q1, Pin 13 to GND), V_3 (QU), and V_7 (QZ). The x-axis is labeled with 0, φ, and 180°. The reference ID is IED00359.</p>	<p>Genel olarak AC Kıyıcı ve Doğrultucularda, Faz Kontrol Yöntemi ve bu yöntemle üretilen Faz Kontrol Entegreleri kullanılır. Prensipte Faz Kontrol Yönteminde, AC şebekeden bir senkronizasyon örneği alınır, bu örnek 2 yönlü kare dalgaya dönüştürülür, böylece şebeke geriliminin sıfır noktaları ile (+) ve (-) yarı periyotları belirlenir, her bir yarı periyotta birer pozitif testere dişi dalga elde edilir, bu testere dişi dalga ile bir DC referans gerilimin karşılaştırılması ile hem (+) hem de (-) yarı periyotlar için ayrı ayrı α faz kontrol açısı anlarında faz kontrol sinyali üretilir. Testere dişi dalga genliği ve referans gerilimin değeri ayarlanabilir. Testere dişi dalga genliği belirli bir değere kalibre edilir ve sabitlenir. Referans gerilim ise, testere dişi gerilimin minimum ve maksimum değerleri arasında değişebilecek şekilde kalibre edilir. Normal çalışmada, bir potansiyometre ile referans gerilim ayarlanarak, α faz kontrol açıları değiştirilir. Ayrıca, (+) ve (-) faz kontrol sinyalleri, kısa süreli olabileceği gibi, yarı periyodun sonuna kadar devam da edebilir. Kısa süreli sinyallerin süresi ayarlanabilir. Kısa veya uzun süreli sinyallerin inversleri veya toplamları da üretilmiş olabilir. Her faz kontrol entegresinde bu ilave özelliklerin hepsi olmayabilir. Uygulama türüne göre, sadece Pozitif veya sadece Negatif sinyaller, Kısa Süreli veya Uzun Süreli sinyaller, Toplam veya İvers sinyaller kullanılabilmektedir.</p>
<p>Yukarıda, örnek olarak seçilen TCA 785 kodlu faz kontrol entegresinin katalogunda verilen Temel Dalga Şekilleri görülmektedir.</p> <p>Faz kontrol entegreleri, Faz veya Fazlararası gerilimlerle çalışabilir, sadece senkronizasyon örneğinin alındığı direnç değerleri değişir. Ancak, kontrol açısından, entegrenin Sıfır (Şasi) ucunun devrenin hangi noktası ile irtibatlı olduğu önemlidir.</p> <p>Faz Kontrol Yöntemi için verilen yandaki açıklamaları dikkatlice inceledikten sonra, burada verilen her bir dalga şeklinin nasıl elde edildiğini ve ne anlama geldiğini yorumlamaya çalışınız.</p>	

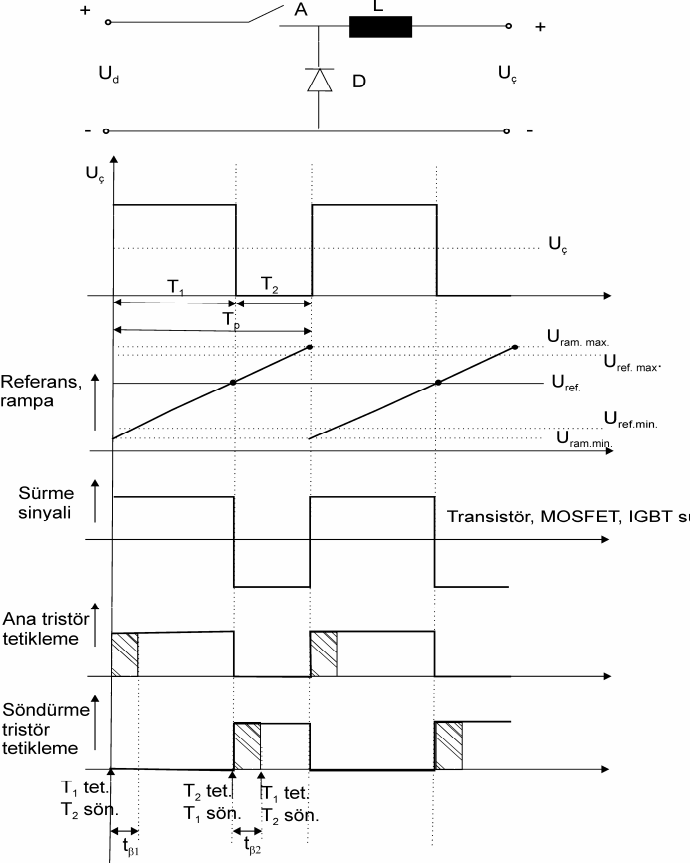
Örnek 1 : Tek Fazlı AC Kıyıcılarda Kontrol

Tek Fazlı Prensip AC Kıyıcı Devresi	Açıklama
	<p>AC kıyıcılar, tek fazlı veya 3 fazlı olarak uygulanmaktadır. 3 fazlı AC kıyıcılarda yük ise, Yıldız (Y) veya Üçgen (Δ) bağlı olabilmektedir.</p> <p>Genel olarak AC kıyıcılarda, Faz Kontrol Yöntemi ve bu yöntemle göre sinyal üreten Faz Kontrol Entegreleri kullanılır. Prensip olarak bu entegrelerde, AC şebeke gerilimi ile senkronize bir şekilde, kısa ve/veya uzun süreli, pozitif ve negatif faz kontrol sinyalleri üretilir. Bu sinyallerin toplamları, inversleri ve toplamlarının inversleri de entegre tarafından veya ilave devrelerle elde edilebilir.</p>
<p>Şekilde verilen tek fazlı prensip AC kıyıcıda, AC akımın pozitif yarım dalgasını T_1 tristörü ve negatif yarım dalgasını T_2 tristörü geçirir.</p> <p>T_1 tristörü entegrenin pozitif sinyalleri ve T_2 tristörü entegrenin negatif sinyalleri ile tetiklenir.</p> <p>Katodu entegrenin sıfırına (0) veya şebekenin nötrüne (N) bağlı olan T_1 sinyallerinin izolasyonuna gerek yoktur. Ancak, bu şartı sağlamayan T_2 sinyalleri izole edilmelidir.</p> <p>Ters-paralel bağlı 2 tristör yerine bir triyak kullanıldığında, sinyal izolasyonuna gerek kalmaz.</p>	

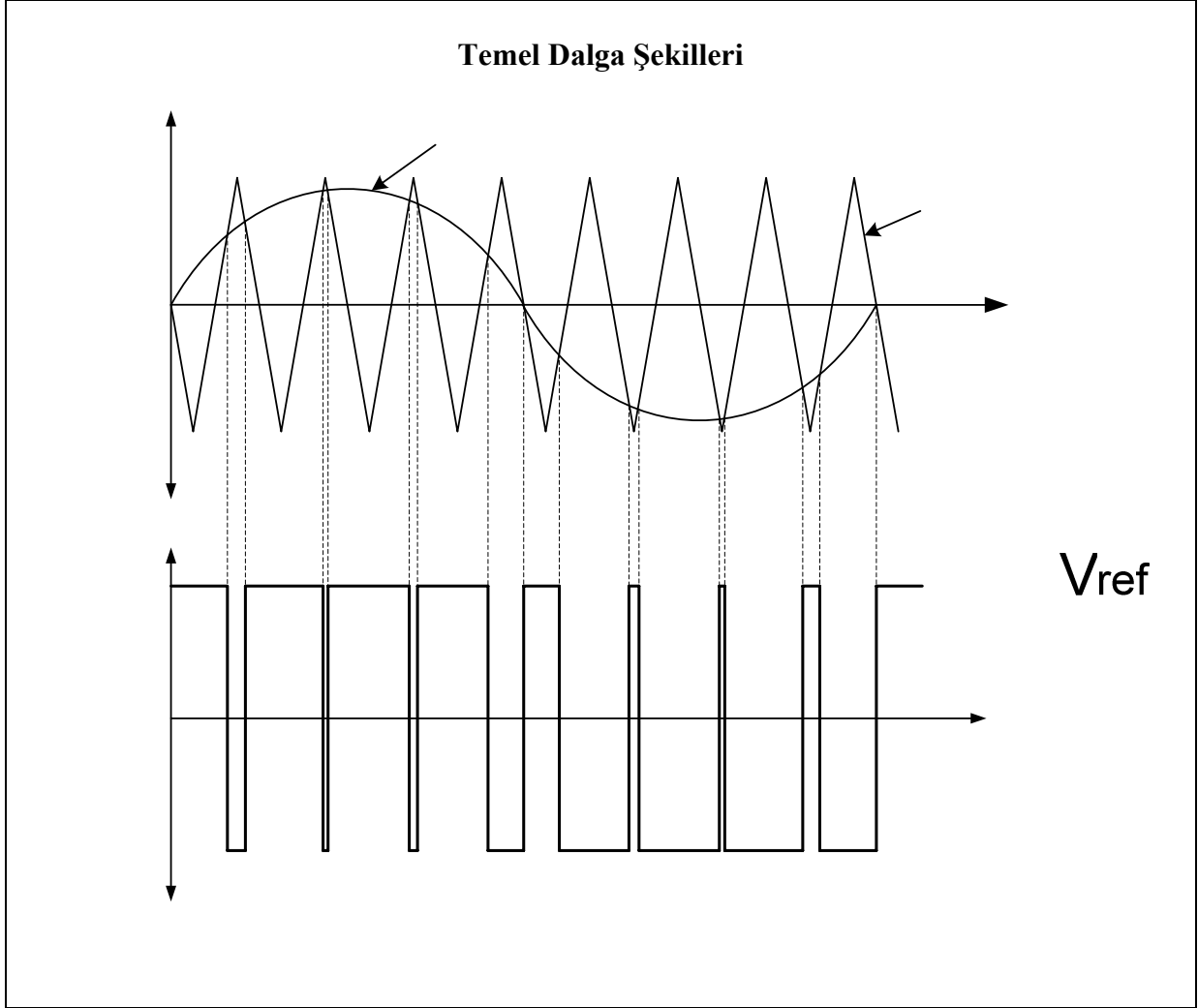
Örnek 2 : İki Fazlı Yarım Dalgı Kontrolü Doğrultucularda Kontrol

Temel Dalga Şekilleri	
	
<p>Açıklama</p> <p>Bir adet faz kontrol entegresi kullanılır. Entegrenin sıfırına nötre ve senkronizasyon girişi U_1 fazına bağlanır. Entegrenin kısa süreli pozitif sinyalleri T_1 için ve kısa süreli negatif sinyalleri T_3 için kullanılır. Sinyaller izole edilir.</p>	

DC-PWM KONTROL YÖNTEMİ

Temel Dalga Şekilleri	Açıklama
 <p>DC Kıyıcılarda, DC PWM kontrol yöntemi kullanılmaktadır.</p> <p>DC PWM kontrol yönteminde, bir testere dişi sinyal ile bir referans gerilimin karşılaştırılması ile kontrol sinyali elde edilmektedir. Çıkış geriliminin kontrolü, referans gerilimin değiştirilmesi ile sağlanmaktadır.</p> <p>Genellikle sabit tutulan testere dişi sinyalin frekansı, anahtarlama veya kıyım frekansı olarak anılmaktadır. Bu frekans aynı zamanda devrenin çalışma frekansıdır.</p>	<p>Açıklama</p> <p>DC kıyıcılarda kısa devre olma özelliği yoktur.</p> <p>Kontrol kartının sıfırı (0), toprağa ya da DC kıyıcının negatif (-) barasına bağlıdır. Genellikle sinyal izolasyonu gerekir.</p> <p>DC Kıyıcılarda, genellikle IGBT veya MOSFET güç elemanları ve sürekli sinyal kullanılmaktadır. Tristörlü DC kıyıcılarda, genellikle kısa süreli sinyaller kullanılır. Ayrıca, iletim aralığının baş ve sonunda, kontrol dışında kalan avans sürelerinin bırakılması gerekmektedir. Devrenin ana tristörü T_1 ve bunu söndürmekte kullanılan yardımcı tristör T_2 olarak belirlenerek, avans süreleri aşağıda tanımlanmıştır.</p> <p>$t_{\beta 1}$, $t_{\beta 2}$: Baştan ve sondan avans süreleri.</p> <p>$t_{\beta 1}$: T_1 tristörü tetiklendikten sonra devrenin komütasyon için hazır hale gelebilmesi için gerekli olan minimum süre.</p> <p>$t_{\beta 2}$: T_2 tetiklendikten sonra T_1'in kesimde kilitlenebilmesi için gerekli olan minimum süre.</p>

AC-PWM (SİNÜSOİDAL-PWM) KONTROL YÖNTEMİ



Açıklama

- PWM İnverterlerde, genellikle **IGBT veya MOSFET** güç elemanları ve **sürekli sinyaller** kullanılmaktadır.
- **AC PWM kontrolü**, düzenli örneklenmiş, sinüsoidal ve harmonik eliminasyonlu olmak üzere 3 genel gruba ayrılmaktadır. Ayrıca, elde edilen gerilim tek veya çift yönlü olabilmektedir.
- **Sinüsoidal PWM tekniğinde**, bir sinüsoidal örnek ile bir taşıyıcı üçgen sinyalin karşılaştırılmasıyla çıkış sinyali elde edilmektedir. Genellikle sabit tutulan taşıyıcı üçgen sinyalinin frekansı, **anahtarlama frekansını** belirlemektedir. Ayrıca, sinüsoidal örneğin frekans ve genliği değiştirilerek, **çıkış gerilimi ve frekansının** kontrolü sağlanmaktadır.
- Karşılaştırma sonucu elde edilen sinyal sadece $0-\pi$ aralığında T_1 ile T_2 elemanlarına ve bu sinyalin inversi sadece $\pi-2\pi$ aralığında T_3 ile T_4 elemanlarına uygulanırsa, **tek yönlü kontrol** elde edilmiş olur. Sürekli olarak normal sinyal T_1 ile T_2 elemanlarına ve invers sinyal T_3 ile T_4 elemanlarına uygulanırsa, **iki yönlü kontrol** elde edilmiş olur.