

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN. BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİN AŞIRI YÜKLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERAJOLLAH EZZATİ GHİVİ

Tez Danışmanı: Doç.Dr.Y.Müh.Nesrin TARKAN

Anabilim Dalı: ELEKTRİK-ELEKTRONİK

İSTANBUL-1988

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SUMMARY	I
TEŞEKKÜR	II
KULLANILAN SEMBOLLER	III
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. TRANSFORMATÖRLERİN TEORİSİ	3
2.1. Temel Yasalar	3
2.1.1. Ampere Yasası	4
2.1.2. Faraday Yasası	6
2.2. Eşdeğer Devre Teorisi Ve Transformatörle- rin Eşdeğer Devreleri	7
2.2.1. "T" Eşdeğer Devre Ve Vektör Diyagramı .	8
2.2.2. "L" Eşdeğer Devre Ve Vektör Diyagramı .	9
2.2.3. En Basit Eşdeğer Devre Ve Vektör Diyagramı	10
BÖLÜM 3. TRANSFORMATÖRLERİN YAPIM HESABI	12
BÖLÜM 4. ÜÇ FAZLI TRANSFORMATÖRLERİN GRUPLANDIRILMASI	21
4.1. Üç Fazlı Transformatörlerin Bağlantı Gruplarının Özellikleri	23
4.1.1. A Grubu Bağlantısı	23
4.1.2. B Grubu Bağlantısı	24
4.1.3. C Grubu Bağlantısı	24
4.1.4. D Grubu Bağlantısı	25
4.2. Üç Fazlı Transformatörlerin Bağlantı Çeşitleri	26
4.2.1. Yıldız Bağlantı	27
4.2.2. Üçgen Bağlantı	28
BÖLÜM 5. TRANSFORMATÖRLERİN ÇALIŞMA İLKELERİ	33
5.1. Transformatörlerin Boşta Çalışma Deneyi .	34
5.2. Boşta Deneyin Yapılışı	34
5.3. Boşta Deneyde Akı VE Demir Kayıp Gücü .	35
5.4. Boşta Deneyde Bulunan Sonuçlar	37
5.5. Sabit Frekansta Boşta Karakteristikler .	39
BÖLÜM 6. TRANSFORMATÖRLERİN KISADEVRE DENEYİ VE DENEYİN YAPILIŞI:	42
6.1. Kısa devre Deneyinde Akı Ve Bakır Kayıp Gücü	44

6.2.	Kısadevre Deneyinde Bulunan Sonuçlar	....	46
6.3.	Sabit Frekansta Kısadevre Karakteristikleri		48
BÖLÜM 7.	TRANSFORMATÖRLERİN YÜKTE ÇALIŞMASI	.....	51
7.1.	Aşırı Yük Karşısında Alınan Önlemler	....	54
7.2.	Paralel Bağlama Koşulları	.....	54
7.3.	Anma Güçleri Eşit Olmayan Paralel Bağlı Transformatörlerin Yük Dağılımı	.....	58
7.4.	Kısadevre Gerilimleri Eşit Olmayan Paralel Bağlı Transformatörlerin Yük Dağılımı	...	59
7.5.	Anma Güçleri Ve Kısadevre Gerilimleri Eşit Olmayan Paralel Bağlı Transformatörlerin Yük Dağılımı	.....	61
BÖLÜM 8.	TRANSFORMATÖRLERDE GEÇİCİ REJİMLER	.....	67
8.1.	Devreye Girme Olayları	.....	67
8.2.	Aşırı Gerilim Dalgaları	.....	71
BÖLÜM 9.	ÇEŞİTLİ BAĞLAMA GRUBUNDAKİ GÜÇ TRANSFORMATÖR- LERİN YILDIZ NOKTALARININ TOPRAKLANMASI	...	78
BÖLÜM 10.	TRANSFORMATÖRLERDE GERİLİM AYARI	.....	84
10.1.	Basamaklı Gerilim Ayarı	.....	84
10.2.	Yük Altında Gerilim Ayarı	.....	87
10.3.	Enine Ve Boyuna Gerilim Ayarı	.....	88
BÖLÜM 11.	GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİ DEVREYE SOKMA VE ÇIKARMA İŞLEMLERİ	.....	90
11.1.	Güç Transformatorlerinin Yük Altında Devreden Çıkarılması Durumu	.....	92
BÖLÜM 12.	ÜÇ SARGILI GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ	.....	94
12.1.	Üç Sargılı Güç Transformatorlerinin Bağlantı Biçimi	.....	94
12.2.	Üç Sargılı Güç Transformatorlerinin Kullanma Alanları	.....	95
12.3.	Üç Sargılı Güç Transformatorlerinin Empedanslarının Bulunması	.....	96
BÖLÜM 13.	ARA TRANSFORMATÖRLERİ	.....	101
13.1.	Bir Tarafları Ortak Baraya Bağlı Olan Güç Transformatorlerinin Ara Transformatorle Paralel Bağlanması	.....	102
13.2.	Güç Transformatorlerinin Halkalandırılması		104
BÖLÜM 14.	TRANSFORMATÖRLERİN SOĞUTULMASI	.....	110
14.1.	Kuru Transformatorlerin Soğutulması	....	110

14.2. Yağlı Transformatörlerin Soğutulması	... 111
14.3. Su İle Soğutma Ve Özellikleri	..... 113
14.4. Hava İle Soğutma	..... 114
14.5. Transformatörlerin Konuldukları Alanın Özelliği Ve Havalandırılması	..... 116
14.5.1. Doğal Hava İle Soğutulan Odanın Boyutlarının Hesabı	..... 117
14.5.2. Nomogram Cetveli Üzerinden Oda Hava Bacasının Kesit Hesabının Bulunması	.. 120
BÖLÜM 15. TRANSFORMATÖRLERDE KULLANILAN YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ VE YALITKANLIK KONTROLÜ	..... 123
15.1. Transformatörlerde Kullanılan Yağların Özellikleri	..... 124
15.1.1. Çalışma Halindeki Transformatörün Yağ Durumu	..... 125
15.1.2. Saflandırılmış Yağın Özelliği	..... 125
15.1.3. Yeni Yağın Özelliği	..... 125
15.1.4. Yanmayan Yağlar	..... 126
BÖLÜM 16. TRANSFORMATÖRLERDE KULLANILAN KORUMA RÖLELERİ	..... 128
16.1. BUCHHOLZ Rölenin Yapısı Ve Çalışma Prensibi	..... 129
16.2. Diferansiyel Koruma Rölenin Çalışma Prensibi	..... 131
BÖLÜM 17. TRANSFORMATÖRLER HAKKINDA PRATİK BİLGİLER	. 136
SONUÇ	..... 140
KAYNAKLAR	..... 142
ÖZGEÇMİŞ	..... 143

SUMMARY

Transformers, which are the important factors in the transmission and distribution of the electrical energy, are commonly used in many fields because they meet the various requirements.

They have a high productivity because of the lesser amount of loss and advanced technology due to their characteristics of being fixed machines. So that, the transformers are accepted to be the best electrical machines.

Transformers, which have an important role in the appliance, were studied generally in this study.

Construction calculations of the power transformers, determination of the circuit elements by specific test, their maintenance, protection and the measurements which had been taken against excessive load have been studied in seventeen sections in this study. Also some practical information have been given about connection types according to the usage area of power systems and also about their characteristics.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yön verip, bilgilerini esirgemeyen, İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Enerji Bölümü, Öğretim üyesi, tez danışmanım ve saygı değer hocam Doç.Dr.Y. Müh.Nesrin TARKAN'a öncelikle saygılarımı sunar ve teşekkür ederim.

Ayrıca tezimin oluşmasında bana yardımcı olan değerli hocam Yar.Doç.Dr.Y.Müh.İrfan GÜNEY'e ve tezimin hazırlanmasında emeği geçen sevgili arkadaşım Canan İRES'e de teşekkürü bir borç bilirim.

Üsküdar/İSTANBUL, 1988

S.EZZATİ.G

2. Bölümdeki kullanılan semboller.

<u>Sembol</u>	<u>Büyüklik</u>	<u>(SI) Birimi</u>
I	Akım	A
A	Alan	m ²
F	Kuvvet	N (neuton)
Θ (teta)	Ampersarım	A
H	Magnetik alan şiddeti	A/m
S	Akım yoğunluğu	A/m ²
E	Endüklenen gerilim	V (volt)
Φ (fi)	Magnetik akı	V.S = Wb
Ψ (pisi)	Magnetik halkalanma akısı	V.S = lWb
B	Magnetik akı yoğunluğu	V.S / m ²
N	Ampersarım	A
μ (mü)	Magnetik geçirgenlik	H/m
μ ₀	Boşluk magnetik geçirgenlik	H/m
μ _r	Bağıl magnetik geçirgenlik	H/m
l (i)	Uzunluk	m
U	Gerilim	V (volt)
R	Direnç	Ω (ohm)
X	Reaktans	Ω
Z	Empedans	Ω
X ₀	Kaçak reaktans	Ω
I ₀	Boşta çalışma akımı	A (amper)
I _K	Kısadevre akımı	A
I _b	Yükte bileşen akım	A
I _{Fe}	Demir kayıp gücünün çektiği akım	A
I _{cu}	Bakır kayıp gücünün çektiği akım	A
I _h	Mıknatıslama akımı	A

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin en önemli özelliklerinden biri de üretildiği yerden çok uzak bölgelere kolay ve verimli bir şekilde taşınabilmesidir.

Bilindiği gibi elektrik enerjisi doğru ve alternatif akım şeklinde üretilebilir. Ancak endüstride alternatif akım enerjisinin gerilimi yükseltip düşürülebildiğinden iletimi daha kolay olmakta ve doğru akıma göre daha fazla kullanılmaktadır. Santrallarda üretilen elektrik enerjisinin gerilimi uzak bölgelere taşınmasını sağlayacak kadar yüksek değildir.

Generatörlerin çıkış gerilimleri 0,4 - 3,3 - 6,3 - 10,6 - 13,0 - 14,7 - 15,8 ve 35 KV değerlerindedir. Bu gerilimlerin yükseltilmesi ancak transformatörler yardımı ile gerçekleştirilir. Elektrik enerjisinin iletilmesi, dağıtılması gibi alanlarda ve çeşitli cihazların çalıştırılmasında yine transformatörler kullanılır.

Elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımının vazgeçilmez elemanları olan transformatörler, değişik ihtiyaçlara cevap verdiklerinden uygulama alanları oldukça geniştir.

Sabit bir makina olduklarından, kayıpların az olması ve gelişen teknoloji, verimlerinin yüksek olmasına fırsat vermiştir. Bu nedenle transformatörler en ideâl elektrik

makinaları olarak kabul edilebilir.

Bu çalışmada, uygulamada önemli bir yeri olan transformatörler genel bir şekilde incelenmiştir.

Bu çalışmada güç transformatörlerinin yapım hesabı, devre elemanlarının temel deneylerle bulunması, bakımı, korunması ve aşırı yük karşısında alınan önlemler onyedü bölümdü ele alınmıştır. Ayrıca güç sistemlerinde kullanma yerlerine göre bağlantı biçimleri ve özellikleri hakkında pratik bilgiler verilmiştir.



2. TRANSFORMATÖRLERİN TEORİSİ

Transformatör, zamanla değişen bir ortak akı ile halkalanan iki sabit sargıdan ibarettir. Sargılardan herhangi biri bir alternatif akım enerji kaynağına bağlanırsa geçen alternatif akımın oluşturduğu zamanla değişen akı Faraday yasasına göre diğer sargıdaki değişik büyüklükte, bir gerilim endükler. Bu sargıdan tüketiciler veya ayrı bir şebeke beslenebilir. Bu sargıya dışarıdan belli bir güç U_1 geriliminde girip, elektromagnetik yoldan diğer bir sargıya geçmektedir. Bu geçiş esnasında gerilim değişmekte ve güç U_2 geriliminde transformatör dışına çıkmaktadır. Diğer bir değişle güç transformatöre U_1 geriliminde girmekte ve U_2 geriliminde çıkmaktadır. Burada sargıların rolü değişebilir /1/.

Ayrıca transformatör, sargıların birinden geçen bir alternatif akım sistemini, elektromagnetik endüksiyon etkisiyle öteki sargısında aynı frekanslı fakat farklı şiddet ve geriliminde başka bir akım sistemine dönüştüren statik bir elektrik makinası olarak tanımlanabilir /2/.

2.1. Temel Yasalar.

1819 Yılında Danimarkalı Oersted bir iletken den geçen akımın bir magnetik alan oluşturduğunu gözledi. Bu niteliksel yasaya "Oersted yasası" denir.

Günümüzdeki görüşe göre, daha genel olarak, hareket eden elektrik yükleri magnetik alan oluştururlar.

Bütün magnetik olayların tek nedeni hareket eden yüklerdir. Bu yükler sürekli mıknatıslarda atom çekirdekleri ve kendi eksenleri etrafında dönen elektronlar, akım geçen iletkenlerde, iletkenin içinde hareket edebilen "serbest elektron"lardır. Magnetik alan vektörel bir alandır. Magnetik alanın şiddeti ile onu oluşturan akım arasındaki genel bağlantıyı Fransız Ampere bulmuştur ve bu bağlantıya ise "Ampere yasası" denilmektedir. Bu gelişmeden sonra ortaya şu soru çıkmıştır. Akım ile mıknatıs elde edildiğine göre, mıknatıs ile akım elde edilebilir mi? İngiliz Faraday bu sorunun cevabını on yıl araştırmış, sayısız araştırma ve deneyden sonra aradığı cevabı bulmuştur ve değişen bir magnetik akının bir bobinde akım oluşturduğunu göstermiştir.

Gerçekten tüm elektrik makinaları, transformatörler, bobinler, elektromıknatıslar ve bir çok ölçü aleti iki temel yasaya dayanır. Bunlar "Ampere yasası" ve "Faraday yasası"dır /1/.

2.1.1. Ampere Yasası.

Ampere yasası magnetik alan şiddeti H ile onu oluşturan (teta) arasındaki bağlantıyı belirtir.

$$\int H \cdot dl = \Theta \quad (2-1)$$

$$\Theta = I = NI \quad (2-2)$$

$$\Theta = \int \vec{S} \cdot d\vec{A} = \int S \cdot \cos \alpha \cdot dA \quad (2-3)$$

Magnetik alanın belirleyici büyüklüğü olan N.I çarpımına "ampersarım" adı verilir. Bu kavrama "toplam akım" veya magnetik alanla "halkalanma akımı" da denebilir. Bir sargının ampersarımını pratikte sarım sayısı ile akımını çarparak bulunur. Akım yoğunluğunun yüzey entegrali ampersarımın genel ifadesidir. Burada hem S akım yoğunluğu ve hem de dA alan elemanı vektörel bir büyüklüktür. S ve dA'nın skaler çarpımı ile Θ skaler büyüklüğü elde edilir. S akım yoğunluğu A düzlem yüzeyine dik ve sabit büyüklükte ise formül sadeleşir. Bir iletkenin kesiti A ile göste-

rilirse, aynı formül akım içinde geçerli olmaktadır.

$$\Theta = S.A \quad (2-4)$$

$$I = S.A \quad (2-5)$$

Bir magnetik alanın dağılımı verilirse, bu alan için gerekli ampersarım "Ampere yasası" ile kolayca bulunabilir. Tersine ampersarım verilirse, oluşturduğu magnetik alanın bulunması genel durumda olanaksızdır. Zira "Ampere yasası" magnetik alanın kapalı bir çizgi üzerindeki entegralini belirtir ve çizgi üzerindeki değerlerini vermez. Daha açık bir anlatımla $N.I$ çarpımı sabit kalmak şartı ile değişik akım ve sarım sayısı değerleri bulunabilir. Burada akım değerleri küçük alınır ise sarım sayısı büyür, akım değerleri büyük alınır ise sarım sayısı küçülür. Örneğin gerekli amper sarım 3000 A ise, aşağıdaki akım ve sarım sayısı değerleri alınabilir.

I =	1	10	20	50	100 A
N =	3000	300	151	60	30

Uygun uyarma akım genellikle mevcut uyarma gerilimine göre seçilir.

Magnetik alan entegralinin üzerinde hesaplandığı kapalı çizgi uygulamada, magnetik alan şiddetinin sabit alınabileceği l_1, l_2, l_3, \dots kısımlarına ayırılır. Bu kısımlardaki $H_1 l_1, H_2 l_2, H_3 l_3 \dots$ skaler çarpımları toplanarak aranan entegral bulunur.

$$H_1 l_1 = H_1 l_1 - H_2 l_2 - H_3 l_3 - \dots = \Theta \quad (2-6)$$

Her bir kısımdaki H kullanılan magnetik malzemenin mıknatıslama eğrisinden alınır. Alınan kapalı entegral çizgisi üzerinde magnetik alan şiddeti sabit ise, amper yasasının en basit şekli elde edilir.

$$H.I = \Theta = N.I$$

Kapalı entegral çizgisi hiç bir akımla halkalanmaz. Halkalanan akımların cebirsel toplamı sıfırsa, ampersarım sıfırdır /1/.

$$H.dl = \Theta = 0$$

2.1.2. Faraday Yasası.

Faraday yasası magnetik akı değişimi ile elde edilen kaynak gerilimini belirler.

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = - N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2-7)$$

$$\psi = \sum \Phi = N \cdot \Phi \quad (2-8)$$

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = d\Phi = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B \cdot \cos \alpha \cdot dA \quad (2-9)$$

Endüklenen gerilimin oluşturduğu akım, akı değişimine daima karşı gelecek yöndedir. Akımın akıya değil, akı değişimine karşı geldiğine dikkat etmek gerekir.

Endüksiyonun yüzey entegrali magnetik akının genel ifadesidir. Akım veya ampersarımın benzer ifadesinde olduğu gibi, burada da hem endüksiyon B, hem de alan elemanın dA vektörel bir büyüklüktür. Endüksiyon vektörü ve yüzey alanı vektörünün skaler çarpımı ile akı skaler büyüklüğü elde edilir. Alan vektörü daima alanın yüzeyine diktir. B akı yoğunluğu sabit ve A düzlem yüzeyinin dik açıyla yapıyorsa, formül sadeleşir. B düzleme dikse, akı endüksiyon ve alanın çarpımına eşit olur.

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha \quad \alpha = 0 \quad \Phi = B \cdot A \quad (2-10)$$

Bir sarımda endüklenen gerilim, sarım ve yüzeyinin her bir noktasındaki endüksiyonun değil, sarımdan geçen

akının değişmesine bağlıdır. Bu nedenle magnetik akı veya kısaca akı, elektrik makinaları ve transformatörlerin temel büyüklüklerinden biridir.

Magnetik alanın iki temel etkisi vardır.

1. Akıma uygulanan kuvvet. $F=B.l.I$ (2-11)

2. Magnetik endükleme.

Her iki etkide H değil, B tarafından belirlenir. Akı yoğunluğu B magnetik alanın etki büyüklüğü, alan şiddeti H magnetik alanın neden büyüklüğüdür. Bu temel kavramları iyi anlayabilmek için magnetik alan etkisinin B, nedeninin H tarafından kapsadığını unutmamalıyız. Magnetik geçirgenlik skalere bir büyüklüktür. Her büyüklük gibi bir birimi olduğna dikkat edilmelidir.

$$B = \mu .H \quad \mu = B/H \quad (2-12)$$

Boşluk magnetik geçirgenliği μ_0 bir doğa sabitidir. Bağlı magnetik geçirgenlik μ_r birimsiz bir oran büyüklüğü olup, bir maddenin μ magnetik geçirgenliğinin μ_0 boşluk magnetik geçirgenliğine oranıdır/1/.

$$\mu_0 = 4\pi .10^7 \text{ H/m} = 1,25602 . 10^6 \quad (2-13)$$

$$\text{H/m} = 1,256 . 10^6 \quad \text{Tm/A}$$

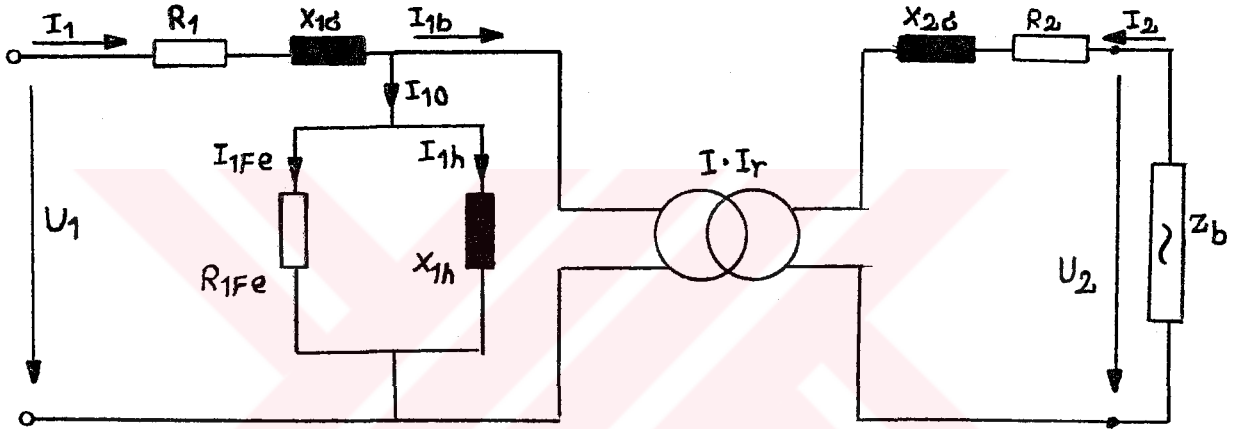
2.2. Eşdeğer Devre Teorisi Ve Transformatörlerin Eşdeğer Devreleri.

Bütün bilim dallarında olayların kedisini değil modelleri incelenir. Model kavramı elektrikte de büyük önem taşır. Transformatörlerin gerçek durumlarının incelenmesi olanaksızdır. Bu yüzden bazı sadeleştirme ve idealleştirmeler yapılarak, transformatörün özelliklerini ve davranışlarını kapsayan modeller kurulur. Yanlız temel devre elemanlarından oluşan en basit modellerin bağlantı şemasına eşdeğer devre denir.

Eşdeğer devrede kullanılan devre elemanları idealdir ve yalnızca kendi temel özelliklerini taşırlar.

Transformatör eşdeğer devre teorisinde önemli bir kavram olan "ideal transformatör" yalnız ortak akısı bulunan, kaçak akısı, sargı direnci ve kayıpları olmayan hayali bir transformatördür.

Bu kabullere göre (şekil 2.1) de ideal transformatörün ayarı kaçak akılı eşdeğer devresi çıkarılmıştır.



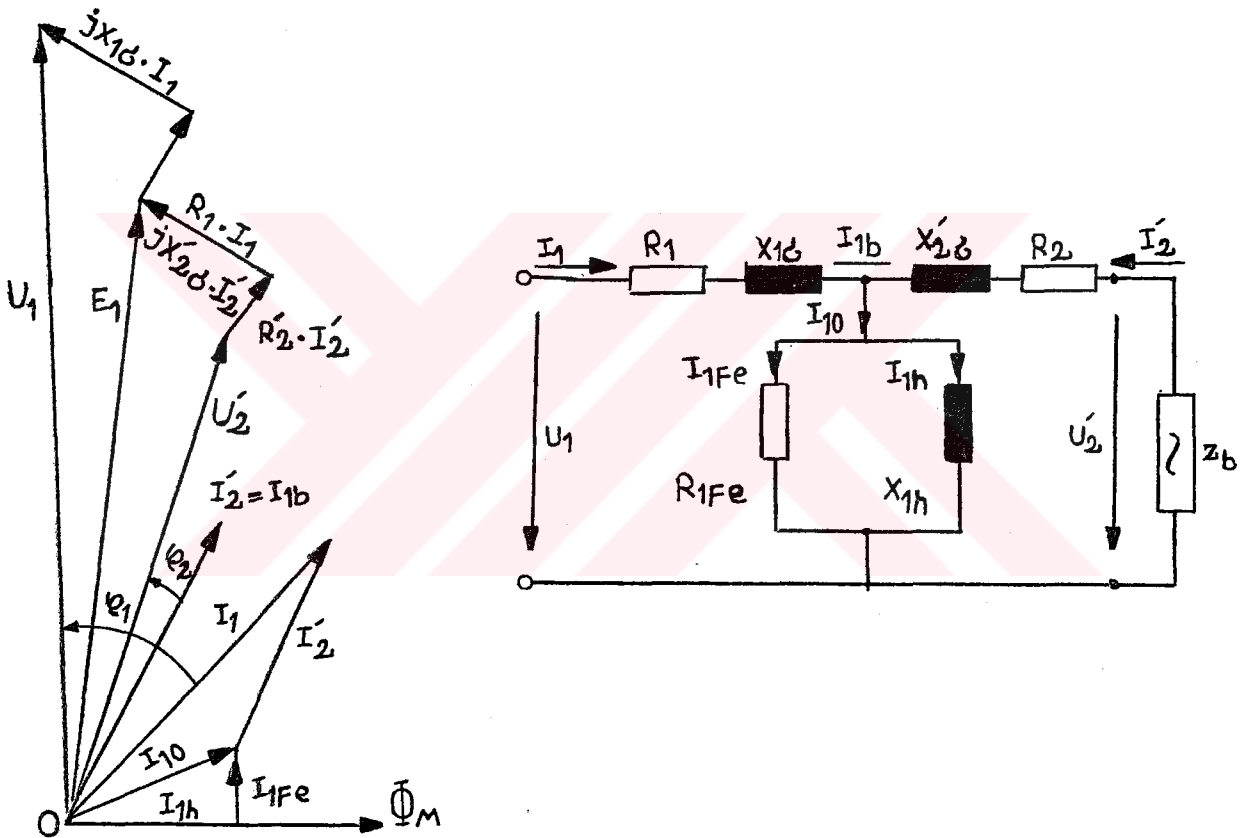
Şekil 2.1 Ayarı kaçak akılı ideal transformatörün eşdeğer devresi.

2.2.1. "T" Eşdeğer Devre Ve Vektör Diyagramı.

İdeal transformatör ve ayarı kaçak akılı eşdeğer devre pratikte uygulamaya elverişli değildir. Fakat bu eşdeğer devreden giderek daha yararlı eşdeğer devreler elde edilmiştir. Bu yeni eşdeğer devreler bir takım indirgemelere dayanır. Bu devrelerin en büyük özelliği ideal transformatörü ortadan kaldırıp, birinci ve ikinci devre arasında bir iletim bağı kurarak transformatörü basit bir devre haline dönüştürmektedir.

Buradan hareketle "T" , "L" ve en basit eşdeğer devreler elde edilmiştir. İndirgeme sonuçlarını uygulayarak transformatörün ayarı kaçak akılı eşdeğer devresini yeni-

den çizecek olursak bunun sonucunda elde ettiğimiz devre "T" eşdeğer devresi olmaktadır. Çünkü bu durumda birinci ve ikinci sargılarında sarım sayıları ve endüklenen kaynak gerilimleri eşit olan ideal transformatör gereksiz hale gelmiş olmaktadır. Böylece eşdeğer devrenin her iki tarafı birbirine bağlanmış olur. Bu devrenin temel özelliği, gerçekte aralarında iletken bağlantısı bulunmayan iki sargıyı birleştirmek ve bu devrenin çözümü için devreler teorisinin tüm özelliklerinden yararlanmayı sağlamaktır/1/.

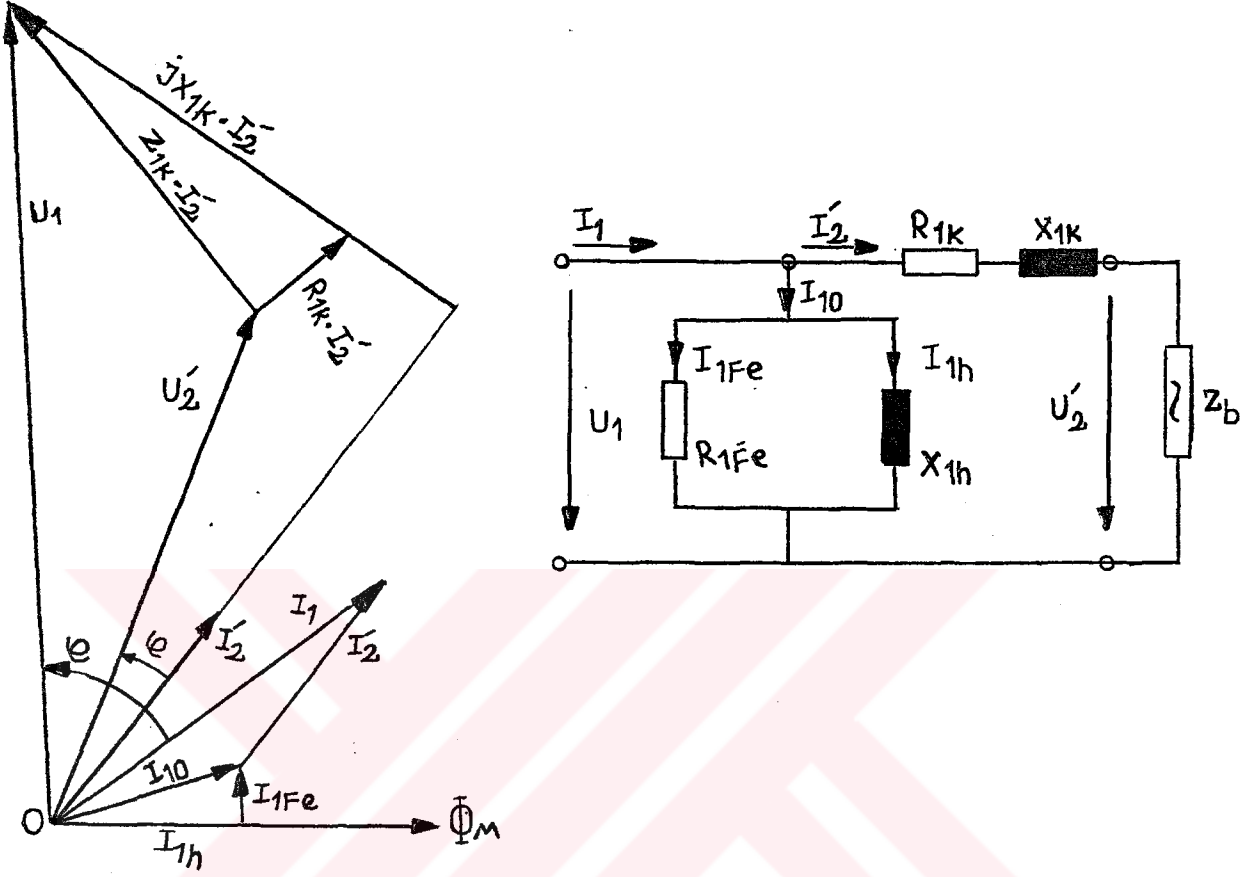


Şekil 2.2 "T" Eşdeğer devre şeması ve vektör diyagramı:

2.2.2. "L" Eşdeğer Devre Ve Vektör Diyagramı.

"T" Eşdeğer devrede boşa akım kolu giriş veya çıkış uçlarına kaydırılırsa, seri dirençler ve kaçak reaktanslar toplanabilir. Böylece elde edilen "L" eşdeğer devrede eleman sayısı altıdan dörde düşerek, önemli bir sadeleştirme

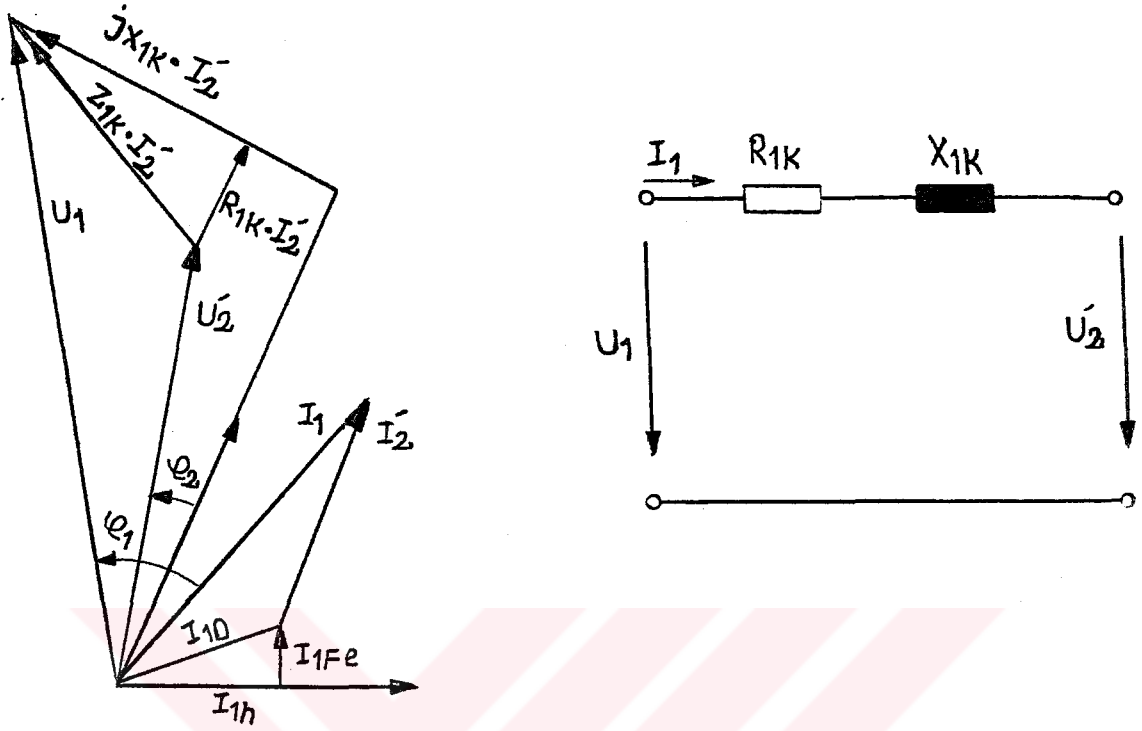
gerçekleştirilmiş olur/l/.



Şekil 2.3 "L" Eşdeğer devre şeması ve vektör diyagramı

2.2.3. En Basit Eşdeğer Devre Ve Vektör Diyagramı.

"L" eşdeğer devrede boşa akım kolu tamamen ihmal edilirse, paralel bağlı demir kayıp direnci ve esas reaktans ortadan kalkar. Böylece yalnız iki devre elemanından oluşan en basit eşdeğer devre elde edilir. Transformatörün en çok kullanılan eşdeğer devresi en basit eşdeğer devredir. Boşa ve boşa yakın çalışmayı kapsamaz. Zira bu eşdeğer devre boşa akımın ihmaline dayanır/l/.



Şekil 2.4 En basit eşdeğer devre ve vektör diyagramı.

3. TRANSFORMATÖRLERİN YAPIM HESABI

Transformatörler, güçleri, kullanma yerleri, kullanma amaçlarına göre çeşitli şekillerde hesaplanırlar. Örneğin: Yapılacak transformatörün hesaplamalarında, faz sayısı ve soğutma durumu v.s gibi faktörler durumu etkiler. Küçük güçlü transformatörlerin hesaplanması ve yapımlarının çok kolay olmasına karşılık büyük güçlü transformatörlerin hesabı ve yapımı tecrübe, yetişmiş eleman, kaliteli malzeme ve avadanlık gerektirir.

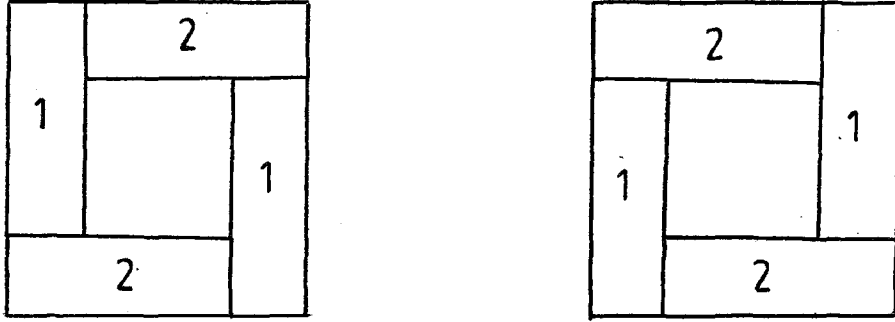
Transformatörlerin yapım hesaplarında nüve için kullanılan saçların magnetik endüksiyon yoğunluğu ile verimlerinin belirlenmesi çok önemlidir. Kullanılan saçlar iyi özellikli olursa, magnetik endüksiyon yoğunluğu 10000 Gaus`dan fazla alınabilir. Bu değer, günümüzde 17000 Gaus`a ulaşmıştır. Kalitesi iyi olmayan saçlarda bu değer 7000 ilâ 8000 Gaus`a kadar almak gerekir.

Transformatörlerin hesaplarını etkileyen faktörlerden biride transformatör veriminin seçimidir verim bilindiği gibi transformatör gücüne bağlı olarak değişmektedir. Güç belli ise, cetvel (3.1) den verim seçilebilir/2/.

S_N (KVA)	1	5	10	20	50	100	200	500
η (%)	92	95,3	95,8	96,2	96,7	97,3	97,7	98,1

Cetvel 3.1 Transformatörlerin görünür güçlerine göre ortalama verimleri.

Bu bölümde küçük güçlü bir güç transformatörünün yapım hesabı ele alınmıştır. Yapılacak bir fazlı transformatör için aşağıdaki ön bilgiler verilmelidir. Transformatör çekirdek tipi olacak ve nüveyi oluşturmak için aşağıdaki şekilde saçlar kullanılacaktır.



Şekil 3.2 Çekirdek tipi nüvenin hazırlanışı ve yerleştirme biçimi

a. Göbek kesiti,

$$F = 0,9 \sqrt{\frac{P.S.10^6}{f.j.\Phi_{\max}}} \quad (3.1)$$

P: Güç (VA)

S: Katsayı (2 civarında alınır)

J: Akım yoğunluğu (A/mm²)

Endüksiyon alan şiddeti(B) 5000 Gaus'tan yukarı ise akım yoğunluğu (j=3 A/mm²) alınır. Endüksiyon alan şiddeti 5000 Gaus'tan az ise J=1,5 A/mm² alınır.

b. COS φ değeri,

1000 W için Cos φ =1

900 W için Cos φ =0,9

800 W için Cos φ =0,8

800 W tan aşağı Cos =0,8 olarak alınır.

(j) değeri soğutma sistemine göre alınır.

Cebri yağla soğutmada J=3 A/mm²

Yağla soğutmada J=2,5 A/mm²

Hava ile soğutmada ise J=1,5 A/mm² alınır.

c. Sıpir sayılarının hesabı,

$$U = 4,44 \cdot N_1 \cdot F \cdot 10^{-8} \cdot \Phi_m \quad (3.2)$$

$$N_1 = \frac{U_1}{4,44 \cdot F \cdot \Phi_m \cdot 10^{-8}} \quad (3.3)$$

d. Amperik formüller,

Yerli saçlar için $U_1 = 0,018 \cdot N_1 \cdot S$

$$N_1 = \frac{U_1}{0,018 \cdot S} \quad (3.4)$$

Avrupa saçlar için $U_1 = 0,024 \cdot N_1 \cdot S$

$$N_1 = \frac{U_1}{0,024 \cdot S} \quad (3.5)$$

Not: Kaçak flüxten dolayı, bulunan N_1 değerine % 2 tölörans ilave edilir. Bu durumda,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \text{ den } N_2 = \frac{N_1 \cdot U_2}{U_1} \quad (3.6)$$

Sekonder sargı primer sargısı üzerine sarıldığı zaman kayıplar artacağından N_2 değerine % 3 tölörans ilave edilir.

e. Akım ve tel çapları,

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

den

$$I_1 = \frac{P}{U_1 \cdot \cos \varphi} \text{ A} , \quad I_2 = \frac{P}{U_2 \cdot \cos \varphi} \quad (3.7)$$

$$S_1 = \frac{I_1}{J} \text{ A/mm}^2 , \quad S_2 = \frac{I_2}{J} \text{ A/mm}^2 \quad (3.8)$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \text{ mm den } D_1^2 = \frac{4 \cdot S_1}{\pi} \text{ den } D_1 = 2\sqrt{\frac{S_1}{\pi}} \quad (3.9)$$

f. Bir kattaki siper adedi ve kat adedinin hesaplanması,

izole kalınlıkları,

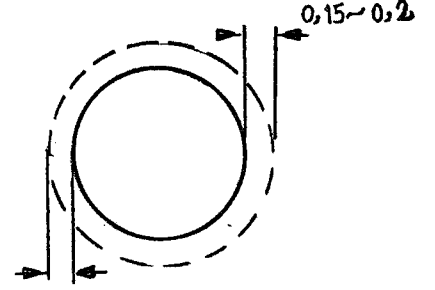
Pamuk izole = 0,20 mm

Emaye vernik = 0,15 mm

izole tel çapları,

$$D_1 + 2 (0,2 \text{ veya } 0,15)$$

$$D_2 + 2 (0,20 \text{ veya } 0,15) \text{ alınır.}$$



Şekil 3.3

g. Saçların boyutlandırılması,

Magnetik nüvenin eni ve boyunun hesabı transformatörün kullanma yerine göre belirlenir. Küçük güçlerde nüvenin kare veya dikdörtgen şeklinde olması daha uygun olmaktadır. magnetik nüvenin kare şeklinde olması flüx'ün dağılması bakımından tercih edilir.

Bacaklar üzerine yerleştirilen bobinler arasında ise en az 1cm mesafe kalmalıdır. Pencere adedi 2 olduğu için,

$$G = 50 + 10 \cdot 2$$

$$R = 50 + 10$$

Not: Makar kalınlıkları saçların iyi istif edilmesi nedeniyle 10 mm tolerans alınır. Nüve kesiti,

$$S = a \cdot b$$

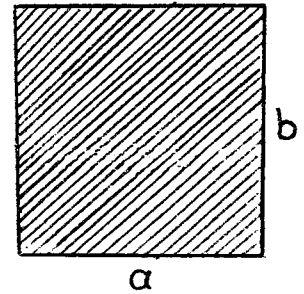
dır.

$$S_n = C \cdot \sqrt{S_2}$$

C: Katsayı

S_n : Magnetik nüve kesiti. cm^2

S_2 : Sekonder devre gücü. VA

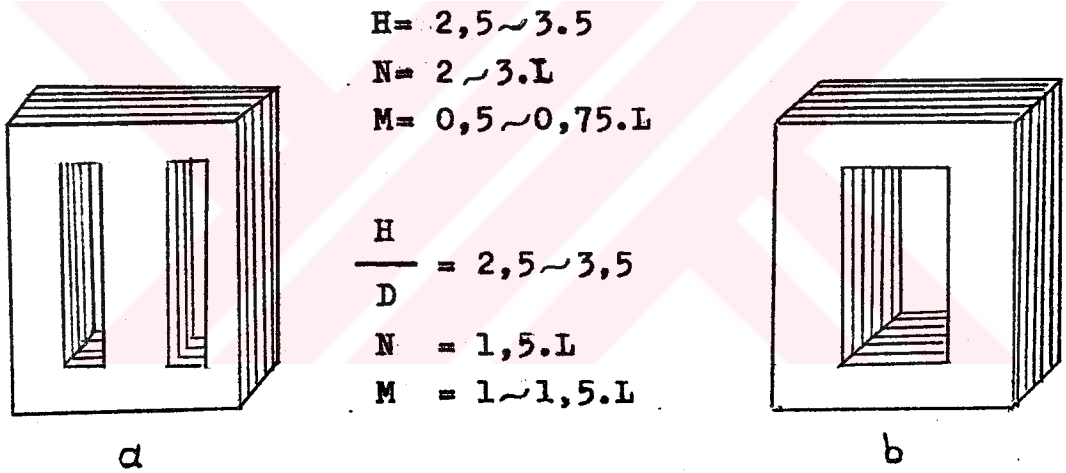


Şekil 3.4 magnetik nüve kesit şeması.

C, magnetik nüve kesiti ile transformatör gücü arasındaki ilişkiyi veren bir katsayı olup, 0,7 ilâ bir arasında alınabilir. Ancak kullanılan saçların birer yüzeylerinin yalıtıldığı dikkate alınarak "b" kenarının % 5 ilâ % 15'e kadar arttırmak uygun olur. Bu arttırma oranı kullanılan yalıtkanın cinsi ve kalınlığına bağlı olarak değişir.

h. Transformatör pencere genişliğinin tayini,

Transformatör gövdesinin yapımı (Şekil 3.5.a.b) gösterildiği gibi iki şekilde yapılır. Pratikte her iki yapım şekli için boyutlar oranlanmıştır. Üç fazlı transformatörler için gövde boyutları ve ayak kesitleri (Şekil 3.5.a) aynı olacak şekilde dikkate alınacaktır.



Şekil 3.5

Birinci ve ikinci devre sargıları arasında iyi bir magnetik kavramı sağlayabilmek için, her iki sargının bir kol üzerine sarılması tercih edilir. Birinci sargı alta, ikinci sargı (sekonder) onun üstüne sarıldığı gibi, kol üzerinde ayrı ayrıda sarılabilir.

İletken kesitlerini bulmak için transformatörün soğutma ve çalışma şekli gibi faktörler dikkate alınarak akım yoğunlukları saptanır. Kendi kendine soğuyan transformatörlerde akım yoğunluğu (j) 1,8 ilâ 2,6 A/mm², yağ ile soğutularlarda ise (j) 2,5 ilâ 4 A/mm² alınır/4/.

Örnek:

P = 275 W'lık transformatörün yapım hesapları,

$$U_1 = 220 \text{ V}$$

$$U_2 = 110 \text{ V, } 24 \text{ V, } 12 \text{ V}$$

$$I_2 = 2,5 \text{ A}$$

$$j = 3 \text{ A/mm}^2$$

$$B = 9000 \text{ Gauss}$$

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

C veya S, katsayı = 2

Göbek kesit hesabı,

$$F = 0,9 \sqrt{\frac{P.S.10^6}{f.j.B}} \text{ den } F = 0,9 \sqrt{\frac{275.2.10^6}{50.3.9000}} \text{ den } F \approx 20$$

alınacak.

Sipir sayılarının hesabı,

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \text{ den } N_1 = \frac{E_1 \cdot 10^8}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot F}$$

$\Phi = B \cdot S$ Formül de yerine koyarsak,

$$N_1 = \frac{220 \cdot 10^8}{4,44 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 9000} = \frac{110000}{199,8} = 550 \text{ sipir}$$

(Sekonder sipir sayısının hesabı,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \text{ den } N_2 = \frac{N_1 \cdot E_1}{E_2} \rightarrow N_2 = \frac{550 \cdot 110}{220} = 275 \text{ sipir}$$

$$N_3 = \frac{550 \cdot 24}{220} = 60 \text{ sipir, } N_4 = 30 \text{ sipir}$$

olur. Akımların hesabı,

$$I_1 = \frac{P}{U_1} = \frac{275}{220} = 1,25 \text{ [A]} \quad I_2 = 2,5 \text{ [A]}$$

İletken kesitinin hesabı,

$$S_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{1,25}{3} = 0,41 \cong 0,5 \text{ mm}^2 \quad S_2 = \frac{2,5}{3} = 0,83 \cong 1$$

alınır. İletken çapları,

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \text{ den } d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,5}{3,14}} \quad d_1 = 0,8 \text{ } \ominus$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1}{3,14}} = 1,2 \text{ } \ominus$$

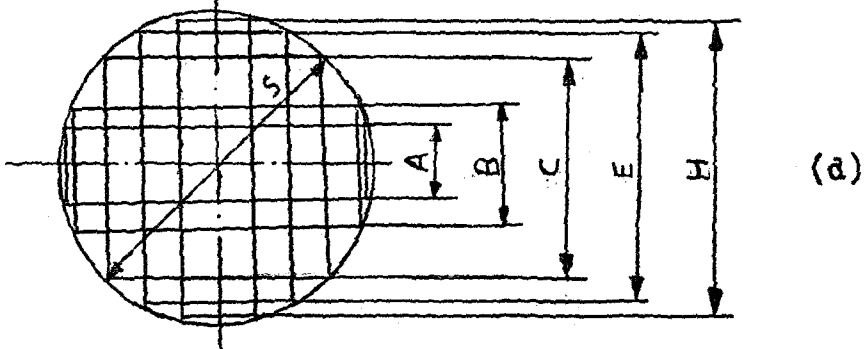
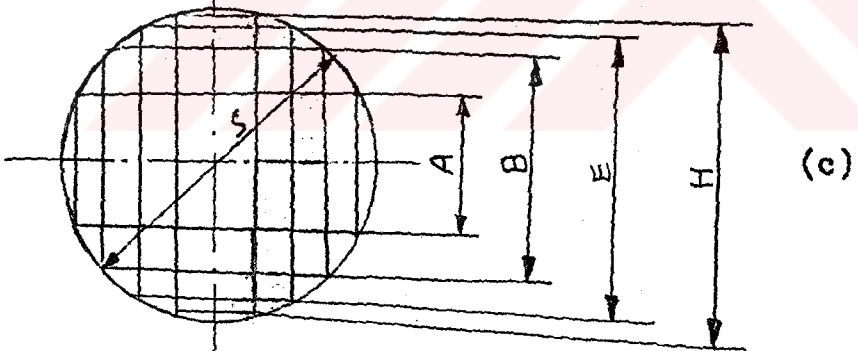
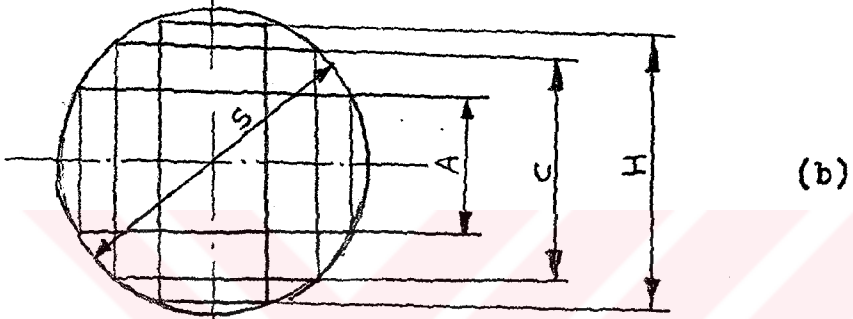
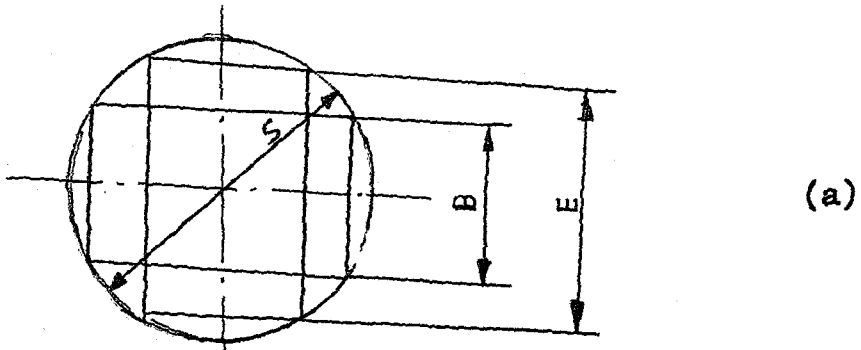
Saç paketinin tayini,

Saç paketinin sayısı saçın kalınlığına bağlıdır.
Örneğin: Her saçın kalınlığı 0,5 mm ve paketin kalınlığında 40 mm olsun. O halde $40 \cdot 0,5 = 80$ saçtan yapılması gerekir.
Not: Transformatörün makarası yapılıp, bobinaj sarıldıktan sonra saçlar, makara içine şekil(3.2) deki a ve b durumlarında olduğu gibi yerleştirilecektir. Bu sıraların yapılmasında uygun olan yüzler aynı tarafa getirilmelidir.

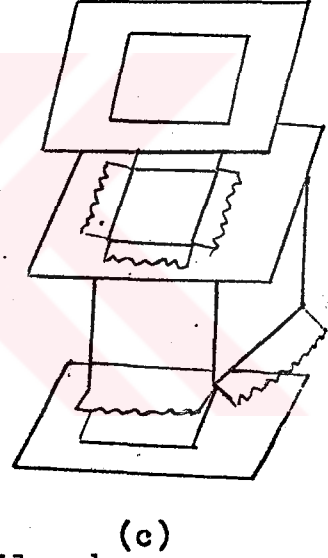
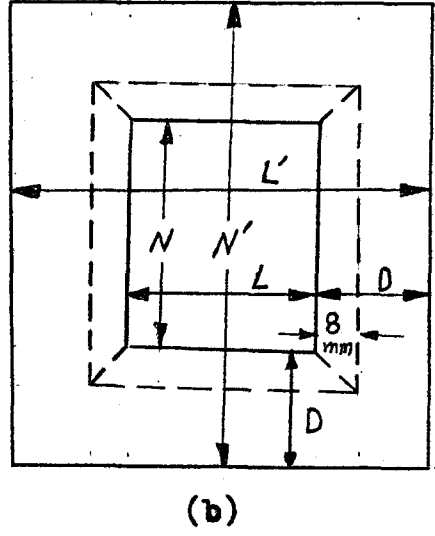
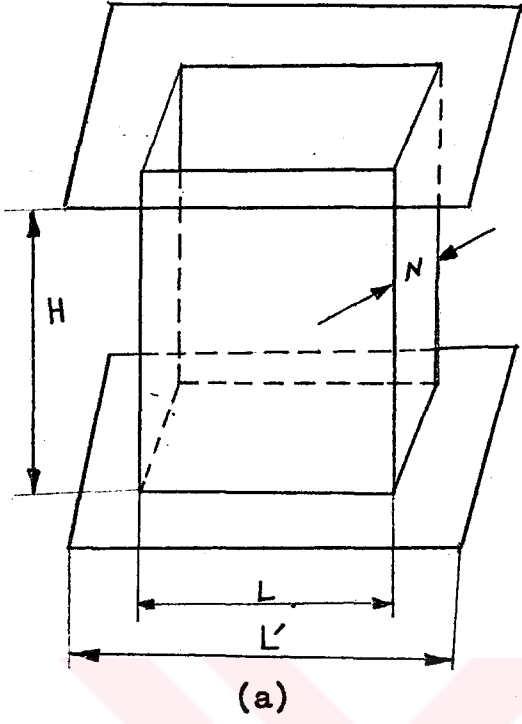
Küçük güçlü trafolarla dikdörtgen veya kare kesitli göbekler, büyük güçlü trafolarla ise şekil (3.6.a.b.c.d) de olduğu gibi kademeli yapılırlar.

B = 0,526 . D mm	a)	b)	A = 0,421 . D mm
E = 0,850 . D mm			C = 0,707 . D
S = 0,555 . D mm			H = 0,907 . D
			S = 0,601 . D

A = 0,421 . D mm	c)	d)	A = 0,421 . D mm
B = 0,615 . D			B = 0,574 . D
E = 0,788 . D			C = 0,707 . D
H = 0,788 . D			E = 0,819 . D
S = 0,622 . D			S = 0,632 . D

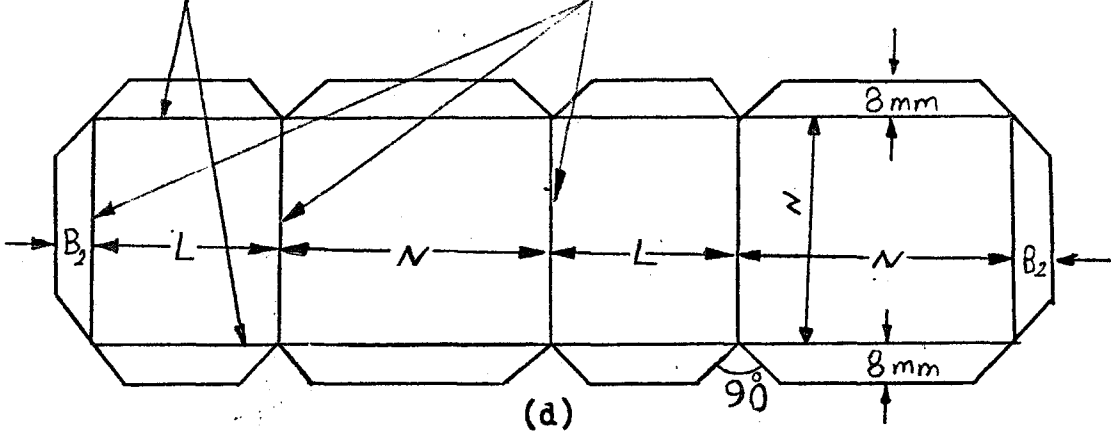


Şekil 3.6.a.b.c.d



Ters taraftan
çizilecek kısım

Ön yüzden çizilecek
kısım



Şekil 3.7.a.b.c.d. Bir fazlı transformatörün makarasının yapıma tarzını göstermektedir.

4. ÜÇ FAZLI TRANSFORMATÖRLERİN GRUPLANDIRILMASI.

Transformatörlerde çıkış gerilimi, giriş gerilimine olan faz farkına göre gruplandırılır. Ayrıca bağlantının tanınabilmesi için yıldız bağlantı Y harfi, üçgen bağlantı D harfi zikzak bağlantı ise Z harfi ile gösterilir. Yüksek gerilim tarafı büyük, alçak gerilim tarafı ise küçük harfle adlandırılır.

Örneğin: yıldız -yıldız bağlı transformatörleri Yy yıldız -üçgen bağlı transformatörler Yd, yıldız-zikzak bağlı trafolar ise Yz ile gösterilir. Böylece sekonder gerilimi ile primer gerilimi arasındaki faz farkı sabit bir sayı ile (faz farkını temsil eden sayı) gösterilir.

Örneğin: Yy0 ifadesinden transformatörlerin yıldız-yıldız bağlı olduğu ve aralarındaki faz farkının ise sıfır olduğu anlaşılır. Yy6 ifadesinde ise transformatör yıldız-yıldız bağlı olup buradaki 6 sayısı çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki faz farkını bulmaya yarayan faz tanımlama sayısıdır.

$$\text{Faz açısı} = 30^{\circ} \cdot 6 = 180^{\circ}$$

Şimdi bu faz tanımlama sayısının nasıl bulunduğunu görelim. Herhangi bir saati (duvar yada kol saati) ele alalım; Saat tablasının 12 eşit parçaya bölündüğünü biliyoruz. Burada her bir saat aralığını 30° olarak kabul edelim. Saatin yelkovanı transformatörün primer geriliminin vektörünü, saatin akrebi ise sekonder geriliminin vektörünü temsil etsin. Burada primer faz vektörlerinden birini (U)saatteki 12 rakkamının olduğu yere, sekonderdeki aynı

faza karşılık gelen faz vektörünün de (u) saatte bulunan 3 rakkamı üzerine yerleştirdiğimizi varsayalım. 12 ile 3 arasındaki üç dilimlik mesafe farkı, faz tanımlama sayısını gösterir. Burada $Yy3$ için,

$$Yy3 = 3.30^{\circ} = 90^{\circ}$$

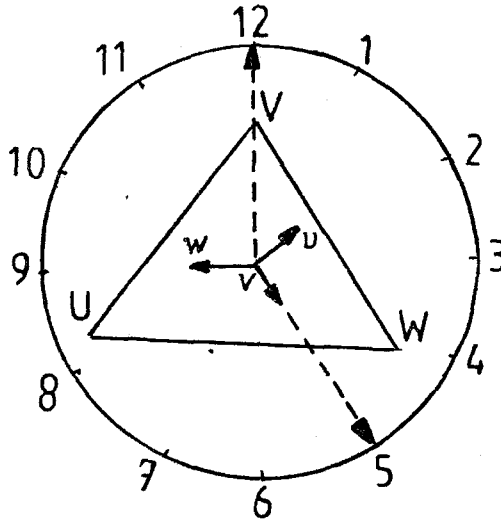
olacaktır. Eğer saat ve dakika ibresi 12'nin üzerinde olursa, o zaman primer ile sekonder arasındaki faz farkı sifıra eşit olacaktır. Örneğin, Şekil (4.1) de $Dy5$ transformatörünün giriş ve çıkış gerilimlerinin vektörlerinin arasındaki faz farkı göstermektedir. Bu transformatörde primer ile sekonder gerilimlerinin arasındaki faz farkı

$$5.30^{\circ} = 150^{\circ}$$

olarak yazılır /3/.

Örnekler:

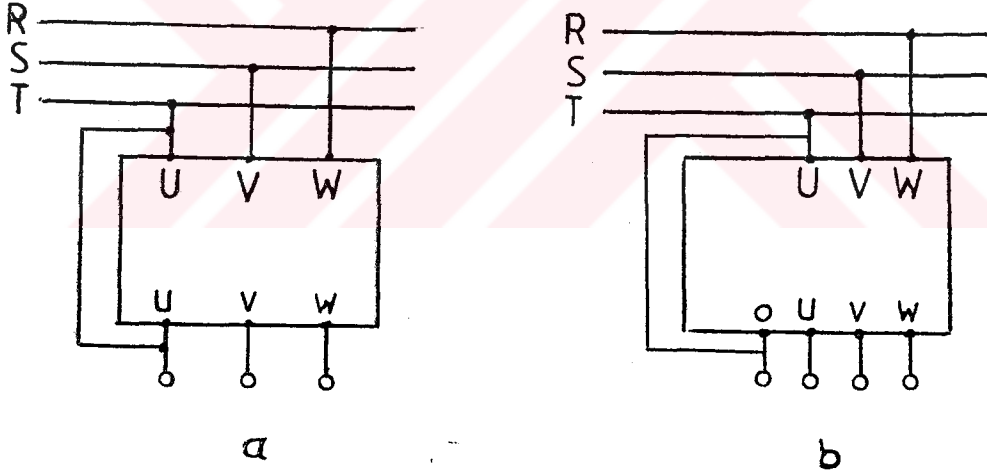
- $Yz3 \rightarrow$ Yıldız-zikzak bağı $\rightarrow 3.30^{\circ} = 90^{\circ} \rightarrow$ faz farkı
 $Dz7 \rightarrow$ Üçgen-zikzak bağı $\rightarrow 7.30^{\circ} = 210^{\circ} \rightarrow$ faz farkı
 $Dy4 \rightarrow$ Üçgen-yıldız bağı $\rightarrow 4.30^{\circ} = 120^{\circ} \rightarrow$ faz farkı



Şekil 4.1 saat ibrelerinden faydalanarak transformatorlerin primer ile gerilimlerinin arasındaki faz farkının bulunması.

4.1. Üç fazlı Transformatörlerin Bağlantı Gruplarının Özellikleri.

Transformatörlerin grup bağlantılarını seçebilmek için, primer sargısı üç fazlı bir şebekeye bağlanır. Yalnız şebekenin gerilimi, bağlanan transformatörün sekonderinin anma gerilimine eşit olması gerekir. Bu durumda bağlanan transformatörün sıfır (nötr) noktası belli değilse veya transformatörün içinde bağlanmışsa primer ve sekonder sargılarının herhangi bir faz uçlarını birbirine bağlarız (Şekil 4.2.a). Eğer transformatörün sıfır noktası belli ise, sekonder tarafının nötr noktası, primerin herhangi bir faz ucuna (U) bağlanabilir (şekil 4.2.b). Budurumda nötr noktasının gerimi U fazının gerilimi kadar yükselir, daha sonra diğer fazları ölçerek aşağıdaki sonuçlar elde edilir/5/.



Şekil 4.2

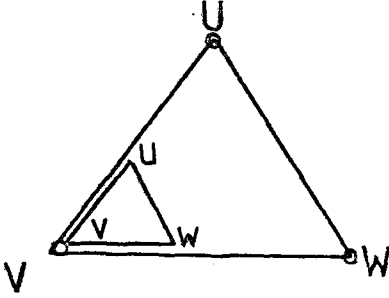
4.1.1. A Grubu Bağlantısı.

Eğer yukarıdaki deneyde fazların (v-V) ve (w-W) potansiyel farkı, primer ile sekonder arasındaki potansiyel farkına eşitse transformatörün bağlantısı A grubundan olmalıdır (şekil 4.3).

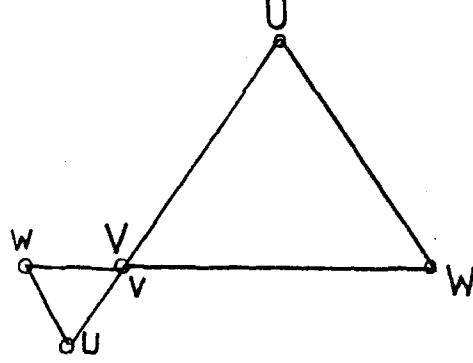
Örneğin: Eğer A gurubu bir transformatörü 20 KV/400 V'nü 400 V luk bir şebekenin primerine bağlarsak voltmetreler

$$(20000-400) \cdot \frac{400}{20000} = 392 \text{ V}$$

gösterecektir.



Şekil 4.3



Şekil 4.4

4.1.2. B Grubu Bağlantısı.

Eğer deney sonucunda fazların (v-v) ve (w-w) potansiyel farkı, primer ve sekonderin potansiyellerinin toplamına eşitse, transformatör B bağlantı grubundandır (şekil 4.4).

Örnek: 20 KV/400 V luk bir B grubu transformatörü 400 V luk bir şebekeye bağlayıp denersek. Diğer fazlara bağlı olan voltmetreler

$$(20 \cdot 10^3 + 400) \cdot \frac{400}{20 \cdot 10^3} = 408 \text{ V}$$

Gösterecektir. Bu değer dönüştürme oranı ile birlikte primer ve sekonder geriliminin toplamına eşittir/5/.

4.1.3. C Grubu Bağlantısı.

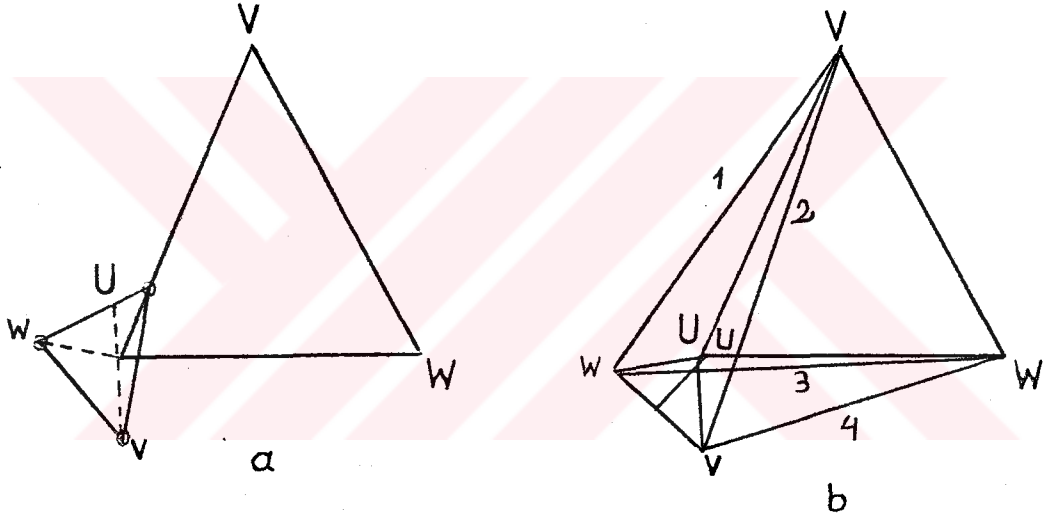
Eğer transformatörün sıfır noktası belli ise, primerdeki U fazının ucunu sekonderde nötr noktasına bağlarız (şekil 4.2.b). Bu defa (U-V) ve (w-W) fazlarının potansiyellerini iki voltmetre ile ölçeriz.

$$U_{u-v} = U_{pr} - \frac{u_{sek}}{3} \quad (4.1)$$

$$U_{w-w} = U_{pr} - \frac{U_{sek}}{3} \quad (4.2)$$

Sonuc vukarıdaki formülde çıkacaktır (şekil 4.5.a).

Eğer transformatörün belli değilse, sekonderin u fazını primerin U fazına bağlarız. Bu defa dört ayrı voltmetre ile (V-v), (V-w), (W-w), (W-v) fazlarının gerilimlerini ölçeriz. v,w noktalarını şekil(4.5.b) deki gibi çizilebilir /5/.



Şekil 4.5

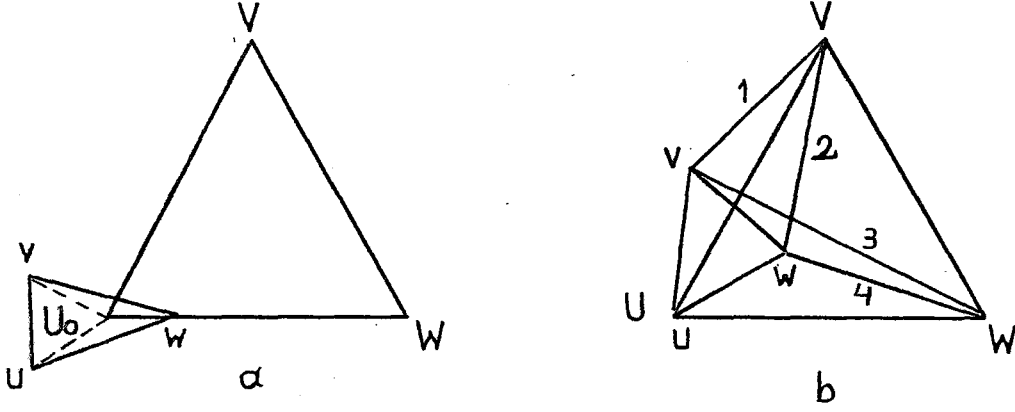
4.1.4. D Grubu Bağlantısı.

Eğer nötr noktası belli ise, sekonderin sıfır noktasını şekil (4.2.b) deki gibi U ya bağlarız. Daha sonra iki voltmetre ile (W-w) ve (V-v) gerilimlerini ölçeriz. Bu gerilimlerin değeri,

$$U_{W-w} = U_{pr} - \frac{u_{sek}}{3} \quad (4.3)$$

$$U_{V-u} = U_{pr} + \frac{u_{sek}}{3} \quad (4.4)$$

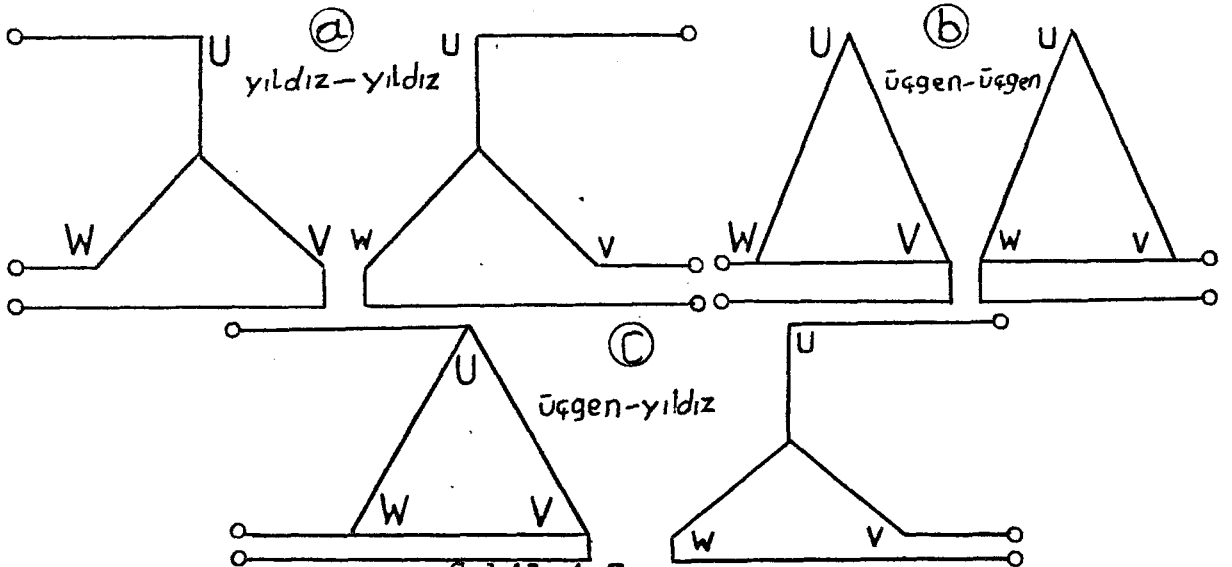
formülden bulunabilir (şekil 4.6.a). Eğer transformatörün nötr noktası belli değilse, u yu U ya bağlayıp, (V-v), (V-w), (W-v) fazlarının gerilimlerini ölçeriz. v ve W noktalarını pergel yardımı ile gizleriz (şekil 4.6.b)/5/.



Şekil 4.6

4.2. Üç Fazlı Transformatörlerin Bağlantı Çeşitleri Ve Özellikleri.

Üç fazlı transformatörlerin primer ve sekonderlerinin sargı uçları bağlantıları birkaç türde yapılabilir (yıldız, üçgen, zikzak). Böylece üç fazlı transformatörlerin primer ve sekonderleri birbirinden ayrı sarılmış ise sargı uçları yıldız-yıldız, üçgen-üçgen, yıldız-üçgen, üçgen-yıldız, zikzak-zikzak vs. Şekilde görüldüğü gibi bağlanabilir.



Şekil 4.7

Yukarıdaki bağlantı biçimlerini nerede ve ne zaman hangi tür transformatörün kullanılacağını ve bu tür bağlantıların özelliklerini bilmek gerekir /5/.

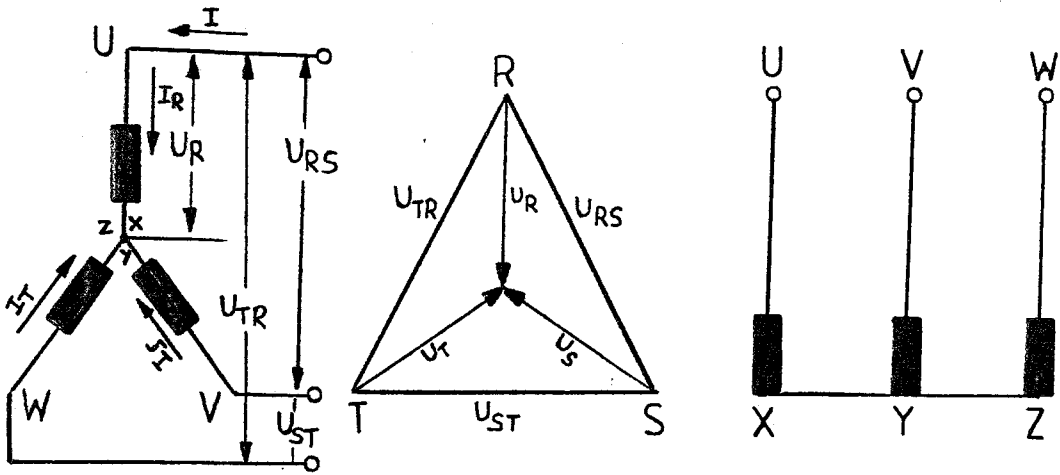
4.2.1. Yıldız Bağlantı.

Her faz sargısından geçen akım o sargının bağlı olduğu fazın akımına eşittir. Yani faz ve sargı akımları birbirlerine eşittir. Dengeli yükleme durumunda ise her üç fazın akımları birbirlerine eşit olmaktadır. ($I_R = I_S = I_T$) Bu bağlantıda iki çeşit gerilim söz konusudur. Bunlar, (U_R, U_S, U_T) faz gerilimleri ile (U_{ST}, U_{RS}, U_{TR}) belirten faz arası hat gerilimleridir. Faz arası hat gerilimleri, faz sargılarının gerilimlerinden $\sqrt{3}$ kadar daha büyüktür. Böylece yıldız bağlantıda faz sargılarının sipir sayıları azalmış olacağından yalıtma işi de kolaylaşır/2/.

$$I_R = I_S = I_T = I \quad U_R = U_S = U_T \quad (4.5)$$

$$U_{RS} = \sqrt{3} \cdot U_R = U \quad S = 3 \cdot U_R \cdot I_R \quad (4.6)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_{RS} \cdot I_R = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (4.7)$$



Şekil 4.8 Yıldız bağlantıda akım, gerilim ve güç ilişkileri.

4.2.2. Üçgen Bağlantı.

Üçgen bağlantıda faz sargılarının uçlarındaki gerilim, fazlar arası hat gerilimlerine eşittir ($U_{RS} = U_R$) buna karşılık bobin ve faz akımları birbirinden farklıdır. Hatlardan geçen akımlar, faz sargılarından geçen akımlardan $\sqrt{3}$ kadar büyüktür. ($I_R = \sqrt{3} \cdot I_{RS}$) üç fazın dengeli yüklenmesi durumunda I_{RS} , I_{ST} , I_{TR} faz akımları birbirine eşittir ve aralarında 120° faz farkı vardır. Bu bağlantıda faz sargılarının sipirleri ve sargılarının yalıtılmaları hat gerilimlerine göre yapılır. Üçgen bağlantıda faz sargılarından biri arıza yaptığında bu sargının devre dışı edilmesine karşın, sistem çalışmasını açık üçgen (V bağlantısı) şeklinde sürdürür. Bu anda sistemin beslenme gücünün % 58'e düştüğü dikkate alınmalıdır.

Üçgen bağlantıda sargı uçlarındaki gerilim $\sqrt{3}$ kadar yıldız bağlantıdaki sargı uçlarından büyük olmalıdır. Eğer güçleri eşit olursa, başka deyimle enerji nakil hattının özellikleri (gerilim-akım) bakımından eşitse, yıldız sargılarının akımı üçgen sargılarının $\sqrt{3}$ katıdır. Miknatıslama akısı eşit olduğundan her iki transformatörde ampersarımları eşittir.

Üçgen bağlantıda sargı sipir sayısı yıldız bağlantısının $\sqrt{3}$ kadarıdır. Yıldız sargı bağlantı akımı, üçgen sargı bağlantı akımının $\sqrt{3}$ kadarı olduğundan, yıldız sağlı sargı telinin kesiti, üçgen bağlı sargı tel kesitinin $\sqrt{3}$ kadarı olacaktır. Yıldız bağlı sargı sipir sayısı, üçgen bağlı sargı sipir sayısından az olduğundan, izolasyon üçgen bağlantıya nazaran yıldızda daha az olacaktır.

Sonuç olarak yüksek gerilimde yıldız bağlantı, yüksek akım çekilen yerlerde ise, üçgen bağlantı yapılmalıdır. Örneğin: 10 KV/110 KV Transformatörler yıldız-üçgen bağlantı yapılmalıdır. Bu durumda 30 KV den yukarı yüksek gerilim şebeke transformatörleri büyük ihtimalle yıldız-yıldız bağlantı olacaktır/3/5/.

A grubu transformatörlerin primer gerilim vektörü ile sekonder gerilim vektörü arasındaki faz farkı, $\alpha = 0^\circ$ yada 360° olmaktadır.

Grup	Semböl	Vektör Diyagramı		Sargı Bağlantı Şeması
		Giriş	Çıkış	
A	YyO Ya 12			
	DdO Ya 12			
	DZO			
	ZdO			

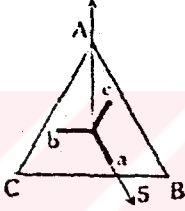
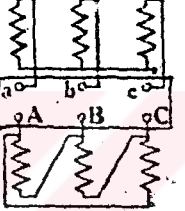
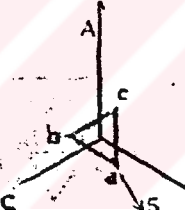
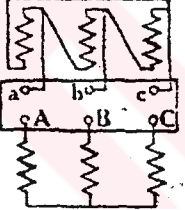
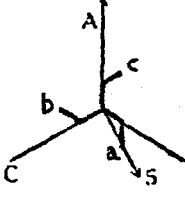
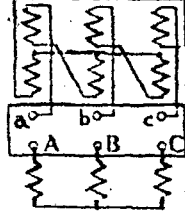
Cetvel 4.1.1. A grubu transformatörlerin bağlantı şeması ve vektör diyagramını göstermektedir.

B grubu transformatörlerin primer gerilim vektörü ile sekonder gerilim vektörü arasındaki faz farkı, $\alpha = 180^\circ$ olmaktadır.

Grupun Adı	Grupun Sembölü	vektör diyagramı		Sargıların bağlantı şeması
		primer sargısı	sekonder sargısı	
B	Yy6			
	Dd6			
	Dz6			
	Zd6			

Cetvel 4.1.2. B grubu transformatörlerin bağlantı şeması ve vektördiyagramını göstermektedir.

Bu grup transformatörlerin primer gerilim vektörü ile sekonder gerilim vektörü arasındaki faz farkı, $\alpha = 150^\circ$ olmaktadır.

Grup	Sembol	Vektör Diyagramı	Sargı bağlantı şeması
C	Dy5 (150°)		
	Yd5 (150°)		
	Yz5 (150°)		

Cetvel 4.1.3. C grubu transformatörlerin bağlantı şeması ve vektör diyagramlarını göstermektedir.

Bu grup transformatörlerin primer gerilim vektörü ile sekonder gerilim vektörü arasındaki faz farkı, $\alpha = 330^\circ$ olmaktadır.

Grup	Sembol	vektör Diyagramı		Sargı Bağlantı Şeması
		Giriş	Çıkış	
D	DyII			
	YdII			
	YzII			
	ZyII			

Cetvel 4.1.4. D grubu transformatörlerin bağlantı şeması ve vektör diyagramlarını göstermektedir.

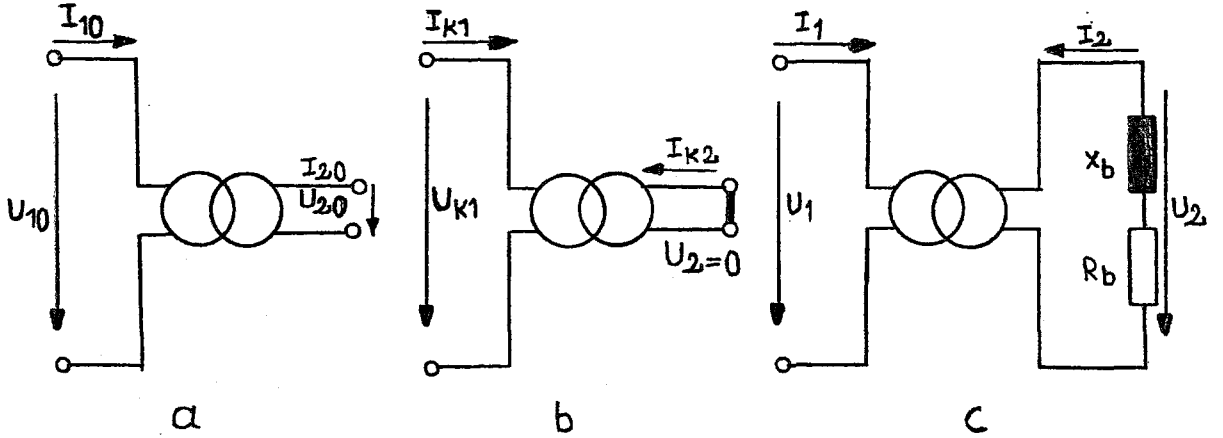
5. TRANSFORMATÖRLERİN ÇALIŞMA İLKELERİ

Transformatör ikinci sargısına bağlanan tüketiciler ile yüklenir. Bu tükettikleri güce "yük" denir. İkinci akım ve onunla beraber birinci akım, yükü yani ikinci sargıya bağlanan tüketiciler ile değişir. İkinci akım bakımından transformatörün üç tipik çalışma şekli ayırtdedilir.

1- Boşta çalışmada ikinci devre açıktır ve ikinci akım sıfırdır: $I_2=0$. Transformatör faydalı güç vermez Tüm birinci güç transformatör kayıplarında tüketilir. Tam veya daha çok yaklaşık boşa çalışma işletmede, özellikle geceleri görülür.

2- Kısadevrede ikinci sargı uçları dirençsiz bir şekilde birleştirilmiştir. Transformatör yine faydalı güç vermez. Tüm birinci güç transformatör kayıplarında tüketilir. Anma gerilimi ile beslenirken oluşan kısadevre transformatör için çok tehlikelidir, ancak arızalarda görülür ve transformatörün derhal devreden çıkartılması gerekir.

3- Yükte çalışmada ikinci devre tüketicilerin yük empedansı üzerinde kapalıdır. İkinci akım sıfır değildir: $I_2 \neq 0$. Transformatör faydalı güç verir. Birinci güç, faydalı gücü ve transformatör kayıplarını karşılar. Yükte çalışma transformatörün işletmedeki normal çalışma şeklidir/1/



Şekil 5.1 Transformatörün üç tipik çalışma şekli:
a. Boşta çalışma, b. Kısa devre,
c. Yükte çalışma.

5.1. Transformatörlerin Boşta Çalışma Deneyi.

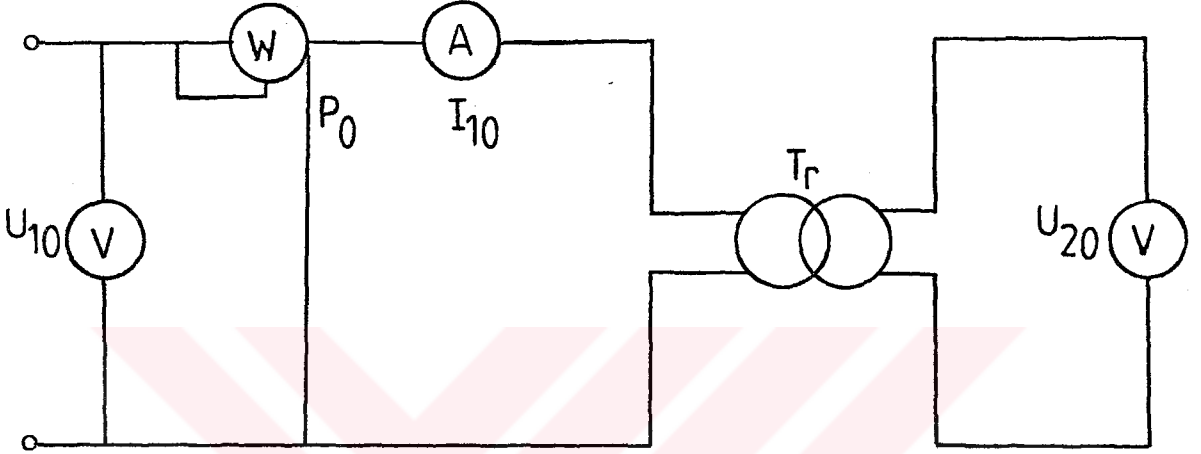
Primer sargı şebekeye bağlı ve sekonder sargı uçları açık iken, yani sekonderden hiç bir akım geçmediği durumda ($I_2 = 0$), Primer devresinin anma gerilimi ve frekansındaki çalışma durumuna, boşta çalışma denir. Boşta çalışma deneyinde, dönüştürme oranı, boşta akım ve boştaki kayıp güç ölçülür/1/.

5.2. Boşta Deneyin Yapılışı.

Deney için transformatör sargılarından bir açık bırakılır. Diğer anma gerilim ve frekansında beslenir. Bu durumda boştaki taraf bağlanan bir voltmetre ile boşta çıkış gerilimi, besleme tarafına bağlanan bir wattmetre ile boştaki güç, besleme tarafına bağlanan bir voltmetre ile boşta giriş gerilimi ve ampermetre ile boştaki akım ölçülür. Beslenen taraftan ölçülen gerilim endüklenen gerilime yaklaşık, boş taraftan ölçülen gerilim ise endüklenen gerilime tam eşittir. Çünkü boşta, besleme tarafından geçen boşta akım, sargılar üzerinde az da olsa bir gerilim düşümü oluşturur.

Deneydeki hataları azaltmak için aletler yeterli du-

yarıllıkta olmalı ve hepsi aynı anda okunmalıdır. Küçük güç transformatörlerde deney yapılırken ampermetre ve ikinci tarafa bağlanan voltmetrenin sarfiyatının az olmasına dikkat edilmelidir. Yada güç ölçülürken bu aletler devreden çıkarılmamalıdır. Özellikle çevirme oranı için % 0,5 tolerans tanındığından birinci ve ikinci tarafta bağlanacak voltmetrelerin çok hassas olması gerekir.



Şekil 5.2 Boşta çalışma deneyinin bağlantı şeması

Deney için değişik gerilim kademelerinde çeşitli değerler alınacağından besleme tarafının ayarlı olması gerekir. Bu amaçla büyük güçlü transformatörlerde deney yapılırken, ayarlanabilir bir transformatör yada bir senkron jeneratör, küçük güçlerde bir döner transformatör, daha küçük güçlerde ise bir potansiyometreden yararlanılabilir/1/.

5.3. Boşta Deneyde Akı Ve Demir Kayıp Gücü.

Transformatör boşta çalışmada faydalı güç vermediğinden şebekeden çekilen tüm güç transformatörün demir ve bakır kayıplarında harcanır. Boştaki akımın az olması nedeniyle çekilen gücün çok az bir kısmı bakır kayıplarını, diğer bölümü ise demir kayıplarını karşılar.

Bakır kayıpları akımın karesi ile değiştiğinden ihmal

edilebilir. Böylece çekilen boştaki güç demir kayıp gücüne eşittir. Gerektiğinde demir kayıp gücü, düzeltme yapılarak kesin olarak hesaplanabilir.

$$P_0 = V_{Fe} \quad V_{Fe} = P_0 - V_{cwo} \quad (5-1)$$

$$V_{cwo} = R \cdot I_0^2 = I_0^2 \cdot R \cdot I_N^2 \quad (5-2)$$

Demir kayıpları besleme geriliminin dalga şekline bağlıdır. Bu yüzden uygulanan gerilim sinüs biçimli olmalıdır. Herhangi bir dalganın standartlara göre sinüs biçimli kabul edilmesi için, aynı zamana ait esas harmonik, ani değerinden genliğin % 5 inden fazla hiç bir zaman sapmaması gerekir. Deneyde kullanılan gerilim sinüs biçimli değilse, ölçülen demir kayıp gücünde düzeltme yapılmalıdır. Bu düzeltmenin yapılması için, uygulanan gerilimin efektif değeri ve aritmetik ortalama değeri ölçülür.

$$P_0 = \frac{P_{oö}}{P_{oh} + k \cdot P_{og}} \quad (5-3)$$

P_0 : Sinüs biçimli gerilimde hesaplanan boşta kayıp gücü.

$P_{oö}$: Gerçek gerilimde ölçülen boşta kayıp gücü.

P_{og} : Girdap akımı kayıplarının tüm boşta kayıplara oranı.

P_{oh} : Histerezis kayıplarının tüm boşta kayıplara oranı.

k : U_{ef} / U_{ar} : Uygulanan gerilimin efektif değerinin ortalama aritmetik değerlerine oranı, (biçim katsayısı).

Güç transformatörlerinde 50 veya 60 HZ için P_{oh} ve P_{og} oranları aşağıdaki şekilde değişir.

Kristalleri yönlendirilmiş saçlar : $P_{oh} = 0,5$ $P_{og} = 0,5$

Kristalleri yönlendirilmemiş saçlar : $P_{oh} = 0,5$ $P_{og} = 0,3$

Transformatörlerde sabit frekansta, boşta ve yükte endüklemeyi sağlayan faydalı akı sabittir/1/.

$$\vec{\Phi}_r = \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2 = \vec{\Phi}_0 \quad (5-4)$$

$$\vec{\Phi}_1 = \vec{\Phi}_0 + \vec{\Phi}_{1b} \quad \vec{\Phi}_{1b} = -\vec{\Phi}_2 \quad (5-5)$$

- $\vec{\Phi}_1$: Birinci sargının meydana getirdiği magnetik akı,
 $\vec{\Phi}_2$: İkinci sargının meydana getirdiği magnetik akı,
 $\vec{\Phi}_{1b}$: Magnetik akının yükte bileşeni,
 $\vec{\Phi}_0$: Magnetik akının boşa bileşeni,
 $\vec{\Phi}_r$: Endüklemeyi sağlayan ortak faydalı akı,

5.4. Boşa Deneyde Bulunan Sonuçlar.

Boşa deney, imalı bitmiş bir transformatörde yapılır. Buna göre, deney sonunda elde edilen çeşitli değerler, hem transformatörün çeşitli özelliklerini tamamlamaya hemde istenilen şartlara uygunluğunun tesbitinde büyük yararlar sağlar.

Deneyde alınan değerlerden şu büyüklükler hesaplanabilir.

1- Anma çevirme oranı : $\vec{U}_N = U_{10} / U_{20} \quad (5-6)$

Alman Standartlarına göre anma çevirme oranının toleransı % 0,5 tir. Bu tolerans anma gerilim uçları içindir. Eğer başka çıkışlar varsa bu uçlardaki tolerans % 1 dir.

2- Boşa güç katsayısı : $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{10} \cdot I_{10}} \quad (5-7)$

Cos φ_0 değeri watmetre, voltmetre ve ampermetrelerden okunan değerlerden rahatlıkla hesaplanabilir. Kristalleri yönlendirilmiş büyük güç transformatörlerinde güç katsayısı 0,2 civarındadır. Kristalleri yönlendirilmemiş saçlardan yapılan transformatörlerde ise güç kat sayısı daha düşüktür. ve 0,1 civarındadır.

3- Bağlı boşa akım ve boşa akım bileşenleri :

Bağıl boştaki akım, boştaki akımın nominal oranıdır.

$$i_0 = \frac{I_{10}}{I_{1N}} \quad (5-8)$$

Boştaki güç katsayısında yararlanılarak boştaki akımın bileşenleri bulunabilir.

$$I_{1Fe} = I_{10} \cdot \cos \varphi_0 = P_0 / U_{10} \quad (5-9)$$

$$I_{1h} = I_{10} \cdot \sin \varphi_0 = \sqrt{I_{10}^2 - I_{1Fe}^2} = I_{10} \quad (5-10)$$

Elde edilen değerlerden gerekirse akım ve gerilen diyagramları çizilebilir.

4- T ve L eşdeğer devrenin paralel elemanıdır.

Bu devrelerin paralel elemanları olan demir kayıp direnci R_{1Fe} , esas reaktans X_{1h} ve bunların oluşturduğu esas empedans Z_{1h} şu şekilde bulunabilir.

$$Z_{1h} = \frac{U_{10}}{I_{10}} = \frac{U_{10}^2}{i_0 \cdot S_N} \quad X_{1h} = \frac{U_{10}}{I_{1h}} \quad (5-11)$$

$$R_{1Fe} = \frac{U_{10}}{I_{1Fe}} = \frac{P_0}{I_{1Fe}^2} = \frac{U_{10}^2}{P_0} \quad (5-12)$$

R_{1Fe} ve X_{1h} aynı zamanda güç katsayısından da yararlanılarak bulunabilir.

$$R_{1Fe} = \frac{U_{10}}{I_{1Fe}} = \frac{U_{10}}{I_{10} \cdot \cos \varphi_0} = \frac{Z_{1h}}{\cos \varphi_0}$$

$$X_{1h} = \frac{U_{10}}{I_{1h}} = \frac{U_{10}}{I_{10} \cdot \sin \varphi_0} = \frac{Z_{1h}}{\sin \varphi_0}$$

Demir kayıp direnci ve esas reaktans yardımıyla esas em-

pedans bulmak istenirse:

$$\frac{1}{Z_{1h}} = \frac{1}{R_{1Fe}} + \frac{1}{jX_{1h}} \quad (5-13)$$

5. Boşta görünür S_0 , tepkin güç Q_0 ve karmaşık güç S_0 :

$$S_0 = U_{10} \cdot I_{10} \quad (5-14)$$

$$Q_0 = U_{10} \cdot I_{10} \cdot \sin\varphi_0 = S_0 \cdot \sin\varphi_0 = U_{10} \cdot I_{1h} \quad (5-15)$$

$$S_0 = P_0 + jQ_0 = S_0(\cos\varphi_0 + j\sin\varphi_0) \quad (5-16)$$

Bu güçler, boşta ölçülen akım, gerilim ve deney sonunda bulunan güç katsayısından yararlanarak hesaplanabilir/4/.

5.5. Sabit Frekansta Boşta Karakteristikler.

Boşta deneyde, sabit frekansta besleme gerilimi sıfırdan itibaren arttırılır ve bu artışa, gerilim anma geriliminin en fazla % 10 üstüne çıkıncaya kadar devam edilebilir. Bu arada çeşitli değerler alınır. Alınan bu değerlerden boştaki karakteristik eğrileri çizilebilir. Bu karakteristikler, boşta gerilime bağlı olarak akım, güç ve güç katsayısının değişimleridir. Elde edilen karakteristiklerden yararlanarak transformatörün çeşitli özellikleri tanınip değerlendirilebilir.

Boşta akım karakteristiği, boşta akımın, boşta gerilimine göre değişim eğrisidir. Doyma arttıkça mıknatıslama akımı ve demir kayıpları ile beraber kayıp gücü büyür. Bu yüzden verimi düşürmemek için transformatörün çalışma noktasında doymanın fazla olmaması gerekir.

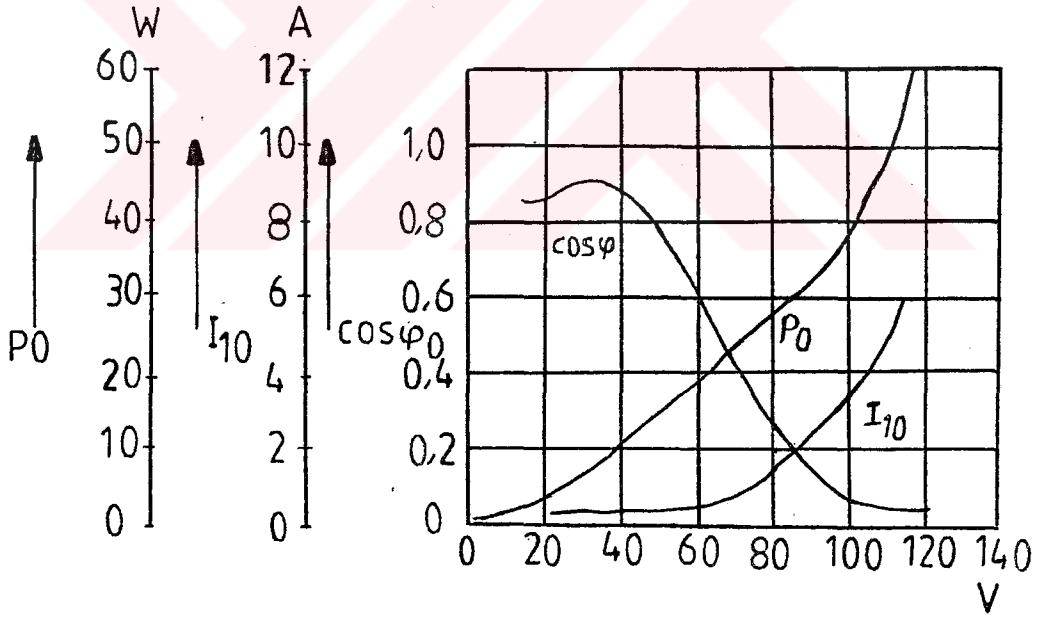
Boşta kayıp gücü karakteristiği, boşta kayıp gücünü, boşta gerilime göre değişim eğrisidir. Boştaki kayıplar yaklaşık olarak gerilimin karesi ile değiştiğinden bu eğri başlangıçtan geçen bir paraboldür.

$$P_0 = R_{1Fe} \cdot I_{1Fe}^2 = U_{10}^2 / R_{1Fe} \quad (5-17)$$

Boştaki kayıpların gerilimin karesi ile değiştiği bilindiğine göre, herhangi bir gerilimdeki kayıp gücü bilindiği zaman, bilinen başka bir gerilimde aynı frekansta ve dalga şeklindeki boşa kayıp gücü bulunabilir.

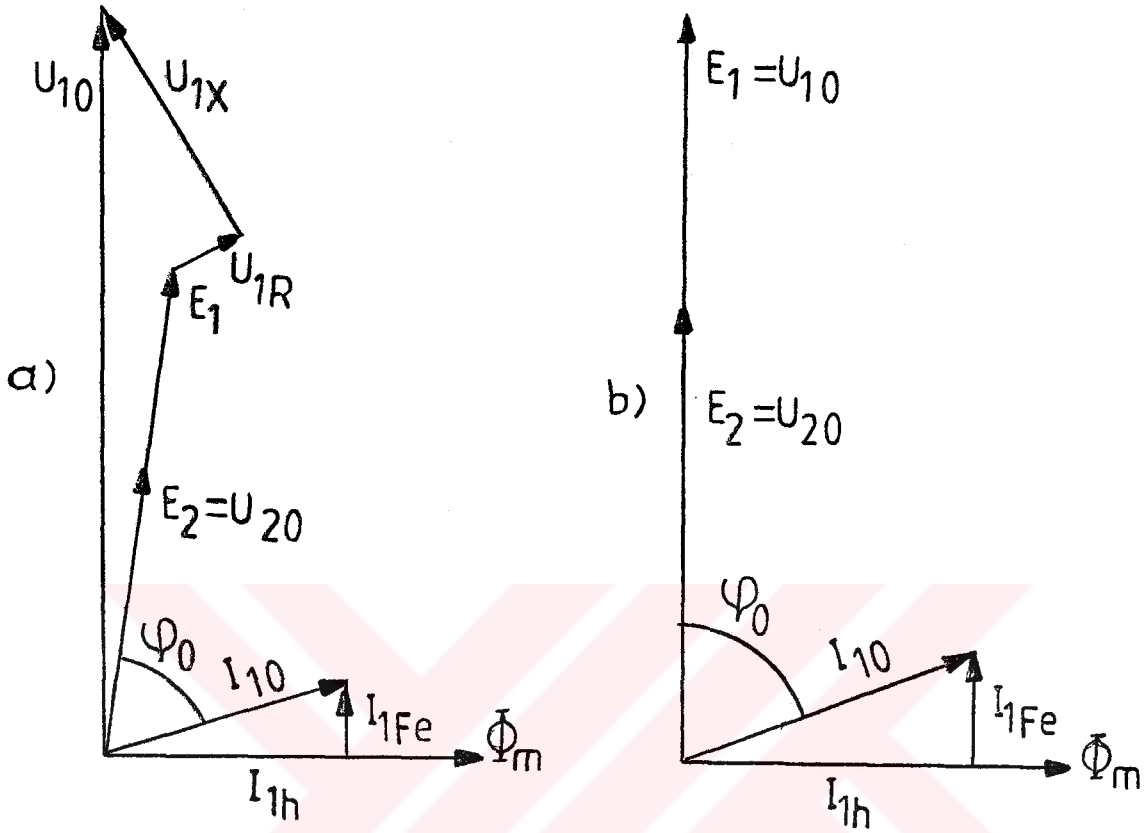
$$P_{0X} = P_0 \cdot \frac{U_{1X}^2}{U_{10}^2} \quad (5-18)$$

Boşa güç katsayısı karakteristiği, boşa güç katsayısının boşa gerilime göre değişim eğrisidir. Gerilim arttıkça başlangıçta güç katsayısı da artar ve belirli bir noktadan sonra giderek azalır. Anma geriliminde büyük güç transformatörlerin de boşa güç katsayısı değeri 0,2 dolayındadır./1/4/.



$$I_0 = f(U_{10}) \quad P_0 = f(U_{10}) \quad \cos \varphi_0 = f(U_{10}) \rightarrow U_{10}$$

Şekil 5.3 Sabit frekansta boşa karakteristikler



Şekil 5.4 Boşta çalışma diyagramı
a.Boşta gerilim düşümü ihmal edilmediğinde
b.Boşta gerilim düşümü ihmal edildiğinde

6. TRANSFORMATÖRLERİN KISADEVRE DENEYİ VE DENEYİN YAPILIŞI.

Kısadevre deneyi, transformatör çıkış uçlarının empedansı ihmal edilebilecek bir iletkenle birleştirildiği ve giriş sargısının beslendiği durumdur.

Kısadevre deneyindeki amaç transformatörlerde aşağıdaki sonuçların ölçme yoluyla bulunmasıdır.

- 1- Verim ve ısınma hesaplarında kullanılan kısadevre kayıp gücü P_k veya bakır kayıp gücü V_{cu} ,
- 2- Kısadevre güç katsayısı $\cos \phi_k$,
- 3- Eşdeğer devredeki kısadevre elemanları Z_k, R_k, X_k ,
- 4- Anma iç gerilim düşümleri, U_{KN}, U_{RN}, U_{XN} ve bağlı değerleri u_{KN}, u_{RN}, u_{XN} ,
- 5- Anma çevirme oranı $\frac{U}{U_N}$,
- 6- Kısadevre karakteristikleri, Kısadevre deneyinde elde edilen bu büyüklüklerin, istenilen değerlerle arasındaki uygunluk kontrol edilir.

Bu deneyi gerçekleştirmek için transformatörün çıkış sargısı kalın bir iletkenle yada ampermetre veya bir akım transformatörü ile kısadevre edilir. Kısadevrenin mümkün olduğu kadar dirençsiz yapılması gerekir. Çünkü oluşacak direnç, kısadevre empedansını etkileyecektir. Giriş sargı-

şı ise anma frekansında düşük bir gerilimle beslenir. Gerilim yavaş yavaş arttırılarak çeşitli değerler alınır. Bu durumda ampermetreden kısadevre akımı I_K , voltmetreden kısadevre gerilimi U_K , watmetreden ise kısadevre gücü P_K okunur.

Ölçme hatalarını azaltmak için ölçü aletleri aynı anda okunmalıdır. Ayrıca kısadevre sargı sıcaklığı mutlaka ölçülmelidir. Ayarlanabilen kısadevre gerilimi, kısadevre edilen taraftan anma akımı geçecek oranda arttırılır. Bu değer transformatör anma geriliminin yaklaşık % 3 ilâ % 15 ini oluşturur. Bu değer in üzerine çıkıldığında tehlikeli durumlar oluşabilir.

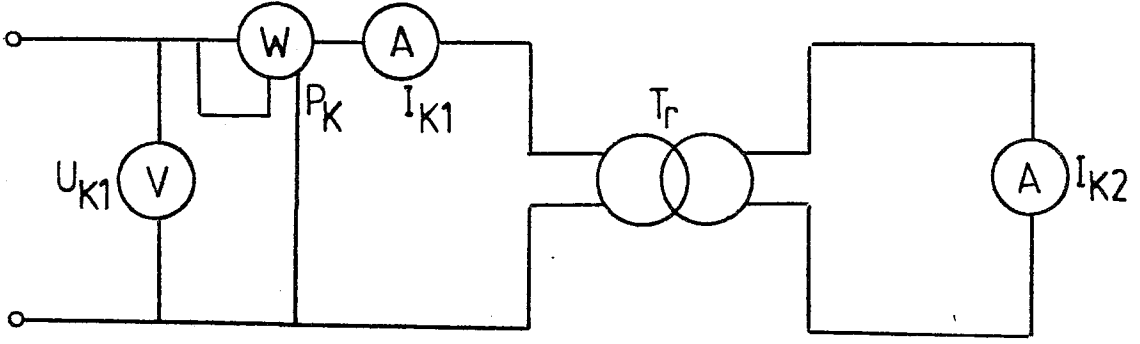
Çevirme oranının bulunması veya boşa bulunan değer in kontrol edilmesi gerekiyorsa, bu durumda kısadevre tarafına ampermetre bağlanmamalıdır. Çünkü bağlanacak ampermetrenin iç direnci kısadevre empedansında hata oluşturur. Kısadevre iletkeninin seçiminde ve bağlantısında da titizlik gösterilmelidir.

Besleme gerilimini ayarlamak için ayarlı bir transformatör, endüksiyon regülatörü, ayarı senkron genaratör veya küçük güçlerde öndirençlerden yararlanabilir. Yüksek akım transformatörlerinde kısadevre iletkeninden yüksek akım geçeceğinden dolayı, kısadevre gücünde düzeltme yapılmalıdır. Bunun için kısadevre iletkenindeki kayıplar hesaplanır/l/.

$$V'_{cu} = V \cdot S^2 = (m/d) \cdot S^2 \quad (6-1)$$

$$V_{cu} = P_k - V'_{cu} \quad (6-2)$$

- V : Kısadevre iletkeninin hacmi,
m : Kısadevre iletkeninin kütlesi,
d : Kısadevre iletkeninin yoğunluğu,
 ρ : Kısadevre iletkeninin özgül direnci,
S : Akım yoğunluğu,



Şekil 6.1 Kısadevre deneyi bağlantı şeması

6.1. Kısadevre Deneyinde Akı Ve Bakır Kayıp Gücü.

Kısadevre deneyinde transformatör faydalı güç vermediğinden, tüm etkin giriş gücü transformatörün demir ve bakır kayıplarında tüketilir. Kısadevre deneyinde boşa çalışmanın aksine etkin gücün büyük bir bölümünü, büyük akımların geçtiği R_1 , R_2 dirençlerinde meydana gelen bakır kayıpları oluşturur. Demir kayıpları gerilimin karesi ile değiştiğinden, kısadevre çalışmadaki gerilimin düşük olması nedeniyle oldukça düşüktür. Ayrıca kısadevre geriliminin çok küçük olması akı ve endüksiyonunda küçük olmasına, dolayısıyla mıknatıslama akımının yaklaşık sıfır olmasına neden olur. Buna göre:

1. Boşa deneyde gerilimler oranı, sarım sayıları oranına tam eşit olduğu halde, kısadevre deneyinde akımlar oranı sarım sayılarının ters oranına hemen hemen tam eşittir.

$$I_0 = 0 \quad N_1 \cdot I_{1k} = N_2 \cdot I_{2k} \quad \frac{I_{1k}}{I_{2k}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{u} \quad (6-3)$$

2. Akı ve endüksiyon çok küçük olduğundan demir kayıpları ihmal edilebilir. Kısadevre deneyi anma akımları ile yapılıyorsa, oluşan demir kayıpları bağlı kısadevre geriliminin karesine orantılıdır.

$$u_{kN} = \frac{U_{kN}}{U_N} \quad P_{OX} = P_0 \cdot \frac{U_{1X}^2}{U_{10}^2} = P_0 \cdot u_{kN}^2 \quad (6-4)$$

Bu durumda kasadevre deneyinde ölçülen kısadevre gücü bakır kayıp gücüne yaklaşık eşittir.

$$P_k = V_{cu} + V_{Fek} \cong V_{cu} \quad V_{cu} = P_k - V_{Fek} \quad (6-5)$$

Gerekirse boшта deneyden elde edilen demir kayıp gücü ile kısadevre deneyindeki demir kayıp gücü hesaplanır ve kısadevre gücündeki gerekli düzeltmeler yapılabilir. Kısa devre deneyinde besleme geriliminin yaklaşık sinüs biçimli olması yeterlidir.

Transformatörde ölçülen bakır kayıp gücü, doğru akımda bulunan bakır kayıp gücünden daima farklıdır. Çünkü sargı iletkenlerinin doğru akım ve P_k gücü, üç kısımdan oluşur.

$$P_k = V_{cu-} + V_{cu\delta} + V_\delta$$

1. Doğru akım dirençlerinin oluşturduğu V_{cu-} bakır kayıp gücü,

$$V_{cu-} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 = (R_1 \cdot R_2) \cdot I_1^2$$

2. Zamanla değişen kaçak akıların sargı iletkenlerinde oluşturduğu girdap akımı kayıp gücü $V_{cu\delta}$,

$$V_{cu\delta} = V_{cu\sim} - V_{cu-} = R_{1\sim} \cdot I_1^2 + R_{2\sim} \cdot I_2^2 - (R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2) \quad (6-6)$$

Deri olayından dolayı sargıların alternatif akım direnci doğru akım direncinden daima büyüktür.

3. zamanla değişen kaçak akıların kazanda, eskiden kulla-

nılan saç tespit parçalarından ve etki alanına giren diğer yakın madensel kısımlarda oluşturduğu girdap akımının ve varsa histerezis kayıp ölçülür (V_G).

Kaçak akıların oluşturduğu V_G ve V_{cuG} gücüne " ek kayıp gücü" denir ve V_Z ile gösterilir.

$$V_Z = P_K - V_{cu-} = P_K - (R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2) \quad (6-7)$$

R_1 ve R_2 dirençlerinin doğru akım değerleri ile bulunan R_K değeri kısıdevre deneyinde elde edilen R_K değerinden daima küçüktür. Bu yüzden R_K değeri kısıdevre deneyi ile ölçülmektedir. V_G kolay ve duyarlı bir şekilde hesaplanamadığından, ek kayıp gücünde ancak kısıdevre deneyi ile bulunabilir/1/.

6.2. Kısıdevre Deneyinde Bulunan Sonuçlar.

Ölçülen kısıdevre kayıp gücünü istenilen değere, belirli toleranslar dahilinde uygun olup olmadığı kontrol edilir. Deneyde yapılan ölçmeler sonucunda bulunabilen büyüklükler şemasıdır.

1. Kısıdevre güç katsayısı,

$$\cos\varphi_k = \frac{P_K}{S_K} = \frac{P_K}{U_K \cdot I_K} \quad (6-8)$$

Kısıdevre güç katsayısı, kısıdevre akımının fazını belirler ve transformatörlerin paralel çalışmasında önemlidir. Değeri büyük güç transformatörlerden çok küçüktür ve 0,02 kadarıdır.

2. "T" ve "L" eşdeğer devrenin seri elemanlarını oluşturan kısıdevre empedansı Z_K , direnci R_K , reaktansı X_K :

$$Z_K = \frac{U_K}{I_K} \quad R_K = \frac{P_K}{I_K^2} \quad X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}$$

Ayrıca direnç ve empedans yardımı ile güç katsayısı, güç katsayısından yararlanarak direnç ve reaktans bulunabilir.

$$R_K = Z_K \cdot \cos \varphi_K \quad \cos \varphi_K = \frac{R_K}{Z_K} \quad X_K = Z_K \cdot \sin \varphi_K$$

Kısadevre güç katsayısının büyük güç transformatörlerinde çok küçük olmasından da anlaşılacağı gibi, bu transformatörlerde kısadevre direnci çok küçüktür ve ihmal edilebilir. Bu durumda $R_K \cong 0$ olduğundan $Z_K \cong X_K$ olur.

3. Anma kısadevre gerilimi ve bileşenleri U_{KN} , U_{RN} ile U_{XN} nin bağlı değerleri u_{KN} , u_{RN} , u_{XN} :

$$U_{RN} = R_K \cdot I_N = U_{KN} \cdot \cos \varphi_K \quad (6-9)$$

$$U_{XN} = X_K \cdot I_K = U_{KN} \cdot \sin \varphi_K = \sqrt{U_{KN}^2 - U_{RN}^2} \quad (6-10)$$

$$u_{KN} = \frac{U_{KN}}{U_N} \quad (6-11)$$

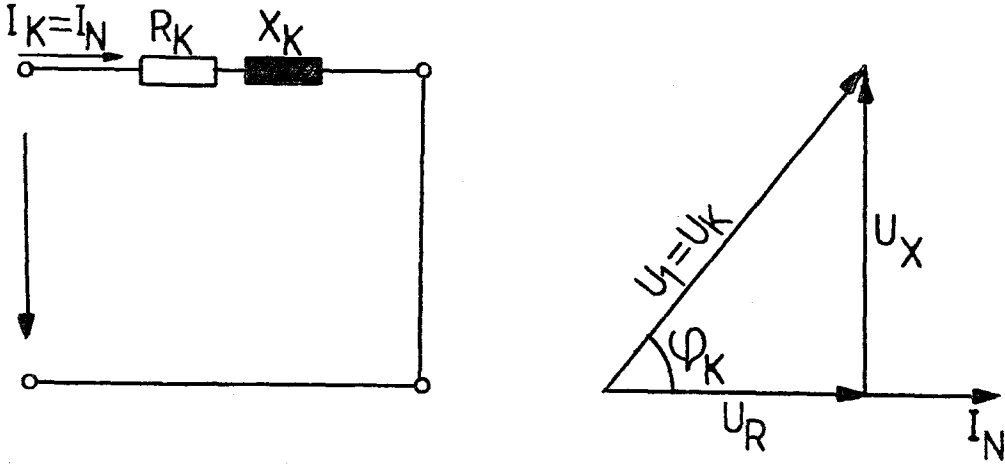
$$u_{RN} = \frac{U_{RN}}{U_N} = \frac{R_K \cdot I_N}{U_N} = \frac{P_{KN}}{S_N} = u_{KN} \cdot \cos \varphi_K \quad (6-12)$$

$$u_{XN} = \frac{U_{XN}}{U_N} = \frac{X_K \cdot I_N}{U_N} = \frac{Q_{KN}}{S_N} = u_{KN} \cdot \sin \varphi_K = \sqrt{u_{KN}^2 - u_{RN}^2} \quad (6-13)$$

4. Anma çevirme oranı u_N :

$$u_N = \frac{I_{2K}}{I_{1K}} \quad (6-14)$$

Kısadevre tarafındaki akımı ölçme zorunluluğu yoktur. Fakat çevirme oranının bulunması veya boшта bulunan değerle karşılaştırılması gerekiyorsa, bu durumda kısadevre tarafının akımı ölçülebilir/1/.



Şekil 6.2 Kısadevre eşdeğer şeması ve vektör diyagramı

6.3. Sabit Frekansta Kısadevre Karakteristikleri.

Kısadevre deneyinde beslenen sargının gerilimi sıfırdan itibaren arttırılır. Bu arada değişik kademelerdeki gerilim, akım ve güç değerleri kaydedilir. Buna göre elde edilen değerlerden transformatörün kısadevre karakteristikleri çizilir. Bu karakteristikler transformatörün özelliklerini tanımada yardımcı olur.

Kısadevre deneyinde sargıların aşırı ısınmasını önlemek için kısadevre akımı en fazla, anma akımının % 10 ila % 50 üstüne çıkarılır. Alınan değerlerden üç karakteristik elde edilir. Bunlar :

1. Kısadevre akım karakteristiği, kısadevre akımının kısadevre gerilimine göre değişim eğrisidir. Bu iki büyüklük arasında bir doğru orantı söz konusudur. Yani kısadevre gerilimi arttıkça kısadevre akımında büyür. Sabit sargı sıcaklığında karakteristik başlangıçtan geçen bir doğrudur. Transformatörün en basit eşdeğer devresine göre, kısadevre akım karakteristiğinin lineer denklemi, $I_K = \frac{U_K}{Z_K}$ olur.

Gerilimin küçük olmasından dolayı doyma oluşmaz ve bu nedenle kısadevre empedansı yaklaşık sabit kalır. Kısadevre akım ve geriliminin doğru orantılı olarak değişmesinden yararlanarak, herhangi bir kısadevre geriliminden elde e-

dilen kısıadevre akımı biliniyorsa, başka herhangi bir kısıadevre geriliminde oluşacak kısıadevre akımı kolayca bulunabilir.

$$I_{KX} = I_K \frac{U_{KX}}{U_K} \quad (6-15)$$

2. Kısıadevre kayıp gücü karakteristiği, kısıadevre kayıp gücünün kısıadevre gerilimi ile değişimi eğrisidir. Kısıadevre kayıp gücü yaklaşık olarak gerilimin karesi ile değiştiğinde bu karakteristik başlangıç noktasından geçen bir paraboldür.

Transformatörün en basit eşdeğer devresine göre kısıadevre kayıp gücü, kısıadevre direncinde tüketilen bir güçtür. Buna göre karakteristiğinin denklemi:

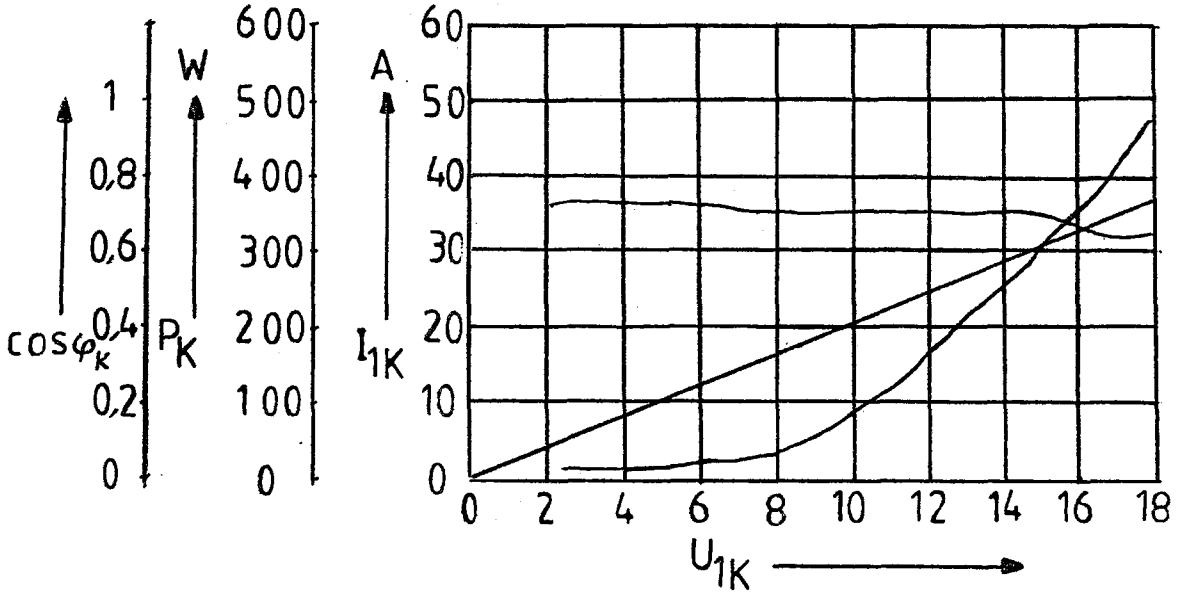
$$I_K = \frac{U_K}{Z_K} \quad P_K = R_K \cdot I_K^2 = \frac{R_K}{Z_K} U_K^2 \quad \text{olur.}$$

Kısıadevre kayıp gücü gerilimin karesiyle değiştiğine göre, herhangi bir kısıadevre kayıp gücü biliniyorsa, başka herhangi bir kısıadevre geriliminde oluşacak kısıadevre kayıp gücü bulunabilir.

$$P_{KX} = P_K \cdot \frac{U_{KX}^2}{U_K^2}$$

3. Kısıadevre güç katsayısı karakteristiği, kısıadevre katsayısının kısıadevre gerilimine göre eğrisidir. Gerilime bağlı olarak değişmediğinden bu karakteristik yaklaşık olarak gerilim eksenine paralel bir doğrudur. Tam doğru olmasının nedeni, kısıadevre empedansının çok azda olsa değişiklik göstermesidir/1/.

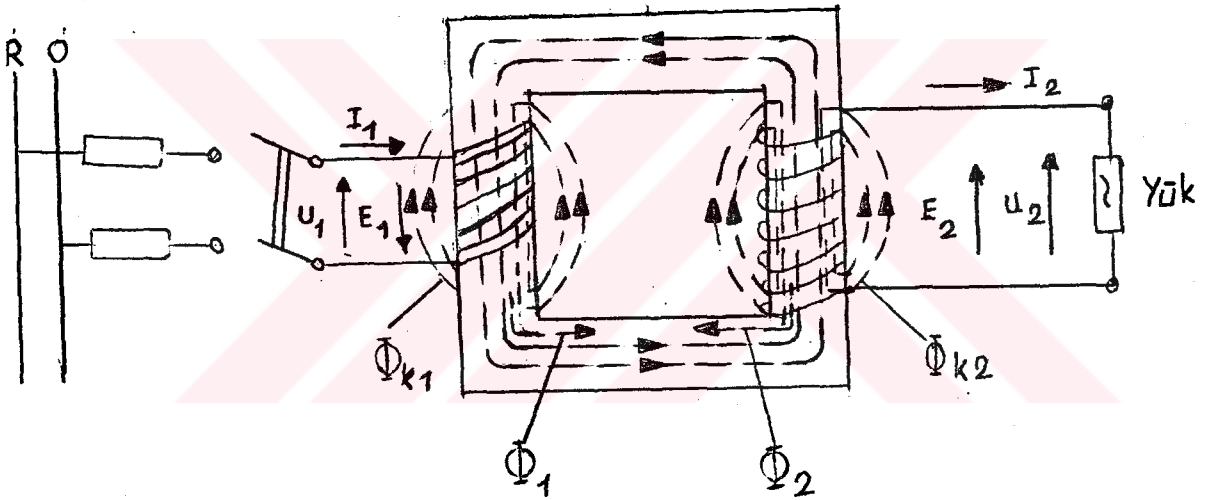
$$\cos \varphi_K = \frac{R_K}{Z_K}$$



Şekil 6.3 Sabit frekansta kısadevre karekt ristikleri

7. TRANSFORMATÖRLERİN YÜKTE ÇALIŞMASI

Yüklü çalışmayı açıklayabilmek için ideal bir transformatör ele alalım.



Şekil 7.1 Transformatörün yüklü çalışma bağlantı şeması

Transformatörün primeri, alternatif bir gerilime bağlandığında bu sargıdan geçen akım bir Φ akısı oluşturur. Φ akısı primer sargılarında; uygulanan gerilime yakın ve ters yönde bir E_1 E.M.K`i endükler. Sekondere bağlanan yük nedeni ile de bu sargılardan bir I_2 akımı dolaşmaya başlar. I_2 akımı sekonder sargılarda kendisini oluşturan Φ akısına ters yönde bir Φ_2 akısı oluşturarak Φ yi zayıflatır. Φ nin zayıflaması, primerde endüklenen E_1 E.M.K`ini de etkileyerek küçülmesine neden olur. Bilindiği gibi E_1 E.M. K`i uygulanan U_1 gerilimine ters yöndedir. Bunun sonucu V_1 ile E_1 arasındaki fark artacağı için birinci devreden daha

fazla akım geçirmeye başlar. Birinci devreden geçen bu fazla akım, ana akı Φ_y ı kuvvetlendirecek yönde, yeni bir Φ_1 akısı oluşturur. Böylece I_2 akımının oluşturduğu Φ_2 akısının ana akıya zıt olan etkisi Φ_1 akısı ile azaltılır. Bunun sonucu toplam magnetik akı olan akısı, I_1 , I_2 akımlarının oluşturacağı alanlar dengelendiğinden, her zaman sabit değerde kalır.

Primer devrede endüklenen E_1 E.M.K`tinin uygulanan U_1 gerilimine ters yönde olmasına karşılık, sekonder devrede endüklenen E_2 E.M.K`ti, sekonder uç gerilimi U_2 ile aynı yöndedir. I_1 ve I_2 akımları ise pratikte birbirinden 180° faz farkı vardır. Primer ve sekonder güç katsayıları ise yaklaşık olarak birbirine eşittir.

Primer ve sekonder devrelerden geçen akımlar, ikinci devreye bağlanan yüke göre değişir. Transformatörün sekonderi yüklendiği zaman, primer akımı boş çalışma değerinde kalmaz. Sekonder akımı arttıkça primer akımı da artar. Bu durumda, kayıplar dikkate alınmadığı zaman 1.ve 2. devre güçlerinin birbirine eşit olması ile de açıklanabilir.

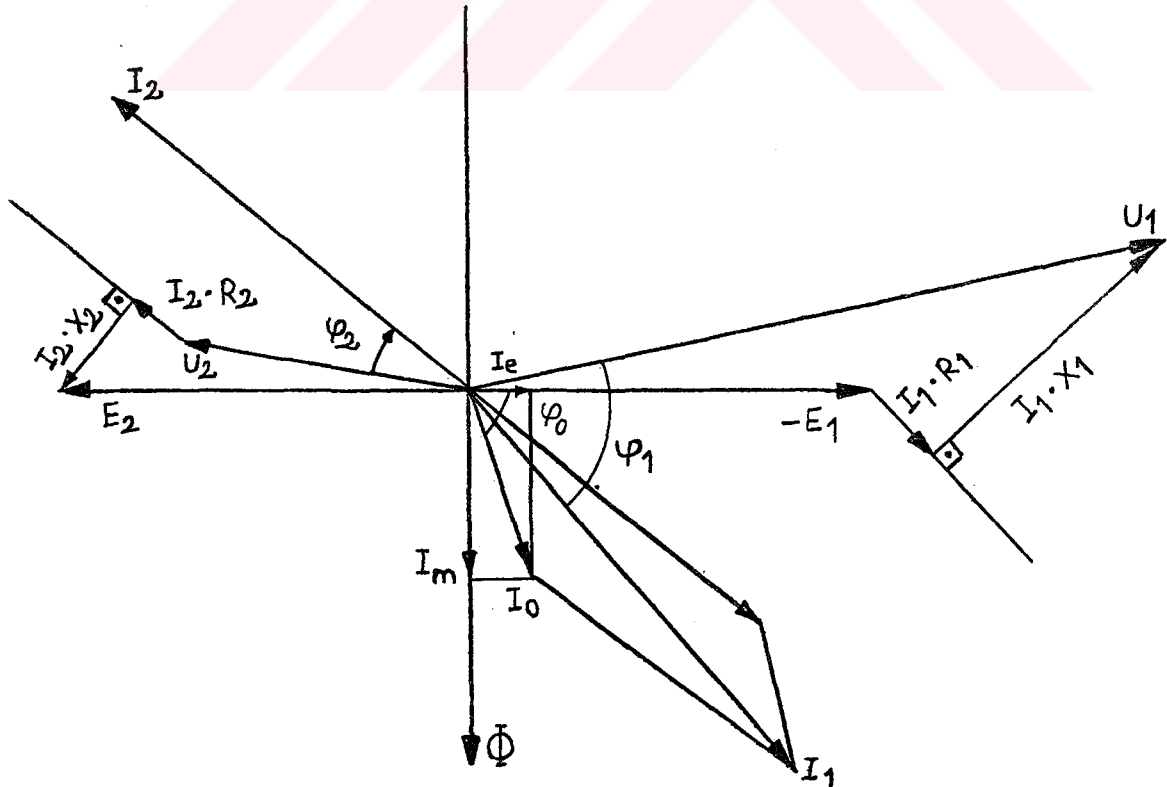
$$U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad (7-1)$$

Ayrıca yukarıda belirttiğimiz akının tamamı ikinci devre iletkenlerini kesmez. Akının küçük bir kısmı devresini havadan tamamlar. Bu akılara transformatörde kaçak akılar denir. Bu akılar nekadar fazla olursa, faydalı akıda o kadar azalma olur. Bunun sonucu ikinci devre sargılarında siper başına endüklenen gerilim, primer sargılarında endüklenen gerilimden küçük olur. Böylece sekonder sargılarda endüklenen gerilim azalır /2/.

Sekondere bir yük bağlanacak olursa, bu sargılardan geçen akımın oluşturduğu magnetik akıda kaçaklara neden olur. Primer ve sekonderdeki kaçak akılar, sargılardan geçen akımlarla orantılı olarak değişir. Birinci devre kaçak akıları yalnız birinci devreyi, ikinci devre kaçak akıla-

ları da yalnız ikinci devreyi etkiler. Bu akılar magnetik devre dışında magnetik direnci çok büyük olan uzun bir yoldan devrelerini tamamladıklarından, etkileri küçüktür. Birinci devre kaçak akıları transformatörün hem boş hemde yüklü çalışma durumlarında, ikinci devre kaçak akıları ise, yalnız yüklü çalışma durumunda oluşurlar.

Primer ve sekonder sargılardan geçen akımların oluşturdukları kaçak akılar, faydalı akıyı azalttıklarından primer ve sekonder de iç gerilim düşümüne neden olmaktadır. Kaçak akı reaktansları primer ve sekonder sargılarda endüktif gerilim düşümlerine neden olur. Bu gerilim düşümleri primer için $I_1 \cdot X_1$, sekonder içinde $I_2 \cdot X_2$ şeklinde bulunur. Ayrıca sargıların omik dirençlerinden dolayı da iç gerilim düşümleri oluşur. Sargıların uzunluk ve öz dirençleri ile ilgili olan dirençler, bu sargılardan geçen akımlar primerde $I_1 \cdot R_1$, sekonderde $I_2 \cdot R_2$ kadar bir iç gerilim düşümü oluşturmaktadır. Omik gerilim düşümleri kendilerini oluşturan akımlarla aynı fazdadırlar/3/.



Şekil 7.2 Endüktif yüklü bir transformatörün vektör diyagramı

7.1. Aşırı Yük Karşısında Alınan Önlemler,

Elektrik santrallerinde, transformatör merkezlerinde ve postalarında genel olarak, birden fazla transformatör bulundurulur. Bunun en büyük nedeni günün çeşitli saatlerinde yükün değişmesidir. Bu transformatörlerin besledikleri yüklerde bir artma olursa paralel bağlama yoluna gidilir. Aksi takdirde yükün azalması oranında transformatörlerden bir veya birkaçı devreden çıkartılır. Böylece en verimli çalışma sağlanır. İkinci yararı, işletmedeki transformatörlerden her hangi biri arıza yapar veya bakım gerektirirse yedekteki transformatörler beslemenin sürekliliğini sağlarlar. Böylece transformatör arızalanması veya bakım sırasında enerji kesintisi büyük ölçüde azalmış olur/3/.

Transformatörlerin fazla yüklenmemesi için, iki yol vardır.

- a- Bunlardan biri şebeke yükünü azaltarak, ortalama kısa devre geriliminin (U_K), en küçük kısadevre gerilimine eşit yapılmasıdır. Bunun sonucunda toplam devre yükünün karşılanması için daha başka transformatörler gerekir.
- b- İkinci yol ise, transformatörler şok bobinleri (drossel) bağlayarak, kısadevre gerilimlerini, paralel çalışan transformatörlerin, kısadevre gerilimi büyük olanına eşit yapmaktır. Ancak paralel bağlanacak transformatörlerin seçiminde gücü büyük olanın kısadevre geriliminin küçük, gücü küçük olanın da kısadevre geriliminin büyük olması amaca uygun olur/2/.

7.2. Paralel Bağlama Koşulları.

Paralel çalışacak transformatörlerin artan veya azalan yük durumuna göre uygun şekilde yüklenebilmektedir. Bu durum paralel bağlanacak transformatörlerde bazı koşullar gerektirmektedir. İstenen bir paralel çalışmayı sağlayabilmek için paralel çalışan transformatörlerin yüksüz durumundan sekonder sargılarından hiç akım geçmemelidir. Yoksa transformatör gereksiz yere yüklenir ve sargılar ısınarak güç

kayıpları oluşturur. Yüklü çalışma durumunda ise transformatörlerin anma güçleri ile orantılı olarak yüklenmeleri gerekir. Paralel çalışan transformatörlerden biri veya bir kaçının diğerlerinden daha fazla yüklenilmemesi sağlanmalıdır. İyi bir paralel çalışma durumunun gerçekleştirilebilmesi için, yükte çalışan transformatörlerin yük akımlarının faz açılarında eşit olmalıdır. Bu durum sağlanmazsa, paralel çalışan transformatörlerin yük akımlarının cebirsel toplamı, toplam yük akımından büyük olur. Bunun sonucu, paralel çalışan transformatörler tam güçleri ile yüklenmezler. Paralel çalışan transformatörlerde kutuplaşmaların da aynı olması, sirkülasyon akımlarının önlenmesi bakımından çok önemlidir. Paralel bağlanacak transformatörlerin primer ve sekonder gerilimleri boşa birbirine eşit olmalıdır. Başka bir deyişle transformatörlerin dönüştürme oranları birbirine eşit olmalıdır/6/.

Transformatörlerin primer ve sekonder gerilimlerinin eşitliği, paralel bağlama işlemini yapmadan önce kontrol edilmelidir. Bunun için transformatörler boşa çalıştırılarak primer ve sekonder gerilimleri ölçülmelidir. Kısadevre gerilimleri arasında %10 dan daha az fark bulunduğu %5e kadar gerilim farkına izin verilebilir.

Paralel bağlanacak transformatörlerin anma yükündeki kısadevre gerilimleri birbirine eşit veya çok yakın olmalıdır. %10 dan fazlasına izin verilmez.

Kısadevre gerilimlerinin eşit olması, paralel çalışan transformatörler arasında, yükün transformatörlerin güçleri oranında dağılmasını sağlar.

Paralel çalışan transformatörlerin üzerlerine aldıkları yük, kısadevre gerilimleri ile ters orantılıdır. Buna göre kısadevre gerilimi küçük olan transformatör daha fazla yüklenir/2/.

Eğer transformatörlerin kısadevre faz farkı (açısı)

$$\alpha = \arccos \frac{U_R}{U_K} \quad (7-2)$$

Birbirine eşit olursa, transformatörlerin yük akımlarının faz farkı, birbirine eşit olacaktır. α açısının transformatörlerde eşit olması için, paralel bağlanacak transformatörlerde omik gerilim düşümü U_R nin, endüktif gerilim düşümü U_X se eşit olması gerekmektedir.

Paralel bağlamada aynı gruptan transformatör kullanılırsa aynı isimdeki fazlar, aynı bara üzerine bağlanmalıdır. Aşağıdaki cetvel çeşitli grupların bağlantılarını göstermektedir/3/.

Bağlantı grubu	Voltaj vektörü		Bağlantı Şeması		Dönüştürme oranı	Bağlantı grubu
	Yüksek gerilim	Açık gerilim	Y.G	A.G		
0d0					$\frac{U}{u} = \frac{n_1}{n_2}$	A 1
					$\frac{U}{u} = \frac{n_1}{n_2}$	A 2
					$\frac{U}{u} = \frac{2n_1}{\sqrt{3}n_2}$	A 3
Dy5					$\frac{U}{u} = \frac{n_1}{\sqrt{3}n_2}$	C 1
					$\frac{U}{u} = \frac{\sqrt{3}n_1}{n_2}$	C 2
					$\frac{U}{u} = \frac{2n_1}{\sqrt{3}n_2}$	C 3
6d6					$\frac{U}{u} = \frac{n_1}{n_2}$	B 1
					$\frac{U}{u} = \frac{n_1}{n_2}$	B 2
					$\frac{U}{u} = \frac{2n_1}{\sqrt{3}n_2}$	B 3
Dy11					$\frac{U}{u} = \frac{n_1}{\sqrt{3}n_2}$	D 1
					$\frac{U}{u} = \frac{\sqrt{3}n_1}{n_2}$	D 2
					$\frac{U}{u} = \frac{2n_1}{\sqrt{3}n_2}$	D 3

Cetvel 7.3

Umumi şebekeler genellikle bu transformatörlerden kul-

lanılmalıdır. Özellikle A_2 , C_1 , C_2 , C_3 grubu transformatörlerden başka C ve D grubu transformatörleri, cetvel (7.4) de görüldüğü gibi faz bağlantılarını dikkate alarak paralel bağlanmalıdır/6/.

r	s	t	R	S	T	Bara
sekonder			primer			
U	V	W	U	V	W	C grubu Trafo
W	V	U	U	W	V	D grubu Trafo
V	U	W	W	V	U	
U	W	V	V	U	W	

Cetvel 7.4 D,C grubu transformatörlerin uçlarının bağlantılarını göstermektedir.

Paralel bağlanacak transformatörlerin güçleri birbirine eşit veya güçleri oranı $1/3$ ten küçük olmalıdır. Bu oranın daha küçük olmasına izin verilmez. Buna göre birinin gücü diğerine göre en çok üç kat büyük veya küçük olabilir. Güç farkı üç katından daha fazla ise paralel çalışmaya izin verilmez.

Paralel bağlantıyı gerçekleştirmek için, transformatörlerin sekonder sargılarının aynı polaritedeki uçları birbirine bağlanmalıdır/2/.

Paralel çalışmada, transformatörlerin eşdeğer dirençlerinin, eşdeğer reaktanslarına oranının eşit olması, primerde çalışma akımlarının oluşturduğu gerilim düşümlerinin de aynı fazda bulunması gibi faktörler, ideal bir çalışmayı etkiler/6/.

7.3. Anma Güçleri Eşit Olmayan Paralel Bağlı Transformatörlerin Yük Dağılımı.

Eğer paralel bağlı transformatörlerin kısadevre gerilimleri eşit ve anma güçleri farklı ise, toplam bara yükü anma güçüne uygun olarak bölünecektir.

Örneğin: Güçleri S_1 , S_2 , S_3 olan güç transformatörleri paralel çalışmaktadır. S_y toplam bara yükünü karşılamaktadır. Bu durumda toplam güç,

$$S_t = S_1 + S_2 + S_3 \quad \text{KVA} \quad (7.3)$$

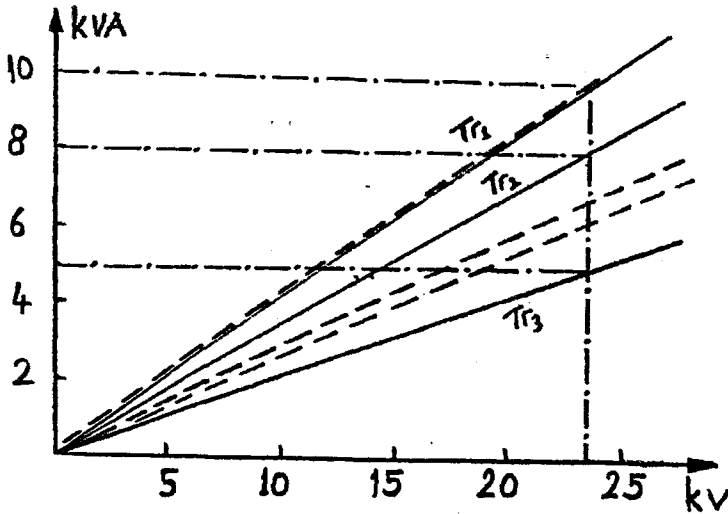
$$S_{yt} = S_{y1} + S_{y2} + S_{y3} \quad \text{Toplam yük} \quad (7.4)$$

$$S_{y1} = \frac{S_{yt}}{S_t} \cdot S_1 \quad \text{1. Trafo. yükü} \quad (7.5)$$

$$S_{y2} = \frac{S_{yt}}{S_t} \cdot S_2 \quad \text{2. Trafo. yükü} \quad (7.6)$$

$$S_{y3} = \frac{S_{yt}}{S_t} \cdot S_3 \quad \text{3. Trafo. yükü} \quad (7.7)$$

olacaktır.



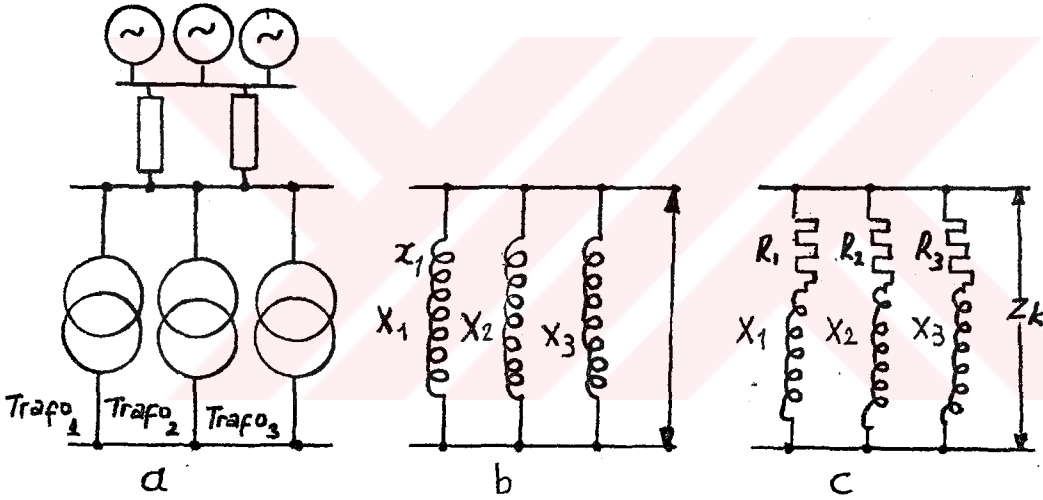
Şekil 7.5 Güçleri $S_1 = 5000$ KVA, $S_2 = 8000$ KVA $S_3 = 10000$ KVA olan transformatörlerin yük dağılımı göstermektedir.

Şekil 7.5 de görüldüğü gibi anma gücü büyük olan transformatör yükün büyük bir kısmını beslemektedir/6/.

7.4. Kısadevre Gerilimleri Eşit Olmayan Paralel Bağlı Transformatörlerin Yük Dağılımı.

Eğer paralel bağlı transformatörlerde anma güçleri eşit, kısadevre gerilimleri farklı ise, toplam bara yükü kısadevre geriliminin tersi oranında bölünecektir.

Örnek: Kısadevre gerilimleri U_{K1} , U_{K2} , U_{K3} olan transformatörler, ortak bara üzerinde paralel çalışmaktadır.



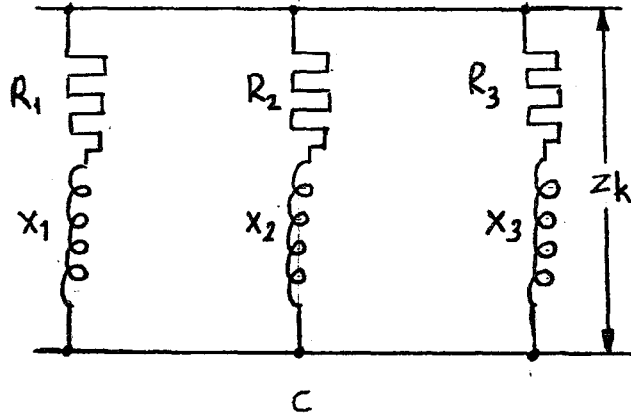
Şekil 7.6 Üç transformatörün, a) bara üzerinde bağlantısını, b) omik dirençleri ihmal edildiğinde, c) omik dirençleri ele alındığında, bağlantı şemasını göstermektedir.

Her Üç transformatörün kısadevre gerilimini şu şekilde yazabiliriz. Transformatörlerin omik direncini ihmal ediyoruz.

$$\frac{1}{X_t} = \frac{1}{X_1} = \frac{1}{X_2} = \frac{1}{X_3} \quad (7-8)$$

$$X = \frac{U_K \cdot U_N^2 \cdot 10}{S_N} \quad \text{ohm}$$

Transformatörlerin omik dirençlerini ele alırsak.



Şekil 7.6.c

Transformatörlerin kısadevre faz açılarının (α) eşit veya transformatörlerin kısadevre empedansları aynı yönde olmak şartı ile, kısadevre gerilimini aşağıdaki şekilde yazabiliriz/6/.

$$\frac{1}{Z_K} = \frac{1}{Z_{K1}} + \frac{1}{Z_{K2}} + \frac{1}{Z_{K3}}$$
$$Z_K = \frac{U_K \cdot U_N^2 \cdot 10}{\sum S_N} \quad \text{ohm}$$

Toplam güç eşittir,

$$\sum S_N = S_{N1} \cdot \frac{U_K}{U_{K1}} + S_{N2} \cdot \frac{U_K}{U_{K2}} + S_{N3} \cdot \frac{U_K}{U_{K3}} \quad (7.9)$$

Transformatörlerin güçleri eşit ise

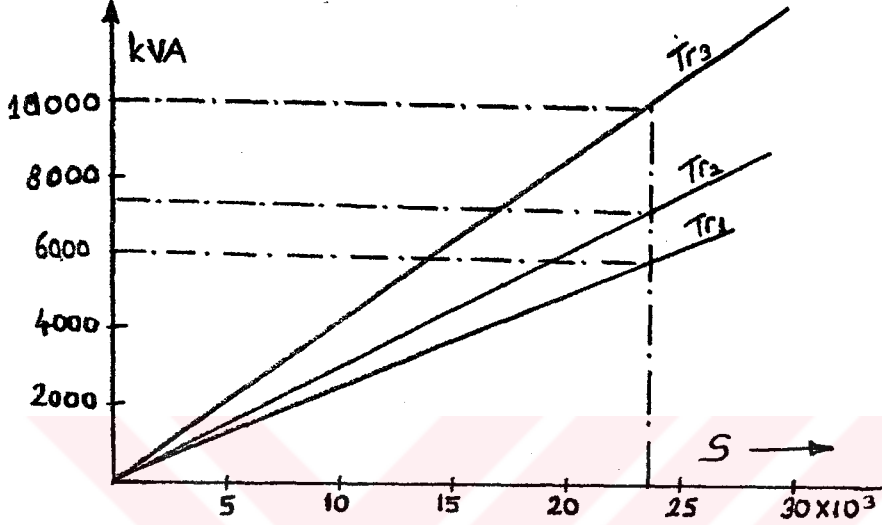
$$S_{Yt} = \frac{\sum S_N}{3} \cdot \frac{U_K}{U_{K1}} + \frac{\sum S_N}{3} \cdot \frac{U_K}{U_{K2}} + \frac{\sum S_N}{3} \cdot \frac{U_K}{U_{K3}} \quad (7.10)$$

Sonuçta her transformatörün üzerine düşen yük

$$S_{Y1} = \frac{\sum S_N}{3} \cdot \frac{U_K}{U_{K1}} \quad \text{1. Trafo. Yüğü} \quad (7.11)$$

$$S_{Y2} = \frac{\sum S_N}{3} \cdot \frac{U_K}{U_{K2}} \quad \text{2. Trafo. Yüğü} \quad (7.12)$$

$$S_{Y3} = \frac{S_N}{3} \cdot \frac{U_K}{U_{K3}} \quad \text{3. Trafo. Yüğü} \quad (7.13)$$



Şekil 7.8 Güçleri 1000 KVA, kısadevre gerilimleri 8, 10, 6, KV olan paralel bağılı üç transformatörün yükdağılımını göstermektedir.

7.5. Anma Güçleri Ve Kısadevre Gerilimleri Eşit Olmayan Paralel Bağılı Transformatörlerin Yük Dağılımı.

Bir önceki bölümde görüldüğü gibi transformatörün toplam anma gücü eşittir.

$$\sum S_N = S_{N1} + S_{N2} + S_{N3} = S_{N1} \cdot \frac{U_K}{U_{K1}} + S_{N1} \cdot \frac{U_K}{U_{K2}} + S_{N3} \cdot \frac{U_K}{U_{K3}}$$

sonuçta her transformatörün yüğü, toplam P yüküne nazaran,

$$S_{Y1} = \frac{S_{yt}}{\sum S_N} \cdot S_{N1} \cdot \frac{U_K}{U_{K1}} \quad \text{1. Trafo. Yüğü} \quad (7.14)$$

$$S_{Y2} = \frac{S_{yt}}{\sum S_N} \cdot S_{N2} \cdot \frac{U_K}{U_{K2}} \quad \text{2. Trafo. Yüğü} \quad (7.15)$$

$$S_{Y3} = \frac{S_{yt}}{\sum S_N} \cdot S_{N3} \cdot \frac{U_K}{U_{K3}} \quad \text{3. Trafo. Yüğü} \quad (7.16)$$

Transformatörlerin kısıadevre gerilimlerinde başka anma güçleride yük dağılımında etkilidirler. bu durumda yalnız hesap yolu ile hangi trafonun fazla ve hangisinin az yüklenmesini bulabiliriz.

Örnek 1: $S_{N1} = 10000$ KVA	$U_{K1} = \% 8$	Trafo. 1
$S_{N2} = 8000$ KVA	$U_{K2} = \% 10$	Trafo. 2
$S_{N3} = 5000$ KVA	$U_{K3} = \% 6$	Trafo. 3
<hr/> $S_N = 23000$ KVA	<hr/> $U_K = \% 8$	

Üç transformatör yukarıdaki özelliklerde paralel çalışmaktadır. Toplam yük 20000 KVA olmak üzere, her trafonun üzerine düşen yükü hesaplayınız.

Toplam kısıadevre gerilimi,

$$U_K = \frac{10000 + 8000 + 5000}{\frac{10000}{8} + \frac{8000}{10} + \frac{5000}{6}} = \% 8'e$$

eşit olur.

Toplam yük, transformatörlerin üzerinde aşağıdaki gibi bölünecektir.

$$1. \text{ Trafo : } S_{Y1} = 20 \cdot \frac{10}{23} \cdot \frac{8}{8} \cdot 1000 = 8700 \text{ KVA}$$

$$2. \text{ Trafo: } S_{Y2} = 20 \cdot \frac{8}{23} \cdot \frac{8}{10} \cdot 1000 = 5580 \text{ KVA}$$

$$3. \text{ Trafo: } S_{Y3} = 20 \cdot \frac{5}{23} \cdot \frac{8}{6} \cdot 1000 = 5720 \text{ KVA}$$

$S = 2000 \text{ KVA}$

Sonuçta iki transformatörün kendi anma güçlerine ulaşmadan, üçüncü transformatör biraz daha fazla yüklenmiştir. Şekil (7.5)de bu durum kesik çizgilerle görülmektedir.

Aşağıdaki örnekte, daha önce gördüğümüz metodlarla fazla yüklenmeyi önleyip, paralel bağlı transformatörlerde yük dağılımını eşitlendirmeyi görelim/6/.

Örnek 2:	$S_1 = 75 \text{ KVA}$	$U_{K1} = \% 3,5$
	$S_2 = 125 \text{ "}$	$U_{K2} = \% 4$
	$S_3 = 200 \text{ "}$	$U_{K3} = \% 4,5$

olan üç transformatör paralel bağlanmıştır. Transformatörlerin yüklerini bulunuz.

Paralel bağlı transformatörlerde genel eşitlik aşağıdaki formülde verilmiştir.

$$\frac{S}{U_K} = \frac{S_1}{U_{K1}} + \frac{S_2}{U_{K2}} + \frac{S_3}{U_{K3}} + \dots + \frac{S_n}{U_{kn}} \quad (7.17)$$

$$S_t = S_1 + S_2 + S_3 \quad S_t = 75 + 125 + 200 = 400 \text{ KVA}$$

$$\frac{400}{U_K} = \frac{75}{3,5} + \frac{125}{4} + \frac{200}{4,5} = 21,43 + 31,25 + 44,44$$

$$U_K = \frac{400}{97,12} = \% 4,12$$

$$S_{y1} = \frac{U_K}{U_{K1}} \cdot S_1 = \frac{4,12}{3,5} \cdot 75 = 88,25 \quad \text{KVA}$$

$$S_{y2} = \frac{U_K}{U_{K2}} \cdot S_2 = \frac{4,12}{4} \cdot 125 = 128,75 \quad \text{KVA}$$

$$S_{y3} = \frac{U_K}{U_{K3}} \cdot S_3 = \frac{4,12}{4,5} \cdot 200 = 183 \quad \text{KVA}$$

$$\sum S_y = S_{y1} + S_{y2} + S_{y3} = 88,25 + 128,75 + 183 = 400 \quad \text{KVA}$$

Görüldüğü gibi 1.ve 2. transformatörler anma güçlerinin üzerinde yüklenmişlerdir. Bu transformatörleri aşırı yükten kurtarmak için ortalama kısadevre geriliminin, paralel çalışan transformatörlerden, kısadevre gerilimi en küçük olanına eşit yapmak gerekir. Buna göre transformatörlerde kısadevre gerilimi en küçük olan 1.nolu transformatörün kısadevre gerilimi ($U_{K1} = \% 3,5$) alınır. Böylece ortalama kısadevre gerilimi $U_K = \% 3,5$ kadar olmalıdır. Bu durumda transformatörlerin yükleri,

$$1. \text{ Trafo yükü, } S_{Y1} = \frac{U_K}{U_{K1}} \cdot S_1 = \frac{3,5}{3,5} \cdot 75 = 75 \text{ KVA}$$

$$2. \text{ Trafo yükü, } S_{Y2} = \frac{U_K}{U_{K2}} \cdot S_2 = \frac{3,5}{4} \cdot 125 = 109,2 \text{ KVA}$$

$$3. \text{ Trafo yükü, } S_{Y3} = \frac{U_K}{U_{K3}} \cdot S_3 = \frac{3,5}{4,5} \cdot 200 = 155,5 \text{ KVA}$$

$S_Y = 75 + 109,2 + 155,5 = 340 \text{ KVA}$ olur. Buna göre 400 KVA'lık yük için 60 KVA'lık yeni bir transformatör daha gerekir. Ayrıca 1. ve 2. transformatörlere endüktans bobinleri bağlayarak kısadevre gerilimlerinin hepsi $\% 4,5$ 'ğe çıkarılır. Böylece transformatörler aşırı yüklenme durumundan kurtarılabilir. Bu durumda transformatörlerin yükleri,

$$1. \text{ Trafo yükü, } S_{Y1} = \frac{3,5}{4,5} \cdot 75 = 58,33 \text{ KVA}$$

$$2. \text{ Trafo yükü, } S_{Y2} = \frac{4}{4,5} \cdot 125 = 111,11 \text{ KVA}$$

$$3. \text{ Trafo yükü } S_{Y3} = \frac{4,5}{4,5} \cdot 200 = 200 \text{ KVA}$$

$S_Y = 58,33 + 111,11 + 200 = 369,44 \text{ KVA}$ dir. Böylece kısadevre gerilimi $\% 4,5$ olan 30,56 KVA'lık bir transformatör daha gerekir ($400 - 369,44 = 30,56 \text{ KVA}$)/3/.

Sonuç:

Görüldüğü gibi, paralel bağlı transformatörlerin yük dağılımı üç faktöre bağlıdır.

1. Transformatörlerin toplam yükü (S_Y).
2. Paralel bağlı transformatörlerin her birinin anma gücü, transformatörlerin toplam anma gücüne olan oranına,
3. Transformatörlerin kısıadevre gerilimi herhangi bir transformatörün kısıadevre geriliminin ters oranına bağlıdır (U_K/ U_{K1}). Eğer kısıadevre gerilimleri eşitse, üçüncü faktörümüz 1'e eşittir. Şayet transformatörlerin anma güçleri eşit olursa, ikinci faktör $1/n$ ye eşit olacaktır. ($n = \text{paralel bağlı transformatör sayısı}$)/6/.

Anma Güç(S_N)	Farklı	Eşit	Farklı
Kısıadevre Gerilim (U_K)	Eşit	Farklı	Farklı
Trafo 1: $S_{Y1} =$	$S_{Yt} = \frac{S_{N1}}{S_{Nt}}$	$\frac{S_{Yt} U_{kt}}{n U_{k1}}$	$S_{Yt} \cdot \frac{S_{N1}}{S_{Nt}} \cdot \frac{U_{kt}}{U_{k1}}$
Trafo 2: $S_{Y2} =$	$S_{Yt} = \frac{S_{N2}}{S_{Nt}}$	$\frac{S_{Yt} U_{kt}}{n U_{k2}}$	$S_{Yt} \cdot \frac{S_{N2}}{S_{Nt}} \cdot \frac{U_{kt}}{U_{k2}}$
Trafo 3: $S_{Y3} =$	$S_{Yt} = \frac{S_{N3}}{S_{Nt}}$	$\frac{S_{Yt} U_{kt}}{n U_{k3}}$	$S_{Yt} \cdot \frac{S_{N3}}{S_{Nt}} \cdot \frac{U_{kt}}{U_{k3}}$

Cetvel 7.9 transformatörlerin dönüştürme oranlarına göre yük dağılımını göstermektedir.

Cetvel 7.9 da, $S_N = S_{N1} + S_{N2} + S_{N3} + \dots$ KVA anma güç
 $S_Y = S_{Y1} + S_{Y2} + S_{Y3} + \dots$ KVA yük
 U_K = Transformatörlerin toplam kısadevre gerilimi.

$$U_K = \frac{S_N}{\frac{S_{Y1}}{U_{K1}} + \frac{S_{Y2}}{U_{K2}} + \frac{S_{Y3}}{U_{K3}}} \quad (7.18)$$

Yukarıdaki faktörlerin dışında, paralel bağlı transformatörlerin yük dağılımını hesaplariken, enerji nakil hatlarının empedansını ve kısadevre self reaktanslarını da dikkate almak gerekir/3/.

8. TRANSFORMATORLERDE GEÇİCİ REJİMLER

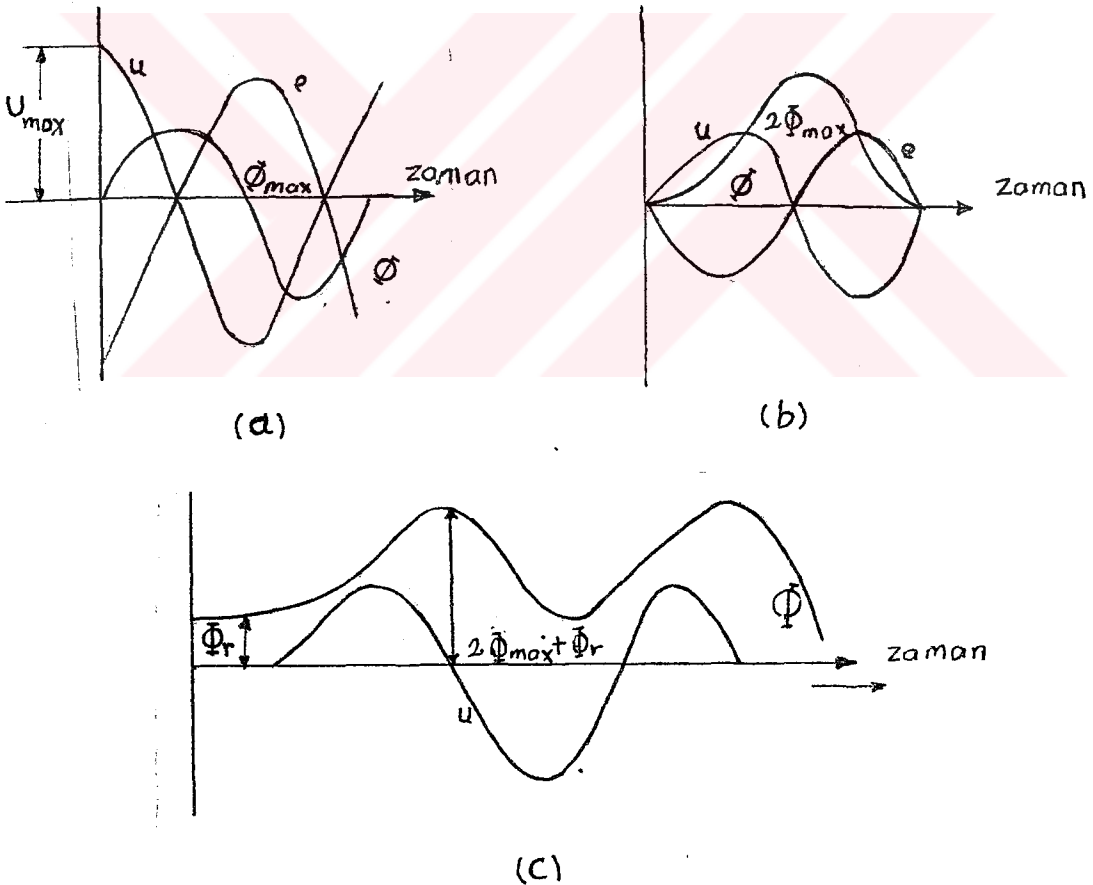
Devrelerde elektrik olaylarını incelerken, sürekli rejimin düşünülmesi adet haline gelmiştir. Sürekli rejim, devrenin kapanmasının hemen ardından meydana gelen rahatsız edici olayların geçmesinden sonra, sürekli şartların oluşmasıdır. Devrenin kapanma veya açılması ile sürekli rejimin oluşmasına kadar geçen zaman içinde meydana gelen olaylara biz geçici rejimler diyoruz.

Bazı hallerde bu geçici rejimler devrelerde önemli rol oynarlar. Örneğin, herhangi bir anda gerilim veya akım izolasyonu bozacak, veya aşırı ısı meydana getirecek veyahut üstün mekanik zorlamalar meydana getirecek hasarlara sebep olacak değerlere ulaşabilir. Bu olayları önceden kestirmek ve ona göre belirli önlemlerin alınması gerekmektedir. Aşağıda bu olayların nelerden kaynaklandığını ve giderilmesini inceliyelim/7/.

8.1. Devreye GİRME Olayları.

Gerilimsiz bir transformatör devreye girerken, anahtarların kontak ayaklarının birbiri ile temas etmesi anında primer gerilimi çeşitli ani değerlerde olabilir. Bilindiği gibi gerilim ile akı veya mıknatıslama akımı arasında 90° kadar bir faz farkı vardır. Sonuçta devrenin kapanması anındaki gerilimin değerine belirli bir akı, dolayısıyla mıknatıslama akımı tekabül edecektir. Böylece gerilim maksimum değerini aldığı zaman akı, dolayısıyla mıknatıslama akımı sıfır olacak ve gerilim sıfır olduğu zaman da akı ve

mıknatıslama akımına maksimum değerini almış olacaktır, şimdi, devrenin kapanması anında gerilimin maksimum değerinde olduğunu varsayalım. Bu taktirde manyetik akı sıfırda olacak ve gerilimin değişmesi ile sinüs eğrisi şeklinde artacaktır. Mıknatıslama akımında akı ile birlikte sıfırdan başlayarak artacaktır. Bu şekilde devreye girme gayet normal cereyan edecektir. Şayet devreye girme esnasında gerilim sıfır değerinden geçiyorsa, bu taktirde akımın maksimum değerinden geçmesi gerekecektir. Halbuki transformatorün devreye girme anındaki akısı sıfıra eşittir. Görüyoruzki, burada birbirine uymayan bir durum vardır. Bunun da dengeleyici bir olayla giderilmesi gerekir.



Şekil 8.1 Devreye girme esnasında gerilim ve magnetik akının zamana göre değişmesi a) $t=0$ da $u=U_{max}$, b) $t=0$ da $u=0$ ve c) $\Phi_r \neq 0$ durumları için.

şimdi devrenin direncini ihmal ederek akı ile gerilim arasındaki bağlantıyı yazalım.

$$U = w \cdot \frac{d\Phi}{dt} = U \cdot \sin wt \quad (8.1)$$

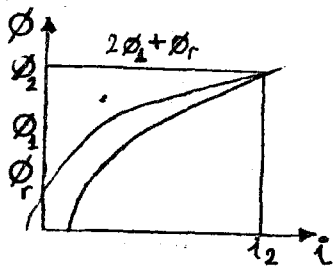
Bu ifade tamamlanırsa,

$$\Phi = -\frac{U}{w \cdot w} \cdot \cos wt + C = -\Phi_{\max} \cdot \cos wt + C \quad (8.2)$$

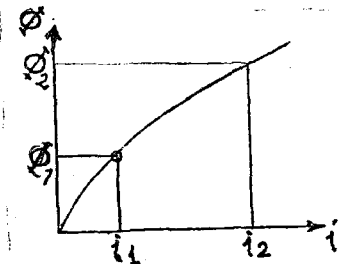
elde edilir. $t = 0$ da $\Phi = 0$ devreye girme şartlarını formülde yerine koyacak olursak, C sabitesinin Φ_{\max} a eşit olduğu görülür. C nin değerini denklemden yerine koyacak olursak,

$$\Phi = \Phi_{\max} - \Phi_{\max} \cdot \cos wt \quad (8.3)$$

Şeklini alır. Böylece genliği Φ_{\max} olan alternatif bir alana, değeri bu alternatif alanın maksimum değerine eşit bir doğru alan ilave olunmaktadır. $wt = 180^\circ$ olduğu zaman yani yarı periyot sonra akının ani değeri alternatif akı genliğinin iki katına ulaşır. Şekil (8.1) de sözü geçen sınır şartlarına tekabül eden geçici rejimlere ait gerilim ve akı eğrileri gösterilmiştir. Şayet devreye girme anında demir çekirdekte geri kalan mıknatisiyet de varsa, o zaman bu akıda $2\Phi_{\max}$ a ilave olunur ve bunun sonucu olarak da mıknatıslama akımı daha büyür. Şekil (8.1) de bu durum gösterilmiştir. Şimdi uygulanan alternatif gerilimin gerektirdiği magnetik akıyı temin edebilmek için sargıdan akacak akımı düşünelim.



(b)

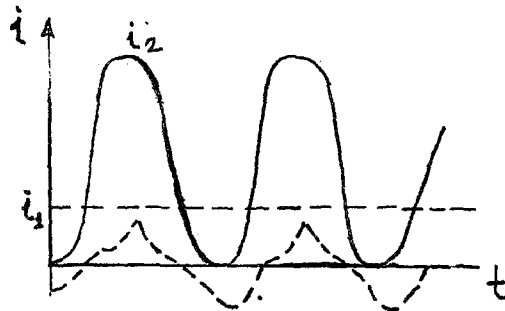


(a)

Şekil 8.2 Akım devresinin mıknatıslanma karakteristiği a) rezonans ihmal edildiğine ve (b) edilmediğine göre.

Şekilde görüldüğü gibi akım devresinin mıknatıslama karakteristiği geri kalan mıknatisiyet bulunduğunda ve bulunmadığına göre çizilmiştir. Burada Φ_{\max} akısı ile süreli olarak çalıştığı takdirde i_1 kadar küçük bir mıknatıslama akımına ihtiyaç olduğu görülmektedir. Fakat yarım periyotluk bir zaman sonra magnetik akının $2\Phi_{\max}$ değerini olması halinde mıknatıslama akımı i_2 gibi çok büyük bir değere çıkar. Şekil (8.3) de uygun olmayan bu durumda devreye girme de, akım devresindeki omik direnç ihmal edildiğinde, sargılardan geçecek mıknatıslama akımının zamana göre alacağı değerler gösterilmiştir. Buradan görüleceği gibi, alınan en büyük değerini aldığı zaman, akım çok sivri olur. ve normal değerler çok üstüne çıkar. Dolayısıyla artık mıknatisiyetin bulunması halinde, doymuş bir durumda olan çekirdek, alanın çok az artması dahi, akımın çok büyümesine neden olacağından, mıknatıslama akımı daha fazla sivrilecektir.

Burada rezonans akınının primer gerilim tarafından oluşan alana göre yönünün mıknatıslama akımı üzerine artıcı ve eksiltici etkisi vardır. Şöyleki; Rezonans akı bu alanla aynı yönde ise ilave alunarak akımı daha çok sivriltir. Ters yönde ise birbirinden çıkartılarak mıknatıslama akımınınin küçülmesine sebep olur,



Şekil 8.3 mıknatıslama akımının devreye girme ($u=0$) olayı esnasında olduğu ani değerler.

Görüldüğü gibi devreye girme anında meydana gelecek akım darbesi, o transformatörün magnetik karakteristiğine bağlıdır. mıknatıslama karakteristiğinin belli bir endüksi-

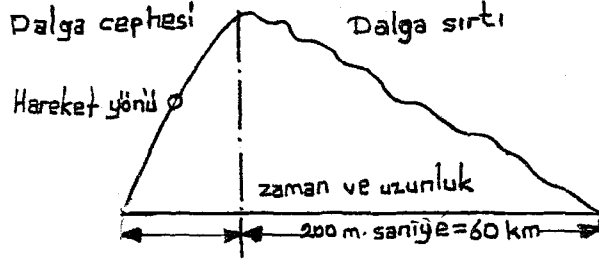
yondan sonra doyma sonucunda yassılanması, devreye girme anında meydana gelen akım, fazla doymuş transformatörlerde çok büyük değerlere çıkar ve hatta devreye girme anında en büyük güç anahtarının tekrar açılmasına neden olur. Örneğin yüksek doyumlu modern transformatörlerde 15000 Gaus ile çalıştığını kabul edersek, bu endüksiyona temin için 30 Ampersarım/cm ile uyarılmak gerekecektir. 22500 Gaus temin için ise, yaklaşık 1500 Ampersarım/cm ye ihtiyaç olacaktır. Yani magnetik akı yoğunluğunu % 50 artıra bilmek için sargının 50 katı kadar bir akımla uyarılması gerekmektedir. Normal olarak mıknatıslama akımının transformatörün nominal akımının % 5'i kadar olduğunu düşünecek olursak, magnetik akının normal değerinin iki katına çıkabilmesi için, mıknatıslama akımının nominal akımın kaç katına çıkarılacağı tahmin edilebilir. Yalnız yukarıdaki gördüğümüz şartlar, ancak transformatörün direnç ve kayıplarının olmaması halinde tamamen mevcut olabilir. Halbuki gerçekte bu böyle değildir. Primer sargının ve bağlantı iletkenlerinin R omik dirençleri ve primer sargının L_s dağılma selfinde mıknatıslama akımı tarafından meydana gelen gerilim düşümleri ile devreye girme akım darbesi küçülür.

Geçici rejim anında meydana gelen doğru akım kısmı devrenin R omik direnci etkisi ile eksporensiyel (üstel) olarak küçülecektir. Bu küçülme R/L_0 ile orantılı olacaktır. Bu söndürme oranı ne kadar büyük olursa, geçici rejim o kadar kısa sürer. (Burada R joule kayıplarına tekabül eden direnç ve L_0 da transformatörün boştaki öz endüklemedir /7/.

8.2. Aşırı Gerilim Dalgaları.

Transformatörler bir uçtan uzak mesafelere enerji ileten hatlara bağlıysalar, bu durumda bu hatlarda devreye girme, topraklanma veya kısadevreler veyahut atmosferik deşarjlar sonucunda meydana gelen aşırı gerilim dalgaları zorlarlar. Bu aşırı gerilim dalgaları yaklaşık ışık hızına eşit bir hızla hatlarda dolaşırlar. Dalganın cephe kısmı

az veya çok dik olabilir. Böyle aşırı gerilim dalgalarının başlangıçları ile en büyük değerlerini almaları arasında bir zaman farkı vardır. Dalganın en yüksek noktasına rastlayan gerilim değeri enerji ileten hatların izolatörlerinin toprağa karşı olan atlama gerilim değerinin üstünde olabilir.

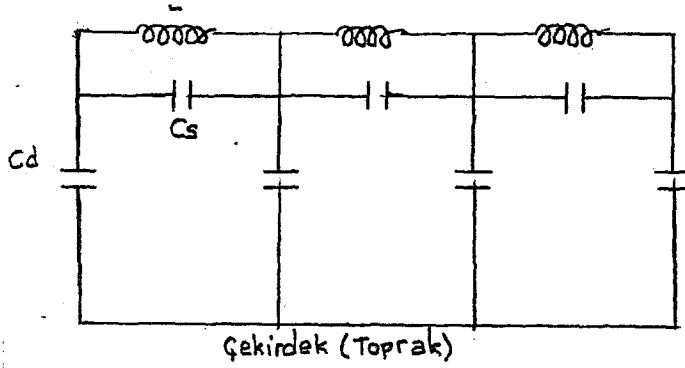


Şekil 8.4 Gezin aşırı gerilim dalgası

Şekilde görüldüğü gibi dalganın cephe ve sırt kısmının uzunlukları mikrosaniye olarak verilmiştir. Bu dalganın transformatör üzerine yaptığı etki, dalganın en büyük gerilim değerinden dolayı cephe kısmının dikliğidir. Esasen aşırı gerilim sargısının izolasyonu, en az bağlı bulunduğu enerji iletim hattının atlama gerilimine eşit bir statik gerilime dayanacak şekilde seçilmelidir. Aşırı gerilim dalgası cephe kısmının nasıl tehlike doğurabileceğini anlatabilmemiz için, yüksek frekanslı gerilimler bakımından transformatörün eşdeğer şemasını çizmemiz gerekir. Normal olarak transformatörün sargılarının, sargı elemanları arasında kapasiteler mevcut olduğu gibi, bu elemanların ayrıca toprağa göre kapasiteleri vardır. Normal frekanslarda sargı elemanlarının selfleri yanında sözkonusu olan bu kapasiteler çok küçük olduğundan ihmal olunurlar ve normal frekanslarda transformatörlere birer self gözü ile bakılır. halbuki aşırı gerilim dalgasında gerilimin zamana göre değişimi çok büyük olduğundan, bu değişim anında sargı elemanlarının gerek aralarındaki ve gereksé çekirdeğe (toprağa) karşı olan kapasitelerinin empedansları küçülecektir.

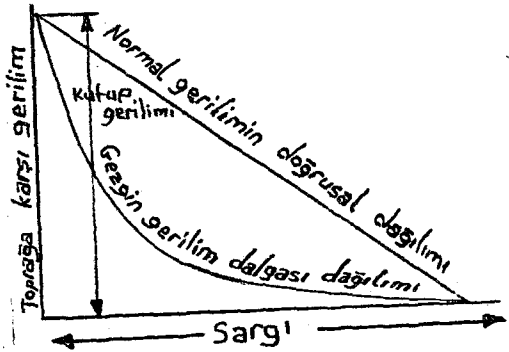
Sabit gerilimde empedansı sonsuz olan kapasite dv/dt katında değişen gerilimde belli bir değer alacaktır. dv/dt

büyüdüğü bu empedansda küçülecektir. Şu halde aşırı gerilim dalgasının cephesi ne kadar dik olursa, bu sargı elemanlarının kapasitif dirençleri de o kadar küçük olacaktır,

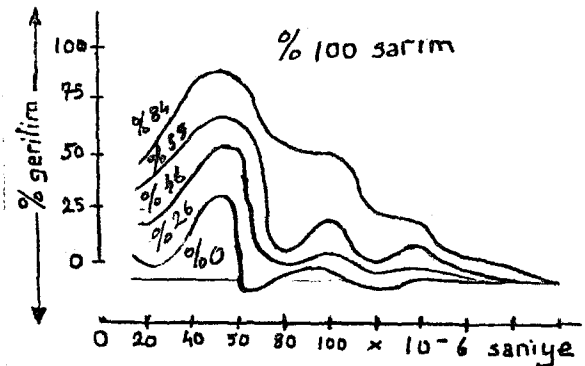


Şekil 8.5 Yüksek frekanslı gerilim dalgalanmasında transformatör sargısının eşdeğer şeması.

Omik dirençleri ihmal edilmiş transformatörün aşırı gerilim dalgalarının incelenmesinde kullanılacak eş değer şeması şekilde verilmiştir. Böyle bir sisteme dik cepheli bir aşırı gerilim dalgası gelecek olursa, gerilim yansımaları sonucunda sargı başlangıcında bu dalga iki kat değerine çıkar. Dalganın dik cepheli olmasından sargının selfi giren akıma karşı bir zıt E.M.K ile karşı koyar. Önce üst gerilim tarafındaki toprağa nazaran gerilim bölümü buradaki omik ve endüktif dirençlere göre olur (ilk anda gerilim bölümü yalnız C_S/C_D oranına bağlıdır.)



Şekil 8.6 Gezgini dalganın transformatör sargısına girdiği anda bobinler boyunca gerilim dağılımı.



Şekil 8.7 Şok zorlanmasında sargının çeşitli noktalarındaki meydana gelen gerilim dalgaları

Şekil 8.6 da bu gerilim bölümü gösterilmiştir. Gerilim bölümü takriben eksporensiyel (üstel) bir eğri şeklinde bütün sargı boyunca bulunmaktadır. Gerilimin % 85'i bobinlerin ilk % 20'sine ve kalan % 15'i de sarımların, diğer kısımda (% 80)'nine isabet eder.

Görüldüğü gibi, transformatörlerin giriş bobinleri bu gerilimde en fazla etkilenir. Sonuçta bu kısmın izolasyonu özellikle kuvvetli seçilmelidir. Kısa bir zaman sonra titreşen dalganın meydana getirdiği akım, akım bütün sargının üzerinde baştan sona kadar doğrusal bir gerilim bölümü meydana getirir. Birinci durumdan ikincisine geçiş, sargı elemanlarının kapasite ve selflerinden dolayı bir titreşim şeklinde belirlenir. Şekil (8.7) de normal bir transformatörün sargısına aşırı gerilim dalgalarının gelmesi halinde sargının çeşitli noktalarında meydana gelen titreşimlerin katodik osilografla alınmış resmini görmekteyiz. Buradan çeşitli sargı kısımlarındaki gerilimlerin belli zamanlarda alacağı değerler kolayca izlenebilir.

Şekil 8.5 de görüldüğü gibi sargı ardarda seri ve paralel rezonans devrelerinden oluşmuştur. Sonuçta transformatörün doğal frekansında rezonans baş gösterebilir. ve bunun sonucu olarak sargının diğer kısımlarında da yüksek gerilimler meydana gelebilir. Şekil (8.6) da verilen gerilim kısımlarına ait eğriler transformatörün yıldız noktasının topraklanmış olması haline göredir. Şayet yıldız noktası izole edilmişse, bu durumda yıldız noktasına kadar nüfuz eden gerilim döndüğü zaman yıldız noktasının potansiyeli toprağa göre giriş geriliminin iki katına çıkar. Sonuçta böyle bir durumda yıldız noktası giriş uçlarından itibaren daha dikkatli izole edilmelidir.

Transformatörlerde aşırı gerilim dalgaları sonucunda meydana gelecek osilasyonlara (dalgalanmalara) engel olmak için, daha başlangıçta gerilim bölümünün doğrusal olmasını sağlamak gerekir. Böylece sargı izolasyonunun dengelessiz yüklenme ve doğal frekans dalgalanmaların yarataca-

ğı tehlikeler önlenmiş olur.

Transformatör izolasyonu korumak için aşağıdaki önlemlere baş vurulur.

1. En fazla zorlanan ilk bobinler ve topraklanmamış nötr noktası ile son sarımlar için takviyeli izolasyonlar kullanmak.

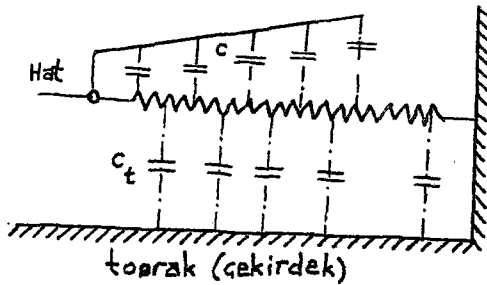
2. Aşırı gerilim dalgası söndürücüsü kullanmak.

3. Özel konstrüksiyonlar kullanmak.

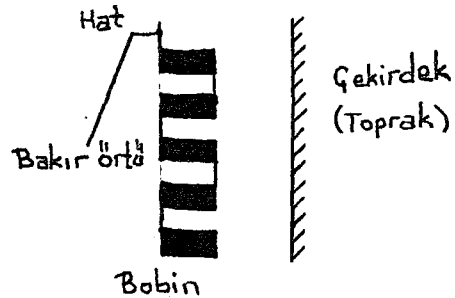
Birinci önlem usulen her transformatörde uygulanmalıdır. Bu ancak gelecek gerilimlere karşı izolasyonu yükseltmek demektir. Dengesiz gerilim bölümünü ve dalgasını önleyemez.

İkinci metod, aşırı gerilim dalgasının cephe kısmını yassılaştırır. Ve dalganın yüksekliğini düşürür. Bu metodda transformatör ile enerji iletim hattı arasına "demir koruyuculu self bobinleri" bağlanır.

Aşırı gerilim dalgasına karşı yüksek endüktif direnç etkisinden dolayı, dalga cephe dikliği önemli miktarda yassılaşır. Çekirdek, demir koruyucu ve sarımların direnci dolayısıyla aşırı gerilim dalgasından enerji çekeceğinden, dalganın maksimum değeri de küçülür. Bu aşırı gerilim söndürücüsü, transformatörün içine veya hatla transformatör arasında dışarıda bir yere yerleştirilir. Bu emniyet tertibatı sayesinde transformatörün hesabındaki zorluklar çözülmüş olur.



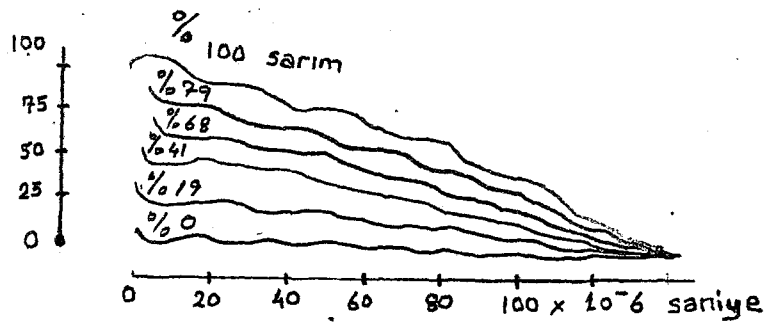
Şekil 8.8 Gerilim doğruya çevrilmesi.



Şekil 8.9 Dalgasız transformatör sargısı.

Üçüncü metot bütün sargı boyunca, aşırı dalganın transformatöre girmesinden itibaren, dengeli bir gerilim oluşumuna çalışır. Çözüm yollarından biriside yıldız noktasına kadar sargı elemanlarının kapasitelerine doğrusal değişen bir karakter vermekle, doğrusal bir gerilim bölümünü temin etmektir.

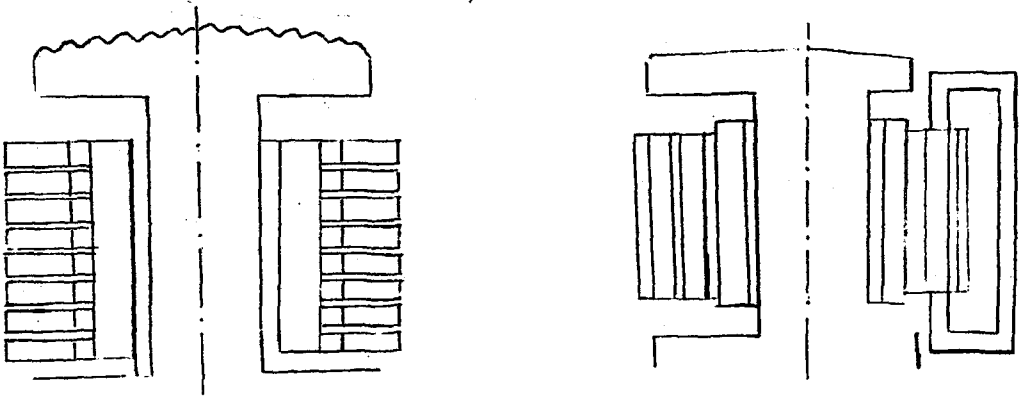
Şekil (8.8)de bu düşüncenin prensibi ve şekil (8.9)da da bu düşüncenin pratikte uygulanabilir şekli gösterilmiştir. Yüksek gerilim sargısı üzerine geçirilen ve enerji iletim hattı ile bağlı olan bir bakır ekran bu görevi görür. Transformatöre bir aşırı gerilim dalgası geldiği zaman, kapasitenin uygun bir şekilde ayarlanması olmasından, gerilim bütün sargı boyunca eşit bölünür. Diğer bir metod, üst gerilim sargısını çeşitli silindirik bobinlere ayırmaktır. Şekil (8.11) de görüldüğü gibi üst gerilim sargısı çeşitli silindirik bobinlerden oluşmaktadır. Bu tip sargı normal bobin sargısının aksine olarak sıfır noktası etrafında top-rağa göre bir kapasiteye sahiptir. Bu özelliğinden dolayı bu tip sargılar da dalgallanmadan başka transformatör. imalatında kullanılır.



Şekil 8.10 Dalgalanmayan bir sargının ossilogramı gösterilmiştir. Eğriler çok zorlamasın-da sargının çeşitli noktalarında tesbit olunmuştur.

Yukarıdaki şekilde böyle bir transformatöre ait aşırı gerilim dalgasının transformatöre girdiği anda sargının

çeşitli kısımlarında baş gösteren gerilimleri göstermektedir/7/.



Şekil 8.11 Normal ve ardarda silindirik bobinli üst gerilim sagısı.

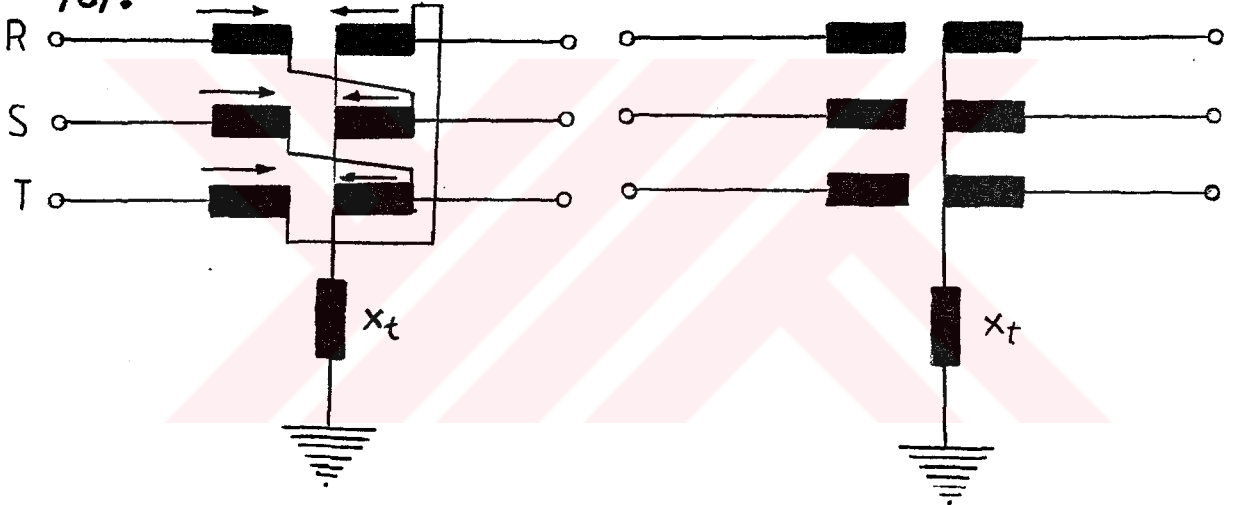
9. ÇEŞİTLİ BAĞLAMA GRUBUNDAKİ GÜÇ TRANSFORMATÖR- LERİN YILDIZ NOKTALARININ TOPRAKLANMASI.

Besleme noktası olarak kullanılan transformatörlere topraklama bobinlerinin ve dirençlerinin bağlanması veya yıldız noktasının topraklanması için transformatör sargılarının yıldız noktasından faydalanılır. Fakat çeşitli bağlama grubundaki transformatörler, yıldız noktasının topraklanması için aynı şekilde elverişli değildirler. Bir besleme transformatörünün yıldız noktası, toprak kısadev-re esnasında kapasitif toprak akımlarını kompanze etmek için bir bobin veya bir kısadevre akımını sıralandırmak için bir direnç üzerinden topraklandığında, transformatörün bu sargısından (meselâ sekonder sargısından) eşit fazlı sıfır akımları geçerler. Eğer transformatör yıldız-yıldız bağlı ise şekil (9.1) de ifade edildiği gibi yönleri aynı olan bu akımlar, primer tarafından değerlendirilmediklerinden, aynı yönlü amper sarımları ve her üç sargıya ait demir çekirdekte aynı fazla titreşen alanlar meydana getirirler. Normal çekirdek tipi üç fazlı transformatörlerde demir çekirdekte bu alanın devresini kapamaya imkan veren bir yol mevcut değildir. Onun için bu alan devresini esas itibarıyla bir boyunduruktan diğerine havadan ve kısmende transformatörün demir koruyucusu üzerinden kapatır. Böylece büyük bir kaçak alanın meydana gelmesine neden olur. Şekil (9.2) de sekonder sargıda baş gösteren bu kaçak boyunduruk akısı, noktalı çizgilerle işaret edilmiştir. Bu alan sıfır sistemi için bir reaktansa tekabül eder ve buna boyunduruk reaktansı denir. Boyunduruk reaktansının değeri, transformatörün konstrüksiyonu tarzı ile yakından ilgilidir. Kaçak akı transformatörün demir

demir kısımlarında ısınmaya yol açtığından, böyle bir transformatörün ancak normal gücünün yaklaşık %20 sinde bir toprak akımı ile yüklenmesine izin verilir.

Demir çekirdeği dört bacaklı olan veya mantal tipi transformatörlerde veya üç adet bir fazlı transformatörden teşkil olmuş olan üç fazlı transformatör sisteminde sıfır alan bileşeninin devresini kapamak için demir çekirdekte bir yol mevcut olduğundan, sıfır akım bileşeni için magnetik direnç bir hayli daha küçüktür ve bu nedenle küçük sıfır akımları dahi oldukça büyük bir boyunduruk akısı meydana getirirler. Onun için bunlarda boyunduruk reaktansı, üç bacaklı transformatördekine nazaran çok daha büyüktür

/8/.



Şekil 9.1 Suni sıfır noktası oluşturmaya ait zik-zak bağlı bir bobin.

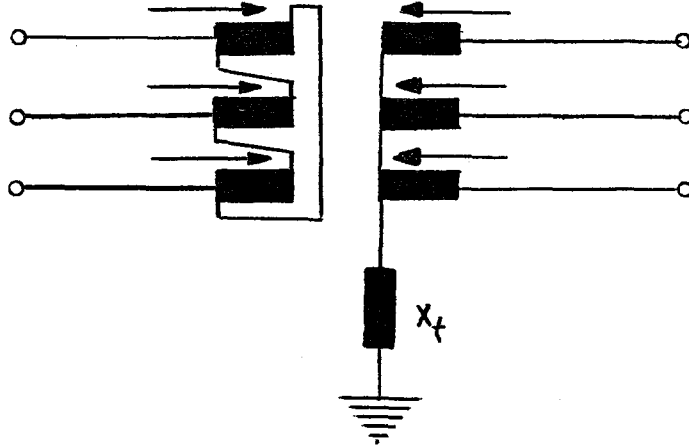
Şekil 9.2 Yıldız-Yıldız bağlı ve sekonder yıldız noktası bir topraklama bobini üzerinden topraklanan bir transformatörde toprak temasında meydana gelen sıfır akımları ile yıldız noktasının yüklenmesi ve boyunduruk kaçak alanının meydana gelmesi.

Gerek üç bacaklı ve gerekse mantal tipi transformatörlerin yıldız-yıldız bağlanmış olduğu ve toprak temasının sekonder tarafında boş göstermiş olduğu kabul edildiğinden ve primer yıldız noktası topraklanmadığından primer tarafında sıfır akımları toplanamaz. Bu transformatörlerde boyunduruk reaktansının meydana gelmesi nedeniyle bunların sı-

fır reaktansları da büyüktür. Halbaki toprak kısadevresinin kompanzasyonu için transformatörün yıldız noktası bir fazlı bir söndürme bobini üzerinden topraklanır. Bu söndürme bobinin bağlanmadan önce transformatörde büyük bir sıfır reaktansının olması arzu edilmez. Gerekli sıfır empedans değeri topraklama bobini ile sağlanacaktır. Topraklama nedeniyle kullanılan transformatörde sipir empedansının ihmâl edilecek kadar küçük olması istenir. Buda ancak boyunduruk reaktansı ihmâl olabilecek derecede küçük olan transformatör tipi seçmekle mümkün olur.

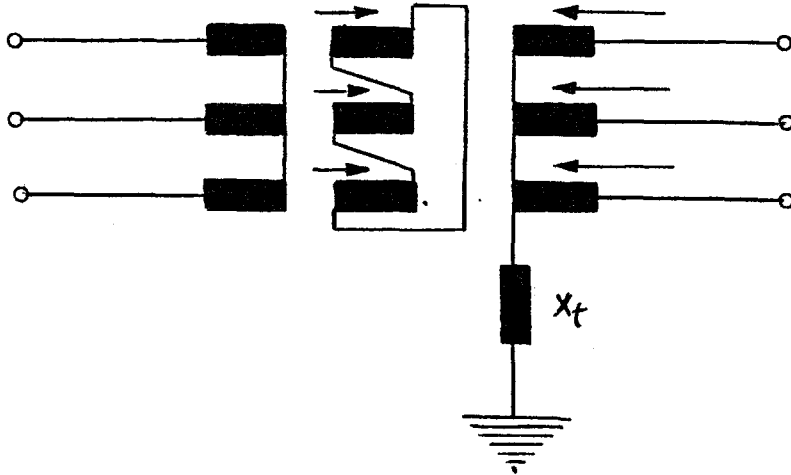
Yukarıdaki ifadeden anlaşıldığı gibi, boyunduruk reaktansını ve sonuçta sıfır reaktansı küçük yapabilmek için, yıldız noktası topraklanan üçgen sargıda meydana gelen sıfır akımlarının dengelenmesi gerekir. Bu da ancak aşağıda izah edilecek olan konstrüktif tedbirlerle sağlanabilir. Sekonderdeki akımlara ait amper sarımları dengelenmek için primer sargıdan da sıfır akımlar geçmeli, ya tersiyer sargı bulunmalı. Yahut da sekonder sargı zikzak bağlanmalıdır. Bu durumda da boyunduruk empedansının küçük veya büyük olmasının bir önemi yoktur. Zira bu artık, yalnız mıknatıslama meydana gelmesi bakımından etkilidir. Eğer transformatör üçgen-yıldız bağlı ise, üçgen sargıda toprak akımlarının kompanse edebilecek şekilde ters yönde akımlar geçer.

Şekil (9.3) de ki, böyle bir transformatörün yıldız noktasına istenen güçte bir topraklama bobini bağlanabilir. Yalnız ısınma bakımından transformatörün ilave olarak gelen toprak teması akımına dayanabilecek durumda olması lazımdır. Burada sıfır akımının hesaplanmasında boyunduruk reaktansı ihmâl edilir. Yalnız kaçak reaktansı göz önüne alınır/8/.



Şekil 9.3 Üçgen-yıldız bağlı ve yıldız noktası bir topraklama bobini üzerinden topraklanan bir transformatörde toprak temasında meydana gelen sıfır akımların üçgen sargıda endüklenen sıfır akımlarla dengelenmesi.

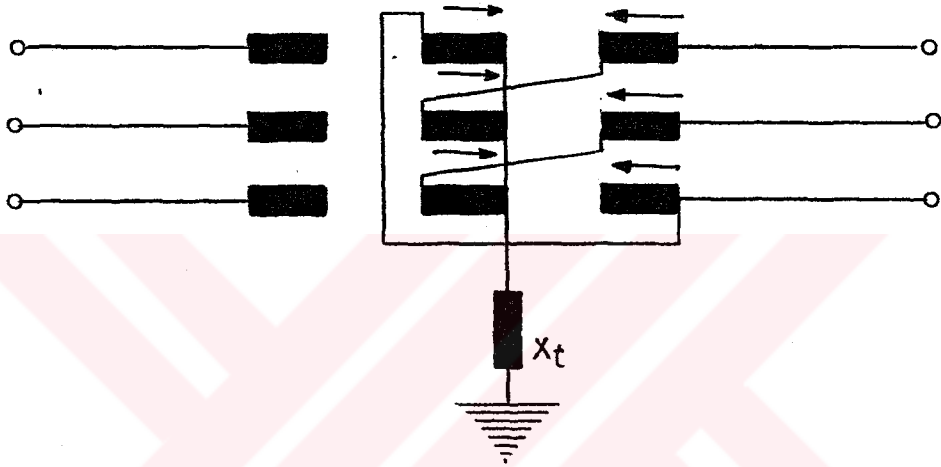
Yıldız-yıldız bağlı bir transformatöründe yıldız noktası tam yüklenebilir bir hale gelmesi için, böyle bir transformatörün kapalı üçgen şeklinde bağlanmış bir tersiyer sargı ile donanmaması lazımdır. Şekil(9.4) de yıldız noktası bir bobin üzerinden topraklanan ve tersiyer sargı ile donanmış yıldız-yıldız bağlı bir transformatörde toprak teması halinde geçen eşit yönlü akımların tersiyer sargıda endüklenen akımlarla dengelenmesi gösterilmiştir.



Şekil 9.4 Yıldız-yıldız bağlı, tersiyer sargı ile donanmış ve yıldız noktası bir bobin ü-

zerinden topraklanan bir transformatörde toprak teması halinde geçen sıfır akımların tersiyer sargı tarafından dengelenmesi.

Transformatörün boyunduruk reaktansını ve dolayısıyla sıfır reaktansını küçük tutmak amacı ile sıfır akımlarını dengelemek için üçüncü bir yol vardır. Bu metod da transformatörün sekonder tarafında yıldız-zikzak sargı kullanılmaktadır. Bu durum şekil (9.5)de gösterilmiştir.



Şekil 9.5 Yıldız-zikzak bağlı ve yıldız noktası bir bobin üzerinden topraklanmış bir transformatörde toprak teması sonucunda meydana gelen eşit fazlı sıfır akımlarının dengelenmesi.

Tersiyer sargısı olmayan yıldız-yıldız bağlı transformatörlerin yıldız noktası, yukarıda belirtildiği gibi nominal akımlarının ancak %10, %20 si kadar yüklenebileceklerinden, bunlar hiçbir zaman düşük değerli direnç üzerinden topraklanmaya elverişli değildirler.

Yıldız-yıldız bağlamalarda tersiyer sargı olsa dahi, alt ve üst gerilim tarafından her iki yıldız noktasına topraklama bobini bağlanmadığı gibi birine topraklama bobini ve diğerine küçük değerli direnç de bağlamak doğru olmaz. Zira aksi halde transformatörün bir tarafında bir toprak kısıdevresi baş gösterildiğinde ikinci tarafında tehlikeli aşırı gerilimler meydana gelebilir. Yukarıda izah

edildiği şekilde, yıldız noktasını topraklamak için uygun bir transformatör mevcut değilse bu durumda özel olarak bir yıldız noktası topraklayıcı teşkil olunur. Bu amaçla zikzak bağlı boşa çalışma empedansı büyük fakat sıfır empedansı ve zayıfatı küçük olan üç fazlı bobinler kullanılır.

Orta gerilim şebekelerinde genelde yıldız noktası topraklayıcı, bir de sekonder sargı ile donatılarak, ekonomik bir yoldan transformatör istasyonunun iç ihtiyaç gücü temin edilir.

Yıldız noktasının direnç üzerinden topraklanması halinde bu sargıya bazen amortisman direnci bağlanır. Bu nedenle yıldız noktası topraklayıcıya topraklama transformatörü de denir. Yıldız noktası topraklayıcının doğrudan doğruya topraklandığı haller de vardır; bu durumda topraklayıcının kendisi, toprak kısadevresi akımlarının sınırlandırma maksadı ile büyük bir sıfır reaktansı ile imal olunur /8/.

10. TRANSFORMATÖRLERDE GERİLİM AYARI

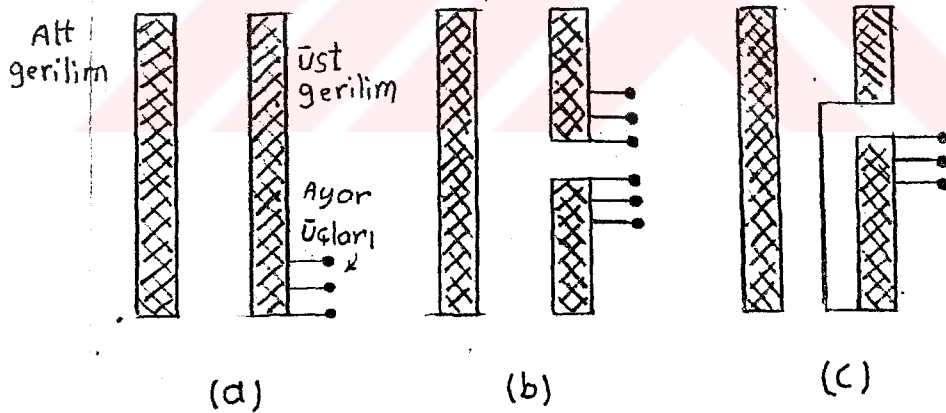
10.1. Basamaklı Gerilim Ayarı

Bir fazlı transformatörlerin işletme özelliklerinde sekonder kutup geriliminin yükte değiştiğini görmüştük. Sabit bir gerilim verilmesi mecburiyeti sekonder kutup geriliminin işletme esnasında ayar edilmesini icap ettirir. Transformatör sabit gerilimli bir primer şebekeden beslendiği takdirde sekonder gerilimin ayarı ancak değiştirme oranına tesir etmekle mümkün olur. İşletme için çok önemli olan bu problemin çözümünde sargıdan dışarıya çıkartılan uçlar bacak üzerine yerleştirilmiş olan gerilim ayar bobinlerinden temin olunur. Genel olarak küçük güçlü transformatörlerde \pm % 4 kadar bir gerilim ayarı yeterliysede yüksek gerilim şebekelerinde bu kadar ayar yeterli değildir.

Uzak mesafelere enerji ileten hatları besleyen büyük transformatörlerden \pm % 20 civarında bir gerilim ayarı yapılabilmektedir. Transformatörün yapacağı yüzde gerilim ayarı miktarına göre ayar bobinlerinin sayısı tesbit olunur. Bunlar ya fazların uç kısımlarına ve ya nötr noktaya veya hut fazların orta kısmına yerleştirilirler. Bu tertiplerin seçilmesi transformatörün gücüne, gerilimine, kuvvetlere ve bunlarla ilgili bazı konstrüksiyon problemlerine bağlıdır. Örneğin ayar bobinlerini yıldız noktasına yerleştirip, yıldız noktasının kaydırılması ile gerilim ayarının yapılmasının şu ekonomik faydaları vardır. Ayar bobinlerinden çıkan uçların ayar mekanizmasına kadar sevki, uçlar arasındaki potansiyel farkının küçük olmasından kolaydır ve dolayısı-

ile nisbeten küçük bir ayar mekanizması bu işe yeterlidir. Transformatörün gerilimi büyük olduğu zaman bu metod bilhassa çok ekonomiktir. Eğer büyük bir saha içinde gerilim ayarı isteniyorsa, bu durumda ayar bobinlerinin faz sargısı ortalama yerleştirilmesi doğru olur. Zira bu durumda meydana gelen magnetik disimetri küçük olacağından, kısadevre durumunda meydana gelebilecek kuvvetler ayar bobinlerinin sargı uçlarından birbirine yerleştirilmesi halinde meydana gelebilecek kuvvetlerin yarısına eşit olacaktır. Bu durumda reaktansa pek az etki olunur.

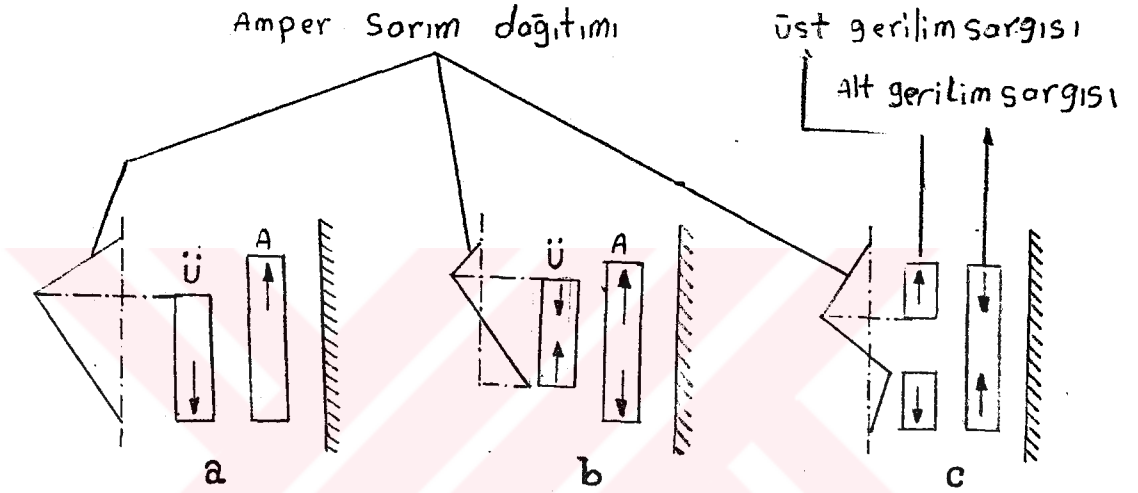
Şekil (10.1) de ayar bobinlerinin bacak üzerine yerleştirildiği üç esas durum gösterilmiştir. Bu tesbitlerden şekil (10.1.a) ancak küçük transformatörlerde kullanılmasına izin verilir. Büyük transformatörlerde ise ayar bobinleri faz sargısı ortasına yerleştirilir. Şekil (10.1.b) de üçgen bağlamı ve Şekil (10.1.c) de yıldız bağlamı büyük transformatörlerde kullanılır/7/.



Şekil 10.1 Gerilim ayarında ayar bobinlerinin faz sargısı üzerine üç esas şekilde yerleştirilmiştir.

Ayar bobinleri işletmelerde zaman zaman devreden çıkarılacağından, sargılara aksiyel yönde etki eden kuvvetler meydana getirecektir. Normal bir işletmede bu kuvvetler sargı için bir tehlike oluşturmazlar. Ancak kısadevre halinde sargı için çok tehlikeli sonuçlar yaratabilirler.

Şonuçta gerilim ayar bobinleri yerleştirilirken bu olay göz önünde bulundurulmalıdır. Sargı silindir farklarının büyük olduğu hallerde primersargı silindirinin sekondere göre dengelenmesi gerekmektedir. Bu dengelenmenin ne şekilde yapılacağını tesbit edebilmek için sargı silindirlerindeki ampersarım dengesizliğinden dolayı meydana gelen kuvvetlerin etki biçimini şekil 10.2 de görmek mümkündür.

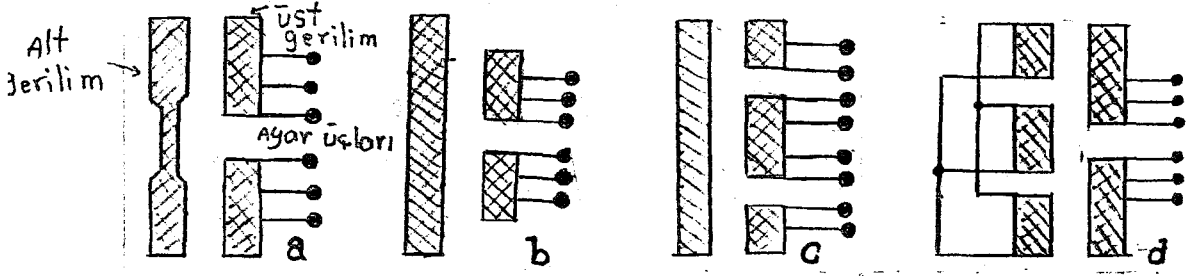


Şekil (10.2) Sargı yüksekliği farklı olan çeşitli hallerde meydana gelen kuvvetler (b) ve (c) deki etkiler (a) dakine göre çok daha azdır.

Ayar bobinleri faz sargısının ortasına yerleştirildiği zaman meydana gelen amper sarım simetrisizlikleri şu şekillerde dengelenebilir.

1. Alt gerilim sargısında ayar bobinleri karşısına gelen kısımlarda birim uzunluğa isabet eden ampersarımı küçültmek, yani sargı silindirini bu kısımda inceltmekle,
2. Ayar bobinlerini bir noktaya yığmayıp, faz sargısına simetrik olarak yaymakla,
3. Şekil (10.2) deki (b) ve (c) durumlarının orta şeklini seçmek sureti ile (Bu iki durumda primer ve sekonder sargılara etki eden aksiyel kuvvetler ters yönde olduklarından ortalama bir durumda bu kuvvetler sifıra eşit olacaktır).
4. Primer sargıyı çeşitli kollarda bölmek ve bu kolları a-

ralarında paralel bağlamakla, geçen akım, primer ve sekonder ampersarım dengelenmesini sağlar.



Şekil(10.3)Ayar bobinleri yüzünden meydana gelen ampersarım dengesizliğinin giderilmesi.

Yukarıda sözü geçen gerilim ayarı, ya transformatör devrede iken (Boşta gerilim ayarı) veyahut yüklü durumda iken (Yükte gerilim ayarı) yapılabilir/7/.

10.2. Yük Altında Gerilim Ayarı

Bu durumdaki gerilim ayarı karmaşık olup, özel otomatik donanıma ihtiyaç göstermektedir. Yük altında basamak değiştirmede aşağıdaki işlemler yapılır.

1. Gerilim, bir basamaktan diğerine geçirilir.

2. Akım, bir basamaktan diğerine aktarılır.

Bu işlem sırasında şu özelliklere dikkat etmek gerekir.

1. Akım kesilmemelidir.

2. Transformatör bobinleri kısadevre olmamalıdır.

3. Basamak değiştirme işlemi kısa bir zamanda tamamlanmalı.

Basamak değiştirmekle gerilim ayarı ya doğrudan doğruya esas transformatör üzerinde (orta ve küçük güçlerde) veya büyük transformatörlerde olduğu gibi, esas transformatörden ayrı bir uyarı transformatörü kullanarak yapılabilir.

Ayrıca yük altında gerilim ayarı başlıca şu metedlerle sağlanır.

1. Paralel sargılar kullanmak sureti ile.

2. Koruyucu bir reaktans veya omik direnç kullanmakla.

Pratikte büyük güçlerde gerilim ayar donanımında iki türlü mekanizma vardır.

a. Güç anahtarları.

b. Basamak seçicisi.

Bunlardan birincisi yük altında basamak değiştirilirken, yükü gerilim ayarı yapılacak koldan kaldırılır ve basamak değiştirme işleminden sonra tekrar yük bu kola aktarılır. İkinci ise, üzerinden geçen akım kalktıktan sonra kontak ayağını istenilen basamağa sürmektedir/7/.

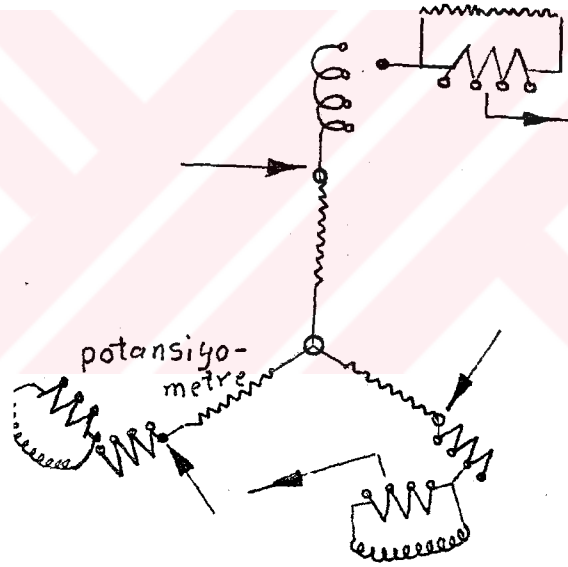
10.3. Enine Ve Boyuna Gerilim Ayarı

Halka oluşturan şebekelerde, çeşitli şebeke kısımlarının değişik empedanslarının bulunması nedeniyle, bir çok yerden akım çekildiğinde, şebeke iletkenlerine düşen yükü bölmek ve aşırı gerilim yüklenmelerine engel olmak güçleşir.

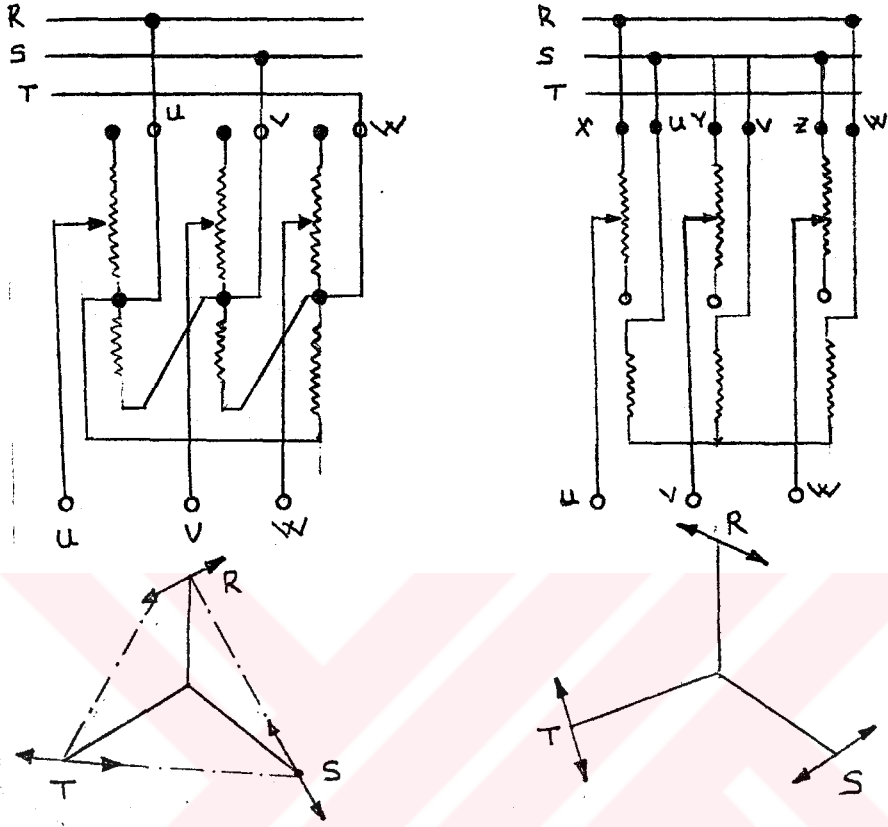
Halka oluşturan şebekelerde, enerji akmasını ayarlamak için şebekeye U_z gibi bir enerji ilave etmek gerekir. Bu gerilimin değerini ve şebeke gerilimi ile olan faz farkını ayarlamak gerekmektedir. Halka oluşturan şebekeye U_z gerilimi dışarıdan uygulanınca, devre empedansının sınırladığı bir sirkülasyon akımı bütün şebeke iletkenlerinden akar. I_s sirkülasyon akımı ile U_z gerilimi arasında bir faz farkı bulunacaktır. U_z ilave gerilimi iki ayrı bileşene ayrılır. Birincisi U_s şebeke yönünde U_{zb} , ikincisi şebeke gerilimine dik bir gerilim U_{ze} üretir. Ayrıca U_z geriliminin meydana getirdiği I_s sirkülasyon akımında yukarıda sözü geçen U_{zb} boyuna ve U_{ze} enine bileşenine tekabül eden iki ayrı bileşeni vardır. Bu durumda, eğer şebekenin omik direncini ihmal edersek, I_s ile U_z arasında 90° lik bir faz farkı oluşacaktır. Sonuçta U_{ze} ye tekabül eden akım bileşeni, şebeke gerilimi ile aynı fazda olacaktır. Yani U geriliminin enine bileşeni şebekenin aktif akım ayarını yapan bir sirkülasyon akımı meydana getirecektir. Boyuna bileşeni ise, şebekenin reaktif akımını ayar eden bir sirkülasyon akımı meydana getirecektir. Bu durumda U_z gerilimini boy ve faz itibariyle ayar ederek şebekenin aktif ve reaktif akımını ayarlamak mümkündür.

Şekil (10.4) de görüldüğü gibi, U_z geriliminin üzerinde, aralarında 90° lik faz farkı olan gerilimler meydana getiren iki sargılı bir ayar transformatörü ayarlamak mümkündür.

Bu iki ayar sargısı tarafından elde edilen U_{zb} ve U_{ze} bileşenleri vasıtası ile U_z ilave geriliminin U_s şebeke gerilimine olan faz durumu ayar edilir. İki ayar sargısı bulunan böyle bir transformatör yerine boyuna ve enine (aktif ve reaktif akım ayar edicileri) ayar yapan ayrı iki transformatörde kullanılabilir. Şekil (10.5)de verilen oto transformatör, ilave gerilimleri (reaktif ve aktif akımı) 60° lik bir empedans ayarlayacak şekilde bağlanmıştır /7/.



Şekil 10.4 U_z ilave geriliminin fazını, üzerinde bulunan iki ayar sargısı ile ayar eden seri transformatör.



Şekil 10.5 oto transformörün reaktif ve aktif akım ayar edici olarak bağlanması.

11. GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİ DEVREYE SOKMA VE ÇIKARMA İŞLEMLERİ

Güçleri 5 KVA ile 25 KVA kadar ve 30 KVA ile 40 KVA kadar olan transformatörleri normal seksiyoner anahtarları ile açıp kapatabiliriz. Ayrıca güçleri 5 KVA ile 400 KVA ve 30 KVA ile 630 KVA kadar olan transformatörleri, yalnız yüksüz durumda seksiyoner anahtarları ile açıp kapatabiliriz.

Büyük güçteki transformatörlerin açma kapama işlemi için gazlı, hava, yağlı disjonktör (kesici) ve ekspansiyon anahtarları kullanmak gereklidir. Bu durumda anahtarların anma akımı 1 A transformatörün anma akımından yüksek olması gerekir. Ayrıca disjonktörlerin açıp kapatma güçleri şebeke ve transformatörlerin özelliklerine bağlıdır.

Güç transformatörlerini devreye sokarken, ilk önce primer tarafındaki güç anahtarı kapatılır. Bu durumda transformatör yüksüzdür. Daha sonra sekonder tarafındaki güç anahtarı kapatılır ve transformatör yüklenir. Ayarlanabilen transformatörlerde ise ikinci devre anahtarı kapatılmadan, önce transformatörün yüksüz durumunda olan gerilimini (boştaki gerilimi) şebekenin gerilimine eşitlemek gerekir.

Transformatörü devreden çıkarırken, önce alçak gerilim tarafındaki (sekonder) anahtarı açılır ve transformatör yüksüz hale getirilir. Daha sonra yüksek gerilim tarafındaki (primerde) güç anahtarı açılır ve transformatör devre dışına çıkarılabilir /6/.

11.1. Güç Transformatörlerinin Yük Altında Devreden Çıkarılması Durumu.

Güç transformatörleri yük altında veya kısa devre halinde, kapanması yüksüz durumdakinden uygun ve daha kolaydır. Eğer kayıpları ihmal edersek, primer tarafındaki anahtarı kapattığımızda devre şekil (11.1) deki duruma gelecektir.

Eğer yük tamamıyla endüktif olursa ($Z=WL$) olacaktır. Bu durumda anahtarı kapattığımızda kondansatörün iki ucunda bir gerilim meydana gelecektir. Maksimum değeri aşağıdaki formülden çıkarılabilir.

$$U = I \cdot \sqrt{\frac{L_s + L}{C_1}} \quad (11.1)$$

Bu gerilim, aşağıdaki formülden bulunan frekansla dalgalanacaktır.

$$F = \frac{1}{2 \pi \cdot \sqrt{(L_s + L) \cdot C_1}} \quad (11.2)$$

$L = 0$ durumunda her iki formül kısa devre için geçerlidir.

Eğer yükün omik direnci varsa, bu durumda dalgalanma gerilimi azalacak ve anahtarın kapanma sırasında, gerilim küçülecektir. Böylece anahtar gerilimin yükselmesini engelleyecektir. Çünkü her zaman anahtar yük ve kısa devre akımının sıfırdan geçtiği anda devreyi kapatacaktır.

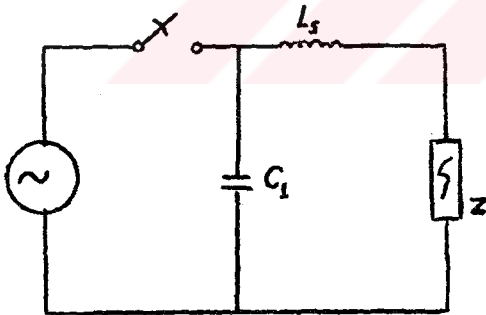
Eğer yük sekonder tarafındaki anahtarla devre dışı kalırsa, gerilim düşümü transformatörün dağılım endüktif direnci üzerinde yok olacaktır Şekil (11.2). Bu gerilim düşümü yok olması, anında olamaz, çünkü, birtakım dalgalanmalarla birlikte çıkacaktır. Bu nedenle dalgalanmanın uzantısı anahtarın kapanma sırasında, gerilim düşümüne eşit ve ona ters yönde olacaktır. Bu dalgalanma kısa devre gerilimi ke-

sildiği zaman en büyük şiddetini gösterecektir. Bu gerilimin dalgaları zayıflayıp, gittikçe şebeke geriliminin üzerine ilave olur. Transformatörün geriliminin yükselmesine neden olacaktır. Bu gerilim frekansı aşağıdaki formülden bulunabilir.

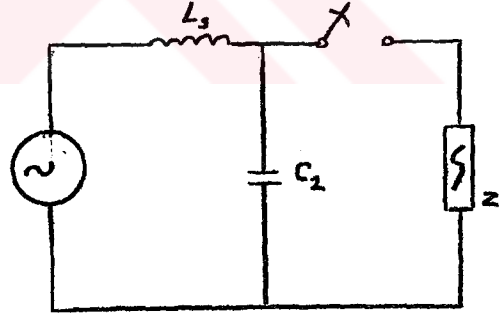
$$F = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s \cdot C_2}} \quad (11.3)$$

C_2 = Transformatörün sekonder tarafındaki toplam faydalı kapasitesi (anahtarla transformatör arasında).

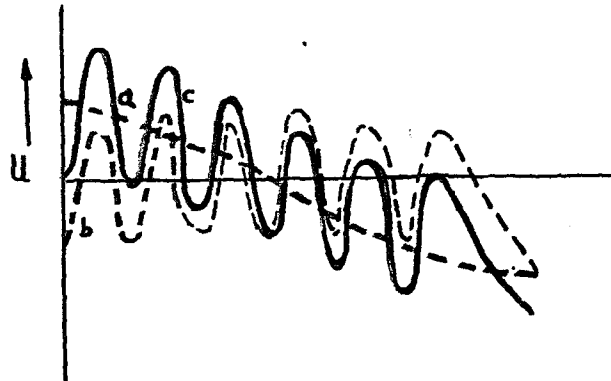
Eğer anahtar, kısa devre akımını sıfırdan geçtiği zaman keserse, bu durumda transformatörün gerilimi (kayıpsız) maksimum değerinden geçecektir. Böylece çıkış gerilimi iki katına yükselecek, bu yükselme transformatör için herhangi bir tehlike yaratmayacaktır. Çünkü bütün yüksek gerilim transformatörleri yapıldığında $2,5 U_n + 20$ KV luk bir gerilimle test edilirler şekil (11.3).



Şekil 11.1



Şekil 11.2



Şekil 11.3

12. ÜÇ SARGILI GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ

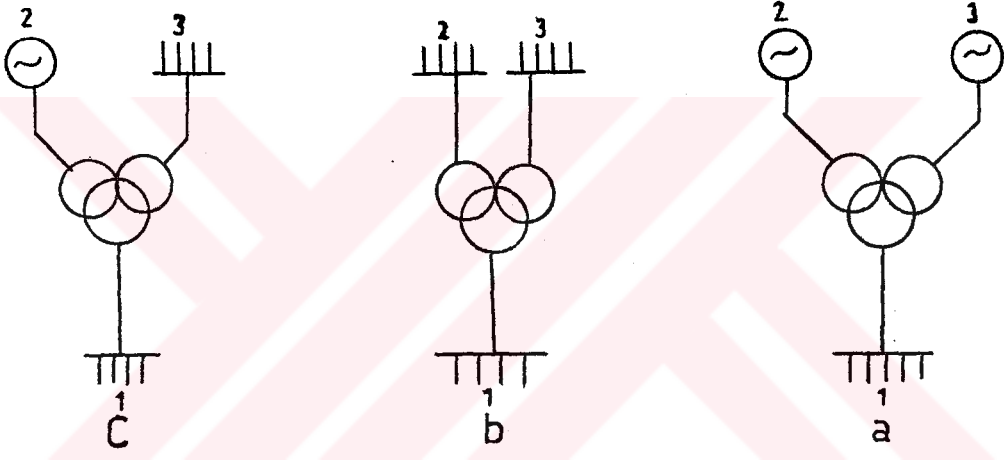
Normal trafolardan farklı olarak bir primer ve iki sekonder sargısı veya iki primer bir sekonder sargıdan oluşmuştur. Bu tür transformatörlerde üç çift sargı, ayrı ayrı bağlantı grupları ile bulunur. Bu nedenle sargılardan iki grubu enine, üçüncü sargı ise boyuna veya tam tersi şeklinde bağlantı yapılmaktadır.

12.1. Üç Sargılı Güç Transformatörlerin Bağlantı Biçimi.

Üç sargılı güç transformatörlerinin en uygun bağlantılarından biri, iki generatörün bir ortak baraya bağlanmasıdır. Şekil (12.1.a) da görüldüğü gibi, bu transformatörün bağlantı biçimi yıldız-üçgen-yıldız türündendir. Şekil (12.2) deki şebeke de bağlı olan transformatörün primer sargısı yıldız, sekonderdeki her iki sargı ise üçgen bağlıdır. Şekil (4.1) 'e göre bu transformatör Dy5 grubundan olup, ayrıca iki ayrı bağlantı biçimi vardır. Bu nedenle bu transformatör enine Yd5 / Yd5 ve boyuna Dd0 şeklinde tanımlanmaktadır. Şekil (12.1.a) da görülen transformatör yıldız-yıldız bağlı ve basitleştirilmiş bir sargıya sahiptir. Şekil (12.3) deki şebekede kullanılan transformatörde ise hem primer sargısı hemde sekonder sargıları yıldız bağlanmıştır. Ayrıca bu transformatör boyuna Yy0 / Yy0 / DTL ve enine Yy0 gurubu bağlantı biçimindedir.

Üç sargılı güç transformatörlerinin en ideal bağlantılarından biri şekil (12.1.C) de görülmektedir. Bu transfor-

matör yıldız-üçgen-yıldız biçiminde bağlanmıştır. Şekil (12.4) de ise üç sargılı güç transformatörünün yıldız-üçgen-yıldız bağlantısının vektör diyagramı görülmektedir. Bu transformatörün primer devresi tek sargıdan oluşmuş yıldız bağlı, sekonder devresi ise iki sargılı olup, biri üçgen diğeri yıldız bağlanmıştır. Bu nedenle bu transformatör de iki ayrı grup bağlantı şekli vardır; boyuna Yd5 / Dyl ve enine Yy6 grubu ile tanımlanmaktadır. Şebekelerde bu tür transformatör kullanıldığı zaman, transformatörün üçgen sargısına (sekonderde) generatör ve sekonder devrede yıldız sargısına ise şebekenin üç kısmını besleyen bara bağlıdır.



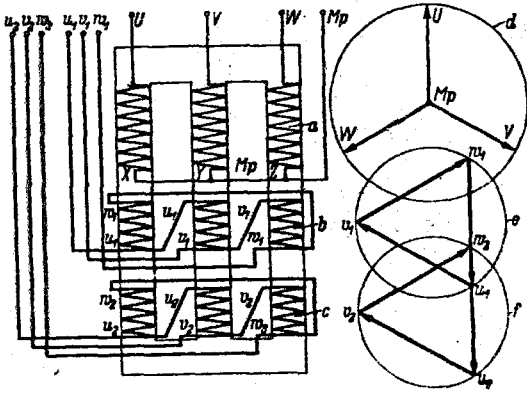
Şekil 12.1

12.2. Üç Sargılı Güç Transformatörlerin Kullanma Alanları.

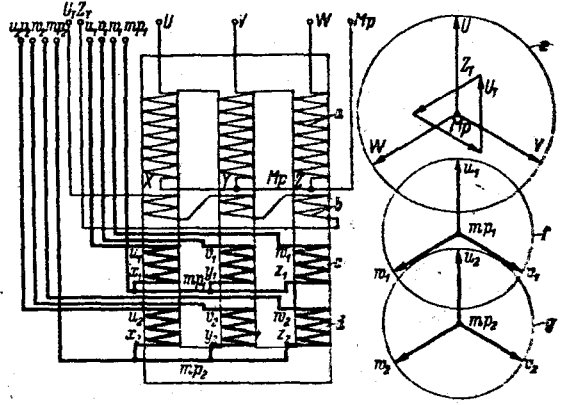
Üç sargılı güç transformatörlerini üç ayrı yerde kullanabiliriz.

1. İki generatörü bir ortak baraya güç transformatörü ile bağlayabiliriz.(Şekil 12.1.a).
2. Barajlarda, istasyonlarda, iki ayrı barayı güç transformatörü ile ortak bir baraya bağlayabiliriz(Şekil 12.1.b).
3. İki ayrı barayı üç sargılı güç transformatörlerle bir generatöre bağlayabiliriz(Şekil 12.1.c).

Not: Yukarıdaki bağlantılarda kullanılan baraların gerilimleri eşit veya farklı olabilir/3/.



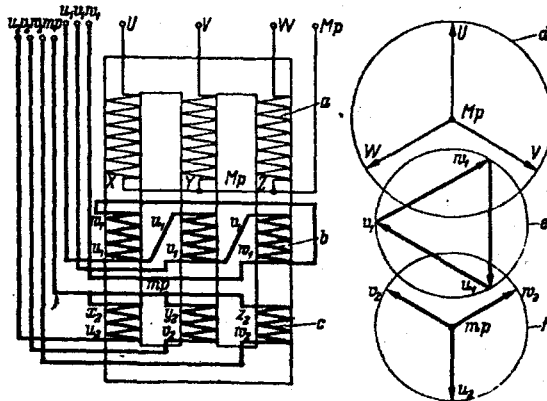
Şekil 12.2 Primeri yıldız, sekonderde ise her iki sargısında üçgen bağlı üç sargılı güç transformatörün vektör diyagramı görülmektedir.



Şekil 12.3 Primeri ve sekonder sargıları yıldız bağlı üç sargılı güç transformatörün vektör diyagramı.

12.3. Üç Sargılı Güç Transformatörlerinin Empedanslarının Bulunması.

Şekil(12.5) deki yıldız bağlı sargılı güç transformatörünü ele alalım. Bu transformatörün devre denkleminin empedanslarını Z_1, Z_2, Z_3 , Şeklinde gösterebiliriz. Şekil(12.6) da görüldüğü gibi kısadevre deneyi ile Z_1, Z_2, Z_3 empedanslarını denklem (12.1) biçiminde yazmak mümkündür.



Şekil 12.4

Şekil(12.4)deki primeri yıldız, sekonder sargılı ise biri üçgen diğer yıldız bağlı üç sargılı güç transformatörün vektör diyagramı görülmektedir.

Kısadevre deneyinde, kısadevre empedansının bulunması için sargılardan birini kısadevre yaparız. İkinci sargı ucunu ise açık bırakıp, üçüncü sargıyı belli bir gerilime bağlarız.

Örneğin: Z_{12} kısadevre empedansını bulmak için, ikinci sargıyı kısadevre edip, üçüncü sargı ucunu açık tutarak, birinci sargıya belli bir gerilim veririz(Şekil 12.7). Ayrıca Z_{23} kısadevre empedansını bulmak için de aynı işlemleri yaparız. Her sargı için bu işlemi yapıp, sonuçta her üç empedansın değerini bulabiliriz. Bu deneyi yaparken, dikkat edilecek en önemli konu, bütün empedansların aynı yön ve gerilime göre denenmesidir. Bu empedansları şekil (12.7)'e göre aşağıdaki biçimde yazabiliriz.

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2 \quad (12.1)$$

$$Z_{23} = Z_2 + Z_3$$

$$Z_{13} = Z_1 + Z_3$$

Denklem (12.2) yardımı ile Z_1 , Z_2 , Z_3 'ü buluruz.

$$Z_1 = \frac{Z_{12} + Z_{31} + Z_{23}}{2}$$

$$Z_2 = \frac{Z_{23} + Z_{12} + Z_{31}}{2} \quad (12.2)$$

$$Z_3 = \frac{Z_{12} + Z_{23} + Z_{13}}{2}$$

Bilindiği gibi üç sargılı güç transformatörleri çok güçlü olduklarından, omik dirençleri küçüktür. Devre denkleminde bu omik dirençleri ihmal edebiliriz. Böylece empedanslar reaktanslara eşit olacaktır.

Bu durumda reaktanslar,

$$X_1 = \frac{X_{12} + X_{31} + X_{23}}{2}$$

$$X_2 = \frac{X_{23} + X_{12} + X_{31}}{2}$$

$$X_3 = \frac{X_{31} + X_{23} + X_{12}}{2}$$

(12.3)

Şeklinde yazılabilir. Dirençler yerine kısadevre gerilimlerini koyarak denklem(12.4) elde edilir.

$$X_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{U_{k12}}{S_{12}} + \frac{U_{k13}}{S_{13}} - \frac{U_{k23}}{S_{23}} \right) \frac{U_N^2}{100} [\Omega / \text{ph}]$$

$$X_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{U_{k12}}{S_{12}} + \frac{U_{k23}}{S_{23}} - \frac{U_{k13}}{S_{13}} \right) \frac{U_N^2}{100} [\Omega / \text{ph}]$$

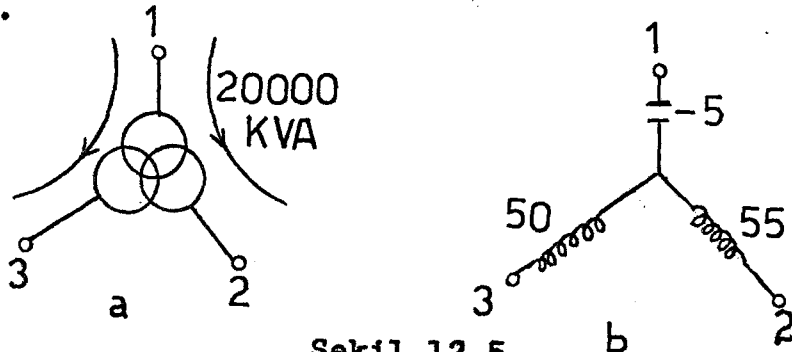
(12.4)

$$X_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{U_{k13}}{S_{13}} + \frac{U_{k23}}{S_{23}} - \frac{U_{k12}}{S_{12}} \right) \frac{U_N^2}{100} [\Omega / \text{ph}]$$

Örnek: Şekil (12.5) deki üç sargılı güç transformatörünün giriş gücü 30000 KVA dır. İkinci sargısının çıkış gücü 20000 KVA, üçüncü sargının çıkış gücü ise 10000 KVA dır. Birinci sargı gerilimi 100 KV, ikinci sargı gerilimi 60 KV, üçüncü sargı gerilimi ise 30 KV dır. Ayrıca kısadevre gerilimleri,

30000 KVA	$U_{k12} = \% 10$
20000 KVA	$U_{k13} = \% 4,5$
10000 KVA	$U_{k23} = \% 10,5$

olmaktadır.



Şekil 12.5

Şimdi transformatör empedanslarının bulalım. Eğer devre denklemini 100 KV'a göre çözersek, anma akımları eşit olur.

$$I_{12} = \frac{20000}{3 \cdot 100} = 115 \text{ [A]}$$

$$I_{13} = \frac{10000}{3 \cdot 100} = 57,5 \text{ [A]}$$

$$I_{23} = \frac{10000}{3 \cdot 100} = 57,5 \text{ [A]}$$

Bu akımları ve kısadevre gerilimleri ile kısadevre reaktanslarının 100 KV'a göre yazarsak,

$$X_{12} \approx Z_{12} = \frac{0,1 \cdot 100000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 50 \text{ [\Omega]}$$

$$X_{13} \approx Z_{13} = \frac{0,045 \cdot 100000}{\sqrt{3} \cdot 57,5} = 45 \text{ [\Omega]}$$

$$X_{23} \approx Z_{23} = \frac{0,105 \cdot 100000}{\sqrt{3} \cdot 57,5} = 105 \text{ [\Omega]}$$

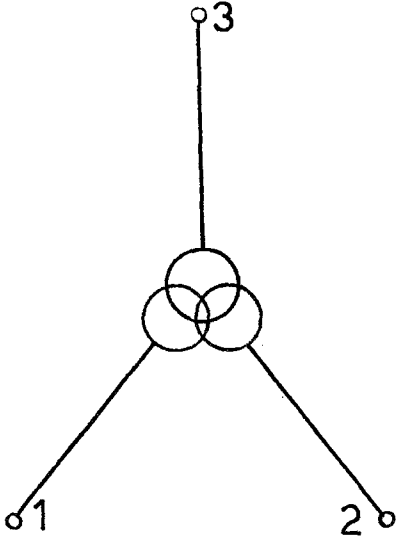
Denklem (12.3) deki ifadelerin yerine değerlerini koyarsak,

$$X_1 = \frac{50 + 45 - 105}{2} = -5 \text{ [\Omega]}$$

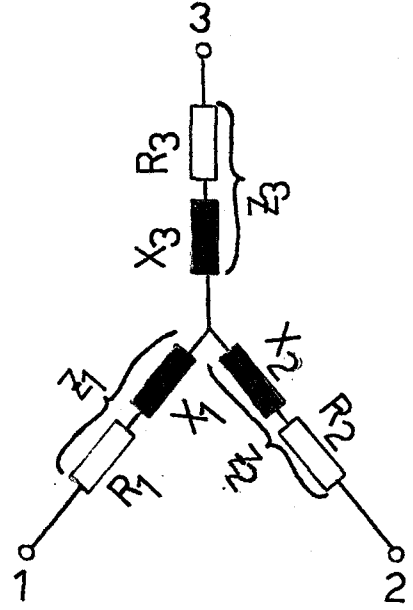
$$X_2 = \frac{105 + 50 - 45}{2} = 55 \text{ [\Omega]}$$

$$X_3 = \frac{45 + 105 - 50}{2} = 50 \text{ [\Omega]}$$

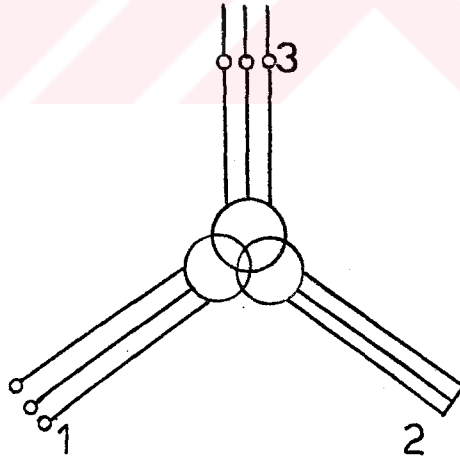
bulunur. Bu hesaplamada X_1 reaktansının eksi çıkması ilginç bir durumdur. Bu nedenle bu reaktans kapasitif bir özelliğe sahiptir/3/.



Şekil 12.6 Yıldız bağlı üç sargılı güç transformatorün diyagramı.



Şekil 12.7 Yıldız bağlı üç sargılı güç transformatorün empedansları.



Şekil 12.8 Üç sargılı güç transformatorün kısadevre deney şeması.

13. ARA TRANSFORMATÖRLERİ

Bir şebekenin iki ucunu, birbirine bağlayan transformatöre, ara transformatörü denir. Ara transformatörlerinin kullanıldığı şebekeler çeşitli özelliğe sahip olabilirler. Örnek olarak bunlardan birkaçı aşağıda gösterilmiştir.

Birleştirilecek olan şebeke uçları, bir tarafları ortak bir baraya bağlı olup ve diğer açık uçlarının da faz ve gerilimleri farklı olabilir.

Halka oluşturulacak olan şebeke, birkaç seri bağlı transformatörden oluşabilir. Şebekeyi oluşturan bu transformatörler, çeşitli grup bağlantılarından meydana gelebilirler. Ayrıca bu şebekenin de açık olan iki ucunun faz ve gerilimleri farklı olabilir. Yukarıdaki tanımlamaya göre, ara transformatörleri bağlanacak yerlerde, faz açısı, gerilim veya her ikisinde farklı olabileceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle başka grup bağlantılarıyla bağlanacağı zaman, paralel bağlama koşullarına dikkat etmek gerekir. Örneğin, aynı fazda fakat gerilimlerin farklı olduğu iki şebekenin birleştirilmesi için, seçilen ara transformatörün "A" grubu bağlantıdan olması gerekir;

Ara transformatörleri genellikle yıldız-Üçgen bağlıdır. Fakat gerektiği zaman herhangi bir bağlantı grubundan da seçilebilir. Ayrıca şebekenin uçlarının birleştirilmesinde (Halka Oluşturmada) oto transformatörü de kullanılabilir.

13.1. Bir Tarafları Ortak Baraya Bağlı Olan Güç Transformatörlerinin Ara Transformatörle Paralel Bağlanması.

Giriş uçları ortak baraya ve çıkış uçları iki ayrı baraya bağlı biçimde çalışan güç transformatörleri, hangi gruptan olurlarsa olsunlar, ara transformatörlerle paralel bağlanabilirler. Böyle bir durumda ara transformatörün faz açısı, bu transformatörlerin faz açısının farkına eşit olmalıdır. Böylece ara transformatörü ile ilk ve son transformatörlerin çıkışlarını birleştirebiliriz.

Şekil (13.1) deki şebekede II ile III nolu baranın 2 ve 3 nolu transformatörlerden beslendiğini görüyoruz. Bu şebekede II ile III nolu barayı 1 nolu ara trafosu ile bağlamak istiyoruz. Bu şebekede Yd11 grubu 2 nolu transformatör I nolu baranın gerilim vektörünü 330° çevirmektedir. Ayrıca Yy6 grubu 3 nolu trafo, I nolu baranın gerilim vektörünü 180° döndürmektedir. Bu şebekede II ile III nolu baranın arasındaki faz farkı 150° olmaktadır. Burada iki baranın birleştirilmesinde "C" grubu 5 tanım sayısı özelliğinde ara transformatörü kullanabiliriz.

Bu şebekede Yd5 grubu 1 nolu ara transformatörünü öyle bir biçimde bağlamalıyız ki, yıldız tarafı II nolu baraya, üçgen tarafı ise III nolu baranın tarafına gelmiş olsun. Burada dikkat edeceğimiz tek nokta, A anahtarı kapandığı zaman, iki ucun geriliminin sifıra eşit olmasıdır. Böylece gerilim vektörlerini bir defa 1,2 nolu transformatör yönünde A anahtarına doğru çizeriz. İkinci defa ise 3 nolu transformatörden başlayıp, bir öncekinin tersi yönünde A anahtarına kadar çizeriz. Eğer A anahtarının iki tarafındaki vektör diyagramı aynı fazda ise, ara trafonun bağlantı sistemi doğrudur. Bu şebekede II nolu trafonun çıkışı ile 1 nolu trafonun girişi II nolu baraya direk bağlandığında, bu noktaların gerilim vektörlerinin de daire diyagramı üzerinde aynı noktada olması gerekir. Bu durumda 1 nolu trafonun giriş gerilim vektörü 30° sola dönecektir. Böylece transformatörün sekonder tarafından tanım sayısı 5 den

4'e düşecektir ve II nolu gerilim vektörü 4 tanım sayısı ile gösterilecektir. Ayrıca A anahtarının Yy6 transformatörün tarafında olan gerilim vektörünün tanım sayısı 6 olduğundan, anahtarın iki tarafındaki faz farkı $2.30^{\circ}=60^{\circ}$ olur. O halde A anahtarını kapatmak ve kapalı halka devresi yapmak imkansızdır.

Eğer I ile III nolu barayı birleştiresek ve II ile III nolu baraların arasındaki bağlantıyı B anahtarı ile kesersek, Şekil (13.2) de görüldüğü gibi B anahtarının iki ucuna yine aynı fazda olmayacaktır. Bunun sonucu 1 nolu trafonun giriş gerilim vektörü 30° sağa dönecektir. Böylece B anahtarı ara trafonun giriş ucuna bağlı olduğundan, anahtarın açık uçları arasında 60° 'lik bir faz farkı oluşacaktır. Bu incelemeden şöyle bir sonuca varırız. Özellikle bu şebekede Yd5 grubu ara transformatörü ile paralel alma işlemi yapılamaz. Şebekenin açık noktalarını birleştiremediğimizden kapalı halka devresi oluşturamayız.

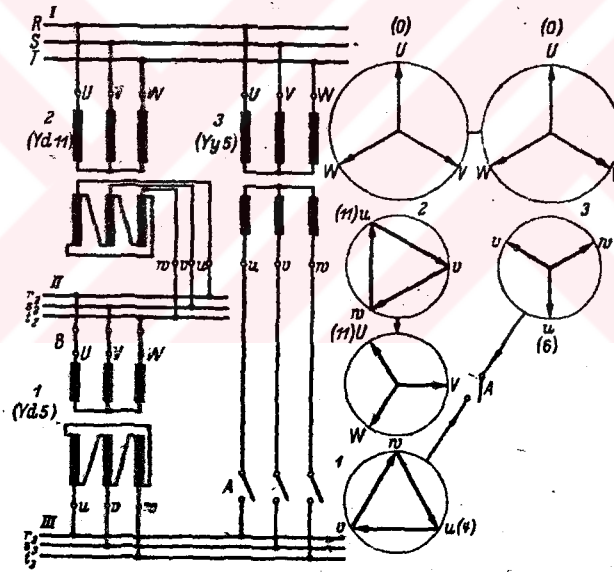
Görüldüğü gibi gerilim vektör diyagramlarında 1 nolu ara trafonun giriş ve çıkış vektör daireleri eşit çapta çizilmiştir ve II ile III nolu baraların gerilimi ve ara trafonun dönüştürme oranı ($Ü=0$) sıfır kabul edilmiştir. Eğer $Ü=0$ ise ara trafonun iki tarafındaki uçlarını değiştirebiliriz. Şekil (13.3) de 2 nolu trafonun u,v,w, sargı uçlarını II nolu baraya bağlayıp ve ara trafoyu diğer transformatörlerle paralel bağlayabiliriz. Bu durumda A ile B anahtarlarını da aynı anda kapatabiliriz. Ara trafonun üçgen sargı uçları 2 nolu trafonun üçgen sargı uçlarına direkt bağlı olduğundan, 1 nolu ara trafonun gerilim vektör üçgeni 2 nolu trafonun çıkış vektörüne tekabül edecektir. Sonuçta bu vektör şekil (13.1) e nazaran 210° çevrilecek ve transformatörün tanım sayısı 4 den 11'e çıkacaktır. Gerilim vektörü yıldızı da 210° sağa dönecek ve 11 den 6'ya düşecektir. Şekil (13.1) de görüldüğü gibi, ara trafonun u fazı Yd5 trafonun u fazına nazaran 150° geridedir. Ancak şekil (13.3) deki 1 nolu ara trafonun uçları değiştirildiğinde: $Ü$ fazı, u fazına nazaran 210° geri kalmıştır. Böylece daire diyagramının bir turu 360° oldu-

ğundan,

$$150^{\circ} + 210^{\circ} = 360^{\circ} \text{ olacaktır.}$$

Sonuçta, III nolu baranın gerilim vektörleri 3 nolu trafonun çıkış uçlarının gerilim vektörüne tekabül edeceğinden, B anahtarını rahatça kapatabiliriz. Görüldüğü gibi ara trafonun iki tarafını (uçlarının bağlantı yerini) değiştirdiğimizde, faz farkının büyümesi ile A anahtarının iki ucundaki faz farkı 60° den 360° 'ye çıkmaktadır.

Şekil 13.1 ve şekil 13.3 de görüldüğü gibi, II ile III nolu baranın faz gerilimleri eşit olduğu halde, bu iki baranın birleştirilmesi yalnız özel bir durumda ara trafosu ile yapılabilir.

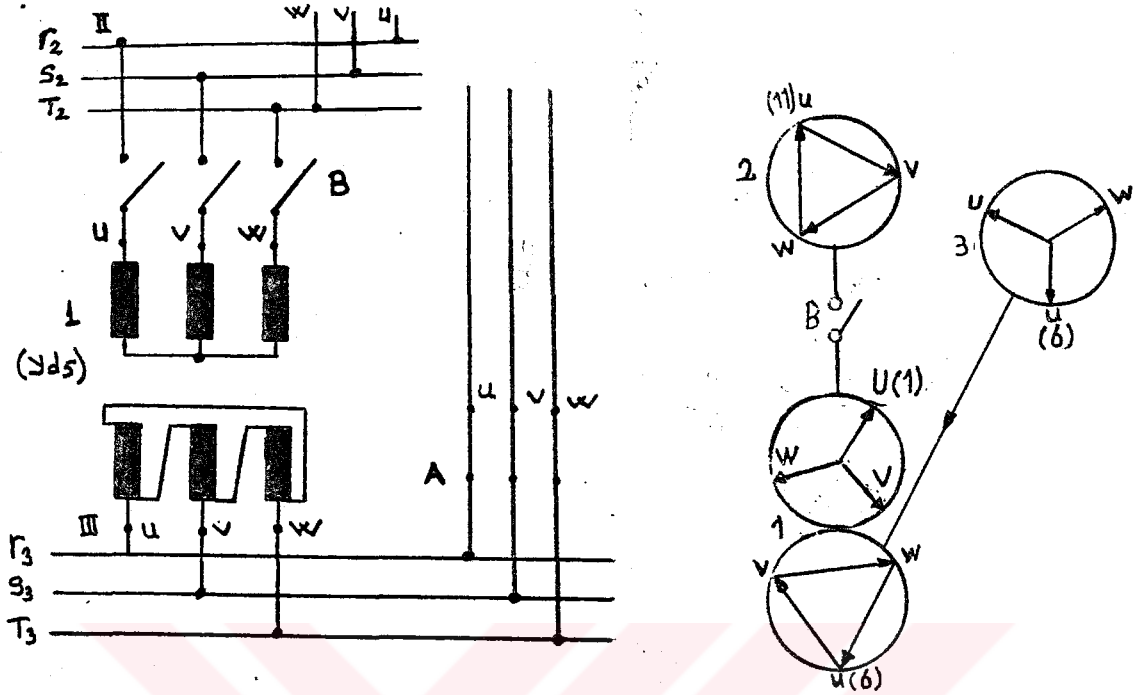


Şekil 13.1

13.2. Güç Transformatörlerin Halkalandırılması.

Ara transformatörlerin bağlantılarının çeşitli yollarla hesaplanabilmesi için transformatörlerin pozitif (+) faz tanım sayısına negatif (-) sayılar da ilave edilir. Böylece, şekil (13.1) deki 1 nolu ara trafo II nolu barada +5 tanım sayısına sahiptir ve şekil (13.3) deki bu

trafo -5 veya 12-5 = +7 tanım sayısını almıştır.



Şekil 13.2

Şekil (13.4)de görüldüğü gibi transformatörün giriş ile çıkış uçlarının değiştirilmesi yerine Yd7 grubu bir transformatör kullanabiliriz. Halkanın açık ucundaki noktanın tanım sayılarının toplamını bulmak için herhangi yönden sayıma başlamamız yeterlidir. Bu sayıların toplamı o noktaya bağlanacak ara trafonun grup bağlantı özelliğini belirtir. Örneğin, şekil (13.1)'i ele alalım. Tanım sayılarının sayılması için I nolu baradan başlayalım. Sırayla, 3, 1,2, nolu transformatörlerin yönünde sayarsak, başladığımız noktaya yani I nolu baraya geliriz. Bu durumda tanım sayılarının toplamı eşittir,

$$+6-5-11 = -10 \quad \text{veya} \quad 12-10 = +2 \quad \text{çıkar.}$$

Görüldüğü gibi faz farkı,

$$-10.30^\circ = -300^\circ \quad \text{veya} \quad +2.30^\circ = +60^\circ \quad \text{olacaktır.}$$

Şekil (13.3) de tanım sayılarının toplamı,

$$+11-11+6-6 = 0 \quad \text{dır.}$$

Eğer şekil (13.1) deki Yd5 transformatörü yerine Yd7 kullanılsaydı, şekil (13.4) deki gibi,

$+11+7-6 = 12$ olup tanım sayılarının toplamı 12'ye çıkacaktı. Yukarıdaki açıklamalardan şu sonuçları çıkarabiliriz.

Görüldüğü gibi bir devre, birkaç trafodan oluşmuştur. Buradaki tanım sayılarının toplamı sifıra eşittir. Ayrıca 12, 24, 36 sayılarının toplamı da sifıra eşittir.

Trafoların tanım sayılarını herhangi bir devrede, belli bir yönde sayarken, bu sayılar girişten çıkışa doğru pozitif (+), tersi yönünde ise negatif (-) olacaktır.

Halka oluşturan devrelerin açık noktasında (uçların) sayıların toplamı, o noktanın faz farkının değerini vermektedir.

Ara trafonun grup bağlantı tanım sayısı, sayım yönünde ise, tanım sayılarının toplamının ters işaretine eşittir. Sayım yönünün tersinde ise, bu sayıların toplamını 12 den çıkarmak gerekir. Eğer elde ettiğimiz sayıların toplamı (-) çıkarsa, 12 ile toplanır ve bu sayılar devreye bağlanacak ara trafonun grup bağlantı özelliğini verir.

Eğer tanım sayılarının toplamı 12, 24, 36 sayılarından büyükse, bu sayıları (12,24,36) topladığımız sayıdan çıkarırız. Çünkü bu durumda gerilim vektör ibreleri birden fazla daire diyagramını tur atmıştır.

Yukarıdaki kurallara göre şekil (13.1) deki devreyi bir daha inceleyip ve bir nolu ara trafonun grup bağlantısını ele alalım. Şekil (13.1) de sayma yönünü 3,1,2 trafolarından seçiyoruz. Sayım sonucu tanım sayılarının toplamı,

$$6-11 = -5 \text{ çıkar.}$$

Ara trafonun tanım sayısı bu sayım yönünde (III ile II nolu bara arasında bağlandığında) +5 olacaktır. Yani trafonun girişi III nolu baraya, çıkışı ise II nolu baraya bağ-

lanacaktır. Bu durumda ise,

$$12 - 5 = 7$$

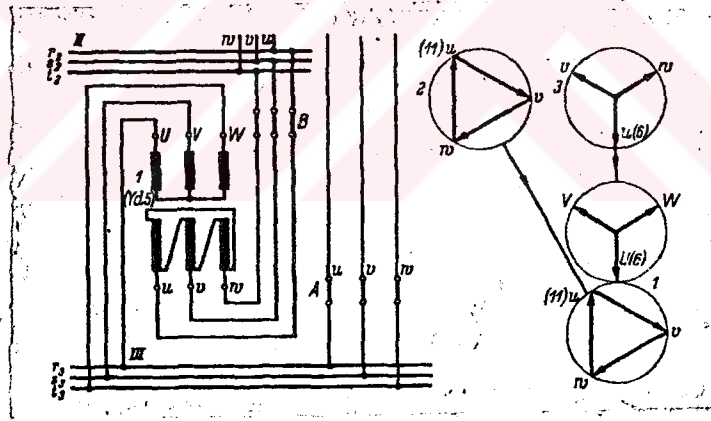
çıkacaktır. Sayım yönü 2, 1, 3 ise,

$$+5 - 6 = 5$$

değerini yazabiliriz. Bu durumda tanım sayısı, sayım yönü II den III'e olduğundan, -5 veya +7 dir. III den II'ye ise,

$$12 + 5 = +17 \text{ bu da } 17 - 12 = +5 \text{ veya } 12 - 7 = +5$$

olacaktır. Eğer açık halka devresinin iki ucundaki tanım sayılarının toplamı sıfırsa, ayrıca bu noktadaki gerilimlerde eşitse, bu iki ucu herhangi bir iletkenle bağlayabiliriz. Eğer bu iki noktadaki (açık uçlardaki) gerilimler eşit değilse, bu iki ucu, tanım sayısı sıfır olan A grubu bir ara trafosu ile birleştirebiliriz.



Şekil 13.3

Örnek: Birkaç transformatörden oluşan açık halka şebeke devresini I ile II nolu bara arasında (X) trafosu ile birleştirmek istiyoruz (kapalı halka). Trafonun giriş ve çıkışı büyük ve küçük dairelerle şekil (13.4) de gösterilmiştir. Şimdi bağlanacak bu trafonun bağlantı grubunu bulalım.

Çözüm: X trafosunun grup bağlantısını bulabilmek için, ilk defa (a) yönünde saydığımızda,

$$X'_a = 5 + 11 + 11 - 6 + 11 - 0 = 22$$

$$X'_a = 32 - 24 = 8$$

$$X'_a = -8 = +4 \quad \text{çıkar.}$$

(b) yönünde sayım yaptığımızda,

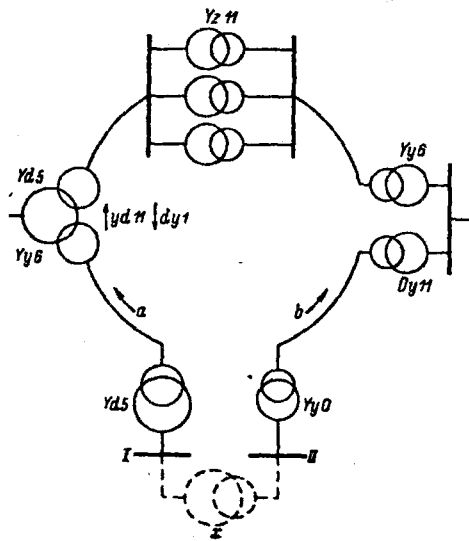
$$X''_b = 0 - 11 + 6 - 11 + 1 - 5 = -20$$

$$X'_b = -20 + 12 = -8$$










$$X_b = +8 \cdot 30^\circ = 240^\circ \quad \text{olarak bulunur.}$$

Şekil (13.4) de görüldüğü gibi, I ile II nolu bara arasındaki potansiyel farkı daire çapı ile gösterilmiştir. Burada tanım sayısı sayımı (b) yönünde, yani girişten çıkışa doğru olmaktadır ve Dd8 grubu ara transformatörü seçilmelidir.

Not: Dd8'i seçerken cetvel (13.5) den yararlanıyoruz/5/.



Şekil 13.4
İki ucu açık olan bir şebekenin, ara transformatör yardımı ile halkalandırılması.

Faz farkı	Yıldız			Üçgen			Zikzak		
$\alpha = 0$									
0	Yy0			Dd0		Dz0	Zz0		Zd0
30		Yd1	Yz1		Dy1			Zy1	
60				Dd2		Dz2	Zz2		Zd1
90									
120				Dd4		Dz4	Zz4		Zd4
150		Yd5	Yz5		Dy5			Zy5	
180	Yy6			Dd6		Dz6	Zz6		Zd6
240		Yd7	Yz7		Dy7			Zy7	
240				Dd8		Dz8	Zz8		Zd8
270									
300				Dd10		Dz10	Zz10		Zd10
330		Yd11	Yz11		Dy11			Zy11	

Çetvel 13.5

Ara transformatörlerin çeşitli bağlantı biçimlerinin, grup bağlantılarına göre tanım sayılarını göstermektedir.

14 TRANSFORMATÖRLERİN SOĞUTULMASI

Bütün elektrik makinelerinde olduğu gibi transformatörlerde çalışmalarını sırasında ısınırlar. Bu ısınma transformatörün özellikle sargılarında ve demir nüvesinde oluşan kayıpların bir sonucudur.

Transformatörlerde ısı artışı belirli bir sınırı aşmamalıdır. Bunun için de iyi bir soğutma gereklidir. Yapılarına göre kuru transformatörler ve yağlı transformatörler olarak ikiye ayrılan transformatörlerin çeşitli soğutma türlerini inceleyelim.

14.1. Kuru Transformatörlerin Soğutulması.

Elektrik ve dinamik gücüne dayanma bakımından yağlı transformatörlere göre daha zayıf olduklarından, kuru transformatörler çok az yapılmaktadırlar.

Yaklaşık $U_{max} = 10$ KV ve 300 KVA güce kadar yapılan kuru transformatörler genellikle doğal hava dolaşımı (sirkülasyonu) ile kendi kendine soğurlar. Büyük gerilimlerde sargıların birbirine, ayrıca akım devresine ait olmayan bölümlere olan mesafesi çok fazla olduğundan, hatta 10 KVA gücünde bile yağlı transformatörler kullanmak daha karlıdır. Doğal hava dolaşımında sargılar ve nüve hava ile doğrudan doğruya temas halindedirler. Isının çevreye aktarılması (ışının = radyasyon) ve hava dolaşımı (konveksiyon) şeklinde iki türlü olur.

Isının ile çevreye verilen ısı transformatörün sıcaklığına , yüzeyin büyüklüğüne, dış boyutlarına, rengine bağlı olarak değişir. Ancak soğutmadaki payı küçük olduğundan hesaplamalarda güvenlik payı olarak değerlendirilir.

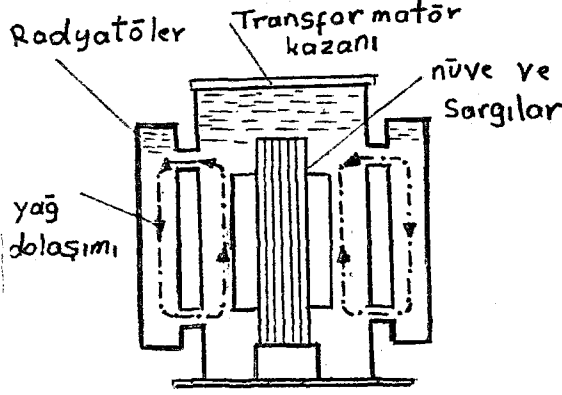
Hava dolaşımı ile ısının çevreye iletilmesi, transformatör sargılarına temas ederek ısınan havanın yoğunluğunun azalarak yükselmesi ve böylece hava dolaşımı oluşturulması prensibine dayanır. Çevreye daha fazla ısı verebilmek için trafolar üzerindeki hava kanalları, hava akımları yönünde açılmalıdır.

Büyük güçlü transformatörler havanın doğal dolaşımı şeklinde soğutulmazlar. Bunlar özel vantilatörlerle (pervane) üzerine hava üflenerek veya vantilatörlerle içinden soğuk hava geçirilen kapalı bir yere (odaya) konarak soğutulurlar. Bu tür soğutmalarda havanın dolaşımı fazla olduğundan, sargılardaki oluşan ısının dışarıya çıkarılması daha kolay ve çabuk olmaktadır. Kuru transformatörlerin şartların elverdiği kadar ceryanda bağlı tutulması, şebekeden çıkarılmaması gerekir. Çünkü ceryanın kesilmesi transformatörün soğumasına, terlemesine, nemlenmesine sebep olur. /6/.

14.2. Yağlı Transformatörlerin Soğutulması,

Orta ve büyük güçlü transformatörler, özellikle yüksek gerilim için yapılanların hemen hemen hepsi birer yağ kazanı içine yerleştirilirler. Transformatör yağının kendisi çok iyi bir yalıtıcıdır. Yağ, transformatörde kullanılan pamuk, iplik, kağıt v.s gibi yalıtkan malzemenin yalıtkanlıklarını daha da arttırır. Kullanılan yağlar çok temiz ve madeni yağlar olup, içinde asit, kükürt, bazlar ve su zerrecikleri bulunmamalıdır. Transformatörlerde kullanılan yağ soğutma görevini de yapar. Transformatör içinde kayıpların oluşturduğu ısı, ısınan yüzeylerden kolaylıkla yağa geçer. Böylece sargılar ve nüvenin yakınındaki yağın sıcaklığı artar. Isınan yağ genişler, yo-

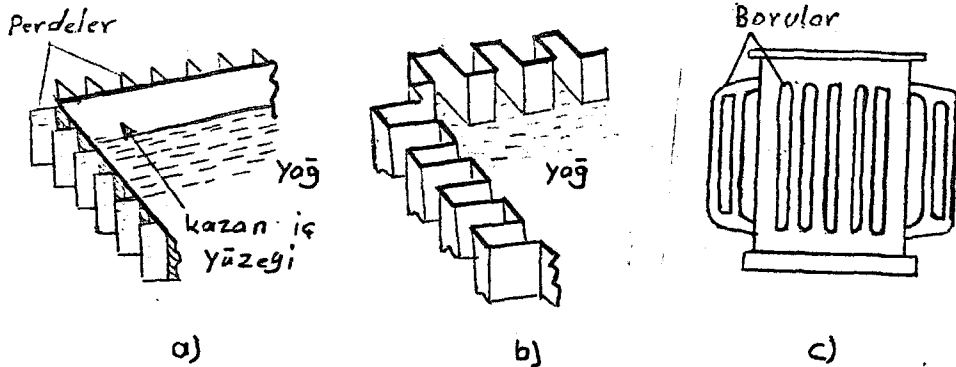
ğunluğu azaldığı için hafifler ve yukarıya doğru çıkmağa başlar. Şekil (14.1) de transformatör yağının radyatör kazanı içindeki doğal dolaşımı görülmektedir.



Şekil 14.1 transformatör yağının radyatörlü kazan içindeki yağ dolaşımı

Transformatör yağı kazanın dış duvarlarına veya varsa radyatörün iç yüzeyine temas edince soğur, yoğunluğu artar ve aşağıya doğru iner. Bu şekilde kendiliğinden olan yağ dolaşımına doğal yağ dolaşımı veya sirkülasyonu denir. Soğutmanın arttırılabilmesi için yağın temas ettiği soğutma yüzeyinin yani yağ kazanınının dış yüzeyinin büyütülmesi gerekir. Bunun için transformatör güçleri göz önünde tutularak çeşitli yöntemler uygulanmaktadır.

Küçük güçlerden büyük güçlere doğru sıralayacak olursak, düz cidarlı, perdeli cidarlı dalgalı saç cidarlı, borulu olmak üzere çeşitli tip radyotörler geliştirilmiştir.



Şekil 14.2 a)- perdeli cidarlı, b)- dalgalı cidarlı, c)- borulu kazanların kesitleri görülmektedir.

Doğal yağ dolaşımli sistem, bütün soğutma türlerinin en basiti ve en sessiz çalışanıdır. Ayrıca bu sistem en fazla güvenlik sağlayan ve en az bakım gerektiren bir sistem olarak değerlendirilirler. Doğal yağ dolaşımı ile soğuyan transformatörler 10000 KVA güce kadar yapılır. Daha büyük güçlerde doğal yağ dolaşımli soğutma yeterli olmadığından zorlamalı (cebri) soğutmağa geçilir. Zorlamalı soğutma hava veya suyla yapılır/2/3/.

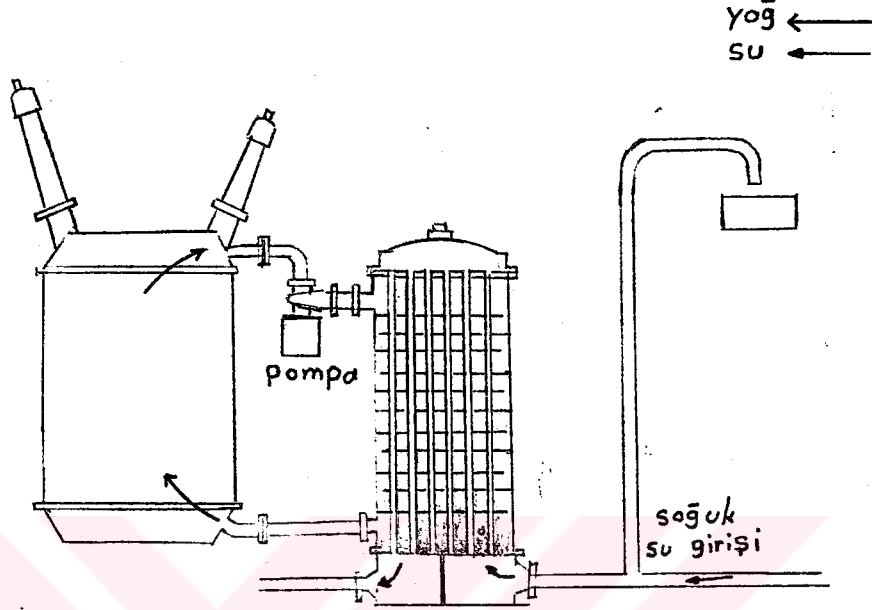
14.3. Su ile Soğutma Ve Özellikleri.

Su ile soğutma, işletme süresince devamlı su sağlayabilen yerlerde uygulanır. Örnek olarak termik ve hidroelektrik santrallerini gösterebiliriz. Bu gibi yerlerde santralin soğutma suyu sisteminden faydalanarak soğutma yapılır. Su ile soğutma iki şekilde yapılır.

1. Transformatör yağ kazanının üst kısmına, yağın en sıcak olduğu bölgeye, sipiral şeklinde su boruları yerleştirilir, içlerinden su geçirilir. Bu tür soğutmada soğutucu, kazanın içine yerleştirilmiştir. Soğuyan yağ doğal sirkülasyonla kazan içinde hareket eder.

2. Transformatörün yağ kazanı borularla, içinde yağın su ile soğutulduğu bir soğutucuya bağlanır. Küçük bir pompa yağın dolaşımını sağlar. Bu tür soğutmada soğutucu kazanın dışındadır. Şekil (14.3) de bu tür bir soğutma sistemi görülmektedir. Soğutma sistemi aşınmaya karşı korunmalı ve yağın içine su girmemelidir. Sistemin içinde ise yağın basıncı, soğutma suyunun basıncından fazla olmalıdır. Soğutma boruları, suyun özelliğine göre çelik, alüminyum, bakır veya bakır alaşımlarından yapılırlar. Kamanla boruların iç yüzeylerinde taşlaşma ve çamur birikintileri oluşur. Bu birikintilerin zaman zaman temizlenmesi gerekir. Temizlenmesi gerekir. Temizlenmeyen bu birikintiler ısı iletimini zorlaştırıldığından soğutma işlemi zorlaşır. Bu özellik göz önünde tutularak soğutucuların güçlerinde anma gücünün % 25 fazlası güvenlik payı olarak alınır. Suyun ısı kapasitesi büyük olduğundan çok iyi soğutma yapılabilir. Bu bakımdan

su ile soğutulan transformatörlerin boyutları ve ağırlıkları küçüktür. Ayrıca kayıpları az olup, çalışma sıcaklıkları oldukça düşük ve ömürleri uzundur/2/3/.



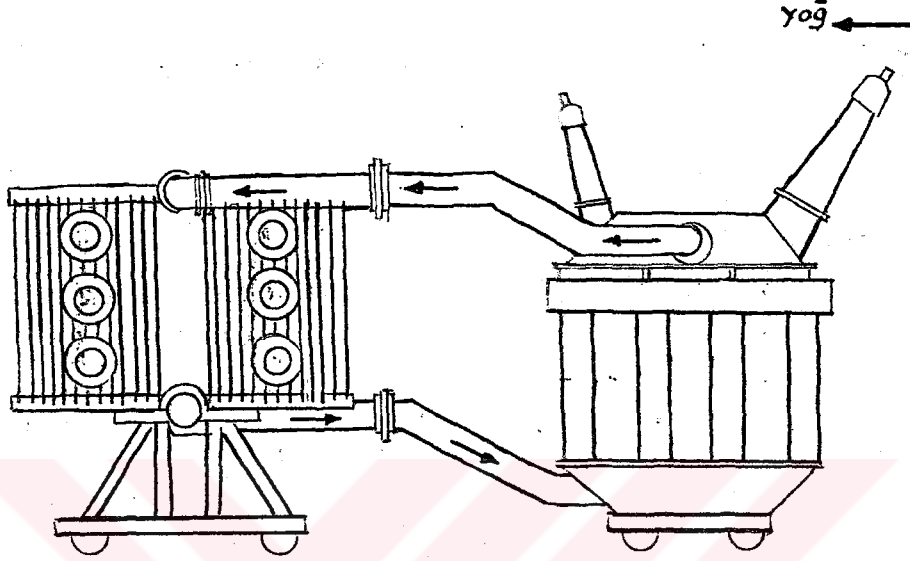
Şekil 14.3 su ile soğutulan bir transformatörde yağ ve su akış diyagramı.

14.4. Hava ile Soğutma.

Hava ile yapılan zorlamalı soğutma iki şekilde uygulanır.

1. Vantilatör yardımı ile: Bu durumda hava, transformatörün yağ kazanına ve radyatör cidarlarına üflenir. Radyatörler transformatör kazanına doğrudan takılabildikleri gibi ayrı bir grup olarak da yerleştirilebilir. Şekil (14.4) de radyatörleri ayrı yerleştirilmiş ve vantilatörlerle soğutulan doğal yağ dolaşımı bir transformatörün yağ dolaşım şeması görülmektedir. Bu tür soğutmada transformatör anma gücünün altında bir güçle çalıştığında doğal olarak soğuyabiliyorsa vantilatörler çalışmaz. Bu sınır anma gücünün yaklaşık % 60 ıdır. Yani transformatör, anma gücünün % 60 ına kadar, doğal olarak soğutmaktadır. Anma gücünün % 60 ilâ % 100'ü arasında çalışırsa sıcaklık artacağından vantilatörlerin bir kısmı otomatik olarak çalışıp soğutma yaparlar. % 100 ün üzerinde bir güçle çalıştığında başka bir grup vantila-

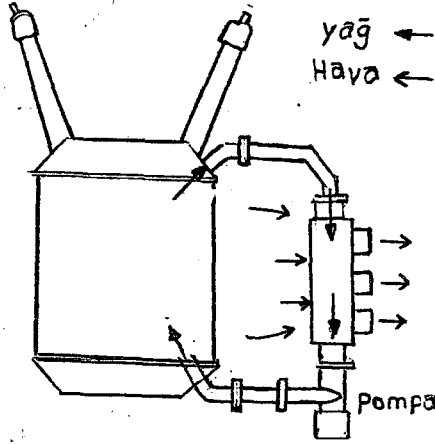
tör daha devreye girerek, aşırı yükten doğan ısınmayı önler. Görüldüğü gibi vantilatörlerin çalışması ile radyatörlerin soğutma gücü iki katına çıkmaktadır. Vantilatörler kullanılmazaydı aynı soğutmayı sağlamak için, radyatör sayısını iki katına çıkartmak gerekcekti.



Şakil 14.4 Radyatörleri ayrı yerleştirilmiş ve vantilatörlerle soğutulan doğal yağ dolaşımli bir transformatörde yağ dolaşım şeması.

2. Transformatör yağının doğal dolaşım hızını arttırmak için radyatörle kazan arasında pompa konur. Transformatör kazanının üst kısmından emilen sıcak yağ, vantilatörlerle soğutulan radyatörler içinden geçirilir. Soğuyan yağ dolaşım yolunda bulunan pompa ile kazanın alt kısmına yeniden basılır.

Yağın pompa ile zorlamalı dolaşımı, güçleri 5000 KVA den büyük transformatörlerde uygulanır. Çok büyük güçlerdeki transformatörlerde sargılar arasında ve nüve içinde bırakılan yağ kanallarından, pompadan gelen soğuk yağ basılarak ısının yağa geçmesi hızlandırılmıştır. Sargıların ve nüvenin yağla direkt olarak soğutulması, soğuma sisteminin daha hafif ve boyutlarının daha küçük olmasını sağlar/2/.



Şekil 14.5 Zorlamalı hava soğutmalı ve zorlamalı yağ dolaşımli bir transformatörün prensip şeması.

14.5. Transformatörlerin Konuldukları Alanın Özelliği Ve Havalandırılması.

Transformatörlerde S_N anma gücü $\cos \varphi = 1$ e göre verim,

$$\% \eta = 100 - \frac{V_t \cdot 100}{S_N} \quad \text{Kcal / h} \quad (14.1)$$

dir.

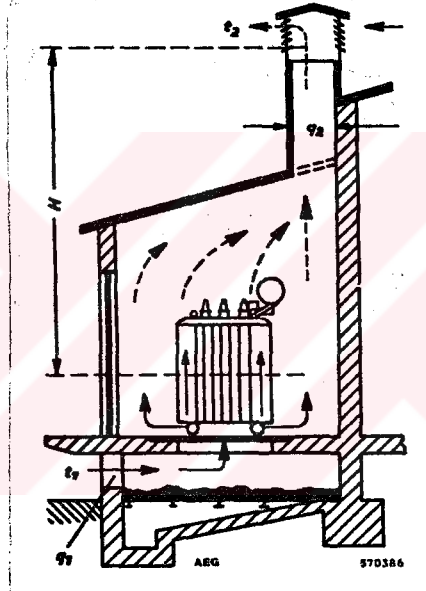
$$V_t = 860 \cdot S_N (1 - \eta) \quad \text{dır.} \quad (14.2)$$

Eğer $\eta = 0,98$ kabul edilirse, bu durumda transformatörün ısı kaybı,

$$V_t = 860 \cdot S_N (1 - 0,98) = 17,2 \quad \text{Kcal/h}$$

olur. Bu ısı, (OS) ve (OF) transformatörlerde dış cıdarlardan çevreye aktarılmalıdır. Bu durumda eğer transformatör kapalı yerde (oda) konulmuşsa, soğuk havanın içeriye girmesi ve sıcak havanın oda dışına çıkabilmesi için odaya özel bacalar yapılmalıdır. "V.D.E 0532" kurallarına göre transformatörlerin konulduğu odanın maksimum sıcaklığı, transformatörün yüksekliğinin yarısında 35° yi geçme-

melidir. Odanın baca ve hava giriş kanalının çapını hesaplar- larken, transformatörden çıkan ısının bir miktarının oda ısıtmaya ve bir miktarının da tavan ve duvarlardan emildikten sonra, geri kalanın doğal bir şekilde dışarıya çıkmasına dikkat edilmelidir. Bu nedenle 100 KVA den küçük güçlerde tavan ve duvarların normal nem ve soğukluğu transformatörü soğutmaya yeterlidir. Ama büyük güçlü transformatörlerde, ayrıca bir kaç transformatörün bağlı olduğu aynı odada, odanın sıcaklığı tavadan yapılacak olan özel bacadan çıkarılmalı ve transformatörün altından soğuk hava odanın içine girmelidir/6/.



Şekil 14.6 Transformatör odasının görünüşü.

14.5.1. Doğal Hava ile Soğutulan Odanın Boyutlarının Hesabı.

Bilindiği gibi trafodan çıkan ısı (V_t) nın belli bir miktarı tavan ve duvarlardan emildikten sonra geri kalanı doğal bir şekilde dışarıya çıkar. Budurumda,

$$V_t = V_f + V_h \quad \text{Kcal/h} \quad (14.3)$$

$$V_h = V_t - V_f$$

V_h = Bacadan çıkan havanın miktarı.

Tavan ve duvarlardan emilme yolu yardımı ile dışarıya çıkan havanın miktarı,

$$V_f = K.X (t_2 - t_1) \quad (14.4)$$

T_1 : Taze havanın sıcaklığı C°

T_2 : Odanın normal sıcaklığı C°

X : Duvarların ve tavanın yüzeyleri m^2

K : Tavan ve duvarların hava geçirgenlik miktarı. $Kcl/m^2 C^\circ h$

Örnek olarak tuğlanın K katsayısı

$$K = 1,72 \quad Kcl / m^2 \cdot C^\circ \cdot h$$

olmaktadır. Sıcaklık farkından doğan ve bir saate bacadan dışarıya çıkan havanın hacmini

$$Q_2 = \frac{V_h}{C_p(t_3 - t_1)} \cdot (1 + \alpha t_3) m^2/h \quad (14.5)$$

T_3 : Bacadan çıkan havanın sıcaklığı C°

C_p : Normal havanın sıcaklığı (Normal basınç ve hava sıcaklığında $C_p = 0,31 \text{ Kcl}/m^2 \cdot C^\circ$)

α : Sıcaklık genişleme kat sayısı ($\alpha = 0,0037 \text{ l}/C^\circ$)

Transformatörlerin konulduğu odanın hava giriş ve çıkış bacasının ölçülerini hesaplarken giriş bacasını % 10 çıkıştan küçük seçilmelidir.

$$q_2 = \frac{Q_2}{3600.V} m^2 \quad (14.6)$$

V : Oda içindeki havanın hızı m/s

Doğal hava delişiminin hızı aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

1. Odaya giren ile çıkan havanın sıcaklığının farkına bağlıdır.
2. Havanın giriş ile çıkış kanallarının (bacanın) bir birine olan konumuna ve aralarındaki mesafeye bağlıdır. Şekil (14.5)

Eğer odaya giren havanın sıcaklığı 25° ve bacadan çıkan havanın sıcaklığı 40° olursa, odanın hava sirkülasyon hızı aşağıdaki cetvelden bulunabilir.

H(m)	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30
V(m/s)	0,8	0,9	1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2	2,3

Cetvel 14.6

Odanın ortalama havasının sıcaklığı 35° temiz havanın (odanın dışındaki havanın) sıcaklığı 25° ve bacadan çıkan havanın sıcaklığı 40° ise duvarlar tarafından emilen havanın sıcaklığı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$V_f = K \cdot X (t_2 - t_1) = 1,72 \cdot X (35 - 25) = 17,2 \cdot X \text{ Kcl/h}$$

ve bir saat içinde bacadan çıkan havanın miktarı,

$$Q_2 = \frac{V_t - V_f}{C_p (t_3 - t_1)} \cdot (1 + \alpha t_3) = \frac{17,2 \cdot S_N - 17,2 \cdot X}{0,31 \cdot 15} (1 + 0,0037 \cdot 40)$$

$$Q_2 = 17,2 (S_N - X) \cdot 0,247 = 4,25 (S_N - X) \text{ m}^2/\text{h}$$

olur. Burada bacanın genişliği ise,

$$q_2 = \frac{Q_2}{3600 \cdot V} = \frac{4,25 (S_N - X)}{3600 \cdot V} = \frac{1}{846} \cdot \frac{S_N - X}{V} \text{ m}^2$$

q_2 : Bacanın işe yarayan genişliği.

Bütün odaların önüne tül veya ızgara konulduğundan, bacanın normal genişlik hesabına % 25 ila % 50 eklenmesi gerekir. Eğer bacanın hesabını yaparken $q_2 = 0$ çıkarsa ki, (genelde küçük güçlü transformatörlerde) çıkar. Transformatörden çıkan ısı tavan ve duvarlar tarafından emilmiştir. Trafo bu şekilde soğumuş olur. Böyle bir durumda bile odaya küçük bacaların yapılması gerekir. Eğer trafo odası metalden ise, metalin hava geçirgenlik katsayısı,

$$K = 4,3 \text{ Kcl} / \text{m}^2 \cdot \text{C}^{\circ}$$

dır. Bu değer tuğla duvarın 25 katıdır. Bu nedenle metal odalarda büyük baca yapılmasına gerek kalmıyacaktır. Ayrıca bacası kuzeye doğru olursa, bacanın hesaplara göre % 25 daha küçük olması gerekir.

Not: Bütün bu hesaplar transformatörün günde 24 saat çalıştığı zaman geçerlidir. Eğer transformatör günün bir çok saati yükünden daha az bir yükte çalışıyorsa, yapılan kanal ve bacaların boyutlarının çıkan hesaptan biraz daha küçük tutabiliriz.

Örnek. 1: Bir trafo odasında 630° ar KVA gücünde iki trafo bağlıdır. Odanın boyutları 3.3 m ve yüksekliği 4 m ol-

maktadır. Ayrıca iki bacanın birbirine olan mesafesi 6 m dir. Trafonun verimi $\eta = 0,98$ ise baca ve kanalların boyutlarını hesaplayınız.

Odanın doğal havalandırılması için gereken hava,

$$Q_2 = 4,25 \cdot (S_N - X)$$

odanın yararlı yüzeyi,

$$X_1 = 1.3.4 = 12 \text{ m}^2$$

$$X_2 = 2.3.4 = 24 \text{ m}^2$$

$$X_3 = 3.3 = 9 \text{ m}^2$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 12 + 24 + 9 = 45 \text{ m}^2$$

Not: Burada X_1 duvarı iki trafonun arasındaki bölme olup ve her iki trafo tarafından ısındığına göre bir defa hesaplanır.

Bir saat içinde bacadan çıkan havanın miktarı,

$$Q_2 = 4,25 (630 - 45) = 2480 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$H = 6$ m de havanın hızı cetvel (14.6) dan seçilir. $V = 1 \text{ m/sec}$ ve bacanın yüzeyi (işe yarayan genişliği),

$$q_2 = \frac{Q_2}{3600 \cdot V} = \frac{2480}{3600 \cdot 1} = 0,69 \text{ m}^2$$

bulunur.

14.5.2 Nomogram Cetveli Üzerinden Oda Hava Bacasının Kesit Hesabının Bulunması.

Şekil (14.7) deki nomogram cetveli yardımı ile, transformatör odasının baca kesitinin hesabını daha çabuk ve doğru yapabiliriz. Burada

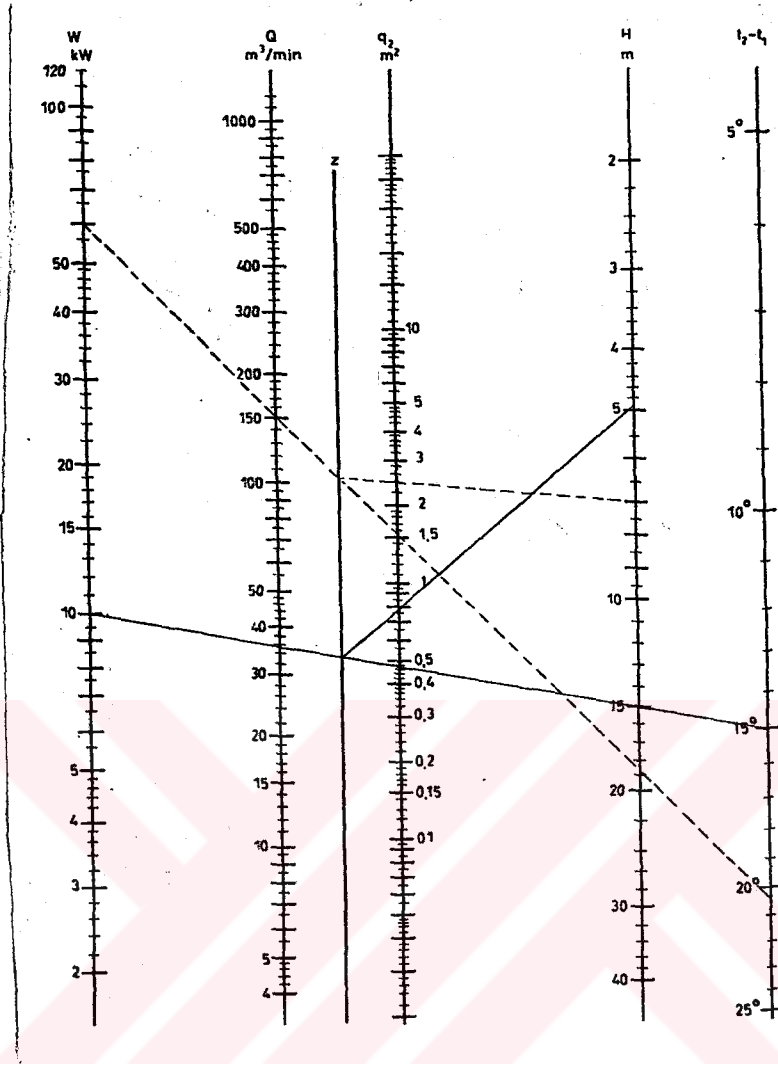
q_2 : Hava bacasının kesit eksenini m^2

W : Isı kayıp gücü eksenini KW

t_2 : Odanın hava çıkış bacasından çıkan havanın sıcaklık derecesini gösteren eksen $^\circ\text{C}$

t_1 : Oda giriş bacasından giren havanın sıcaklık derecesini gösteren eksen $^\circ\text{C}$

H : Odadaki baca ile transformatör yüksekliğinin yarısına kadar olan mesafeyi gösteren eksen m



Nomogram çetveli 14.7 trafo odasının özelliklerini seçerken hesaplamalarda kullanılır.

Örnek.2: Transformatörün ısı kayıp gücü $W = 10$ KW ve odanın $H = 5$ m, $t_2 - t_1 = 15$ C° dır. Odaya giren hava miktarını ve bacanın kesitini bulunuz. $Q = ?$ $q_2 = ?$
Çözüm: Cetvel (14.7) ye bakarak, $t_2 - t_1$ ekseninde 15° noktasını W eksenindeki $W = 10$ KW noktasına bir çizgi çizerek birleştiririz. Bu çizgi Z yardımcı ekseninden geçip, Q eksenini belli bir noktada kesecektir. Bu noktadaki değer Q nun değerini belirtmektedir. Daha sonra Z yardımcı eksenini kestiği noktada H eksenindeki $H = 5$ m noktasına ikinci bir çizgi ile birleştiririz. Bu çizgi q_2 eksenini belli bir noktada kesecektir. Bu nokta q_2 değerini bize verir. $q_2 = 0,78$ m²

Örnek.3: Anma gücü $S_N = 2,5$ MVA ve ısı kayıp gücü $W = 37$ KW özelliğinde bir transformatör konulması için oda bulunmaktadır. Bu odaya $S_N = 5$ MVA ve $W = 60$ KW lık bir başka transformatör bağlanacaktır. Odanın $H = 7$ m ve $q_2 = 2,4$ m² olduğunda sıcaklık farkını bulunuz. ($t_2 - t_1 = ?$).

Çözüm: Cetvel(14.7) ye bakarak, H ekseni üzerinde $H=7$ m noktasından q_2 eksenindeki $q_2 = 2,4$ m² noktasını kesmek üzere bir çizgi çizeriz. Bu çizgi Z yardımcı ekseninin bellibir noktasından geçecektir. Bu noktadan W eksenini $W = 60$ KW noktasında kesecek şekilde diğer bir çizgi çizeriz. Bu çizginin devamı $t_2 - t_1$ ekseninin belli bir noktasından geçecektir. Bu nokta odanın sıcaklık farkını verir ($t_2 - t_1 = 21$ C°) /6/.

15. TRANSFORMATÖRLERDE KULLANILAN YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ VE YALITKANLIK KONTROLÜ.

Transformatörlerde hem yalıtma hemde soğutma görevini yapan yağlar, genellikle hem petrolün arıtma ve distilasyonundan (saflaştırma) elde edilen madeni yağlardır. Böylece transformatör yağı, onun saflaştırma derecesi ve bileşikleri açısından değişik özelliklere sahiptir. Ayrıca madeni yağ, soğutuculuk özelliğinin yanı sıra konveksiyondan dolayı elektriksel özellikler de taşır. Fakat yüksek sıcaklıkta dayanıklılığını kaybeder, ayrışır ve yanıcı olur.

Yağlar yüksek sıcaklıkta oksijeni ile tepkimeye (reaksiyona) girip, oksitlenir. Bunun en açık örneği transformatörlerin duvarına ve diplerine veya sargıların etrafına yapışan siyah renkli pisliklerdir. Bu gibi siyah kalıntılar, yağların ve transformatörlerin bozulmasının başlangıcı değil, bozulduğunun göstergesidir.

Reaksiyona giren bu yağ oksidasyon başlangıcında çözülür ve asit meydana gelir. Yüksek sıcaklıklarda yağ moleküllerinin zinciri bozulup, oksijen ile bağlanır ve bir keton veya aldehid yada asit kökü olan bir bileşik oluşur. Bazen de reaksiyon sonucu sabun oluşabilir. Bunun için transformatör yağı en azından yılda bir defa asitlik ve sabun açısından ölçülmeli ve asit miktarı belirlenmelidir. Çünkü bu asitler transformatörün elektrik dayanma gücünü azaltıp ve sargı izalasyonunu bozarlar.

Deney sonucu ölçülen asit miktarı transformatör yağını

değiştirmeye yeterli değil, fakat nitelik olarak değerlidir. Çünkü o andaki yağın durumunu belirtir.

Madeni yağlar ayrıştıklarında çeşitlerine göre değişik asitler meydana getirirler. Bu asitlerin etkileri transformatör üzerinde farklıdır. Asitler polimerize olarak farklı maddeler meydana getirirler. Bu maddeler yüksek sıcaklıkta yağın içinde yüzerler aynı zamanda zararsızdırlar. Fakat normal sıcaklıkta yağdan ayrılıp katı halde jelimsi vaks (boya) gibi dibeye çökerler. Böylece çöken madde, sargıların ve çekirdeğin etrefini sarıp o noktada sıcaklığın yükselmesine neden olurlar/3/.

15.1. Transformatörlerde Kullanılan Yağların Özellikleri.

Kullanılacak yağ madensel ve saf olması, içinde asit, baz ve su bulunmamalıdır. Nitelik olarak yağ iki yolla tanınabilir.

1. Yalıtkanlık değeri: Elektriksel deneylerle, yağın elektrik dayanıklılığı KV/cm olarak ölçülür ve yağ içindeki su miktarı belirlenir.
2. Eskilik derecesi: Yağın eskiliği transformatörün içindeki oluşan pislik (çökelti) lerle belli olur. Bazı deneylerle yağın asit ve sabun miktarını ölçmekle sonuç ortaya çıkar. Bu testler 30 KV dan az olan transformatörler için yılda bir defa, 30 KV dan yüksek olanlar için ise 2 defa yapılmalıdır.

Özellik olarak aşağıdaki faktörlere dikkat edilmelidir.

1. Özgül ağırlığı: Transformatör yağının özgül ağırlığı 20 C° de 0,920 den yüksek olmamalı ve yağı 0 C° altına inebilen transformatörlerde de bu değer 20 C° de 0,895 den yüksek olmamalıdır. Çünkü bu durumda oluşan buz tabakaları yağ deposunun alt kısmına iner ve yağ dolaşımı zorlaşır.
2. Donma noktası: Transformatör yağının donma noktası -15 C° den yüksek olmamalıdır. Özellikle güç anahtarlarında

bu değer -40 C° dan fazla olmamalıdır. Çünkü ısıtmak için herhangi bir olanak bulunmamaktadır.

3. Akıcılığı (viskozitesi) 20 C° da 38 (cs) santistokes den daha fazla olmamalıdır.

4. Alevlenme noktası: Kapalı kapta 146 C° dan aşığı olmamalıdır.

5. Tortu değeri: Yağ ağırlılığının 0,012 sinden çok olmamalıdır.

6. İşletmeye alınacak yeni transformatör yağının delinme gerilimi 200 KV/cm den az olmamalıdır. Bu değer daha küçük ise, yağın temizlenip kurutulması veya yenilenmesi gerekir. İşletmedeki 30 KV ilâ 380 KV arasındaki transformatörlerin yağlarının delinme gerilimleri 80 ilâ 160 KV/cm arasında olmalıdır/3/.

15.1.1. Çalışma Halindeki Transformatörün Yağ Durumu.

Çalışma esnasında yağın asit miktarı 0,6 mg (KOH) ve sabun miktarı 1,5 mg KOH dan fazla, ayrıca elektriksel dayanıklılığı 80 KV/cm den az olmamalıdır. Eğer yağın özellikleri değişirse ve elektriksel dayanıklılığı 80 KV/cm den az olursa, yağ değişmelidir. Transformatöre yeni yağ doldururken elektriksel dayanıklılığı 125 KV/cm den az yağ kullanılmamalıdır/3/.

15.1.2. Saflandırılmış Yağın Özelliği.

Transformatörün eski ve kullanılmış yağ rafine edilirse tekrar kullanılır. Fakat rafine olduktan sonra asit miktarı 0,03 mg KOH ve sabun miktarı 0,12 mg KOH olmamalıdır /3/.

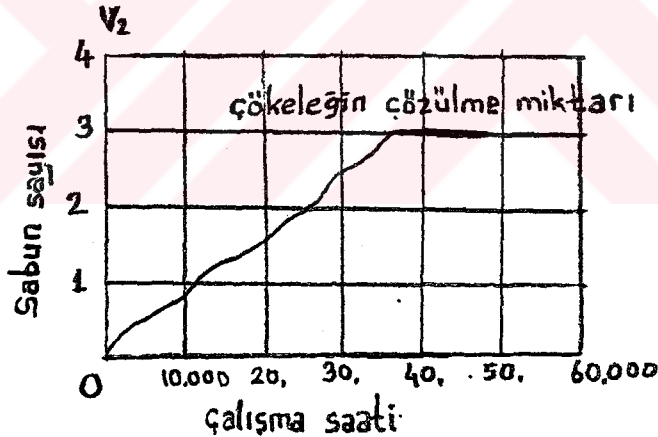
15.1.3. Yeni Yağın Özelliği.

Taze yağın asit miktarı 0,05 mg KOH ve sabun miktarı 0,15 mg KOH dan fazla olmamalıdır. Fakat transf armatör yağla dolu ise asit miktarı 0,08 mg KOH ve sabun miktarı

0,2 mg KOH olabilir. Bu değerleri kimyasal metod (KOH in titrasyonu ile) kolayca bulunabilir.

Kullanılan transformatör yağının asit miktarı birinci yılda 0,06 ve ikinci yılda 0,15 mg KOH fazla olmamalıdır. Sabun miktarı ise birinci yılda 0,3 ve ikinci yılda 0,45 mg KOH dan yüksek olmamalıdır. Şekil (15.1) de transformatör yağının çalışırken yıllara göre sabun miktarının yükseldiğini göstermektedir.

Transformatör çalışır halde iken, 36000 saat sonra yağda ayrışma başlar ve çökelek oluşur. Bu durumda yağın değişmesi gerekir. Şekil (15.1) e göre hemen hemen dört sene bir transformatör yağı değişmeden kullanılabilir. Bu süre sonunda değiştirmeden önce, yağı bir miktar benzin ile karıştırılır. Çökelek benzinde çözülmediği için yağın kirli olup olmadığı anlaşılır.



Şekil 15.1 Transformatör yağının çalışma esnasında sabun miktarının yükselmesini göstermektedir.

15.1.4. Yanmayan Yağlar.

Madeni yağların yanıcı olması ve değişen sıcaklıklarına göre oksitlenmeleri ve bundan dolayı çökelek meydana gelmesi, ve özellikle kapalı yerlerde yangın çıkma tehlikesinden dolayı, transformatörlerde yanmayan yağ tercih edilir. Bu yağlar çeşitli isimlerde ve değişik ülkeler tarafından yapılmaktadır.

Almanya	Glophen
İngiltere	Py raclor
Fransa	Pyralene
Amerika	Askarel- Pyranol
İsveç	Nepolin

Adlarında piyasada bulmak mümkündür. Yanmayan yağlar genellikle Difenil (Diphenyl) $C_{12}H_{10}$ dan elde edilir. Difenilin ayrışımında, hidrojen (H) atomlarının yerine klor (CL) bağlanır. Fiziksel özelliğinin iyi olmasını sağlamak için triklor benzol (Trichlorbenzol) $C_6H_3Cl_3$ karıştırılır. Elde edilen yağ fiziksel ve elektriksel (kıvılcım-sıcaklık) olarak ayrışır, H açığa çıkar. Açığa çıkan H klor (CL) ile reaksiyona girip, klorik asit (HCL) meydana getirir ve ortamdan uçarak uzaklaşır.

Yanmayan yağlar kimyasal olarak sabit özelliklere sahiptirler. Böylece tehlikeli gazlar oluşturmazlar. Oksidlenmeyen ve polimerize olmayan, yüksek sıcaklıklarda bozulmayan, pratik olarak eskimeyen yağlardır. Normal yağlar görünüş bakımından birbirine benzerler. Normal yağla doldurulmuş olan bir transformatörde, yağ değişiminde yanmayan yağ kullanılmamalıdır. Çünkü sargıların, kağıt ve ağaç parçalarının arasında kalan normal yağ yanmayan yağla birleşir ve elektriksel özelliğini azaltır hatta bozabilir.

Laklar, kauçuklar ve bunların ürünleri yanmayan yağda çözünürler fakat selüloz, kağıt, pamuk telleri, sapan pres yanmayan yağlarda çözünmezler.

Yanmayan yağla çalışan transformatörler kapalı bir ortamda kullanılıyorsa, ortamın havası gaz buharları ile kirlendiği için sürekli havayı temiz tutmak gerekir. Ayrıca iki yılda bir, bu yağlar şeffaflık ve elektriksel dayanıklılık bakımından kontrol edilmelidir/3/.

16. TRANSFORMATÖRLERDE KULLANILAN KORUMA RÖLELERİ

Transformatörleri işletme sırasında oluşacak arızalardan korumak için çeşitli koruma sistemleri geliştirilmiştir. Küçük güçlü transformatörler aşırı yük ve kısıadevre akımlarına karşı çoğu zaman eriyen telli güç sigortaları ile korunurlar. Daha büyük güçlü transformatörler ise, üzerinde aşırı akım röleleri bulunan güç şalterleri (kesiciler) ile korunurlar. Transformatörlerin iç arızalarına karşı alınan bu önlemler yeterli değildir. Sarımlar arasındaki kısa devre, bobinlerin bölgesel ısınmaları, gerilim atlamaları gibi arızalar büyüyüp aşırı akımlara neden olabilecek durumlara gelmedikçe yukarıda adı geçen sistemler çalışmazlar. Bu tür iç arızalardan korumak için BUCHHOLZ rölesi, DİFERANSİYEL röle ve sıcaklık kontrol cihazları v.s leri kullanılır.

Buchholz rölesi elektiriksel büyüklüklerin (gerilim, akım v.s) ölçülmesi veya kontrolu prensibine göre değil, yağın bir arıza sırasında gösterdiği tepkilere göre çalışır. Bu nedenle yağla soğutulan makinalarda kullanılmaktadır.

Başka bir özelliği ve öteki sistemlere göre üstünlüğü ise, arızayı henüz zararlı duruma gelmeden, oluştuğu anda bildirmesidir/2/.

Rölenin çalışmasına sebep olan nedenler: Çekirdekle transformatörün diğer kısımları arasında çıkabilecek olan ark, toprakla kısıadevresi, sargılar arasındaki kısıadevreler, bir fazın kesilmesi, demir kısımların yanması, yağ kazanından veya ona bağlı olan borulardan yağın damlamasını ve yağ seviyesinin azalmasını sayabiliriz/3/.

16.1. BUCHHOLZ Rölesinin Yapısı Ve Çalışma Prensipleri.

Buchholz rölesi, kutu biçimindeki bir gövde içine üst-üste yerleştirilmiş O1 ve O2 milleri etrafında dönebilen iki metal şamandıra ve şekilde (b_1 ve b_2) ile gösterilen, bunların kumanda etkileri C_1 , C_2 kontaklarından oluşur. Şekil (16.1.a.b) de bu durum gösterilmiştir.

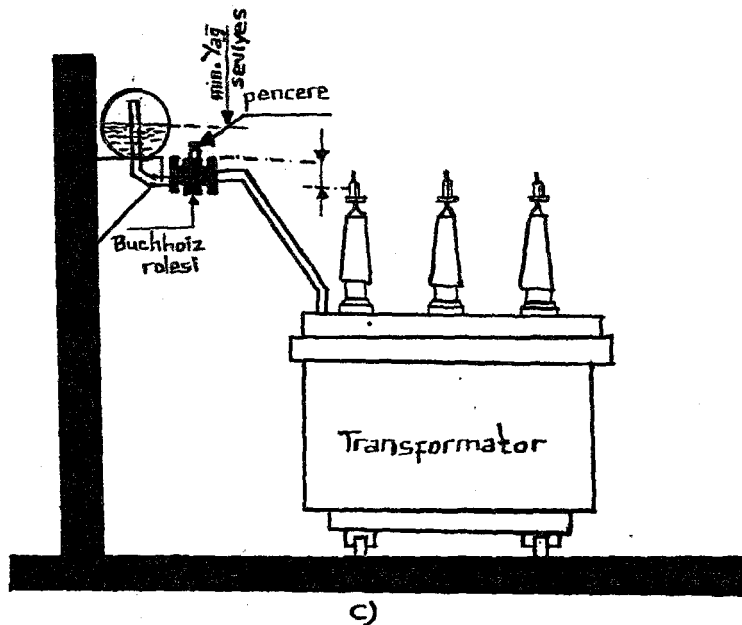
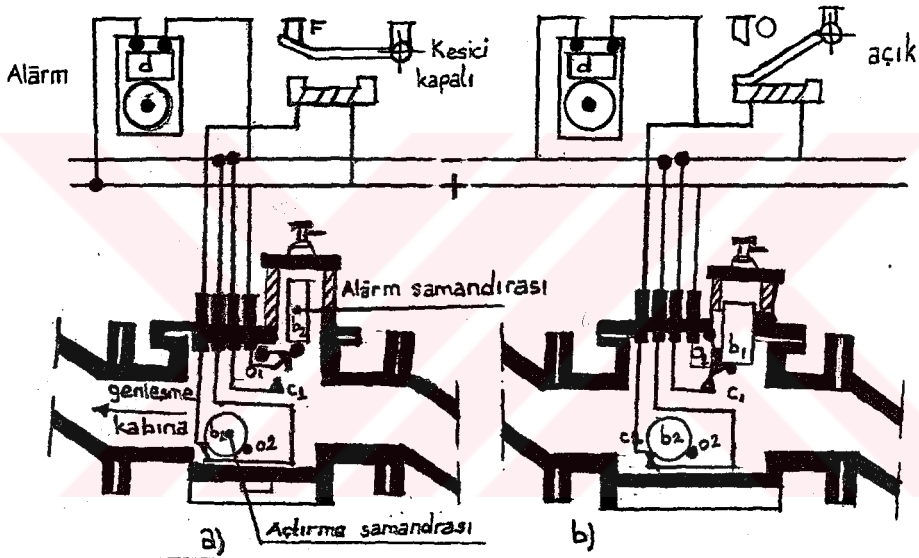
Kontaklardan herbiri bir akım devresini kapatır veya açık tutar. C_1 kontağı, devresindeki alarm ziline kumanda eder. C_2 kontağının akımı ise, kesicinin kumanda düzeyini harekete geçirir.

Normal işletme sırasında her iki şamandıra, yağın kaldırma özelliğinden dolayı yukarıya kalkık durumdadır. Şekil (16.1.a) da bu durum görülmektedir. Küçük arızalarda, örneğin izolasyon bozukluklarından dolayı iç atlamalar veya bölgesel ısınmalar v.s gibi, yağın içinde gaz kabarcıkları oluşur. Bu gaz kabarcıkları yağ kazanı içinde yükselerek genişleme kabına giderken Buchholz rölesinin üst kısmında toplanır. toplanan gazın az veya çok olmasına ve toplanma hızına göre şamandıra yavaş veya hızlı olarak aşağıya iner. Belirli bir gaz birikiminde C_1 kontakları kapanır ve (d) alarm zili uyarı sinyali verir. Şekil (16.1.b) de bunu görüyoruz. Bu tür küçük arızalardan oluşan gazın ve yağ akımının hızı C_2 kontağını kapatacak düzeye ulaşmaz. Transformator kazanında bir yağ kaçağı olduğunda bu röle aynı şekilde alarm sinyali verir.

Büyük arızalarda (sipirler arasında kısadevre veya sar-gılar ile gövde arasındaki kaçaklar) oluşan hızlı sıcaklık artışından dolayı kazan içindeki basınç birden bire artar. Kazandan genişleme kabına doğru darbe şeklindeki süratli yağ akışı, röle içindeki b_2 şamandırasını iterek C_2 kontağının kapanmasını sağlar. Böylece transformatorün beslendiği akım devresi üzerindeki otomatik kesicinin kumanda düzeyini harekete geçirerek transformatorü devre dışı bırakır. Bu durum şekil (16.1.b) de 0 ile gösterilmiştir. Transformator izolatörlerinde (Büşing) biri bırakacak olursa aynı şekilde devre

açılır. Genleşme kabındaki yağ seviyesi çok düşecek olursa, önce b_1 şamandırası çalışarak alârm sinyali verir. Yağ daha da azalır b_2 de çalışır ve kesiciyi açtırır.

Görüldüğü gibi Buchholz rölesinin çok güvenilir bir şekilde ve çabuk olarak iç arızaları bildirmesine rağmen, etki alanı yağ ile direkt teması olan kısımlarla sınırlanmıştır. Bunun için büyük güçlü transformatörlerde Buchholz rölesi ile birlikte Diferansiyel koruma rölesi de kullanılır. Böylece transformatör kazanının dışındaki arızalara karşıda korunmuş olur/2/3/.



Şekil 16.1 Buchholz rölesinin elektriksel kumanda devreleri a, b ve c Buchholz rölesinin devredeki yeri.

16.2. Diferansiyel Koruma Rölesinin Çalışma Prensipleri.

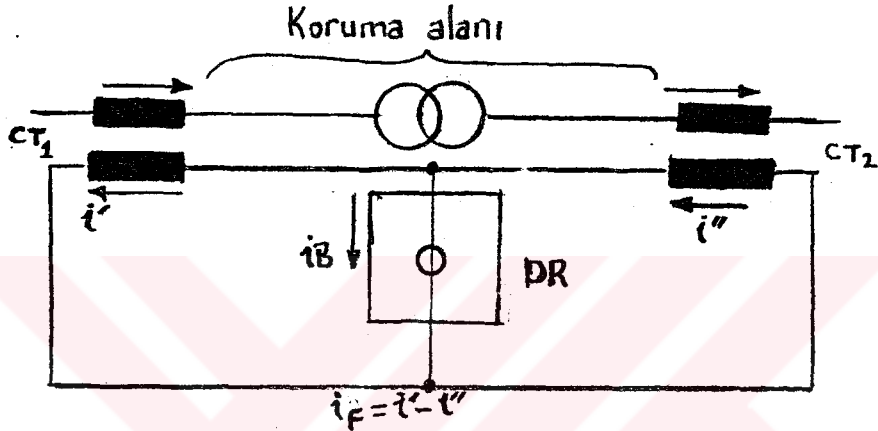
Rölenin çalışmasını gösteren basit bir prensip şeması şekil (16.2) de görülmektedir. Şekilde,

C_t : Akım transformatörü

D_r : Diferansiyel röle

I_f : Fark akımı

i' , i'' : Sekonder akımları

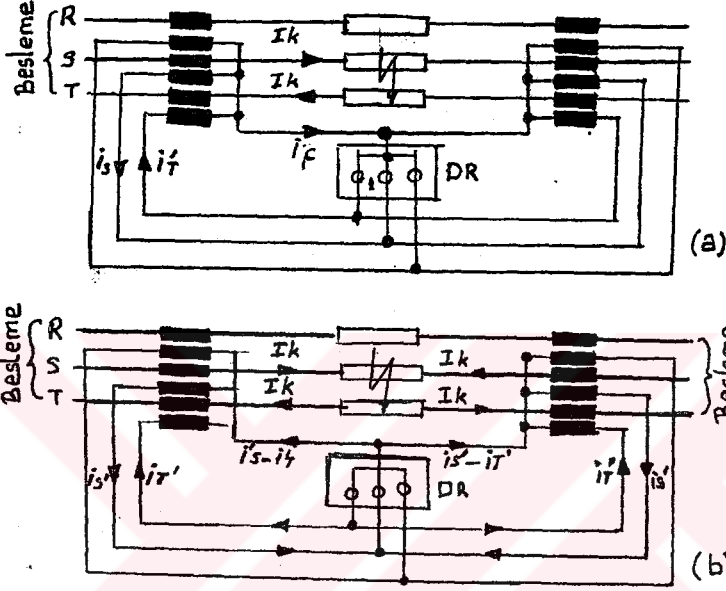


Şekil 16.2 Diferansiyel rölenin çalışma prensibi

Bu röleye gerçek anlamı ile akım karşılaştırma rölesi de denir. Adından da anlaşıldığı gibi, bu koruma sisteminde korunacak transformatörün primer ve sekonder devrelerinden geçen akımlar birbirleri ile karşılaştırılır. Rölenin koruma alanını sınırlayan C_{t1} ve C_{t2} akım transformatörlerinin sekonderleri birbirine seri olarak bağlanmıştır. Diferansiyel röle (D_r) bu iki transformatörün arasına yerleştirilmiştir.

Matasız işletme sırasında transformatörlerin akımları ($i' = i''$) eşit olduğundan diferansiyel röle üzerinden geçen fark akımı ($i_f = i' - i'' = 0$) sıfırdır. Koruma alanı içindeki bir kısadevre veya gövdeye bir kaçak olduğunda bu arızalı kısım, tek taraftan beslenir. Şekil (16.3.a) da görüldüğü gibi, kısadevreyi besleyen taraftaki akım transformatörünün sekonder akımı, devresini Diferansiyel röle üzerinden tamamlar ve açtırma yaptırır.

İki taraftan beslenen kısa devrelerde şekil (16.3.b) her iki transformatörün sekonder akımlarının farkları röleden geçmek zorundadır. Çünkü akımlar eşit olsalar bile yönleri birbirine zıttır. Bu nedenle diferansiyel röle üzerinden, sekonder akımlarının yaklaşık aritmetik toplamına eşit bir akım geçer /2/.

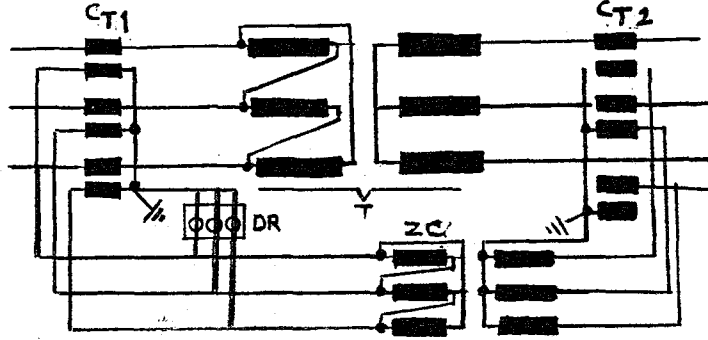


Şekil 16.3 diferansiyel rölenin koruma alanındaki kısa devre durumunda çalışması (üç hatlı şema) a. Tek taraflı besleme fark akımı $i_f = i_s - i_t \neq 0$, b. İki taraflı besleme diferansiyel röle akımları $i_f = i_s - i_t \neq 0$ ve $i_f = i_s - i_t \neq 0$ dir.

Koruma alanı dışındaki kısa devrelerdeki ise her iki sekonder akımı da aynı büyüklükte ve aynı yönde olacaktır. Bu durumda röle etkilenmediği için çalışmaz.

Üç fazlı transformatörlerde primer ve sekonderden geçen akımlar, dönüştürme oranının tersi kadar birbirinden farklıdır. Ayrıca yüksek gerilim transformatörlerinde çok kullanılan üçgen-yıldız bağlantı durumunda bu akımların faz açıları da değişiktir. Akım transformatörlerinin sekonder akımları normal işletmede aynı büyüklükte ve

aynı fazda olmalıdır. Bunun için sekonder devreye şekil (16.4) deki gibi bir ara transformatör bağlanmalıdır. Bu ara transformatörün bağlantı gurubu ve dönüştürme oranı korunmuş güç transformatörü ile aynı olmalıdır /2/.



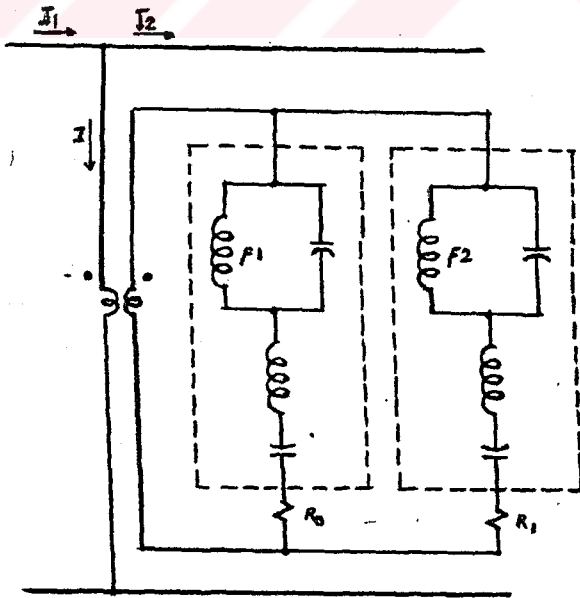
Şekil 16.4 ara transformatörü kullanarak diferansiyel rölenin devreye bağlanması, T... transformatör Z_t... ara transformatör, C_{t1}, C_{t2}... Akım transformatörleri.

Ayrıca bu arızaların dışında transformatörleri, hatlardan gelen ve çok büyük hasarlara yol açabilen aşırı gerilim dalgalarında etkiler. Bu gerilim dalgalarının doğurduğu bir takım geçici darbe akımları da mevcuttur. Daha evvel sekizinci bölümde bu konu ele alınmıştı, transformatör şarjlarında veya iç kısmında ve bağlama biçiminde buna yönelik belirli tedbirler alınmıştı. Ayrıca bu arızadan korunmak için transformatör dışında, birde röleler vasıtası ile belirli bir önlem alınması gerekmektedir. Kurulan koruma rölesi ona göre seçilmeli veya rölenin yanında başka bir önlem alınmalıdır.

Eğer güç transformatörlerinin üzerinde Diferansiyel (D_r) rölesi bağlarsak, bu röle geçici darbe akımlarına karşı transformatörü devre dışı bırakacaktır. Böylece işletmede birçok problem doğacaktır. Bu istenilmeyen bir durumu ortaya çıkaracaktır.

Bilindiği gibi bu darbe akımları, mıknatıslama akımı gibi sinüs biçiminde olmayıp birçok harmonikler meydana getirmektedirler. Bu harmoniklerden, özellikle üçüncü harmonik transformatörler için büyük bir tehlike yaratmaktadır. Bunu önleyebilmek için diferansiyel röle üzerinde, üçüncü harmoniğe özgü yan tedbir olarak tutucu bobini kullanmak gerekir.

Şekil (16.5) de görüldüğü gibi F_1 filitresi öyle bir şekilde ayarlanmıştır ki, üçüncü harmoniği geçirmeyip buna karşın asıl harmoniği geçirmektedir. Bu harmonik akımı (asıl harmonik) R_0 sargısından geçecektir. Buna karşın F_2 filitresi asıl harmoniği geçirmeyip, üçüncü harmoniği geçirmektedir. Bu durumda R_P tutucu bobini üçüncü harmoniği geçirmemek için ayarlanmıştır. Sonuçta, eğer darbe akımı I_1 , I_2 arasındaki dengeyi bozduğunda, D_P rölesi transformatörü devre dışı bırakmak isteyecektir. O zaman R_P bobini bu olaya karşı çıkacaktır. Böylece transformatör hem çalışmasına devam edip, hemde korunmuş olacaktır. Bu durumda R_0 sargısı herhangi başka bir arızada röleyi harekete geçirir ve röle çalışır.



Şekil 16.5 Diferansiyel röle ile birlikte aşırı darbe akımlarına karşı kullanılan tutucu bobini.

Açıklanan bu önlemlerle transformatörü koruma sorunu her ne kadar temelden çözümlenmiş ise de, uygulamalarda yanlış devre açmalarını önlemek amacı ile ayrıca başka metodlarla birlikte yardımcı elemanlarda kullanılabilir.

Koruma alanı dışında kalan yerlerdeki kısa devre olaylarında ve normal işletme sırasında Diferansiyel rölenin çalışarak devreyi açmaması gerekir ve açma olayının çeşitli nedenleri de olabilir. Bu açtırmaların önüne geçebilmek için Diferansiyel rölenin kararlı bir duruma getirilmesi gerekir. Bu yan tedbirlerden aşağıda birkaçı yazılmıştır.

1. Çoğunlukla ek tutucu sistemler veya kilitleyici röleler kullanılır.
2. Transformatör rölesini D_r anma gerilimde, başka bir zaman geciktirici (geç açan, kapanan) röle ile bağlayabiliriz. Ayrıca bu bağlantının diğerlerine göre özelliği kısa devre ile geçici darbe akımlarını birbirinden ayırtedebilmesidir /9/.

Üç fazlı transformatörlerde diferansiyel röle kullanırken aşağıdaki işlemlere dikkat etmek gerekir.

1. Transformatörün birinci ve ikinci devre akımlarını ayırmak gerekir.
2. Güç transformatörünün girişine bağlanan akım transformatörlerinin sekonderi, güç transformatörünün primer bağlantı biçimine nazaran ters bağlanmalıdır. Örneğin: X Güç transformatörünün primeri üçgen bağlanmışsa, akım transformatörünün sekonderi yıldız bağlanmalıdır.
3. Akım transformatörünün sekonderine ait olan akımları, güç transformatörünün primerinde belli etmek gerekir.
4. Güç transformatörünün sekonderine bağlanacak akım transformatörünün sekonder bağlantı biçiminin, farklı olması gerekir.

Örneğin : X güç transformatörün sekonderi yıldız bağlı ise akım transformatörün de sekonderi üçgen bağlanmalıdır.

Not : İkinci devreye bağlanan akım transformatörünün sekonderi üçgen bağlanabilmesi için, güç transformatörün her iki tarafına bağlanan akım transformatörün sekonder akımları aynı fazda olması gerekir/9/.

Anma Gücü $S_N =$ KVA	Trafonun Ağırlığı Kg	Yağın Ağırlığı Kg
30	370	105
50	470	135
75	590	170
100	690	195
125	180	220
160	900	250
200	1135	320
250	1280	340
315	1580	440
400	1960	550
500	2250	650
630	2600	750
800	3030	900
1000	3500	1050
1250	4500	1350
1600	5350	1650

Çetvel 17.1. 20 KV/ 400 V trans-
formatörün özelliği.

S _N = KVA	% $\frac{I_0}{I_N} =$		P ₀ = W		P _{K2} = W	% U _K =
	20KV	30KV	20KV	30KV	400	
100	-	3,2	-	380	2300	6
160	-	2,5	-	480	3200	6
250	2,1	2,3	610	650	4450	6
3,5	2,0	3,2	120	760	5400	6
400	1,8	2,0	850	900	6450	6
500	1,7	1,8	1000	1050	7800	6
630	1,6	1,7	1200	1200	9300	6
800	1,5	1,6	1450	1520	11000	6
1000	1,4	1,5	1750	1800	13500	6
1250	1,4	1,5	2100	2150	16400	6
1600	1,3	1,4	2550	2600	19800	6

Cetvel 17.2. Güçleri 100 den 1600 KVA' kadar olan yağlı transformatörlerin özellikleri.

$S_N =$	$\% \frac{I_0}{I_N} =$			$P_0 =$			75° de $P_K =$			$\% U_K =$		
	KVA	KV	KV	KV	KW	KW	KW	KW	KW	KW	KV	KV	KV
	30	60	110	30	60	110	30	60	110	30	60	170
2000	1,2	-	-	3,2	-	-	21	-	-	6	-	-
2500	1,1	-	-	3,8	-	-	24	-	-	6	-	-
3150	1,0	-	-	4,6	-	-	28	-	-	6	-	-
4000	1,0	1,2	-	5,5	6,8	-	33	35	-	6	8	-
5000	0,9	1,1	-	6,5	8,0	-	38	41	-	7	8	-
5300	0,9	1,0	1,2	7,7	9,3	11	45	48	53	7	8	10
8000	0,8	1,0	1,1	9,4	11,0	12,5	54	56	62	7	8	10
10000	0,8	0,9	1,1	11,0	12,5	14	63	65	72	7	8	11
12500	0,7	0,8	0,9	13,0	15,0	16	77	81	86	8	9	11
16000	0,7	0,8	0,9	15,5	17,5	18,5	91	95	100	8	9	11
20000	0,6	0,7	0,8	18,0	20,0	21	107	112	118	8	9	11
25000	0,6	0,7	0,8	21	23,0	24	127	138	138	8	9	11
31500	0,5	0,6	0,7	25	27,0	29	150	155	162	8	9	11
40000	0,5	0,6	0,7	30	32,0	34	180	185	192	8	9	11

MVA MVA

Cetvel 17.3. Güçleri 2'den 40'ya kadar olan
transformatörlerin (yağlı)
özellikleri.

Kısadevre gerilimi

Anma Güç (S _N)= KVA	30 KVA`ya Kadar		30 KVA`dan yukarı	
	%U _K	Kısadevre süresi	%U _K	Kısadevre süresi
630 Kadar	4	2 sn	-	-
630 ilâ 3,50	6	4 sn	-	-
3,50 ilâ 10000	8	5 sn	10	6 sn
10000 - 40000	10	6 sn	11	7 sn
40000 - 200000	-	-	12,5	8 sn

Cetvel 17.4

Not :17. Bölüm /5/.

SONUÇ

Elektrik enerjisi, artan nüfus ve gelişen teknoloji karşısında, insanların yaşamında vazgeçilmez bir temel ihtiyaç haline gelmiştir.

Elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımında temel unsurlardan birisi de şüphesiz transformatörler olmaktadır.

Bu çalışmada transformatörün teorisi ele alınmış, eşdeğer devreleri verilmiş ve bu devrelerin değişik koşullarda çözümü incelenmiştir. Ayrıca transformatörlerin işletmesi hakkında özel bilgi verilmiştir.

Transformatörlerin işletmesi sırasında kısadevre, aşırı gerilim dalgaları gibi anormal olaylar meydana gelebilir. Bunlar transformatörlerde büyük hasarlara yol açarlar. İç arızalara karşı (kısadevreler) BUCHHOLZ rölesi kullanılır. Atmosferik boşalmalar sonucu oluşan aşırı gerilimler sinüs biçiminde olmayıp çeşitli harmonikler meydana getirirler. Bu harmonikler, özellikle üçüncü harmonik transformatör sargılarında ve hatlarda dengesiz yüklenmeye neden olur. Bu harmonikleri önlemek lazımdır. Buna karşı aşağıdaki önlemler alınabilir.

En fazla zorlanan ilk bobin ve topraklanmamış nötr noktası ile son bobinler için takviyeli izolasyonlar kullanılması gerekmektedir.

Özel konstrüksiyonların kullanılması gereklidir.

Bu dalgalardan korunmak için diferansiyel rölenin yanında yan tedbir olarak üçüncü harmoniği geçirmeyen filtre, ayrıca bu filtrenin yanında asıl harmoniği geçiren filtre kullanılabilir. Diferansiyel rölenin çalışmasını kararlı bir biçime getirebilmek için tutucu bobin kullanmak gerekmektedir.

Devredeki kesiciler uygun seçilmeli ve çektiği anma akım transformatörün anma akımından bir kademe büyük olmalıdır.

Aşırı yükü karşılayabilmek için ve dengeli biçimde dağıtımı yapabilmek için, santrallarda, transformatör merkezlerinde ve postalarda genel olarak birden fazla transformatör bulundurulmalıdır. Bunun en büyük nedeni günün çeşitli saatlerinde yükün değişmesidir. Bu transformatörlerin besledikleri yüklerde bir artma olursa, transformatörler paralel bağlanarak artan yükün karşılanması sağlanır. Aksi taktirde yük azalması oranında transformatörlerden bir veya birkaçı devreden çıkartılır. Paralel bağlayabilmek için paralel bağlama koşullarını dikkate almak gerekir. Ayrıca paralel bağlanacak transformatörler aynı gruptan olmalı ve bu durumda bağlantı çeşitlerini de göz önünde tutmak gerekir. Böylece transformatörlerin fazla yüklenmemesi için aşağıdaki metodlardan biri uygulanmalıdır.

Bunlardan biri şebeke yükünü azaltarak, ortalama kısadevre geriliminin en küçük kısadevre gerilimine eşit yapılmasıdır.

İkinci metod ise transformatörlere çok bobinleri bağlayarak, kısadevre gerilimlerini paralel çalışan transformatörlerin kısadevre gerilimi büyük olana eşit yapmaktır.

KAYNAKLAR

- /1/. ÇETİN,İ : Transformatör Cilt I, 1981
- /2/. PEŞİN,A : Elektrik Makineleri Cilt II, 1890
- /3/. TALGANİ,M : Transformatörler, TEH.P.T.Ü. Yayını.
- /4/. ÇETİN,İ : Lisans Ders Notları.
- /5/. SULTANİ,M : Enerji Üretimi Ve Faydalanması,
TEH.Ü. Yayını, 1983
- /6/. METLEBİ,A : Transformatör Cilt II, TEH.P.T.Ü.
Yayını.
- /7/. BODUROĞLU,T : Elektirik Makinaları Dersleri
Cilt I, 1952
- /8/. BAYRAM,M : Elektrik Tesislerinde Toprak Kısa
Devresi Ve Buna Karşı Koruma,
İ.T.Ü. Yayını, 1974
- /9/. ABİDİ,M : Enerji Güç Sistemlerinin İncelemesi,
TEH.E.S.Ü. Yayını.

ÖZGEÇMİŞ

S.EZZATİ GHİVİ 20.7.1959 tarihinde İRAN'ın Azerbeycan ili Ghivi kasabasında doğdu. Lise öğrenimini İRAN da 1977 yılında tamamladı. Aynı yılda askerliğe giden aday 1979 da bu görevini tamamladı.

1980 de TÜRKİYE'ye gelen Serajollah, aynı yılın Eylül ayında İstanbul Yüksek Teknik Öğretmen Okulu, Elektrik Bölümünü kazandı. 1985 de okulun isim değiştirmesi ile Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesini Şubat döneminde tamamladı. 1980 yılının Eylül ayında Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Eğitimi dalında Yüksek Lisans Öğrenimine başladı.

Mayıs, 1988