

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Güç Elektronik Devrelerinden Yararlanarak
Doğru Akım Motorlarında Hız Ayarının İncelenmesi

Mebrure Şanal

Yüksek Lisans Tezi

100
14

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

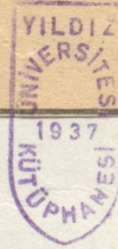
**GÜÇ ELEKTRONİK DEVRELERİNDEN
YARARLANARAK DOĞRU AKIM MOTORLARINDA
HIZ AYARININ İNCELENMESİ VE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)
ELK. MÜH. MEBRURE ŞANAL

İSTANBUL, 1985

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : R 152
Alındığı Yer : Fen Bil. Ens. 14
Tarih : 25.3.1987
Fatura :
Fiatı : 1000 TL.
Ayniyat No : 1/1
Kayıt No : 44750
UDC : 621.3
Ek : 378.242



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Sahife

GÜÇ ELEKTRONİK DEVRELERİNDEN YARARLANARAK
DOĞRU AKIM MOTORLARINDA HIZ AYARININ
İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Tezi Yöneten : Prof.Dr. Atıf URAL

Tezi Yürüten : Mebrure ŞANAL

OCAK - 1985

İÇİNDEKİLER

7. DOĞRU AKIMDAN DOĞRU AKIMA KONTROL (Chopper Tekniği)	79
--	----

7.1. Uygulama Alanları	Sahife
------------------------------	--------

7.2. Çalışma Prensipleri	79
--------------------------------	----

7.3. Kuvvet Devreleri (Chopper Circuits)	83
--	----

SUMMARY	86
---------------	----

1. GİRİŞ	1
----------------	---

2. TAHİRİK UYGULAMALARI	2
-------------------------------	---

2.1. Hızı Ayarlanabilir Tahrik	2
--------------------------------------	---

2.2. Sabit Güçlü Tahrik	3
-------------------------------	---

2.3. Seri Üniversal Motorlu Tahrik	4
--	---

2.4. Doğru Akım Motorları Tahrik Yöntemleri	5
---	---

3. DOĞRULTUCU ÇALIŞMASI	8
-------------------------------	---

3.1. Tek Fazlı Doğrultucu (Direnç Yüklü)	8
--	---

3.2. Tek Fazlı Doğrultucu (Reaktif Yüklü)	12
---	----

3.3. Üç Fazlı Doğrultucu (Direnç Yüklü)	20
---	----

4. TEK FAZLI KONTROL	29
----------------------------	----

4.1. Yarım-Dalga Kontrolü	29
---------------------------------	----

→ 4.2. Tam-Dalga Kontrolü	35
---------------------------------	----

4.3. Gaudet Kontrol Devresi	40
-----------------------------------	----

4.4. Süreksiz İletim	42
----------------------------	----

5. ÜÇ FAZLI KONTROL	46
---------------------------	----

5.1. Üç Fazlı Yarı-Kumandalı Köprü Devresi	46
--	----

→ 5.2. Üç Fazlı Tam-Kumandalı Köprü Devresi	51
---	----

5.3. Dinamik İnceleme	54
-----------------------------	----

6. SERİ ÜNİVERSAL MOTOR KONTROLU	59
--	----

6.1. Temel Devreler (Basic Circuits)	59
--	----

6.2. Kontrol Devrelerinin Çalışması	62
---	----

6.3. Faz Kontrol Analizi (Doymamış Halde)	67
---	----

6.4. Faz Kontrol Analizi (Doymuş Halde)	72
---	----

6.5. Faz Kontrolünün Anlatımı	74
-------------------------------------	----

7. DOĞRU AKIMDAN DOĞRU AKIMA KONTROL (Chopper Tekniği)	79
7.1. Uygulama Alanları	79
7.2. Çalışma Prensipleri	79
7.3. Kıyıcı Devreler (Chopper Circuits)	83
7.4. İnverter Çalışma	86
8. SONUÇ	90
9. FAYDALANILAN KAYNAKLAR	91
10. ÖZGEÇMİŞ	

Özgeçmişim: "Doğrultucular yardımıyla hız kontrolü", ikinci bölümde incelenen, doğru akım hattından beslenen ve "Kıyıcı devreler" diye adlandırılan düzenler yardımıyla hız kontrolü incelendi.

Bu lisansüstü bitirme çalışmasını veren ve bu çalışmam süresince değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyerek tezimin hazırlanmasında büyük katkıları olan hocam Sayın Prof. Dr. Atif URAL'a şükranlarımı sunmayı bir borcum bilirim.

Saygılarımla,

Mebrure Şenel

Ö Z E T

Lisansüstü bitirme çalışması olarak hazırlanan bu tezde Doğru Akım Motorlarının güç elektroniği elemanlarıyla hız ayarı teorik olarak incelendi.

İki ana kısımdan oluşan bu çalışmada; ilk bölümde alternatif akım hattından beslenen, "Doğrultucular yardımıyla hız kontrolü", ikinci bölümde ise, doğru akım hattından beslenen ve "Kıyıcı devreler" diye adlandırılan düzenler yardımıyla hız kontrolü incelendi.

Bu lisansüstü bitirme çalışmasını veren ve bu çalışmam süresince değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyerek tezimin hazırlanmasında büyük katkıları olan hocam Sayın Prof. Dr. Atıf URAL'a şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Yours Sincerely

Mebrure Şanal

Saygılarımla,

Mebrure Şanal

İ. GİRİŞ

SUMMARY

En tanınmışları silikon-kontrollü doğrultucu (SCR) lar olan ve "tristör" adı verilen güç elektroniği eleman ailesi, geçtiğimiz on yıl elektrik gücünün kontrolündeki en önemli gelişmeyi göstermiştir. Tristör devresi ve doğru akım motor kombinasyonunun iyi bir ekonomik ve

The thesis is of two main parts. In the first part, speed control with rectifiers supplied from ac line, and in the second part, speed control with systems named "chopper circuits" and supplied from a dc line, are presented.

I would like to express my deepest gratitude to Prof. Dr. Atıf URAL for giving his most helpful advice and sparing his valuable time to discuss during the preparation of my thesis.

Yours Sincerely

Mebrure Şanal

I. G İ R İ Ş UYGULAMALARI

En tanınmışları silikon-kontrollu doğrultucu (SCR) lar olan ve 'tristör' adı verilen güç elektroniği eleman ailesi, geçtiğimiz on yıl içinde elektrik gücünün kontrolundaki en önemli gelişmeyi göstermiştir. Tristör devresi ve doğru akım motor kombinasyonunun iyi bir ekonomik ve teknik beraberlikle sonuçlanmış olmasından dolayı, tristörün doğru akım motor kontrolu alanı üzerindeki etkisi oldukça büyüktür. Bu kombinasyonu kullanan 1/60 hp'den, 10.000 hp'ye kadar kontrollar mevcuttur ve çeşitli uygulamaları olarak; darbeli elektrik matkapları, presler ve çelik merdaneli değirmenler vs. sayılabilir.

Bu konudaki teknolojilerin bazıları ızgara kontrollu doğrultucu teorisine, bazıları magnetik-amplifikatör tekniklerine ve bazıları da geleneksel elektrik makinası kontrol prensiplerine dayanmaktadır. Diğer taraftan, bazı yeni teknolojiler de vardır ve tristörlerin büyüklük, fiyat ve karakteristiklerinin uygunluğu sayesinde yapılmaları mümkündür.

Güç elektroniği güç kontrol elemanları kullanarak yapılan motor kumandaları hâlâ gelişmelerinin başlangıcındadırlar. Önümüzdeki yirmi yıllık zaman periyodu; tristör hız kontrollu elektrikli otomobili, elektrik motor kumandası ve tristör kontrollu elektrikli trenleri kullanarak şehir nakliye ve ulaşımındaki büyük artışı, gaz türbinleri ve elektrik kumandalı ağır ve hafif karayolu araçlarının bütün tiplerini, güç elektroniği kontrollu bütün motor tiplerini kullanan havalandırmaların, buzdolaplarının ve diğer ev aletlerinin yeni üretimlerini gözler önüne serecektir.

2 . TAHRİK UYGULAMALARI

Tahrik düzenleri hız-moment eğrilerinin gösterdikleri şekilde ve mekanik güç sağlamak için kullanılan motor tipleriyle karakterize edilirler. Ayrıca, küçük veya büyük güçlü olmak üzere sabit güç büyüklüğü ile ve tek-fazlı veya üç-fazlı olmak üzere besleme şekli ile de tarif edilirler.

2.1. Hızı Ayarlanabilir Tahrik

Güç elektroniği elemanlarıyla doğru akım motor kumandası, ayarlanabilir hız kontrolü altında yapılır. Bu elemanlar doğru akım motorlarına, bağımsız alan temin ederek ve endüvi gerilimi yardımıyla hız kontrolünü sağlayarak yardımcı olurlar. Herhangi bir kontrol şekli için, hassas ve geribeslemeli devrelerin bir tipini kullanarak bir motorun sıfırdan maksimum moment yüküne kadar fiili olarak sabit bir hızda çalışması sağlanır.

Tek-fazlı, kesirli ve küçük güçlü motorlar için hız ayarlanabilir tahrik aralığı 1/60 dan 3 hp'ye kadardır; üç-fazlı tahrik düzenleri standard olarak 1 hp'den, 500 hp'ye kadar yapılabilmektedirler. Hız ayarlama aralıkları da standard üniteler için 1/6'sına kadar ve özel üniteler için ise 1/30'una kadardır. Küçük güçlü tahrik düzenleri için hız regülasyonu, yüksüz durumla tam yüklü durum arasındaki hız oranı için yüzde beşlik bir düşüş gösterir ve daha büyük güçlü motorlar için bu oran yüzde bir'dir.

Bu devreler büyüklüklerine bakılmaksızın üç kısımdan ibarettir; Endüvi gerilimi, tek-fazlı veya üç-fazlı bir tristör kontrollü redresör

grubunun içinden geçen bir alternatif akım hattından elde edilir. Alan akımı kontrollü veya kontrolsüz bir redresör grubundan elde edilir. Bir kontrol sistemi motorun hızını ölçer, onu referans veya kontrol grubuyla mukayese eder ve hızı muhafaza etmek üzere tristör devresi için kapı sinyalleri üretir.

Hız-moment eğri ailesinin her bir kontrol grubu için bir sabit hız bölgesi ve bir moment-limit bölgesi vardır. Moment-limit bölgesinin amacı, motor ve tristörlerin sıcaklık kabiliyetlerinin ötesinde bir sabit hız sürdürmesini, yani aşırı yüklenmelerini önlemek için kontrol sistemini durdurmaktır. Moment-limit bölgesi bir doğru akım motorunun öz karakteristiği değildir, bu bölgeyi kontrol sistemi sağlamalıdır.

2.2. Sabit Güçlü Tahrik

Yukarıda izah edilmiş olan hızı ayarlanabilir tahrik genellikle kendi kontrolundan daha büyük bir güç kabiliyetine sahip olan alternatif akım kullanılarak yapılır; bu gibi tahrik düzenleri, taşıt güç sağlayıcısı tarafından oluşturulan çıkış gücünü sınırlamak için taşıtlarda kullanılırlar. Böyle tahrik düzenleri güç sağlayıcının geliştirebileceğinden daha fazla mekanik güç verebilirler ve bu düzen eldeki sabit güce uygulanmalıdır. Bunlar, sabit güçlü tahrik düzenleri olarak bilinirler.

2.3. Seri Universal Motorlu Tahrik

Bir sabit güçlü tahrik talebi, standard doğru akım motorların - dan herhangi birinin öz açık-devre karakteristikleri ile onların dış kontrolleri tarafından karşılanamaz. Motorların her iki tipi de, bir tahrik düzeni tarafından kumanda edilmedikçe bu sınırlamanın dışında

in faz kontrollu bir yarım-dalgalı veya tam-dalgalı triyotör kullanılarak çalışacaklardır. Seri motor ve buna seri bağlı ayarlanabilir bir R_a direncine ait karakteristik, R_a direncinin belirli değerleri için bir sabit güçlü tahrik eğrisine yaklaşır. Pratik olarak, doğru akım seri motorlar cer'de, elektrikli dizel lokomotiflerde ve üst yol taşıtlarında kullanılırlar. Burada kullanılmalarının amacı, hızın bir fonksiyonu olarak bağlı küçük düzeltmelerle güç sağlayıcı üzerindeki sabit güç yüklemesini aksettirmek içindir.

Ayarlanabilir V_a endüvi gerilimli bir şönt motor, hız ve momentin bir fonksiyonu olarak V_a gerilimini sürekli kontrol etmek suretiyle bir sabit güç eğrisi boyunca çalıştırılabilir. Kontrol işlemi karşılaştırma yapmak için V_a geriliminin büyük değişiklikler göstermesini, seri motorlar için ise R_a direncinin küçük değişiklikler göstermesini ister. Bir sabit güçlü tahrik düzeni oluşturma'nın asıl problemi motorun, üzerinde çalışmak zorunda olduğu geniş hız ve moment aralığı içinde kalmasıdır. Maksimum motor momenti en düşük hızda; maksimum motor hızı da en düşük momentte meydana gelir. Bunun için motor ve onun güç elektroniği elemanlarından oluşan dönüştürücüleri, sabit güç değerinin k katı bir güç oranına sahip olmalıdır. Burada k = sürekli-hal hız aralığıdır. Bu durum sabit güçlü tahrik düzeninin kullanıldığı herhangi bir motor için geçerlidir.

2.3. Seri Üniversal Motorlu Tahrik

Seri üniversal motor taşınabilir aletler, takımlar ve diğer kullanımlar için kontrol uygulamalarında kompakt, yüksek-hızlı güç kaynağı olarak özel bir yere sahiptir. Seri üniversal motor, bir alternatif akım hattında çalıştırılarak ve motora uygulanan gerilimi doğrultmak

için faz kontrollu bir yarım-dalgalı veya tam-dalgalı tristör kullanarak hız kontrollu olabilir. Kontroller ekseriya motor veya makina düzeniyle şönt motorlar böyle sistemlerden beslenirler. Bu reosta alanı içinde inşa edilirler ve makina üzerindeki bir mandal veya bir topuz vasıtasıyla işletilirler. Seri universal motor kontrolu için kullanılan devreler basit ve ucuzdur. Bu devreler uygulandıkları yere bağlı olarak, geri beslemesiz veya geri beslemeli tipte olabilirler. En basit tipi, bir yarım-dalgalı tristör ile faz kontrolu için bir RC tetikleme devresinden ibarettir. Tetikleme elemanı, tetikleme devresinin direnci ile doğru orantılı olarak değişir. Diğer bir kolaylık da, bir tam dalgalı tristörün de aynı tip kontrolu kullanmasıdır. Sonuç olarak, bu devrelerin en komplike olanları yük altında motor hızını sabit tutabilmek için geri beslemelidirler. Endüvi gerilimi hızın ölçüsü gibidir. Geri beslemenin kullanımı hız düşmesini azaltır gibi görünmesine karşın, sabit hızda çalışma elde etmek için bir şönt motor kullanmak daha iyi bir çözümdür.

2.4. Doğru Akım Motorları Tahrik Yöntemleri

Doğru akım motorları için tahrik yöntemleri üç gruba ayrılır:

1 - Sabit-gerilimli doğru akım alıcısı vasıtasıyla çalıştırılırlar.

2 - AC - DC motor generatör düzenlerinde kullanılırlar.

3 - Sabit doğrultucular kullanarak, bir sabit gerilimli alternatif akım hattından çalıştırılırlar.

Sabit gerilimli doğru akım besleme sistemleri; demiryollarında, sanayi kuruluşlarında, gemilerde ve bazı uçaklarda kullanılır.

Direkt bağı endüvisi ve bir alan reostası üzerinden bağı alan sargısıyla şönt motorlar böyle sistemlerden beslenirler. Bu reosta alan akımını değiştirmek ve 1/3 oranına kadar hız değişiklikleri elde etmek için kullanılır. Hız artarken moment kabiliyeti azalacağından dolayı bu motor sabit-beygirgücü yüklemelerine uygundur. Hızı ayarlayan her reosta yüksüz durumdan tam yüklü duruma geçerken tipik bir yüzde beş bandı dahilinde kalır.

Geniş hız ve moment aralığı elde etmek için seri motorlar doğru akım besleme sistemleri ile kullanılırlar ve buradasabit-hız işlemi istenmez. Motorla seri bağlanmış olan direnç kontrol elemanları operatörün elle ayarlamasıyla hız ve moment kontrolünü sağlarlar. Tristör kıyıcı devreler, dirençlerin güç kayıpları olmaksızın benzer karakteristikler meydana getirirler.

Güç elektroniği elemanlarının kapsamlı gelişiminden önce ve bugün bile, doğru akım motor kumandası için bir alternatif akım hattından dc güç üretmek üzere motor-generatör grupları kullanılmaktadır. Motorun alan sargısı yardımcı bir generatörden veya doğrultucudan beslenirken doğru akım motorunun endüvisi direkt olarak ana generatörden beslenmektedir. Generatör alan akımını pozitif tam-gerilimden negatif tam-gerilime değiştirerek motorun endüvi gerilimi ayarlanır. Bundan dolayı, doğru akım motoru kolayca ters çevrilebilir ve hız küçültmesine kumanda edildiği zaman motor-generatör grubundan alternatif akım hattına otomatik olarak yeniden güç üretir. Ters çevirme, faydalı frenleme, düzgün akım dalga şekilleri ve büyük kısa süreli aşırı yüklenebilme kabiliyeti gibi avantajlarına karşın; maliyet, kayıplar ve istenen boşluk motor-generatör

grup sisteminin dezavantajlarıdır.

Bir alternatif akım hattından dc güç sağlayan statik sistemler; magnetik amplifikatörler, akım sınırlayıcıları, gaz-deşarjlı redresörler ve tristörler içerirler. Sistemin her bir elemanı bir redresör ve bir kontrol aracı içerir. Kontrol araçlarının tümü ya magnetik gerilim bloklamasıyla veya kontrollu redresör elemanının faz kontroluyla gecikmeli olarak ilettime geçerler. Temel sistemlerin tümü tek yönlüdürler ve ters çevirme ve frenleme için ilave düzen isterler.

Güç elektroniği elemanlarıyla doğru akım motor kumanda sistemlerinin avantajları; nisbeten düşük maliyet, küçük fiziksel hacim ve geniş kontrol aralıklarıdır. İlave olarak, kumanda sistemleri bütün standart hat gerilimleri, sabit güçler ve regülasyon şartları için ticari olarak elverişlidir. Fakat belirli uygulamalar için, güç elektroniği elemanlarıyla kontrol haricinde daha iyi mühendislik çözümleri sunulabilir. Motor-generatör grupları ters çevirme uygulamaları için çok faydalıdır; direnç kontrollu seri motorların, doğru akım gücünün mevcut olduğu değişken-hız uygulamaları için üstün olmaları zordur.

Yük akımı i ve yük geriliminin dalga şekilleri aynıdır. i ve v aynı anda pozitif yarı periyotlarında, yani, $\omega t = 0$ ile π , 2π ile 3π arasında diyor iletmedir. Bir V_0 ortalama değeri ile V_0 ortalama yük geriliminin ifade

$$V_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} V_0 \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{\sqrt{2} V_0}{2\pi} \left[-\cos \omega t \right]_0^\pi \quad (3.1)$$
$$= \frac{\sqrt{2} V_0}{\pi} = 0.45 V_0$$

3. DOĞRULTUCU ÇALIŞMASI

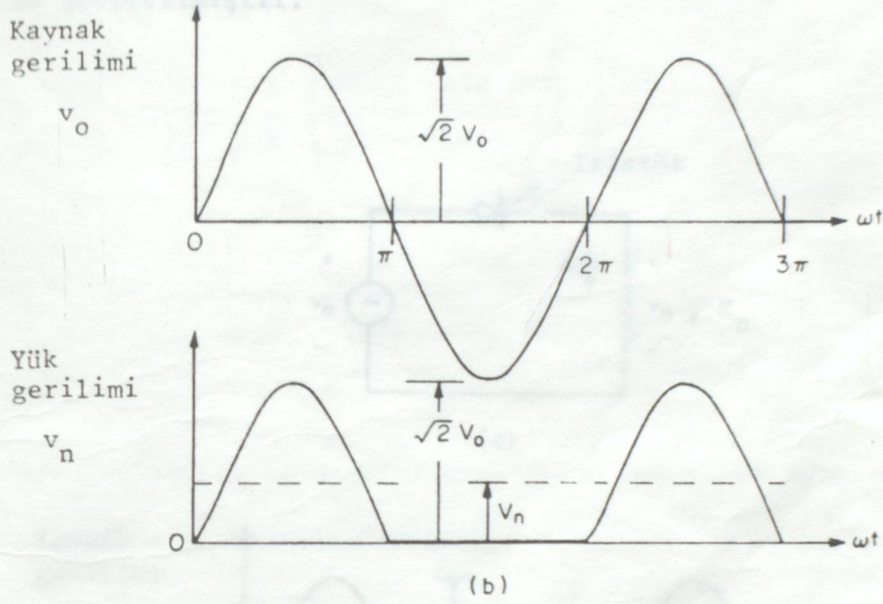
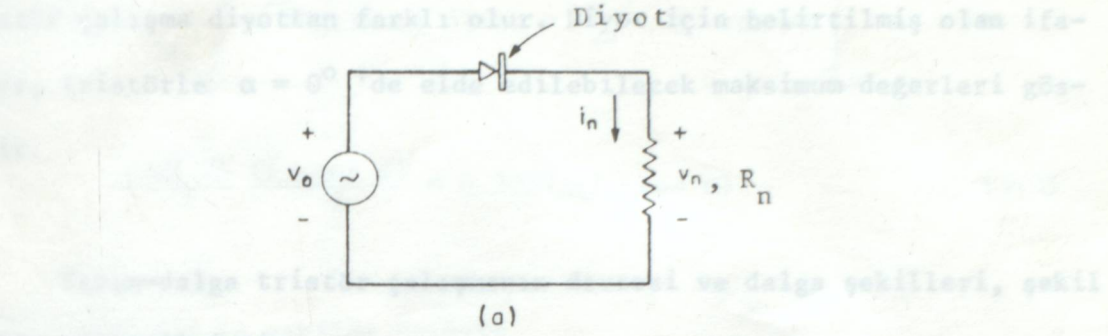
Bir doğru akım motorunun hız kontrolu için, direkt gerilimin ayarlanabilir düzeylerini motorun endüvisine, uyarmasına veya her ikisine de verebilen bir doğrultucu montajına sahip olmalıyız. Doğrultucu bir tek-fazlı veya bir üç-fazlı hattan çalıştırılabilir ve üretilmiş endüvi gerilimi ve yük endüktansının tesirlerini karşılayabilmelidir. Burada, pasif yükler olan direnç, endüktans ve kapasitans altında doğrultucu çalışmalar ele alınmıştır.

3.1. Tek-Fazlı Doğrultucu (Direnç Yüklü)

Doğrultucu çalışmanın esas elemanı, kontrolsüz çalışma için diyot, kontrollu çalışma için de tristördür. Bizim maksatlarımız için diyot, anot-katod arası gerilimi pozitif olduğu zaman kapanan ve 1 volt gibi küçük bir ön gerilime sahip olan bir anahtar gibi modellendirilebilir. Tristör de, iletme geçmek için kapı ucunun bir darbe alması şartının ilavesiyle, aynı şekilde modellendirilebilir.

Direnç yüklü yarım-dalga devresinin dalga şekilleri, şekil 3.1'de gösterilmiştir. Yük akımı ve yük geriliminin dalga şekilleri aynıdır. Hat geriliminin pozitif yarım periyotlarında, yani, $\omega t = 0$ ile π , 2π ile 3π , vs... aralıklarında diyot iletimdedir. Bir V_n ortalama değeri ile belirtilmiş olan yük geriliminin ifadesi

$$V_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} V_o \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{-\sqrt{2} V_o}{2\pi} \cos \omega t \Big|_0^{\pi} \quad (3.1)$$
$$= \frac{\sqrt{2} V_o}{\pi} = 0.45 V_o$$



Şekil 3.1 Yarım-dalga doğrultucunun
direnç yükü altında çalışması

Yük içinden geçen akımın efektif değeri

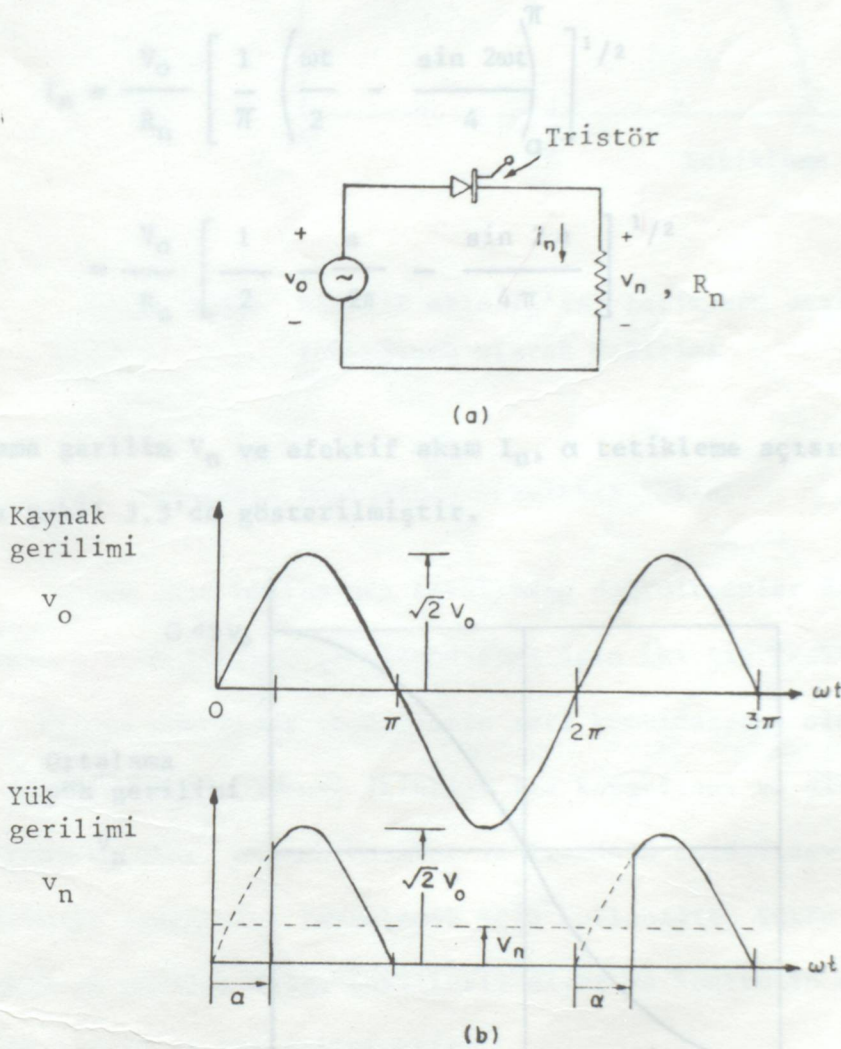
$$I_n = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \frac{2V_o^2}{R_n^2} \sin^2 \omega t \, d(\omega t) \right]^{1/2}$$

$$= \frac{V_o}{R_n} \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4} \right) \right]_0^\pi^{1/2} = 0,707 \frac{V_o}{R_n} \quad (3.2)$$

Tetikleme açısı α nın değişken olmasından dolayı, yarım-dalga tristör çalışma diyottan farklı olur. Diyot için belirtilmiş olan ifadeler, tristörle $\alpha = 0^\circ$ 'de elde edilebilecek maksimum değerleri gösterir.

$$I_o = \frac{\sqrt{2} V_o}{\pi} \frac{(1 + \cos \alpha)}{2} = 0.225 V_o (1 + \cos \alpha) \quad (3.3)$$

Yarım-dalga tristör çalışmanın devresi ve dalga şekilleri, şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Yarım-dalga doğrultucunun direnç yükü altında çalışması

Ortalama yük gerilimi V_n , kaynak geriliminin efektif değeri olan V_o 'lı terimlerle ifade edilecek olursa

$$V_n = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} V_o \sin \omega t d(\omega t) = \left[-\frac{\sqrt{2}}{2\pi} V_o \cos \omega t \right]_{\alpha}^{\pi}$$

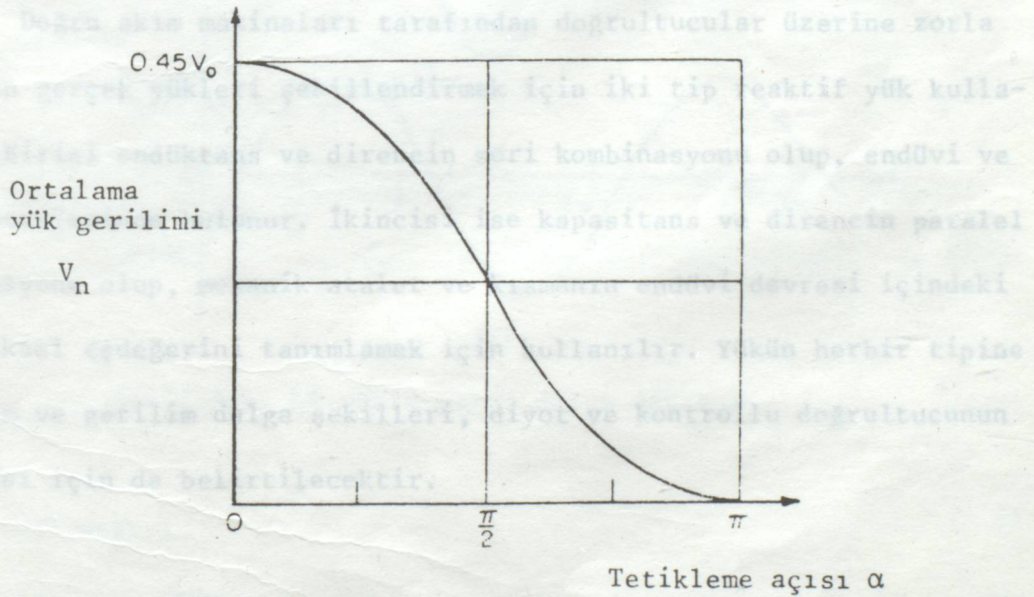
$$= \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_o \frac{(1 + \cos \alpha)}{2} = 0.225 V_o (1 + \cos \alpha). \quad (3.3)$$

I_n efektif akımı şu şekilde verilir

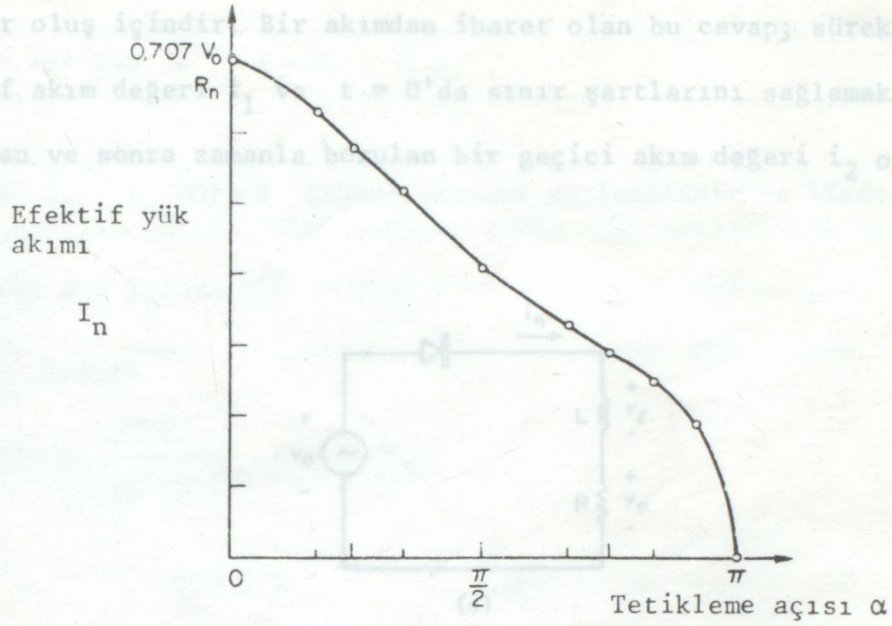
$$I_n = \frac{V_o}{R_n} \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4} \right) \right]_{\alpha}^{\pi} \Bigg|^{1/2}$$

$$= \frac{V_o}{R_n} \left[\frac{1}{2} - \frac{a}{2\pi} - \frac{\sin 2a}{4\pi} \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

Ortalama gerilim V_n ve efektif akım I_n , α tetikleme açısının fonksiyonu olarak Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3.a Ortalama gerilim V_n 'in tetikleme açısının fonksiyonu olarak değişimi



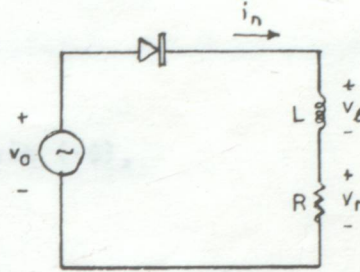
Şekil 3.3.b Efektif akım I_n 'in, tetikleme açısının fonksiyonu olarak değişimi

3.2. Tek-Fazlı Doğrultucu (Reaktif Yüklü)

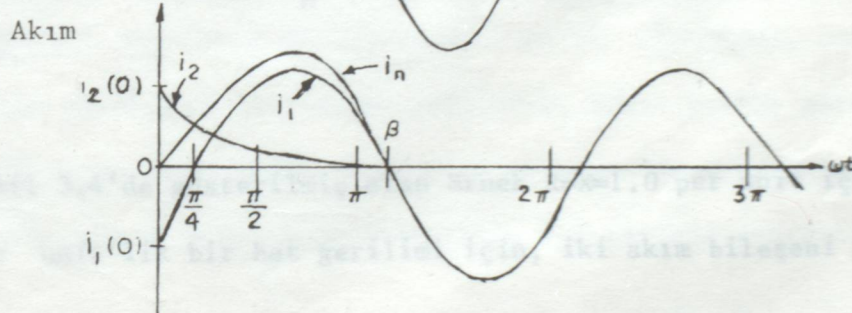
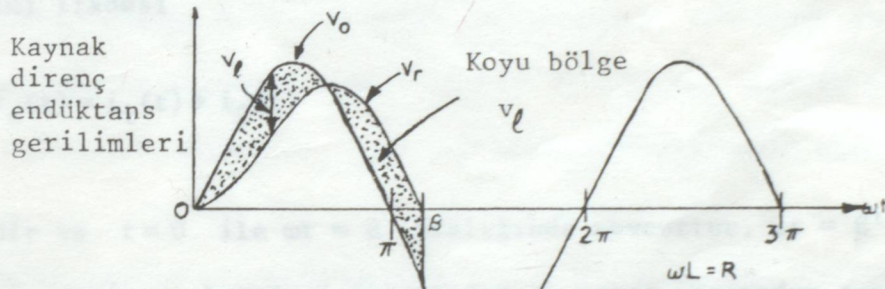
Doğru akım makinaları tarafından doğrultucular üzerine zorla yüklenen gerçek yükleri şekillendirmek için iki tip reaktif yük kullanılır. Birisi endüktans ve direncin seri kombinasyonu olup, endüvi ve alan devrelerinde bulunur. İkincisi ise kapasitans ve direncin paralel kombinasyonu olup, mekanik atalet ve kısmının endüvi devresi içindeki elektriksel eşdeğerini tanımlamak için kullanılır. Yükün her bir tipine ait akım ve gerilim dalga şekilleri, diyot ve kontrollü doğrultucunun her ikisi için de belirtilecektir.

Diyot ve seri bağlı R ve L yüküne ait devre ve dalga şekilleri Şekil 3.4'de gösterilmiştir. i_n akımı, diyot devreye yarım-periyotluk bir darbe uygularken her bir pozitif yarım-periyot içindeki

geçici bir oluş içindir. Bir akımdan ibaret olan bu cevap; sürekli-hal alternatif akım değeri i_1 ve $t = 0$ 'da sınır şartlarını sağlamak için mevcut olan ve sonra zamanla bozulan bir geçici akım değeri i_2 olabirdi.



(a)



(b)

Şekil 3.4 LR yüklü yarım dalga devresi

Sürekli-hal değeri

$$i_1(t) = \frac{\sqrt{2} v_o}{(R^2 + X^2)^{1/2}} \sin(\omega t - \phi), \quad (3.5)$$

şeklindedir ve burada

$$\phi = \arctan \frac{X}{R}, \quad X = \omega L \quad \text{dir.}$$

Geçici akım i_2 , $i_n(0) = 0$ şebeke akımını zorlamalıdır ve ifadesi

$$i_2(t) = -I_1(0)e^{-t/\tau} \quad (3.6)$$

şeklindedir. Burada

$$i_1(0) = \frac{\sqrt{2} V_0}{(R^2 + X^2)^{1/2}} \cdot \sin(-\phi), \quad (3.10)$$

$$\tau = L/R. \quad \text{dir.}$$

Sonuç akımı ifadesi

$$i_n(t) = i_1(t) + i_2(t) \quad (3.7)$$

şeklindedir ve $t=0$ ile $\omega t = \beta$ aralığında mevcuttur. $\omega t = \beta$ 'ya, söndürme açısı denir ve burada $i_n(t) = 0$ dır ve yarım-periyodun sonunda diyot kapanır.

Şekil 3.4'de gösterilmiş olan örnek $R=X=1.0$ per unit içindir. $V_0=1.0$ per unit'lik bir hat gerilimi için, iki akım bileşeni şu formdadır;

$$i_1(t) = 1 \sin(\omega t - \pi/4), \quad (3.8)$$

$$i_2(t) = 0.707e^{-\omega t}. \quad (3.9)$$

Söndürme açısı takriben $\beta = 5\pi/4 = 225^\circ$ dir.

Tepe akımı takriben $3\pi/4 = 135^\circ$ de meydana gelir.

L endüktansı, bir periyot üzerindeki herhangi bir ortalama şebeke gerilimini tutamaz. Bu sebepten dolayı, şekil 3.4 deki, endüktans gerilim-zaman alanını gösteren koyu bölge, akım $\omega t = \beta$ 'da sıfır olduğu zaman, sıfırın altına taşar. Bundan başka, bir periyot üzerindeki ortalama akım I_n , $\omega t = 0$ 'dan $\omega t = \beta$ 'ya kadar olan aralıkta devre direncine uygulanan v_o şebeke geriliminin ortalama değeri olup, ifadesi

$$I_n = \frac{1}{2\pi R} \int_0^{\beta} \sqrt{2}V_o \sin \omega t d(\omega t). \quad (3.10)$$

şeklindedir.

Bundan dolayı β , 2π 'ye doğru değişirken ve X/R oranı artarken, akımın genliği ve ortalama değeri azalır. $\beta = 2\pi$ de, akım bu periyot boyunca sıfırdır; endüktans, akımın ortaya çıkmasına asla müsaade etmez.

Diyot yerine bir tristör için, $\omega t = 0$ 'dan ziyade, tristörün iletime geçirildiği anda akım akmaya başlar. $\omega L = R$ durumunda, tetikleme açısı α 'nın üç değeri için dalga şekilleri, şekil 3.5'de gösterilmiştir. i_n ani akımı için ifade, i_2 geçici akımın α 'da değerlendirilmesinin haricinde, diyot akımı için belirtilen iki terimin aynısından ibarettir.

i_n akımının ifadesi

$$i_n(t) = i_1(t) + i_2(t) \quad (3.11)$$

şeklindedir.

Şekil 3.5 LR yükli kontrollü doğrultucu

Yukarıdaki $i_n(t)$ ifadesinde imiş olan bu üç dalga şekli, $R = \omega L = 1$ pu

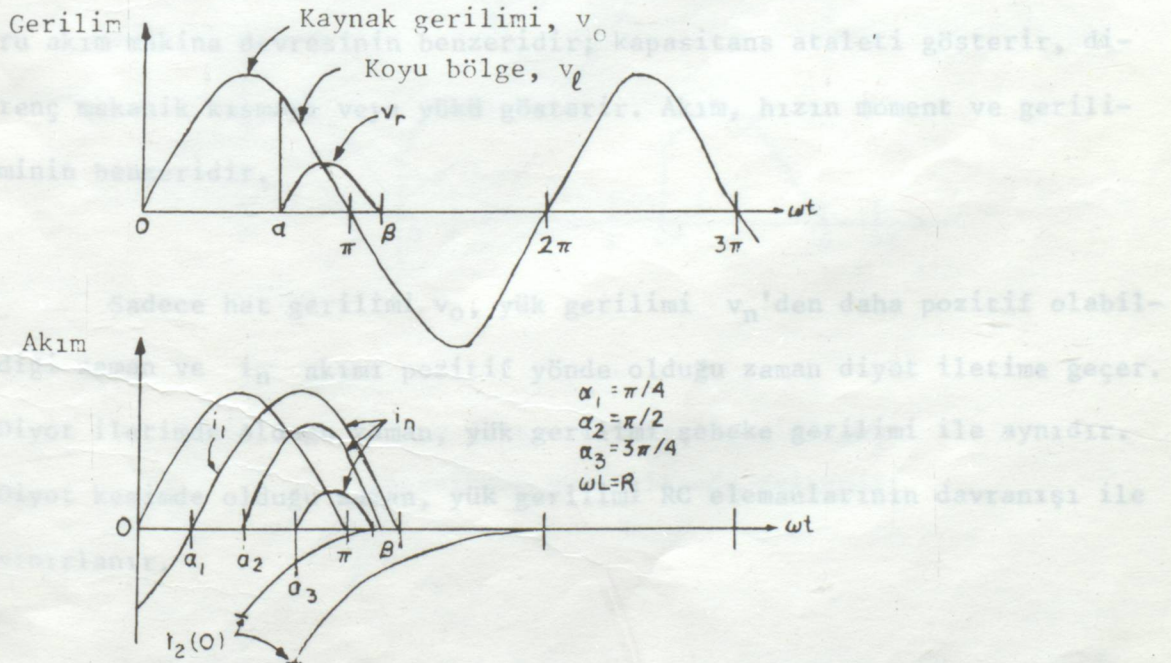
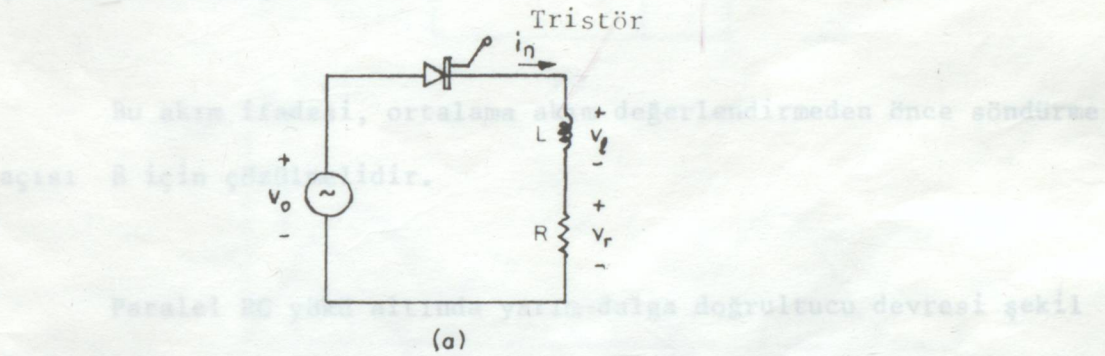
$$i_1(t) = \frac{\sqrt{2} V_0}{(R^2 + X^2)^{1/2}} \sin(\omega t - \phi), \quad (3.12)$$

$$\phi = \arctan \frac{X}{R},$$

ve

$$i_2(t) = -i_1(\alpha) e^{-t/\tau}, \quad \tau = L/R, \quad (3.13)$$

$$i_1(\alpha) = \frac{\sqrt{2} V_0}{(R^2 + X^2)^{1/2}} \sin(\alpha - \phi). \quad (3.14)$$



Şekil 3.5 LR yüklü kontrollü doğrultucu

Şekil 3.5 de belirtilmiş olan bu üç dalga şekli, $R = \omega L = 1$ pu durumunda $\alpha = \pi/4$, $\pi/2$ ve $3\pi/4$ için akımın iki kısmını da göstermektedir. $\alpha = \pi/4$ için geçici akım $i_2(t)$ sıfırdır. α açısı sıfır'dan π 'ye değişirken akım genliğinin ve ortalama değerin azaldığı görülür. Ortalama akım

$$I_n = \frac{1}{2\pi R} \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{2} V_0 \sin \omega t d(\omega t). \quad (3.15)$$

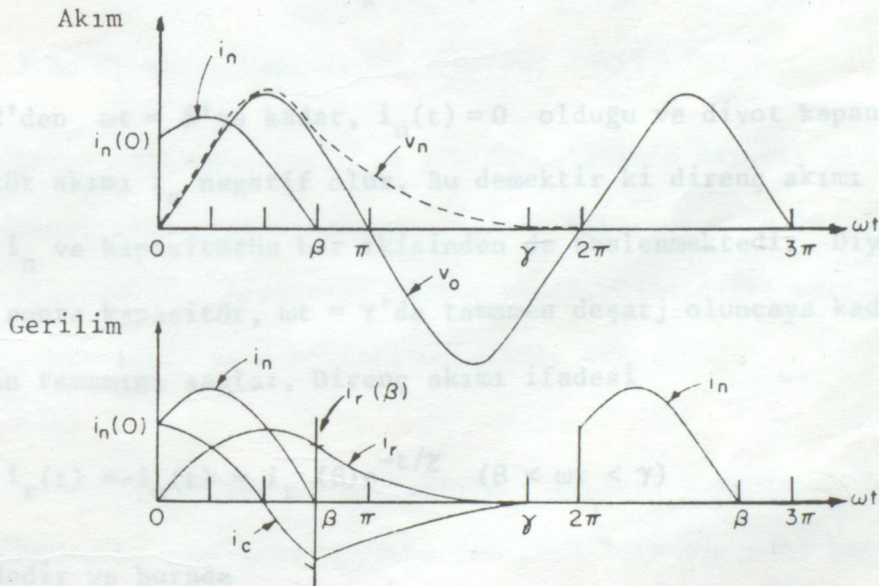
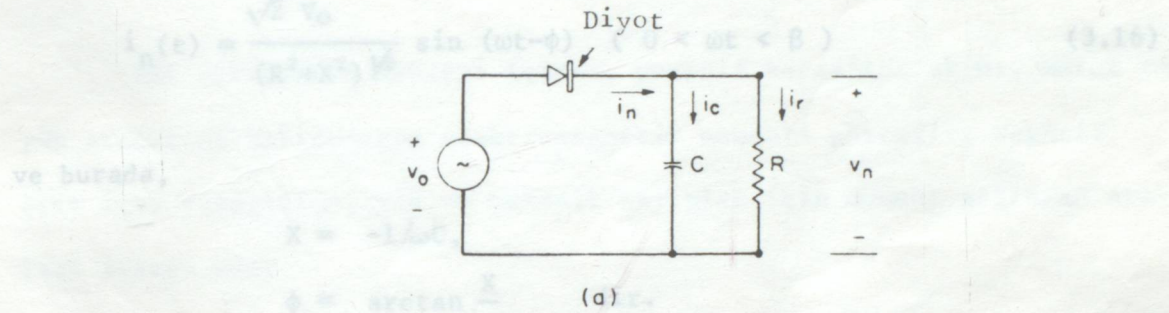
şeklinde verilmiştir.

Bu akım ifadesi, ortalama akım değerlendirmeden önce söndürme açısı β için çözümlenmelidir.

Paralel RC yükü altında yarım-dalga doğrultucu devresi şekil 3.6'da gösterilmiştir. Daha önceden de söylendiği gibi yük devresi, doğru akım makina devresinin benzeridir; kapasitans ataleti gösterir, direnç mekanik kismayı veya yükü gösterir. Akım, hızın moment ve geriliminin benzeridir.

Sadece hat gerilimi v_0 , yük gerilimi v_n 'den daha pozitif olabildiği zaman ve i_n akımı pozitif yönde olduğu zaman diyot iletme geçer. Diyot iletimde olduğu zaman, yük gerilimi şebeke gerilimi ile aynıdır. Diyot kesimde olduğu zaman, yük gerilimi RC elemanlarının davranışı ile sınırlanır.

Şekil 3.6'daki dalga şekilleri, $R = 1/\omega C$ 'nin keyfi durumu için gösterilmiştir. Yük devresinin zaman sabiti τ , $\tau = RC = 1/\omega$ şeklinde verilmiştir. Eğer şebeke geriliminin bir periyodunu takip etmişse, dalga şekilleri anlamlıdır.



Şekil 3.6. Yarım dalga doğrultucunun direnç kapasitans yükü altında çalışması

$\omega t = 0$ da, C kapasitörü çabucak deşarj olur. v_n yük gerilimi sıfır olur ve v_o pozitif olduğu zaman diyot ilettime geçer. i_n akımı, $i_n(0)$ değerine atlar ve kapasitör şarj olmaya başlar. Şebeke gerilimi v_o , $\omega t = \pi/2$ 'de tepe değerine varıncaya kadar i_n diyot akımı, kapasitör akımı i_c ve direnç akımı i_r 'yi beslemeye devam eder. Diyot akımı aşağıdaki ifade ile belirtilir;

$$i_n(t) = \frac{\sqrt{2} V_o}{(R^2 + X^2)^{1/2}} \sin (\omega t - \phi) \quad (0 < \omega t < \beta) \quad (3.16)$$

ve burada,

$$X = -1/\omega C, \\ \phi = \arctan \frac{X}{R} \quad \text{dir.}$$

$\omega t = \pi/2$ 'den $\omega t = \beta$ 'ya kadar, $i_n(t) = 0$ olduğu ve diyot kapandığı zaman, kapasitör akımı i_c negatif olur. Bu demektir ki direnç akımı i_r , diyot akımı i_n ve kapasitörün her ikisinden de beslenmektedir. Diyot kapandıktan sonra kapasitör, $\omega t = \gamma$ 'da tamamen deşarj oluncaya kadar direnç akımının tamamını sağlar. Direnç akımı ifadesi

$$i_r(t) = -i_c(t) = i_r(\beta) e^{-t/\tau} \quad (\beta < \omega t < \gamma) \quad (3.17)$$

şeklindedir ve burada

$$i_r(\beta) = \frac{\sqrt{2} V_o \sin \beta}{R}, \quad \tau = RC \quad \text{dir.}$$

Bir periyot üzerinde yük geriliminin üç değeri vardır. Bunlar;

$$0 < \omega t < \beta : \quad v_n = v_o ; \quad (3.18)$$

$$\beta < \omega t < \gamma : \quad v_n = i_r(t) R; \quad (3.19)$$

$$\gamma < \omega t < 0 : \quad v_n = 0 . \quad (3.20)$$

Eğer yükün zaman sabiti, bir periyot ile karşılaştırılacak kadar büyükse, yani: kapasitör $\omega t = 2\pi$ 'de tamamen deşarj olmuyorsa, $\gamma > 2\pi$ ise, yükselen gerilim v_o , azalan gerilim v_n 'e $\omega t = (\alpha + 2\pi)$ 'de yettiği zaman diyot iletme geçer ve yük gerilimi asla sıfır olmaz. En uç hali $RC \rightarrow \infty$ için olur: kapasitör $\sqrt{2} V_o$ tepe değerinde şarj olur ve orada kalır.

Yük devresinin benzeri içinde, pozitif kapasitör akımı, motor ve yük ataletini hızlandıran elektromagnetik momenti gösterir. Negatif akım ise, yavaşlatan, yük ve mekanik kayıplar için moment sağlayan ataleti işaret eder.

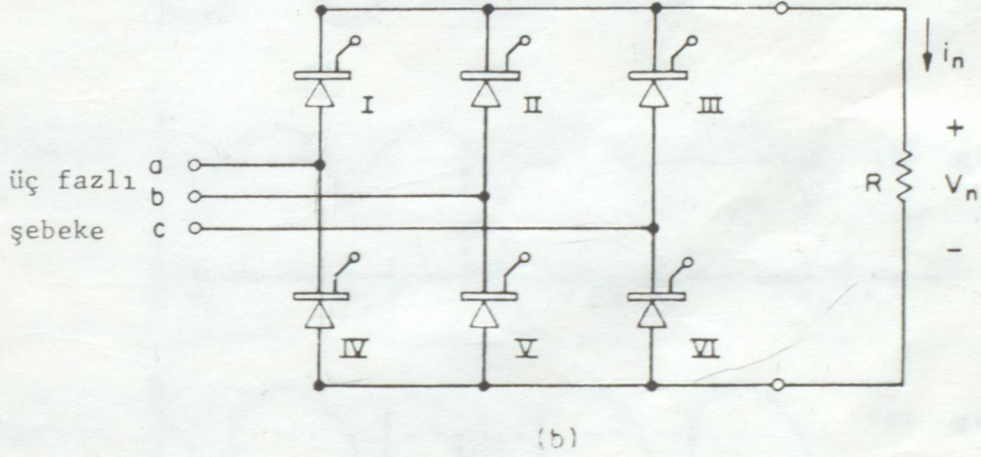
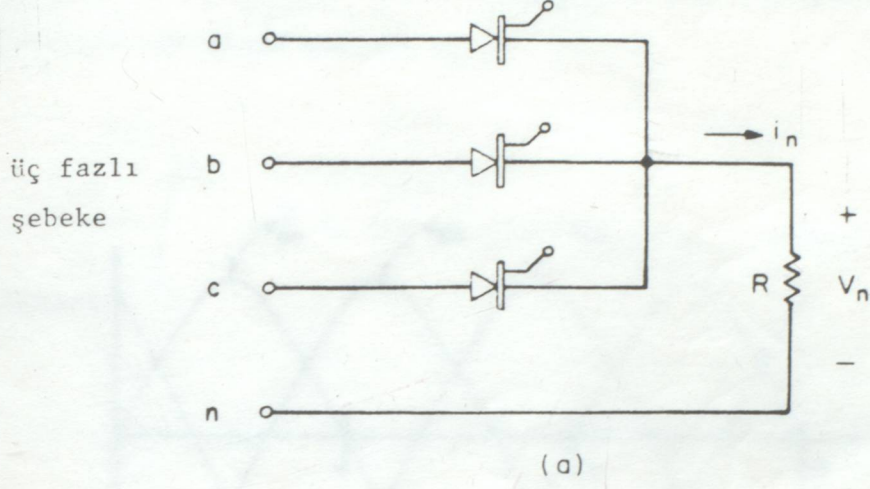
3.3. Üç-Fazlı Doğrultucu (Direnç Yüklü)

Doğrultucu devrelerin ve yük devrelerinin detaylı olarak analiz edilebilecek sonsuz kombinasyonu vardır. Fakat, burada sadece iki düzen incelenecektir. Birincisi direnç yüklü, diğeri ise paralel RC yüklü olup, bir doğru akım makinasını simüle eder.

Yarım-dalga devresi üç-fazlı gerilimleri doğrultmak için en ucuz yoldur. Fakat bu yol, nötr meydana getirmek için bir nötr hattı veya bir transformatör ister. Tam-dalga devresi altı doğrultucu eleman kullanır; bu devre, üç elemanı diyot ve diğeri üç elemanı tristör olduğunda, bir yarı-kumandalı köprü devresi olarak tanımlanır.

Şekil 3.7a'da bir üç-fazlı yarım-dalga devresi gösterilmiştir. Yük, üç eleman tarafından beslenir ve ortak nötr'den geri döner. Diyot çalışmada herbir doğrultucu eleman her periyotta 120° için iletimdedir;

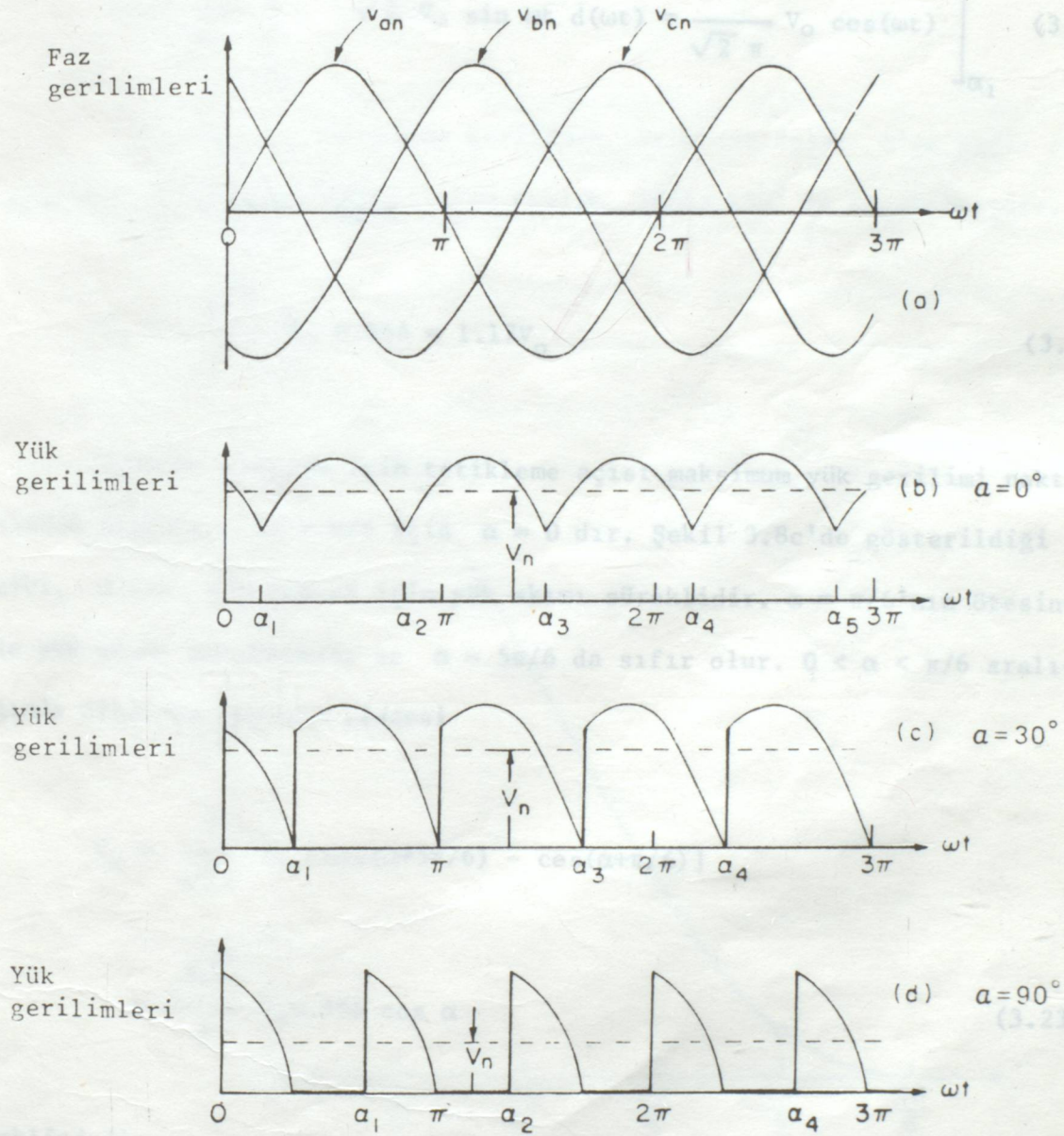
yük, herbir 120° lik aralık esnasında maksimum gerilimde olan faz hattına bağlanır.



Şekil 3.7 Üç fazlı doğrultucu devreleri
(a) Yarımdalga, (b) Tamdalga

Şekil 3.8'de, üç tetikleme açısında faz gerilimlerinin ve v_n yük geriliminin dalga şekilleri gösterilmiştir. Faz gerilimleri nötr'e göre v_{an} , v_{bn} , v_{cn} olarak gösterilmişlerdir. Sadece, en yüksek ani gerilimde hatta bağlanmış olan doğrultucu eleman iletime geçebilir. Diyot elemanları için, diyotların $\omega t = \pi/6$, $5\pi/6$, $9\pi/6$, v.s. gibi keşişme noktalarında iletime geçtikleri farzedilir. Tristör elemanları

için, anot-katot geriliminin pozitif olduğu aralık esnasında tristör ilettime geçmelidir. Aksi taktirde öncelikle ilettime geçen tristör, akımı tabii olarak sıfıra düşüncüye kadar iletimde kalır ve sonra kendisini kapatır.



Şekil 3.8 Üç fazlı yarım-dalga çalışması için dalga şekilleri

Diyot çalışma için yük-gerilimi dalga şekli, şekil 3.8b'de gösterilmiştir. Gerilim, faz-nötr geriliminin tepe değerine yaklaşmaktadır. Dalgacık, periyot başına üç darbeye sahiptir ve bir ana üçüncü-harmonik bileşeni vardır. Ortalama gerilim V_n

$$V_n = \frac{3}{2\pi} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sqrt{2} V_o \sin \omega t d(\omega t) = \frac{-3}{\sqrt{2} \pi} V_o \cos(\omega t) \Big|_{-\alpha_1}^{\alpha_2} \quad (3.21)$$

$\alpha_1 = \pi/6$, $\alpha_2 = 5\pi/6$ için

$$V_n = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_o 0.866 = 1.17V_o \quad (3.22)$$

Tristör çalışma için tetikleme açısı maksimum yük gerilimi noktasından ölçülür; $\omega t = \pi/6$ için $\alpha = 0$ dır. Şekil 3.8c'de gösterildiği gibi, α 'nın $\pi/6$ değeri için yük akımı sürekli. $\alpha = \pi/6$ 'nın ötesinde yük akımı süresizdir ve $\alpha = 5\pi/6$ da sıfır olur. $0 < \alpha < \pi/6$ aralığında ortalama gerilim ifadesi

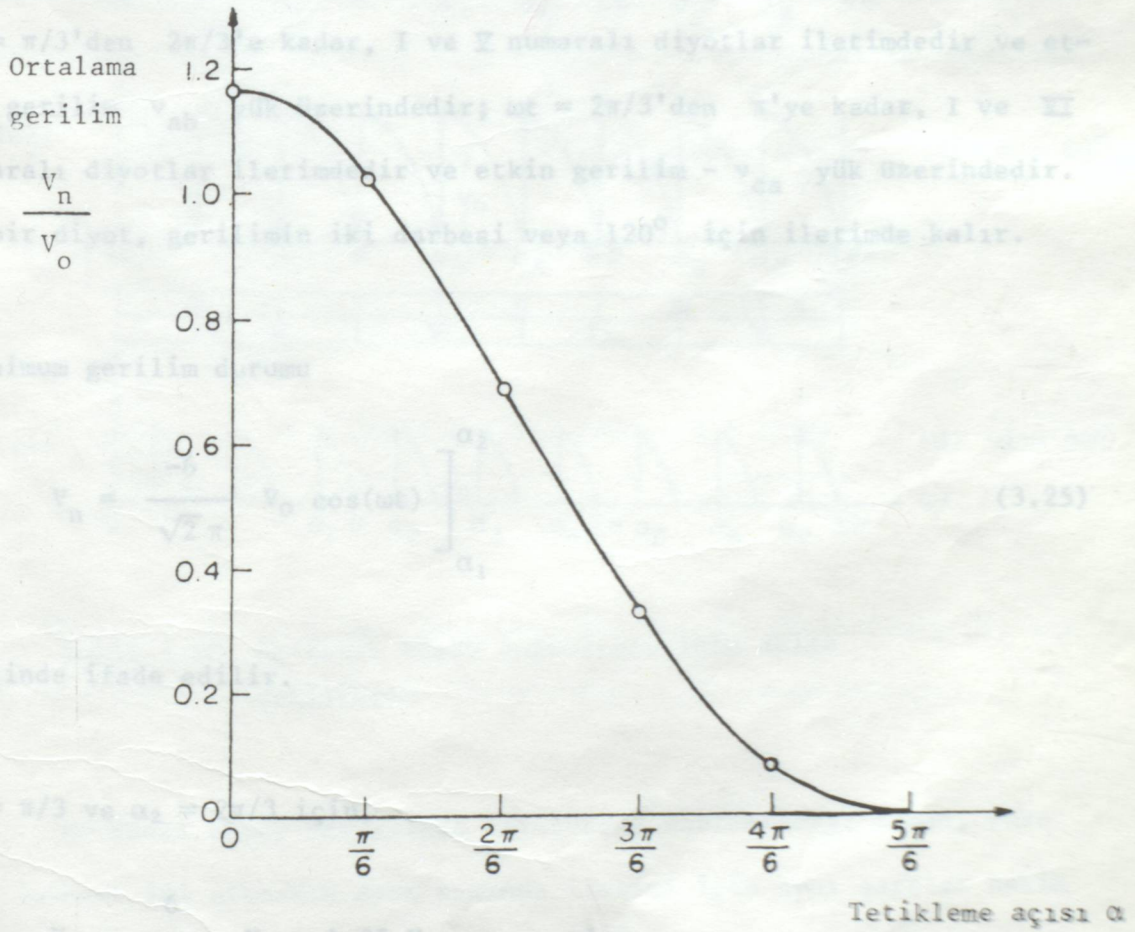
$$\begin{aligned} V_n &= \frac{3}{\sqrt{2}\pi} V_o [\cos(\alpha+5\pi/6) - \cos(\alpha+\pi/6)] \\ &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_o 0.866 \cos \alpha \end{aligned} \quad (3.23)$$

şeklindedir.

$\pi/6 < \alpha < 5\pi/6$ aralığında ortalama gerilim ifadesi

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{-3}{\sqrt{2}\pi} V_o [\cos \pi - \cos (\alpha + \pi/6)] \\ &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_o [0.5 \cos(\alpha + \pi/6) + 0.5] \end{aligned} \quad (3.24)$$

Şekil 3.9'da, ortalama gerilimin tetikleme açısı α 'ya bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Tam aralık, $5\pi/6 = 150^\circ$ de kapatılmıştır. Herbir diyot, gerilimin iki çeyresi veya 120° için iletimde kalır.



Şekil 3.9 Üç fazlı yarım-dalga çalışma için ortalama gerilim

Şekil 3.7b'de gösterilmiş olan üç-fazlı köprü doğrultucu devre, faz'dan yüke bir yol sağlamak için iki doğrultucu elemanın aynı zamanda iletimini ister. Üst ve alt grubun birer elemanı iletime geçtikleri zaman, faz arası geriliminin tekabül eden parçası direkt olarak yüke uygulanır. Bu sebepten dolayı yük gerilimi, üç-fazlı faz arası geriliminin parçalarından oluşmuştur.

Şekil 3.10'da, üç-fazlı köprü doğrultucu için faz ve yük gerilimlerine ait dalga şekilleri gösterilmiştir. Şekil 3.10b, $\alpha = 0^\circ$ 'de tetiklenmiş diyot doğrultucu elemanları veya tristörler için yük gerilimini gösterir. Yük gerilimi, üç-fazlı gerilimi 60° geri fazda takip eder. $\omega t = \pi/3$ 'den $2\pi/3$ 'e kadar, I ve V numaralı diyotlar iletimdedir ve etkin gerilim v_{ab} yük üzerindedir; $\omega t = 2\pi/3$ 'den π 'ye kadar, I ve VI numaralı diyotlar iletimdedir ve etkin gerilim $-v_{ca}$ yük üzerindedir. Herbir diyot, gerilimin iki darbesi veya 120° için iletimde kalır.

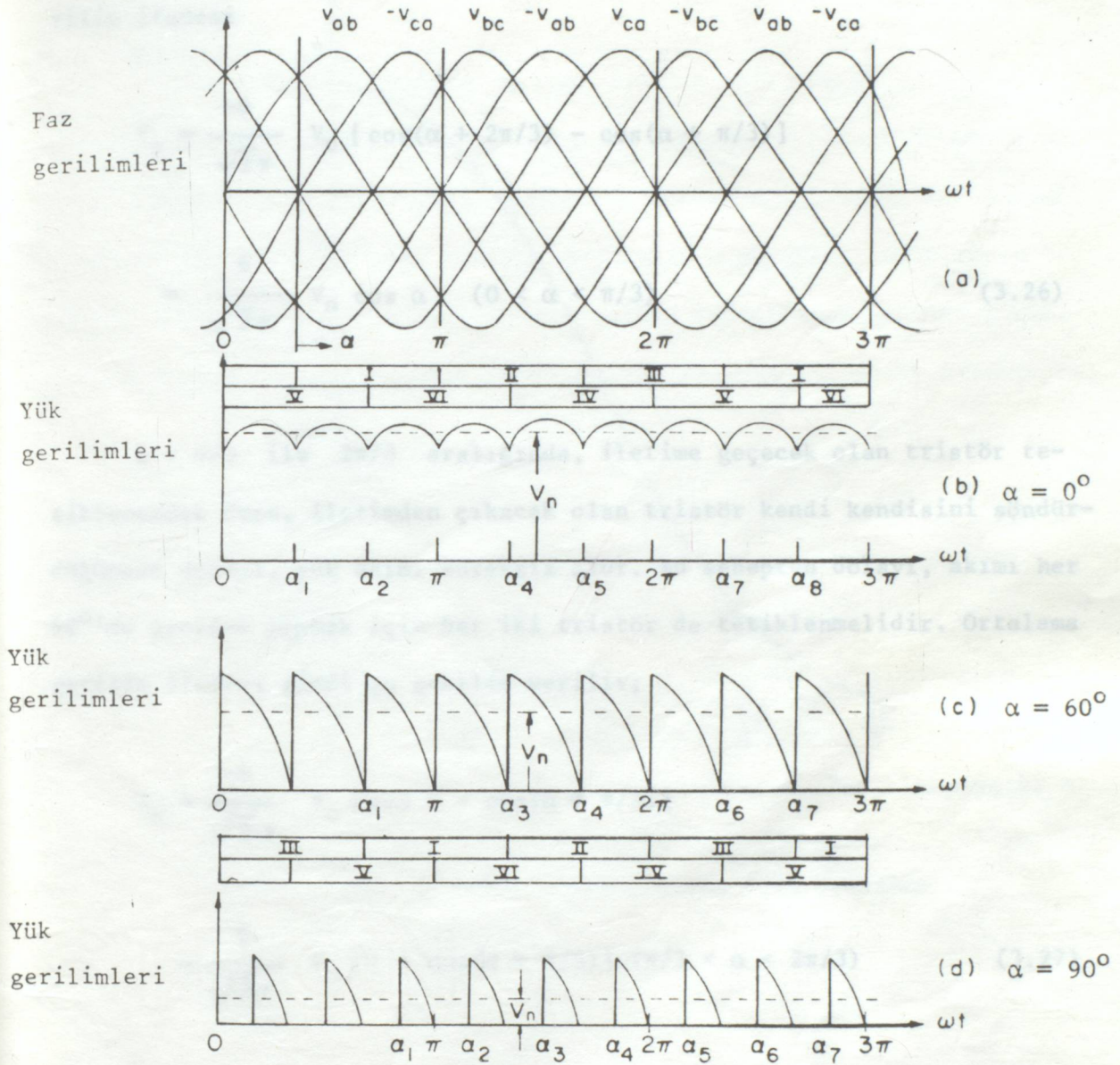
Maksimum gerilim durumu

$$V_n = \frac{-6}{\sqrt{2}\pi} V_o \cos(\omega t) \left[\alpha_2 \right]_{\alpha_1} \quad (3.25)$$

şeklinde ifade edilir.

$\alpha_1 = \pi/3$ ve $\alpha_2 = 2\pi/3$ için,

$$V_n = \frac{6}{\sqrt{2}\pi} V_o = 1.35 V_o \quad \text{olur.}$$



Şekil 3.10 Üç-fazlı köprü doğrultucu için dalga şekilleri

Üç-fazlı köprü devresinde tristörler kullanıldığı zaman, yüke güç vermede iki elemanın aynı zamanda iletimi için aynı şartlar hakim olmaktadır. $\alpha = 0$ ile $\alpha = \pi/3$ aralığında yük akımı sürekli ve sadece iletme geçecek olan tristör $\alpha_1, \alpha_2, v.s.$ lerde tetiklenmelidir.

Köprünün ters tarafındaki iletim tristörü iletimde kalır..Ortalama gerilim ifadesi

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{-6}{\sqrt{2}\pi} V_o [\cos(\alpha + 2\pi/3) - \cos(\alpha + \pi/3)] \\ &= \frac{6}{\sqrt{2}\pi} V_o \cos \alpha \quad (0 < \alpha < \pi/3) \end{aligned} \quad (3.26)$$

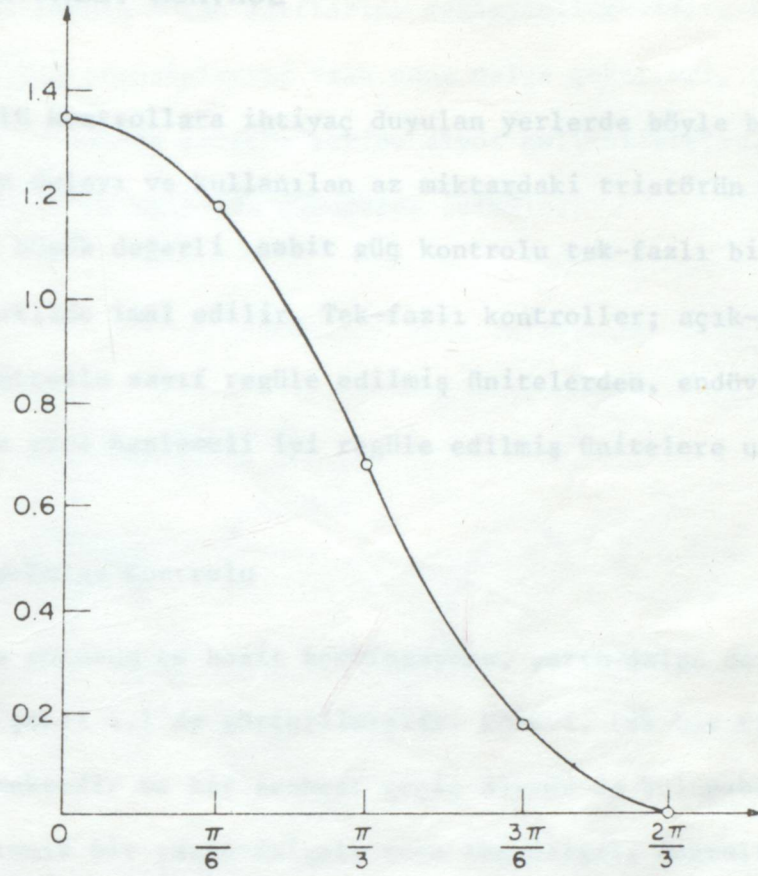
$\alpha = \pi/3$ ile $2\pi/3$ aralığında, ilettime geçecek olan tristör tetiklenmeden önce, iletimden çıkacak olan tristör kendi kendisini söndürdüğünden dolayı, yük akımı süreksiz olur. Bu sebepten dolayı, akımı her 60° 'de yeniden yapmak için her iki tristör de tetiklenmelidir. Ortalama gerilim ifadesi şimdi şu şekilde verilir;

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{-6}{\sqrt{2}\pi} V_o [\cos \pi - \cos(\alpha + \pi/3)] \\ &= \frac{6}{\sqrt{2}\pi} V_o [1 + \cos(\alpha + \pi/3)]. (\pi/3 < \alpha < 2\pi/3) \end{aligned} \quad (3.27)$$

Şekil 3.11'de, ortalama gerilimin bir grafiği gösterilmiştir. Tam gerilim aralığı α 'nın 120° lik bir açıklığı için sınırlanmıştır.

Ortalama
gerilim

$$\frac{V_n}{V_o}$$



Tetikleme açısı α

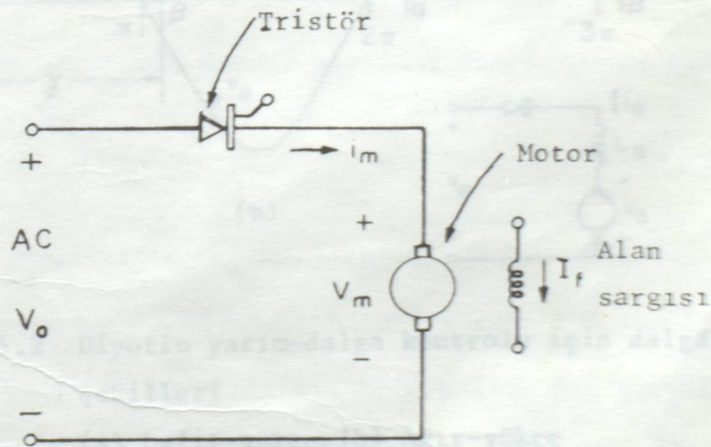
Şekil 3.11 Üç fazlı köprü çalışma için ortalama gerilim.

4 . TEK-FAZLI KONTROL

Düşük güçlü kontrollara ihtiyaç duyulan yerlerde böyle bir güç mevcut olduğundan dolayı ve kullanılan az miktardaki tristörün düşük maliyeti nedeniyle düşük değerli sabit güç kontrolü tek-fazlı bir hattan çalıştırılacak şekilde imal edilir. Tek-fazlı kontrollere; açık-devre tetikleme açısı kontrollü zayıf regüle edilmiş ünitelerden, endüvi gerilimi veya takometre geri beslemeli iyi regüle edilmiş ünitelere uzanırlar.

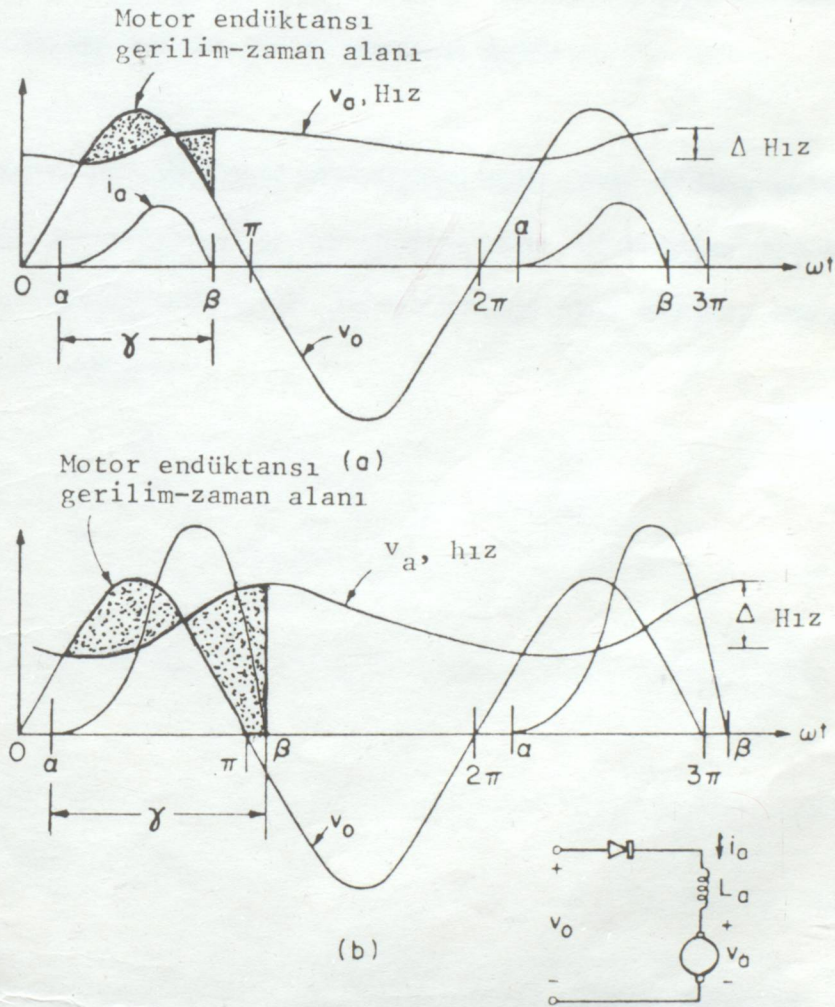
4.1 Yarım-Dalga Kontrolü

Tristör ve motorun en basit kombinasyonu, yarım-dalga devresinden ibaret olup, şekil 4.1'de gösterilmiştir. Endüvi, tek bir tristör üzerinden beslenmektedir ve bir serbest geçiş diyodu da bulunabilir. Alan sargısı bağımsız bir yarım-dalgalı veya tam-dalgalı doğrultucudan beslenmektedir. Bir geri çevirme anahtarı ve bir dinamik frenleme direnci ile birleştirilmiş böyle bir basit devre, her iki dönüş yönünde de



Şekil 4.1 Yarım-dalga kontrol devresi

bir kontrol sisteminin bütün şartlarını sağlayabilmektedir. Yarım-dalga kontrolünün iletim prensiplerini izah eden dalga şekilleri, şekil 4.2 de gösterilmiştir ve burada tristör yerine diyot kullanılmıştır. Dalga şekilleri, hafif-yük ve ağır-yük durumları içindir.



Şekil 4.2 Diyotlu yarım-dalga kontrolü için dalga şekilleri
(a) hafif-yükte; (b) Ağır-yükte

Şekil 4.2 deki dalga şekilleri motorun aşağıdaki anlamda çalıştığını gösterir:

1. Endüvi akımı i_a , bir γ iletim açısı için her bir pozitif darbe-
de $\omega t = \alpha$ ve β arasında pozitif darbe içinde akar.

2. Akımın akış zamanı esnasında, akım tarafından üretilen moment
motor ve yük ataletini arttırır ve hız Δ hızıyla yükselir. En düşük hız
 α da ve en yüksek hız da β da meydana gelir.

3. Motor ve yük, akım iletiminin sonu olan β 'dan, gelecek peri-
yot içindeki akım iletiminin başlangıcı olan α 'ya doğru bir düşüş gös-
terir. Kayıp ve yük momentleri ataletin aşağıdaki periyot esnasında ya-
vaşlamasından sağlanır;

$$T_m = - \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\frac{1}{2} J \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] = - J \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (4.1)$$

Yarım-dalga kontrolunda atalet, bir mekanik enerji deposu gibi davranır.

4. Sabit alan akımıyla endüvi gerilimi (emk), motor hızıyla di-
rekt olarak orantılıdır.

5. Ani hat gerilimi v_o yükseldiği ve endüvi gerilimi v_a 'yı
aştığı zaman diyot, $\omega t = \alpha$ açısındaki endüvi akımı i_a ile iletme geç-
meye başlar, öyle ki diyot ön gerilimli hale gelir. Hat gerilimi v_o ,
motor gerilimi v_m 'nin altına düştüğü zaman diyot, $\omega t = \beta$ açısında kapa-
nır. Motor gerilimi, $v_a + R_a i_a + L_a di_a/dt$ şeklinde olup, endüvi

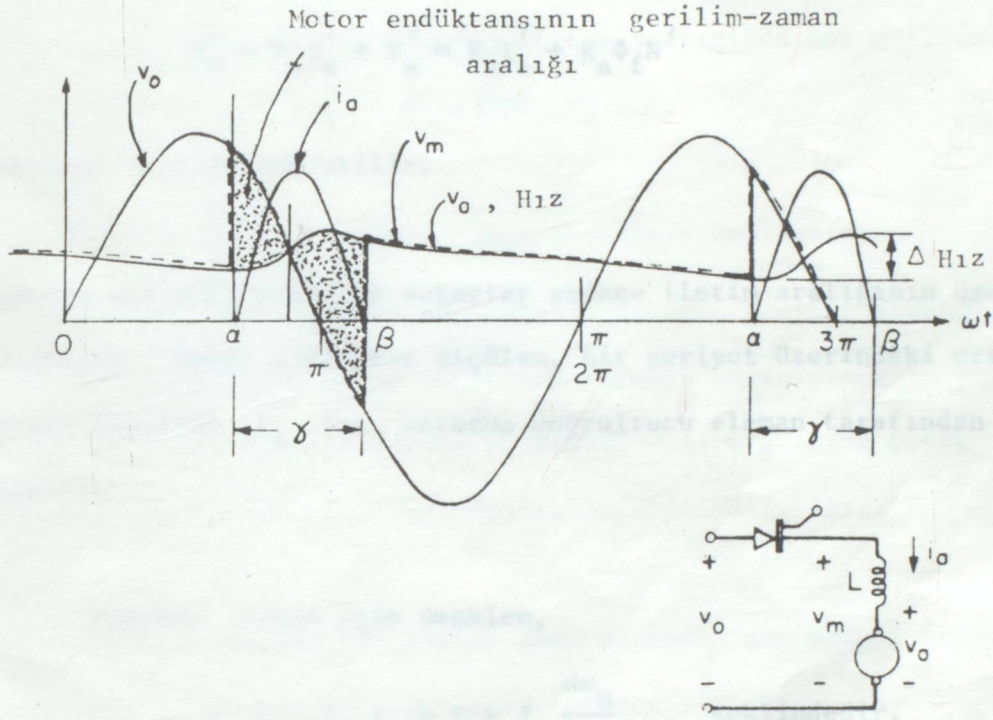
gerilimi ve empedans geriliminin toplamından ibarettir.

6. Endüvi devre direnci ve endüktans, iletim periyodu içinde hat gerilimi ve endüvi gerilimi arasındaki farkı yutarlar. α 'dan akımın tepe değerine kadar olan arada endüktans tarafından yutulan enerji, akımın tepe değerinden $\omega t = \beta$ 'ya kadar olan arada endüviye verilir. Gerçekte bir sorun olarak, enerjinin tümü verildiği zaman i_a akımı sıfır olur ve diyot da iletim periyodunu bitirerek kesime geçer.

7. Şekil 4.2b'de görüldüğü gibi, motor yükünün artışı durumunda yani bu demektir ki, motor kayma periyodu içinde daha fazla yavaşlamalıdır ve iletim periyodu esnasında da hızlanmak için daha büyük genlikte bir akım darbesi ister. Bunun bir sonucu olarak iletim periyodu γ da yükselir. Yarım-dalga işlemi endüktans ile karakterize edilir ve diyot iletim periyodu esnasında elektrik enerjisini depolar, boşaltır ve iletim periyotları arasında da atalet depolar, mekanik enerji boşaltır. Şekil 4.2 de gösterilen hız değişimi iyi görülebilmesi için abartılmıştır, fakat bununla beraber yük momentini temin edebilmek için varolmalıdır.

Bir tristör kullanan yarım-dalga kontrolü için dalga şekilleri şekil 4.3 de gösterilmiştir. α 'da ilettime başlamak için hat gerilimi v_o , endüvi gerilimi v_a 'ya eşit veya ondan büyük olmalıdır ve bu durumda tristör bir kapı sinyali alır. Bu işlem, endüktans ve ataletin enerji depolama fonksiyonlarına bakan bir diyot için de aynıdır. Tetikleme açısı α geciktirilirken motorun şebekeden aynı ortalama akımı çekmesi ve aynı yük momentini sağlanması için hız ve v_a gerilimi düşürülmelidir.

Endüktans enerjisini boşalttığı zaman ve $\omega t = \beta$ açısında akım sıfıra düştüğü zaman tristör kesime geçme durumuna geri döner.



Şekil 4.3 Yarım-dalga tristör kontrolü için dalga şekli

Bu devrenin davranışı, ortalama elektriksel niceliklere ait terimlerle gösterilebilir. İletim aralığı esnasında motor devresi için denklem

$$v_o = i_a R_a + L \frac{di_a}{dt} + v_a \quad \text{şeklindedir.} \quad (4.2)$$

4.2 denklemi

$$v_o dt = R_a i_a dt + L di_a + v_a dt \quad (4.3)$$

şeklinde yeniden yazılabilir ve iletim aralığı üzerinden

$$\int_{\alpha/\omega}^{\beta/\omega} v_o dt = R_a \int_{\alpha/\omega}^{\beta/\omega} i_a dt + L \int_{i_a} di_a + \int_{\alpha/\omega}^{\beta/\omega} v_a dt,$$

$$V'_m = R_a I'_a + V'_a = R_a I'_a + K_a \Phi_f N' \quad (4.4)$$

şeklinde entegre edilebilir.

Denklem 4.4 deki ortalama değerler sadece iletim aralığının üzerinde alınmıştır. Onlar aletlerle ölçülen, bir periyot üzerindeki ortalama değerler değildir. V'_m ise, motorun doğrultucu eleman tarafından ölçülen değeridir.

Mekanik sistem için denklem,

$$T_m = K_t \Phi_f i_a = T_l + J \frac{d\omega_m}{dt} \quad \text{şeklindedir.} \quad (4.5)$$

Bu denklem ilgili periyot üzerinden entegre edilirse,

$$K_t \Phi_f \int_0^{2\pi/\omega} i_a dt = \int_0^{2\pi/\omega} T_l dt + J \int_{\omega_m} d\omega_m$$

$$K_t \Phi_f I_a = T_l \quad (4.6)$$

Denklem 4.6, motor tarafından üretilen yük momentinin, bir periyot üzerindeki I_a ortalama akımıyla orantılı olduğunu göstermektedir.

Ataletin depolanma işlemi entegre edilmiş ifadelerde gözükmez fakat geçici ifadelerde gözükür.

Doğrudan motor uçları arasından gözüken dalga şekli, şekil 4.3 de v_m ile gösterilmiştir. Bu gerilim iletim aralığında hat gerilimi v_o ve kayma aralığında da endüvi gerilimi v_a dır.

Yarım-dalga kontrolünün dezavantajları şunlardır :

1. Kısa iletim açısından dolayı, motorun nominal efektif akımında nominal momentin altında sınırlandırılması nedeniyle akım yüksek bir efektif ortalama oranına sahiptir. Endüvi uçları arasına bağlanan bir serbest geçiş diyodu ile bazı düzelmeler elde edilebilir.

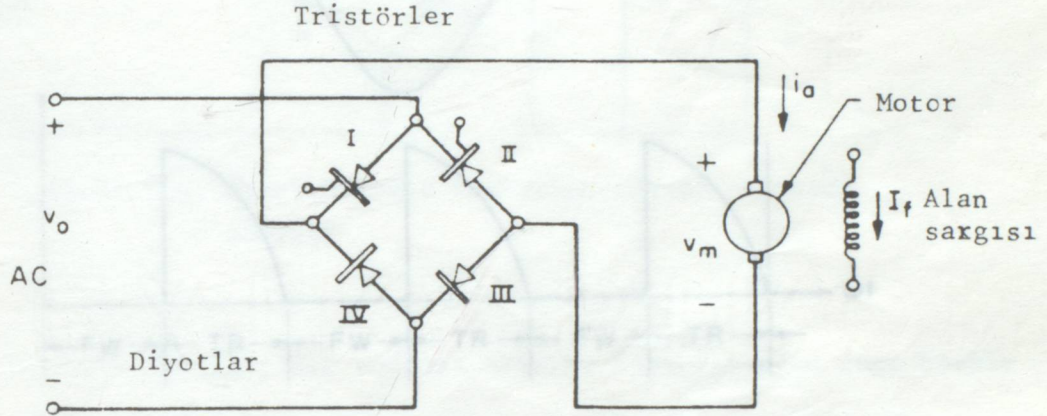
2. Düşük hızda, ağır moment yükü altında güç motora herbir periyotta darbelerle verildiğinden dolayı motor zorlanır.

3. Bir besleme transformatörü, yarım-dalga kontrol devresi tarafından çekilen hat akımı içindeki doğru akım bileşeninden doyacaktır. Avantajları ise, düşük maliyeti ve basitliğidir.

4.2 Tam-Dalga Kontrolü

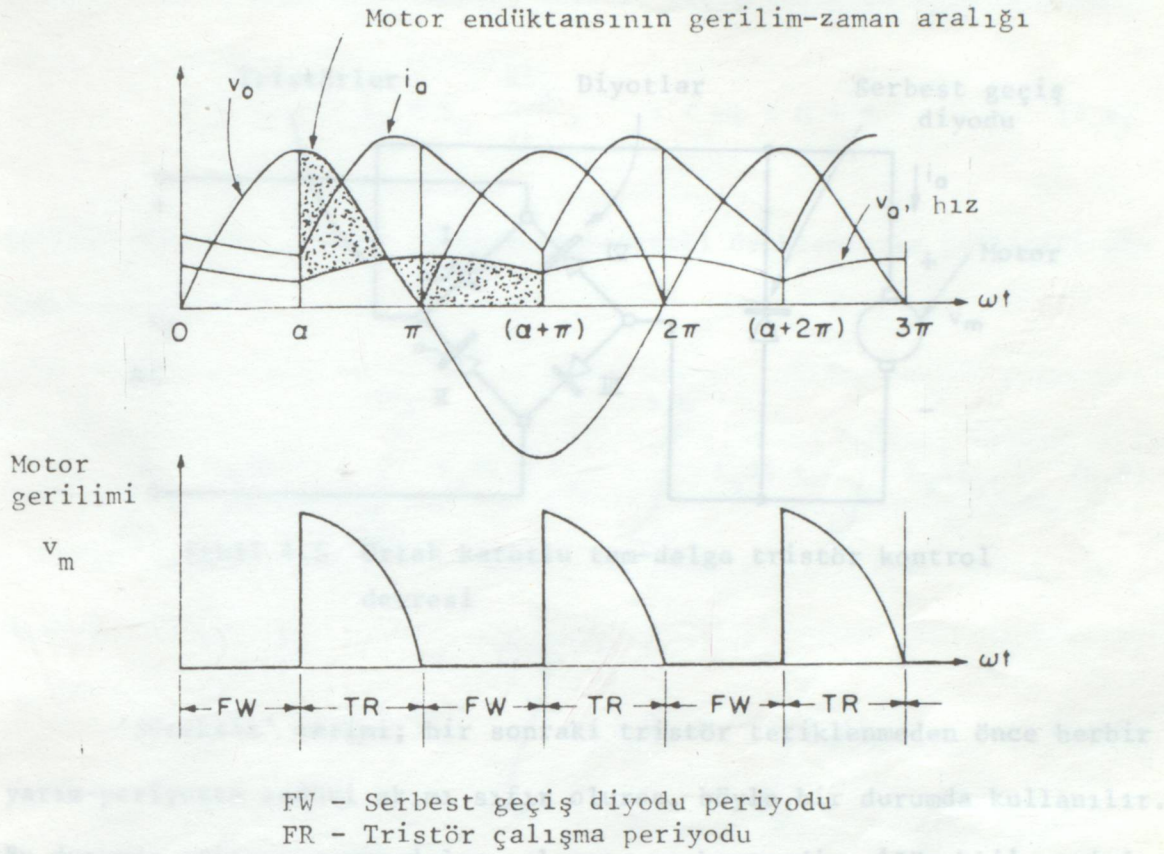
Bir tam-dalga kontrol devresi genellikle şekil 4.4 de görüldüğü gibi iki tristör ve iki diyot kullanarak meydana getirilir. Diyotlar aynı zamanda endüvi uçları arasında bir serbest geçiş akımı sağlamaya yardımcı olurlar. I numaralı tristör, hat geriliminin pozitif yarım periyodunda tetiklenir; akım III numaralı diyot üzerinden hatta geri döner. Negatif yarım-periyotta, II numaralı tristör tetiklenir ve akım IV

numaralı diyot üzerinden geri döner. Motor gerilimini ters çevirmeye teşebbüs ettiği zaman ve hat gerilimini takip ettiğinde, III ve IV numaralı diyotlar motor uçları arasında bir kısa-devre serbest geçiş yolu oluşturarak ilettime geçerler.



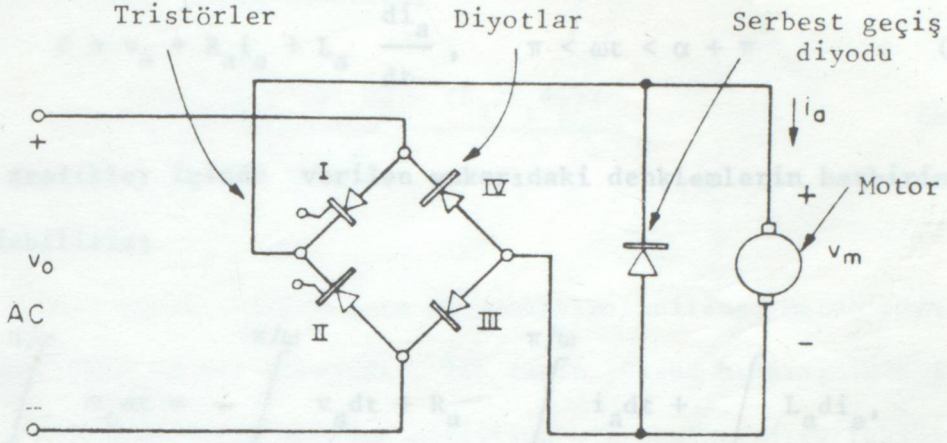
Şekil 4.4 Tam-dalga tristörlü kontrol devresi

Tipik bir çalışma noktası için akım ve gerilimin dalga şekilleri şekil 4.5 de gösterilmiştir. Motor şimdi periyot başına iki güç sinyali ile beslenmektedir ve kayma durumunda daha az zaman harcar. $\omega t = \alpha$ da, I numaralı tristör tetiklenir; motor üzerinde ani hat gerilimi v_o sağlanır ve gösterildiği gibi kurmak için i_a akımı oluşur. Sonuç momenti aynı zamanda motorun hızının Δ hızı kadar yükselmesine neden olarak motoru hızlandırır. Sonuç olarak, $\omega t = \pi$ de motor gerilimi ters çevirmeye teşebbüs eder, serbest geçiş diyotları açılır, ya gerilim-zaman alanı dengeleninceye veya II numaralı tristör tetikleninceye kadar endüvi akımı akmaya devam eder.



Şekil 4.5 Tam-dalga kontrolü için dalga şekilleri

Şekil 4.4 deki devrenin dezavantajı, tristörlerin kapı uçlarının müşterek bir katod gibi kullanılamayışındır. Bir darbe transformatörü iki bağımsız sekonder sargı ile kullanılmalıdır. Şekil 4.6 da bir alternatif devre gösterilmiştir. Bu devrede tristörlerin bir müşterek katod bağlantısı vardır fakat bağımsız bir serbest geçiş diyodu kullanılmalıdır. Küçük motorlarda endüvi L/R oranı, bir serbest geçiş diyotunun iletim açısını arttırmak için herhangi bir yardımcıya gerek duymayacağı kadar küçük olmalıdır. Fakat hat kaynağı aniden kesilirse, köprüyü koruyabilir.



Şekil 4.6 Ortak katotlu tam-dalga tristör kontrol devresi

'Süreksiz' terimi; bir sonraki tristör tetiklenmeden önce herbir yarım-periyotta endüvi akımı sıfır olursa, böyle bir durumda kullanılır. Bu durumda çalışma yarım-dalga çalışmasına benzerdir. 'Sürekli' terimi, motor (endüvi) akımının asla kesilmediği fakat tristörlerin veya diyotların üzerinden akmaya devam ettiği durumlarda kullanılır. Motor devresine verilen enerji tristörler iletimde iken kısmen endüktans içinde, kısmen kinetik enerji olarak depo edilir ve kısmen de mekanik yükü beslemek için kullanılır. Serbest geçiş periyodu esnasında enerji endüktanstan tekrar alınır ve mekanik yükü beslemede kinetik enerjiyi tamamlamak için mekanik şekle çevrilir. Serbest geçiş motor akımı, motor içinde elektromagnetik moment meydana getirmek için akmaya devam eder.

İletim periyodu için motor-devre denklemi

$$v_o = v_a + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}, \alpha < \omega t < \pi \quad (4.7)$$

Sürekli motor (endüvi) akımında, serbest geçiş periyodu için denklem

$$0 = v_a + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}, \quad \pi < \omega t < \alpha + \pi \quad (4.8)$$

Belirli aralıklar içinde verilen yukarıdaki denklemlerin herbirini entegre edebiliriz;

$$\int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} v_o dt = \int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} v_a dt + R_a \int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} i_a dt + \int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} L_a di_a, \quad (4.9)$$

$$0 = \int_{\pi/\omega}^{(\alpha+\pi)/\omega} v_a dt + R_a \int_{\pi/\omega}^{(\alpha+\pi)/\omega} i_a dt + \int_{\pi/\omega}^{(\alpha+\pi)/\omega} L_a di_a \quad (4.10)$$

Denklem 4.9'daki son terim, aralık üzerindeki akı miktarının artışıdır; denklem 4.10'da buna karşı gelen terim negatif değerdir. Biz bu iki denklemi, birbirine ekleyebiliriz ve sonucu yarım-periyot zamanına bölecek olursak,

$$V_m = V_a + R_a I_a \quad (4.11)$$

denklemini elde ederiz.

Burada,

$$V_m = 0.45V_o(1 + \cos \alpha) = \text{motora uygulanan ortalama gerilim};$$

$$V_a = K_a \Phi_f N = \text{üretmiş ortalama endüvi gerilimi};$$

$$I_a = T/K_t \Phi_f = \text{ortalama endüvi akımı dir.}$$

4.11' denklemini, motorun hız-moment karakteristiğini göstermek için yeniden şu şekilde düzenlenebilir;

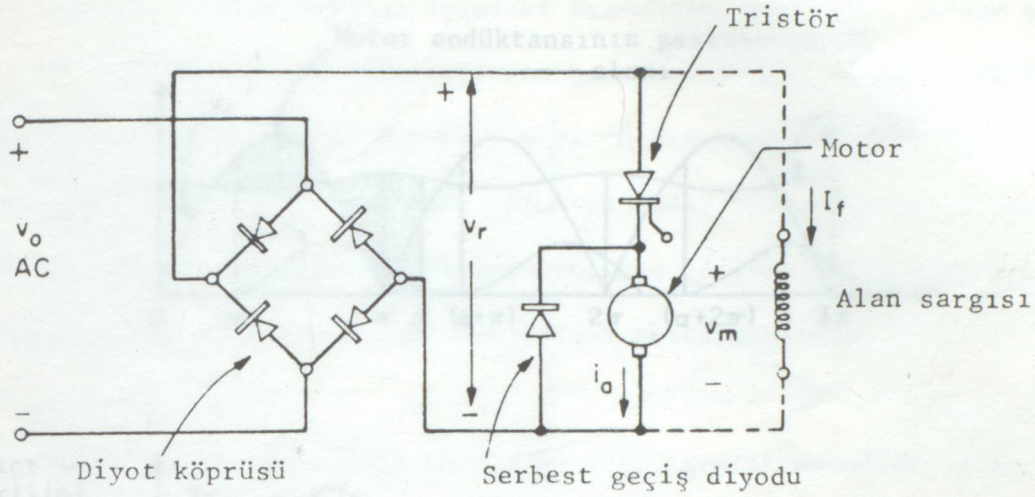
$$N = \frac{0.45V_o(1 + \cos \alpha) - (R_a/K_t \Phi_f)T}{K_a \Phi_f} \quad (4.12)$$

4.12 denklemi, sürekli doğru akım kaynaklarını kullanan motor çalışmasına ait denklemle benzer formdadır. İlk terim yüksüz hızdır, ikinci terim ise T momenti tarafından meydana getirilen hız azalmasıdır. Yüksüz hız, $\alpha = 0$ 'da maksimum değerden $\alpha = \pi$ 'de sifıra kadar değişir. Fakat, bu denklem sadece motor (endüvi) akımının 'sürekli' olduğu çalışma bölgele-ri içinde geçerlidir.

En iyi hız regülasyonunu ve en yüksek ortalama efektif akım oranını elde etmek için sürekli iletim durumu oldukça istenilen bir durumdur. Bu durum, bir serbest geçiş akım yolu sağlayarak ve zaman sabitini arttırmak için bir harici motor devresi kullanarak geliştirilebilir.

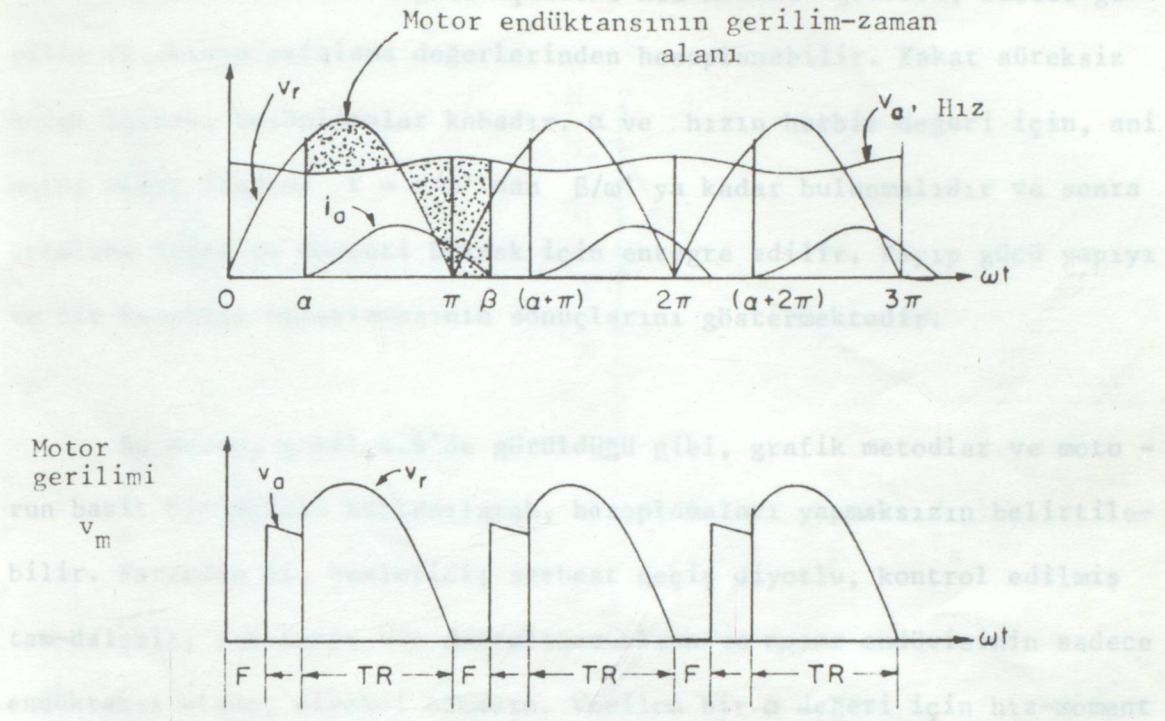
4.3 Gaudet Kontrol Devresi

Gaudet devresi, doğru akım motorunun endüvisine uygulanan tam-dalga kontrolünün eşdeğeri bir devredir ve tek bir tristör kullanır. Devre şekil 4.7'de gösterilmiştir. Bu devre tam dalgalı doğrultulmuş bir V_r gerilimi meydana getiren bir köprü diyot ve tek bir tristör içerir. Bu tristör, doğrultulmuş gerilimin her bir yarım-periyodunu kontrol etmek için şebeke frekansında iki defa tetiklenir. Endüvi, serbest geçiş diyodu ile şönt bağlanmıştır. Alan sargısı, tam-dalgalı köprü diyottan beslenebilir.



Şekil 4.7 Gaudet kontrol devresi

Gaudet devresi için tipik dalga şekillerinin bir kümesi şekil 4.8'de gösterilmiştir. Tristör, $\omega t = \alpha$, $\pi + \alpha$, vs... de tetiklenir. Tristör $\omega t = \pi$ ye kadar iletimde kalır, sonra gerilim-zaman alanları denk gelinceye kadar, yani $\omega t = \beta$ ya kadar i_a akımı serbest geçiş di-yodu üzerinden akmaya devam ederken, iletimden çıkar. Tristör bir sonra-ki yarım-periyoda başlamak için $\omega t = \pi + \alpha$ da tetikleninceye kadar akım sıfır değerinde kalır. Düşük hızlar veya büyük momentler için,iletim sürekli olabilir. Devre sıfır hızına doğru düşerek çalışır ve bu düzey-de serbest geçiş diyodu üzerindeki bu indirme potansiyelin tristörün iletimden çıkmasını sağlar. Bu devrenin özelliği, tam-dalga çalışması sağlamak için bir tristör kullanarak ekonomik olmasıdır. Aynı zamanda, aynı köprü doğrultucu endüvi ve alan devrelerine hizmet edebilir.



Şekil 4.8 Gaudet kontrol devresi için dalga şekilleri

4.4 Süreksiz İletim

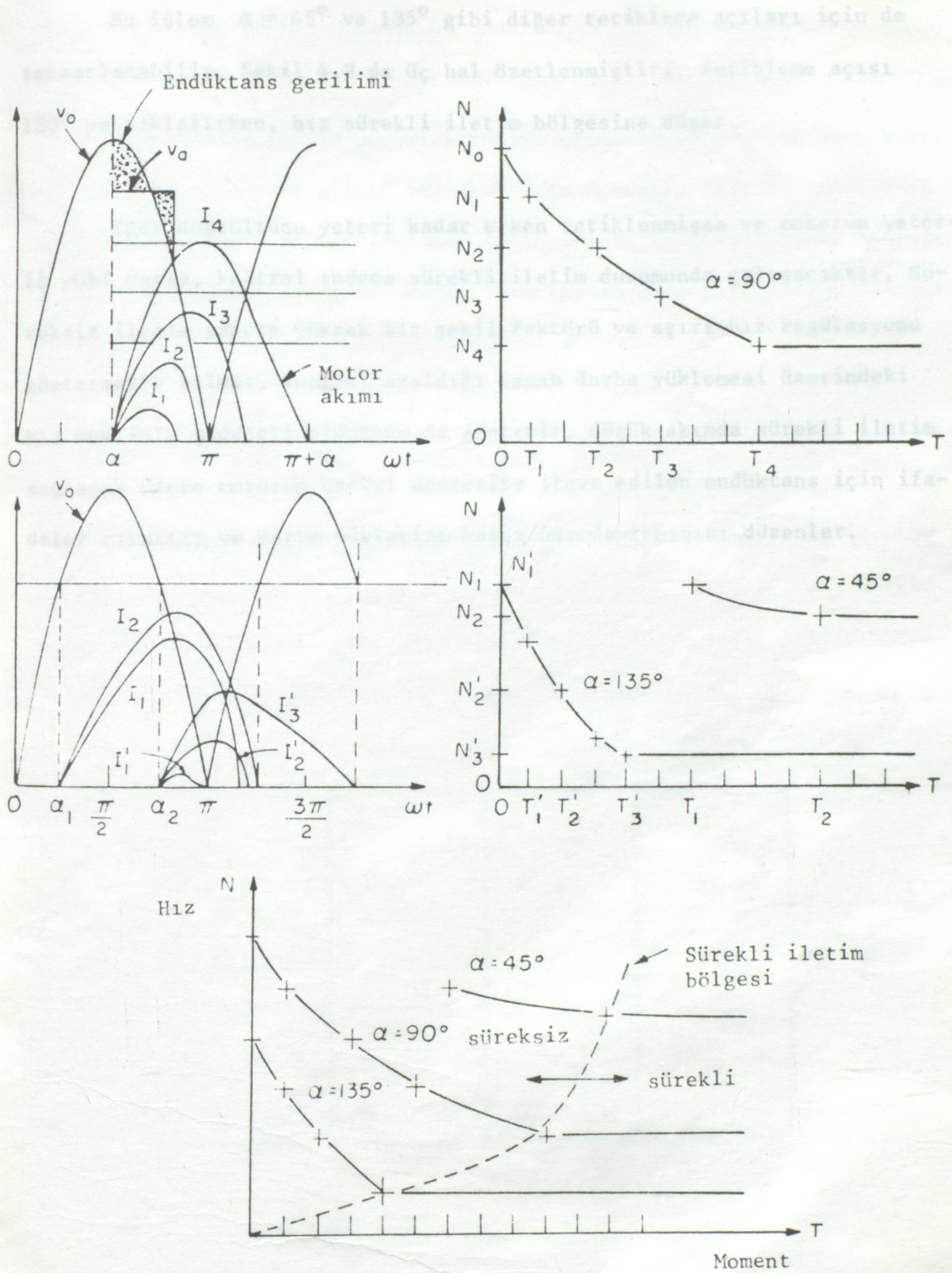
Kesim 4.2 de gösterildiği gibi, bir tam-dalgalı doğrultucu için motor (endüvi) akımı kesikli sinyaller halinde veya üzerine bindirilmiş bir çarpıntı ile sürekli olarak akabilir. İlk olarak süreksizlik şartı ve daha sonra da süreklilik şartı uygulanır. Süreksiz iletim bir yüksek şekil faktörü içinde sonuçlanır fakat daha önemli olarak açık-devreye neden olur, motorun hız-moment eğrileri iki bölge içine düşerler. Akım süreksiz olduğu zaman hız, yük momentiyile beraber hızla düşer. Regüleli bir sistemde, sürekli iletim bölgesi içindekinden oldukça daha fazla tam devre kazancı istenir.

Sürekli iletim bölgesi içindeki hız-moment eğrileri, sadece gerilim ve akımın ortalama değerlerinden hesaplanabilir. Fakat süreksiz bölge içinde, hesaplamalar kabadır. α ve hızın herbir değeri için, ani motor akımı ifadesi $t = \alpha/\omega'$ dan β/ω' ya kadar bulunmalıdır ve sonra ortalama değer ve momentini bulmak için entegre edilir. Kayıp gücü yapıyı ve bir komputer hesaplamasının sonuçlarını göstermektedir.

Bu durum, şekil 4.9'da görüldüğü gibi, grafik metodlar ve motorun basit bir modeli kullanılarak, hesaplamaları yapmaksızın belirtilebilir. Farzedin ki, besleyici; serbest geçiş diyotlu, kontrol edilmiş tam-dalgalı, tek-fazlı bir doğrultucu olsun ve motor endüvisinin sadece endüktansı olsun, direnci olmasın. Verilen bir α değeri için hız-moment eğrisi çabucak kestirilebilir.

Tetikleme açısı $\alpha = 90^\circ$ olduğunu farzedin; bir N_1 hızına karşı gelen bir v_a endüvi gerilimi seçin. Endüktans gerilimine karşı gelen v_o ve v_a arasındaki koyulaştırılmış gerilim-zaman eğrilerini eşitleyerek iletim açısı tesbit edilebilir. Koyulaştırılmış gerilim-zaman alan endüvi akımı I_1 'in genliği ile orantılıdır. Bu akım altındaki alan, ortalama akımla ve T_1 momentiyile orantılıdır.

Seçilmiş olan bu hız gittikçe düşerken, N_4 gibi bir hıza erişilir ve bu hızda akımın iletim açısı 180° dir. Bu hız için ve daha ağır herhangi bir yük için akım sürekli dir. Bu modelde hız sabit olacaktır fakat hakiki bir motorda endüvi direncinden dolayı hız açıkça düşecektir.



Şekil 4.9 Serbest geçiş diyotlu tek-fazlı tam dalgalı kontrol devresi için hız moment eğrilerinin teşekkülü

Bu işlem $\alpha = 45^\circ$ ve 135° gibi diğer tetikleme açıları için de tekrarlanabilir. Şekil 4.9 da üç hal özetlenmiştir; tetikleme açısı 180° ye yaklaşırken, hız sürekli iletim bölgesine düşer.

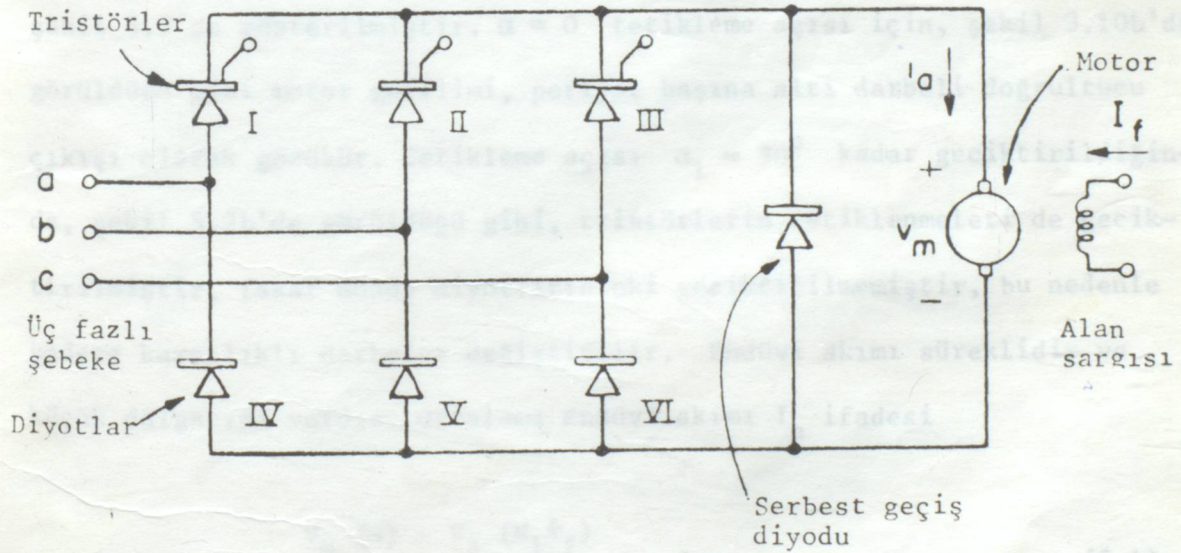
Eğer doğrultucu yeteri kadar erken tetiklenmişse ve motorun yeterli yükü varsa, kontrol sadece sürekli iletim durumunda çalışacaktır. Süreksiz iletim sadece yüksek bir şekil faktörü ve aşırı-hız regülasyonu göstermekle kalmaz, kontrol azaldığı zaman darbe yüklemesi üzerindeki hız meylinin şiddetli olduğunu da gösterir, düşük akımda sürekli iletim sağlamak üzere motorun endüvi devresine ilave edilen endüktans için ifadeler çıkartır ve darbe yüklerine karşı hız davranışını düzenler.

5. ÜÇ FAZLI KONTROL

Büyük-beygirgüçlü güç elektroniği elemanlarıyla doğru akım kontrol sistemleri, motor gücünü sağlamak için üç-fazlı tristör doğrultucu devreleri kullanırlar. Bu devreler aslında yarı kumandalı köprü devreleridir. Tam köprüler yeniden üretme için kullanılır; yarım-dalga devreleri ekonomi ve geri çevirme için kullanılır.

5.1 Üç Fazlı Yarı-Kumandalı Köprü Devresi

Bütün kontrol aralığını meydana getirmek için sadece üç tristör istediğinden dolayı, üç fazlı yarı-kumandalı köprü devresi, doğru akım motor kontrolü için en çok kullanılanıdır. Bu devre şekil 5.1'de gösterilmiştir. Bu köprüünün diğer üç elemanı ise diyotlardır.

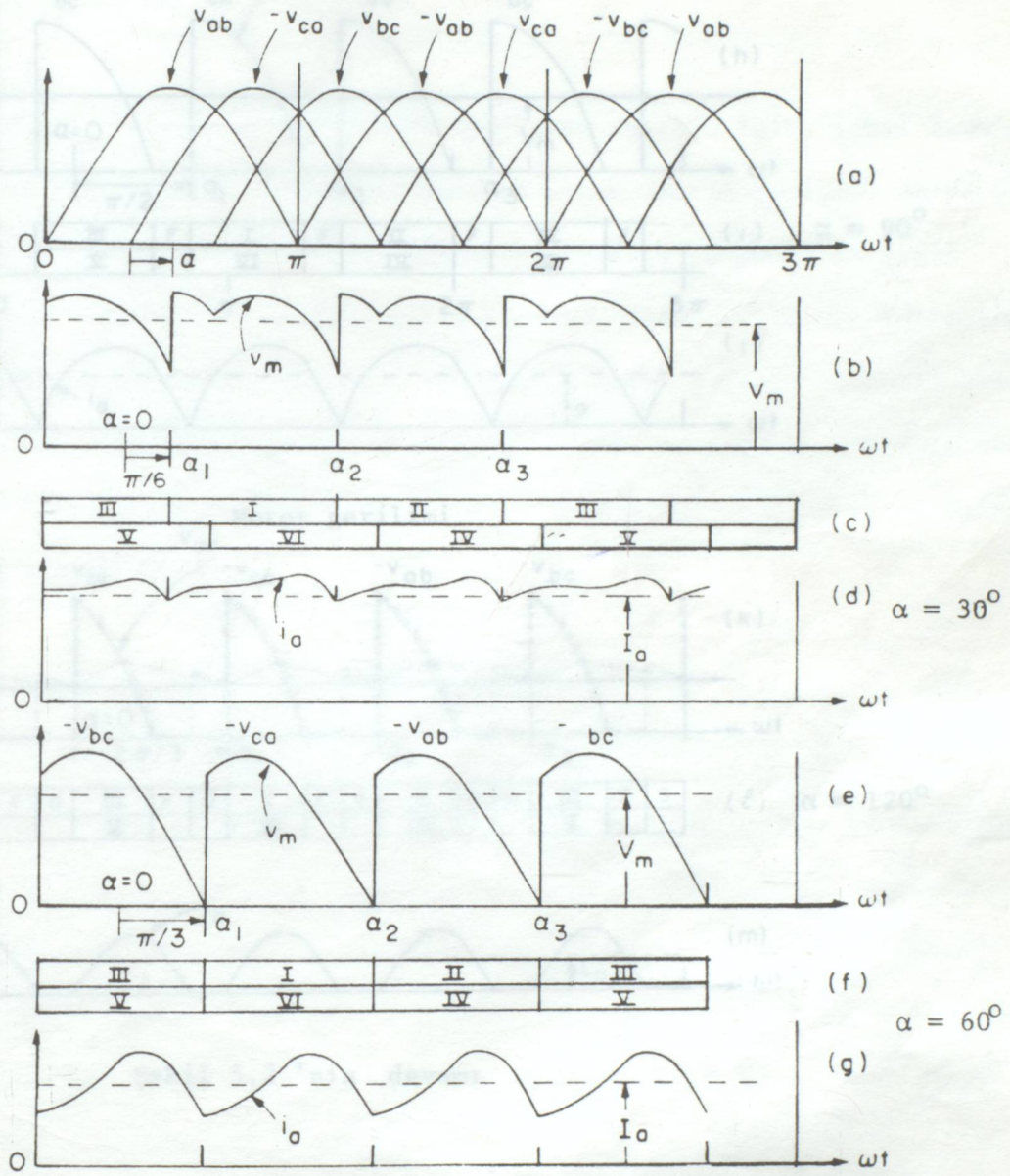


Şekil 5.1 Üç fazlı yarı-kumandalı köprü devresi

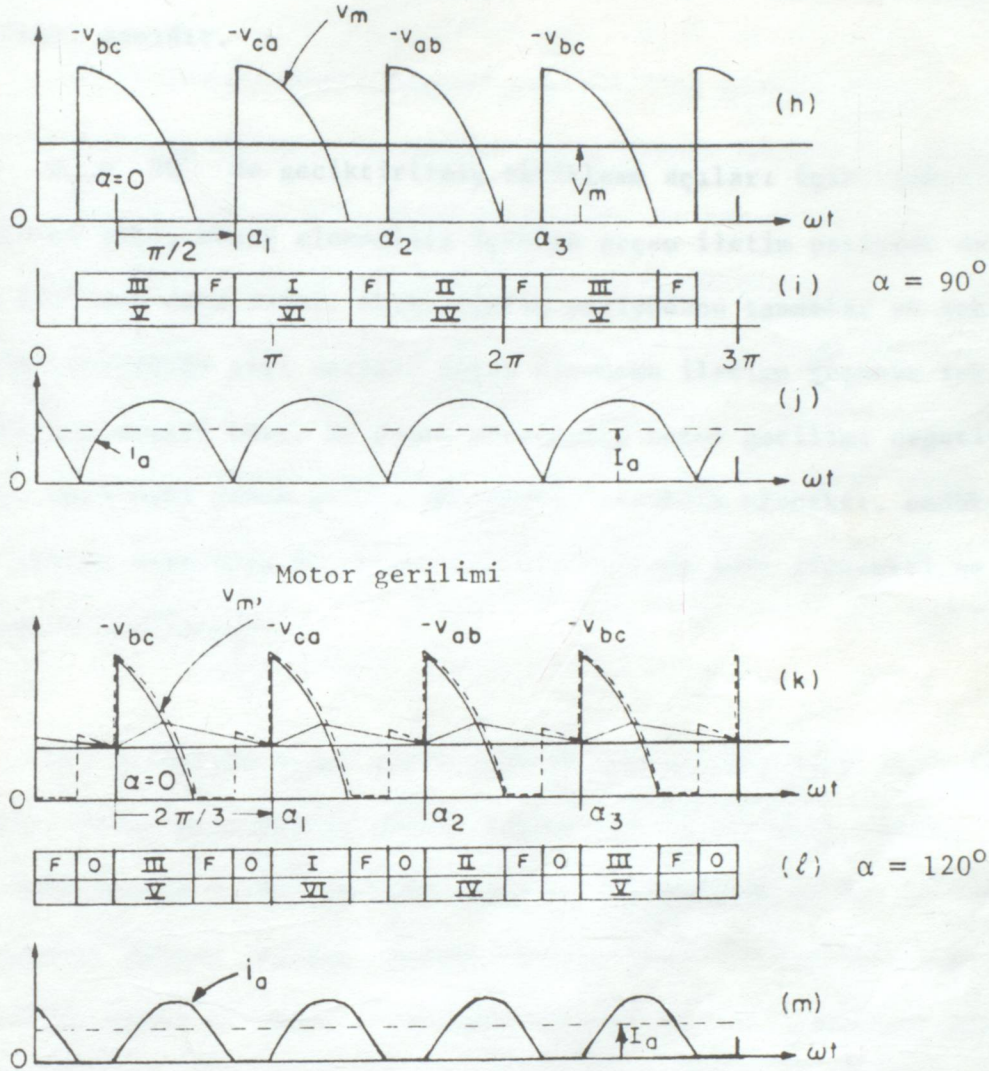
Tam köprü doğrultucu, motorun ters çevrildiği ve hatta güç verdiği yerlerde kullanılır. O aynı zamanda küçük iletim açılarında daha küçük dalgacık vermektedir. Akımın düşük-hız, yüksek-moment çalışmasının iletim açısını arttırmak için yarı kumandalı köprü ekseriya bir serbest geçiş diyodu ile çalıştırılır.

Endüviye uygulanan gerilim, şekil 5.1'deki I., II. ve III. numaralı tristörlerin tetiklenme açılarıyla kontrol edilir. IV., V. ve VI. numaralı diyotlar sadece akım için en negatif faz ucuna bir dönüş yolu sağlarlar. Köprü tarafından motora uygulanan ani gerilim V_m ile, endüvi gerilimi V_a arasındaki fark, ilk olarak endüvi devre endüktansı ve ikinci olarak da direnç tarafından yutulur. Endüktans enerjisini deşarj ederken endüvi gerilimi ters yönde olmaya teşebbüs ettiği zaman, akım iletim periyodunun sonunda serbest geçiş diyodu iletime geçer. Bu devrenin çalışması, çeşitli tetikleme açıları için dalga şekilleri halinde şekil 5.2'de gösterilmiştir. $\alpha = 0$ tetikleme açısı için, şekil 3.10b'de görüldüğü gibi motor gerilimi, periyot başına altı darbeleri doğrultucu çıkışı olarak gözükür. Tetikleme açısı $\alpha_1 = 30^\circ$ kadar geciktirildiğinde, şekil 5.2b'de görüldüğü gibi, tristörlerin tetiklenmeleri de geciktirilmiştir, fakat dönüş diyotlarınıninki geciktirilmemiştir, bu nedenle sadece karşılıklı darbeler değiştirilir. Endüvi akımı sürekli ve küçük dalgacığı vardır. Ortalama endüvi akımı I_a ifadesi

$$I_a = \frac{V_m(\alpha) - V_a(N_1\Phi_f)}{R_a} \quad \text{dır.} \quad (5.1)$$



Şekil 5.2 Üç-fazlı yarı kumandalı köprü devresi çalışması için dalga şekilleri



Şekil 5.2 'nin devamı

İletim sürekli olduğu sürece, ortalama miktarlar ohm kanununa bağlı kalır. $\alpha_1 = 60^\circ$ ye değişmiş tetikleme açısı için, şekil 5.2'e de gösterildiği gibi, tristörler tetiklenir. Öyle ki her bir 120° lik iletim aralığı esnasında akım sadece bir diyot içinden geçerek geri döner. Motor geriliminin dalga şekli, şekil 3.8c'deki, $\alpha = 30^\circ$ için üç-fazlı yarım-dalgalı köprü devresininkiyle aynıdır. Gerçekte $\alpha_1 = 60^\circ$ den daha büyük bütün tetikleme açıları için, eksik köprülerin faz-faz geriliminin kısımlarını kullanmalarına karşın yarım-dalga devresinin faz-nötr

geriliminin kısımlarını kullanmaları haricinde, bu iki düzen için dalga şekilleri aynıdır.

$\alpha_1 = 90^\circ$ de geciktirilmiş tetikleme açıları için, şekil 5.2h'da görüldüğü gibi, köprü elemanları içinden geçen iletim periyodu darbe başına 120° den daha azdır. Akım, iletim periyodunu tamamlar ve şekil 5.2i'de görüldüğü gibi serbest geçiş diyodunu ilettime geçmeye zorlayarak endüktansı deşarj eder. Bu diyot olmasaydı; motor gerilimi negatif olacaktı, akım daha çabuk sıfıra düşecekti, süreksiz olacaktı, endüktansta depo edilen enerjinin bir kısmı besleme hattına geri gidecekti ve kalanı da motora verilecekti.

Son tetikleme açısı şekil 5.2k'da gösterilmiş olup, $\alpha_1 = 120^\circ$ içindir. Motor geriliminin her bir darbesinin üç bileşeni vardır. $\omega t = 120^\circ$ den $\omega t = 180^\circ$ ye kadar tristör iletimdedir ve hat geriliminin bir kısmını motora uygular. Sonraki bir periyot için serbest geçiş diodu ilettime geçer ve motor gerilimini sıfırda tutar. Endüktans tamamen deşarj olduğu zaman, serbest geçiş diyodu kapanır ve motor gerilimi, motorun üretilmiş endüvi gerilimi değerine yükselir. Şekil 5.2m'de görüldüğü gibi, endüvi akımı süreksizdir.

Yarı kumandalı köprü, tam kontrol sağlamak için $\alpha_1 = 0^\circ$ dan $\alpha_1 = 180^\circ$ ye kadar bir tetikleme açısı aralığı ister. $\alpha_1 = 30^\circ$ ye kadar olan dalga şekli, periyot başına altı darbeye hakim olmaktadır. $\alpha_1 = 30^\circ$ den $\alpha_1 = 180^\circ$ ye kadar ise, periyot başına üç darbesi vardır. Bu tetikleme açılarında, endüvi devresinin L/R zaman sabitine bağlı olan dalga genliği gibi, akım da süreksiz olur.

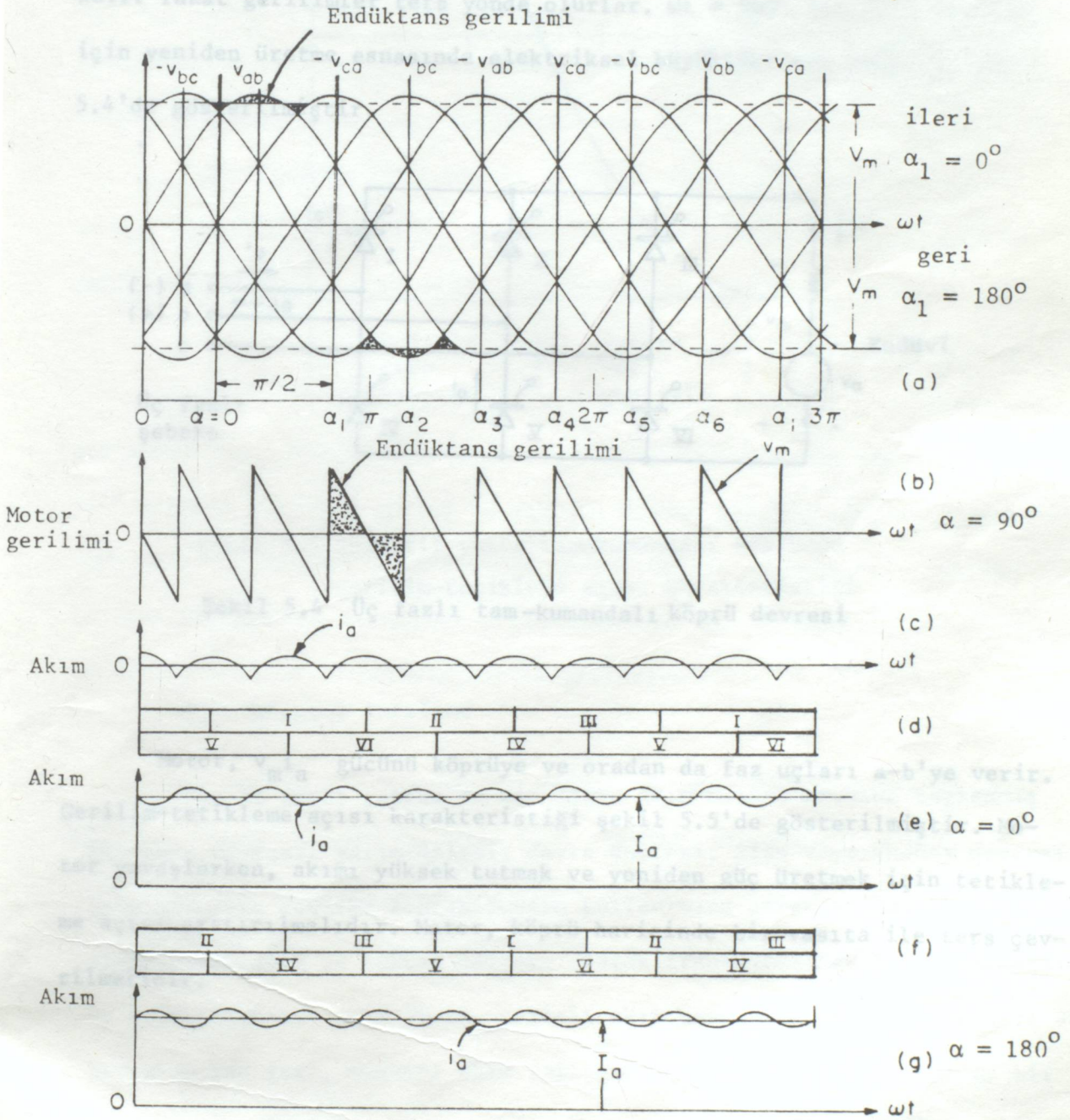
5.2 Üç Fazlı Tam-Kumandalı Köprü Devresi

Tam-kumandalı köprü devresi şekil 3.7'de gösterilmiştir. Bu devre altı tristör kullanır ve serbest geçiş diyodu haricinde hiç diyot kullanmaz. Tristörler sıra halinde her 60° de bir tetiklenir, dalgacıkları daima periyot başına altı darbedir. Tam-kumandalı köprü, yarı kumandalı köprüden daha az dalgacık meydana getirir, fakat yeniden üretme istenilen yerlerde öncelikle kullanılır. Eğer motor endüvi geriliminin polaritesi, bir enversör yardımıyla veya alan akımını ters yönde akatarak ters çevrilirse, o zaman, gücü motordan faz'a aktarmak için ve sonunda motoru istenilen ters yöndeki hızına ulaştırmak için, tam-kumandalı köprü bir inverter olarak çalıştırılabilir.

Tam-kumandalı köprü devresinin bir motor yüküyle ve bir serbest geçiş diyodu ile çalışması şekil 3.10'da gösterilen direnç yükü için dalga şeklinin aynısı olan bir dalga şekli meydana getirir. $\alpha_1 > 60^\circ$ olan tetikleme açıları için, doğrultucu gerilimi süreksiz olur ve eğer motor (endüvi) zaman sabiti, serbest geçiş diyodu içinden geçen akımı sürekli tutarsa o zaman doğrultucu gerilimi, darbeler arasında sıfır olacaktır. Eğer böyle olmazsa bu taktirde, şekil 5.2k'da görüldüğü gibi, serbest geçiş diyodu kapandığı zaman motor gerilimi v_m , üretilmiş v_a gerilimi değerine fırlayacaktır. Tam kontrol aralığı, 120° kademesinde bir tetikleme açısı ile elde edilir.

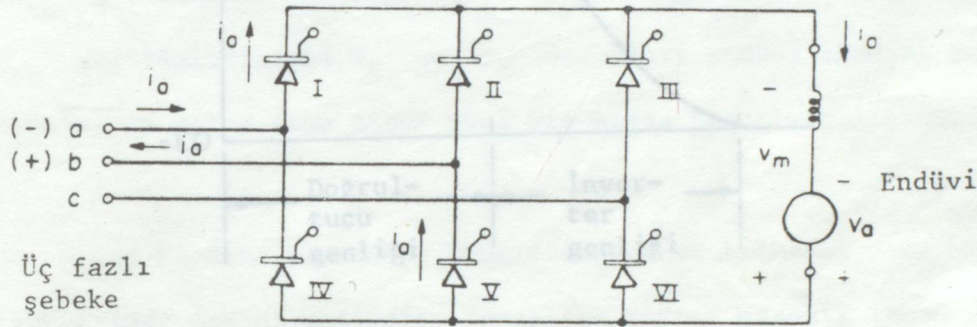
Endüvi devresinde sürekli endüvi akımını sürdürebilmeye uygun bir endüktans varsa ve hiç serbest geçiş diyodu kullanılmamışsa o zaman, endüktansın gerilim-zaman aralığını dengeleyebilmek için endüvi gerilimi

$\alpha_1 > 60^\circ$ 'lerde negatif gidecektir. $\alpha_1 = 90^\circ$ için şekil 5.3b'de sınır hali gösterilmiştir. Ortalama motor gerilimi V_m ve ortalama akım I_a şimdi sıfırdır. Bunu, şekil 3.10d'deki direnç yükü için dalga şekliyle karşılaştırırsak, tam kontrol için doğrultucu kontrol aralığının $\alpha_1 = 0^\circ$ 'dan $\alpha_1 = 90^\circ$ 'ye kadar olduğu görülür.



Şekil 5.3 Tam-Kumandalı köprü çalışması için dalga şekilleri

Eğer tetikleme açısı $\alpha_1=90^\circ$, 180° aralığında geciktirilmişse, köprünün uç gerilimi ters çevrilecektir ve aynı polaritedeki bir doğru akım kaynağından güç alabilecektir. $\alpha_1 = 0^\circ$ de doğrultucu çalışmanın ve $\alpha_1 = 180^\circ$ de inverter çalışmanın sınır halleri şekil 5.3a'da gösterilmiştir; akımlar ise şekil 5.3e ve g'de gösterilmiştir. Akımın yönü sabit kalır fakat gerilimler ters yönde olurlar. $\omega t = 240^\circ$ ile 300° aralığı için yeniden üretme esnasında elektriksel büyüklüklerin yönleri şekil 5.4'de gösterilmiştir.

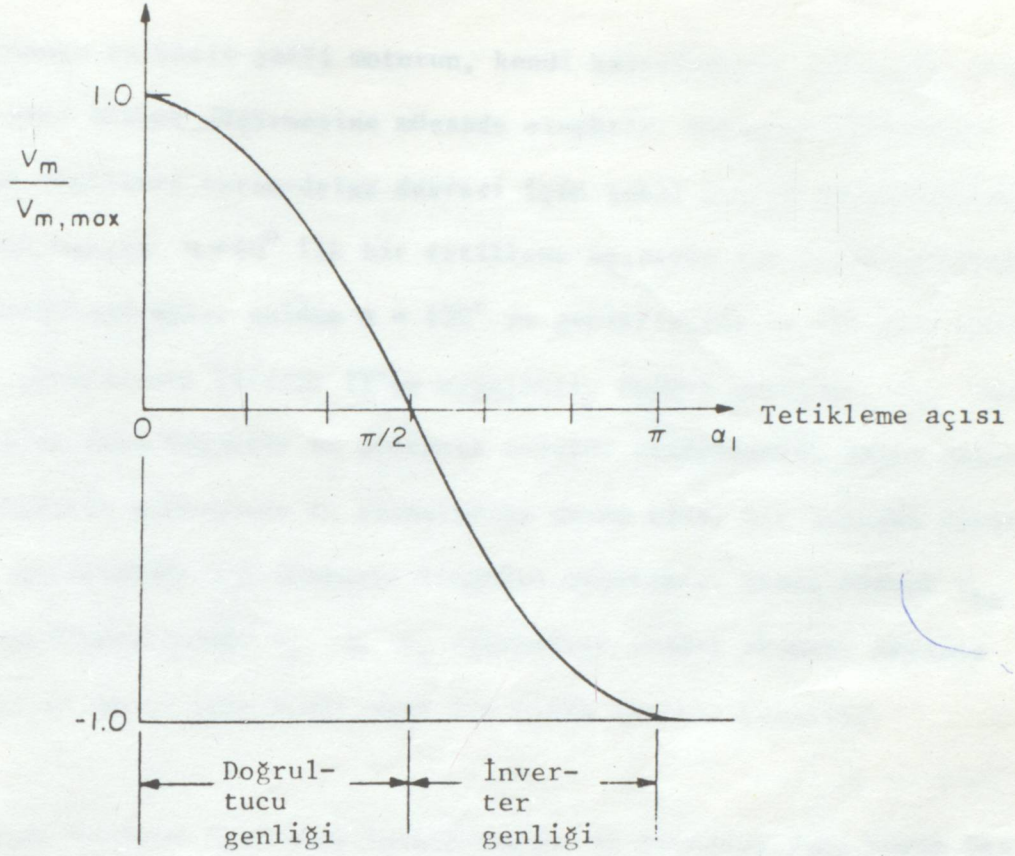


Şekil 5.5 Endüktif yükte tam-kumandalı köprünün gerilim-tetikleme açısı karakteristiği

Şekil 5.4 Üç fazlı tam-kumandalı köprü devresi

5.3 Dinamik İnceleme

Motor, $v_m i_a$ gücünü köprüye ve oradan da faz uçları a-b'ye verir. Gerilim-tetikleme açısı karakteristiği şekil 5.5'de gösterilmiştir. Motor yavaşlarken, akımı yüksek tutmak ve yeniden güç üretmek için tetikleme açısı arttırılmalıdır. Motor, köprü haricinde bir vasıta ile ters çevrilmelidir.



Şekil 5.5 Endüktif yükte tam-kumandalı köprünün gerilim-tetikleme açısı karakteristiği

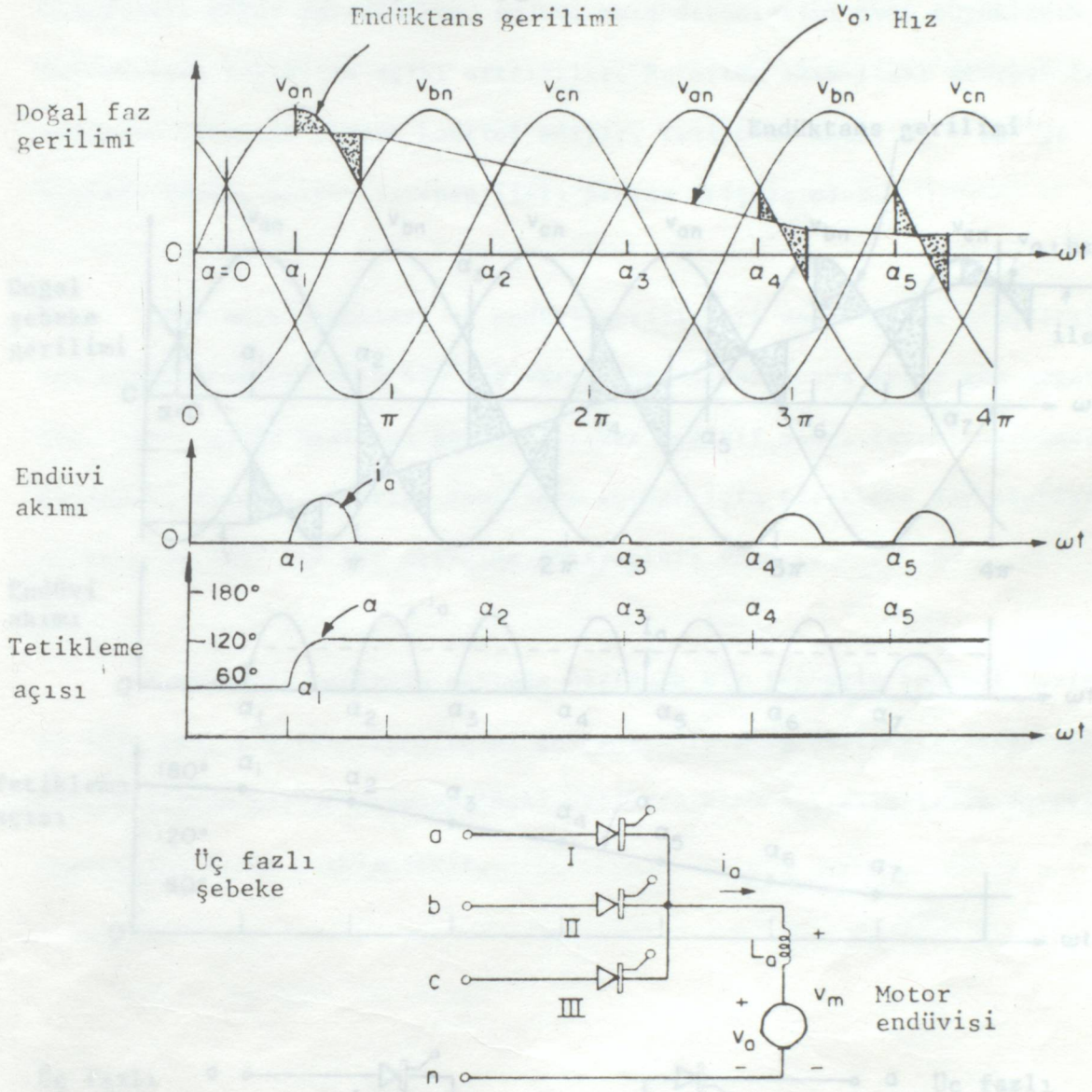
5.3 Dinamik İnceleme

Bir üç fazlı şebeke ve bir doğru akım motoru arasına bağlanmış iki tane üç-fazlı yarım-dalgalı devre ünitesi, alan veya endüvi devresi için bir ters çevirme kontaktörünün kullanımına gerek kalmadan geri çevirme yapabilmek ve tekrar devreye alarak frenleyebilmek için kullanılır. Üç tristörlük bir grup ileri, pozitif akım uygulamak için kullanılır; diğer grup ise geri, negatif akım sağlamak için kullanılır. Herhangi bir anda, üçer tristörden oluşan iki gruptan sadece birisi tetiklenir, her iki grup birden tetiklenmez. Herhangi bir kontrol devresi için

yavaşlatmanın en basit şekli motorun, kendi kayıplarıyla veya yük çekilmesiyle yeni hızını düşürmesine müsaade etmektir. Böyle yavaşlatmaya ait dalga şekilleri yarım-dalga devresi için şekil 5.6'da gösterilmiştir. Motor başlangıçta $\alpha = 60^\circ$ lik bir tetikleme açısıyla tam hızda çalışmaktadır. Tetikleme açısı aniden $\alpha = 120^\circ$ ye geciktirilir ve ilk yeni darbe α_2 , v_{bn} geriliminde tristör II'ye uygulanır. Endüvi gerilimi v_a , hat geriliminden daha büyüktür bu sebepten tristör tetiklenmez, fakat motor endüvi akımının yokluğunda da yavaşlamaya devam eder. Bir sonraki darbe α_3 , v_{cn} geriliminde III numaralı tristöre uygulanır. Sonuç olarak v_{bn} ve v_{cn} gerilimlerindeki α_4 ve α_5 darbeleri endüvi akımını meydana getirirler ve motor daha düşük yeni bir hızda kararlı çalışır.

Kendi kendine yavaşlama kontrolsuzdur ve bilhassa daha büyük beygir güçlerinde makbul değildir. Yavaşlama zamanı mekanik zaman sabitine, yani motorun ve yükün atalet ve mekanik moment talebine dayanır. Kinetik enerjinin bir kısmını yaymak üzere endüvi uçları arasına bir frenleme direnci bağlayarak, yavaşlama arttırılabilir. Kontaktörün bu direnç için çalışması kontrol sistemiyle birleştirilmelidir.

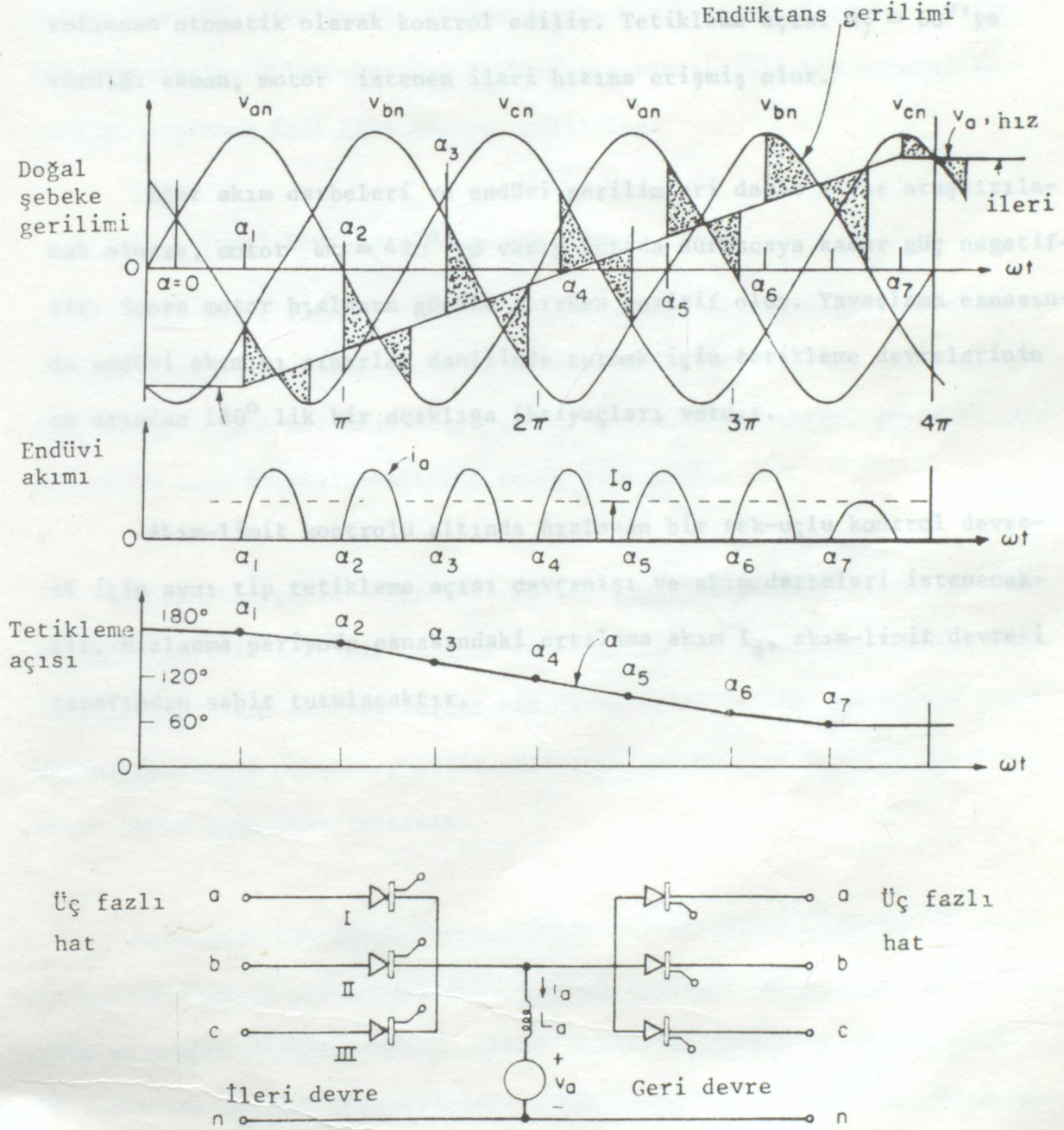
Daha makbul bir yavaşlatma yöntemi faydalı frenleme ile kinetik enerjiyi düzenli çekmek ve hatta geri transfer etmektir. Tam köprünün yeniden üretme için kullanımında, ters çevrilmiş endüvi gerilimi müzakere edilmiştir. Buna karşın, iki tane yarım-dalga devresi daha uygundur.



Şekil 5.6 Kendi kendine yavaşlama durumunda üç-fazlı yarım-dalga devresi

Yavaşlamanın durması ve ters yönde yeni bir hıza doğru yükseliş, şekil 5.7'de gösterilmiştir. Ters devreye gelen tetikleme sinyalleri engellendiği ve ileri devreye sinyal vermeye başlandığı zaman,

başlangıçta motorun tam hızda çalıştığı farzedilir. İleri devre akımı, motor enerjisini ilk çekme yönünde uygular, sonra da motoru hızlandırmak için enerjiyi ileri yönde uygular.



Şekil 5.7 Üç-fazlı yarım-dalga geri çevirme devresi

$\alpha_1 = 180^\circ$ 'de endüvi akımı darbesi i_a 'yı emniyet sınırları içinde tutabilmek için ilk darbe, v_{cn} geriliminde III numaralı tristöre uygulanır. Motor yavaşlarken, endüvi akım darbelerini aynı büyüklükte tutmak için tetikleme açısı arttırılır. Bu artma akım-limit devresi tarafından otomatik olarak kontrol edilir. Tetikleme açısı $\alpha_7 = 60^\circ$ 'ye vardığı zaman, motor istenen ileri hızına erişmiş olur.

Eğer akım darbeleri ve endüvi gerilimleri darbe darbe araştırılacak olursa, motor $\omega t = 420^\circ$ 'ye varıp burada duruncaya kadar güç negatiftir. Sonra motor hızlanma gücünü alırken pozitif olur. Yavaşlama esnasında endüvi akımını sınırlar dahilinde tutmak için tetikleme devrelerinin en azından 180° lik bir açıklığa ihtiyaçları vardır.

Akım-limit kontrolü altında hızlanan bir tek-uçlu kontrol devresi için aynı tip tetikleme açısı davranışı ve akım darbeleri istenecektir. Hızlanma periyodu esnasındaki ortalama akım I_a , akım-limit devresi tarafından sabit tutulacaktır.

6. SERİ ÜNİVERSAL MOTOR KONTROLU

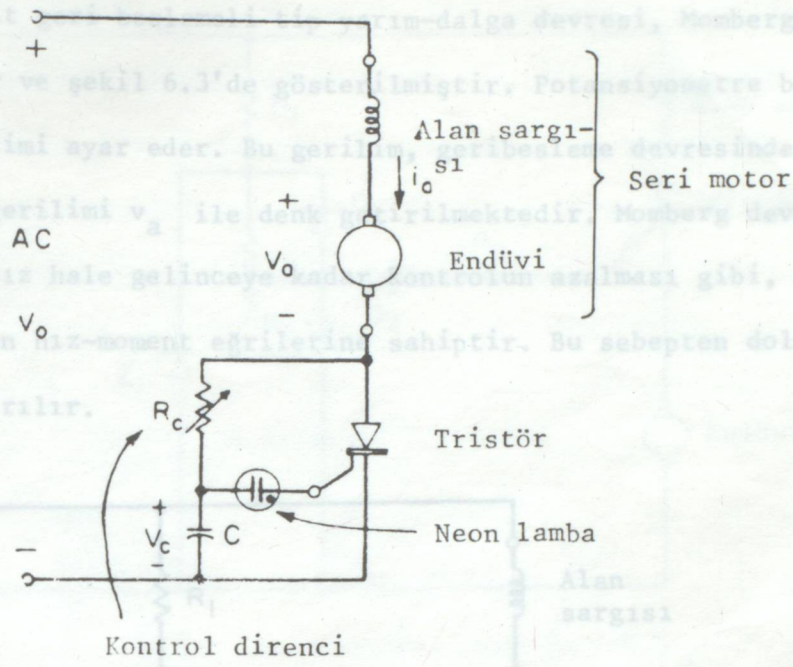
Seri universal motorlar yalnız taşınabilir aletlerde ve onların yüksek dönüş hızlarının pound başına büyük güç sağladığı uygulamalarda kullanılır. Güç elektroniği elemanlarıyla hız kontrol sistemleri basit ve ekonomiktir; onlar ekseriya kullanıcıya tutarlı bir hız kontrol kolaylığı sağlamak için elle kontrol edilirler.

6.1. Temel Devreler (Basic Circuits)

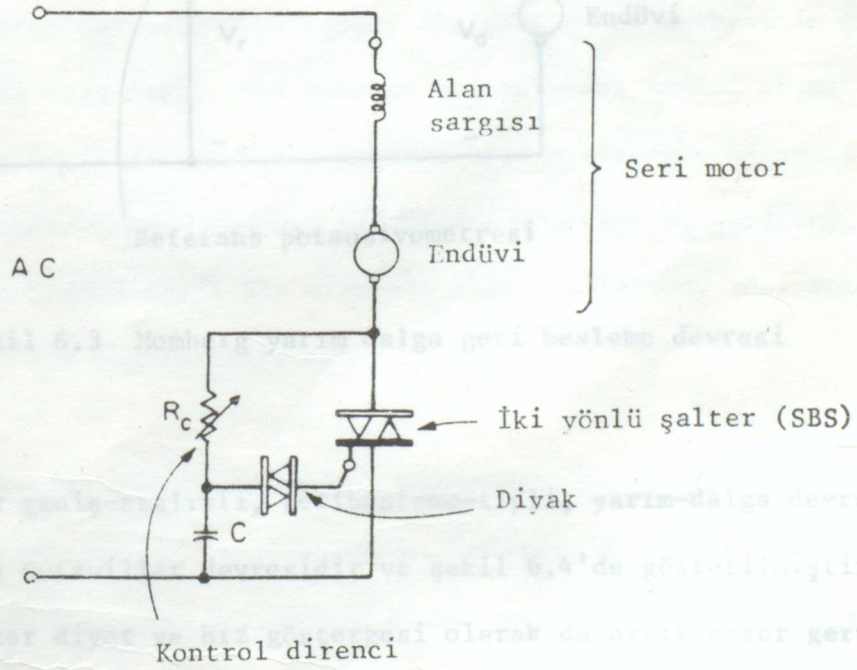
Seri motor kontrol devreleri yarım-dalga ve tam-dalga devreleri ve aynı zamanda geribeslemesiz ve geribeslemeli devrelerine bölünürler. Seri motor akımın bir yönü için pozitif moment üretecektir, şöyle ki motor yarım veya tam-dalga akımına cevap verecektir.

Elemanter yarım-dalga devresi şekil 6.1'de gösterilmiştir. Bu devre, faz kontrolu için bir tristör ve basit bir RC tetikleme devresi kullanılmaktadır. Akım periyot başına bir darbe şeklinde akar ve sadece darbe esnasında moment meydana getirir. Hız regülasyonu seri motorun kendisinininki kadar veya daha zayıftır.

Elemanter tam-dalga devresi şekil 6.2'de gösterilmiştir. Bu devre bir çift yönlü alternatif akım şalteri kullanır ve periyot başına iki akım ve moment darbesi sağlar. Ayrıca burada basit bir geribeslemesiz RC tetikleme devresi gösterilmiştir. Tam iletimde esasen motor, alternatif akım hattına direkt olarak bağlanmış gibi çalışır. Tetikleme açısını geciktirmek hızı azaltır.

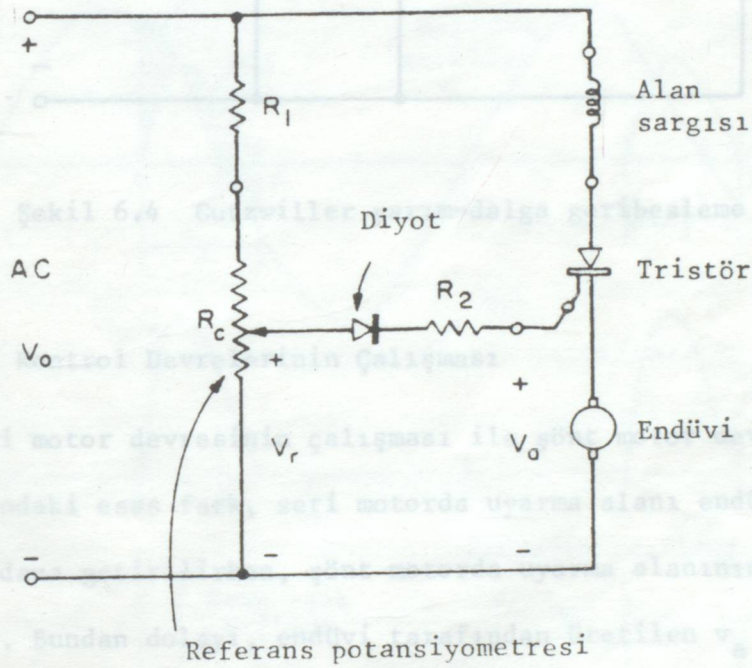


Şekil 6.1 Yarım-dalga seri üniversal motor devresi



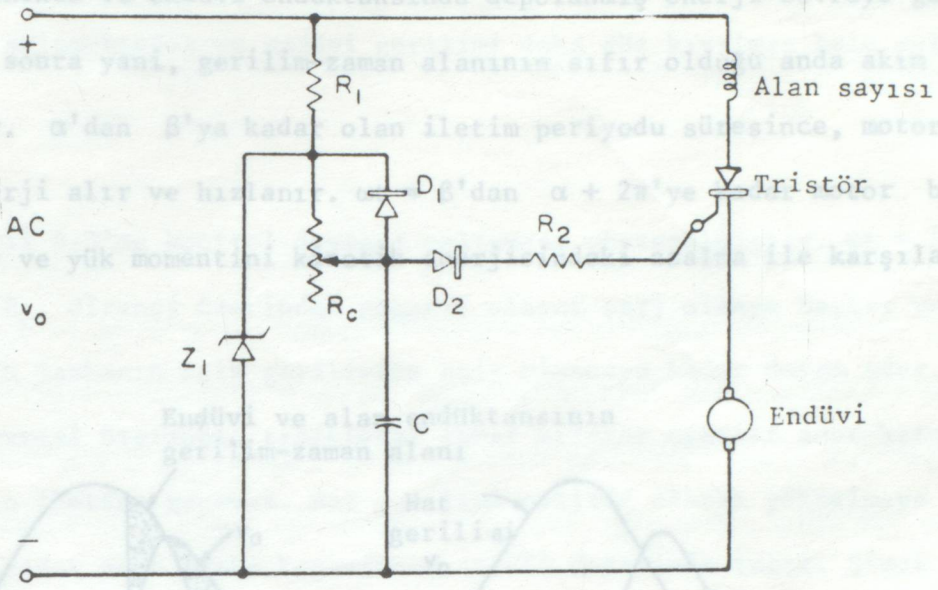
Şekil 6.2 Tam-dalga seri üniversal motor devresi

En basit geri beslemeli tip yarım-dalga devresi, Momberg devresi olarak bilinir ve şekil 6.3'de gösterilmiştir. Potansiyometre bir v_r referans gerilimi ayar eder. Bu gerilim, geribesleme devresinde artık motor endüvi gerilimi v_a ile denk getirilmektedir. Momberg devresi, kumanda kararsız hale gelinceye kadar kontrolün azalması gibi, devamlı olarak düz olan hız-moment eğrilerine sahiptir. Bu sebepten dolayı aralık sınırlandırılır.



Şekil 6.3 Momberg yarım dalga geri besleme devresi

Birçok geniş-aralıklı, geribesleme-tipli, yarım-dalga devrelerinden birisi de Gutzwiller devresidir ve şekil 6.4'de gösterilmiştir. Bu devre bir zener diyot ve hız göstergesi olarak da artık motor gerilimini kullanır. Bu regülasyon açık-devre kontrollerinde kullanılmaktadır fakat devrenin maliyeti daha önce gösterilen üç devreninkinden de daha yüksektir.



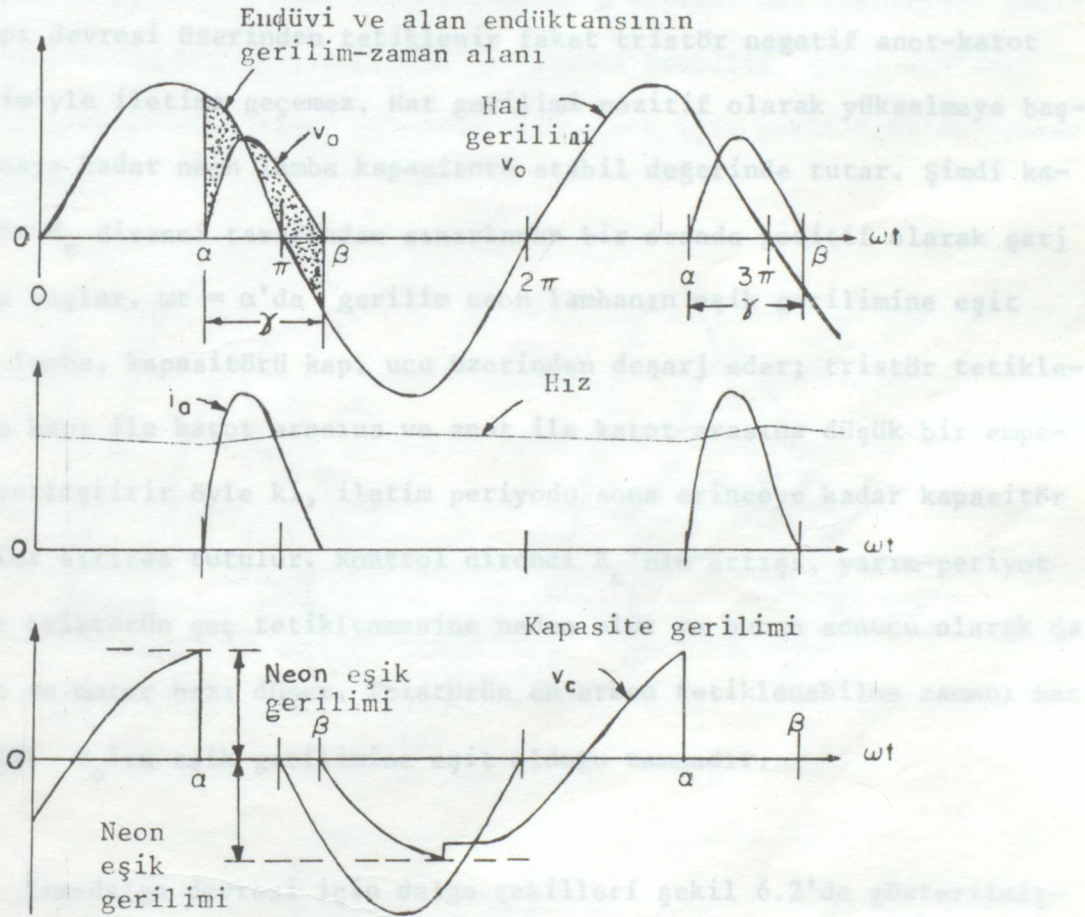
Şekil 6.4 Gutzwiller yarım-dalga geribesleme devresi

6.2 Kontrol Devrelerinin Çalışması

Seri motor devresinin çalışması ile şönt motor devresinin çalışması arasındaki esas fark, seri motorda uyarma alanı endüvi akımı tarafından meydana getirilirken, şönt motorda uyarma alanının bağımsız beslenmesidir. Bundan dolayı, endüvi tarafından üretilen v_a gerilimi, seri motorda hız ve endüvi akımı ile orantılı olmasına rağmen, şönt motorda ise sadece hız ile orantılıdır.

Şekil 6.1'de şeması gösterilen yarım-dalgalı seri motor devresi için dalga şekilleri şekil 6.5'de gösterilmiştir. Bu dalga şekilleri, şekil 4.3'de görülen şönt motora ait dalga şekilleriyle karşılaştırılabilir. Şekil 6.1'deki devrede, tristör $\omega t = \alpha$ anında tetiklendiği zaman akım uyarma alanı, endüvi ve tristör içinden geçer ve tristör $\omega t = \beta$ 'da bloklanıncaya kadar bir γ iletim açısı boyunca iletimde kalır. Sadece

uyarma alanında ve endüvi endüktansında depolanmış enerji devreye geri döndükten sonra yani, gerilim-zaman alanının sıfır olduğu anda akım sıfıra düşer. α' 'dan β' 'ya kadar olan iletim periyodu süresince, motor hattan enerji alır ve hızlanır. $\omega t = \beta'$ 'dan $\alpha + 2\pi$ 'ye kadar motor boşta çalışır ve yük momentini kinetik enerjisindeki azalma ile karşılar.



Şekil 6.5 Yarım-dalga seri motor kontrolünün dalga şekilleri

Endüvinin oluşturduğu V_a gerilimi, i_a akımının bir çeşit tekrarı gibi görülmektedir. Çünkü hız pratik olarak iletim periyodu boyunca

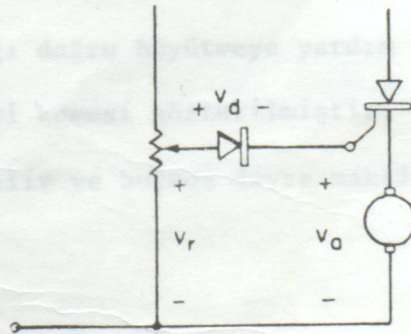
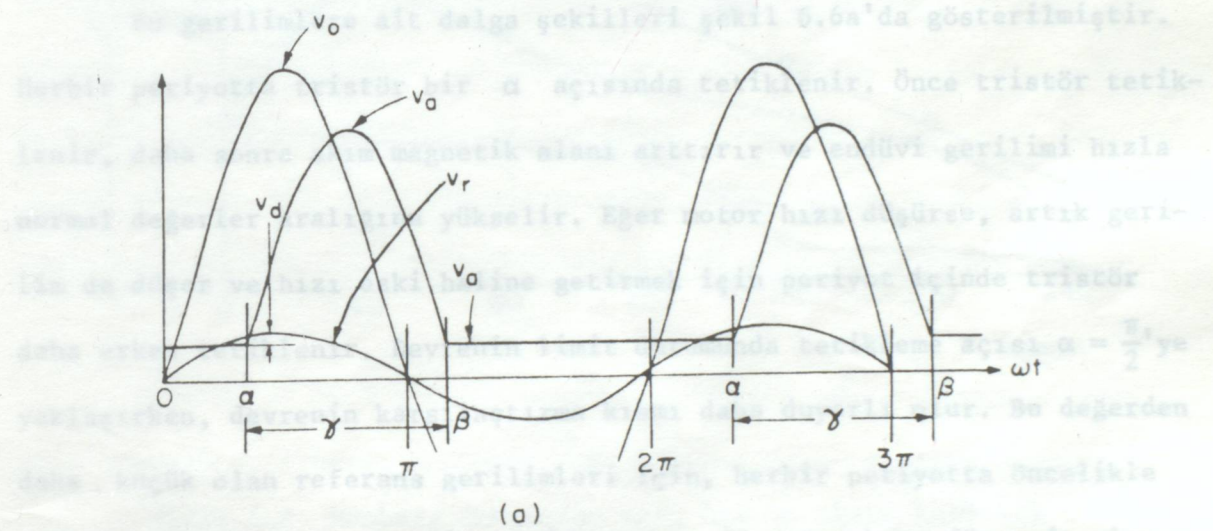
sabit kalmaktadır. Gerçek bir motorda, magnetik yapı akım darbesi boyunca doyuma erişmektedir ve endüvi gerilimi daha düz kıyılmış hale gelmektedir.

Şekil 6.5'de kontrol devresi çalışması gösterilmiştir. $\omega t = \beta$ 'da kapasitör R_c direnci üzerinden negatif olarak şarj olmaya başlar ve gerilimi neon lambanın eşik gerilimine eşit oluncaya kadar devam eder. Lamba kapı devresi üzerinden tetiklenir fakat tristör negatif anot-katot gerilimiyle ilettime geçemez. Hat gerilimi pozitif olarak yükselmeye başlayıncaya kadar neon lamba kapasitörü stabil değerinde tutar. Şimdi kapasitör R_c direnci tarafından sınırlanan bir oranda pozitif olarak şarj olmaya başlar. $\omega t = \alpha$ 'da gerilim neon lambanın eşik gerilimine eşit olur; lamba, kapasitörü kapı ucu üzerinden deşarj eder; tristör tetiklenir ve kapı ile katot arasına ve anot ile katot arasına düşük bir empedans yerleştirir öyle ki, iletim periyodu sona erinceye kadar kapasitör gerilimi sıfırda tutulur. Kontrol direnci R_c 'nin artışı, yarım-periyot içinde tristörün geç tetiklenmesine neden olur ve bunun sonucu olarak da moment ve motor hızı düşer. Tristörün en erken tetiklenebilme zamanı hat gerilimi v_o 'ın eşik gerilimine eşit olduğu zamandır.

Tam-dalga devresi için dalga şekilleri şekil 6.2'de gösterilmiştir. Bu dalga şekilleri yarım-dalga devresi için olan dalga şekillerine benzerdir. Kapı devresinde şalter kullanan tam-dalga devresi alternatif akım geçirir. Negatif polariteye sahip bir akım darbesi $\omega t = \pi$ ve 2π arasında olur. Bu negatif akım darbesi negatif magnetik alan meydana getirir; bundan dolayı moment, akım ve alanın çarpımıyla orantılıdır ve moment darbesi pozitifdir. Birleşik moment darbeleri şebeke frekansında

pozitif yönde iki defa hasıl olur. Maksimum iletim durumunda motor, alternatif akım şebeke gerilimi sanki direkt olarak motor uçlarına uygulanmış gibi çalışır. Bu gerilim ekseriya beş volttan daha küçüktür ve motor hızıyla direkt orantılıdır. Artık gerilim, Momberg devresinde mo-

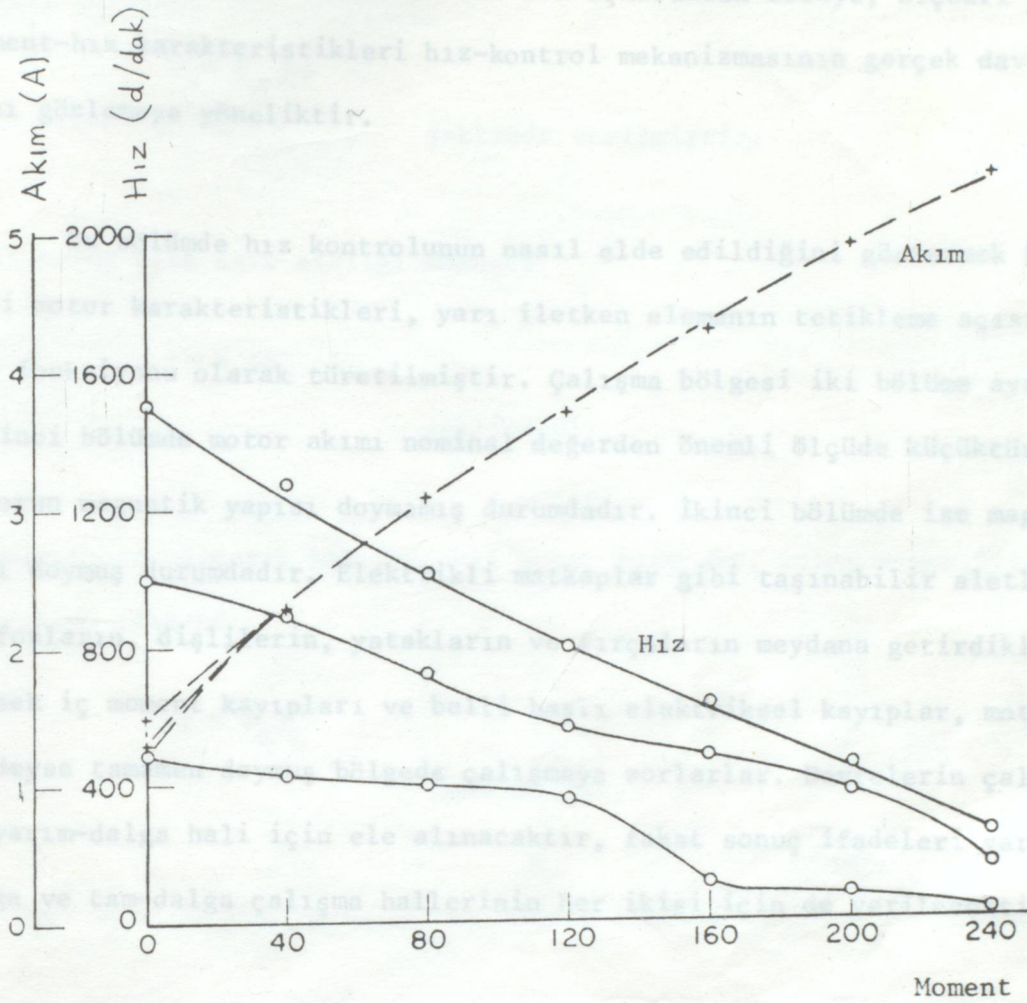
Momberg geri besleme devresi şekil 6.1'deki yarım-dalga devresi gibi çalışır ve bu devrede tristör önceden tetiklenmiş durumdadır. Fakat tristör için tetikleme sinyali, Momberg devresi hız regülasyon özelliklerini veren bir karşılaştırma devresinde üretilir. Şekil 6.3'deki devrenin regüle eden kısmı çalışmayı göstermek için şekil 6.6b'de tekrar çizilmiştir.



Şekil 6.6 Momberg devresi: (a) dalga şekilleri, (b) devre

Endüvi ve alan sargısı içinden hiç akım akmadağı süre esnasında alan yapısındaki artık magnetizma endüvi uçları arasında küçük bir gerilim meydana getirir. Bu gerilim ekseriya beş volttan daha küçüktür ve motor hızıyla direkt orantılıdır. Artık gerilim, Momberg devresinde motor hızının bir ölçüsü olarak kullanılır. Şekil 6.6b'de gösterildiği gibi artık gerilim v_a , bir v_r referans gerilimiyle karşılaştırılır. Referans gerilimi, diyot üzerindeki gerilim düşümü $v_r - v_d$ 'den daha küçük olduğu zaman, artık gerilim v_a 'ya eşit olur, diyot akımı geçirir ve tristörü tetikler.

Bu gerilimlere ait dalga şekilleri şekil 6.6a'da gösterilmiştir. Herbir periyotta tristör bir α açısında tetiklenir. Önce tristör tetiklenir, daha sonra akım magnetik alanı arttırır ve endüvi gerilimi hızla normal değerler aralığına yükselir. Eğer motor hızı düşürse, artık gerilim de düşer ve hızı eski haline getirmek için periyot içinde tristör daha erken tetiklenir. Devrenin limit durumunda tetikleme açısı $\alpha = \frac{\pi}{2}$ 'ye yaklaşırken, devrenin karşılaştırma kısmı daha duyarlı olur. Bu değerden daha küçük olan referans gerilimleri için, herbir periyotta öncelikle tristör tetiklenmeye yönelir ve daha sonra da motor hızı düzensiz olmaya başlar. Devre referans koluna eklenen faz değiştirme kapasitörleri hız aralığını aşağı doğru büyötmeye yardım eder. Şekil 6.7'de, tipik bir hız-moment eğri kümesi gösterilmiştir. Hız regölasyonu bu menzilin üzerinde elde edilir ve burada devre maksimum duyarlılığındadır.



Şekil 6.7 Momberg devresine ait, hız ve akıma karşılık moment ölçekli eğrileri

6.3 Faz Kontrol Analizi (Doymamış halde)

Seri motorun faz kontrolü altında hız-moment ve akım-moment karakteristikleri, seri empedans veya değişken gerilim kontrolü altında elde edilenlerden farklıdır. Yarı iletken elemanın faz kontrolü sadece motora uygulanan gerilimi regüle etmekle kalmaz, akımın aktığı ve motor alanının uyarıldığı her periyotta iletim zamanını da sınırlar. İç moment

kaybının faydalı yük momentini sık sık aşmasından dolayı, ölçekli yük moment-hız karakteristikleri hız-kontrol mekanizmasının gerçek davranışını gözlemeye yöneliktir.

Bu bölümde hız kontrolunun nasıl elde edildiğini göstermek üzere seri motor karakteristikleri, yarı iletken elemanın tetikleme açısının bir fonksiyonu olarak türetilmiştir. Çalışma bölgesi iki bölüme ayrılır. Birinci bölümde motor akımı nominal değerden önemli ölçüde küçüktür ve motorun magnetik yapısı doymamış durumdadır. İkinci bölümde ise magnetik yapı doymuş durumdadır. Elektrikli matkaplar gibi taşınabilir aletlerdeki fonların, dişlilerin, yatakların ve fırçaların meydana getirdikleri yüksek iç moment kayıpları ve belli başlı elektriksel kayıplar, motoru nerdeyse tamamen doymuş bölgede çalışmaya zorlarlar. Devrelerin çalışması yarım-dalga hali için ele alınacaktır, fakat sonuç ifadeleri yarım-dalga ve tam-dalga çalışma hallerinin her ikisi için de verilecektir.

Tristör ve seri motorun temel yarım-dalga devresi şekil 6.8'de gösterilmiştir. Tristör iletimde olduğu zaman bu devre için denklem,

$$v_m = L \frac{di_m}{dt} + v_a + Ri_m \quad (6.1)$$

şeklindedir.

Eğer motor endüktansı L sabit değilse o zaman denklem şu şekilde yazılmalıdır;

$$v_m = \eta \frac{d\phi}{dt} + v_a + Ri_m \quad (6.2)$$

Endüvi gerilimi

$$v_a = K_a N \phi \quad (6.3)$$

şeklinde verilmiştir.

$$T = K_t K_m i_m^2 \quad (6.9)$$

şeklinde verilir

Seri motor için hava aralığı momenti

$$t = K_t \phi i_m \quad (6.4)$$

geçerlidir.

şeklindedir.

Doymamış bir magnetik hal içindeki motor için akı, motor momentiyle orantılı olup ifadesi

$$\phi = K_m i_m \quad (6.5)$$

şeklindedir.

6.4 ve 6.5 denklemlerinden ani moment ifadesi

$$t = K_t K_m i_m^2 \quad (6.6)$$

şeklinde elde edilir.

Ortalama moment T ifadesi

$$T = \frac{K_t K_m}{\tau} \int_0^{\tau} i_m^2 dt \quad (6.7)$$

dir.

Buna karşın, efektif motor akımı I_m

$$I_m = \left[\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} i_m^2 dt \right]^{1/2} \quad (6.8)$$

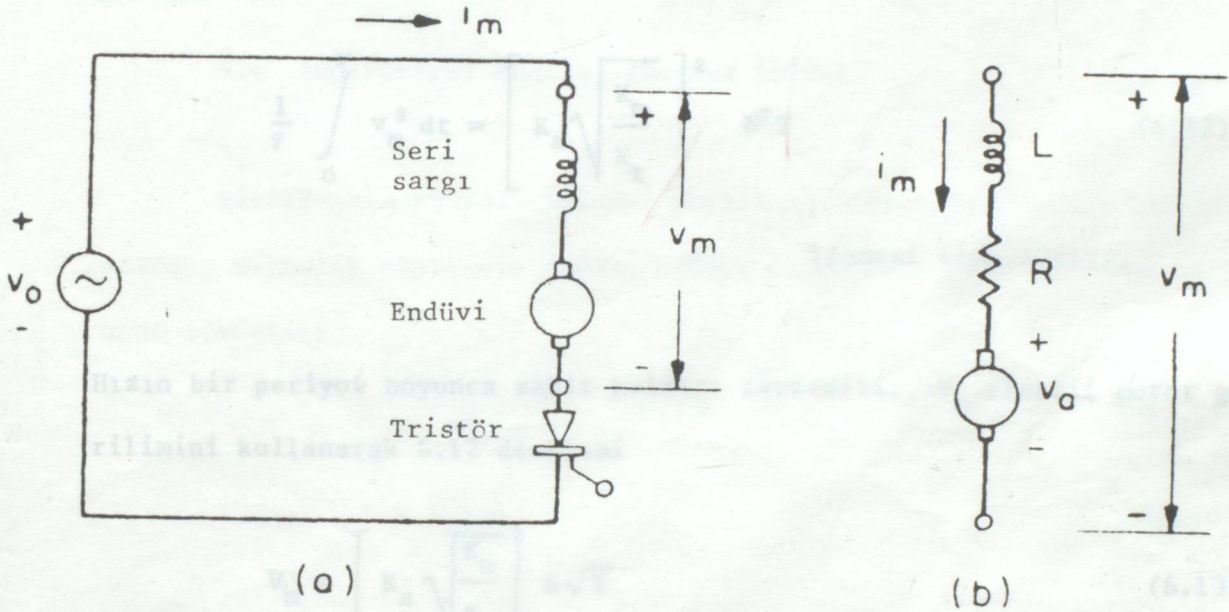
şeklinde verilir.

Buradan ortalama moment ifadesi

$$T = K_t K_m I_m^2 \quad (6.9)$$

şeklinde verilir

6.9 denklemi, doymamış motor için yarım-dalga veya tam-dalga çalışmada geçerlidir.



Şekil 6.8 a) yarım-dalga tristörlü seri motor devresi

b) motor eşdeğer devresi

Düşük akımlar için, denklem 6.1'in empedans gerilimi terimleri endüvi gerilimine mukayesen küçüktürler ve ihmal edilebilirler. Bu durumda

$$v_m \approx v_a \quad (6.10)$$

dır.

6.3, 6.4 ve 6.5 denklemlerini kullanarak, ani moment-hız-gerilim ilişkisi altında

$$v_m = K_a N \phi = N K_a \sqrt{\frac{K_m}{K_t}} \sqrt{T} \quad (6.11)$$

ifadesi bulunur.

Eğer 6.11 denkleminin her iki tarafının karelerini ve ortalamalarını alırsak

$$\frac{1}{T} \int_0^T v_m^2 dt = \left[K_a \sqrt{\frac{K_m}{K_t}} \right]^2 N^2 T \quad (6.12)$$

ifadesi elde edilir.

Hızın bir periyot boyunca sabit kaldığı farzedilir. V_m efektif motor gerilimini kullanarak 6.12 denklemini

$$V_m = \left[K_a \sqrt{\frac{K_m}{K_t}} \right] N \sqrt{T} \quad (6.13)$$

şeklini alır.

6.13 denklemini, her dalga şekli için düşük akımda, V_m efektif motor geriliminin terimleri şeklinde doymamış seri motora ait hız-moment bağıntısını vermektedir.

Efektif motor gerilimi, tetikleme açısının veya yarım-dalga kontrolunun bir fonksiyonu olarak şu şekilde ifade edilebilir;

6.18 denkleminin bir yarım-periyot boyunca ortalama değeri alınabilir.

Bu ifade,

$$V_m = \left[\frac{\omega}{2\pi} \int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} 2V_o^2 \sin^2 \omega t dt \right]^{1/2} \quad (6.19)$$

$$= V_o \left[\frac{(\pi-\alpha)}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{4\pi} \right]^{1/2} \quad (6.14)$$

Doymadan dolayı, iletim zamanı esnasında v_a gerilimi sabit genliktedir.

Bir α tetikleme açısı için yarım-dalga ortalama değeri

6.4 Faz Kontrol Analizi (Doymuş halde)

$$V_a = \frac{K_a N \phi_s (\pi-\alpha)}{2\pi} \quad (6.20)$$

Yüksek-akım bölgesi içinde, herbir akım darbe zamanının üzerinde motorun magnetik yapısının doymuş olduğu farzedilir. Ani ve ortalama moment ifadeleri,

$$T = K_t \phi_s i_m \quad (6.15)$$

$$T = K_t \phi_s I_m \quad (6.16)$$

Tristör iletimdeyken endüvi gerilimi ifadesi yazacak olursak,

$$v_a = K_a N \phi_s \quad (6.17)$$

Magnetik devrenin doymuş olması nedeniyle 6.2 denklemindeki endüktans gerilimini ihmal edebiliriz ve böylece, gerilimi aynı zamanda α 'nın da

bir fonksiyonudur ve ifadesi,

$$v_m = v_a + R i_m \quad (6.18)$$

yazılabilir.

6.18 denkleminin bir yarım-periyot boyunca ortalama değeri alınabilir.

Bu ifade,
$$V_m = \frac{\sqrt{2} V_o}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (6.23)$$

$$V_m = \frac{2}{\tau} \int_0^{2/\tau} v_a dt + R I_m \quad (6.19)$$

6.23 denklemini 6.22'ye yerine koyacak olursak ve burada V yerine V_a geçecek olursak,

Doymadan dolayı, iletim zamanı esnasında v_a gerilimi sabit genliktedir.

Bir α tetikleme açısı için yarım-dalga ortalama değeri

$$V_a = \frac{K_a N \phi_2 (\pi - \alpha)}{2\pi} \quad (6.20)$$

6.20 denklemini 6.19 denkleminde yerine koyacak olursak,

$$V_m = \frac{K_a N \phi_s (\pi - \alpha)}{2\pi} + R I_m \quad (6.21)$$

olur.

6.16 denklemini kullanarak, I_m yerine eşitini yazacak olursak,

$$V_m = \frac{K_a N \phi_s (\pi - \alpha)}{2\pi} + \frac{RT}{K_t \phi_s} \quad (6.22)$$

Tristörün faz kontrolundan dolayı, motor gerilimi aynı zamanda α 'nın da bir fonksiyonudur ve ifadesi,

$$V_m = \frac{\omega}{2\pi} \int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} \sqrt{2} V_o \sin \omega t dt$$

Tablo 6.1 Doymuş Seri Motora ait, tetikleme açısı α 'ya bağlı olarak hız düşmesi ve hız değeri

$$= \frac{\sqrt{2} V_o}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (6.23)$$

şeklindedir.

6.23 denklemini 6.22'de yerine koyacak olursak ve buradan N hızını çekecek olursak,

$$N = \frac{\sqrt{2} V_o (1 + \cos \alpha)}{K_a \phi_s (\pi - \alpha)} - \frac{2\pi R}{K_a K_t \phi_s^2 (\pi - \alpha)} T \quad (6.24)$$

N ifadesi tam-dalga faz kontroluna karşılık olarak şöyle gösterilebilir;

$$N = \frac{\sqrt{2} V_o}{K_a \phi_s} \frac{(1 + \cos \alpha)}{(\pi - \alpha)} - \frac{\pi R}{K_a K_t \phi_s^2 (\pi - \alpha)} T \quad (6.25)$$

6.5 Faz Kontrolunun Anlatımı

6.24 ve 6.25 denklemleri, doymuş seri motorun faz kontrolu altında hız-moment karakteristiklerini göstermektedir. Birinci terim yüksüz hızı ve ikinci terim ise, motor T ortalama momenti ile yüklenmişken hız düşmesini göstermektedir. Her iki terim de tetikleme açısı α 'nın fonksiyonudur; motor, gerilim kontrolu ve empedans kontrolunun her ikisine de birden maruz bırakılmış gibi davranır.

Denklem 6.24'ün iki terimine ait sayısal değerler tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Doymuş Seri Motora ait, tetikleme açısı α 'ya bağlı olarak Yüksüz Hız ve Hız Düşmesi değerleri

Tetikleme Açısı α	$(1 + \cos \alpha)$	$(\pi - \alpha)$	Baştaki Hız $(1 + \cos \alpha) / (\pi - \alpha)$	Hız Düşmesi
0	2.00	3.14	0.635	0.319
30°	1.87	2.62	0.713	0.382
60°	1.50	2.09	0.719	0.478
90°	1.00	1.57	0.638	0.637
120°	0.50	1.05	0.476	0.950
150°	0.13	0.52	0.257	1.92
180°	0	0	0	∞

Bu analiz, boştaki hız değişiminin bir kombinasyonu ve devrenin α açısı sıfırdan 180° ye kadar geciktirilirken, önce α tetikleme açısı 60° oluncaya kadar boştaki hız artar, sonra 90° ye kadar yavaşça azalır ve 150° ve ötesine kadar da önemli ölçüde azalır. α geciktirilirken, hız düşmesi de sürekli olarak artar.

Tipik bir çalışma aralığı olan, $\alpha = 30^\circ$ ile $\alpha = 150^\circ$ aralığını göz önüne alalım. Boştaki hız terimi $0.713/0.257 = 2.77$ faktörüyle değişir; fakat verilen bir moment değerinde hız düşmesi $1.92/0.382 = 5.03$ faktörüyle değişir. Hız düşmesi terimi, baştaki hız teriminden daha fazla hız değişimi sağlar.

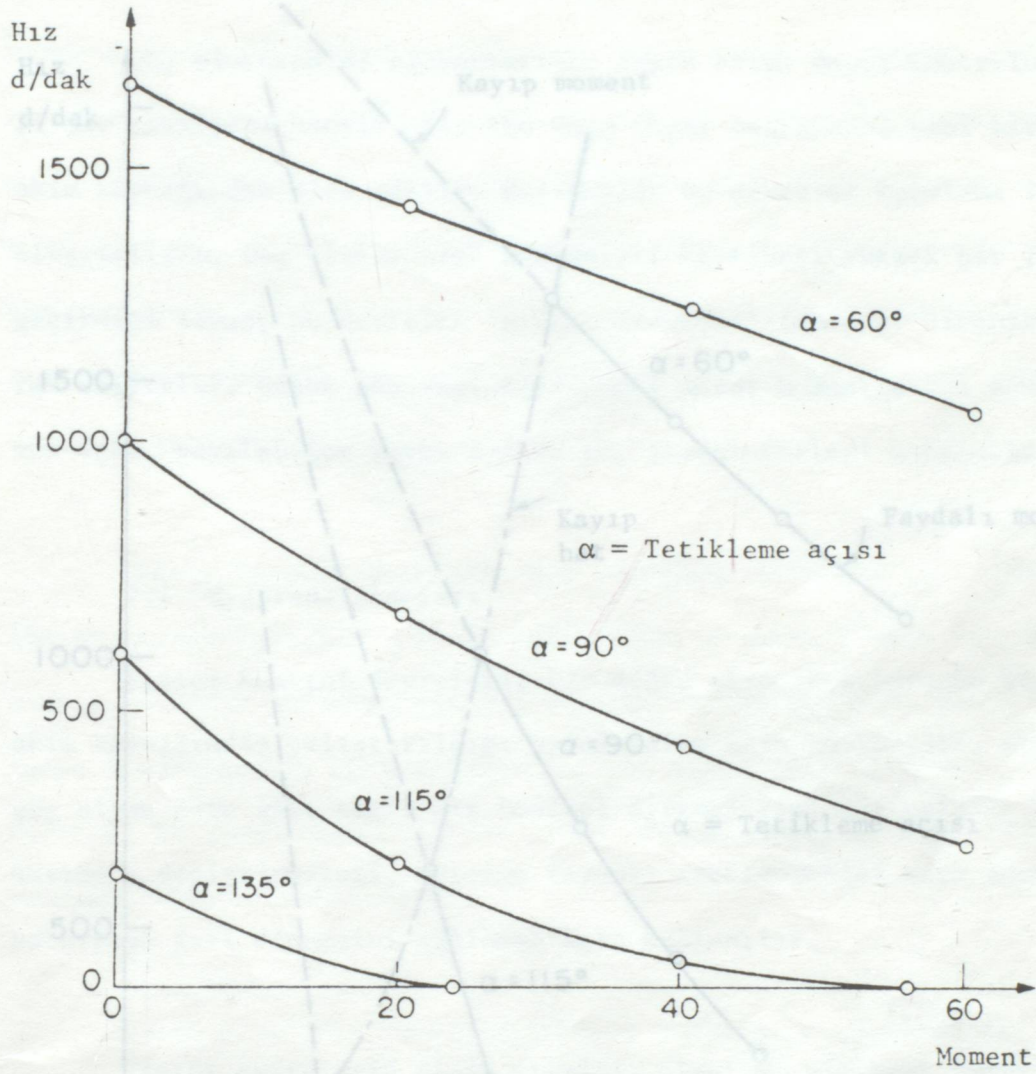
Hız düşmesi terimindeki α tetikleme açısının etkisi, devre direncini $R/(\pi - \alpha)$ şeklinde yükseltmeye eşdeğerdir. Tetikleme açısı 180° ye

doğru geciktirilirken, T momentini üretmek için I_m ortalama akımı daha küçük bir iletim açısı içine sıkıştırılır. İstenen ortalama değerini muhafaza etmek için, akım daha yüksek bir tepe değerine sahip olmalıdır. Bu nedenle akım, devre direncinde daha büyük bir IR düşmesi ve motor hızında da daha büyük bir düşme meydana getirir.

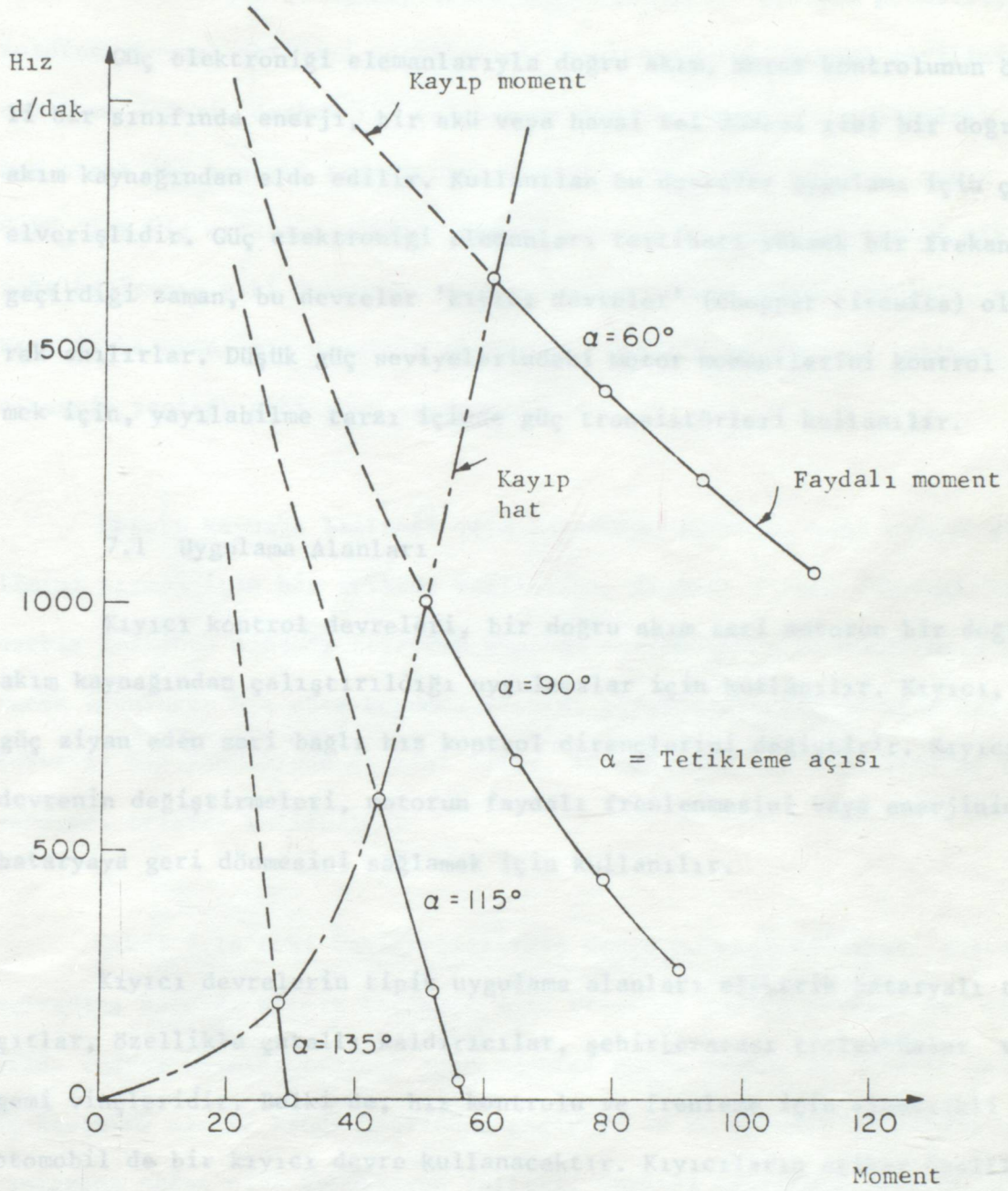
Şekil 6.9'da dış yük momenti için ve şekil 6.10'da da iç hava aralığı momenti için bir elektrik matkabı içindeki yarım-dalga kontrol- lu bir seri motora ait test sonuçları kümesi gösterilmiştir. Tetikleme açısı artarken eğrilerin dikliklerinin de arttığı görülmektedir. Şu açıkça bellidir ki, hız değişiminin büyük bir kısmı 6.24 denkleminin ilk teriminden değil, ikinci teriminden gelmektedir.

Bu analiz, boştaki hız değişiminin bir kombinasyonu ve devrenin eşdeğer direncinin değişimi ile veya tetikleme açısı değişirken hız düş- mesi ile, doymuş seri motor faz kontrolunun, bir hız kontrolu meydana getirdiğini göstermektedir. Pratikte ve taşınabilir aletlerin motorla- rında, moment kayıpları, motoru magnetik devrenin doymuş olduğu bölge içinde çalışmaya zorlamaktadır ve bu durumda yüksek akım bölgesi analizi uygulanır.

Seri universal motor kontrolu ekseriya, bir yarım-dalga kontrollu doğrultucu gibi çalışan basit bir tristör devresinden ibarettir. Büyük- lüğü ve maliyeti çok uygundur. İlave kısımların tutarına izin verilen yerlerde, bir hız sinyali olarak artık endüvi gerilimini kullanan hızın geri besleme kontrolu kullanılır. Seri universal motorun analizi en iyi şekilde, magnetik-devrenin doymuş olmasını farzetmekle olur.



Şekil 6.9 Yarım-dalga tristör kontrollü seri motorun ölçekli hız-yük momenti karakteristikleri



Şekil 6.10 Yarıml-dalga tristör kontrollu seri motorun hız-ıç moment karakteristikleri

7. DOĞRU AKIM DAN DOĞRU AKIMA KONTROL

Güç elektroniği elemanlarıyla doğru akım, motor kontrolünün önemli bir sınıfında enerji, bir akü veya havai tel düzeni gibi bir doğru akım kaynağından elde edilir. Kullanılan bu devreler uygulama için çok elverişlidir. Güç elektroniği elemanları tertibatı yüksek bir frekans geçirdiği zaman, bu devreler 'kıyıcı devreler' (chopper circuits) olarak anılırlar. Düşük güç seviyelerindeki motor momentlerini kontrol etmek için, yayılabilme tarzı içinde güç transistörleri kullanılır.

7.1 Uygulama Alanları

Kıyıcı kontrol devreleri, bir doğru akım seri motorun bir doğru akım kaynağından çalıştırıldığı uygulamalar için kullanılır. Kıyıcı, güç ziyan eden seri bağlı hız kontrol dirençlerini değiştirir. Kıyıcı devrenin değiştirmeleri, motorun faydalı frenlenmesini veya enerjinin bataryaya geri dönmesini sağlamak için kullanılır.

Kıyıcı devrelerin tipik uygulama alanları elektrik bataryalı taşıtlar, özellikle çatallı kaldırıcılar, şehirlerarası trolleybüsler ve gemi vinçleridir. Belki de, hız kontrolü ve frenleme için elektrikli otomobil de bir kıyıcı devre kullanacaktır. Kıyıcıların aşık özellikleri düzgün kontrol, batarya enerjisinin korunması ve batarya enerjisinin yeniden üretilmesidir.

7.2 Çalışma Prensibi

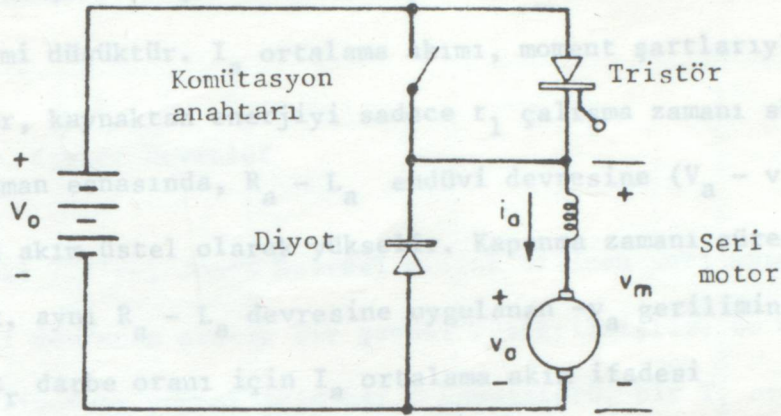
Alan sargısının endüktansı endüvi akımını geçirmek istediğinden

dolayı, kıyıcı hız kontrol devresi bir seri motor ile kullanılır. Şekil 7.1a'da basitleştirilmiş bir devre gösterilmiştir. Çalışma prensibi, seri motorun, kaynak gerilimi darbeleriyle beslenmesidir. Kaynak geriliminin ortalama değeri, darbelerin çalışma ve kapanma zamanları arasındaki zaman oranı ile kontrol edilmiştir. Örneğin, eğer oran 0.5 ise, motor $0.5V_0$ 'lık bir ortalama gerilim değeri alır ve bu değerde sürekli bir kaynağa bağlanmış gibi davranır. Bundan dolayı, sabit moment yükünde, motor hızı darbe oranı ile orantılı olacaktır. Üstelik, bu kontrol sistemi bir direncin yaptığı gibi gücü ziyan etmez.

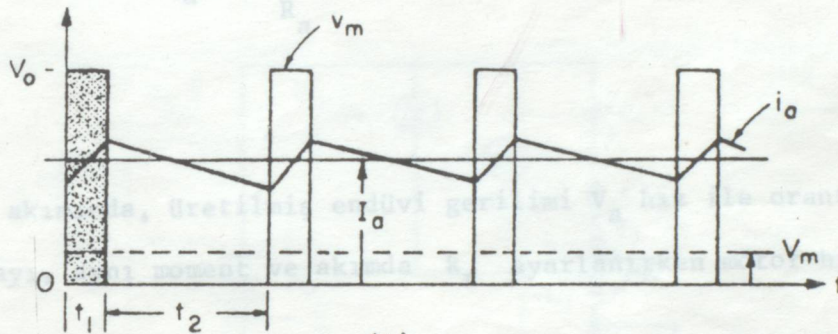
Motoru kaynağa bağlamak veya kaynaktan ayırmak, yani kaynak gerilimini kıymak için bir tristör kullanılır. Akımını sıfıra düşürmek ve her bir darbenin sonunda tristörü kapanma durumundan geri döndürmeye yetecek uzunlukta bir süre boyunca akımını sıfırda tutabilmek için tristör, kuvvetli bir komütasyon devresi ister. Bu maksatla bir kapasitör ve bir yardımcı tristör kullanılır.

Şekil 7.1a'daki basitleştirilmiş devre şu esas kısımları göstermektedir; kaynağı motora bağlamak için tristör; kapama periyotları esnasında endüvi akımını taşımak için serbest geçiş diyodu ve tristör akımını kestirme olarak kendi üzerinden geçirten ve bu suretle tristörün kapanmasına neden olan komütasyon şalteri. Darbeyi başlatmak için tristör tetiklenir ve darbeyi bitirmek için ise komütasyon anahtarı kapanır. Darbeleri üretmek ve darbe oranını ortalama motor akımı veya hızına uygun olarak kontrol etmek için ayrı bir devreye ihtiyaç vardır.

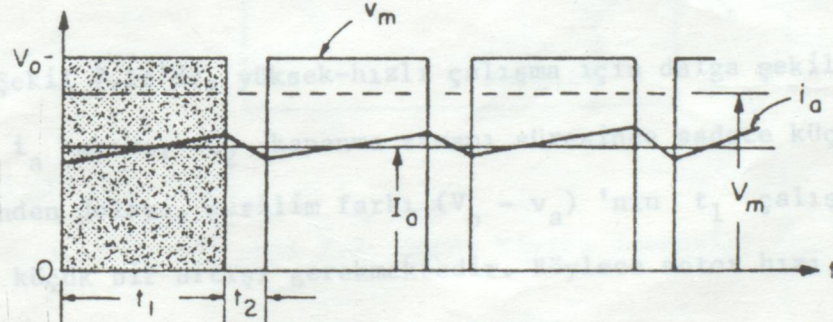
Aynı akım ve momentto, iki hız için dalga şekilleri şekil 7.1b ve c'de gösterilmiştir. Düşük-hızda çalışma için darbe oranı ve V_m ortalama motor gerilimi düşüktür. I_a ortalama akımı, moment şartlarıyla sınırlanmıştır. Motor, komütasyon anahtarı sadece t_1 çalışma zamanı süresince çalışabilir. Bu zaman sırasında, $R_a - L_a$ devresi $(V_a - v_a)$ gerilimi uygulanır ve akım üstel olarak artar. Komütasyon zamanı süresince, akım üstel olarak, aynı $R_a - L_a$ devresine uygulanmış geriliminin altına düşer. Bir k_f darbe oranı için I_a ortalama akımı ifadesi



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.1 Kıyıcı hız kontrolü: (a) Devresi, (b) Düşük hızda dalga şekilleri, (c) Yüksek hızda dalga şekilleri

Aynı akım ve momentte, iki hız için dalga şekilleri şekil 7.1b ve c'de gösterilmiştir. Düşük-hızda çalışma için darbe oranı ve V_m ortalama motor gerilimi düşüktür. I_a ortalama akımı, moment şartlarıyla sınırlanmıştır. Motor, kaynaktan enerjiyi sadece t_1 çalışma zamanı süresince alabilir. Bu zaman esnasında, $R_a - L_a$ endüvi devresine $(V_a - v_a)$ gerilimi uygulanır ve akım üstel olarak yükselir. Kapanma zamanı süresince, akım üstel olarak, aynı $R_a - L_a$ devresine uygulanan $-v_a$ geriliminin altına düşer. Bir k_r darbe oranı için I_a ortalama akım ifadesi

$$I_a = \frac{V_o k_r - V_a}{R_a} \quad (7.1)$$

dır.

Aynı I_a akımında, üretilmiş endüvi gerilimi V_a hız ile orantılıdır. Bundan dolayı, aynı moment ve akımda k_r ayarlanırken motor hızı da ona uyar.

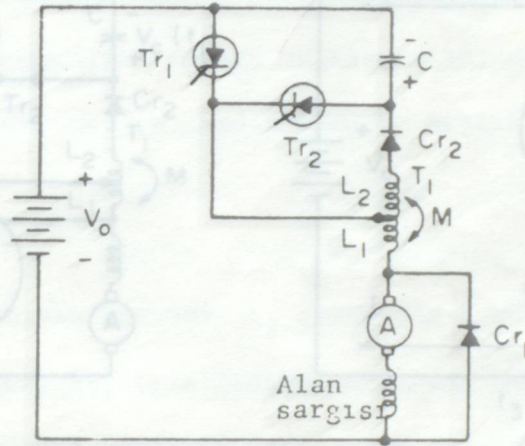
Şekil 7.1c'de, yüksek-hızlı çalışma için dalga şekilleri gösterilmiştir. i_a akımı, t_2 kapanma zamanı süresince sadece küçük bir miktar düştüğünden dolayı, gerilim farkı $(V_o - v_a)$ 'nın t_1 çalışma zamanı esnasında küçük bir artışı gerekmektedir. Böylece motor hızı, V_o değerine yakın v_a gerilimini taşımak için yükselir.

Sabit darbe oranı k_r 'de motor, belirli gerilim kontrol karakteristikleri göstermektedir. Ortalama motor gerilimi akımdan bağımsız olduğundan dolayı, direnç kontrol karakteristikleri yoktur. Hızlanma esnasında maksimum akımı sınırlamak için, devre içinde akım ayarlayıcı bir devre de bulunmalıdır. Komütasyon anahtarı akımı belli bir değerde

tutacak şekilde yapıldığından dolayı bu şart kısmen kritik olabilir. Aşırı bir akımda, tristör kapanmayacak ve kontrol kaybolacaktır.

7.3 Kıyıcı Devreler

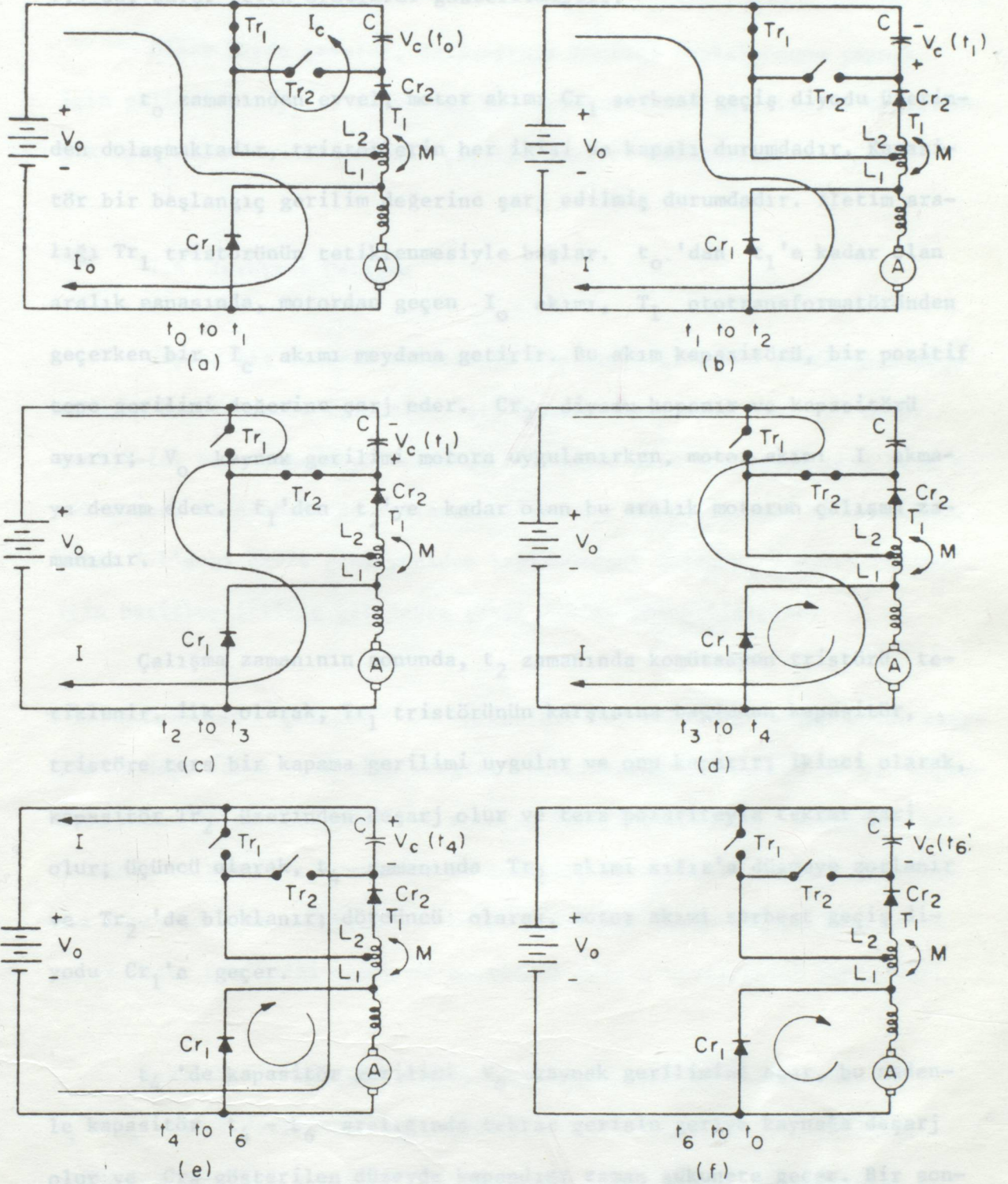
Şekil 7.2'de, Jones Devresi olarak bilinen seri motor kontrolü için kıyıcı devrenin pratik bir şeması gösterilmiştir. Bu devre akım çevirme fonksiyonunu yapmak için bir C kapasitörü, bir T_1 ototransformatörü ve bir Tr_2 tristörü kullanır.



Şekil 7.2 Jones kıyıcı devresi

Şekil 7.3'deki çalışma ve Şekil 7.4'deki dalga şekilleri bu devrenin, bir periyodunun açma ve kapanma zamanı üzerindeki komplike çalışmasını göstermektedir. Bu devrenin esas problemi, Tr_2 tristörü tetiklendiği zaman C kapasitörünü, Tr_1 ve daha sonra da Tr_2 tristörünü kesmeye yetecek kadar enerjiyle ve doğru polaritede şarj etmektir. İletimde veya çalışma durumunda, kapasitör $-V_0$ voltta şarj olur ve motor akımı,

Tr_1 tristörü ve ototransformatör'ün alçak gerilim kısmı üzerinden iletilir. Bu şemalarda tristörler anahtarlar olarak gösterilmiştir. Şekil 7.4'de, karşı akım analizi yapılmıştır.



Şekil 7.3 Çalışma periyodu süresinde Jones kıyıcı devre şekilleri

Bu devrenin detaylı çalışması şekil 7.3'de gösterilen sırada izlenebilir. Bu şemalarda tristörler anahtarlarla gösterilmiştir. Şekil 7.4'de, karşı gelen aralıklar gösterilmiştir.

Diger bütün şemalar, darbe-aralı kontrol fonksiyonunu yapmak için t_0 zamanından evvel; motor akımı Cr_1 serbest geçiş diyodu üzerinden dolaşmaktadır, tristörlerin her ikisi de kapalı durumdadır. Kapasitör bir başlangıç gerilim değerine şarj edilmiş durumdadır. İletim aralığı Tr_1 tristörünün tetiklenmesiyle başlar. t_0 'dan t_1 'e kadar olan aralık esnasında, motordan geçen I_0 akımı, T_1 ototransformatöründen geçerken bir I_c akımı meydana getirir. Bu akım kapasitörü, bir pozitif tepe gerilimi değerine şarj eder. Cr_2 diyodu kapanır ve kapasitörü ayırır; V_0 kaynak gerilimi motora uygulanırken, motor akımı I akmaya devam eder. t_1 'den t_2 'ye kadar olan bu aralık motorun çalışma zamanıdır. 1'deki devre gibi yeniden bağlanmasını isteyen, yeniden devreye için basitleştirilmiş bir devre şekil 7.5'de gösterilmiştir.

Çalışma zamanının sonunda, t_2 zamanında komütasyon tristörü tetiklenir. İlk olarak, Tr_1 tristörünün karşısına bağlanan kapasitör, tristöre ters bir kapama gerilimi uygular ve onu kapatır; ikinci olarak, kapasitör Tr_2 üzerinden deşarj olur ve ters polariteyle tekrar şarj olur; üçüncü olarak, t_4 zamanında Tr_2 akımı sıfır'a düşmeye zorlanır ve Tr_2 'de bloklanır; dördüncü olarak, motor akımı serbest geçiş diyodu Cr_1 'e geçer. t_1 zamanı da enerjinin motora verilişi zamanıdır.

t_4 'de kapasitör gerilimi V_0 kaynak gerilimini aşar, bu nedenle kapasitör $t_4 - t_6$ aralığında tekrar gerisin geriye kaynağa deşarj olur ve Cr_2 gösterilen düzeyde kapandığı zaman sükunete geçer. Bir sonraki çalışma aralığının başlangıcında kapasitör gerilimi işe yarar

düzydedir. İlave bir tristör kapasitörü, t_6 ve gelecek t_0 arasındaki kaynak gerilimine geri şarj etmek için kullanılabilir.

Diğer bütün şemalar, darbe-oranı kontrol fonksiyonunu yapmak için geliştirilmiştir. İlave olarak, ortalama motor gerilimini değiştirmek için darbe modülasyonunun çeşitli tipleri kullanılır.

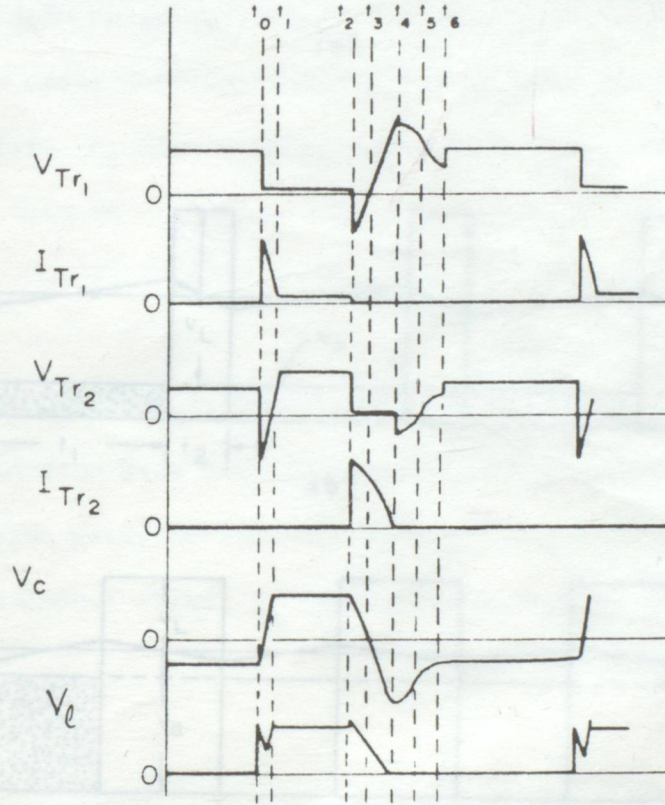
7.4 İnverter Çalışma

Kıyıcı hız kontrol devresinin bir özelliği de bu devrenin sadece motorun hız kontrolu için elverişli olması değil aynı zamanda, motor enerjisini bataryaya veya herhangi bir doğru akım kaynağına geri vere - rek motoru frenlemede de kullanılabilir. Bir diyot ilavesi ve endüvinin şekil 7.1'deki devre gibi yeniden bağlanmasını isteyen, yeniden üretme için basitleştirilmiş bir devre şekil 7.5'de gösterilmiştir.

İnverter çalışma prensibi; hat kesildiği zaman motor enerjisini depo etmek için alan sargısı endüktansının kullanımı ve hat kapandığı zaman da endüktanstaki ve motorun direkt çıkışındaki enerjinin her ikisinin de geri verilmesidir. Bu prensip, motor hatta bağlandığı zaman hız kontrolu için endüktansın enerji depolamak üzere kullanılmasına ve motor hattı kesildiği zaman da enerjinin motora verilmesine benzerdir.

Şekil 7.5'deki şarj aralığı esnasında tristör iletimdedir ve $R_a - L_a$ endüvi devresine v_a endüvi gerilimi uygulanır. Bu gerilim, endüktans enerjiyi yutarken i_a akımının üstel olarak yükselmesine neden olur. Şekil 7.5b' ve c'de bu aralık t_1 ile gösterilmiştir. Aynı

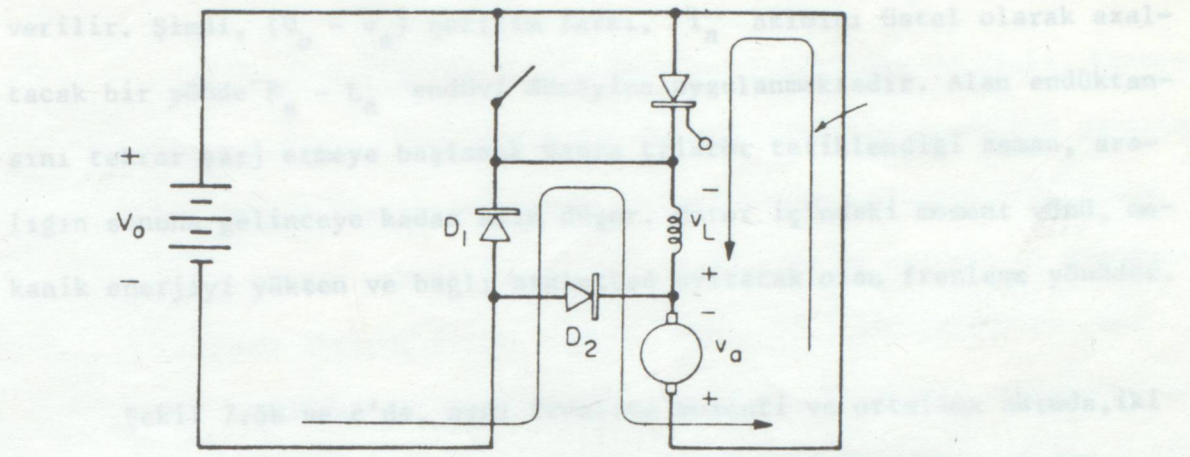
zamanda, eğer endüvi gerilimi $v_a < V_o$ ise, D_1 ve D_2 diyotları kapanır. i_a akımı önceden tayin edilmiş bir değere yükseldiği zaman tristör kapalı konuma çevrilir ve endüvi akımı, D_1 diyodu üzerinden inverter çalışma devresine geçer.



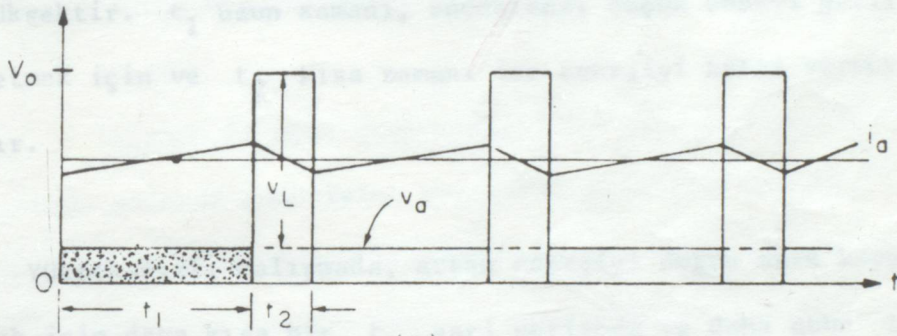
Şekil 7.4 Periyot süresince dalga şekilleri

Şekil 7.5 Inverterin çalışma prensibi (a) boşta (b) düşük hızda (c) yüksek hızda

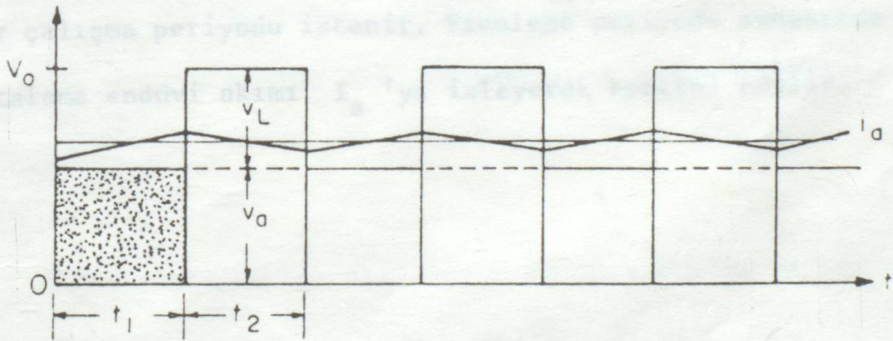
t_2 inverter çalışmaya başladığı anıdır, enerji bataryaya geri



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.5 Inverter çalışmaya geçme; (a) devre ; (b) düşük hızda
(c) yüksek hızda

t_2 inverter çalışma aralığı süresince, enerji bataryaya geri verilir. Şimdi, $(V_o - v_a)$ gerilim farkı, i_a akımını üstel olarak azaltacak bir yönde $R_a - L_a$ endüvi düzeyine uygulanmaktadır. Alan endüktansını tekrar şarj etmeye başlamak üzere tristör tetiklendiği zaman, aralığın sonuna gelinceye kadar akım düşer. Motor içindeki moment yönü, mekanik enerjiyi yükten ve bağlı ataletten ayıracak olan frenleme yönüdür.

Şekil 7.5b ve c'de, aynı frenleme momenti ve ortalama akımda, iki hız değeri için dalga şekilleri gösterilmiştir. Düşük hızlı çalışma için, darbe oranı denilen, tristör iletim zamanının toplam zamana oranı k_r , yüksektir. t_1 uzun zamanı, endüktansı düşük endüvi geriliminden şarj etmek için ve t_2 kısa zamanı ise enerjiyi hatta vermek için kullanılır.

Yüksek-hızlı çalışmada, artan enerjiyi doğru akım kaynağına iletmek için daha kısa bir t_1 şarj periyodu ve daha uzun bir t_2 inverter çalışma periyodu istenir. Frenleme periyodu esnasında darbe oranı ortalama endüvi akımı I_a 'yı izleyerek kontrol edilir.

8. SONUÇ

Endüstride kullanılan gerilimin türü çoğunlukla üç fazlı, kısmen de tek fazlı A.C dir. Bu nedenle A.C $\rightarrow$ D.C. dönüştürülerek D.C gerilim eldesi son derece pratiktir. Ayrıca tristörlü veya diyotlu doğrultucu devrelerinde ortaya çıkan komütasyon doğaldır ve bu nedenle ek komütasyon devrelerine ihtiyaç yoktur. Ancak A.C $\rightarrow$ D.C dönüşümünden elde edilen D.C geriliminin harmonikleri, özellikle tristörlü doğrultucularda α (tetikleme açısı)'nın 90° olduğu yerlerde maksimumdur ve son derece etkilidir. α 'nın 0° 'den büyük olduğu yerlerde ise D.C gerilimin düzgünlüğü oldukça bozulmaktadır ve dalgalanma büyümektedir.

D.C $\rightarrow$ D.C ayar veya Chopper Tekniği (Kıyıcı) ile yapılan hız ayarında, motorun endüvisine uygulanan gerilimin değiştirilmesi daha kolaydır. Ancak elemanların iletimden çıkarılması için ek (zorlamalı komütasyon) düzenlere ihtiyaç vardır. Ayrıca motor gerilimine göre özel D.C kaynaklar kullanılmalıdır. Birinci montajda gerekli olan dönüştürücü transformatörüne burada ihtiyaç yoktur ve genelde sistemin güç kaybı daha azdır.

Sonuç olarak her iki yöntem de, kullanılma yerine göre tercih edilmelidir, çünkü her ikisinin de faydalı ve mahsurlu yanları bulunmaktadır. Ancak, birinci yöntem sanayide çok kullanılır, çünkü dönüştürücü transformatörünün çeşitli bağlantı şekilleriyle ve doğrultucu elemanların arzu edilen değişik şekilde bağlantısı ile D.C gerilim eldesi pratikte kolaylıkla yapılabilmektedir.

ÖZGEÇMİŞ

9. KAYNAKLAR

1 - KUSKO, A. Solid State DC Motor Drives, M.I.T. Press, 1969.

2 - FITZGERALD, A.E., KINGSLEY, JR. C., KUSKO, A. Electric Machinery, McGraw-Hill, 1971.

3 - GÜLGÜN, R. Güç Elektronikğine Giriş, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 1980.

4 - RICHARDSON, J., DR. Utilization Of Electrical Energy, M.E.T.U. Press, 1978.

Ö Z G E Ç M İ Ş

1955 yılında Manastır'da doğdum. Orta öğrenimimi İstanbul'da tamamladım.

1975 yılında İ.D.M.M.A. Işık Müh. Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine başladım. 1980 yılında lisans öğrenimimi bitirdim ve aynı yıl içinde mezun olduğum okulda uzman olarak göreve başladım.

1982 yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Elk. Müh. Bölümünde yüksek lisans öğrenimine girdim. Halen Yıldız Üniversitesi'nin aynı bölümünde uzman olarak görevime devam etmekteyim.

