

EGE ÜNİVERSİTESİ
EGE MESLEK YÜKSEKOKULU

ENDÜSTRİYEL ELEKTRONİK PROGRAMI
ELEKTRİK MOTORLARI ve SÜRÜCÜLERİ DERSİ

TEORİ SUNUSU

(1)

“İLERİ GÜÇ ELEKTRONİĞİ”

Hazırlayan:

Yrd.Doç.Dr. M.Necdet YILDIZ
E.Ü. Ege Meslek Yüksekokulu
Endüstriyel Elektronik Programı

Şubat, 2009

İLERİ GÜÇ ELEKTRONİĞİ (MOTOR SÜRÜCÜLERİ);

Elektrik-Elektronik
Mühendisliği
4. sınıfları ile
Meslek Yüksekokullarının,

Endüstriyel Elektronik

Programının 2. sınıfında
zorunlu veya seçmeli olarak
okutulmakta olan teorik ve
uygulamalı bir derstir.

AMAÇ;

Öğrencinin,

Güç Elektroniği ve Endüstriyel
Elektronik ile ilgili ileri
kavramları, devreleri ve
bunların, endüstri ve günlük
hayattaki kullanım yerlerini,
özellikle motor kontrolünü
teorik ve uygulamalı olarak
öğrenmesini sağlamaktır.

KONU BAŐLIKLARI

- Genel Açıklamalar;
- Ders için gerekli donanım
Teori, Uygulama.
- Değerlendirme sistemi
Teorik sınavlar,
Ödevler,
Quizler,
Uygulamalar,
Uygulama raporları,
Uygulama sınavı.
- Desin işleme şekli ve
haftalık ders planı.
- Sertifika
- Ders Konuları;
- Giriş.
- Doğrultucularda ileri kontrol yöntemleri.
- AC kıyıcılarda ileri kontrol yöntemleri.
- Direkt frekans çeviriciler (DFÇ).
- Anahtarlmalı güç kaynakları.
- Akım kaynaklı invertörler (CSI).
- Statik anahtarlar.
- Endüstriyel güç kaynakları.
- Rezonanslı invertörler.
- **2. bölüm:** Motor sürücüler.

DERS İÇİN GEREKLİ ÖN DONANIM

- İleri Güç Elektronik dersi için verimli geçmesi ve istenilen sonuca ulaşılabilmesi için, öncelikle dersi alan öğrencinin gerekli alt yapıya tam olarak sahip olması gerekmektedir.
- Bu alt yapı öğrencinin önceki yıllarda almış olduğu temel elektrik, elektronik, fizik ve matematik dersleri ile sağlanmış olmalıdır. Altyapıyı oluşturan unsurlar yan tarafta açık olarak görülmektedir.
- Öğrencinin gerekli alt yapıya sahip olmasının yanı sıra dersi işlenmesi sırasında teorik ve uygulama bölümlerinde çeşitli doküman ve malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.



DERS İŞLENMESİ İÇİN GEREKLİ DONANIM

- **TEORİ:**

1- Dersin teori kısmında kullanılacak olan temel ders kitabı,

“Power Electronics”

Prof. Muhammad H. RASHID

2- Dersin teori kısmında kullanılacak olan ders notu,

“İleri Güç Elektroniği Ders Notları”

Yrd.Doç.Dr. M.Necdet YILDIZ

3- Yardımcı kaynaklar,

- Güç Elektroniği
Prof.Dr. Nejat TUNCAY (N.Mohan)

- Güç Elektroniği
Doç.Dr.Osman GÜRDAL (M.Rashid)

- Güç Elektroniğine Giriş
Prof.Dr. Remzi GÜLGÜN

- **UYGULAMA:**

1- Dersin uygulama kısmında kullanılacak olan uygulama kitabı,

“İleri Güç Elektroniği Uygulamaları”

Yrd.Doç.Dr. M.Necdet YILDIZ

2- Dersin uygulama kısmında kullanılacak uygulama ekipmanı,

“Güç Elektroniği Uygulama Kartı”

Yrd.Doç.Dr. M.Necdet YILDIZ

DERSİN İŞLENME ŞEKLİ

- **TEORİ;**

- Her hafta ilk 2 ders saati (90 dak.) teori yapılacaktır.
- Teori dersleri “İleri Güç Elektroniği” sunusu, temel ders kitapları ve yardımcı kaynaklar kullanılarak yapılacaktır.
- Teorik dersler sırasında quizler yapılacak ve 1 hafta sonrası için teorik ödevler verilecektir.

- **UYGULAMA;**

- Her hafta sonraki 2 ders saati (90 dak.) uygulama yapılacaktır.
- Uygulama dersleri İleri Güç Elektroniği Uygulamaları ve yardımcı kaynaklar kullanılarak yapılacaktır.
- Uygulamalar ikişerli gruplar halinde, ve bir oturumda en fazla 12 grup (24 kişi) olacak şekilde yapılacaktır.

UYGULAMA GRUPLARI

Grup:	No:	Adı:	Soyadı:
1A	1) 2) .....	.....	.....
2A	1) 2) .....	.....	.....
3A	1) 2) .....	.....	.....
4A	1) 2) .....	.....	.....
5A	1) 2) .....	.....	.....
6A	1) 2) .....	.....	.....
7A	1) 2) .....	.....	.....
8A	1) 2) .....	.....	.....
9A	1) 2) .....	.....	.....
10A	1) 2) .....	.....	.....
11A	1) 2) .....	.....	.....
12A	1) 2) .....	.....	.....

Grup:	No:	Adı:	Soyadı:
1B	1) 2) .....	.....	.....
2B	1) 2) .....	.....	.....
3B	1) 2) .....	.....	.....
4B	1) 2) .....	.....	.....
5B	1) 2) .....	.....	.....
6B	1) 2) .....	.....	.....
7B	1) 2) .....	.....	.....
8B	1) 2) .....	.....	.....
9B	1) 2) .....	.....	.....
10B	1) 2) .....	.....	.....
11B	1) 2) .....	.....	.....
12B	1) 2) .....	.....	.....

UYGULAMA ve RAPORLAMA

- Uygulamalar, “İleri Güç Elektroniği Uygulamaları” isimli ders notundaki sıraya göre ve işlem basamaklarına aynen uyularak yapılacaktır.
- Uygulamalar sırasında yapılan gözlemler, alınan ölçümler ve görülen dalga şekilleri, “Uygulama Sonuçları” sayfasına kaydedilecek ve onaylattırılacaktır.
- Yapılan her bir uygulama için yan tarafta formatı görülen bir rapor hazırlanacak ve bu rapora “Uygulama Sonuçları” sayfası eklenecektir.

EGE MESLEK YÜKSEKOKULU GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUARI UYGULAMA RAPORU

Program:

Grup No:

Öğrenci No, Adı ve Soyadı:

1)

2)

Uygulama No:

Uygulama Adı:

.....

A- Uygulama konusu ile ilgili ön bilgi:

.....

B- Uygulama yapılması ve alınan sonuçlar:

.....

C- Uygulama sonuçlarının yorumlanması:

.....

.....

DEĞERLENDİRME SİSTEMİ

- Teorik Sınav (Vize-1);
- Uygulama Notu (Vize-2);
Bu not aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:
 - a) Ödevler (%10).
 - b) Quizler (%10).
 - c) Uygulamalar (%20).
 - d) Uyg. Raporları (%20).
 - e) Uyg. Sınavı (%40).
- Yıl İçi Ortalama;
 $[(Vize-1) + (Vize-2)] / 2$
- UYARI;
- Uygulama notu (Vize-2), dersin uygulamasından geçme-kalma durumunu belirleyen nottur.
- Uygulamaların ve Uygulama raporlarının %50'sini yapmayanlar ile uygulama sınavına katılmayanların uygulama notu hesaplanmaz. Bu kişiler “Uygulama Başarısız” sayılırlar.

MUAFİYET

YIL İÇİ ORTALAMASI

“80 ve ÜZERİNDE OLANLAR”

FİNAL ve BÜTÜNLEME SINAVLARINDAN
MUAF OLACAKLARDIR.

YIL İÇİ ORTALAMASI “BAŞARI NOTU”
SAYILACAKTIR.

SINAVLARIN FORMATI

- Teorik Sınav (Vize-1);
- Teorik sınav, yönetim tarafından ilan edilecek olan vize haftasında yapılacaktır.
- Klasik formatta olacak bu sınavda 4 gruba, 4 soru sorulacak, her sorunun 4 alt şıkkı bulunacaktır.
- Şıklarda, eleman yapısı, devre yapısı, devre dalga şekilleri ve devre ile ilgili çeşitli hesaplamalar sorulacaktır
- Uygulama Sınavı;
- Uygulama sınavı, dönemin son haftasında yapılacaktır.
- Yazılı+uygulamalı olarak yapılacak olan bu sınavda, o güne kadar yapılması gereken uygulamalarla ilgili sorular sorulacaktır.
- Sınavda uygulama bağlantısı, ölçüm bağlantıları ve dalga şekilleri istenecektir.

HAFTALIK KONU DAĞILIMI

Hafta	Teori Konuları:
1. H.	Genel Açıklamalar ve Giriş
2. H.	Doğrultucularda İleri Kont.
3. H.	AC Kıyıcılarda İleri Kontrol
4. H.	Direkt Frekans Çeviriciler
5.6. H.	Akım Kaynaklı İnvertörler
7. H.	Statik Anahtarlar
8. H.	Endüstriyel Güç Kaynakları
9. 10.H.	DC Motor Sürücüler
11. 12. H.	Geri Beslemeli Kotrol
13. 14. H.	AC Motor Sürücüler
15. 16. H.	Özel Motor Sürücüler

Hafta	Uygulama Konuları:
1. H.	Kontrollü Doğrultucu Uyg.
2. H.	AC Kıyıcı Uygulamaları
3. H.	DC Kıyıcı Uygulamaları
4. H.	İnvertör Uygulamaları
5. H.	DC Motor Kontrolü
6. 7. H.	Asenkron Motor Kontrolü
8. 9. H.	Bir Fazlı Motor Kontrolü
10. 11. H.	Geribesl. DC Motor Kont.
12. 13. H.	Servo Motor Kontrolü
14. 15. H.	Step Motor Kontrolü
16. H.	Uygulama Sınavı

BİRİNCİYE VERİLECEK SERTİFİKA

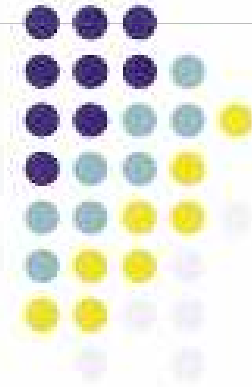


SERTİFİKA

Sayın; İsmail Kudret GÜVEN

Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu Endüstriyel Otomasyon Programında 2006-2007 Öğretim Yılı Bahar Yarıyılında Verilen Güç Elektronik Dersini Birincilikle Tamamlayarak Bu Sertifikayı Almaya Hak Kazanmıştır. 25.06.2007.

Yrd.Doç.Dr. M.Necdet YILDIZ
Elk: Motorları ve Sürücülleri Dersi Öğretim Üyesi



BİR SÖZ

*“Çalışmadan, Yorulmadan, Öğrenmeden, Rahat
Yaşama Yollarını Aramayı Aliskanlık Haline
Getirmiş Milletler, Evvela Haysiyetlerini, Sonra
Hürriyetlerini ve Daha Sonra da İstikballerini,
Kaybetmeye Mahkumdurlar”*

Mustafa Kemal ATATÜRK

Motor Sürücülere Giriş

MOTOR SÜRÜCÜLERE GİRİŞ

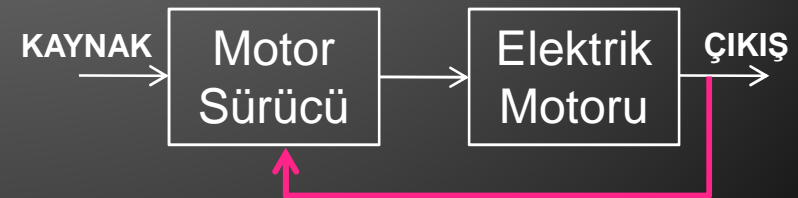
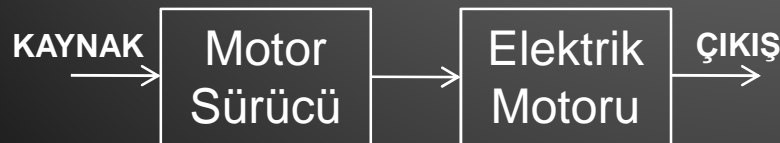
- **GİRİŞ:**
- Elektrik motorları endüstri tesislerinden günlük kullanılan basit cihazlara kadar pek çok alanda ve yerde elektrik motorları yoğun olarak kullanılmaktadır.
- Elektrik motorları, mekanik hareket üretmek ve üretilen mekanik hareketin kontrolünü sağlamak için kullanılabildiği gibi, çeşitli pompa ve fan sistemlerinde gaz ve sıvıların kontrolü için veya hava ve suyun devir daimi ve yer değiştirmesi için kullanılmaktadır.
- Elektrik motorlarının kontrolü için, motor türüne ve gücüne uygun güç düzenekleri kullanılmaktadır.
- Elektrik motorlarının kontrolü için kullanılan güç elektroniği düzeneklerine **MOTOR SÜRÜCÜ** denilmektedir.
- Motor sürücüleri her motor türüne göre farklı farklı üretilmektedir. Bunun nedeni farklı motorların farklı parametreler değiştirilerek kontrol edilmesidir.
- Motor sürücüler her bir uygulama için özel olarak üretilebildiği gibi, pek çok fonksiyonu üzerinde toplayan seri üretim motor sürücü üniteleri de piyasada çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Bunlar, LG Siemens, Telemekanique, Delta, Altivar, Tunçmatik vb. sürücülerdir.

MOTOR SÜRÜCÜLERE GİRİŞ

- Piyasada yoğun olarak kullanılmakta olan seri üretim motor sürücüler, birkaç yüz Watt seviyelerinden birkaç yüz kW seviyelerine kadar çok farklı güçlerde bulunabilmektedir.
- Motor sürücüleri çok genel olarak 2 ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlar,
 - 1) Doğru Akım (DC) Motor Sürücüleri,
 - 2) Alternatif Akım (AC) Motor Sürücüleri'dir.Bu genel gruplanma dışında, özellikle hareket kontrolunda çok yoğun olarak kullanılan “**Servo Motor**” Sürücülerdir.
- Motor sürücüler kullanılarak elektrik motorlarının,
 - 1) Yol verme,
 - 2) Hız kontrolu,
 - 3) Tork kontrolu,
 - 4) Yön kontrolu,
 - 5) Frenleme kontrolu,kolaylıkla gerçekleştirilebilmekte ve istenilen kontrol sağlanabilmektedir.
- Yukarıda sayılan tüm özelliklerin tümünün bir sürücü üzerinde bulunması şart değildir. İhtiyaca göre bu özelliklerden birkaç tanesi veya tümü sürücü üzerinde bulunabilir.

MOTOR SÜRÜCÜLERE GİRİŞ

- Motor sürücüler kullanılarak motor kontrolü yapılması iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Bunlar,
 - 1) Geribeslemesiz kontrol,
 - 2) Geribeslemeli kontrol'dur.
- Geribeslemesiz kontrolde, motor sürücü tarafından programlandığı gibi kontrol edilmekte fakat motor üzerinden herhangi bir şekilde hız, tork, akım, gerilim, sıcaklık vb. gerçek bilgi alınarak sürücüye aktarılmamaktadır.
- Geribeslemeli kontrolde ise motor yine sürücü tarafından programlandığı gibi kontrol edilmekte fakat bu defa motor üzerinden uygun bir şekilde hız, tork, akım, gerilim, sıcaklık vb. gerçek bilgi alınarak sürücüye aktarılmaktadır. Sürücü de motordan gelen bu bilgileri değerlendirerek kontrol sinyallerini ayarlamakta ve motorun tam istenen değerlerde çalışmasını sağlamaktadır.

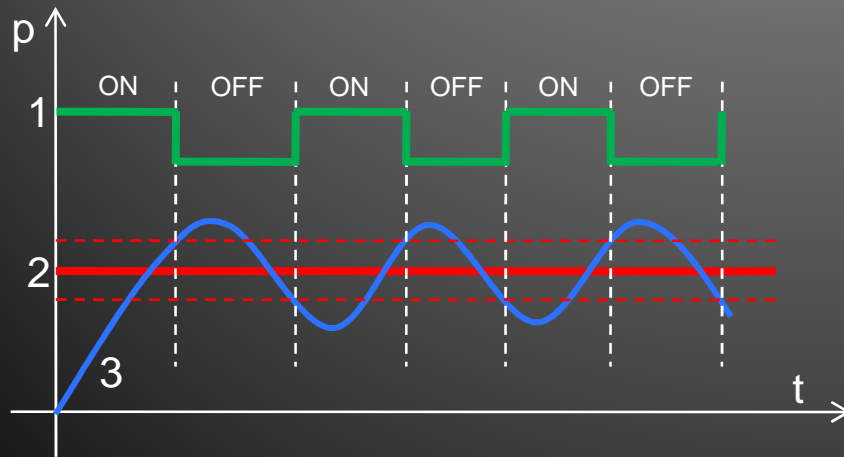


MOTOR SÜRÜCÜLERE GİRİŞ

- **GERİBESLEMELİ KONTROL SİSTEMLERİNİN TÜRLERİ:**
- Motorda öncelikle denetlenmek (kontrol edilmek) istenen parametreler **hız veya tork** parametreleridir.
- Bu parametreler denetlenirken **akım, gerilim ve sıcaklık** gibi yan parametrelerde ihtiyaca göre sıkı denetim altında tutulmalıdır. Bu nedenle etkin motor kontrolunda geribesleme olmazsa olmaz durumdadır.
- Tüm bu parametreler sistem üzerinden uygun şekilde sezilerek sürücü devresine geribeslenir ve istenen kontrol sağlanır.
- Geribesleme motor kontrolu dışında her tür elektrik, elektronik, mekanik sistemlerde kullanılır.
- Tüm bu alanlarda kullanılmakta olan geribeslemeli kontrol sistemlerinde aşağıda belirtilen 5 farklı türde kontrol yapılmaktadır. Bunlar,
 - 1) On-Off (açma-kapama) kontrol,
 - 2) Oransal (proportional "**P**") kontrol,
 - 3) Oransal Türevsel (proportional derivative "**PD**") kontrol,
 - 4) Oransal İntegral (proportional integral "**PI**") kontrol,
 - 5) Oransal İntegral Türevsel (proportional integral derivative "**PID**") kontrol.

MOTOR SÜRÜCÜLERE GİRİŞ

- **1) On-Off Kontrol:**
- On-Off kontrol yöntemi en basit geribeslemeli kontrol yöntemidir. Bu yöntemde aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, kontrol dilen parametre değeri istenen değer altına indiğinde sisteme uyarı verilmekte ve çalıştırılmakta, istenen değer üzerine çıktığında ise sistem susturulmaktadır.

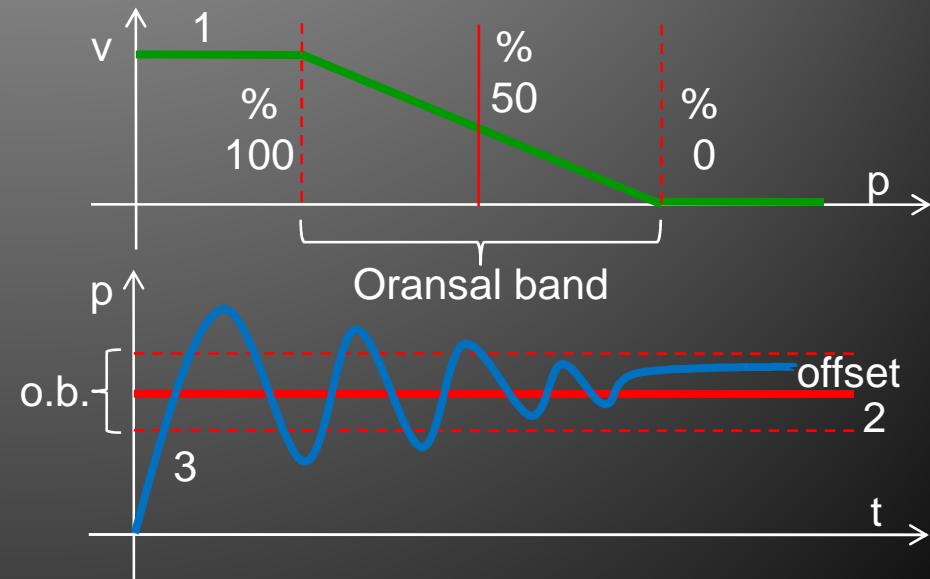


- Şekilden görüldüğü gibi “1” numaralı sinyal “kontrol sinyali”, “2” numaralı sinyal “istenen değer” “3” numaralı sinyal ise “gerçekleşen değer”dir.
- Başlangıçta sıfır seviyesinde olan “gerçekleşen değer”in “istene değer”e yükselebilmesi için “kontrol sinyali” “on” konumunda bulunmakta ve gerçekleşen değer istenen değere yaklaşmaya başlamaktadır.
- İstenen değer etrafında oluşturulan hareket aralığı (hysteresis) aşıldığında ise kontrol sinyali “off” konumuna çekilerek aşırı yükselmeyi engellemektedir.

MOTOR SÜRÜCÜLERE GİRİŞ

- Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi sistemin ataletinden dolayı uyarı verildiğinde veya kesildiğinde yükselme veya düşme bir süre daha devam etmektedir.
- Dolayısıyla bu kontrol yönteminde gerçekleşen değer hiçbir zaman istenen değere oturmamakta, sürekli salınım halinde bulunmaktadır. Bu durumda on-off kontrol yöntemi;
 - 1) Kritik kontrol sistemleri için uygun değildir.
 - 2) Yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır.
 - 3) Isıtma sistemleri gibi yavaş sistemler için uygundur.

- **2) Oransal (P) Kontrol:**
- Oransal (P) kontrol yöntemi, on-off kontrol yönteminin tersine sistem sürekli çalıştırılmaktadır. Fakat bu çalışma değeri çıkışın durumuna göre oransal olarak arttırılmakta veya azaltılmaktadır. Şekilde oransal kontrol görülmektedir.

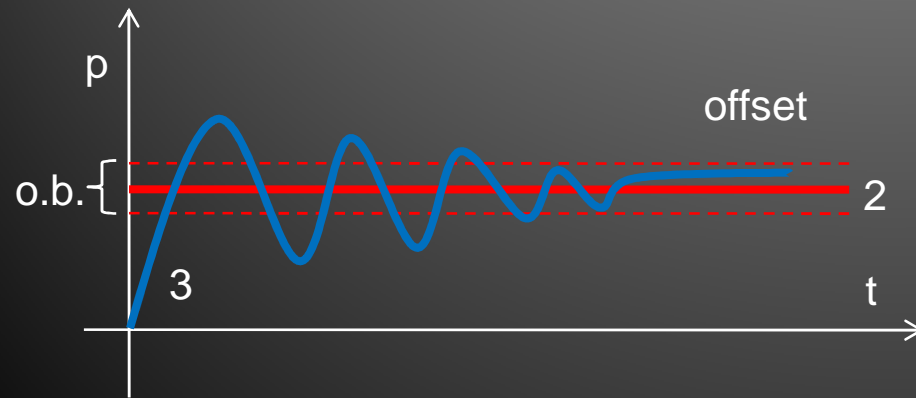


MOTOR SÜRÜCÜLERE GİRİŞ

- Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi başlangıçta sistem çıkışında “gerçekleşen değer” henüz sıfır seviyesinde olduğu için kontrol sinyali (1), %100 seviyesinde olmakta ve sistem çıkışındaki gerçekleşen değer (2) hızla yükselmeye başlamaktadır.
- Gerçekleşen değer (2) oransal banda girdiğinde ise kontrol sinyali (1) çıkıştaki yükselmeye ters orantılı olarak %100’den aşağıya doğru inmeye başlamaktadır.
- Kontrol sinyali %50 seviyelerine geldiğinde yaklaşık olarak “istene değer” seviyesine gelmiş olmaktadır.
- Gerçekleşen değer (3) istene değer (2) üzerine çıktığında ise kontrol sinyali (1) %50’nin altına inmeye başlamaktadır.
- Gerçekleşen değer oransal bandın dışına (üstüne) çıktığında da kontrol sinyali %0 seviyesine inmektedir.
- Bu durumda gerçekleşen değer, sönümlü bir salınım yaptıktan sonra istenen değere çok yakın bir seviyeye oturmaktadır.
- İstlenen değer ile gerçekleşen değer arasındaki farka “offset” (kayma) denilir. Bu kontrol yöntemi on-off’a göre daha hassastır.

MOTOR SÜRÜCÜLERE GİRİŞ

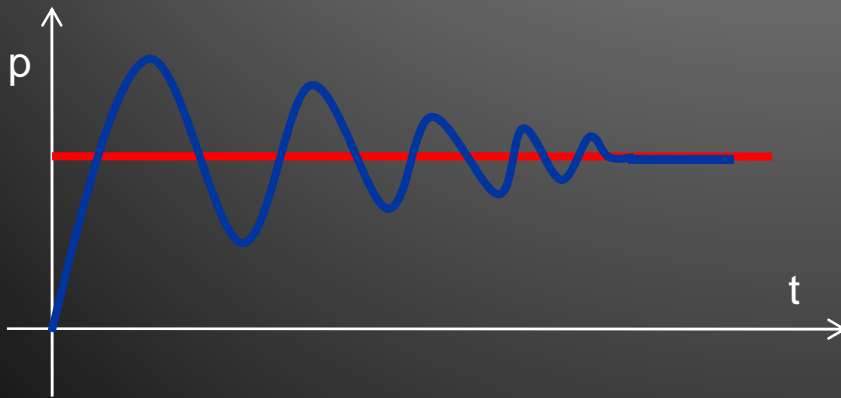
- **3) Oransal Türevsel (PD) Kontrol:**
- Oransal Türevsel (PD) kontrol yöntemi, Oransal (P) kontrol yönteminin hatalarını azaltmak üzere geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde, istenen değer (set değeri) ile gerçekleşen değer arasındaki farkın türevi alınarak (yani tepki hızı ölçülerek) oransal çıkış sinyal seviyesinin belirlenmesi sağlanmaktadır.



- Oransal Türevsel (PD) kontrol yöntemi sayesinde,
 - 1) Oransal kontrolde çok yüksek olan salınım genliği azaltılmakta,
 - 2) İstene değer (set değeri) ile gerçekleşen değer arasındaki fark anlamına gelen “Offset” değeri bir miktar azaltılmış olmaktadır.
- Bu avantajlara ek olarak, Oransal Türevsel (PD) kontrol yönteminin en önemli özelliği, “Dinamik cevabının çok iyi olmasıdır”. Yani, kontrol edilen sistemde ani bir değişim gerçekleşmesi durumunda sistem değişime çok hızlı bir şekilde cevap vererek önlem alabilmektedir.

MOTOR SÜRÜCÜLERE GİRİŞ

- **4) Oransal İntegral (PI) Kontrol:**
- Oransal İntegral (PI) kontrol yöntemi, yine Oransal (P) kontrol yönteminin kaymasını (offset) ortadan kaldırmak üzere geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde, istenen değer ile gerçekleşen değer arasındaki farkın integrali alınarak oransal çıkış sinyal seviyesinin üzerine eklenmektedir.



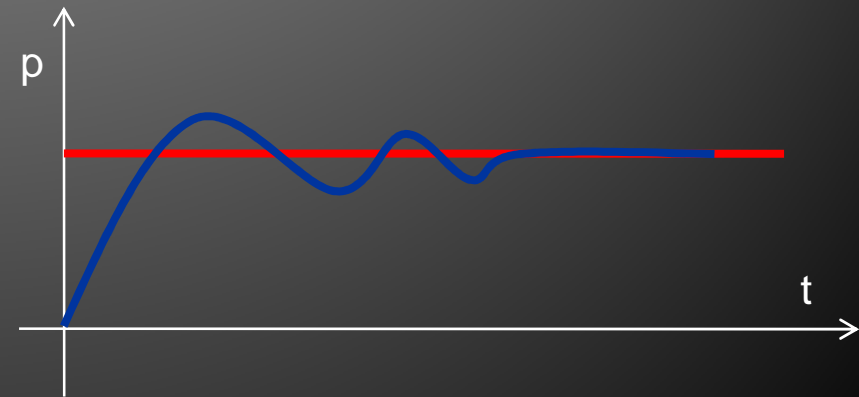
- Oransal İntegral (PI) kontrol yönteminde offset (fark) sinyalinin integralinin oransal kontrol sinyali üzerine eklenmesi sayesinde gerçekleşen değer kaydırılarak istenen değerin tam üzerine oturtulur yani offset değeri sıfırlanmış olur.
- Bu yöntemde de diğer yöntemlerde olduğu ve yan taraftaki şekilde görüldüğü gibi gerçekleşen değerde ilk başlangıç sırasında sönümlü bir salınım oluşmakta daha sonra da istenen değere oturmaktadır.
- Bu yöntem offset'i yok ettiği için kritik sistemler için uygundur.

MOTOR SÜRÜCÜLERE GİRİŞ

- **5) Oransal İntegral Türevsel (PID) Kontrol Yöntemi:**

- Oransal İntegral Türevsel (PID) kontrol yöntemi çok parametrelili karmaşık sistemlerde en çok kullanılan kontrol yöntemidir. PID kontrol yönteminde oransal kontrolda oluşan “offset” (kayma), integral algoritmasıyla engellenmektedir.
- Yine oransal kontrolda oluşan aşırı başlangıç salınımını azaltmak için de türev algoritması kullanılmaktadır.
- Bu sayede hem daha az salınım genliği (overshoot) hem de sıfır kayma elde edilmektedir.

- Aşağıdaki şekilden görüldüğü gibi PID kontrol yöntemi sayesinde Küçük başlangıç salınımlı ve kaynası (offset) olmayan bir kontrol gerçekleştirilebilmektedir.
- Şimdiye kadar açıklanan tüm kontrol yöntemleri analog devre elemanlarıyla veya mikroişlemci ve yazılımıyla sistem kontrolüne uygulanabilmektedir.



MOTOR SÜRÜCÜLERE GİRİŞ

- **MOTOR ve SÜRÜCÜ SEÇİMİ:**
 - Kontrol edilecek bir sistemde kullanılacak en uygun motor ve sürücüyü seçebilmek için öncelikle yüke ilişkin,
 - Güç,
 - Atalet,
 - En yüksek hız,
 - Çalışılacak hız aralığı,
 - Hareket şekli ve yönü,
 - Diğer parametreler,
- mutlaka bilinmesi gerekmektedir. Sistemde istenen bu özellik ve parametrelere göre uygun güçte ve türde motor ve sürücü seçimi yapılmalıdır.

- Kontrol edilecek olan sisteme motorun bağlanması (kuplajı) da yine yükün durumuna ve gereksinimine göre ,
 - 1) Direkt kuplaj,
 - 2) Dişli kutusu (redüktör) ile kuplaj,
 - 3) Kayış-Kasnak ile kuplaj,
 - 4) Sonsuz vida ile kuplaj,
- yöntemlerinden birisi kullanılarak yapılmaktadır.
- Motor hızı, gücü ve sürücü özellikleri seçilirken kullanılacak kuplaj şekli de çok büyük önem taşımaktadır.
- Ayrıca motor ve sürücü seçiminde ısı etkisi de dikkate alınmalıdır.

Bölüm-1

Doğrultucularda İleri Kontrol Yöntemleri

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI:
- 1 ve 3 fazlı kontrollu doğrultucularda kullanılmakta olan uyarma açısını geciktirme yöntemi (“ α ” kontrolü), kolay uygulanabilirliği, basit ve riski az olması nedeniyle çok yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Bu yöntem sayesinde tüm doğrultucu türlerinde yapılabilecek en geniş kontrol da gerçekleştirilebilmektedir.
- Fakat bu yöntem devrenin güç katsayısını bozmaktadır.
- Tüm doğrultucular için ayrı ayrı yapılan analizlerde görüldüğü gibi yük rezistif bile olsa uygulanan bu kontrol tekniği sonucunda kaynaktan çekilen akımın fazı kaymakta ve yük kaynak tarafından endüktif olarak algılanmaktadır.
- Üstelik bu faz kayması sabit kalmamakta, çıkış gerilimini ayarlamak için uyarma açısı değiştirildiğinde güç katsayısı da değişmektedir.
- Ayrıca bu yöntemde gerilim ve akım alternans içine homojen olarak dağılamamaktadır.

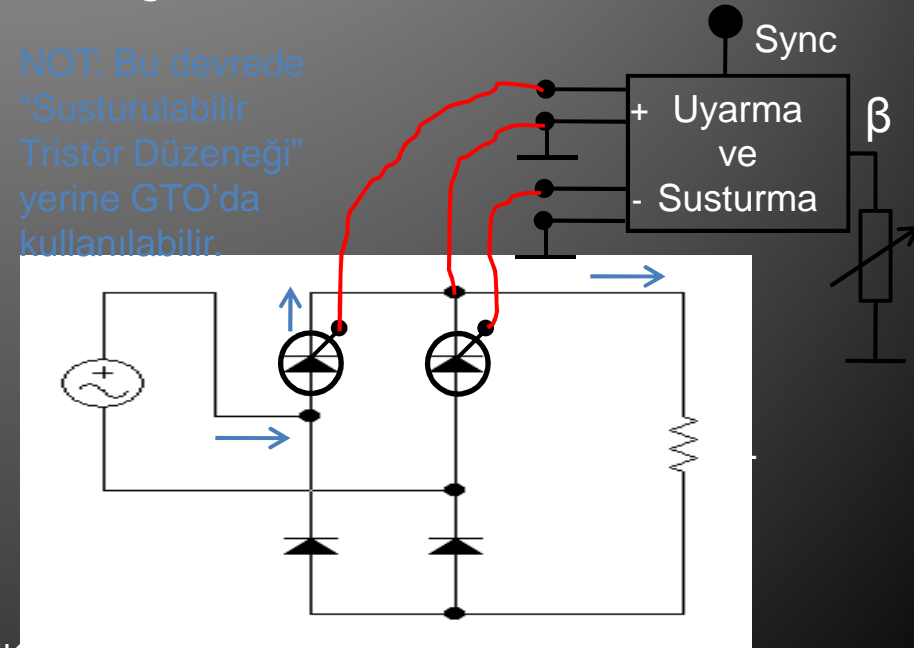
I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Bu kontrol yönteminin bir başka sakıncalı yanı da genellikle kaynaktan çekilen akımın kare dalga formatında olmasıdır ki bu şekilde ani değişim gösteren akım kaynakta harmoniklere (farklı frekanslı parazit sinyaller) yol açmaktadır ki bu da kaynak geriliminin kalitesini bozmakta ve diğer kullanıcılara zarar vermektedir.
- İşte tüm bu sakıncalı durumları ortadan kaldırmak için ayrıntısıyla açıklanacak olan doğrultucularda “İleri Kontrol Yöntemleri” kullanılmaktadır.
- Doğrultucularda kullanılan ileri kontrol yöntemleri,
 - 1) Ters açı (bitiş açısı) kontrolü
 - 2) Simetrik açı kontrolü,
 - 3) PWM kontrolü,
 - 4) Sinüsoidal PWM kontrolü,yöntemleridir.
- Bu yöntemlerin uygulanabilmesi için öncelikle güç devrelerinde uygun değişikliklerin yapılmakta, daha sonra da uyarma devreleri uygulanacak yöntemin gereklerine göre yeniden düzenlenmekte ve istenilen sonuca ulaşılmaktadır.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- **Ters Açı Kontrolü Yöntemi (Rezistif Yükte);**
- Ters açı (bitiş açısı) kontrolü yönteminde, güç devresinde kullanılan güç anahtarının (tristör), yalıtıma geçme açısı kontrol edilmektedir. Bu kontrol yöntemine “ β ” kontrolü yöntemi de denilmektedir.
- Bilindiği gibi “ α ” kontrolünde devrede kullanılan tristörler için sadece kontrollü olarak iletme geçmelerini sağlayacak bir uyarma devresi kullanılmakta yalıtıma geçirmek içinse herhangi bir işlem yapılmamaktadır.

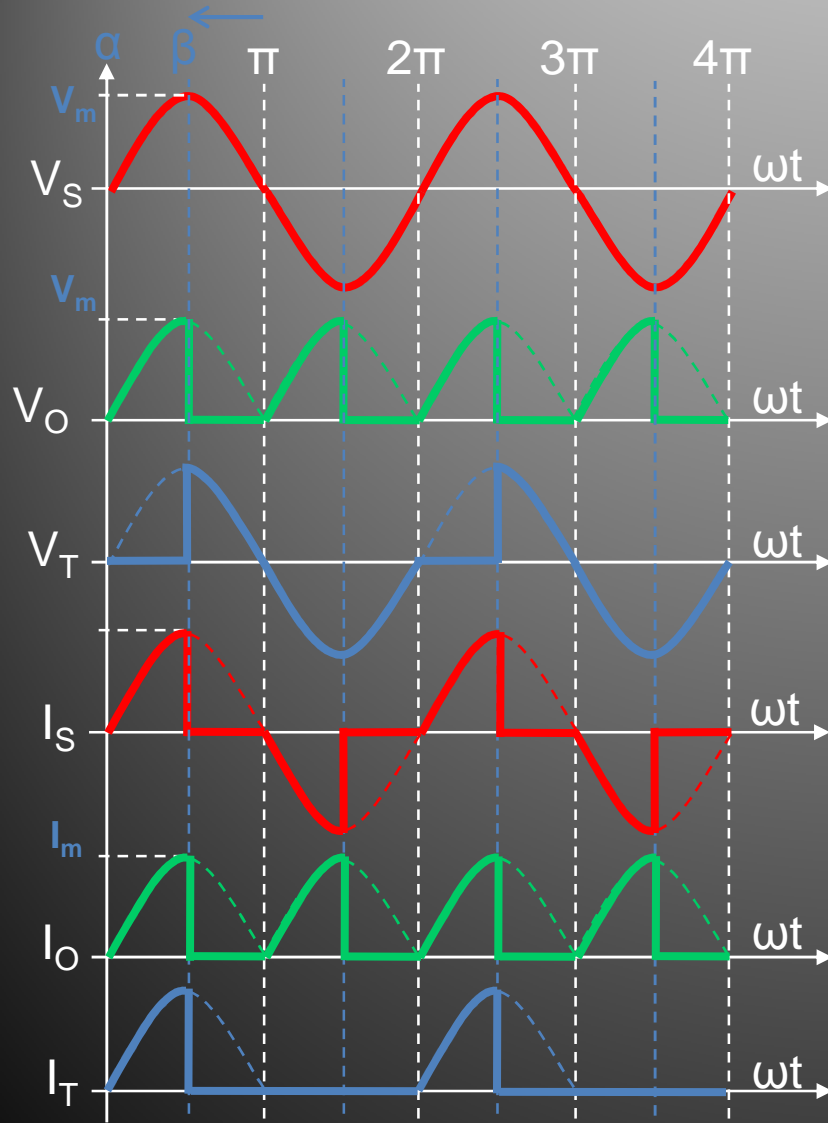
- Bitiş açısı (β) kontrolünün uygulanabilmesi için Şekil-4.148’de görüldüğü gibi öncelikle güç devresine müdahale edilerek devrede kullanılan tristörlerin uyarılarak susturulabilir hale getirilmesi gerekecektir.



I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-4.148'den görüldüğü gibi, susturma düzeneği eklenmiş olan tristörler daire içinde sembolize edilmişlerdir. Bu durumda sembolde tristör (T) olarak değil anahtar (S) olarak gösterilmişlerdir.
- Pek çok uygulamada normal tristörlere susturma düzeneği yerleştirmektense doğrudan susturulabilen GTO'lar tercih edilmektedir.
- Tabii ki uyarma devresi de artık sadece basit iğne pals üretici değil, uyarma için ayrı susturma için ayrı pals üretebilen bir devre olacaktır.
- Görüldüğü gibi, bitiş açısı kontrolü yönteminin kullanılması durumunda güç devresine yapılacak olan susturma düzeneği eklemesi, hem devrenin maliyetini arttıracak hem de devrenin daha karmaşık olmasına yol açacaktır.
- Buna karşılık elde edilen avantajın ne olduğu aşağıdaki Şekil-4.149'da görülmektedir.
- Bu şekilde örnek olarak seçilen 1 fazlı yarım kontrollu doğrultucunun rezistif yükte " β " kontrolü yöntemiyle uyarılması durumdaki şekiller verilmiştir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL



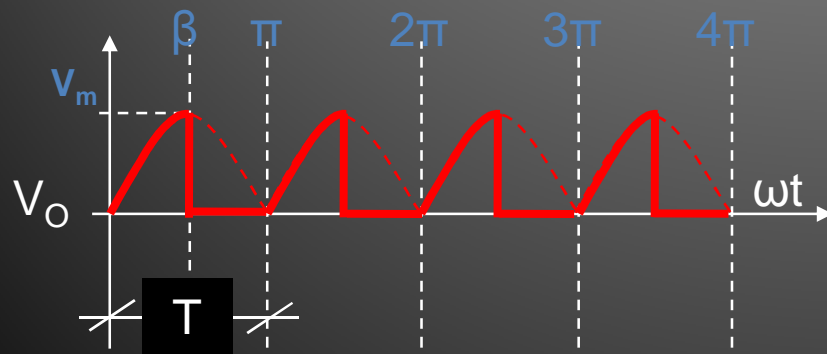
- Şekil-4.149'dan görüldüğü gibi, pozitif alternansı kontrol eden S1 anahtarı ile negatif alternansı kontrol eden S2 anahtarı kendilerine ait alternansların hemen başında uyarılmakta (α), alternansın 90'ıncı derecesinde ise zorla susturulmaktadır ($\beta = 90^\circ$).
- Bu durumda klasik yöntemde " α " uyarma açısı kullanılarak yapılan çıkış gerilimi kontrolü, bu yöntemde " β " bitiş açısının kontrolü ile gerçekleştirilmekte olup bu açı ters yönde 0 ile 180 derece arasında ayarlanabilmektedir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-4.149'da verilen temel dalga şekillerinden yararlanarak daha önceki doğrultucularda olduğu gibi ters açı kontrolünde çalıştırılan doğrultucu devrelerinin performans parametrelerini de hesaplamak mümkün olacaktır.
 - Hesaplamalar yapılırken yine hesaplanacak parametreye ait dalga şekli temel alınacak ve bu dalga şekline göre ortalama değer, etkin değer, tepe değer vb. hesaplamalar ayrı ayrı gerçekleştirilebilecek ve devre performansı belirlenebilecektir.
- Şekil-4.149'da görülen 1 faz yarım kontrollü köprü dalga şekillerinden yararlanarak ters açı kontrolü için aşağıdaki hesaplamalar kolaylıkla yapılabilmektedir.
 - 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri,
 - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
 - 3) Ortalama çıkış gücü,
 - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
 - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
 - 6) Güç katsayısı,
 - 7) Anahtar (diyot-tristör) gerilimleri,
 - 8) Anahtar (diyot-tristör) akımları.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Çıkış geriliminin ortalama değeri;
- 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun rezistif yükte ters açı kontrolünde çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.150'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik. Şimdi bu dalga şekline göre çıkış geriliminin ortalama değer eşitliğini bulalım.



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

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

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

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

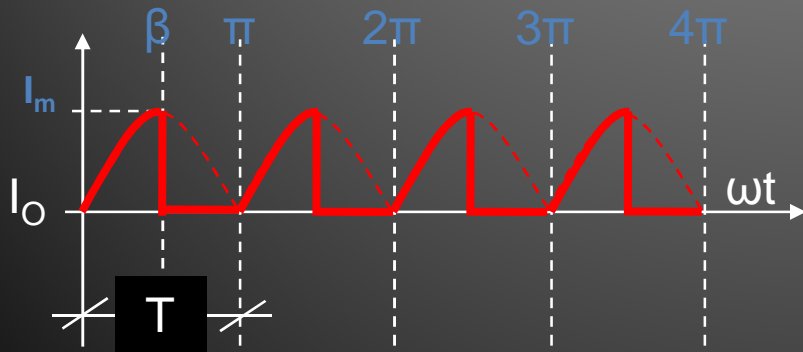
$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [-(\cos \pi . \cos \beta + \sin \pi . \sin \beta) + 1]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [-(-1 . \cos \beta + 0 . \sin \beta) + 1]$$

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

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Çıkış akımının ortalama değeri;
- 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun rezistif yükte ters açı kontrolünde çalıştırılması durumunda, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-4.151'de görülen akımın geçeceğini belirtmiştik. Şimdi bu dalga şekline göre çıkış akımının ortalama değer eşitliğini bulalım.



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

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

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

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

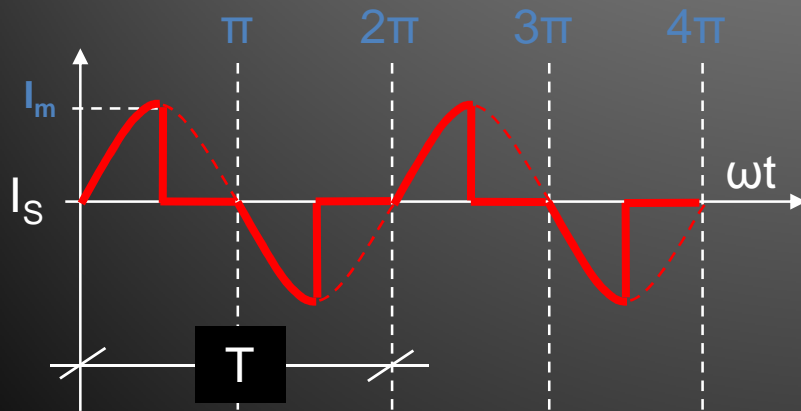
$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} [-(\cos \pi \cdot \cos \beta + \sin \pi \cdot \sin \beta) + 1]$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} [-(-1 \cdot \cos \beta + 0 \cdot \sin \beta) + 1]$$

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

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.152'deki gibidir.



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

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

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

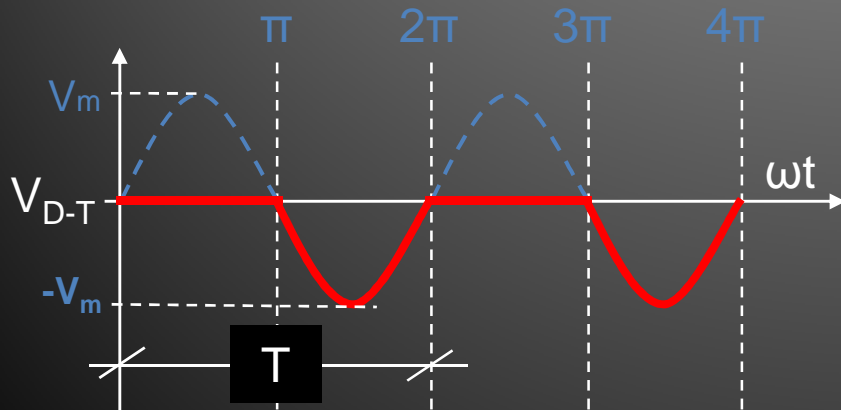
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \left[\left(\frac{\pi - \beta}{2} - \frac{\sin 2(\pi - \beta)}{4} \right) - \dots \right]}$$

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

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

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

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

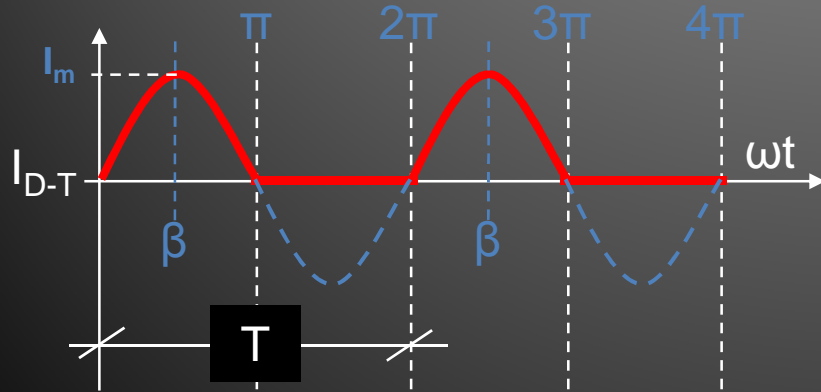


yine diyot ve tristörler tarafından bloke edilen gerilimdir. Şekil-4.153'de görüldüğü gibi, kaynağın negatif ve pozitif alternanslarında anahtarlar yalıtımda kalabilmekte ve kaynak gerilimini bloke etmektedir. Bu durumda devrede kullanılacak olan anahtarların çalışma gerilimleri,

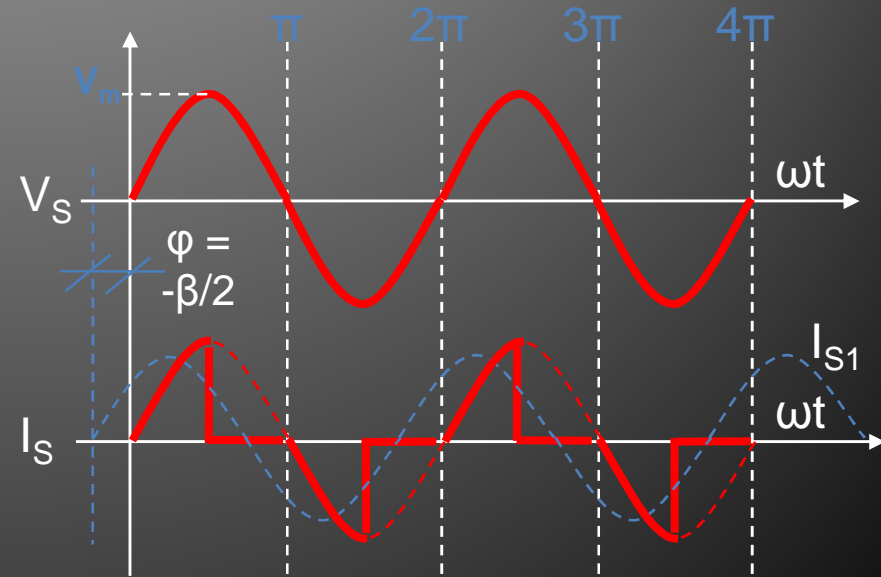
$V_T \geq V_m + (\%30 \cdot V_m) = V_m \cdot 1,3$
eşitliğinden bulunabilecektir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Anahtar (diyot-tristör) akımı;
- Diyot ve tristörlerin akımı, Şekil-4.154'de görüldüğü gibi en fazla yarım dalga akımdır.
- Bu durumda devrede kullanılacak olan anahtarın çalışma akımı,
- $I_T \geq I_m + (\%30 \cdot I_m) = V_m/R \cdot 1,3$ eşitliğinden bulunabilmektedir.



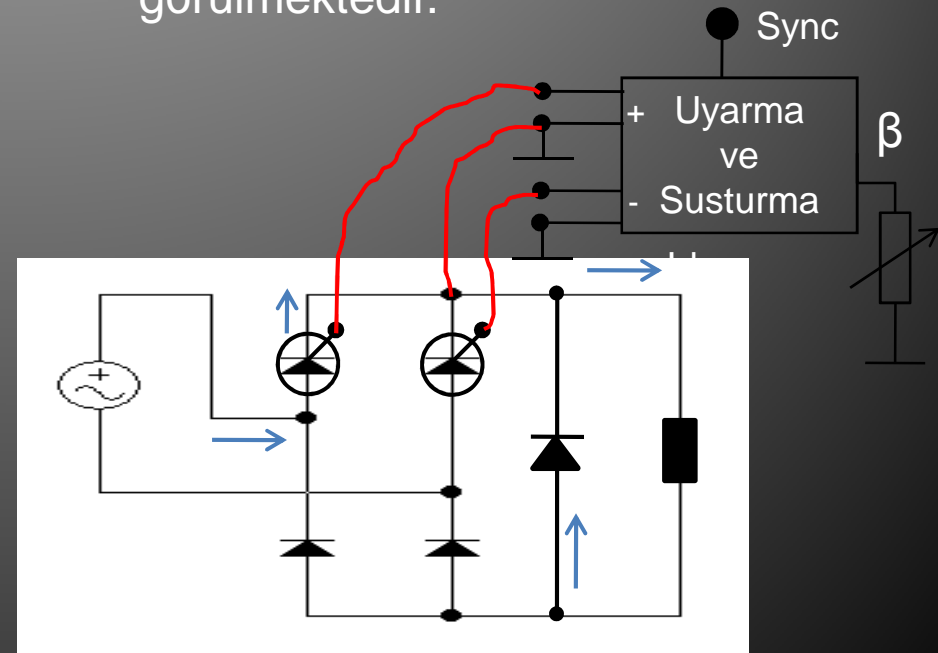
- Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.155'deki gibidir. Bu durumda kaynaktan her iki alternansta da ve kaynakla farklı fazda akım çekilmektedir. Bu durumda $\cos\phi = \cos(-\beta/2)$



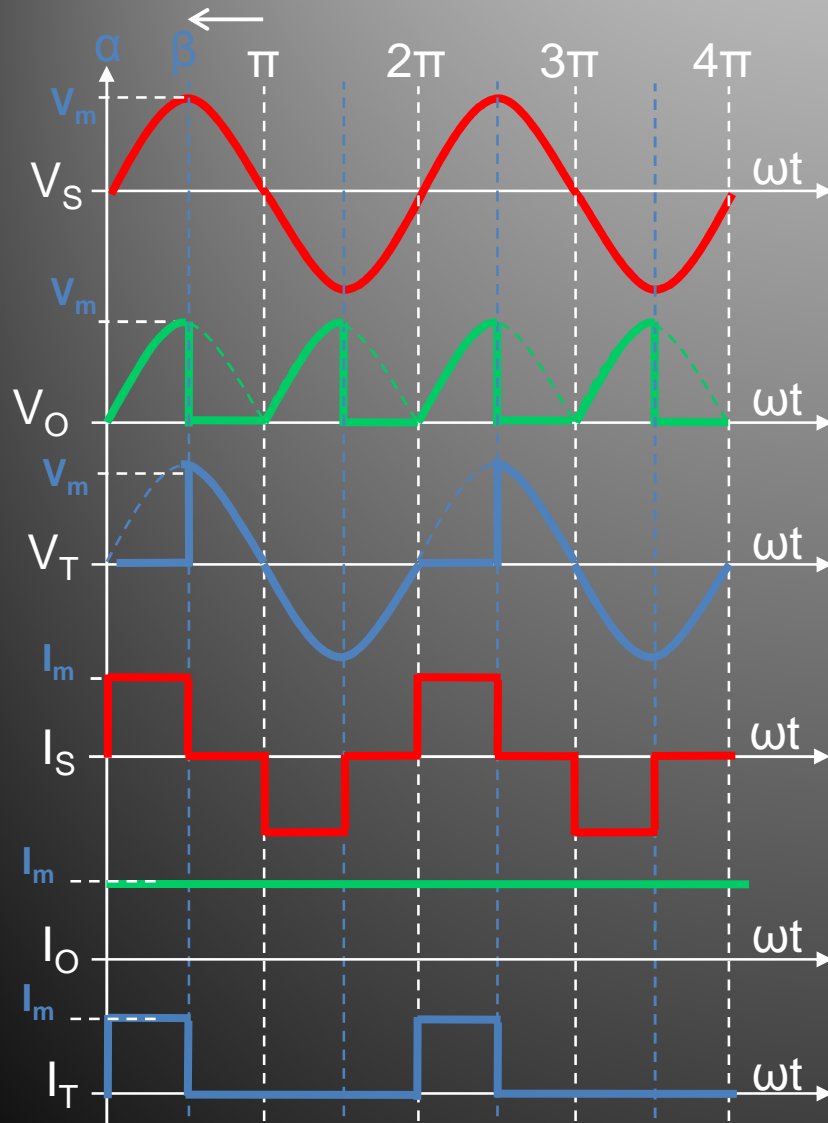
I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-4.155'den görüldüğü gibi kaynak gerilimi ile kaynaktan çekilen akımın aralarındaki faz farkını bulabilmek için yine kaynak akımının temel bileşeni (I_{s1}) çizilmiştir.
- Kaynak akımının temel bileşeninin yatay ekseni kestiği nokta ile kaynak geriliminin yatay ekseni kestiği nokta arasında " $-\beta/2$ " kadarlık bir faz kayması olduğu görülmektedir.
- Şekilden de görüldüğü gibi ters açı kontrolü sayesinde klasik kontrolün tersine akım gerilimin önüne geçmiştir.

- **Ters Açı Kontrolü (End. Yükte);**
- Şekil-4.156'da 1 fazlı tam dalga yarım kontrollü köprü doğrultucu devresinin endüktif yükte ters açı kontrolü yöntemiyle kontrol edilmesi görülmektedir. Şekil-4.157'de ise temel dalga şekilleri görülmektedir.



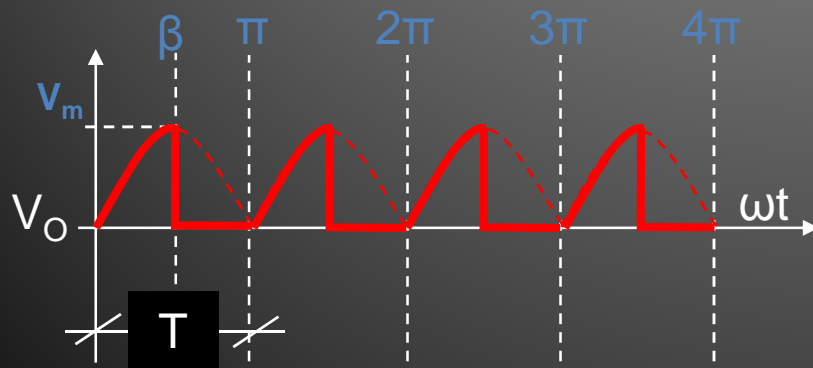
I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL



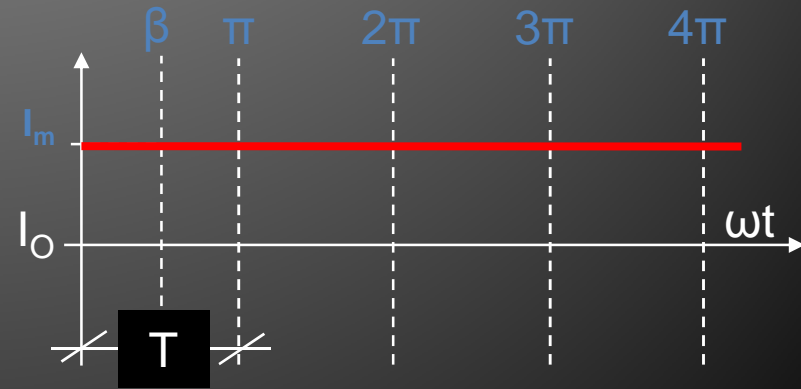
- Şekil-4.157'den görüldüğü gibi, pozitif alternansı kontrol eden S1 anahtarı ile negatif alternansı kontrol eden S2 anahtarı yine kendilerine ait alternansların hemen başında uyarılmakta (α), alternansın 90'ıncı derecesinde ise zorla susturulmaktadır ($\beta = 90^\circ$).
- Bu durumda klasik yöntemde " α " uyarma açısı kullanılarak yapılan çıkış gerilimi kontrolü, bu yöntemde " β " bitiş açısının kontrolü ile gerçekleştirilmektedir. Yükün çok endüktif olması nedeniyle yine çıkış akımı tamamen düz kabul edilmiştir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Çıkış geriliminin ortalama değeri;
- 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun endüktif yükte ters açı kontrolünde çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.158'de verilen aynı dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik. Bu durumda çıkış gerilimi eşitliği rezistif yükteki ile aynı olacaktır.

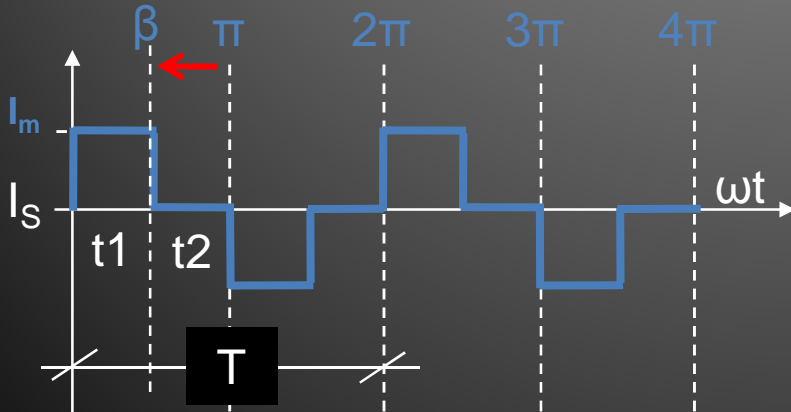


- Çıkış akımının ortalama değeri;
- 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun endüktif yükte ters açı kontrolünde çalıştırılması durumunda, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-4.159'da verilen sabit akımın geçtiğini kabul etmiştik. Bu durumda çıkış akımı, $I_{dc} = I_m = V_m / Z$ olacaktır.



I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.160'daki gibidir.



- Şekil-4.160'dan görüldüğü gibi, kaynaktan çekilen akım AC kare dalga formatındadır.
- Bu durumda akımın etkin değeri etkin periyot eşitliğinden yararlanarak hesaplamak mümkün olabilecektir.
- Etkin değer hesabında sadece pozitif veya sadece negatif alternans kullanılabilir. Bu durumda etkin değer,

$$k = t1 / (t1 + t2)$$

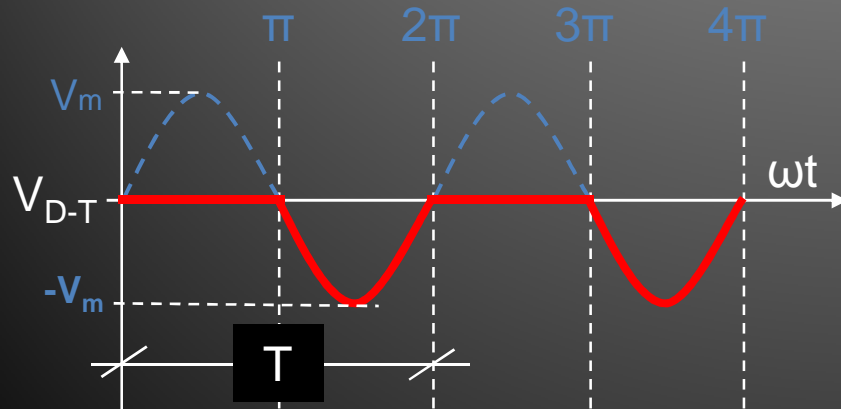
$$I_{s(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k}$$

$$I_{s(rms)} = V_m / Z \cdot \sqrt{k}$$

eşitlikleri kullanılarak bulunabilecektir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

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

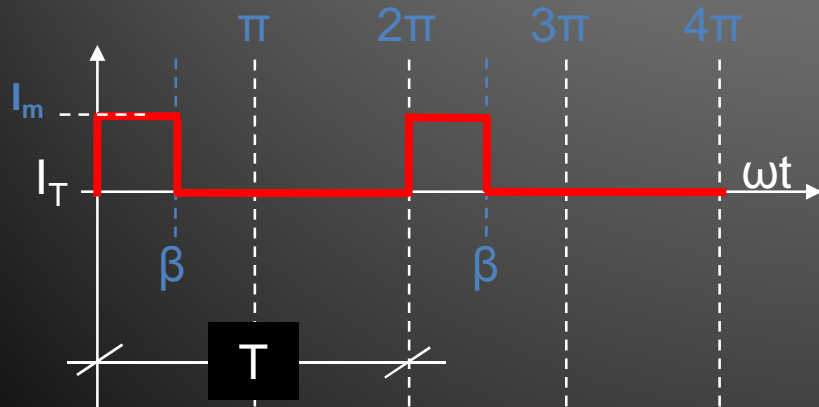


yine diyot ve tristörler tarafından bloke edilen gerilimdir. Şekil-4.161’de görüldüğü gibi, kaynağın negatif ve pozitif alternanslarında anahtarlar yalıtımda kalabilmekte ve kaynak gerilimini bloke etmektedir. Bu durumda devrede kullanılacak olan anahtarların çalışma gerilimleri,

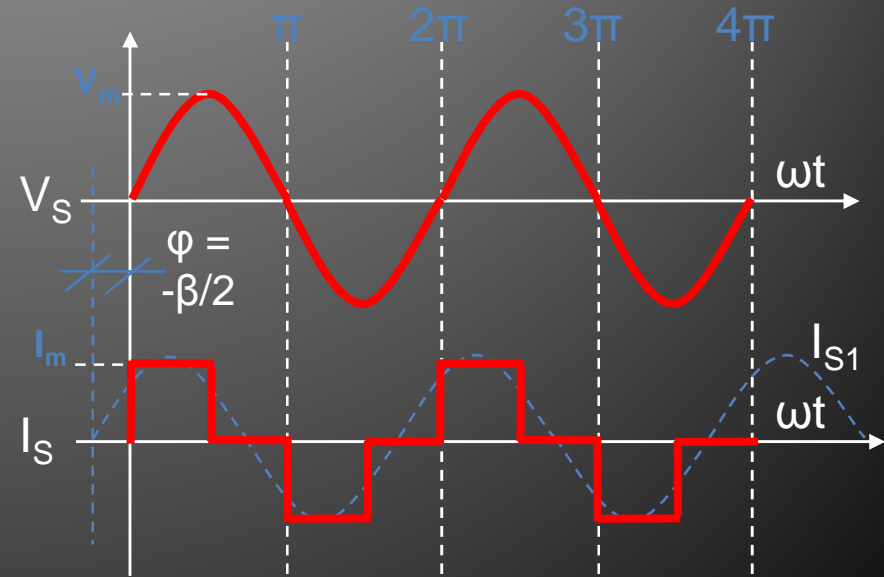
$V_T \geq V_m + (\%30 \cdot V_m) = V_m \cdot 1,3$
eşitliğinden bulunabilecektir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Anahtar (diyot-tristör) akımı;
- Diyot ve tristörlerin akımı, Şekil-4.162'de görüldüğü gibi yarım dalga bir akımdır.
- Bu durumda devrede kullanılacak olan anahtarın çalışma akımı,
- $I_T \geq I_m + (\%30 \cdot I_m) = V_m/Z \cdot 1,3$ eşitliğinden bulunabilmektedir.



- Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.163'deki gibidir. Bu durumda kaynaktan her iki alternansta da ve kaynakla farklı fazda akım çekilmektedir. Bu durumda, $\cos\phi = \cos(-\beta/2)$.



I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-4.163'den görüldüğü gibi kaynak gerilimi ile kaynaktan çekilen akımın aralarındaki faz farkını bulabilmek için yine kaynak akımının temel bileşeni (I_{s1}) çizilmiştir.
- Kaynak akımının temel bileşeninin yatay ekseni kestiği nokta ile kaynak geriliminin yatay ekseni kestiği nokta arasında “ $-\beta/2$ ” kadarlık bir faz kayması olduğu görülmektedir.
- Şekilden de görüldüğü gibi yük endüktif olmasına rağmen sanki kapasitifmiş gibi akım gerilimin önüne geçmiştir.

■ Örnek:

- 220V-50Hz şebekede 90° ters açı uyarısında çalıştırılan 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucu,
- a) 10Ω 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot 1,41 = 311V$$

$$V_{dc} = (V_m/\pi) \cdot (1 + \cos\beta)$$

$$V_{dc} = (311/\pi) \cdot (1 + \cos 90) = 99V$$

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Çıkış akımı ortalama değeri,

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

- Ortalama çıkış gücü,

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

$$P_{dc} = 9,9 \cdot 99 = 0,98kW$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

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

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

$$I_{S(rms)} = \frac{31,1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\pi/2}{\pi} + \frac{\sin 2.90}{2\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = 15,55A$$

- Kaynaktan çekilen etkin güç,

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

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

- Anahtar (diyot-tristör) gerilimi,

$$V_T \geq V_m + \%30$$

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

- Anahtar (diyot-tristör) akımı,

$$I_T \geq V_m / R + \%30$$

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

- Devrenin güç katsayısı,

$$\cos\phi = \cos(-\beta/2) = \cos(-90^\circ/2)$$

$$\cos\phi = 0,707 - \text{ileri}$$

(Akım gerilimin önünde bulunmaktadır.)

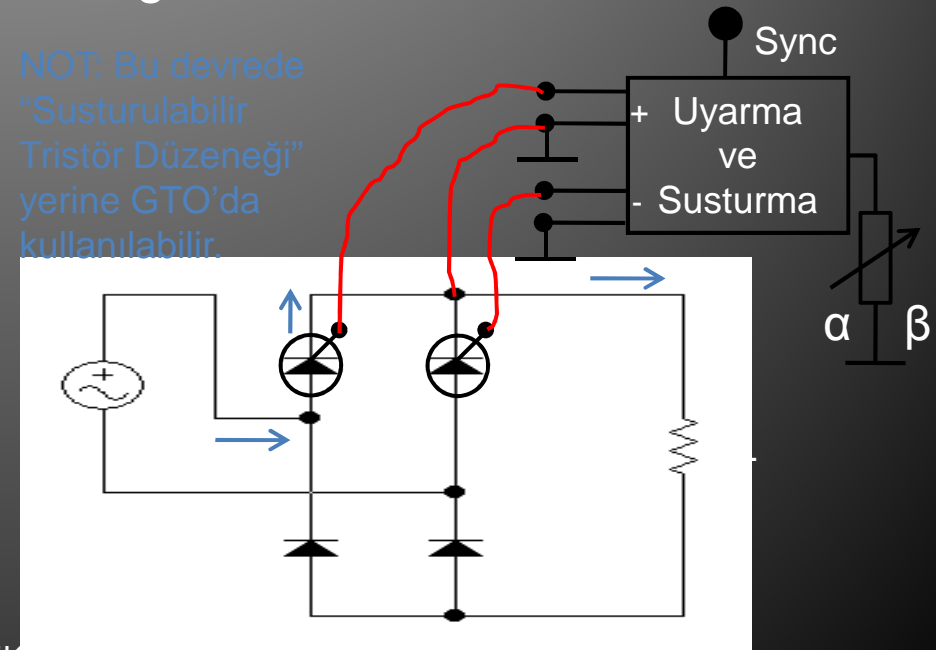
I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- b) Endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
 $V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot 1,41 = 311V$
 $V_{dc} = (V_m/\pi) \cdot (1 + \cos\beta)$
 $V_{dc} = (311/\pi) \cdot (1 + \cos 90) = 99V$
- Çıkış akımı ortalama değeri,
 $I_{dc} = V_m / Z = 311 / 10 = 31,1A$
- Ortalama çıkış gücü,
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$
 $P_{dc} = 31,1 \cdot 99 = 3,07kW$
- Kaynak akımının etkin değeri,
 $k = t_1 / (t_1 + t_2) = 5 / 10 = 0,5$
 $I_{S(rms)} = V_m / Z \cdot \sqrt{k}$
 $I_{S(rms)} = 311/10 \cdot \sqrt{0,5} = 22A$
- Kaynaktan çekilen etkin güç,
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$
 $P_{S(rms)} = 22 \cdot 220 = 4,84kW$
- Anahtar (diyot-tristör) gerilimi,
 $V_T \geq V_m + \%30$
 $V_T \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$
- Anahtar (diyot-tristör) akımı,
 $I_T \geq V_m / R + \%30$
 $I_T \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$
- Devrenin güç katsayısı,
 $\cos\phi = \cos(-\beta/2) = \cos(-90^\circ/2)$
 $\cos\phi = 0,707$ – ileri
(Akım gerilimin önünde bulunmaktadır.)

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- **Simetrik Açı Kontrolü Yöntemi (Rezistif Yükte);**
- Simetrik açı kontrolü yönteminde, güç devresinde kullanılan güç anahtarının, hem ilettime hem de yalıtıma geçme açısı kontrol edilmektedir.
- Bilindiği gibi, “ α ” kontrolunda başlangıç, “ β ” kontrolunda ise bitiş açısı kontrol edilmektedir. Bu da akım ile gerilim arasında faz kaymasına yol açmakta ve güç katsayısını bozmaktadır. Simetrik açı kontrolunda ise her iki açı birlikte kontrol edilmektedir.

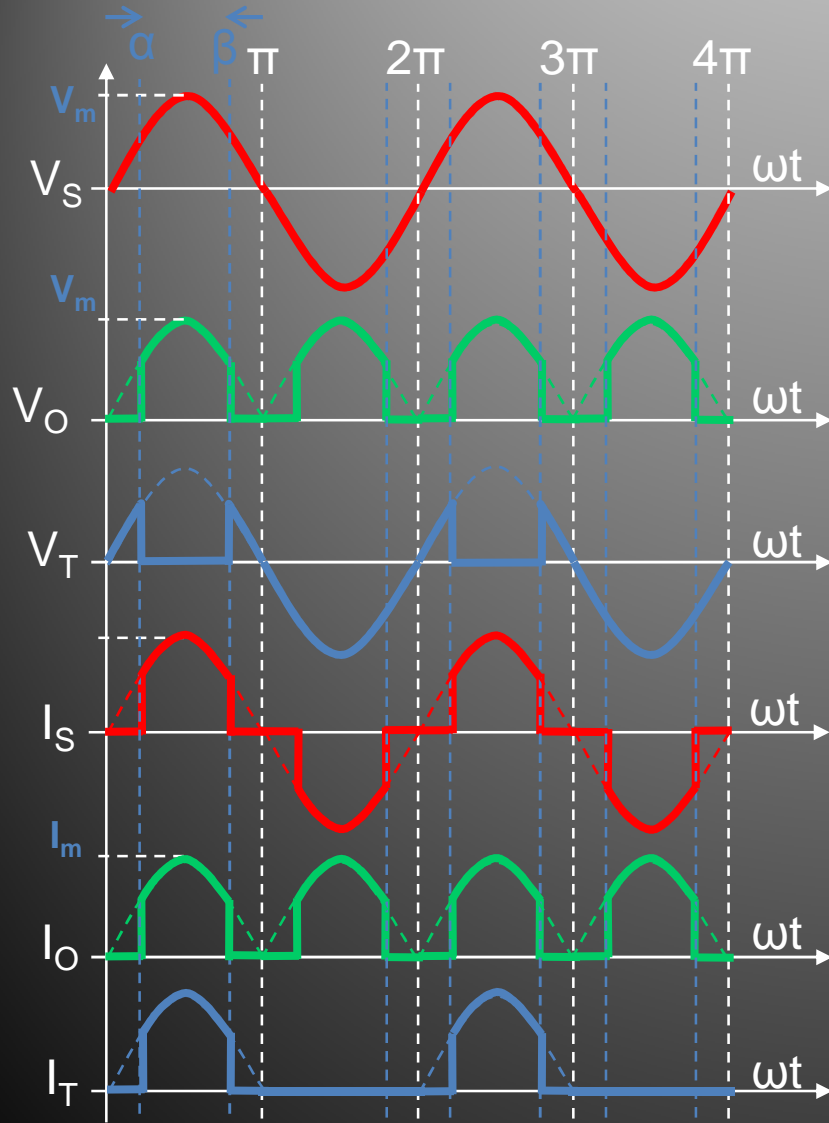
- Simetrik açı kontrolunun uygulanabilmesi için Şekil-4.164’de görüldüğü gibi öncelikle güç devresine müdahale edilerek devrede kullanılan tristörlerin uyarılarak susturulabilir hale getirilmesi gerekecektir.



I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-4.164'den görüldüğü gibi, susturma düzeneği eklenmiş olan tristörler daire içinde sembolize edilmişlerdir. Bu durumda sembolde tristör (T) olarak değil anahtar (S) olarak gösterilmişlerdir.
- Pek çok uygulamada normal tristörlere susturma düzeneği yerleştirmektense doğrudan susturulabilen GTO'lar tercih edilmektedir.
- Tabii ki uyarma devresi de artık sadece basit iğne pals üretici değil, uyarma için ayrı susturma için ayrı pals üretebilen bir devre olacaktır.
- Görüldüğü gibi, simetrik açıcı kontrolü yönteminin de kullanılması durumunda güç devresine yapılacak olan susturma düzeneği eklemesi, hem devrenin maliyetini arttıracak hem de devrenin daha karmaşık olmasına yol açacaktır.
- Buna karşılık elde edilen avantajın ne olduğu aşağıdaki Şekil-4.165'de görülmektedir.
- Bu şekilde örnek olarak seçilen 1 fazlı yarım kontrollu doğrultucunun rezistif yükte kontrolü yöntemiyle uyarılması durumdaki şekiller verilmiştir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL



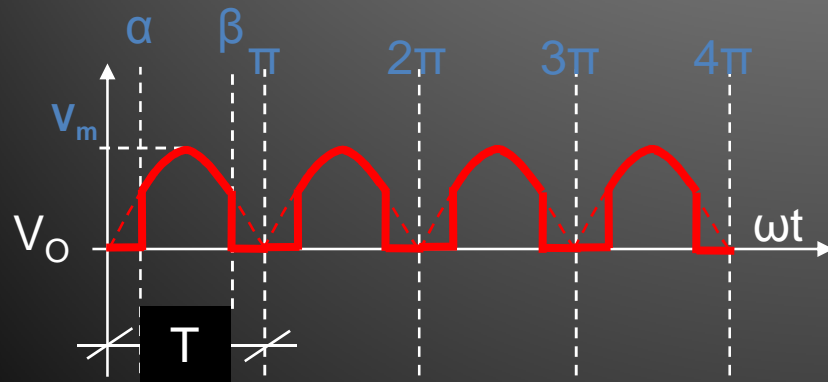
- Şekil-4.165'den görüldüğü gibi, pozitif alternansı kontrol eden S1 anahtarı ile negatif alternansı kontrol eden S2 anahtarı kendilerine ait alternansların 45. derecesinde uyarılmakta (α), alternansın 135. derecesinde ise zorla susturulmaktadır ($\alpha=\beta=45^\circ$).
- Bu durumda klasik yöntemde " α " uyarma açısı kullanılarak yapılan çıkış gerilimi kontrolü, bu yöntemde " β " bitiş açısının kontrolü ile birlikte gerçekleştirilmekte olup bu açı değeri 0-90 derece arasında ayarlanabilmektedir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-4.165’de verilen temel dalga şekillerinden yararlanarak daha önceki doğrultucularda olduğu gibi simetrik açı kontrolünde çalıştırılan doğrultucu devrelerinin performans parametrelerini de hesaplamak mümkün olacaktır.
 - Hesaplamalar yapılırken yine hesaplanacak parametreye ait dalga şekli temel alınacak ve bu dalga şekline göre ortalama değer, etkin değer, tepe değer vb. hesaplamalar ayrı ayrı gerçekleştirilebilecek ve devre performansı belirlenebilecektir.
- Şekil-4.165’de görülen 1 faz yarım kontrollü köprü dalga şekillerinden yararlanarak ters açı kontrolü için aşağıdaki hesaplamalar kolaylıkla yapılabilmektedir.
 - 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri,
 - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
 - 3) Ortalama çıkış gücü,
 - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
 - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
 - 6) Güç katsayısı,
 - 7) Anahtar (diyot-tristör) gerilimleri,
 - 8) Anahtar (diyot-tristör) akımları.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Çıkış geriliminin ortalama değeri;
- 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun rezistif yükte simetrik açı kontrolunda çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.165'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik. Şimdi bu dalga şekline göre çıkış geriliminin ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\beta} V_m \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

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

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

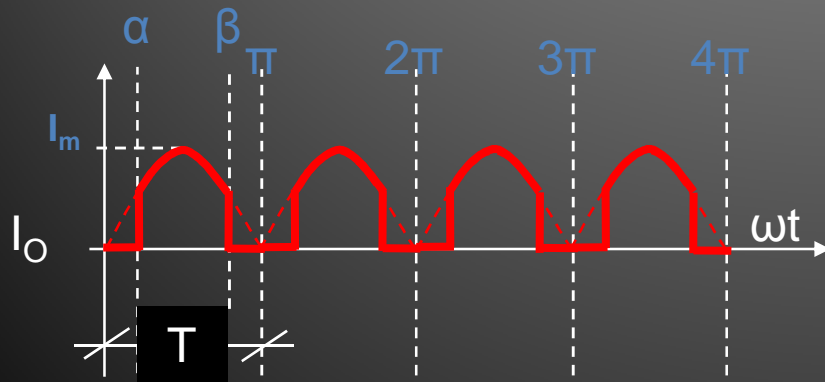
$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [-(\cos(\pi - \beta) - \cos \alpha)]$$

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

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Çıkış akımının ortalama değeri;
- 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun rezistif yükte simetrik açı kontrolunda çalıştırılması durumunda, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-4.166'da görülen akımın geçeceğini belirtmiştik. Şimdi bu dalga şekline göre çıkış akımının ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$I_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\beta} I_m \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

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

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

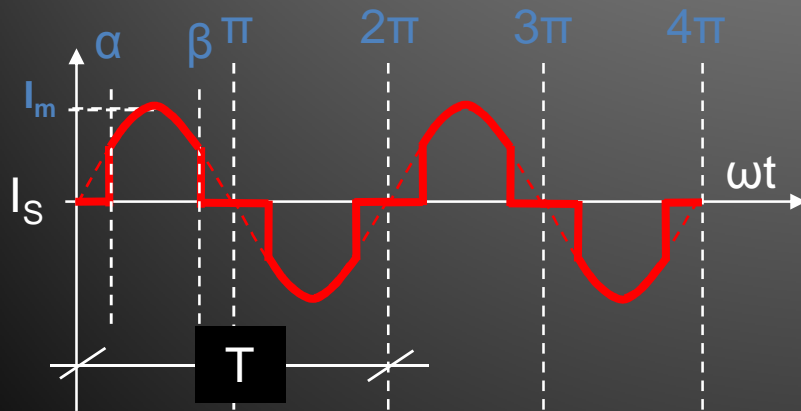
$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} [-(\cos(\pi - \beta) - \cos \alpha)]$$

$$I_{dc} = \frac{V_m / R}{\pi} (\cos \alpha + \cos \beta)$$

$$I_{dc} = \frac{2V_m / R}{\pi} \cos \alpha = \frac{V_{dc}}{R}$$

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.167'deki gibidir.



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

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

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

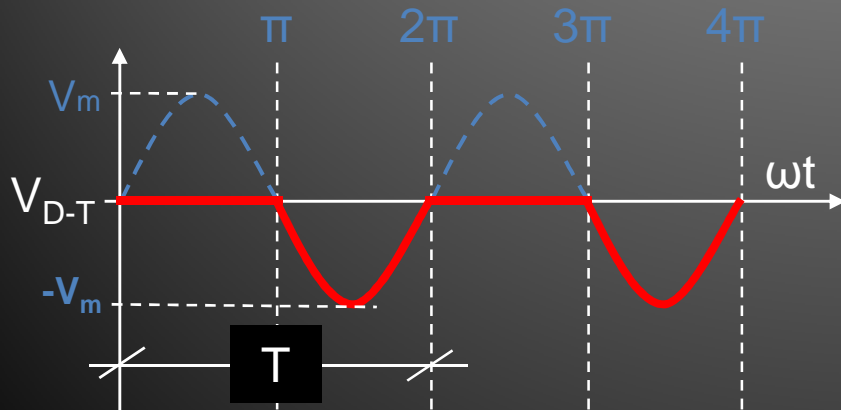
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \left[\left(\frac{\pi-\beta}{2} - \frac{\sin 2(\pi-\beta)}{4} \right) - \dots \right]}$$

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

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

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

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

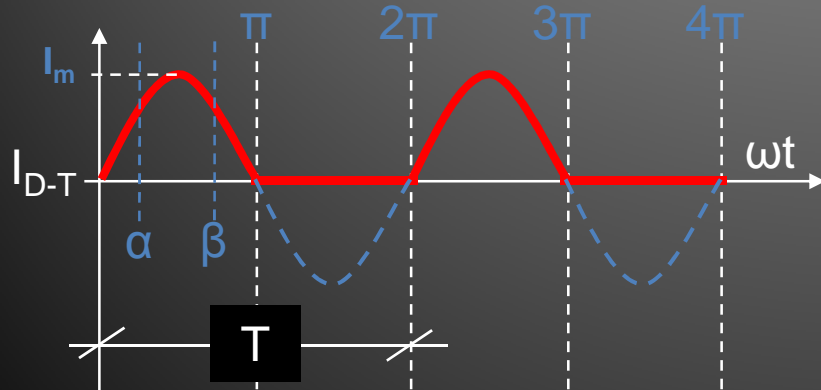


yine diyot ve tristörler tarafından bloke edilen gerilimdir. Şekil-4.168’de görüldüğü gibi, kaynağın negatif ve pozitif alternanslarında anahtarlar yalıtımda kalabilmekte ve kaynak gerilimini bloke etmektedir. Bu durumda devrede kullanılacak olan anahtarların çalışma gerilimleri,

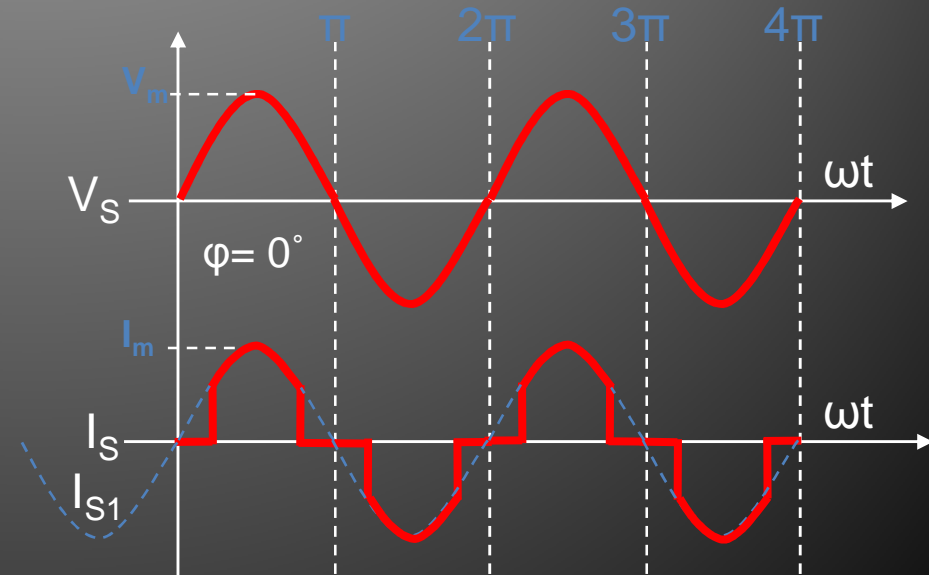
$V_T \geq V_m + (\%30 \cdot V_m) = V_m \cdot 1,3$
eşitliği kullanılarak bulunabilecektir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Anahtar (diyot-tristör) akımı;
- Diyot ve tristörlerin akımı, Şekil-4.169'da görüldüğü gibi en fazla yarım dalga akımdır.
- Bu durumda devrede kullanılacak olan anahtarın çalışma akımı,
- $I_T \geq I_m + (\%30 \cdot I_m) = V_m/R \cdot 1,3$ eşitliğinden bulunabilmektedir.



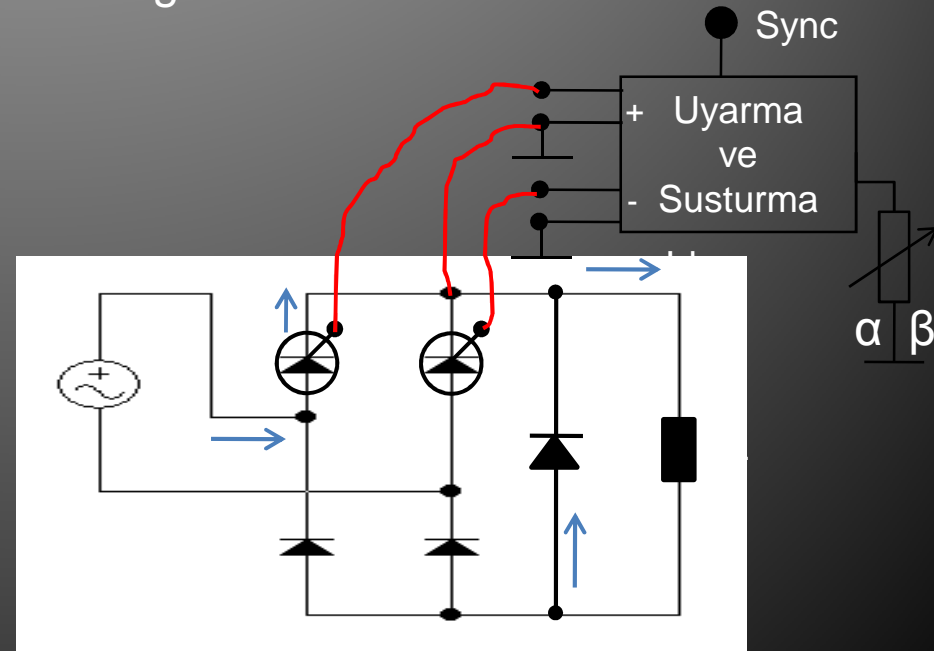
- Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.170'deki gibidir. Bu durumda kaynaktan her iki alternansta da ve kaynakla aynı fazda akım çekilmektedir. Bu durumda $\cos\phi = 1$ 'dir.



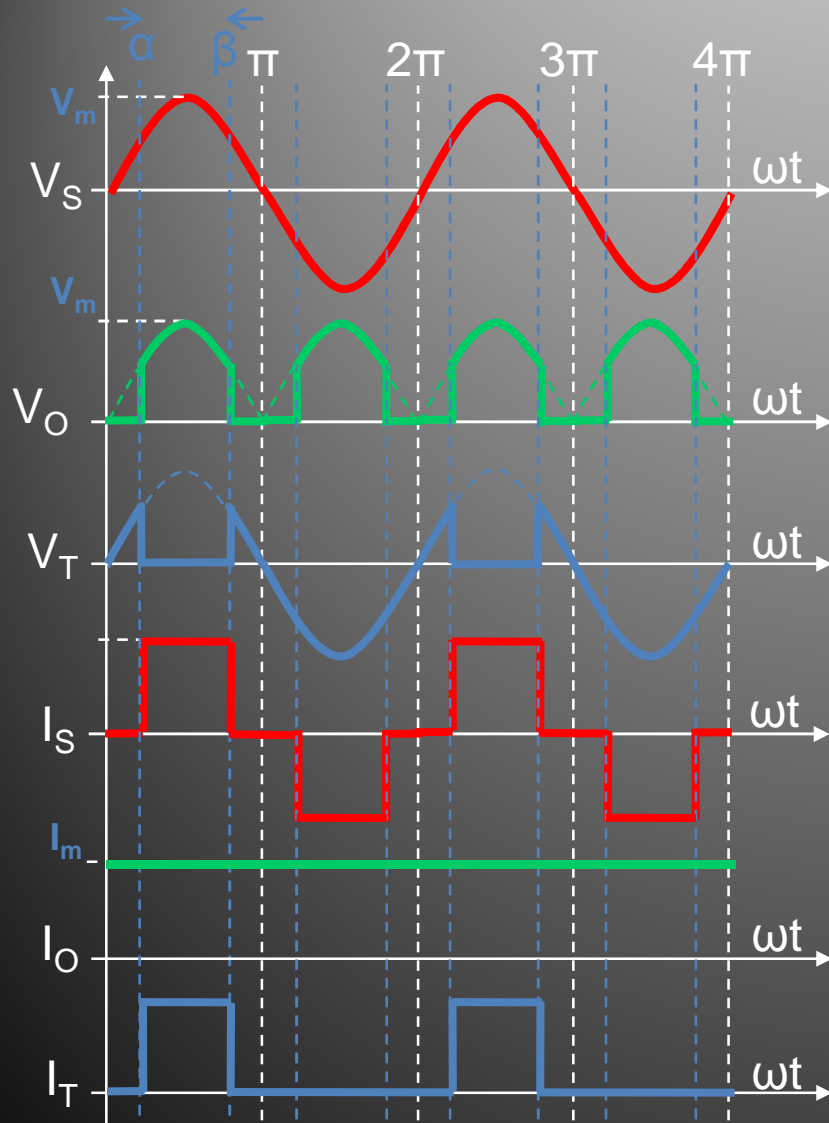
I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-4.170'den görüldüğü gibi kaynak gerilimi ile kaynaktan çekilen akımın aralarındaki faz farkını bulabilmek için yine kaynak akımının temel bileşeni (I_{s1}) çizilmiştir.
- Kaynak akımının temel bileşeninin yatay ekseni kestiği nokta ile kaynak geriliminin yatay ekseni kestiği nokta arasında herhangi bir faz kayması olmadığı görülmektedir.
- Şekilden de görüldüğü gibi simetrik açı kontrolü sayesinde güç katsayısı "1" olmuştur.

- **Simetrik Açı Kontr. (End.Yükte);**
- Şekil-4.171'de 1 fazlı tam dalga yarım kontrollü köprü doğrultucu devresinin endüktif yükte simetrik açı kontrolü yöntemiyle kontrol edilmesi görülmektedir. Şekil-4.172'de ise temel dalga şekilleri görülmektedir.



I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL



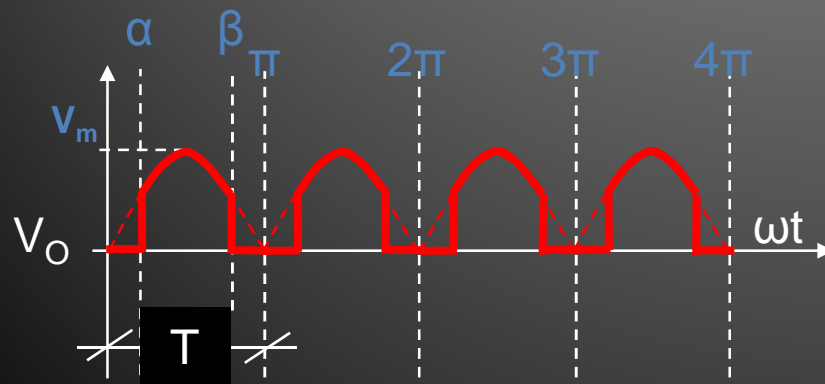
- Şekil-4.172'den görüldüğü gibi, pozitif alternansı kontrol eden S1 anahtarı ile negatif alternansı kontrol eden S2 anahtarı kendilerine ait alternansların 45. derecesinde uyarılmakta (α), alternansın 135. derecesinde ise zorla susturulmaktadır ($\alpha=\beta= 45^\circ$).
- Bu durumda klasik yöntemde " α " uyarma açısı kullanılarak yapılan çıkış gerilimi kontrolü, bu yöntemde " β " bitiş açısının kontrolü ile birlikte gerçekleştirilmekte olup bu açı değeri yine 0-90 derece arasında ayarlanabilmektedir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

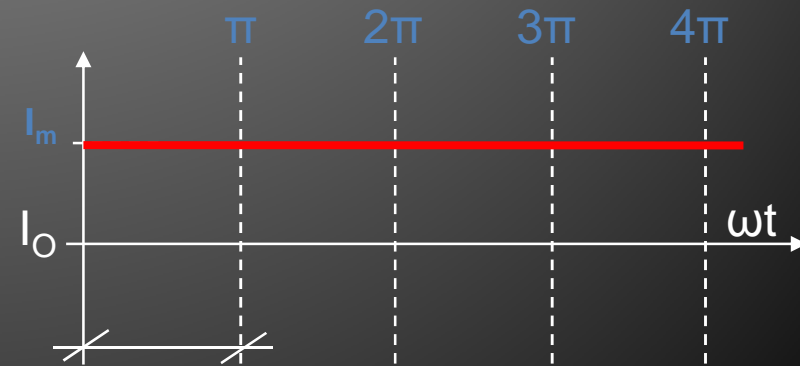
- Şekil-4.172’de verilen temel dalga şekillerinden yararlanarak daha önceki doğrultucularda olduğu gibi simetrik açı kontrolünde çalıştırılan doğrultucu devrelerinin performans parametrelerini de hesaplamak mümkün olacaktır.
 - Hesaplamalar yapılırken yine hesaplanacak parametreye ait dalga şekli temel alınacak ve bu dalga şekline göre ortalama değer, etkin değer, tepe değer vb. hesaplamalar ayrı ayrı gerçekleştirilebilecek ve devre performansı belirlenebilecektir.
- Şekil-4.172’de görülen 1 faz yarım kontrollü köprü dalga şekillerinden yararlanarak ters açı kontrolü için aşağıdaki hesaplamalar kolaylıkla yapılabilmektedir.
 - 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri,
 - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
 - 3) Ortalama çıkış gücü,
 - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
 - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
 - 6) Güç katsayısı,
 - 7) Anahtar (diyot-tristör) gerilimleri,
 - 8) Anahtar (diyot-tristör) akımları.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Çıkış geriliminin ortalama değeri;
- 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun endüktif yükte ters açı kontrolunda çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-4.173'de verilen aynı dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik. Bu durumda çıkış gerilimi eşitliği rezistif yükteki ile aynı olacaktır.

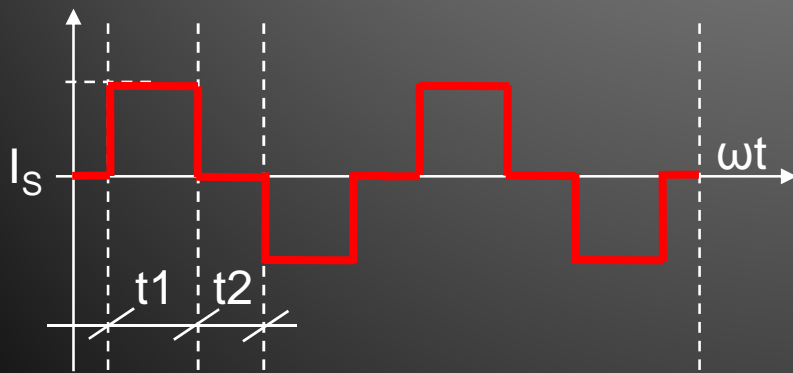


- Çıkış akımının ortalama değeri;
- 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun endüktif yükte ters açı kontrolunda çalıştırılması durumunda, yük üzerinden aşağıdaki Şekil-4.174'de verilen sabit akımın geçtiğini kabul etmiştik. Bu durumda çıkış akımı, $I_{dc} = I_m = V_m / Z$ olacaktır.



I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil-4.175'deki gibidir.



- Şekil-4.175'den görüldüğü gibi, kaynaktan çekilen akım AC kare dalga formatındadır.
- Bu durumda akımın etkin değeri etkin periyot eşitliğinden yararlanarak hesaplamak mümkün olabilecektir.
- Etkin değer hesabında sadece pozitif veya sadece negatif alternans kullanılabilir. Bu durumda etkin değer,

$$k = t1 / (t1 + t2)$$

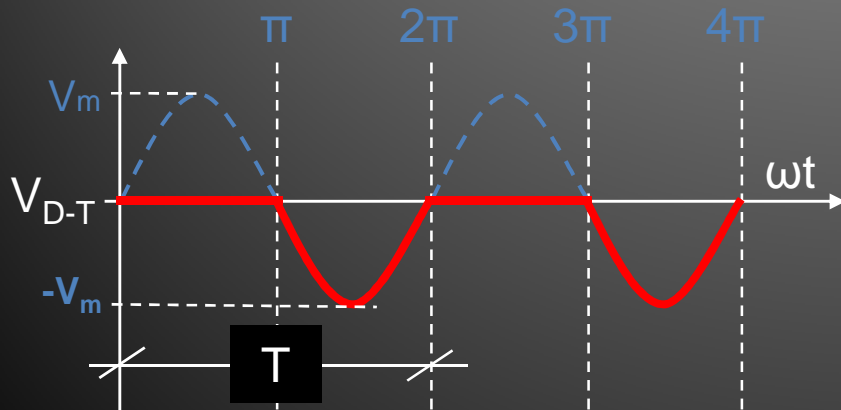
$$I_{s(rms)} = I_m \cdot \sqrt{k}$$

$$I_{s(rms)} = V_m / Z \cdot \sqrt{k}$$

eşitlikleri kullanılarak bulunabilecektir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

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

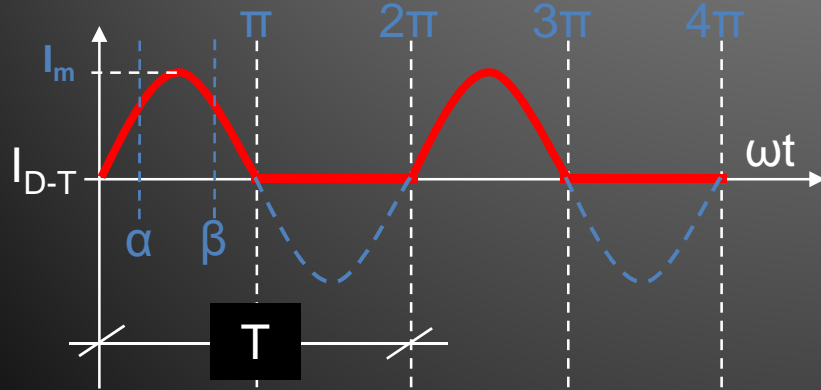


yine diyot ve tristörler tarafından bloke edilen gerilimdir. Şekil-4.176'da görüldüğü gibi, kaynağın negatif ve pozitif alternanslarında anahtarlar yalıtımda kalabilmekte ve kaynak gerilimini bloke etmektedir. Bu durumda devrede kullanılacak olan anahtarların çalışma gerilimleri,

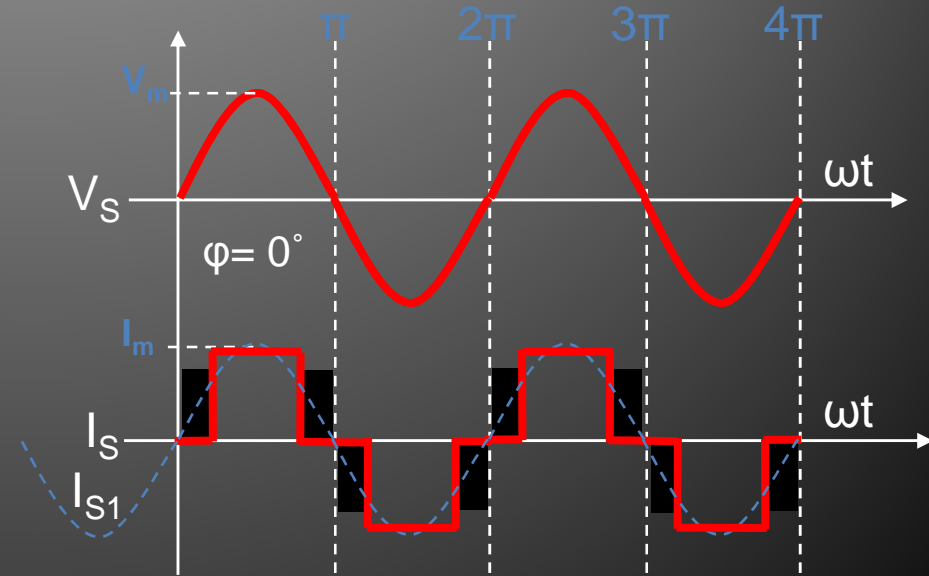
$V_T \geq V_m + (\%30 \cdot V_m) = V_m \cdot 1,3$
eşitliği kullanılarak bulunabilecektir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Anahtar (diyot-tristör) akımı;
- Diyot ve tristörlerin akımı, Şekil-4.177’de görüldüğü gibi en fazla yarım dalga akımdır.
- Bu durumda devrede kullanılacak olan anahtarın çalışma akımı,
- $I_T \geq I_m + (\%30 \cdot I_m) = V_m/R \cdot 1,3$ eşitliğinden bulunabilmektedir.



- Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil-4.178’deki gibidir. Bu durumda kaynaktan her iki alternansta da ve kaynakla farklı fazda akım çekilmektedir. Bu durumda $\cos\phi = 1$ ’dir.



I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-4.178'den görüldüğü gibi kaynak gerilimi ile kaynaktan çekilen akımın aralarındaki faz farkını bulabilmek için yine kaynak akımının temel bileşeni (I_{s1}) çizilmiştir.
- Kaynak akımının temel bileşeninin yatay ekseni kestiği nokta ile kaynak geriliminin yatay ekseni kestiği nokta arasında “ $-\beta/2$ ” kadarlık bir faz kayması olduğu görülmektedir.
- Şekilden de görüldüğü gibi yük endüktif olmasına rağmen sanki kapasitifmiş gibi akım gerilimin önüne geçmiştir.

■ Örnek:

- 220V-50Hz şebekede 45° simetrik açı uyarısında çalıştırılan 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucu,
- a) 10Ω 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot 1,41 = 311V$$

$$V_{dc} = (2V_m/\pi) \cdot \cos\alpha$$

$$V_{dc} = (2 \cdot 311/\pi) \cdot \cos(45^\circ) = 140V$$

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Çıkış akımı ortalama değeri,

$$I_{dc} = V_{dc} / R = 140 / 10 = 14A$$

- Ortalama çıkış gücü,

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

$$P_{dc} = 14 \cdot 140 = 1,96kW$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

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

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

$$I_{S(rms)} = \frac{31,1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (\pi/4)}{\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = 15,54A$$

- Kaynaktan çekilen etkin güç,

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

$$P_{S(rms)} = 15,54 \cdot 220 = 3,42kW$$

- Anahtar (diyot-tristör) gerilimi,

$$V_T \geq V_m + \%30$$

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

- Anahtar (diyot-tristör) akımı,

$$I_T \geq V_m / R + \%30$$

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

- Devrenin güç katsayısı,

$$\cos\phi = \cos(0^\circ)$$

$$\cos\phi = 1$$

(Akım ve gerilim aynı fazda bulunmaktadır.)

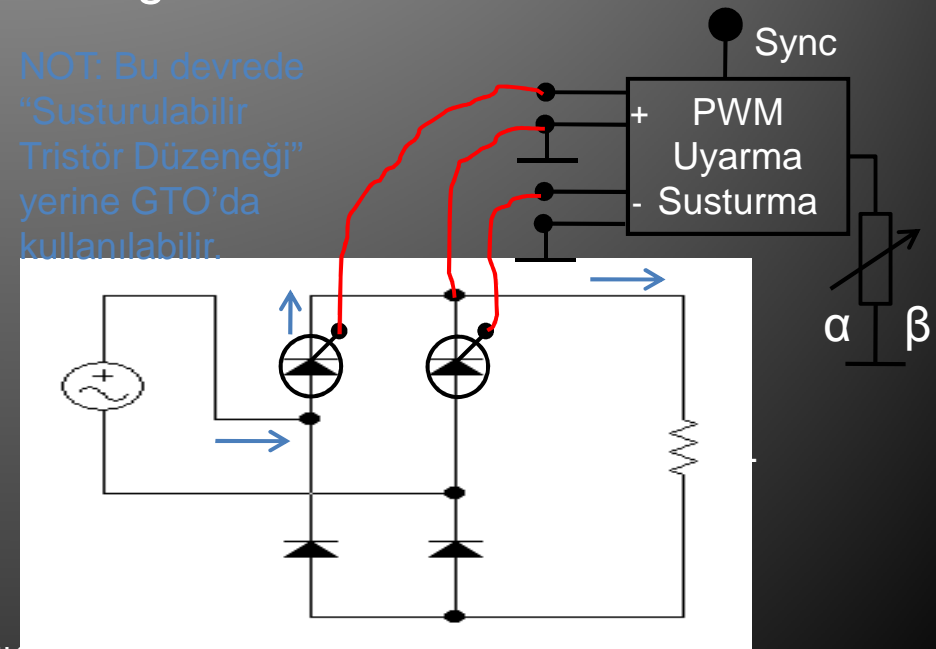
I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- b) Endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
 $V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot 1,41 = 311V$
 $V_{dc} = (2V_m/\pi) \cdot \cos\alpha$
 $V_{dc} = (2 \cdot 311/\pi) \cdot \cos(45^\circ) = 140V$
- Çıkış akımı ortalama değeri,
 $I_{dc} = V_m / Z = 311 / 10 = 31,1A$
- Ortalama çıkış gücü,
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$
 $P_{dc} = 31,1 \cdot 140 = 4,35kW$
- Kaynak akımının etkin değeri,
 $k = t_1 / (t_1 + t_2) = 5 / 10 = 0,5$
 $I_{S(rms)} = V_m / Z \cdot \sqrt{k}$
 $I_{S(rms)} = 311/10 \cdot \sqrt{0,5} = 22A$
- Kaynaktan çekilen etkin güç,
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$
 $P_{S(rms)} = 22 \cdot 220 = 4,84kW$
- Anahtar (diyot-tristör) gerilimi,
 $V_T \geq V_m + \%30$
 $V_T \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$
- Anahtar (diyot-tristör) akımı,
 $I_T \geq V_m / R + \%30$
 $I_T \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$
- Devrenin güç katsayısı,
 $\cos\phi = \cos(0^\circ)$
 $\cos\phi = 1$
(Akım ve gerilim aynı fazda bulunmaktadır.)

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- PWM Kontrol Yöntemi (Rezistif Yükte);
- PWM kontrol yönteminde, güç devresinde kullanılan güç anahtarının, hem iletme hem de yalıtıma geçme açısı çok sayıda kontrol edilmektedir.
- Bilindiği gibi, simetrik açı kontrolunda başlangıç ve bitiş açısı alternans içinde 1 kez kontrol edilmektedir. Bu da akım ve gerilimin homojen dağılımını engellemektedir. PWM kontrol yönteminde ise bu kontrol 1 alternans içinde çok sayıda yapılmaktadır.

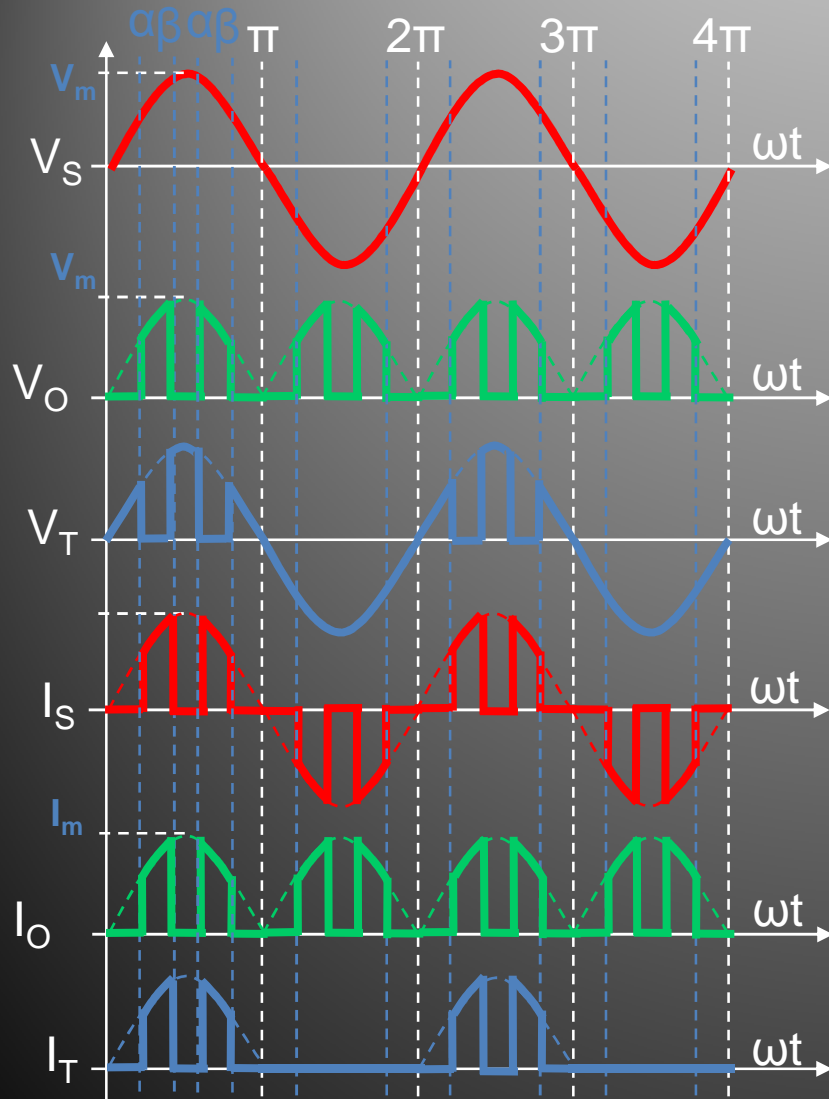
- PWM kontrolunun uygulanabilmesi için Şekil-4.179'da görüldüğü gibi öncelikle güç devresine müdahale edilerek devrede kullanılan tristörlerin uyarılarak susturulabilir hale getirilmesi gerekecektir.



I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-4.179'dan görüldüğü gibi, susturma düzeneği eklenmiş olan tristörler daire içinde sembolize edilmişlerdir. Bu durumda sembolde tristör (T) olarak değil anahtar (S) olarak gösterilmişlerdir.
- Pek çok uygulamada normal tristörlere susturma düzeneği yerleştirmektense doğrudan susturulabilen GTO'lar vb. elemanlar tercih edilmektedir.
- Tabii ki uyarma devresi de artık sadece basit iğne pals üretici değil, PWM uyarma için ayrı susturma için ayrı pals üretebilen bir devre olacaktır.
- Görüldüğü gibi, PWM kontrolü yönteminin de kullanılması durumunda güç devresine yapılacak olan susturma düzeneği eklemesi, hem devrenin maliyetini arttıracak hem de devrenin daha karmaşık olmasına yol açacaktır.
- Buna karşılık elde edilen avantajın ne olduğu aşağıdaki Şekil-4.180'de görülmektedir.
- Bu şekilde örnek olarak seçilen 1 fazlı yarım kontrollu doğrultucunun rezistif yükte kontrolü yöntemiyle uyarılması durumdaki şekiller verilmiştir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

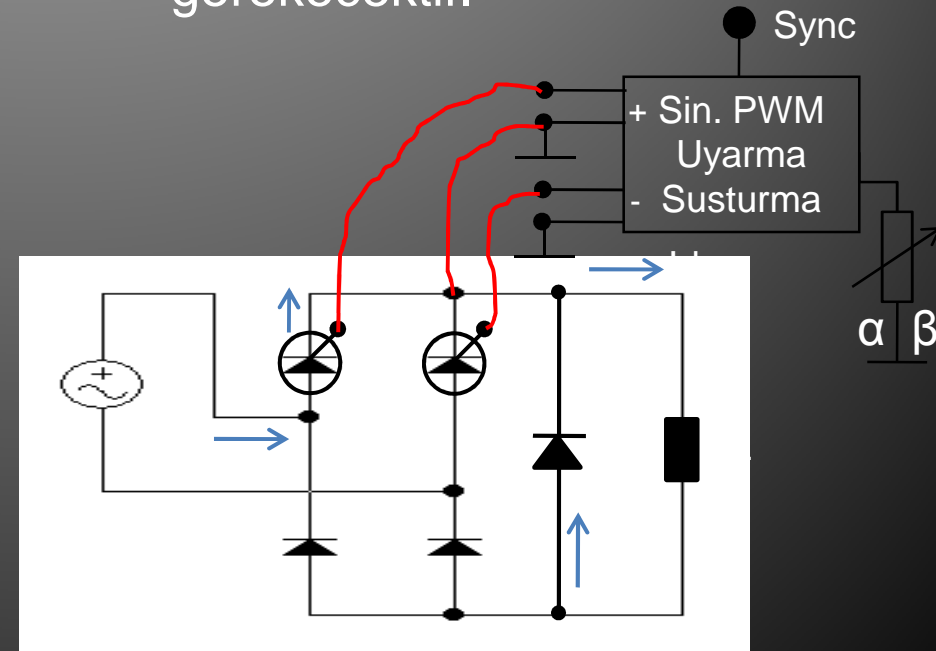


- Şekil-4.180'den görüldüğü gibi, pozitif alternansı kontrol eden S1 anahtarı ile negatif alternansı kontrol eden S2 anahtarı kendilerine ait alternansların içinde birden fazla sayıda uyarılmakta ve susturulmaktadır. Bu sayının fazla olması daha iyidir.
- Bu durumda diğer yöntemlerde elde edilemeyen, akımın ve gerilimin homojen şekilde dağılımı elde edilmiş olmaktadır. Aynı zamanda da güç katsayısı simetrik açı kontrolunda olduğu gibi 1 değerinde sabit kalmaktadır.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Sinüoidal PWM Kontrol Yöntemi (Endüktif Yükte);
- Sinüoidal PWM kontrol yönteminde de yine, güç devresinde kullanılan güç anahtarının, hem iletme hem de yalıtıma geçme açısı çok sayıda kontrol edilmektedir.
- Bilindiği gibi, simetrik açı kontrolunda başlangıç ve bitiş açısı alternans içinde 1 kez kontrol edilmektedir. Bu da akım ve gerilimin homojen dağılımını engellemektedir. Bu yöntemde ise kontrol bir alternans içinde çok sayıda yapılmaktadır.

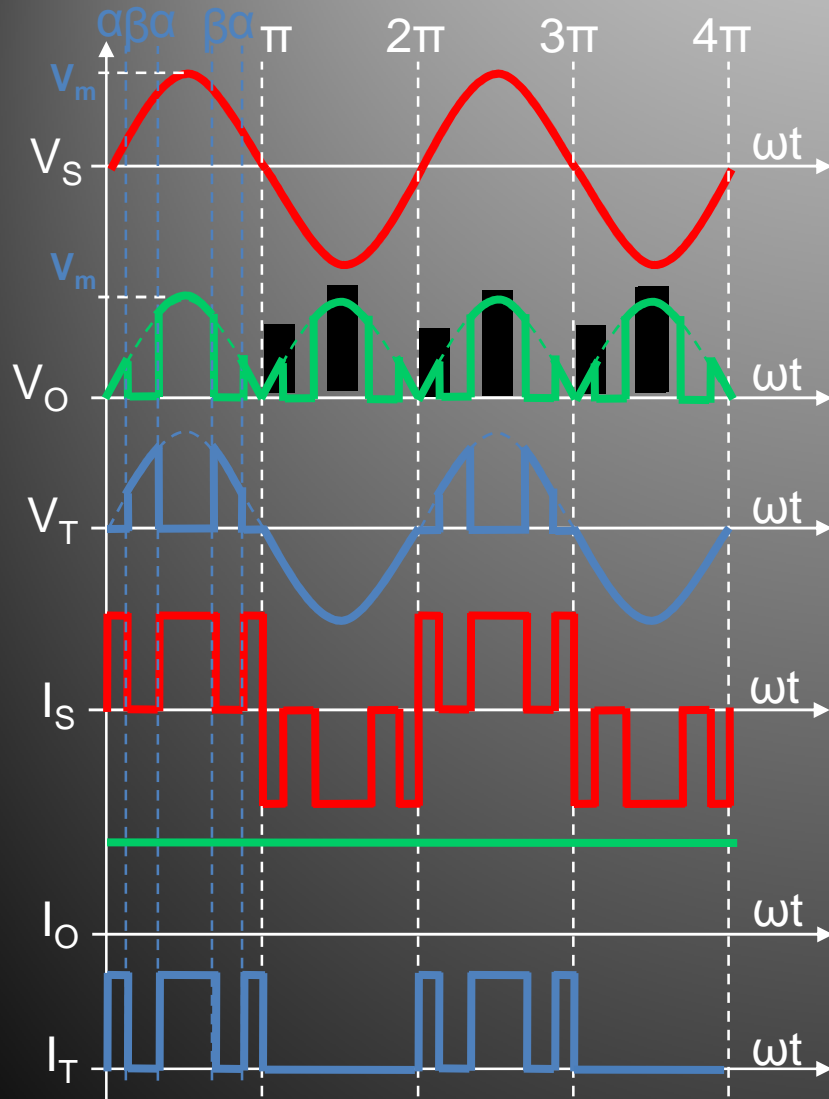
- Sinüoidal PWM kontrolunun uygulanabilmesi için Şekil-4.181'de görüldüğü gibi yine öncelikle güç devresine müdahale edilerek devrede kullanılan tristörlerin uyarılarak susturulabilir hale getirilmesi gerekecektir.



I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-4.181'den görüldüğü gibi, susturma düzeneği eklenmiş olan tristörler daire içinde sembolize edilmişlerdir. Bu durumda sembolde tristör (T) olarak değil anahtar (S) olarak gösterilmişlerdir.
- Pek çok uygulamada normal tristörlere susturma düzeneği yerleştirmektense doğrudan susturulabilen GTO'lar vb. elemanlar tercih edilmektedir.
- Tabii ki uyarma devresi de yine sadece basit iğne pals üretici değil, sinüsoidal PWM uyarma için ayrı susturma için ayrı pals üretebilen bir devre olacaktır.
- Görüldüğü gibi, sinüsoidal PWM kontrolü yönteminin de kullanılması durumunda güç devresine yapılacak olan susturma düzeneği eklemesi, hem devrenin maliyetini arttıracak hem de devrenin daha karmaşık olmasına yol açacaktır.
- Buna karşılık elde edilen avantajın ne olduğu aşağıdaki Şekil-4.182'de görülmektedir.
- Bu şekilde örnek olarak seçilen 1 fazlı yarım kontrollu doğrultucunun rezistif yükte kontrolü yöntemiyle uyarılması durumdaki şekiller verilmiştir.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL



- Şekil-4.180'den görüldüğü gibi, pozitif alternansı kontrol eden S1 anahtarı ile negatif alternansı kontrol eden S2 anahtarı kendilerine ait alternansların içinde birden fazla sayıda uyarılmakta ve susturulmaktadır. Bu sayının fazla olması daha iyidir.
- Şekilden görüldüğü gibi anahtarlama her alternansın başında dar ortasında geniş ve sonunda yine dar yapılarak endüktif yüklerde kare dalga formatında olan kaynaktan çekilen akım etki olarak sinüse dönüştürülmüş olmaktadır.

I – DOĞRULTUCULARDA İLERİ KONTROL

ÖDEV-1

- 1.1) 220V-50Hz şebekede, ters açı kontrolunda, 90° uyarma açısında, 12Ω 'luk saf rezistif bir yükü besleyen 1 fazlı tam dalga yarım kontrollu doğrultucunun,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.
- 1.2) 220V-50Hz şebekede, simetrik açı kontroluna, 45° uyarma açısında, 8Ω 'luk endüktif yükü besleyen 1 faz tam dalga yarım kontrollu doğrultucunun,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

Bölüm-2

AC Kıyıcılarda İleri Kontrol Yöntemleri

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

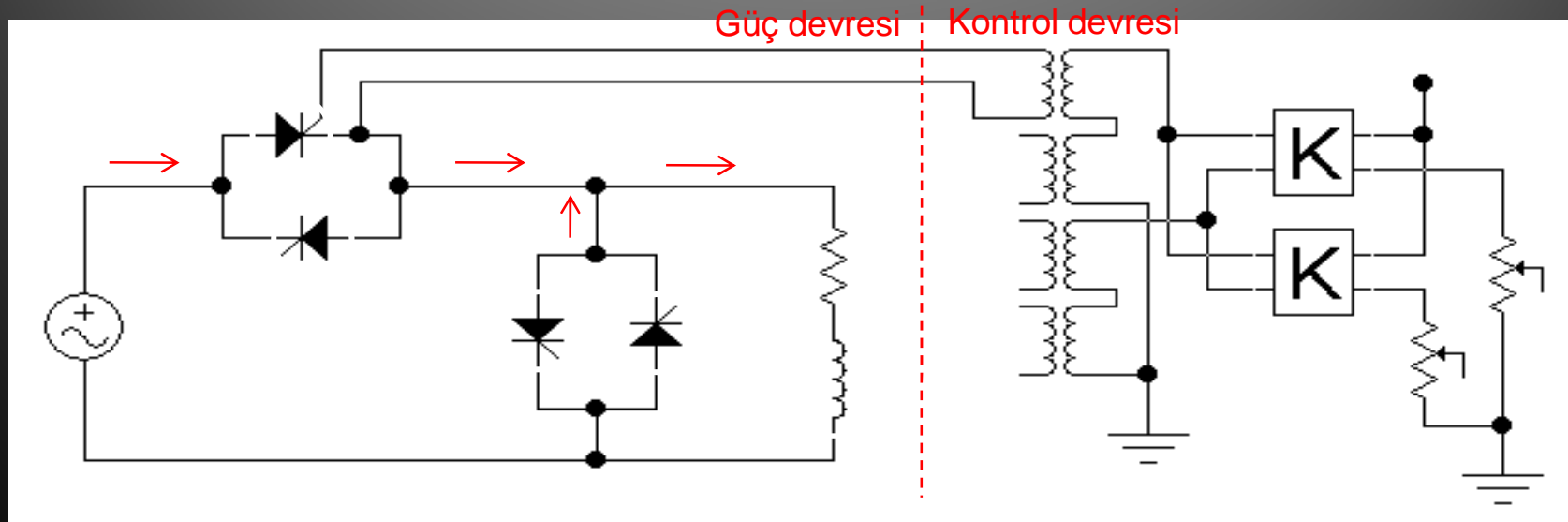
- AC VOLTAJ KIYICILARDA KULLANILAN “İLERİ” KONTROL YÖNTEMLERİ:
- 1 ve 3 fazlı AC kıyıcılarda kullanılmakta olan uyarma açısını geciktirme yöntemi (“ α ” kontrolü), kolay uygulanabilirliği, basit ve riski az olması nedeniyle çok yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Bu yöntem sayesinde tüm kıyıcılarda, rezistif ve düşük endüktif yüklerde kontrol gerçekleştirilebilmektedir.
- Fakat bu yöntem yüksek endüktifliğe sahip yüklerde kullanılamamaktadır.
- Ayrıca tüm kıyıcılar için yapılan analizlerde görüldüğü gibi yük rezistif bile olsa uygulanan bu kontrol tekniği sonucunda kaynaktan çekilen akımın fazı kaymakta ve yük kaynak tarafından endüktif olarak algılanmaktadır.
- Üstelik bu faz kayması sabit kalmamakta, çıkış gerilimini ayarlamak için uyarma açısı değiştirildiğinde güç katsayısı da değişmektedir.
- Ayrıca bu yöntemde gerilim ve akım alternans içine homojen olarak dağılamamaktadır.

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Bu kontrol yönteminin bir başka sakıncalı yanı da genellikle kaynaktan çekilen akımın kare dalga formatında olmasıdır ki bu şekilde ani değişim gösteren akım kaynakta harmoniklere (farklı frekanslı parazit sinyaller) yol açmaktadır ki bu da kaynak geriliminin kalitesini bozmakta ve diğer kullanıcılara zarar vermektedir.
- İşte tüm bu sakıncalı durumları ortadan kaldırmak için ayrıntısıyla açıklanacak olan doğrultucularda “İleri Kontrol Yöntemleri” kullanılmaktadır.
- AC kıyıcılarda kullanılan ileri kontrol yöntemleri,
 - 1) Ters açı (bitiş açısı) kontrolü
 - 2) Simetrik açı kontrolü,
 - 3) PWM kontrolü,
 - 4) Sinüsoidal PWM kontrolü,yöntemleridir.
- Bu yöntemlerin uygulanabilmesi için öncelikle güç devrelerinde uygun değişiklikler yapılmakta, daha sonra da uyarma devreleri uygulanacak yöntemin gereklerine göre yeniden düzenlenmekte ve istenilen sonuca ulaşılmaktadır.

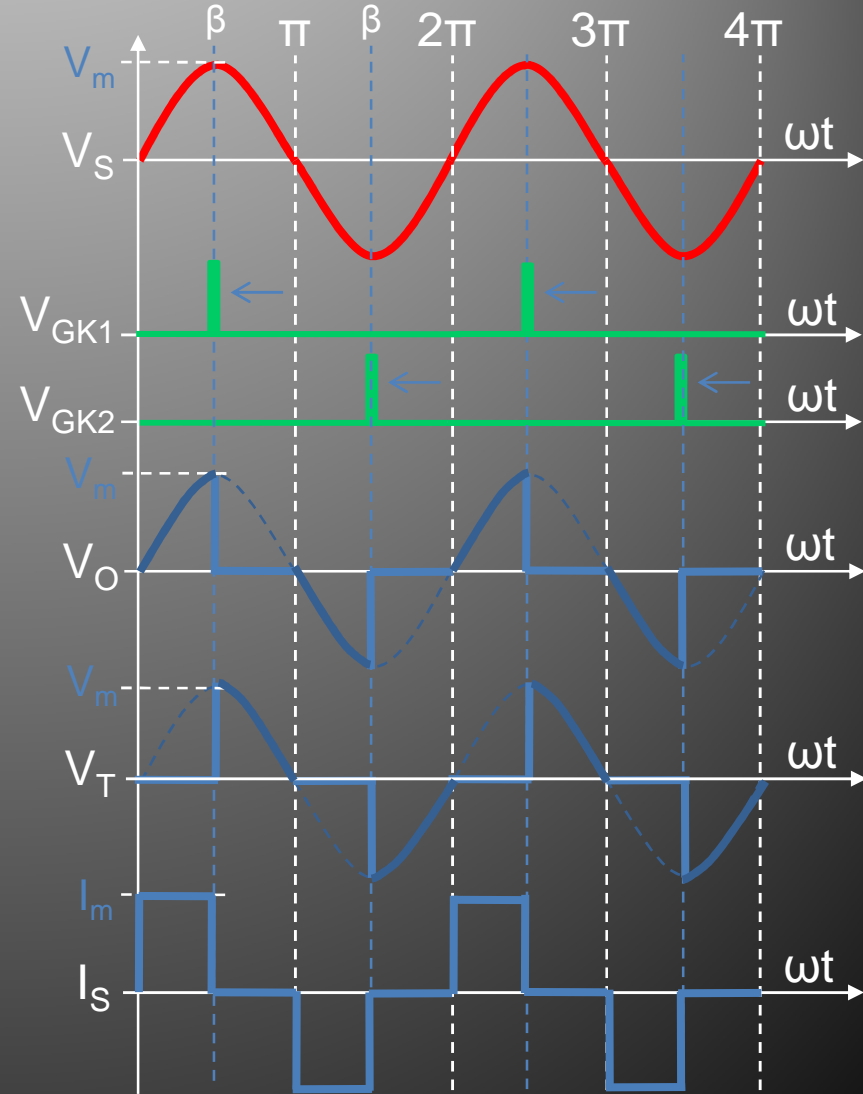
II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- **Ters Açı Kontrolü Yöntemi (Endüktif Yükte);**
- Ters açı (bitiş açısı) kontrolü yönteminde, güç devresinde kullanılan güç anahtarının (tristör/triyak), yalıtıma geçme açısı kontrol edilmektedir. Bu kontrol yöntemine “ β ” kontrolü yöntemi de denilmektedir.
- Bitiş açısı (β) kontrolünün uygulanabilmesi için Şekil-5.67’de görüldüğü gibi öncelikle güç devresine müdahale edilerek devrede kullanılan anahtarların uyarılarak susturulabilir hale getirilmesi gerekecektir.



II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Ayrıca yine Şekil-5.67'den görüldüğü gibi, endüktif yüklerde de AC kıyıcının sorunsuz çalışabilmesi için devreye çift yönlü ve kontrollü bir serbest geçiş diyodu düzeneği eklenmiştir.
- Devrede T1, pozitif alternansı kontrol eden ana tristör T11 ise onun serbest geçiş diyodu, T2, negatif alternansı kontrol eden ana tristör T22 ise onun serbest geçiş diyodu olarak görev yapmaktadır.
- Yan taraftaki Şekil-5.68'de ise dalga şekilleri görülmektedir.

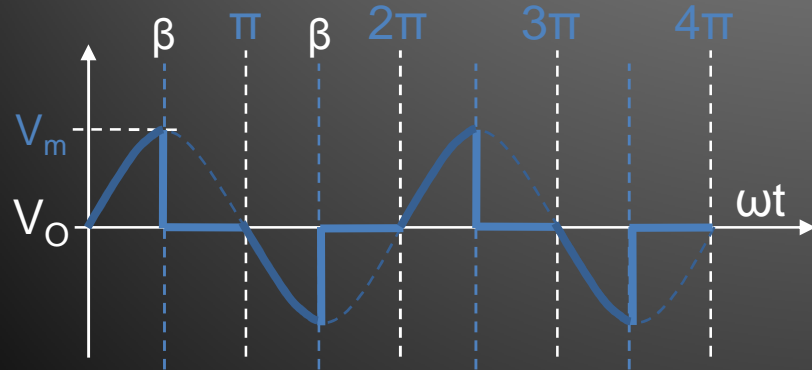


II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-5.67 ve 5.68'den görüldüğü gibi ters açı kontrollü AC voltaj kontrolcu devresi, uygulanan kontrol tekniği sayesinde endüktif yükü rahatlıkla kontrol edebilmektedir.
 - Şekil-5.67'deki devrede görülen “K” işaretli bloklardan birisi (α) tetikleme açısını, diğeri ise (β) susturma açısını kontrol etmektedir.
 - Kontrol sırasında ana tristör susturulduğu anda serbest geçiş olarak görev yapan tristör devreye sokulmaktadır.
- Şekil-5.68'den görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
 - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
 - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
 - 3) Etkin (rms) çıkış gücü,
 - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
 - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
 - 6) Güç katsayısı,
 - 7) Anahtar gerilimleri,
 - 8) Anahtar akımları,

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- 1) Çıkış gerilimin etkin değeri;
- 1 fazlı faz açısı kontrollü AC kıyıcının ters aç kontrolünde çalıştırılmasında, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.69'da verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış gerilimi eşitliği endüktif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v_o(t)]^2 dt}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi-\beta} V_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \int_0^{\pi-\beta} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \cdot \left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_0^{\pi-\beta}}$$

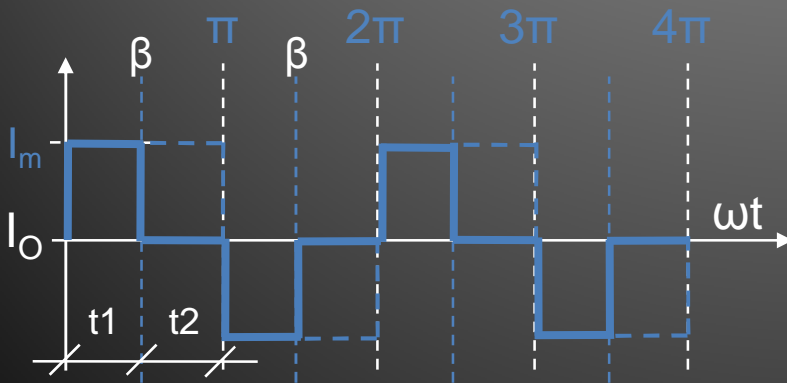
$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \cdot \left[\left(\frac{\pi - \beta}{2} - \frac{\sin 2(\pi - \beta)}{4} \right) - 0 \right]}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \cdot \left(\frac{\pi}{1} - \frac{\beta}{1} + \frac{\sin 2\beta}{2} \right)}$$

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\beta}{\pi} + \frac{\sin 2\beta}{2\pi}}$$

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- 2) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı faz açısı kontrollü AC kıyıcının ters aç kontrolünde çalıştırılmasında, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.70’de verilen dalga şekillerinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda çıkış akımının ne zaman biteceği yükün endüktifliğine bağlı olacaktır.



- Şekil-5.70’den görüldüğü gibi çıkış akımı hemen hemen kare dalga formatında bir akım olacaktır. Fakat akımın pozitif ve negatif alternanslardaki bitiş derecesi (β) yükün endüktiflik durumuna göre değişecektir.
- Bu durumda kare dalga formatındaki çıkış akımının etkin değeri, daha önce ayrıntısıyla açıklandığı gibi,

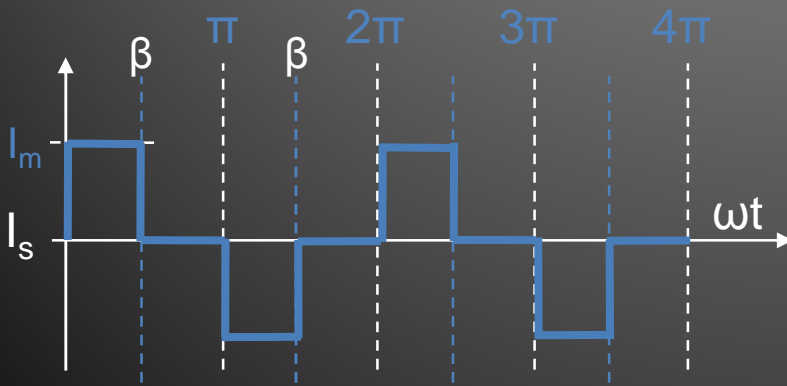
$$I_{O(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{k}$$

$$I_{O(rms)} = \frac{V_m / Z}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{t1}{t1+t2}}$$

olarak yazılabilecektir.

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Bilindiği gibi etkin çıkış gücü,
 $P_{O(rms)} = I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 4) Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın Şekil-5.71'deki gibi olduğunu belirtmiştik. Buna göre,



- Şekil-5.71'den görüldüğü gibi çıkış akımı tamamen kare dalga formatında bir akım olacaktır. Bu akımın pozitif ve negatif alternanslardaki bitiş derecesi (β), bizim kontrolümüzle değişecektir.
- Bu durumda kare dalga formatındaki çıkış akımının etkin değeri, daha önce ayrıntısıyla açıklandığı gibi,

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{k}$$

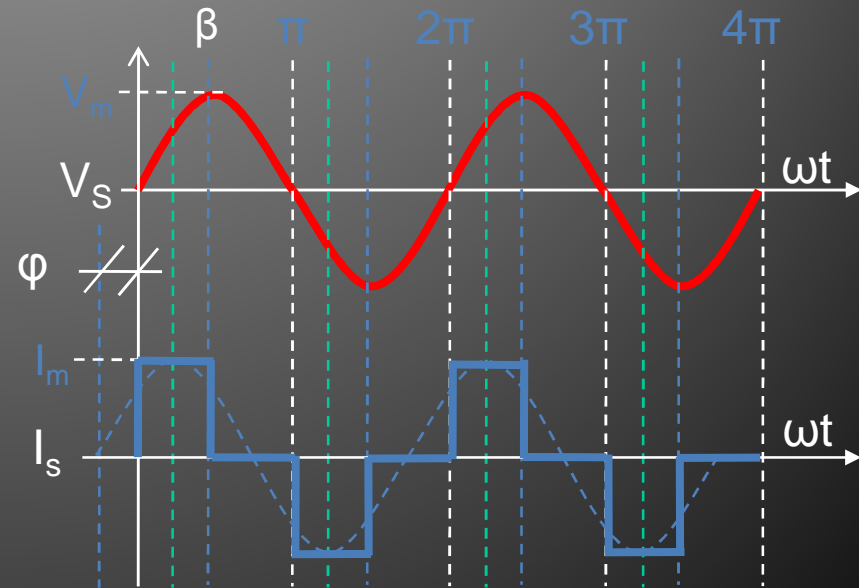
$$I_{S(rms)} = \frac{V_m / Z}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{t1}{t1+t2}}$$

olarak yazılabilecektir.

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

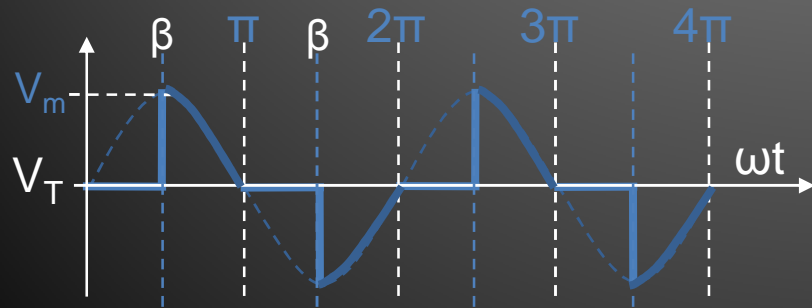
- 5) Kaynaktan çekilen güç;
- Bilindiği gibi etkin giriş gücü,
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 6) Devren verimi;
- Bilindiği gibi verim,
 $\eta = P_{O(rms)} / P_{S(rms)}$
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 7) Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Güç katsayısı kaynaktan verilen gerilim ile kaynaktan çekilen akım arasındaki açının-

- “cos” değeridir. Şekil-5.72’de kaynak gerilimi ve akımı görülmektedir. Buradan, devre çıkışındaki yükün endüktif olmasına rağmen kaynak akımı gerilimden “ ϕ ” kadar öndedir ($\cos\phi = \cos(-\beta/2)$).

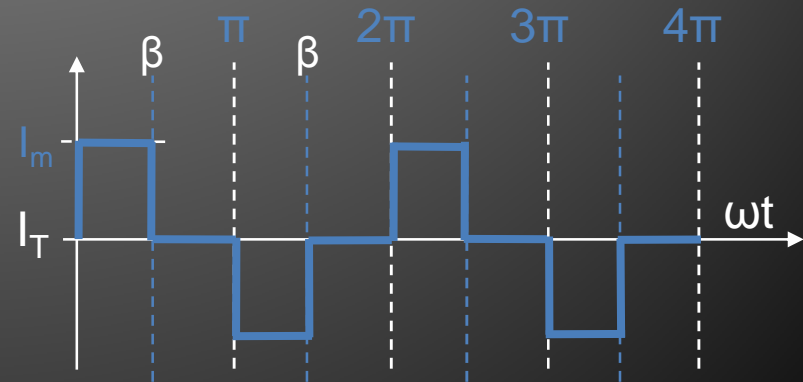


II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- 8) Anahtar (tristör) gerilimi;
- Bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının gerilimi, bloke ettikleri gerilimin tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki gerilim Şekil-5.73'deki gibi olduğuna göre anahtar gerilimi,
- $V_T = V_m + (\%30.V_m) = 1,3.V_m$ olarak hesaplanabilmektedir.



- 9) Anahtar (tristör-triyak) akımı;
- Yine bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının üzerlerinden geçirilen akımın tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki akım Şekil-5.74'deki gibi olduğuna göre anahtar akımı,
- $I_T = I_m + (\%30.I_m) = 1,3.I_m$



II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- **Örnek:**
- 220V-50Hz şebekede 90 derecelik ters uyarma açısında çalıştırılan faz açısı kontrollü 1 fazlı AC kıyıcı,
- a) 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- **Çözüm:**
- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\beta}{\pi} + \frac{\sin 2\beta}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 220 \sqrt{1 - \frac{\pi/2}{\pi} + \frac{\sin 2.90}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 220 \cdot \sqrt{0,5} = 154V$$

Çıkış akımı etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 154 / 10$$

$$I_{O(rms)} = 15,4A$$

Etkin çıkış gücü,

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

$$P_{O(rms)} = 15,4 \cdot 154 = 2,37kW$$

Kaynak akımının etkin değeri,

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

$$I_{S(rms)} = 31,1/1,41 \cdot \sqrt{0,5} = 15,4A$$

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

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

$$P_{S(rms)} = 15,4 \cdot 220 = 3,38kW$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + \%30$$

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

- Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) akımı,

$$I_D \geq V_m/R + \%30$$

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

- b) Endüktif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_{O(rms)} = 220 \sqrt{1 - \frac{\pi/2}{\pi} + \frac{\sin 2.90}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 220 \cdot \sqrt{0,5} = 154V$$

Çıkış akımı etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 154 / 10$$

$$I_{O(rms)} = 15,4A$$

Etkin çıkış gücü,

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

$$P_{O(rms)} = 15,4 \cdot 154 = 2,37kW$$

Kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\pi/2}{\pi} + \frac{\sin 2.90}{2\pi}}$$

$$I_{S(rms)} = 31,1/1,41 \cdot \sqrt{0,5} = 15,4A$$

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

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

$$P_{S(rms)} = 15,4 \cdot 220 = 3,38kW$$

- Endüktif yükte anahtar (tristör-triyak) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + \%30$$

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

- Endüktif yükte anahtar (tristör-triyak) akımı,

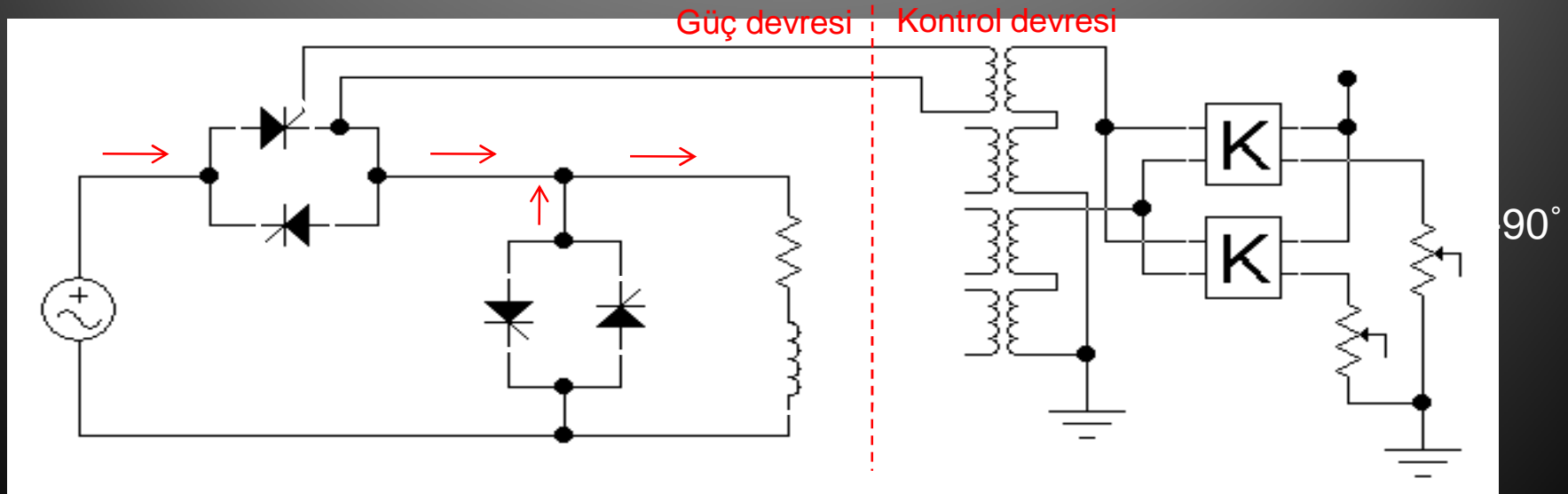
$$I_D \geq V_m/R + \%30$$

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

- NOT: Normalde endüktif yükler kontrol edildiğinde çıkış akımının bitiş açısı tamamen yükün endüktiflik seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Bu örnekte ise endüktif etki ihmal edilerek, akımın bitiş açısı susturma açısına eşit kabul edilmiştir.

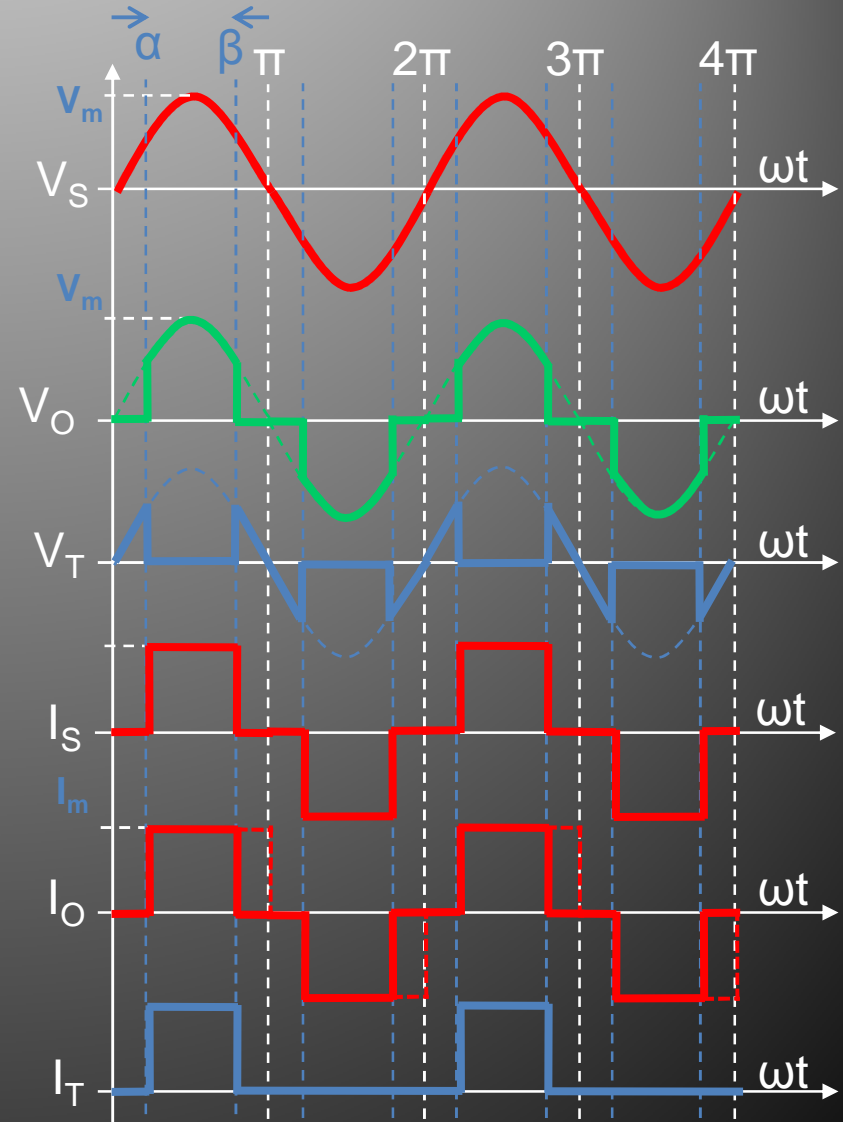
II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Simetrik Açık Kontrolü Yöntemi (Endüktif Yükte);
- Simetrik açık kontrol yönteminde, güç devresinde kullanılan güç anahtarının (tristör/triyak), yalıtıma geçme açısı kontrol edilmektedir. Bu kontrol yöntemine “ α - β ” kontrol yöntemi de denilmektedir.
- Simetrik açık kontrolünün uygulanabilmesi için Şekil-5.75’de görüldüğü gibi öncelikle güç devresine müdahale edilerek devrede kullanılan anahtarların “uyarılarak susturulabilir” hale getirilmesi gerekecektir.



II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Ayrıca yine Şekil-5.75'den görüldüğü gibi, endüktif yüklerde de AC kıyıcının sorunsuz çalışabilmesi için devreye çift yönlü ve kontrollü bir serbest geçiş diyodu düzeneği eklenmiştir.
- Devrede T1, pozitif alternansı kontrol eden ana tristör T11 ise onun serbest geçiş diyodu, T2, negatif alternansı kontrol eden ana tristör T22 ise onun serbest geçiş diyodu olarak görev yapmaktadır.
- Yan taraftaki Şekil-5.76'da ise dalga şekilleri görülmektedir.

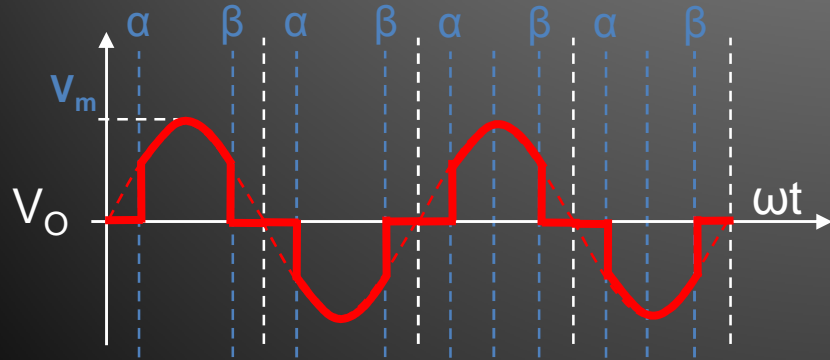


II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-5.75 ve 5.76'den görüldüğü gibi simetrik açılı kontrollü AC voltaj kontrolcu devresi, uygulanan kontrol tekniği sayesinde endüktif yükü rahatlıkla kontrol edebilmektedir.
 - Şekil-5.75'deki devrede görülen “K” işaretli bloklardan birisi (α) tetikleme açısını, diğeri ise (β) susturma açısını kontrol etmektedir.
 - Kontrol sırasında ana tristör susturulduğu anda serbest geçiş olarak görev yapan tristör devreye sokulmaktadır.
- Şekil-5.76'den görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
 - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
 - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
 - 3) Etkin (rms) çıkış gücü,
 - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
 - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç,
 - 6) Güç katsayısı,
 - 7) Anahtar gerilimleri,
 - 8) Anahtar akımları,

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- 1) Çıkış gerilimin etkin değeri;
- 1 fazlı faz açısı kontrollü AC kıyıcının simetrik açı kontrolunda çalıştırılmasında, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.77’de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda etkin çıkış gerilimi eşitliği endüktif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [V_m \cdot \sin(\omega t)]^2 \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{2V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\beta} \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin(2\omega t)}{4} \right]_{\alpha}^{\pi-\beta}}$$

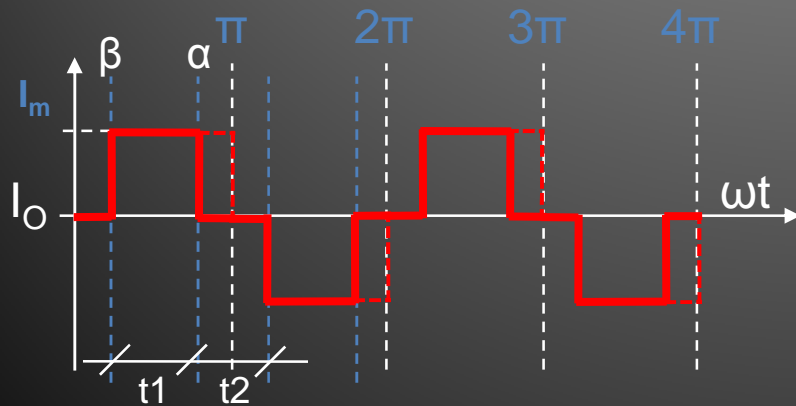
$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \left[\left(\frac{\pi-\beta}{2} - \frac{\sin 2(\pi-\beta)}{4} \right) - \dots \right]}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[(\pi-\beta) - \frac{\sin 2(\pi-\beta)}{2} - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]}$$

$$V_{O(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{2\alpha}{\pi}}$$

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- 2) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı faz açısı kontrollu AC kıyıcının simetrik açı kontrolunda çalıştırılmasında, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.78'de verilen dalga şekillerinin görüleceğini belirtmiştik.
- Bu durumda çıkış akımının ne zaman biteceği yükün endüktifliğine bağlı olacaktır.



- Şekil-5.78'den görüldüğü gibi çıkış akımı hemen hemen kare dalga formatında bir akım olacaktır. Fakat akımın pozitif ve negatif alternanslardaki bitiş derecesi (β) yükün endüktiflik durumuna göre değişecektir.
- Bu durumda kare dalga formatındaki çıkış akımının etkin değeri, daha önce ayrıntısıyla açıklandığı gibi,

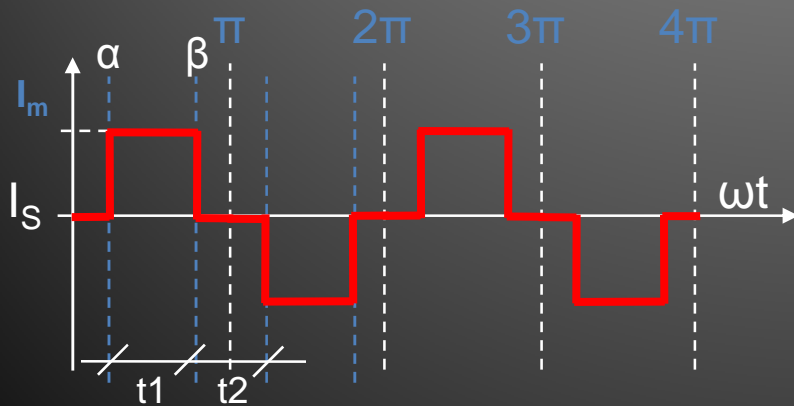
$$I_{O(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{k}$$

$$I_{O(rms)} = \frac{V_m / Z}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{t1}{t1+t2}}$$

olarak yazılabilecektir.

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Bilindiği gibi etkin çıkış gücü,
 $P_{O(rms)} = I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 4) Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın
Şekil-5.79'daki gibi olduğunu
belirtmiştik. Buna göre,



- Şekil-5.79'dan görüldüğü gibi çıkış akımı tamamen kare dalga formatında bir akım olacaktır. Bu akımın pozitif ve negatif alternanslardaki başlangıç ve bitiş derecesi, kontrolümüzle değişecektir.
- Bu durumda kare dalga formatındaki çıkış akımının etkin değeri, daha önce ayrıntısıyla açıklandığı gibi,

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{k}$$

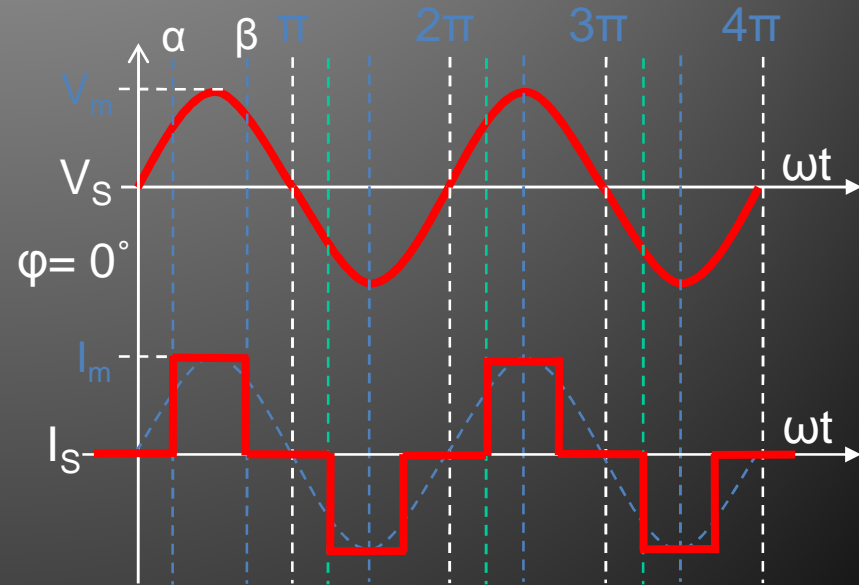
$$I_{S(rms)} = \frac{V_m / Z}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{t1}{t1+t2}}$$

olarak yazılabilecektir.

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

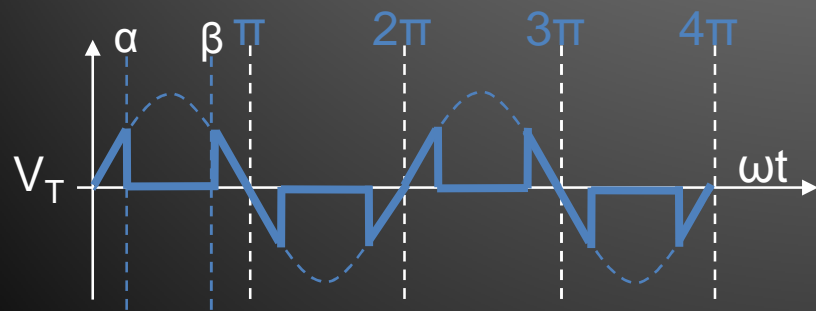
- 5) Kaynaktan çekilen güç;
- Bilindiği gibi etkin giriş gücü,
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 6) Devren verimi;
- Bilindiği gibi verim,
 $\eta = P_{O(rms)} / P_{S(rms)}$
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 7) Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Güç katsayısı kaynaktan verilen gerilim ile kaynaktan çekilen akım arasındaki açı-

- “cos” değeridir. Şekil-5.80’de kaynak gerilimi ve akımı görülmektedir. Buradan, devre çıkışındaki yükün endüktif olmasına rağmen kaynak akımı ile kaynak gerilimi aynı fazdadır ($\cos\phi = 1$).

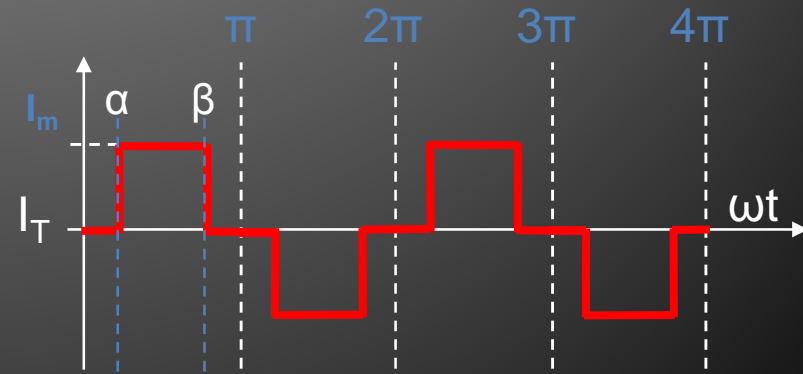


II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- 8) Anahtar (tristör) gerilimi;
- Bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının gerilimi, bloke ettikleri gerilimin tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki gerilim Şekil-5.81'deki gibi olduğuna göre anahtar gerilimi,
- $V_T = V_m + (\%30.V_m) = 1,3.V_m$ olarak hesaplanabilmektedir.



- 9) Anahtar (tristör-triyak) akımı;
- Yine bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının üzerlerinden geçirilen akımın tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki akım Şekil-5.82'deki gibi olduğuna göre anahtar akımı,
- $I_T = I_m + (\%30.I_m) = 1,3.V_m / Z$



II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

■ Örnek:

- 220V-50Hz şebekede 45 derecelik simetrik uyarma açısında çalıştırılan faz açısı kontrollü 1 fazlı AC kıyıcı,
- a) 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_{O(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{2\alpha}{\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{2\pi/4}{\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 220 \cdot \sqrt{0,5} = 154V$$

- Çıkış akımı etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 154 / 10$$

$$I_{O(rms)} = 15,4A$$

- Etkin çıkış gücü,

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

$$P_{O(rms)} = 15,4 \cdot 154 = 2,37kW$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = \frac{V_m / Z}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{t1}{t1 + t2}}$$

$$I_{S(rms)} = 31,1/1,41 \cdot \sqrt{0,5} = 15,4A$$

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

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

$$P_{S(rms)} = 15,4 \cdot 220 = 3,38kW$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + \%30$$

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

- Rezistif yükte anahtar (tristör-triyak) akımı,

$$I_D \geq V_m/R + \%30$$

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

- b) Endüktif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_{O(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{2\pi/4}{\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 220 \cdot \sqrt{0,5} = 154V$$

Çıkış akımı etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 154 / 10$$

$$I_{O(rms)} = 15,4A$$

Etkin çıkış gücü,

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

$$P_{O(rms)} = 15,4 \cdot 154 = 2,37kW$$

Kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = \frac{V_m / Z}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{t1}{t1 + t2}}$$

$$I_{S(rms)} = 31,1/1,41 \cdot \sqrt{0,5} = 15,4A$$

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

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

$$P_{S(rms)} = 15,4 \cdot 220 = 3,38kW$$

- Endüktif yükte anahtar (tristör-triyak) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + \%30$$

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

- Endüktif yükte anahtar (tristör-triyak) akımı,

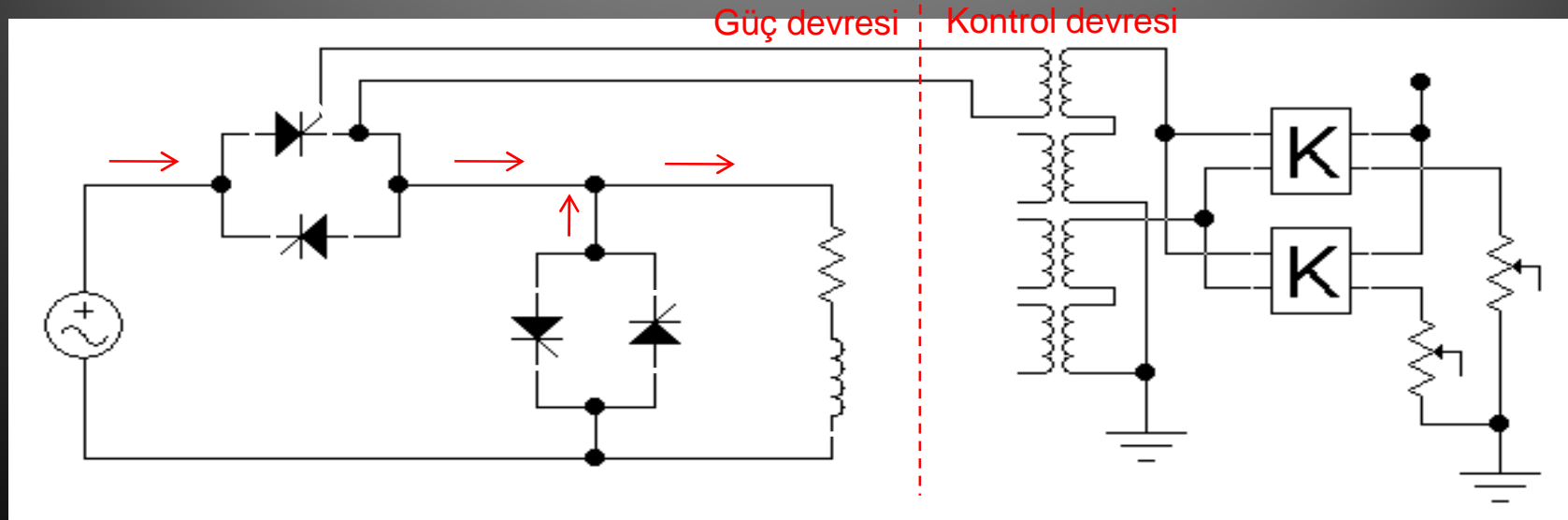
$$I_D \geq V_m/R + \%30$$

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

- NOT: Normalde endüktif yükler kontrol edildiğinde çıkış akımının bitiş açısı tamamen yükün endüktiflik seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Bu örnekte ise endüktif etki ihmal edilerek, akımın bitiş açısı susturma açısına eşit kabul edilmiştir.

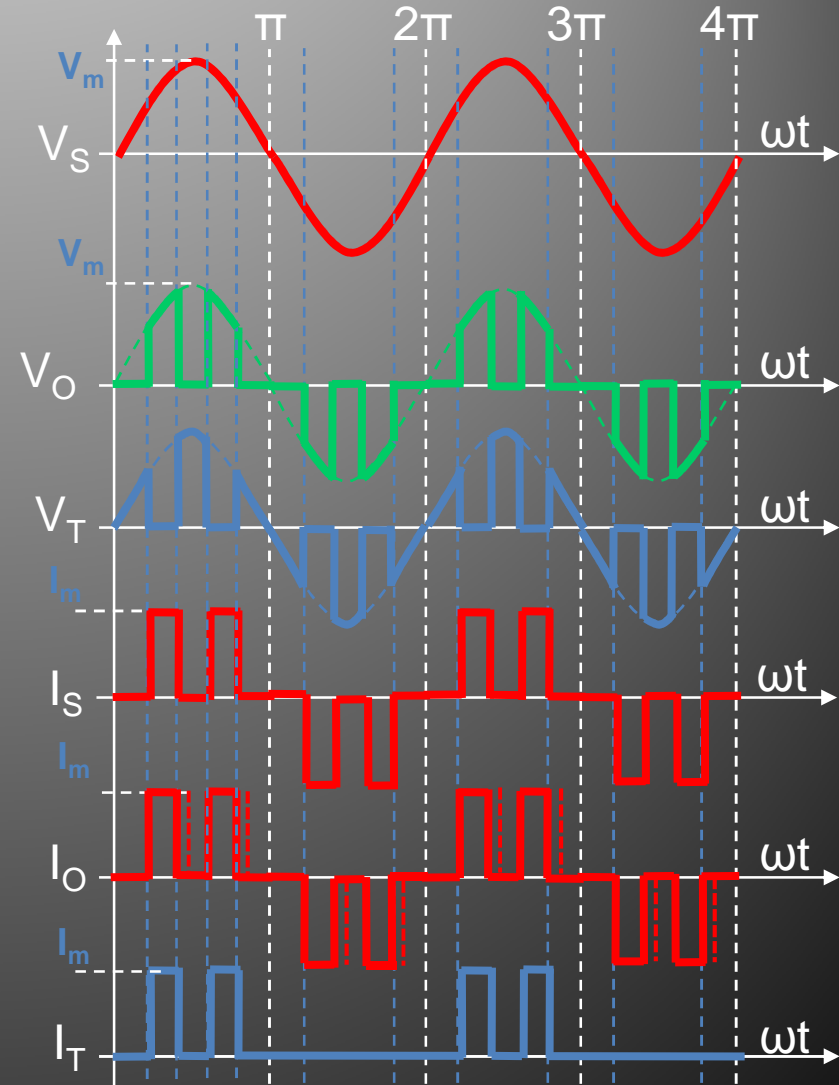
II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- PWM Kontrolü Yöntemi (Endüktif Yükte);
- PWM kontrolü yönteminde, güç devresinde kullanılan güç anahtarının (tristör/triyak), yalıtıma geçme açısı kontrol edilmektedir. Bu yöntemde anahtarlar eşit aralıklarla çok sayıda açılıp kapatılmaktadır.
- PWM kontrolünün uygulanabilmesi için Şekil-5.83’de görüldüğü gibi öncelikle güç devresine müdahale edilerek devrede kullanılan anahtarların “uyarılarak susturulabilir” hale getirilmesi gerekecektir.



II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Ayrıca yine Şekil-5.83'den görüldüğü gibi, endüktif yüklerde de AC kıyıcının sorunsuz çalışabilmesi için devreye çift yönlü ve kontrollü bir serbest geçiş diyodu düzeneği eklenmiştir.
- Devrede T1, pozitif alternansı kontrol eden ana tristör T11 ise onun serbest geçiş diyodu, T2, negatif alternansı kontrol eden ana tristör T22 ise onun serbest geçiş diyodu olarak görev yapmaktadır.
- Yan taraftaki Şekil-5.84'de ise dalga şekilleri görülmektedir.

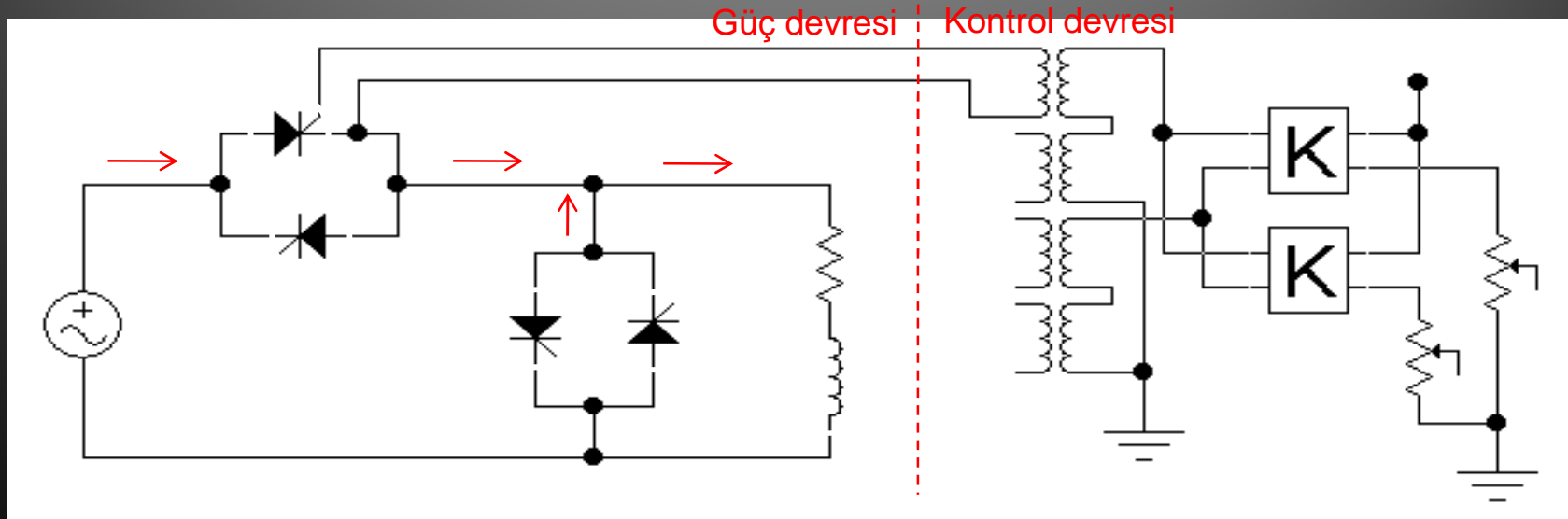


II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-5.83 ve 5.84'den görüldüğü gibi PWM kontrollu AC voltaj kontrolcu devresi, uygulanan kontrol tekniği sayesinde endüktif yükü rahatlıkla kontrol edebilmektedir.
- Şekil-5.83'deki devrede görülen “K” işaretli bloklardan birisi (α) tetikleme açısını, diğeri ise (β) susturma açısını kontrol etmektedir.
- Kontrol sırasında ana tristör susturulduğu anda serbest geçiş olarak görev yapan tristör devreye sokulmaktadır.
- AC kıyıcılarda uygulanan PWM kontrolü sayesinde, daha önce doğrultucularda da belirttiğimiz gibi hem kaynak gerilimi ile kaynaktan çekilen akım arasındaki faz farkı tamamen kaldırılmakta ve güç katsayısı sıfır yapılmakta hem de, klasik kontrol (α), ters açı kontrolü (β) ve simetrik açı kontrolü yöntemlerinin en önemli dezavantajlarından alternans içinde eşit (homojen) dağılım oluşmaması problemi tamamiyle çözülmüş olmaktadır.

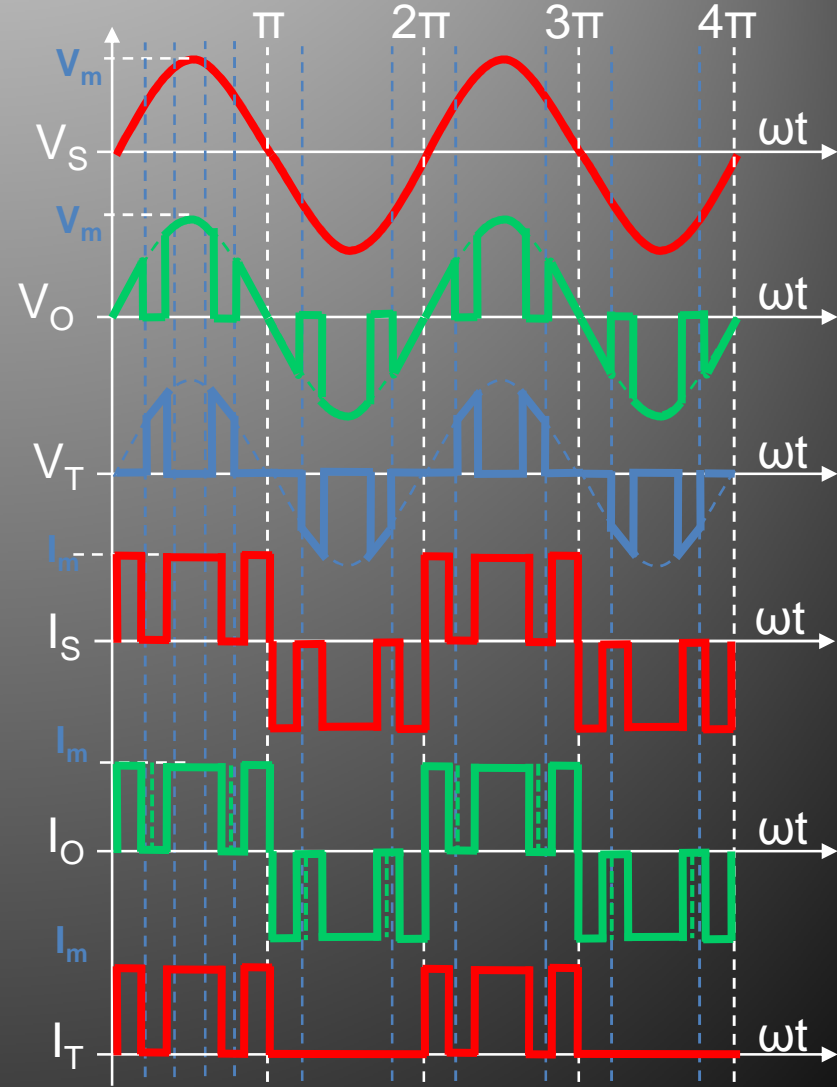
II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Sinüoidal PWM Kontrolü Yöntemi (Endüktif Yükte);
- Sinüoidal PWM yönteminde, güç devresinde kullanılan güç anahtarının (tristör/triyak), yalıtıma geçme açısı kontrol edilmektedir. Bu yöntemde anahtarlar farklı aralıklarla çok sayıda açılıp kapatılmaktadır.
- Sinüoidal PWM kontrolünün uygulanabilmesi için Şekil-5.85’de görüldüğü gibi öncelikle güç devresine müdahale edilerek devrede kullanılan anahtarların “uyarılarak susturulabilir” hale getirilmesi gerekecektir.



II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Ayrıca yine Şekil-5.85'den görüldüğü gibi, endüktif yüklerde de AC kıyıcının sorunsuz çalışabilmesi için devreye çift yönlü ve kontrollü bir serbest geçiş diyodu düzeneği eklenmiştir.
- Devrede T1, pozitif alternansı kontrol eden ana tristör T11 ise onun serbest geçiş diyodu, T2, negatif alternansı kontrol eden ana tristör T22 ise onun serbest geçiş diyodu olarak görev yapmaktadır.
- Yan taraftaki Şekil-5.86'da ise dalga şekilleri görülmektedir.



II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

- Şekil-5.85 ve 5.86'dan görüldüğü gibi sinüsoidal PWM kontrollü AC voltaj kontrolcu devresi, uygulanan kontrol tekniği sayesinde endüktif yükü rahatlıkla kontrol edebilmektedir.
- Şekil-5.85'deki devrede görülen “K” işaretli bloklardan birisi (α) tetikleme açısını, diğeri ise (β) susturma açısını kontrol etmektedir.
- Kontrol sırasında ana tristör susturulduğu anda serbest geçiş olarak görev yapan tristör devreye sokulmaktadır.
- AC kıyıcılarda uygulanan sinüsoidal PWM kontrolü sayesinde, daha önce doğrultucularda da belirttiğimiz gibi hem kaynak gerilimi ile kaynaktan çekilen akım arasındaki faz farkı tamamen kaldırılmakta ve güç katsayısı sıfır yapılmakta hem de, klasik kontrol (α), ters açı kontrolü (β) ve simetrik açı kontrolü yöntemlerinin en önemli dezavantajlarından alternans içinde eşit (homojen) dağılım oluşmaması ve akımın sinüsoidalleştirilmesi problemi çözülmüş olmaktadır.

II – AC KIYICILARDA İLERİ KONTROL

ÖDEV-2

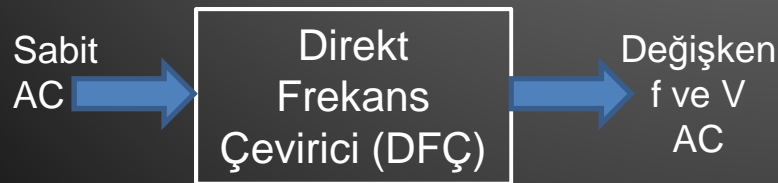
- 2.1) 220V-50Hz şebekede, ters açı kontrolunda, 30° uyarma açısında, 12Ω 'luk endüktif bir yükü besleyen 1 fazlı AC kıyıcının,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.
- 2.2) 220V-50Hz şebekede, simetrik açı kontroluna, 15° uyarma açısında, 8Ω 'luk endüktif yükü besleyen 1 fazlı Ac kıyıcının,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

Bölüm-3

Direkt Frekans Çeviriciler (DFÇ)

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

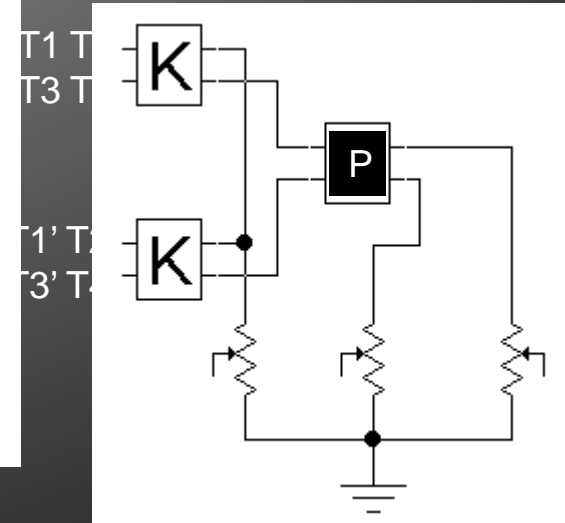
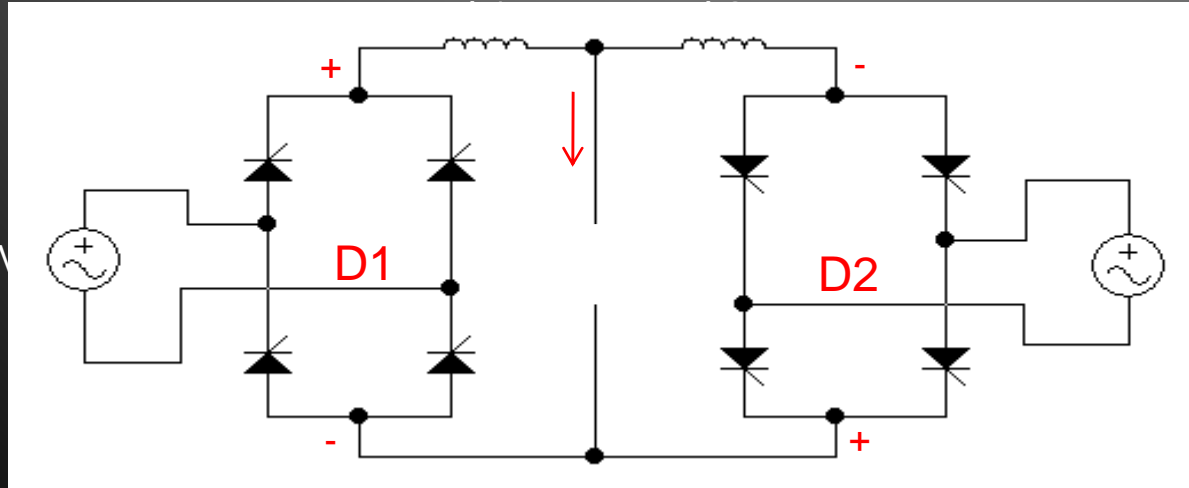
- DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER (CYCLOCONVERTERS)
- Direkt frekans çeviriciler (DFÇ) aşağıdaki Şekil-5.87’de görüldüğü gibi, AC voltaj kontrolculardan (AC kıyıcı) farklı olarak girişine uygulanan AC gerilimin hem genliğini hem de frekansını tek hamlede değiştirerek çıkışa aktarabilmektedirler. Bu nedenle bu tür devrelere DFÇ ismi verilmektedir.



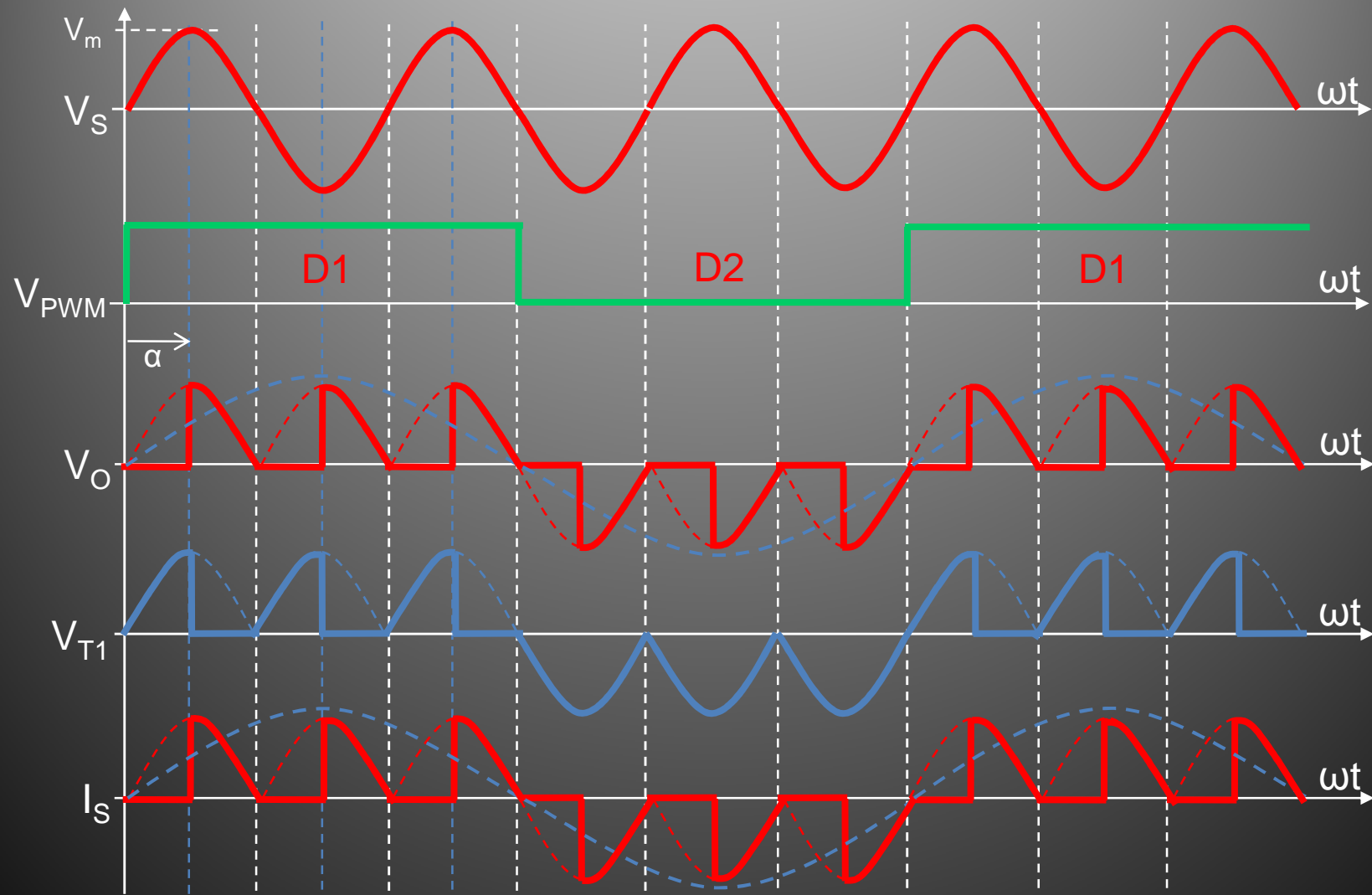
- Direkt frekans çeviriciler özellikle ağır sanayide çok yüksek güçlü asenkron motorların düşük hızlardaki kontrolünü sağlamak üzere geliştirilen özel devrelerdir. Bu devreleri,
 - 1 fazdan 1 faza,
 - 3 fazdan 1 faza ve
 - 3 fazdan 3 faza DFÇ devreleri, olmak üzere 3 türü bulunmaktadır.
- Yukarıda belirtilen 3 tür DFÇ’den sadece 3 fazdan 3 faza DFÇ profesyonel olarak kullanılmakta, diğerleri ise bu devrenin alt devreleri olarak görev yapmaktadır.

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- 1 fazdan 1 faza direkt frekans çevirici devresi;
- Aşağıdaki Şekil-5.88'den görülebileceği gibi, 1 fazdan 1 faza direkt frekans çevirici devresi aslında birbirine ters paralel olarak bağlanmış iki adet "tam dalga tam kontrollü doğrultucu" devresinden oluşmaktadır.
- Şekilden görüldüğü gibi, her iki doğrultucunun girişine de uygulanan AC gerilim, bu devrelerde işlendikten sonra çıkışlarına bağlanmış olan yük üzerine aktarılmaktadır.
- Devrenin çalışması ise Şekil-5.89'dan görüldüğü gibi, her iki doğrultucunun periyodik olarak devreye girmesiyle olmaktadır.



III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

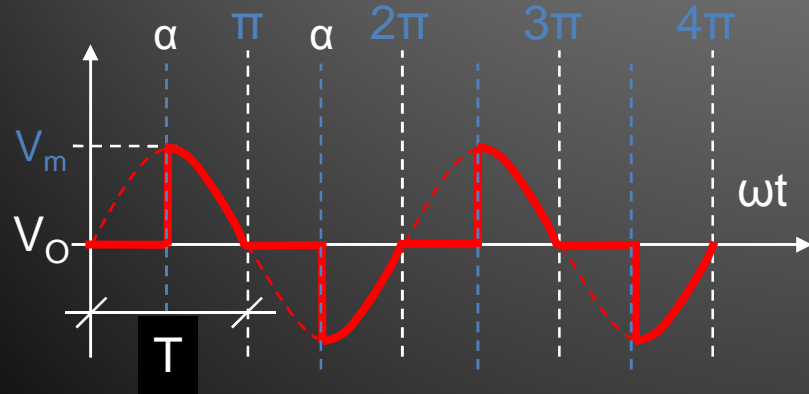


III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- Şekil-5.88 ve 5.89'dan görüldüğü gibi, aslında “1 fazlı çiftli doğrultucu” bağlantısı olan güç devresi kullanılan kontrol tekniği sayesinde “1 fazdan 1 faza DFÇ” devresi olarak çalıştırılmaktadır.
 - Kontrol devresinde bulunan “f” frekans kontrolü sayesinde AC çıkış geriliminin frekansı 0 ile şebeke frekansı arasında ayarlanabilmektedir.
 - Yine “ α ” uyarma açısı kontrolü sayesinde AC çıkış geriliminin genliği 0 ile şebeke gerilimi arasında ayarlanabilmektedir.
 - Kontrol devresindeki “k” etkin peryot kontrolü ise daima “%50” konumunda kalmalıdır.
- Şekil-5.89'dan görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
 - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
 - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
 - 3) Etkin (rms) çıkış gücü,
 - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
 - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
 - 6) Güç katsayısı,
 - 7) Anahtar gerilimleri,
 - 8) Anahtar akımları,
 - 9) Çıkış geriliminin frekansı.

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- 1) Çıkış gerilimin etkin değeri;
- 1 fazdan 1 faza DFÇ'de çıkış gerilimi etkin değeri, 1 fazlı faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcunun hesaplamalarıyla aynıdır. Bu durumda yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.90'da verilen eşdeğer şekil görülecektir.
- Buradan etkin çıkış gerilimi eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v_o(t)]^2 dt}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \cdot \left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

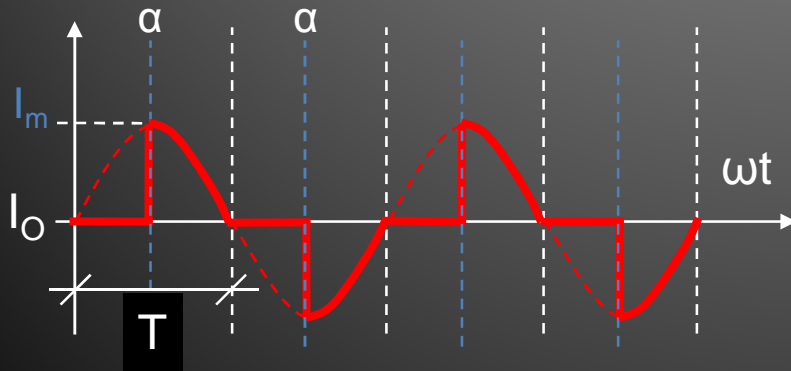
$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \cdot \left[\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\sin 2\pi}{4} \right) - \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) \right]}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \cdot \left(\frac{\pi}{1} - \frac{\alpha}{1} + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- 2) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazdan 1 faza DFÇ'de çıkış akımının etkin değeri, 1 fazlı faz açısı kontrollü AC voltaj kontrolcunun hesaplamalarıyla aynıdır. Bu durumda yük akımında aşağıdaki Şekil-5.91'de verilen eşdeğer şekil görülecektir.
- Buradan etkin çıkış akımı eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



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

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

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

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

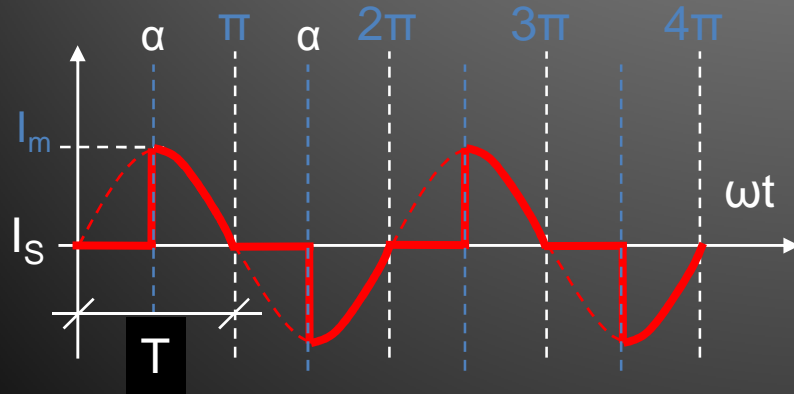
$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \left[\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\sin 2\pi}{4} \right) - \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) \right]}$$

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

$$I_{O(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} = \frac{V_{O(rms)}}{R}$$

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Bilindiği gibi etkin çıkış gücü,
 $P_{O(rms)} = I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 4) Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın
Şekil-5.92'deki gibi olduğunu
belirtmiştik. Buna göre,



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

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

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

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

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

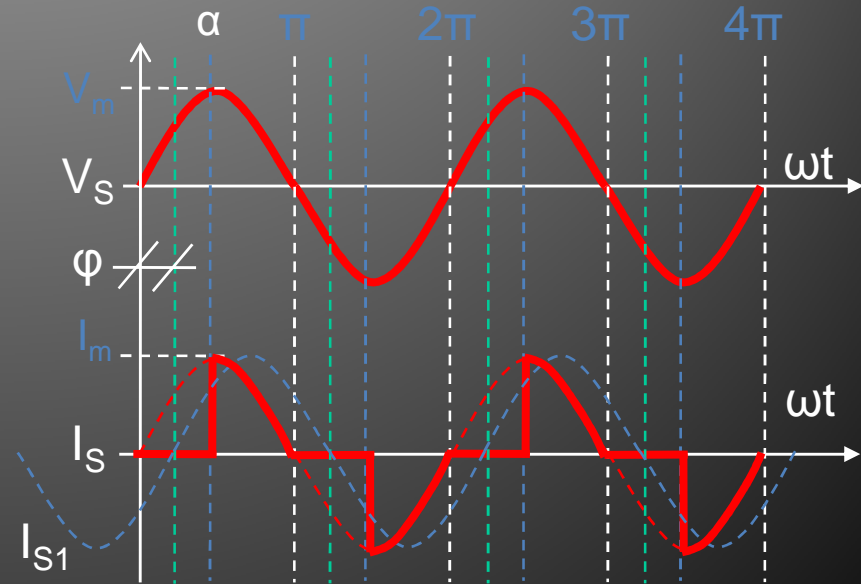
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left(\frac{\pi}{1} - \frac{\alpha}{1} + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

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

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

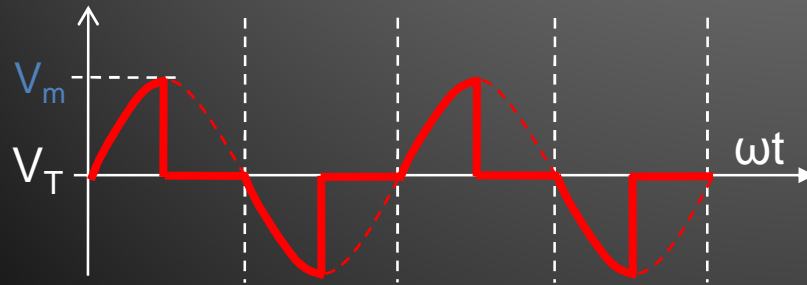
- 5) Kaynaktan çekilen güç;
- Bilindiği gibi etkin giriş gücü,
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 6) Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Güç katsayısı kaynaktan verilen gerilim ile kaynaktan çekilen akım arasındaki açının-

- “cos” değeridir. Şekil-5.93’de kaynak gerilimi ve akımı görülmektedir. Buradan, devre çıkışındaki yükün rezistif olmasına rağmen “ ϕ ” kadarlık bir faz kaymasının olduğu görülmektedir ($\cos\phi = \cos(\alpha/2)$).

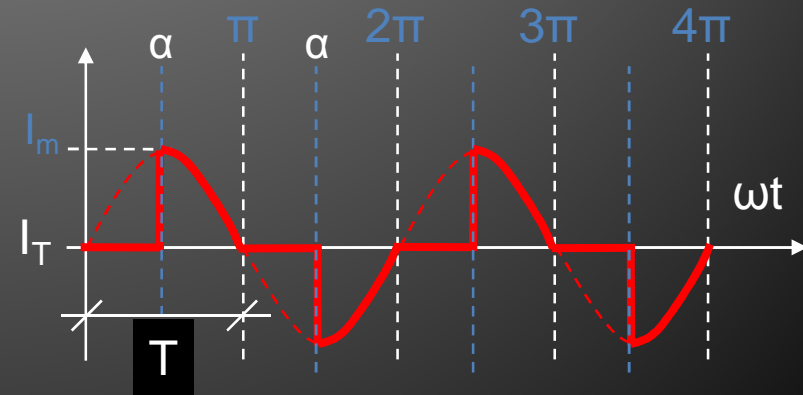


III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- 8) Anahtar (tristör) gerilimi;
- Bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının gerilimi, bloke ettikleri gerilimin tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki gerilim Şekil-5.94'deki gibi olduğuna göre anahtar gerilimi,
- $V_T = V_m + (\%30.V_m) = 1,3.V_m$ olarak hesaplanabilmektedir.

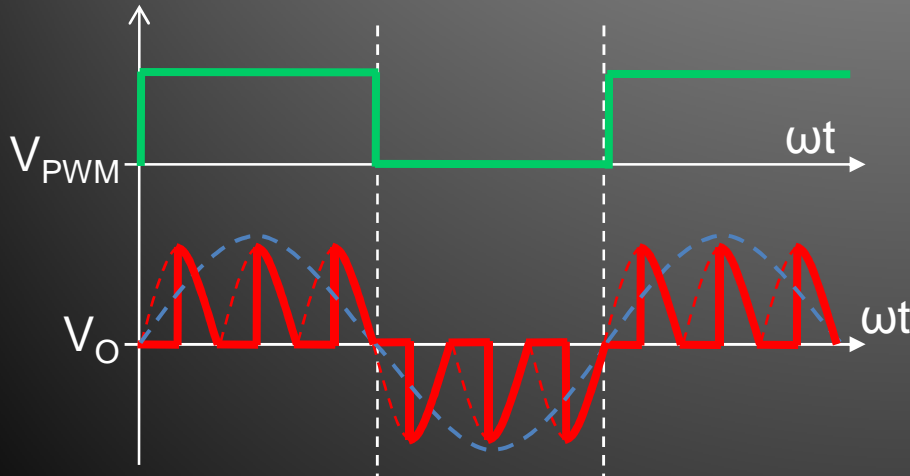


- 9) Anahtar (tristör) akımı;
- Yine bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının üzerlerinden geçirilen akımın tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki akım Şekil-5.95'deki gibi olduğuna göre anahtar akımı,
- $I_T = I_m + (\%30.I_m) = 1,3.I_m$



III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- 10) Çıkış frekansı;
- Devrenin çıkış frekansı aşağıdaki Şekil-5.96'dan görüldüğü gibi, tamamen kontrol devresinden uygulanan PWM karedalğanın frekansına eşit olacaktır. Bu şekle göre çıkış frekansı,
 $f = \text{Şebeke frekansı} / 3$
 $f = 50\text{Hz} / 3 = 16,66\text{Hz}$ olacaktır.



- Örnek:
- 220V-50Hz şebekede 90 derecelik uyarma açısında, 25Hz'lik kontrol sinyalinde çalıştırılan 1 fazdan 1 faza direkt frekans çevirici,
- a) 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- Çözüm:
- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

$$V_{O(rms)} = 220 \sqrt{1 - \frac{\pi/2}{\pi} + \frac{\sin 2.90}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 220 \cdot \sqrt{0,5} = 154V$$

- Çıkış akımı etkin değeri,
 $I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 154 / 10$
 $I_{O(rms)} = 15,4A$
- Etkin çıkış gücü,
 $P_{O(rms)} = I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$
 $P_{O(rms)} = 15,4 \cdot 154 = 2,37kW$
- Kaynak akımının etkin değeri,

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

$$I_{S(rms)} = 31,1/1,41 \cdot \sqrt{0,5} = 15,4A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

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

$$P_{S(rms)} = 15,4 \cdot 220 = 3,38kW$$

- Rezistif yükte anahtar gerilimi,

$$V_D \geq V_m + \%30$$

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

- Rezistif yükte anahtar akımı,

$$I_D \geq V_m/R + \%30$$

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

- Çıkış frekansı,

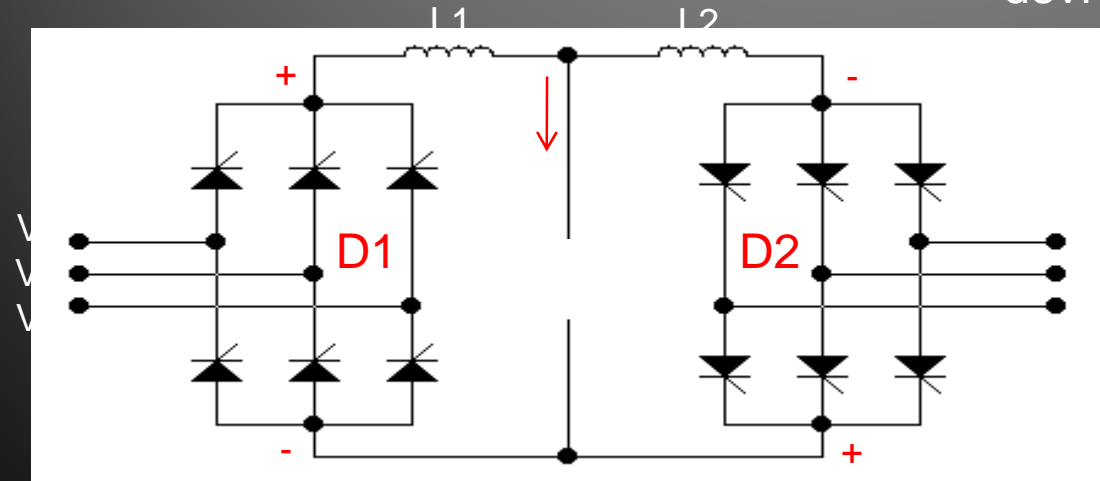
$$f_o = f(\text{uyarma})$$

$$f_o = 25Hz.$$

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

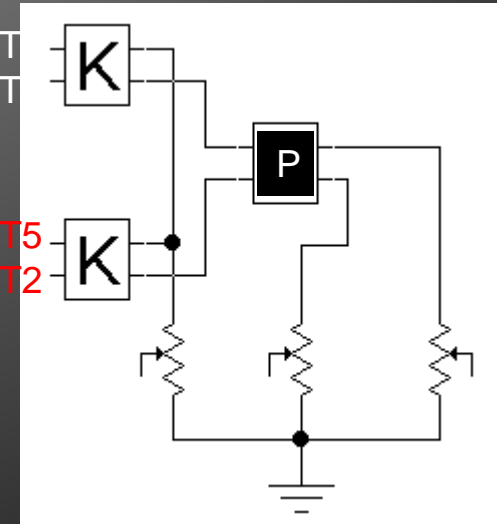
- 3 fazdan 1 faza direkt frekans çevirici devresi;
- Aşağıdaki Şekil-5.97'den görülebileceği gibi, 3 fazdan 1 faza direkt frekans çevirici devresi aslında birbirine ters paralel olarak bağlanmış iki adet "3 fazlı tam dalga tam kontrollü doğrultucu" devresinden oluşmaktadır.

- Şekilden görüldüğü gibi, her iki doğrultucunun girişine de uygulanan AC gerilim, bu devrelerde işlendikten sonra çıkışlarına bağlanmış olan yük üzerine aktarılmaktadır.
- Devrenin çalışması ise Şekil-5.98'den görüldüğü gibi, her iki doğrultucunun periyodik olarak devreye girmesiyle olmaktadır.

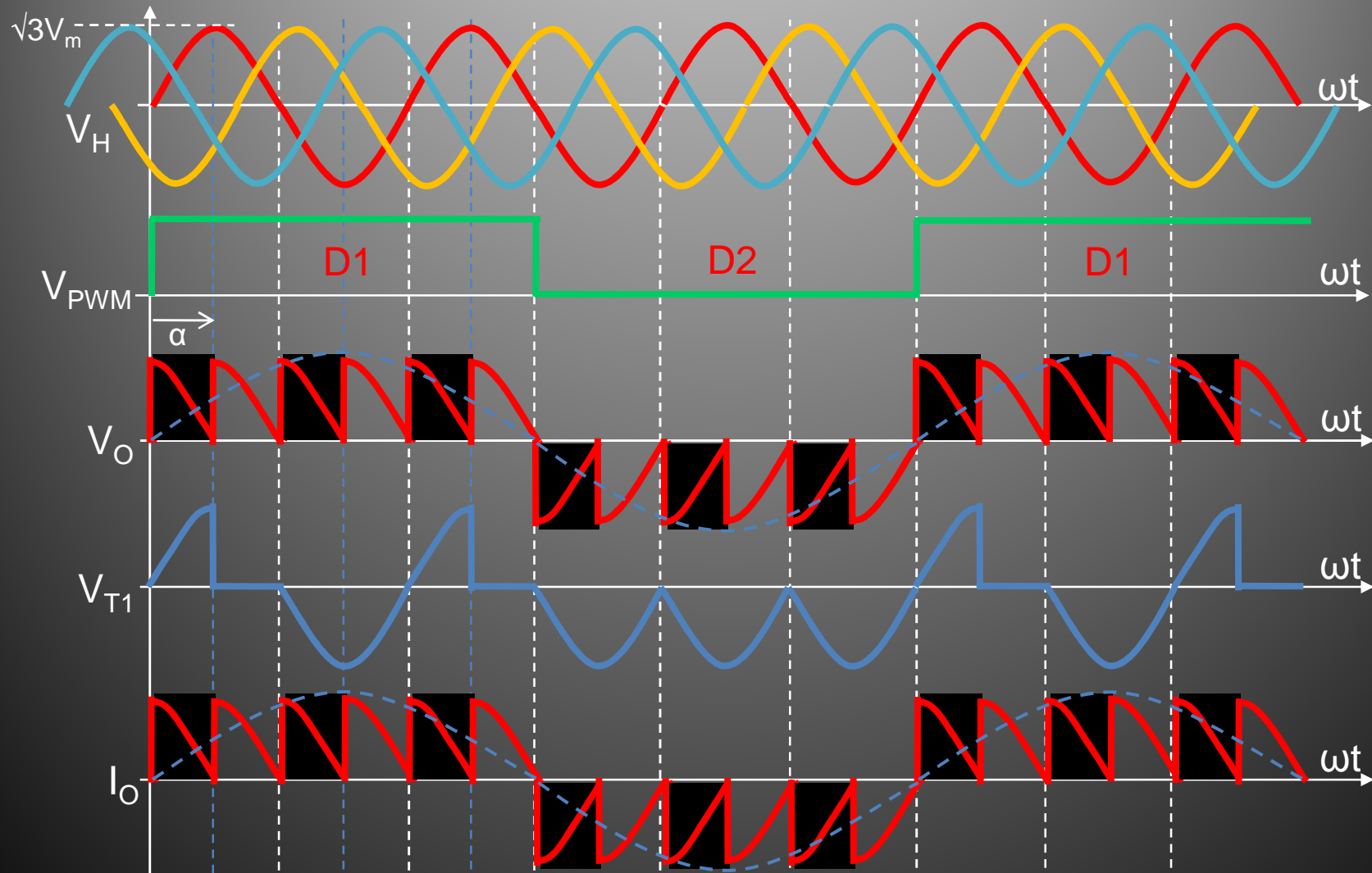


T1 T3 T5
T4 T6 T2

T1 T3 T5
T4 T6 T2



III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

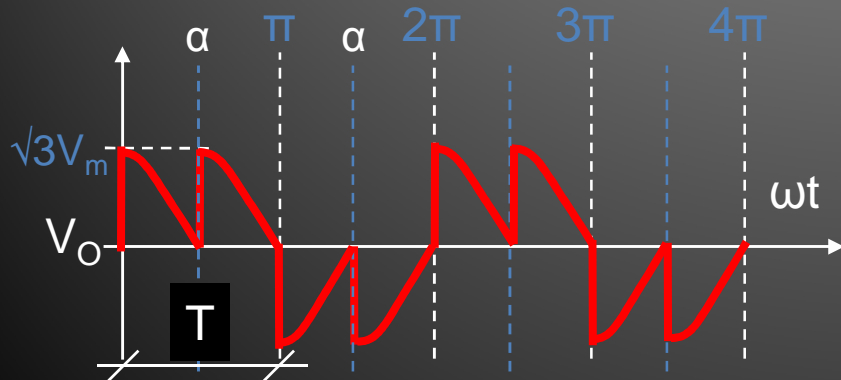


III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- Şekil-5.97 ve 5.98'den görüldüğü gibi, aslında “3 fazlı çiftli doğrultucu” bağlantısı olan güç devresi kullanılan kontrol tekniği sayesinde “3 fazdan 1 faza DFÇ” devresi olarak çalıştırılmaktadır.
 - Kontrol devresinde bulunan “f” frekans kontrolü sayesinde AC çıkış geriliminin frekansı 0 ile şebeke frekansı arasında ayarlanabilmektedir.
 - Yine “ α ” uyarma açısı kontrolü sayesinde AC çıkış geriliminin genliği 0 ile şebeke gerilimi arasında ayarlanabilmektedir.
 - Kontrol devresindeki “k” etkin peryot kontrolü ise daima “%50” konumunda kalmalıdır.
- Şekil-5.98'den görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
 - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
 - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
 - 3) Etkin (rms) çıkış gücü,
 - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
 - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç
 - 6) Güç katsayısı,
 - 7) Anahtar gerilimleri,
 - 8) Anahtar akımları,
 - 9) Çıkış geriliminin frekansı.

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- 1) Çıkış gerilimin etkin değeri;
- 3 fazdan 1 faza DFÇ'de çıkış gerilimi etkin değeri, 3 fazlı tam dalga tam kontrollü doğrultucunun hesaplamalarıyla benzerdir. Bu durumda yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.99'da verilen eşdeğer şekil görülecektir.
- Buradan etkin çıkış gerilimi eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v_o(t)]^2 dt}$$

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

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

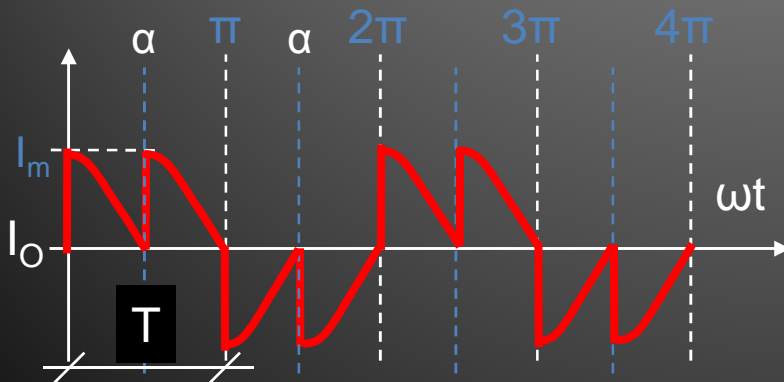
$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{3V_m^2}{\pi} \left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_{(\pi/6)+\alpha}^{(\pi/2)+\alpha}}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{3V_m^2}{\pi} \left[\left(\frac{(\pi/2) + \alpha}{2} - \frac{\sin[2(\pi/2) + \alpha]}{4} \right) - \left(\frac{(\pi/6) + \alpha}{2} - \frac{\sin[2(\pi/6) + \alpha]}{4} \right) \right]}$$

$$V_{O(rms)} = \sqrt{3}V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha}$$

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- 2) Çıkış akımının etkin değeri;
- 3 fazdan 1 faza DFÇ'de çıkış akımı etkin değeri, 3 fazlı tam dalga tam kontrollü doğrultucunun hesaplamalarıyla benzerdir. Bu durumda yük üzerinde aşağıdaki Şekil-5.100'de verilen eşdeğer şekil görülecektir.
- Buradan etkin çıkış akımı eşitliği rezistif yük için yan taraftaki gibi hesaplanacaktır.



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

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

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

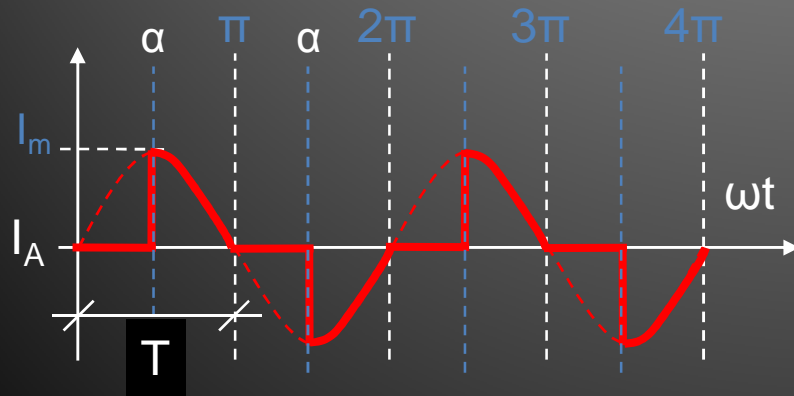
$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{3I_m^2}{\pi} \left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4} \right]_{(\pi/6)+\alpha}^{(\pi/2)+\alpha}}$$

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{3I_m^2}{\pi} \left[\left(\frac{(\pi/2)+\alpha}{2} - \frac{\sin[2(\pi/2)+\alpha]}{4} \right) - \left(\frac{(\pi/6)+\alpha}{2} - \frac{\sin[2(\pi/6)+\alpha]}{4} \right) \right]}$$

$$I_{O(rms)} = (\sqrt{3}V_m / R) \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha} = \frac{V_{O(rms)}}{R}$$

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Bilindiği gibi etkin çıkış gücü, $P_{O(rms)} = I_{O(rms)} \cdot V_{O(rms)}$ eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 4) Kaynak akımı etkin değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın Şekil-5.101'deki gibi olduğunu belirtmiştik. Buna göre,



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

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

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

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

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

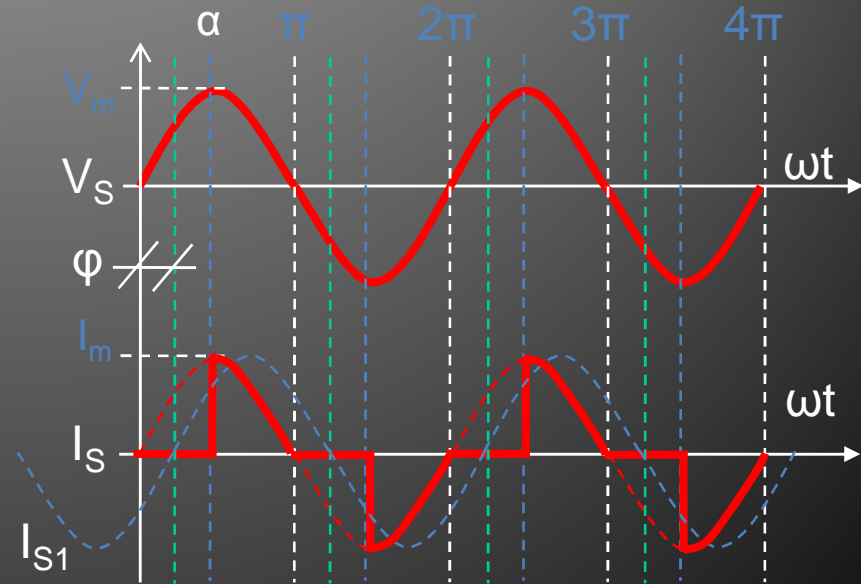
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left(\frac{\pi}{1} - \frac{\alpha}{1} + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

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

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

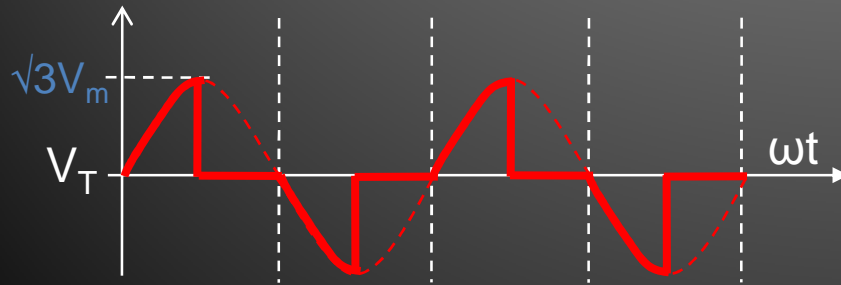
- 5) Kaynaktan çekilen güç;
- Bilindiği gibi etkin giriş gücü,
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 6) Devren verimi;
- Bilindiği gibi verim,
 $\eta = P_{O(rms)} / P_{S(rms)}$
eşitliğinden bulunabilmektedir.
- 7) Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Güç katsayısı kaynaktan verilen gerilim ile kaynaktan çekilen akım arasındaki açının-

- “cos” değeridir. Şekil-5.102’de kaynak gerilimi ve akımı görülmektedir. Buradan, devre çıkışındaki yükün rezistif olmasına rağmen “ ϕ ” kadarlık bir faz kaymasının olduğu görülmektedir ($\cos\phi = \cos(\alpha/2)$).

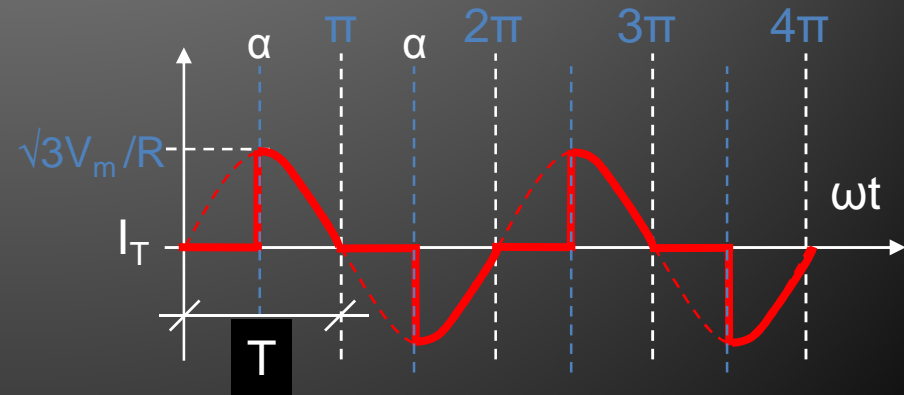


III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- 8) Anahtar (tristör) gerilimi;
- Bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının gerilimi, bloke ettikleri gerilimin tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki gerilim Şekil-5.103'deki gibi olduğuna göre anahtar gerilimi,
- $V_T = \sqrt{3}V_m + \%30$ olarak hesaplanabilmektedir.

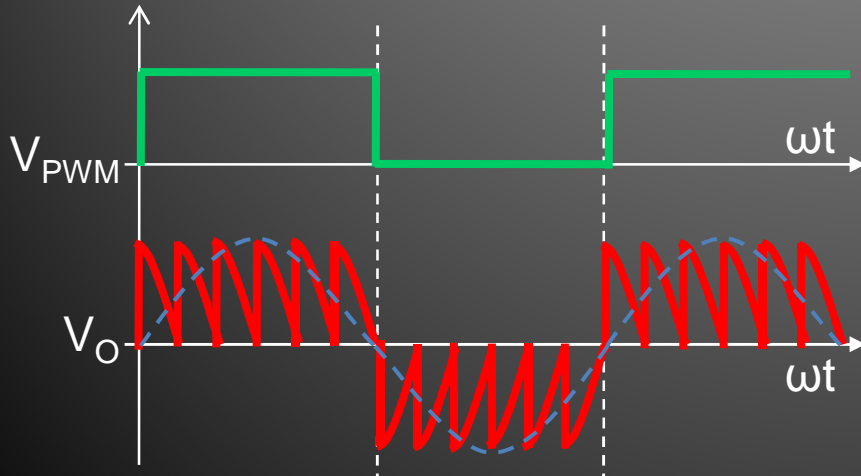


- 9) Anahtar (tristör) akımı;
- Yine bilindiği gibi, devrede kullanılan güç anahtarlarının üzerlerinden geçirilen akımın tepe değerine göre hesaplanmaktadır.
- Anahtarlar üzerindeki akım Şekil-5.104'deki gibi olduğuna göre anahtar akımı,
- $I_T = \sqrt{3}V_m/R + \%30$



III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- 10) Çıkış frekansı;
- Devrenin çıkış frekansı aşağıdaki Şekil-5.105'den görüldüğü gibi, tamamen kontrol devresinden uygulanan PWM karedalğanın frekansına eşit olacaktır. Bu şekle göre çıkış frekansı,
 $f = \text{Şebeke frekansı} / 3$
 $f = 50\text{Hz} / 3 = 16,66\text{Hz}$ olacaktır.



- Örnek:
- 220V/380V-50Hz şebekede 90 derecelik uyarma açısında, 25Hz'lik kontrol sinyalinde çalıştırılan 3 fazdan 1 faza direkt frekans çevirici,
- a) 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- Çözüm:
- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{3}V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha}$$

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

$$V_{O(rms)} = \sqrt{3} \cdot 311 \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2.90}$$

$$V_{O(rms)} = 537 \cdot \sqrt{0,1} = 169,81V$$

- Çıkış akımı etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = V_{O(rms)} / R = 169,8 / 10$$

$$I_{O(rms)} = 16,98A$$

- Etkin çıkış gücü,

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

$$P_{O(rms)} = 16,9 \cdot 169,8 = 2,88kW$$

- Kaynak akımının etkin değeri,

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

$$I_{S(rms)} = 53,7/1,41 \cdot \sqrt{0,5} = 26,65A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

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

$$P_{S(rms)} = 26,6 \cdot 220 = 5,85kW$$

- Rezistif yükte devrenin verimi,

$$\eta = P_{O(rms)} / P_{S(rms)}$$

$$\eta = 2,88kW / 5,85kW = \%49,2$$

- Rezistif yükte anahtar gerilimi,

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

$$V_D \geq 537 \cdot 1,3 \geq 900V$$

- Rezistif yükte anahtar akımı,

$$I_D \geq \sqrt{3}V_m/R + \%30$$

$$I_D \geq 53,7 \cdot 1,3 \geq 90A$$

- Çıkış frekansı,

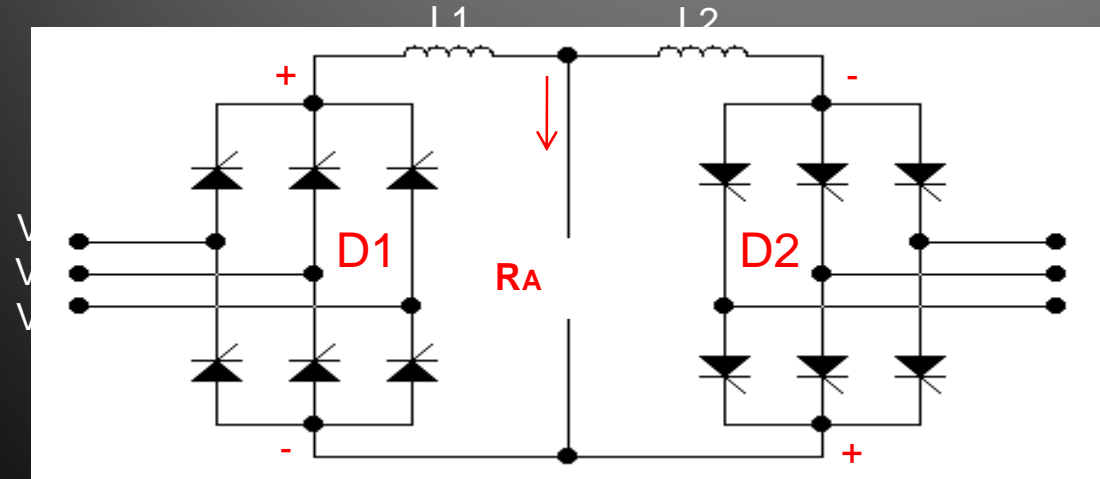
$$f_o = f(\text{uyarma})$$

$$f_o = 25Hz.$$

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

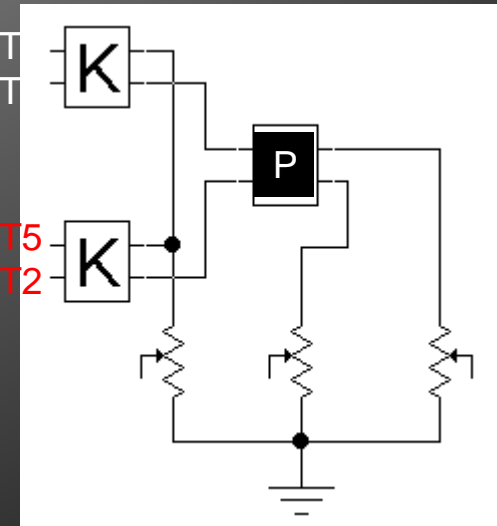
- 3 fazdan 3 faza direkt frekans çevirici devresi;
- Aşağıdaki Şekil-5.106'dan görülebileceği gibi, 3 fazdan 3 faza direkt frekans çeviricinin her bir kolu aslında birbirine ters paralel olarak bağlanmış iki adet “3 fazlı tam dalga tam kontrollü doğrultucu” devresinden oluşmaktadır.

- Şekilden görüldüğü gibi, her iki doğrultucunun girişine de uygulanan AC gerilim, bu devrelerde işlendikten sonra çıkışlarına bağlanmış olan yük üzerine aktarılmaktadır.
- Yıldız bağlı yükü 3 fazdan 3 faza direkt frekans çeviricinin tam bağlantısı ise Şekil-5.107'de blok olarak görülmektedir.



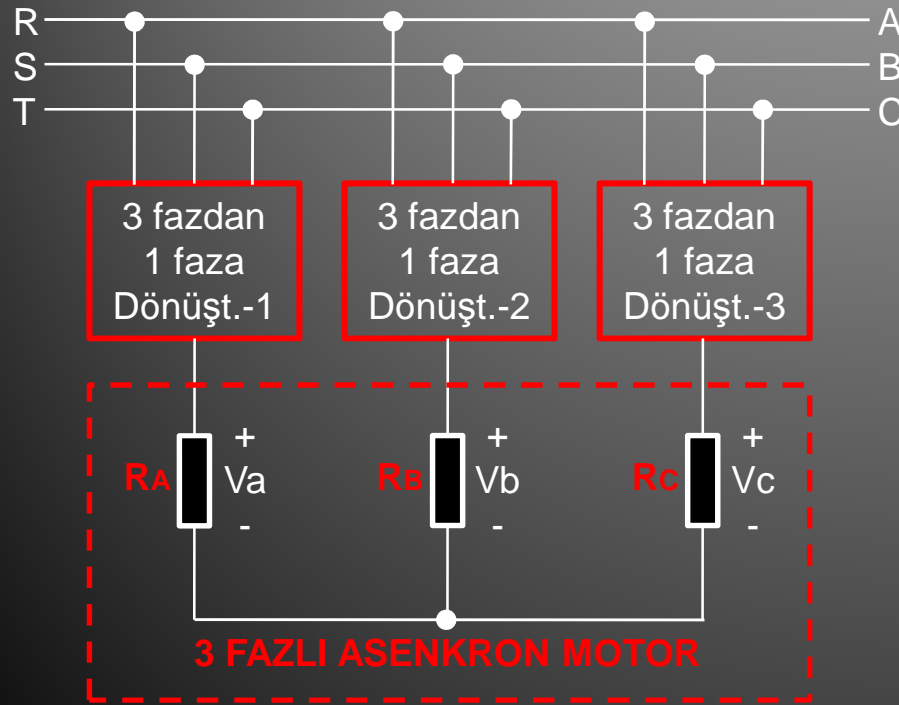
T1 T3 T
T4 T6 T

T1 T3 T5
T4 T6 T2



III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

- Şekil-5.107'den görülebileceği gibi, 3 fazdan 3 faza DFÇ, Şekil-5.106'da açık bağlantısı verilen 3 adet 3 fazdan 1 faza dönüştürücü devresinin birleşiminden oluşmaktadır.



- Şekil-5.106 ve 5.107'den görüldüğü gibi, aslında “3 fazlı çiftli doğrultucu” bağlantısı olan güç devreleri kullanılan kontrol tekniği sayesinde “3 fazdan 3 faza DFÇ” devresi olarak çalıştırılmaktadır.
- Kontrol devresinde bulunan “f” frekans kontrolü sayesinde AC çıkış geriliminin frekansı 0 ile şebeke frekansı arasında ayarlanabilmektedir.
- Yine “ α ” uyarma açısı kontrolü sayesinde AC çıkış geriliminin genliği 0 ile şebeke gerilimi arasında ayarlanabilmektedir.
- Bu dönüştürücü ile ilgili tüm hesaplamalar, 3 fazdan 1 faza dönüştürücü ile aynıdır.

III – DİREKT FREKANS ÇEVİRİCİLER

ÖDEV-3

- 3.1) 220V-50Hz şebekede 45 derecelik uyarma açısında, 15Hz'lik kontrol sinyalinde çalıştırılan ve 12Ω 'luk rezistif bir yükü besleyen 1 fazdan 1 faza direkt frekans çeviricinin,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.
- 3.2) 220V-50Hz şebekede 60 derecelik uyarma açısında, 25Hz'lik kontrol sinyalinde çalıştırılan ve 12Ω 'luk rezistif bir yükü besleyen 3 fazdan 1 faza direkt frekans çeviricinin,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

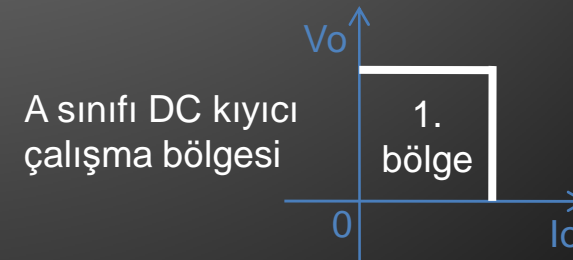
Bölüm-4

Dc Kıyıcıların Sınıflandırılması

IV – DC KIYICILARIN SINIFLANDIRILMASI

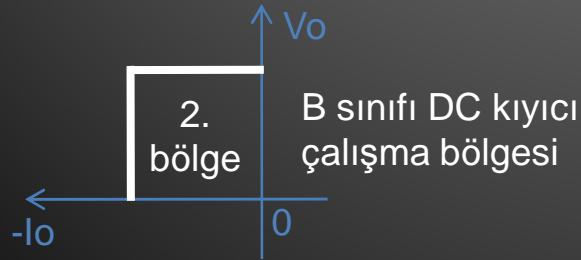
- DC KIYICILARIN SINIFLANDIRILMASI:
- Giriş bölümünde de belirtildiği gibi DC kıyıcıları çalışma şekline göre 5 farklı sınıfa ayırmak mümkün olmaktadır. Bunlar;
A sınıfı dc kıyıcılar,
B sınıfı dc kıyıcılar,
C sınıfı dc kıyıcılar,
D sınıfı dc kıyıcılar,
E sınıfı dc kıyıcılardır.
- Şimdi bu kıyıcı türleri ve özellikleri sırasıyla detaylı olarak incelenecektir.

- A sınıfı DC kıyıcılar;
- A sınıfı DC kıyıcılar, daha önce ayrıntısı ile incelenen “Azaltan tip DC kıyıcı” yapısıdır.
- Dolayısıyla bu tür bir kıyıcıda çıkış gerilimi daima giriş geriliminin altındadır.
- Şekil-6.23’de görüldüğü gibi, genellikle düşük ve orta güçlerdeki doğru akım motorlarının kontrolünde ve farklı dc besleme gerilimi gereken devrelerde kullanılan A sınıfı DC kıyıcılar sadece 1. bölgede çalışmaktadır.

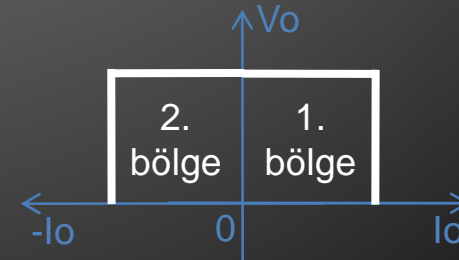


IV – DC KIYICILARIN SINIFLANDIRILMASI

- **B sınıfı DC kıyıcılar;**
- B sınıfı DC kıyıcılar, daha önce ayrıntısı ile incelenen “Arttıran tip DC kıyıcı” yapısıdır.
- Dolayısıyla bu tür bir kıyıcıda çıkış gerilimi daima giriş geriliminin üstündedir.
- Genellikle doğru akım motorlarının re-jeneratif (enerjiyi geri kazanarak) frenleme kontrolünde ve gerilim yükseltmekte kullanılan B sınıfı DC kıyıcılar, Şekil-6.24’de görüldüğü gibi sadece 2. bölgede çalışmaktadır.

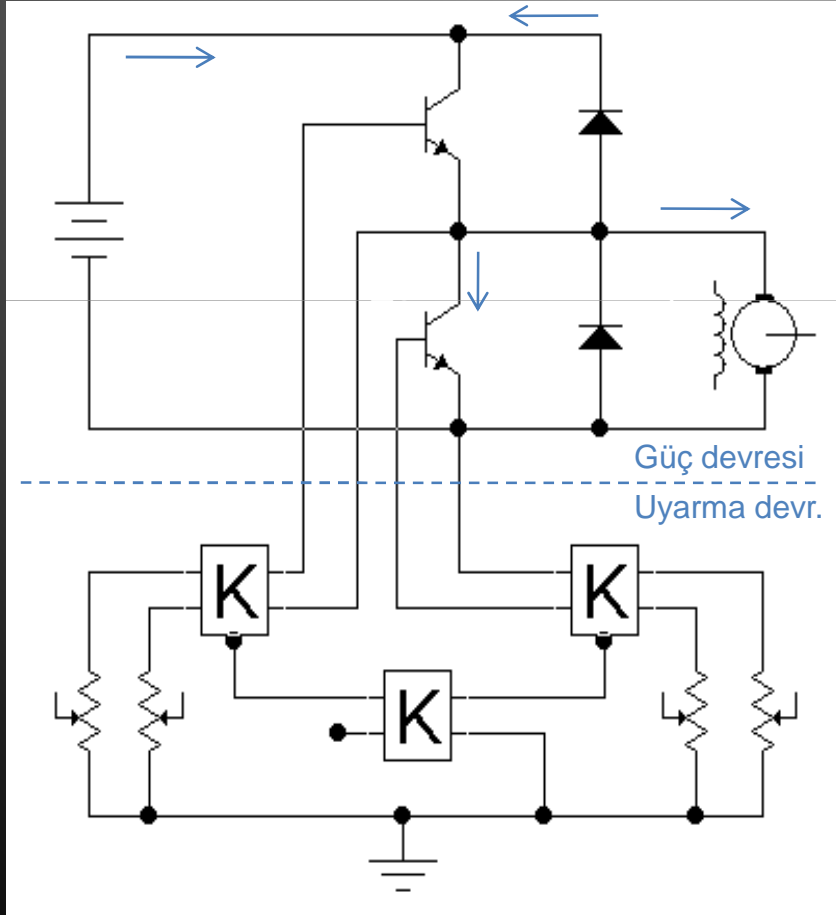


- **C sınıfı DC kıyıcılar;**
- C sınıfı DC kıyıcılar, A sınıfı ve B sınıfı DC kıyıcıların birleştirilmesiyle oluşturulan yeni bir kıyıcı devresidir.
- C sınıfı kıyıcılar, özellikle orta ve yüksek güçteki doğru akım motorlarının tek yönlü hız ve re-jeneratif frenleme kontrolünde kullanılmaktadırlar.
- Bu tür kıyıcılar A ve B sınıflarının birleşimi olduğu için çalışma bölgesi de Şekil-6.25’de görüldüğü gibi 1. ve 2. bölgelerdir.



IV – DC KIYICILARIN SINIFLANDIRILMASI

- Aşağıdaki Şekil-6.26'da tipik bir C sınıfı DC kıyıcı bağlantısı görülmektedir.

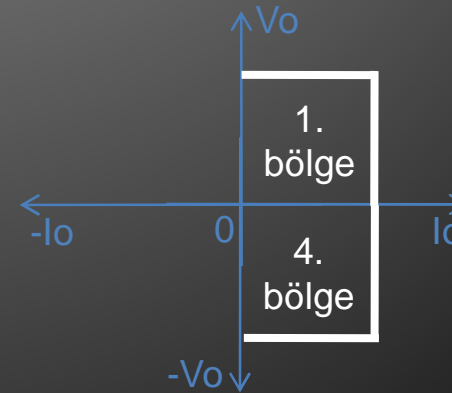


- Şekil-6.26'da görülen bağlantıda T1 transistörü uyarıldığında devre A sınıfı olarak çalışmakta ve motoru enerjilendirerek dönmesini sağlamaktadır.
- T2 transistörü uyarıldığında ise devre B sınıfı olarak çalışmakta ve yükün ataletiyle dönmeye devam ederek bir jeneratör gibi elektrik üreten motorun çıkış gerilimini yükselterek kaynağa doğru akım akıtmasını sağlamaktadır.
- Bu sayede hem motor hızlı olarak frenlenmekte hem de kaynak şarj edilmektedir.

IV – DC KIYICILARIN SINIFLANDIRILMASI

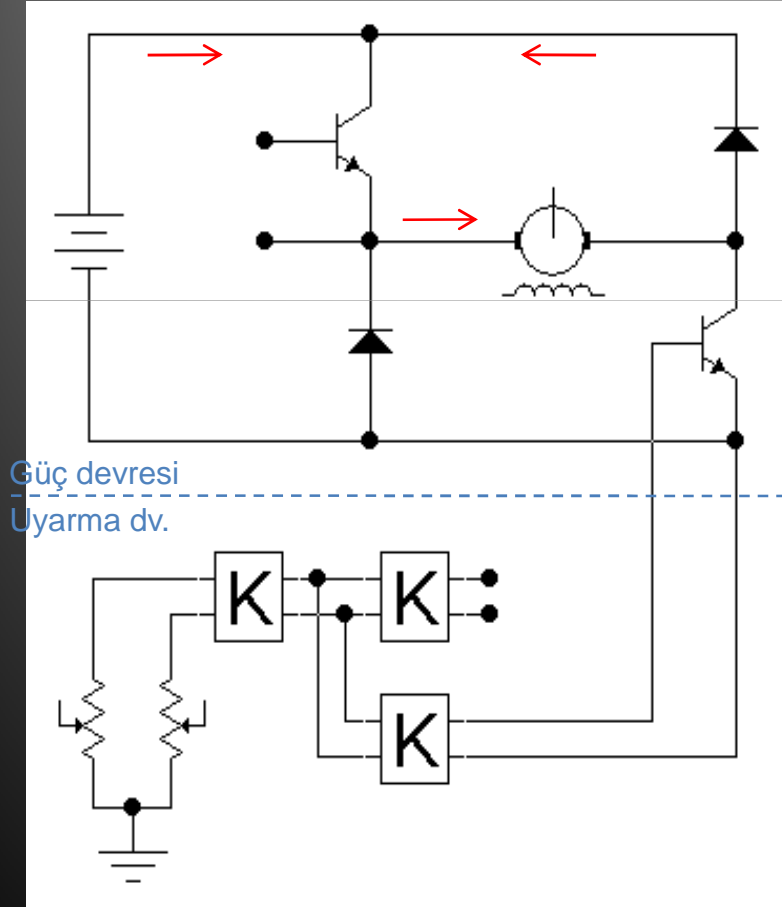
- Şekil-6.26'da görülen bağlantıda T1 transistörü uyarıldığında devreden " $I_s=I_o$ " akımı dolaşmakta, T1 yalıtıma geçtiğinde ise " I_o " akımı "D2" diyodu üzerinden devam etmektedir.
- T2 transistörü uyarıldığında ise devreden " I_t " akımı dolaşmakta, T2 yalıtıma geçtiğinde ise " I_f " akımı "D1" diyodu üzerinden kaynağa doğru akmaktadır.
- Devrenin dalga şekilleri ve hesaplamaları A ve B sınıflarında olduğu gibidir.

- **D sınıfı DC kıyıcılar;**
- D sınıfı DC kıyıcılar, çift yönlü DC kıyıcılara geçişte bir ara durum olup, genellikle tek başına kullanılmazlar.
- Bu tür kıyıcılar, C sınıfı DC kıyıcıda olduğu gibi yine çift bölgede çalışmaktadır. D sınıfı DC kıyıcının çalışma bölgeleri Şekil-6.27'de görüldüğü gibi 1. ve 4. bölgelerdir.



IV – DC KIYICILARIN SINIFLANDIRILMASI

- Aşağıdaki Şekil-6.28'de tipik bir D sınıfı DC kıyıcı bağlantısı görülmektedir.

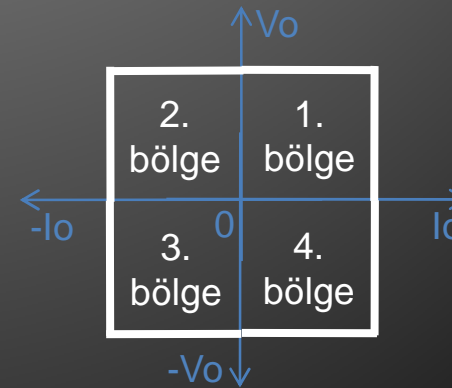


- Şekil-6.28'den görüldüğü gibi T1 ve T2 transistörleri aynı anda uyarılmakta ve seri bağlı gibi çalışmaktadır. D1 ve D2 diyotları ise serbest geçiş diyodu olarak çalışmaktadırlar.
- Devre aslında azaltan tip DC kıyıcı gibi çalışmakta ve motoru tek yönlü olarak kontrol etmektedir. Tek farkı serbest geçiş akımının (I_d) kaynak üzerinden dolaşmasıdır.
- Devrenin herhangi bir frenleme fonksiyonu yoktur, çünkü yük akımı hep aynı yönlüdür. Çıkış gerilimi ise sürekli olarak yön değiştirmektedir.

IV – DC KIYICILARIN SINIFLANDIRILMASI

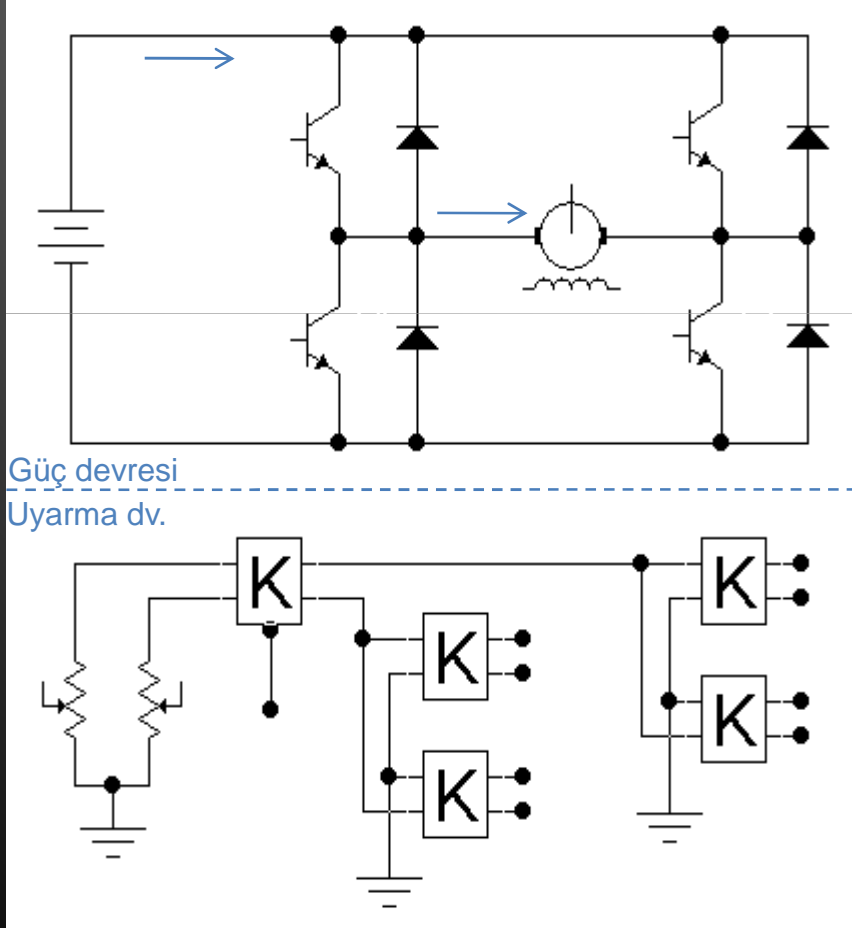
- Şekil-6.28’de görülen bağlantıda transistörler uyarıldığında devreden “ $I_s=I_o$ ” akımı dolaşmakta, transistörler yalıtıma geçtiğinde ise “ $I_o=I_d$ ” akımı diyotlar ve kaynak üzerinden devam etmektedir.
- Bu durumda transistörler iletimdeyken çıkış gerilimi pozitif, transistörler yalıtıma geçtiğinde ise akım diyotlar üzerinden dolaşacağı için çıkış gerilimi negatif olmaktadır.
- Devrenin çıkış dalga şekilleri ve hesaplamaları ise azaltan tip DC kıyıcıda olduğu gibidir.

- **E sınıfı DC kıyıcılar;**
- E sınıfı DC kıyıcılar, çift yönlü (4 bölge) DC kıyıcılar olarak bilinmekte olup iki adet C veya iki adet D sınıfı DC kıyıcının birleşiminden oluşmuşlardır.
- Bu tür kıyıcılar, iki adet çift bölge DC kıyıcının birleşimi olduğu için, çalışma bölgeleri de Şekil-6.29’da görüldüğü gibi 1.2.3. ve 4. bölgelerdir.



IV – DC KIYICILARIN SINIFLANDIRILMASI

- Aşağıdaki Şekil-6.30'da tipik bir E sınıfı DC kıyıcı bağlantısı görülmektedir.



- Şekil-6-30'dan görüldüğü gibi, motor ileri yönde döndürülmek istendiğinde T1 ve T2 uyarılmakta ve devre D sınıfı DC kıyıcı gibi çalıştırılmaktadır.
- Motor ileri yönde dönerken regeneratif frenleme yapılması gerektiğinde sadece T4 uyarılarak devre B sınıfı (yükselten tip) DC kıyıcı gibi çalıştırılmakta ve motoru jeneratör gibi çalıştırarak D1-D2 ve kaynak üzerinden frenleme akımı akıtılmaktadır. Bu durumda motor üzerindeki enerji geri kazanılarak hızlı frenleme yapılmaktadır.

IV – DC KIYICILARIN SINIFLANDIRILMASI

- Yine Şekil-6-30'dan görüldüğü gibi, motor geri (ters) yönde döndürülmek istendiğinde T3 ve T4 uyarılmakta ve devre ters yönde yine D sınıfı DC kıyıcı gibi çalıştırılmaktadır.
- Motor geri yönde dönerken rejeneratif frenleme yapılması gerektiğinde sadece T2 uyarılarak devre yine B sınıfı (yükselten tip) DC kıyıcı gibi çalıştırılmakta ve motoru jeneratör gibi çalıştırarak D3-D4 ve kaynak üzerinden frenleme akımı akıtılmakta ve motor üzerindeki enerji geri kazanılarak fren yapılmaktadır.
- E sınıfı DC kıyıcılar, özellikle sabit mıknatıs uyarımlı ve yabancı uyarımlı doğru akım motorlarında hem çift yönlü hız kontrolü hem de çift yönlü frenleme kontrolünde kullanılabilen, hem çıkış akımı hem de çıkış gerilimi ters çevrilebilen tam donanımlı motor sürücü devreleridir.
- E sınıfı DC kıyıcılar istenirse birbirine ters paralel bağlı iki C sınıfı kıyıcı olarak da kontrol edilebilmektedir.
- Devrenin çıkış dalga şekilleri ve hesaplamaları ise azaltan tip DC kıyıcıda olduğu gibidir.

IV – DC KIYICILARIN SINIFLANDIRILMASI

ÖDEV-4

- 4.1) 220V-50Hz şebekede, 10kHz frekanslı ve %70 etkin peryotlu PWM ile çalıştırılan ve endüktansı 6Ω olan bir dc motoru besleyen A sınıfı DC kiyıcının,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.
- 4.2) 50Vdc şebekede, 10kHz frekanslı ve %60 etkin peryotlu PWM ile frenlenen ve endüktansı 4Ω olan bir dc motoru kontrol eden C sınıfı DC kiyıcının,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

Bölüm-5

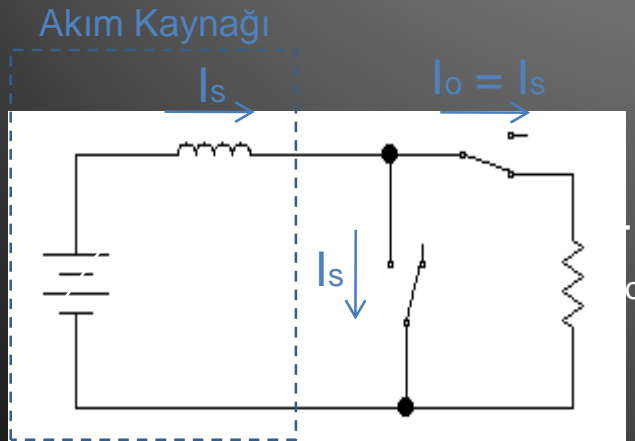
Akım Kaynaklı İnvertörler (CSI)

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- **B - AKIM KAYNAKLI PWM İNVERTÖRLER (CSI):**
- Endüstride özellikle Asenkron motorların kontrolunda yoğun olarak kullanılmakta olan PWM invertörler, DC akım kaynağını kullanarak değişken frekanslı ve değişken akımlı AC üretirler.
- Bu bölümde akım kaynaklı türü incelenecek olan PWM invertörlerin en önemli avantajı çıkışta oluşan AC akımın genlik ve frekansının çok kolaylıkla ayarlanabilmesidir ki bu sayede senkron ve asenkron motorlarda çok kolaylıkla tork kontrolu yapılabilmektedir.
- 1) 1 fazlı Akım Kaynaklı PWM İvertörler (Rezistif yük);
- Bir fazlı CSI invertörler DC akım kaynağı kullanarak 1 fazlı, değişken frekanslı ve değişken genlikli AC akım elde etmekte kullanılan devrelerdir.
- Bu aşamada öncelikle güç elektroniği uygulamalarında kullanılacak bir DC akım kaynağının yapısının ve çalışmasının nasıl olduğunu incelemek gerekmektedir.
- Bilindiği gibi gerilim kaynağı denildiğinde “sabit gerilim çıkışlı” akım kaynağı denildiğinde de “sabit akım çıkışlı” anlaşılmaktadır.

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

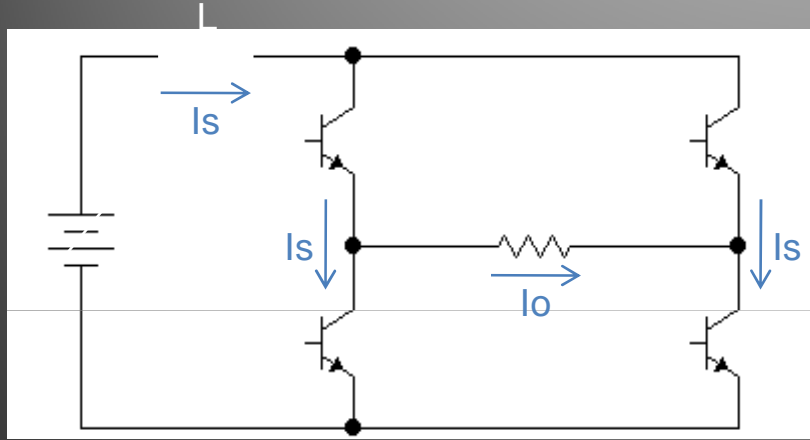
- Aşağıdaki Şekil-7.44'de güç elektroniği uygulamalarında kullanılmakta olan sabit akım kaynağı yapısı görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi akım kaynağı aslında, değişken bir gerim kaynağı ile ona seri bağlanmış yüksek değerli bir endüktanstan (bobinden) oluşmaktadır.



- Akım kaynağı uygulamalarında, akım kaynağı çıkışındaki “ I_s ” akımının sürekli ve sabit kalabilmesi için **mutlaka** kaynak çıkışında akımın devam edebileceği bir bağlantı oluşturmak gerekmektedir.
- Şekil-7.44'den görüldüğü gibi, kaynaktan akım alınmak istendiğinde, kaynak çıkışına S2 anahtarı üzerinden yük bağlanmalı kaynaktan akım alınmak istenmediğinde ise S2 anahtarı açık devre S1 anahtarı ise kısa devre yapılarak kaynak kısa devre edilmelidir. Bu sayede kaynak akımı “ I_s ” bizim belirlediğimiz değerde daima sabit akacaktır.

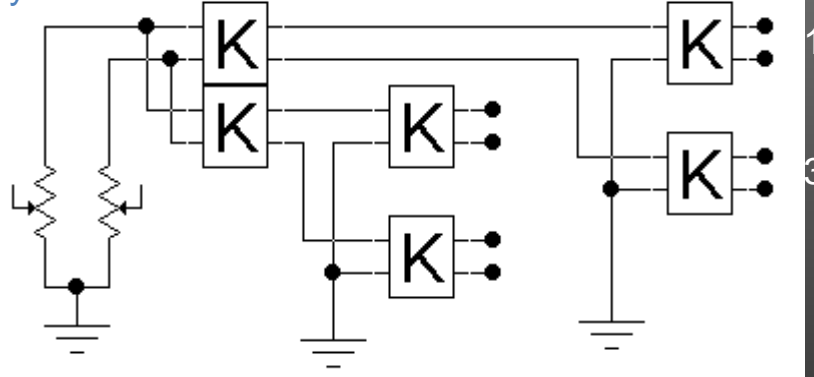
V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- Aşağıdaki Şekil-7.45'de 1 fazlı akım kaynaklı (CSI) köprü invertör bağlantısı görülmektedir.



Güç Devresi

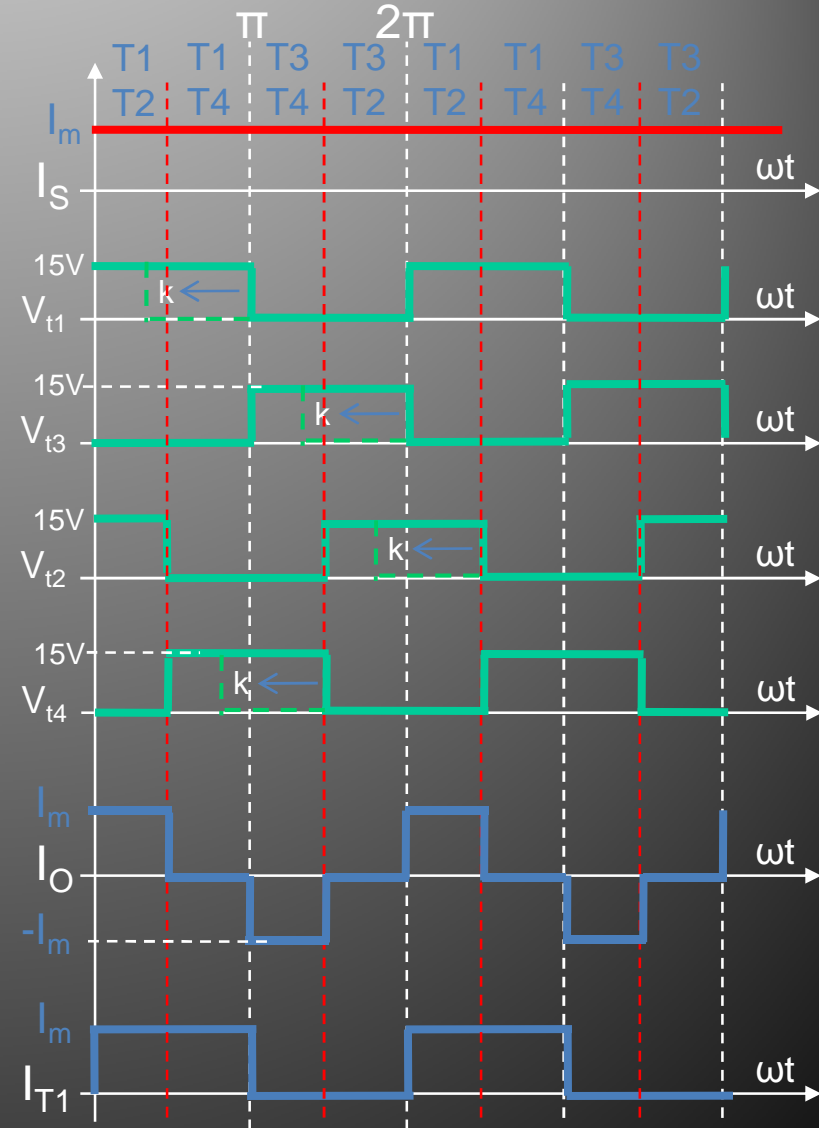
Uyr. Devresi



- Şekil-7.45'de görülen 1 fazlı akım kaynaklı invertör devresi yardımıyla yük üzerinden istenen frekanslı ve istenen genlikli (seviyeli) akım akıtılabilmektedir.
- Devre çıkışında AC akım elde edebilmek için T1-T2-T3-T4 transistörleri sırayla ve kaynak akımı kesilmeyecek şekilde uyarılmalıdır.
- T1-T2 uyarıldığında Is kaynağı yüke bağlanacak ve çıkış akımı pozitif olacaktır. T3-T4 uyarıldığı zaman ise Is kaynağı yüke ters bağlanacak ve çıkış akımı negatif olacaktır. Bu işlem periyodik olarak yapıldığında çıkışta istenilen frekanslı AC akım oluşmaktadır.

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- Şekil-7.45 görülen akım kaynaklı PWM invertörün (CSI) rezistif performansını gösteren dalga şekilleri yan tarafta Şekil-7.46'da verilmiştir.
- Şekilden görüldüğü gibi T1-T2-T3 ve T4 transistörlerinin periyodik olarak devreye sokulmasıyla istenen frekansta kare dalga formatında bir AC akım çıkış uçlarında oluşmaktadır.
- Şekil-7.46'da gösterilen tüm dalga şekillerinin tepe değeri akım kaynağının sabit akım seviyesi olan " I_s " değeridir.
- Çizilen bu dalga şekillerine göre akım kaynaklı invertörün rezistif yük performans parametreleri hesaplanacaktır.



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

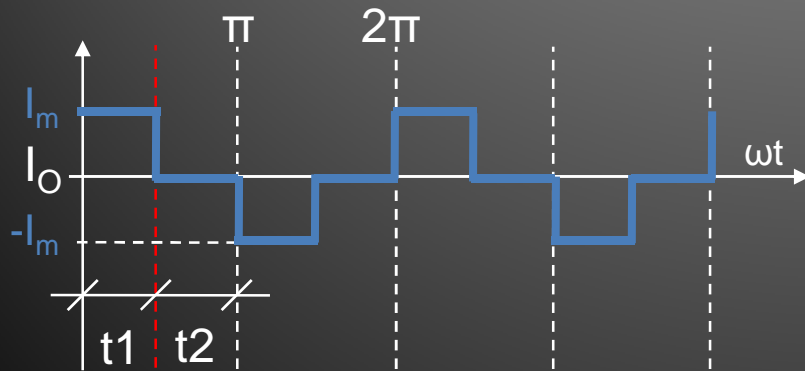
- Akım kaynaklı PWM invertör kullanılarak elde edilen AC akımın frekansı tamamen kontrol sinyalinin frekansına bağlı olarak oluşmaktadır.
- İnvörtör kullanılarak elde edilen AC akımın genliği ise iki farklı yöntemle kontrol edilebilmektedir. Bu yöntemler,
 - 1) Değişken kaynak akımı (I_s) kullanılarak,
 - 2) Değişken etkin peryot (k) kullanılarakdır.
- PWM invertörlerde adından da anlaşılacağı gibi daha çok ikinci yöntem olan etkin peryot kontrolü yöntemi kullanılmaktadır.
- Değişken frekanslı ve genlikli akım gereken güç elektroniği uygulamalarında kullanılan 1 fazlı akım kaynaklı PWM invertörün rezistif yükte çalışırken diğer güç devrelerine benzer şekilde,
 - 1) Çıkış akımının etkin değeri,
 - 2) Etkin çıkış gücü,
 - 3) Anahtar gerilimi,
 - 4) Anahtar akımı,hesaplanabilir.
- Akım kaynaklı invertör uygulamalarında çıkış gerilimi takip edilmemektedir. Bu uygulamalarda esas olan akımdır ve akımın hep istenen değerde olması için çalışılır.

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 1) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı akım kaynaklı invertörün (CSI) saf rezistif yükte oluşan çıkış akımı Şekil-7.47'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği,

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} I_m^2 \cdot dt} = I_s \cdot \sqrt{\frac{t_1}{t_1 + t_2}}$$

olarak bulunabilecektir.



- 2) Etkin çıkış gücü;
- Yüke aktarılan etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = I_{O(rms)}^2 \cdot R$$

eşitliğinden bulunabilecektir.

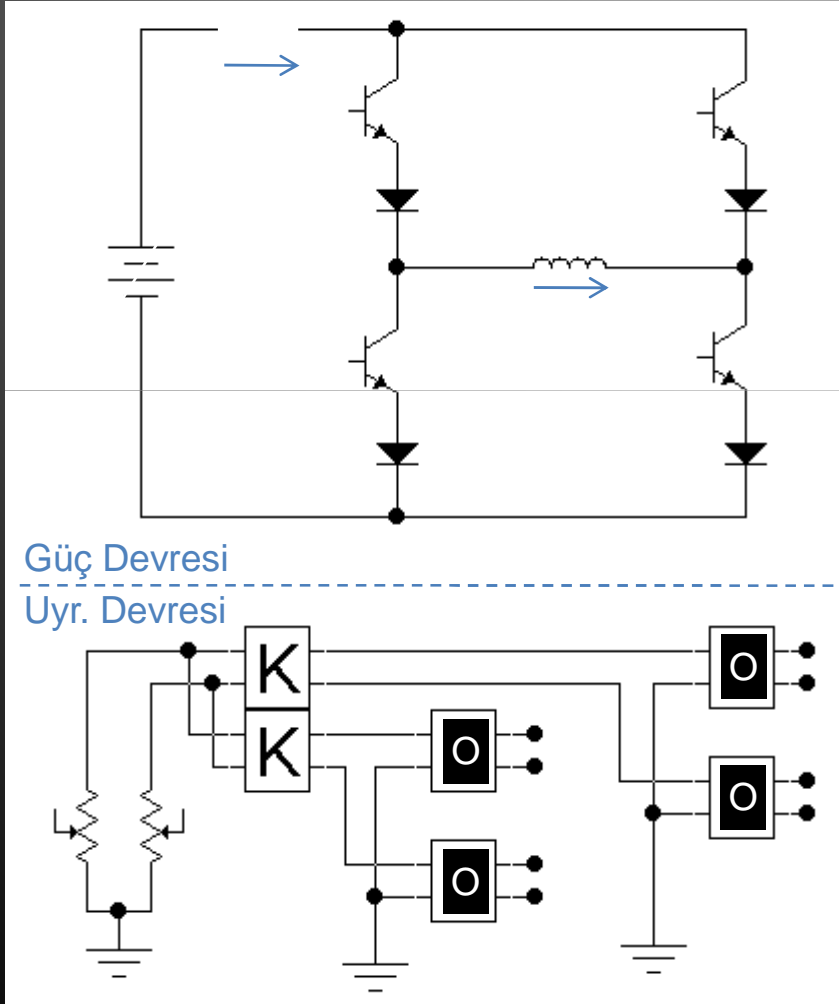
- 3) Anahtar gerilimi,
- Anahtarın üzerine gelecek olan en yüksek gerilime göre,
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$ olacaktır.

- 4) Anahtar akımı;
- Anahtarın üzerine göre;
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot I_s$

NOT: Kaynak gerilimi ve akımının seviyesi yüke göre belirlenir.

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

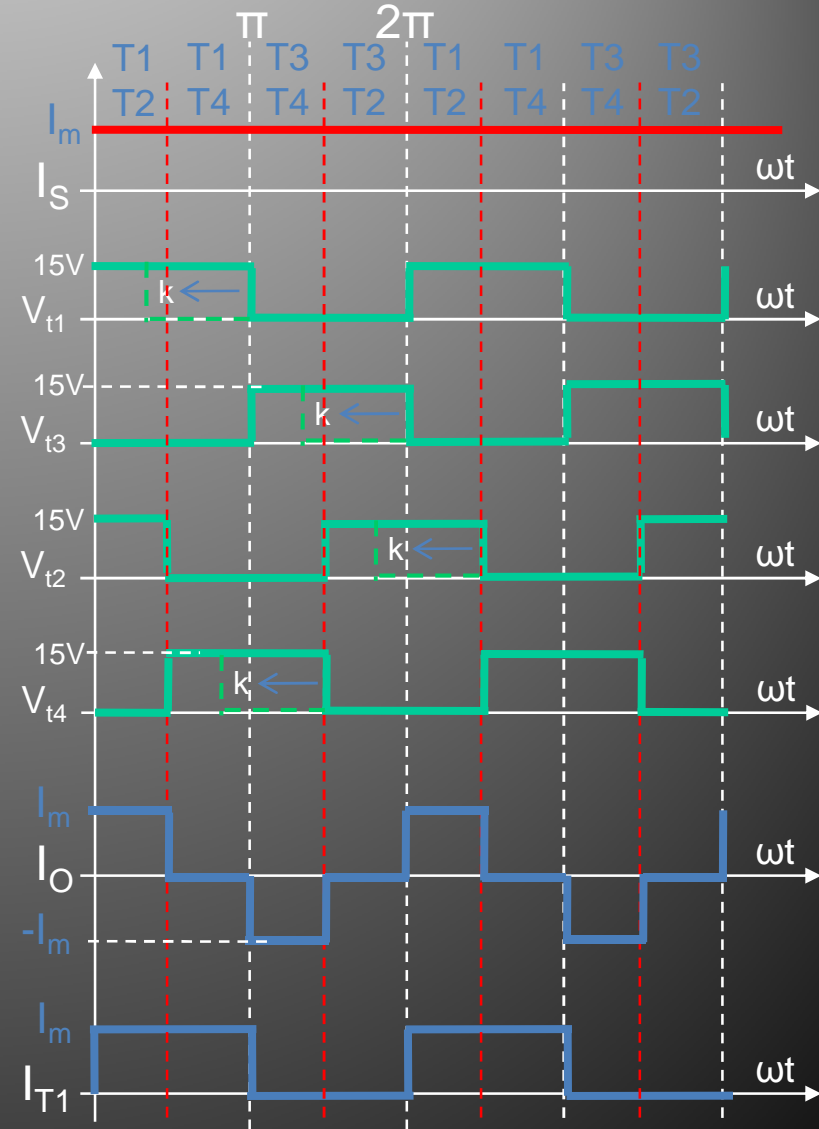
- B) 1 fazlı Akım Kaynaklı PWM İnvertörler (Endüktif yükte);



- Şekil-7.48'de görülen 1 fazlı akım kaynaklı invertör devresi yardımı ile endüktif yük üzerinden istenen frekanslı ve istenen genlikli (seviyeli) akım akıtılabilmektedir.
- Uyarma devresinde görüldüğü gibi 2 adet PWM üretici kullanılarak T1 ve T3'e 180° faz farklı, T2 ve T4'e ise onlara göre 270° fazı kayık kare dalga uygulanmıştır.
- Güç devresinde görüldüğü gibi daha önceden gerilim kaynaklı invertörlerde transistörlere paralel olarak kullanılan serbest geçiş diyotları bu defa seri bağlanarak tampon olarak kullanılmışlardır.
- Bu uygulamanın sebebi izinsiz akım akışını engellemektir.

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- Şekil-7.48 görülen akım kaynaklı PWM invertörün (CSI) endüktif performansını gösteren dalga şekilleri yan tarafta Şekil-7.49'da verilmiştir.
- Şekilden görüldüğü gibi T1-T2-T3 ve T4 transistörlerinin periyodik olarak devreye sokulmasıyla yine istenen frekansta kare dalga formatında bir AC akım çıkış uçlarında oluşmaktadır.
- Şekil-7.49'da gösterilen tüm dalga şekillerinin tepe değeri akım kaynağının sabit akım seviyesi olan " I_s " değeridir.
- Çizilen bu dalga şekillerine göre akım kaynaklı invertörün endüktif yük performans parametreleri hesaplanacaktır.

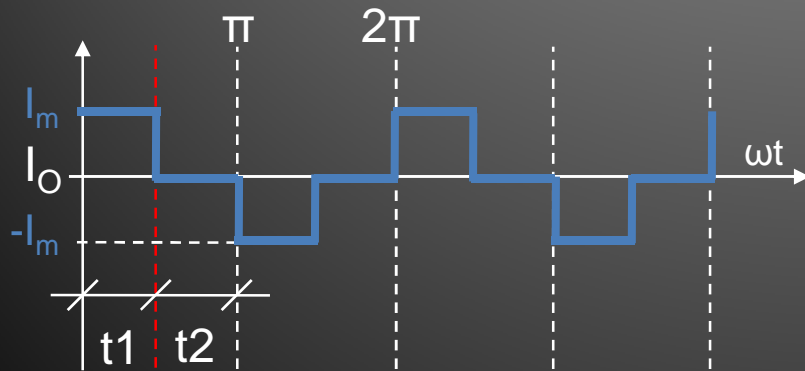


V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 1) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı akım kaynaklı invertörün (CSI) saf endüktif yükte oluşan çıkış akımı Şekil-7.50'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği,

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} I_m^2 \cdot dt} = I_s \cdot \sqrt{\frac{t_1}{t_1 + t_2}}$$

olarak bulunabilecektir.



- 2) Etkin çıkış gücü;
- Yüke aktarılan etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = I_{O(rms)}^2 \cdot R$$

eşitliğinden bulunabilecektir.

- 3) Anahtar gerilimi,
- Anahtarın üzerine gelecek olan en yüksek gerilime göre, $V_T = 1,3 \cdot V_m$ olacaktır.

- 4) Anahtar akımı;
- Anahtarın üzerine göre; $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot I_s$

NOT: Kaynak gerilimi ve akımının seviyesi yüke göre belirlenir.

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

■ Örnek:

- 50A dc kaynakta %50 etkin peryotlu uyarmada çalıştırılan 1 fazlı akım kaynaklı invertörün,
- a) 10Ω 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış akımının etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = I_s \cdot \sqrt{k} = 50 \cdot \sqrt{0,5} = 35A$$

- Etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = I_{O(rms)}^2 \cdot R = 35^2 \cdot 10 = 12,25kW$$

- Anahtar gerilimi,

$$V_o = I_{o(max.)} \cdot R$$

$$V_o = 50 \cdot 10 = 500V$$

$$V_T \geq 500 \cdot 1,3 \geq 650V$$

- Anahtar akımı,

$$V_T \geq I_s \cdot 1,3$$

$$V_T \geq 50 \cdot 1,3 \geq 65A$$

- b) Endüktif yükte çıkış akımının etkin değeri,

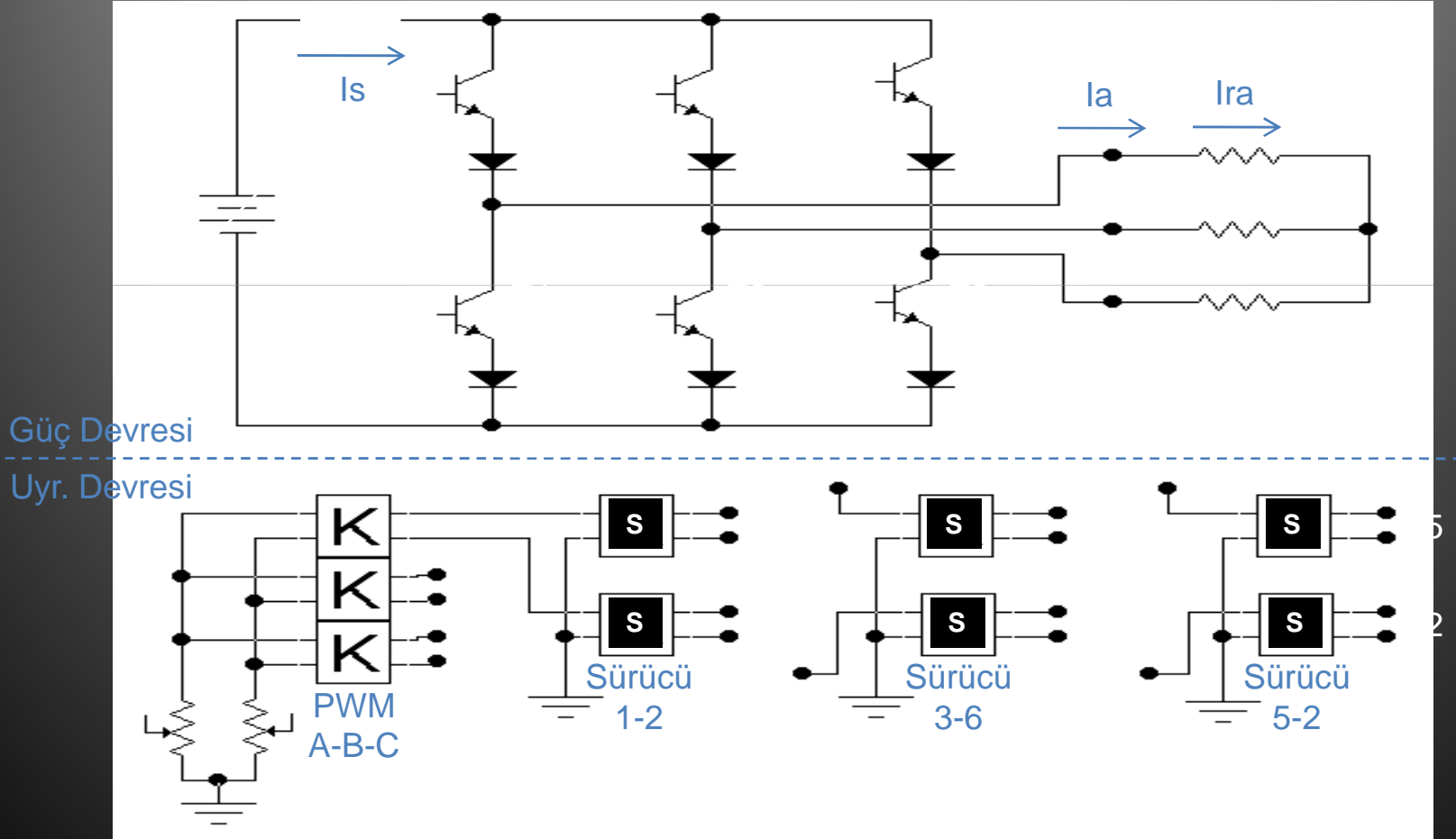
Endüktif yükte oluşan dalga şekillerinden ve eşitliklerden görüldüğü gibi rezistif yükle tamamen aynıdır. Dolayısıyla ayrıca hesaba gerek yoktur.

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 2) 3 Fazlı akım kaynaklı PWM invertörler (CSI):
 - 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörler, sanayide çok yoğun olarak kullanılmakta olan 3 fazlı asenkron motorların kontrolü için kullanılmaktadır.
 - Bu invertörler sayesinde asenkron motorların,
 - Yol verme,
 - Tork kontrolü,
 - Yön kontrolü,
 - Frenleme kontrolü,kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.
 - Son yıllarda IPM'ler kullanılarak bu devreler daha da yayılmıştır.
- 3 fazlı akım kaynaklı PWM invertörlerde de yine kullanılmakta olan 2 farklı kontrol yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler,
 - a- 180° iletim kontrolü,
 - b- 120° iletim kontrolüdür.
- Bu yöntemlerden birincisi olan 180° iletim kontrolünde, invertörü oluşturan her bir güç elemanı, 180° iletimde, 180°'de yalıtımda tutulmaktadır.
- İkinci yöntem olan 120° iletim kontrolünde ise invertörü oluşturan her bir güç elemanı, 120° iletimde, 240°'de yalıtımda tutulmaktadır.
- Şimdi CSI'da bu yöntemlerin kullanımı sırasıyla incelenecektir.

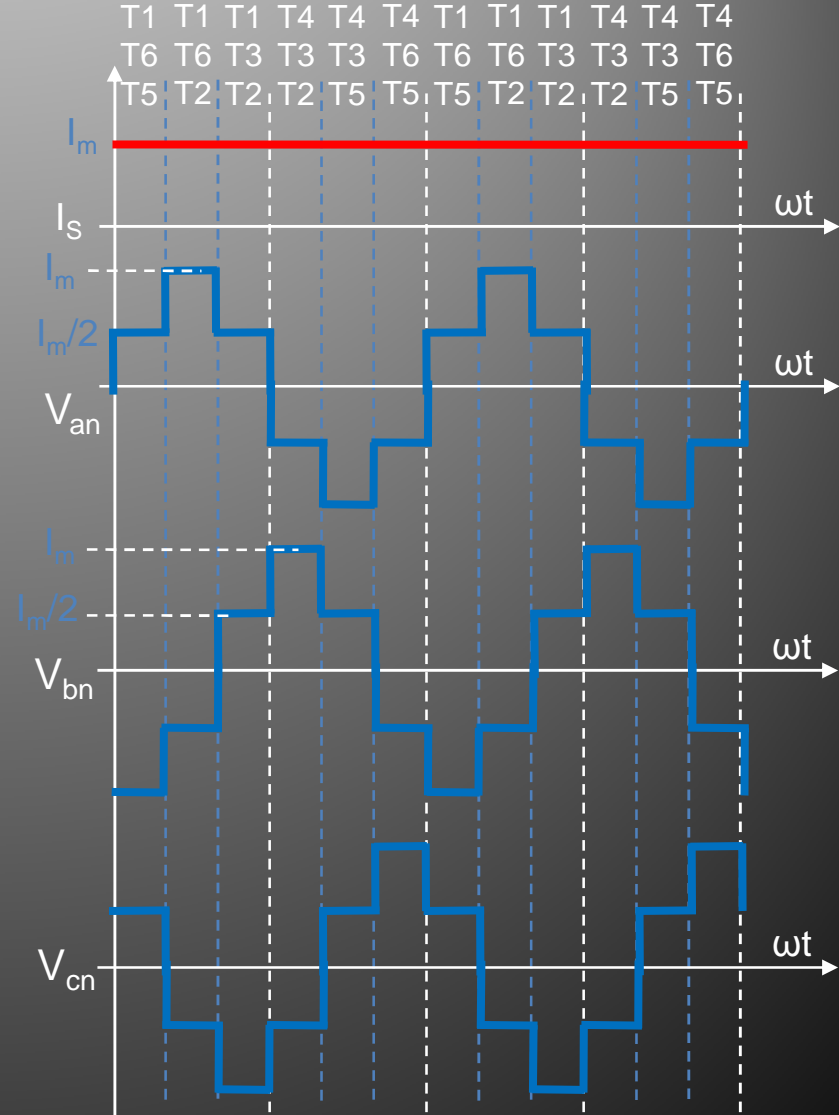
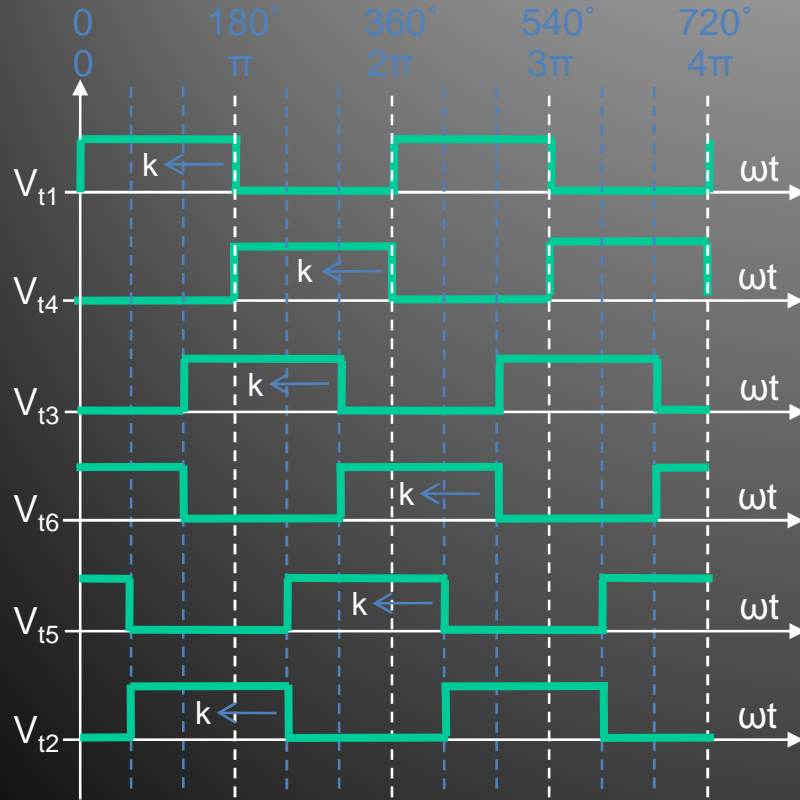
V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 3 fazlı Akım Kaynaklı PWM İnvörtör (yıldız bağı yükte ve 180° iletimde);
- Şekil-7.51'de 3 fazlı akım kaynaklı PWM invörtörün (CSI), yıldız yük ve 180° uyarma için, güç ve kontrol devrelerinin bağlantısı görülmektedir.



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

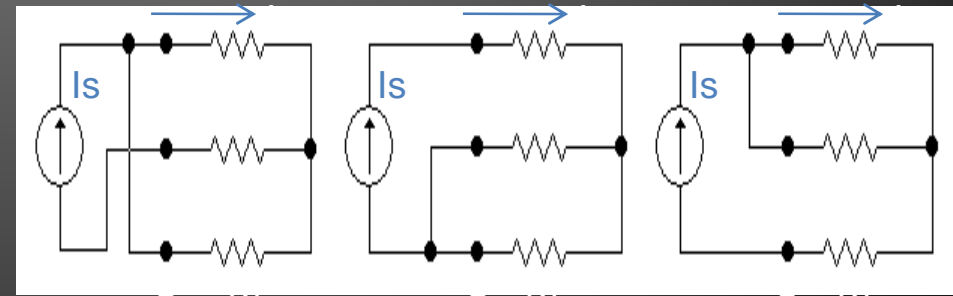
- Şekil-7.51’de görülen 3 fazlı devrenin performansını gösteren uyarma dalga şekilleri Şekil-7.52’de, güç devresi dalga şekilleri de Şekil-7.53’de verilmiştir.



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- Şekil-7.52'den görüldüğü gibi referans olarak aldığımız birinci fazı (A) oluşturabilmek için T1 ve T4 transistörlerine 180 derece faz farklı iki kare dalga kontrol sinyali uygulanacaktır.
- İkinci fazı (B) oluşturabilmek içinse T3 ve T6 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 120 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Üçüncü fazı oluşturmak için ise T5 ve T2 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 240 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Böylelikle 3 fazlı AC akım elde edebilmek için T1'den T6'ya kadar transistörler 60'ar derece arayla 180° sürülmüş olmaktadır.

- Şekil-7.53'de verilen güç devresi dalga şekillerine bakıldığında yapılan 180 derecelik uyarma sonucunda, istenilen frekansta, 120'şer derece faz farklı ve "Im" tepe değerli 3 adet hat akımı (I_a , I_b , I_c) ile yine yıldız bağlantı nedeniyle bu akımlarla aynı şekil ve değerli 3 adet faz akımı (I_{ra} , I_{rb} , I_{rc}) oluşmaktadır.
- Şekil-7.53'de gösterilen kademeli hat akımlarının oluşumu aşağıda Şekil-7.54'de gösterilmiştir.



a) 0° - 60°

b) 60° - 120°

c) 120° - 180°

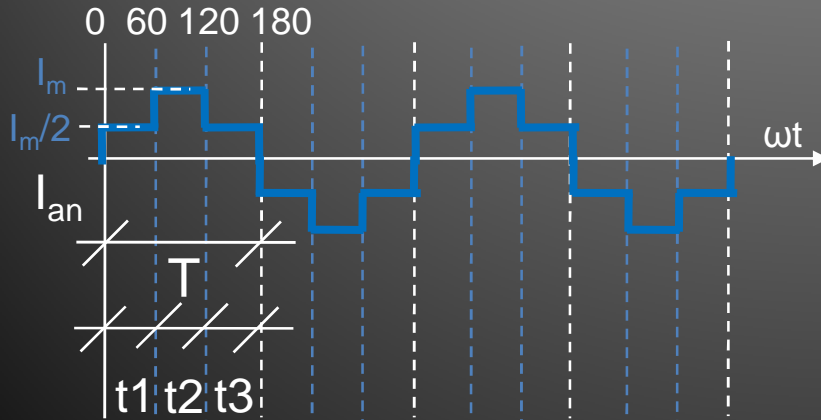
V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- Şekil-7.54’de verilen yük eşdeğer devrelerinden görüldüğü gibi, ilk 60 derecelik dilimde T1-T6-T5 iletimde olduğu için yük “a” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rc paralel Rb ise onlara seri durumdadır. Bu durumda Ra üzerinden “ $I_s/2$ ” kadarlık bir akım geçişi olacaktır.
- İkinci 60 derecelik dilimde ise “b” şeklinde görüldüğü gibi Rb-Rc paralel Ra ise onlara seri durumdadır. Bu durumda Ra üzerinden “ I_s ” kadarlık bir akım geçişi olacaktır.
- Üçüncü 60 derecelik dilimde ise Ra direnci yine paralele girdiği için üzerinden “ $I_s/2$ ” geçecektir.
- 3 fazlı akım kaynaklı PWM invertör devresinin 180 derece iletim durumunda ve yıldız yükteki daga şekillerinden yararlanarak diğer güç devrelerinde olduğu gibi aşağıdaki temel hesaplamalar yapılabilir.
 - 1) Çıkış hat-faz akımlarının etkin değeri,
 - 2) Etkin çıkış gücü,
 - 3) Anahtar gerilimi,
 - 4) Anahtar akımı.
- Çıkış gerilimi kontrol edilmediği için hesaplaması yapılmamıştır.

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 1) Çıkış hat-faz akımı etkin değeri;
- 3 fazlı akım kaynaklı invertörün yıldız yükte oluşan çıkış hat ve faz akımı Şekil-7.55'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$I_{a(rms)} \approx (I_m/2) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + I_m \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$



- 2) Etkin çıkış gücü;
Devrenin etkin çıkış gücü,

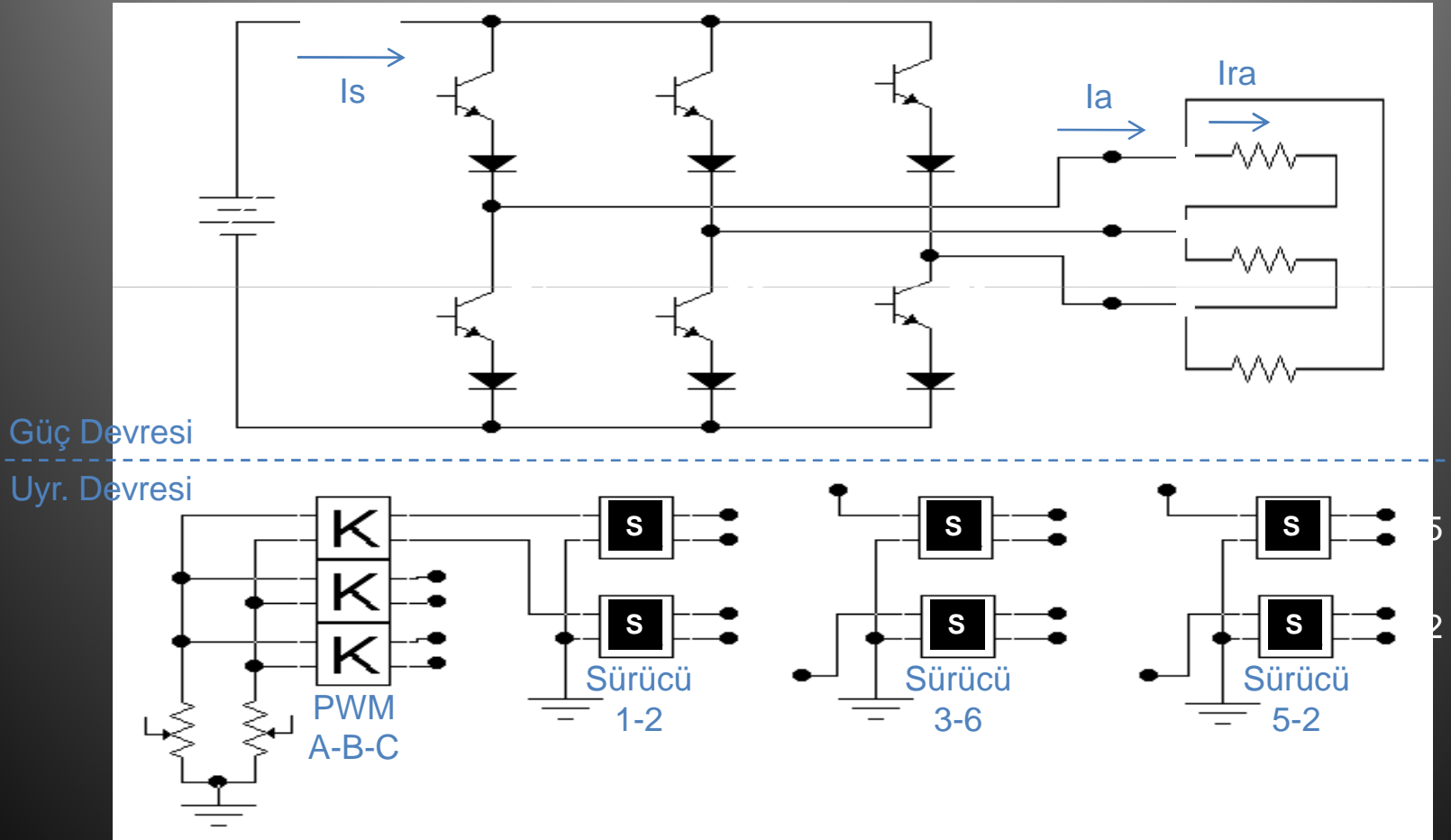
$$P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{O(rms)}^2 \cdot R$$

- 3) Anahtar gerilimi,
Anahtarın üzerine gelecek olan gerilim,
 $V_m = I_m \cdot R$
buradan,
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$ olacaktır.

- 4) Anahtar akımı;
Anahtarın üzerindeki akıma göre;
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m$
bulunacaktır.

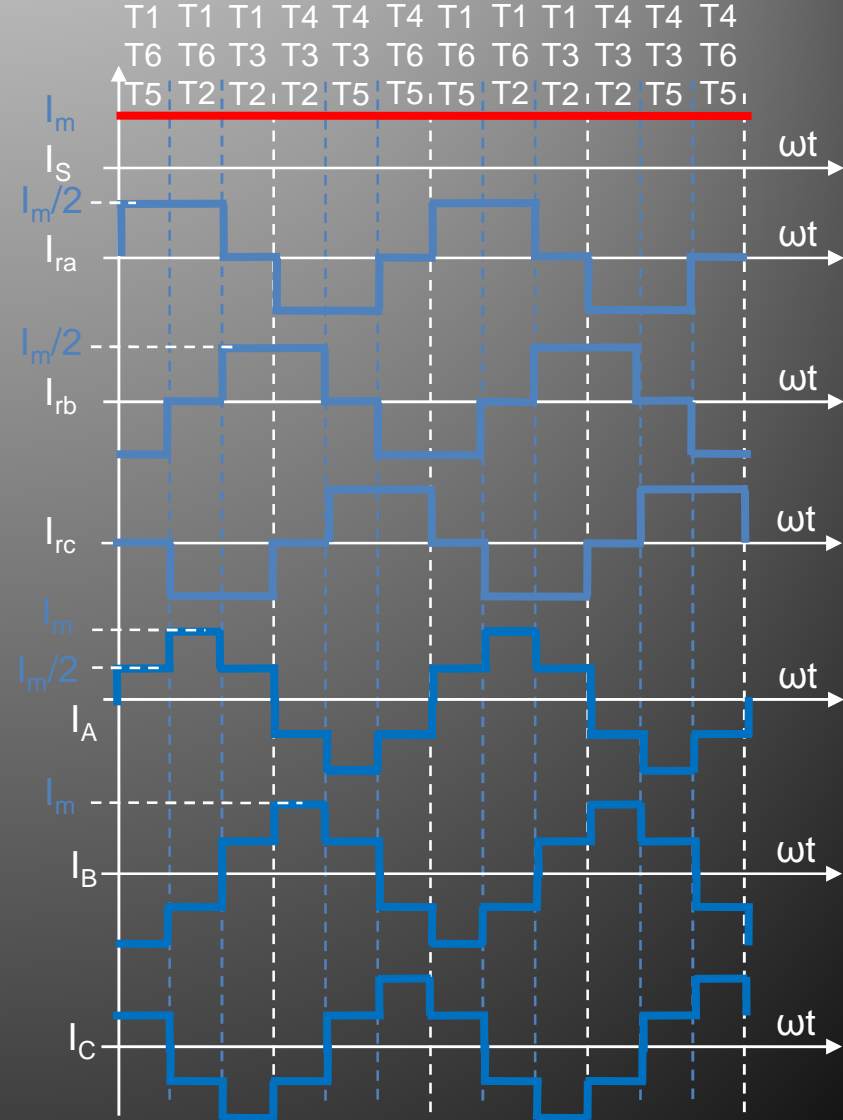
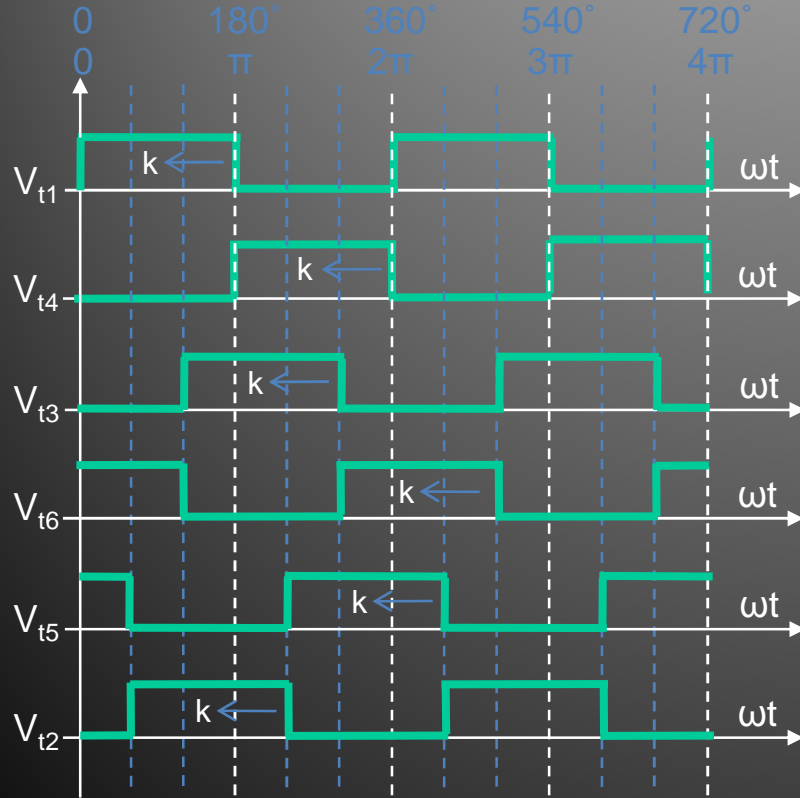
V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 3 fazlı Akım Kaynaklı PWM İnvörtör (üçgen bağlı yükte ve 180° iletimde);
- Şekil-7.56'da 3 fazlı akım kaynaklı PWM invörtörün (CSI), üçgen yük ve 180° uyarma için, güç ve kontrol devrelerinin bağlantısı görülmektedir.



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

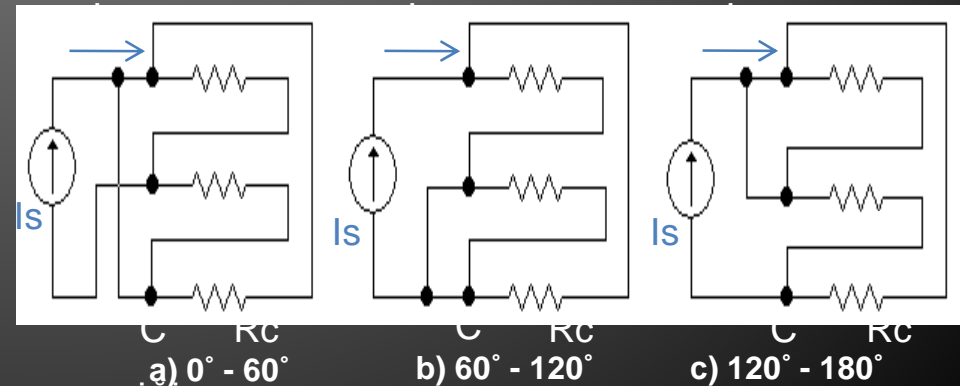
- Şekil-7.56'da görülen 3 fazlı devrenin performansını gösteren uyarma dalga şekilleri Şekil-7.57'de, güç devresi dalga şekilleri de Şekil-7.58'de verilmiştir.



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- Şekil-7.57’den görüldüğü gibi referans olarak aldığımız birinci fazı (A) oluşturabilmek için T1 ve T4 transistörlerine 180 derece faz farklı iki kare dalga kontrol sinyali uygulanacaktır.
- İkinci fazı (B) oluşturabilmek içinse T3 ve T6 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 120 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Üçüncü fazı oluşturmak için ise T5 ve T2 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 240 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Böylelikle 3 fazlı AC akım elde edebilmek için T1’den T6’ya kadar transistörler 60’ar derece arayla 180° sürülmüş olmaktadır.

- Şekil-7.58’de verilen güç devresi dalga şekillerine bakıldığında yapılan 180 derecelik uyarma sonucunda, istenilen frekansta, 120’şer derece faz farklı ve “Im” tepe değerli 3 adet hat akımı (Ia, Ib, Ic) ile yine üçgen bağlantı nedeniyle bu akımlardan farklı olarak yine 120° farklı 3 adet faz akımı (Ira, Irb, Irc) oluşmaktadır.
- Şekil-7.58’de gösterilen kademeli hat akımlarının oluşumu aşağıda Şekil-7.59’de gösterilmiştir.



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

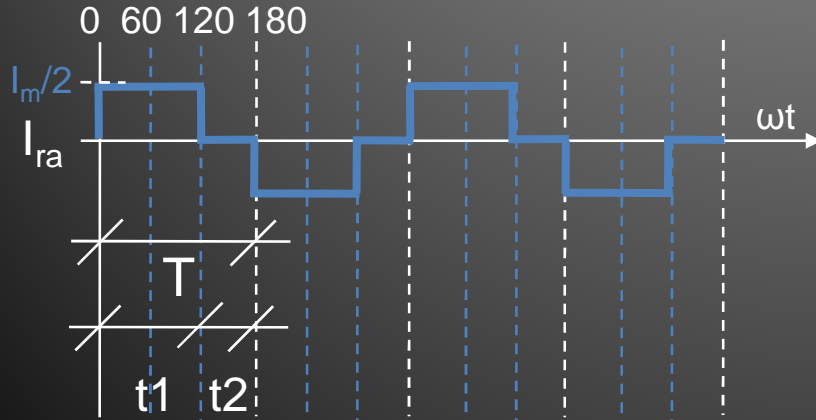
- Şekil-7.59’da verilen yük eşdeğer devrelerinden görüldüğü gibi, ilk 60 derecelik dilimde T1-T6-T5 iletimde olduğu için yük “a” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rb paralel Rc ise bloke olmuş durumdadır. Bu durumda A fazı üzerinden “ $I_s/2$ ” kadarlık bir akım geçişi olacaktır.
- İkinci 60 derecelik dilimde ise “b” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rc paralel Rb ise bloke olmuş durumdadır. Bu durumda A fazı üzerinden “ I_s ” kadarlık bir akım geçişi olacaktır.
- Üçüncü 60 derecelik dilimde ise Ra direnci yine paralele girdiği için A fazı üzerinden “ $I_s/2$ ” geçecektir.
- 3 fazlı akım kaynaklı PWM invertör devresinin 180 derece iletim durumunda ve üçgen yükteki daga şekillerinden yararlanarak diğer güç devrelerinde olduğu gibi aşağıdaki temel hesaplamalar yapılabilir.
 - 1) Çıkış hat-faz akımlarının etkin değeri,
 - 2) Etkin çıkış gücü,
 - 3) Anahtar gerilimi,
 - 4) Anahtar akımı.
- Çıkış gerilimi kontrol edilmediği için hesaplaması yapılmamıştır.

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 1a) Çıkış faz akımı etkin değeri;
- 3 fazlı akım kaynaklı invertörün üçgen yükte oluşan çıkış faz akımı Şekil-7.60'da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

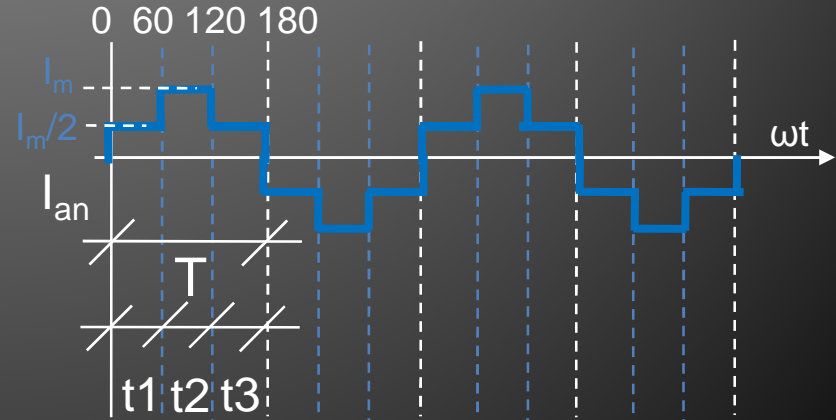
$$I_{Ra(rms)} = (I_m/2) \cdot \sqrt{(t_1 / T)}$$

olacaktır.



- 1b) Çıkış hat akımı etkin değeri;
- 3 fazlı akım kaynaklı invertörün üçgen yükte oluşan çıkış hat akımı Şekil-7.61'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$I_a(rms) \approx (I_m/2) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + I_m \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 2) Etkin çıkış gücü;

Devrenin etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{Ra(rms)}^2 \cdot Ra$$

- 3) Anahtar gerilimi,

Anahtarın üzerine gelecek olan gerilim,

$$V_m = I_m \cdot R$$

buradan,

$$V_T = 1,3 \cdot V_m \text{ olacaktır.}$$

- 4) Anahtar akımı;

Anahtarın üzerindeki akıma göre;

$$I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m$$

bulunacaktır.

- Örnek:

- 50Adc kaynakta 50Hz'de 180 derecelik uyarmada çalıştırılan 3 fazlı akım kaynaklı invertörün,

- a) 10Ω'luk yıldız bağlı rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,

- b) 10Ω'luk üçgen bağlı rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak devre parametrelerini hesaplayınız.

- Çözüm:

- a) Yıldız bağlı yükte hat-faz akımlarının etkin değeri,

$$I_{a(rms)} \approx (I_m/2) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + I_m \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

$$I_{a(rms)} \approx 25 \cdot \sqrt{[(6,66) / 10]} + 50 \cdot \sqrt{(3,33 / 10)} = 49,25A$$

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- Etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{A(rms)}^2 \cdot R = 3 \cdot 49,25^2 \cdot 10$$

$$P_{O(rms)} = 72,76kW$$

- Anahtar gerilimi,

$$V_o = I_{o(max.)} \cdot R$$

$$V_o = 50 \cdot 10 = 500V$$

$$V_T \geq 500 \cdot 1,3 \geq 650V$$

- Anahtar akımı,

$$V_T \geq I_s \cdot 1,3$$

$$V_T \geq 50 \cdot 1,3 \geq 65A$$

- b) Üçgen bağlı yükte hat akımının etkin değeri,

$$I_{a(rms)} \approx (I_m/2) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} \\ + I_m \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

$$I_{a(rms)} \approx 25 \cdot \sqrt{[(6,66) / 10]} \\ + 50 \cdot \sqrt{(3,33 / 10)} = 49,25A$$

- Üçgen bağlı yükte faz akımının etkin değeri,

$$I_{Ra(rms)} = (I_m/2) \cdot \sqrt{(t_1 / T)}$$

$$I_{Ra(rms)} = 25 \cdot \sqrt{(6.66 / 10)} = 20,4A$$

- Etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{Ra(rms)}^2 \cdot R = 3 \cdot 20,4^2 \cdot 10$$

$$P_{O(rms)} = 12,48kW$$

- Anahtar gerilimi,

$$V_o = I_{o(max.)} \cdot R$$

$$V_o = 50/2 \cdot 10 = 250V$$

$$V_T \geq 250 \cdot 1,3 \geq 325V$$

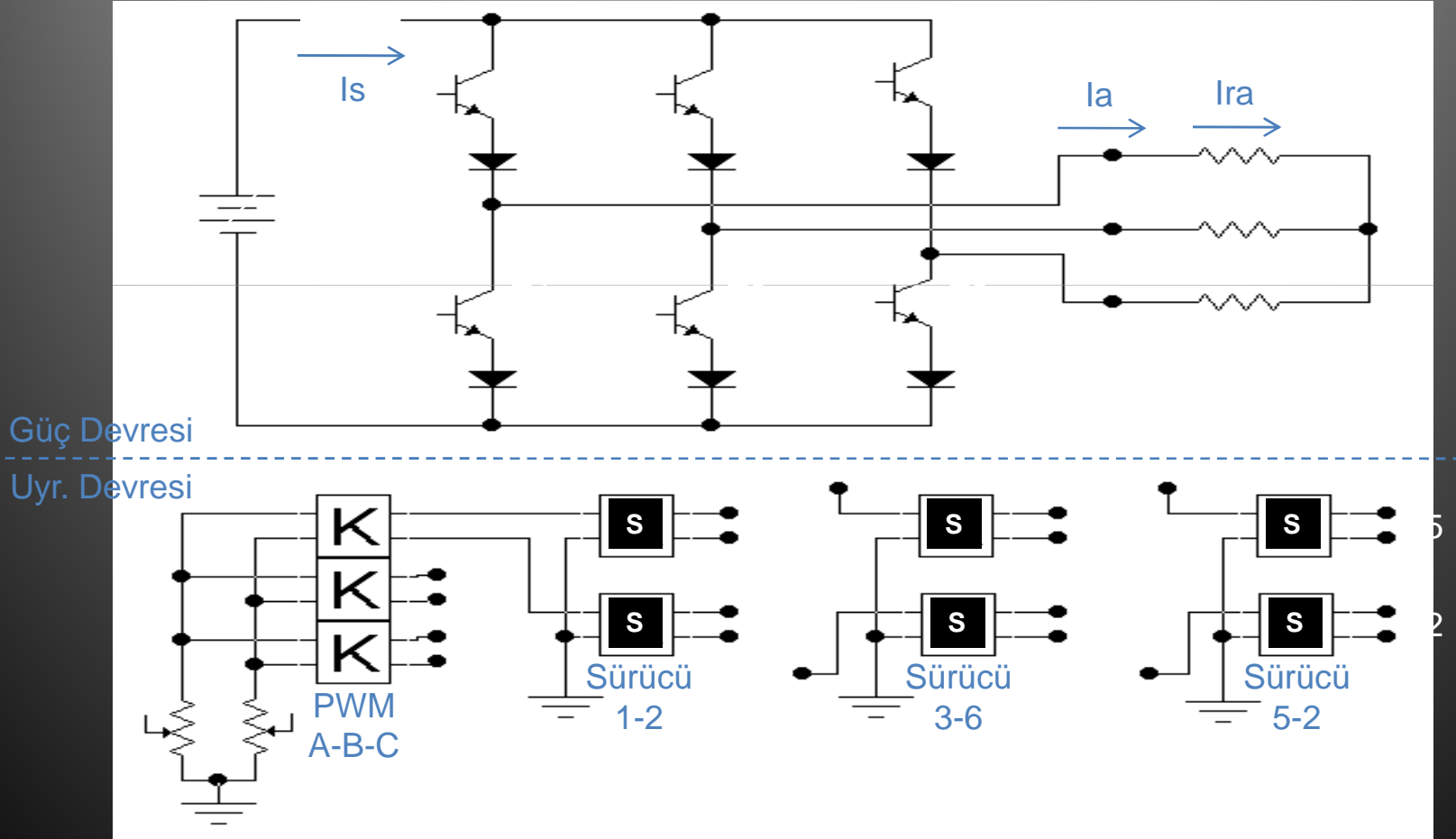
- Anahtar akımı,

$$V_T \geq I_s \cdot 1,3$$

$$V_T \geq 50 \cdot 1,3 \geq 65A$$

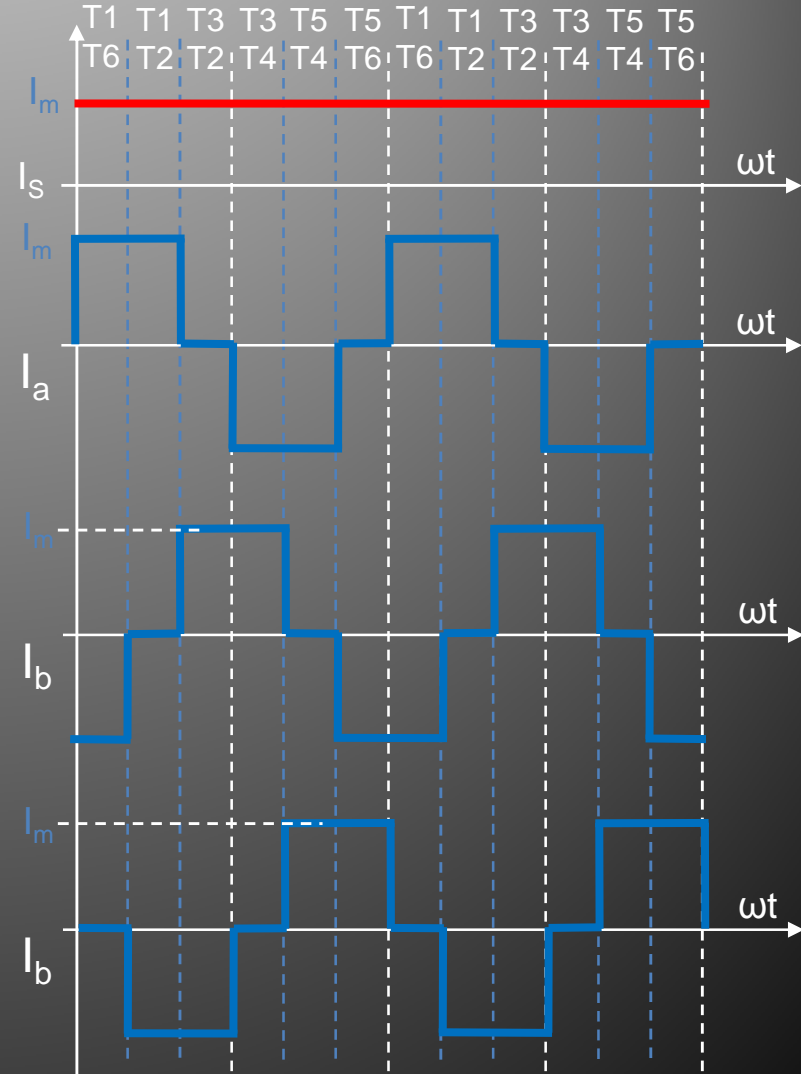
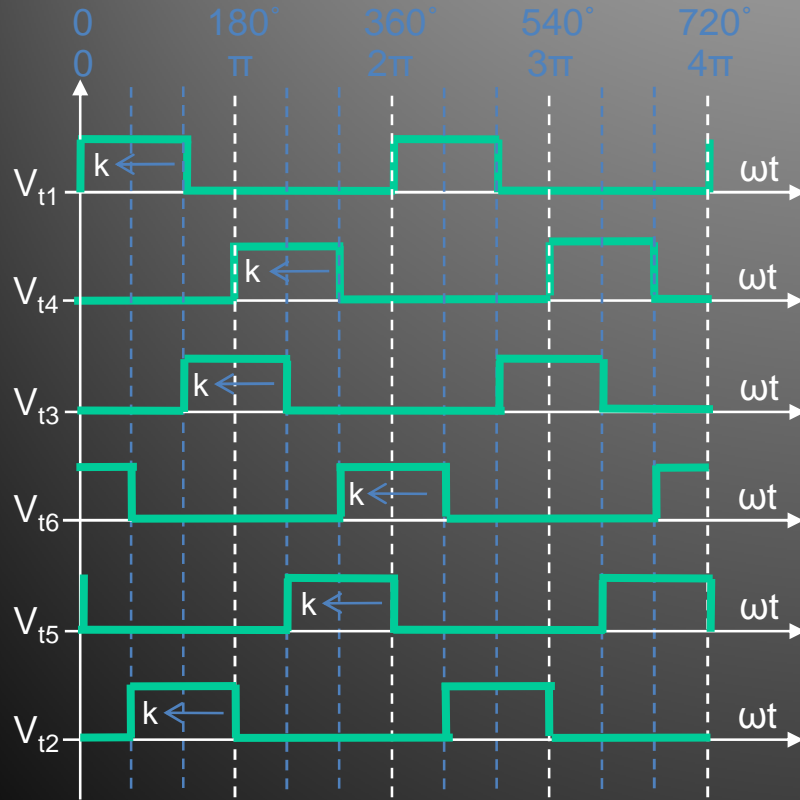
V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 3 fazlı Akım Kaynaklı PWM İnvörtör (yıldız bağı yükte ve 120° iletimde);
- Şekil-7.62’de 3 fazlı akım kaynaklı PWM invörtörün (CSI), yıldız yük ve 120° uyarma için, güç ve kontrol devrelerinin bağlantısı görülmektedir.



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

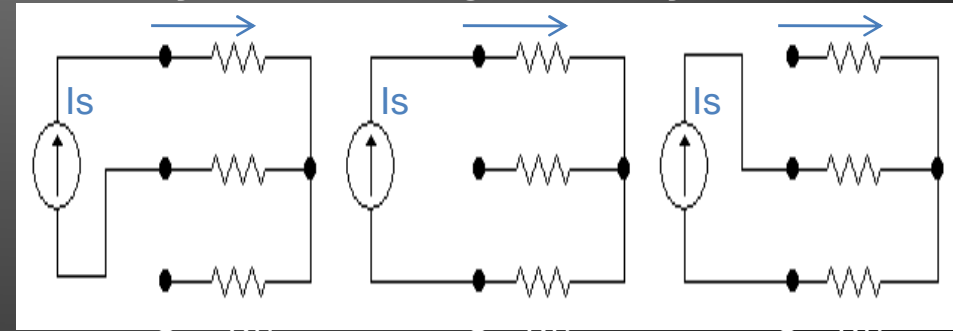
- Şekil-7.62’de görülen 3 fazlı devrenin performansını gösteren uyarma dalga şekilleri Şekil-7.63’de, güç devresi dalga şekilleri de Şekil-7.64’de verilmiştir.



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- Şekil-7.63'den görüldüğü gibi referans olarak aldığımız birinci fazı (A) oluşturabilmek için T1 ve T4 transistörlerine 120° etkin peryotlu 180° faz farklı iki kare dalga sinyal uygulanacaktır.
- İkinci fazı (B) oluşturabilmek içinse T3 ve T6 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 120 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Üçüncü fazı oluşturmak için ise T5 ve T2 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 240 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Böylelikle 3 fazlı AC akım elde edebilmek için T1'den T6'ya kadar transistörler 60 'ar derece arayla 120° sürülmüş olmaktadır.

- Şekil-7.64'de verilen güç devresi dalga şekillerine bakıldığında yapılan 120 derecelik uyarma sonucunda, istenilen frekansta, 120 'şer derece faz farklı ve "Im" tepe değerli 3 adet hat akımı (Ia, Ib, Ic) ile yine yıldız bağlantı nedeniyle bu akımlarla aynı şekil ve değerli 3 adet faz akımı (Ira, Irb, Irc) oluşmaktadır.
- Şekil-7.64'de gösterilen kademeli hat akımlarının oluşumu aşağıda Şekil-7.65'de gösterilmiştir.



a) $0^\circ - 60^\circ$

b) $60^\circ - 120^\circ$

c) $120^\circ - 180^\circ$

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

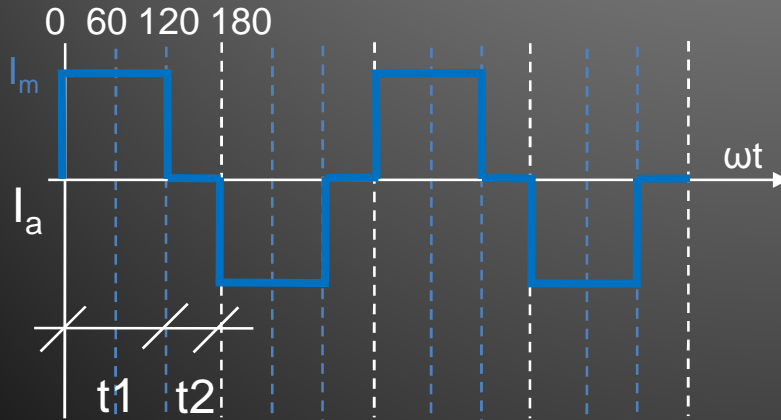
- Şekil-7.65’de verilen yük eşdeğer devrelerinden görüldüğü gibi, ilk 60 derecelik dilimde T1-T6 iletimde olduğu için yük “a” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rb seri Rc ise boшта bulunmaktadır. Bu durumda Ra üzerinden “Is” kadarlık bir akım geçişi olacaktır.
- İkinci 60 derecelik dilimde ise “b” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rc paralel Rb ise boшта bulunmaktadır. Bu durumda Ra üzerinden yine “Is” kadarlık bir akım geçişi olacaktır.
- Üçüncü 60 derecelik dilimde ise Ra direnci boшта bulunduğu için üzerinden herhangi bir akım geçmeyecektir.
- 3 fazlı akım kaynaklı PWM invertör devresinin 120 derece iletim durumunda ve yıldız yükteki daga şekillerinden yararlanarak diğer güç devrelerinde olduğu gibi aşağıdaki temel hesaplamalar yapılabilir.
 - 1) Çıkış hat-faz akımlarının etkin değeri,
 - 2) Etkin çıkış gücü,
 - 3) Anahtar gerilimi,
 - 4) Anahtar akımı.
- Çıkış gerilimi kontrol edilmediği için hesaplaması yapılmamıştır.

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 1) Çıkış hat-faz akımı etkin değeri;
- 3 fazlı akım kaynaklı invertörün yıldız yükte oluşan çıkış hat ve faz akımı Şekil-7.66'da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

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

$$I_a(rms) = I_m \cdot \sqrt{[t1/(t1+t2)]}$$



- 2) Etkin çıkış gücü;
Devrenin etkin çıkış gücü,

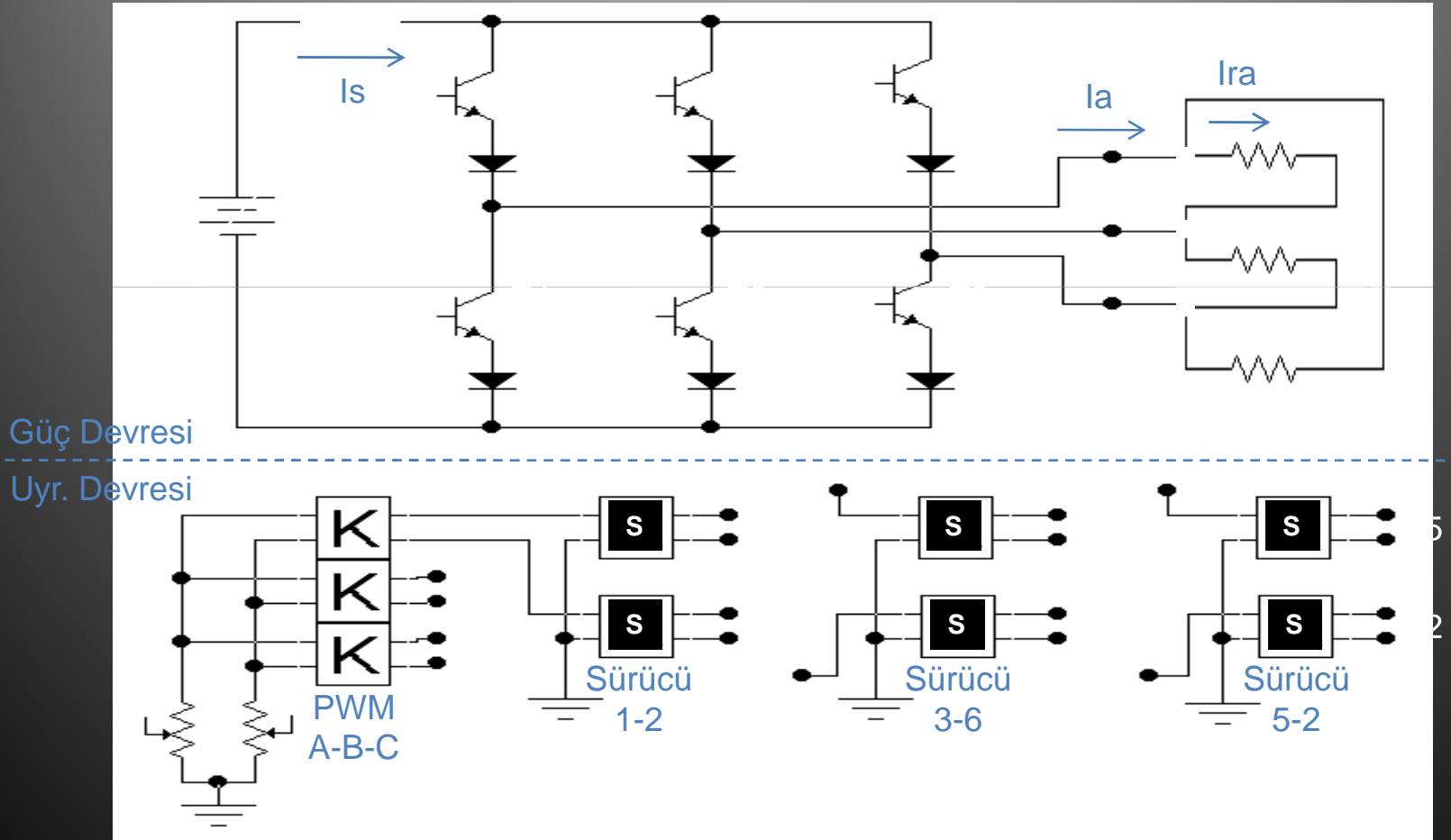
$$P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{A(rms)}^2 \cdot R$$

- 3) Anahtar gerilimi,
Anahtarın üzerine gelecek olan gerilim,
 $V_m = I_m \cdot R$
buradan,
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$ olacaktır.

- 4) Anahtar akımı;
Anahtarın üzerindeki akıma göre;
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m$
bulunacaktır.

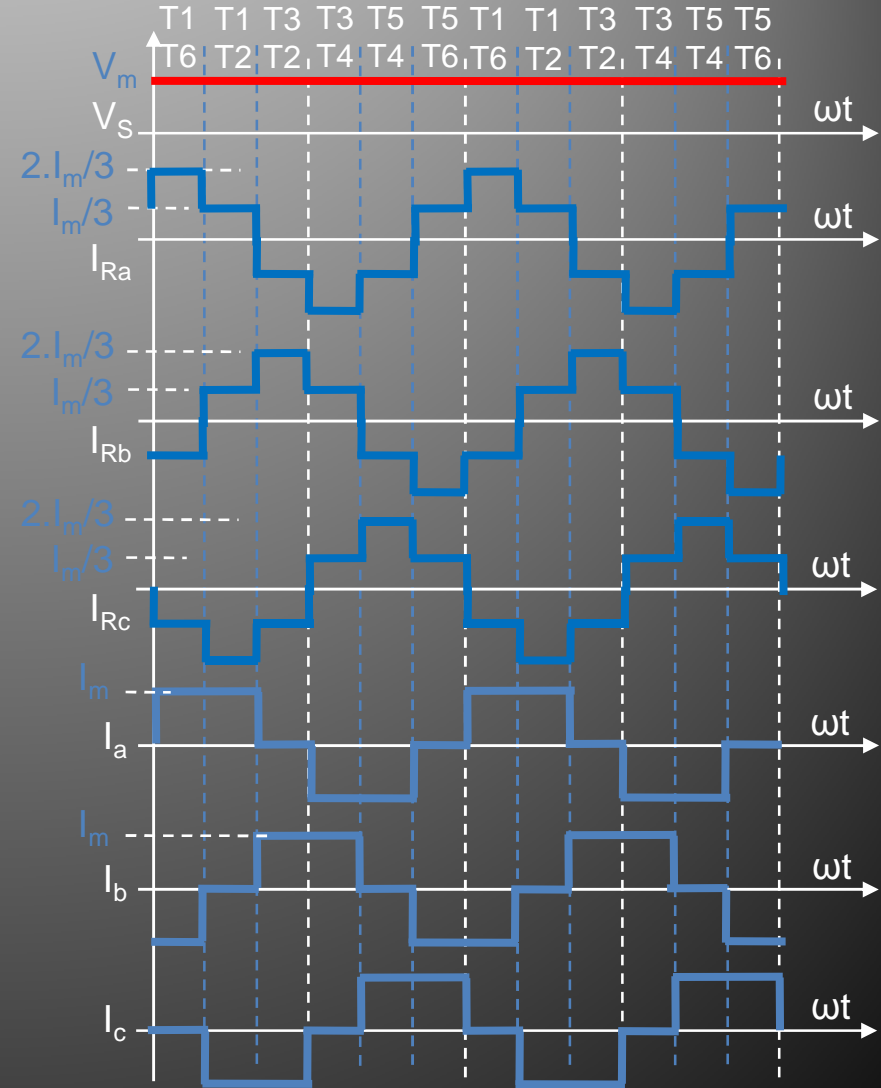
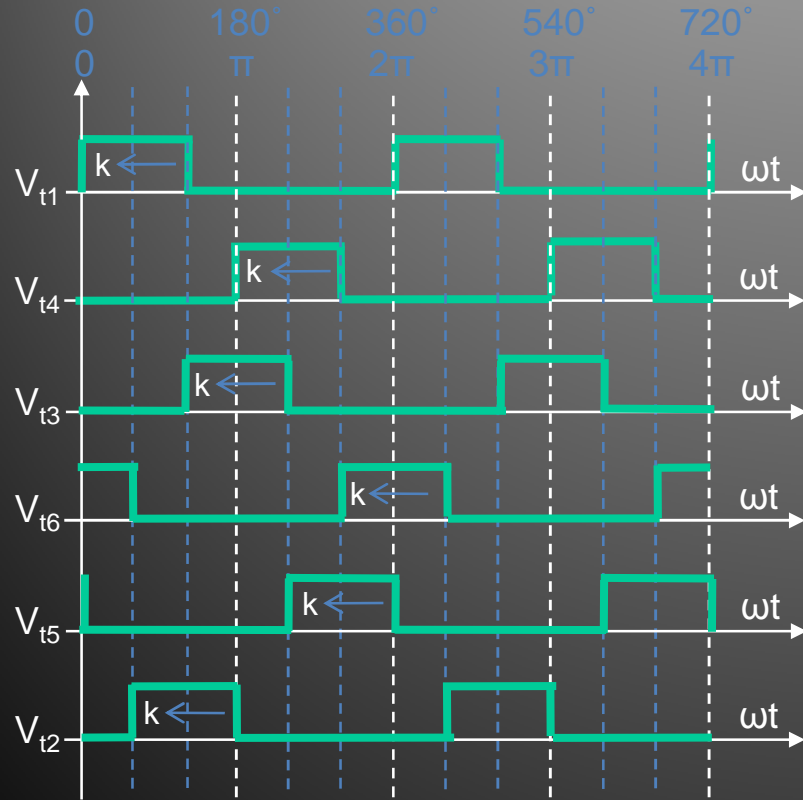
V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 3 fazlı Akım Kaynaklı PWM İnvörtör (üçgen bağlı yükte ve 120° iletimde);
- Şekil-7.67’de 3 fazlı akım kaynaklı PWM invörtörün (CSI), üçgen yük ve 120° uyarma için, güç ve kontrol devrelerinin bağlantısı görülmektedir.



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

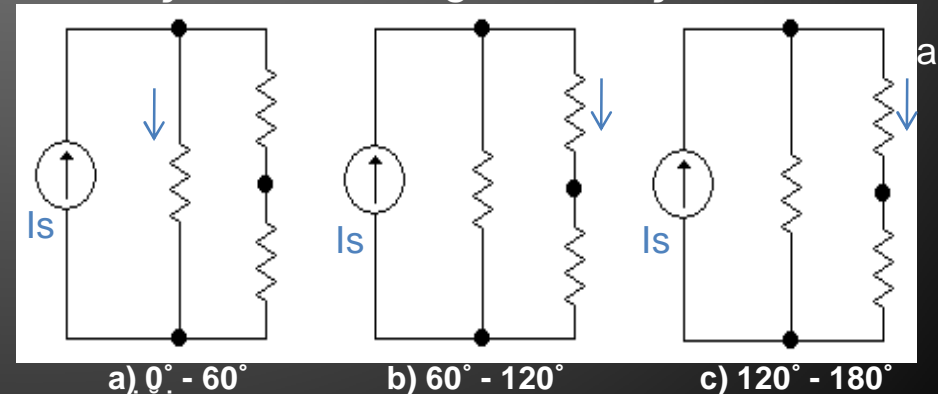
- Şekil-7.67’de görülen 3 fazlı devrenin performansını gösteren uyarma dalga şekilleri Şekil-7.68’de, güç devresi dalga şekilleri de Şekil-7.69’da verilmiştir.



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- Şekil-7.68'den görüldüğü gibi referans olarak aldığımız birinci fazı (A) oluşturabilmek için T1 ve T4 transistörlerine 180 derece faz farklı 120° etkin iki kare dalga kontrol sinyali uygulanmıştır.
- İkinci fazı (B) oluşturabilmek içinse T3 ve T6 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 120 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Üçüncü fazı oluşturmak için ise T5 ve T2 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 240 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.
- Böylelikle 3 fazlı AC akım elde edebilmek için T1'den T6'ya kadar transistörler 60'ar derece arayla 120° sürülmüş olmaktadır.

- Şekil-7.69'da verilen güç devresi dalga şekillerine bakıldığında yapılan 120 derecelik uyarma sonucunda, istenilen frekansta, 120'şer derece faz farklı ve "Im" tepe değerli 3 adet hat akımı (Ia, Ib, Ic) ile yine üçgen bağlantı nedeniyle bu akımlardan farklı olarak yine 120° farklı 3 adet faz akımı (Ira, Irb, Irc) oluşmaktadır.
- Şekil-7.69'da gösterilen kademeli hat akımlarının oluşumu aşağıda Şekil-7.70'de gösterilmiştir.



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

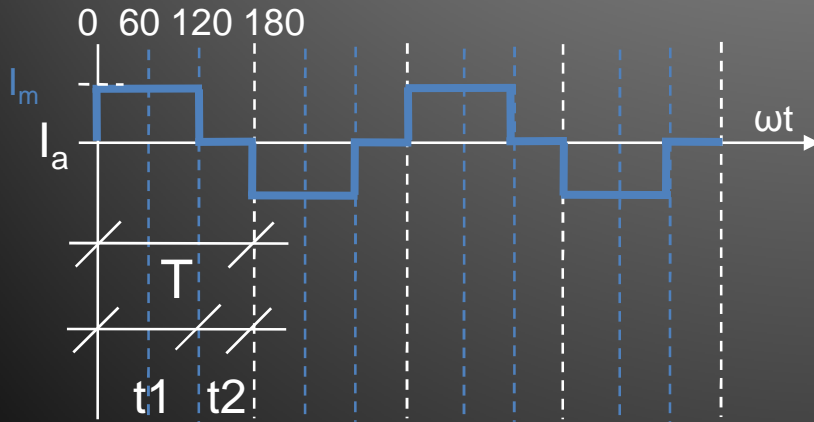
- Şekil-7.70’de verilen yük eşdeğer devrelerinden görüldüğü gibi, ilk 60 derecelik dilimde T1-T6 iletimde olduğu için yük “a” şeklinde görüldüğü gibi Rc-Rb seri Rc ise onlara paralel durumdadır. Bu durumda A fazı üzerinden “Is” kadarlık bir akım geçişi olacaktır.
- İkinci 60 derecelik dilimde ise “b” şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rb paralel Rc ise onlara paralel durumdadır. Bu durumda A fazı üzerinden yine “Is” kadarlık bir akım geçişi olacaktır.
- Üçüncü 60 derecelik dilimde ise A hattı boşta kaldığı için A hattı üzerinden herhangi bir akım geçişi olamayacaktır.
- 3 fazlı akım kaynaklı PWM invertör devresinin 120 derece iletim durumunda ve üçgen yükteki daga şekillerinden yararlanarak diğer güç devrelerinde olduğu gibi aşağıdaki temel hesaplamalar yapılabilir.
 - 1) Çıkış hat-faz akımlarının etkin değeri,
 - 2) Etkin çıkış gücü,
 - 3) Anahtar gerilimi,
 - 4) Anahtar akımı.
- Çıkış gerilimi kontrol edilmediği için hesaplaması yapılmamıştır.

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 1a) Çıkış hat akımı etkin değeri;
- 3 fazlı akım kaynaklı invertörün üçgen yükte oluşan çıkış hat akımı Şekil-7.71'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

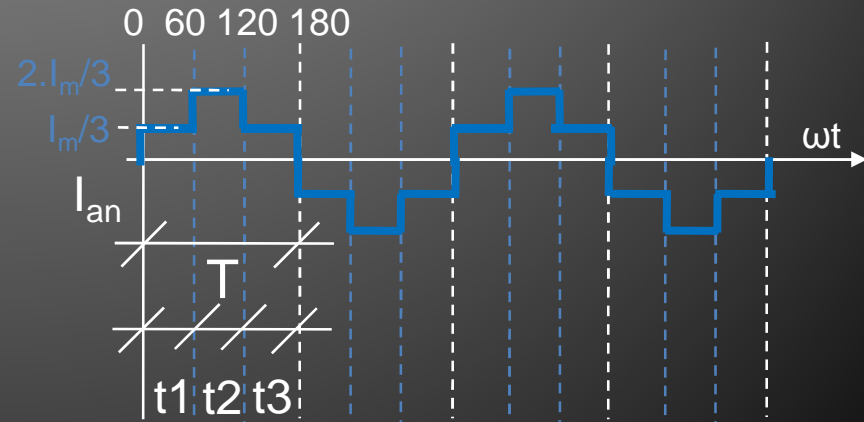
$$I_a(\text{rms}) = I_m \cdot \sqrt{(t_1 / T)}$$

olacaktır.



- 1b) Çıkış faz akımı etkin değeri;
- 3 fazlı akım kaynaklı invertörün üçgen yükte oluşan çıkış faz akımı Şekil-7.72'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$I_{Ra}(\text{rms}) \approx (I_m/3) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + (2 \cdot I_m/3) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$



V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- 2) Etkin çıkış gücü;

Devrenin etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{Ra(rms)}^2 \cdot Ra$$

- 3) Anahtar gerilimi,

Anahtarın üzerine gelecek olan gerilim,

$$V_m = I_m \cdot R$$

buradan,

$$V_T = 1,3 \cdot V_m \text{ olacaktır.}$$

- 4) Anahtar akımı;

Anahtarın üzerindeki akıma göre;

$$I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m$$

bulunacaktır.

- Örnek:

- 50A dc kaynakta 50Hz'de 120 derecelik uyarmada çalıştırılan 3 fazlı akım kaynaklı invertörün,

- a) 10Ω'luk yıldız bağlı rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,

- b) 10Ω'luk üçgen bağlı rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak devre parametrelerini hesaplayınız.

- Çözüm:

- a) Yıldız bağlı yükte hat-faz akımlarının etkin değeri,

$$I_{a(rms)} = I_m \cdot \sqrt{(t_1 / T)}$$

$$I_{a(rms)} = 50 \cdot \sqrt{(6,66 / 10)}$$

$$I_{a(rms)} = 40,8A$$

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

- Etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{A(rms)}^2 \cdot R = 3 \cdot 40,8^2 \cdot 10$$

$$P_{O(rms)} = 49,93 \text{ kW}$$

- Anahtar gerilimi,

$$V_o = I_{o(max.)} \cdot R$$

$$V_o = 50 \cdot 10 = 500 \text{ V}$$

$$V_T \geq 500 \cdot 1,3 \geq 650 \text{ V}$$

- Anahtar akımı,

$$V_T \geq I_s \cdot 1,3$$

$$V_T \geq 50 \cdot 1,3 \geq 65 \text{ A}$$

- b) Üçgen bağlı yükte faz akımının etkin değeri,

$$I_{Ra(rms)} \approx (I_m/3) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} \\ + 2 \cdot I_m/3 \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

$$I_{Ra(rms)} \approx 50/3 \cdot \sqrt{[(6,66) / 10]} \\ + 100/3 \cdot \sqrt{(3,33 / 10)} = 32,83 \text{ A}$$

- Üçgen bağlı yükte hat akımının etkin değeri,

$$I_{Ra(rms)} = I_m \cdot \sqrt{(t_1 / T)}$$

$$I_{Ra(rms)} = 50 \cdot \sqrt{(6.66 / 10)} = 40,8 \text{ A}$$

- Etkin çıkış gücü,

$$P_{O(rms)} = 3 \cdot I_{Ra(rms)}^2 \cdot R = 3 \cdot 32,8^2 \cdot 10$$

$$P_{O(rms)} = 32,27 \text{ kW}$$

- Anahtar gerilimi,

$$V_o = I_{o(max.)} \cdot R$$

$$V_o = 50 \cdot 10 = 500 \text{ V}$$

$$V_T \geq 500 \cdot 1,3 \geq 650 \text{ V}$$

- Anahtar akımı,

$$V_T \geq I_s \cdot 1,3$$

$$V_T \geq 50 \cdot 1,3 \geq 65 \text{ A}$$

V – AKIM KAYNAKLI İNVERTÖRLER

ÖDEV-5

- 5.1) 20A dc kaynaktan, 100Hz'de, %50 etkin periyotlu uyarmada çalıştırılan 1 fazlı akım kaynaklı invertörün,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.
- 5.2) 75A dc kaynaktan 50Hz'de 120 derecelik uyarmada çalıştırılan 3 fazlı akım kaynaklı invertörün,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

Bölüm-6

PWM İnvvertörlerde İleri Kontrol Yöntemleri

VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

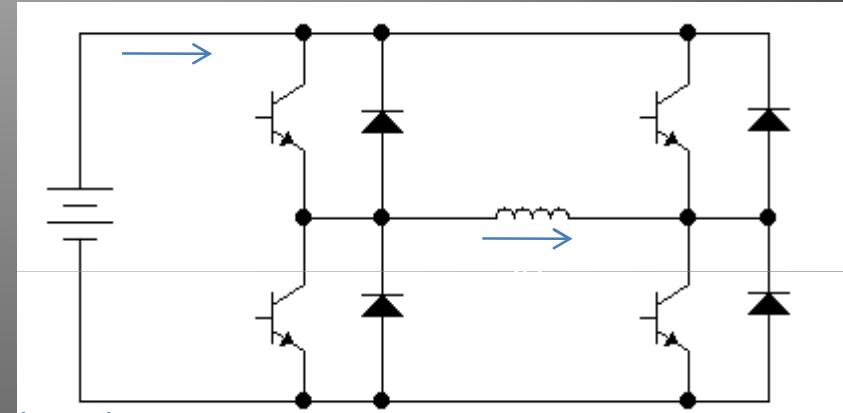
- PWM İNVERTÖRLEDE KULLANILAN “İLERİ” KONTROL YÖNTEMLERİ:
- Bilindiği gibi güç devrelerinde ileri kontrol yöntemleri,
 - 1) Güç katsayısının düzeltilmesi,
 - 2) Akım ve gerilimin alternans içine eşit olarak dağılması,
 - 3) Akım veya gerilim dalga şeklinin sinüse dönüştürülmesi,işlerinin gerçekleştirilebilmesi ve bu sayede de güç devreleri giriş ve çıkışlarına bağlanması gereken filtre devrelerinin azaltılması amacıyla kullanılmaktadır.
- PWM invertörlerde de bu ileri kontrol yöntemleri benzer sebepler için kullanılmaktadır.

- PWM invertörlerde kullanılmakta olan ileri kontrol yöntemleri;
 - 1) Tek pals genişliği modülasyonu,
 - 2) Çok pals genişliği modülasyonu,
 - 3) Sinüsoidal pals genişliği modülasyonudur.
- Bu yöntemlerden ilki olan tek pals genişliği modülasyonu yöntemi, PWM invertör yapısı ve çalışmasını açıklamak için anlatılmış olan kontrol yöntemidir.
- Bu yöntemin avantajı kolaylıkla uygulanabilir olmasıdır. Yöntemin dezavantajları ise alternans içinde eşit dağılımın olamaması ve çıkış akım veya geriliminin sinüs olamamasıdır.

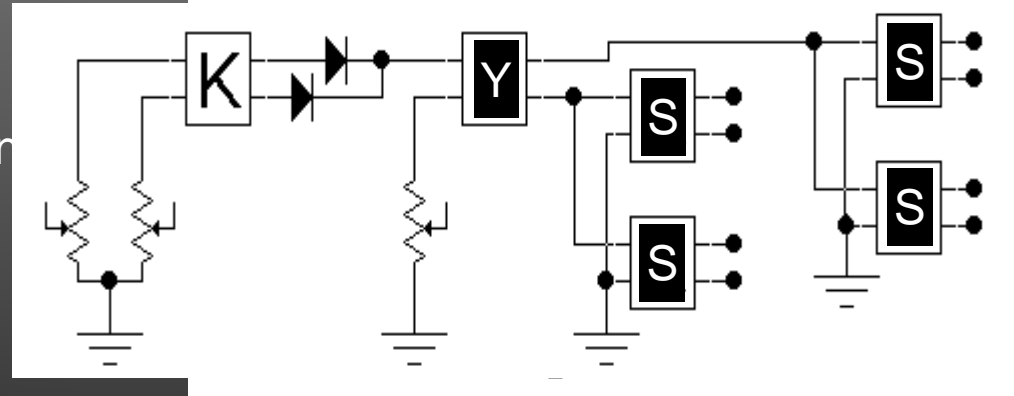
VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

- 2) Çok Pals Genişliği Modülasyonu Yöntemi;
- Çok pals genişliği modülasyonu yöntemi, daha önce diğer güç devrelerinde PWM kontrol yöntemi olarak açıklanmış olan yöntemdir.
- Bu kontrol yöntemi PWM invertörlerin hem gerilim kaynaklı hem de akım kaynaklı türlerinin 1 faz ve 3 faz uygulamalarının tümünde kullanılabilir.
- Çok pals modülasyonu kontrol yöntemi sayesinde yük üzerine aktarılan çıkış akımları veya gerilimleri alternansın her tarafını eşit olarak dağıtılabilmektedir.
- Yöntemin zayıf yanı ise çıkış şeklinin tam sinüs olmamasıdır.

- Aşağıdaki Şekil-7.73'de çok pals modülasyonu yönteminin 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertöre uygulanması görülmektedir.

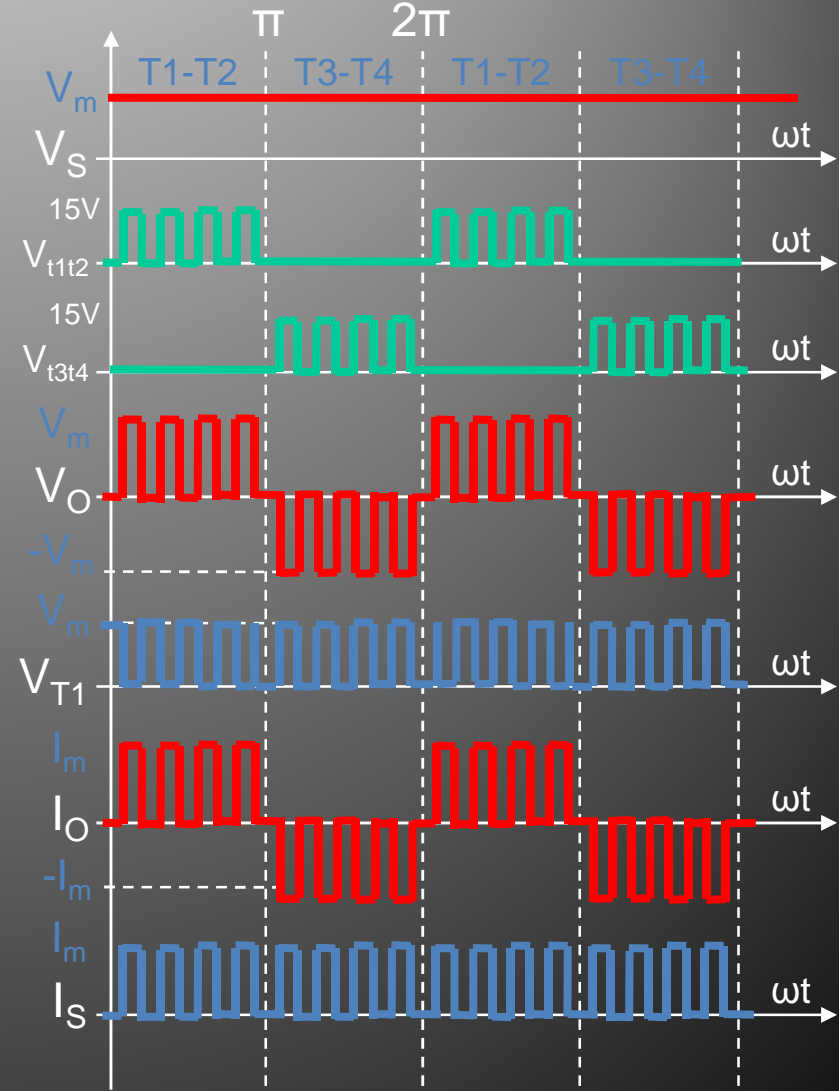


Güç devresi
Uyarma dv.



VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

- Şekil-7.73'den görüldüğü gibi güç devresinde önceki yöntemle göre herhangi bir değişiklik yoktur. Fakat uyarma devresinde pilsleri oluşturan PWM ile çıkış frekansını oluşturan "Pils Yönlendirici" birlikte kullanılmışlardır.
- Şekil-7.74'de ise devrenin çalışma performansını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir. Şekilde örnek olarak her alternansta 4 pils olacak şekilde uyarma yapılmış ve T1-T2 ile T3-T4 transistörleri sırayla ve eş zamanlı olarak kontrol edilmişlerdir.
- Çıkış gerilimi frekansı yönlendirici üzerinden, çıkış gerilimi genliği ise PWM-1'den pilslerin etkin periyodu ile ayarlanmaktadır.



VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

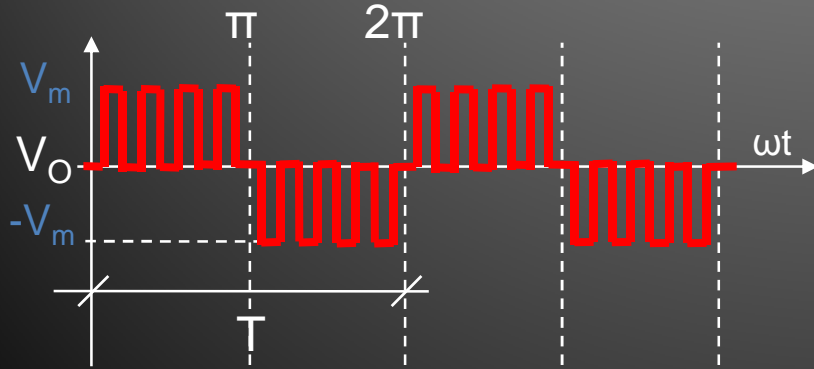
- Şekil-7.74'den görüldüğü gibi çok pils genişliği kontrol yöntemi sayesinde çıkış geriliminin seviyesi ayarlanırken her bir pils daraltılıp genişletildiği için alternansın tümü içine yayılma sağlanmış olmaktadır.
 - Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir konu devrede kullanılacak olan güç anahtarlarının çalışma frekansının, çıkış geriliminin frekansına değil de pils frekansına eşit olmasıdır ve buna uygun anahtar seçilmelidir.
 - Bu durumda anahtarlama kayıpları artacağı için bu kayıpları düşük olan anahtarlar seçilmelidir.
- Çok pils genişliği modülasyonu yöntemi ile kontrol edilen 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün performansını gösteren parametreler diğer devrelerde olduğu gibi,
 - 1) ıkış geriliminin etkin değeri,
 - 2) ıkış akımının etkin değeri,
 - 3) Etkin ıkış gücü,
 - 4) Kaynak akımının ortalama değeri,
 - 5) Ortalama giriş gücü,
 - 6) Anahtar gerilimi,
 - 7) Anahtar akımı,hesaplanabilir.

VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

- 1) Çıkış geriliminin etkin değeri;
- 1 fazlı gerilim kaynaklı invertörün çok pals kontrolünde, rezistif yükte oluşan çıkış gerilimi Şekil-7.75'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değeri de,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} V_m^2 \cdot dt} = V_S \sqrt{k}$$

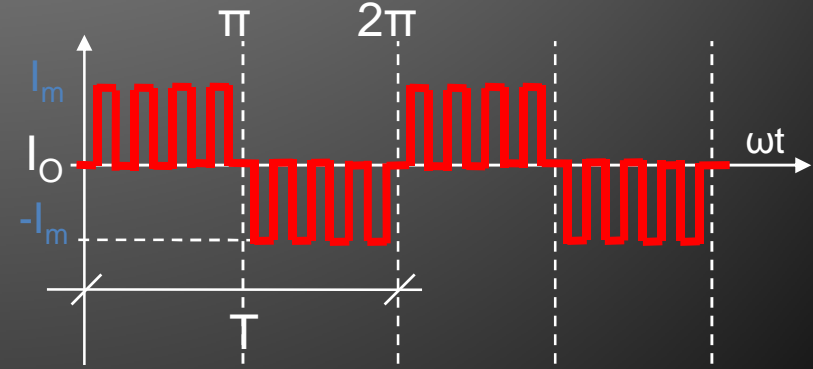
eşitliğinden hesaplanabilecektir.



- 2) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı gerilim kaynaklı invertörün çok pals kontrolünde, rezistif yükte oluşan çıkış akımı Şekil-7.76'da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değeri de,

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} I_m^2 \cdot dt} = \frac{V_S}{R} \sqrt{k}$$

eşitliğinden hesaplanabilecektir.

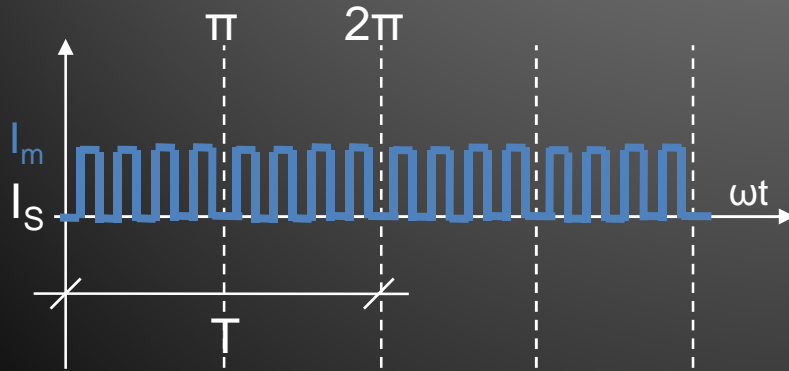


VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,
 $P_o = I_o \cdot V_o$
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.77'deki gibi olduğuna göre,

$$I_{S(rms)} = \frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} I_m \cdot dt = \frac{k \cdot V_s}{R}$$

eşitliğinden bulunabilecektir.



M.Necdet YILDIZ

- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.

$$P_s = I_s \cdot V_s$$

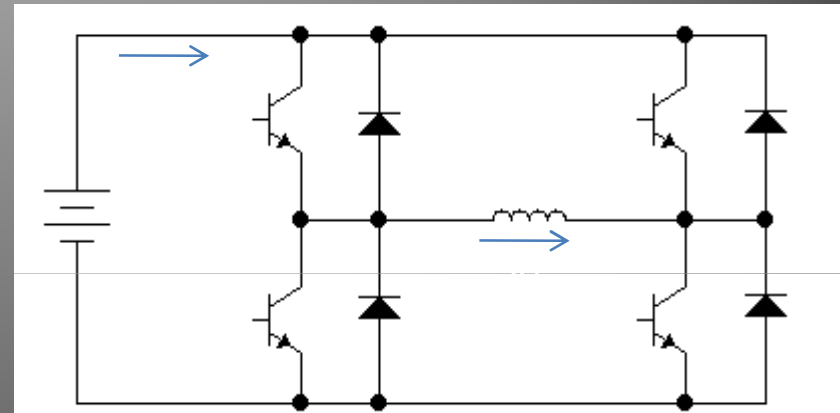
eşitliğinden bulunabilecektir.

- 6) Anahtar gerilimi,
- Anahtarın üzerine gelecek olan gerilime göre,
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$ olacaktır.
- 7) Anahtar akımı;
- Anahtarın üzerindeki akıma göre;
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$

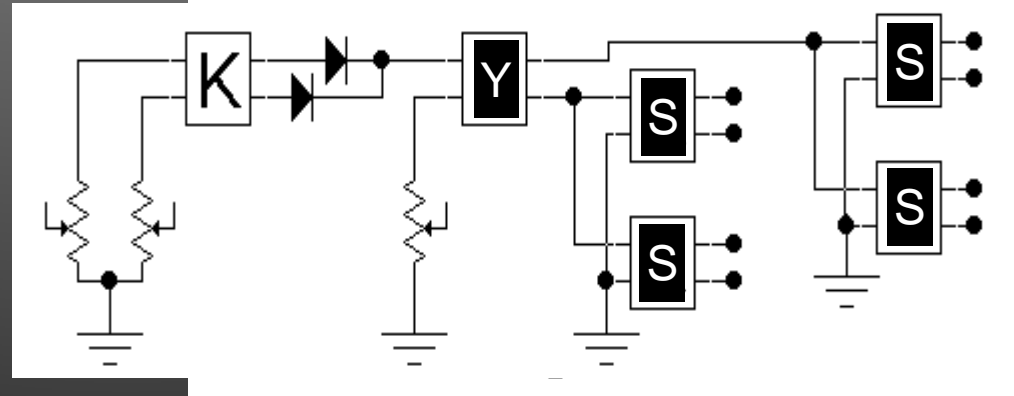
VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

- 3) Sinüsoidal Pals Genişliği Modülasyonu Yöntemi;
- Sinüsoidal pals genişliği modülasyonu, daha önce diğer güç devrelerinde de Sin-PWM kontrol yöntemi olarak açıklanmış olan yöntemdir.
- Bu kontrol yöntemi PWM invertörlerin hem gerilim kaynaklı hem de akım kaynaklı türlerinin 1 faz ve 3 faz uygulamalarının tümünde kullanılabilir.
- Sinüsoidal pals modülasyonu kontrol yöntemi sayesinde yük üzerine aktarılan çıkış akımları gerilimleri sinüs etkisinde ve alternansın her tarafına eşit olarak dağıtılabilir.

- Aşağıdaki Şekil-7.78'de çok pals modülasyonu yönteminin 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertöre uygulanması görülmektedir.

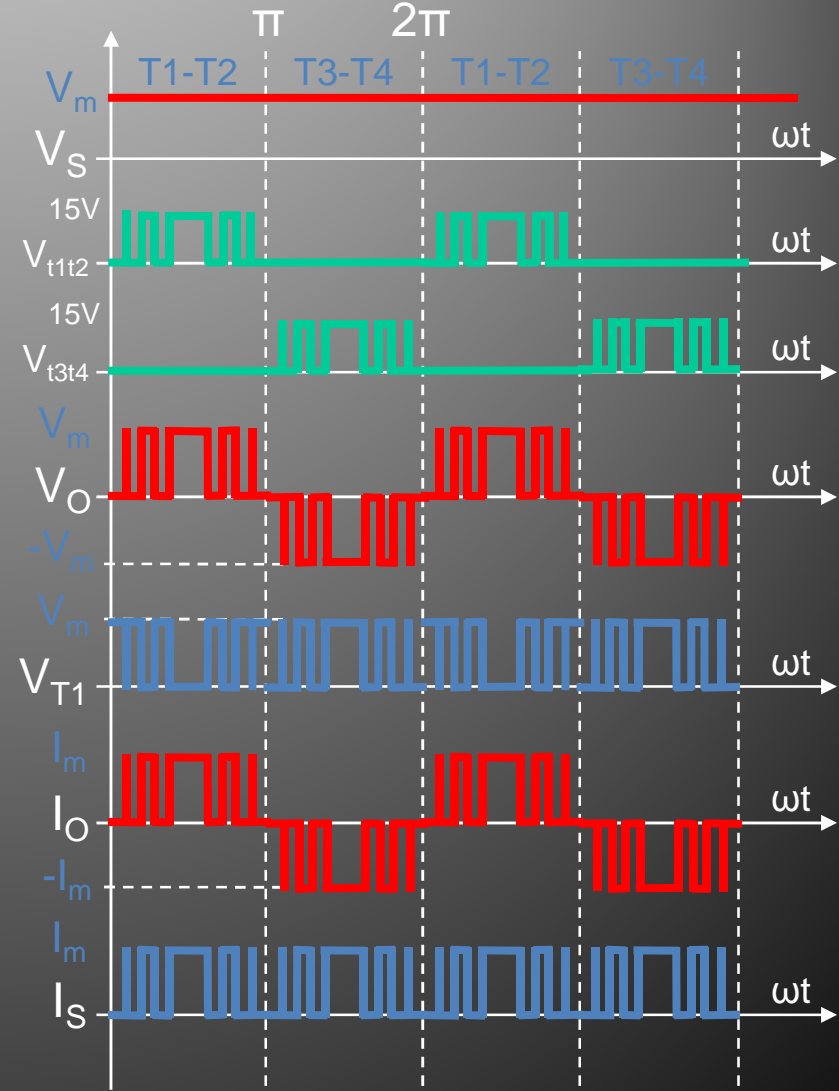


Güç devresi
Uyarma dv.



VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

- Şekil-7.78'den görüldüğü gibi güç devresinde önceki yöntemle göre herhangi bir değişiklik yoktur. Fakat uyarma devresinde farklı genişlikteki pulsleri oluşturan "Sinüsoidal PWM" devresi girişte kullanılmıştır.
- Şekil-7.79'da ise devrenin çalışma performansını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir. Şekilde örnek olarak her alternansta 5 farklı puls olacak şekilde uyarma yapılmış ve T1-T2 ile T3-T4 transistörleri sırayla ve eş zamanlı olarak kontrol edilmişlerdir.
- Çıkış gerilimi frekansı yönlendirici üzerinden, çıkış gerilimi genliği ise Sin-PWM'den pulslerin etkin periyodu ile ayarlanmaktadır.



VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

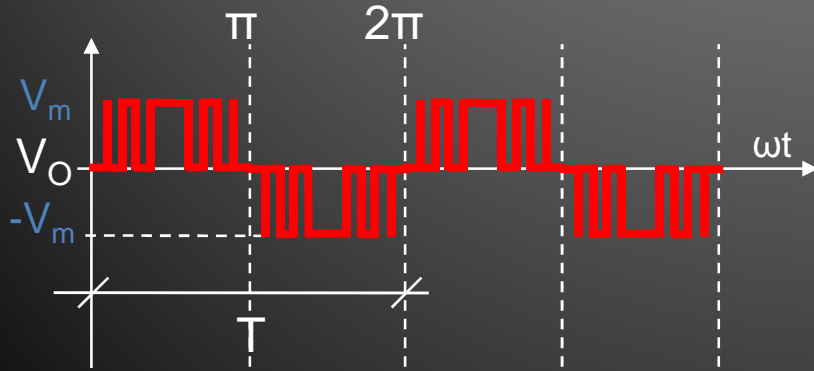
- Şekil-7.79'dan görüldüğü gibi sinüsoidal pals genişliği yöntemi sayesinde çıkış geriliminin seviyesi ayarlanırken her bir pals ayrı ayrı daraltılıp genişletildiği için alternansın tümü içine yayılma ve sinüs etkisi sağlanmış olmaktadır.
 - Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir konu devrede kullanılacak olan güç anahtarlarının çalışma frekansının, çıkış geriliminin frekansına değil de pals frekansına eşit olmasıdır ve buna uygun anahtar seçilmelidir.
 - Bu durumda anahtarlama kayıpları artacağı için bu kayıpları düşük olan anahtarlar seçilmelidir.
- Sinüsoidal pals genişliği modülasyonu yöntemi ile kontrol edilen 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün performansını gösteren parametreler diğer devrelerde olduğu gibi,
 - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
 - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
 - 3) Etkin çıkış gücü,
 - 4) Kaynak akımının ortalama değeri,
 - 5) Ortalama giriş gücü,
 - 6) Anahtar gerilimi,
 - 7) Anahtar akımı,hesaplanabilir.

VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

- 1) Çıkış geriliminin etkin değeri;
- 1 fazlı gerilim kaynaklı invertörün Sin-PWM kontrolünde, rezistif yükte oluşan çıkış gerilimi Şekil-7.80'de görüldüğü gibi olduğundan, etkin değeri de aşağıdaki gibi olacaktır.

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{\Sigma k}{T/2} \int_0^{T/2} V_m^2 \cdot dt} = V_s \sqrt{\Sigma k}$$

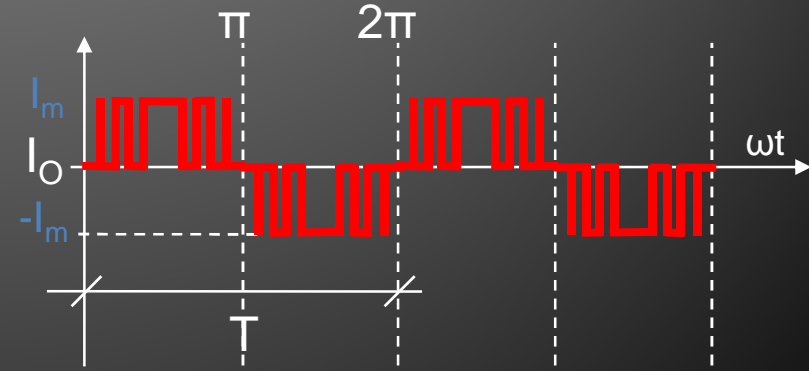
(Σ: Toplam)



- 2) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı gerilim kaynaklı invertörün Sin-PWM kontrolünde, rezistif yükte oluşan çıkış akımı Şekil-7.80'de görüldüğü gibi olduğundan, etkin değeri de aşağıdaki gibi olacaktır.

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{\Sigma k}{T/2} \int_0^{T/2} I_m^2 \cdot dt} = \frac{V_s}{R} \sqrt{\Sigma k}$$

(Σ: Toplam)

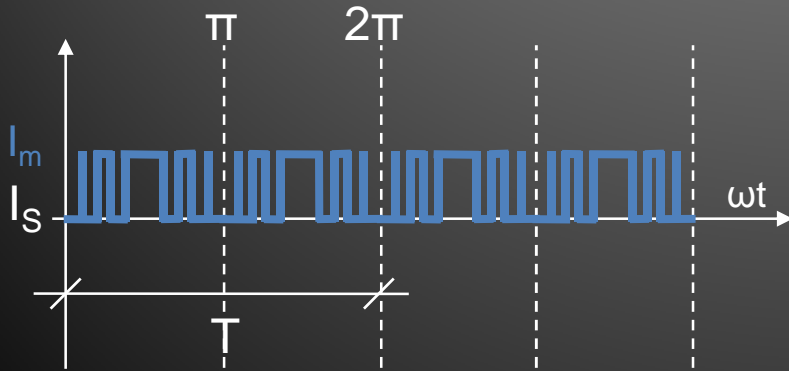


VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,
 $P_o = I_o \cdot V_o$
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.81'deki gibi olduğuna göre,

$$I_{S(rms)} = \frac{\sum k}{T/2} \int_0^{T/2} I_m \cdot dt = \frac{V_S \sum k}{R}$$

eşitliğinden bulunabilecektir.



- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.

$$P_s = I_s \cdot V_s$$

eşitliğinden bulunabilecektir.

- 6) Anahtar gerilimi,
- Anahtarın üzerine gelecek olan gerilime göre,
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$ olacaktır.
- 7) Anahtar akımı;
- Anahtarın üzerindeki akıma göre;
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$

VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

■ Örnek:

- a) 200Vdc şebekede %50 etkin peryotlu 5 palsli çok pals genişliği yöntemiyle uyarmada çalıştırılan 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün, 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- b) 200Vdc şebekede toplam %50 etkin peryotlu 5 palsli sinüsoidal pals genişliği yöntemiyle uyarmada çalıştırılan 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün, 10Ω'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

■ Çözüm:

- a) Çok pals uyarmada çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_o = V_s \cdot \sqrt{k}$$

$$V_o = 200 \cdot \sqrt{0,5} = 140V$$

- Çıkış akımının etkin değeri,

$$I_o = V_o / R = 140 / 10$$

$$I_o = 14A$$

- Etkin çıkış gücü,

$$P_o = I_o \cdot V_o$$

$$P_o = 14 \cdot 140 = 1,96kW$$

- Kaynak akımının ortalama değeri,

$$I_s = I_m \cdot k = (V_s / R) \cdot k$$

$$I_s = (200 / 10) \cdot 0,5$$

$$I_s = 10A$$

VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

- Kaynaktan çekilen güç,
 $P_s = V_s \cdot I_s = 200 \cdot 10 = 2\text{kW}$
- Anahtar (transistör) akımı,
 $I_T \geq V_m/R + \%30$
 $I_T \geq (200 / 10) \cdot 1,3 \geq 26\text{A}$
- Anahtar (transistör) gerilimi,
 $V_T \geq 200 \cdot 1,3 \geq 260\text{V}$
- b) Sinüsoidal PWM uyarmada çıkış geriliminin etkin değeri,
 $V_o = V_s \cdot \sqrt{\sum k} = 200 \cdot \sqrt{0,5} = 140\text{V}$
- Çıkış akımının etkin değeri,
 $I_o = V_o / R = 140 / 10$
 $I_o = 14\text{A}$
- Etkin çıkış gücü,
 $P_o = I_o \cdot V_o$
 $P_o = 14 \cdot 140 = 1,96\text{kW}$
- Kaynak akımının ortalama değeri,
 $I_s = I_m \cdot k = (V_s / R) \cdot k$
 $I_s = (200 / 10) \cdot 0,5$
 $I_s = 10\text{A}$
- Kaynaktan çekilen güç,
 $P_s = V_s \cdot I_s = 200 \cdot 10 = 2\text{kW}$
- Anahtar (transistör) gerilimi-akımı,
 $V_T \geq 200 \cdot 1,3 \geq 260\text{V}$
 $I_T \geq (200 / 10) \cdot 1,3 \geq 26\text{A}$
olarak bulunabilir.

VI – PWM İNVERTÖRLERDE İLERİ KONTROL

ÖDEV-6

- 6.1) 300Vdc şebekede %50 etkin peryotlu 3 palsli çok pals genişliği yöntemiyle uyarmada çalıştırılan 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertör, 7Ω 'luk rezistif bir yükü beslediğine göre,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.
- 6.2) 100Vdc şebekede toplam %50 etkin peryotlu 3 palsli sinüsoidal pals genişliği yöntemiyle uyarmada çalıştırılan 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertör, 13Ω 'luk rezistif bir yükü beslediğine göre,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

Bölüm-7

Rezonanslı İnvertörler

VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

II – REZONANSLI İNVERTÖRLER

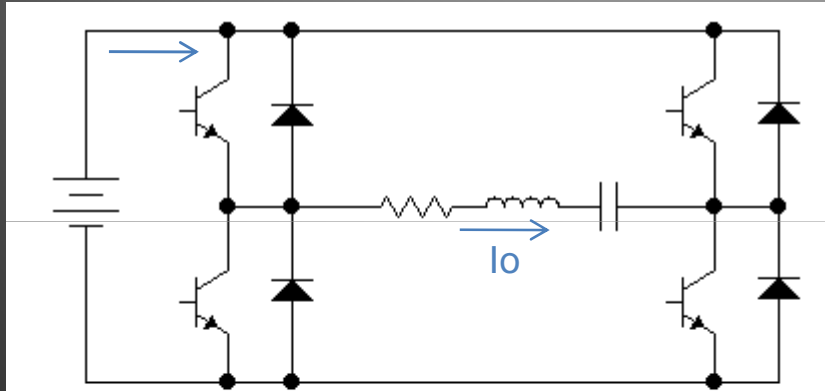
- Bilindiği gibi, PWM invertörlerde istenilen çıkış akımını veya gerilimini elde edebilmek için güç anahtarları üzerlerindeki gerilim veya akım baskısı altında anahtarlanmaktadır ki bu anahtarlama türüne “Sert Anahtarlama” denilmektedir.
- Sert anahtarlama kullanıldığında güç anahtarları yüksek di/dt ve dv/dt ile karşı karşıya kalmaktadırlar.
- Anahtarlar üzerinde oluşan bu baskı daha önce açıklanan yöntemlerle yumuşatılmaya çalışılmaktadır.
- İşte bu dezavantajları giderebilmek için “Rezonanslı İnvertörler” üzerinde çalışılmıştır.
- Burada temel amaç güç anahtarlarını üzerlerindeki yüksek gerilim ve akım baskısından kurtarmak, güç anahtarlarını gerilimin veya akımın sıfıra düştüğü yerlerde anahtarlama yapmaktır.
- Daha önce de kısaca belirtildiği gibi rezonanslı invertörlerin,
 - 1) Seri rezonanslı,
 - 2) Paralel rezonanslı,olmak üzere iki temel türü bulunmaktadır. Bu bölümde seri ve paralel rezonanslı invertörler sırayla incelenecektir.

VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

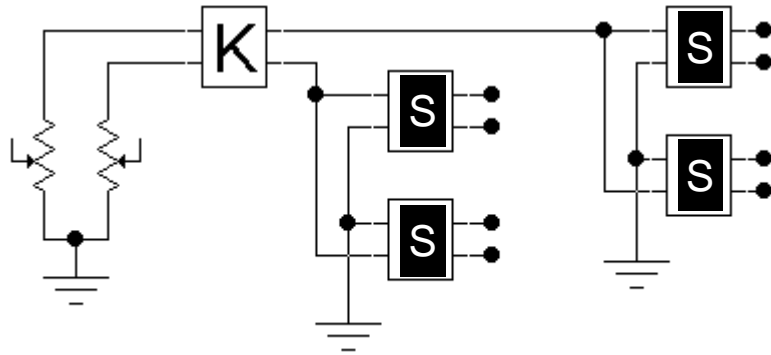
- **1) Seri Rezonanslı İnvertörler;**
- Seri rezonanslı invertörler, aslında seri RLC rezonans devresi mantığı ile çalışan invertör devreleridir ve rezonans anında en yüksek seviyede sinüsoidal akım osilasyonu oluşturmaktadır.
- Bilindiği gibi seri rezonans devrelerinde rezonans anında X_L ve X_C birbirini sıfırlamakta geriye sadece R kalmaktadır. Yani devre gösterebileceği en düşük empedansı göstermektedir.
- Bu durumda invertör tarafından devre üzerinde uygun anahtarlama yapıldığında devre üzerinde ideal sinüs akım oluşacaktır.
- Seri rezonanslı invertörler kullanılarak 200Hz ile 100kHz aralığında sinüsoidal akım osilasyonları elde edilebilmektedir.
- Seri rezonanslı invertörde rezonans anında akımın sinüsoidal olarak değişmesi ve kendiliğinden sıfırdan geçişlerin gerçekleşmesi, anahtar kullanımında büyük kolaylık ve rahatlık getirmektedir.
- Bu sayede transistör, mosfet ve IGBT'nin yanısıra tristörler bile invertörde güç anahtarı olarak kullanılabilir.
- Çıkış akımı sıfırdan geçerken güç anahtarı olarak kullanılan tristör kendiliğinden yalıtıma geçecektir.

VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER RÜCÜLER

- Seri rezonanslı invertörler, tek yönlü veya çift yönlü anahtarlar kullanılarak, tek veya çift anahtar, yarım köprü ve tam köprü olarak yapılabilmektedir.



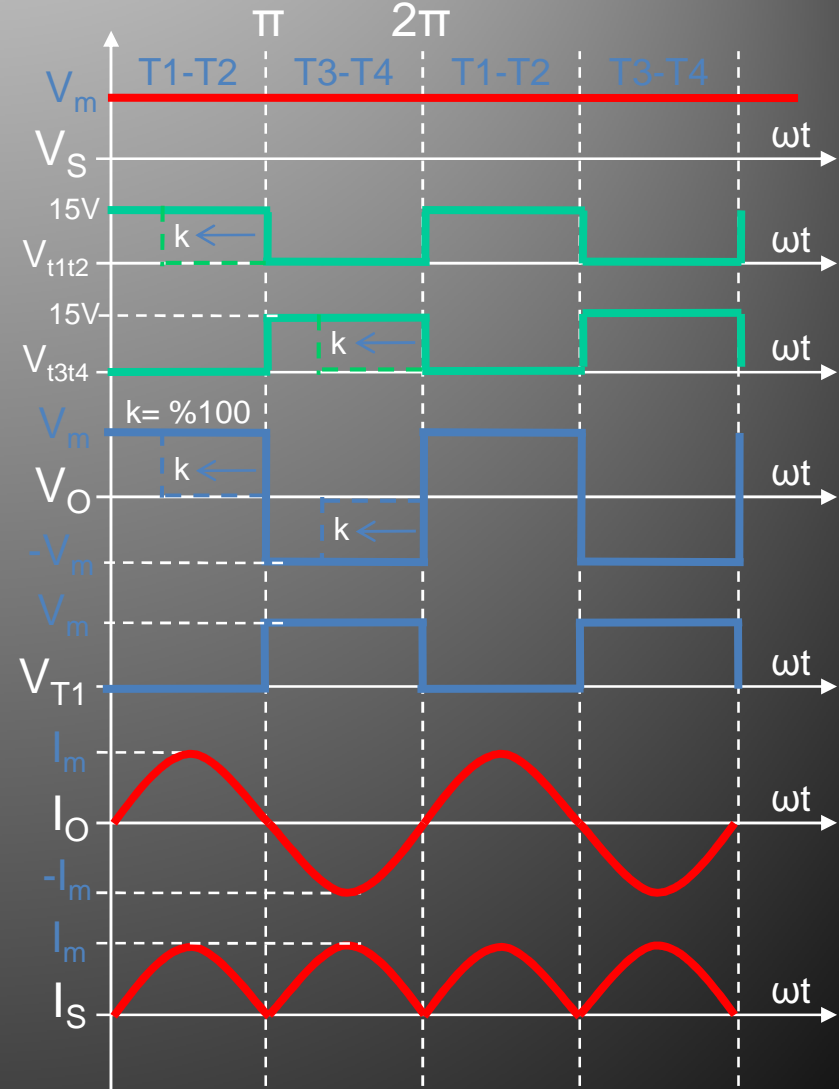
Güç devresi
Uyarma dv.



- Yan taraftaki Şekil-7.82’de çift yönlü anahtar kullanılarak yapılmış olan tam köprü seri rezonanslı invertör devresi görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi güç ve kontrol devresi yapısı tamamen 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertör yapısının aynısıdır. Sadece yük olarak çıkışa bir seri LC devresi bağlanmıştır.
- Çıkışta görülen R elemanı ise LC devresinin istenmeyen direncini ifade edebildiği gibi dışarıdan bağlanan rezistif yükü de temsil edebilmektedir.
- Devrenin kontrolü da tamamen PWM invertörde olduğu gibi yapılmaktadır.

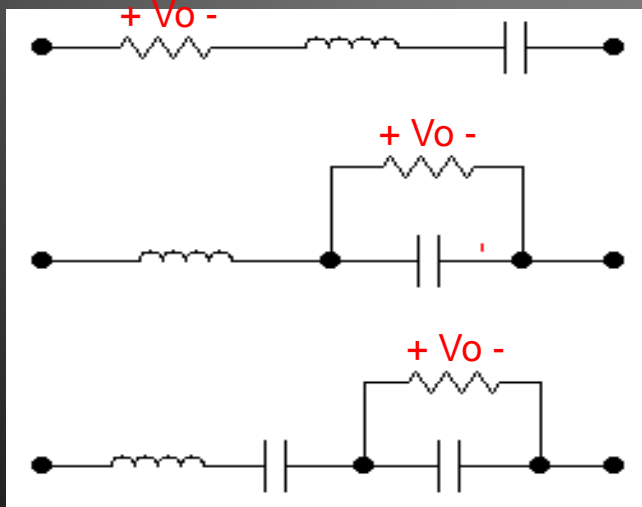
VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- Şekil-7.83’de ise devrenin çalışma performansını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi T1-T2 ve T3-T4 anahtarları eş zamanlı olarak iletme alınmakta ve iletim süreleri kontrol edilebilmektedir.
- Rezonans frekansında yapılan bu kontrole bağlı olarak da çıkışa bağlanmış olan seri rezonans devresine istenilen seviyede gerilim aktarmak mümkün olmakta ve bu sayede de rezonans frekansında sinüsoidal bir çıkış akımı elde edilebilmektedir.
- Kaynaktan çekilen akım da çıkış akımına bağlı olarak sinüsoidal formatta tam dalga doğrultulmuş gibi gerçekleşecektir.



VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- Seri rezonanslı invertörlerde yük bağlantısı yükün endüktif olması durumunda Şekil-7.82’de gösterildiği gibi seri RLC tipinde bağlantı yapılabildiği gibi çıkışa başka bir rezistif yük bağlanması gerektiği durumlarda Şekil-7.83’de görüldüğü gibi 3 farklı seçenek bulunmaktadır. Bunlar,



3) Seri LC, paralel RC

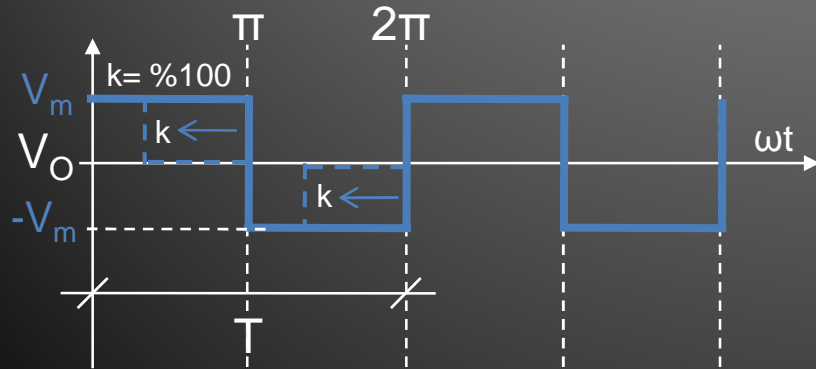
- Sabit frekanslı ve sinüsoidal formatta akım gereken uygulamalarda kullanılan 1 fazlı seri rezonanslı invertörün seri rezistif yükte çalışırken diğer güç devrelerinde olduğu gibi,
 - 1) Çıkış geriliminin etkin değeri,
 - 2) Çıkış akımının etkin değeri,
 - 3) Etkin çıkış gücü,
 - 4) Kaynak akımının ortalama değeri,
 - 5) Ortalama giriş gücü,
 - 6) Devrenin frekansı,
 - 7) Anahtar gerilimi,
 - 8) Anahtar akımı,hesaplanabilir.

VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- 1) Çıkış geriliminin etkin değeri;
- 1 fazlı seri rezonanslı invertörün rezistif yükte oluşan çıkış gerilimi Şekil-7.83'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} V_m^2 \cdot dt} = \sqrt{k} \cdot V_s$$

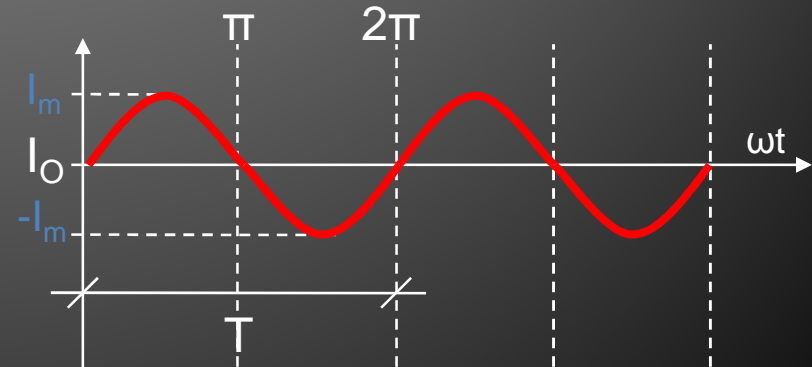
olarak bulunabilecektir.



- 2) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı seri rezonanslı invertörün rezistif yükte oluşan çıkış akımı Şekil-7.84'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği,

$$I_{O(rms)} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} [I_m \sin(t)]^2 \cdot d(t)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

olarak bulunabilecektir.

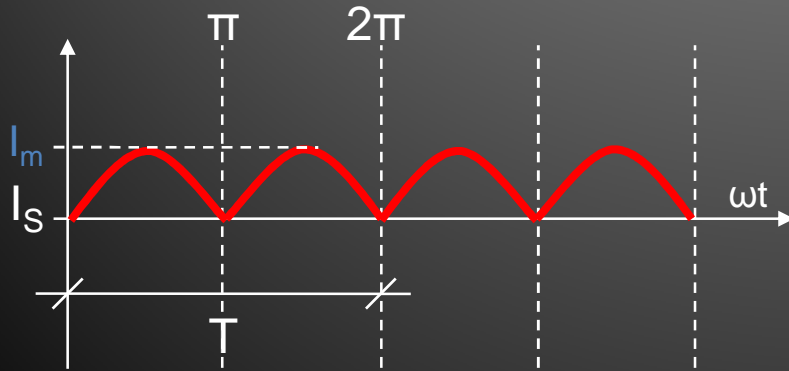


VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,
 $P_o = I_o \cdot V_o$
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.85'deki gibi olduğuna göre,

$$I_{S(rms)} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_m \sin(t).dt = \frac{2I_m}{\pi}$$

eşitliğinden bulunabilecektir.



- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.
 $P_s = I_s \cdot V_s$
- 6) Devrenin frekansı,

$$f_o = f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L.C} - \frac{R^2}{4.L^2}}$$

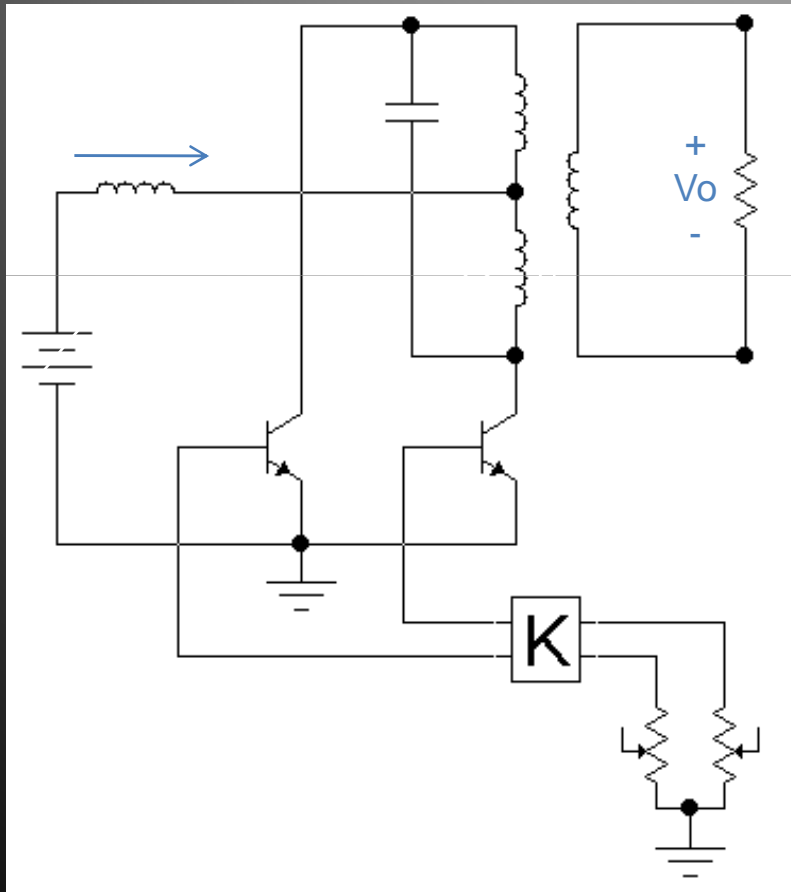
- 7-8) Anahtar gerilimi ve akımı,
- Üzerindeki akım ve gerilime göre,
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$
olacaktır.

VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- 2) Paralel Rezonanslı İnvertörler;
- Paralel rezonanslı invertörler, aslında paralel RLC rezonans devresi mantığı ile çalışan invertör devreleridir ve rezonans anında en yüksek seviyede sinüsoidal gerilim osilasyonu oluşturmaktadır.
- Bilindiği gibi paralel rezonans devrelerinde rezonans anında X_L ve X_C sonsuza doğru gitmekte geriye sadece R kalmaktadır. Yani devre gösterebileceği en yüksek empedansı göstermektedir.
- Bu durumda invertör tarafından devre üzerinde uygun anahtarlama yapıldığında devre üzerinde ideal sinüs gerilim oluşacaktır.
- Paralel rezonanslı invertörler kullanılarak 200Hz ile 100kHz aralığında sinüsoidal gerilim osilasyonları elde edilebilmektedir.
- Paralel rezonanslı invertörde rezonans anında gerilimin sinüsoidal olarak değişmesi ve kendiliğinden sıfırdan geçişlerin gerçekleşmesi, anahtar kullanımında büyük kolaylık ve rahatlık getirmektedir.
- Bu sayede transistör, mosfet ve IGBT gibi güç anahtarları sıfır gerilimde anahtarlatabilmektedir.
- Bu invertörler genellikle yüksek voltajlı dc iletim hatlarının (HVDC) oluşturulması ve yüksek frekans uygulamalarında kullanılmaktadır.

VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

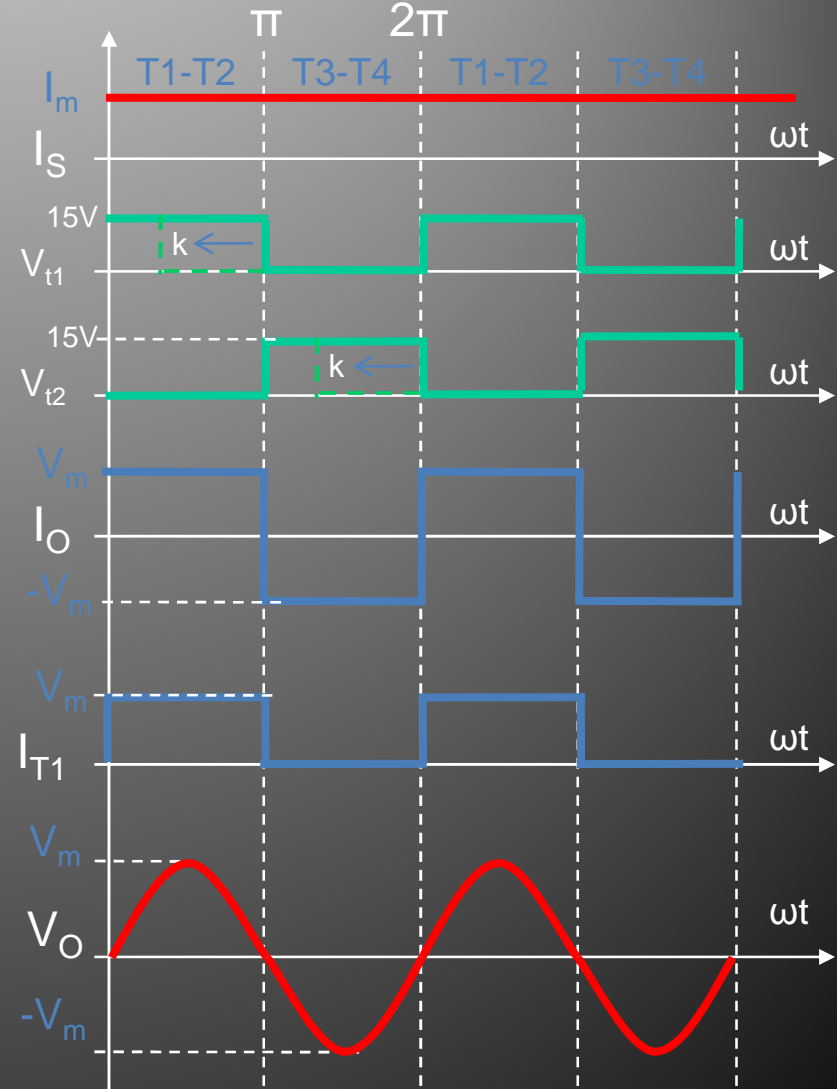
- Paralel rezonanslı invertörler, tek yönlü güç anahtarları kullanılarak, simetrik veya tam köprü olarak yapılabilmektedir.



- Yandaki Şekil-7.86'da simetrik yapılı paralel rezonanslı invertör devresi görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi güç devresi girişine I_s akımlı bir akım kaynağı bağlanmış durumdadır. Paralel rezonans devresi ise orta uçlu bir transformatorün primer devresinde oluşturulmuştur.
- Orta uçtan giren kaynak akımı push-pull çalıştırılan T1 ve T2 transistörlerinin iletim durumuna göre L1 veya L2 üzerinden akmaktadır.
- Devrenin çıkışı ise L_0 sekonder bobini üzerinden alınmaktadır. Kontrolu kolay olan bu devre özellikle floresant lamba kontrolü vb. işler için kullanılmaktadır.

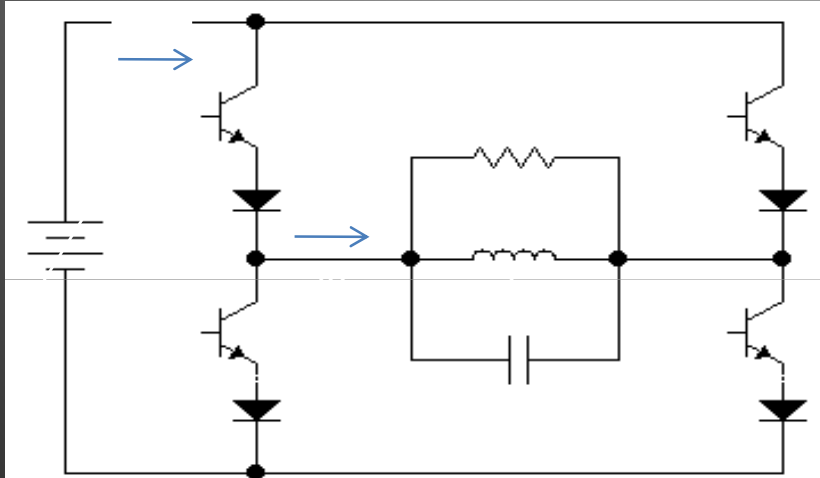
VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- Şekil-7.87’de ise devrenin çalışma performansını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi T1 ve T2 anahtarları pushpull (ters zamanlı) olarak iletme alınmakta ve iletim süreleri kontrol edilebilmektedir.
- Rezonans frekansında yapılan bu kontrole bağlı olarak da çıkışa bağlanmış olan paralel rezonans devresine en yüksek seviyede akım aktarmak mümkün olmakta ve bu sayede de rezonans frekansında sinüsoidal bir çıkış gerilimi elde edilebilmektedir.
- Kaynaktan çekilen akım invertör kontrolüne bağlı olarak sürekli ve sabit olmak durumundadır ve değişmeyecektir.

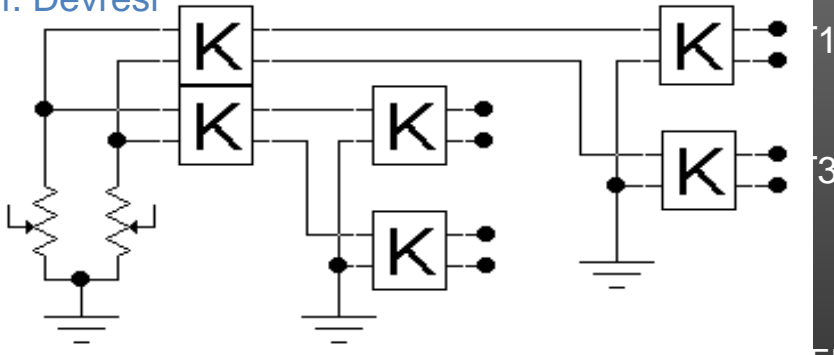


VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- Paralel rezonanslı invertörler, tek yönlü güç anahtarları kullanılarak, simetrik veya tam köprü olarak yapılabilmektedir.



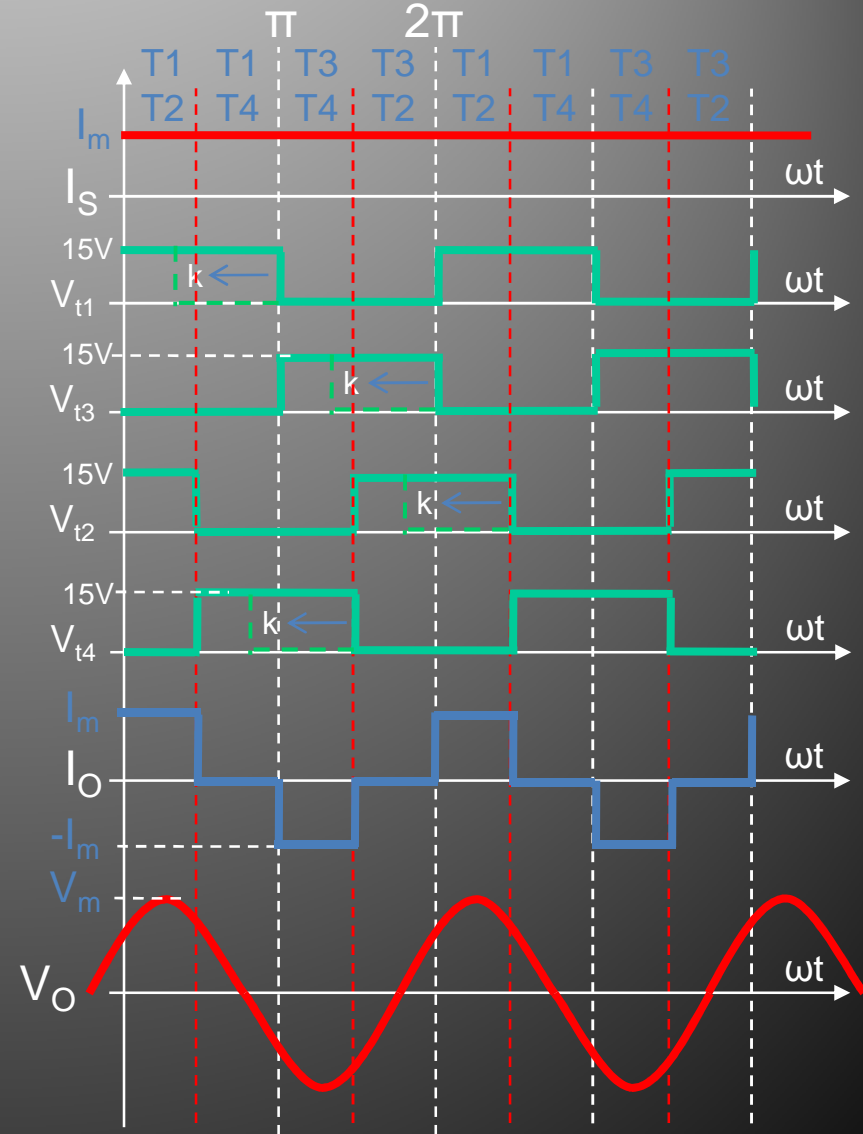
Güç Devresi
Uyr. Devresi



- Yandaki Şekil-7.88’de tam köprü yapılı paralel rezonanslı invertör devresi görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi güç devresi girişine I_s akımlı bir akım kaynağı bağlanmış durumdadır. Paralel rezonans devresi ise köprü invertör çıkışına yük olarak veya yüklerle birlikte bağlanmıştır.
- Akım kaynağından gelen kaynak akımı push-pull çalıştırılan T1-T2 ve T3-T4 transistörlerinin iletim durumuna göre paralel rezonans devresine aktarılmaktadır.
- Daha çok HVDC vb. uygulamada kullanılan devrenin çıkışı şekilde görüldüğü gibi doğrudan veya L bobini transformator yapılarak sekonderinden alınabilmektedir.

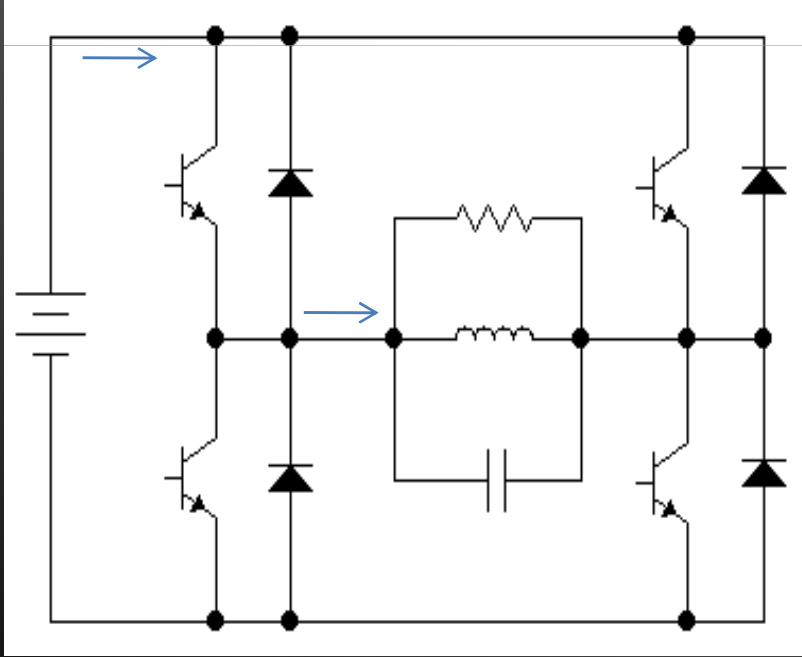
VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- Şekil-7.89’da ise devrenin çalışma performansını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi T1-T2 ve T3-T4 anahtarları pushpull (ters zamanlı) olarak iletme alınmakta ve iletim süreleri kontrol edilebilmektedir.
- Rezonans frekansında yapılan bu kontrole bağlı olarak da çıkışa bağlanmış olan paralel rezonans devresine istenilen seviyede akım aktarmak mümkün olmakta ve bu sayede de rezonans frekansında sinüsoidal bir çıkış gerilimi elde edilebilmektedir.
- Kaynaktan çekilen akım invertör kontrolüne bağlı olarak sürekli ve sabit olmak durumundadır ve değişmeyecektir.



VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- Paralel rezonanslı invertörlerde Şekil-7.88’de görüldüğü gibi bir akım kaynaklı köprü invertör kullanılabildiği gibi indüksiyonla ısıtma vb. gibi bazı uygulamalarda aşağıdaki Şekil-7.90’da görüldüğü gibi gerilim kaynaklı köprü bağlantısı da kullanılabilmektedir.



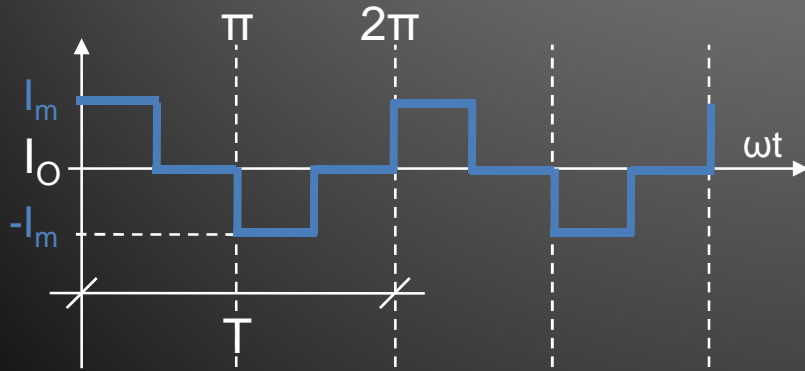
- Sabit frekanslı ve sinüsoidal formatta gerilim gereken uygulamalarda kullanılan 1 fazlı paralel rezonanslı invertörün paralel rezistif yükte çalışırken diğer güç devrelerinde olduğu gibi,
 - 1) Çıkış akımının etkin değeri,
 - 2) Çıkış geriliminin etkin değeri,
 - 3) Etkin çıkış gücü,
 - 4) Kaynak akımının ortalama değeri,
 - 5) Ortalama giriş gücü,
 - 6) Devrenin frekansı,
 - 7) Anahtar gerilimi,
 - 8) Anahtar akımı,hesaplanabilir.

VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- 1) Çıkış akımının etkin değeri;
- 1 fazlı paralel rezonanslı invertörün rezistif yükte oluşan çıkış gerilimi Şekil-7.91'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} V_m^2 \cdot dt} = \sqrt{k} \cdot V_s$$

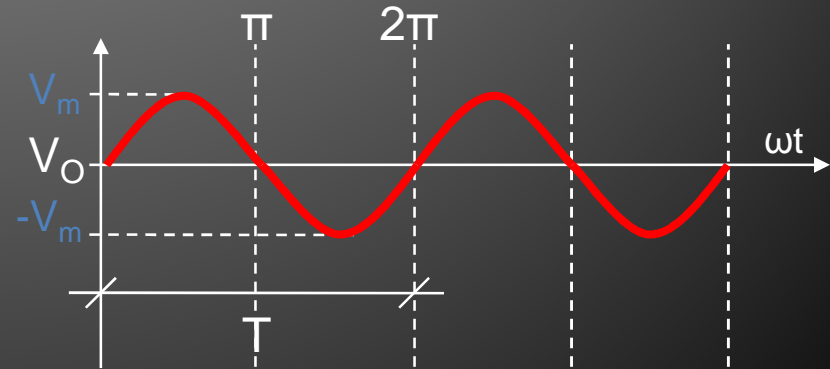
olarak bulunabilecektir.



- 2) Çıkış geriliminin etkin değeri;
- 1 fazlı paralel rezonanslı invertörün rezistif yükte oluşan çıkış gerilimi Şekil-7.92'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} [V_m \sin(t)]^2 \cdot d(t)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

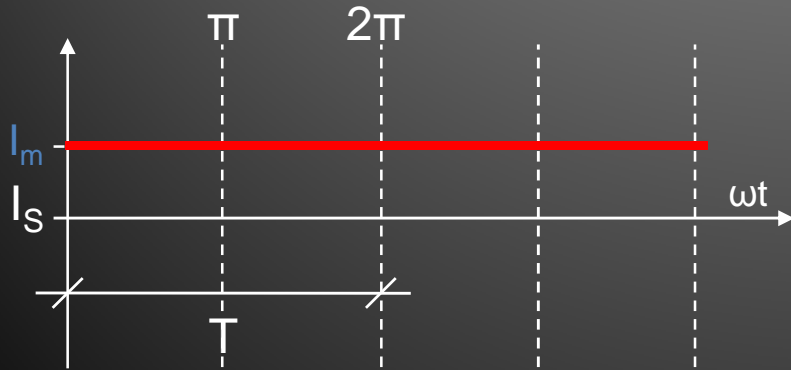
olarak bulunabilecektir.



VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- 3) Etkin çıkış gücü;
- Devrenin ortalama çıkış gücü,
 $P_o = I_o \cdot V_o$
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri;
- Kaynaktan çekilen akımın şekli,
Şekil-7.93'deki gibi olduğuna göre,
 $I_s(\text{ort}) = I_m$

eşitliğinden bulunabilecektir.



- 5) Ortalama giriş gücü;
- Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.
 $P_s = I_s^2 \cdot Z$

- 6) Devrenin frekansı,

$$f_o = f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L.C} - \frac{1}{4.R^2.C^2}}$$

- 7-8) Anahtar gerilimi ve akımı,
- Üzerindeki akım ve gerilime göre,
 $V_T = 1,3 \cdot V_m$
 $I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$
olacaktır.

VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

■ Örnek:

- a) 200Vdc şebekede, %100 etkin peryotlu uyarmada, 20μH bir bobin 2,5μF bir kondansatör kullanılarak çalıştırılan 1 fazlı seri rezonanslı invertörün, 10Ω'luk seri bağlı rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- b) 50Adc şebekede, %100 etkin peryotlu uyarmada, 20μH bir bobin 2,5μF bir kondansatör kullanılarak çalıştırılan, 1 fazlı paralel rezonanslı invertörün, 10Ω'luk paralel bağlı rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

■ Çözüm:

- a) Seri rezonanslı invertörün parametreleri,

- Çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{k} \cdot V_S = \sqrt{1} \cdot 200 = 200V$$

- Çıkış akımının etkin değeri,

$$I_m = V_s / R = 200 / 10$$

$$I_m = 20A$$

$$I_{O(rms)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14,18A$$

- Etkin çıkış gücü,

$$P_O = I_O \cdot V_O$$

$$P_O = 14,18 \cdot 200 = 2,83kW$$

VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

- Kaynaktan çekilen akım,

$$I_s = V_s \cdot I_s = 200 \cdot 10 = 2\text{kW}$$

$$I_{S(rms)} = \frac{2I_m}{\pi} = \frac{2 \cdot 20}{3,14} = 12,73\text{A}$$

- Kaynaktan çekilen ortalama güç,

$$P_s = V_s \cdot I_s = 200 \cdot 12,73 = 2,54\text{kW}$$

- Devrenin çalışma frekansı,

$$f_o = f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L.C} - \frac{R^2}{4.L^2}}$$

- $f_o \approx 20\text{kHz}$

- Anahtar (transistör) akımı,

$$I_T \geq V_m/R + \%30$$

$$I_T \geq (200 / 10) \cdot 1,3 \geq 26\text{A}$$

- Anahtar (transistör) gerilimi,

$$V_T \geq 200 \cdot 1,3 \geq 260\text{V}$$

- b) Paralel rezonanslı invertör,

- Çıkış akımının etkin değeri,

$$I_{O(rms)} = \sqrt{k} \cdot I_s = \sqrt{1} \cdot 50 = 50\text{A}$$

- Çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_m = I_s \cdot R = 50 \cdot 10 = 500\text{V}$$

$$V_{O(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{500}{\sqrt{2}} = 354,6\text{V}$$

- Etkin çıkış gücü,

$$P_o = I_o \cdot V_o$$

$$P_o = 50 \cdot 354,6 = 17,73\text{kW}$$

- Kaynaktan çekilen ortalama güç,

$$P_s = I_s^2 \cdot R = 50^2 \cdot 10 = 25\text{kW}$$

- Devrenin çalışma frekansı,

$$f_o = f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L.C} - \frac{1}{4.R^2.C^2}}$$

$$f_o \approx 20\text{kHz}$$

VII – REZONANSLI İNVERTÖRLER

ÖDEV-7

- 7.1) 500Vdc kaynakta, %100 etkin peryotlu uyarmada, 200 μ H bir bobin 25 μ F bir kondansatör kullanılarak çalıştırılan 1 fazlı seri rezonanslı invertör, 10 Ω 'luk seri bağlı rezistif bir yükü beslediğine göre,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.
- 7.2) 30Adc kaynakta, %100 etkin peryotlu uyarmada, 100 μ H bir bobin 0,5 μ F bir kondansatör kullanılarak çalıştırılan 1 fazlı paralel rezonanslı invertörün, 10 Ω 'luk paralel bağlı rezistif yükü beslediğine göre,
- Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

Bölüm-8

Statik Anahtarlar

VIII – STATİK ANAHTARLAR

- **GİRİŞ:**

- Elektrik-Elektronik alanında kullanılmakta olan anahtarlar, daha önce de belirtildiği gibi,

- 1- Mekanik anahtarlar,
- 2- Elektromekanik anahtarlar,
- 3- Yarıiletken anahtarlar.

- Bilindiği gibi Güç Elektroniğinde yarıiletken anahtarlar kullanılarak,

- 1- AC/DC dönüştürücüler,
- 2- AC/AC dönütürücüler,
- 3- DC/DC dönüştürücüler,
- 4-DC/AC dönüştürücüler,

olarak isimlendirilen tüm temel güç dönüşümleri kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.

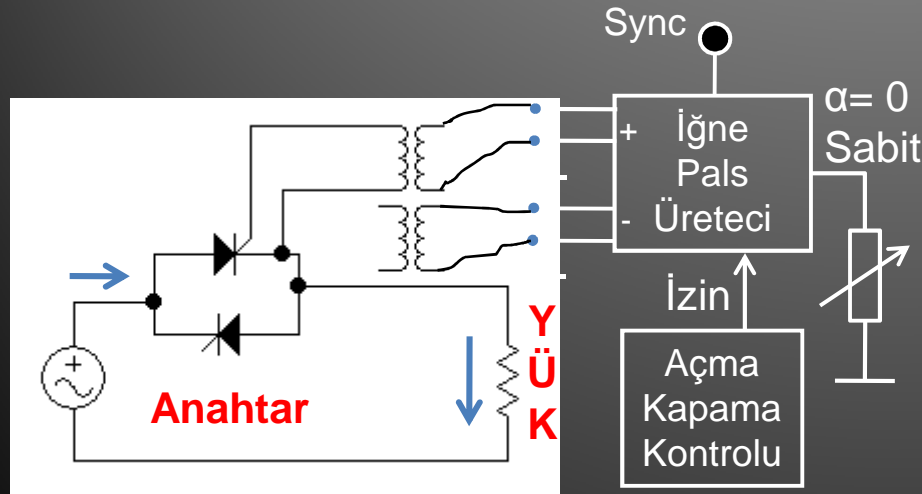
- **“Statik Anahtarlar”**, temel güç dönüştürücü devrelerin, güç dönüşümü için değil de sadece enerjinin anahtarlama (açılıp kapatılması) amacıyla kullanılmak istenmesi sonucunda ortaya çıkmış ve günümüzde endüstride çok yaygın olarak kullanılmakta olan bir güç elektroniği uygulama alanıdır.

VIII – STATİK ANAHTARLAR

- Statik anahtarlar, mekanik anahtarlar veya röle ve kontaktör gibi elektromekanik anahtarlar yerine kullanılmakta olan yarıiletken anahtar gruplarıdır.
- Bu yarıiletken anahtar grupları, bazen bir kontrollü doğrultucu devresi, bazen bir AC kıyıcı devresi, bazen de bir DC kıyıcı devresi olabilmektedir.
- Fakat bu devreler statik anahtar olarak çalıştırıldıkları zaman asli görevlerini yapmaz sadece basit anahtar olurlar.
- Statik anahtarları,
 - 1- AC anahtarlar,
 - a) 1 fazlı anahtarlar,
 - b) 3 fazlı anahtarlar,
 - 2- DC anahtarlar,
 - 3- Yarıiletken röleler (SSR),
olarak 3 ana grup altında toplamak mümkündür.
- Bu bölümde yukarıda belirtilen statik anahtar türleri, kullanımı ve diğer anahtar türlerine göre avantaj ve dezavantajları ayrıntısıyla incelenecektir.

VIII – STATİK ANAHTARLAR

- 1a- Bir Fazlı AC Statik Anahtarlar;
- Bir fazlı AC statik anahtar, aşağıdaki Şekil-8.1’de görüldüğü gibi, aslında 1 fazlı açma-kapama kontrollü AC kıyıcı devresinden başka bir devre değildir.

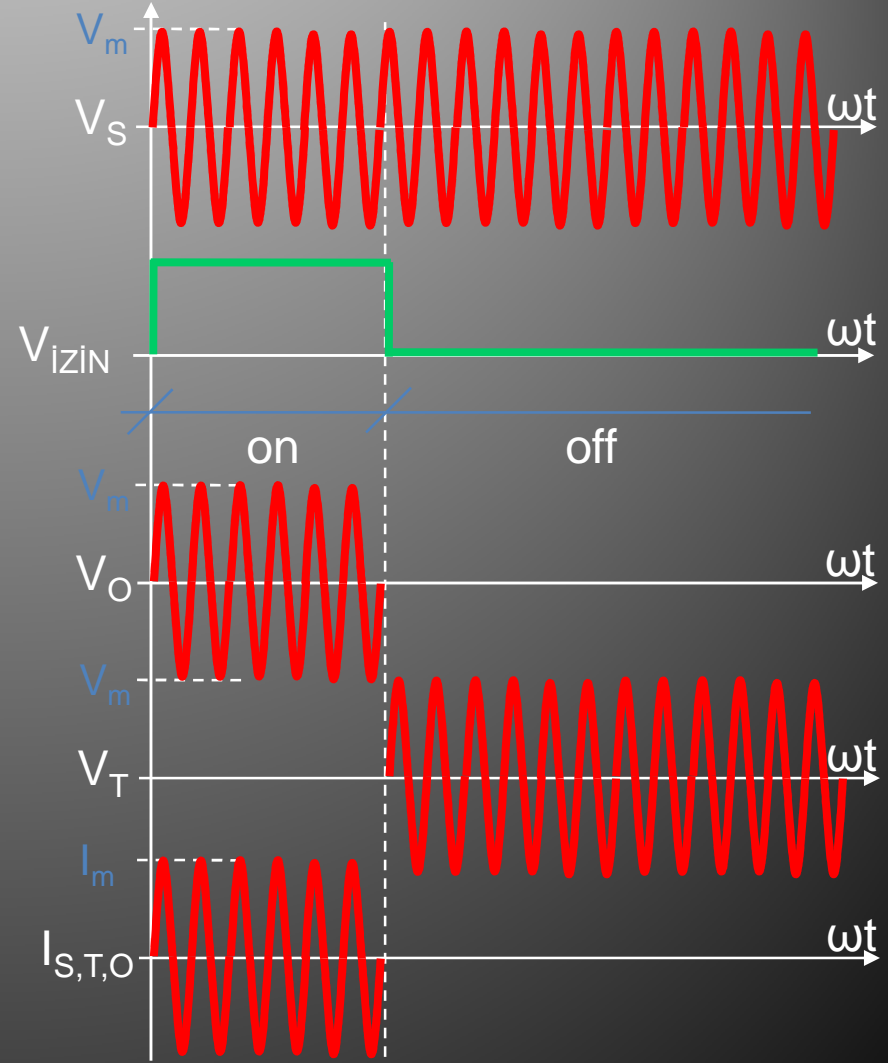


- Şekil-8.1’de görülen devre, daha önceden de açıklandığı gibi yüksek güçler için kullanılmaktadır. Düşük ve orta güçlerde ise tristörler yerine tek bir triyak kullanılması ve iğne pulse gerek kalmadan doğrudan kare dalga ile kontrol edilmesi daha uygun olmaktadır.

- Devrenin çalışması ise, uyarıldığı sürece kaynağı doğrudan yüke bağlanması, uyarı kesildiğinde ise kaynağın yükten ayrılması şeklindedir.

VIII – STATİK ANAHTARLAR

- Şekil-8.1’de gösterilen devrenin çalışma dalga şekilleri Şekil-8.2’de görülmektedir.
- Şekil-8.2’den görüldüğü gibi statik anahtar devresi uyarıldığında kaynak geriliminin genlik ve frekansına dokunmadan yüke aktarmakta, uyarı kesildiğinde ise kaynakla yük arasındaki bağlantıyı koparmaktadır.
- Bu durumda devre normal bir mekanik veya elektromekanik anahtar gibi çalışmaktadır.



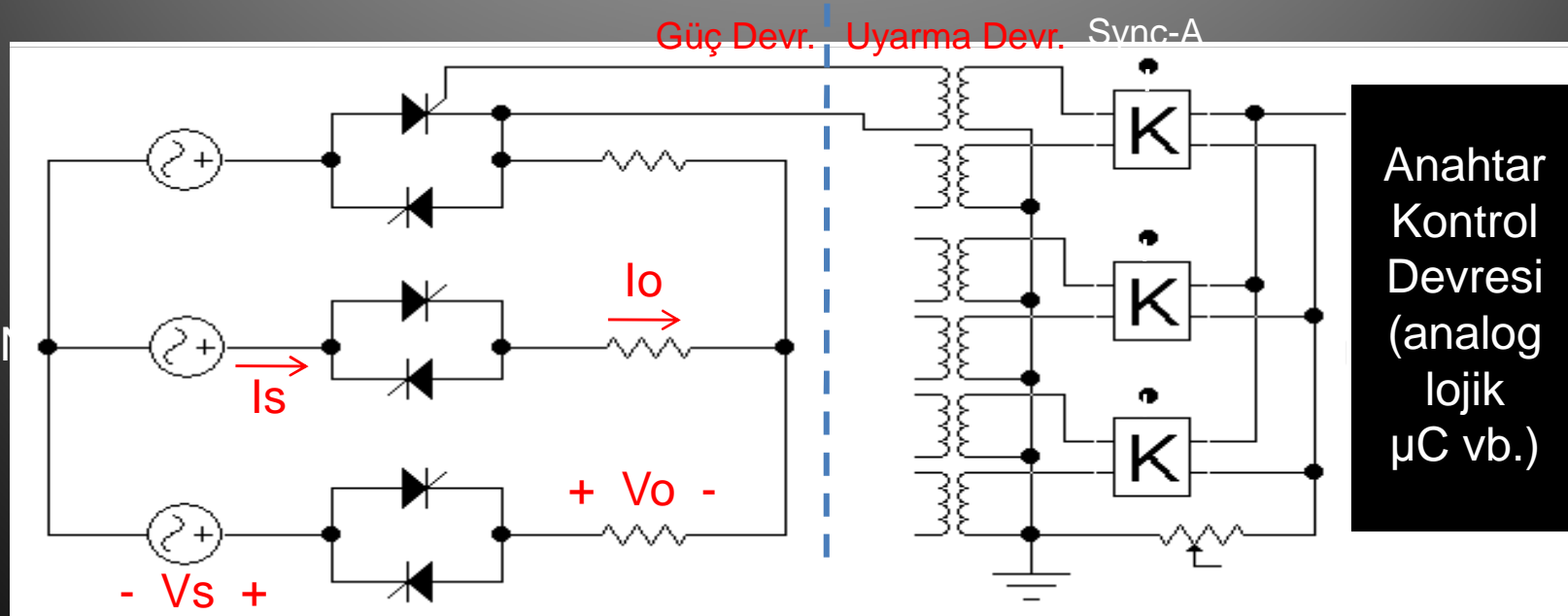
VIII – STATİK ANAHTARLAR

- Şekil-8.2'deki dalga şekillerine göre statik anahtar devresiyle ilgili bazı temel parametreler aşağıdaki gibi olacaktır.
- 1) Çıkış gerilimi;
 $V_o = V_s$
- 2) Çıkış akımı;
 $I_o = V_o/R$
- 3) Kaynak akımı;
 $I_s = I_o$
- 4) Anahtar gerilimi;
 $V_t = 1,3 \times V_m$
- 5) Anahtar akımı;
 $I_t = 1,3 \times I_m$.
- Mekanik veya elektromekanik anahtar kullanımı yerine statik anahtar kullanımı sayesinde,
 - 1- Daha hızlı,
 - 2- Daha sessiz,
 - 3- Daha güçlü,
 - 4- Daha küçük boyutlu,
 - 5- Daha hafif,
 - 6- Daha ucuz,
 - 7- Daha kolay kontrol edilebilir,
 - 8- Periyodik bakım gerektirmeyen,bir anahtarlama yapılmasını sağlamaktadır.

VIII – STATİK ANAHTARLAR

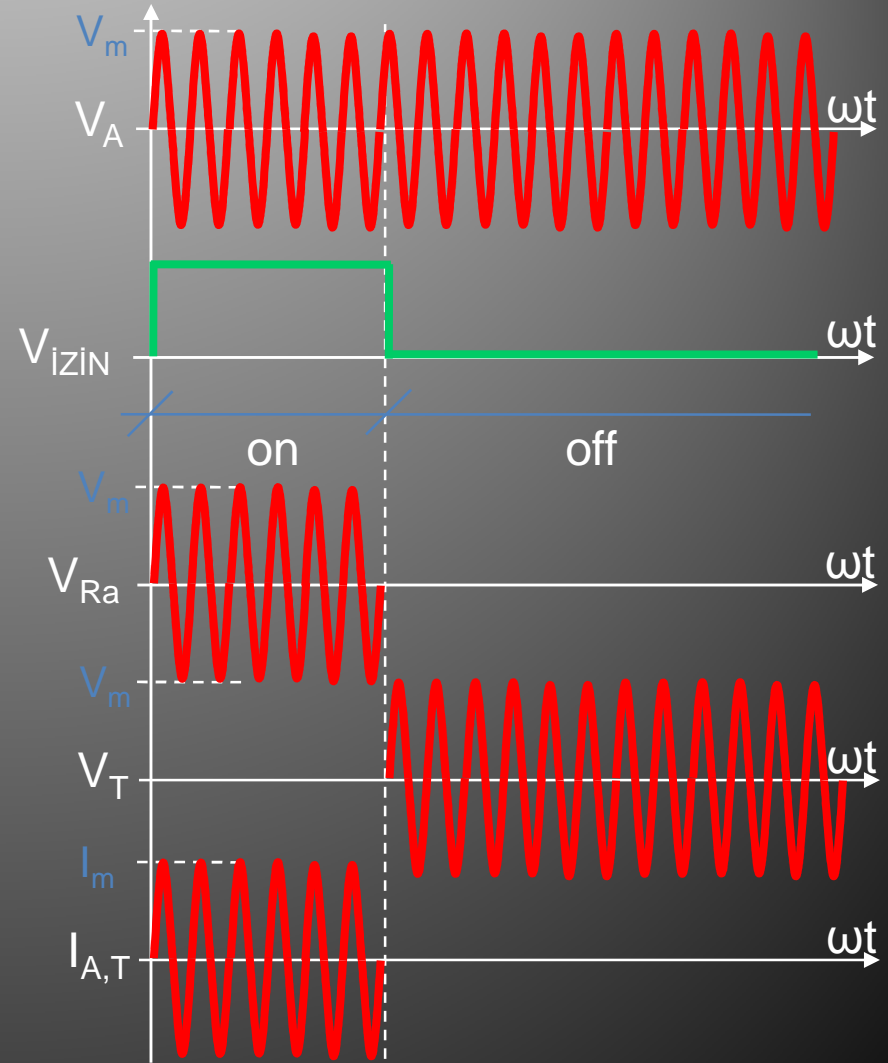
- 1b- Üç Fazlı AC Statik Anahtarlar;
- Üç fazlı AC statik anahtar, aşağıdaki Şekil-8.3'de görüldüğü gibi, aslında 3 fazlı açma-kapama kontrollü AC kıyıcı devresinden başka bir devre değildir.

- Şekil-8.3'de görülen devre, yüksek güçlerde kullanılmakta olup düşük ve orta güçlerde ise tristörler yerine triyak kullanılması ve iğne pulse gerek kalmadan doğrudan kare dalga ile kontrol edilmesi daha uygun olmaktadır.



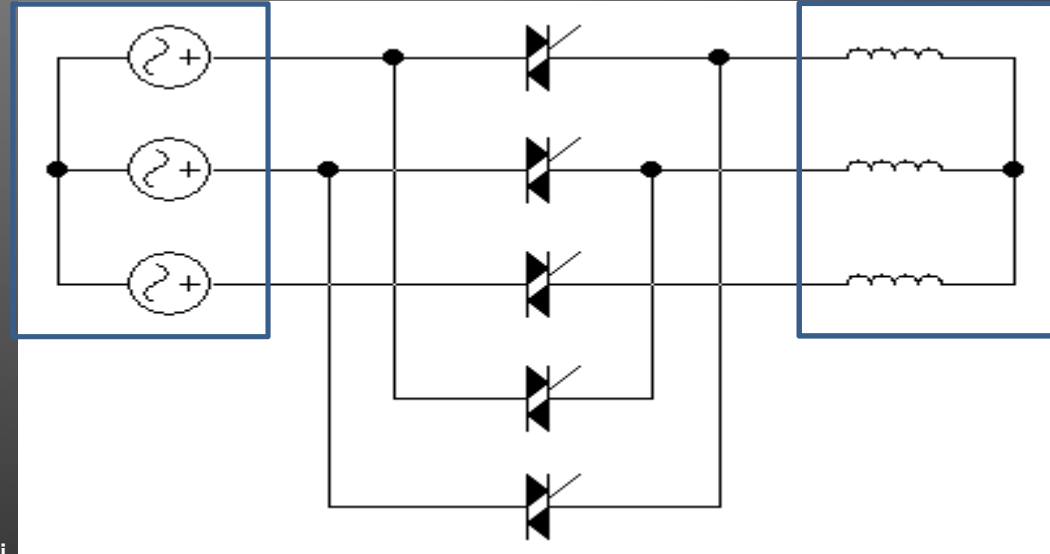
VIII – STATİK ANAHTARLAR

- Şekil-8.3'de gösterilen devrenin 1 fazının çalışma dalga şekilleri Şekil-8.4'de görülmektedir.
- Şekil-8.4'den görüldüğü gibi statik anahtar devresi uyarıldığında kaynak geriliminin genlik ve frekansına dokunmadan yüke aktarmakta, uyarı kesildiğinde ise kaynakla yük arasındaki bağlantıyı koparmaktadır.
- Bu durumda devre normal bir mekanik veya elektromekanik anahtar gibi çalışmaktadır.



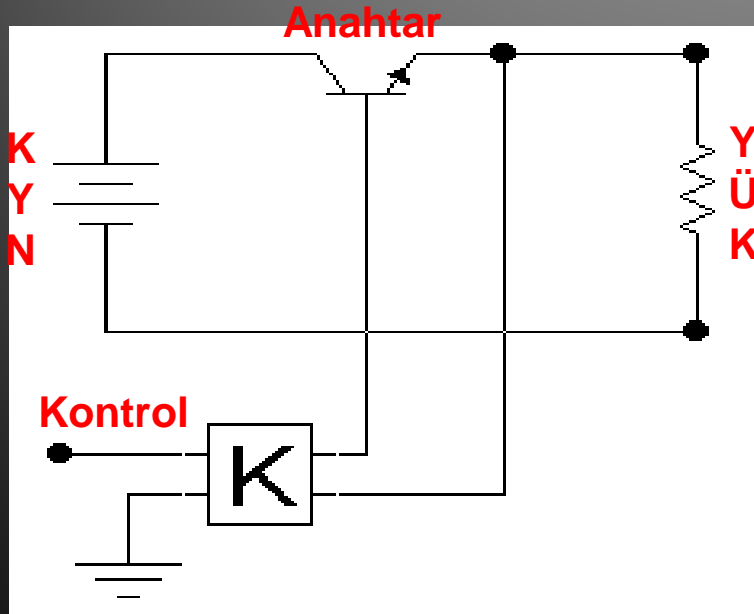
VIII – STATİK ANAHTARLAR

- Şekil-8.4'deki dalga şekillerine göre statik anahtar devresiyle ilgili bazı temel parametreler aşağıdaki gibi olacaktır.
 - 1) Çıkış gerilimi;
 $V_o(\text{faz}) = V_s(\text{faz})$
 $V_o(\text{hat}) = V_s(\text{hat})$
 - 2) Çıkış akımı;
 $I_o = V_o/R$
 - 3) Kaynak akımı;
 $I_s = I_o$
 - 4) Anahtar gerilimi;
 $V_t = 1,3 \times V_m$
 - 5) Anahtar akımı;
 $I_t = 1,3 \times I_m.$
- Aşağıdaki Şekil-8.5'de üç fazlı statik anahtar grubunun, 3 fazlı bir asenkron motorun devir yönü değişiminde kullanılması görülmektedir. Şekilde görülen 1-2-3 numaralı anahtarlar uyarıldığında motor ileri, 3-4-5 numaralı anahtarlar uyarıldığında ise motor geriye dönecektir.



VIII – STATİK ANAHTARLAR

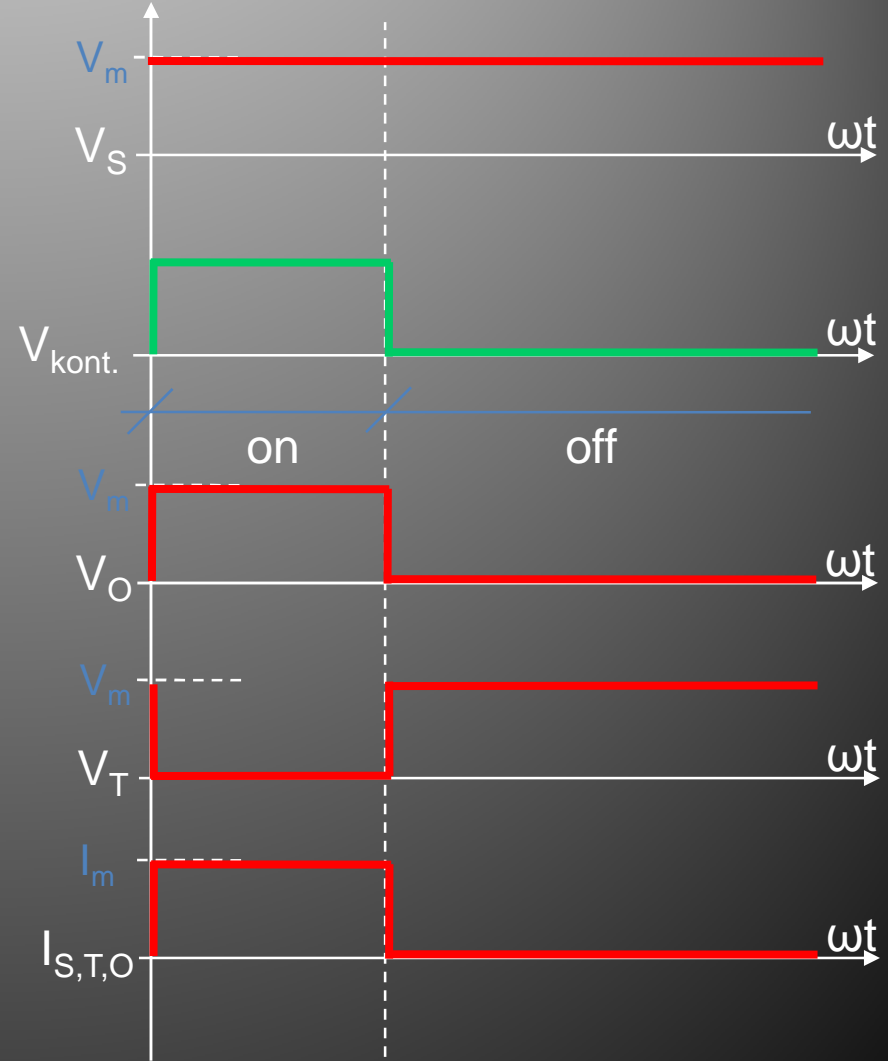
- 2- DC Statik Anahtarlar;
- DC statik anahtar, aşağıdaki Şekil-8.6'da görüldüğü gibi, aslında daha önce açıklanan azaltan tip (A sınıfı) DC kıyıcı devresinden başka bir devre değildir.



- Şekil-8.6'de görülen devre, daha önceden de açıklandığı gibi düşük güçler için kullanılmaktadır. Orta ve yüksek güçlerde ise transistör yerine mosfet ve/veya IGBT kullanılması ve doğrudan kare dalga ile kontrol edilmesi daha uygun olmaktadır.
- Devrenin çalışması ise, AC anahtarlarda olduğu gibi, uyarıldığı sürece kaynağı doğrudan yüke bağlanması, uyarı kesildiğinde ise kaynağın yükten ayrılması şeklindedir.

VIII – STATİK ANAHTARLAR

- Şekil-8.6'da gösterilen devrenin çalışma dalga şekilleri Şekil-8.7'de görülmektedir.
- Şekil-8.7'den görüldüğü gibi statik anahtar devresi uyarıldığında kaynak geriliminin genlik ve frekansına dokunmadan yüke aktarmakta, uyarı kesildiğinde ise kaynakla yük arasındaki bağlantıyı koparmaktadır.
- Bu durumda devre normal bir mekanik veya elektromekanik anahtar gibi çalışmaktadır.



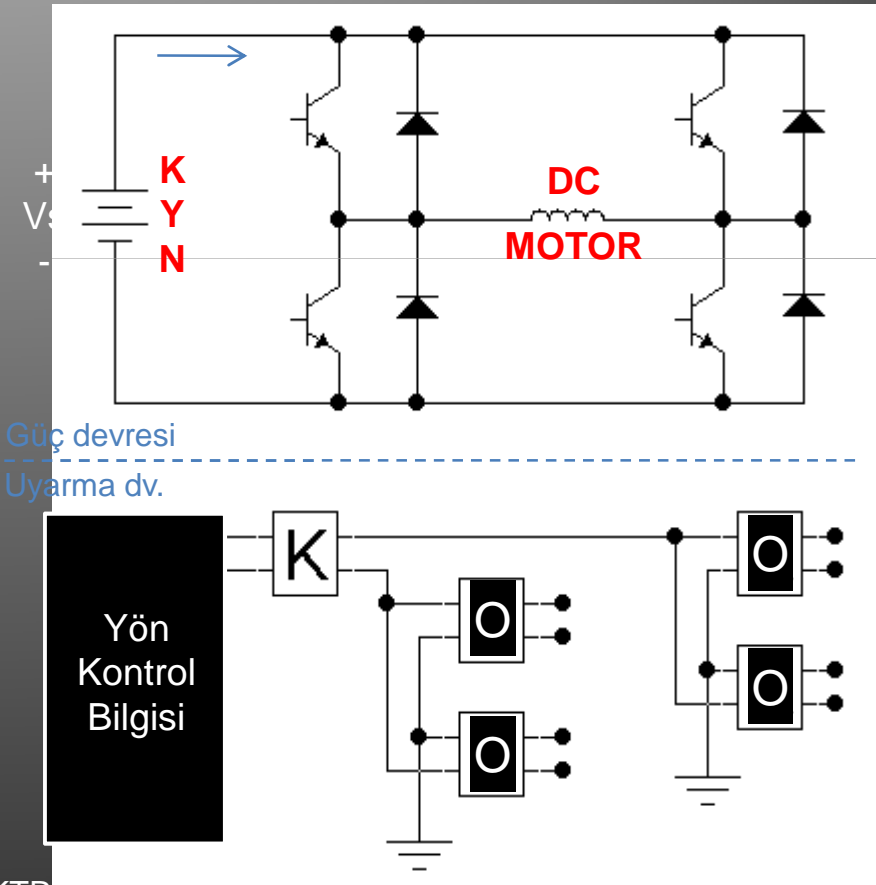
VIII – STATİK ANAHTARLAR

- Şekil-8.7'deki dalga şekillerine göre statik anahtar devresiyle ilgili bazı temel parametreler aşağıdaki gibi olacaktır.

- 1) Çıkış gerilimi; $V_o = V_s$
- 2) Çıkış akımı; $I_o = V_o/R$
- 3) Kaynak akımı; $I_s = I_o$
- 4) Anahtar gerilimi; $V_t = 1,3 \times V_m$
- 5) Anahtar akımı; $I_t = 1,3 \times I_m$.

- Yandaki Şekil-8.8'de DC statik anahtar grubunun, sabit mıknatıslı sabit mıknatıs bir DC motorun yönü değişiminde kullanılması görülmektedir.

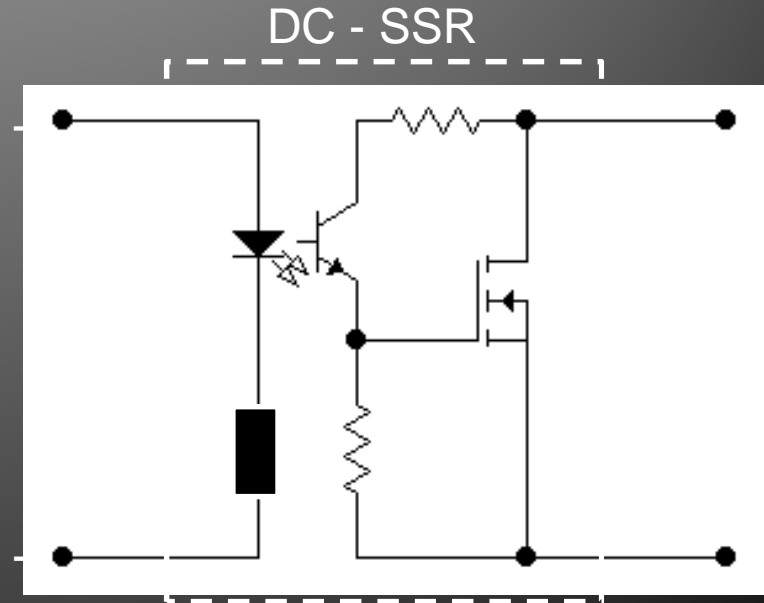
- Şekil-8.8'de görülen 1-2 numaralı anahtarlar uyarıldığında motor ileri, 3-4 uyarıldığında ise motor geriye dönecektir.



VIII – STATİK ANAHTARLAR

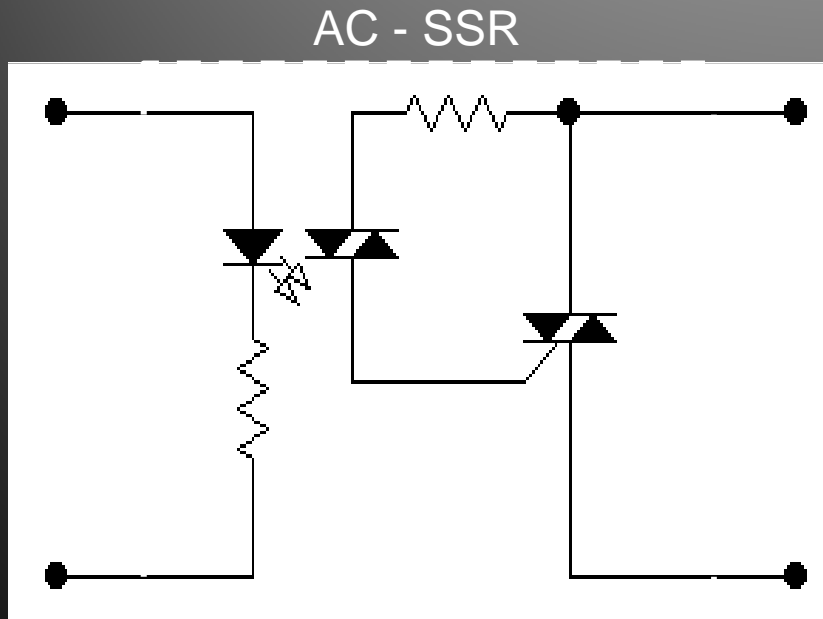
- **3- Yarıiletken Röleler (Solid State Relays – SSR);**
- Yarı iletken röleler aslında statik anahtarlardan çok farklı değildir. Bilindiği gibi elektromekanik anahtarlar olan röle ve kontaktörlerin 2 önemli fonksiyonu vardır. Bunlar,
 - 1- Küçük güçlü kontrol yüksek güçte anahtarlama,
 - 2- Kontrol devresi ile güç devresini yalıtımadır.
- Bu özelliklerin aynısını sağlamak için uygun statik anahtarlar yalıtılarak uyarılacak hale getirilip ve bir modül gibi paketlenerek yarı iletken röle yapısı (SSR) elde edilmektedir.

- Yarı iletken röleler tıpkı statik anahtarlar gibi AC ve DC olarak 2 türde yapılmaktadır.
- Aşağıdaki Şekil-8.9'da modül yapısında bir DC-SSR devresi görülmektedir.



VIII – STATİK ANAHTARLAR

- Aşağıdaki Şekil-8.10'da ise triyak ve optik iletici (optocoupler) kullanılarak yapılmış olan modül yapısında bir AC yarıiletken röle (SSR) devresi görülmektedir.



- Şekil-8.9 ve Şekil-8.10'dan görülebildiği gibi, he DC yarı iletken röle yapısında hem de AC yarıiletken röle yapısında, güç anahtarı ile onu yalıtarak süren devre aynı kılıf içine yerleştirilmiş ve aşağıdaki Şekil-8-11'de görüldüğü gibi hazır paket halinde kullanıma sürülmüştür.



VIII – STATİK ANAHTARLAR

ÖDEV-8

- 8.1) Uygun statik anahtarlar kullanılarak, 220V/380V-50Hz şebekede çalışan 3 fazlı 10hp bir asenkron motorun yön kontrolü yapılmak istenmektedir. Buna göre,
- Kurulması gereken devrenin şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre statik anahtarların akım-gerilim değerlerini hesaplayınız.
- 8.2) Uygun statik anahtarlar kullanılarak, 200V dc şebekede çalışan 10hp, yabancı uyartımlı bir dc motorun yön kontrolü yapılmak istenmektedir. Buna göre,
- Kurulması gereken devrenin şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - Çizilen dalga şekillerine göre statik anahtarların akım-gerilim değerlerini hesaplayınız.

Bölüm-9

Endüstriyel Güç Kaynakları

IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

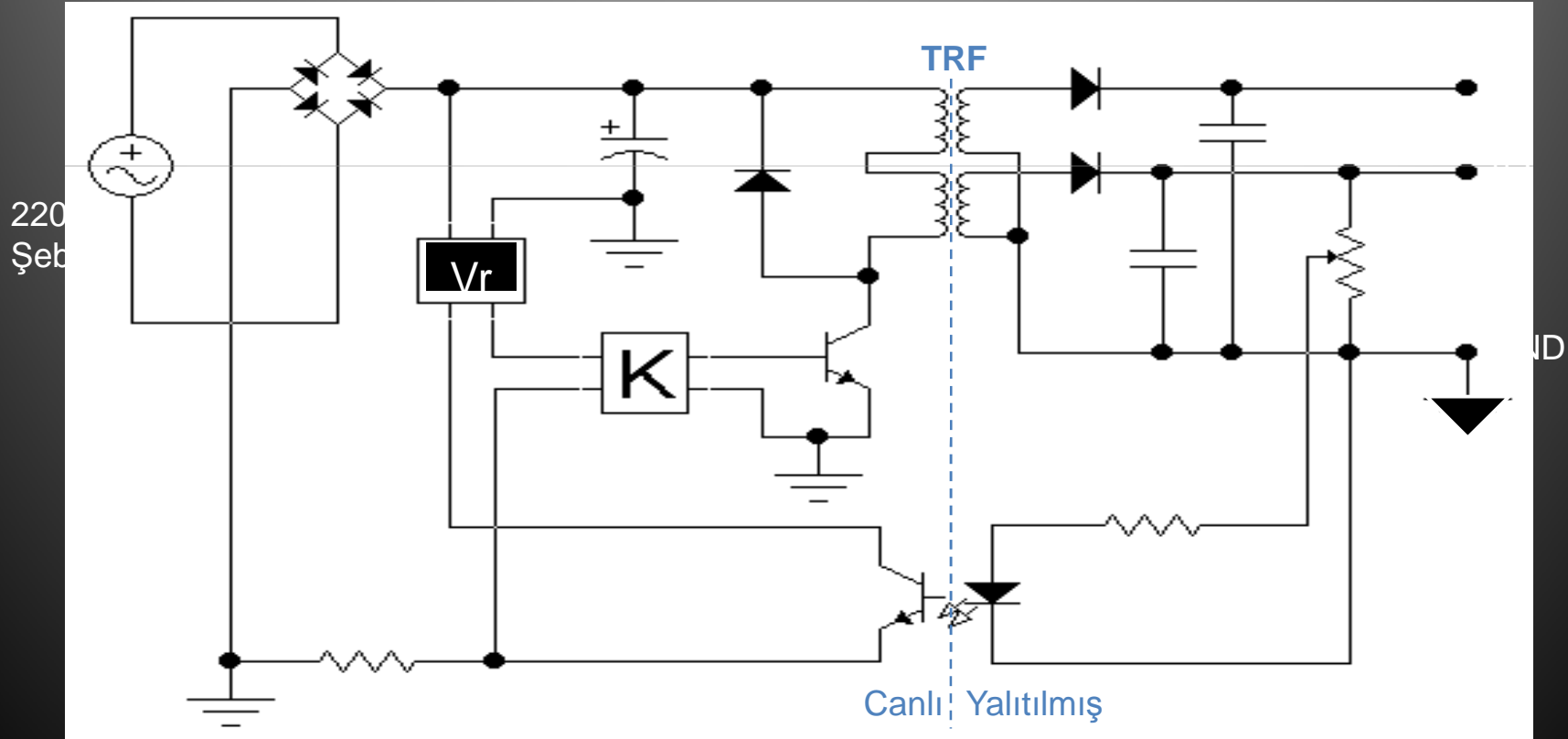
- **GİRİŞ:**
- Endüstriyel uygulamalarda, çeşitli yüklerin, devrelerin ve sistemlerin beslenmesinde Endüstriyel Güç Kaynakları kullanılmaktadır.
- Endüstriyel güç kaynaklarında aranan genel özellikler,
 - 1- Kaynakla yük arasında yalıtım sağlaması,
 - 2- Yüksek güçlerde, yüksek verim, düşük boyut ve düşük ağırlığa sahip olmaları,
 - 3- Düzgün giriş ve çıkış dalga şekillerine sahip olmaları,
 - 4- Gerektiğinde güç akış yönünün kontrol edilebilir olması,
 - 5- Güç katsayısının kontrol edilebilir olmasıdır.
- Endüstriyel güç kaynaklarını iki temel grup altında toplamak mümkündür. Ayrıntısıyla incelenecek olan bu gruplar,
 - 1- DC güç kaynakları,
 - 2- AC güç kaynaklarıdır.

IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

- 1) DC Güç Kaynakları;
- DC güç kaynakları temel olarak, daha önceden DC-DC dönüştürücüler konusunda birinci türü kısaca açıklanan “Anahtarlama Regülatörleri”nin ikinci türü olan “Primerden Anahtarlama Regülatör” yapısıdır.
- Bu yapıda yüksek frekanslı, dolayısıyla da gücüne göre küçük boyutlu bir transformatör gerilim dönüştürme ve yalıtma elemanı olarak kullanılmaktadır.
- DC güç kaynaklarının 3 türü bulunmaktadır. Bunlar,
 - a- Anahtarlama (primerden) dc güç kaynakları,
 - b- Rezonanslı dc güç kaynakları,
 - c- Çift yönlü dc güç kaynaklarıdır.
- Bu türlerden en yaygın olarak kullanılanı birinci tür olan anahtarlama (primerden) güç kaynaklarıdır. Bunlar, birden fazla ve farklı seviyelerde regüleli gerilim gereken her tür cihazda (örn. bilgisayar güç kaynağı) tercih edilmektedir.
- Diğer dc güç kaynağı türleri ise daha özel kullanım alanlarına sahiptirler.

IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

- Aşağıdaki Şekil-9.1’de düşük güçlerde kullanılabilecek (0-100W) olan tek anahtarlı bir primerden anahtarlama DC güç kaynağının prensip yapısı görülmektedir.
- Şekilde görülen devrede ana kaynak olarak 220Vac şebeke kullanılmış ve devre çıkışından V1 ve V2 olmak üzere 2 adet regüleli DC gerilim elde edilmektedir.

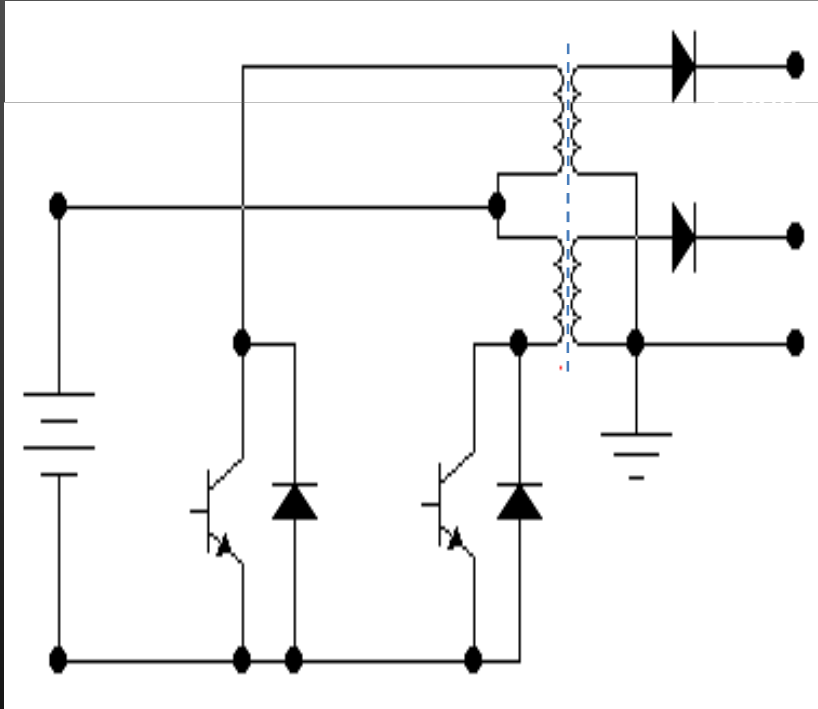


IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

- Şekil-9.1’de görülen devrenin çalışması ise şöyledir;
- Devrenin girişi için gerekli olan DC gerilim 220Vac şebeke doğrultulup filtre edilerek elde edilmektedir.
- Daha sonra bu DC gerilim yüksek frekanslı (swich-mod) transformatörün primerine uygulanmakta ve primerin diğer ucuna bağlanan bir transistör veya mosfet ile yüksek frekansta (20-40 kHz) anahtarlanarak osilasyon oluşturulmaktadır.
- Bu durumda transformatörün sekonder sargılarında dönüştürme oranlarına bağlı olarak yüksek frekanslı gerilimler indüklenecektir.
- Bu gerilimlerin frekansı yüksek olduğu için yarım dalga doğrultup küçük bir kondansatörle filtre etmek yeterli olmaktadır.
- Regülesyon için, çıkışta oluşan gerilimlerden birisinden örnek alınarak optocoupler üzerinden girişteki PWM üretecine iletilmekte ve burada örnek gerilim, referans gerilimle karşılaştırılarak uygun pals genişliği belirlenmekte ve T1 transistörü uyarılmaktadır.
- Çıkış gerilimi yükselmek istediğinde PWM pals genişliği daraltılarak, tersi durumda da genişletilerek çıkış gerilimlerinin sabit kalması sağlanmaktadır.

IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

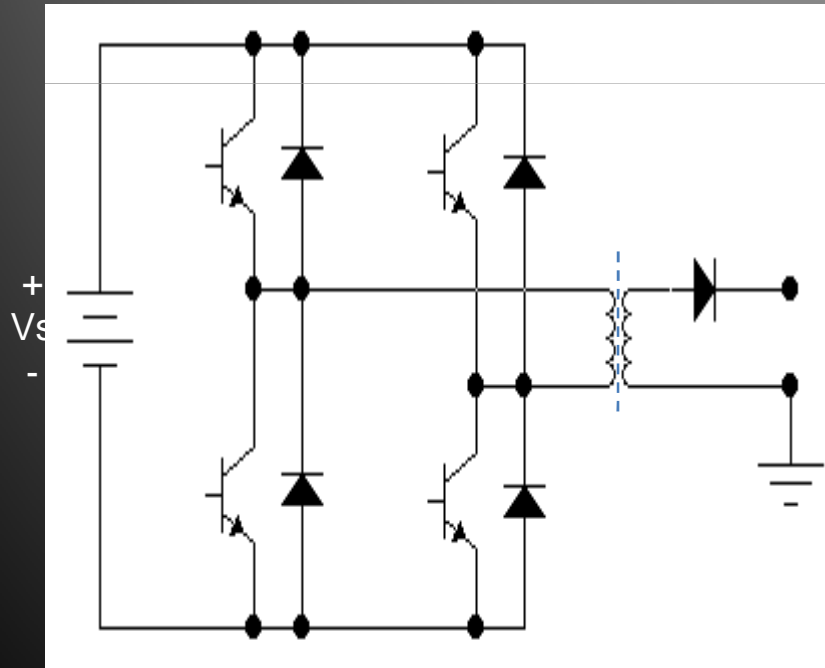
- Aşağıdaki Şekil-9.2’de ise daha yüksek güçlerde kullanılan ($\leq 500W$) simetrik girişli bir primerden anahtarlama regülatör güç devresi görülmektedir.



- Şekil-9.2’den görüldüğü gibi, devrede primeri orta uçlu bir yüksek frekanslı transformator kullanılmıştır. Orta uca DC giriş geriliminin + ucu bağlanmış, diğer uçlara ise T1 ve T2 anahtarları bağlanmıştır.
- T1 ve T2 anahtarları 180 derece faz farklı PWM-1 ve PWM-2 sinyalleri ile kontrol edilmekte ve sekonderde istenilen gerilimler elde edilip doğrultularak kullanılmaktadır.
- Devrenin regülasyonu önceki devrede olduğu gibi yapılır.

IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

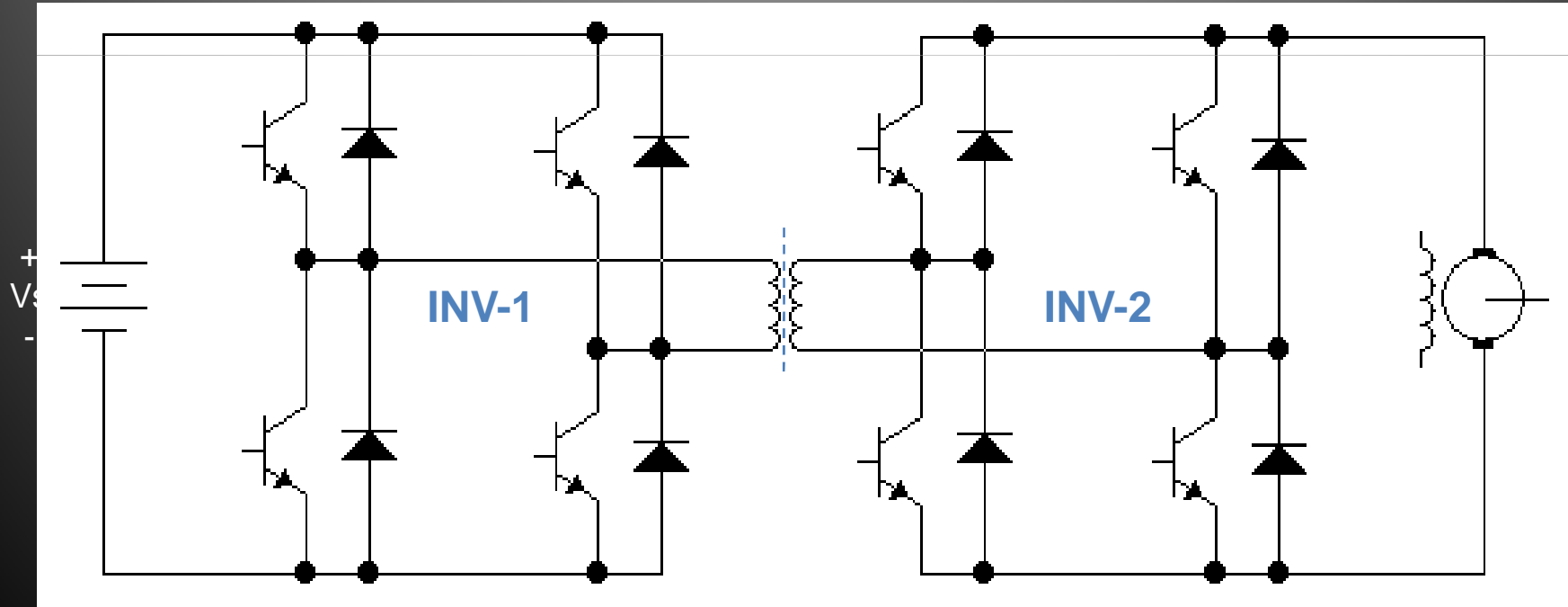
- Aşağıdaki Şekil-9.3'de ise kW seviyesindeki yüksek güçlerde kullanılan köprü kontrollü bir primerden anahtarlama regülatör güç devresi görülmektedir.



- Şekil-9.3'den görüldüğü gibi, devrede primeri tek sargılı bir yüksek frekanslı transformator kullanılmıştır. Primer uçları bir transistör köprüsünün (gerilim kaynaklı invertör) çıkışına bağlanmıştır.
- T1-T2 ve T3-T4 anahtarları 180 derece faz farklı PWM-1 ve PWM-2 sinyalleri ile kontrol edilmekte ve sekonderde istenilen gerilimler elde edilip doğrultularak kullanılmaktadır.
- Devrenin regülasyonu, 9.1'deki devrede olduğu gibi yapılır.

IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

- Aşağıdaki Şekil-9.4'de ise orta ve yüksek güçlerde güçlerde kullanılan çift yönlü köprü kontrollü bir primerden anahtarlama regülatör güç devresi görülmektedir.
- Şekildeki motor çalıştırılmak istendiğinde INV-1 çalıştırılıp, INV-2 doğrultucu olarak kullanılır. Kaynak şarj edilmek istendiğinde ise bu motor, jeneratör olarak çalıştırılıp ve INV-2 çalıştırılıp INV-1 doğrultucu olarak kullanılır.

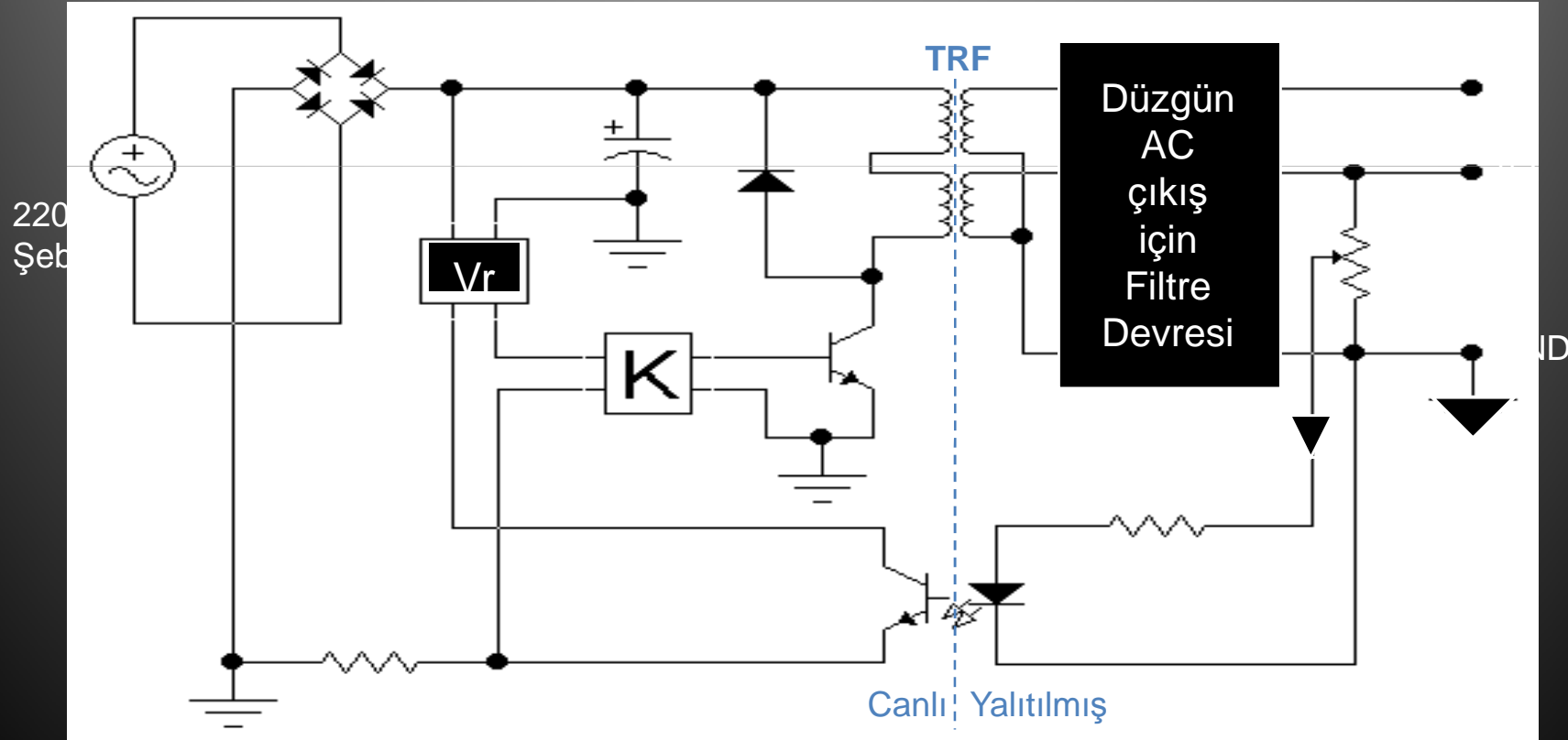


IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

- **2) AC Güç Kaynakları;**
- AC güç kaynakları temel olarak, DC güç kaynakları yapısındadır. Aralarındaki fark ise çıkış geriliminin DC yerine AC olarak elde ediliyor olmasıdır. Tabii ki burada AC çıkış geriliminin frekansı şebeke frekansı olmalıdır.
- Bu yapıda da yüksek frekanslı, dolayısıyla da gücüne göre küçük boyutlu bir transformator gerilim dönüştürme ve yalıtma elemanı olarak kullanılmaktadır.
- AC güç kaynaklarının da 3 türü bulunmaktadır. Bunlar,
 - a- Anahtarlama (primerden) ac güç kaynakları,
 - b- Rezonanslı ac güç kaynakları,
 - c- Çift yönlü ac güç kaynaklarıdır.
- Bu türlerden en yaygın olarak kullanılanı birinci tür olan anahtarlama (primerden) dc güç kaynaklarıdır. Bunlar, bir veya birden fazla ve farklı seviyelerde hem genlik hem frekans regüleli ac gerilim elde edilmektedir.
- Diğer ac güç kaynağı türleri ise daha özel kullanım alanlarına sahiptirler.

IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

- Aşağıdaki Şekil-9.5'de düşük güçlerde kullanılabilecek (0-100W) olan tek anahtarlı bir primerden anahtarlama DC güç kaynağının prensip yapısı görülmektedir.
- Şekilde görülen devrede ana kaynak olarak 220Vac şebeke kullanılmış ve devre çıkışından V1 ve V2 olmak üzere 2 adet regüleli AC gerilim elde edilmektedir.

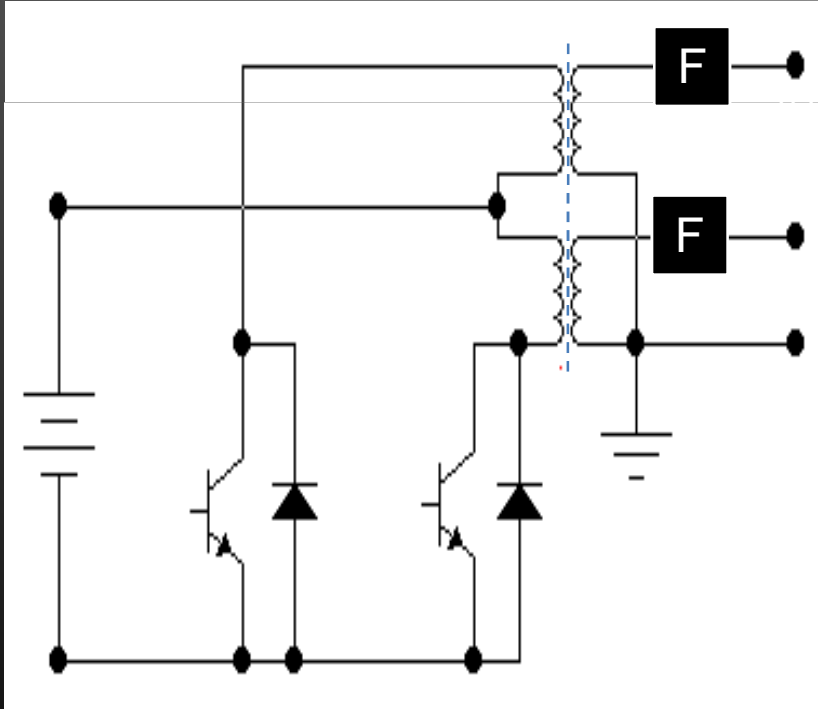


IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

- Şekil-9.5’de görülen devrenin çalışması ise şöyledir;
- Devrenin girişi için gerekli olan DC gerilim 220Vac şebeke doğrultulup filtre edilerek elde edilmektedir.
- Daha sonra bu DC gerilim istenilen çıkış genliği ve frekansına göre tasarlanmış olan transformatörün primerine uygulanmakta ve primerin diğer ucuna bağlanan bir transistör veya mosfet ile istenilen frekansta anahtarlanarak osilasyon oluşturulmaktadır. Bu durumda transformatörün sekonder sargılarında dönüştürme oranlarına bağlı olarak istenilen frekanslı gerilimler indüklenecektir.
- Bu gerilimlerin şekilleri tam sinüs olmadığı için sekondere bağlanan uygun ac filtrelerle sinüse dönüşüm sağlanır.
- Regülesyon için, çıkışta oluşan gerilimlerden birisinden örnek alınarak optocoupler üzerinden girişteki PWM üretecine iletilmekte ve burada örnek gerilim, referans gerilimle karşılaştırılarak uygun pals genişliği belirlenmekte ve T1 transistörü uyarılmaktadır.
- Çıkış gerilimi yükselmek istediğinde PWM pals genişliği daraltılarak, tersi durumda da genişletilerek çıkış gerilimlerinin sabit kalması sağlanmaktadır.

IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

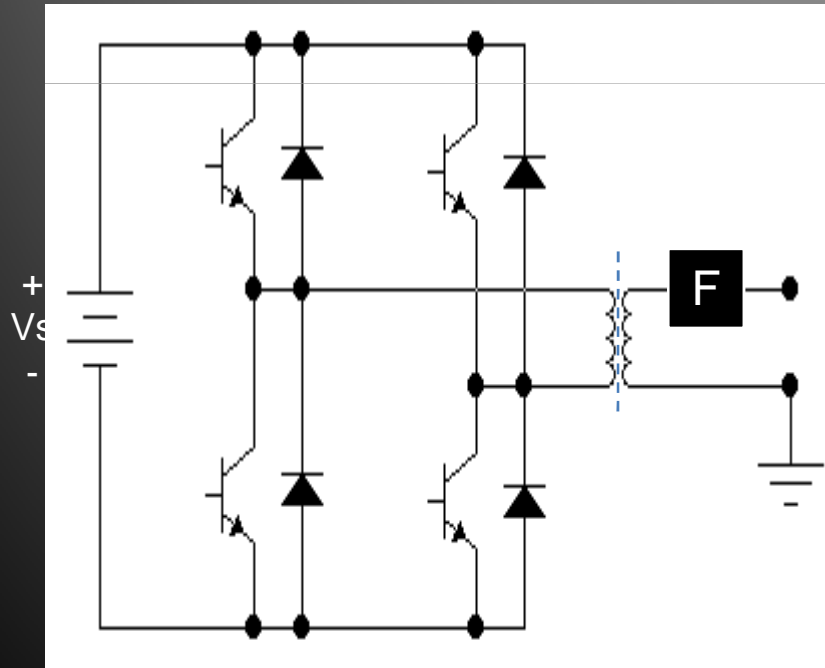
- Aşağıdaki Şekil-9.6'da ise daha yüksek güçlerde kullanılan ($\leq 500W$) simetrik girişli bir primerden anahtarlamalı regülatör güç devresi görülmektedir.



- Şekil-9.6'dan görüldüğü gibi, devrede primeri orta uçlu ve istenen frekanslı transformatör kullanılmıştır. Orta uca DC giriş geriliminin + ucu bağlanmış, diğer uçlara ise T1 ve T2 anahtarları bağlanmıştır.
- T1 ve T2 anahtarları 180 derece faz farklı PWM-1 ve PWM-2 sinyalleri ile kontrol edilmekte ve sekonderde istenilen gerilimler elde edilip filtrelenerek kullanılmaktadır.
- Devrenin regülasyonu önceki devrede olduğu gibi yapılır.

IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

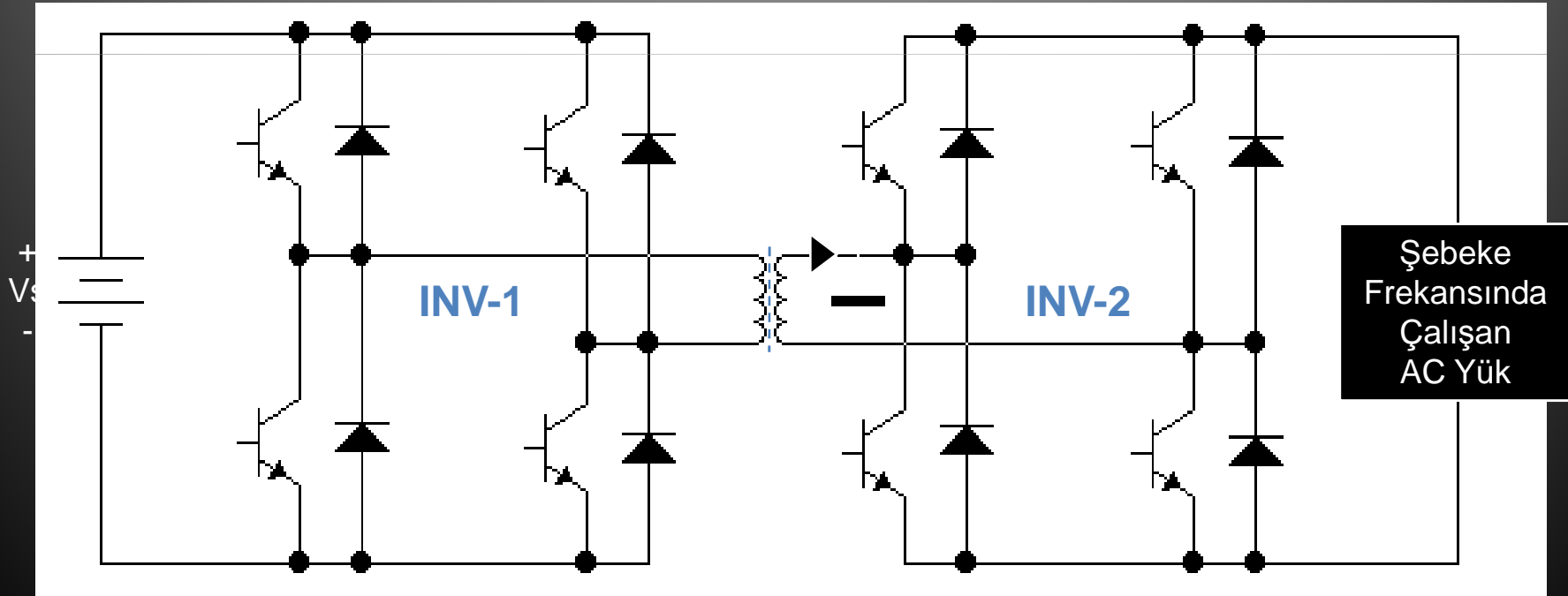
- Aşağıdaki Şekil-9.7’de ise kW seviyesindeki yüksek güçlerde kullanılan köprü kontrollü bir primerden anahtarlama regülatör güç devresi görülmektedir.



- Şekil-9.7’den görüldüğü gibi, devrede primeri tek sargılı bir istenilen frekansa uygun transformator kullanılmıştır. Primer uçları bir transistör köprüsünün (gerilim kaynaklı invertör) çıkışına bağlanmıştır.
- T1-T2 ve T3-T4 anahtarları 180 derece faz farklı PWM-1 ve PWM-2 sinyalleri ile kontrol edilmekte ve sekonderde istenilen gerilimler elde edilip filtrelenerek kullanılmaktadır.
- Devrenin regülasyonu, 9.1deki devrede olduğu gibi yapılır.

IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

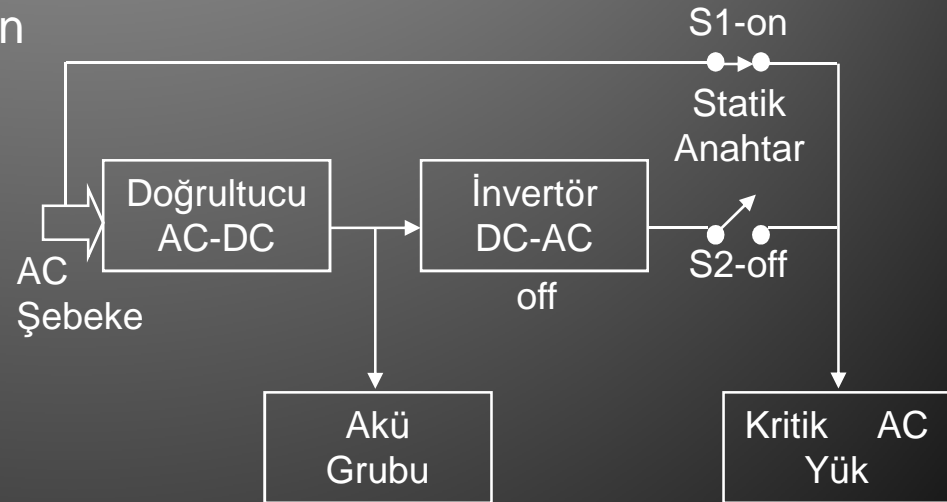
- Aşağıdaki Şekil-9.8’de ise orta ve yüksek güçlerde güçlerde daha çok kullanılan yüksek frekans geçişli bir primerden anahtarlama regülatör güç devresi görülmektedir.
- Şekildeki INV-1 yüksek frekansta çalışarak küçük boyutlu trafodan geçişi sağlamakta, trafo çıkışında elde edilen yüksek frekanslı AC gerilim ise doğrultulup filtre edildikten sonra INV-2 ile şebeke frekans AC’ye dönüştürülmektedir.



IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

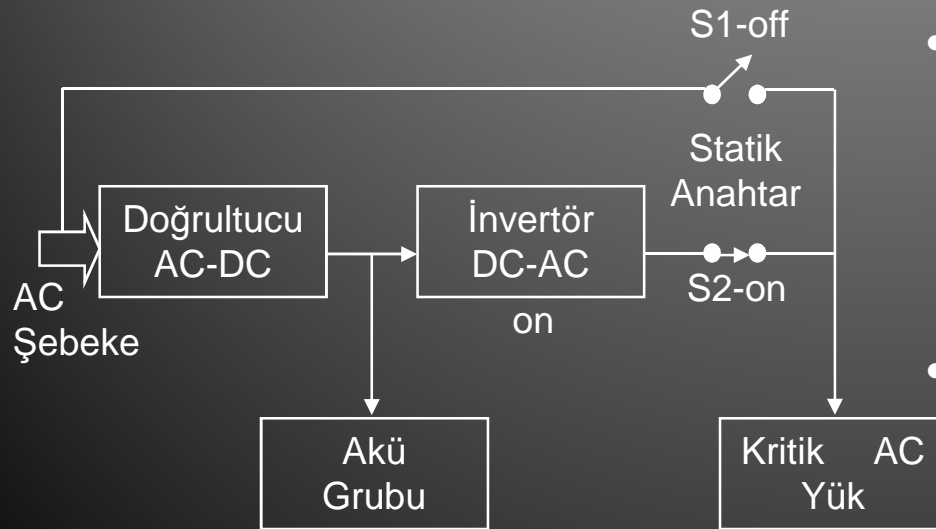
- **KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAKLARI;**
- AC güç kaynaklarının en önemli uygulama alanlarından birisi bilgisayar, test ve ölçüm cihazları vb. kritik ac yüklerin beslenmesi için kullanılmakta olan “Kesintisiz Güç Kaynakları (UPS)”dır.
- Kesintisiz güç kaynakları;
 - 1- Değişebilen şebeke geriliminden korunmak için,
 - 2- Değişebilen şebeke frekansından korunmak için,
 - 3- Şebeke kesintilerinden korunmak için,
 - 4- Şebekeden gelen parazitlerden korunmak için kullanılmaktadır.

- Kesintisiz güç kaynaklarının;
 - 1- Şebeke kesildiğinde devreye giren (off-line),
 - 2- Sürekli devrede bulunan (on-line) olarak iki türü vardır.
- Aşağıdaki Şekil-9.9’da off-line bir UPS blok şeması görülmektedir.



IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

- Aşağıdaki Şekil-9.10'da ise şebeke gerilimi olsun veya olmasın sürekli olarak devrede olan (on-line) bir kesintisiz güç kaynağının (UPS) temel blok şeması görülmektedir. Şekilde normal çalışma durumundaki pozisyonlar belirtilmiştir.



- Şekil-9.9'da görülen off-line UPS devresinde, şebeke gerilimi olduğu sürece kritik yük doğrudan şebekeden beslenmekte, aynı zamanda akü grubu da şarj edilmektedir. Şebeke kesildiğinde ise statik anahtarlar pozisyon değiştirmekte ve invertör çalışarak yükü beslemektedir.
- Şekil-9.10'da görülen on-line UPS devresinde ise şebeke gerilimi olsa da olmasa da invertör devrede kalarak temiz bir AC gerilimle yükü beslemektedir.
- Devrede görülen S1 anahtarı ise sadece UPS arızalandığında veya bakım sırasında "on" yapılır.

IX – ENDÜSTRİYEL GÜÇ KAYNAKLARI

ÖDEV-9

- 9.1) Endüstriyel güç kaynaklarından,
 - a- 220V-50Hz şebekeyle bağlantılı çalışacak, 1kW güce sahip, 220V-50Hz sabit ac çıkış gerilimi üretebilen bir kesintisiz güç kaynağı tasarlayarak prensip semasını tam olarak çiziniz.
 - b- Devrenin çalışmasını ve devrede kullanılan elemanların görevlerini maddeler halinde açıklayınız.
- 9.2) Endüstriyel güç kaynaklarından,
 - a- 220V-50Hz şebekede çalışacak, 1kW güce sahip, 100V-25V-12V dc çıkış gerilimleri üretebilen bir primer anahtarlmalı ve regüleli endüstriyel güç kaynağı tasarlayarak prensip semasını tam olarak çiziniz.
 - b- Devrenin çalışmasını ve devrede kullanılan elemanların görevlerini maddeler halinde açıklayınız.

Bölüm-10

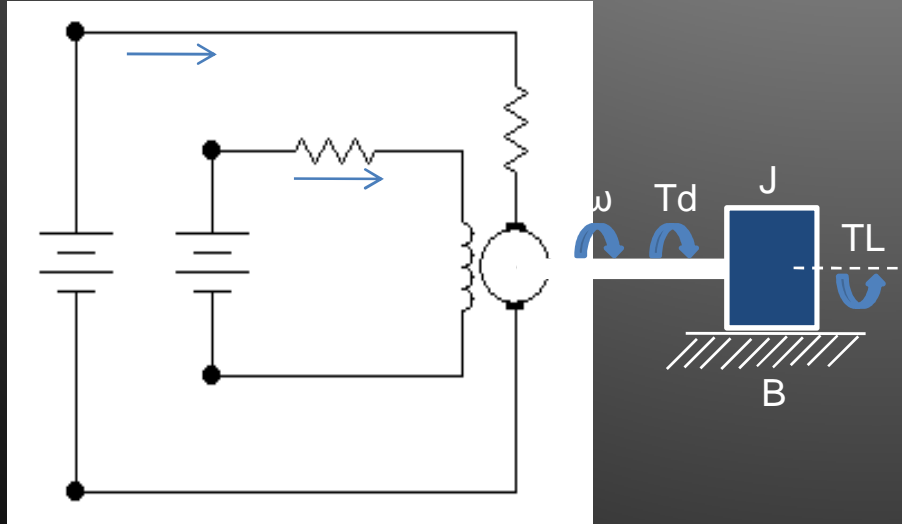
DC Motor Sürücüler

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **GİRİŞ;**
- DC motor sürücüler, doğru akım motorlarının etkin kontrolünü sağlamak amacıyla, temel güç elektroniği devreleri kullanılarak geliştirilmiş olan motor kontrol düzenekleridir. Bu sürücüler, daha çok klasik DC motorlar olarak isimlendirilen,
 - 1- Sabit mıknatıs uyarımlı dc motorların,
 - 2- Yabancı uyarımlı dc motorların,
 - 3- Seri uyarımlı dc motorların,kontrolunda kullanılmaktadır. Şönt ve kompunt motorlar ise kontrol için uygun değildir.
- Bilindiği gibi motor kontrolü denildiğinde 5 farklı kontrol alanı aklı gelmektedir. Bu kontrol alanları;
 - 1- Yol verme,
 - 2- Hız kontrolü,
 - 3- Tork kontrolü,
 - 4- Yön kontrolü,
 - 5- Frenleme kontrolüdür.
- Bu bölümde öncelikle DC motorlarla ilgili temel kavram ve eşitlikler kısaca hatırlatılacak, daha sonra da her üç tür motor için de sürücü yapıları, bağlantıları ve genel özellikleri ayrıntısıyla incelenecektir.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- DC Motorların Temel Yapı, Karakteristik ve Eşitlikleri;
- Kendileri pahalı ve uğraştırıcı olmalarına rağmen, kontrolleri ucuz ve kolay olan doğru akım motorlarının en temel türü yabancı uyarımlı motorun temel bağlantısı ve parametreleri aşağıdaki Şekil-10.1'de görülmektedir.



- Şekil-10.1'den hareketle;
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_a = I_a \cdot R_a + E_a$
 - 2- Rotorda indüklenen zıt gerilim,
 $E_a = k \cdot I_f \cdot \omega$
 - 3- Uyarma (stator) gerilimi,
 $V_f = I_f \cdot R_f$
 - 4- Motorun ürettiği tork (moment),
 $T_d = k \cdot I_f \cdot I_a$
veya,
 $T_d = B \cdot \omega + T_L$
 - 5- Motorun ürettiği güç,
 $P_d = T_d \cdot \omega$
 - 6- Motor hızı,
 $\omega = (V_a - I_a \cdot R_a) / (k \cdot I_f)$ yazılabilir.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Yabancı uyarımlı motor dışında yine kontrol için uygun olan ve pek çok yerde yaygın olarak kullanılmakta olan sabit mıknatıs uyarımlı ve seri uyarımlı motorların bazı eşitlikleri de aşağıda gösterildiği gibidir.
- Seri uyarımlı motorda,
 - 1- Rotor gerilimi,
$$V_a = I_a \cdot R_a \cdot R_f + E_a$$
 - 2- Rotorda indüklenen zıt gerilim,
$$E_a = k \cdot I_a \cdot \omega$$
 - 3- Motor hızı,
$$\omega = (V_a - I_a \cdot R_a \cdot R_f) / (k \cdot I_a)$$NOT: Diğer parametreler yabancı uyarımlı motorun eşitlikleri ile aynıdır.
- Sabit mıknatıs uyarımlı motorda,
 - 1- Rotor gerilimi,
$$V_a = I_a \cdot R_a + E_a$$
 - 2- Rotorda indüklenen zıt gerilim,
$$E_a = k \cdot \Phi \cdot \omega$$
 - 3- Motor hızı,
$$\omega = (V_a - I_a \cdot R_a) / (k \cdot \Phi)$$NOT: Diğer parametreler yabancı uyarımlı motorun eşitlikleri ile aynıdır.
- Yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak bu motorlarla ilgili temel hesaplamalar kolaylıkla yapılabilmektedir.
- Ayrıca motoru kontrol etmek için kullanılacak sürücü ile ilgili değerler de buradan bulunabilir.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

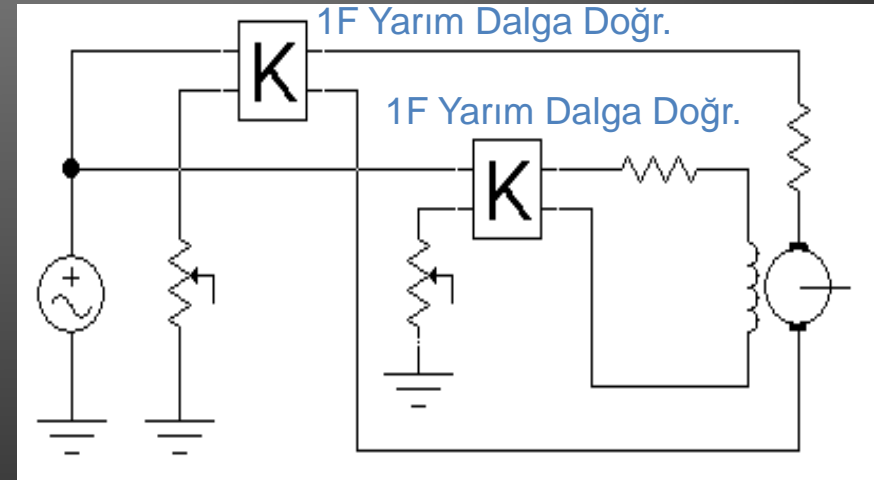
- **DC Motor Sürücü Devreleri;**
- DC motor sürücü devrelerini,
 - 1- Kontrollu doğrultuculu dc sürücüler,
 - 2- DC kıyıcı dc sürücüler,olmak üzere 2 temel grupta toplamak mümkündür.
- AC şebeke geriliminin olduğu yerlerde motoru kontrol etmek için gerekli olan ayarlı DC gerilim kontrollu doğrultucular yardımıyla AC şebekeden sağlanır.
- AC şebekenin olmadığı yerlerde veya seyyar ortamlarda ise bu ayarlı gerilim herhangi bir DC kaynaktan DC kıyıcılarla sağlanır.
- **1- Kontrollu doğrultuculu DC sürücüler;**

Kontrollu doğrultuculu dc sürücü devrelerini,

 - 1- Bir fazlı dc sürücüler,
 - 2- Üç fazlı dc sürücüler,olmak üzere iki temel grup altında toplamak mümkün olmaktadır.
- 8-10kW seviyelerine kadar olan düşük güçlü motorlarda 1 fazlı kontrollu doğrultuculu sürücüler, bunun üzerindeki güçlerde ise 3 fazlı kontrollu doğrultuculu sürücü devreleri kullanılmaktadır.
- Bu devrelerin kullanımı her üç motor türü için incelenecektir.

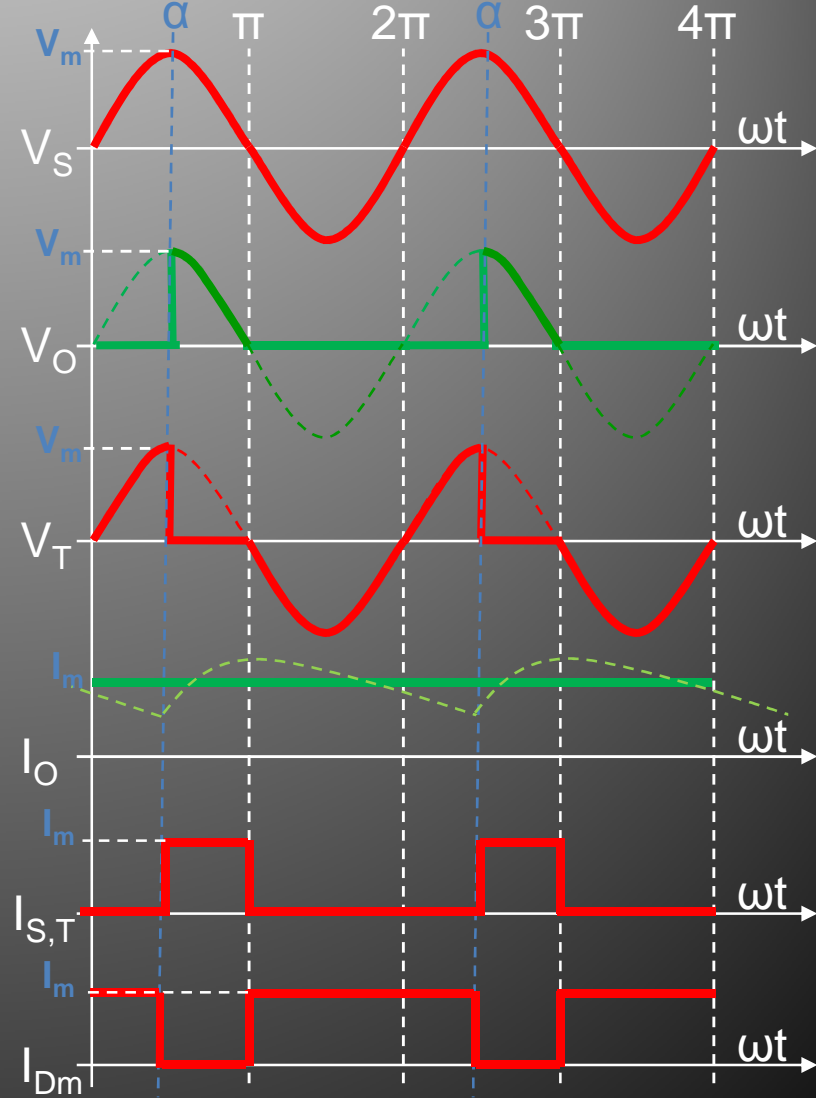
X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **1a) Bir fazlı dc sürücüler;**
- Düşük güçlü dc motorların kontrolunda kullanılan bir fazlı dc sürücülerin 4 farklı türü bulunmaktadır. Bunlar,
 - 1) Yarım dalga sürücü,
 - 2) Tam dalga yarım kontrollu sür.
 - 3) Tam dalga tam kontrollu sür.
 - 4) Tam kontrollu çiftli sürücüdür.
- Yan taraftaki Şekil-10.2'de yabancı uyarımlı bir motorun bir fazlı yarım dalga sürücü ile hem anma hızının altında hem de anma hızının üstünde kontrolunun sağlanabileceği sürücü devresinin prensip şeması görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi motorun hem rotor sargısı hem de stator sargısı ayrı ayrı 1 fazlı yarım dalga doğrultucular kullanılarak beslenmiştir.
- Doğrultucu-1 kullanılarak motor anma hızının altındaki hızlarda, doğrultucu-2 kullanılarak da anma hızının üstündeki hızlarda kontrol edilebilmektedir.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.2’de görülen sürücü devresi kullanılarak motora, yol vermek, hız ve tork kontrolü yapmak ve ayrıca “Dm” diyodu kaldırılarak re-jeneratif frenleme kontrolü yapılabilir.
- Bu sürücü kullanılarak yapılamayacak tek kontrol yön kontrolüdür ki bilindiği gibi dc motorlarda yön kontrolü için rotor veya stator sargılarından birisinden geçen akımın yönünü değiştirmek gerekmektedir.
- Yan taraftaki Şekil-10.3’de ise 1 fazlı yarım dalga sürücünün rotor devresinin temel dalga şekilleri görülmektedir.

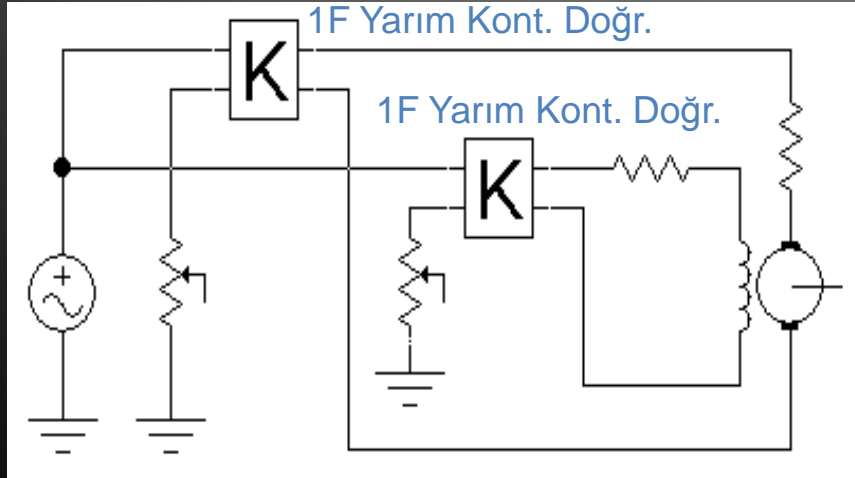


X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.3'de verilen temel dalga şekillerinde yararlanarak,
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_a = V_m \cdot (1 + \cos\alpha) / 2\pi$
 - 2- Uyarma (stator) gerilimi,
 $V_f = V_m \cdot (1 + \cos\alpha) / 2\pi$
 - 3- Rotor akımı,
 $I_a = (V_a - E_g) / R_a$
 - 4- Uyarma (stator) akımı,
 $I_f = V_f / R_f$
 - 5- Kaynaktan çekilen akım,
 $I_s = I_a \cdot \sqrt{[(\pi - \alpha) / 2\pi]}$
 - 6- Güç katsayısı,
 $\cos\phi = P / S$
 $\cos\phi = V_a \cdot I_a / V_s \cdot I_s$ 'den bulunur.
- Aynı sürücü devresi sabit mıknatıslı veya seri dc motora uygulandığı zaman eşitliklerde, daha önce açıklandığı gibi küçük değişiklikler olabilecektir.
- Ayrıca eğer yabancı uyarımlı motorda sadece anma hızının altında kontrol yapılması gerekiyorsa stator devresine kontrollü doğrultucu yerine kontrolsüz doğrultucu bağlanmalı.
- Aynı şekilde eğer sadece anma hızının üstünde kontrol gerçekleştirilmek isteniyorsa, rotor devresi kontrolsüz, stator devresi ise kontrollü doğrultucu üzerinden beslenmelidir.

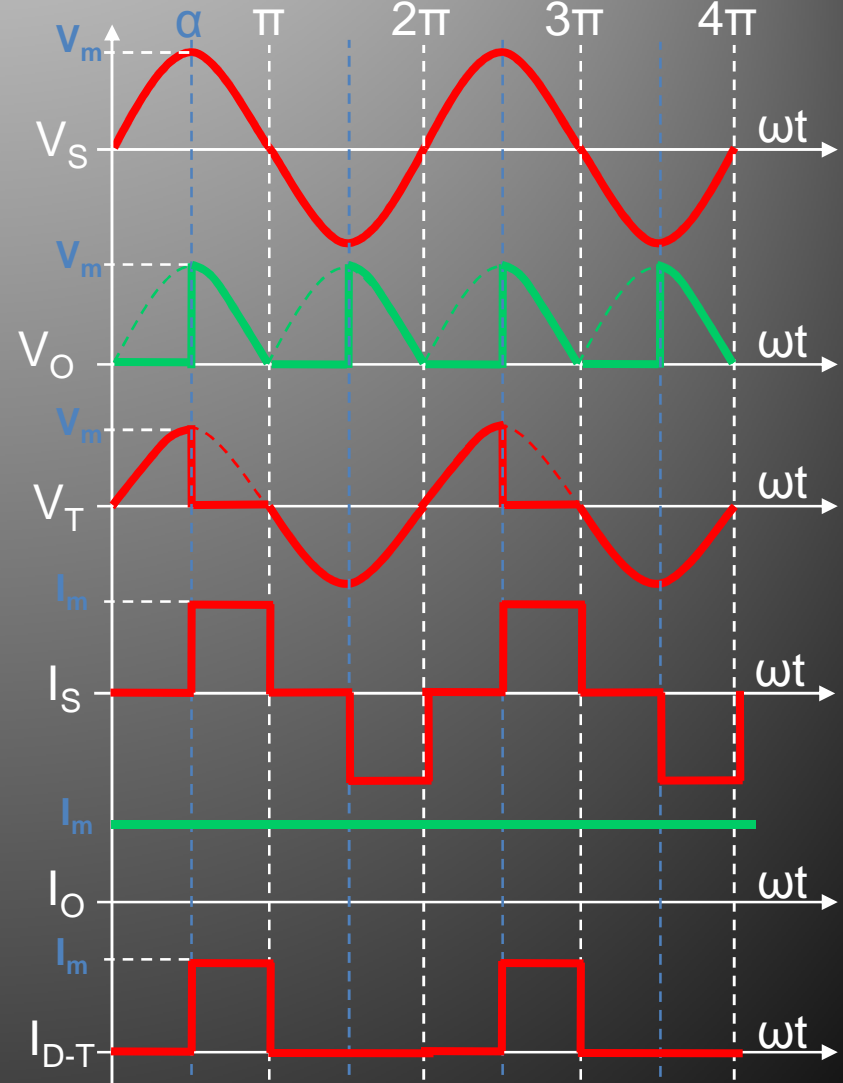
X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.4'de ise yabancı uyarımlı bir motoru süren, tam dalga yarım kontrollü sürücü prensip şeması görülmektedir. Sadece 1. bölgede çalışan bu sürücü kullanılarak yön ve frenleme kontrolleri dışındaki kontrol işlemleri gerçekleştirilebilir.
- Yan taraftaki Şekil-10.5'de de bu devrenin çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir.



M.Necdet YILDIZ

GÜÇ ELEKTRONİĞİ DERS NOTLARI-4

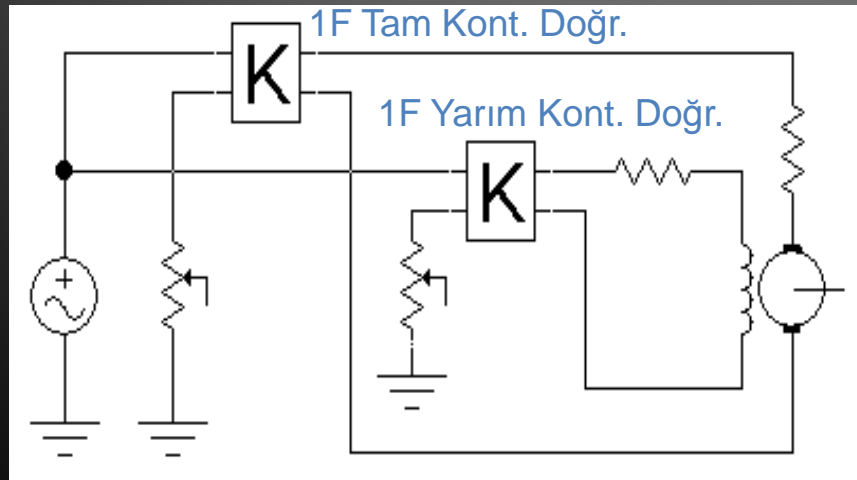


X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.5'de verilen temel dalga şekillerinde yararlanarak,
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_a = V_m \cdot (1 + \cos\alpha) / \pi$
 - 2- Uyarma (stator) gerilimi,
 $V_f = V_m \cdot (1 + \cos\alpha) / \pi$
 - 3- Rotor akımı,
 $I_a = (V_a - E_g) / R_a$
 - 4- Uyarma (stator) akımı,
 $I_f = V_f / R_f$
 - 5- Kaynaktan çekilen akım,
 $I_s = I_a \cdot \sqrt{[(\pi - \alpha) / \pi]}$
 - 6- Güç katsayısı,
 $\cos\phi = P / S$
 $\cos\phi = V_a \cdot I_a / V_s \cdot I_s$ 'den bulunur.
- Aynı sürücü devresi sabit mıknatıslı veya seri dc motora uygulandığı zaman eşitliklerde, daha önce açıklandığı gibi küçük değişiklikler olabilecektir.
- Ayrıca eğer yabancı uyarımlı motorda sadece anma hızının altında kontrol yapılması gerekiyorsa stator devresine kontrollü doğrultucu yerine kontrolsüz doğrultucu bağlanmalı.
- Aynı şekilde eğer sadece anma hızının üstünde kontrol gerçekleştirilmek isteniyorsa, rotor devresi kontrolsüz, stator devresi ise kontrollü doğrultucu üzerinden beslenmelidir.

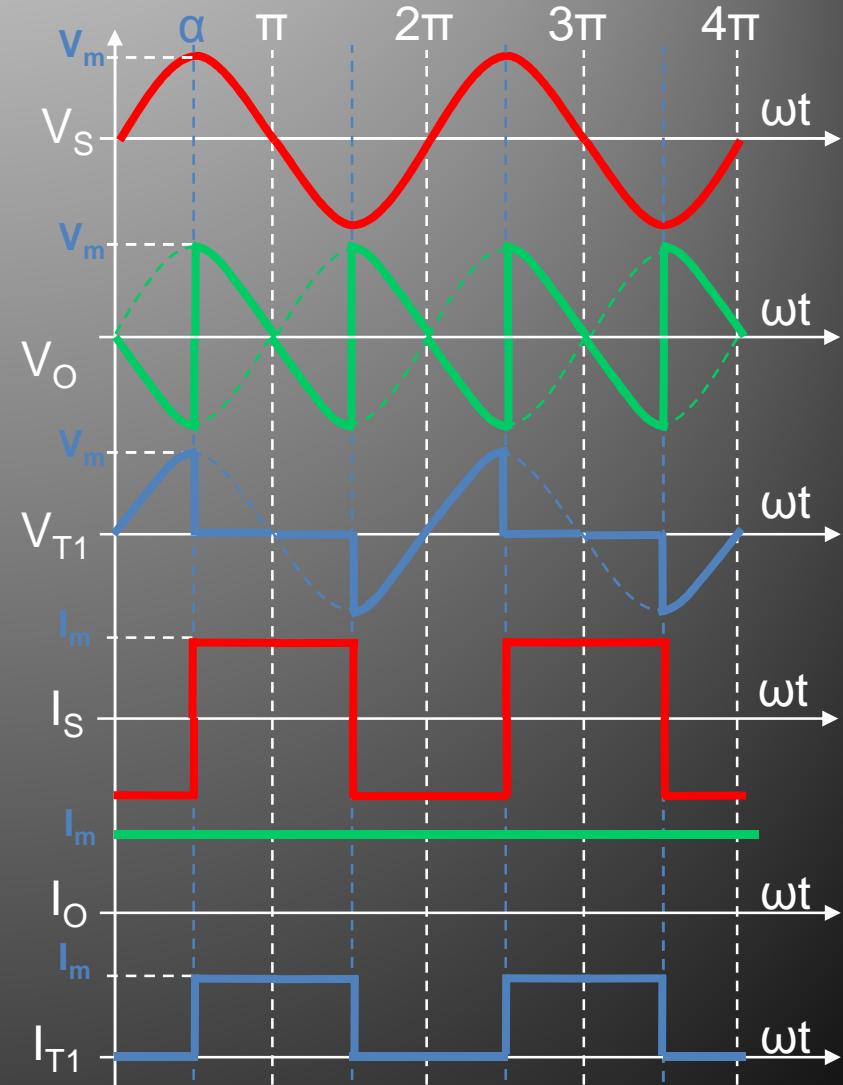
X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.6'da ise yabancı uyarımlı bir motoru süren, tam dalga tam kontrollü sürücü prensip şeması görülmektedir. 1. ve 2. bölgelerde çalışan bu sürücü kullanılarak yön kontrolü dışındaki tüm kontrol işlemleri gerçekleştirilebilir.
- Yan taraftaki Şekil-10.7'de de bu devrenin çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir.



M.Necdet YILDIZ

GÜÇ ELEKTRONİĞİ DERS NOTLARI-4

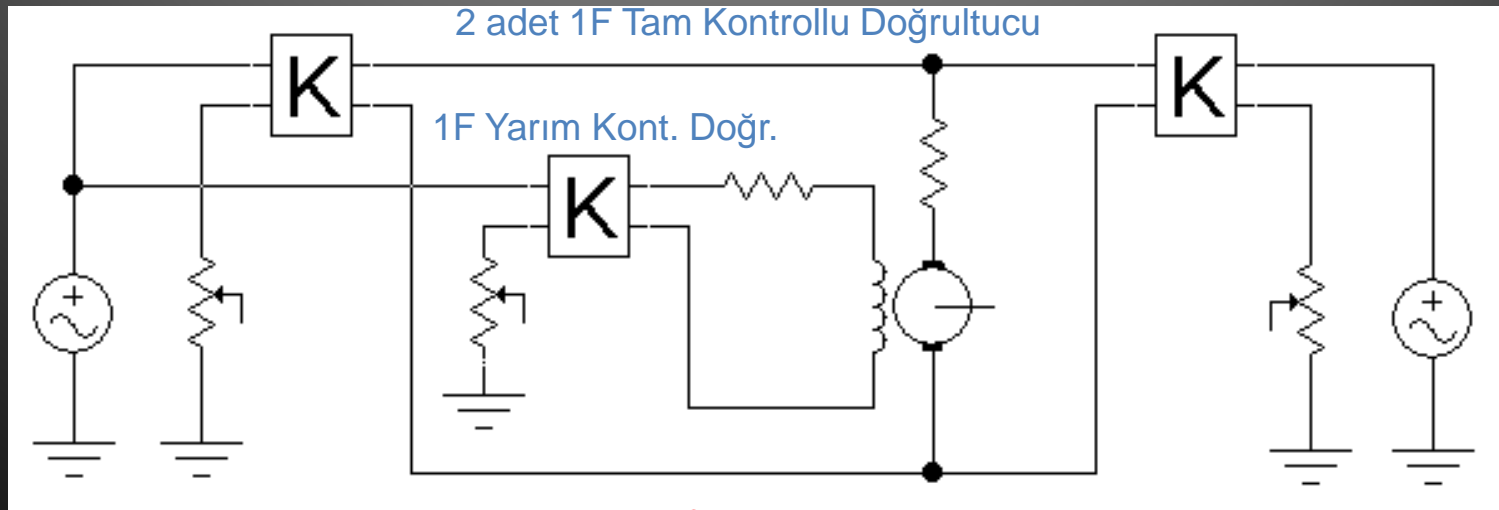


X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.5'de verilen temel dalga şekillerinde yararlanarak,
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_a = 2.V_m \cdot \cos\alpha / \pi$
 - 2- Uyarma (stator) gerilimi,
 $V_f = 2.V_m \cdot (1 + \cos\alpha) / \pi$
 - 3- Rotor akımı,
 $I_a = (V_a - E_g) / R_a$
 - 4- Uyarma (stator) akımı,
 $I_f = V_f / R_f$
 - 5- Kaynaktan çekilen akım,
 $I_s = I_a$
 - 6- Güç katsayısı,
 $\cos\phi = P / S$
 $\cos\phi = V_a \cdot I_a / V_s \cdot I_s$ 'den bulunur.
- Aynı sürücü devresi sabit mıknatıslı veya seri dc motora uygulandığı zaman eşitliklerde, daha önce açıklandığı gibi küçük değişiklikler olabilecektir.
- Ayrıca eğer yabancı uyarımlı motorda sadece anma hızının altında kontrol yapılması gerekiyorsa stator devresine kontrollü doğrultucu yerine kontrolsüz doğrultucu bağlanmalı.
- Aynı şekilde eğer sadece anma hızının üstünde kontrol gerçekleştirilmek isteniyorsa, rotor devresi kontrolsüz, stator devresi ise kontrollü doğrultucu üzerinden beslenmelidir.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.8'de yabancı uyartımlı bir motoru süren, tam dalga tam kontrollü çiftli sürücü devresinin prensip şeması görülmektedir. Tüm bölgelerde çalışan bu sürücü kullanılarak motorun yol verme, hız kontrolü, tork kontrolü, yön kontrolü ve frenleme kontrolü olmak üzere tüm kontrolleri rotor devresinden gerçekleştirilebilir.
- Şekil-10.8'den görüldüğü gibi yabancı uyartımlı motorun rotor devresi çiftli doğrultucu üzerinden, stator devresi ise tam dalga yarım kontrollü doğrultucu üzerinden beslenmektedir.
- Rotoru besleyen "D1p" aktif yapıldığında motor saat yönünde, "D2n" aktif yapıldığında ise motor saatin tersi yönünde dönecektir.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **Örnek:**

- Rotor direnci $0,25\Omega$ stator direnci 100Ω , motor sabiti $0,71V/A\text{-rad/s}$ ve $45Nm$ 'lik yük altındaki hızı $1000d/dak.$ olan yabancı uyarımlı dc motor, $220V\text{-}50Hz$ şebekede,
- a) Bir fazlı yarım dalga kontrollü sürücü kullanılarak anma hızının altında ve üstünde sürülmektedir,
- b) Tam dalga yarım kontrollü sürücü kullanılarak anma hızının altında ve üstünde sürülmektedir,
- Bu durumlar için, alan (uyarma) akımını, rotor devresinin uyarma açısını, devrenin giriş güç katsayısını hesaplayınız.

- **Çözüm:**

- a) Yarım dalga kontrollü sürücü devresi için;

$$V_f = V_m / \pi$$

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

$$V_f = 311 / 3,14 = 99V$$

$$I_f = V_f / R_f = 99 / 100 = 0,99A$$

$$I_a = T_d / (k \cdot I_f)$$

$$I_a = 45 / (0,71 \cdot 0,99) = 64A$$

$$E_g = k \cdot \omega \cdot I_f$$

$$E_g = 0,71 \cdot (1000 \cdot \pi / 30) \cdot 0,99 = 73,5V$$

$$V_a = I_a \cdot R_a + E_g$$

$$V_a = 64 \cdot 0,25 + 73,5 = 89,5V$$

$$V_a = V_m \cdot (1 + \cos\alpha) / 2\pi$$

$$\cos\alpha = (V_a \cdot 2\pi / V_m) - 1$$

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

$$\cos\alpha = (89,5 \cdot 2 \cdot 3,14 / 311) - 1$$

$$\cos\alpha = 0,807$$

$$\alpha = \cos\alpha^{-1} = 36,2^\circ = 36,2/180 = 0,2\pi$$

$$I_s = I_a \cdot \sqrt{[(\pi - \alpha)/2\pi]}$$

$$I_s = 64 \cdot \sqrt{[(\pi - 0,2\pi)/2\pi]} = 40,47A$$

$$PF = \cos\phi = P / S = I_a \cdot V_a / I_s \cdot V_s$$

$$PF = 64 \cdot 89,5 / 40,4 \cdot 220 = 0,644 \text{ geri.}$$

- b) Tam dalga yarım kontrollu sürücü devresi için;

$$V_f = 2 \cdot V_m / \pi$$

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

$$V_f = 2 \cdot 311 / 3,14 = 198V$$

$$I_f = V_f / R_f = 198 / 100 = 1,98A$$

$$I_a = T_d / (k \cdot I_f)$$

$$I_a = 45 / (0,71 \cdot 1,98) = 32,14A$$

$$E_g = k \cdot \omega \cdot I_f$$

$$E_g = 0,71 \cdot (1000 \cdot \pi / 30) \cdot 1,98 = 147V$$

$$V_a = I_a \cdot R_a + E_g$$

$$V_a = 32 \cdot 0,25 + 147 = 155V$$

$$V_a = V_m \cdot (1 + \cos\alpha) / \pi$$

$$\cos\alpha = (V_a \cdot \pi / V_m) - 1$$

$$\cos\alpha = (155 \cdot 3,14 / 311) - 1$$

$$\cos\alpha = 0,564$$

$$\alpha = \cos\alpha^{-1} = 55,66^\circ$$

$$I_s = I_a \cdot \sqrt{[(\pi - \alpha)/\pi]}$$

$$I_s = 32 \cdot \sqrt{[(\pi - 0,3\pi)/\pi]} = 26,77A$$

$$PF = \cos\phi = P / S = I_a \cdot V_a / I_s \cdot V_s$$

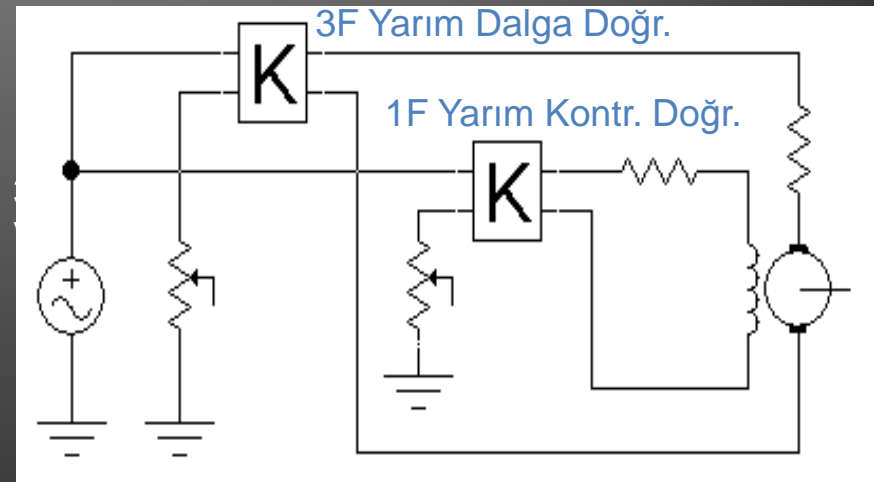
$$PF = 32 \cdot 155 / 26,7 \cdot 220 = 0,844 \text{ geri.}$$

olarak

bulunabilecektir.

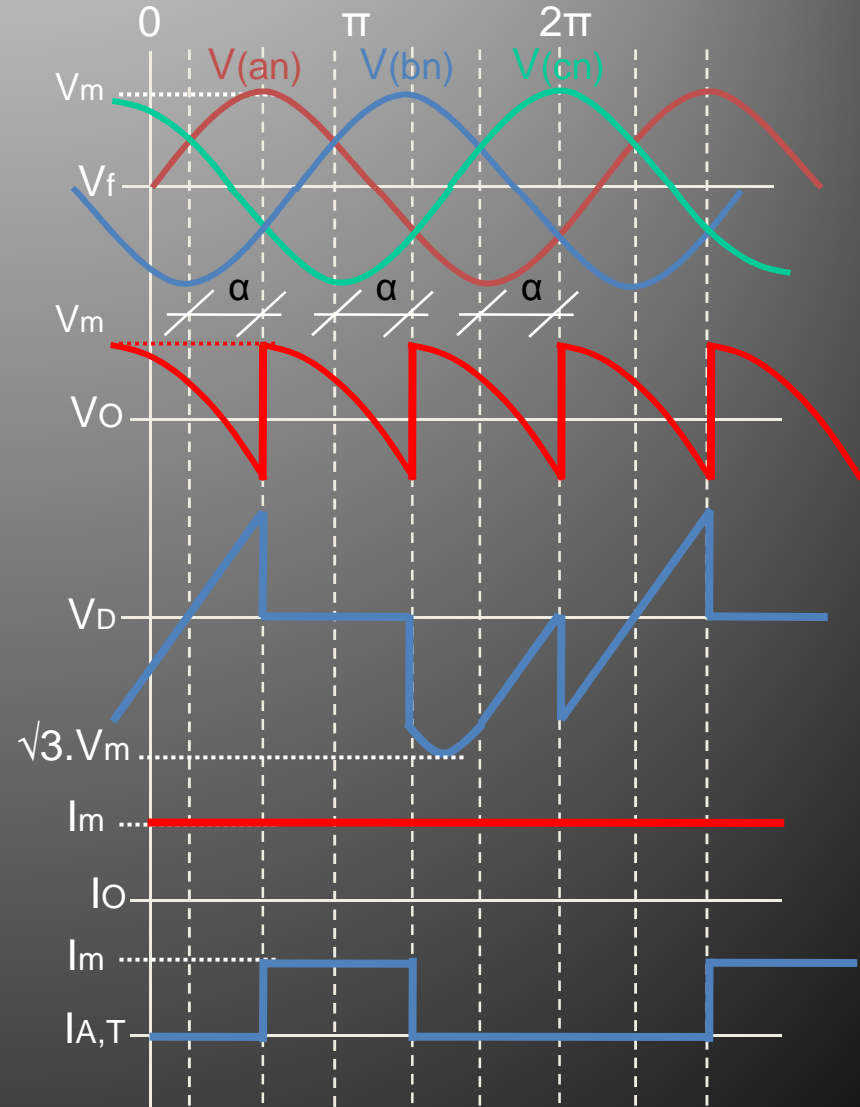
X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **1b) Üç fazlı dc sürücüler;**
- Orta ve yüksek güçlü dc motorların kontrolunda kullanılan üç fazlı dc sürücülerin 4 farklı türü bulunmaktadır. Bunlar,
 - 1) Yarım dalga sürücü,
 - 2) Tam dalga yarım kontrollu sür.
 - 3) Tam dalga tam kontrollu sür.
 - 4) Tam kontrollu çiftli sürücüdür.
- Yan taraftaki Şekil-10.9'da yabancı uyarımlı bir motorun bir fazlı yarım dalga sürücü ile hem anma hızının altında hem de anma hızının üstünde kontrolunun sağlanabileceği sürücü devresinin prensip şeması görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi motorun hem rotor sargısı hem de stator sargısı ayrı ayrı 3 fazlı yarım dalga doğrultucular kullanılarak beslenmiştir.
- Doğrultucu-1 kullanılarak motor anma hızının altındaki hızlarda, doğrultucu-2 kullanılarak da anma hızının üstündeki hızlarda kontrol edilebilmektedir.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.9'da görülen sürücü devresi kullanılarak motora, yol vermek, hız ve tork kontrolü yapmak ve ayrıca "Dm" diyodu kaldırılarak re-jeneratif frenleme kontrolü yapılabilir.
- Bu sürücü kullanılarak yapılamayacak tek kontrol yön kontrolüdür ki bilindiği gibi dc motorlarda yön kontrolü için rotor veya stator sargılarından birisinden geçen akımın yönünü değiştirmek gerekmektedir.
- Yan taraftaki Şekil-10.10'da ise 3 fazlı yarım dalga sürücünün rotor devresinin temel dalga şekilleri görülmektedir.

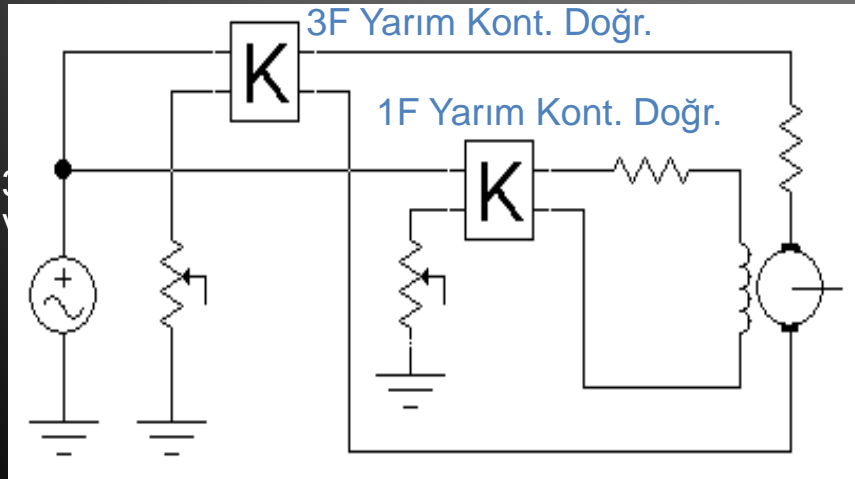


X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.10'da verilen temel dalga şekillerinde yararlanarak,
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_a = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m \cdot \cos \alpha / 2\pi$
 - 2- Uyarma (stator) gerilimi,
 $V_f = V_m \cdot (1 + \cos \alpha) / \pi$
 - 3- Rotor akımı,
 $I_a = (V_a - E_g) / R_a$
 - 4- Uyarma (stator) akımı,
 $I_f = V_f / R_f$
 - 5- Kaynaktan çekilen akım,
 $I_s = I_a \cdot \sqrt{[(\pi - \alpha) / 2\pi]}$
 - 6- Güç katsayısı,
 $\cos \phi = P / S$
 $\cos \phi = V_a \cdot I_a / V_s \cdot I_s$ 'den bulunur.
- Aynı sürücü devresi sabit mıknatıslı veya seri dc motora uygulandığı zaman eşitliklerde, daha önce açıklandığı gibi küçük değişiklikler olabilecektir.
- Ayrıca eğer yabancı uyarımlı motorda sadece anma hızının altında kontrol yapılması gerekiyorsa stator devresine kontrollü doğrultucu yerine kontrolsüz doğrultucu bağlanmalı.
- Aynı şekilde eğer sadece anma hızının üstünde kontrol gerçekleştirilmek isteniyorsa, rotor devresi kontrolsüz, stator devresi ise kontrollü doğrultucu üzerinden beslenmelidir.

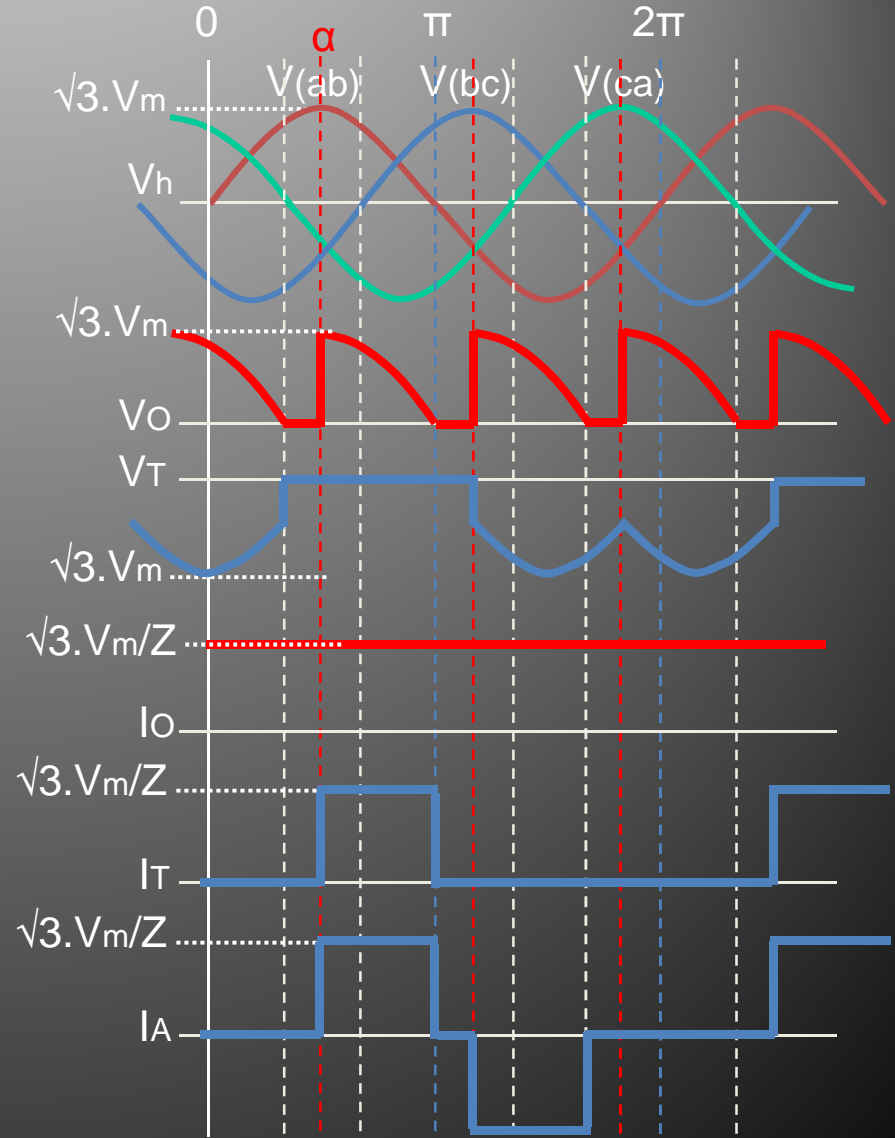
X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.11'de yabancı uyartımlı bir motoru süren, tam dalga yarım kontrollü sürücü prensip şeması görülmektedir. Sadece 1. bölgede çalışan bu sürücü kullanılarak yön ve frenleme kontrolleri dışındaki kontrol işlemleri gerçekleştirilebilir.
- Yan taraftaki Şekil-10.12'de de bu devrenin çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir.



M.Necdet YILDIZ

GÜÇ ELEKTRONİĞİ DERS NOTLARI-4

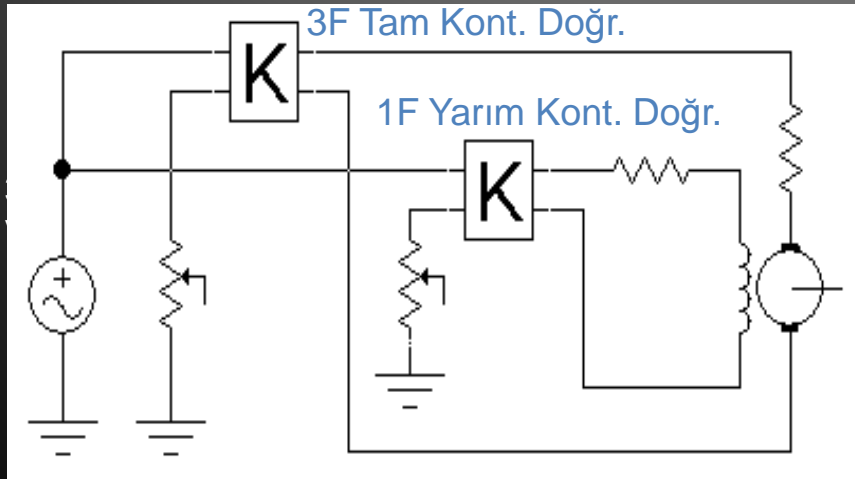


X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.12'de verilen temel dalga şekillerinde yararlanarak,
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_a = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m \cdot (1 + \cos \alpha) / 2\pi$
 - 2- Uyarma (stator) gerilimi,
 $V_f = V_m \cdot (1 + \cos \alpha) / \pi$
 - 3- Rotor akımı,
 $I_a = (V_a - E_g) / R_a$
 - 4- Uyarma (stator) akımı,
 $I_f = V_f / R_f$
 - 5- Kaynaktan çekilen akım,
 $I_s = I_a \cdot \sqrt{[(\pi - \alpha) / \pi]}$
 - 6- Güç katsayısı,
 $\cos \phi = P / S$
 $\cos \phi = V_a \cdot I_a / V_s \cdot I_s$ 'den bulunur.
- Aynı sürücü devresi sabit mıknatıslı veya seri dc motora uygulandığı zaman eşitliklerde, daha önce açıklandığı gibi küçük değişiklikler olabilecektir.
- Ayrıca eğer yabancı uyarımlı motorda sadece anma hızının altında kontrol yapılması gerekiyorsa stator devresine kontrollü doğrultucu yerine kontrolsüz doğrultucu bağlanmalı.
- Aynı şekilde eğer sadece anma hızının üstünde kontrol gerçekleştirilmek isteniyorsa, rotor devresi kontrolsüz, stator devresi ise kontrollü doğrultucu üzerinden beslenmelidir.

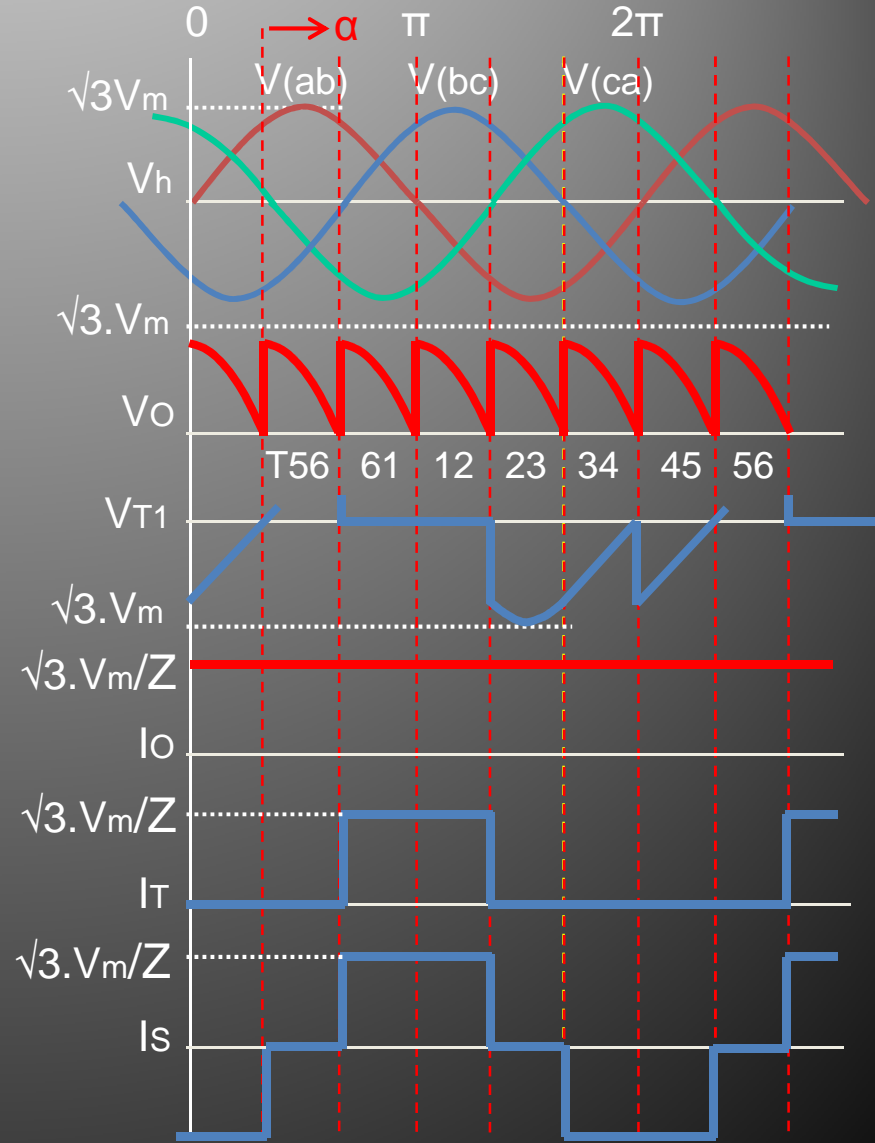
X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.13'de yabancı uyartımlı bir motoru süren, tam dalga tam kontrollü sürücü prensip şeması görülmektedir. 1. ve 2. bölgelerde çalışan bu sürücü kullanılarak yön kontrolü dışındaki tüm kontrol işlemleri gerçekleştirilebilir.
- Yan taraftaki Şekil-10.14'de de bu devrenin çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri verilmiştir.



M.Necdet YILDIZ

GÜÇ ELEKTRONİĞİ DERS NOTLARI-4

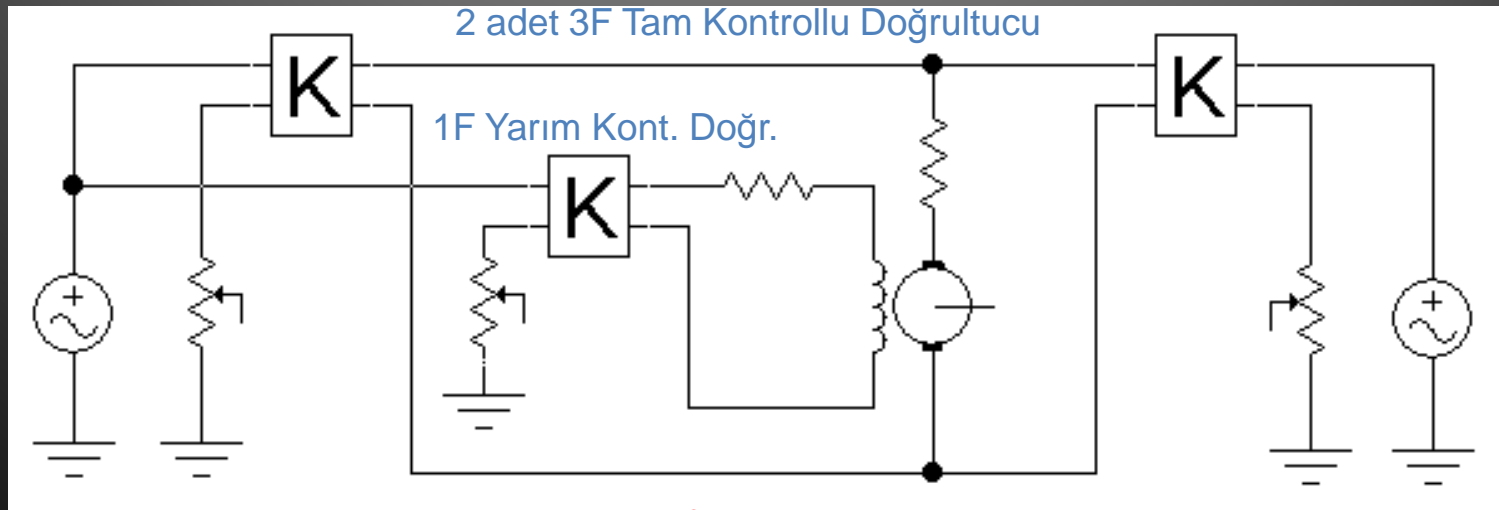


X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.14'de verilen temel dalga şekillerinde yararlanarak,
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_a = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m \cdot \cos \alpha / \pi$
 - 2- Uyarma (stator) gerilimi,
 $V_f = 2 \cdot V_m \cdot (1 + \cos \alpha) / \pi$
 - 3- Rotor akımı,
 $I_a = (V_a - E_g) / R_a$
 - 4- Uyarma (stator) akımı,
 $I_f = V_f / R_f$
 - 5- Kaynaktan çekilen akım,
 $I_s = I_a$
 - 6- Güç katsayısı,
 $\cos \phi = P / S$
 $\cos \phi = V_a \cdot I_a / V_s \cdot I_s$ 'den bulunur.
- Aynı sürücü devresi sabit mıknatıslı veya seri dc motora uygulandığı zaman eşitliklerde, daha önce açıklandığı gibi küçük değişiklikler olabilecektir.
- Ayrıca eğer yabancı uyarımlı motorda sadece anma hızının altında kontrol yapılması gerekiyorsa stator devresine kontrollü doğrultucu yerine kontrolsüz doğrultucu bağlanmalı.
- Aynı şekilde eğer sadece anma hızının üstünde kontrol gerçekleştirilmek isteniyorsa, rotor devresi kontrolsüz, stator devresi ise kontrollü doğrultucu üzerinden beslenmelidir.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.15’de yabancı uyarımlı bir motoru süren, tam dalga tam kontrollü çiftli sürücü devresinin prensip şeması görülmektedir. Tüm bölgelerde çalışan bu sürücü kullanılarak motorun yol verme, hız kontrolü, tork kontrolü, yön kontrolü ve frenleme kontrolü olmak üzere tüm kontrolleri rotor devresinden gerçekleştirilebilir.
- Şekil-10.15’den görüldüğü gibi yabancı uyarımlı motorun rotor devresi çiftli doğrultucu üzerinden, stator devresi ise 1 faz tam dalga yarım kontrollü doğrultucu üzerinden beslenmektedir.
- Rotoru besleyen “D1p” aktif yapıldığında motor saat yönünde, “D1n” aktif yapıldığında ise motor saatin tersi yönünde dönecektir.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **Örnek:**

- Rotor direnci $0,25\Omega$ stator direnci 100Ω , motor sabiti $0,71\text{V/A-rad/s}$ ve 45Nm 'lik yük altındaki hızı 1000d/dak. olan yabancı uyarımlı dc motor, $380\text{V}/3\text{faz}$ şebekede,
- a) Üç fazlı yarım dalga kontrollü sürücü kullanılarak anma hızının altında ve üstünde sürülmektedir,
- b) Tam dalga yarım kontrollü sürücü kullanılarak anma hızının altında ve üstünde sürülmektedir,
- Bu durumlar için, alan (uyarma) akımını, rotor devresinin uyarma açısını, devrenin giriş güç katsayısını hesaplayınız.

- **Çözüm:**

- a) Yarım dalga kontrollü sürücü devresi için;

$$V_f = 2 \cdot V_m / \pi$$

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

$$V_f = 2 \cdot 311 / 3,14 = 198\text{V}$$

$$I_f = V_f / R_f = 198 / 100 = 1,98\text{A}$$

$$I_a = T_d / (k \cdot I_f)$$

$$I_a = 45 / (0,71 \cdot 1,98) = 32\text{A}$$

$$E_g = k \cdot \omega \cdot I_f$$

$$E_g = 0,71 \cdot (1000 \cdot \pi / 30) \cdot 1,98 = 147\text{V}$$

$$V_a = I_a \cdot R_a + E_g$$

$$V_a = 32 \cdot 0,25 + 147 = 155\text{V}$$

$$V_a = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m \cdot \cos\alpha / 2\pi$$

$$\cos\alpha = V_a \cdot 2\pi / 3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_m$$

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

$$\cos\alpha = 155.6,28 / 3.\sqrt{3}.311$$

$$\cos\alpha = 0,602$$

$$\alpha = \cos\alpha^{-1} = 52,9^\circ = 52,9/180 = 0,29\pi$$

$$I_s = I_a.\sqrt{[(\pi-\alpha)/2\pi]}$$

$$I_s = 32.\sqrt{[(\pi-0,29\pi)/2\pi]} = 19A$$

$$PF = \cos\phi = P / S = I_a.V_a / I_s.V_s$$

$$PF = 32.155 / 19.380 = 0,687 \text{ geri.}$$

- b) Tam dalga yarım kontrollu sürücü devresi için;

$$V_f = 2.V_m / \pi$$

$$V_m = 220.\sqrt{2} = 311V$$

$$V_f = 2.311 / 3,14 = 198V$$

$$I_f = V_f / R_f = 198 / 100 = 1,98A$$

$$I_a = T_d / (k.I_f)$$

$$I_a = 45 / (0,71.1,98) = 32A$$

$$E_g = k.\omega.I_f$$

$$E_g = 0,71.(1000.\pi/30).1,98 = 147V$$

$$V_a = I_a.R_a + E_g$$

$$V_a = 32.0,25 + 147 = 155V$$

$$V_a = 3.\sqrt{3}.V_m.(1 + \cos\alpha) / 2\pi$$

$$\cos\alpha = (V_a.2\pi / 3.\sqrt{3}.V_m) - 1$$

$$\cos\alpha = (155.6,28 / 3.\sqrt{3}.311) - 1$$

$$\cos\alpha = -0,397$$

$$\alpha = \cos\alpha^{-1} = 113,2^\circ = 0,62\pi$$

$$I_s = I_a.\sqrt{[(\pi-\alpha)/\pi]}$$

$$I_s = 32.\sqrt{[(\pi-0,62\pi)/\pi]} = 19,7A$$

$$PF = \cos\phi = P / S = I_a.V_a / I_s.V_s$$

$$PF = 32.155 / 19,7.380 = 0,662 \text{ geri.}$$

olarak

bulunabilecektir.

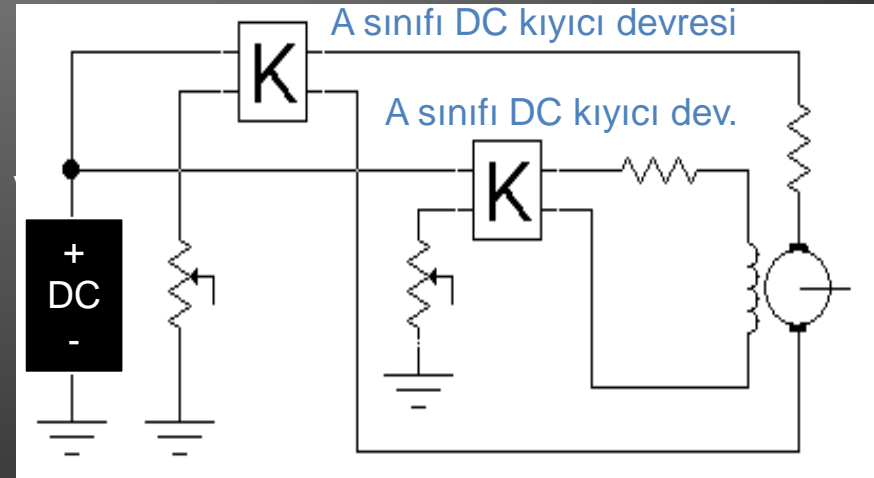
ÖDEV-10

- 10.1) Rotor direnci $0,35\Omega$ stator direnci 120Ω , motor sabiti $0,75V/A\text{-rad/s}$ ve $40Nm$ 'lik yük altındaki hızı $1100d/dak.$ olan yabancı uyartımlı dc motor, $220V\text{-}50Hz$ şebekede, bir fazlı tam dalga tam kontrollü sürücü kullanılarak anma hızının altında ve üstünde sürülmek istenmektedir. Bu durumda,
 - a) Devre şemasını tam ve açık olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - c) Alan (uyarma) akımını, rotor devresinin uyarma açısını, devrenin giriş güç katsayısını hesaplayınız.
- 10.2) Rotor direnci $0,35\Omega$ stator direnci 120Ω , motor sabiti $0,75V/A\text{-rad/s}$ ve $40Nm$ 'lik yük altındaki hızı $1100d/dak.$ olan yabancı uyartımlı dc motor, $220V\text{-}50Hz$ şebekede, üç fazlı tam dalga tam kontrollü sürücü kullanılarak anma hızının altında sürülmek istenmektedir. Bu durumda,
 - a) Devre şemasını tam ve açık olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - c) Alan (uyarma) akımını, rotor devresinin uyarma açısını, devrenin giriş güç katsayısını hesaplayınız.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

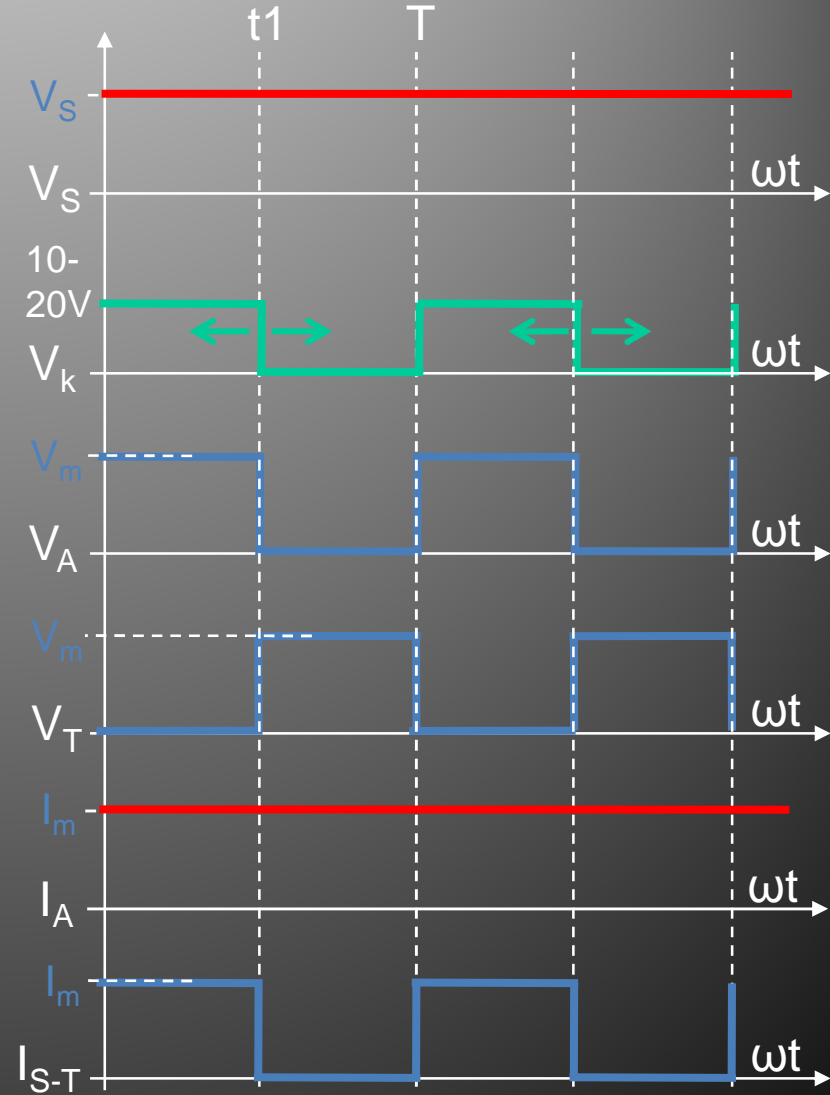
- **2- DC Kıyıcılı Sürücüler;**
- Bilindiği gibi DC-DC dönüştürücülerin bir türü olan DC kıyıcıların,
 - 1- A sınıfı DC kıyıcılar,
 - 2- B sınıfı DC kıyıcılar,
 - 3- C sınıfı DC kıyıcılar,
 - 4- D sınıfı DC kıyıcılar,
 - 5- E sınıfı DC kıyıcılar,olmak üzere toplam 5 türü bulunmasına rağmen DC motor kontrolünde bu türlerden,
 - a) A sınıfı DC sürücüler,
 - b) C sınıfı DC sürücüler,
 - c) E sınıfı DC sür. kullanılmaktadır.

- **A sınıfı DC sürücüler;**
- A sınıfı DC sürücüler, doğru akım motorlarının yön ve frenleme kontrolü dışındaki kontrollerini gerçekleştirebilen basit sürücü devreleridir.
- Şekil-10.16'da A sınıfı bir kıyıcı ile anma hızının altında ve üstünde kontrol edilebilen yabancı uyartım motor bağlantısı görülmektedir.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.16'da görülen sürücü devresi kullanılarak motora, yol vermek, hız ve tork kontrolü yapmak mümkündür. Devre, "Dm" serbest geçiş diyodu mutlaka kullanılmalıdır.
- Şekilde, motorun stator (uyartım) sargısı da yine bir A sınıfı DC kıyıcı tarafından kontrol edilmiştir. Bu sayede anma hızının üzerinde de kontrol yapmak mümkün olmaktadır. Kontrol gerekmiyorsa sargı doğrudan beslenebilir.
- Yan taraftaki Şekil-10.17'de A sınıfı DC sürücünün rotor devresinin temel dalga şekilleri görülmektedir.

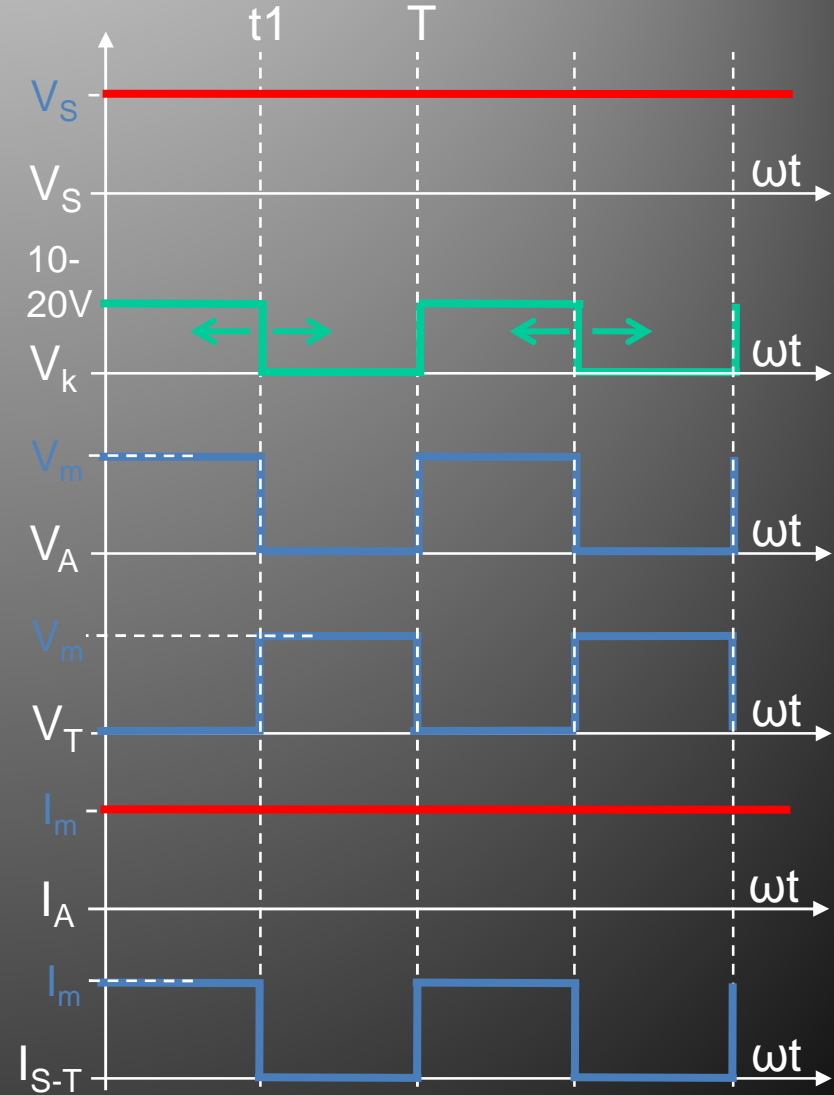
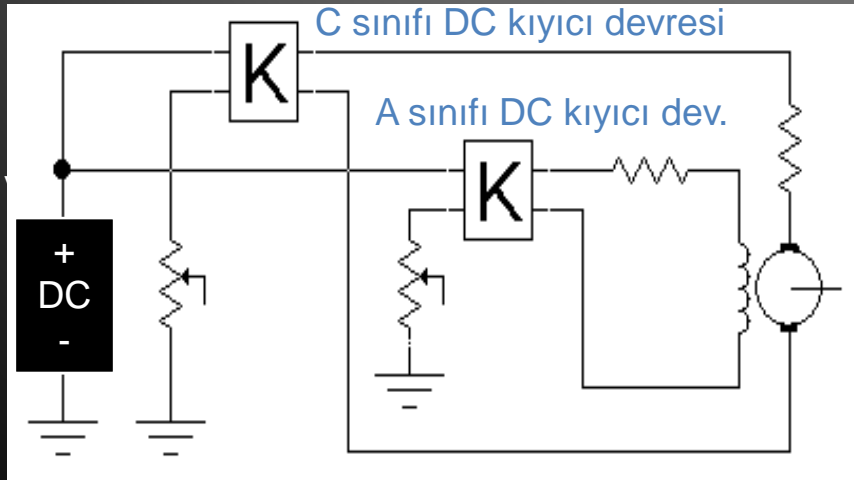


X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.17’de verilen temel dalga şekillerinde yararlanarak,
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_a = k_a \cdot V_s$
 - 2- Uyarma (stator) gerilimi,
 $V_f = k_f \cdot V_s$
 - 3- Rotor akımı,
 $I_a = (V_a - E_g) / R_a$
 - 4- Uyarma (stator) akımı,
 $I_f = V_f / R_f$
 - 5- Kaynaktan çekilen akım,
 $I_s = k_a \cdot I_a$
 - 6- Eşdeğer giriş direnci,
 $R_e = V_s / I_s$
 $R_e = V_s / k_a \cdot I_a$ ‘dan bulunur.
- Aynı sürücü devresi sabit mıknatıslı veya seri dc motora uygulandığı zaman eşitliklerde, daha önce açıklandığı gibi küçük değişiklikler olabilecektir.
- Ayrıca eğer yabancı uyarımlı motorda sadece anma hızının altında kontrol yapılması gerekiyorsa stator devresine A sınıfı kıyıcı yerine voltaj uygunsa doğrudan bağlantı yapılabilir.
- Aynı şekilde eğer sadece anma hızının üstünde kontrol gerçekleştirilmek isteniyorsa, rotor devresi doğrudan, stator devresi ise A sınıfı kıyıcı devresi üzerinden beslenmelidir.

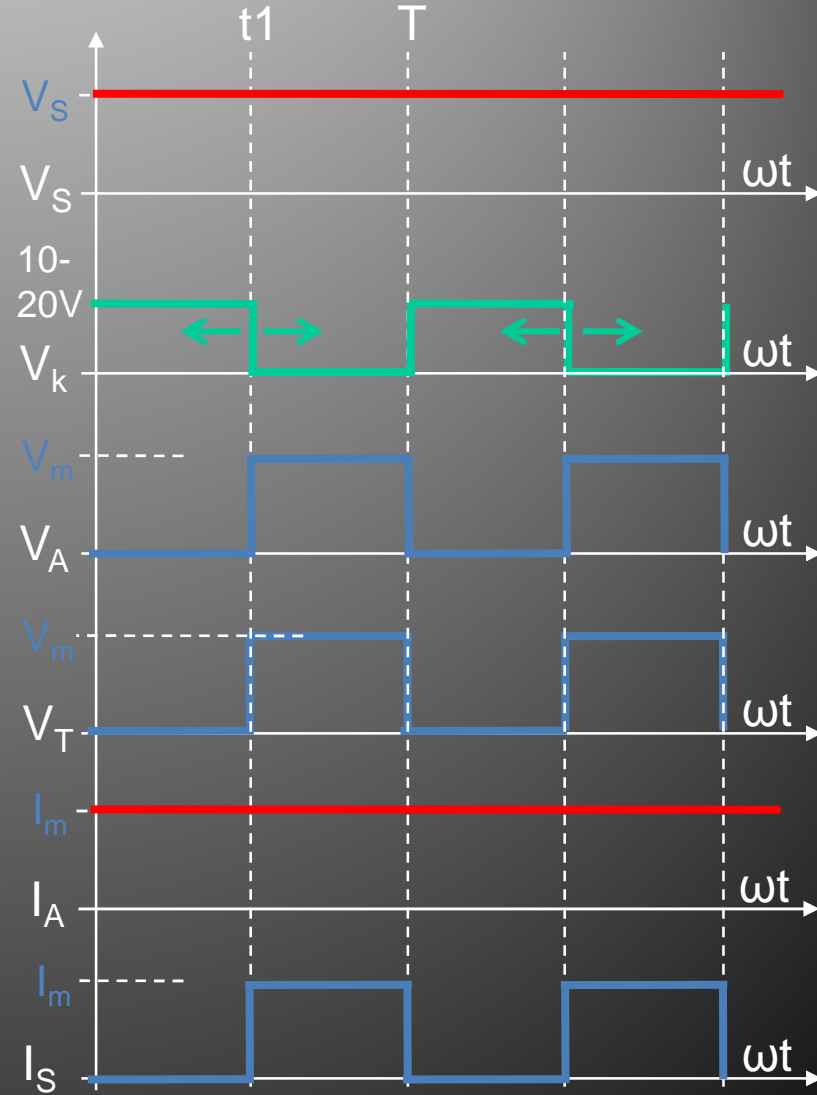
X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- C sınıfı DC sürücüler;
- C sınıfı DC sürücüler, doğru akım motorlarının yön kontrolü dışındaki kontrollerini gerçekleştirebilen sürücü devreleridir.
- Şekil-10.18 ve 19'da C sınıfı bir kıyıcı ile anma hızının altında ve üstünde kontrol edilebilen yabancı uyarım motor bağlantısı ve dalga şekilleri görülmektedir.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.18'den görüldüğü gibi motorun rotor devresi C sınıfı kıyıcı ile stator devresi ise A sınıfı kıyıcı ile kontrol edilmektedir.
- Bunun nedeni rotor devresinin daha güçlü olması ve re-jeneratif frenlemede geri dönüşün gerçekleşebilmesidir.
- Bilindiği gibi C sınıfı kıyıcılar A ve B sınıfı çalışabilmektedir. Şekil-10.19'da verilen dalga şekilleri devrenin A sınıfı çalışmasını göstermektedir.
- Yan taraftaki Şekil-10.20'de ise devrenin re-jeneratif frenleme yapabilmesi için B sınıfı çalışmasını göstermektedir.

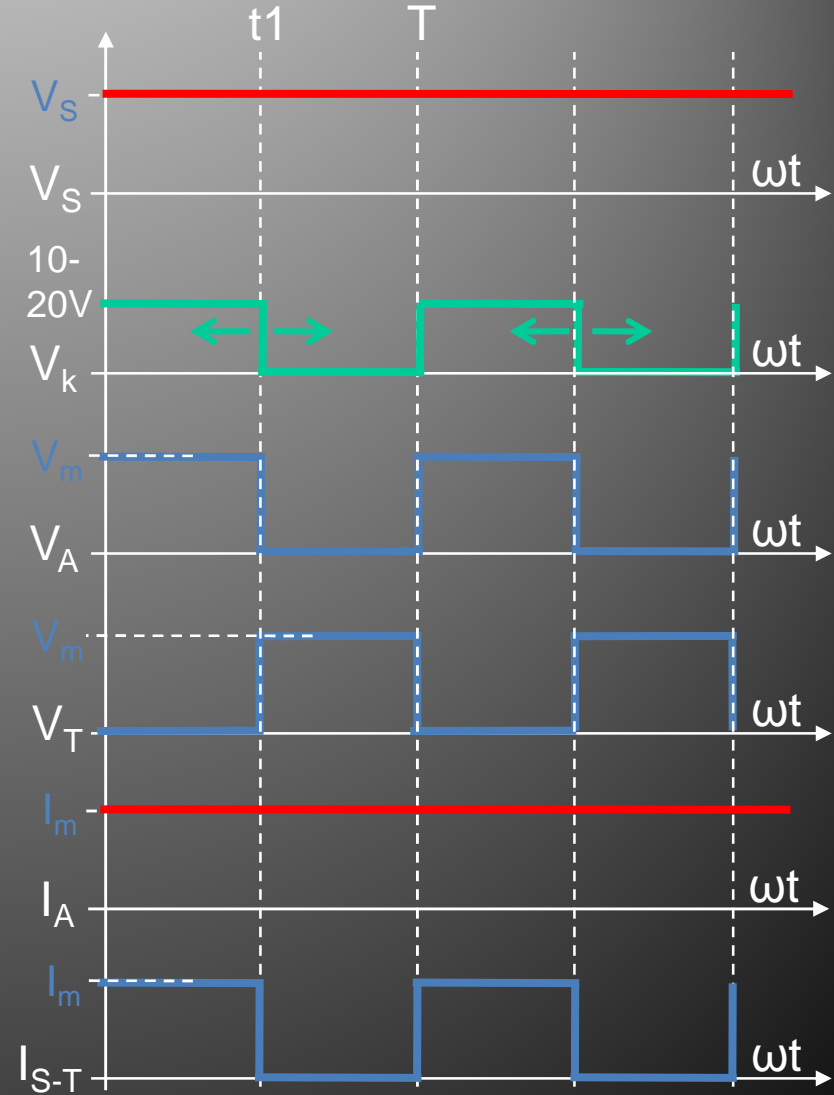
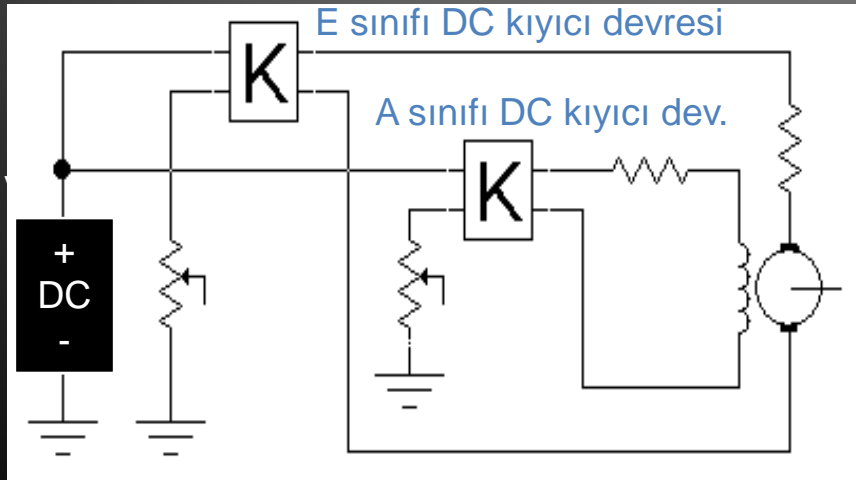


X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.19 ve 20'de verilen temel dalga şekillerinde yararlanarak,
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_a = k_a \cdot V_s$
 - 2- Uyarma (stator) gerilimi,
 $V_f = k_f \cdot V_s$
 - 3- Rotor akımı,
 $I_a = (V_a - E_g) / R_a$
 - 4- Kaynaktan çekilen akım,
 $I_s = k_a \cdot I_a$
 - 5- Kaynağa aktarılan akım,
 $I_s = (1 - k_a) \cdot I_a$
 - 6- Eşdeğer giriş direnci,
A sınıfında; $R_e = V_s / I_s$
B sınıfında; $R_e = V_s \cdot (1 - k_a) / I_a$
- Aynı sürücü devresi sabit mıknatıslı veya seri dc motora uygulandığı zaman eşitliklerde, daha önce açıklandığı gibi küçük değişiklikler olabilecektir.
- Ayrıca eğer yabancı uyarımlı motorda sadece anma hızının altında kontrol yapılması gerekiyorsa stator devresine A sınıfı kıyıcı yerine voltaj uygunsa doğrudan bağlantı yapılabilir.
- Aynı şekilde eğer sadece anma hızının üstünde kontrol gerçekleştirilmek isteniyorsa, rotor devresi doğrudan, stator devresi ise A sınıfı kıyıcı devresi üzerinden beslenmelidir.

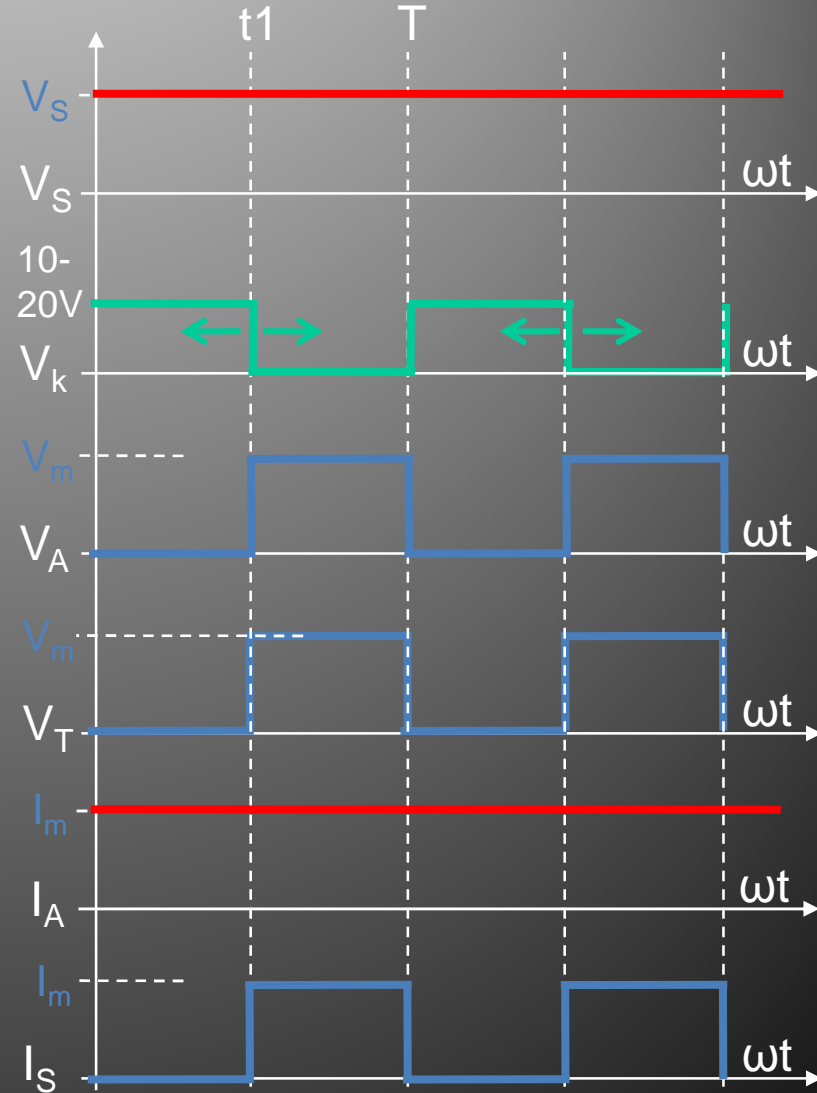
X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- E sınıfı DC sürücüler;
- E sınıfı DC sürücüler, doğru akım motorlarının yön kontrolü de dahil olmak üzere tüm kontrolleri gerçekleştirebilen devreleridir.
- Şekil-10.21 ve 22’de E sınıfı bir kıyıcı ile anma hızının altında ve üstünde kontrol edilebilen yabancı uyarım motor bağlantısı ve dalga şekilleri görülmektedir.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.21'den görüldüğü gibi motorun rotor devresi E sınıfı kıyıcı ile stator devresi ise A sınıfı kıyıcı ile kontrol edilmektedir.
- Bunun nedeni rotor devresinin daha güçlü olması ve re-jeneratif frenlemede geri dönüşün gerçekleşebilmesidir.
- Bilindiği gibi E sınıfı kıyıcılar çift yönlü olarak A ve B sınıfı çalışabilmektedir. Şekil-10.22'de verilen dalga şekilleri devrenin A sınıfı çalışmasını göstermektedir.
- Yan taraftaki Şekil-10.23'de ise devrenin re-jeneratif frenleme yapabilmesi için B sınıfı çalışmasını göstermektedir.

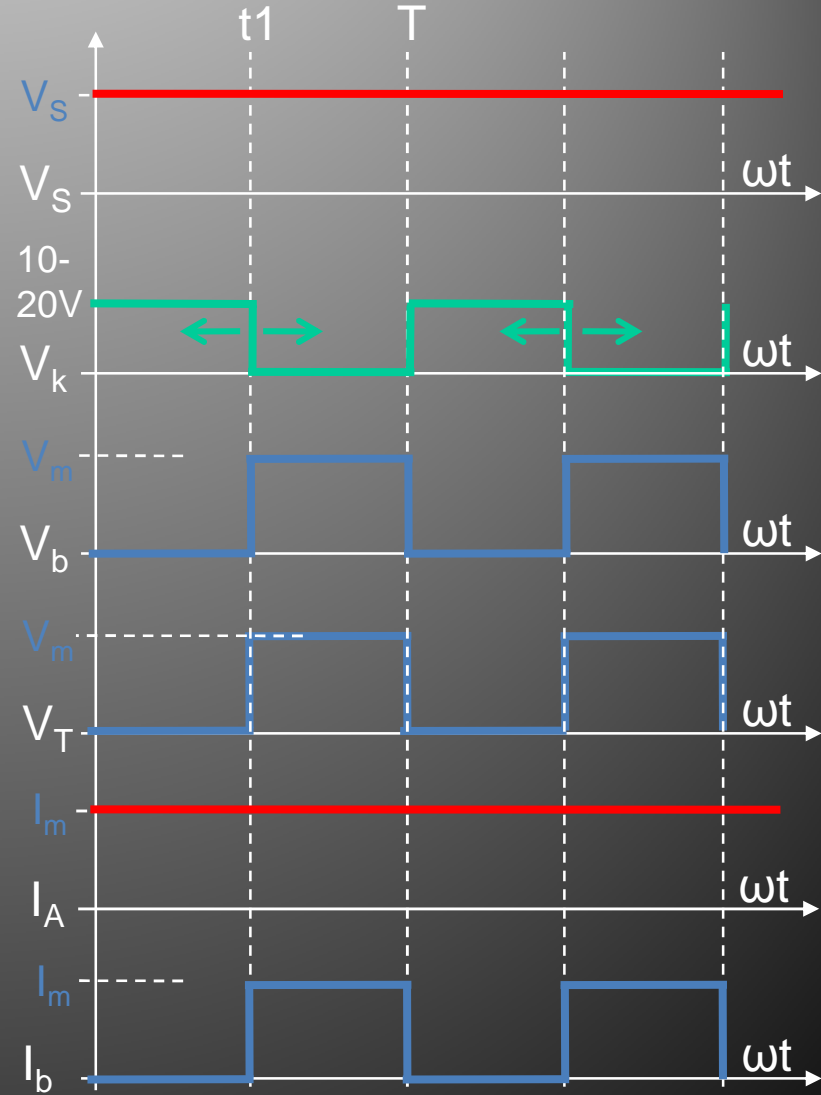
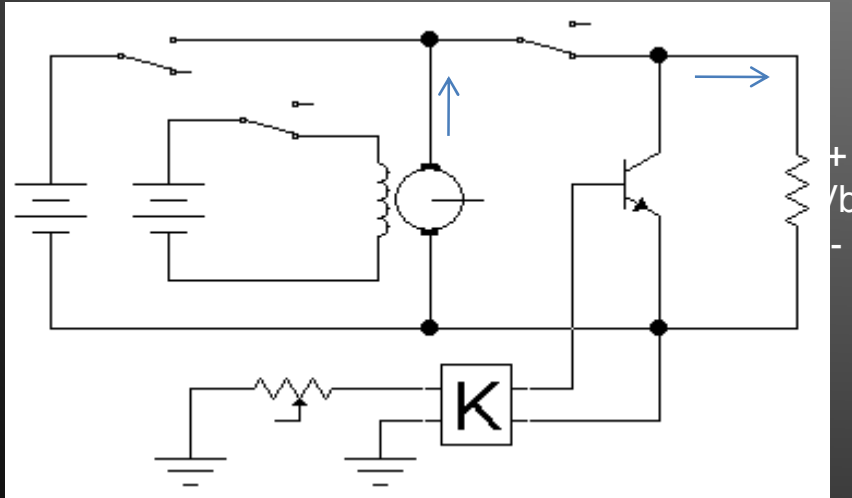


X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.22 ve 23'de verilen temel dalga şekillerinde yararlanarak,
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_a = k_a \cdot V_s$
 - 2- Uyarma (stator) gerilimi,
 $V_f = k_f \cdot V_s$
 - 3- Rotor akımı,
 $I_a = (V_a - E_g) / R_a$
 - 4- Kaynaktan çekilen akım,
 $I_s = k_a \cdot I_a$
 - 5- Kaynağa aktarılan akım,
 $I_s = (1 - k_a) \cdot I_a$
 - 6- Eşdeğer giriş direnci,
A sınıfında; $R_e = V_s / I_s$
B sınıfında; $R_e = V_s \cdot (1 - k_a) / I_a$
- Aynı sürücü devresi sabit mıknatıslı veya seri dc motora uygulandığı zaman eşitliklerde, daha önce açıklandığı gibi küçük değişiklikler olabilecektir.
- Ayrıca eğer yabancı uyarımlı motorda sadece anma hızının altında kontrol yapılması gerekiyorsa stator devresine A sınıfı kıyıcı yerine voltaj uygunsa doğrudan bağlantı yapılabilir.
- Aynı şekilde eğer sadece anma hızının üstünde kontrol gerçekleştirilmek isteniyorsa, rotor devresi doğrudan, stator devresi ise A sınıfı kıyıcı devresi üzerinden beslenmelidir.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- B sınıfı DC kıyıcının “Dinamik Frenleme” kontrolunda kullanımı;
- DC kıyıcılar doğru akım motorlarının doğrudan kontrolunun yanısıra özellikle “aktif dinamik frenleme” kontrolunda da yaygın olarak kullanılmaktadırlar.
- Şekil-10.24 ve 25’de dinamik frenleme kontrol devre bağlantısı ve dalga şekilleri görülmektedir.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.24 ve 25'de verilen devre ve dalga şekillerinden yararlanarak,
 - 1- Frenleme akımı,
 $I_b = (1 - k_a) \cdot I_a$
 - 2- Frenleme gerilimi,
 $V_b = I_b \cdot R_b = (1 - k_a) \cdot I_a \cdot R_b$
 - 3- Anahtar akımı,
 $I_t = k_a \cdot I_a$
 - 4- Frenlemede harcanan güç,
 $P_b = (I_a)^2 \cdot R_b \cdot (1 - k_a)$
 - 5- Frenleme direnci ortalama değeri,
 $R_b(\text{ort}) = R_b \cdot (1 - k_a)$
 - 6- Eşdeğer devre direnci,
 $R_e = V_b / I_a = R_b \cdot (1 - k_a) + R_a$
- Şekil-10.24'den görüldüğü gibi, B sınıfı DC kıyıcı olarak çalışan T1 transistörü, dinamik frenleme için motorun rotor sargısı uçlarına bağlanan R_b direncine paralel olarak bağlanmıştır.
- Dinamik frenleme yapılacağı zaman S1-off, S2-on yapılır ve T1 transistörü %0'dan başlayarak %100'e doğru etkin periyodu arttırılarak yüksek frekanslı (5-10kHz) PWM kare dalga ile uyarılmaktadır.
- Bu sayede R_b direncinin ortalama değeri giderek küçültülerek frenleme akımı sabit tutulmakta ve etkin bir frenleme yapılmaktadır.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **Örnek:**

- Rotor direnci $0,25\Omega$ stator direnci 100Ω , motor sabiti $0,71\text{V/A-rad/s}$ ve 45Nm 'lik yük altındaki hızı 1000d/dak. olan yabancı uyarımlı 300V dc motor, 300Vdc şebekede,
- a) A sınıfı DC kıyıcı sürücü kullanılarak anma hızının altında ve üstünde sürülmektedir, Bu durum için, alan (uyarma) akımını, rotor devresinin uyarma etkin periyodunu, devrenin giriş eşdeğer direncini hesaplayınız.
- b) B sınıfı DC kıyıcı sürücü kullanılarak aktif dinamik frenleme yapılmaktadır, frenleme direnci 10Ω ise, frenleme gücü nedir?

- **Çözüm:**

- a) A sınıfı dc kıyıcı sürücü devresi için;

$$V_f = k_f \cdot V_s$$

$$k_f = \%100 (=1) \text{ kabul edilecek,}$$

$$V_f = 1 \cdot 300 = 300\text{V}$$

$$I_f = V_f / R_f = 300 / 100 = 3\text{A}$$

$$I_a = T_d / (k \cdot I_f)$$

$$I_a = 45 / (0,71 \cdot 3) = 21,12\text{A}$$

$$E_g = k \cdot \omega \cdot I_f$$

$$E_g = 0,71 \cdot (1000 \cdot \pi / 30) \cdot 3 = 223\text{V}$$

$$V_a = I_a \cdot R_a + E_g$$

$$V_a = 21,12 \cdot 0,25 + 223 = 228,28\text{V}$$

$$V_a = k_a \cdot V_s$$

$$k_a = V_a / V_s = 228,28 / 300 = \%76$$

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

veya

$$k_a = 0,76$$

$$I_s = k_a \cdot I_a$$

$$I_s = 0,76 \cdot 21,12 = 16A$$

$$R_e = V_s / I_s = 300 / 16 = 18,75\Omega$$

- b) B sınıfı DC kıyıcı sürücü kullanarak 1000d/dak'da aktif dinamik frenleme durumu için;

$$V_f = k_f \cdot V_s$$

$k_f = \%100 (=1)$ kabul edilecek,

$$V_f = 1 \cdot 300 = 300V$$

$$I_f = V_f / R_f = 300 / 100 = 3A$$

$$I_a = T_d / (k \cdot I_f)$$

$$I_a = 45 / (0,71 \cdot 3) = 21,12A$$

$$E_g = k \cdot \omega \cdot I_f$$

$$E_g = 0,71 \cdot (1000 \cdot \pi / 30) \cdot 3 = 223V$$

$$V_b = E_g - I_a \cdot R_a$$

$$V_b = 223 - 21,12 \cdot 0,25 = 217,72V$$

$$I_b = R_b \cdot (1 - k_a)$$

$k_a = \%0$ için,

$$I_b = 10 \cdot (1 - 0) = 10A$$

$k_a = \%100$ için,

$$I_b = 10 \cdot (1 - 1) = 0A$$

(bu durumda rotor uçları kısadevre durumundadır).

$k_a = \%75$ için,

$$P_b = (I_a)^2 \cdot R_b \cdot (1 - k_a)$$

$$P_b = (21,12)^2 \cdot 10 \cdot (1 - 0,75) = 1115W$$

NOT: k_a , %0-100 arası ayarlanır.

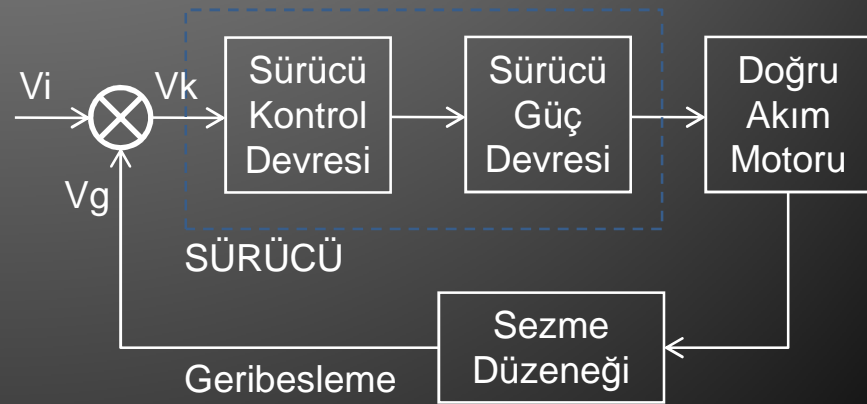
ÖDEV-11

- 11.1) Rotor direnci $0,35\Omega$ stator direnci 120Ω , motor sabiti $0,75V/A-rad/s$ ve $40Nm$ 'lik yük altındaki hızı $1100d/dak.$ olan yabancı uyartımlı dc motor, $220V-50Hz$ şebekede, C sınıfı DC kıyıcı sürücü kullanılarak anma hızının altında ve üstünde sürülmek istenmektedir. Bu durumda,
 - a) Devre şemasını tam ve açık olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - c) Alan (uyarma) akımını, rotor devresinin etkin periyodunu, devrenin giriş eşdeğer direncini hesaplayınız.
- 11.2) Rotor direnci $0,35\Omega$ stator direnci 120Ω , motor sabiti $0,75V/A-rad/s$ ve $40Nm$ 'lik yük altındaki hızı $1100d/dak.$ olan yabancı uyartımlı dc motor, $220V-50Hz$ şebekede, E sınıfı DC kıyıcı sürücü kullanılarak anma hızının altında sürülmek istenmektedir. Bu durumda,
 - a) Devre şemasını tam ve açık olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - c) Alan (uyarma) akımını, rotor devresinin etkin periyodunu, devrenin giriş eşdeğer direncini hesaplayınız.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

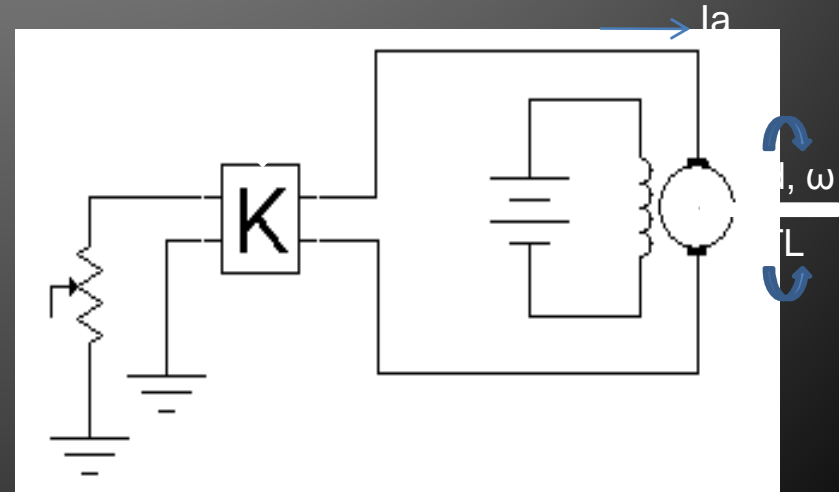
- **3- DC MOTOR SÜRÜCÜLERDE GERİ BESLEME;**
- Doğru akım motorlarının hız veya tork kontrollerinin yapılması sırasında, motoru kontrol eden sürücü devresinin etkin bir kontrol sağlayabilmesi için, kontrol edilen büyüklüklerin (hız, tork, akım vb.) sezilerek sürücü devresine geribeslenmesi gerekmektedir.
- Bu sayede kontrol edilen büyüklüğün istenilen seviyede olup olmadığı sürekli olarak kontrol edilir ve istenen değerden sapma oluyorsa sürücü kontrolleri değiştirilerek oluşan sapma hızlıca ve kolaylıkla giderilir.

- Aşağıdaki Şekil-10.26'da geribeslemeli bir doğru akım motoru sürücü devresinin blok yapısı görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi kullanıcı tarafından verilen kontrol işareti sürücü kontrol girişine doğrudan uygulanmayıp, motor çıkışından gelen gerçek hız bilgisi ile karşılaştırılmaktadır.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Bu bölümde geribesleme kavramı, etkileri, yöntemleri ve yararları ayrıntısıyla incelenecektir.
- Doğru akım motorlarında hız kontrolü ve/veya tork kontrolü yapıldığında motorun istenen hızda dönmesi veya istenen torku üretip üretmediği sürekli kontrol altında tutulmalıdır.
- Ayrıca bu kontrol yapılırken hem motorun hem de sürücü devrelerin sağlıklı çalışabilmesi ve korunabilmesi için akım, sıcaklık vb. bilgileri de sürekli kontrol altında tutulmalıdır.
- Bu kontrollerin yapılışı transfer fonksiyonları ile incelenecektir.
- **a) Geribeslemesiz Durumda Transfer Fonksiyonu;**
- Geribeslemeli çalışmaya geçmeden önce geribeslemesiz durumda transfer fonksiyonunun nasıl olduğunu incelemekte yarar vardır. Aşağıdaki Şekil-10.27'de yabancı uyarımlı bir dc motorun geribeslemesiz kontrol blok şeması görülmektedir.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

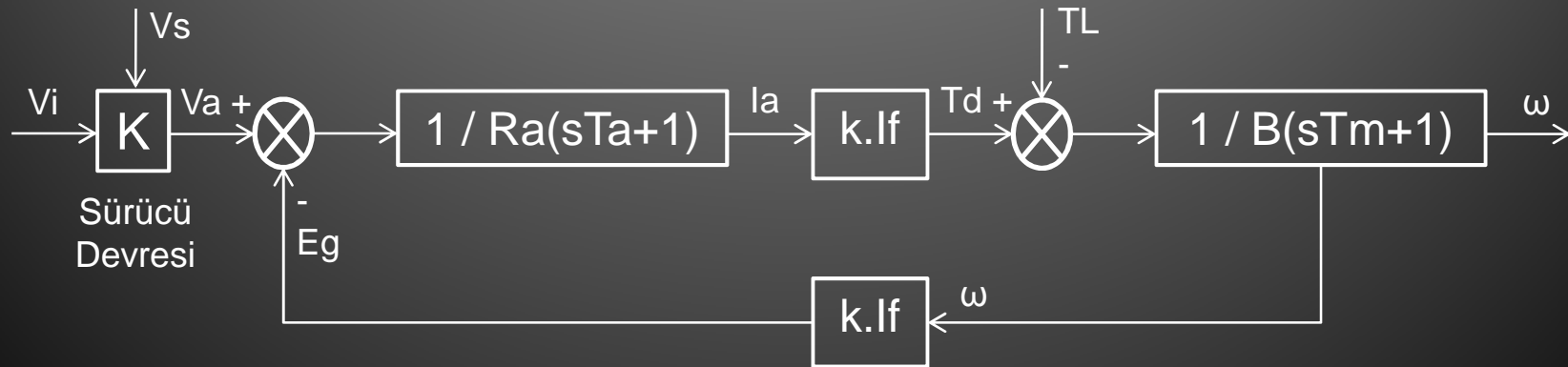
- Şekil-10.27'den görüldüğü gibi, sürücü güç ve kontrol devresi “K” kazançlı bir blok olarak gösterilmiştir.
- Kullanıcı tarafından verilen komut ise sürücü devre girişinde “Vi” olarak gösterilmiştir. Sürücü devrenin çıkışı ise motoru kontrol eden rotor gerilimidir ve “Va” ile gösterilmiştir. Bu durumda sürücü devresinin kazancı (K),
 $K = V_a / V_i$ olarak yazılabilir. Kısacası, bir yükselteç gibi düşünülen sürücü, girişe uygulanan kontrol sinyalini K kadar yükselterek “Va” çıkış gerilimini oluşturmaktadır.
- Oluşan bu “Va” çıkış gerilimi, kullanıcı tarafından doğrudan giriş kontrol gerilimi (Vi) değiştirilerek arttırılabilir veya azaltılabilir.
- Sürücü devresi çıkışında oluşan ve girişten kontrol edilebilen “Va” gerilimi veya akacak olan “Ia” akımı motorun çıkış ürünleri olan hız (ω) ve tork (T_d)'nin oluşmasını ve kontrolünü sağlamaktadır.
- Motorun bu ürünlerine sürekli olarak karşı koyan etkenler ise geçici atalet (J) yük momenti (TL) ve sürekli sürtünme (B)'dir.
- Bu durumda yük momentindeki değişmeler de motorun çıkış ürünlerini (T_d , ω) etkilemektedir.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Motorun çıkış büyüklüklerini (ürünlerini) etkileyen,
 - 1- Giriş kontrol sinyali (V_i),
 - 2- Yük momenti (T_L),olmak üzere iki değişken olduğundan, bu iki değişkene göre transfer fonksiyon denklemlerini yazıp, transfer fonksiyon blok şemalarını çizmek mümkün olmaktadır.

Aşağıda “sabit T_L ve değişken V_i ” şartlarına göre transfer fonksiyon denklemi ve Şekil-10.28’de de geribeslemesiz olarak kontrol edilmekte olan yabancı uyarımlı bir dc motorun “ V_i ”ye göre transfer fonksiyon blok şeması görülmektedir.

$$\Delta \omega = \frac{K \cdot k \cdot I_f}{R_a \cdot B + (k \cdot I_f)^2} \cdot \Delta V_i$$



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.28’de verilen transfer fonksiyon blok şemasında, elektronik sürücü daha önce de belirtildiği gibi “K” ile gösterilmiştir. Geriye kalan bloklar ise yabancı uyartımlı doğru akım motorunun içindeki transferleri ifade etmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi, sistemin girdisi “Vi” çıktısı ise “ ω ” olup bozucu etki ise “TL”dir.
- Şekil-10.28’de verilen transfer fonksiyon blok şemasında ve transfer fonksiyon eşitliğinde kullanılan sembollerin anlamı ve buradan da eşitliğin yorumu yan tarafta görülmektedir.
- $\Delta\omega$: Hızdaki değişim miktarı,
- K: Sürücünün kazancı,
- k: Motor sabiti,
- If: Motorun uyartım akımı,
- Ra: Rotor sargısı dc direnci,
- B: Sürtünme katsayısı,
- ΔV_r : Giriş sinyali değişim miktarı,
- Eg: Ters (zıt) emk,
- Ia: Rotor akımı,
- Ta: Motorun elektriksel zaman sabiti (L_a/R_a),
- Tm: Motorun mekaniksel zaman sabiti (J/B),
- Td: Motorun ürettiği tork,
- ω : Motorun ürettiği hız’dır.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

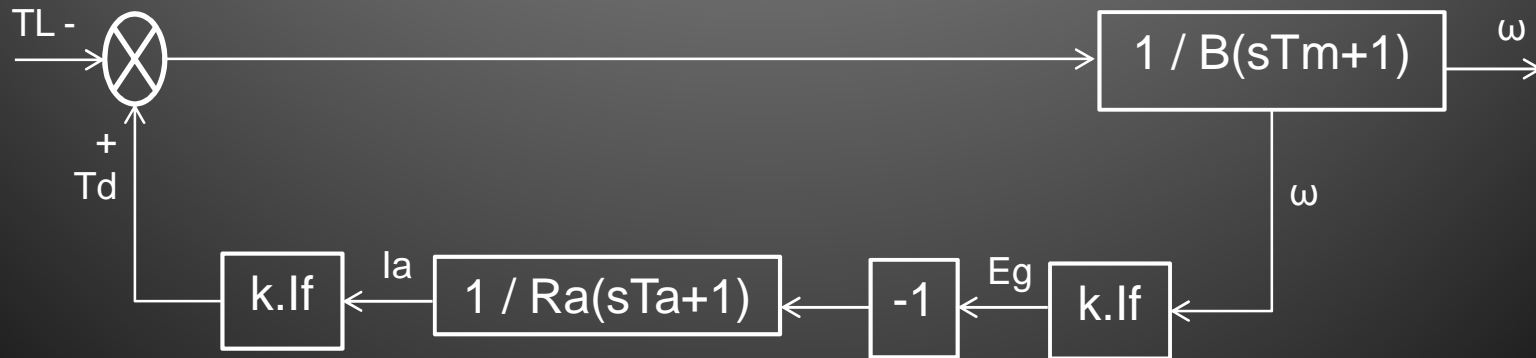
- Şekil-10.28 ve verilen “ $\Delta\omega$ ” eşitliğine göre, sistemin kazancı, sabit tork, sürtünme ve uyarım akımında aşağıdaki gibidir.

$$\frac{K \cdot k \cdot I_f}{R_a \cdot B + (k \cdot I_f)^2}$$

- Bu durumda giriş kontrol sinyalindeki en küçük bir değişiklik eşitlik oranında motorun üretmiş olduğu hıza etki etmektedir.

Aşağıda ise “sabit V_i ve değişken T_L ” şartlarına göre transfer fonksiyon denklemi ve Şekil-10.29’da da geribeslemesiz olarak kontrol edilmekte olan yabancı uyarımlı bir dc motorun “ T_L ”ye göre transfer fonksiyon blok şeması görülmektedir.

$$\Delta\omega = \frac{R_a}{R_a \cdot B + (k \cdot I_f)^2} \cdot \Delta T_L$$



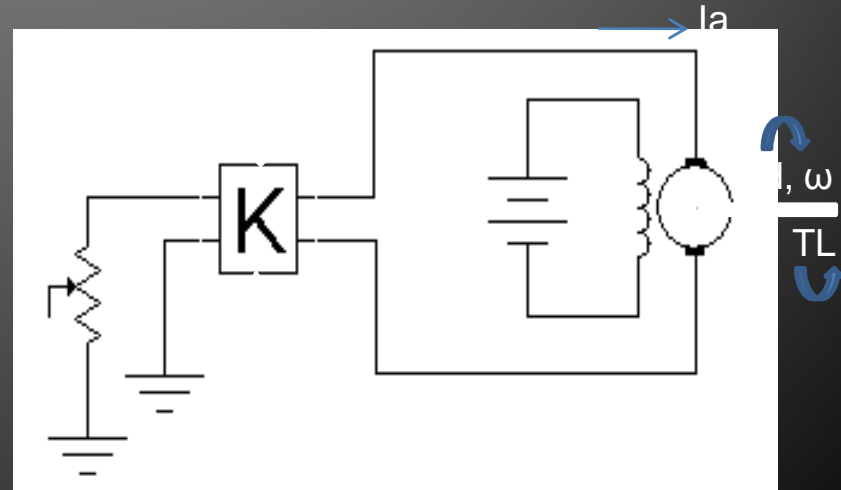
X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.29 ve verilen “ $\Delta\omega$ ” eşitliğine göre, sistemin kazancı, sabit kontrol girişi, sürtünme ve uyarım akımında aşağıdaki gibidir.

$$\frac{R_a}{R_a \cdot B + (k \cdot I_f)^2}$$

- Bu durumda bozucu etki olarak nitelendirilen yük momentindeki (TL) en küçük bir değişiklik yukarıda verilen eşitliğin sağladığı kazanç oranında motorun üretmiş olduğu hıza etki etmektedir.
- Yukarıdaki eşitlik dikkatlice incelendiğinde paydanın paydan çok büyük olduğu, dolayısıyla da etkinin az olduğu görülmektedir.

- **b) Geribeslemeli Çalışma ve Transfer Fonksiyonu;**
- Geribeslemesiz durumda transfer fonksiyonu eşitlikleri ve blok şemaları incelendikten sonra aynı inceleme “Geribeslemeli” çalışma durumu için de yapılacaktır. Şekil-10.30’da yabancı uyarımlı bir dc motorun geribeslemeli kontrol blok şeması görülmektedir.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

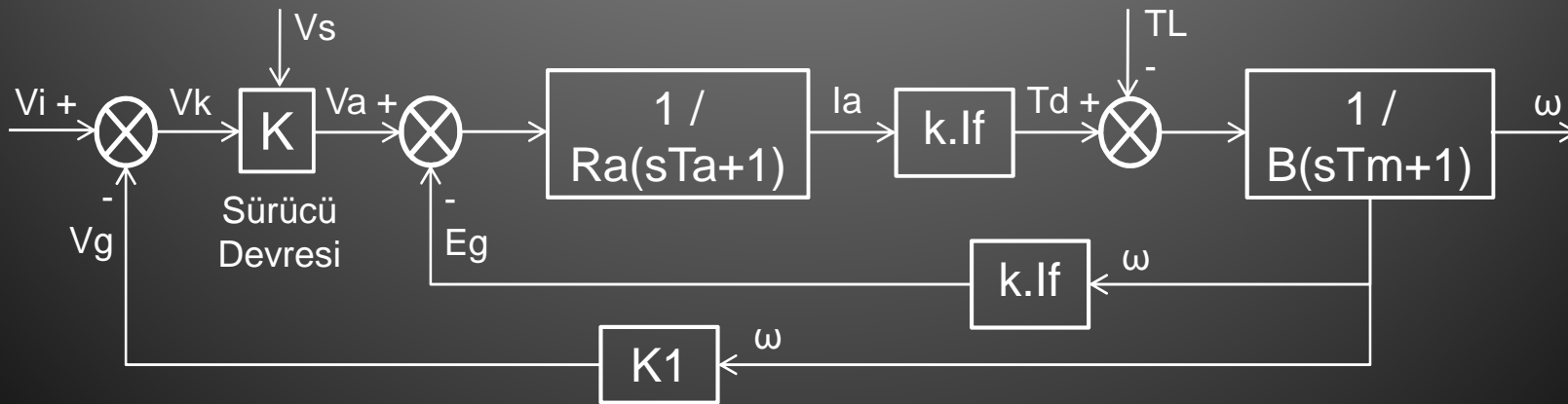
- Şekil-10.30'dan görüldüğü gibi, sürücü güç ve kontrol devresi yine “K” kazançlı bir blok olarak gösterilmiştir.
- Kullanıcı tarafından verilen komut ise sürücü devre girişinde yine “Vi” olarak gösterilmiştir. Ayrıca motor çıkışından sürücü devre girişine kontrol edilmek istenen büyüklük (hız veya tork) bilgisi geribesleme olarak gönderilmiştir.
- Sürücü devrenin çıkışı ise motoru kontrol eden rotor gerilimidir ve “Va” ile gösterilmiştir. Bu durumda sürücü devresinin kazancı (K),
 $K = Va / (Vi - Vg)$
olarak yazılabilir.
- Oluşan bu “Va” çıkış gerilimi, kullanıcı tarafından doğrudan giriş kontrol gerilimi (Vi) değiştirilerek istenilen değere sabitlenebilir.
- Sürücü devresi çıkışında oluşan ve girişten kontrol edilebilen “Va” gerilimi veya akacak olan “Ia” akımı motorun çıkış ürünleri olan hız (ω) ve tork (Td)'nin oluşmasını ve kontrolünü sağlamaktadır.
- Motorun bu ürünlerine sürekli olarak karşı koyan etkenler ise geçici atalet (J) yük momenti (TL) ve sürekli sürtünme (B)'dir.
- Geribeslemeli çalışmanın avantajı, kullanıcının istediği değer sürekli olarak sabit tutulabilmesidir.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Geribeslemeli çalışmada motorun çıkış büyüklüklerinin istenen değerde sabit kalmasını engelleyen,
 - 1- Giriş kaynak geriliminde (V_s) olabilecek değişikliklerin,
 - 2- Yük momentinde (TL) olabilecek değişikliklerin bozucu etkileri geribesleme düzeneği sayesinde engellenmiş olmaktadır.

Aşağıda “sabit TL ve değişken V_i ” şartlarına göre transfer fonksiyon denklemi ve Şekil-10.31’de de geribeslemeli olarak kontrol edilmekte olan yabancı uyarımlı bir dc motorun “ V_i ”ye göre transfer fonksiyon blok şeması görülmektedir.

$$\Delta\omega = \frac{K.k.I_f}{R_a.B + (k.I_f)^2 + K.K_1.k.I_f} \cdot \Delta V_i$$



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.31’de verilen transfer fonksiyon blok şemasında, elektronik sürücü daha önce de belirtildiği gibi “K” ile, geribesleme devresi “K1” gösterilmiştir. Geriye kalan bloklar ise yabancı uyarımlı doğru akım motorunun içindeki transferleri ifade etmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi, sistemin girdisi yine “Vi” çıktısı ise “ ω ” olup bozucu etki ise “TL”dir.
- Şekil-10.31’de verilen transfer fonksiyon blok şemasında ve transfer fonksiyon eşitliğinde kullanılan sembollerin anlamı ve buradan da eşitliğin yorumu yan tarafta görülmektedir.
- $\Delta\omega$: Hızdaki değişim miktarı,
- K: Sürücünün kazancı,
- K1: Geribesleme devresi kazancı,
- Vg: Geribesleme gerilimi,
- Vk: Gerçek kontrol gerilimi,
- k: Motor sabiti,
- If: Motorun uyarım akımı,
- Ra: Rotor sargısı dc direnci,
- B: Sürtünme katsayısı,
- ΔV_r : Giriş sinyali değişim miktarı,
- Eg: Ters (zıt) emk,
- Ia: Rotor akımı,
- Ta: Motorun elektriksel zaman sabiti (L_a/R_a),
- Tm: Mekanik zaman sabiti (J/B),
- Td: Motorun ürettiği tork,
- ω : Motorun ürettiği hız’dır.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

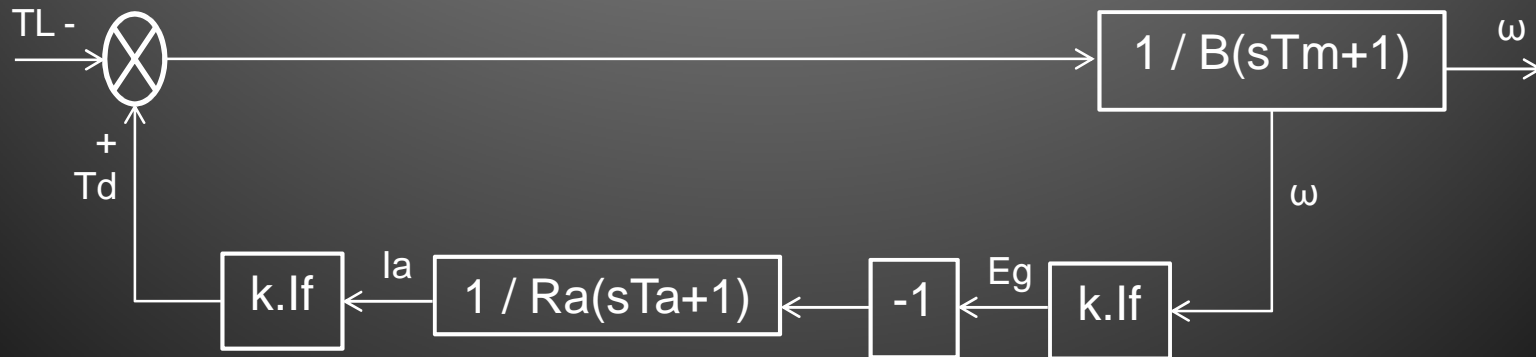
- Şekil-10.31 ve verilen “ $\Delta\omega$ ” eşitliğine göre, sistemin kazancı, sabit tork, sürtünme ve uyarım akımında aşağıdaki gibidir.

$$\frac{K \cdot k \cdot I_f}{R_a \cdot B + (k \cdot I_f)^2 + K \cdot K_1 \cdot k \cdot I_f}$$

- Bu durumda Vs veya TL'deki bir değişiklik eşitliğin pay (K) ve paydasındaki (K1) değişikliklerle çıkış hızını etkileyememektedir.

Aşağıda ise “sabit Vi ve değişken TL” şartlarına göre transfer fonksiyon denklemi ve Şekil-10.32’de de geribeslemeli olarak kontrol edilmekte olan yabancı uyarımlı bir dc motorun “TL”ye göre transfer fonksiyon blok şeması görülmektedir.

$$\Delta\omega = \frac{R_a}{R_a \cdot B + (k \cdot I_f)^2 + K \cdot K_1 \cdot k \cdot I_f} \cdot \Delta T_L$$



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.32 ve verilen “ $\Delta\omega$ ” eşitliğine göre, sistemin kazancı, sabit kontrol girişi, sürtünme ve uyarım akımında aşağıdaki gibidir.

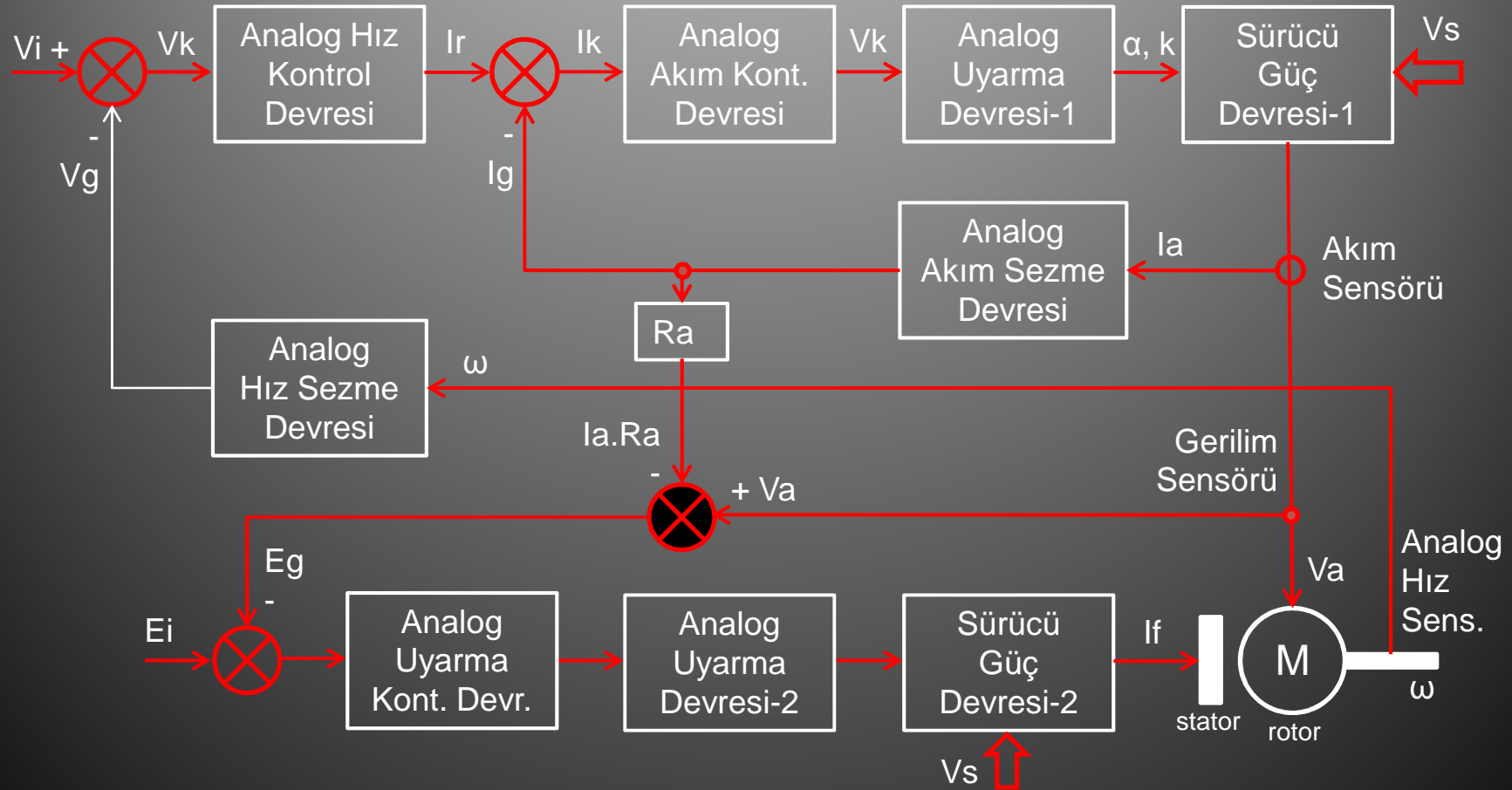
$$\frac{R_a}{R_a \cdot B + (k \cdot I_f)^2 + K \cdot K_1 \cdot k \cdot I_f}$$

- Bu durumda bozucu etki olarak nitelendirilen yük momentindeki (TL) herhangi bir değişiklik yukarıda verilen eşitlikten görüldüğü gibi paydada “K1” tarafından tolare edilmektedir.
- Doğru akım motorlar sürücülerde istenilen değerin sabit kalabilmesi ve güvenlik için geribeslemeli kontrol mutlak kullanılmaktadır.

- **c) Analog Kontrollu Geribeslemeli Sürücü;**
- Doğru akım motorlarında kullanılmakta olan iki temel sürücü türünden birisi olan analog kontrollu sürücü devreleri, 10-15 yıl öncesine kadar çok yoğun olarak kullanılmakta idi.
- Günümüzde bu devreler hala kullanılmakla beraber artık yerini yavaş yavaş mikroişlemci kontrollu sürücü devrelere bırakmaya başlamıştır.
- Bu tür kontrol devrelerinde analog çıkışlı seziciler (sensörler) kullanılmakta ve opamp ağırlıklı bir devre kurulmaktadır.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.33’de, anma hızının üstünde ve altında, analog kontrollü bir yabancı uyarımlı doğru akım motor sürücü devresinin blok yapısı görülmektedir.

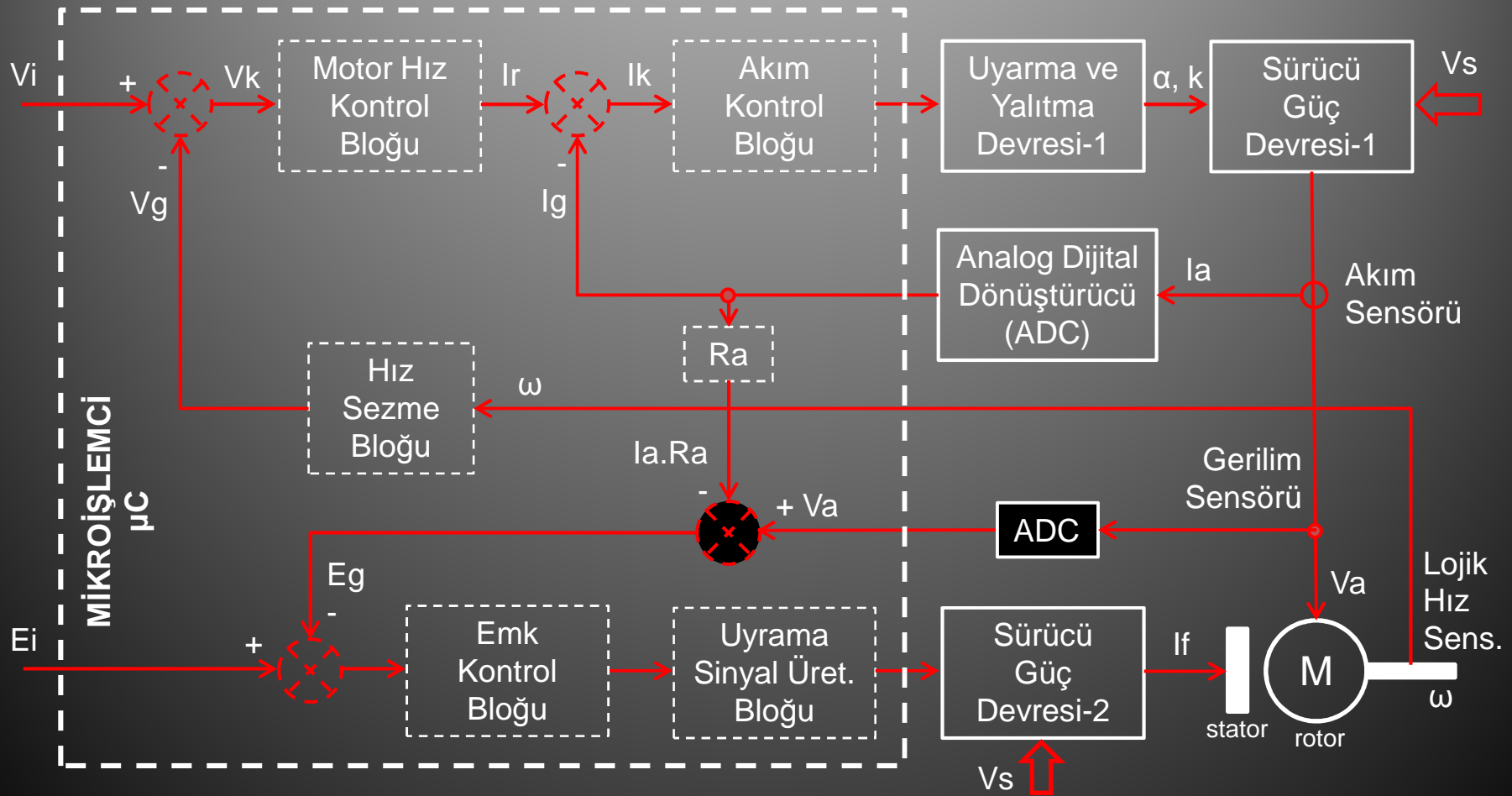


X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.33'den görüldüğü gibi, yabancı uyarımlı motorun hem rotor hem de stator devresi geribeslemeli olarak kontrol edilmektedir.
- Burada analog uyarma devreleri ile kontrol edilen güç devreleri duruma göre kontrollü doğrultucu veya dc kıyıcı olabilmektedir.
- Bu sürücünün amacı hız kontrolü olduğu için öncelikle hız bilgisi sezilerek geri beslenmiş ve değerlendirilmiştir.
- Ayrıca hem sürücünün hem de motorun sağlıklı çalışmasını ve güvenlik için akım bilgisi de sezilerek geri beslenmiştir.
- **d) Mikroişlemci Kontrollü Geribeslemeli Sürücü;**
- Doğru akım motorlarında kullanılmakta olan analog ve mikroişlemci kontrollü sürücü devrelerinden analog kontrollü sürücü devreleri, önceki yıllarda çok yoğun olarak kullanılmakta idi.
- Günümüzde ise bu devreler hala kullanılmakla beraber artık yerini daha kullanışlı olan mikroişlemci kontrollü sürücü devrelere bırakmaya başlamıştır.
- Bu tür kontrol devrelerinde lojik çıkışlı seziciler veya dönüştürücü kullanılmakta, mikroişlemci uygun şekilde programlanmaktadır.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.34’de, anma hızının üstünde-altında, mikroişlemci kontrollu yabancı uyarımlı doğru akım motor sürücü devresinin blok yapısı görülmektedir.



X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-10.34'den görüldüğü gibi, yine yabancı uyartımlı motorun hem rotor hem de stator devresi geribeslemeli olarak kontrol edilmektedir.
- Burada mikroişlemci düzeneği ile kontrol edilen güç devreleri duruma göre kontrollü doğrultucu veya dc kıyıcı olabilmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi, analog kontrollü sürücüde olduğu gibi yine hız, akım ve gerilim bilgileri sezilmiş ve kontrol işaretlerinin oluşturulabilmesi için ADC'ler den geçirilerek mikroişlemciye uygulanmıştır. Bu defa kontrol blokları μC içinde oluşturulmuştur.
- Mikroişlemci içinde oluşturulan bu sanal kontrol blokları uygun programlamanın yapılması sayesinde oluşmaktadır.
- Analog yöntemde analog devre elemanları veya hazır entegre devreler kullanılarak oluşturulan bu blokların ihtiyaca göre değiştirilmesi güçtür ve her seferinde farklı elektronik kart tasarımı gerektirmektedir.
- Mikroişlemci içinde oluşturulan sanal kontrol blokları ise yazılımdaki küçük değişikliklerle farklı işlevler üstlenebilirler. Ayrıca bu şekilde devre kopyalanması da engellenmiş olmaktadır.

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **Örnek:**
- Rotor direnci $0,25\Omega$ stator direnci 100Ω , motor sabiti $0,71\text{V/A-rad/s}$ ve 45Nm 'lik yük altındaki hızı 1000d/dak , olan yabancı uyarımlı dc motor, 220V-50Hz şebekede,
- a) Geribeslemesiz analog kontrol sürücü kullanılarak anma hızının altında ve üstünde sürülmektedir,
- b) Geribeslemeli mikroişlemci kontrollü sürücü kullanılarak anma hızının altında ve üstünde sürülmektedir,
- Bu durumlar için, geribeslemesiz ve geribeslemeli kontrolde, "TL" ve "Vi" için transfer fonksiyonlarını belirleyiniz.

- Sürücü devresinin kazancı 100 , geribesleme devresinin kazancı $0,1$ motorun toplam sürtünmesi 1 ve uyarma akımı da 2A kabul edilerek çözüm yapılacaktır.

- **Çözüm:**
- a) Geribeslemesiz analog kontrollü sürücü devresi için; $1-5\text{V}$ 'luk kontrol gerilimi değişikliğinde hız değişimi,

$$\Delta \omega = \frac{K \cdot k \cdot I_f}{R_a \cdot B + (k \cdot I_f)^2} \cdot \Delta V_i$$

$$\Delta \omega = \frac{100 \cdot 0,71 \cdot 2}{0,25 \cdot 1 + (0,71 \cdot 2)^2} \cdot 5$$

$$\Delta \omega = 313,27 \text{ rad/s}$$

X – DC MOTOR SÜRÜCÜLER

- 2- 10Nm'lik yük momenti değişikliğinde hız değişimi,

$$\Delta\omega = \frac{R_a}{R_a \cdot B + (k \cdot I_f)^2} \cdot \Delta T_L$$

$$\Delta\omega = \frac{0,25}{0,25 \cdot 1 + (0,71 \cdot 2)^2} \cdot 10$$

$$\Delta\omega = 1,1 \text{ rad/s}$$

- b) Geribeslemeli mikroişlemci kontrollu sürücü devresi için;
1- 5V'luk kontrol gerilimi değişikliğinde hız değişimi,

$$\Delta\omega = \frac{K \cdot k \cdot I_f}{R_a \cdot B + (k \cdot I_f)^2 + K \cdot K_1 \cdot k \cdot I_f} \cdot \Delta V_i$$

Buradan,

$$\Delta\omega = \frac{100 \cdot 0,71 \cdot 2}{0,25 \cdot 1 + (0,71 \cdot 2)^2 + 100 \cdot 0,1 \cdot 0,71 \cdot 2} \cdot 5$$

$$\Delta\omega = 43 \text{ rad/s.}$$

2- 10Nm'lik yük momenti değişikliğinde hız değişimi,

$$\Delta\omega = \frac{R_a}{R_a \cdot B + (k \cdot I_f)^2 + K \cdot K_1 \cdot k \cdot I_f} \cdot \Delta T_L$$

$$\Delta\omega = \frac{0,25}{0,25 \cdot 1 + (0,71 \cdot 2)^2 + 100 \cdot 0,1 \cdot 0,71 \cdot 2} \cdot 10$$

$$\Delta\omega = 0,15 \text{ rad/s}$$

olarak bulunmaktadır.

ÖDEV-12

- 12.1) Rotor direnci $0,35\Omega$ stator direnci 120Ω , motor sabiti $0,75V/A\text{-rad/s}$ ve $40Nm$ 'lik yük altındaki hızı $1100d/dak.$ olan yabancı uyarımlı dc motor, $220V\text{-}50Hz$ şebekede, analog kontrollu geribeslemeli tam dalga yarım kontrollu sürücü kullanılarak anma hızının altında ve üstünde sürülmek istenmektedir. Bu durumda,
 - a) Sistemin geribeslemeli blok şemasını tam olarak çiziniz ve blokların görevlerini maddeler halinde belirtiniz.
 - b) Devrenin transfer fonksiyon eşitliklerini ve transfer fonksiyon blok şemalarını çizerek blokların içeriğini belirtiniz.
 - c) Sürücü kazancı K 'nın 100, geribesleme kazancı $K1$ 'in $0,1V/rad/s$ kabul edilerek, geribeslemesiz ve geribeslemeli durumlar için, giriş kontrol gerilimindeki $3V$ 'luk bir değişimin motor hızını ne kadar etkileyeceğini bulunuz ve yorumlayınız.
- 12.2) Rotor direnci $0,35\Omega$ stator direnci 120Ω , motor sabiti $0,75V/A\text{-rad/s}$ ve $40Nm$ 'lik yük altındaki hızı $1100d/dak.$ olan yabancı uyarımlı dc motor, $220V\text{-}50Hz$ şebekede, mikroişlemci kontrollu geribeslemeli C sınıfı sürücü kullanılarak anma hızının altında ve üstünde sürülmek istenmektedir. Bu durumda,
 - a) Sistemin geribeslemeli blok şemasını tam olarak çiziniz ve blokların görevlerini maddeler halinde belirtiniz.
 - b) Devrenin transfer fonksiyon eşitliklerini ve transfer fonksiyon blok şemalarını çizerek blokların içeriğini belirtiniz.
 - c) Sürücü kazancı K 'nın 100, geribesleme kazancı $K1$ 'in $0,1V/rad/s$ kabul edilerek, geribeslemesiz ve geribeslemeli durumlar için, yük momentindeki $10Nm$ 'lik bir değişimin motor hızını ne kadar etkileyeceğini bulunuz ve yorumlayınız.

Bölüm-11

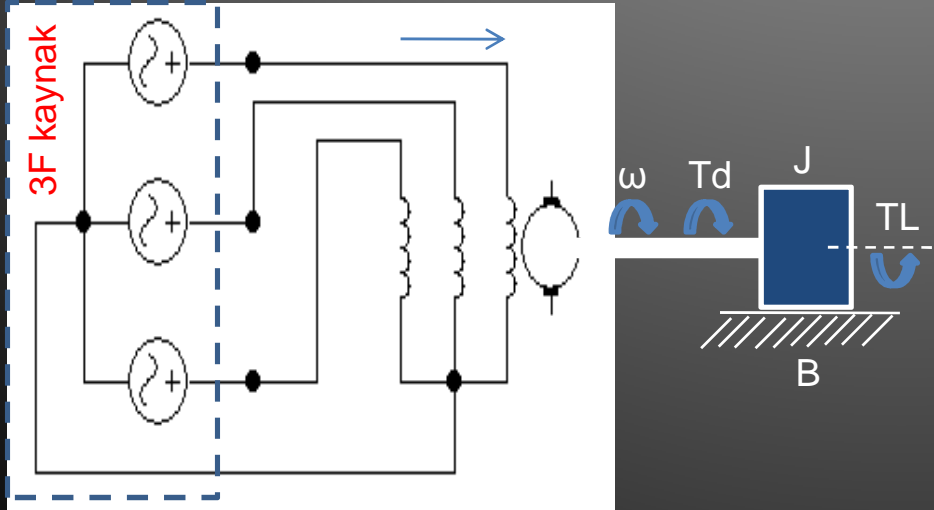
AC Motor Sürücüler

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **GİRİŞ;**
- AC motor sürücüler, alternatif akım motorlarının etkin kontrolünü sağlamak amacıyla, temel güç elektroniği devreleri kullanılarak geliştirilmiş olan motor kontrol düzenekleridir. Bu sürücüler, daha çok 3 fazlı asenkron motorların kontrolünde kullanılmaktadırlar.
- Çeşitli AC motor sürücü devreleri kullanılarak,
 - 1- 3 fazlı asenkron motorlar,
 - 2- 3 fazlı senkron motorlar,
 - 3- 1 fazlı asenkron motorlar,
 - 4- 1 fazlı üniversal motorlar,kontrol edilebilmektedir.
- Bilindiği gibi motor kontrolü denildiğinde 5 farklı kontrol alanı aklı gelmektedir. Bu kontrol alanları;
 - 1- Yol verme,
 - 2- Hız kontrolü,
 - 3- Tork kontrolü,
 - 4- Yön kontrolü,
 - 5- Frenleme kontrolüdür.
- Bu bölümde öncelikle AC motorlarla ilgili temel kavram ve eşitlikler kısaca hatırlatılacak, daha sonra da her motor için de sürücü yapıları, bağlantıları ve genel özellikleri ayrıntısıyla incelenecektir.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **3 Fazlı Asenkron Motorların Temel Yapı ve Eşitlikleri;**
- Kendileri daha ucuz olmalarına rağmen, kontrolleri daha pahalı ve ve dc motorlara göre daha zor olan 3 fazlı asenkron motorların temel bağlantısı ve parametreleri aşağıdaki Şekil-11.1'de görülmektedir.



- Şekil-11.1'den hareketle;
 - 1- Stator gerilimi,
Yıldız bağlantıda; $V_s = V_f$
Üçgen bağlantıda; $V_s = V_h$
 - 2- Giriş gücü,
 $P_i = 3 \cdot V_s \cdot I_s \cdot \cos \phi$
 - 3- Motorun ürettiği güç,
 $P_d = 3 \cdot (I_s)^2 \cdot (R_r / s) \cdot (1 - s)$
 - 4- Motorun ürettiği tork (moment),
 $T_d = P_d / \omega_r$
 - 5- Döner alan hızı,
 $\omega_s = 2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_s) / p$
 - 6- Motor hızı,
 $\omega_r = \omega_s \cdot (1 - s)$
 - 7- Kayma, $s = (\omega_s - \omega_r) / \omega_s$

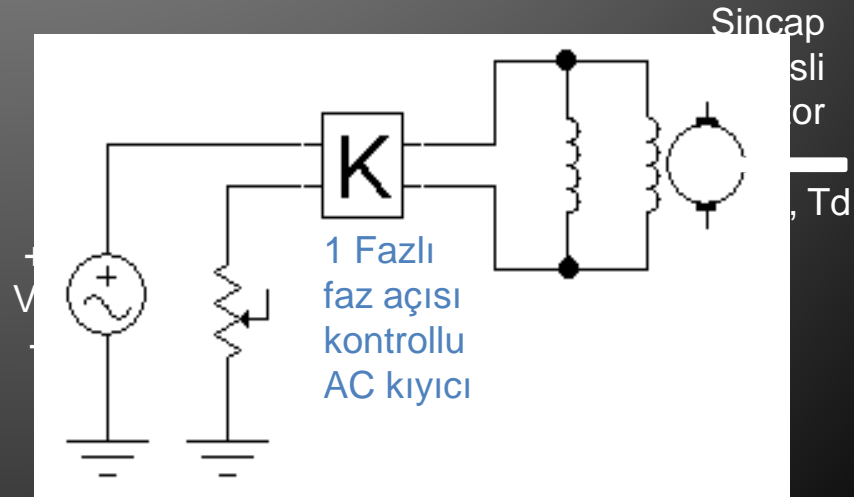
XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **AC Motor Sürücü Devreleri;**
- AC motor sürücü devrelerini,
 - 1- Stator voltaj kontrollü (AC kıyıcı) sürücüler,
 - 2- Rotor voltaj kontrollü (bilezikli asenkron motor) sürücüler,
 - 3- Stator voltaj ve frekans kontrollü (gerilim kayn. invertörlü) sürücüler,
 - 4- Stator akım ve frekans kontrollü (akım kaynaklı invertörü) sürücüler,olmak üzere dört farklı grupta toplamak mümkündür.
- Bu bölümde yukarıda belirtilen sürücü türlerinin kendileri için uygun motorlara bağlantıları ve performansları incelenecektir.
- **1- Stator voltaj kontrollü (AC kıyıcı) AC motor sürücüler;**
Sincap kafesli asenkron motorlarda kullanılan bu sürücü devrelerini,
 - a- Bir fazlı AC kıyıcı sürücüler,
 - b- Üç fazlı AC kıyıcı sürücüler,olmak üzere iki temel grup altında toplamak mümkün olmaktadır.
- Bir fazlı asenkron motorlardan,
 - 1- Yardımcı sargılı motorlarda,
 - 2- Üniversal (seri) motorlarda,yol verme ve tork kontrolü için kullanılmaktadır.
- Üç fazlı sürücüler ise 3 fazlı asenkron motorlara yol vermek için çok yaygın kullanılmaktadır.

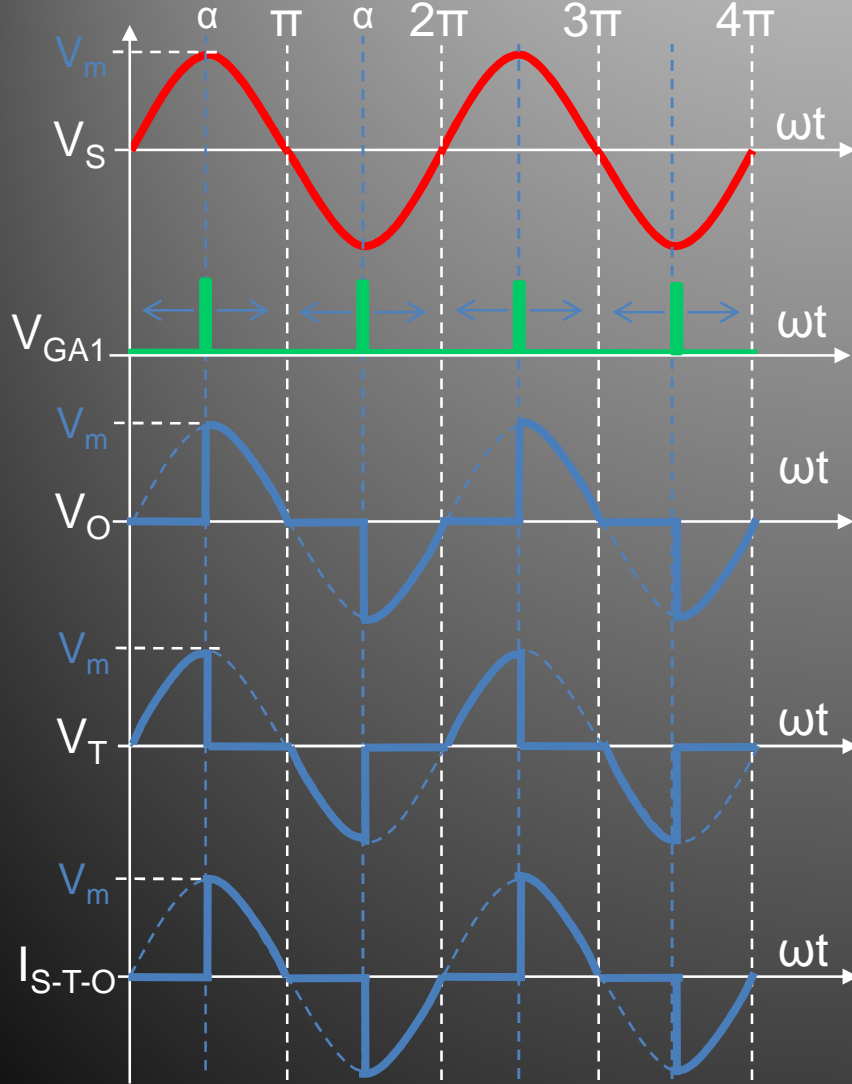
XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **Bir fazlı AC kıyıcı sürücü;**
- Bir fazlı asenkron motorların ve üniversal motorların kontrolunda kullanılan bir fazlı AC kıyıcı sürücüler, daha önce AC kıyıcılar konusunda ayrıntısıyla açıklanan “faz açısı kontrolü” yöntemi kullanılarak kontrol edilmekte, böylelikle çıkış gerilimi sıfırdan anma gerilimine yükselmektedir.
- Yan taraftaki Şekil-11.2’de yardımcı sargılı bir motorun bir fazlı AC kıyıcı sürücü ile sıfır ile anma hızı arasında kontrolunun sağlanabileceği sürücü devresinin prensip blok şeması görülmektedir.

- Şekilden görüldüğü gibi motorun birbirine paralel olan ana sargısı ve yardımcı sargısı bir fazlı AC kıyıcı devresi üzerinden beslenmiştir. Yol verme ve tork kontrolu yapılabilen bu sürücü bağlantısı ile sabit yük altında çalışan motorun hız kontrolu da yapılabilir. Dalga şekilleri Şekil-11.3’de görülmektedir.



XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER



- Şekil-11.2 ve 3'den hareketle;
1- Stator gerilimi,

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

- 3- Motorun ürettiği güç,

$$P_d = (I_s)^2 \cdot (R_r/s) \cdot (1-s)$$

- 4- Motorun ürettiği tork (moment),

$$T_d = P_d / \omega_r \quad \text{veya,}$$

$$T_d = \frac{R_r \cdot V_o^2}{s \cdot \omega_s \cdot [(R_s + R_r/s)^2 + (X_s + X_r)^2]}$$

- 5- Döner alan hızı,

$$\omega_s = 2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_s) / p$$

- 6- Motor hızı,

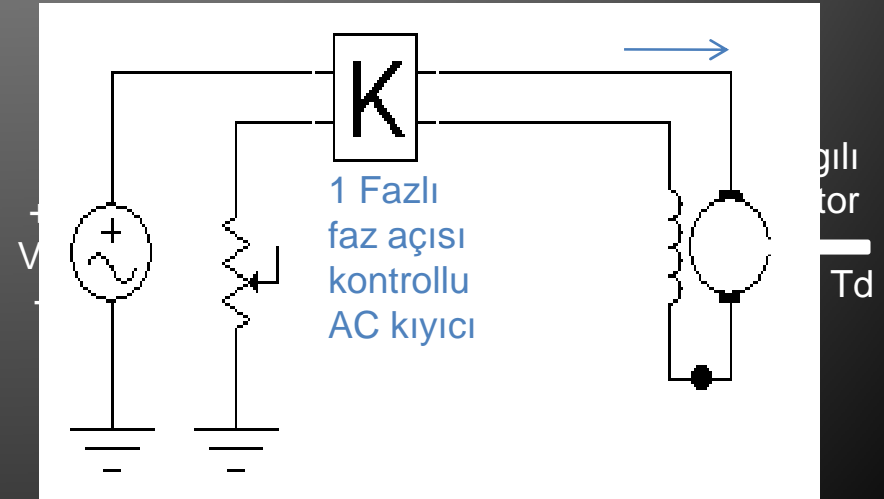
$$\omega_r = \omega_s \cdot (1-s)$$

- 7- Kayma, $s = (\omega_s - \omega_r) / \omega_s$

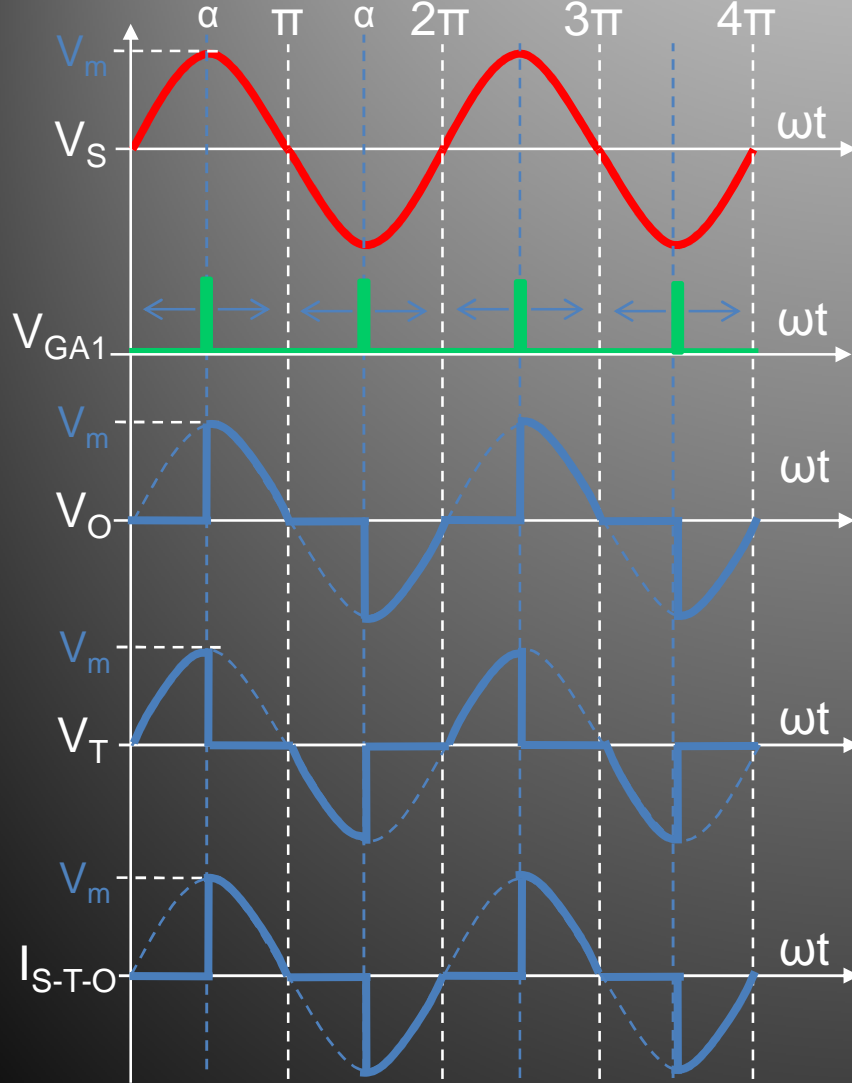
XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.2 ve 3'den görüldüğü gibi, yardımcı sargılı 1 fazlı asenkron motorun stator sargıları doğrudan AC kıyıcı üzerinden beslenmektedir. Böylelikle motora aktarılan güç artırılıp azaltılarak motorun kontrolu yapılmaktadır.
- Motor, bir asenkron motor olduğu için eşitlikleri de 3 fazlı asenkron motorun eşitlikleri ile aynıdır.
- Yan taraftaki Şekil-11.4'de ise üniversal (seri) motorun bir fazlı AC kıyıcılı sürücü ile sıfır ile anma hızı arasında kontrolunun sağlanabileceği sürücü devresinin prensip blok şeması görülmektedir.

- Şekilden görüldüğü gibi motorun birbirine seri olan stator sargısı ve rotor sargısı bir fazlı AC kıyıcı devresi üzerinden beslenmiştir. Yol verme ve tork kontrolu yapılabilen bu sürücü bağlantısı ile sabit yük altında çalışan motorun hız kontrolu da yapılabilir. Devrenin temel dalga şekilleri ise Şekil-11.5'de görülmektedir.



XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER



- Şekil-11.4 ve 5'den hareketle;
1- Sürücü çıkış (motor) gerilimi,

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

veya,

$V(\text{motor}) = I_a \cdot R_a \cdot R_f + E_a$
yazılabilir.

- 2- Motorun ters gerilimi,

$$E_a = k \cdot I_a \cdot \omega$$

- 3- Motorun ürettiği tork (moment),

$$T_d = k \cdot I_f \cdot I_a = k \cdot (I_a)^2$$

- 4- Motorun ürettiği güç,

$$P_d = T_d \cdot \omega$$

- 5- Motor hızı,

$$\omega = (V_a - I_a \cdot R_a \cdot R_f) / k \cdot I_a$$

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.4 ve 5'den görüldüğü gibi, universal motorun seri olan stator ve rotor sargıları doğrudan AC kıyıcı üzerinden beslenmektedir. Böylelikle motora aktarılan güç arttırılıp azaltılarak motorun kontrolu yapılmaktadır.
- Motor, temelde bir seri dc motor olduğu için eşitlikleri de doğru akım motoru eşitlikleri ile aynıdır.
- Birkaç yüz watt seviyesinden 5000 6000W seviyelerine kadar olan güçlerde kullanılan bu motorlar 1 fazlı şebekede çalışabilmesi ve temel kontrolunun kolay olması açısından küçük cihazlarda oldukça fazla tercih edilmektedir.
- **Örnek:**
 - 220V-50Hz şebekede, bir fazlı faz açısı kontrollu AC kıyıcı devresi kullanılarak,
 - a) Gerilimi 220V-50Hz, kayması %3 olan 2 kutuplu, $R_r = 0,2\Omega$ $R_s = 0,4\Omega$ $X_r = X_s = 0,8\Omega$ olan yardımcı sargılı motor sürüldüğünde,
 - b) Gerilimi 220V-50Hz, tam yük akımı 5A, 2000d/dak, $R_a = R_f = 0,25\Omega$ ve $k = 0,71$ olan universal motor sürüldüğünde,
 - Bu motorları süren AC kıyıcının uyarma açısının 90° olması durumu için, motora uygulanan gerilimi, motorun ürettiği tork, güç ve hızı hesaplayınız.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **Çözüm:**
- a) Yardımcı sargılı motor için;
- Motora uygulanan gerilim,

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 220 \sqrt{1 - \frac{\pi/2}{\pi} + \frac{\sin 2.90}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 220 \sqrt{0,5} = 155,56V$$

- Motorun ürettiği tork,

$$T_d = \frac{R_r \cdot V_o^2}{s \cdot \omega_s \cdot [(R_s + R_r / s)^2 + (X_s + X_r)^2]}$$

$$T_d = \frac{0,2 \cdot 155,5^2}{0,03 \cdot 314 \cdot [(0,4 + 0,2 / 0,03)^2 + (0,8 + 0,8)^2]}$$

$$T_d = \frac{4836}{494,5} = 9,78 \text{ Nm}$$

- Motorun ürettiği güç,
 $P_d = (I_s)^2 \cdot (R_r / s) \cdot (1 - s)$

$$I_s = \frac{V_o}{s \cdot \omega_s \cdot [(R_s + R_r / s)^2 + (X_s + X_r)^2]^{1/2}}$$

$$I_s = \frac{155,5}{0,03 \cdot 314 \cdot [(0,4 + 0,2 / 0,03)^2 + (0,8 + 0,8)^2]^{1/2}}$$

$$I_s = \frac{155,5}{68,24} = 2,28 \text{ A}$$

$$P_d = 2,28^2 \cdot (0,2 / 0,03) \cdot (1 - 0,03)$$

$$P_d = 33,61 \text{ W}$$

- Motorun ürettiği hız,

$$\omega_r = T_d / P_d$$

$$\omega_r = 9,78 / 33,61 = 0,29$$

$$\omega_r = 0,29 \cdot 30 / \pi$$

$$\omega_r = 2,77 \text{ d/dak.}$$

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- b) Bir fazlı universal motorun sürülmesi durumunda,
- Motora uygulanan gerilim,

$$V_{O(rms)} = V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

$$V_o = 220 \cdot \sqrt{0,5} = 155,56V$$

- Motorun ürettiği hız,
 $\omega = (155 - 5 \cdot 0,25) / 0,25$
 $\omega = 152,5 \text{ rad/s} = 1457 \text{ d/dak.}$

- Motorun ürettiği tork,
 $T_d = k \cdot I_f \cdot I_a = k \cdot (I_a)^2$

$$T_d = 0,71 \cdot (5)^2 = 17,75$$

4- Motorun ürettiği güç,

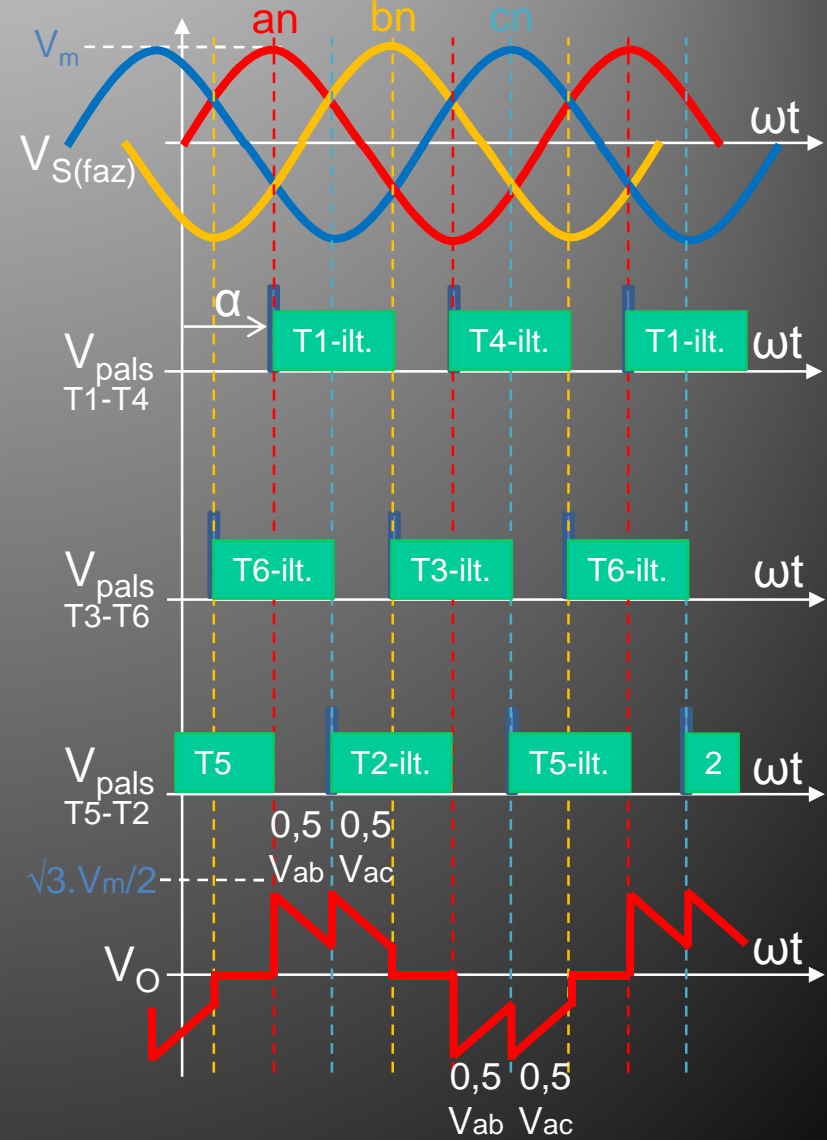
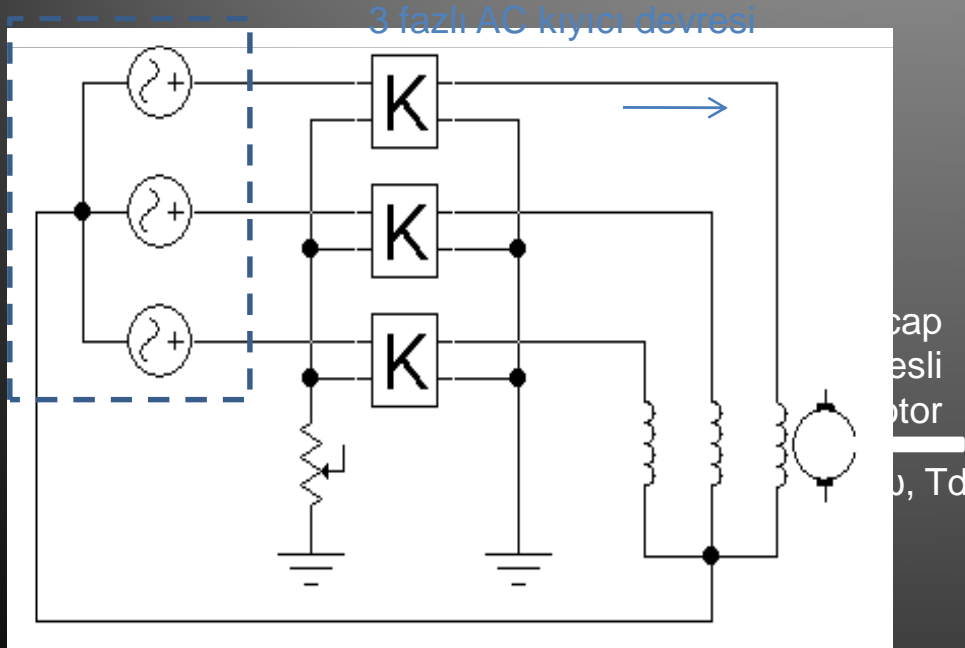
$$P_d = T_d \cdot \omega$$

$$P_d = 17,75 \cdot 152,5 = 2,7 \text{ kW}$$

- **Üç fazlı AC kıyıcı sürücü;**
- Bilindiği gibi 3 fazlı asenkron motorlarda etkin hız kontrolü, frekans kontrolü sayesinde sağlanabilmektedir.
- Fakat bu tür motorlara yol verme, tork ve sabit yük altında hız kontrolü için 3 fazlı faz açısı kontrollü AC kıyıcı devreleri de yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Yine bilindiği gibi 3 fazlı asenkron motorların, sincap kafesli (kısadevrelili) ve sargılı rotorlu (bilezikli) olmak üzere 2 türü bulunmaktadır. AC kıyıcı sürücüler sincap kafesli motorların kontrolünde kullanılmaktadır.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Aşağıdaki Şekil-11.6'da üç fazlı sincap kafesli bir asenkron motorun, 3 fazlı faz açısı kontrollü AC kıyıcı sürücü ile kontrol edilmesi görülmektedir. Yan taraftaki Şekil-11.7'de ise dalga şekilleri görülmektedir.



XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.6 ve 7'den görüldüğü gibi, 3 faz sincap kafesli asenkron motorun yıldız bağlı stator sargıları AC kıyıcı üzerinden beslenmektedir. Böylelikle motora aktarılan güç artırılıp azaltılarak motorun kontrolü yapılmaktadır.
- Motor, asenkron motor yapısında olduğu için eşitlikleri de asenkron motorun eşitlikleri ile aynıdır.
- Birkaç yüz watt seviyesinden 10-15kW seviyelerine kadar olan güçlerde kullanılan bu motorlar ucuz olmaları bakımsız olması ve temel kontrolünün kolay olması açısından pek çok cihazda tercih edilmektedir.

- Şekil-11.6 ve 7'den hareketle;
1- Stator gerilimi (yıldız bağlantı),

$$V_{O(rms)} = \sqrt{6} \cdot V_s \sqrt{\frac{5}{24} + \frac{\alpha}{4\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{16\pi} + \frac{\sqrt{3} \cos 2\alpha}{16\pi}}$$

- 2- Giriş gücü,

$$P_i = 3 \cdot V_s \cdot I_s \cdot \cos \phi$$

- 3- Motorun ürettiği güç,

$$P_d = 3 \cdot (I_s)^2 \cdot (R_r/s) \cdot (1-s)$$

- 4- Motorun ürettiği tork (moment),

$$T_d = P_d / \omega_r$$

veya,

$$T_d = \frac{3 \cdot R_r \cdot V_o^2}{s \cdot \omega_s \cdot [(R_s + R_r/s)^2 + (X_s + X_r)^2]}$$

eşitliği kullanılarak bulunabilecektir.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

5- Döner alan hızı,

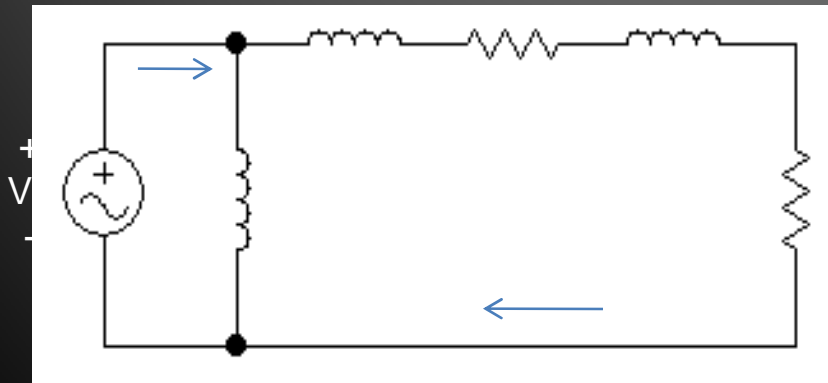
$$\omega_s = 2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_s) / p$$

6- Motor hızı,

$$\omega_r = \omega_s \cdot (1 - s)$$

7- Kayma, $s = (\omega_s - \omega_r) / \omega_s$

- Eşitliklerden görüldüğü gibi motorun ürettiği tork ve güç aşağıda Şekil-11.8'de görülen ve daha önce açıklanmış olan eşdeğer devre parametreleri kullanılarak bulunabilmektedir.



- **Örnek:**
- 380V/220V-50Hz şebekede, üç fazlı faz açısı kontrollü AC kıyıcı devresi kullanılarak,
- a) Gerilimi 380V/220V-50Hz, kayması %3 olan, üçgen bağlı, 2 kutuplu, $R_r = 0,2\Omega$ $R_s = 0,4\Omega$ $X_r = X_s = 0,8\Omega$ olan üç fazlı asenkron motor sürüldüğünde, bu motoru süren AC kıyıcının uyarma açısının 90° olması durumu için, motora uygulanan gerilimi, motorun ürettiği tork, güç ve hızı hesaplayınız.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **Çözüm:**
- a) Sincap kafesli 3 faz motor için;
- Motora uygulanan gerilim,

$$V_{O(rms)} = \sqrt{3} \cdot V_{S(rms)} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 380 \sqrt{1 - \frac{\pi/2}{\pi} + \frac{\sin 2.90}{2\pi}}$$

$$V_{O(rms)} = 380 \sqrt{0,5} = 268,7V$$

- Motorun ürettiği tork,

$$T_d = \frac{3 \cdot R_r \cdot V_o^2}{s \cdot \omega_s \cdot [(R_s + R_r / s)^2 + (X_s + X_r)^2]}$$

$$T_d = \frac{3 \cdot 0,2 \cdot 268,7^2}{0,03 \cdot 314 \cdot [(0,4 + 0,2 / 0,03)^2 + (0,8 + 0,8)^2]}$$

$$T_d = \frac{43320}{494,5} = 87,6 Nm$$

- Motorun ürettiği güç,
 $P_d = (I_s)^2 \cdot (R_r / s) \cdot (1 - s)$

$$I_s = \frac{V_o}{s \cdot \omega_s \cdot [(R_s + R_r / s)^2 + (X_s + X_r)^2]^{1/2}}$$

$$I_s = \frac{268,7}{0,03 \cdot 314 \cdot [(0,4 + 0,2 / 0,03)^2 + (0,8 + 0,8)^2]^{1/2}}$$

$$I_s = \frac{268,7}{68,24} = 3,94 A$$

$$P_d = 3 \cdot 3,94^2 \cdot (0,2 / 0,03) \cdot (1 - 0,03)$$

$$P_d = 301,15W$$

- Motorun ürettiği hız,

$$\omega_r = T_d / P_d$$

$$\omega_r = 87,6 / 301,15 = 0,29$$

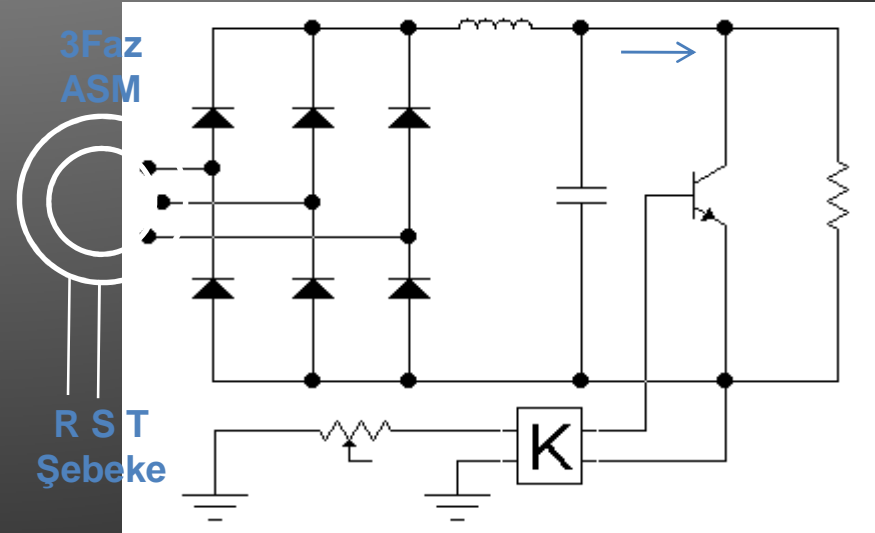
$$\omega_r = 0,29 \cdot 30 / \pi$$

$$\omega_r = 2,77 \text{ d/dak.}$$

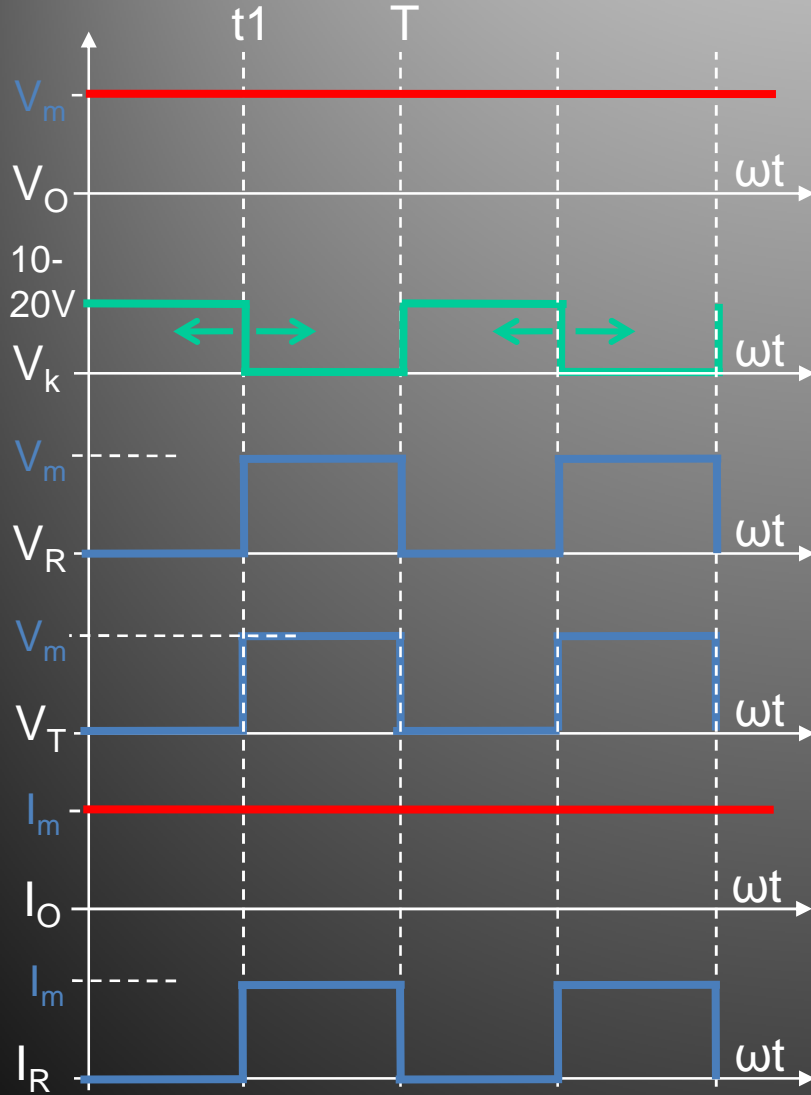
XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **2- Rotor Voltaj Kontrollü AC Motor Sürücüler;**
- Bilindiği gibi yüksek güçlerde 3 fazlı sargılı rotorlu (bilezikli) asenkron motorlar kullanılmaktadır.
- Bu tür motorlarda kaynaktan çekilen güç çok yüksek olduğu için genellikle stator devresi kaynağa doğrudan bağlanmakta, motorun kontrolü ise bilezikler yardımıyla motor dışına çıkarılmış olan rotor uçları üzerinden yapılmalıdır.
- Dolayısıyla bilezikli asenkron motorların kontrolünde sincap kafeslilerde kullanılan stator voltaj kontrolü yerine “Rotor Voltaj Kontrolü” yöntemi kullanılmaktadır.

- Bilezikli asenkron motorların kontrolünde kullanılmakta olan rotor voltaj kontrolü yöntemi,
 - 1- DC kıyıcı rotor voltaj kontrolü,
 - 2- Konvertörlü rotor voltaj kontrolü,olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Şekil-11.9’da DC kıyıcı kontrol yöntemi, Şekil-11.10 da ise dalga şekilleri görülmektedir.



XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER



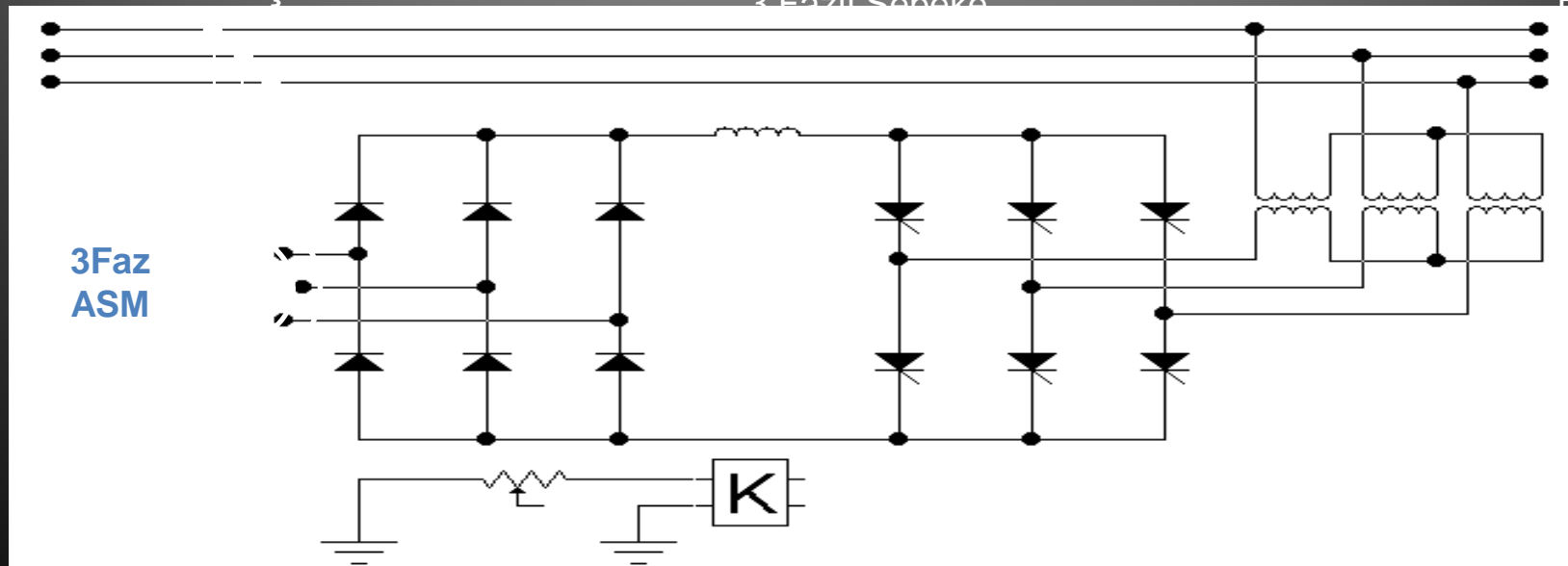
- Şekil-11.9 ve 10'dan hareketle;
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_r = I_o.R.(1-k)$ veya,
 $V_r = 3.\sqrt{3}.\sqrt{2}.E_r / \pi = 2,3394.E_r$
 $V_r = 2,3394.(s.V_s.a)$
 - 2- Üretilen güç,
 $P_d = (1-s).V_r.I_o / s$ veya,
 $P_d = T_L.\omega_s.(1-s)$
 - 3- Rotor akımı,
 $I_o = P_d / V_r = T_L.\omega_s / 2,3394.V_s.a$
 - 4- Kayma,
 $I_o.R.(1-k) = 2,3394.(s.V_s.a)$ ise,
 $s = I_o.R.(1-k) / 2,3394.V_s.a$
 - 5- Motor hızı,
 $\omega_r = \omega_s.(1-s) = 2.(2.\pi.f).(1-s) / p$

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Yukarıda verilen eşitliklerde,
Vr: Rotor kontrol devresi çıkışındaki gerilim,
Er: Rotorda endüklenen gerilim,
R: Rotor kontrol direnci,
Io: Rotor devresinden çekilen akım,
k: Kontrol devresi etkin periyodu,
s: Kayma,
a: motorun dönüştürme oranı,
Pd: Rotor devresinde üretilen güç,
TL: Yük momenti,
 ω_s : Döner alan hızı,
f: Şebeke frekansı,
p: Motorun kutup sayısı,
olarak gösterilmiştir.
- Bilindiği gibi, bilezikli asenkron motorlarda rotor uçları açık devre bırakılırsa motorda dönme hareketi oluşmuyor, motor sadece bir transformatör gibi gerilim üretir.
- Motorun rotor devresi bir reosta grubu ile kontrollü olarak açık devreden kısa devreye doğru götürülerek motora yol verilmekte ve hız kontrolü yapılabilmekte idi.
- Şekil-11.9 ve 10 ile eşitliklerden görülebileceği gibi, klasik yöntemde reosta ile yapılan kontrol yerine burada rotor gerilimi doğrultulup B sınıfı bir DC kıyıcı ile kontrol direnci üzerine aktarılmakta ve kontrol gerçekleştirilmektedir.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.9'da verilen rotor voltaj kontrol devresinde rotorda oluşan güç kontrol direnci "R" üzerinde kontrollü olarak yakılmaktadır.
- Özellikle çok yüksek güçlerde kullanılan bilezikli motorlarda bu şekilde bir kontrol çok büyük enerji kayıplarına yol açmakta ve sistemin verimini düşürmektedir.
- Bu noktadan hareketle rotor devresinde direnç üzerinde harcana bu gücün kaynağa geri aktarılabilceği fikri doğmuş ve bu fikirden hareketle de aşağıdaki Şekil-11.11'de görülen konvertörlü rotor voltaj kontrol devresi (**statik kramer sürücü**) geliştirilmiştir.



XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.11'den görüldüğü gibi, statik kramer sürücü devresi ile, bilezikli asenkron motorun rotorunda endüklenen gerilim, doğrultulup filtre edilmekte daha sonra da uyarma açısı $\alpha = 90^\circ$ ile 180° arasında kontrol edilen üç fazlı tam kontrollü bir doğrultucu ve 3 fazlı bir transformatör üzerinden 3 fazlı şebekeye aktarılmaktadır.
- Burada kontrollü doğrultucu 90° derecenin üzerindeki açılarda çalıştırılarak, pasif halde tutulmakta ve rotorda indüklenip doğrultulan gerilimi şebeke frekansında anahtarlayarak transformatörün primer devresine aktarmaktadır.
- Şebekeye göre seviyesi düşük olan bu gerilim, uygun dönüştürme oranında seçilmiş olan transformatör yardımıyla şebeke gerilim seviyesine getirilerek şebekeye beslenmektedir.
- Motorun kontrolü gerektiğinde “ α ” uyarma açısı 90° derece ile 180° derece arasında ayarlanarak rotor devresindeki enerji şebekeye istenilen oranda aktarılmaktadır.
- Şebekeye aktarma seviyesine göre rotor devresinden çekilen akım değişeceği için motorun kayması dolayısıyla da hızı kontrol edilmiş olmaktadır. Bu yöntemle motor yol verme, hız ve tork kontrolü yapılır.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.11'den hareketle;
 - 1- Rotor gerilimi,
 $V_r = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot E_r / \pi = 2,3394 \cdot E_r$
 $V_r = 2,3394 \cdot (s \cdot V_s \cdot a_1)$
 - 2- Üretilen güç,
 $P_d = T_L \cdot \omega_s \cdot (1-s)$
 - 3- Rotor akımı,
 $I_o = P_d / V_r = T_L \cdot \omega_s / 2,3394 \cdot V_s \cdot a_1$
 - 4- Kayma,
 $s = (\omega_s - \omega_r) / \omega_s$
veya,
 $s = -a_1 \cdot \cos \alpha / a_2$
 - 5- Motor hızı,
 $\omega_r = \omega_s \cdot (1-s) = 2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f) \cdot (1-s) / p$
olarak bulunabilecektir.
- Yan tarafta verilen eşitliklerde,
 V_r : Rotor kontrol devresi çıkışındaki gerilim,
 E_r : Rotorda endüklenen gerilim,
 R : Rotor kontrol direnci,
 I_o : rotor devresinden çekilen akım,
 k : Kontrol devresi etkin periyodu,
 s : Kayma,
 a_1 : Motorun dönüştürme oranı,
 a_2 : Transformatörün dönşt. oranı,
 P_d : Rotor devresinde üretilen güç,
 T_L : Yük momenti,
 ω_s : Döner alan hızı,
 f : Şebeke frekansı,
 p : Motrun kutup sayısı,

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **Örnek:**

- a) 3 fazlı 460V-60Hz, 6 kutuplu bilezikli asenkron motor, dc kıyıcı ile kontrol edilmektedir. R_s ve $R_r=0,04\Omega$, $X_s=0,29\Omega$ ve $X_r=0,44\Omega$, $X_m=6,1\Omega$ 'dur. $a_1=0,9$ ve sabit I_d olduğuna ve motor 750Nm yük altında 1175d/dak. ile döndüğüne göre motorun 800d/dak. hızda momentini ve rotor akımı bulunuz.
- a) Yukarıda özellikleri verilen 3 fazlı bilezikli asenkron motor, toplam dönüştürme oranı $a_2=0,4$ olan konvertörlü sürücü ile kontrol edilmektedir. Motorun 1050d/dak. hızdaki momentini ve rotor akımını bulunuz.

- **Çözüm:**

- a) DC kıyıcılı çalışmada, 800d/dak. hızda tork,

$$T_L = T_{L1} \cdot \omega_1 / \omega_2$$

$$T_L = 750 \cdot (800 / 1175)^2 = 347,67 \text{ Nm}$$

Rotor akımı,

$$I_o = T_L \cdot \omega_s / 2,3394 \cdot V_s \cdot a$$

$$\omega_s = 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f / p = 2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 60 / 6 = 125,6$$

$$V_s = V_f = V_h / \sqrt{3} = 460 / \sqrt{3} = 265,6 \text{ V}$$

$$I_o = 347,67 \cdot 125,66 / 2,3394 \cdot 265,6 \cdot 0,9$$

$$I_o = 78,13 \text{ A}$$

b) Konvertörlü çalışmada,

$$T_L = 750 \cdot (1050 / 1175)^2 = 598,9 \text{ Nm}$$

$$I_o = 598,9 \cdot 125,66 / 2,3394 \cdot 265,58 \cdot 0,9$$

$$I_o = 134,6 \text{ A}$$

ÖDEV-13

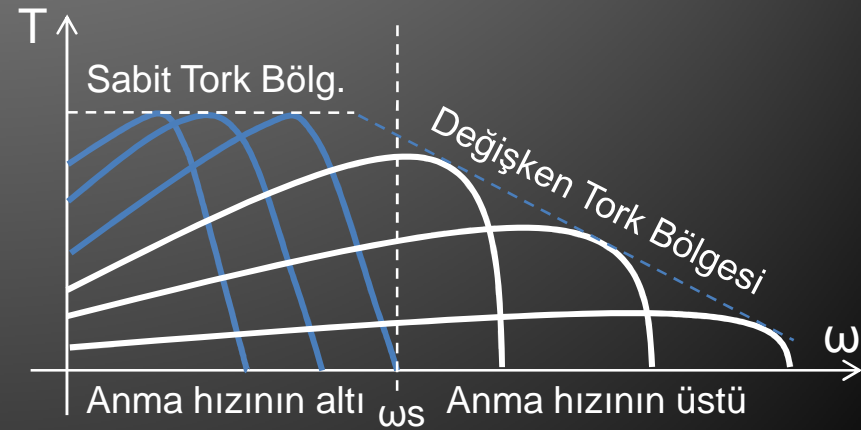
- 11.3) 380V/220V-50Hz şebekede, üç fazlı faz açısı kontrollü AC kıyıcı devresi kullanılarak, gerilimi 380V/220V-50Hz, kayması %3 olan, üçgen bağlı, 2 kutuplu, $R_r=0,2\Omega$ $R_s=0,4\Omega$ $X_r=X_s=0,8\Omega$ olan üç fazlı yıldız bağlı asenkron motor sürülmektedir. Bu motoru süren AC kıyıcının uyarma açısının 60° olması durumu için,
 - a) Sistemin açık şemasını tam olarak çiziniz ve devrelerin görevlerini maddeler halinde belirtiniz.
 - b) Devrenin çalışma dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - c) Motora uygulanan gerilimi, motorun ürettiği torku, motorun ürettiği gücü ve hızını hesaplayınız.
- 11.4) 3 fazlı 460V-60Hz, 6 kutuplu bilezikli asenkron motor, dc kıyıcı ile kontrol edilmektedir. R_s ve $R_r=0,04\Omega$, $X_s=0,29\Omega$ ve $X_s=0,44\Omega$, $X_m=6,1\Omega$ 'dur. $a_1=0,9$ ve sabit " I_d " olduğuna ve motor 700Nm yük altında 1200d/dak. ile döndüğüne göre,
 - a) Sistemin açık şemasını tam olarak çiziniz ve devrelerin görevlerini maddeler halinde belirtiniz.
 - b) Devrenin çalışma dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - c) Motorun 900d/dak. hızda döndürülmesi durumunda üretmiş olduğu momenti ve rotor devresinden çekilen akımı bulunuz.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **3- Stator Voltaj ve Frekans Kontrollü AC Motor Sürücüler;**
- Günümüzde, düşük ve orta güçlerde özellikle hız, yön ve hareket kontrolü gereken yerlerde, doğru akım motorları yerine daha ucuz olan ve bakım gerektirmeyen sincap kafesli asenkron motorlar tercih edilmektedir.
- Bu tercihin artmasındaki en büyük etken ise günümüzde oldukça gelişmiş ve ucuzlamış olan invertörlü sürücülerdir.
- Bu tür sürücülerde doğrultulup filtre edilen şebeke gerilimi 0-120Hz ve 0-220/380Vac arasında ayarlanarak motor kontrol edilmektedir.
- Stator voltaj ve frekans kontrolunda asenkron motor, anma hızının altında ve üstünde kontrol edilebilmektedir.
- Bilindiği gibi asenkron motorlarda yükten ve kaynaktan bağımsız olarak hız kontrolu yapabilmek için döner alan hızını kontrol etmek gerekmektedir.
- Anma hızının altında kontrol yapılması sırasında frekansı düşürmek gerekmektedir. Fakat frekans düştüğünde motor bobinlerinin endüktif reaktansları da (XL) düşeceği için motor aşırı akım çekecektir. Bu durumu engellemek için gerilimin düşürülmesi gerekir.

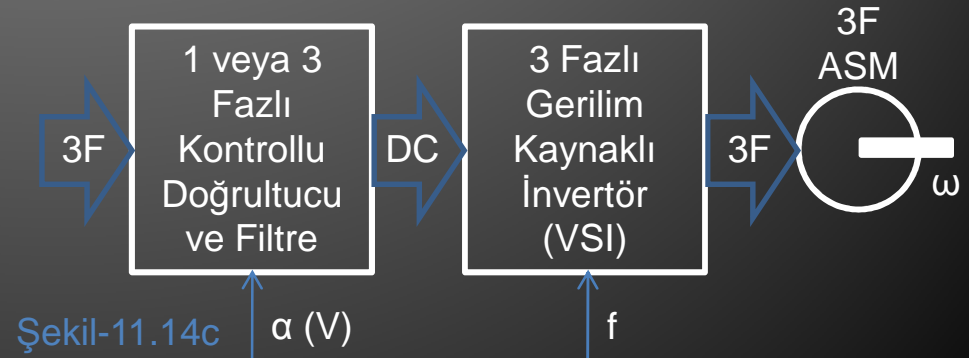
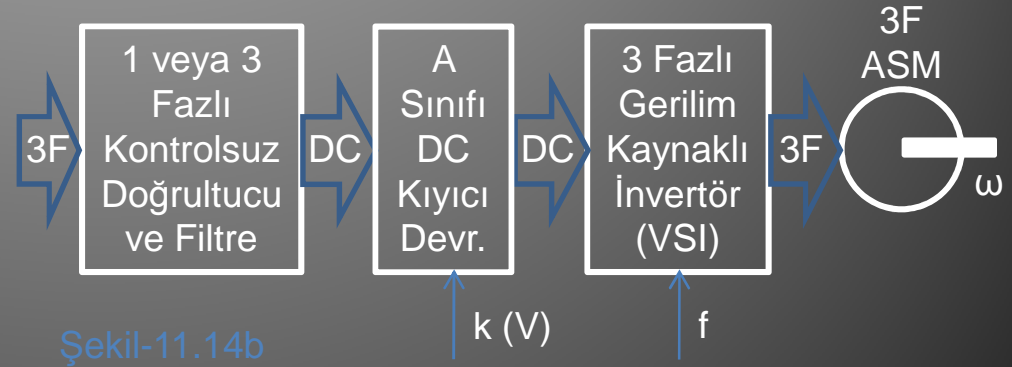
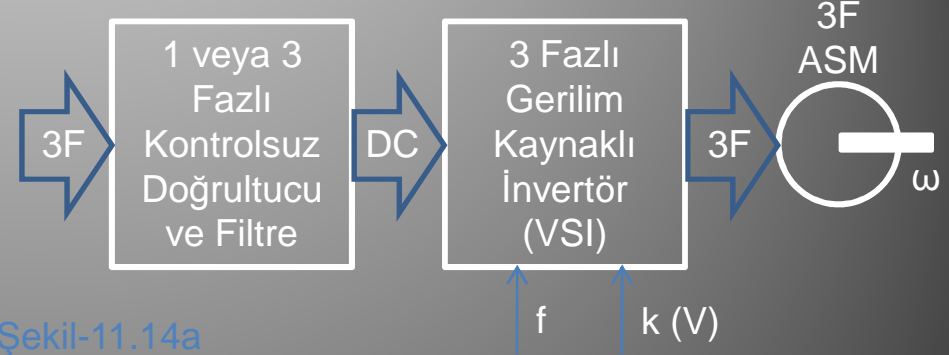
XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Bu durumda, anma hızının altında kontrol yapılması gerektiğinde “V/f kontrolü” olarak isimlendirilen “değişken genlik ve frekans fakat sabit gerilim/frekans oranı” kontrolü uygulanması gerekmektedir.
- Anma hızının üstündeki hız kontrolünde ise frekans yükseltilmesine rağmen genlik sabit bırakılarak “frekans kontrolü” olarak isimlendirilen farklı bir kontrol yöntemi kullanılmaktadır.
- Bu yöntemde anma hızının üzerine çıkmak için invertör çıkış frekansı kaynak frekansının üzerine çıkarılmakta ve buna bağlı olarak da sargıların XL’i artmaktadır.
- Bu durumda, invertör çıkış genliğini kaynağa bağlı olarak oluşan en yüksek çıkış değerinden daha yukarıya çıkarmak mümkün olmadığı için motorun stator akımı frekans yükseldikçe düşmekte ve bu da motorun ürettiği torkun düşmesine yol açmaktadır. Aşağıdaki Şekil-11.13’de kontrol sırasında motorun tork-hız eğrisinin değişimi görülmektedir.



XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- 3 fazlı sincap kafesli asenkron motorların anma hızının altında ve üstünde kontrol edilmesini sağlayan “stator voltaj ve frekans kontrolü” yönteminin uygulanması sırasında, amaç motorun hız kontrolünü sağlamak olduğu için “gerilim kaynaklı PWM invertör” (VSI) devreleri kullanılmaktadır.
- Yan tarafta görülen Şekil-11.14’de stator voltaj ve frekans kontrollü sürücü türlerinin blok bağlantıları görülmektedir.
- Şekillerden görüldüğü gibi gerilimin kontrol edildiği devreye göre üç farklı sürücü devresi tasarlamak mümkün olmaktadır.

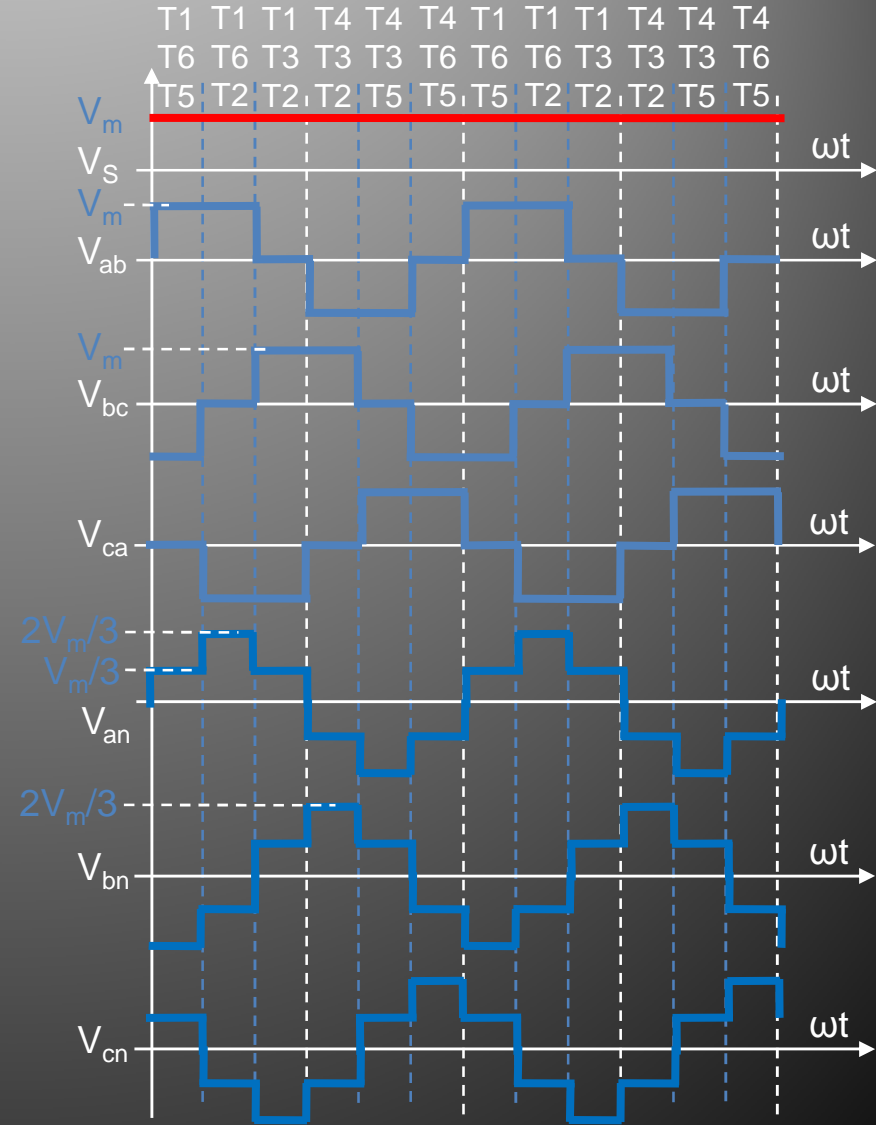


XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.14a'da görülen stator voltaj ve frekans kontrollü sürücü blok şemasında, öncelikle gerekli olan güce göre şebeke gerilimi 1 fazlı veya 3 fazlı kontrolsüz doğrultucu devresi kullanılarak doğrultulup filtre edilmektedir.
- Buradan elde edilen sabit DC gerilim kontrol edilmek üzere 3 fazlı gerilim kaynaklı invertöre (VSI) uygulanmıştır.
- İnvörtör çıkışında ise motoru kontrol etmek üzere 3 fazlı AC gerilim elde edilmektedir. Elde edilen bu gerilimin hem genliği (k), hem de frekansı (f) doğrudan invertör üzerinden kontrol edilmektedir.
- Şekil-11.14b'de görülen sürücü blok şemasında ise, yine gerekli olan güce göre şebeke gerilimi 1 fazlı veya 3 fazlı kontrolsüz doğrultucu ile doğrultulup filtre edilmekte, çıkışta elde edilen DC gerilim bir A sınıfı DC kıyıcı kullanılarak ayarlanabilmektedir.
- İnvörtör ise, girişine uygulanan gerilimin sadece frekansını kontrol ederek motora uygulamaktadır.
- Şekil-11.14c'de görülen blok şemada ise, şebeke gerilimi istenen güce göre 1 veya 3 fazlı kontrollü doğrultucu ile doğrultulup invertör girişine uygulanmıştır. İnvörtörde ise sadece frekans kontrolü yapılmaktadır.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Yan tarafta Şekil-11.15'de sürücünün çıkışında yer alan gerilim kaynaklı PWM invertörün çıkış dalga şekilleri görülmektedir.
- Sürücü devresiyle ilgili bazı eşitlikler ise aşağıda verilmiştir.
- Gerilim / Frekans oranı,
 $d = V_o / \omega s_1 = V_s / \omega s$
- Frekans değiştirme oranı,
 $\beta = \omega s_1 / \omega s$
- Kayma,
 $s = (\omega s_1 - \omega r) / \omega s_1$
 $s = 1 - (\omega r / \omega s_1)$
- Üretilen tork,
 $T_d = 3 \cdot R_r \cdot (V_a)^2 / s \cdot \beta \cdot \omega s \cdot [(R_s + R_r/s)^2 + (\beta \cdot X_s + \beta \cdot X_r)^2]$



XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **Örnek:**

- 3 fazlı 460V-60Hz-1750d/dak, 4 kutuplu yıldız bağlı asenkron motor, VSI sürücü ile kontrol edilmektedir, $R_s= 0,66$ $R_r= 0,38\Omega$ $X_s= 1,14\Omega$ $X_r= 1,71\Omega$ $X_m= 33,2\Omega$ $s= 0,03$ olduğuna göre,
- a) Motor anma hızının 2 katına çıkarılmak istenirse invertör çıkış frekansı ve motorun ürettiği tork ne kadar olur?
- b) Motor anma hızının yarısına düşürülmek istenirse invertör çıkış frekansı, invertör çıkış gerilimleri ve motorun ürettiği tork ne kadar olur?

- **Çözüm:**

- a) Anma hızının 2 katında;

Invertör çıkış frekansı,

$$\omega_s = 2 \cdot \omega / p = 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_s / p$$

$$\omega_s = 2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 60 / 4 = 188,4 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{s1} = \beta \cdot \omega_s = 2 \cdot 188,4 = 376,8 \text{ rad/s}$$

$$\omega = \omega_{s1} \cdot p / 2 = 376,8 \cdot 4 / 2 = 753,6$$

$$f = \omega / 2\pi = 753,6 / 6,28 = 120 \text{ Hz}$$

Motorun bu frekansta ürettiği tork,

$$T_d = 3 \cdot R_r \cdot (V_a)^2 /$$

$$s \cdot \beta \cdot \omega_s \cdot [(R_s + R_r/s)^2 + (\beta \cdot X_s + \beta \cdot X_r)^2]$$

$$T_d = 3 \cdot 0,38 \cdot (460/\sqrt{3})^2 /$$

$$0,03 \cdot 2 \cdot 188,4 \cdot [(0,66 + 0,38/0,03)^2 + (2 \cdot 1,14 + 2 \cdot 1,71)^2]$$

$$T_d = 80408 / 2374 = 33,87 \text{ Nm}$$

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- b) Anma hızının yarısında;
İnvertörün çıkış frekansı,
 $\omega_s = 2 \cdot \omega / p = 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_s / p$
 $\omega_s = 2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 60 / 4 = 188,4 \text{ rad/s}$
 $\omega_{s1} = \beta \cdot \omega_s = 0,5 \cdot 188,4$
 $\omega_{s1} = 94,2 \text{ rad/s}$
 $\omega = \omega_{s1} \cdot p / 2 = 94,2 \cdot 4 / 2 = 188,4$
 $f = \omega / 2\pi = 188,4 / 6,28 = 30 \text{ Hz}$
İnvertör çıkış gerilimi,
 $d = V_s / \omega_s = (460 / \sqrt{3}) / 188,4$
 $d = 1,4$ 'de sabit olması gerekiyor.
 $V_o = \omega_{s1} \cdot d = 94,2 \cdot 1,4$
 $V_o = 132,79 \text{ V}$ olmalıdır.
NOT: Frekans düştüğünde akımın artmaması için voltaj düşmüştür.

Motorun ürettiği tork,

$$T_d = 3 \cdot R_r \cdot (V_a)^2 /$$

$$s \cdot \beta \cdot \omega_s \cdot [(R_s + R_r/s)^2 + (\beta \cdot X_s + \beta \cdot X_r)^2]$$

$$T_d = 3 \cdot 0,38 \cdot (132,79)^2 /$$

$$0,03 \cdot 0,5 \cdot 188,4 \cdot [(0,66 + 0,38/0,03)^2 + (0,5 \cdot 1,14 + 0,5 \cdot 1,71)^2]$$

$$T_d = 20102 / 507,63 = 39,6 \text{ Nm}$$

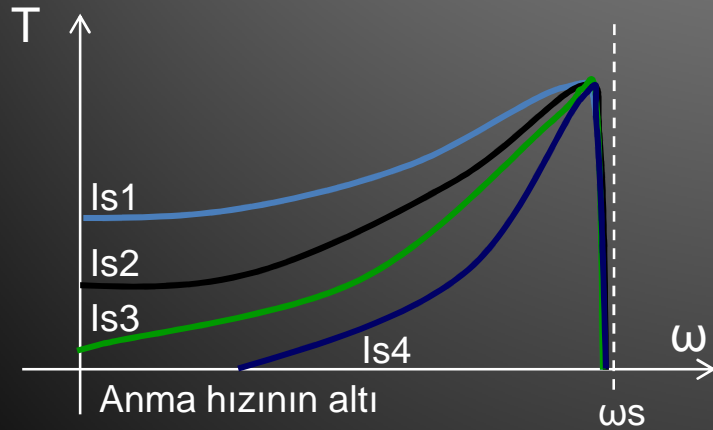
NOT: Motor anma hızının altında çalıştırıldığında ürettiği tork fazla değişmeyip anma torku civarında oluşmaktadır.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

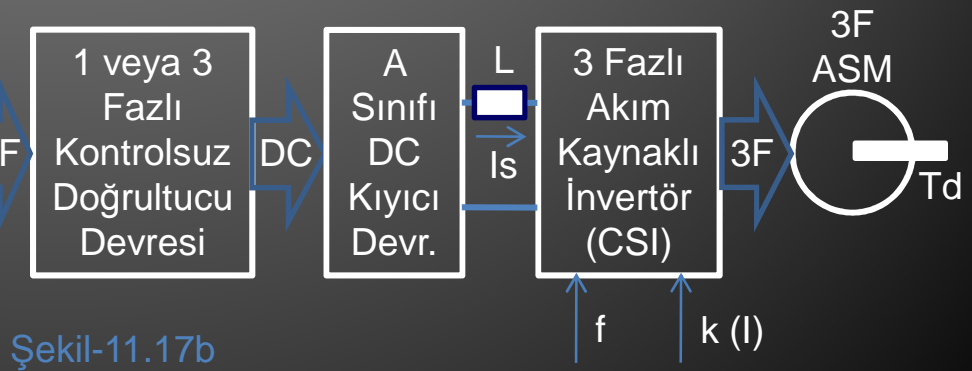
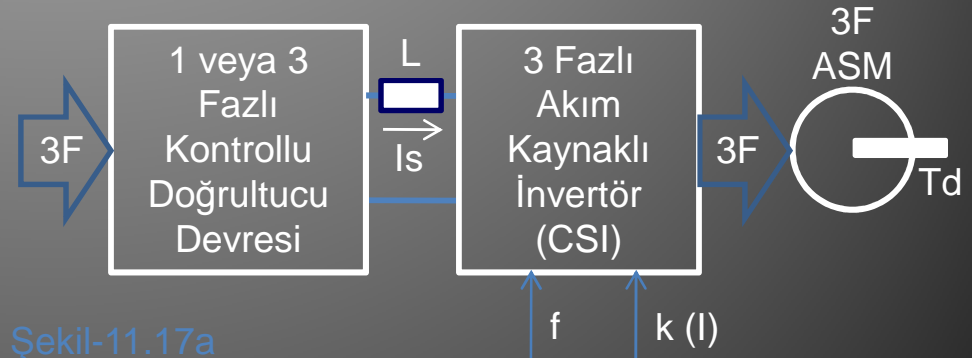
- **4- Stator Akım ve Frekans Kontrollü AC Motor Sürücüler;**
- Günümüzde, düşük ve orta güçlerde özellikle tork, yön ve hareket kontrolü gereken yerlerde, doğru akım motorları yerine daha ucuz olan ve bakım gerektirmeyen sincap kafesli asenkron motorlar yoğun olarak tercih edilmektedir.
- Bu tercihin artmasındaki en büyük etken ise günümüzde oldukça gelişmiş ve ucuzlamış olan invertörlü sürücülerdir.
- Bu tür sürücülerde doğrultulup filtre edilen şebeke akım kaynağı olarak kullanılıp motorun torku kolaylıkla kontrol edilmektedir.
- Stator akım ve frekans kontrolunda asenkron motor, anma torkunun altında etkin olarak kontrol edilebilmektedir.
- Bilindiği gibi asenkron motorlarda yükten ve kaynaktan bağımsız olarak tork kontrolü yapabilmek için döner alan hızını kontrol etmek gerekmektedir.
- Anma torkunun altında kontrol yapılması sırasında amaç istenilen hızda çalışırken motorun torkunu kontrol etmek olduğu için, invertör frekansı istenilen hızın oluşması için gerekli olan frekansa ayarlanır ve farklı bir hızda çalışmak istenmediği sürece sabit bırakılır.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Bu durumda, torku sıkı kontrol altında tutabilmek için invertör çıkışındaki akımı çok sıkı şekilde kontrol etmek gerekmektedir. Bu da ancak “akım kaynaklı invertör (CSI)” kullanılarak yapılabilir.
- Motor akımının sıkı kontrolü sayesinde Şekil-11.16’da görüldüğü gibi motorun tork-hız eğrisi istenildiği gibi değiştirilebilir.



- Aşağıdaki Şekil-11.17’de ise akım kaynaklı (CSI) invertör kullanılarak sincap kafesli asenkron motorun tork kontrolunun yapılabildiği sürücü devre blok yapıları görülmektedir.

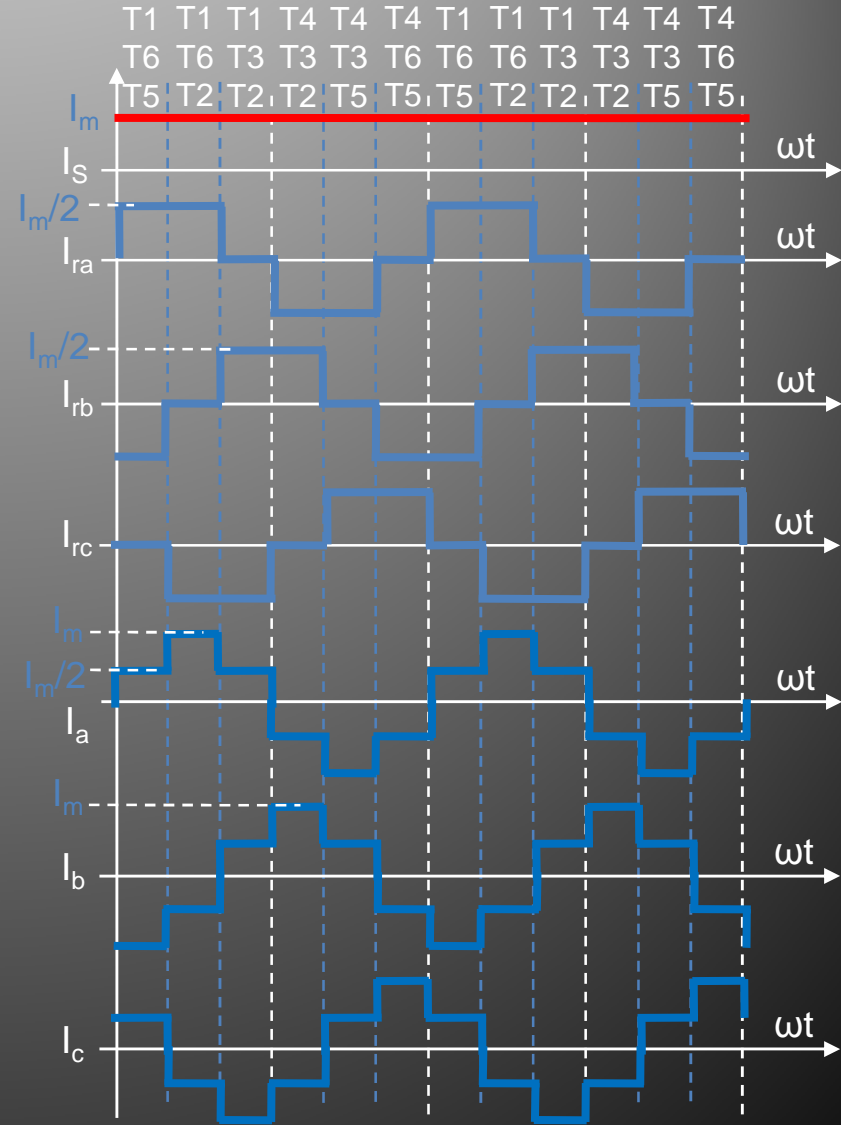


XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.17a'da görülen stator akım ve frekans kontrollü sürücü blok şemasında, öncelikle gerekli olan güce göre şebeke akımı 1 fazlı veya 3 fazlı kontrollü doğrultucu devresi ve endüktans kullanılarak doğrultulup elde edilmektedir.
- Buradan elde edilen sabit DC akım kontrol edilmek üzere 3 fazlı akım kaynaklı invertöre (CSI) uygulanmıştır.
- İnvörtör çıkışında ise motoru kontrol etmek üzere 3 fazlı AC akım elde edilmektedir. Elde edilen bu akımın hem genliği (k), hem de frekansı (f) doğrudan invertör üzerinden kontrol edilmektedir.
- Şekil-11.17b'de görülen sürücü blok şemasında ise, yine gerekli olan güce göre şebeke 1 fazlı veya 3 fazlı kontrolsüz doğrultucu ile doğrultulup, A sınıfı bir DC kıyıcı ve bir endüktans kullanılarak sabit kaynak akımı elde edilmektedir.
- İnvörtör ise, girişine uygulanan sabit akımın hem genliğini hem de istenen frekansını kontrol ederek motora uygulamaktadır.
- Her iki sürücü devresinde de akım kaynaklı invertör (CSI), motoru istenen frekansta çalıştırarak akımını yükten bağımsız olarak sıkı kontrol etmekte dolayısıyla da torku kolaylıkla denetleyebilmektedir.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Yan tarafta Şekil-11.18'de ise sürücünün çıkışında yer alan akım kaynaklı PWM invertörün çıkış dalga şekilleri görülmektedir.
- Sürücü devresiyle ilgili bazı eşitlikler ise aşağıda verilmiştir.
- Üretilen tork,
$$T_d = \frac{3 \cdot R_r \cdot (X_m \cdot I_s)^2}{s \cdot \omega_s \cdot [(R_s + R_r/s)^2 + (X_m + X_s + X_r)^2]}$$
- Kalkınma torku ($s=1$ için),
$$T_k = \frac{3 \cdot R_r \cdot (X_m \cdot I_s)^2}{\omega_s \cdot [(R_s + R_r)^2 + (X_m + X_s + X_r)^2]}$$
- Maksimum tork'daki kayma,
$$s_m = \frac{R_r}{\sqrt{(R_s)^2 + (X_m + X_s + X_r)^2}}$$
 olmaktadır.



XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **Örnek:**
- 3 fazlı 460V-60Hz-1750d/dak, 4 kutuplu yıldız bağlı asenkron motor, 20A kaynak akımında CSI sürücü 40Hz'de 55Nm üretecek şekilde kontrol edilmektedir, $R_s=0,66$ $R_r=0,38\Omega$ $X_s=1,14\Omega$ $X_r=1,71\Omega$ $X_m=33,2\Omega$ ve $s=0,03$ olduğuna göre,
 - a) Motorun maksimum torktaki kaymasını hesaplayınız.
 - b) Motorun kalkınma torkunu hesaplayınız.
- **Çözüm:**
- a) Maksimum torktaki kayma;
 $s_m = R_r / \sqrt{[(R_s)^2 + (X_m + X_s + X_r)^2]}$

$$s_m = 0,38 /$$

$$\sqrt{[(0,66)^2 + (33,2 + 1,14 + 1,71)^2]}$$

$$s_m = 0,38 / 36 = 0,01$$

b) Kalkınma torku,

$$\omega_s = 2 \cdot \omega / p = 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f / p$$

$$\omega_s = 2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 40 / 4 = 125,6 \text{ rad/s}$$

$$T_k = 3 \cdot R_r \cdot (X_m \cdot I_s)^2 /$$

$$\omega_s \cdot [(R_s + R_r)^2 + (X_m + X_s + X_r)^2]$$

$$T_k = 3 \cdot 0,38 \cdot (33,2 \cdot 20)^2 /$$

$$125,6 \cdot [(0,66 + 0,38)^2 +$$

$$(33,2 + 1,14 + 1,71)^2]$$

$$T_k = 502621 / 176288 = 2,85 \text{ Nm}$$

olarak bulunabilir.

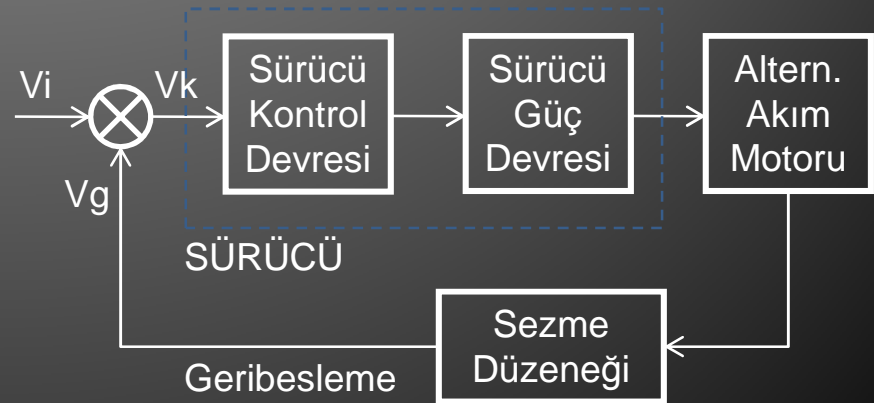
ÖDEV-14

- 14.1) 3 fazlı 380V-50Hz-2950d/dak, 2 kutuplu yıldız bağlı asenkron motor, VSI sürücü ile kontrol edilmektedir, $R_s= 0,56$ $R_r= 0,48\Omega$ $X_s= 1,34\Omega$ $X_r= 1,61\Omega$ $X_m= 23\Omega$ ve $s= 0,035$ olduğuna göre,
 - a) Sistemin açık şemasını tam olarak çiziniz ve devrelerin görevlerini belirtiniz.
 - b) Devrenin çalışma dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - c) Motor anma hızının 1,5 katına çıkarılmak istenirse invertör çıkış frekansı ve motorun ürettiği tork miktarını hesaplayınız.
- 14.2) 3 fazlı 380V-50Hz-2950d/dak, 2 kutuplu yıldız bağlı asenkron motor, 30A kaynak akımında CSI sürücü 30Hz'de 75Nm üretecek şekilde kontrol edilmektedir, $R_s= 0,56$ $R_r= 0,48\Omega$ $X_s= 1,34\Omega$ $X_r= 1,61\Omega$ $X_m= 23\Omega$ ve $s=0,035$ olduğuna göre,
 - a) Sistemin açık şemasını tam olarak çiziniz ve devrelerin görevlerini belirtiniz.
 - b) Devrenin çalışma dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - c) Motorun maksimum torktaki kaymasını ve kalkınma torkunu hesaplayınız.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- **5- AC MOTOR SÜRÜCÜLERDE GERİ BESLEME;**
- Alternatif akım motorlarının hız veya tork kontrollerinin yapılması sırasında, motoru kontrol eden sürücü devresinin etkin bir kontrol sağlayabilmesi için, kontrol edilen büyüklüklerin (hız, tork, akım vb.) sezilerek sürücü devresine geribeslenmesi gerekmektedir.
- Bu sayede kontrol edilen büyüklüğün istenilen seviyede olup olmadığı sürekli olarak kontrol edilir ve istenen değerden sapma oluyorsa sürücü kontrolleri değiştirilerek oluşan sapma hızlıca ve kolaylıkla giderilir.

- Aşağıdaki Şekil-11.19'da geribeslemeli bir alternatif akım motoru sürücü devresinin blok yapısı görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi kullanıcı tarafından verilen kontrol işareti sürücü kontrol girişine doğrudan uygulanmayıp, motor çıkışından gelen gerçek hız bilgisi ile karşılaştırılmaktadır.

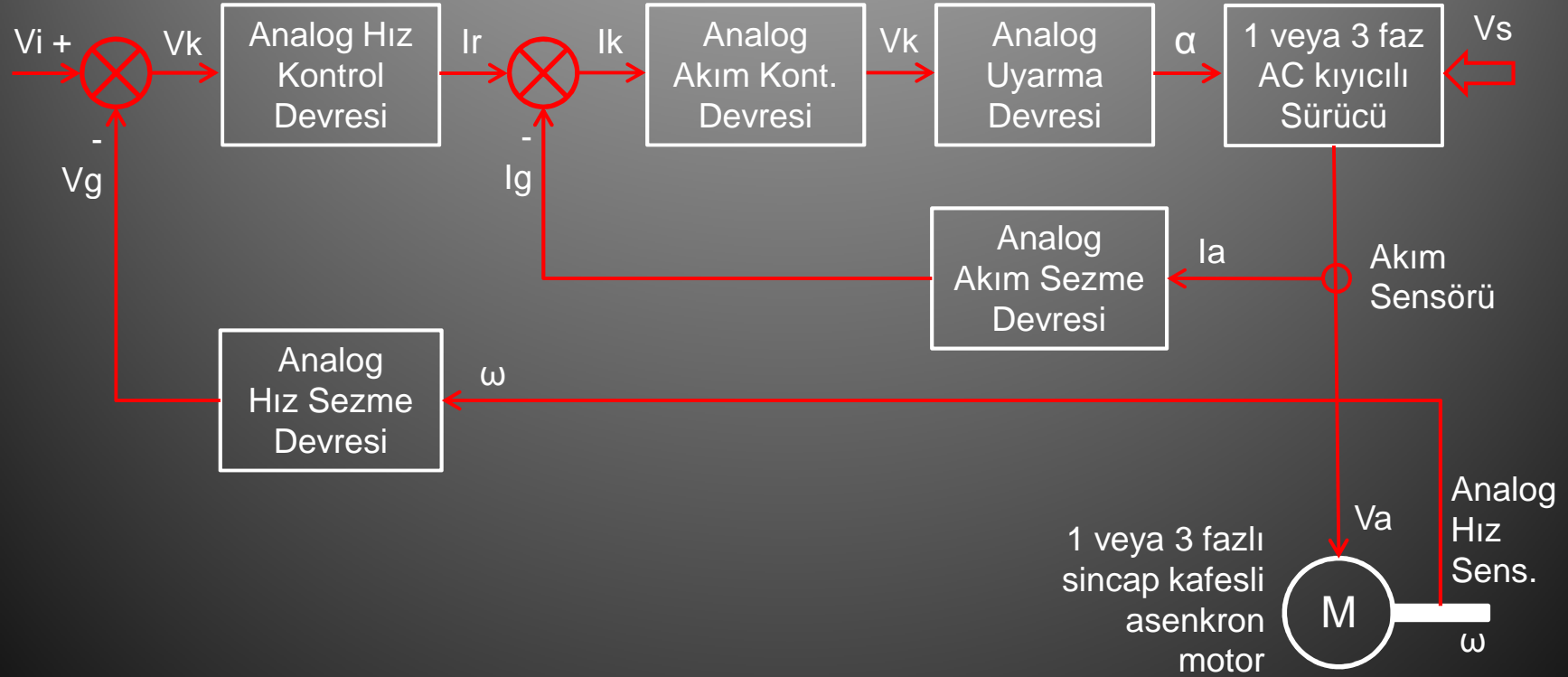


XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Bu bölümde geribesleme kavramı, etkileri, yöntemleri ve yararları ayrıntısıyla incelenecektir.
- Alternatif akım motorlarında hız kontrolü ve/veya tork kontrolü yapıldığında motorun istene hızda dönmesi veya istenen torku üretip üretmediği sürekli kontrol altında tutulmalıdır.
- Ayrıca bu kontrol yapılırken hem motorun hem de sürücü devrelerin sağlıklı çalışabilmesi ve korunabilmesi için akım, sıcaklık vb. bilgileri de sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Bu kontroller hem ac kıyıcı hem de invertörlü sürücüler için geçerlidir.
- **Analog Kontrollu Geribeslemeli Sürücü;**
- Alternatif akım motorlarında kullanılmakta olan iki temel sürücü türünden birisi olan analog kontrollu sürücü devreleri, mikroişlemci teknolojisi gelişene kadar kullanılmakta idi.
- Günümüzde bu devreler yerini tasarımı kurulumu ve kontrolü daha kolay olan mikroişlemci kontrollu sürücü devrelere bırakmaya başlamıştır.
- Bu tür kontrol devrelerinde analog çıkışlı seziciler (sensörler) kullanılmakta ve opamp ağırlıklı bir devre kurulmaktadır.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.20’de, anma hızının altında, analog kontrollü bir ac kıyıcılı sincap kafesli asenkron motor sürücü devresinin blok yapısı görülmektedir. Devrede kontrol edilecek asenkron motorun 1 veya 3 faz oluşuna göre AC kıyıcılı sürücü devresi 1 veya 3 fazlı olarak seçilmektedir.

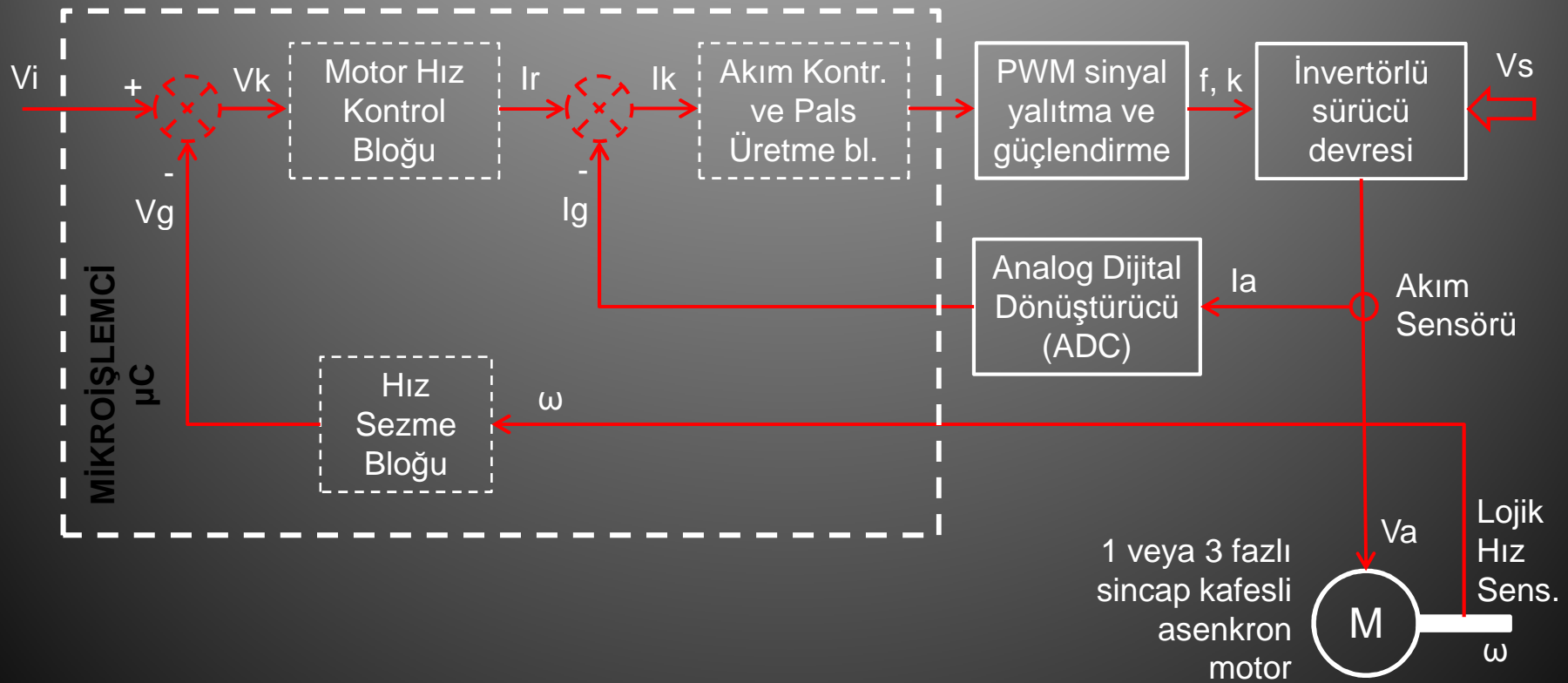


XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.20'den görüldüğü gibi, 1 veya 3 fazlı sincap kafesli asenkron motorun stator devresi geribeslemeli olarak kontrol edilmektedir. Burada analog uyarma devreleri ile kontrol edilen güç devreleri analog kontrol için daha uygun olan faz açısı kontrollü AC kıyıcı sürücü devresidir.
- Bu sürücünün amacı hız kontrolu olduğu için öncelikle hız bilgisi sezilerek geri beslenmiş ve değerlendirilmiştir. Ayrıca hem sürücünün hem de motorun sağlıklı çalışmasını ve güvenli çalışma için akım bilgisi de sezilerek geri beslenmiştir.
- **Mikroişlemci Kontrollü Geribeslemeli Sürücü;**
- Alternatif akım motorlarında kullanılmakta olan analog ve mikroişlemci kontrollü sürücü devrelerinden analog kontrollü sürücü devreleri, önceki yıllarda kullanılmakta idi.
- Günümüzde ise kontrol tekniklerinin gelişmesi ve maliyetlerin ucuzlaması sonucu mikroişlemci kontrollü invertörlü sürücü devreleri kullanılmaktadır.
- Bu tür kontrol devrelerinde lojik çıkışlı seziciler veya dönüştürücü kullanılmakta, mikroişlemci uygun şekilde programlanmaktadır.

XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.21’de, 3 fazlı sincap kafesli asenkron motorun, anma hızının üstünde ve anma hızının altında hız kontrolünü yapılabilen, mikroişlemci kontrollü, gerilim kaynaklı (VSI) PWM invertörlü sincap kafesli asenkron motor sürücü blok yapısı görülmektedir.



XI – AC MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-11.21'den görüldüğü gibi, yine 3 fazlı sincap kafesli bir asenkron motorun stator devresi geribeslemeli olarak kontrol edilmektedir.
- Burada mikroilemci düzeneği ile kontrol edilen güç devreleri doğrultucu, dc kıyıcı ve PWM invertör devrelerinden oluşur.
- Şekilden görüldüğü gibi, analog kontrollu sürücüde olduğu gibi yine hız, akım ve gerilim bilgileri sezilmiş ve kontrol işaretlerinin oluşturulabilmesi için ADC'lerden geçirilerek mikroişlemciye uygulanmıştır. Bu defa kontrol blokları μC içinde oluşturulmuştur.
- Mikroişlemci içinde oluşturulan bu sanal kontrol blokları uygun programlamanın yapılması sayesinde oluşmaktadır.
- Analog yöntemde analog devre elemanları veya hazır entegre devreler kullanılarak oluşturulan bu blokların ihtiyaca göre değiştirilmesi güçtür ve her seferinde farklı elektronik kart tasarımı gerektirmektedir.
- Mikroişlemci içinde oluşturulan sanal kontrol blokları ise yazılımdaki küçük değişikliklerle farklı işlevler üstlenebilirler. Ayrıca bu şekilde devre kopyalanması da engellenmiş olmaktadır.

Bölüm-12

Servo Motor Sürücüler

XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

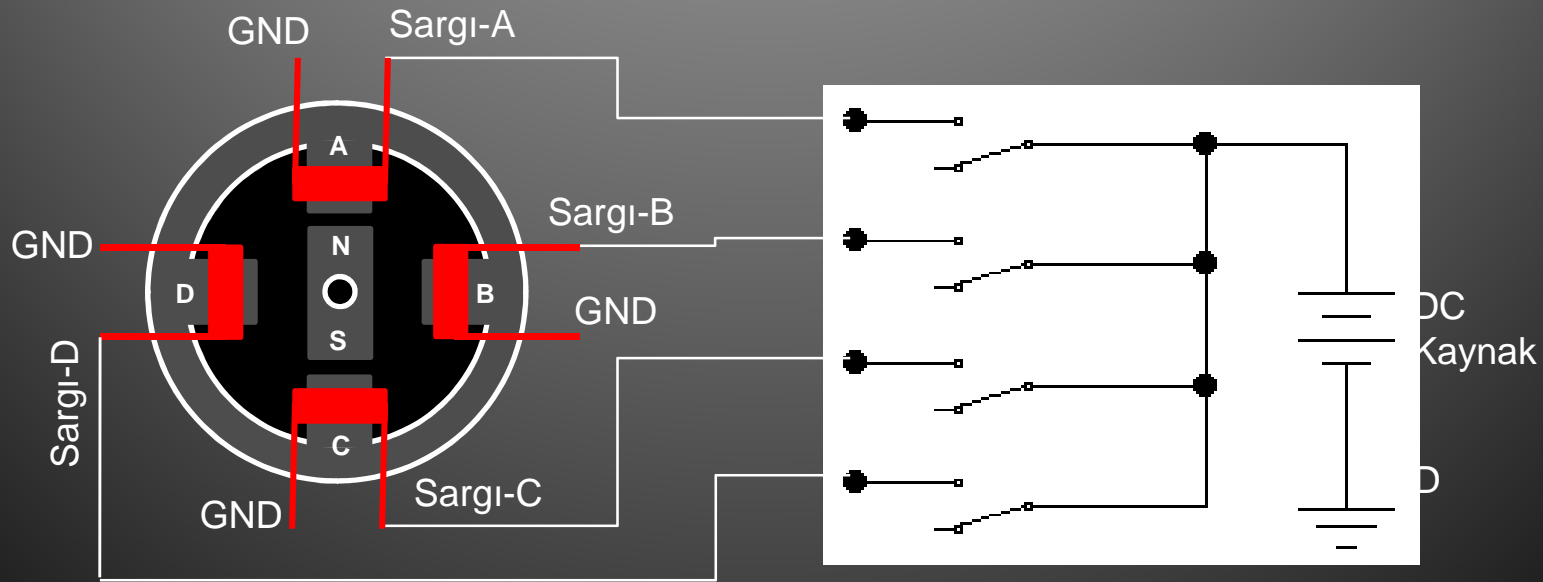
- Elektrik motorları, çeşitli mekanik işlemlerin yapılması için çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu işlemlerde motor genellikle sürekli dönmekte, motorun hızı, torku ve yönü ayarlanarak da istenilen kontrol gerçekleştirilmektedir.
- Motorlarda kullanılan bu klasik dönme kontrolünün yanısıra bir de sınırlı hareket (servo) kontrolu kullanılmaktadır. Bu kontrolda motor mili çoğu zaman 1 turdan daha küçük hareketleri gerçekleştirmektedir.
- Motorlarda yapılan bu kontrol türüne servo (hareket) kontrolu denilmektedir.
- Sınırlı hareket (servo) kontrolu için özel olarak üretilmiş olan motorlar ve kontrol üniteleri kullanılmaktadır.
- Sınırlı hareket kontrolunda kullanılan motorları 2 ana grup altında toplamak mümkündür. Bunlar;
 - 1) Adım (step) motorlar,
 - 2) Hareket (servo) motorlardır.
- Bu bölümde öncelikle adım (step) motorlar, daha sonra da hareket (servo) motorlar ve bu motorların kontrol devreleri (sürücüleri) ayrıntılı olarak incelenecektir.

XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

- **1) STEP MOTORLAR;**
- Step (adım) motorlar, hareket kontrolunda kullanılmakta olan özel motor yapılarıdır.
- Hareketleri diğer motorlarda olduğu gibi sürekli (kesintisiz) olmayan, derecesi belli adımlar halinde hareket gerçekleştiren bu motorlarla, çok yavaş veya çok hızlı olarak tanımlanmış dönme hareketleri gerçekleştirilebilir.
- Bu sayede step (adım) motorlar kullanılarak, yazıcılar, eğri çiziciler, kayıt cihazları, bilgisayar kontrollu makine tezgahları gibi pek çok uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Step motorların kontrolü DC kaynak kullanılarak yapılmaktadır. Bu kaynak gerilimi, lojik kontrol devreleri, mikroişlemciler veya doğrudan bilgisayar yardımıyla üretilen kontrol palsleri ile motor sargılarına uygun şekilde anahtarlanmaktadır.
- Bu sayede istenilen hareket kontrolü geribeslemeye gerek duyulmaksızın tam ve kesin olarak sağlanabilmektedir.
- Step motorlarda motor milinin bütün hareket alanı tanımlanmış durumdadır ve mil istenildiği kadar tur attırılıp istenilen yerde çok kolaylıkla durdurulabilir.

XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLERCÜLER

- Step (Adım) Motorların Temel Yapısı ve Bağlantıları;
- Aşağıdaki Şekil-12.1'de temel (prensipte) step motor yapısı ve temel kontrol bağlantısı görülmektedir.
- Şekil-12.1'den görülen step motor yapısında rotor sabit mıknatıstan, stator ise elektromıknatis kutuplardan oluşmaktadır ve bu kutuplar istenildiğinde aktif hale getirilebilmektedir.

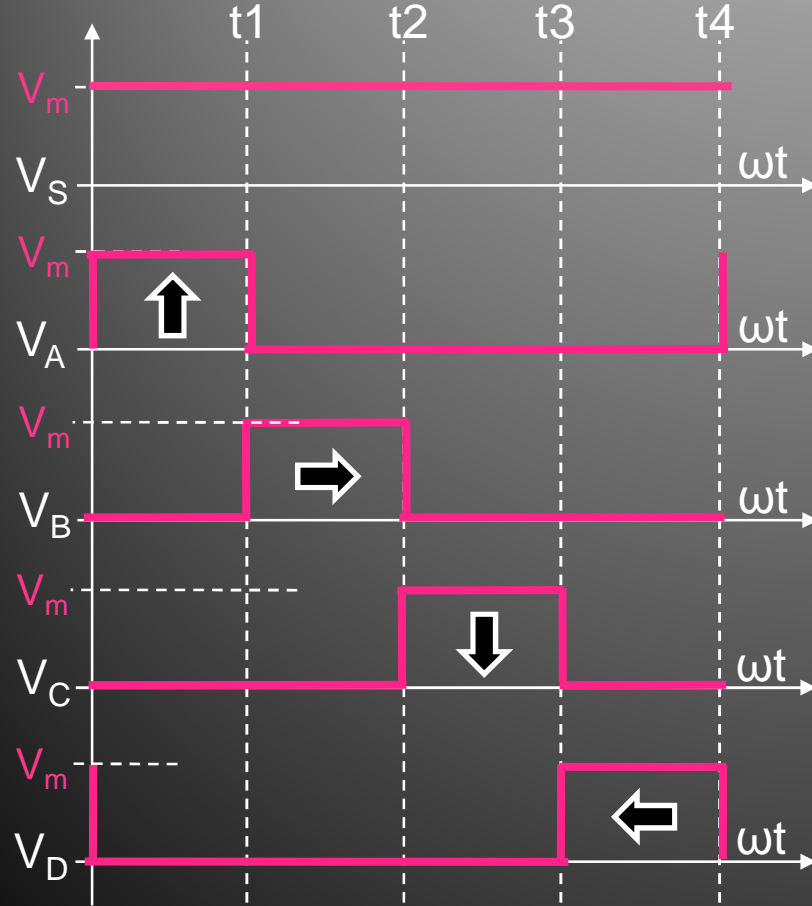


XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-12.1'den görüldüğü gibi, step motorun elektromanyetik kutupları istenildiği zaman anahtarlar yardımıyla dc kaynağa bağlanabilmektedir.
- Bu motorda adım hareketleriyle dönme oluşturulmak istendiğinde,
 - 1- Öncelikle “a” anahtarının “on” yapıldığını düşünürsek “a” sargısı enerjilenecek ve “a” kutbu mıknatıslanarak rotorun bulunduğu pozisyonda kilitlemesini sağlayacaktır.
 - 2- “a” anahtarı açılıp “b” anahtarı “on” yapıldığında ise “b” kutbu mıknatıslanacak ve rotor saat yönünde 45°'lik bir adım atacaktır.
 - 3- “b” anahtarı açılıp “c” anahtarı “on” yapıldığında ise bu defa “c” kutbu mıknatıslanacak ve rotor saat yönünde 45°'lik bir adım daha atacaktır.
 - 4- “c” anahtarı açılıp “d” anahtarı “on” yapıldığında ise bu defa “d” kutbu mıknatıslanacak ve rotor yine saat yönünde 45°'lik bir adım atacaktır.
 - 5- “d” anahtarı açılıp “a” anahtarı “on” yapıldığında ise yeniden “a” kutbu mıknatıslanacak ve rotor saat yönünde 45°'lik bir adım daha atacaktır.
- Bu durumda rotor bir turu 45°'lik 4 adımda tamamlamış olacaktır.

XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

- Aşağıdaki Şekil-12.2’de ise step motorun çalışması dalga şekilleri ile ifade edilmektedir.

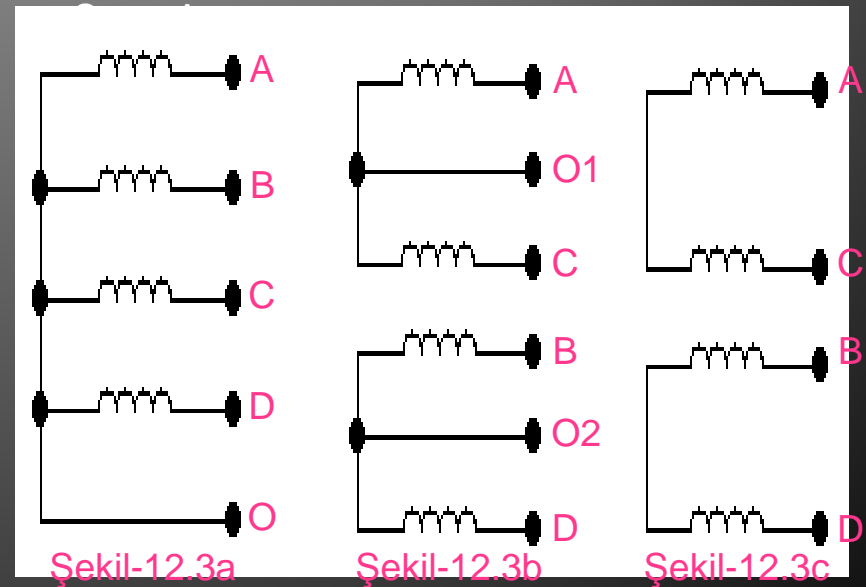


- Burada, sargılara uygulanan gerilimin frekansı yapılacak hareketin türüne göre 0Hz’den başlayarak motorun izin verdiği en yüksek frekanslara kadar çıkabilmektedir.
- Tabii ki burada her zaman tek amaç motora tur attırmak değildir. Bazı uygulamalarda ise motora bir tam turu tamamlatmadan yarım veya çeyrek turluk hareketler de yaptırılabilir.
- Burada motorun saat yönünde hareketi gösterilmiştir. Eğer motor saatin ters yönünde döndürülmek istenirse sargıların uyarılması A, D, C, B şeklinde ters çevrilmelidir.

XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

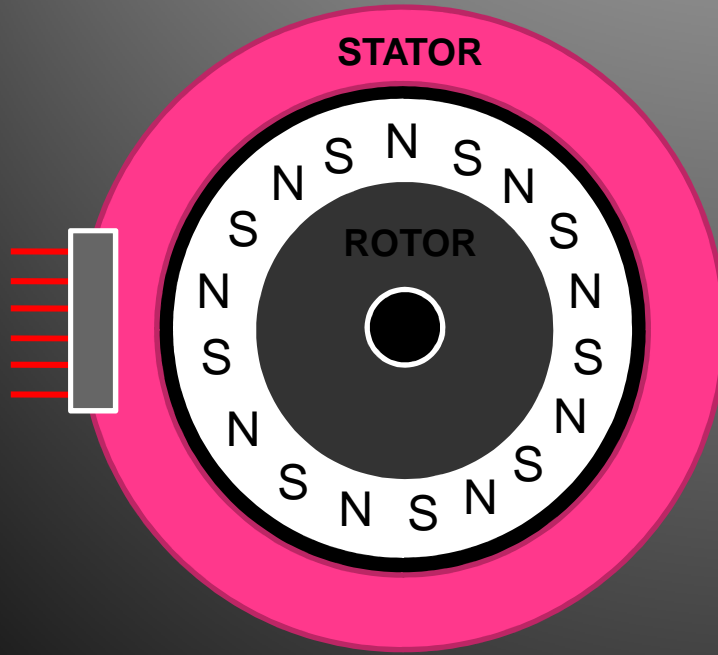
- Şekil-12.1’de gösterilen step motor prensip yapısında motor adımları 45° ’dir ve bu şekilde yapılacak hareket kontrolü çok kaba olacaktır.
- Uygulamada gerçek step motor yapılarında ise stator ve rotor “çok kutuplu” olarak imal edilmekte ve kutup sayısı arttırıldıkça “adım açısı” olarak isimlendirilen, rotorun her bir adımda yaptığı hareketin derecesi küçülmektedir.
- Bugün step motorların adım açıları $0,5$ derecelerin altına kadar indirilmiştir. Bu sayede de çok hassas hareket kontrolleri gerçekleştirilebilmektedir.

- Step motorlarda çok sayıda stator kutbu elde edebilmek için çok sayıda stator sargısı kullanmaya gerek yoktur. Bir sargı birden fazla kutbu kontrol edecek şekilde sarılmaktadır. Bu sargıların çeşitli bağlantıları aşağıda Şekil-12.3’de açık olarak görülmektedir.



XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

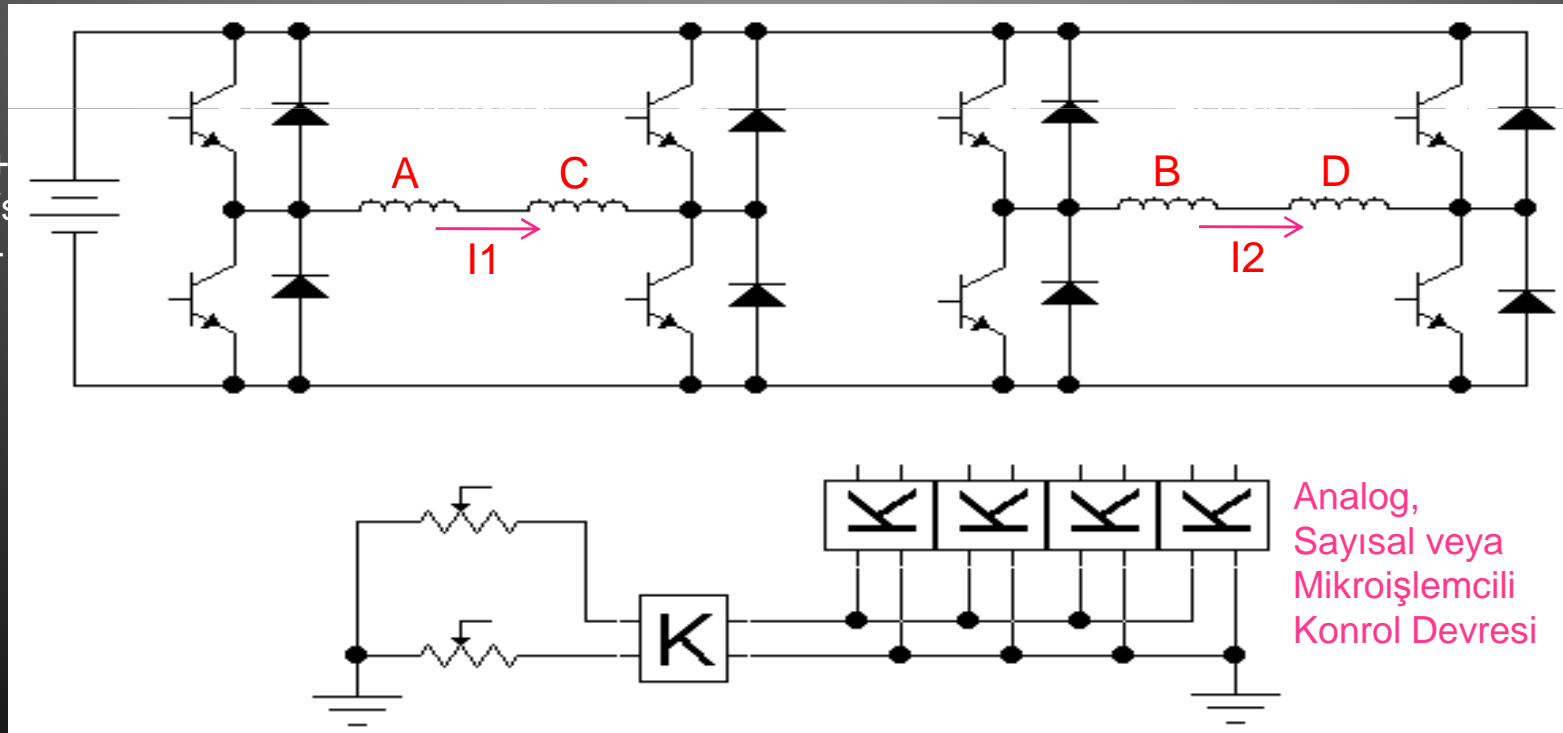
- Step motorlarda rotor kutup sayısını arttırabilmek için ise rotorda kullanılan sabit mıknatıs aşağıdaki Şekil-12.4'de görüldüğü gibi çok kutuplu olarak imal edilmektedir.



- Şekil-12.3 ve 12.4'de görülen yapıya sahip olan step motorda istenilen yönde istenilen derecede veya istenilen hızda hareket sağlayabilmek için iki farklı kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar,
1- Stator sargılarının çift yönlü olarak uyarılması,
2-Stator sargılarının tek yönlü olarak uyarılmasıdır.
- Step motordan istenen tork miktarına ve istenen hassasiyete göre bu kontrol yöntemlerinden birisi kullanılabilir.
- Bu bölümde her iki yöntem de devreleriyle birlikte ayrıntısıyla incelenecektir.

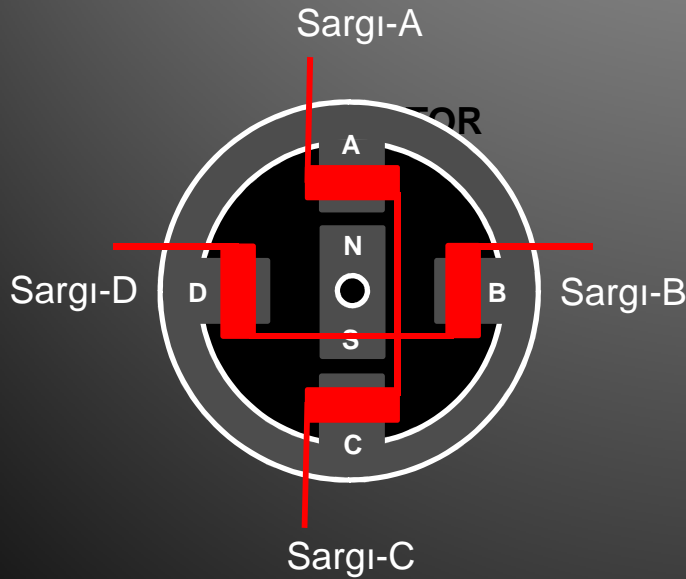
XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

- 1- Çift Yönlü Gerilimle Kontrol;
- Çift yönlü gerilimle kontrol yönteminde step motor sargıları Şekil-12.3c'de gösterildiği gibi bağlanmakta ve aşağıdaki Şekil-12.5'deki gibi uyarılmaktadır.
- Şekil-12.5'den görüldüğü gibi, seri bağlı olan A-C sargıları 1. köprü ile B-D sargıları ise 2. köprü ile çift yönlü olarak kontrol edilmektedir.
- Motorun istenen hareketi için köprüler uygun olarak sürülmelidir.

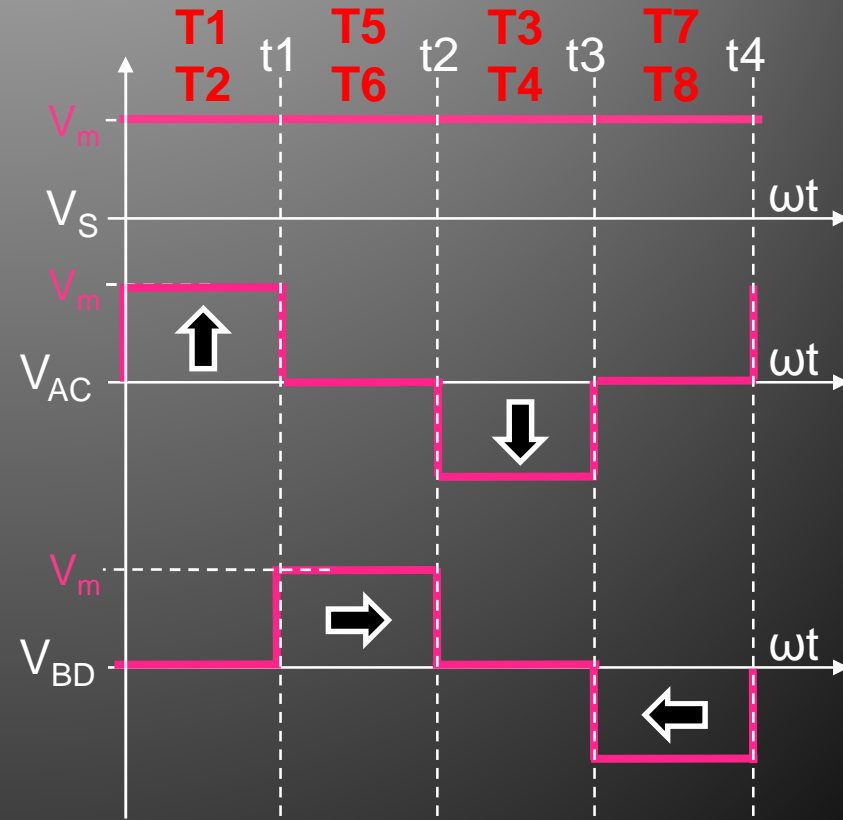


XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

- Aşağıda Şekil-12.6’da prensip olarak gösterilen step motorun, Şekil-12.5’de gösterilen köprüler yardımıyla kontrolü yan taraftaki Şekil-12.7’de dalga şekilleri ile ifade edilmiştir. Yapılan bu kontrol sayesinde step motora “**Tam Adım**” attırılmaktadır.

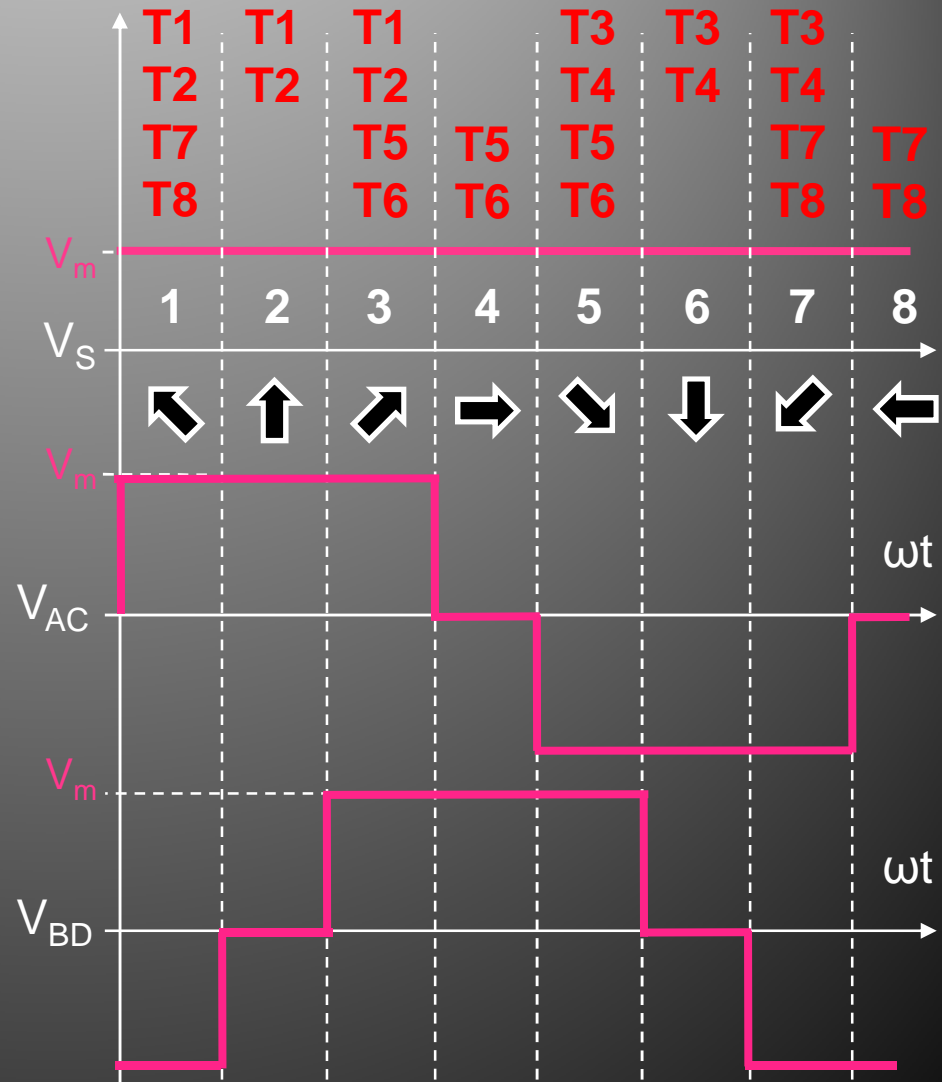


- Köprü-1 ve köprü-2 kullanılarak yapılan bu kontrol sayesinde güçlü mıknatıslanma, dolayısıyla yüksek torklu bir hareket oluşmaktadır.



XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

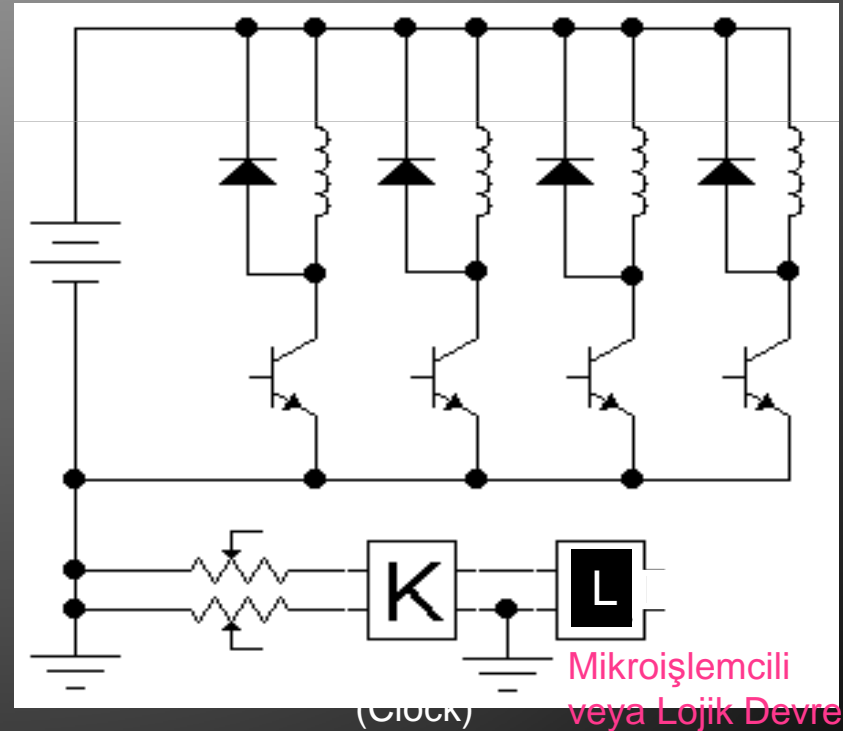
- Step motorlarda herhangi bir bağlantı veya sürücü devre değiştirmeden sadece kontrol mantığı değiştirilerek motora **“Yarım Adım”** attırmak mümkün olmaktadır.
- Yan tarafta Şekil-12.8’de aynı motor ve devrenin yarım adım kontrol için gerekli olan dalga şekilleri görülmektedir.
- Dalga şekillerinden görüldüğü gibi tam adımlar gerektiğinde sadece 1. veya 2. köprü uyarılmakta, yarım adımlar gerektiğinde ise iki köprü birden uyarılarak rotorun iki kutup arasında konumlanması sağlanmaktadır.



XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

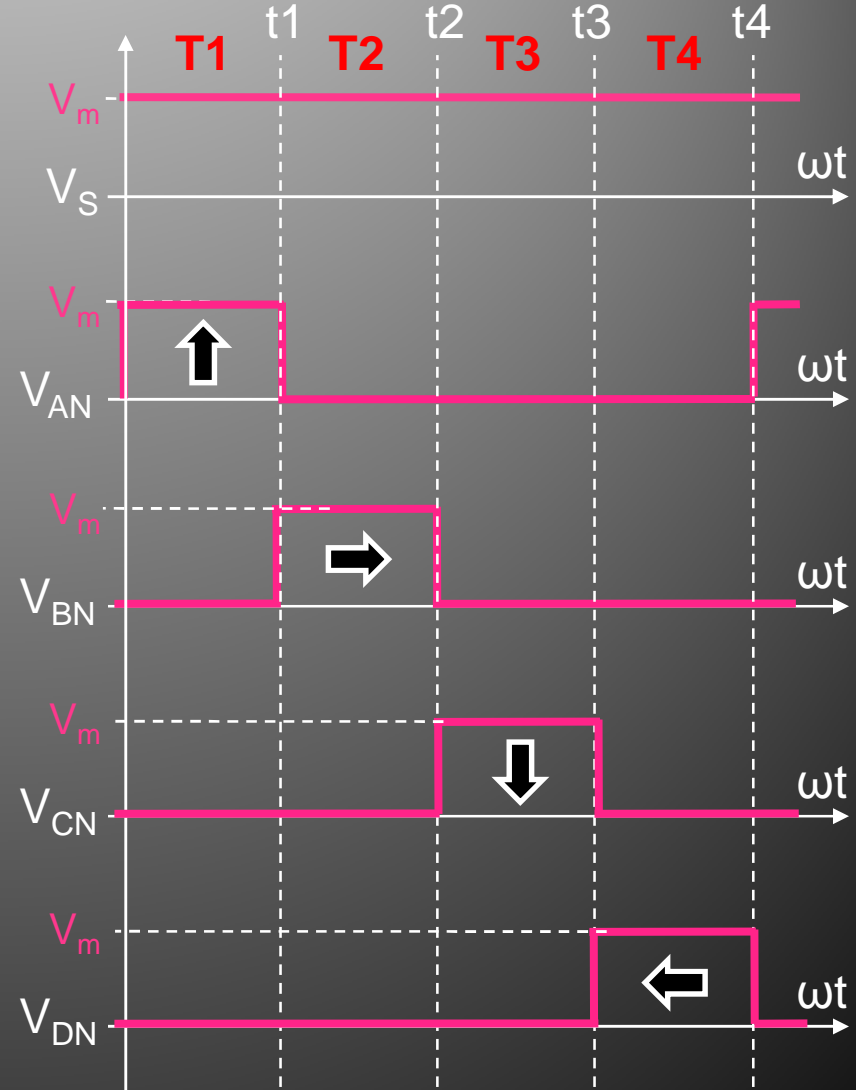
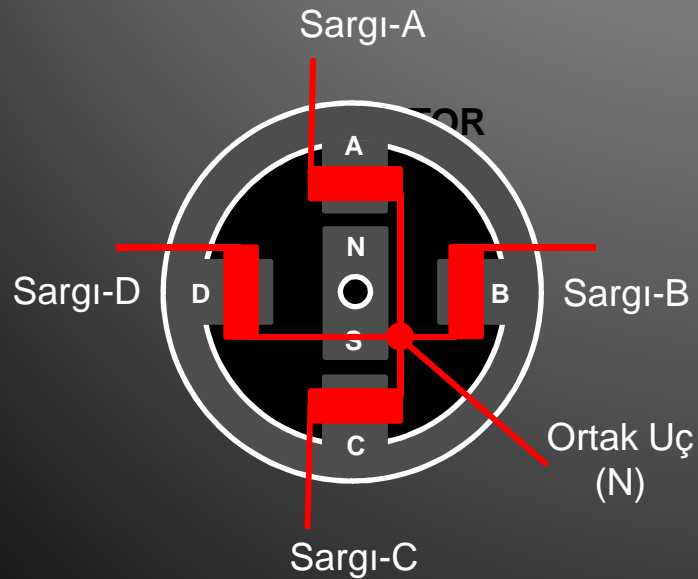
- Yarım adım uyarması yapıldığında motor 2 kat daha hassas şekilde kontrol edilebilmektedir. Örneğin adım açısı $7,5^\circ$ olan bir step motor bu kontrol yöntemi sayesinde adım açısı $3,75^\circ$ olan bir step motor gibi çalıştırılabilmektedir.
- Motoru saatin tersi yönünde döndürebilmek için ise Şekil-12.8'de görülen uyarı sıralaması ters olarak verilmelidir.
- Uygulamada bu şekilde bir kontrol gerçekleştirilebilmek için Şekil-12.5'de verilen güç devresi kurulabildiği gibi bu iş için özel olarak hazırlanmış olan entegre devreler de kullanılabilir.

- **2- Tek Yönlü Gerilimle Kontrol;**
- Tek yönlü gerilimle kontrol yönteminde step motor sargıları Şekil-12.3a'da gösterildiği gibi bağlanmakta ve aşağıdaki Şekil-12.9'daki gibi uyarılmaktadır.



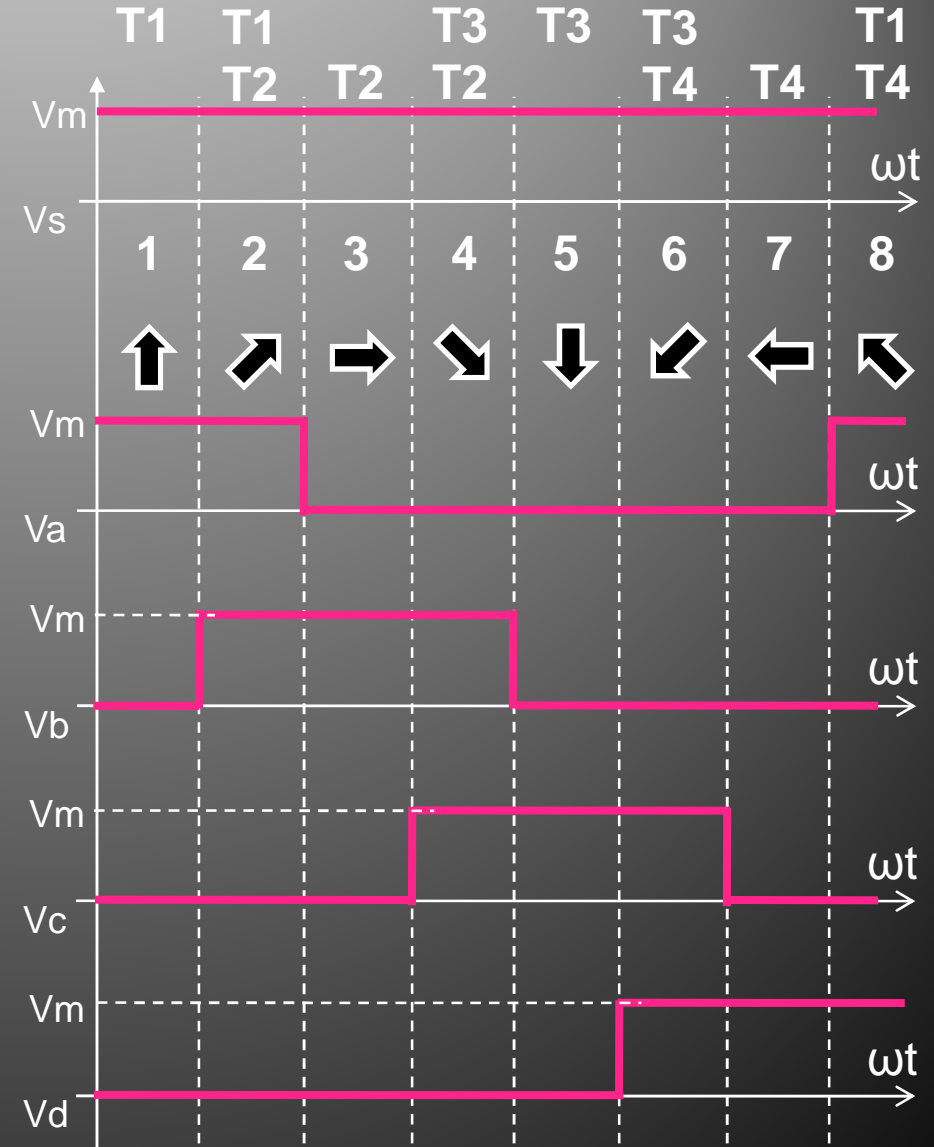
XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

- Aşağıda Şekil-12.10'da prensip olarak gösterilen step motorun, Şekil-12.9'da gösterilen devre yardımıyla kontrolü yan taraftaki Şekil-12.11'de dalga şekilleri ile ifade edilmiştir. Yapılan bu kontrol sayesinde step motora **“Tam Adım”** atırılmaktadır.



XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-12.11'den görüldüğü gibi her zaman diliminde sadece bir transistör uyarılarak sadece bir sargının enerjilenmesi sağlanmaktadır. Bu durumda da motor her uyarda bir adım atmaktadır.
- Şekil-12.10'da prensip olarak gösterilen step motorun, Şekil-12.9'da gösterilen aynı devre ile **“Yarım Adım”** kontrolü da yapılabilmektedir. Yanda Şekil-12.12'de yarım adım kontrolu yapılması durumunda kontrol devresi tarafından sargılara uygulanan gerilimlerin dalga şekilleri görülmektedir.



XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

- Şekil-12.12'den görüldüğü gibi tam adım pozisyonlarında tek sargı enerjilendirilmekte ve rotorun enerjilendirilen kutbun önünde pozisyon alması sağlanmakta, yarım adım pozisyonlarında ise iki sargı birlikte enerjilendirilmekte ve rotorun iki kutup arasında (ortada) pozisyon alması sağlanmaktadır.
- Bu sayede motorun mevcut adım açısı yarıya indirilmiştir. Fakat bu durumda yarım adım pozisyonlarında motor normal akımının iki katını çekmektedir.
- Motorun ters yönde dönmesini sağlamak için ise yine uyarma işaretleri ters uygulanmalıdır.
- Step motorla ilgili eşitlikler;
 - Step motor, dc besleme gerilimi kullanılarak sürücü devre yardımı ile oluşturulan kesikli döner alanı bire bir takip eden “senkron motor” yapısındadır. Bu durumda,
 - Motor hızı;
 $n(d/dak) = (\text{adım açısı}) \times f_c / 60$
 - Motor gerilimi;
 $V_m = V_s$
 - Motor akımı;
 $I_m = V_m / R_m$
(Yarım adımlarda akım 2 katıdır.)
 - Eşitliklerde;
 f_c : Clock (saat) frekansı.
 R_m : Motorun sargı direnci.

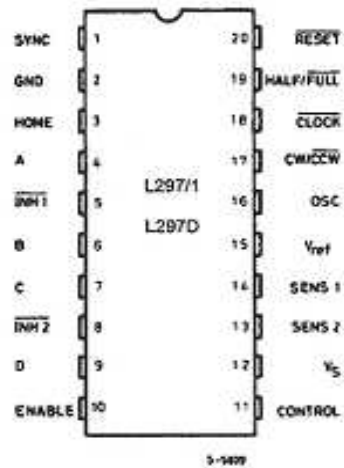
XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

- **Step Motor Sürücü Entegre Devreleri;**
- Step motorlar özellikle hareket kontrolunda çok yoğun olarak kullanıldıkları için bu motorları pratik olarak kontrol edebilmek için pek çok entegre devre üretilmiştir.
- Bu entegrelerden bazıları hem kontrol hem de güç devrelerini içerirken bazıları da sadece kontrol veya sadece güç devrelerini içerebilmektedir.
- Son yıllarda kontrol dereleri yerine daha çok PIC veya mikroişlemci kullanılmaktadır. Tabii ki bunların çıkışına yine uygun güç devreleri bağlanmaktadır.

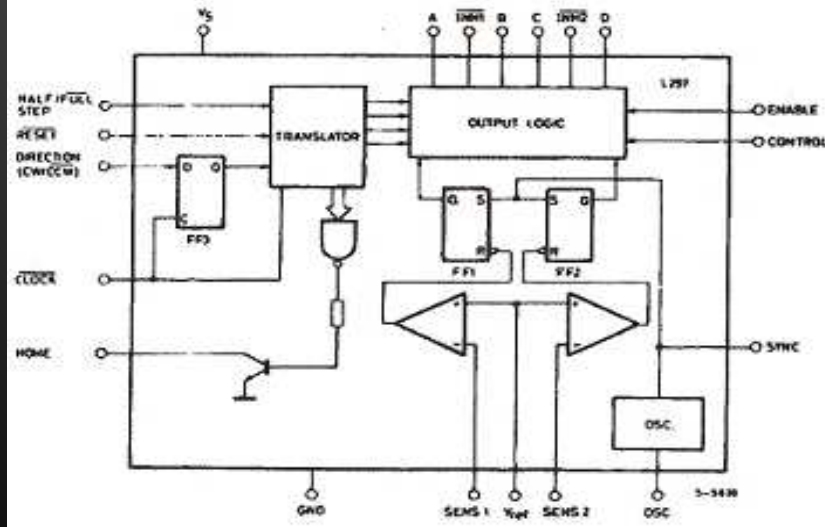
- Düşük ve orta güçlerdeki step motorların kontrolunda çok yoğun olarak kullanılmakta olan step motor sürücü kontrol ve güç entegre ikilisi L297 ve L298 entegre devreleridir.
- Aşağıdaki Şekil-12.13a'da step motor kontrol devresi olarak tasarlanmış olan L297 entegresi, Şekil-12.13b'de ise özellikle step motorların çift yönlü gerilimle kontrolu için tasarlanmış olan ve çift köprü içeren L298 entegresinin iç yapısı görülmektedir.
- L297 entegresi motorun ileri-geri, tam adım-yarım adım kontrollerini kolaylıkla sağlayabilmektedir.

XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

Şekil 12.13a



Şekil 12.13b



Şekil 12.13b

L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

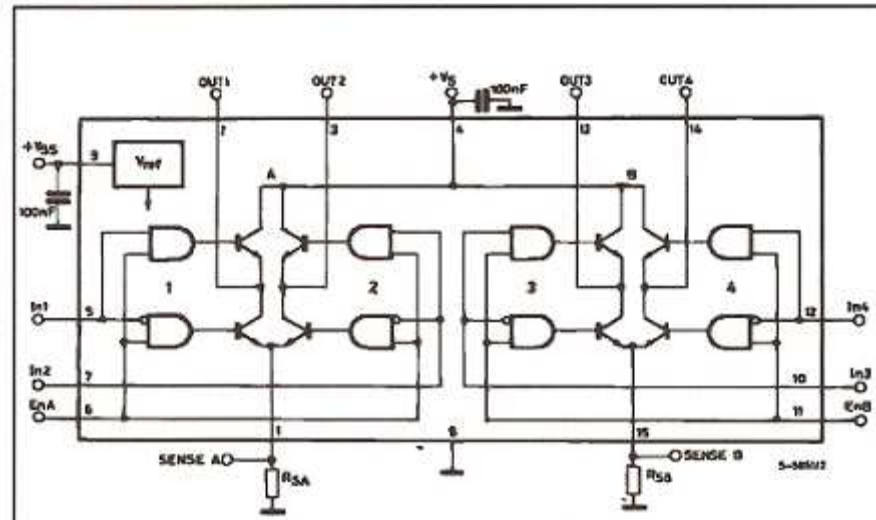
- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the connection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

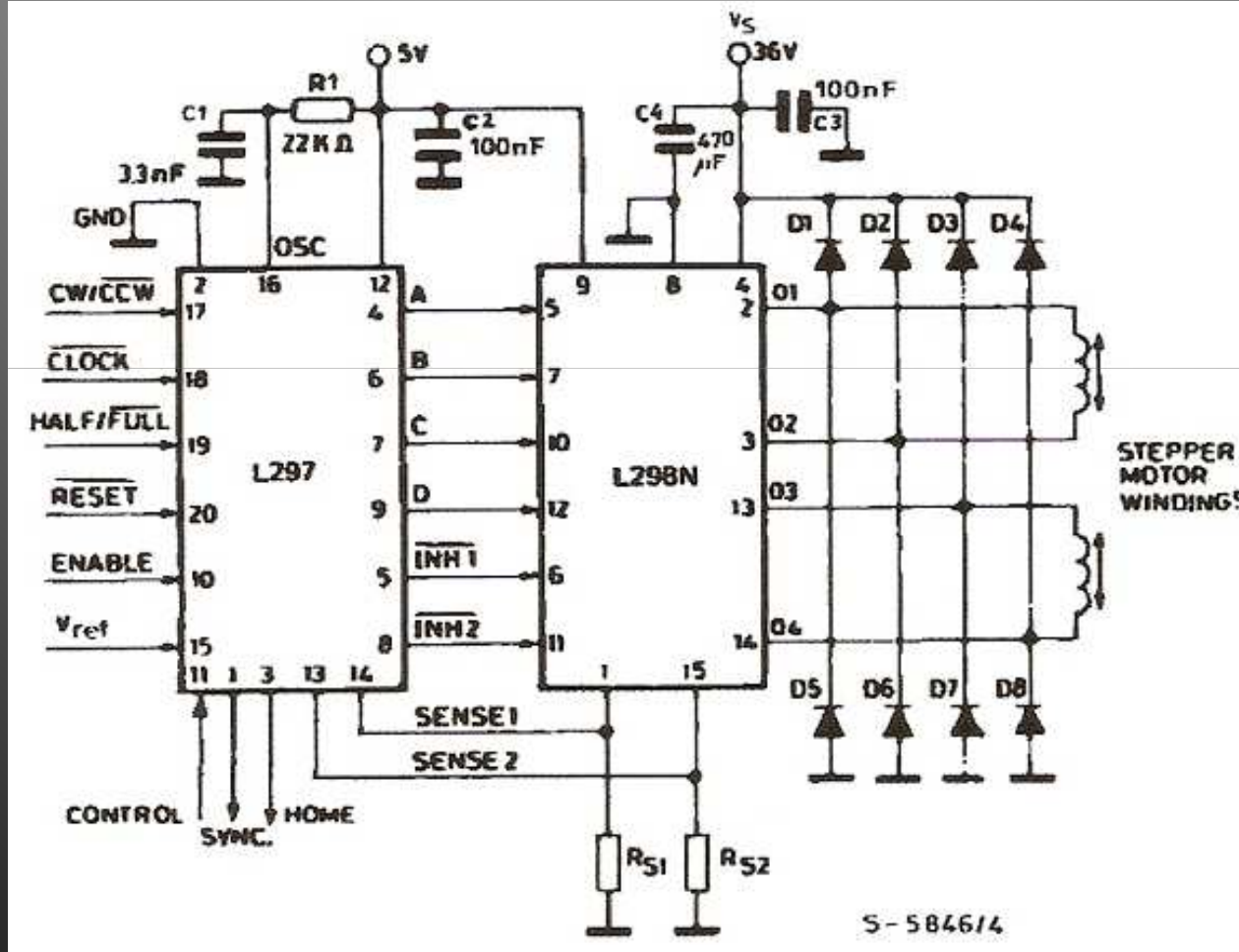


BLOCK DIAGRAM



XII – SERVO MOTOR SÜRÜCÜLER

Aşağıdaki şekilde, L297 kontrol entegresi ve L298 sürüsü entegresi kullanılarak, bir step motorun çift yönlü gerilimle, yarım adım ve tam



ÖDEV-16

- 16.1) Step motor kontrolunda kullanılmakta olan L297 ve L298 entegre devrelerinin bilgi yapraklarını inceleyerek yapıları, çalışmaları ve özelliklerini açıklayan bir rapor hazırlayınız.
- 16.2) Çalışma gerilimi 24V/sargı, akımı 4A/sargı ve adım açısı $7,5^\circ$ olan 6 uçlu step motorun,
 - a) Çift yönlü gerilimle tam adım kontrolunu yapabilmek için uygun sürücü devresini çiziniz.
 - b) Çift yönlü gerilimle yarım adım kontrolunu yapabilmek için uygun sürücü devresini çiziniz.
 - c) Tek yönlü gerilimle tam adım kontrolunu yapabilmek için uygun sürücü devresini çiziniz.
 - d) Tek yönlü gerilimle yarım adım kontrolunu yapabilmek için uygun sürücü devresini çiziniz.

XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

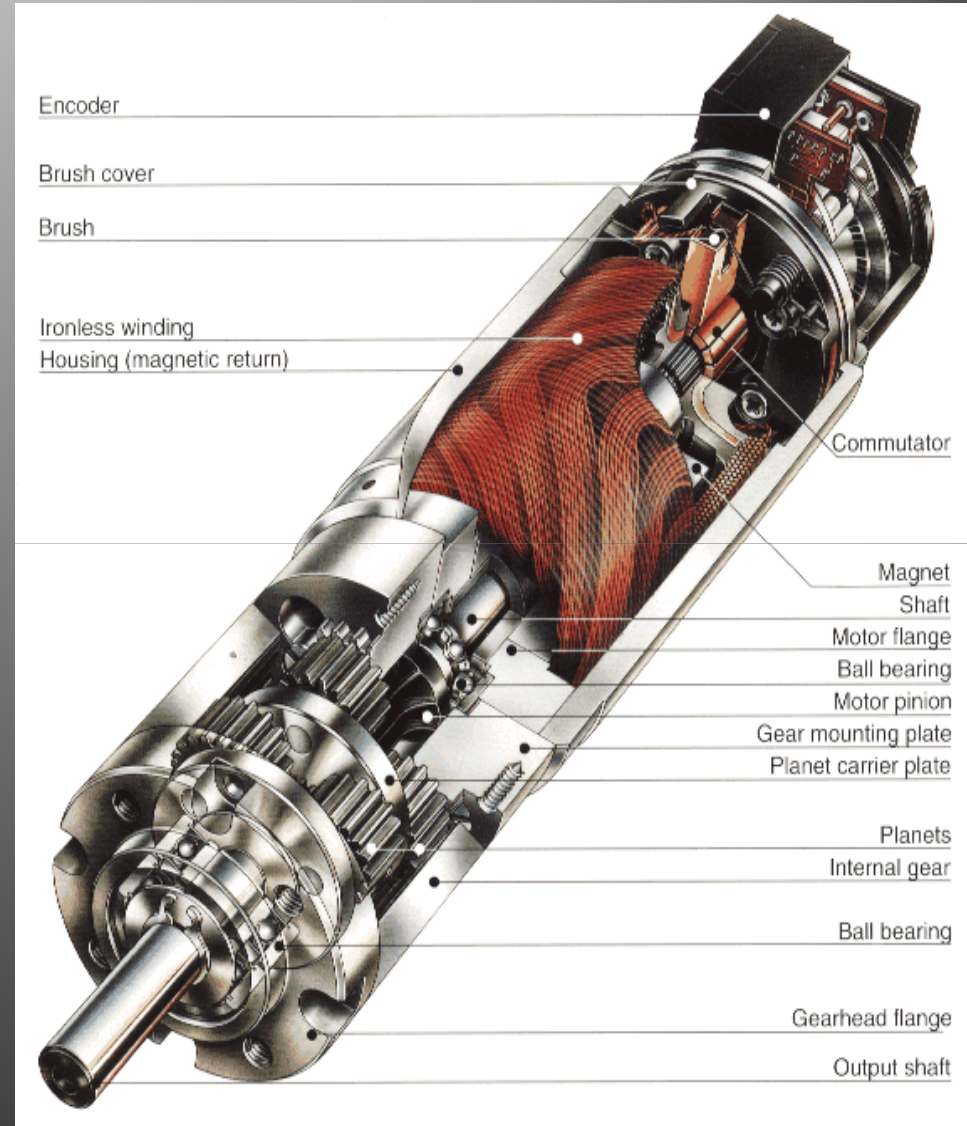
- **2) SERVO MOTORLAR:**
- Servo (hareket) motorları, step motorlar gibi yine hareket kontrolunda kullanılan motor yapılarıdır.
- Bu motorların hareketleri step motorlarda olduğu gibi kesikli (adım) değil, normal ac ve ya dc motorlarda olduğu gibi sürekli dir. Servo motorların normal motorlardan farkı ise hareket kontrolunda kullanıldıkları için genellikle hızlarının düşük torklarının ise çok yüksek olmasıdır. Bu da genellikle motor miline yerleştirilen redüktörlerle gerçekleştirilmektedir.
- Servo motorların kontrolu DC kaynak kullanılarak yapılmaktadır. Bu kaynak gerilimi, lojik kontrol devreleri, mikroişlemciler veya doğrudan bilgisayar yardımıyla üretilen kontrol palsleri ile motor sargılarına uygun şekilde anahtarlanmaktadır.
- Servo motorlarda istenilen hareket kontrolu, geribesleme devre ve düzenekleri desteğinde tam ve kesin olarak sağlanabilmektedir.
- Servo motorların **step motorlara üstünlüğü** adımlar halinde kesik kesik değil, çok düşük hızlarda sürekli hareket edebilmeleridir.
- **Dezavantajı ise** geribeslemeye ihtiyaç duymasıdır.

XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

- Servo motorların genel özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.
 - 1) Yüksek torka sahiptirler,
 - 2) Anma yükünün iki katına kadar ani yüke dayanabilirler,
 - 3) Hem düşük, hem de yüksek devirlerde kararlı çalışırlar,
 - 4) 1 ile 10.000 devir arasındaki hızlarda üretilebilmektedirler,
 - 5) Çok düşük hızlarda sürekli hareket edebilirler,
 - 6) Atalet momentleri küçük olduğu için ani hareketleri rahatlıkla gerçekleştirebilirler,
 - 7) Birkaç Watt'dan birkaç kWatt'a kadar yapılabilmektedir.
- Servo motorların kullanıldığı yerlerden bazıları şunlardır,
 - 1) Bilgisayar hard disklerinde,
 - 2) Yazıcı ve çizicilerde (plotter),
 - 3) Endüstriyel hareket kontrolunda
 - 4) CNC tezgahlarında,
 - 5) Askeri silah sistemlerinde,
 - 6) Radar ve anten sistemlerinde,
 - 7) Enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin otomasyonunda,
 - 8) AC regülatör sistemlerinde vb.
- Tüm bu işlemlerde kullanılan servo motorlarda çalışma şartlarına göre,
 - a) Sürekli dönme kontrolü,
 - b) Kesikli dönme kontrolü,yöntemleri kullanılmaktadır.

XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

- Servo motorlar, DC servo motorlar ve AC servo motorlar olmak üzere iki ana grupta toplanabilmektedir.
- **DC Servo Motorlar:**
- DC Servo Motorlar, temelde klasik DC motorlarla aynı yapıya sahiptirler. Bu motorlar, normal DC motorlara göre daha küçük boyutta yapılmakta ve rotorları atalet momentini en az yapacak şekilde tasarlanmaktadır. Ayrıca yan taraftaki şekilde görüldüğü gibi bu temel yapıya bir redüktör (dişli grubu) ve pozisyon algılayıcı düzenekler eklenmiştir.



XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

- Bu tür motorlarda stator sargısı tarafından çok güçlü bir manyetik alan oluşturularak, ani hareketlerde yüksek tork elde edilebilmektedir. Bu nedenle bu motorlara “Tork Motorları” da denilmektedir. Çok düşük devir sayılarından yüksek devir sayılarına kadar farklı hızlarda yapılabilmektedirler.
- DC servo motorların çapları normal motorlara göre daha küçük fakat arkada bulunan pozisyon sezici ve çıkışta bulunan dişli grubu nedeniyle boyları daha uzundur.
- DC servo motorlar genel olarak, 1) PM Servo Motorlar, 2) PC Servo Motorlar, olarak iki gruba ayrılmaktadır.
- PM Servo Motorlar, aslında sabit mıknatis uyarımlı motorlardır. Dolayısıyla bu tip motorlarda sadece rotor kontrolü gerçekleştirilebilmektedir.
- PC Servo Motorlar ise aslında yabancı uyarımlı motorlardır. Dolayısıyla bu tip motorlarda hem rotor hem de stator kontrolü gerçekleştirilebilmektedir.

XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

- **AC Servo Motorlar:**
- AC Servo Motorlar da temelde klasik AC motorlarla (asen kron motor) aynı yapıya sahiptirler. Bu motorlar, normal asenkron motorlara göre daha küçük boyutta yapılmakta ve rotorları atalet momentini en az yapacak şekilde tasarlanmaktadır.
- Ayrıca yan taraftaki şekilde görüldüğü gibi bu temel yapıya DC servo motorlarda olduğu gibi, bir redüktör (dişli grubu) ve yine bir pozisyon algılayıcı düzenekler eklenmiş, hatta küçük güçlerde sürücü devresi de motor kasası içine yerleştirilmiş durumdadır.



XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

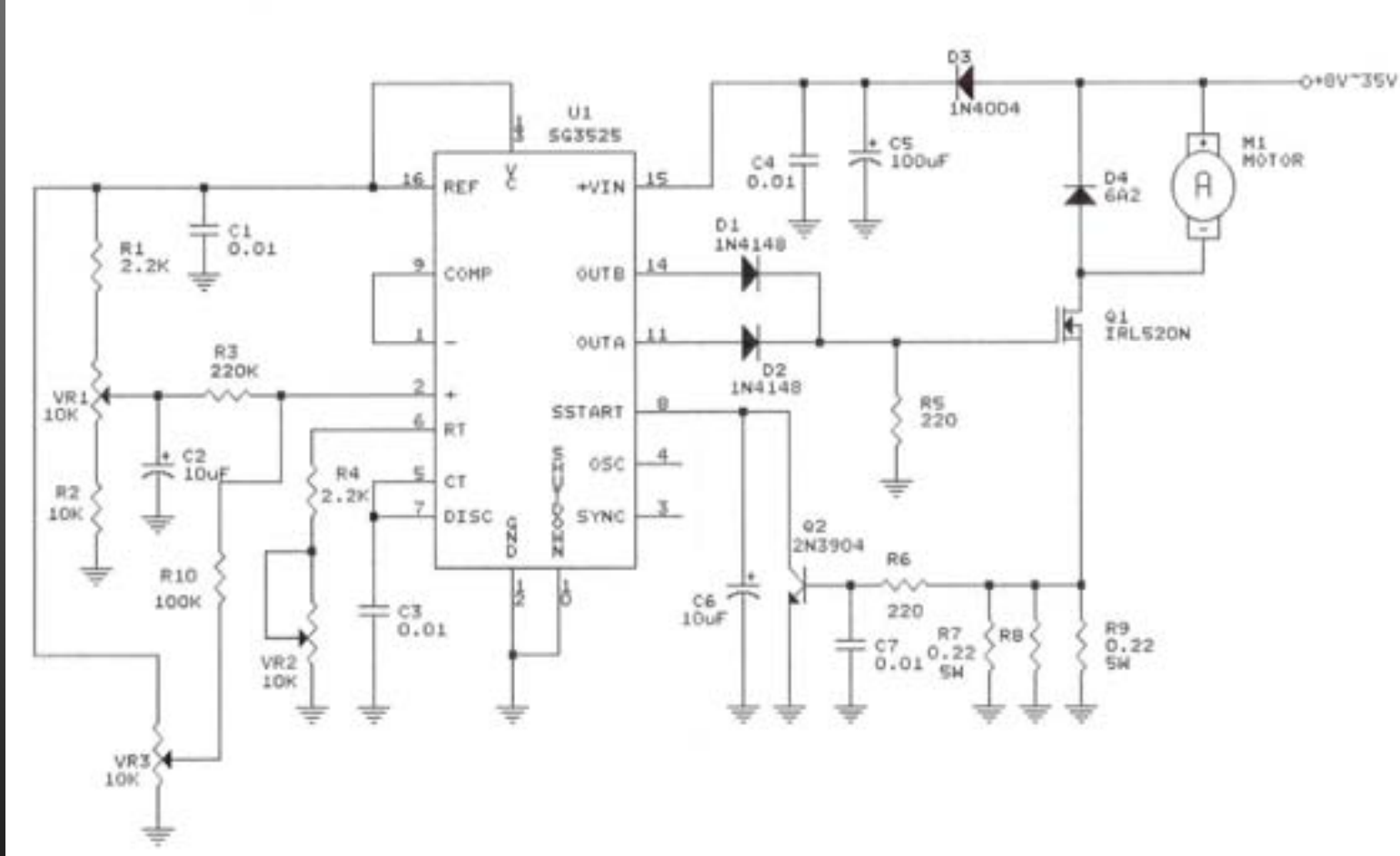
- Bu tür motorlarda da yine stator sargısı tarafından çok güçlü bir manyetik alan oluşturularak, ani hareketlerde yüksek tork elde edilebilmektedir. Bu nedenle bu motorlara “Tork Motorları” da denilmektedir. Düşük devir sayılarından yüksek devir sayılarına kadar farklı hızlarda yapılabilmektedirler.
- AC servo motorların çapları normal motorlara göre daha küçük fakat arkada bulunan pozisyon sezici ve çıkışta bulunan dişli grubu nedeniyle boyları daha uzundur.
- AC servo motorlar genel olarak,
 - 1) İki Fazlı Servo Motorlar,
 - 2) Üç Fazlı Servo Motorlar,olarak iki gruba ayrılmaktadır.
- İki fazlı Servo Motorlar, aslında yardımcı sargılı motorlar gibidir. Sincap kafesli rotora sahip olan bu motorlarda stator kontrolü gerçekleştirilebilmektedir.
- Üç fazlı Servo Motorlar ise aslında üç fazlı asenkron (veya senkron) motorlar gibidir. Dolayısıyla bu tip motorlarda da yine stator kontrolü yapılabilir.
- Ayrıca farklı yapıda motorlar da piyasada bulunmaktadır.

XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

- **3) DC SERVO MOTORLARIN SÜRÜLMESİ;**
- 0 ile 5kW arası düşük güçlü sabit mıknatis uyarımlı doğru akım motorları ve bu tür servo motorlar pek çok alanda çok yoğun olarak kullanılmaktadır.
- Kontrolü diğerlerine göre daha kolay ve performansları oldukça yüksek olan bu motorların kontrolü için daha çok A ve E sınıfı dc kıyıcı sürücüler kullanılmaktadır.
- Bu motorlarda yön kontrolü gerekmiyorsa A sınıfı, yön kontrolü gerekiyorsa E sınıfı kıyıcı tercih edilmekte ve bir PWM üretici üzerinden motorun hız kontrolü gerçekleştirilmektedir.
- Daha önceden çalışma prensipleri ayrıntısıyla açıklanan dc kıyıcılar, motorun kullanıldığı yere göre geri beslemesiz veya geri beslemeli olarak kullanılabilirlerdir.
- Bu tür motorların kullanıldığı yerlerde hız kontrolünün yanında genellikle yön kontrolü de gerektiği için E sınıfı dc kıyıcı daha çok kullanılmaktadır.
- E sınıfı dc kıyıcı yapısında kullanılan köprü (H-Bridge) tek veya blok elemanlarla yapılabildiği gibi entegre yapısı içine gömülü olarak da kullanılabilirlerdir.
- Aşağıda A ve E sınıfı kıyıcı devreleri görülmektedir.

XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

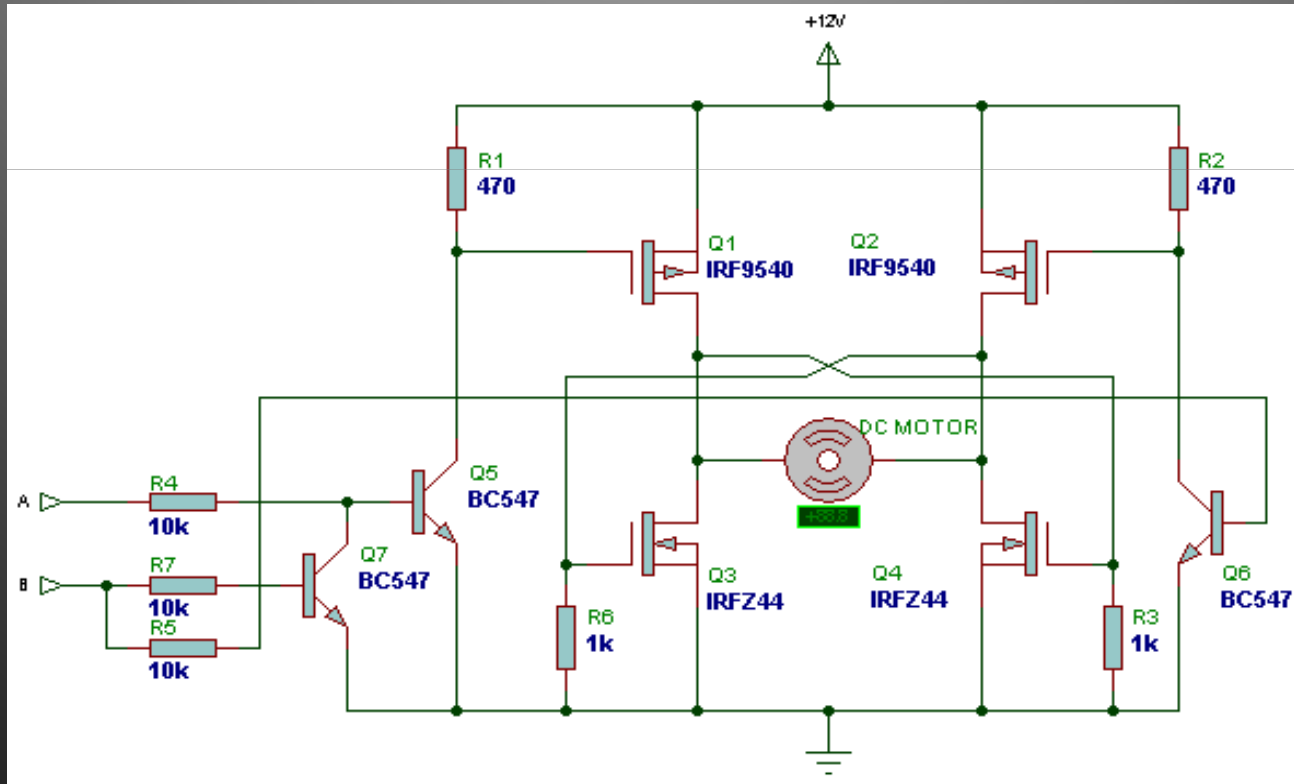
Aşağıdaki şekilde dc motorların sadece hız kontrolü için SG3525 entegresi kullanılarak yapılmış olan A sınıfı sürücü devresi görülmektedir.



XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

Aşağıdaki şekilde ise küçük güçlü sabit mıknatıslı motorların yön ve hız kontrolünün yapılabildiği tek elemanlar kullanılarak yapılmış olan bir H köprüsü (E sınıfı) ve sürücüsü görülmektedir.

Burada, A girişi “1” B girişi “0” yapıldığında, Q1 ve Q4 iletme geçmekte, motor ileri yönde dönmekte, tersi uyarımda ise Q2 ve Q3 iletme geçmekte ve motor geri yönde dönmektedir.



XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

- Özellikle düşük güçlü DC motorların yön kontrolü için yan tarafta bilgi yaprağı görülen L298 entegresi oldukça yaygın kullanılmaktadır. Görüldüğü gibi bu entegre devre içinde 2A-46V'luk iki adet H köprüsü bulunmaktadır. Aşağıda bu entegre kullanılarak 4A'e kadar akım çeken dc motorların hız ve yönlerinin kontrol edilebildiği bir devre bağlantısı görülmektedir.
- Ayrıca aşağıda verilen uygulama bağlantısında köprü çıkışından alınan akım geribeslemesi ile kısadevre ve aşırı akım koruması da gerçekleştirilmiş durumdadır.

ST **L298**

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

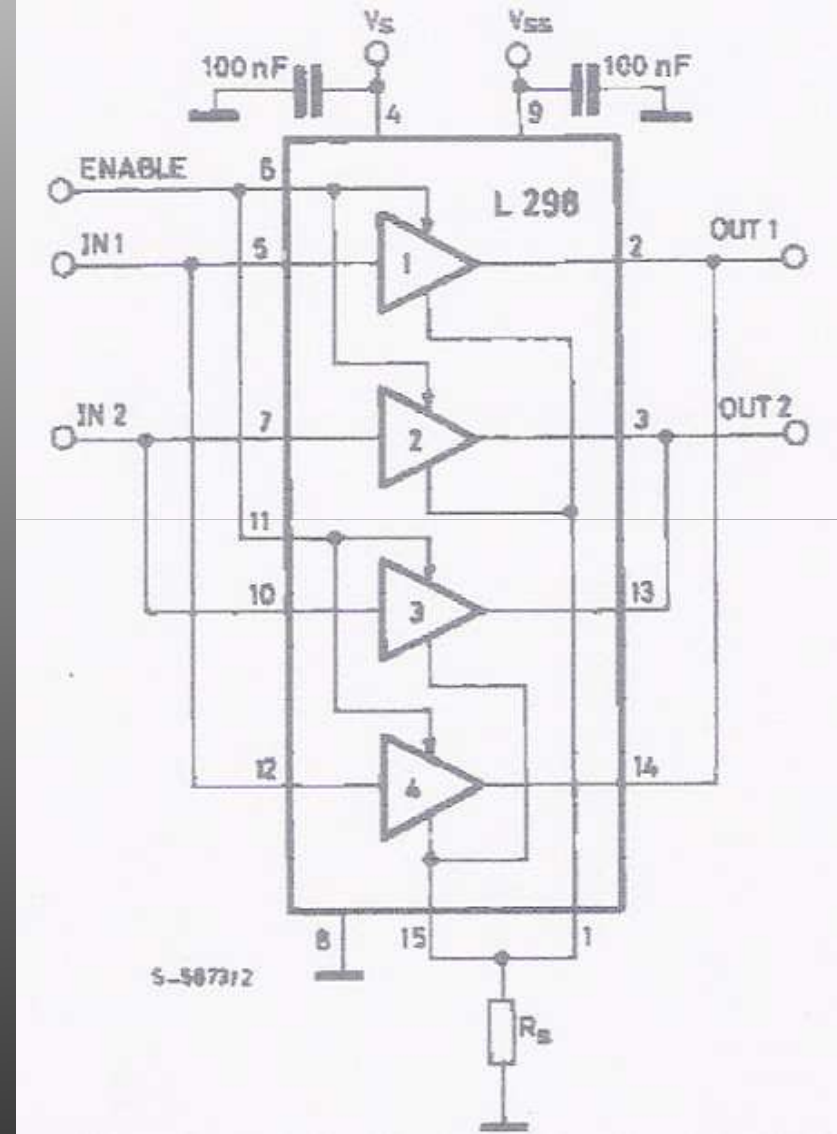
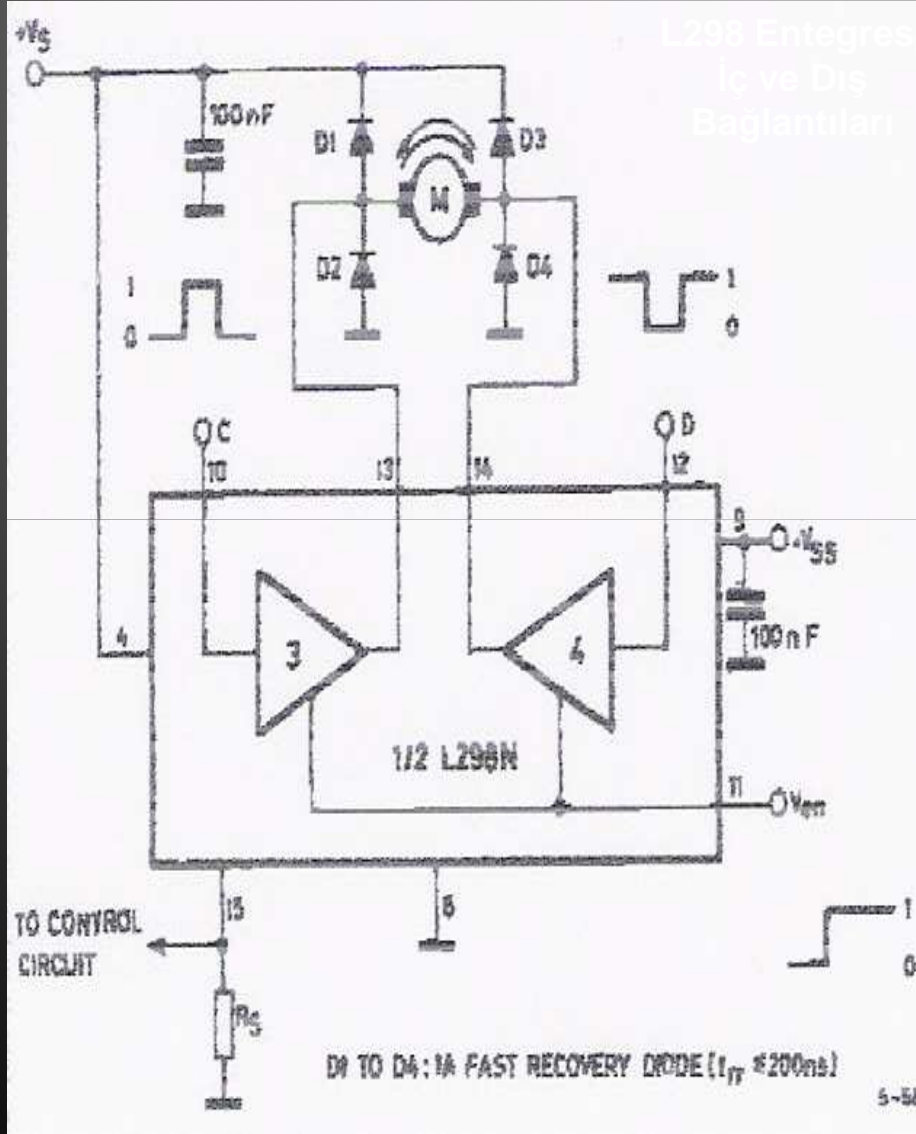
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the connection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

ORDERING NUMBERS : L298N (Multiwatt Vert.)
L298HN (Multiwatt Horiz.)
L298P (PowerSO20)

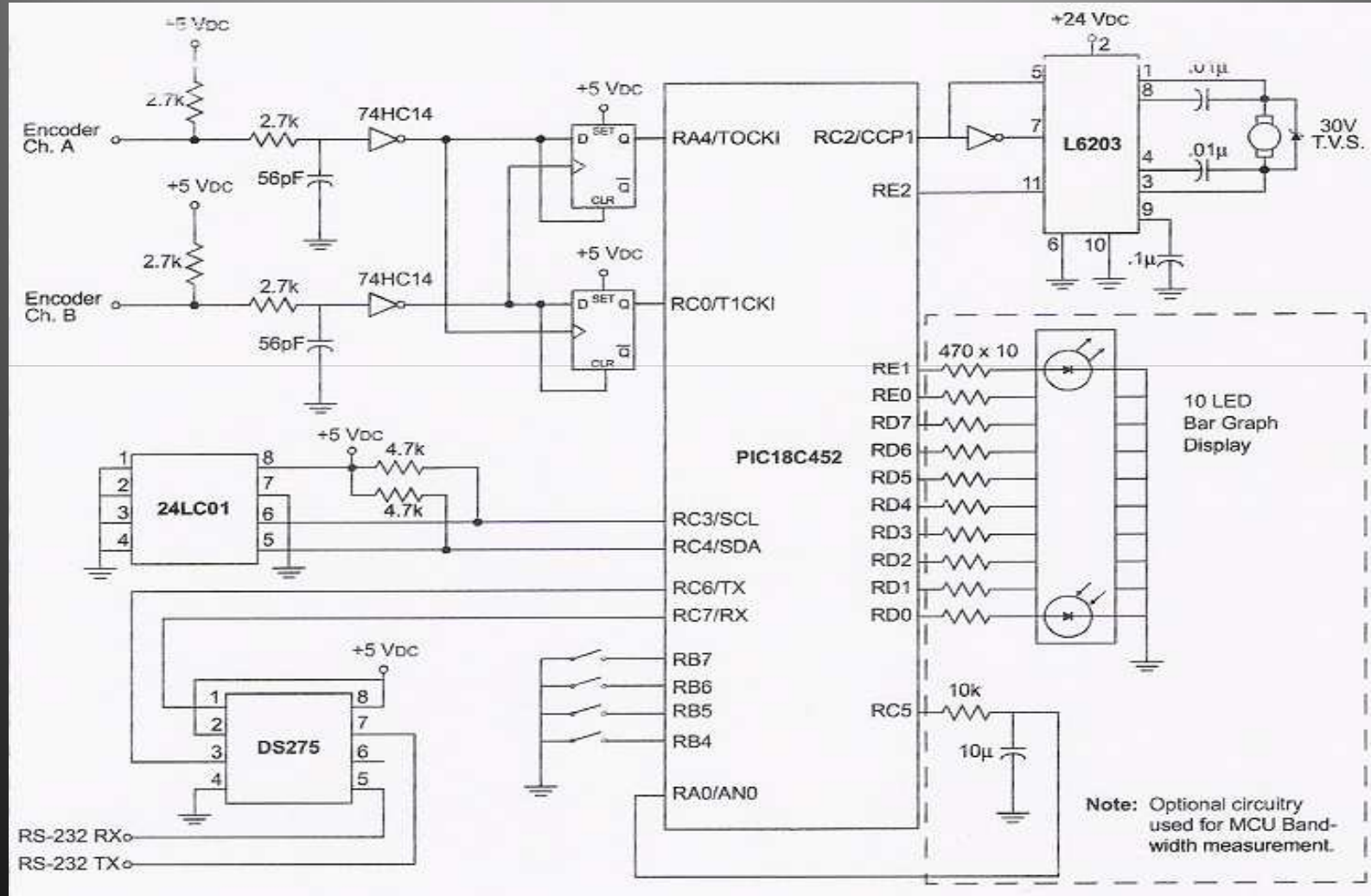
BLOCK DIAGRAM

XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER



XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

Aşağıdaki şekilde ise yine düşük güçlerde olan servo motorlar için PIC kullanılarak yapılmış olan geribeslemeli sürücü devresi görülmektedir.

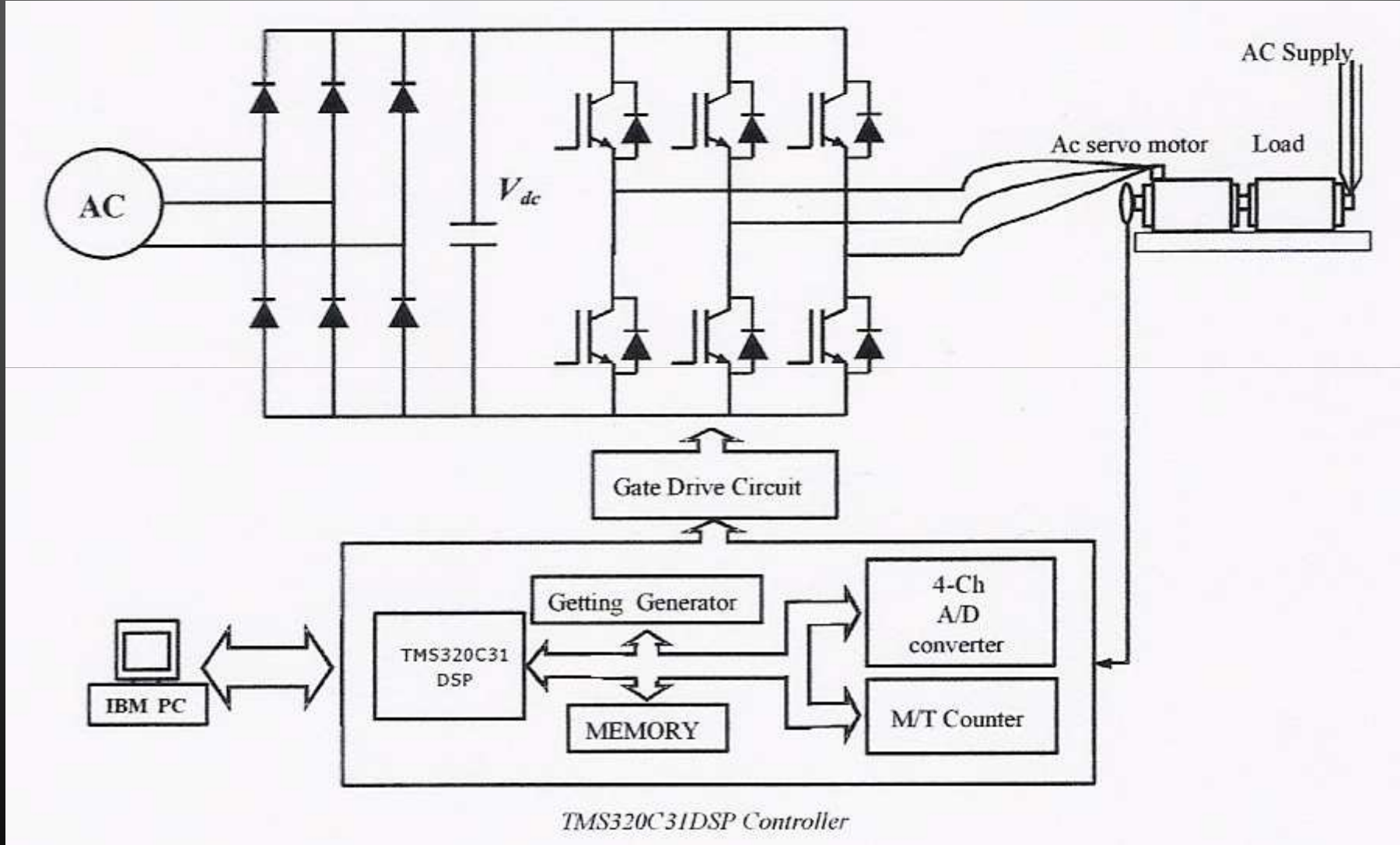


XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

- **4) AC SERVO MOTORLARIN SÜRÜLMESİ;**
- 0 ile 5kW arası düşük güçlü sincap kafesli asenkron ve sabit mıknatıslı senkron motorlar ve servo motorlar pek çok alanda çok yoğun olarak kullanılmaktadır.
- Kontrolü diğerlerine göre daha kolay ve performansları oldukça yüksek olan bu motorların kontrolü için daha çok PWM invertörlü sürücüler kullanılmaktadır.
- Bu tür sürücüler kullanılarak asenkron ve senkron motor ve servo motorların hem hız hem de yön kontrolü yapılabilmektedir. PWM üretici üzerinden motorun kontrolü gerçekleştirilmektedir.
- Daha önceden çalışma prensipleri ayrıntısıyla açıklanan PWM invertörler, motorun kullanıldığı yere göre geri beslemesiz veya geri beslemeli olarak kullanılabilir.
- Bu tür motorların kullanıldığı yerlerde hız kontrolünün yanında genellikle yön kontrolü de gerektiği için gerilim kontrollü PWM invertör (VSI) daha çok kullanılmaktadır.
- İntvertör yapısında kullanılan köprü (H-Bridge) tek veya blok elemanlarla yapılabildiği gibi entegre yapısı içine gömülü olarak da kullanılabilir. Aşağıda sürücü devreleri görülmektedir.

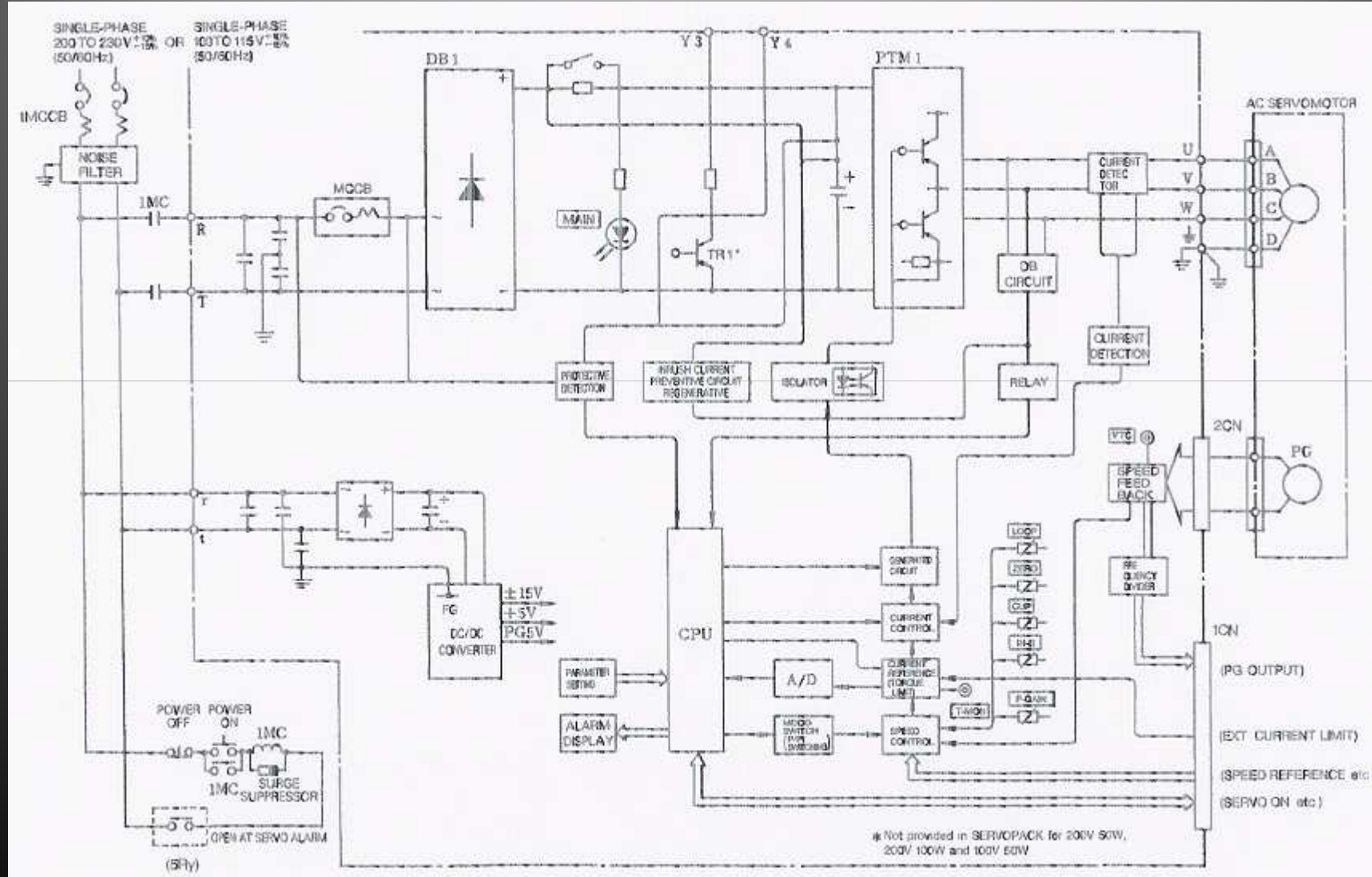
XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

DSP (Dijital Sinyal İşlemeli) 3 fazlı AC servo motor sürücü devresi.

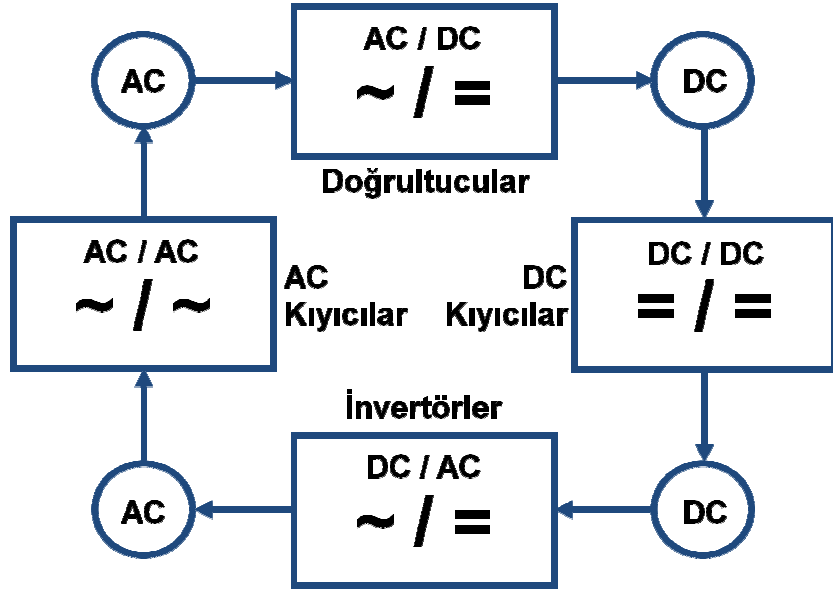


XII – SERVO MOTOR ve SÜRÜCÜLER

Mikroişlemci kontrollü 3 fazlı AC servo motor sürücü devresi.



MOTOR SÜRÜCÜ UYGULAMALARI



Hazırlayan:
Yrd.Doç.Dr. M.Necdet YILDIZ

Şubat-2009

Motor Sürücü

UYGULAMA - I

Temel Güç Elektroniği Devreleri

Güç Elektroniği dersinin dördüncü uygulaması olan “Uygulama-4”de, Güç Elektroniği düzeneklerinde yaygın olarak kullanılmakta olan temel güç devrelerinin test ve kontrolleri ayrıntılı olarak incelenecektir. Uygulaması yapılacak olan temel güç devreleri;

- 1- Üç Fazlı Yarım Dalga Kontrolsüz Doğrultucu,
- 2- Üç Fazlı Tam Dalga Kontrolsüz Köprü Doğrultucu,
- 3- Bir fazlı Yarım Kontrollü Köprü Doğrultucu,
- 4- Bir Fazlı Faz Açısı Kontrollü AC Kıyıcı,
- 5- A Sınıfı DC Kıyıcı Devresi,
- 6- Bir Fazlı Gerilim Kaynaklı PWM İnvörtör,

Uygulama sırasında öncelikle her bir elemanın kabaca sağlamlık kontrolü yapılacak, daha sonra da temel güç devreleri kurularak çalıştırılacaktır. Uygulama kartından elde edilen uyarma sinyalleri kullanılarak güç devrelerinin kontrol edilmesi sağlanacaktır.

Bu işlemler sonucunda hem devrelerin çalışması görülecek, hem de uyarma sinyalleri kullanılarak bu güç devrelerinin kontrol edilmesi incelenebilecektir.

UYGULAMA-4.1

Üç Fazlı Yarım Dalga Kontrolsüz Doğrultucu

AMAÇ:

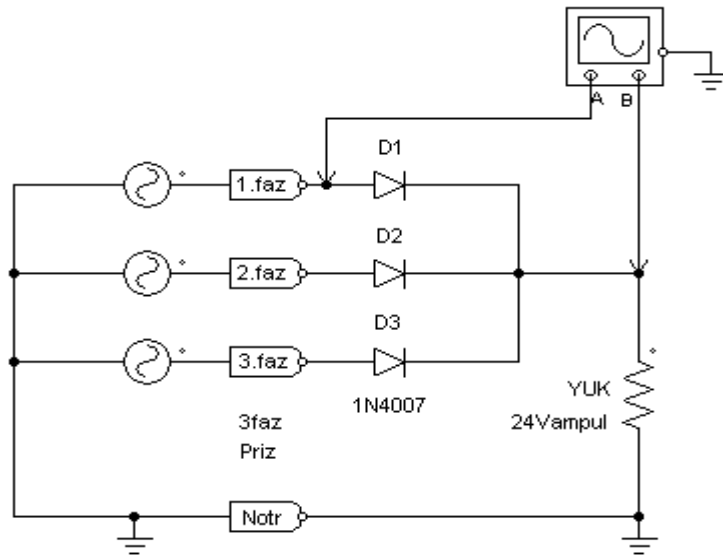
Üç fazlı AC şebekeyi kullanarak DC gerilim elde etmekte kullanılan devrelerden birisi olan Üç Fazlı Yarım Dalga Kontrolsüz Doğrultucu devresini ayrıntılı olarak incelemek.

MALZEME:

- 1) 1N4007 diyot – 3 adet,

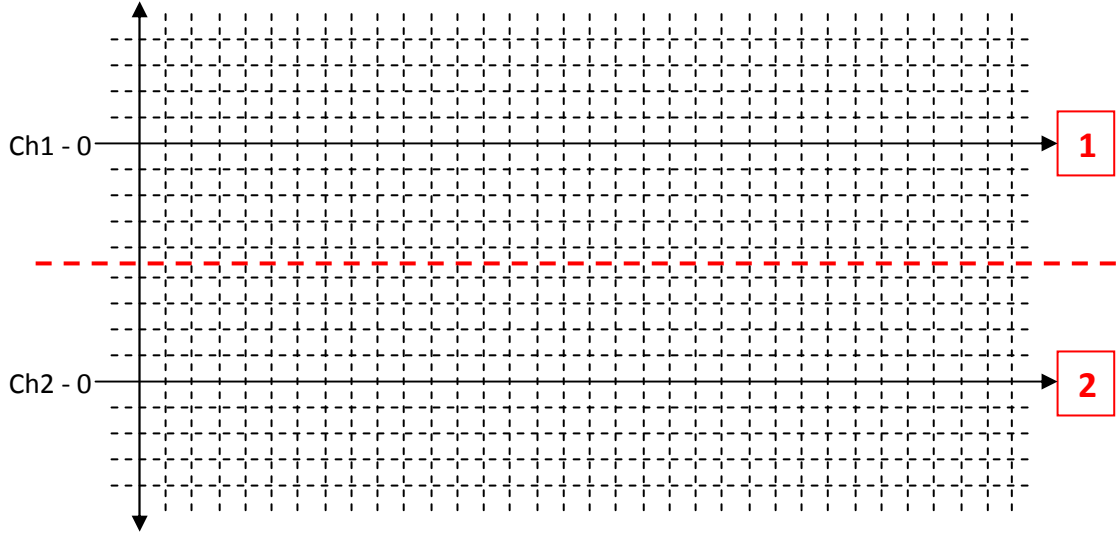
İŞLEM BASAMAKLARI:

- 1) Üç fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun çalışmasını inceleyebilmek için aşağıda Şekil-4.1.1'de gösterilen devre bağlantısını güç elektroniği eğitim seti üzerinde kurunuz.



Şekil 4.1.1 – Üç Fazlı Yarım Dalga Kontrolsüz Doğrultucu.

- 2) Güç elektroniği eğitim setine enerji veriniz. Osilaskobun 1. Kanalında görülecek olan 1. faz gerilimi ile osilaskobun 2. kanalında görülecek olan DC çıkış gerilimini değerleriyle birlikte aşağıya çiziniz.



şekil 4.1.2 – Üç Fazlı Yarım Dalga Kontrolsuz Doğrultucu Dalga şekilleri.

- 3) Yukarıdaki dalga şekillerinden 3 fazlı yarım dalga doğrultucu çıkış geriliminin oldukça düzgün bir DC olduğu gözlenmelidir.
- 4) Voltmetre yardımıyla hem AC faz gerilimini hem de DC çıkış gerilimini ölçerek aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.1.1 – Üç Fazlı Yarım Dalga Kontrolsuz Doğrultucu Gerilimleri.

1. faz gerilimi (AC)	DC çıkış (yük) gerilimi

- 5) Elde ettiğiniz tüm sonuçları değerlendirip yorumlayınız ve raporlayınız.

UYGULAMA-4.2

Üç Fazlı Tam Dalga Kontrolsüz Doğrultucu

AMAÇ:

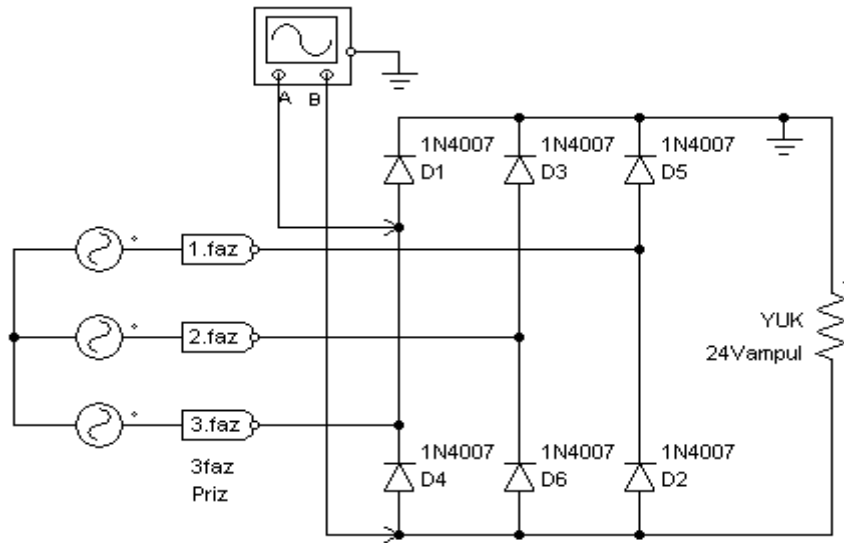
Üç fazlı AC şebekeyi kullanarak DC gerilim elde etmekte kullanılan devrelerden diğeri olan Üç Fazlı Tam Dalga Kontrolsüz Doğrultucu devresini ayrıntılı olarak incelemek.

MALZEME:

- 1) 1N4007 diyot – 6 adet,

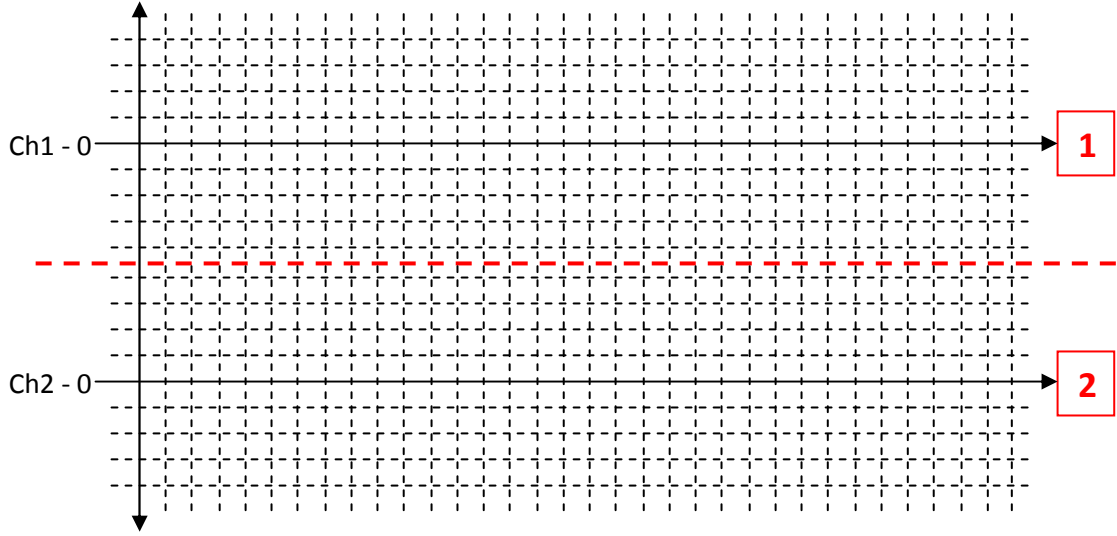
İŞLEM BASAMAKLARI:

- 1) Üç fazlı tam dalga kontrolsüz köprü doğrultucunun çalışmasını inceleyebilmek için aşağıda Şekil-4.2.1'de gösterilen devre bağlantısını güç elektroniği eğitim seti üzerinde kurunuz.



Şekil 4.2.1 – Üç Fazlı Tam Dalga Kontrolsüz Köprü Doğrultucu.

- 2) Güç elektroniği eğitim setine enerji veriniz. Osilaskobun 1. Kanalında görülecek olan 1. diyot gerilimi ile osilaskobun 2. kanalında görülecek olan DC çıkış gerilimini değerleriyle birlikte aşağıya çiziniz.



Şekil 4.2.2 – Üç Fazlı Tam Dalga Kontrolsuz Köprü Doğrultucu Dalga Şekilleri.

- 3) Yukarıdaki dalga şekillerinden 3 fazlı tam dalga köprü doğrultucu çıkış geriliminin çok az dalgalı bir DC olduğu gözlenmelidir.
- 4) Voltmetre yardımıyla hem AC hat gerilimini hem de DC çıkış gerilimini ölçerek aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.2.1 – Üç Fazlı Tam Dalga Kontrolsuz Köprü Doğrultucu Gerilimleri.

Hat gerilimi (AC)	DC çıkış (yük) gerilimi

- 5) Elde ettiğiniz tüm sonuçları değerlendirip yorumlayınız ve raporlayınız.

UYGULAMA-4.3

Bir Fazlı Yarım Kontrollü Köprü Doğrultucu

AMAÇ:

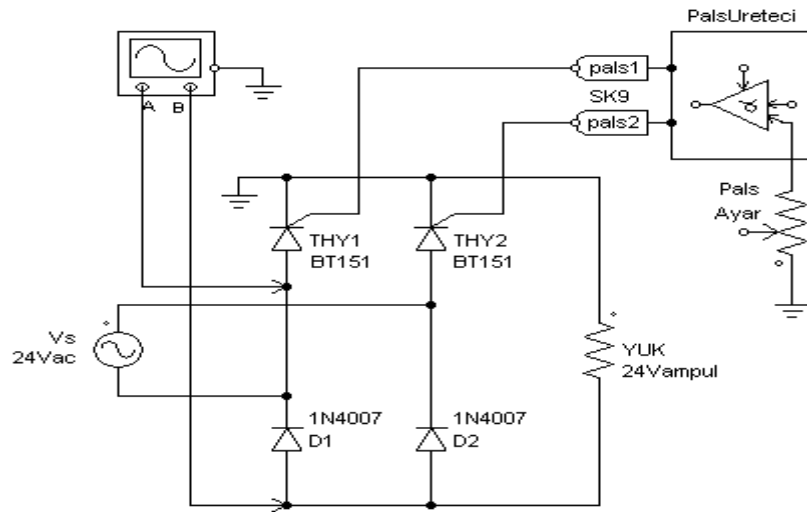
Bir fazlı AC şebekeyi kullanarak ayarlı DC gerilim elde etmekte kullanılan devrelerden birisi olan Bir Fazlı Yarım Kontrollü Köprü Doğrultucu devresini ayrıntılı incelemek.

MALZEME:

- 1) BT151 (Tristör) – 2 adet,
- 2) 1N4007 (diyot) – 2 adet.

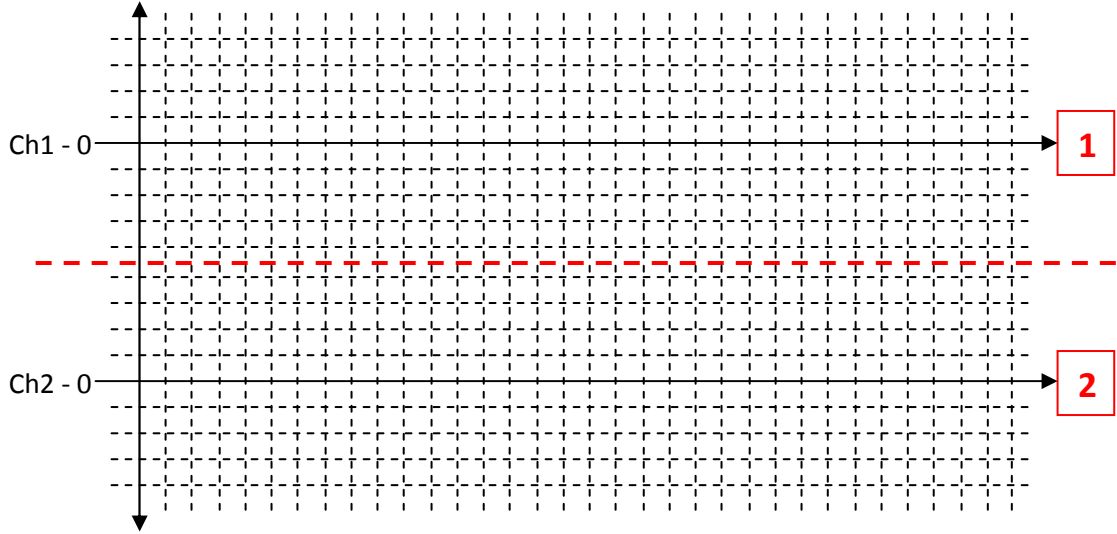
İŞLEM BASAMAKLARI:

- 1) Bir fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucunun çalışmasını inceleyebilmek için aşağıda Şekil-4.3.1'de gösterilen devre bağlantısını güç elektroniği eğitim seti üzerinde kurunuz.



Şekil 4.3.1 – Bir Fazlı Yarım Kontrollü Köprü Doğrultucu.

2) Güç elektroniği eğitim setine enerji veriniz. Pals ayar potansiyometresini orta konuma getiriniz. Osilaskobun 1. kanalında görülecek olan 1. tristör gerilimi ile osilaskobun 2. kanalında görülecek olan DC çıkış gerilimini değerleriyle birlikte aşağıya çiziniz (görüntüyü düzeltmek için, Ch2 inv. tuşna basınız).



Şekil 4.3.2 – Bir Fazlı Yarım Kontrollü Köprü Doğrultucu Dalga Şekilleri.

3) Yukarıdaki dalga şekillerinden 1 fazlı yarım kontrollü köprü doğrultucu çıkış geriliminin kesik kesik oluştuğu gözlenmelidir.

4) Pals ayar potansiyometresi orta konumda iken voltmetre yardımıyla hem AC giriş gerilimini hem de DC çıkış gerilimini ölçerek aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.3.1 – Bir Fazlı Yarım Yarım Kotrollü Köprü Doğrultucu Gerilimleri-1.

Giriş gerilimi (AC)	DC çıkış (yük) gerilimi

5) Pals ayar potansiyometresi en baştan en sona kadar ayarlayarak DC çıkış geriliminin en yüksek ve en düşük değerlerini voltmetre ile tesbit ediniz ve aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.3.2 – Bir Fazlı Yarım Yarım Kotrollü Köprü Doğrultucu Gerilimleri-2.

En düşük DC çıkış gerilimi	En yüksek DC çıkış gerilimi

6) Elde ettiğiniz tüm sonuçları değerlendirip yorumlayınız ve raporlayınız.

UYGULAMA-4.4

Bir Fazlı, Faz Açısı Kontrollü AC Kiyıcı

AMAÇ:

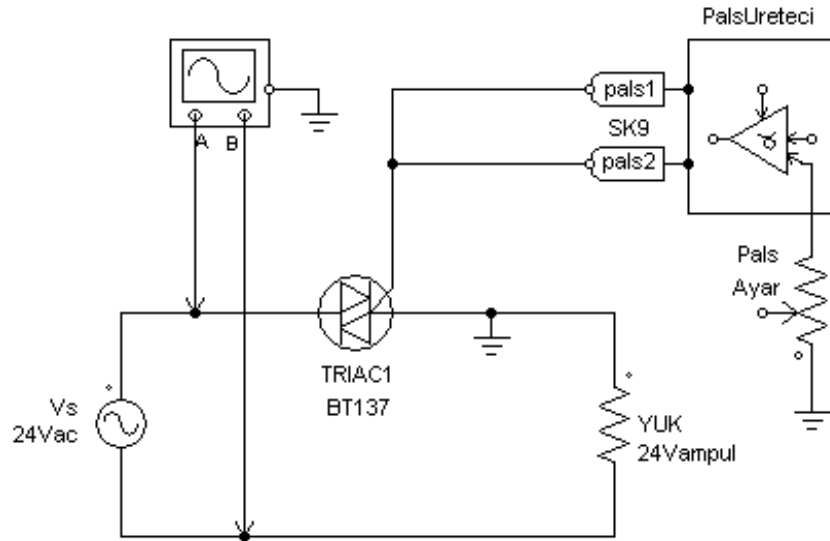
Bir fazlı AC şebekeyi kullanarak ayarlı AC gerilim elde etmekte kullanılan devrelerden birisi olan Bir Fazlı Faz Açısı Kontrollü AC Kiyıcı devresini ayrıntılı incelemek.

MALZEME:

- 1) BT137 (Triyak) – 1 adet,

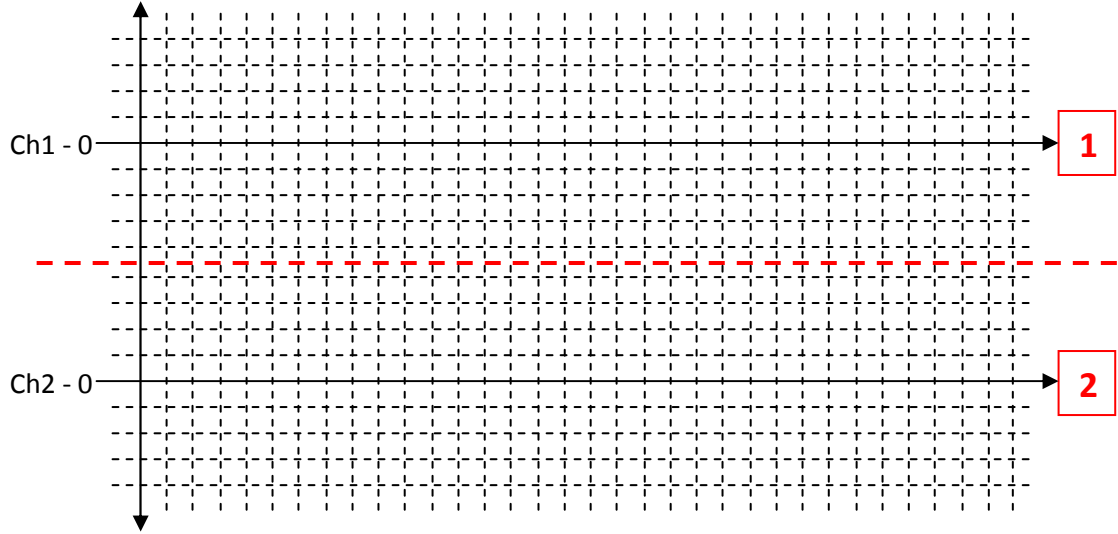
İŞLEM BASAMAKLARI:

- 1) Bir fazlı faz açısı kontrollü AC kiyıcının çalışmasını inceleyebilmek için aşağıda Şekil-4.4.1'de gösterilen devre bağlantısını güç elektroniği eğitim seti üzerinde kurunuz.



Şekil 4.4.1 – Bir Fazlı Faz Açısı Kontrollü AC Kiyıcı.

2) Güç elektroniği eğitim setine enerji veriniz. Pals ayar potansiyometresini orta konuma getiriniz. Osilaskobun 1. kanalında görülecek olan triyak gerilimi ile osilaskobun 2. kanalında görülecek olan AC çıkış gerilimini değerleriyle birlikte aşağıya çiziniz (görüntüyü düzeltmek için, Ch2 inv. tuşuna basınız).



Şekil 4.4.2 – Bir Fazlı Faz Açısı Kontrollü AC Kıyıcı Dalga Şekilleri.

3) Yukarıdaki dalga şekillerinden 1 fazlı faz açısı kontrollü AC kıyıcı çıkış geriliminin kesik kesik oluştuğu gözlenmelidir.

4) Pals ayar potansiyometresi orta konumda iken voltmetre yardımıyla hem AC giriş gerilimini hem de AC çıkış gerilimini ölçerek aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.4.1 – Bir Fazlı FazAçısı Kontrollü AC Kıyıcı Gerilimleri-1.

Giriş gerilimi (AC)	AC çıkış (yük) gerilimi

5) Pals ayar potansiyometresi en baştan en sona kadar ayarlayarak AC çıkış geriliminin en yüksek ve en düşük değerlerini voltmetre ile tesbit ediniz ve aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.4.2 – Bir Fazlı FazAçısı Kontrollü AC Kıyıcı Gerilimleri-2.

En düşük AC çıkış gerilimi	En yüksek AC çıkış gerilimi

6) Elde ettiğiniz tüm sonuçları değerlendirip yorumlayınız ve raporlayınız.

UYGULAMA-4.5

A Sınıfı DC Kıyıcı

AMAÇ:

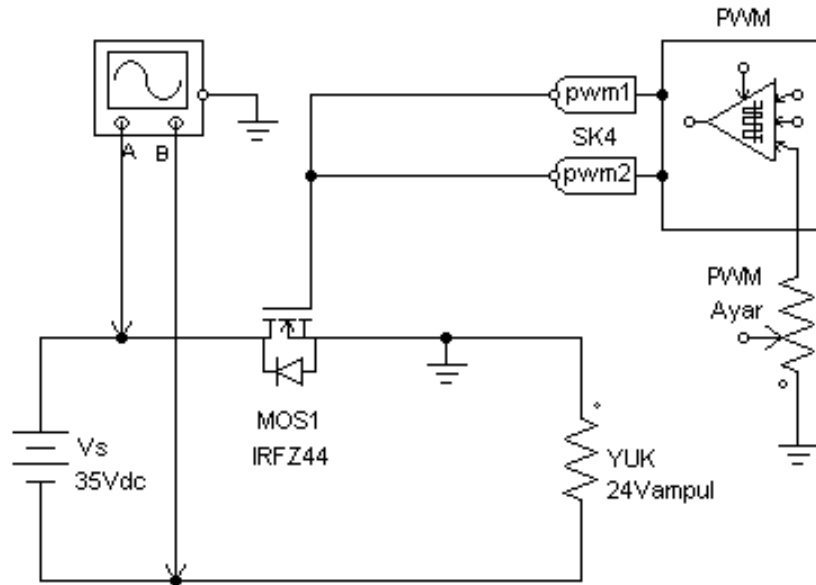
Sabit DC şebekeyi kullanarak ayarlı DC gerilim elde etmekte kullanılan devrelerden birisi olan A Sınıfı DC Kıyıcı devresini ayrıntılı incelemek.

MALZEME:

- 1) IRFZ44 (Mosfet) – 1 adet,

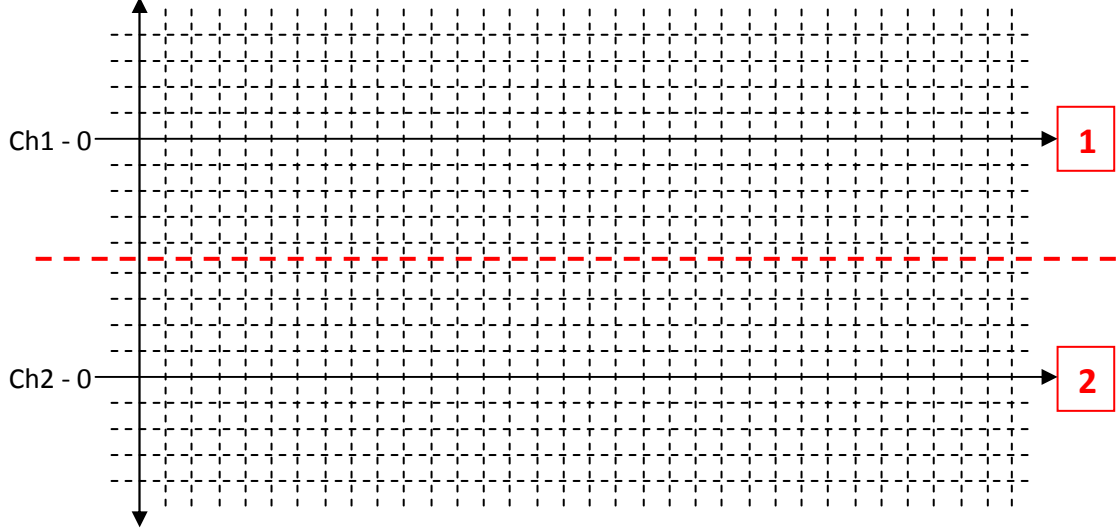
İŞLEM BASAMAKLARI:

- 1) A sınıfı DC kıyıcının çalışmasını inceleyebilmek için aşağıda Şekil-4.5.1'de gösterilen devre bağlantısını güç elektroniği eğitim seti üzerinde kurunuz.



Şekil 4.5.1 – A Sınıfı DC Kıyıcı.

2) Güç elektroniği eğitim setine enerji veriniz. PWM ayar ve Frekans ayar potansiyometrelerini orta konuma getiriniz. Osilaskobun 1. kanalında görülecek olan mosfet gerilimi ile osilaskobun 2. kanalında görülecek olan DC çıkış gerilimini değerleriyle birlikte aşağıya çiziniz (görüntüyü düzeltmek için, Ch2 inv. tuşuna basınız).



Şekil 4.5.2 – A Sınıfı DC Kıyıcı Dalga Şekilleri.

3) Yukarıdaki dalga şekillerinden A sınıfı DC kıyıcı çıkış geriliminin kesik kesik (kare dalga) oluştuğu gözlenmelidir.

4) PWM ayar potansiyometresi orta konumda iken voltmetre yardımıyla hem DC giriş gerilimini hem de DC çıkış gerilimini ölçerek aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.5.1 – A Sınıfı DC Kıyıcı Gerilimleri-1.

Giriş gerilimi (DC)	DC çıkış (yük) gerilimi

5) PWM ayar potansiyometresi en baştan en sona kadar ayarlayarak DC çıkış geriliminin en yüksek ve en düşük değerlerini voltmetre ile tesbit ediniz ve aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.5.2 – A Sınıfı DC Kıyıcı Gerilimleri-1.

En düşük DC çıkış gerilimi	En yüksek DC çıkış gerilimi

6) Elde ettiğiniz tüm sonuçları değerlendirip yorumlayınız ve raporlayınız.

UYGULAMA-4.6

Bir Fazlı Gerilim Kaynaklı İntertör (VSI)

AMAÇ:

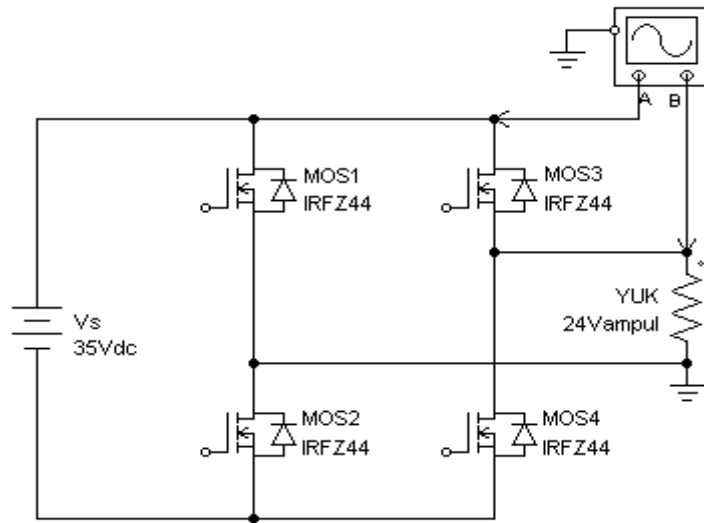
Sabit DC şebekeyi kullanarak frekans ve genliği ayarlı AC gerilim elde etmekte kullanılan devrelerden birisi olan Bir Fazlı Gerilim Kaynaklı İntertör devresini ayrıntılı olarak incelemek.

MALZEME:

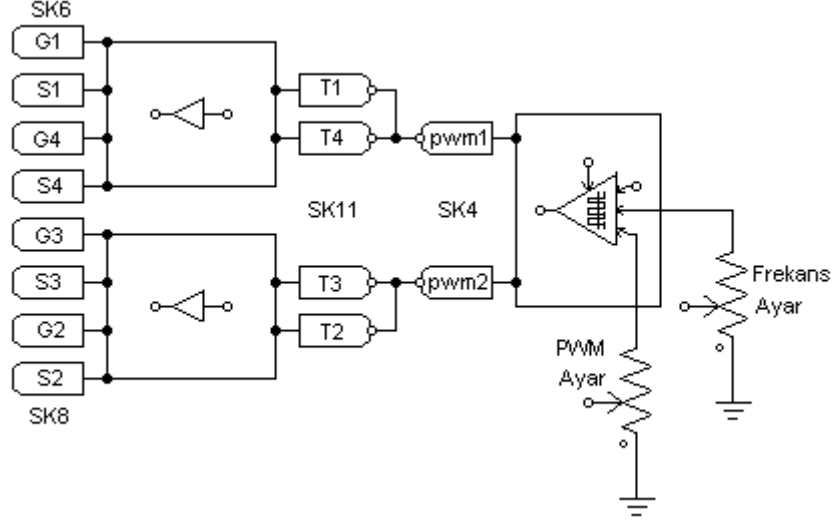
- 1) IRFZ44 (Mosfet) – 4 adet,

İŞLEM BASAMAKLARI:

- 1) Bir fazlı gerilim kaynaklı inwertör devresinin çalışmasını inceleyebilmek için aşağıda Şekil-4.6.1 ve 2'de gösterilen devre bağlantılarını güç elektroniği eğitim seti üzerinde kurunuz.

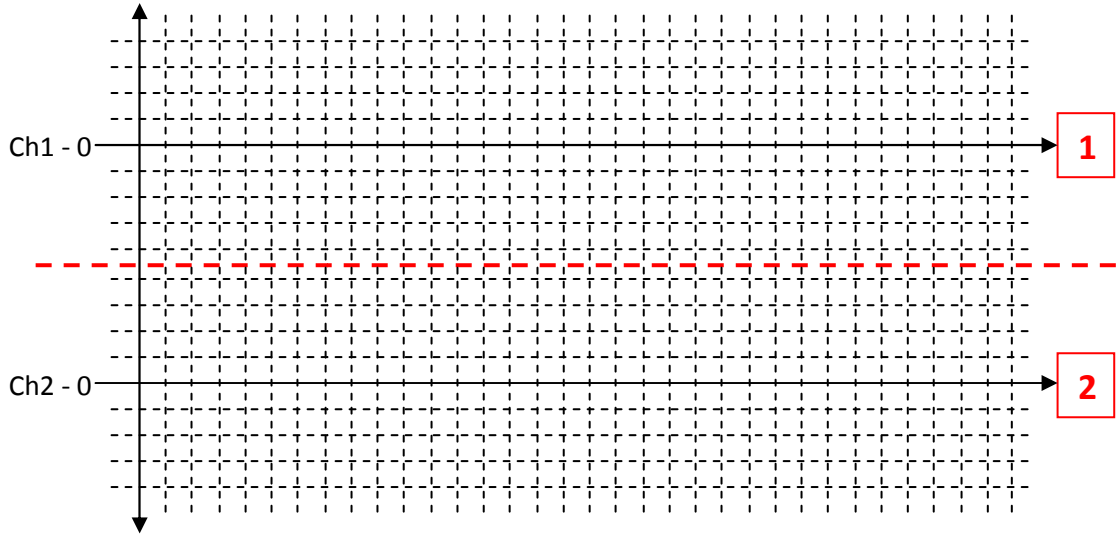


Şekil 4.6.1 – Bir Fazlı Gerilim Kaynaklı İntertör Güç Devresi.



Şekil 4.6.2 – Bir Fazlı Gerilim Kaynaklı İnvörtör Sürücü Devesi.

2) Güç elektroniği eğitim setine enerji veriniz. PWM ayar ve Frekans ayar potansiyometrelerini orta konuma getiriniz. Osilaskobun 1. kanalında görülecek olan Mosfet-1 gerilimi ile osilaskobun 2. kanalında görülecek olan AC çıkış gerilimini değerleriyle birlikte aşağıya çiziniz (görüntüyü düzeltmek için, Ch2 inv. tuşuna basınız).



Şekil 4.6.3 – Bir Fazlı Gerilim Kaynaklı İnvörtör Dalga Şekilleri.

3) Yukarıdaki dalga şekillerinden bir fazlı gerilim kaynaklı PWM invörtör çıkış geriliminin AC kare dalga şeklinde oluştuğu gözlenmelidir.

4) PWM ayar potansiyometresi orta konumda iken voltmetre yardımıyla hem DC giriş gerilimini hem de AC çıkış gerilimini ölçerek aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.6.1 – Bir Fazlı Gerilim Kaynaklı İnvörtör Gerilimleri-1.

Giriş gerilimi (DC)	AC çıkış (yük) gerilimi

5) PWM ayar potansiyometresi en baştan en sona kadar ayarlayarak AC çıkış geriliminin en yüksek ve en düşük değerlerini voltmetre ile tesbit ediniz ve aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.6.2 – Bir Fazlı Gerilim Kaynaklı İnvörtör Gerilimleri-2.

En düşük DC çıkış gerilimi	En yüksek DC çıkış gerilimi

6) Frekans ayar potansiyometresi orta konumda iken osilaskop yardımıyla hem PWM-1 uyarma sinyalinin frekansını hem de AC çıkış geriliminin frekansını ölçerek aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.6.3 – Bir Fazlı Gerilim Kaynaklı İnvörtör Frekansları-1.

PWM-1 uyarma sinyali frekansı	AC çıkış (yük) gerilimi frekansı

7) Frekans ayar potansiyometresi en baştan en sona kadar ayarlayarak AC çıkış gerilimi frekansının en yüksek ve en düşük değerlerini osilaskop ile tesbit ediniz ve aşağıdaki çizelgeye kaydediniz.

Çizelge 4.6.4 – Bir Fazlı Gerilim Kaynaklı İnvörtör Frekansları-2.

En düşük uyarma sinyali frekansı	En yüksek AC çıkış gerilimi frekansı

8) Elde ettiğiniz tüm sonuçları değerlendirip yorumlayınız ve raporlayınız.