

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## Gaç Doğrultucuların İncelenmesi

Hüseyin Demircan

Yüksek Lisans Tezi

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON  
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R.152.....  
141  
Alındığı Yer : Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tarih : 20.4.1992.....  
Fatura : .....  
Fiyatı : 25.000.-.....  
Ayniyat No 2/2.....  
Kayıt No 48352.....  
UDC : 621.3.....378.242.....  
Ek : .....



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
D.S. No 46130

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

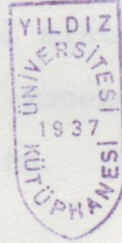
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu tez, sanayide oldukça yaygın kullanılan bulunan elektrik güç doğrultucularının tasarımlarını ve kontrollerini içermektedir.

Doğrultucuların tasarımı, fazla karmaşık formüllere girmeden, daha ziyade netice olarak verilemeye çalışıldı. Sanayide çalışan, işletmeciler ve tasarımcıların karşılaştıkları problemlerin çözümüne yardımcı olacak şekilde incelendi.

Günümüzde, her alanda olduğu gibi, güç doğrultucularının da korunma ve emniyetle çalışmalarıyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. İşletmenin özelliğine göre bu sistemler ya elektro-mekanik bir yapıya ya da elektronik teknolojilerin desteğiyle yapılmaktadır. Bu tez kapsamında bir mikro işlemci destekli güç doğrultucunun kontrol ve emniyet tasarımları yapılmıştır.

## GÜÇ DOĞRULTUCULARIN İNCELENMESİ VE SANAYİDE KULLANILMASI



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk.Müh. H.Hüseyin DEMİRCAN

İSTANBUL-1990

## ÖZET

## ABSTRACT

Bu tez, sanayide oldukça yaygın kullanma alanı bulunan elektrik güç doğrultucularının teorilerini ve kontrollerini içermektedir.

Doğrultucuların teorisi, fazla karmaşık formüllere girmeden, daha ziyade netice olarak verilmeye çalışıldı. Sanayide çalışan, işletmeci ve imalatçıların karşılaştıkları problemlerin çözümüne yardımcı olacak şekilde incelendi.

Günümüzde; her alanda olduğu gibi, güç doğrultucularında koruma ve kontrolleri artık otomatik sistemlerle yapılmaktadır. İşletmenin özelliğine göre bu sistemler ya elektro-mekanik bir yapıda, yada daha ileri teknolojilerin denetimiyle yapılmakta. Bu tezin sonunda bir mikro işlemci denetimli doğrultucunun kontrol sistemi incelenmiştir.

Bu tez çalışmasını yöneten Sayın Hocam Doç.Dr. Asım KASAPOĞLU'na teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
BÖLÜM 1	1
1.1. Doğrultucuların Kullanılması	1
1.2. Çeşitli Doğrultucuların Teorik Olarak Tanıtılması	3
1.3. Tek Fazlı Doğrultucular	3
1.3.1. Yarım Dalga Doğrultucular	3
1.3.2. Tam Dalga Doğrultucular	6
<p>The present thesis covers the theory and controls of electric power rectifiers which have a wide range of applications in the industry.</p>	
1.4. Üç Fazlı Doğrultucular	14
1.5. LC-Filtreli Doğrultucuların İncelenmesi	30
1.5.1. Tek Fazlı LC-Filtreli Doğrultucular	20
1.5.2. Üç Fazlı LC-Filtreli Doğrultucular	23
<p>Rectifier theory is given here with the stress on results. Rather than going into overcomplicated formulae, it is presented in a manner which would help manufacturers, managers and employees in solving problems they could face.</p>	
1.5.3. Enerji Radyatörlü Tam DC	48
2.3. Üç Fazlı Köprü Tipi Doğrultma Devresinin	50
<p>Power rectifiers are protected and controlled by automatic systems today, as in other fields. These systems are either electromechanical or of more advanced technology, depending on the installation. The last part of the thesis deals with the control system of a microprocessor controlled rectifier.</p>	
2.3.1. Enerji Radyatörlü Üç Fazlı Köprü Devresi	53
2.3.2. Enerji Radyatörlü Üç Fazlı Köprü Devresinin	57
BÖLÜM 4. TEORİK TİPİK-TEK DEVRELERİ	93
4.1.1. Enerji Radyatörlü Kontrol Devresi	93
<p>I would like to express my gratitude to my esteemed professor, Doç.Dr.Asım KASAPOĞLU, who has provided me with orientation in preparing this thesis.</p>	
4.1.2. Enerji Radyatörlü Kontrol Devresinin İncelenmesi	99
4.2. Enerji Radyatörlü Kontrol Devresinin İncelenmesi	100
KAYNAKLAR	105

## İÇİNDEKİLER

GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 1 .....	1
1.1. Doğrultucuların Sanayide Kullanılması ....	1
1.2. Çeşitli Doğrultucuların Teorik Olarak Tanıtılması .....	3
1.3. Tek Fazlı Doğrultucular .....	3
1.3.1. Yarım Dalga Doğrultucular .....	3
1.3.2. Tam Dalga Doğrultucular .....	6
1.4. Üç Fazlı Doğrultucular .....	9
1.4.1. Yarım Dalga Doğrultucular .....	9
1.4.2. Transformator Kaçak Reaktanslar ....	12
1.4.3. Üç Fazlı Tam Dalga veya Altıfaz Yarım dalga Doğrultucular .....	14
1.4.4. Üç Faz Köprü Doğrultmalı Devreler .	17
1.5. LC-Filtreli Doğrultucuların İncelenmesi .	20
1.5.1. Tek FAZlı LC-Filtreli Doğrultucular	20
1.5.2. Üç Fazlı LC-Filtreli Doğrultucular	25
1.6. Doğrultucular İçin Filtreli Reaktörün Dizaynı .....	29
1.6.1. Filtre Dizayn İçin Bir Örnek .....	33
BÖLÜM 2. DOĞRULAMA DEVRELERİNDE GİRİŞ TRANSFORMATÖRLERİ	39
2.1. Doğrultucuların Güç Transformator Dizaynı	39
2.2. Güç Transformatorlerinin Yağtankı Dizaynı	45
2.2.1. Kıvrım Cidarlı Tank .....	46
2.2.2. Boru Radyatörlü Tank .....	48
2.3. Üç Fazlı Köprü Tipi Doğrultma Devresinin Transformator Dizaynı .....	50
2.4. Doğrultma Devrelerinin Karakteristik Değerleri .....	71
BÖLÜM 3. KONTROLLU DOĞRULTMA DEVRELERİ .....	73
3.1. Doğrultucuların Kontrol Edilmesi .....	73
3.2. Üç-Faz'lı Doğrultucuların Kontrol Edilmesi	75
3.2.1. Yarım Dalga Doğrultucuların Kontrolü	76
3.2.2. Altı-Faz Yarım Dalga Doğrultucuların Kontrolü .....	80
3.2.3. Yarım Dalga Kontrollü Köprü Devreleri .....	83
3.2.4. Tam Dalga Kontrollü Köprü Devreleri	87
BÖLÜM 4. TRİSTÖR TETİKLEME DEVRELERİ	93
4.1.1. Ters-Kosinüs Kontrol Devresi .....	93
4.1.2. Zamanla Dalga Çoğaltmalı Tetikleme Devreleri .....	96
4.2. Sert Krom Kaplama Tesisinde Kullanılan 10 Volt-6000 Amper Çıkışlı Bilgisayar Kontrollü Doğrultma Devresinin İncelenmesi	99
4.2.1. Doğrultucunun Yapısı .....	99
4.2.2. Kontrol Sisteminin İncelenmesi ....	100
KAYNAKLAR .....	105

## BÖLÜM 1

### 1.1. SANAYİDE DOĞRULTUCULARIN KULLANMA ALANLARI

Doğrultucuların kullanma alanı oldukça geniştir. Günümüz yarıiletken teknolojisindeki hızlı gelişmeyle paralel olarak, güç elektroniği de yaygınlaşmıştır. Güç elektroniği içinde kontrollü veya kontrolsüz olsun doğrultucular geniş bir yer tutar. Doğrultucular, kullanıldıkları amaca göre çok farklı özelliklere sahiptirler. Evlerimizde, radyo için kullandığımız mA mertebesindeki adaptörden, metal sanayinde kullanılan büyük güçlü kA mertebesindeki doğrultuculara kadar çeşitli tipler vardır.

Elektronik teknolojisindeki gelişmeler; doğrultucuların kontrolünü ve kullanılmasını karmaşık hale getirmektedir. Kontrollü doğrultucular; el ile veya otomatik kontrol edildiği gibi, mikro işlemcilerle programlı çalıştırılmaktadır. Doğrultucu tesisin; akım, gerilim kontrolü yanısıra, aşırı yüklenmeleri, ısınmaları, şebeke beslenmesinden doğan faz eksikliği gibi durumlar da otomatik kontrol edilir ve işletmeciyi ikaz eder. Güçlü doğrultucuların sanayide kullanma alanları başlıca;

- Metal kaplama banyoları (Galvona teknik sektörü)
- Kaynak makinelerinde

- Elektrik motorlarının güç besleme sistemlerinde

- Ulaşım sektöründe

- Elektro metal sanayinde.

Bunun gibi daha başka sektörlerde yaygın kullanma alanları vardır.

Doğrultucular kullanıldıkları sektöre göre, çeşitli özellikleri vardır. Bunların imalatı değişik karakteristiklerde olur. Kimisinin kontrolü akım değerine bağlıdır, kimisinin ki gerilim değerlerine bağlıdır. Bir metal kaplama tesisinde; doğrultucunun sabit akımla yüklenmesi istenir. Çünkü kaplamanın özelliğine göre, kaplanan yüzeyin  $dm^2$  başına sabit bir akım değeri ile kaplanması, kaliteli bir kaplama sağlayacağından, kaplama akımı, bu hesaplanan akım değerinde olması istenir. Şebeke voltajındaki değişimlerden, kaplama banyosunun ısı değişiminden ve elektrolitin aktivitesinin değişiminden etkilenmesi istenmez. Bazı sistemlerde ise gerilimin sabit olması istenir. Günümüz sanayisinde yaygın bir şekilde gelişen CNC takım tezgahların (bilgisayar kontrollü) daki, güç ünitelerinde doğrultucular kullanılmakta ve bu doğrultucudan elde edilen doğru gerilimin sabit değerde olması istenilir. Ayrıca bazı doğrultucularda kullanılma özelliklerine göre hem gerilim, hemde akım kontrolludurlar. Bunlara örnek olarak, büyük güçteki kaynak makinalarını gösterebiliriz.

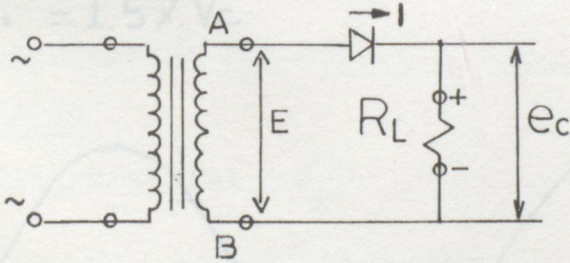


## 1.2. ÇEŞİTLİ DOĞRULTUCULARIN TEORİK OLARAK TANITILMASI

Bu bölümde doğrultucuların elektriksel olarak tanımını vereceğiz. Asıl bizi ilgilendiren üç fazlı güçlü doğrultucuların olmasına rağmen, temel olarak tek fazlı doğrultucuların yapısı kısaca ifade edilecektir.

### 1.3. TEK FAZLI DOĞRULTUCULAR

#### 1.3.1. YARIM DALGA DOĞRULTUCULAR



Şekil 1. Rezistif yüklü tek fazlı yarım dalga doğrultucu.

$$e = E_m \sin \omega t$$

$$E_m = \sqrt{2} E$$

$$e = \sqrt{2} E \sin \omega t \quad (1)$$

$V_c =$  Ortalama yük voltajı

$$V_c = \frac{1}{2\pi} \left\{ \int_0^{\pi} \sqrt{2} E \sin \omega t d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} 0 d(\omega t) \right\}$$

$$\underline{V_c = 0.45 E}$$

(Ortalama voltaj değeri)

(2)

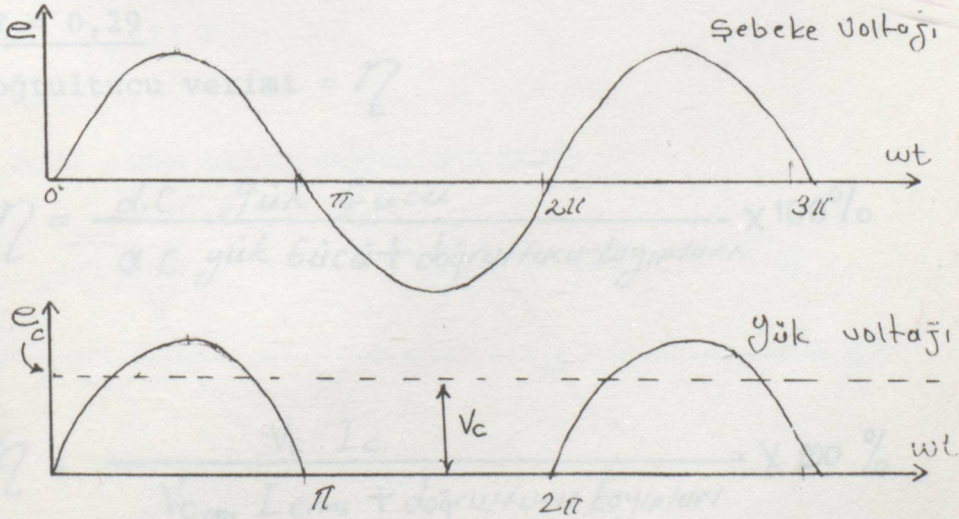
$V_{Crms} =$  Efektif voltaj değeri

$$V_{Crms} = 0.707 E$$

(3)

$$V_{Crms} = 1.57 V_c$$

(4)



Şekil 2. Tek fazlı yarım dalga doğrultucunun çıkış dalga formu.

$I_c$  = Ortalama yük akımı;

$$I_c = V_c / R_L = 0.45 E / R_L = 0.45 E / R_L \quad \text{---} \quad (5)$$

$$I_{c_{rms}} = 0.707 E / R_L \quad \text{(Efektif değer)} \quad \text{---} \quad (6)$$

$$I_m = E_m / R_L = \pi \cdot V_c / R_L \quad \text{(Max. peak. akım)} \quad (7)$$

Form faktör değeri (FF);

$$FF = V_{c_{rms}} / V_c = 1,57 \quad \text{---} \quad (8)$$

Sekonder çıkış gücü;  $P_{ac}$

$$P_{ac} = E I_{c_{rms}} \quad (9)$$

$$P_{ac} = 1,57 V_c \cdot I_c / 0.45$$

$P_c$  = Yük gücü

$$P_{ac} = 3,49 P_c \quad (10)$$

UF = faydalanma faktörü

$$UF = 0,29 \quad (11)$$

Doğrultucu verimi =  $\eta$

$$\eta = \frac{\text{d.c. yük Gücü}}{\text{a.c. yük Gücü} + \text{doğrultucu kayıpları}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{V_c \cdot I_c}{V_{c_{rms}} \cdot I_{c_{rms}} + \text{doğrultucu kayıpları}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{40.6}{1 + \frac{R}{R_L}} \% \quad (12)$$

Dalgalanma faktörü;  $\gamma$

$$\gamma = \frac{[V_{Crms}^2 - V_C^2]^{1/2}}{V_C}$$

$$\gamma = \frac{V_C [1,57^2 - 1]^{1/2}}{V_C}$$

$$\underline{\underline{\gamma = 1,21}}$$

(13)

$$V_C = 0,9E - R_L I_C \quad (\text{yük ortalama voltaj değeri}) \quad (16)$$

$$V_{Crms} = 1,11V_C \quad (17)$$

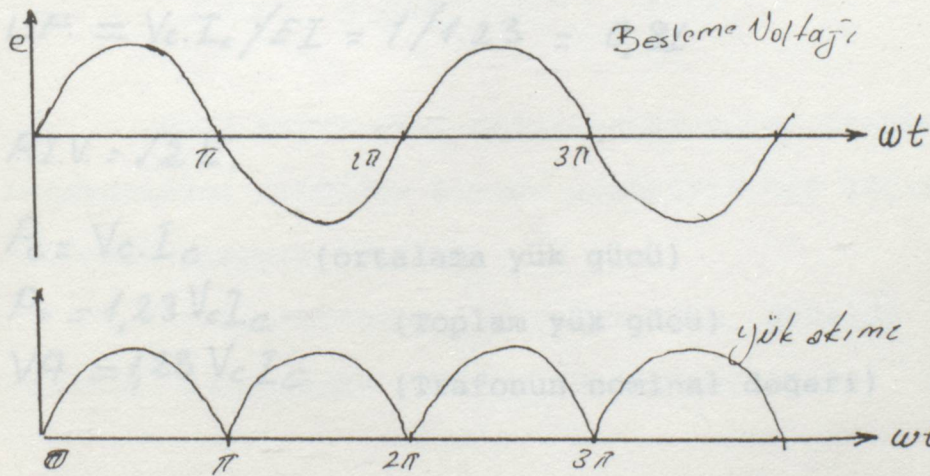
Diyotta oluşan ters voltajın tepe değeri; PIV

$$PIV = 1,414 E$$

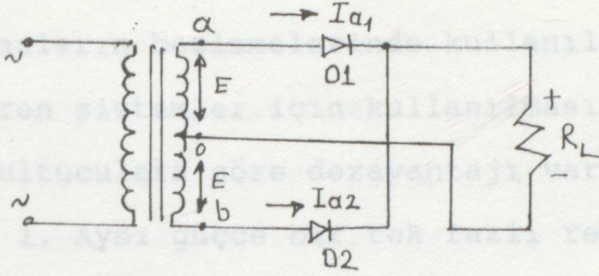
(14)

$$I_C = 0,9E / R_L \quad (\text{ortalama yük akımı}) \quad (18)$$

### 1.3.2 TAM DALGA DOĞRULTUCULAR



Şekil 3. Tam dalga doğrultucu



Şekil 4. Tam dalga doğrultucunun çıkış voltajı

$$V_c = 0.9E = R_L I_c \quad (\text{Yük ortalama voltaj değeri}) \quad (15)$$

$$V_{c_{rms}} = 1.11 V_c \quad (16)$$

$$E = V_{c_{rms}} \quad (17)$$

$$FF = 1.11 \quad (18)$$

$$I_c = 0.9E / R_L \quad (\text{ortalama yük akımı}) \quad (19)$$

$$I_{c_{rms}} = E / R_L \quad (\text{efektif yük akımı}) \quad (20)$$

$$L.F. = V_c \cdot I_c / E I = 1 / 1.23 = 0.81 \quad (21)$$

$$P.I.V. = \sqrt{2} E \quad (22)$$

$$P_c = V_c \cdot I_c \quad (\text{ortalama yük gücü}) \quad (23)$$

$$P_T = 1.23 V_c I_c \quad (\text{Toplam yük gücü}) \quad (24)$$

$$VA = 1.23 V_c I_c \quad (\text{Trafonun nominal değeri}) \quad (25)$$

den, tek Incelediğimiz tek fazlı bu doğrultucular genelde küçük cihazların beslemelerinde kullanılır. Çünkü büyük güç gerektiren sistemler için kullanılmasında pratikte; tek fazlı doğrultuculara göre dezavantajı vardır. Bunlar şunlardır.

1. Aynı güçde bir tek fazlı redresörün transformator yapımı, trifaze sisteme göre zahmetli ve kabadır. Çünkü bobin kesitleri üç fazlı cihaza göre oldukça büyüktür. Saç nüveside hacim olarak daha kabadır.

2. Tek fazlı tam dalga bir doğrultucuda kullanılan doğrultucu yarı iletken elemanından geçen akım, trifaze sisteminde kullanılan doğrultucu yarı iletken elemanından geçen akımından çok daha büyük olacaktır.

$$I_{C1} = \text{Tek fazlı}$$

$$I_{C3} = \text{Üç fazlı}$$

$$\frac{I_{C1}}{I_{C3}} = \frac{1}{0,409} \approx 2,5 \text{ katı}$$

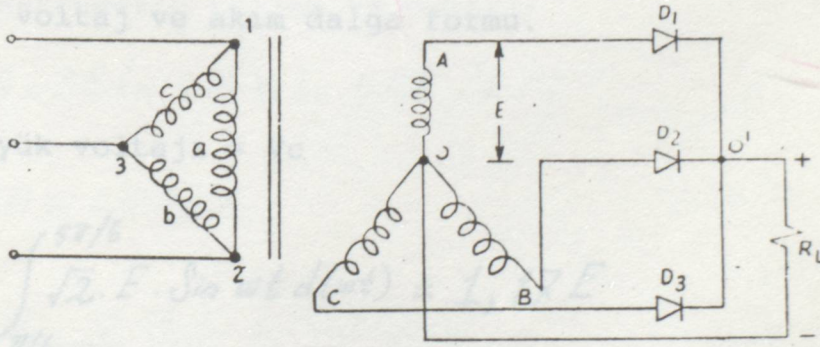
Daha büyük akım değerindeki yarı iletken fiyatları matematiksel artmadan ziyade geometrik bir artış olduğundan ekonomik olmamaktadır.

3. Doğrultucuların çıkışından, genelde iyi filitre edilmiş, dalgalanma yüzdesi düşük gerilimler istenildiğinin-

den, tek fazlı doğrultucular, üç fazlı sistemlere göre çok dezavantajlıdır. Tek fazda düzgün bir gerilim formu elde etmek için büyük kapasite değerlerinde kondansatör ve bobinlerden oluşan filitreler yapmak gerekiyorki buda oldukça pahalı ve kaba bir sistemdir. Oysa üç fazlı sistemlerde bu filitrelere hemen hemen hiç ihtiyaç yoktur. Çünkü dalgalanma yüzdeleri çok küçük değerlerdedir.

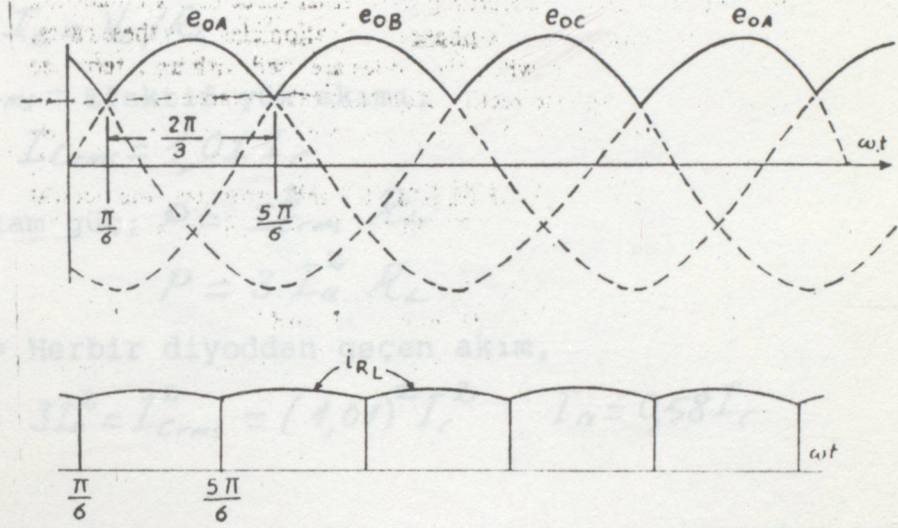
#### 1.4. ÜÇ FAZLI DOĞRULTUCULAR

##### 1.4.1. YARIM DALGA DOĞRULTMALI-DİRENÇ YÜKLÜ DOĞRULTUCULAR



Şekil 5. Üç-faz yarıml dalga doğrultucular.





Şekil 6. Direnç yüklü üç fazlı yarım dalga doğrultucuların voltaj ve akım dalga formu.

Ortalama yük voltajı =  $V_c$

$$V_c = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \omega t d(\omega t) = 1,17 E \quad (26)$$

$$\text{Efektif yük voltajı} = V_{crms} = 1,19 \cdot E \quad (27)$$

$$\text{Yük form faktörü; } FF = V_{crms}/V_c = 1,01 \quad (28)$$

$$\gamma = \frac{\text{a.c. Voltajı}}{\text{d.c. Voltajı}} = \frac{(V_{crms}^2 - V_c^2)^{1/2}}{V_c}$$

$$\gamma = \frac{(1,19^2 - 1,17^2)^{1/2}}{1,17} = \underline{\underline{0,185}} = \gamma \quad (29)$$



$$P.I.V. = \sqrt{2} \cdot 1,732 E = \text{(Diyod ters voltajı)} \quad (30)$$

$I_c$ ; Ortalama yük akımı

$$I_c = V_c / R_L \quad (31)$$

$I_{Crms}$  = Efektif yük akımı;

$$I_{Crms} = 1,01 I_c \quad (32)$$

Toplam güç;  $P = I_{Crms}^2 \cdot R_L$

$$P = 3 \cdot I_\alpha^2 \cdot R_L \quad (33)$$

$I_\alpha$  = Herbir diyoddan geçen akım,

$$3I_\alpha^2 = I_{Crms}^2 = (1,01)^2 I_c^2 \quad I_\alpha = 0,58 I_c \quad (34)$$

$I_\alpha$  akımı trafonun sekonder sargısından geçen akımın kendisi olduğuna göre; her bir fazın; VA değeri  $E \cdot I_\alpha$  olduğuna göre sekonderin toplam VA değeri;

$$VA = 3 E I_\alpha = 3 V_c I_c \cdot 0,58 / 1,17$$

$$V.A = 1,5 V_c I_c$$

$$(V.A_{\text{sekonder}} = 1,5 \times \text{yük gücü}) \quad (35)$$

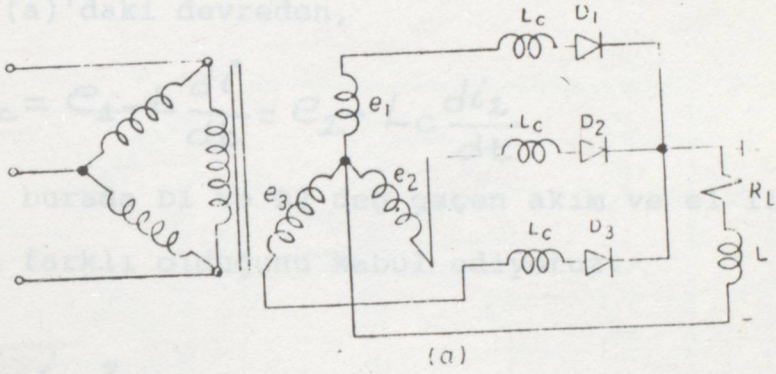
$$UF = V_c I_c$$

$$I_L = \sqrt{2} I_\alpha = \sqrt{2} \times 0,58 I_c \quad I_L = 0,82 I_c \quad (36)$$

$$UF = V_c I_c / VA_{\text{nominal}} = V_c I_c / 1,5 V_c I_c$$

$$\text{Faydalanma faktörü; } \underline{\underline{UF = 0,66}} \quad (37)$$

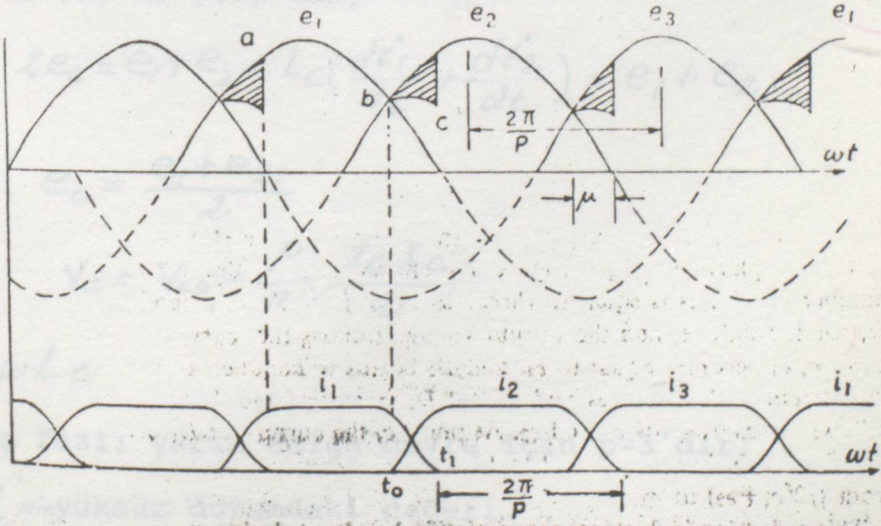
## 1.4.2. TRANSFORMATÖR KAÇAK REAKTANSIN ETKİLERİ



$$e_1 + e_2 + e_3 = e_1 + e_2 + e_3 = \text{abart}$$

$$\frac{de_1}{dt} + \frac{de_2}{dt} = 0$$

(a)



(b)

Şekil 7. Kaçak reaktans trafolu doğrultucunun çıkış voltaj ve akım dalga formu.

Şekil 7(a)'daki devreden,

$$e_c = e_1 - L \frac{di}{dt} = e_2 - L_c \frac{di_2}{dt} \quad (38)$$

burada D1 ve D2 den geçen akım ve e1 ile e2 gerilimlerinin farklı olduğunu kabul ediyoruz.

$$i_1 + i_2 = I_c = \text{sabit} \quad (39)$$

$$\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} = 0 \quad (40)$$

Denklem (38 ve (40)'dan;

$$2e_c = e_1 + e_2 - L_c \left( \frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} \right) = e_1 + e_2$$

$$e_c = \frac{e_1 + e_2}{2} \quad (41)$$

$$V_c = V_{c0} - \frac{p}{\pi} \frac{I_c X_c}{2}$$

$$X_c = \omega L_c$$

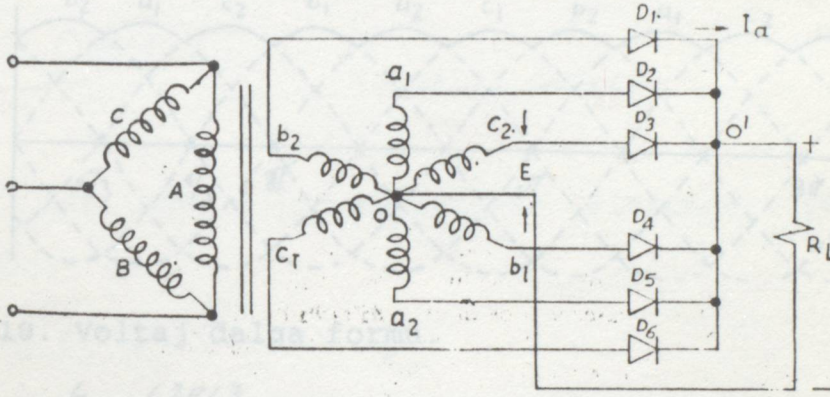
p = Üç fazlı yarım dalga devre için p=3'dir.

$V_{c0} = V_c$ 'nin yüksüz durumdaki değeri.

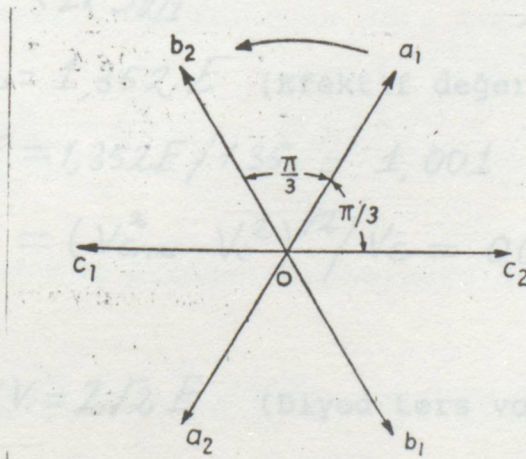
(42) eşitliğinde gösteriyorki yük akımının artmasıyla doğrultucu voltajı lineer olarak azalmaktadır.

Şekil 9. Vektör diyagramı

1.4.3. ÜÇ FAZ TAM DALGA VEYA ALTI FAZ YARIM DALGA DOĞRULTUCULAR



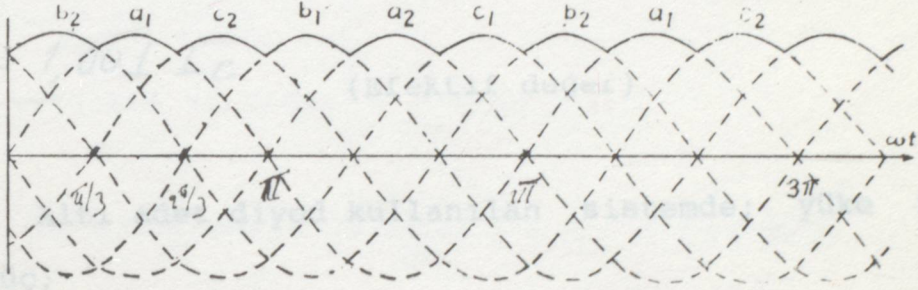
Şekil 8. Üç faz tam dalga doğrultulmuş veya altı faz yarım dalga doğrultulmuş.



Şekil 9. Vektör diyagramı.

$I_c =$  Ortalama yük akımı;

$$I_c = V_c / R_c \quad (48)$$



Şekil 10. Voltaj dalga formu.

$$V_c = \frac{6}{2\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \omega t \cdot d(\omega t)$$

$$V_c = 1,35 \cdot E \quad (\text{ortalama değer}) \quad (43)$$

$$V_{Crms} = \left( \frac{6}{2\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} 2 \cdot E^2 \sin^2 \omega t \cdot d(\omega t) \right)^{1/2}$$

$$V_{Crms} = 1,352 \cdot E \quad (\text{Efektif değer}) \quad (44)$$

$$F.F = 1,352E / 1,35 = 1,001 \quad (45)$$

$$R.F = (V_{Crms}^2 - V_c^2)^{1/2} / V_c = 0,06 \quad (46)$$

$$P.I.V. = 2\sqrt{2} E \quad (\text{Diyod ters voltaj değeri}) \quad (47)$$

$I_C$  = Ortalama yük akımı;

$$I_C = V_C / R_L \quad (48)$$

$$I_{C_{rms}} = 1,001 I_C \quad (\text{Efektif deger}) \quad (49)$$

Altı adet diyod kullanılan sistemde; yüke iştirak eden güç;

$$6 \cdot I_\alpha^2 \cdot R_L = I_{C_{rms}}^2 \cdot R_L$$

$$I_\alpha = 1,001 I_C / \sqrt{6}$$

$$I_\alpha = 0,409 I_C \quad (50)$$

Trafonun her faz akımı  $I_\alpha$  ile aynıdır. Her bir fazın gücü VA olarak  $E \cdot I_\alpha$  olduğuna göre toplam sekonder VA değeri;

$$\underline{VA_{sekon.}} = 6 \times \frac{V}{1,35} \times 0,409 I_C = \underline{1,82 V_C I_C} \quad (51)$$

Trafonun primer sargısından geçen akımın RMS değeri

$$I_p = \sqrt{2} I_\alpha = 1,414 I_\alpha = 0,578 I_C \quad (52)$$

Primer hat akımı;  $I_L$

$$I_L = \sqrt{2} I_p = 0,818 I_c \quad (53)$$

primer VA değeri;

$$VA = 3 E I_p = (3 \cdot V_c / 1,35) (0,578 I_c)$$

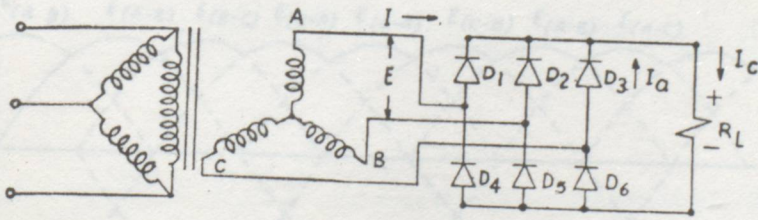
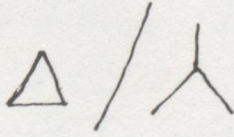
$$VA = 1,28 V_c I_c \quad (54)$$

primer ortalama VA değeri =  $VA_{(ortalama)}$

$$VA_{(ortalama)} = \frac{1,82 + 1,28}{2} V_c I_c = 1,55 V_c I_c \quad (55)$$

$$UF = 1/1,55 = 0,65 \quad (56)$$

#### 1.4.4. KÖPRÜ DOĞRULTMALI ÜÇ FAZ DOĞRULTUCULAR



Şekil 11. Üç faz köprü doğrultucular.

Ortalama voltaj  $V_0$ ;

$$V_0 = \frac{6}{2\pi} \int_0^{2\pi/3} \sqrt{2} E \sin \omega t d(\omega t) = 1,35 E \quad (57)$$

$$V_{0_{rms}} = 1,35 E \quad (58)$$

$$R E = (V_0^2 - V_C^2) / R \quad (59)$$

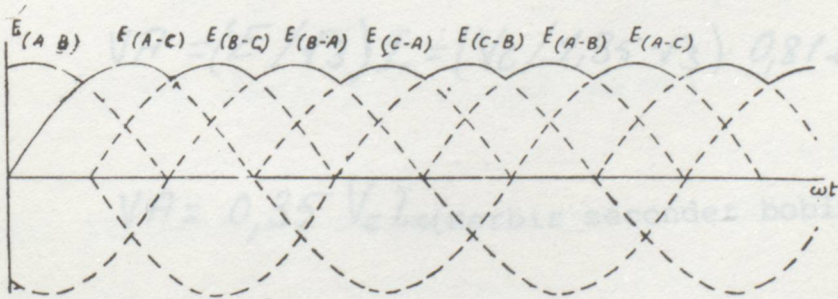
$$R I V = \sqrt{3} E \quad (60)$$

$$I_{0_{rms}} = 1,35 V_0 / \sqrt{3} R_L = 1,001 V_0 / R_L$$

Diyodlardan geçen Şekil 12. vektör diyagramı.

$$3I_0^2 = I_{0_{rms}}^2 \quad I_A = I_{0_{rms}} / \sqrt{3} = 0,58 I_0 \quad (61)$$

$$I = \sqrt{3} I_A = \sqrt{3} \cdot 0,58 I_0 = 0,82 I_0 \quad (62)$$



Yaklaşık olarak bazı kayıpları ihmal ederek ve trafo-  
fonun sekonderi ile primerdeki güçlerini de aynı kabul  
ederek;

Şekil 13. Voltaj dalga formu.



Ortalama voltaj  $V_c$ ;

$$V_c = \frac{6}{2\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \omega t d(\omega t) = 1,35 E \quad (57)$$

$$V_{C_{rms}} = 1,352 E \quad (58)$$

$$R_F = (V_{C_{rms}}^2 - V_c^2)^{1/2} / 1,35 E = 0,06 \quad (59)$$

$$P.IV. = \sqrt{2} E \quad (60)$$

$$I_c = V_c / R_L$$

$$I_{C_{rms}} = 1,35 V_c / 1,382 R_L = 1,001 V_c / R_L$$

Diyodlardan geçen akım =  $I_a = ?$

$$3I_a^2 = I_{C_{rms}}^2 \quad I_a = I_{C_{rms}} / \sqrt{3} = 0,58 I_c \quad (61)$$

$$I^2 = 2 I_a^2$$

$$I = \sqrt{2} I_a = \sqrt{2} \cdot 0,58 I_c = 0,82 I_c \quad (62)$$

$$VA = (E / \sqrt{3}) I = (V_c / 1,35 \cdot \sqrt{3}) \cdot 0,812 I_c$$

$$VA = 0,35 V_c I_c \text{ (Herbir seconder bobinin)}$$

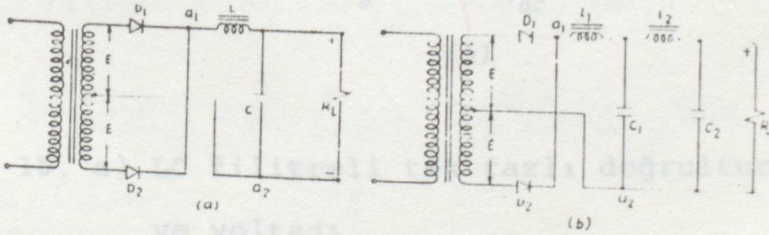
Yaklaşık olarak bazı kayıpları ihmal edersek ve trafo-  
fonun sekonderi ile primer sargı güçlerini de aynı kabul  
edersek;

Primer  $VA = Sec VA$  kabul edilirse

$$UF = V_c I_c / (3 \times 0,35 \times V_c I_c) = 0,95 \quad (64)$$

### 1.5. LC FİLTRELİ REDRESÖRLERİN İNCELENMESİ

#### 1.5.1. TEK FAZLI LC FİLTRELİ REDRESÖRLER

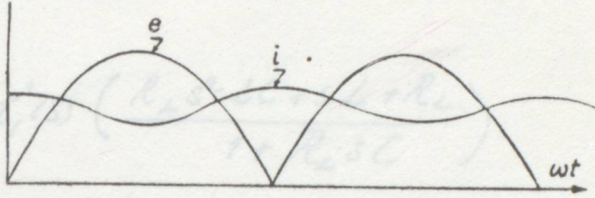


(Tek katlı) (iki katlı)

Şekil 14. LC Filtreli doğrultucu. *sahalı LC filtre devresinin analizini (a) kısmında yapalım;*

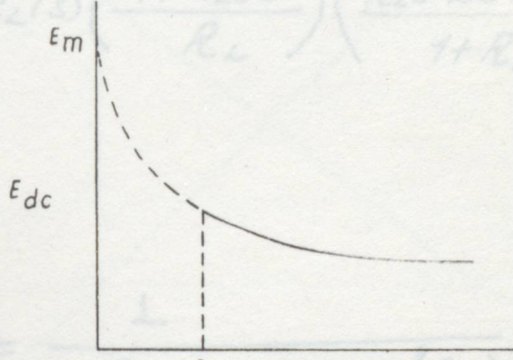
Dalgalanmaların az olması istenen durumlarda doğrultucu çıkışına filtre elemanları yerleştirilir. Bu elemanlar tek devreli olduğu gibi, iki veya daha fazla devreli filtre sistemleri olabilir. Biz burada kısaca tek devreli bir filtre hesabını göstereceğiz.

$$e_1(s) = e_2(s) \left( sL + \frac{R_L}{1 + R_L sC} \right)$$



(a)

$$e_1(s) = e_2(s) \left( \frac{1 + R_L sC}{R_L} \right) \left( \frac{R_L s^2 L (1 + R_L sC)}{1 + R_L sC} \right) \quad (66)$$



(b)

Şekil 15. a) LC filitreli tek fazlı doğrultucunun çıkış akım ve voltajı

b) E ve I 'nin eğrisi.

Tek fazlı tam dalga doğrultucularda,  $\omega_c = 2\omega$ ,  $\omega_c$  fazlı y. Şekil 15.a'da görülen tek safhalı LC filitre devresinin analizini (s) domeninde yapalım;

$$e_L(s) = i_2(s) R_L = i_2(s) \frac{1}{sC}$$

$$i_1(s) = i_L(s) + i_2(s) = e_L(s)/R_L + e_L(s)/(1/sC)$$

$$i_1(s) = e_1(s) / \left( sL + \frac{R_L}{1 + R_L sC} \right) \quad (65)$$

$$e_1(s) = i_1(s) \left( sL + \frac{R_L}{1 + R_L sC} \right)$$

görüldüğü gibi ripple faktörü  $\gamma$ 'nin bir fonksiyonudur.

$$e_1(s) = i_1(s) \left( \frac{R_L s^2 LC + sL + R_L}{1 + R_L sC} \right)$$

$$e_1(s) = e_L(s) \left( \frac{1 + R_L sC}{R_L} \right) \left( \frac{R_L s^2 LC + sL + R_L}{1 + R_L sC} \right) \quad (66)$$

Buradan;

$$\frac{e_L(j\omega)}{e_i(j\omega)} = \frac{1}{1 - \omega_r^2 LC + (j\omega_r L / R_L)}$$

eger;  $\omega_r L / R_L \ll (1 - \omega_r^2 LC)$  ise

$$\frac{e_L(j\omega_r)}{e_i(j\omega_r)} = \frac{1}{1 - \omega_r^2 LC} \quad (67)$$

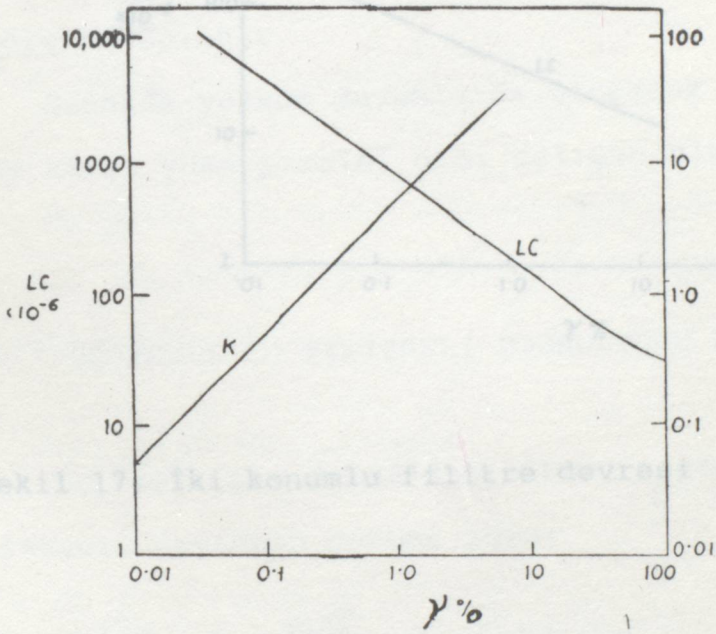
Tek fazlı tam dalga doğrultucularda;  $\omega_r = 2\omega$ , üç fazlı yarım dalga ve tam dalga doğrultucularda,  $\omega_r = 3\omega$  ve  $6\omega$  olur.

Tam dalga doğrultucu tek fazlı redresörlerde (dalgalanma) ripple faktörü; filitresiz durumlarda; 0,48 idi filitreli durumlarda ripple faktörü ise;

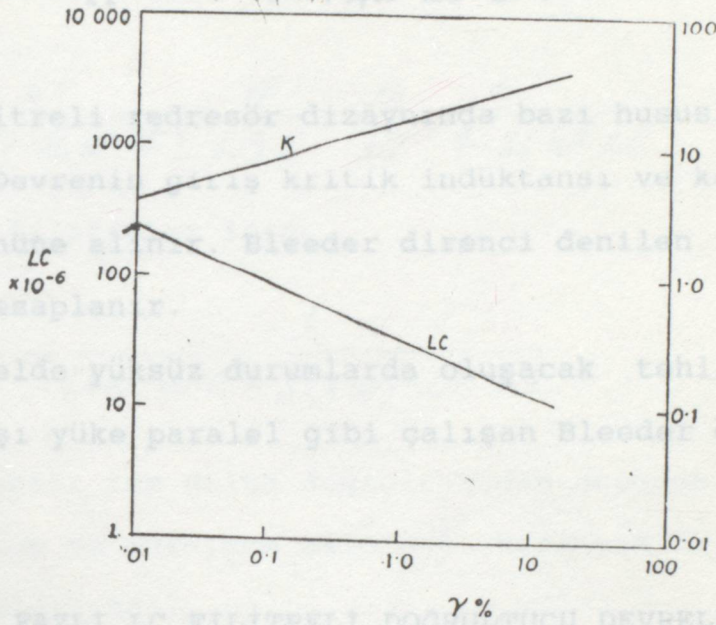
$$\gamma = 0,48 / (1 - 4\omega_s^2 LC) \quad (68)$$

görüldüğü gibi ripple faktörü  $w^2$  LC'nin bir fonksiyonudur.

$$1/R_b C = K$$



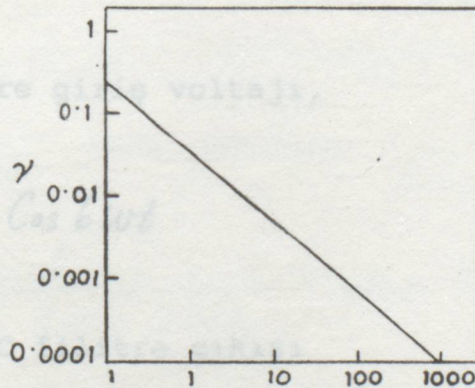
Şekil 16. Tek durumlu filitre devresi için eğriler.



Şekil 17. İki konumlu filitre devresi için eğriler.

LC filitreli devrenin çözümü için;

$$e_i = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E - \frac{6\sqrt{3}}{35\pi} E \quad (\text{m } 6 \text{ } \omega b) \quad (69)$$



Şekil 18. γ'nın w<sup>2</sup>LC eğrisi.

Buradan küçük rippleler için;  $4\omega^2 LC = 1$  şartının aşikar olduğu görülür.

Filtireli redresör dizaynında bazı hususlar göz önüne alınır. Devrenin giriş kritik indüktansı ve koruyucu direnci göz önüne alınır. Bleeder direnci denilen direnci yüke göre hesaplanır.

Genelde yüksüz durumlarda oluşacak tehlikeli harmoniklere karşı yüke paralel gibi çalışan Bleeder direnci bağlanır.

### 1.5.2. ÜÇ FAZLI LC FİLTİRELİ DOĞRULTUCU DEVRELERİ

Üç fazlı tam dalga doğrultucu sisteminde kullanılan LC filitreli devrenin çözümü için;

$$e_i = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E - \frac{6\sqrt{2}}{35\pi} E \cdot \cos 6 \cdot \omega t \quad (69)$$

Buradan filitre giriş voltajı,

$$\frac{6\sqrt{2}}{35\pi} E \cos 6\omega t \quad (70)$$

Tek durumlu LC filitre çıkışı

$$\frac{6E}{35\pi} \cdot \frac{1}{1-36 \cdot \omega^2 LC} \quad (71)$$

Buradan tek durumlu LC filitre için ripple (dalgalanma);

$$\gamma = \frac{6E}{35\pi(1-36\omega^2 LC)} \cdot \frac{\pi}{3\sqrt{2}E} = \frac{\sqrt{2}}{35} \cdot \frac{1}{1-36\omega^2 LC} \quad (72)$$

iki konumlu filitreler için;

$$\gamma = \frac{\sqrt{2}}{35} \cdot \frac{1}{(6\omega)^4 L^2 C^2 - 3(6\omega)^2 LC + 1} \quad (73)$$

Üç fazlı tam dalga doğrultucudan geçecek kritik yük akımı; minimum ve maksimum akımın 6. harmonik akım değeriyle karşılaştırıldığında;

$$I_{C_{kritik}} = I_{\max 6. \text{harmonik}}$$

veya

$$\frac{3\sqrt{2}E}{R_b} = \frac{6\sqrt{2}E}{35} \cdot \frac{1}{\left(6\omega L - \frac{1}{6\omega C}\right)} \quad (74)$$

$$6\omega L \gg \frac{1}{6\omega C} \quad \text{kabul edersek}$$

$$\frac{1}{R_b} = \frac{1}{35 \times 3\omega L} \quad \text{olur.}$$

veya;

$$\frac{\omega L}{R_b} = 0,0095 \quad \text{dir.} \quad (75)$$



$$I_0 = 10 \text{ Amper}$$

$$E = 50 \text{ Vac}$$

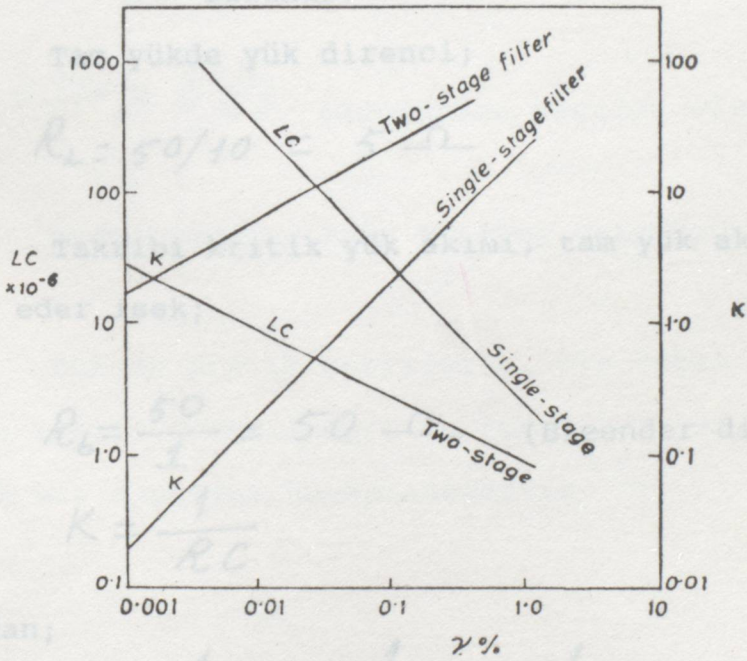
$\gamma = \%1$  değerde olması istenildiğine göre tek durum-  
lu LC filitrenin dizaynı istenmektedir.

Şekil 16'dan;

$$\gamma = 0.01 \text{ radian}$$

$$L = 170 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$

$$K = 6.2 \text{ bulunur.}$$



Buradan;

$$C = \frac{1}{R_0 R} = \frac{1}{50 \cdot 6.2} = \frac{1}{310} = 3.226 \mu\text{F}$$

Şekil 19. K ve LC ile  $\gamma$  eğrisi.

Örnek: Tek fazlı tam dalga doğrultucudan istenilen  
değerler;

$$LC = 170 \cdot 10^{-6} \text{ dan}$$

$$I_n = 10. \text{ Amper}$$

$$E = 50 \text{ V}_{dc}$$

$\gamma = \%1$  değerinde olması istenildiğine göre tek durumlu LC filitrenin dizaynı istenmektedir.

Şekil 16'dan;

$$\gamma = 0.01 \text{ için}$$

$$L = 170.10^{-6} \text{ H.}$$

$$K = 6.2 \text{ bulunur.}$$

Tam yükde yük direnci;

$$R_L = 50/10 = 5 \Omega$$

Takribi kritik yük akımı, tam yük akımının  $\%10$ 'nunu kabul eder isek;

$$R_b = \frac{50}{1} = 50 \Omega \text{ (Bleender direnci)}$$

$$K = \frac{1}{RC}$$

Buradan;

$$C = \frac{1}{R_b K} = \frac{1}{50 \times 6.2} = \frac{1}{310} = 3226 \mu F.$$

nominal olarak;

$$C = 3000 \mu F. \text{ seçilir.}$$

$$LC = 170.10^{-6} \text{ dan}$$

$$L = 56,6 \text{ mH.} \quad \text{bulunur.}$$

Kritik indüktans için kontrol edelim;

$$\frac{\omega L}{R_b} \gg 0,33 \text{ dan}$$

$$\frac{\omega L}{R_b} = \frac{314 \times 56,6 \times 10^{-3}}{50}$$

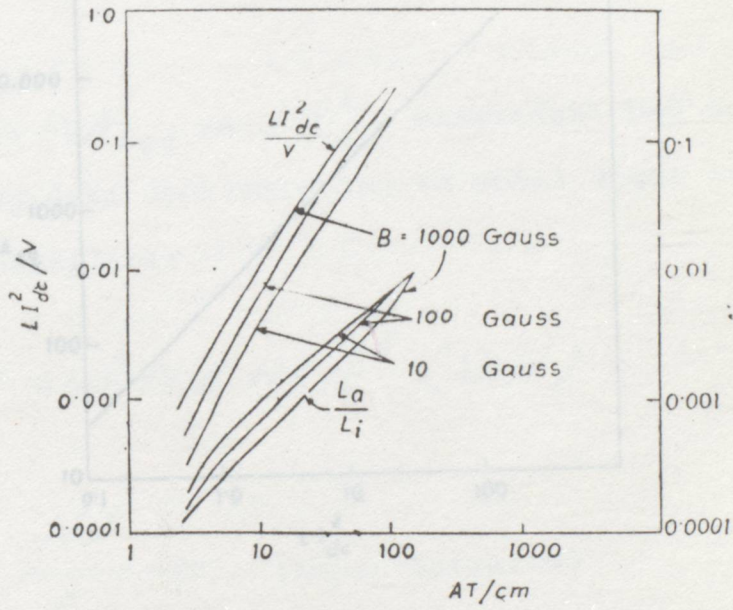
$$\omega L/R_b = 0,355 \quad \text{bulunur.}$$

$0,355 \gg 0,33$  olduğundan seçilen elemanlar uygundur.

#### 1.6. DOĞRULTUCULAR İÇİN FİLTRE REAKTÖRÜN DİZAYNI

Burada pratik seçimlerle, bir bobin reaktörün dizaynı ile ilgili gerekli eğri ve formüller verilecektir. Ayrıca pratik bir uygulama hesaplanacaktır.

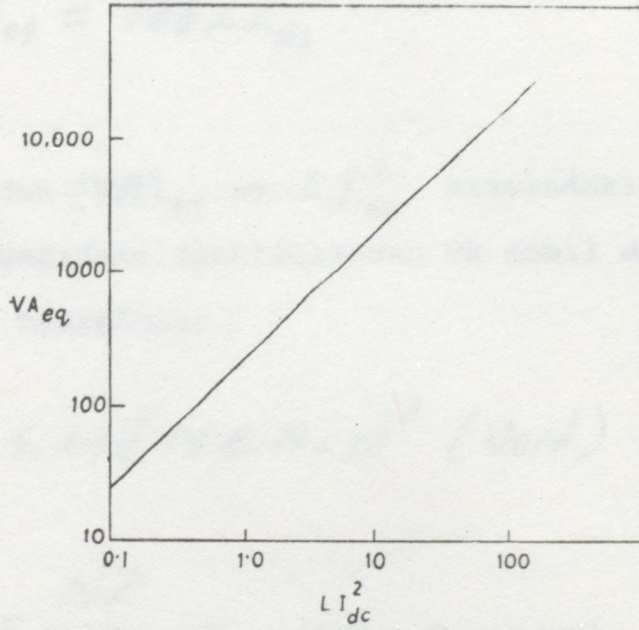
Şekil 20: Hanna eğrisi



Şekil 20. Hanna eğrisi

Bobin besagları, deneyler sonucu elde edilmiş eğri-  
ler yardımıyla kolayca yapılmaktadır.

11 - Flux'un aktığı çubuğun kesit alanının uzunluğu birim hacimdeki nüve için hesaplanmıştır.  $(VA)_{eq} = \frac{1}{2} L I_{dc}^2$  eşitliği ile hesaplanmıştır. Ampirik olarak bulunmuş eşitliklerdir.



Şekil 21.  $(VA)_{eq}$  ile  $LI_{dc}^2$  eğrisi

Bobin hesapları, deneyler sonucu elde edilmiş eğriler yardımıyla kolayca yapılmaktadır.

$l_i$  = flux'un aktığı nüve'nin ortalama uzunluğu Birim Hacimdeki nüvede stoklanan enerji;

"  $L I_{dc}^2 / V$  " dan,  $(N I_{dc} / l_i) =$  magnetik alan Ampirik olarak bulunan şu formül ile;

$$(VA)_{eg} = 188 L I_{dc}^2 \quad (76)$$

Şekil 21'den  $(VA)_{eg}$  ve  $L I_{dc}^2$  arasındaki bağ seçilir.

Aşağıdaki denklemlerden VA nomil değer için reaktörün hacmi hesaplanır.

$$E = 4,44 f N.B.A \times 10^{-8} \text{ (Volt)} \quad (77)$$

$$H = \frac{Nl}{l_i} = \text{(Amper-Sarım/cm)} \quad (78)$$

$$EI = 4,44 f B.H \times \text{Hacim} \times K \times 10^{-8} \text{ (VA) den}$$

$$\text{Hacim} = EI \cdot 10^8 / 4,44 f.B.H.K \quad (79)$$

$f$  = frekans-Hertz

$B$  = Akı yoğunluğu-Gauss

$H$  = Magnete motor kuvveti (MMf)-Amper-Tur/cm

$K$  = Paketleme faktörü-14 mil, silikon çelik için 0,9

alınır.

(VA) B ve H değerlerinin seçimi, şok bobininin VA değerine bağlıdır. Silikon Çelik için B değeri 8000 ila 120000 Gauss arasında değişebilir. VA değeri küçük bobinler için B değeri daha yüksek seçilmelidir.

#### 1.6.1. FİLTRE DİZAYNI İÇİN BİR ÖRNEK

33 amperlik ve 4 mH indüktif değere sahip bir şok bobininin dizaynını inceleyelim. Bobin uçlarındaki dc Voltaj 1V'u geçmemeli. Üç faz köprü redresörün çıkış harmoniklerin bastırılmasında şok bobini etkili olacak.

$$L = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Henry}$$

$$I = 33 \text{ Amper}$$

$$LI = 4,356 \text{ dan}$$

$$H = 50 \text{ A-Tur/cm seçilir ise;}$$

Hanna'nın eğrisinden;

50 Amper-tur/cm için,

$$LI^2/V = 0,0042$$

bulunur.

$$\text{Hacim} = \frac{4,356}{0,0042} = 1037 \text{ cm}^3$$

$(VA)_{ef} = 188 L I_{dc}^2$  ve  $V = \frac{EI \cdot 10^8}{4.44 f B H K}$  denklemleri ile kontrol edelim.

$$l_i = \sqrt{\text{Hacim}}$$

$$l_i = \sqrt{1037} = 32,2 \text{ cm bulunur.}$$

$$l_i = \sim 33 \text{ cm seçersek;}$$

$$N = \frac{H \cdot l_i}{I} = \frac{33 \times 50}{33} = 50 \text{ tur.}$$

$$\text{Nüve alanı} = A = \frac{\text{Hacim}}{l_i} = \frac{1036}{33} = 31,4 \text{ cm}^2$$

$$A = 31,4 \text{ cm}^2 \text{ bulunur.}$$

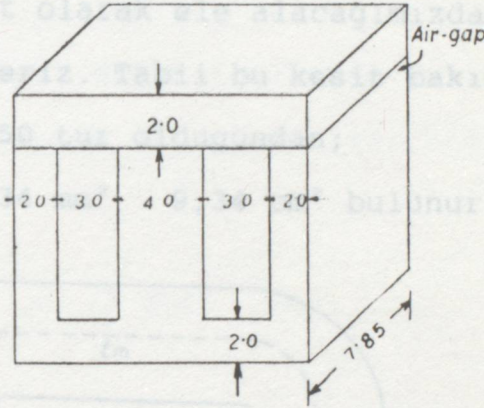
Pratikte uygun bir nüve yapısı için; bobinin pencere uzunluğu ile genişliği arasında yaklaşık 2 ila 3,5 arasında bir oran olmalıdır.

$l_i = 33 \text{ cm}$ 'lik bir magnetik uzunluk olduğuna göre;

$$\text{Nüve yapısının, eni; } \frac{31,4}{4} = 7,86 \text{ cm bulunur.}$$



$$\text{Bobin tel kesiti} = \frac{33(\text{Ampere})}{1,8(\text{Amp/mm}^2)} = 18,33 \text{ mm}^2$$



Şekil 29. Bobinin yapısı

Hava aralığı seçimi için;

Hanna'nın eğrisinden optimum hava aralığı hesaplandığında;

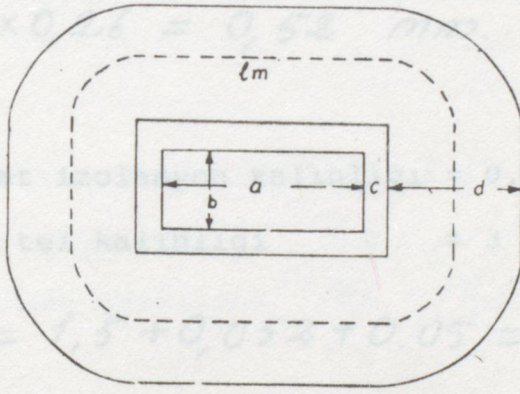
$$\frac{l_g}{l_i} = \frac{\text{Hava aralığı uzunluğu}}{\text{Mağnetik uzunluğu}} = 0,005$$

$$l_g = 0,005 \times 33 = 1,65 \text{ mm. bulunur.}$$

Tabii hava soğutmalı bobinlerde akım yoğunluğu 1,8 A/mm<sup>2</sup> alınır ise;;

$$\text{Bobin tel kesiti} = \frac{33(\text{Amper})}{1,8(\text{Amp/mm}^2)} = 18,33 \text{ mm}^2$$

bulunur. Norm kesit olarak ele alacağımızdan Bobinteli kesitini  $18,68 \text{ mm}^2$  seçeriz. Tabii bu kesit bakır iletken içindir. Toplam bobin 50 tur olduğundan;  $18,68 \times 50 = 934 \text{ mm}^2$   $9,34 \text{ cm}^2$  bulunur.



Şekil 30. Bobinin kesiti

Tur/santimetre = 2

a = nüve kesit boyu

b = nüve kesit eni

c = sarım formunun kalınlığı = 0,8 mm seçilir

d = sarımın kapsadığı kesit

lm = bir turun ortalama uzunluğu

$$8,5 \times 2 = 17 \text{ Tur.} \quad (\text{Her kat için})$$

$$50/17 = 3$$

3 = kat sarım yapılacaktır.

Sarımlar arası kağıt izolasyon kalınlığı = 0,26 mm

üç kat sarım için toplam sarımlar arası kağıt izolasyon kalınlığı;

$$2 \times 0,26 = 0,52 \text{ mm.}$$

Son sarım kat izolasyon kalınlığı = 0,5 mm

Üç kat için tel kalınlığı =  $3 \times 0,5 = 1,5 \text{ cm}$

$$d = 1,5 + 0,052 + 0,05 = 1,602 \text{ cm.}$$

Ortalama her bir turun uzunluğunu, yaklaşık olarak formüle edip hesaplar isek;

$$l_m = \left\{ [2(a + 2c + b + 2c)] + \pi d \right\}$$

$$l_m = 35,13 \text{ cm.} \quad \text{bulunur.}$$

50 tur için toplam bobin uzunluğu;

$$50 \times 35,13 = 1760 \text{ cm} = 17,6 \text{ Metre}$$

18,68 mm<sup>2</sup>'lik telin kilometre için direnci 0,923 33 Amper-deki voltaj düşümü;

$$r = 0,923 \times 10^3 \times 17,6 \text{ } \Omega = 0,0162 \text{ } \Omega$$

$$E_c = 0,0162 \times 33 = 0,54 \text{ V} < 1 \text{ Volt.}$$

$$\text{Nüvenin ağırlığı} = 1036 \times 7,6 \times 10^{-3} = 7,9 \text{ kg}$$

$$\text{Nüve yoğunluğu} = 7,6 \text{ gr/cm}^3 \text{ alındı.}$$

$$\text{Bobinin ağırlığı} = 166 \times 17,6 \times 10^{-3} = 2,92 \text{ kg}$$

Değişik imalatçı firmalar telin rezistansı ve nüvenin permeabilitesi için % 20'lik bir toleranslar içinde indüktans hesaplamalarını yaparlar.

$$\Delta T = \alpha t \left[ \frac{2T' + \alpha t}{2T' - 2T' + \alpha t} + 620 \text{ } \Omega \right] \quad (10)$$

$t$  = saniye (Çalışma süresi)

$$T' = T_c + 234,5^\circ \text{ } [^\circ\text{C}]$$

## BÖLÜM 2

## 2.1. DOĞRULTMA DEVRELER İÇİN GÜÇ TRANSFORMATÖR DİZAYNI

Redresör imalatında en önemli konulardan biri güç transformatörlerinin dizaynıdır. Transformatörler dizayn edilirken şunlara bağlı olarak dizayn edilir;

- Faz sayısı
- Şebeke frekansı
- Şebeke voltajı
- Gücü
- Soğutma metodları
- Verimliliği
- Çalışma saykılı
- İzolasyon sınıfı

Tabii ki fiyat faktörü en önemli faktördür. Kullanılacak malzemelerin kalitesine göre fiyat oluşacaktır. Temel malzeme olarak; bakır, demir ve izolasyon malzemeleridir. Burada izolasyon malzemelerini seçerken; voltaj delinmelerin yanı sıra, transformatörün ısınmasını göz önüne alınmalıdır.

Transformatörde ısı yükselmesi;

$$\Delta T = \alpha t \left[ \frac{2T_1' + \alpha t}{2T_1'} + \frac{620 K \alpha}{2T_1' + \alpha t} \right] \quad (80)$$

t = Saniye (Çalışma süresi)

$$T_1' = T_1 + 234.5^\circ \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$T_1'$  = ilk başlangıç sıcaklığı

$K_a$  = 75°'de girdap akımın kayıp oranı

$a$  = 0,0025 $\times T_1'$ 'de bakırın kilogram başına kayıp

$a$  = 0,0025  $\times T_1'$  (kilogram başına bakır kayıpları)

$\delta$  = Akım yoğunluğu (A/mm<sup>2</sup>)

Bazı zaman verimlilik önem kazanmaktadır. bunun için daha vasıflı ve pahalı malzeme kullanılacağından cihaz pahalı olmaktadır.

Transformatörün dizaynında ana konstrüksiyon  $A_w$ ,  $B_m$ ,  $A_i$ ,  $\delta$ ,  $K_w$  ve nüve yapısının seçimine bağlıdır. Bunlar;

$K_w$  = Pencere boşluk faktörü

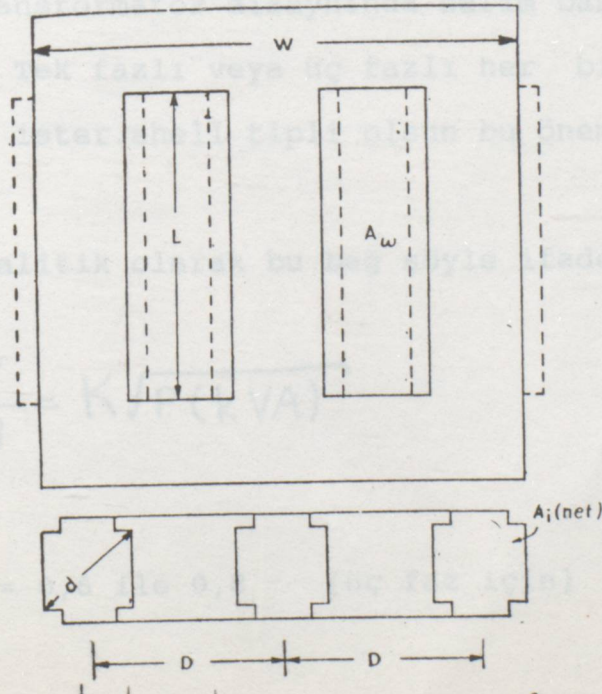
$\delta$  = Akım yoğunluğu

$B_m$  - Akı yoğunluğu

$A_w$  = Mak. akı için gerekli pencere alanı

$A_i$  = Nüvenin net alanı.

Genelde bobin yapısı silindirikdir ve bobin çapı nüve yapısına göre seçilir.

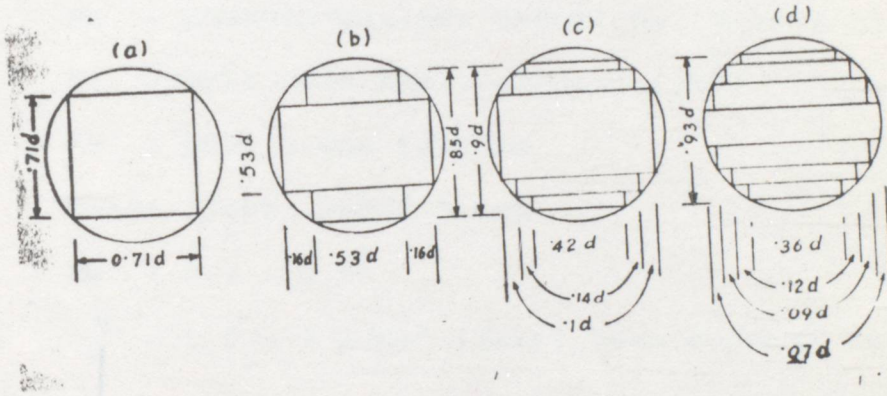


$K = 1$  ile  $1,2$  (Tek faz shell tipli)

$K = 0,8$  ile  $1$  (Tek faz nüve tipli)

$P(kVA)$  - Herbir fazın nominal kVA değeri.

Üç faz ve tek faz işlemleri için kVA-Volt/tur bağlantılarını veren şekil-32'de gösterilmiştir.



Şekil 32. Çeşitli nüve şekilleri

Transformatör dizaynında sarım başına düşen voltaj önemlidir. Tek fazlı veya üç fazlı her bir sistemde ister nüve tipli ister shell tipli olsun bu önemli bir bağlantıdır.

Analitik olarak bu bağ şöyle ifade edilir;

$$\frac{E}{N} = K \sqrt{P(kVA)}$$

(80-1)

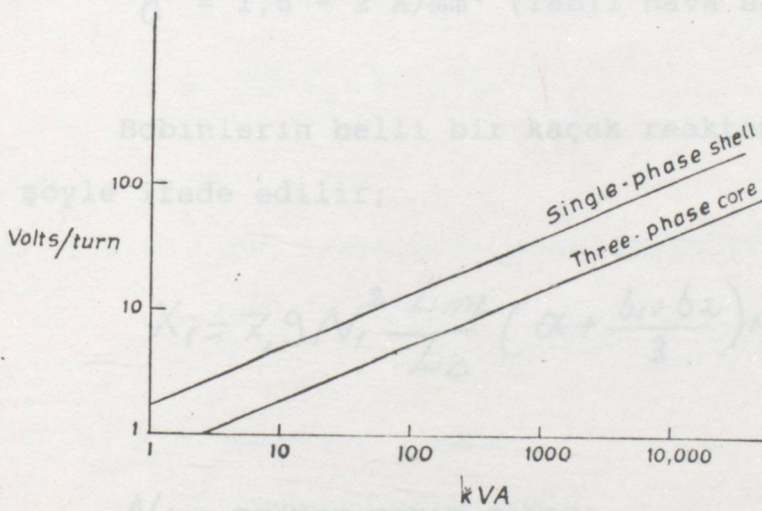
$K = 0,6$  ile  $0,8$  (üç faz için)

$K = 1$  ile  $1,2$  (Tek faz shell tipi)

$K = 0,8$  ile  $1$  (Tek faz nüve tipi)

$P(kVA)$  = Herbir fazın nominal kVA değeri.

Üç faz ve tek faz işlemleri için kVA-Volt/tur bağlantılarını veren eğri şekil-33'de gösterilmiştir.



Şekil 33.



$$\frac{E}{N} = 4.44 f \cdot B_m A_i K_s \times 10^{-8} \text{ (V/tur)} \quad (81)$$

f = frekans-Hz

B<sub>m</sub> = Nüvenin max-akı yoğunluğu (Gauss)

A<sub>i</sub> = Brüt nüve kesit alanı - (cm<sup>2</sup>)

K<sub>s</sub> = Nüve yığıma faktörü

B<sub>max</sub> = 13000 16000 Gauss

K<sub>s</sub> = 0,9 - 0,95

g = 1,6 - 2 A/mm<sup>2</sup> (Tabii hava soğutma için)

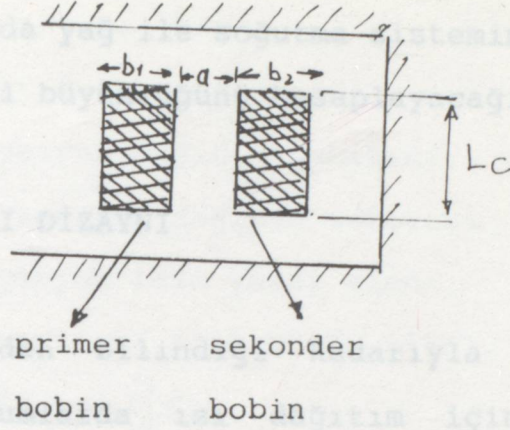
Bobinlerin belli bir kaçak reaktansları vardır. Bu da şöyle ifade edilir;

$$X_1 = 7,9 N_1^2 \frac{L_{mt}}{L_c} \left( \alpha + \frac{b_1 + b_2}{3} \right) \times 10^{-8} \text{ [-}\Omega\text{]} \quad (82)$$

N<sub>1</sub> = primer sayım sayısı

L<sub>mt</sub> = primer ve sekonder sargıların ortalama boyu

L<sub>c</sub> = Bobin boyu



Şekil 34.

Kaçak reaktans yüzdesi;

$$X = 100 I_1 X_1 / V_1$$

" $\varphi$ " lik bir güç faktöründe regülasyon yüzdesi;

$$\eta \% = E_r \cos \varphi + E_x \sin \varphi + \frac{1}{200} (E_x \cos \varphi - E_r \sin \varphi)^2 \quad (84)$$

$\eta \%$  = Reaktans yüzdesi

$\varphi$  = yükün güç faktörü

SOĞUTMA: Bakır ve nüvede meydana gelen kayıplar ısıya dönüşür. Bu ısıyı cihazdan uzaklaştırmak gerekmektedir. Birkaç kVA'lık transformatörlerin soğutulması tabii olmakla beraber, daha güçlü trafoların soğutulması cebri olmaktadır. Tabii soğutmalar hava ile veya yağ ile olmaktadır. Yağ ile tabii soğutma oldukça yaygındır.

Biz burada yağ ile soğutma sisteminde kullanılan yağ tankının hacimsel büyüklüğünü hesaplayacağız.

$h_r =$  Radyasyon dağıtım sabitesi, ( $6 \text{ w/m}^2/^{\circ}\text{C}$ )

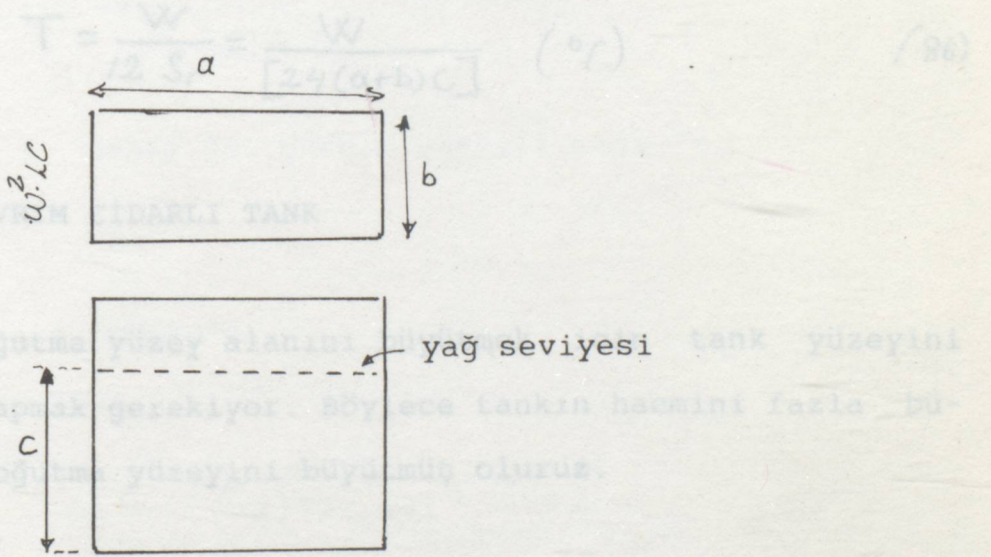
## 2.2. YAĞ TANKI DİZAYNI

$h_c =$  Konveksiyon dağıtım sabitesi ( $6 \text{ w/m}^2/^{\circ}\text{C}$ )

$S_r =$  Radyasyon için yüzey alanı, ( $\text{m}^2$ )

Deneylerden bilindiği kadarıyla konvensiyonel ve radyasyonel durumlarda ısı dağıtım için gerekli yüzey;  $\text{dw/m}^2/^{\circ}\text{C}$  ile hesaplanır.

Buradan;



Şekil 35. Tank planı

$$T = \frac{W}{h_r S_r + h_c S_c}$$

(85)

T = ısı artımı-°C

W = Dağıtılacak güç-(Watt)

hr = Radyasyon dağıtım sabitesi, (6 w/m<sup>2</sup>/°C)

hc = Konvansiyon dağıtım sabitesi (6 w/m<sup>2</sup>/°C)

Sr = Radyasyon için yüzey alanı, (m<sup>2</sup>)

Sc = Konvansiyon için yüzey alanı, (m<sup>2</sup>)

$$S_r = S_c = [2(a+b)]C$$

ve hr=hc= 6

Buradan;

$$T = \frac{W}{12 S_r} = \frac{W}{[24(a+b)C]} \quad (^\circ\text{C}) \quad (86)$$

Şekil 36. Ondüleli yüzeyli tank

### 2.2.1. KIVRIM CİDARLI TANK

Burada;

Soğutma yüzey alanını büyütmek için tank yüzeyini ondüleli yapmak gerekiyor. Böylece tankın hacmini fazla büyütmeden soğutma yüzeyini büyütmüş oluruz.

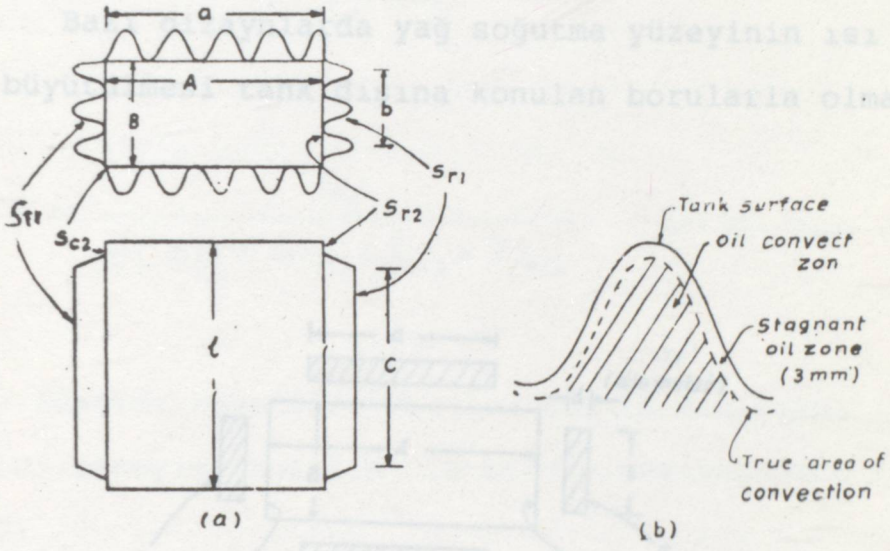
Sr1 = Isı yayan yüzeyin dışı = 2 (a+b)2π

Sr2 = Isı yayan yüzeyin içi cidarı = 2 (a+b)2π(1-C)

Sc1 = Konvansiyon ısı yayan dış yüzey alanı

Sc2 = 2 (a+b)2π(1-C)

## 2.2.2. BORU RADYATÖRÜ TANK



Şekil 36. Ondüle yüzeyli tank

Burada;

$$h_r = 6 \text{ (W/m}^2/\text{°C)}$$

$$h_c = 7 \text{ (W)}$$

ve

$$T = \frac{W}{6(S_{r1} + S_{r2}) + 7(S_{c1} + S_{c2})}$$

$$S_{r1} = \text{Isı yayan yüzeyin dışı} = 2(a+b) \times c$$

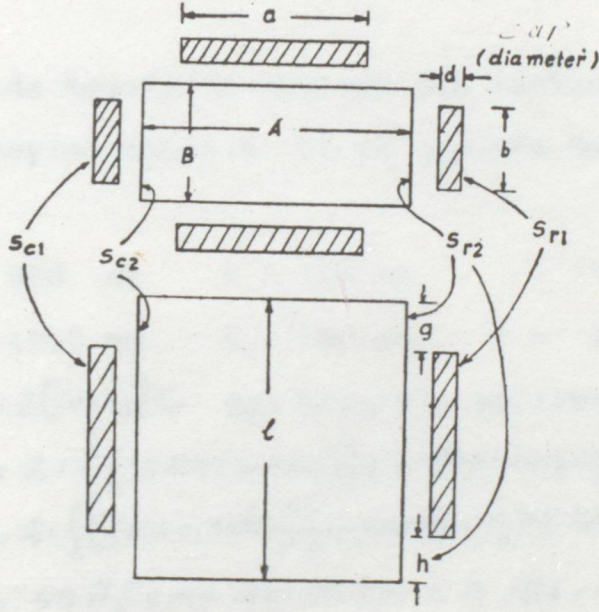
$$S_{r2} = \text{Isı yayan yüzeyin içi cidarı} = 2(A+B) \times (1-c)$$

$$S_{c1} = \text{Konvansiyon ısı yayan dalgali yüzey alanı}$$

$$S_{c2} = 2(A+B) \left( \frac{1-c}{2} \right)$$

## 2.2.2. BORU RADYATÖRÜ TANK

Bazı dizaynlarda yağ soğutma yüzeyinin ısı transferi için büyütülmesi tank dışına konulan borularla olmaktadır.



Şekil 37. boru radyatörlü tank

$$h_r = 6 \text{ (W/m}^2/\text{°C)}$$

$$h_c = 8 \text{ (W/m}^2/\text{°C) alınır.}$$

$$T = \frac{\sqrt{W}}{6(S_{r1} + S_{r2}) + 8(S_{c1} + S_{c2})} \quad S_{c1} \gg S_{c2} \text{ için (88)}$$

$$T = \frac{\sqrt{W}}{6(S_{r1} + S_{r2}) + 8C_1 + 7S_{c2}} \quad S_{c1} \approx S_{c2} \text{ için (89)}$$

ÖRNEK: Aşağıda boyutları verilen bir tankın yayma ve nakil alan ısı yüzeyini bulalım. 50 mm çapında boru tüp kullanılacaktır.

$$a = 800 \text{ mm} \quad b = 300 \text{ mm} \quad c = 1500 \text{ mm}$$

$$A = 1000 \text{ mm} \quad B = 500 \text{ mm} \quad g = 150 \text{ mm} \quad h = 100 \text{ mm}$$

$S_{r1} = 2[(a+b)]C$  den Boru ile sarılmış radyatör yüzeyi;

$$S_{r1} = 2 \times \left\{ [(500 + (2 + 50))] + [1000 + (2 \times 50)] \right\} \times (1500 - 150 - 100) = 4,25 \pi$$

$$S_{r2} = 2 \times \left\{ [(500 + (2 \times 100))] \right\} \times (150 + 100) = 0,75 \pi \text{ (Borusuz yüzey)}$$

$$S_{c1} = 50 \pi (1500 - 150 - 100) \cdot n = 0,196 \pi n \text{ (m}^2\text{)}$$

$n$  = Tüp sayısı

$$S_{c2} = 2(1000 + 500) \times 1500 = 4,5 \pi \text{ (m}^2\text{)} \text{ bulunur.}$$

$$T = \frac{\sqrt{W}}{6(S_{r1} + S_{r2}) + 8(S_{c1} + S_{c2})}$$

formülünden

Kayıp "Watt" hesaplanarak T ısı kontrol edilir.

### 2.3. ÜÇ FAZ KÖPRÜ DOĞRULTUCULAR İÇİN TRANSFORMATÖR DİZAY- NIN UYGULAMASI

Aşağıda belirtilmiş özelliklere göre köprü doğrultu-  
cu için transformatör dizaynı yapalım.

Giriş = 3300 Volt, üç faz ve 50 Hz.

Çıkış = 200 Vdc.

Yük = 100 kW rezistif

Aşırı yük: % 30 için yarım saat çalışabilir.

Ayrıca redresör dizaynı için bazı hususlar ele alın-  
malıdır. Bunlar da dizayn esnasında gözönüne alınır. Bu hu-  
suslar;

- Yüksüz voltaj durumu
- Transformatörün reaktans yüzdesi
- Transformatörün bakır kayıpları
- Doğrultucudaki voltaj düşümleri
- Hatlardaki kayıplar.

Transformatörün bütün boyutları için genelde tecrü-  
beler sonucu demir kayıpları dcKW'ın % 0,6 gibi bir değeri  
kabul edilir.

Transformatörün bakır kayıpları; soğutma sistemine  
ve izolasyon yapısına göre seçilir. Ayrıca yüklenme durumuna  
göre bu kayıp değeri değişir. Bu değer 100 kW için ve B



sınıfı bir izolasyon kullanılır ise; % de KW = 2,4'dür. Bu değer 3,5:1,8 arasında değişir.

Transformatörün kaçak reaktans yüzdesi genel olarak  $X_t \% - \bar{x}$  ile 10 % arasında seçilir.

Doğrultuculardaki her bir diyod üzerindeki voltaj düşümü 1 Volt kabul edilir.

Hat ve baralardaki voltaj düşümü = ,02 Volt olarak kabul edilir.

Köprü doğrultucu için; sekonderin herbir fazın reaktansın değeri  $X_c$ 'nin denklemi;

$$X_c = 0,0053 \frac{V_{co}}{I_c} (X_t \%) \quad (\text{sekonder } \lambda \text{ bağılı}) \quad (90)$$

$$X_c = 0,0157 \frac{V_{co}}{I_c} (X_t \%) \quad (\text{sekonder } \Delta \text{ bağılı}) \quad (90-1)$$

çift yıldız doğrultucular için;

$$X_{c_{ohm}} = 0,017 \frac{V_{co}}{I_c} (X_t \%)$$

A sınıfı bir izolasyon malzeme kullanıldığına göre;

$V_{co} = dc$  (yüksüz redresör çıkış voltajı)

$V_c =$  Tam yük'de çıkış voltajı

$X_t = 9$  % kabul edelim.

$I_c = dc$  yük akımı

Trafonun sekonderi yıldız bağlı olduğunu kabul eder isek

$$X_c = 0,0053 \frac{V_{co}}{I_c} \times 9 \text{ [}\Omega\text{]}$$

Denklem-42'den;

$$V_c = V_{co} - \frac{P}{\pi} \times \frac{I_c X_c}{2} - \frac{\text{Bakır Kayıp}}{I_c} - \text{Bara-Hücre (Nüve)}$$

$$V_c = 200 \text{ [Volt]}$$

$$I_c = \frac{100 \times 10^3}{200} = 500 \text{ [Amper]}$$

Bakır kayıpları=1,4 % kabul edildi

Taşıyıcı bara düşümü=0,2 Volt

$$\frac{215}{1,35} = 159,5 \text{ V} \approx 160 \text{ [Volt]}$$

Buradan;

$$200 = V_{co} - \frac{6}{2\pi} \times \frac{I_c \times 0,0053 V_{co} \times 9}{I_c} - \frac{0,014 \times 100 \times 10^3}{500} - 2 - 0,2$$

$$V_{co} = 2,15 \text{ [Volt]}$$

bulunur.

Regülasyon yüzdesi;  $\frac{V_{co} - V_c}{V_c} = \frac{2,15 - 2,00}{2,00} = 7,5\%$

Köprü diyod'un ortalama akımı;

$$I_{ar} = \frac{500}{3} = 166,6 \text{ [Amper]}$$

Köprü rms akımı; (Efektif akım değeri)

$$\frac{500}{\sqrt{3}} = 288,7 \text{ [Amper]}$$

Transformatör sekonder akımı;

$$0,816 \times 500 = 408 \text{ [Amper]}$$

Hatlararası sekonder voltajı;

$$\frac{2,15}{1,35} = 159,5 \text{ V} \approx 160 \text{ [Volt (A.C.)]}$$

veya denklem (79-1)den  $E_t$ 'nin hesabını yapar isek;

$$E_t = 0,8 \sqrt{113/3} = 4,9 \approx 5 [V/t] \text{ bulunur.}$$

Trafo sekonder nominal kVA'i;

$$\sqrt{3} \times 160 \times 408 \times 10^{-3} = 113 [kVA]$$

$$A_1 = \frac{5 \times 10^3}{4,44 \times 50 \times 13500} = 167 [cm^2]$$

Biz trafonun sekonder gücünü primer gücüne eşit alıyoruz. Böylece transformatör nominal gücü;

$$P_n = 113 \text{ kVA olarak alındık.}$$

Bu verileri elde ettikten sonra; sırasıyla transformatörün dizaynında demir nüve yapısı ve bobin yapısını kayıp hesaplarının gözden geçireceğiz ve soğutma tank dizaynını ele alacağız.

Transformatörün dizaynı;

Veriler;

- primer giriş; 3300 Volt-üç faz-50 Hz
- Sekonder; 160 Volt, üç faz-50 Hz
- Kapasitesi; 113 kVA
- Bağlantı;  $\Delta/\Delta$
- Soğutma; yağ ile tabii soğutma
- Demir yapısı; nüve tipi
- volt/Tur;  $E_t = 5 V/t$  (Şekil-33'den)

veya denklem-(79-1)den E'nin hesabını yapar isek;

$$E_t = 0,8 \sqrt{113/3} = 4,9 \cong 5 [V/t] \text{ bulunur.}$$

$$E_t = 4,44 f B A_i 10^{-8} \text{ den bulunur (primer sarım)}$$

$$A_i = \frac{5 \times 10^8}{4,44 \times 50 \times 13500} = 167 [cm^2]$$

Not: B=13500 gauss seçilmiştir.

Üç basamaklı nüve seçilir ise; (Şekil:32-C)den

Net nüve alanı; K=0,6'dan

$$A_i = K d^2 = 0,6 d^2$$

$$d = \left( \frac{167}{0,6} \right)^{1/2} = 16,7 [cm]$$

$$d = 17 [cm]$$

seçilir.

d=17 cm alınır ise A: değeri de değişir ve net alan

$$A_i = 173,4 [cm^2] \text{ olur.}$$

$E_t = 5 \text{ V/Tur}$  da B değeri 13500'den 13000 Gauss'a düşer ise;

$$N_p = \frac{3300}{5} = 660 \text{ tur bulunur (primer sarım)}$$

yon kalınlığı 0,2 mm alır isek. Bunun boyutları;  
26x6,5 mm'lik boyut olur.

$$N_s = \frac{160}{5} = 18,476 \approx 19 \text{ tur. (sekonder)}$$

19x26x6,5 = 32,11 [cm<sup>3</sup>] olur.

Sekonder akımı  $I_s = 408$  olduğuna göre ve bakır iletken akım yoğunluğunu  $j = 2,8 \text{ A/mm}^2$  seçer isek

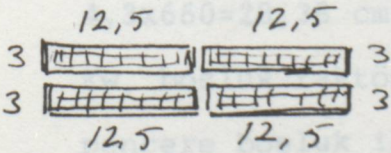
Sekonder sarım bobin kesiti;

$A_s = 408 / 2,8 = 145,7 \text{ [mm}^2\text{]}$  bulunur. İletken burada 145,7 mm<sup>2</sup>'lik kesit büyük bir kesit olup sarım zorluğu olduğundan bunu paralel 4 tane iletkenle sarmak kolay olur;

$145,7 / 4 = 36,45 \text{ [mm}^2\text{]}$ 'lik bobin bulunur. Bu bobin ebatı da;

$$3 \begin{array}{|c|} \hline \square \\ \hline \end{array} \quad 3 \times 12,5 = 36,5 \text{ [mm}^2\text{]}$$

seçilir.



$$A_m = \frac{2 \times (32,11 + 28,38)}{0,33} \text{ dm}^2$$

$$A_{W1} = 360 \text{ cm}^2 \text{ bulunur.}$$

Trafonun iyi bir yapısı için pencereni eni ile boyu

Kağıt izolasyonla bunları saracağınızdan ve izolasyon kalınlığı 0,2 mm alır isek. Bunun boyutları;

26x6,5 mm'lik boyut olur.

Sekonder iletkenin herbir faz toplam alanı;

$$19 \times 26 \times 6,5 = 32,11 [\text{cm}^2] \text{ olur.}$$

primerin herbir faz akımı;  $I_p$  değerini bulalım.

$$I_p = \frac{N_s I_s}{N_p} = \frac{19}{660} \times 408 \quad I_p = 11,75 \text{ [Amper]}$$

$J = 2,8 \text{ [A/mm}^2]$  aldığımızı göre; primer iletken kesiti;

$$11,75/2,8 = 4,2 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

Standart kesit'i 4,29 olan bobin teli seçilir.

Toplam kesit alanı;

$$4,3 \times 660 = 28,38 \text{ cm}^2 \text{ bulunur.}$$

$K_w$ , boşluk faktörü=0,33 seçer isek

pencere boşluk ihtiyacımız;

$$A_{W1} = \frac{2 \times (32,11 + 28,38)}{0,33} \text{ don}$$

Bobin boyutlarının hesaplanması;

$$A_w = 360 \text{ cm}^2 \text{ bulunur.}$$

Sekonder:

Trafonun iyi bir yapısı için pencereni eni ile boyu arasında 3 ile 4,5'lik bir oran seçilmeli.

Biz burada  $L=36 \text{ cm}$  ve  $B=10 \text{ cm}$  seçtik

Böylece bobin nakatasının dış çapı şöyledir;

$17,5 + 2 \times 10,3 \text{ cm} = 38,1 \text{ cm}$  bulunur. İletkenin bütün boyutu;

$26 \times 6,5 \text{ mm}$

Tur/Faz

Sarımsık

Katlar arası boşluk

Bobin boyu

İki kat bobin kalınlığı

Bobin dış çapı

Ortalama

Son izo

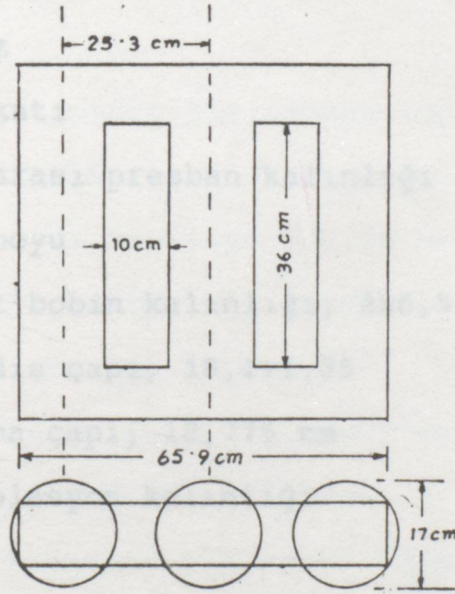
Primer:

Tur/Faz

Şekil 38. Transformatörün boyutları

Terbir bobin sayısı

İki kat bobin kalınlığı





Bobin boyutlarının hesaplanması; 36 mm

Bölgelerarası boşluk = 6 mm

Sekonder: sarım = 1,5 cm (herbir kenarın)

d= 17 cm nüve çapı seçmiş idik

Bobin makarasının iç çapı; 17,5 cm seçtik.

Bu makaranın presban kalınlığı, 3mm olsun.

Böylece bobin makarasının dış çapı şöyledir;  
 $17,5 + 2 \times 10,3 \text{ cm} = 18,1 \text{ cm}$  bulunur. iletkenin bütün boyutu;

$26 \times 6,5 \text{ mm}$  bulunur.

Tur/Faz = 19

Sarım katı = 2

Katlararası presban kalınlığı = 0,5 mm.

Bobin boyu = 28 cm

İki kat bobin kalınlığı;  $2 \times 6,5 + 0,5 = 13,5 \text{ mm}$

Bobin dış çapı;  $18,1 + 1,35 = 19,45 \text{ cm}$

Ortalama çapı;  $18,775 \text{ cm}$

Son izolasyon kalınlığı = 4 cm (heriki konar)

Herbir kısım bobin şeritli formlandırıldığına göre;

Primer: sarımın dış kenar çapı = 19,45 cm idi. Se-

konder Tur/Faz bobin arası boşluk = 660 tur

Bobin adedi = 3 tane

Terbir bobin sarımı =  $660 / 3 = 220 \text{ Tur}$ .

İki kat bobin kalınlığı;  $2 \times 6,5 + 0,5 = 13,5 \text{ mm}$

1 mm'lik presban ile ayrılır ise; primer bobin iç çapı;

İzolasyonlu iletken çapı = 2,36 mm  
 Bölümlerarası boşluk = 6 mm  
 Son izolasyon = 1,5 cm (herbir kenarın)  
 Sarım için boyuna kullanılabilirlik boy;

$$= 36 - (2 \times 1,5 + 2 \times 0,6) = 31,8 \text{ cm}$$

Herbir bölüm bobin için aksiyal boy;

10,6 cm bulunur.

Herbir sargının bir tabakasında 44 sarım olur ise;

$220/4=5$  kat sarım yapılır.

Katlararası izolasyon; 0,25 mm seçelim.

Herbir kısım bobinin boyutu;

Aksiyal uzunluk = 10,6 cm

Radyal kalınlık =  $2,36 \text{ mm} \times 5 + 4 \times 0,25$  = 12,8 mm =

$$= 1,28 \text{ cm.}$$

Herbir kısım bobin şeritle formlandırıldığına göre;

Sekonder sarımın dış kenar çapı = 19,45 cm idi. Sekonder ve primer bobin arası boşluk = 0,5 cm seçer isek; Primer bobin formunun iç kenar çapı = 20,5 cm olur.

Makara kalınlığı = 0,3 cm presban olur ise makaranın dış çapı;  $20,5 + (2 \times 0,3) = 21,1 \text{ cm}$  olur. Primer bobin makara-dan 3 mm'lik presban ile ayrılır ise; primer bobin iç çapı;

$$21,1 + 2 \times 0,3 = 21,7 \text{ cm olur.}$$

Primer bobinin dış çapı ise:

$$21,7 + 2,7 = 24,4 \text{ cm olur.}$$

$$\text{Ortalama çap} = 23,05 \text{ cm olur.}$$

Bitişik kollardaki HV bobinler arası açıklık;

$$25,3 - 24,4 = 0,9 \text{ cm'dir.}$$

#### KAYIPLARIN HESABI:

Nüve kayıpları:

Nüve hacmi (Şekil-38)den;

$$V = 3 \times 173,4 \times 0,95 \times 36 = 17790 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Ağırlık=

$$17790 \times 7,65 = 136 \text{ (kg)}$$

İmalatçı firmaların spesifik özelliklerinden; 13000

gaussdaki kayıp;

$$= 2,2 \text{ Watt/kg}$$

$$\text{Kayıp} = 136 \times 2,2 = 299,2 \text{ Watt}$$

Bağlantı kolların hacmi;

$$2 \times 12 \times 0,9 \times 13 \times 0,95 \times 65,9 = 24904,27 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\text{Ağırlık} = 24904,27 \times 7,65 \times 10^{-3}$$

$$= 190 \text{ (kg)}$$

$$\text{Akı yoğunluğu} = 13000 \times \frac{173,4}{17 \times 0,9 \times 13} = 11330 \text{ (Gauss)}$$

Toplam Spesifik kayıp = 1,5 Watt/kg (11330 Gauss kayıpları)

Toplam = 1439 = 1,5 x 190 = 285 Watt bulunur.

Buradan toplam bakır ve demir kayıpları;

Bakır Kayıpları:

Sekonder bobinin ortalama çapı; = 18,775 cm

Ortalama sarım uzunluğu: 5 seçer izlek;

Toplam kayıp = 1,08 x  $\pi \times 18,775 = 59$  (cm)

Toplam Kesit = 1,5 cm<sup>2</sup>'dan

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{1,7241 \times 10^{-6} \times 59 \times 19}{1,5} = 0,00129 (\Omega)$$

$$\text{Kayıp} = I^2 R = (408)^2 \times 0,00129$$

$$= 214,73 \text{ [Watt]}$$

(Herbir fazın)

Primer bobinin ortalama çapı; 23,05 cm

Ortalambaoy/tur =  $\pi \times 23,05 = 72,377$  cm

Toplam kesit = 4,29 mm<sup>2</sup> = 0,0429 cm<sup>2</sup>

$$R = \frac{1,7241 \times 10^{-6} \times 72,377 \times 660}{0,0429} = 1,92 (\Omega)$$

$$I^2 R = (11,75)^2 \times 1,92 = 265,1 \text{ (Watt)}$$

(Herbir faz için)

Sekonder kayıpları = 3 x 214,73 = 644,2 Watt

Primer kayıpları = 3 x 265,1 = 795,3 Watt

Toplam Bakır kayıpları = 644,2 + 795,3

Toplam = 1439,5 Watt

Buradan, toplam bakır ve demir kayıpları;

= 584,2 + 1439,5

= 2023,7 Watt bulunur.

Diğer toplam kayıp için 8 % seçer isek;

Toplam kayıp = 1,08 x 2023,7 = 2,185 kW.

Tam yükde verim =  $\frac{113}{113 + 2,185} \times 100\%$

= 98,1 % bulunur.

#### SOĞUTMA TANKIN DİZAYNI:

Trafonun global boyutlarını hesaplayıp buna göre soğutma tankı seçilmelidir.

Bobin genişliği = 50,6 + 24,4 = 75 cm

Bobin eni = 24.4 cm

Bobin yükseklik = 26 + 36 = 62 cm

Tank için kenarlardan 5 cm'lik bir açıklık seçilir-se;

Tank genişliği = 75 + 5 + = 85 cm olur.

Tank eni = 40 cm

Tank yüksekliği = 100 cm alınır ise; Genel boyutlar

W = 85 cm

$$D = 40 \text{ cm}$$

$$H = 110 \text{ cm}$$

Tank cidar alanı;

$$= 2(85+40) \times 110 \times 10^{-4} = 2,75 \text{ (m}^2\text{)} \text{ bulunur.}$$

2,185 kW'lık kaybın meydana getirdiği ısı artımı tüp soğutucusuz düz tanklar için;

$$10^3 \cdot \frac{2,185}{12 \times 2,75} = 66,2^\circ\text{C}$$

Bu da  $35^\circ\text{C}$ 'lik mücade edilen değerden çok büyük olduğundan soğutma yüzeyi tüplü yüzeyle yapmalıyız.

Tüplü soğutucu yüzeyler için;

$$T = \frac{W}{6(S_{r1} + S_{r2}) + 8(S_{c1} + S_{c2})} \quad S_{c1} \geq S_{c2}$$

$$S_{r1} + S_{r2} = S_{c2} \rightarrow \text{kabul edersek;}$$

$$T = \frac{W}{14 S_{c2} + 8 S_{c1}}$$

$$S_{c2} = \text{Tank yüzey alanı}$$

$$S_{c1} = \text{Tüp yüzey alanı}$$

$$35 \times 14 \times 2,75 + 35 \times 8 \times S_{c1} = 2185$$

Nominal  $S_{c1} = 2,991 \text{ (m}^2\text{)}$  bulunur.

Burada tankdaki yağ seviyesi 85 cm ise tüplerin yüksekliği limit 75 cm alınmalıdır. Tüpün çapı = 5 cm seçersek;

$$\pi \times 5 \times 75 \times 10^{-4} = (\text{m}^2) \text{ den}$$

$$n = \frac{2,991}{\pi \times 5 \times 75 \times 10^{-4}} = 25,4 \text{ (adet)} \quad \underline{n=26 \text{ adet seçilir}}$$

#### DIYOD SEÇİMİ:

Diyod seçimleri yaparken yalnız içinden geçecek ortalama akım değerine göre seçilmez. Belli emniyet durumlar göz önüne alınarak amper ve voltaj değerleri tesbit edilir, ayrıca soğutma elemanı ve ısınması gözönüne alınarak seçilir.

Diyodlar genelde; 50 ms altındaki bir aşırı akım çekme durumlarına göre korunur. Yüksek akım çekme durumlarda High-Speed GS tipi sigortalarla korunurlar. Seçilen sigortanın  $I^2.t$  değeri diyodların  $I^2t$  değerlerinden küçük olmalıdır.

Bizim devremizde;

Nominal yük akımı = 500 Amper

Aşırı yüklenme = % 30 fazlalık (1/2 saat)

Hatalı durumlar için ani yükselme akımı = 5000 Amper  
bu akım 5 sn içindir.

Çevre sıcaklığı = 50°C

Basınçlı hava soğutma değeri = 100 CFM

Kısa devre akımın dC değeri;

$$I_{sc} = \frac{116 \cdot dC}{\%Z}$$

(köprü ve çift yıldız bağlı)

$$\%Z = \left[ \left( \frac{\text{Bakır kayıp}}{I_c} \right)^2 + \left( 1 + \% \mathcal{K} (\text{trans}) \right)^2 \right]^{1/2}$$

1 % hat reaktansı alırsak;

Redresör ortalama akımı;

$$= \frac{500}{3} = 167 \quad (\text{Amper})$$

% 30 fazlası = 1,3 x 167 = 217 Amper

% 30 fazlalıklı RMS akımı = 375 Amper.

Diyod'dan geçen ortalama aşırı yük akımı;



$$\frac{5000}{3} = 2885 \quad (\text{Amper})$$

Bu da imalatçı firma kataloğundan; köprü devre için birinci yaklaşım şöyle seçilir; 200°C'nin altında olmalıdır. bu ileri ortalama yük kaybı, 217 A için = 330 Watt günde ortalama hatalı yük kaybı 1667 A için = 6000 Watt.

Birçok wattaj kayıpları ve toplam termal rezistansların toplamları ile sürekli yük ısısı bulunur.

Soğutucu elemanlı bir diyod için termal rezistans;

$$\theta_{\text{Sink-diy}} = 0,10 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$\theta_{\text{Kontakt}} = 0,08 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$\theta_{\text{J-c}} = 0,12 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Toplam = 0,3 °C/W bulunur.

Buradan;

$$\text{Jonksiyonda ısı artışı} = 0,3 \times 330 = 99 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Son jonksiyon ısısı} = 50 + 99 = 149 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Kısa devre durumunda; imalatçı firma'dan

$$T_j = T_{(s)} + T_{js} + T_A$$

$$= 0,18 \times 330 + [0,12 \times (6000 - 330)] + 50$$

$$= 789,8 \text{ } [^\circ\text{C}]$$

Bu da bütün çalışma şartlarından yüksektir. için;

Jonksiyon sıcaklığı  $200^{\circ}\text{C}$ 'nin altında olmalıdır. bunun için sürekli işlemlerde jonksiyon sıcaklığı hesaplandığında soğutma elemanın tipi, soğutucu havanın hızı dikkate alınacak  $149^{\circ}\text{C}$ 'lik bir limit bulunmalıdır.

Aniden meydana çıkacak hatalardan doğan aşırı akımın meydana getireceği jonksiyon ısısı yüksektir. Bunun için diyodlar hızlı kesen sigortalarla korunmalıdır.

Diyoddan akan akımın RMS değeri 375 A olduğuna göre norm olarak 400 Amperlik bir sigorta ile korunması gerektir. Fakat sigortanın  $I^2t$  değeri;

$= 400^2 \cdot t = 200.000 \text{ A}^2\text{S}$  ederki bu bizim diyodun  $I^2t$  değeri olan;

$= 180.000 \text{ A}^2\text{s}$ 'den daha fazla olacağından sigorta diyodu korumamış olur.

Böylece seçtiğimiz 321-UMR diyodlar ani şartlar için yetersiz olmaktadır. Bir sonraki büyük eleman 501-VR seçildiğinde ve 2 adet 321-UMR diyod paralel bağlandığında yeterli olurlar.

Üretici firmanın 501 VR için ilgili verileri;

Maksimum ileri kayıpları ( $217 \text{ A}^2\text{t}$ ) = 210 Watt

Mak. ileri kayıpları  $\rightarrow (1667) = 5000 \text{ Watt}$

Yüzey soğutuculu sürekli çalışmalar için;

Direnç sink-Hava =  $\theta_{s-a} = 91 \text{ }^\circ\text{C/W}$

Direnç kontak =  $\theta_c = 904 \text{ }^\circ\text{C/W}$

Direnç (jonksiyon-şase) =  $\theta_{j-c} = 0,095 \text{ }^\circ\text{C/W}$

Toplam Rezistans ısısı =  $\theta_t = 9235 \text{ }^\circ\text{C/W}$

Sürekli çalışmalarda jonksiyon ısı artması;

$$\Delta T_j = 0,235 \times 210 = 49,35 \text{ }^\circ\text{C} \approx 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

Son jonksiyon ısısı  $T = 50 + 50 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Ani akım için jonksiyon sıcaklığı

$$T_j = 0,14 \times 210 + 0,095 (5000 - 210) + 50 = 534,45 \text{ }^\circ\text{C}$$

bulunur.

Sürekli nominal çalışmalarda jonksiyon sıcaklığı emniyet sınırlarının içinde olmakla beraber, ani durum yüklenmelerinde sıcaklık yüksektir. Bu tip diyodlar GS-Tipi sigortalarla korunmalıdır.

$I^2t = 260.000 \text{ A}^2$  bulunur. Bu da; 400 A'lik GS sigortaların  $I^2t$ 'sinden büyüktür.

$$260.000 \text{ A}^2t > 200.000 \text{ A}^2t$$

Diyodun voltaj değerlerini tesbit etmek için; köprü devrelerde PIV değeri çalışma voltajının 2,5 katı seçilir.

$$PIV = 2,5 \times 0,75 \times V \times 1,4 = 564 \text{ Volt}$$

nominal değer olan 600 volt'luk diyod seçilir.

#### 2.4. DOĞRULTMA DEVRELERİNİN DEĞER VE KAREKTERİSTİKLERİ

Doğrultma devre elemanlarının tayini ve değerleri; önceden hazırlanan listelerden seçilir.

Bu tabla içinde önceden hazırlanan veri tablası, herhangi bir doğrultma devre dizaynında çok faydalı olmaktadır. Bu değerler transformatör, ön devreler, sigortalar ve doğrultucu seçiminde kullanılır.

Yaklaşık formül bunun için şöyledir.

$$V_{co} = \left[ (V_c + n E_f) \right] \left( 1 + \frac{X_L}{K} + \frac{R}{100} \right) \quad (91)$$

Bunlar;

$V_{co}$  = Yüksüz DC voltajı

$V_c$  = Nominal yük DC voltajı

$E_f$  = İletimde diyod voltaj düşümü

$n$  = Yarım dalga doğrultucularda her bir koldaki seri cihazların adedi

= 2 x (Köprü devrelerdeki her bir koldaki seri cihazların adedi. (diyod adedi))

R = Transformatördeki direnç değeri

X = Transformatördeki indüktif reaktans

K = Tablolarda verilen impedans faktörü

fr = Frekans dalgalanması

fs = Besleme şebekesinin frekansı

Idav = Diyod ortalama akımı

Ic = Yük ortalama akımı

PIV = Ters tepe voltajı

Ia = Diyod rms akım değeri

Is = Transformatör sekonder akımı

Po = A.C. yük gücü

VAS = Transformatörün sekonder gücü

Devre Şekli	$= V_{co}$	$f_r/f_s$	$I_{dao}/I_c$	$I_a/I_c$	UF	K	$\theta$
Tek-faz yarım dalga	= 2,22	1	1	1,57	0,334	200	180°
1 tam dalga	= 1,11	2	0,5	0,707	0,67	200	180°
1 köprü doğrultma	= 1,11	2	0,5	0,707	0,81	200	180°
3 yarım dalga doğ.	= 0,855	3	0,333	0,577	0,74	191	120°
3 köprü doğrultma	= 0,74	6	0,333	0,577	0,955	200	120°
Çift Yıldız bağlı (3 $\phi$ )	= 0,74	6	0,167	0,408	0,64	58	60°
Çift (IPR'li) (3 $\phi$ )	= 0,855	6	0,167	0,29	0,79	141	120°

TABLO = 1

VA = Transformator primer VA değeri

UF = Yararlı olma faktörü (Utility factor)

$\Theta$  = İletim periyodu

Bir redresörde elemanlar seçilirken yukarıda verilen değerlerin uygun bir şekilde belirtilmesi gerekiyor. Bu değerler çeşitli deneyler sonucu bir tablo haline getirilmiştir. Böylelik bir dizayn yapılırken, hesaplar aşağıda verilen tablo oldukça faydalıdır.

Öncelikle devre tipi belirtilir ve bu tipe göre istenilen değerler seçilir.

## BÖLÜM : 3

### 3.1. KONTROLLU DOĞRULTMA DEVRELERİ

Gelişen teknolojiye bağlı olarak doğrultucuların yapısı daha da karmaşık olmaktadır.

Daha hızlı bir üretim için olsun, kaliteli ve ucuz maliyetlerde üretim için olsun, sistemler insan gücüne daha az ihtiyaç doğramaktadır. Ayrıca insanların insiyatifine dayalı üretimlerde standardı aynı olan malzemeler üretimi zor

olduğundan, üretim tesislerinin otomatikleştirilmesi yaygınlaşmakta ve geliştirilmektedir. Bunlara paralel olarak doğrultucuların çalışması ve kontrolü otomatikleştirilmektedir.

Kullanma amacına göre doğrultucular çeşitli şekil ve düzenlerde imalatı yapılmaktadır. Bu redresörler el kontrolü, otomatik düzenli ve bilgisayar kontrollü şeklinde imalatı yapılmaktadır.

Bu kontrol akım ve gerilim değerlerinin kontrolü olduğu gibi koruma düzenleri de otomatikleştirilmektedir. Güçlü redresörlerde kullanılan yarı iletkenlerin korunması, elektronik düzenleri ile yapılmaktadır.

Redresörlerin kontrolü, büyüklüğüne ve yapısına göre primer tarafından veya sekonder çıkış katında yapılmaktadır. Çok güçlü ve yük akımı birkaç kiloamperlik doğrultucularda akım ve gerilim kontrolü primer tarafından yapılmaktadır. Çünkü genelde sekonder gerilimi primer gerilimine göre çok düşük olduğundan primer akımının değeri sekonderinkinden küçüktür. Bu vesile ile küçük akımların kontrolü daha ucuz ve kolaydır.

Güçlü redresörlerin kontrolü daha önceleri primer giriş voltajının ayarlanmasıyla yapılmaktadır. Voltaj ayarlaması varyak yardımıyla yapılmaktadır. Varyaklar genelde yıldız bağlı sarımlardan oluşmakta. Bu sarımlar üstündeki hareketli fırçalar yardımıyla istenilen değerdeki voltaj, primeri beslemektedir.

3.2.1. Günümüzde kullanılan tristör kontrollu sistemlerden önce Gaz deşarjlı lambalar kullanılarak statik kontrol sistemler geliştirilmiştir.

Günümüzde güçlü tristör ve diyodların imalatıyla birlikte redresörlerin kontrolü yarı iletken elemanlarla yapılmaktadır. Biz burada günümüzde uygulanan sistemleri inceleyeceğiz. Bunların meydana getirmiş olduğu elektriksel olayların matematiksel ifadesini inceleyeceğiz.

### 3.2. ÜÇ FAZLI DOĞRULTUCULARIN KONTROLU

Şekil 39.

Yukarıda dabelirttiğimiz gibi tristörle yapılan kontrolleri inceleyeceğiz. Çeşitli düzende devrelerin davranışlarını ayrı ayrı ifade edeceğiz. Üç fazlı doğrultucuların sanayide çok kullanılan tiplerinin kontrolleri amaçlarına göre değişirler.

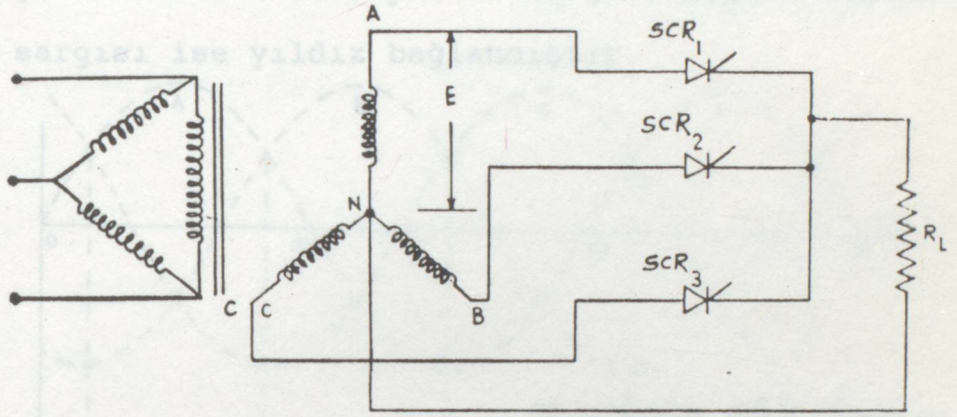
Rezistif bir yükü besleyen bir redresörle, indüktif bir yükü besleyen redresörlerin kontrolü aynı görünmekle beraber farklı sonuçlar doğabilir.

Şekil 40. Üç faz voltajın vektör diyagramı.

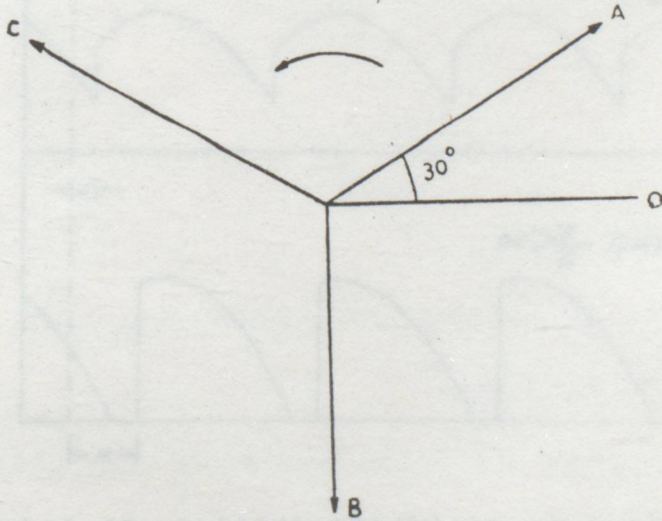


### 3.2.1. REZİSTİF YÜKLÜ YARIM DALGA DOĞRULTUCULARIN KONTROLU

tensi ve iletin durumunda SCR'deki gerilim düşümü sıfır ka-  
bul edeceğiz. Bu redresörde primer sargısı üçgen bağlıdır,  
sekonder sargısı ise yıldız bağlıdır.

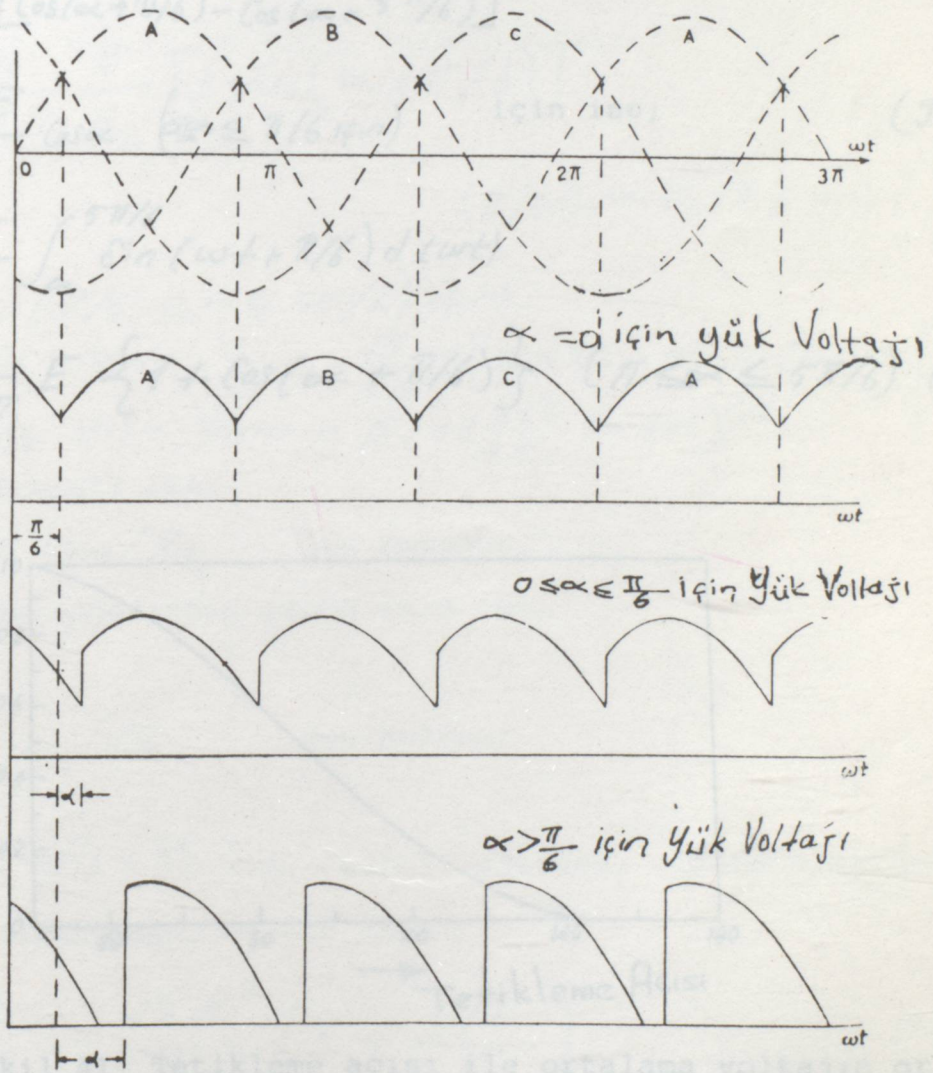


Şekil 39.



Şekil 40. Üç faz voltajın vektör diğramı

Buradaki incelemelred transformatörün kaçak indük-  
tansı ve iletim durumunda SCR'deki gerilim düşümü sıfır ka-  
bul edeceğiz. Bu redresörde primer sargısı üçgen bağlanmış,  
sekonder sargısı ise yıldız bağlanmıştır.



Şekil 40. Değişik tetikleme açılarında yük voltajı

Şekil 40'da görüldüğü gibi çeşitli tetikleme açılarındaki yük voltajının dalga formu görülmektedir. Buradan;

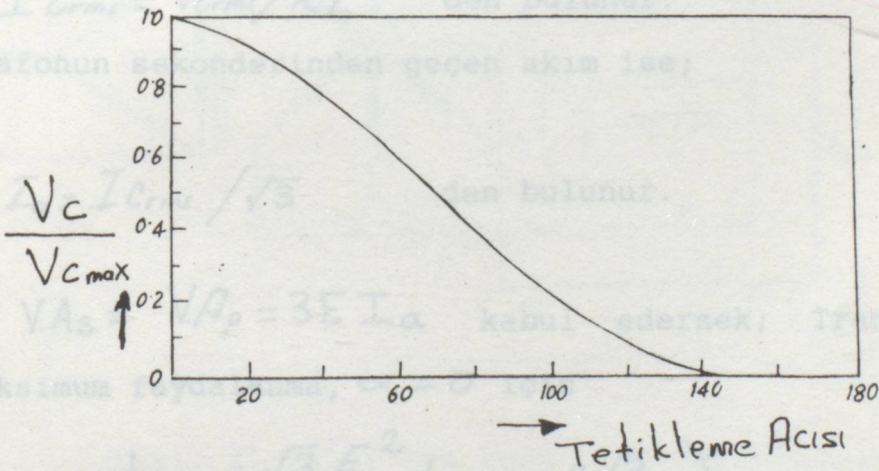
$$\text{Ortalama yük voltajı: } V_c = \frac{3\sqrt{2}E}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi/3+\alpha} \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) d(\omega t)$$

$$= \frac{3}{\sqrt{2}\pi} E \left[ \cos(\alpha + \pi/6) - \cos(\alpha + 5\pi/6) \right]$$

$$V_c = \frac{3\sqrt{3}E}{\sqrt{2}\pi} \cos\alpha \quad (\alpha \leq \pi/6 \text{ için}) \quad \text{için ise;} \quad (92)$$

$$V_c = \frac{3\sqrt{2}\pi}{2\pi} \int_{\alpha}^{5\pi/6} \sin(\omega t + \pi/6) d(\omega t)$$

$$V_c = \frac{3}{\sqrt{2}\pi} E \left\{ 1 + \cos(\alpha + \pi/6) \right\} \quad (\pi \leq \alpha \leq 5\pi/6) \quad (93)$$



Şekil 41. Tetikleme açısı ile ortalama voltajın oranı

Rezistif yükde ortalama yük akımı,  $I_c$ ;

$$I_c = \frac{V_c}{R_L} = \frac{3\sqrt{3}}{\sqrt{2}\pi} \frac{E}{R_L} \cos\alpha \quad (0 \leq \alpha \leq \pi/6 \text{ için}) \quad (94)$$

$$I_c = \frac{3}{\sqrt{2}\pi} \frac{E}{R_L} [1 + \cos(\alpha + \pi/6)]$$

$$(\pi/6 \leq \alpha \leq 5\pi/6 \text{ için}) \quad (95)$$

Buradan;  $(\pi/6) \leq \alpha \leq 5\pi/6$  için;

$$\text{Efektif yük voltajı} = V_{Crms} = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{\pi}} E [2(5\pi/6 - \alpha) + \sin 2(\alpha + \pi/6)]^{1/2} \quad (96)$$

$$(0 \leq \alpha \leq \pi/6 \text{ için}) \rightarrow V_{Crms} = E \left(1 + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha\right)^{1/2} \quad (97)$$

RMS yük akımları ise;

$$I_{Crms} = V_{Crms} / R_L \quad \text{den bulunur.}$$

Trafonun sekonderinden geçen akım ise;

$$I_a = I_{Crms} / \sqrt{3} \quad \text{den bulunur.}$$

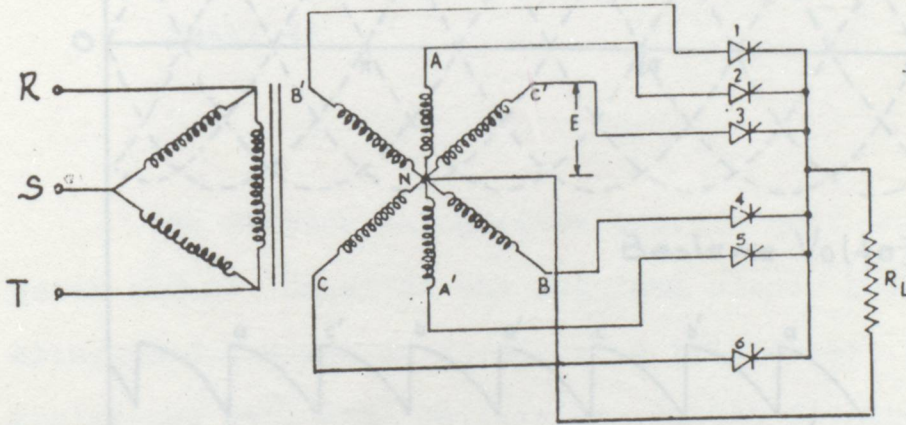
$V.A_s = V.A_p = 3E I_a$  kabul edersek; Transformatörden maksimum faydalanma,  $\alpha = 0$  için

$$V.A. \Big|_{\alpha=0} = \frac{\sqrt{3} E^2}{R_L} \left(1 + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}\right) \quad (98)$$

Üç-faz yarım dalga devreleri pratik uygulamalarda fazla popüler değildir.

SCR'nin minimum çalışma voltajı;  $\sqrt{2} \times \sqrt{3} E$  (Volt) değerindedir.

### 3.2.2. ALTI-FAZ YARIM DALGA DOĞRULTUCULAR



Şekil 42. Altı faz kontrollü doğrultucular

Daha ziyade yüksek akımlı sistemlerde kullanılır. Burada herbirtristörün maksimum tetikleme açısı  $60^\circ$  ve minimum tetikleme açısı ise  $180^\circ$ 'dir. Fakat genelde tetikleme

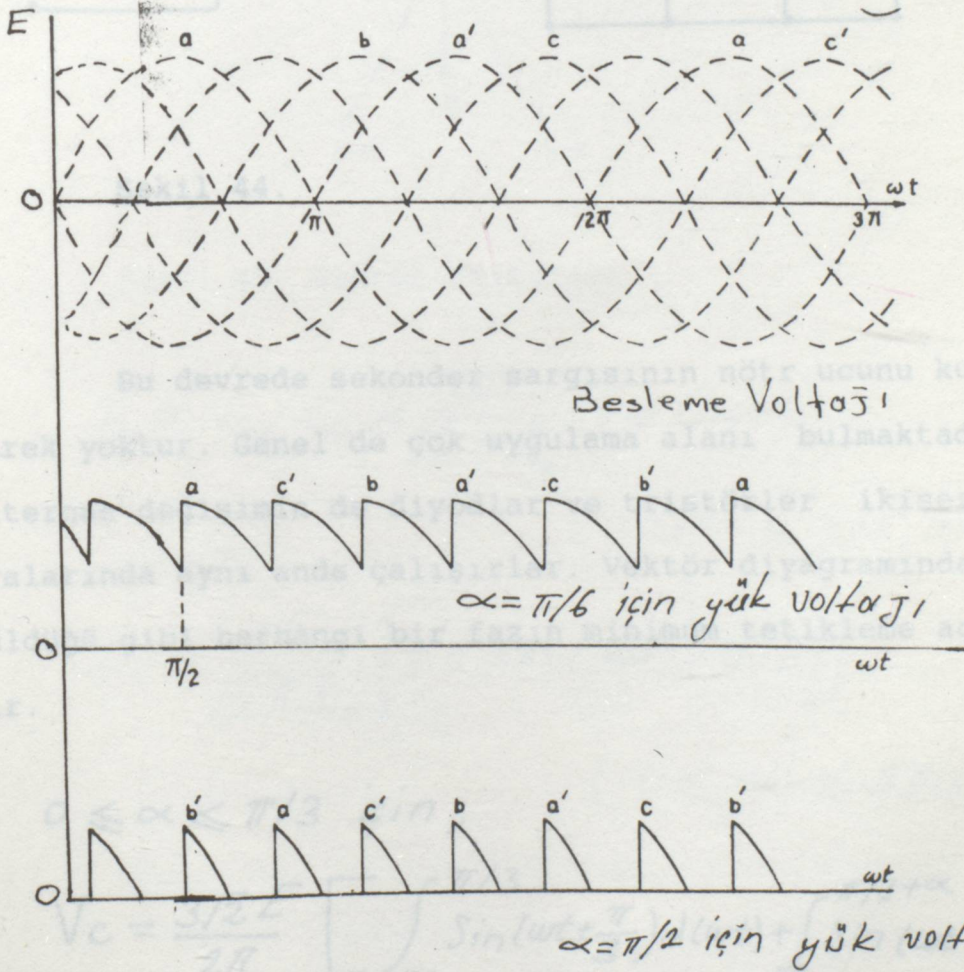
## 3.2.3 YARIM DALGA KONTROLLÜ KÖPRÜ DOĞRULTUCULAR

açısı  $60^\circ \div 120^\circ$  arasında çıkış akımı sürekli.  $120^\circ \div 180^\circ$  aralarında akım sürekli değildir.

$0 \leq \alpha \leq \pi/3$  için  $\omega t = \pi/3$  de  $\alpha$  tetikleme açısını sıfır kabul ederiz.

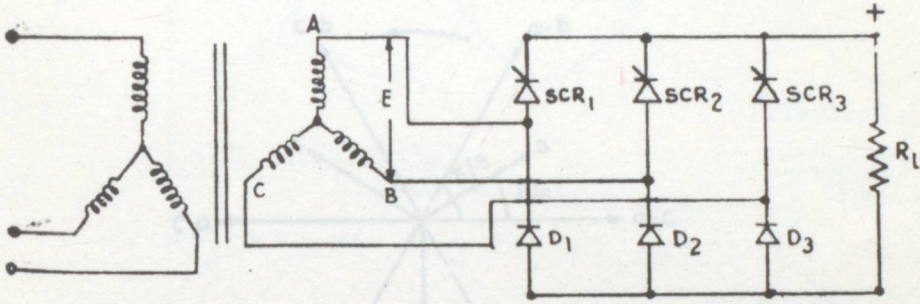
Ortalama çıkış voltajı:

$$V_c = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E \cdot \cos \alpha \quad (\text{sürekli iletim için}) \quad (39)$$



Şekil 43. Çeşitli açılarda dalga formu

## 3.2.3 YARIM DALGA KONTROLLÜ KÖPRÜ DOĞRULTUCULAR



Şekil 44.

Şekil 45. Vektör diyagramı

Bu devrede sekonder sargısının nötr ucunu kullanmaya gerek yoktur. Genel de çok uygulama alanı bulmaktadır. Her alternas değişimin de diyodlar ve tristörler ikiye ikiye aralarında aynı anda çalışırlar. Vektör diyagramında da görüldüğü gibi herhangi bir fazın minimum tetikleme açısı  $\pi/6$ ' dır.

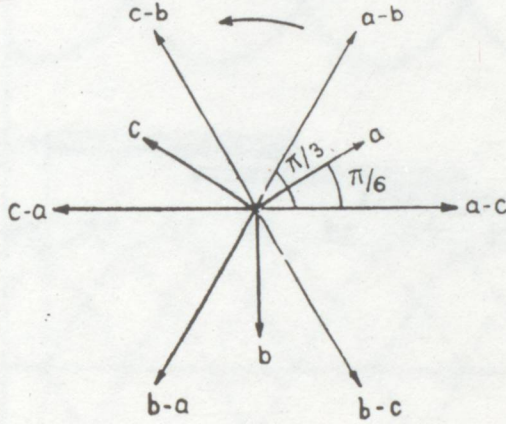
$$0 \leq \alpha \leq \pi/3 \text{ için ;}$$

$$V_c = \frac{3\sqrt{2}E}{2\pi} \left[ \int_{\alpha}^{\pi/3} \sin(\omega t + \frac{\pi}{3}) d(\omega t) + \int_0^{\pi/3 + \alpha} \sin(\omega t + \frac{\pi}{3}) d(\omega t) \right]$$

$$V_c = \frac{3 \cdot E}{\sqrt{2} \pi} (1 + \cos \alpha) \quad (105)$$

$$0 \leq \alpha' \leq 2\pi/3 \text{ için } V_c = \frac{3\sqrt{2}E}{2\pi} \int_{\alpha'}^{2\pi/3} \sin(\omega t + \frac{\pi}{3}) d(\omega t)$$

$$V_c = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} E \left[ 1 + \cos(\alpha' + \pi/3) \right] \quad (106)$$



Şekil 45. Vektör diyagramı

$$I_c = V_c / R_L = \frac{3E}{\sqrt{2}\pi R_L} (1 + \cos\alpha) \quad (107)$$

( $0 \leq \alpha \leq \pi/3$ ) için

$$I_c = \frac{3E}{\sqrt{2}\pi R_L} \left[ 1 + \cos(\alpha' + \pi/3) \right] \quad (108)$$

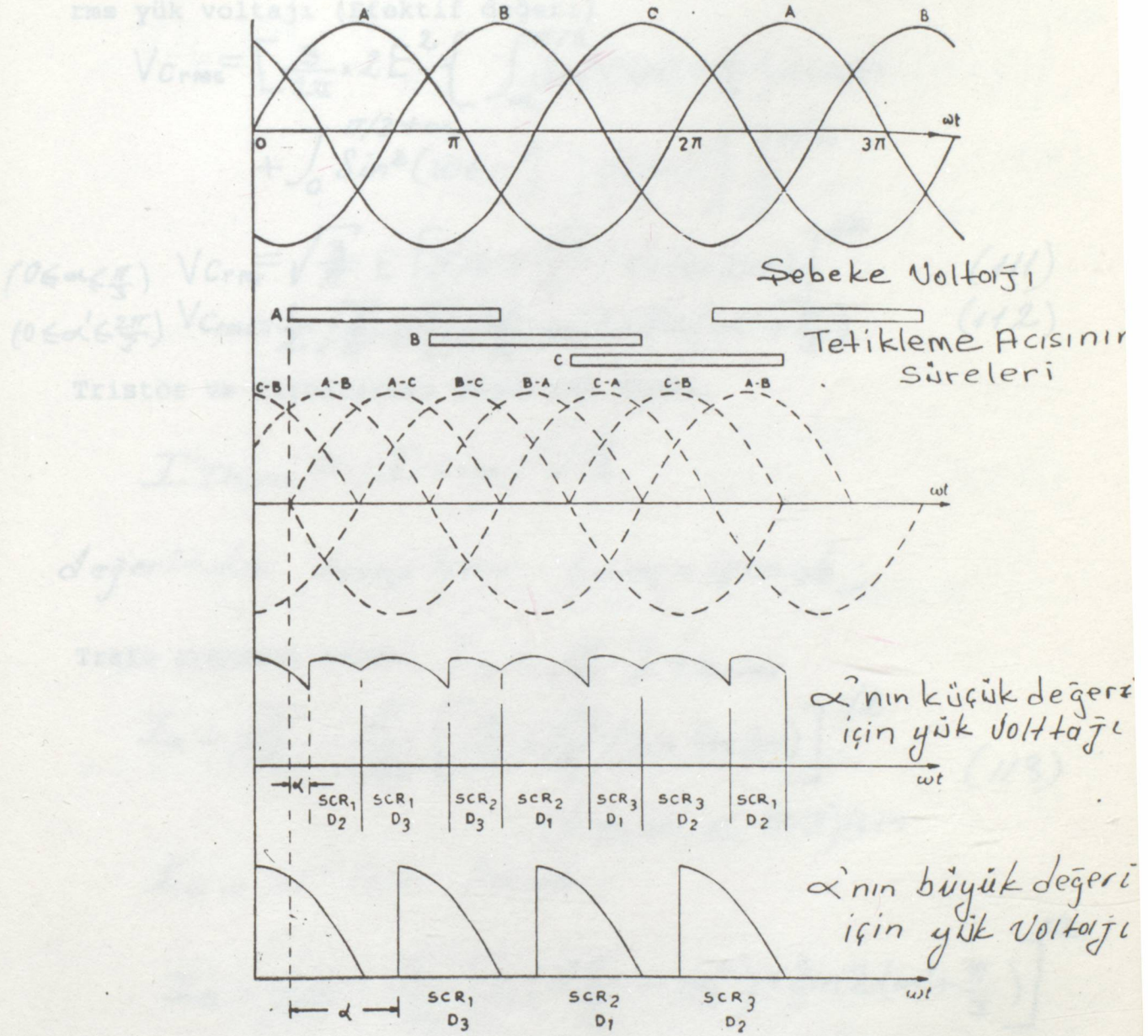
( $0 \leq \alpha' \leq 2\pi/3$ ) için

SCR ortalama akımı;

$$I_{Th} = \frac{I_c}{3} = \frac{E}{\sqrt{2}\pi R_L} (1 + \cos\alpha) \quad (109)$$

$$I_{Th} = \frac{I_c}{3} = \frac{E}{\sqrt{2}\pi R_L} \left[ 1 + \cos(\alpha' + \pi/3) \right] \quad (110)$$





Şekil 46. Değişik tetikleme açılarında voltaj dalga formları

rms yük voltajı (Efektif değeri)

$$V_{Crms} = \left[ \frac{3}{2\pi} \times 2E^2 \left\{ \int_{\alpha}^{\pi/3} \sin^2(\omega t + \frac{\pi}{3}) d(\omega t) + \int_0^{\pi/3 + \alpha} \sin^2(\omega t + \frac{\pi}{3}) d(\omega t) \right\} \right]^{1/2}$$

$$(0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}) \quad V_{Crms} = \sqrt{\frac{3}{\pi}} E \left[ \frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} (1 + \cos 2\alpha) \right]^{1/2} \quad (111)$$

$$(0 \leq \alpha' \leq \frac{2\pi}{3}) \quad V_{Crms} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} E \left[ 2(\frac{2\pi}{3} - \alpha') + \sin(\alpha' + \frac{\pi}{3}) \right] \quad (112)$$

Tristör ve diyodlardan geçen rms akımı;

$$I_{Thrms} = I_{Crms} / \sqrt{3}$$

değerinden hesaplanır; bunun içinde;

Trafo sekonder akımı;  $I_{\alpha} = \sqrt{2} I_{Thrms}$

$$I_{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \times \frac{E}{R_L} \left[ \frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} (1 + \cos 2\alpha) \right]^{1/2} \quad (113)$$

( $0 \leq \alpha \leq \pi/3$ ) için

$I_{\alpha} = \alpha'$  için hesabı;

$$I_{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \frac{E}{R_L} \left[ 2(\frac{2\pi}{3} - \alpha') + \sin 2(\alpha' + \frac{\pi}{3}) \right]^{1/2} \quad (0 \leq \alpha' \leq \frac{2\pi}{3}) \text{ için } (114)$$

$V_{Ap} = V_{As} = \sqrt{3} E I_{\alpha}$  kabul edersek

$$V_{Ap} = V_{As} = \sqrt{3} \frac{E^2}{R_L} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left[ \frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} (1 + \cos \alpha) \right]^{1/2} \quad (115)$$

( $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}$ ) için

$$V.A_p = V.A_s = \frac{\sqrt{3} E^2}{R_L} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[ 2 \left( \frac{2\pi}{3} - \alpha' \right) + \sin^2 \left( \alpha' + \frac{\pi}{3} \right) \right]^{1/2} \quad (116)$$

$(0 \leq \alpha' \leq \frac{2\pi}{3})$  için

$\alpha = 0$  için denklem 114'den  $V.A_{\alpha=0}$  için;

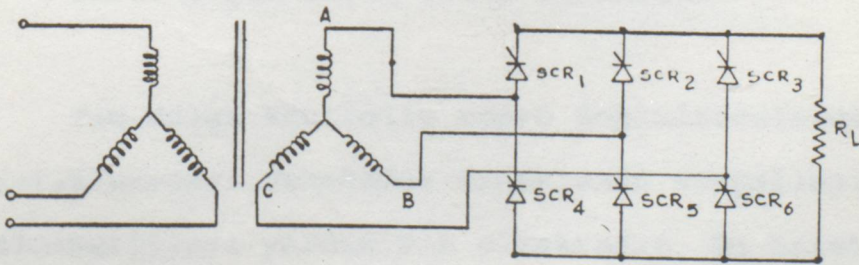
$$V.A_{\alpha=0} = \sqrt{\frac{6}{\pi}} \times \frac{E^2}{R_L} \left( \frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^{1/2} \quad (117)$$

Şekil 48. Vektör diyagramı

Tristörlerin maruz kaldığı PIV değeri düşüktür.

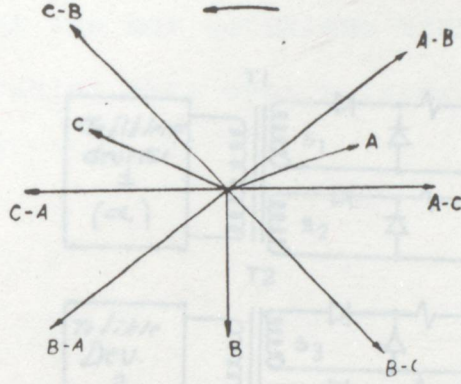
$P.I.V = \sqrt{2} E$ . dir.

### 3.2.4. TAM DALGA KONTROLLU KÖPRÜ DOĞRULTUCULAR



Şekil 47. Devre yapısı

Aşağıda birbirleri ile bağlı trafolu tetikleme devresi gösterilmiştir.



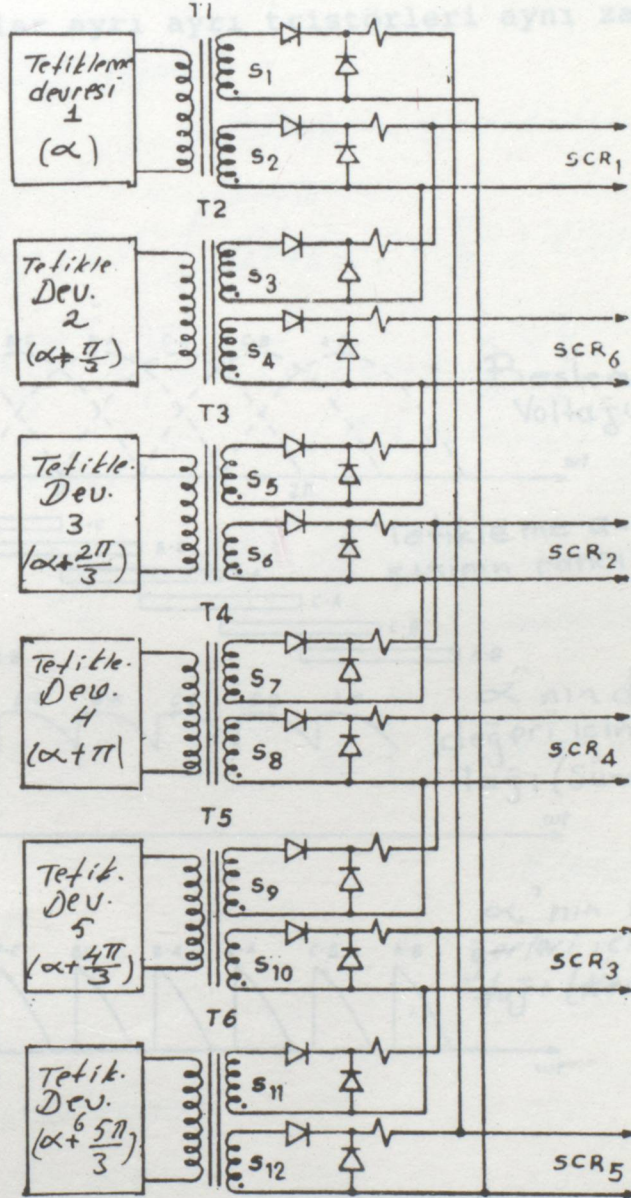
Şekil 48. Vektör diyagramı

	R	S	T	R
Tristör'den →	SCR <sub>1</sub>	SCR <sub>2</sub>	SCR <sub>3</sub>	SCR <sub>1</sub>
tristör'e →	SCR <sub>2</sub>	SCR <sub>3</sub>	SCR <sub>1</sub>	SCR <sub>2</sub>
Tetikleyen trf. →	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>
Tetikleyen dev. →	1	2	3	4

Tablo-2 SCR'lerin iletici sekansları

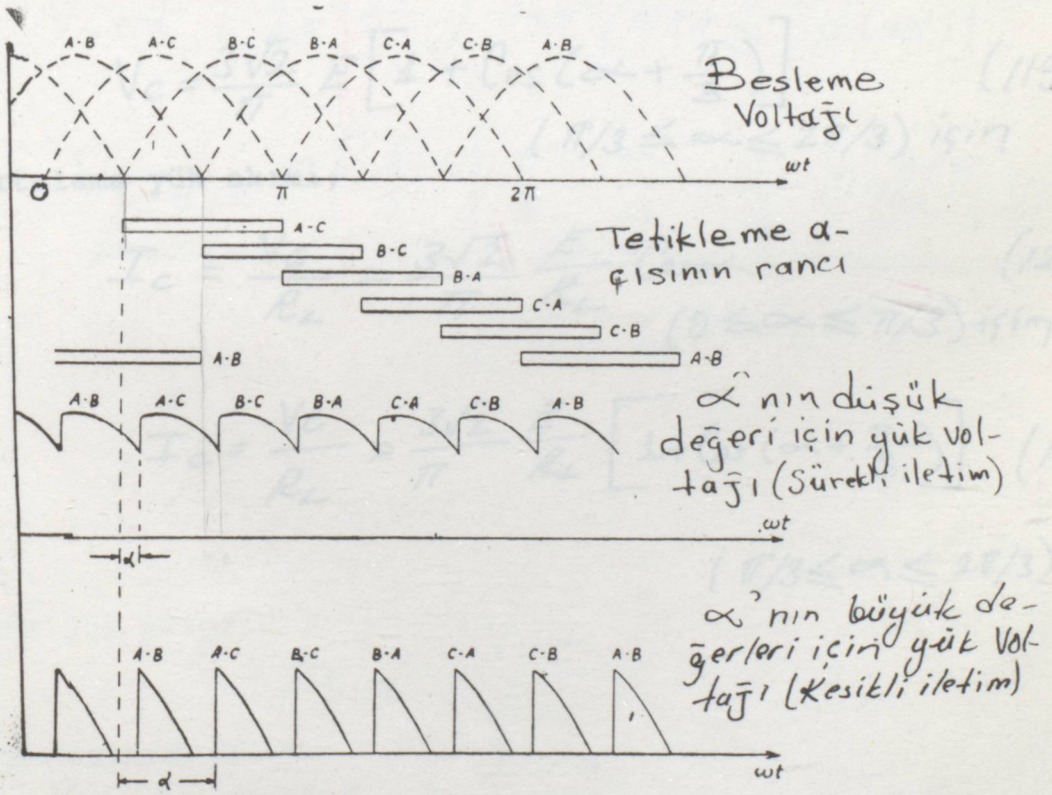
Tam dalga kontrollü köprü doğrultucularda tristörlerin tetiklemeleri şebekeden örneklenen sinyallerin tetikleme transformatörleri yardımıyla olmaktadır. Bu tristörlerin tetikleme frekansı değerindedir. Oldukça yaygın olan bu metodu elde edilen yük voltajı homojen bir forma sahiptir.

Aşağıda birbirleri ile bağlı trafolu tetikleme devresi gösterilmiştir.



Şekil 49. Tetikleme devresi;

Ortalam Burada trafoları besleyen tetikleme devreleri şebekeden örneklenmiş sinyallerle çalışmaktadırlar. Dikkat edilecek olunur ise her tetikleme trafosunun iki çıkış devresi vardır ve bunlar ayrı ayrı tristörleri aynı zamanda tetiklemektedirler.



Şekil 50. Devrenin değişik tetikleme açısı için voltaj dalga formu.

Ortalama yük voltajı;

RMS yük voltajı;

$$V_c = \frac{6}{2\pi} \sqrt{2} E \int_{\alpha}^{\pi/3 + \alpha} \sin(\omega t + \pi/3) d(\omega t)$$

$$V_c = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E \cdot \cos \alpha \quad (118)$$

( $0 \leq \alpha \leq \pi/3$ ) için

$$V_c = \frac{6}{2\pi} \sqrt{2} E \int_{\alpha}^{2\pi/3} \sin(\omega t + \frac{\pi}{3}) d(\omega t)$$

$$V_c = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E \left[ 1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) \right] \quad (119)$$

( $\pi/3 \leq \alpha \leq 2\pi/3$ ) için

Ortalama yük akımı;

$$I_c = \frac{V_c}{R_L} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \frac{E}{R_L} \cos \alpha \quad (120)$$

( $0 \leq \alpha \leq \pi/3$ ) için

$$I_c = \frac{V_c}{R_L} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \frac{E}{R_L} \left[ 1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) \right] \quad (121)$$

( $\pi/3 \leq \alpha \leq 2\pi/3$ ) için

RMS yük akımı;

$$I_{c_{rms}} = \frac{V_{c_{rms}}}{R_L} \quad (124)$$

RMS tristör akımı;

$$I_{c_{rms}} = \frac{I_c}{\sqrt{3}} \quad (125)$$

Ortalama tristör akımı;

Transformatörün sekonder akımı;

$I_{Th} = I_c / 3$  formülünden; (120) ve (121) nolu denklemleri yardımıyla bulunur.

Tristörlerin maruz kaldığı PIV voltajı;

$$PIV = \sqrt{2} E \quad (127)$$

RMS yük voltajı;

$$V_{Crms} = \left[ \frac{6}{2\pi} \cdot 2E^2 \int_{\alpha}^{\pi/3 + \alpha} \sin^2(\omega t + \frac{\pi}{3}) d(\omega t) \right]^{1/2} \quad (122)$$

$$\underline{\underline{V_{Crms} = E \left( 1 + \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \cos 2\alpha \right)^{1/2} \quad (0 \leq \alpha \leq \pi/3) \text{ için}}}$$

$$V_{Crms} = \left[ \frac{6}{2\pi} \cdot 2E^2 \int_{\alpha}^{2\pi/3} \sin^2(\omega t + \frac{\pi}{3}) d(\omega t) \right]^{1/2}$$

$$\underline{\underline{V_{Crms} = E \left[ \frac{6}{\pi} \left\{ \frac{\pi}{3} - \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right\} \right]^{1/2} \quad (\pi/3 \leq \alpha \leq 2\pi/3) \text{ için} \quad (123)}}$$

RMS yük akımı;

$$I_{Crms} = \frac{V_{Crms}}{R_L} \quad (124)$$

RMS tristör akımı;

$$I_{Thrms} = \frac{I_{Crms}}{\sqrt{3}} \quad (125)$$

Transformatörün sekonder akımı;

$$I_{\alpha} = \sqrt{2} I_{Thrms} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{Crms} \text{ den bulunur.}$$

Tristörlerin maruz kaldığı PIV voltajı;

$$P.I.V. = \sqrt{2} E \quad (127)$$

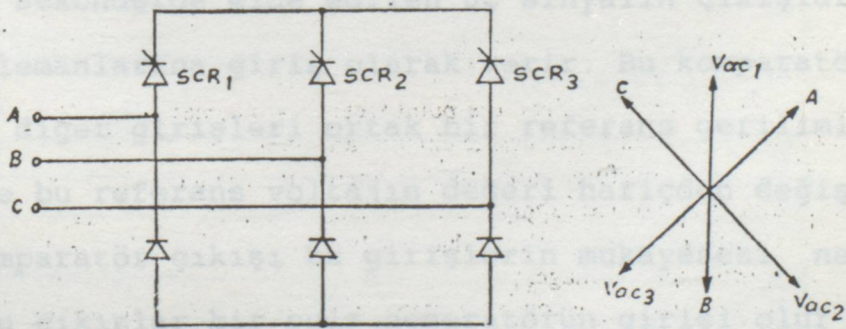


## BÖLÜM : 4

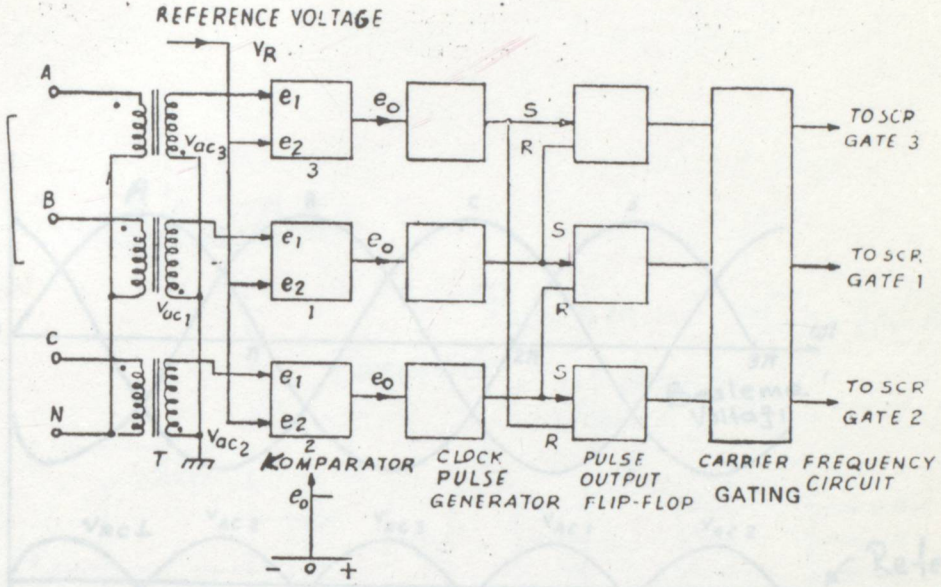
## 4.1. ÜÇ FAZ DEVRELER İÇİN TRİSTÖR TETİKLEME DEVRELERİ

Günümüzde elektronik devrelerden oluşan çeşitli tetikleme devreleri kolaylıkla yapılmaktadır. Integral devrelerin geliştirilmesiyle tetikleme devre elemanları karmaşık yapılardan daha kurtulmakta ve daha stabil devreler olmaktadır.

## 4.1.1 TERS-KOSİNÜS KONTROL DEVRESİ



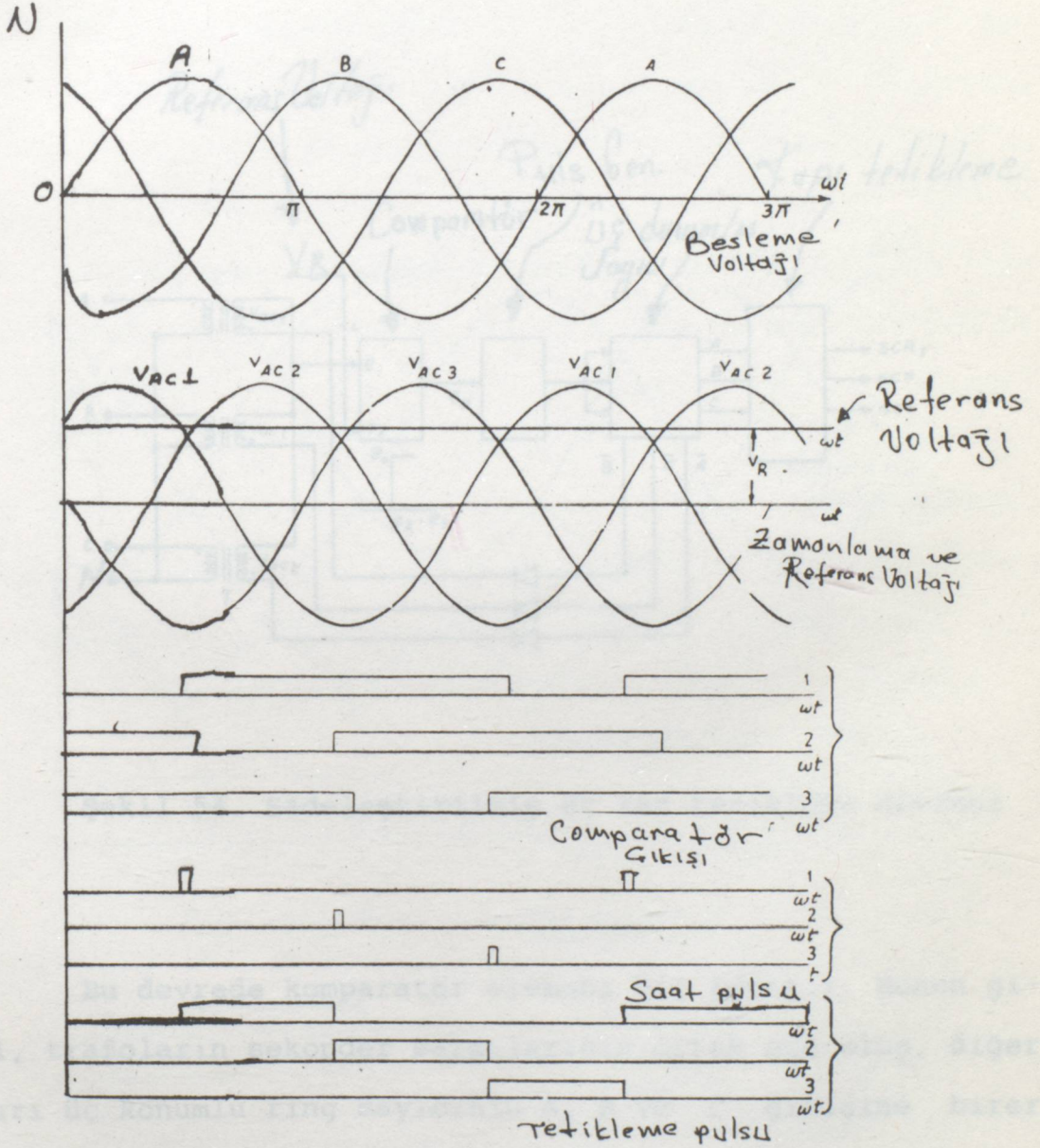
Şekil 51. Yarım dalga kontrollü köprü redresör



Şekil 52. SCR tetikleme için ters-cosinus devresi

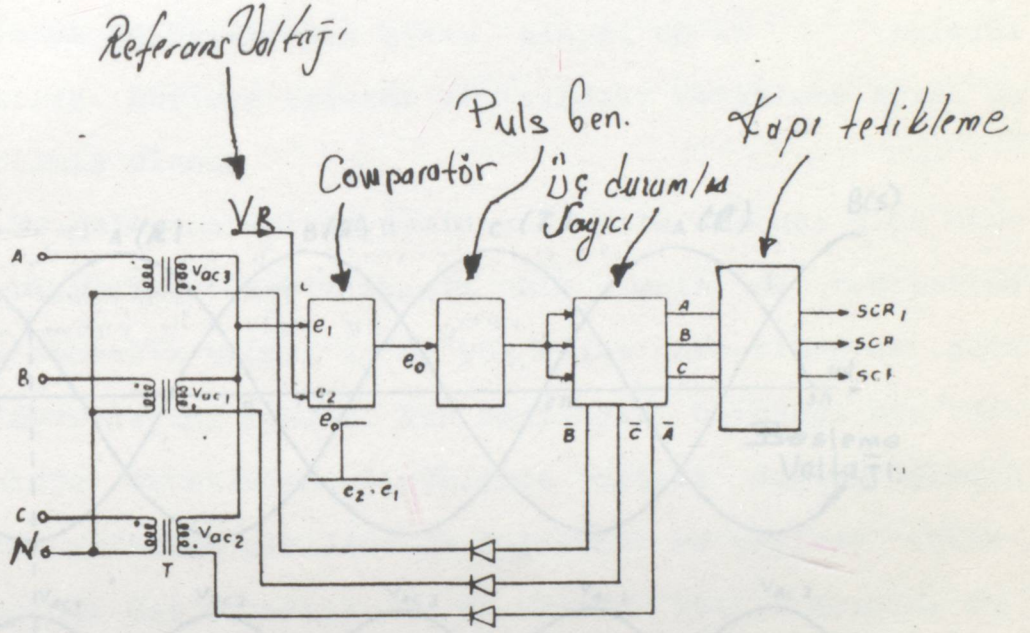
Bu devrede A, B ve C girişleri şebeke faz girişleri olup bunların sekonder çıkışları girişe göre  $180^\circ$  faz farkı vardır. Sekonderde elde edilen üç sinyalin çıkışları komparatör elemanlarına giriş olarak verir. Bu komparatör elemanlarının diğer girişleri ortak bir referans gerilimi ile beslenir ve bu referans voltajın değeri hariçten değiştirilebilir. Komparatör çıkışı bu girişlerin mukayesesi neticesinde olur. Bu çıkışlar bir puls generatörün girişi olur ve buradan çıkan pulslar da bir flip x flop devresinin girişidir. Flip x flop çıkışları ise tetikleme katından tristör kapı girişine uygulanır.

## 4.1.2 ZAMANLAMA DALGA ÇOĞALTIÇI KONTROL DEVRESİ



Şekil 53. Tetikleme devre katlarının ürettiği sinyaller

## 4.1.2 ZAMANLAMA DALGA ÇOĞALTICI KONTROL DEVRELERİ



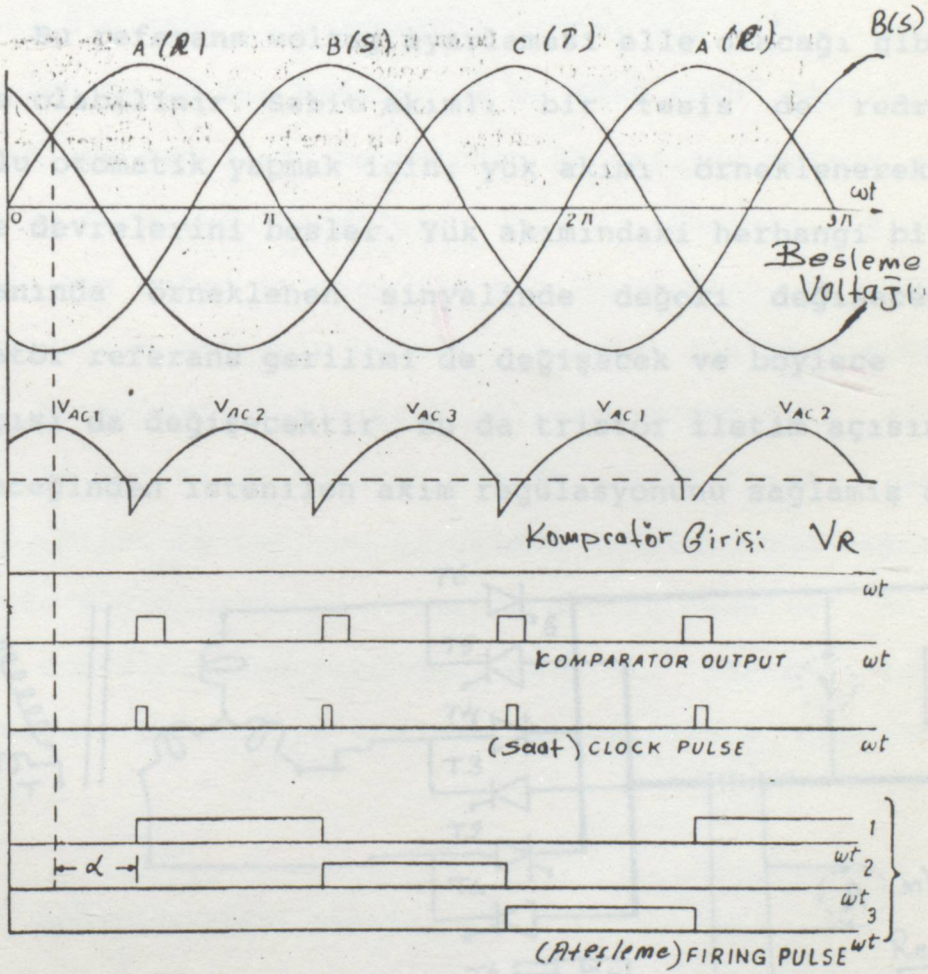
Şekil 54. Sadeleştirilmiş üç faz tetikleme devresi

Bu devrede komparatör elemanı bir adettir. Bunun girişi, trafoların sekonder sargılarının ortak uçu olup, diğer uçları üç konumlu ring sayıcının A, B ve C girişine birer diyodla bağlanmıştır.

Şekil 55. Yukarıdaki devrenin sinyal yolları

Şekil 55'de görüldüğü gibi komparatörden çıkan puls- lar, Clock-puls generatöründen daha kısa zaman pulsu olarak sayıcı devreye uygulanıyor.

Bu devrelerdeki referans voltaj giriş değerleri de- ğiştirilerek komparatörden çıkış, sinyal Co'nun acısını- nı değiştiririz. Böylece triyotör kapısındaki tetikleme açısı da değiştirilmiş olur.



Şekil 55. Yukarıdaki devrenin sinyal yapısı

Şekil 56. Akım regülatör, triyotör kontrolü doğrultucu



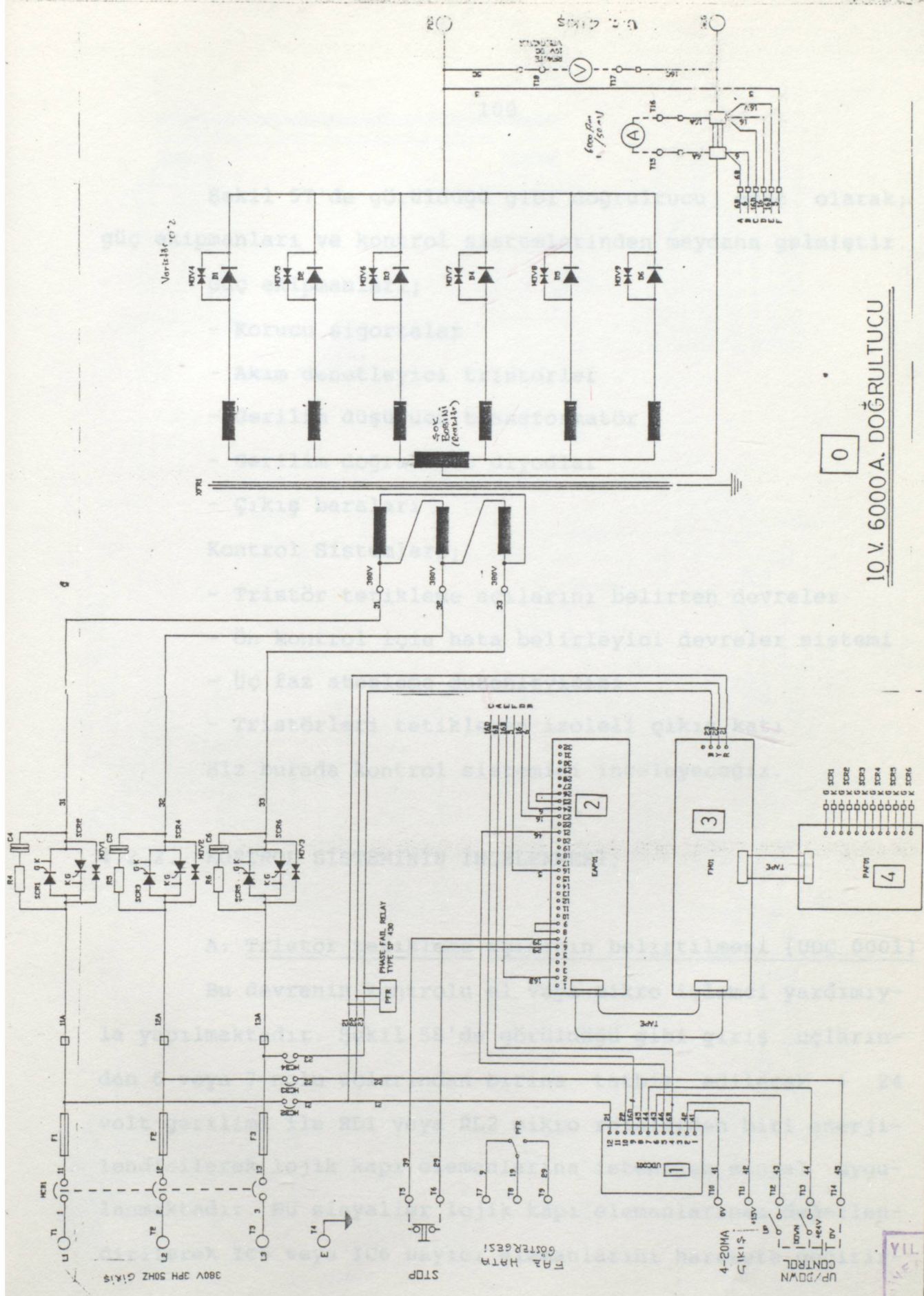
#### 4.2. 10 VOLT, 6000 AMPER ÇIKIŞLI, OTOMATİK KONTROLLU DOĞRULTUCUNUN İNCELENMESİ

Doğrultucu; otomobillerin hidrolik amortisör millerinin sert krom kaplama tesisinde çalışmaktadır. Bir günde; çeşitli ölçülerdeki millerden 4000 adet kaplama yapan tesis de; esas olarak bir adet 1000 amperlik elektrikli temizleme banyosu, bir adet 2000 amperlik kromik pas alma olarak adlandırılan aşındırma banyosu ve üç adet 6000 Amperlik sert krom kaplama banyoları mevcuttur. Bu tesisde ayrıca 6 adet yıkama ve durulama banyoları vardır. Tesisin işletme ve kontrolü bir mikro işlemci ile yapılmaktadır. Bu mahiyette doğrultucuların kontrolü bu mikro işlemci ile yapılmaktadır.

Banyolarda kaplanacak millerin boyutları, adedi ve kaplanacak kalınlığı nümerik olarak olarak mikro işlemciye verilir. Mikro işlemci bu bilgileri kendi içinde değerlendirerek güç doğrultucusunu otomatik olarak denetler. Bu denetlemede; doğrultucunun sekonder akımını, kaplama zamanını, daha önceden belirtilen programlama tanımları doğrultusunda belirler.

##### 4.2.1. DOĞRULTUCUNUN YAPISI

Doğrultucu radyatörlü yağ soğutuculu inşa edilmiştir. Yarı iletkenler ve transformatörler yağ içinde çalışmaktadır.



Veristörler

50°C  
Egrelit  
(Elektrolit)

6000A  
50mV

0

10 V. 6000 A. DOĞRULTUCU

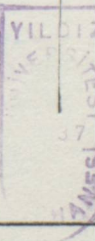
380V 3PH 50HZ ÇIKIŞ

STOP

T1 PA HATTA  
GÖSTERGESİ

4-20MA  
G1K1S

UP/DOWN  
CONTROL





Şekil 57'de görüldüğü gibi doğrultucu esas olarak; güç ekipmanları ve kontrol sistemlerinden meydana gelmiştir.

Güç ekipmanları;

- Korucu sigortalar
- Akım denetleyici tristörler
- Gerilim düşürücü transformatör
- Gerilim doğrultucu diyodlar
- Çıkış baraları

Kontrol Sistemleri;

- Tristör tetikleme açılarını belirten devreler
- Ön kontrol için hata belirleyici devreler sistemi
- Üç faz ateşleme düzenleyicisi
- Tristörleri tetikleyen izoleli çıkış katı

Biz burada kontrol sistemini inceleyeceğiz.

#### 4.2.2. KONTROL SİSTEMİNİN İNCELENMESİ;

A: Tristör tetikleme açısının belirtilmesi (UDC 0001)

Bu devrenin kontrolü el veya mikro işlemci yardımıyla yapılmaktadır. Şekil 58'de görüldüğü gibi giriş uçlarından 6 veya 7 nolu uçlarından birine tatbik edilecek + 24 volt gerilimi ile RLI veya RL2 mikro rölelerden biri enerjilendirilerek lojik kapı elemanlarına istenilen sinyal uygulanmaktadır. Bu sinyaller lojik kapı elemanlarınca değerlendirilerek IC5 veya IC6 sayıcı elemanlarını harekete geçirir-

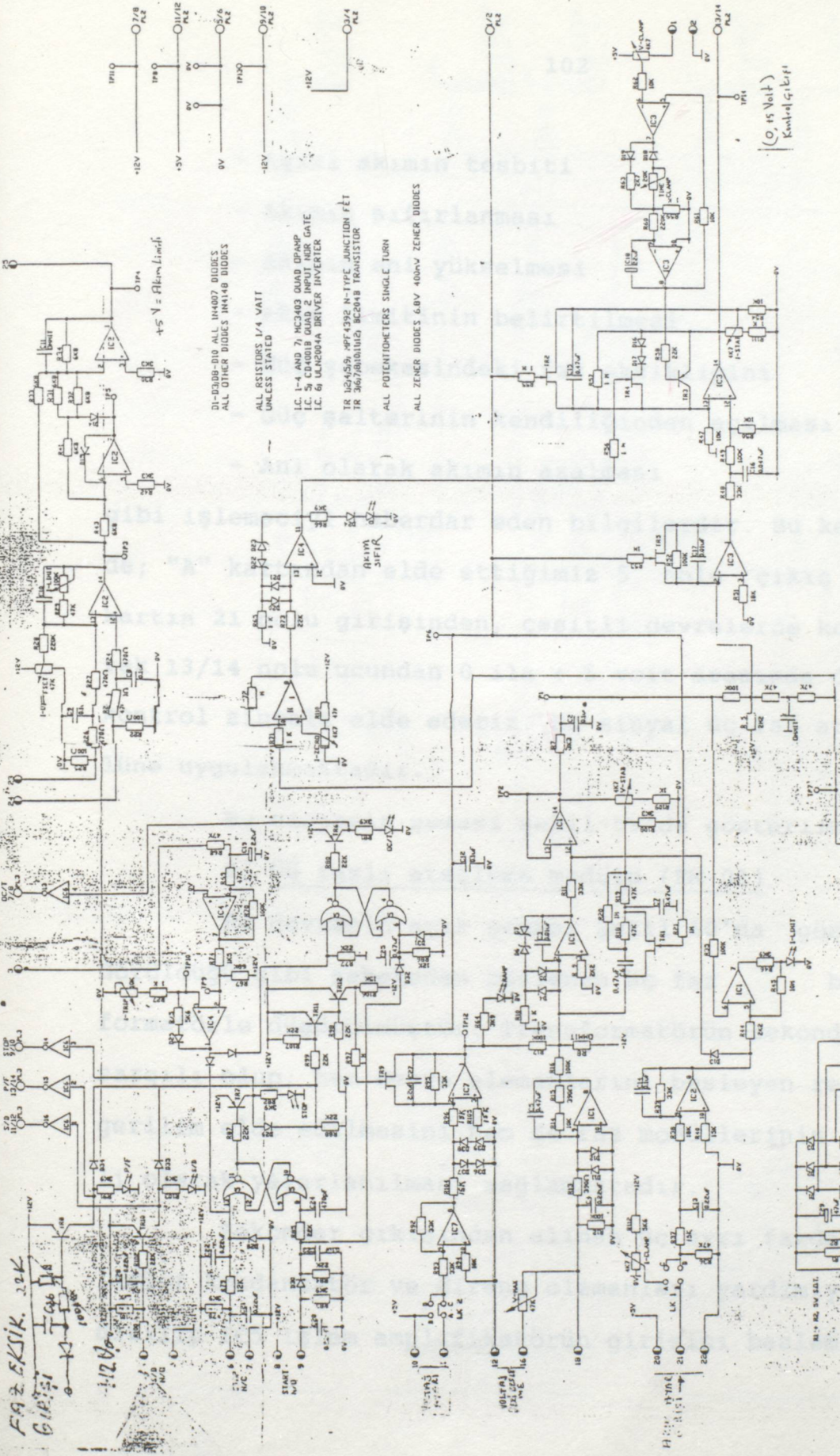


ler. Bu sayıcı elemanların çıkışları bağlı olduğu IC4, D/A çevirici elemanı harekete geçirir. IC4'ün çıkış analog sinyali IC1 işlem amplifikatöründen geçerek, 5 nolu çıkış ucundan kontrol sinyali olarak bir değer elde ederiz. Ayrıca bu devrede; 4 ve 9 nolu giriş ucuna; doğrultucunun çıkış baralarından negatif bara üzerinde oluşturulan ve mV seviyesinde gerilim düşüşü sağlayan şönt elemanı dediğimiz uçlardan aldığımız sinyali uygulamaktayız. Bu sinyal sekonderden geçen mA mertebesindeki akımla orantılı olarak mV mertebesinde 4 ve 9 uçlarındaki bu giriş sinyali çeşitli işlem amplifikatörlerde örneklendikten sonra 1 ve 2 nolu çıkış uçlarından mA mertebesine dönüştürülmüş şekilde sinyal elde ederiz. Bu çıkış sinyali 4 ila 20 mA seviyesinde olup 4 mA doğrultucu çıkışbarasındaki sıfır akıma; 20 mA ise 6000 Ampere tekamül edecek şekilde devre kalibre edilmiştir. Bu çıkış mikro işlemciye bilgi olarak verilmekte ve mikro işlemcide kendi içinde değerlendirerek akım regülasyonunu yapmaktadır. Yani akımın düşük veya yüksekliğine göre 6 veya 7 uçlarına sinyal vererek kontrolü sağlamaktadır.

#### B: Ön Kontrol ve Hata belirleyici sistem (EAP01)

Bu kart sisteminde; doğrultucu tesisinde meydana gelebilecek birçok hata ve durumları belirten çeşitli işlem amplifikatörleri vardır. Böylece işletmeci meydana gelebilecek herhangi bir hatayı anında tesbit etmektedir. Bu hata ve durumlar;

FAZ EKSIK. 22K  
6.12.51



$\pm 5V = 5k\Omega$  Limit

D1-D10-D10 ALL IN4007 DIODES  
ALL OTHER DIODES IN1N4148 DIODES

ALL RESISTORS 1/4 WATT  
UNLESS STATED

IC 1-4 AND 7) MC3403 QUAD DPAMP  
IC 5) CD4009 QUAD 2 INPUT NOR GATE  
IC 6) UC12004A DRIVER INVERTER

TR 1) BC455; 2) PNP 4592 N-TYPE JUNCTION FET  
TR 3) BC107; 4) BC204B TRANSISTOR

ALL POTENTIOMETERS SINGLE TURN

ALL ZENER DIODES 6.8V 400mW ZENER DIODES

(0.15 Volt)  
Kontrol Çıkışı

İLK KONTROL İÇİN ÖN HATA AMLIKTÖRLER

- Aşırı akımın tesbiti
- Akımın sıfırlanması
- Akımın ani yükselmesi
- Akım limitinin belirtilmesi
- Güç şebekesindeki faz eksikliğini
- Güç şalterinin kendiliğinden açılması
- Ani olarak akımın azalması

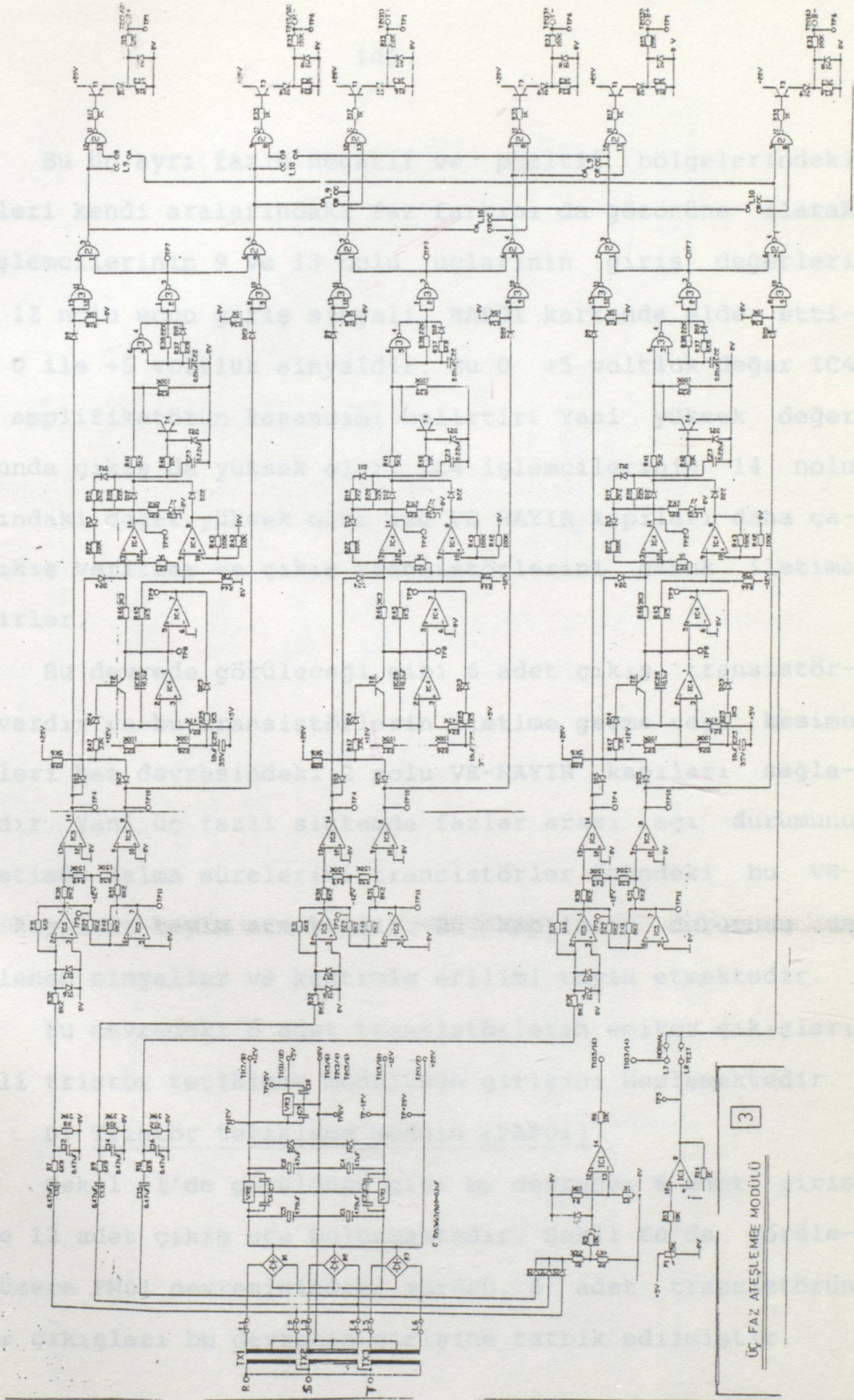
gibi işlemeciyi haberdar eden bilgilerdir. Bu kart sisteminde; "A" kartından elde ettiğimiz 5 nolu çıkış sinyali bu kartın 21 nolu girişinden, çeşitli devrelerde kontrol edilerek 13/14 nolu ucundan 0 ila + 5 volt arasında değişen akım kontrol sinyali elde ederiz. Bu sinyal üç faz ateşleme modülüne uygulanmaktadır.

Bu sistemin şeması şekil-59'da gösterilmiştir.

C: Üç fazlı ateşleme modülü (FM-01)

Bu devrenin açık şeması şekil 60'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi şebekeden beslenen üç faz bağlı transformatorle düşürülmüştür. Transformatorün sekonderleri çift sargılı olup; hem devre elemanlarını besleyen regüleli D.C. gerilim elde edilmesini hem de faz modüllerinin giriş sinyali olarak yararlanılması sağlamaktadır.

Sekonder çıkışından alınan üç ayrı fazdaki bu gerilimler kondansatör ve direnç elemanları yardımıyla örnekendirilip IC5 işlem amplifikatörün girişini beslemektedirler.



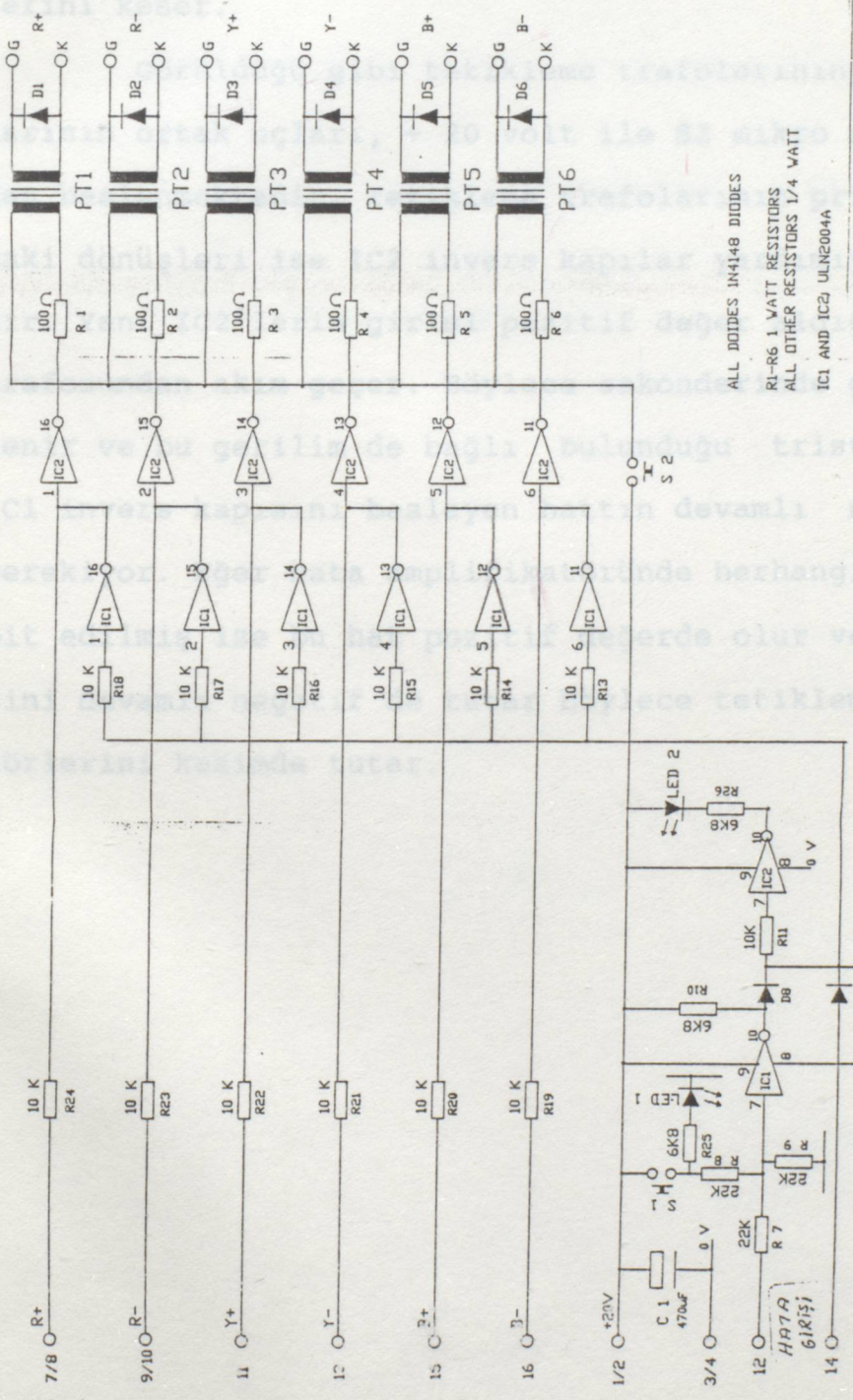
Bu üç ayrı fazın negatif ve pozitif bölgelerindeki değerleri kendi aralarındaki faz farkını da gözönüne alarak IC4 işlemcilerinin 9 ve 13 nolu uçlarının giriş değerleri olup, 12 nolu ucun giriş sinyali, EAP01 kartında elde ettiğimiz 0 ile +5 voltluk sinyaldir. Bu 0 +5 voltluk değer IC4 işlem amplifikatörün kazancını belirtir. Yani yüksek değer olduğunda çıkış da yüksek olur. IC4 işlemcilerinin 14 nolu çıkışındaki değer yüksek olur ise VE HAYIR kapıları daha çabuk çıkış verirler ve çıkış transistörlerini çabuk ilettime geçirirler.

Bu devrede görüleceği gibi 6 adet çıkış transistörleri vardır ve bu transistörlerin ilettime geçme veya kesime girmeleri baz devresindeki 2 nolu VE-HAYIR kapıları sağlamaktadır. Yani üç fazlı sistemde fazlar arası açılı durumunu ve iletimde kalma sürelerini transistörler önündeki bu VE-HAYIR kapıları tayin etmektedir. Bu kapıların durumunu da örneklenen sinyaller ve kontrol gerilimi tayin etmektedir.

Bu devredeki 6 adet transistörlerin emitör çıkışları izoleli tristör tetikleme modülünün girişini beslemektedir.

#### D: Tristör tetikleme Modülü (PAF01)

Şekil 61'de görüldüğü gibi bu devrede; 6 adet giriş ucu ve 12 adet çıkış ucu bulunmaktadır. Şekil 60'da görüleceği üzere FM01 devresindeki sürücü, 6 adet transistörün emitör çıkışları bu devrenin girişine tatbik edilmiştir.



ALL DIODES 1N4148 DIODES  
 RI-R6 1 WATT RESISTORS  
 ALL OTHER RESISTORS 1/4 WATT  
 IC1 AND IC2 ULN2004A

TRİSTÖR TETİKLEME PALS AMPL. 4



Bu devrede ayrıca hata giriş bilgileri de vardır. Bu bilgilere göre el ile veya otomatik olarak tristör ateşlemelerini keser.

Görüldüğü gibi tetikleme trafolarının primer sargılarının ortak uçları, + 20 volt ile S2 mikro anahtar üzerinden beslenmektedir. Tetikleme trafolarının primersargılarındaki dönüşleri ise IC2 invers kapılar yardımıyla yapılmaktadır. Yani IC2'lerin girişi pozitif değer aldığında tetikleme trafosundan akım geğer. Böylece sekonderinde gerilim indüklenir ve bu gerilim de bağlı bulunduğu tristörü tetikler. IC1 invers kapısını besleyen hattın devamlı negatif olması gerekiyor. Eğer hata amplifikatöründe herhangi bir hata tesbit edilmiş ise bu hat pozitif değerde olur ve IC2'nin girişini devamlı negatif de tutar böylece tetikleme transformörlerini kesimde tutar.

## KAYNAKLAR

1- Prof Remzi Gülgün, "Güç Elektroniğine Giriş", 1980.

2- Prof. P.C. Sen, "Power Electronics", 1988.

3- J.F. Gibbs, "Thyristors", 1972.

## ÖZ GEÇMİŞ

1953 yılında MALATYA'da doğdum. İlk ve Orta öğrenimimi Malatya'da tamamladım. 1975 yılında A.D.M.M.A.'den mezun oldum. Halen özel bir şirkette, elektrik ve elektronik bakımı şefi olarak çalışmaktayım.



