

TRANSFORMATÖR TEKLİFİ İSTEME - TEKLİF VERME VE DİZAYNINDA DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR

ÜNAL ERDOĞAN
Elektrik Y. Mühendisi (İTÜ)

TEKLİF VERME :

Bir transformatör için teklif isteminin ilk safhasında; kullanıcı tarafından istenecek, imalatçı tarafından da gözönünde tutulacak tüm hususların tam ve kesin ifadesi kadar önemli bir şey yoktur.

Bir teklif isteme formu; zaman kaybını ve karışıklıkları önleyici; imalatçının, kullanıcının ihtiyaçlarına tam uyacak şekilde bir teklif hazırlamasını sağlayıcı bilgileri kesin olarak göstermelidir.

Ayrıntılar hakkında yetersiz bilgi veren teklif isteme formlarına çok sık rastlanmaktadır. (Hemen hemen genelinde)

•Bu nedenle aşağıda tüm bilgileri kesin içeren tablolar hazırlanmıştır.

NOT : Tablo 4-1'de (1) ile işaretlenen bilgiler sipariş verildikten sonra gereklidir.

(a)'da sıralanan bilgiler, tatbikatta kullanılacaksa verilmeli, ihtiyaç duyulan ilave teçhizatları (b)'ye göre belirtilmelidir.

Aşağıda verilen genel bilgilerin, uygulamada kullanılacak olanları teklif isteme formunda verilmelidir.

- Gerekli hallerde yükün güç faktörü.
- YG-AG (Yüksek Gerilim - Alçak Gerilim) sargılarının yalıtım seviyelerini seçebilmek için en yüksek sistem gerilimi.
- Beşleme gerilimi, değişim sınırları ve değişimin zamanlaması.
- Transformatör sargılarının veya sistemin herhangi bir noktasının sürekli topraklanıp, topraklanmayacağı, şayet topraklama yapılacaksa bunun direkt akım sınırlayıcı bir cihaz üzerinden veya ark söndürücü bobin üzerinden mi olacağı?
- Sargıların yalıtımının tam veya kademeli olarak dizayn edileceği.
- Transformatörün kullanılacağı yer 1000 m'den yüksek ise durumun bildirilmesi.
- Transformatörün elektriği olarak korunmalı veya korunmasız yerde mi kullanılacağı, koruma sisteminin belirlenmesi.
- Ağırlık, boyutlar, mahalline giriş için ölçü sınırlamaları.
- Tesis edileceği yer, varsa hava kirliliği, kuş vs. gibi canlıların kısa devrelere meydan vermesini önleyebilmek için buşing açıklıklarında yapılabilecek gerekli arttırıma ile ilgili özel şartlar.

Şekil 4-1'de teklife dahil edilecek olan çıkış terminali tiplerinin doğru olarak belirtilmesinde teklif isteyene yardım etmek için hazırlanmış konstrüksüyon detayları gösterilmiştir.

TABLO 4.1 GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ

Ö R N E K L E R

(a) Ana bilgi	Standart dahili tip transformatör	Hava sızdırmaz transformatör	Direk tipi transformatör	Yeraltı maden transformatörü
Talep edilen miktar	2	(Üç fazlı bir grup 3 olarak bağlamak için) 3333	6	1
Nominal Güç (kVA)	1000		20	300
Tek veya çok fazlı üniteler	3		3	3
Boşta gerilim oranı	15000/400	66000/(11000A/3)	6300/400	3300/565
Frekans (Hz)	50	25	50	50
Soğutma tipi (1)	ONAN	ONAN	ONAN	AN
Oto veya çift sargılı	ÇİFT	ÇİFT	ÇİFT	ÇİFT
Fazlar arası bağlantı (2)	Üçgen/Mıldız	Üçgen/Mıldız	Üçgen/Mıldız	Üçgen/Mıldız
Şayet herhangi bir sargıda seri-paralel bağlantı isteniyorsa, gerilimleri ve böyle bağlantıları dışardan bağlama gereğini belirtiniz.	-	-	-	-
Nötr noktası çıkışı	-	-	-	-
Aşırı yüklenme (2)	A.G. Nötrü porselen izolatore çıkarılmalıdır.	-	A.G. Nötrü dışarı çıkarılmalıdır.	A.G. Nötrü dışarı çıkarılmalıdır.
Nominal güçte ısınma (2)	T.S. 3215'e göre	T.S. 3215'e göre	T.S. 3215'e göre	T.S. 3215'e göre
Maksimum ortam sıcaklığı	Yağda 55°C	Yağda 55°C	Yağda 55°C	-
Yük tipi, yani, aydınlatma, güç, fırın v.s.	30°C	20°C	30°C	30°C
Yerleşirme; yani, dahili tipi, hava sızdırmaz, direk veya zemine monte edilen tip, maden, yeraltı veya yüzey v.s. (2)	Kâğıt tesislerinde karışık yük. Dahili tip	Tipik güç ve aydınlatma yükleri Hava sızdırmaz	Çiftlik, güç ve aydınlatma yükleri Hava sızdırmaz, direk tipi	Kömür kesiciler güç ve aydınlatma
Gerilim testleri (2)	T.S. 267'e göre	(•) B.S. 171'e göre	T.S. 267'e göre	-
Ambalaaj, ülke içi için mi? yoksa ihracat için mi uygun olacak	Ülke içi	ihracat yükü	Ülke içi	-
Başka bir transformatörle veya transformatorlerle paralel çalışması isteniyor mu? Şayet isteniyorsa mevcut transformatörlerin aşağıdaki özelliklerini belirtiniz.	Evet	-	-	-
Nominal Güç (kVA)	750	-	-	-
Fazlar arası bağlantı	Üçgen/Mıldız	-	-	-
Polarite(1) (3)	İlişikteki şemaya bakınız	-	-	-

Standart dahili tip transformatör	Hava sızdırmaz transformatör	Direk tipi transformatör	Yeraltı maden transformatörü
Nominal güç ve gerilimde, muayyen bir sıcaklıkta empedans (4) Nominal güç ve muayyen bir sıcaklıkta bakır kaybı (1) Her bacakta çevirme oranı, bütün kademelerde (1) (Sarımsağına göre)	75°C'de 4.75% 75°C'de 9500Watt.	—	—
Scott-bağlı transformatörler için, transformatörlerin birbirleriyle değiştirilebilecek tip olup olmayacaklarını ifade ediniz. (b) Talep edilen ilave teçhizat Y.G. veya A.G. ayar kademeleri ve ne şekilde düzenlenecekleri (1). (a) Sabit kVA gücü için (b) Sabit akım çıkışı için (c) Yalnız yağ seviyesinde bulunacak	1156 1128 1100/25 1072 1044	—	—
Kademe seçici; boşta veya yük altında diye belirtiniz. Tekerlekler düz veya flanşlı, döner veya dönmeyen tip. Takoze mesnedi Yağ genişleme kabı Hava kurutucu, tipini belirtiniz Y.G. ve A.G. terminal düzeni	± 2,5 % ve 5 % Y.G. kademeleri. Sabit kVA gücü için düzenlenmeli. Boşta Dört düz dönmeyen tekerlek Evet Y.G. ve A.G. de üç kısma ayrılmış kutu.	±5 % Y.G. kademeleri Sabit kVA gücü için düzenlenmeli. Yalnız yağ seviyesinde Yük altında 1.5 m. ray ölçüsüne uyacak dört flanşlı dönmeyen tekerlek Evet Sızdırmaz tip Silikagel Y.G. ve A.G. buşingleri.	- 5 % ve - 10 % Y.G kademeleri. Sabit kVA gücü için düzenlenmeli. (*) B.S. 355'e uyan tekerlekler Y.G. ve A.G. de şalter ünitesi.

(1) Transformatörlerin çoğu yağa daldırılmış tabii soğutmalı tipdir ve soğutucu ortamın tipi mümkün olduğu zaman belirtilmesi için imalatçıya bildirilmelidir. Tablo 4.2'ye bakınız.

(2) TEKİFLER'in altındaki mütalaalara bakınız.

(1) Sahife 1'deki nota bakınız.

(2) TEKÜFLER'in altındaki mütalaalara bakınız.

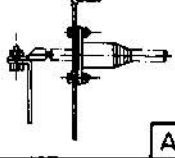
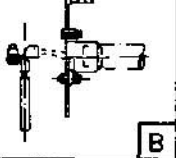
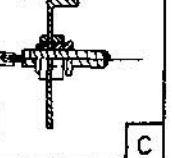
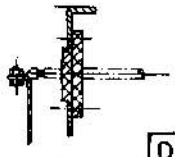
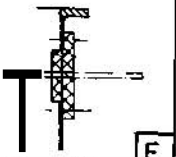
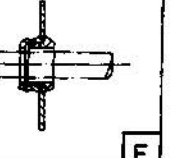
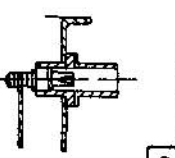
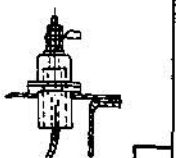
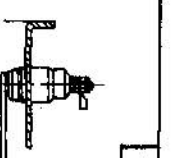
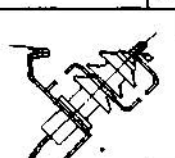
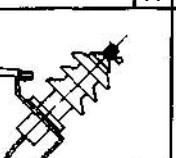
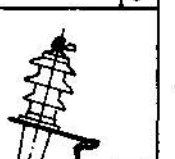
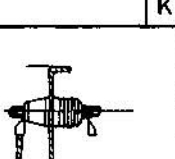
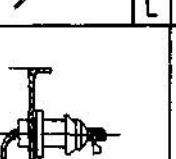
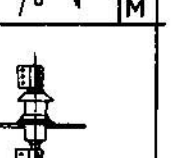
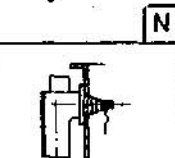
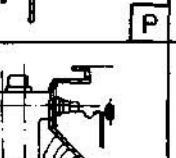
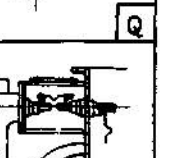
(3) Primer ve sekonder taraflarda aynı bağlantılara sahip olan transformatörler için (Yıldız/Yıldız veya Dögen/Oçgen gibi) mevcut transformatörlerin polaritelerinin özelliklerini belirtmek çok önemlidir. Aksi takdirde yeni transformatörün bir tarafında iç bağlantıları değiştirmek gerekebilir. T.S. 267'e bakınız ve mümkün olduğu takdirde T.S. fazör şeması terminolojisini kullanınız.

(4) T.S. 267'e uygun olarak, performans referans sıcaklığı 75°C'dir.

(*) İngiliz standartlarından

(1) Tablo 4.5'e bakınız

(*) BS 355 İngiliz standartlarından

PABUÇLAR A. PİRİNÇ PABUÇ B. KANALLI PABUÇ C. SIZDIRMAZ PİRİNÇ PABUÇ			
REKORLAR D. TAHTA REKOR E. BARA BAĞLANTISI F. YALITILMIŞ REKOR			
GİRİŞ TERMİNALLERİ 6 SOKETLİ TİP H. J. ÇIPLAK SAPLAMA			
ÇIKIŞ TERMİNALLERİ (V.S.)			
ÇIKIŞ TERMİNALLERİ (A.G)			
KABLO KUTULARI T- AYIRMA HÜCRELİ KABLO KUTUSU			

• Şekil 4.1 - Terminal tertipleri. Bu şekil teklife dahil edilecek olan çıkış terminali tipinin doğru olarak belirtilmesinde teklif isteyene yardımcı olmak için hazırlanmış, konstrüksiyon detayları hassas olarak gösterilmemiştir.

SU SOĞUTMALI TRANSFORMATÖRLER : Tip OFWF

- Soğutma suyu besleme kaynağı ve cinsi
- Su beslemesinin yüksekliği (su soğutucusunun atmosfere açık olması tavsiye edilir.)
- Soğutma suyu sıcaklığı 25 °C'den fazla ise
- Yağ ve pompa motorları için yardımcı elektrik tesisatının tüm detayları

Harici boru işçiliği, su pompaları, motor ve başlatma donanımı normal olarak belirtilmedikçe, teklife dahil edilmez. Teklifler genellikle yağ soğutucusu, yağ pompası ve motorunu kapsar. Şayet 10 %'lük soğutucu kapasitesinden daha fazlası gerekirse bu özellikle belirtilmelidir. (Örneğin, iki 100 % veya üç 50 % soğutucu)

D.C. NÖTR NOKTASI SAĞLAMAK İÇİN DENGELİYİCİ BOBİNLER :

- Generatör hızı ve kutup sayısı
- Generatör hat gerilimi
- Toplam dengelenmemiş D.C. akımı
- Kontak bileziği adedi

A.C. NÖTR NOKTASI SAĞLAMAK İÇİN DENGELİYİCİ BOBİNLER :

- Normal hat gerilimi
- Toplam dengelenmemiş akım
- Üç fazlı dengeleyicilerde, dengeleyiciyi besleyen kabloların her fazdaki yükü verilmelidir.

OTO TRANSFORMATÖR STARTERLERİ :

- Başlatılacak teçhizatın nominal gücü
- Normal haz gerilimi
- İstenilen başlatma kademeleri
- Farklı başlatma kademelerinde tahmin edilen başlatma (kVA)'ları
- Tam yükte veya boşta başlatılacağı
- Kullanma periyodu (B.S-587)

YÜKSEK GERİLİM TEST TRANSFORMATÖRLERİ :

- Y.G. (Yüksek Gerilim) sargısının topraklama şekli (Sadece aynı ucu veya zaman zaman diğer ucunda topraklanabileceği)
- Y.G. (Yüksek Gerilim) sargısının orta noktasının sürekli olarak topraklanıp, topraklanmayacağı
- Y.G. (Yüksek Gerilim) sargısının topraksız çalıştırılıp, çalıştırılmayacağı
- Test edilecek olan teçhizat veya malzeme
- Gerilim testleri, büyüklük ve süre
- Redresör veya benzer özel teçhizatla kullanılıp, kullanılmayacağı

Bir siparişte YG/AG (Yüksek Gerilim/Açık Gerilim) kablo kutuları belirtilirse, aşağıdaki detayların tümünün sağlanması zorunludur.

- Kablo kutusuna doldurulacak malzemenin tipi
- Kablo kutusuna girecek kabloların ve kablo damarlarının adedi (iki - üç - dört vs.)
- Her damarın şekli ve kesiti
- Damar yalıtımının tipi (Lastik, yağlı bez, kâğıt vs.)
- İç ve dış kılıf, çapları ile birlikte kılıf tipi
- Kaplama ve blandajların ayrıntıları
- Kablo kutusuna kablo giriş istikameti (Kabloların kutuya dikey olarak yukarıdan veya aşağıdan, yatay olarak sağdan veya soldan yahutta transformatör tankına dik olarak yaklaşacakları...)

Tablo 4-2'de soğutmanın çeşitli yöntemleri, tablo4-3'de farklı soğutma tipleri ile ilgili ısınma sınırları verilmektedir.

Tablo 4-2

Kuru tip transformatörler		
Tabii soğutma — AN tipi		
Cebri soğutma — AF tipi		
Yağlı transformatörler		
Yağ dolaşımı	Soğutma Metodu	Kısaltılmış tip tanımı
Tabii termik basınç	Tabii hava	ONAN
	Hava üfleme	ONAF
Pompalarla cebri yağ dolaşımı	Tabii hava	OF AN
	Hava üfleme	OFAF
	Su soğutmalı	OFWF

Tablo 4-3

Dirençle bulunacak ısınma sınırları:

TİP	İZOLASYON SINIFI	ISINMA (°C)
AN	A	60
AF	B	80
AN	C	150
ONAN	A	65
ONAF	A	65
OFAN	A	65
OFAF	A	65
OFWF	A	65

Yağda ısınma

- Genleşme kablı veya sızdırmaz tanklarda 60°C
- Genleşme kabı bulunmayan veya sızdırmaz tip olmayan tanklarda 55°C

Günümüzde pek çok güç transformatörü TS. 267 ve BS. 171'de belirtilen sıcaklık tavsiyelerine uygun olarak sınıflandırılırlar ve bu standartlara mümkün olan her siparişte uyulmalıdır.

Yağlı transformatörler tabii ve cebri soğutmanın kombinasyonu olarak da yapılabilirler. Böyle karma tertiplerin kısaltılmış yazılışları ONAN/ONAF, ONAN/OFAN, ONAN/OFAF, ONAF/OFVVF'dir (O) izole edici sıvı olup, BS. 148'e göre mineral yağı belirttiği için kullanılır. Sentetik bir tecrit maddesi kullanılırsa yerine (L) konur. (Örneğin, klor difenil LN. ile belirtilir.)

Bir transformatörün faydalı ömrü, yüksek sıcaklıklarda süratle yaşanan yalıtımının ömrüne bağlıdır. Normal (A) sınıfı yalıtımda çalışma sıcaklığındaki 8°C'lik bir artışla bozulma hızının, iki misline çıktığı kabul edilir. (TRAFO SİPARİŞİ VEREN RESMİ -SİVİL İLGİLİLERLE-KABUL HEYETLERİNİN DİKKATİNE.)

Uygun bir ortalama ömrün sağlanması bakımından transformatörün ortam şartlarına ve yüklenmeden önceki sarğı sıcaklığına göre yüklenmesi gerekir. Maksimum ortam sıcaklığında ve sürekli olarak tam yükte çalıştırılma şartlarında, aşırı yüklemeye sürekli mü sade edilmemelidir. Şayet maksimumlar aynı zamanda meydana gelmezse, belirli aşırı yükler transformatör tarafından emniyetle taşınabilir.

Yüksek ortam sıcaklıkları sürekli olursa veya uygun havalandırma mevcut değilse, aşağıdaki alternatiflerden biri benimsenmelidir.

- (i) Standart ısınmada talep edilen güce tekabül eden güçten daha büyüğü sipariş edilmelidir.
- (ii) İstenen güçte, sargılardaki ısınmanın, standarttan daha düşük olacağı belirtilmelidir.

Pratik olarak 10°C'lik bir sıcaklık azaltılması nominal yükün 85 %'inde yüklenmek suretiyle sağlanabilir.

İhtiyaçlar belirlendiği taktikde, sadece önemli olan noktaları teklif isteme formunda vererek, ayrıntıları konunun uzman mühendis personeline sahip olan imalatçıya bırakmak çok daha uygundur. (Şayet uzmana sahipse)

TEKLİFLER :

Teklif sahipleri, teklif alanların işlerini mümkün mertebe kolaylaştırmak durumundadırlar. Bu nedenle detaylı ve aydınlatıcı teklif sunmaları son derece arzu edilen bir husustur. Genel olarak fiyat, imalat süresi, ödeme şekli, bakım ve daha önceki bölümde verilen tablolara göre gelen teklif isteme formundaki önemli bilgi ve ilave teçhizatın başka, şartname ve performans bakımından teklifler aşağıdaki ayrıntıları kapsamalıdır.

- Transformatör tipi
- Tank tipi
- Soğutma tipi (Tabii, cebri, su soğutmalı, cebri yağ soğutmalı vs.)
- Nominal gerilim ve frekansta nüve kaybı
- Nominal yükte bakır kaybı
- Güç faktörünün bir olduğu durumda yüzde regülasyon

r- Güç faktörünün 0,8 olduğu durumda yüzde regülasyon (veya tayin edilmiş diğer bir güç faktöründe) — Yüzde empedans ve reaktans

- Muhit sıcaklığı veya soğutucu ortamın kabul edileni isisi

— Müsade edilen aşırı yüklemeler (Büyükük ve süreleri)

— Maksimum ısınma (Termometreden görülen) ve nominal yükte direnç

- Yağ miktarı, fiyata dahil edilip edilmediği

- Bütün net boyutlar

— Nakil şartnamesi, ihraç durumu

- Sargılar ve tank arasındaki yalıtım malzemesi (Hava, yağ vs.)

Tablo 4-4, transformatör tekliflerinde kullanılacak tipik bir teklif formunun baş örneğidir. Görüldüğü gibi teklif edilen donanımın elektriki performansı, ağırlıkları ve ebatları ile ilgili bütün bilgileri kapsamaktadır. Bilgiler mukayeseyi kolaylaştıracak şekilde düzenlenmiştir.

Teklif isteme formunda işaretlenen bilgiler belirtilmemişse aşağıdaki hususları teklif etmek olağandır.

Primer ve Sekonder bağlantılar :

Üç fazlı bağlantılar için : Üçgen/Yıldız...

Üç-iki fazlı bağlantılar için : Scott Bağlantı

Isınma, ortam sıcaklığı ve gerilim testleri (YG test transformatörlerinin dizaynına ve YG sargısının topraklanma şekline bağlı olarak özel YG testleri yapılır. Farklılıkları içeren birçok özel durum çıkabilir. TS. 267 , BS. 171 , IEC176..)

- Aşırı yüklenmeler : TS. 3215

— Kullanılacağı yer : Dahili

- Yağ tipi : Petrol Ofis, Shell Diola B, .

— Gerilim ayarı için kullanılan artı ve eksi kademeler

Kelime ve işaretlerin tam olarak neyi kastettiği konusunda, geçmişte gözlenen hataları önleyebilmek için (a) primere, (b) Sekondere yerleştirilen kademelerin nisbi yerlerini ve tesirlerini gösteren tablo 4-5 hazırlanmıştır. "Artı" kelimesi, ana kademedden daha fazla sarımı, "Eksi" kelimesi ise ana kademedden (Nominal kademe) daha az sarımı belirtir.

Kademeler aşağıdaki maksatlar için kullanılabilirler :

1) Primer kademeler, primer gerilimi değiştirmek için
2) Sekonder kademeler, sekonder gerilimi değiştirmek için

3) Primer kademeler, sekonder gerilimi değiştirmek için.

4) Sekonder kademeler, primer gerilimdeki değişiklikleri dengelemek için.

Belirlenen bu çalışma şartlarının her birinde ve herhangi bir kademede, adı geçen kademenin um yükü ile nominal gerilimin artı veya eksi 5%'i içindeki bir gerilimde transformatör emniyetle çalıştırılabilir.

Teklifler mukayese edilirken, en iyi yöntem imalatçılar tarafından verilen bilgileri bir kâğıda cetvel halinde yazmaktır. Böylece detaylı bir kontrol yapılabilir.

TABLO : 4-4

TRANSFORMATÖR ŞARTNAMESİ

Teklif verilen :	
Referansınız :	Referansımız :
.....Cılık maksimum günlük ortalama muhit sıcaklığında nominal güç (kVA)	
Faz sayısı	
Frekans (Hz)	
Bojta gerilim oranı	
Sargı bağlantıları	
Kademeler	
Nötr	
Faz ör şeması	
Nominal gerilim oranında boşu çalışma kaybı	(W)
Nominal akımda knadavre kaybı	(W)
cos φ = 1 iken ve nominal akımda regülasyon	(%)
cos φ = 0,8	(%)
cos φ =	(%)
Nominal akımda empedans gerilimi	(%)
" " " " " " " "	(%)
" " " " " " " "	(%)
Cm* « 1 iken nominal akımda % 125 yükte randıman	{%
" " " " " " " "	{%}
" " " " " " " "	{%}
" " " " " " " "	{%}
" " " " " " " "	{%}
" " " " " " " "	{%}
" " " " " " " "	{%}
Nominal kVA'da yağdı termometre vasıtasıyla ısınma	
Nominal kVA'da sargıların direnci vasıtasıyla ısınma	
Müde edilen afın yükleme	B.S. Uygulama talimatı C.P.IOIO'a uygun olarak T.S. 3215
DİKKAT : Performans referans sıcaklığı 75°C garanti edilen performanstaki toleranslar T.S. 267'de belirtildiği şekildedir.	
Takribi ağırlıklar ve boyutlar	
Transformatör çekirdek ve sargı ağırlıkları	(kg)
Tank ve donanılar	(kg)
Yağ	(kg)
Yük altında kademe değiştirici ağırlığı	(kg)
Toplam ağırlık	(kg)
Yağ miktarı	(Litre)
Sütün uzunluk	(mm)
Bütün genişlik	(mm)
Bütün yükseklik	(mm)

Aşağıda belirtilen konular mutlaka incelenmesi gereken bazı önemli noktalar :

DEMİR KAYBI :

Demir kaybı, bir aydınlatma yükünün beslenmesi gibi durumlarda önemlidir. Bu durumda gerçekte bir yük beslenmemesine rağmen transformatörün kendisi çalışmaktadır. Düşük yüklerde çalıştırılan transformatörler için de demir kaybı önemlidir. Netice olarak düşük demir kaybı tercih edilir. Teklifler mukayese edilirken 24 saatlik bir kayıp miktarı, bölgede geçerli olan kömür veya diğer üretim masraflarına tekabül eden bir fiyatla kapitalize edilebilir. Böyle kapitalizasyonlar transformatör teklif fiyatına ilave edilir.

BAKIR KAYBI :

İyi dizayn edilen bir transformatörde, belirli bir frekans, gerilim oranı ve ısınma için verilen belirli güçteki toplam kayıplar takriben sabittir. Bakır kaybı yüksek tutulup, demir kaybının mümkün mertebe düşük tutulması doğaldır. Zira demir kaybı 24 saatlik bir yük olarak ifade edilebilir.

Yağlı tabii soğutmalı transformatörlerde aşırı yüklenmeye müsaade edilmez. Tam yükte ve maksimum bir çevre sıcaklığında yağdaki ısınma 60°C'dir. Bu nedenle böyle transformatörlerde bakır kayıplarının, demir kaybına oranı oldukça yüksek olabilir. Bu oran güç, gerilim oranı ve frekansa göre 4/1'den 7/1'e kadar düzenlenebilir. Şayet çevre sıcaklığı maksimumun altında ise belirli aşırı yüklenmelere izin verilir. Yukarıda verilen oranlar sargılarda aşırı ısınma olmaksızın, belirli aşırı yüklemelere daha düşük çevre sıcaklarında ulaşılmasına müsaade edecek şekildedir. Transformatör sürekli aşırı yükleme için dizayn edilirse, normal tam yükte bakırın, demir kaybına oranı düşecektir.

Verilen bir ısınma için, düşük kayıplı transformatörün daha serbestçe dizayn edilebileceği genellikle söylenebilir. Bir kaide olarak çekirdeği yüksek fluks yoğunluğunda çalıştırmak daha emindir. Zira bobinlerin yalıtımı, çekirdek yalıtımına göre yüksek sıcaklıklardan daha çabuk etkilenir. Bununla beraber bakır kaybının, demir kaybına oranının yüksekliğinin serbest dizayn edilen demir devresini ve sargılarda yüksek akım yoğunluğunu belirtmediği göz önünde tutulmalıdır. Zira bu şart bakır ve demir kaybına herhangi bir oranını bulmak mümkündür. Ancak, tatbikatta mekanik dizayn, sargı sıcaklıkları vs. gibi nedenlerle sınırlar konur. Verilen bir fluks ve akım

TABLO : 4-S

GERİLİM AYAR KADEMELERİNİN POZİSYONU VE TESİRİ

Normal orandan gerilimlerin değişimi		Değişimin nasıl elde edildiği		Primer veya sekonder kademeler kullanılırken Bm'nin en büyük olduğu kademe ve gerilim			
				(a) Primer kademeler		(b) Sekonder kademeler	
Primer gerilim	Sekonder gerilim	(a) Primer kademeler	(b) Sekonder kademeler	Kademe	Gerilim eşdeğeri	Kademe	Gerilim eşdeğeri
Sabit	Sabit	-	-	Normal sargı	Normal	Normal sargı	Normal
Sabit	Normalin üstünde	(a) Eksi	-	En küçük eksi kademe	Maksimum sekonder gerilim	-	-
		-	(b) Artı	-	-	Bütün kademelerde sabit	Bütün sekonder gerilimlerde sabit
Sabit	Normalin altında	(a) Artı	-	Normal sargı	Maksimum sekonder gerilim.	-	-
		-	(b) Eksi	-	-	Bütün kademelerde sabit	Bütün sekonder gerilimlerde sabit
Normalin üstünde	Sabit	(a) Artı	-	Bütün kademelerde sabit	Bütün primer gerilimlerde sabit	-	-
		-	(b) Eksi	-	-	En küçük eksi kademe	Maksimum primer gerilim
Normalin altında	Sabit	(b) Eksi	-	Bütün kademelerde sabit	Bütün primer gerilimlerde sabit	-	-
		-	(b) Artı	-	-	Normal sargı	Maksimum primer gerilim.

yoğunluğunda, kayıpların çarpımı takriben sabit olacaktır. Yağ kanalları ve elektrikli kleransların sabit tutulduğu farzedilirse, bu çarpım küçüldükçe dizaynın daha serbest olacağı söylenebilir. Yağ kanalları; yalıtım ve kleransların azaltılmasıyla kayıplar bakımından serbestlik sağlanabilirse de; lokal ısınmalar veya yetersiz yalıtımdan dolayı dizayn eninde sonunda hasarlanmaya neden olabilecek bir transformatör imalatı ile sonuçlanabilir. Bu durumu imalatçının göz önüne alması mutlaka şarttır.

EMPEDANS:

Transformatörlerin bağlandığı sistemler sık sık arıza yaparlar. (Güç devrelerinin birbirine bağlanmasında bu durum çok sık ortaya çıkar). Transformatörün yapısında var olan empedans, harici bir kısa devre esnasında (BS. 171 - TS. 267), sargıların içinde meydana gelebilecek olan mekanik kuvvetlere karşı transformatörü korumaya yeterli olmalıdır. Transformatörün sekonder tarafından bulunan kesme gücünü (MVA) azaltmak ve daha düşük kesme kapasitesine sahip kesicilerin kullanılabilmesine imkân vermek bakımından, normalden daha yüksek değerli empedans tayin edilebilir.

Tablo 4-6 ve 4-7 ONAN tipi tek ve üç fazlı transformatörler için standart empedans değerlerini vermektedir. Bu değerler sağlam ve ekonomik bir dizayna yardım eden çeşitli özellikler arasındaki bir uzlaşmayı ifade eder. Gerekirse özel ihtiyaçlara uyabilecek şekilde bu değerler değiştirilebilir. Tablo 4-7-1, Üç fazlı transformatörler için ülkemizde kullanılan standart empedans değerlerini vermektedir.

ISINMA :

Teklif isteyen, belirlenen ısınmanın tam ihtiyaçları karşıladığına kendini inandırması önemlidir. Isınma ile ilgili değerler milli standartlarda yağ ve sargılar için (Direnc vasıtası ile) tarif edilmiştir. Güç transformatörlerinde ısınma normal kademedeki nominal güce tekabül etmelidir. Yüksek yerlerde çalıştırmak için dizayn edilen bir transformatör, deniz seviyesinde test edildiği zaman, test sahasındaki hava yoğunluğunun farkından ötürü bir düzeltme gerekli olacaktır. Isınma testlerini yürütme yöntemleri ve böyle testler esnasında elde edilen sonuçların yorumu hakkında daha ayrıntılı bilgi için (TS. 267 - BS. 171) gibi standartlara müracaat gerekir.

TOLERANSLAR :

Malzeme kalitesindeki farklılıklar ile imalat safhasında meydana gelmesi kaçınılmaz olan uyumsuzluklara belirm bir sınıra kadar müsadde edebilmek için; garanti edilen performans değerlerine aşağıdaki toleranslar uygulanır.

— Boşta Gerilim Δranı (Ana kademedede) :

1/200 veya yüzde empedans geriliminin (Uk %) 1/10'un-
dan küçük olacak.

- Demir ve bakır kayıplarının herbiri 15%(TS. '267) ve-
ya 1/7 (BS. 171) değişebilir. Ancak toplam kayıpların
1/10'dan fazla değişmesine müsadde edilmez.

— Ana kademe için empedans şerilimi :

a) Tek sargılı trafolarda garanti edilen değer H 1/10'u
b) Çok sargılı trafolarda $\pm 1/7$ 'inden 1/10'ine kadar

- Regülasyon :

Empedans ve toplam kayıplardaki toleranslara uygun ol-
malıdır.

- Boştaki akım :

Belirtilen değer 3/10'udur.

PARALEL ÇALIŞMA :

Bir transformatör, paralel çalıştırılmak üzere sipariş edil-
diği zaman, en küçük transformatörün nominal *gücü*,
gruptaki en büyük transformatörün nominal gücünün
1/3'den az olmamalıdır.

Gruptan çekilecek toplam yük, bağlanan bütün transfor-
matörlerin nominal güçlerinin toplamına eşit olduğu
zaman; transformatörlerde $\pm 10\%$ oranında güç değiş-
imine müsadde edilirse, iki sargılı transformatörlerin yükü
dengeli paylaşmaları garanti edilemez.

Bu anlatılanlar dizayn ve imalatın sağlamlığı ile ilgili ola-
rak teklif edilen performans garantilerinin nasıl dikkate
alınacaklarını ve servisin sürekli olabilmesindeki bütün so-
runları kısaca belirtmiştir.

Bundan sonra daha ayrıntılı olarak bir transformatörün
elektriki özelliklerinin, kötü dizayn ve imalat bakımın-
dan nasıl etkilendiğini, büyük bir sistemde sürekli çalış-
abilecek özellikteki bir transformatörde sadece düşük ka-
yıp, yüksek randıman garantisinin sağlanmasının yeterli
olamayacağı gösterilmeye çalışılacaktır.

TABLO : 4-6**TEK FAZLI TRANSFORMATÖRLERİN STANDART YÜZDE EMPEDANSLARI
FREKANS 50 Hz., STANDART FLUKS YOĞUNLUĞU**

kVA	Y.G. Sargısı (kV)										
	3.3	6.6	11	15	22	33	44	55	66	88	110
5	4.5	4.5	4.5	5.25							
7.5	4.5	4.5	4.5	4.75	4.75	4.75					
10	4.5	4.5	4.5	4.15	4.75	4.75					
15	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5					
20	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5					
25	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5					
30	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5					
40	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5					
50	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.5			
60	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.5			
75	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.5	5.5	5.5		
100	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.5	5.5	5.5	6.0	
125	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.5	5.5	5.5	6.0	
167	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.5
200	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.5
250	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5J	5.5	5.5	6.0	6.5
333	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	7.0
500	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	7.0
667	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	7.0
833		5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5
1000		5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5
1333		6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5
1667		6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5
2500			6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	8.0	8.0
3333			6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	8.0	8.0
5000			7.0	7.5	8.0	8.0	8.0	8.5	8.5	9.0	9.0
6667					9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	10.0	10.0
8333					9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	10.0	10.0
10000					10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

TABLO: 4-7

ÜÇ FAZLI TRANSFORMATÖRLERİN STANDART YÜZDE EMPEDANSLARI
FREKANS 50 Hz., STANDART FLUKSYOĞUNLUĞU, YILDIZ VEYA İÇGEN Y.G. VE A.G. SARGILARI

kVA	Y.G. Sargısı (kV)										
	3.3	6r6	11	15	22	33	44	55	66	88	110
5	4.75	4.75	4.75	5.5	5.5	6.0					
7.5	4.75	4.75	4.75	5.25	5.25	5.25					
10	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75					
15	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75					
20	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5					
25	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5					
30	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5					
40	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5					
50	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.5			
60	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.5			
75	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.5			
100	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5		
125	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5		
150	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5		
200	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	
250	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.5
300	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.5
400	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.5
500	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	7.0
600	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	7.0
750	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	7.0
1000	4.75	4.75	4.75	5.0	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	7.0
1250		5.00	5.00	5.5	5.5	5.5	6.0	6.5	6.5	6.5	7.0
1500		5.5	5.5	6.0	6.6	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5
2000		6.0	6.0	6.0	6.6	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5
2500		6.0	6.0	6.0	6.6	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5
3000			6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	8.0	8.0
4000			6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	8.0	8.0
5000			6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	8.0	8.0
6000			7.0	7.0	7.5	7.5	7.5	8.0	8.0	8.5	8.5
7500			7.0	7.5	8.0	8.0	8.0	8.5	8.5	9.0	9.0
10000					9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	10.0	10.0
12500					9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	10.0	10.0
15000					10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
20000					10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
25000					10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
30000					10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

TABLO: 4-7-1

Ülkemizde 3 Fazlı Transformatörlerin Standart Yüzde İmpedansları (50 Hz, Standart Fluks, Yıldız-Üçgen Y.G. Sargıları; Üçgen-Yıldız-Zirzag A.G. Sargıları)

KVA	Y.G. SARGISI			
	15 kV'j kadar (3,3-6,3- 10,515)	35 kVa kadar	66 kV.	154 kV
40	4	4,5		
50	4	4,5		
63	4	4,5		
80	4	4,5		
100	4	4,5		
125	4	4,5		
160	4	4,5		
300	4	4,5		
250	4	4,5		
315	4	4,5		
400	4	4,5		
500	4	4,5		
630	4	4,5		
800	5	6		
1000	5	6		
1230	5	6		
1600	6	6		
2000	6	6,5	7	7,5
2500	6	6,5	7	7,5
3000	6,5	*S	7,5	8
4000	6,5	7	7,5	8
5000	7	7	7,5	8
6300	7,5	7,5	8	8,5
7500		8	8,5	9
10000		9	9	10
12500		9	9	10
15000		10	10	10
20000		10	10	10
25000		10	10	10

KAYIPLAR - RANDIMAN VE REGÜLASYON :

Transformatör dizaynında göz önünde tutulacak üç farklı devre vardır.

Bunlar;

- 1) Elektrik
- 2) Manyetik
- 3) Dielektrik

devrelerdir. Bu devrelerin herbirinde aşağıda belirtilen kayıplar meydana gelir.

1) Elektrik Devresindeki Kayıplar :

- a) Yük akımlarından dolayı $I^2 R$ kaybı
- b) Boştaki akımlardan dolayı $12 R$ kaybı
- c) Kayıpları besleyen akımdan dolayı $|2 R$ kaybı
- d) Kaçak olanlardan ötürü iletkenlerdeki Edi akım kaybı

2) Manyetik Devredeki Kayıplar :

- a) Çekirdek tabakalarındaki histerisiz kayıp
- b) Çekirdek tabakalarındaki Edi akım kaybı
- c) Çekirdek klemplerinde, saplamalarında vs. dağılan (Stray) Edi akım kaybı

3) Dielektrik Devrelerdeki Kayıp :

Bu kayıp 50 kV'a kadar olan gerilimlerde küçüktür ve bu nedenle boştaki kayıplara dahil edilir.

Çeşitli kayıplar ölçülürken bulunan değerlere yukarıda bildirilen kayıpların dağılımı şöyledir. (Yukarıdaki numaralama ve harfleme aynen muhafaza edilmiştir.)

BOŞTAKİ KAYIPLAR : (Çoğu kez demir kayıpları olarak adlandırılır)

- 1 (b) Boştaki akımdan dolayı, $I^2 R$ kaybı
- 2 (a) Çekirdek tabakalarındaki Histerisiz kayıp
- 2 (b) Çekirdek tabakalarındaki Edi akım kaybı
- 2 (c) Çekirdek klemplerinde, saplamalarında vs. dağılan (Stray) Edi akım kaybı

3 Dielektrik devredeki kayıp.

YÜK KAYIPLARI : (Çoğu kez bakır kayıpları veya kısa devre kayıpları diye adlandırılır.)

- 1 (a) Yük akımlarından dolayı $I^2 R$ kaybı
- 1 (c) Kayıpları besleyen akımdan dolayı $I^2 R$ kaybı
- 1 (d) Kaçak olanlardan dolayı iletkenlerdeki Edi akım kaybı.

Bir transformatörün yüksek bir randımana sahip olabilmesi için bütün bu kayıpların bir minimuma indirilmesi gerekir. Bu nedenle ilk olarak kayıp büyüklüklerini tayin eden özellikler; ikinci olarak bunları minimuma indirmek için alınacak tedbirler incelenmelidir.

önce elektrik devresindeki kayıpları inceleyelim.

1 (a) Yük akımlarından dolayı $I^2 R$ kaybı :

Sargı akımlarının karelerinin, o sargının direnci ile çarpılması ve bunların toplanmasına eşittir. Akım değerleri sabit olduğundan, $I^2 R$ kaybını azaltmak için dizaynı yapan tarafından değiştirilebilecek yegâne faktör sargı dirençleridir.

Dirençleri minimuma indirmek için iletkenlerin toplam kesitleri mümkün olduğu kadar büyük, toplam uzunluklarını ise mümkün olduğu kadar kısa tutmak gerekir. Kesit artımı; direncin küçülmesini, $I^2 R$ kaybının kesinlikle azalmasını sağlar. Ancak ebat büyümesine ve bu nedenle manyetik devredeki kayıpları arttırmaya da neden olacaktır. Bu bakımdan makul suretle değiştirilebilecek yegâne faktör sargıların toplam uzunluğudur ve boyutlarla uygun oranlanarak bir minimuma indirilmeleri mümkündür.

1 (b) Boştaki akımlardan dolayı $I^2 R$ kaybı :

Bu kayıp çok küçüktür. Zira iyi bir dizayn ve imalat, transformatörün boştaki akımının, nominal yük akımının % 1-2'leri civarında kalmasını sağlar. Bu değer büyük transformatörlerde 0,2 %'lere kadar düşmektedir. Bu seviyede kalan bir akımın karesi ile orantılı olan kayıpların küçük olacağı da aşikârdır. Dizayn ve imalatta boştaki akımı makul sınırlar içinde tutmak için tedbirler alınırsa, bu kayıplar genellikle ihmal edilebilir. Kritik doyma noktasının altında bir fluks yoğunluğu için dizayn edilen ve çekirdeğinde anormal hava aralıkları ile saçlarında çapak bulunmayan bir trafoda boştaki akım uygun ve istenen değerleri geçmez.

Transformatörler için imal edilen soğuk haddelenmiş bir saçın B/H eğrisini gösteren şekil 4-2 incelenirse 1,6 Tesla'nın (16 kGauss) olduğu alan şiddeti H'nin süratle artmaya başladığı görülecektir. Bu nedenle transformatörlerin fluks yoğunlukları yukarıdaki değere yakın olmalıdır. (Son zamanlarda saç kalitesinde yapılan iyileştirmelerle bu kritik değer 17 kGauss civarına ulaşabilmektedir.) Küçük trafolarla bu durum çok daha önem kazanmaktadır. Zira primer sargıdaki toplam tam yük, amper-sarımla mukayese edilirse, manyetik devrenin ortalama uzunluğuna tekabül eden miknatıslama amper sarımı daha büyük olacaktır.

5

r

· |

1.8

1.6

1.4

1.2

1.0

0.8

0.6

0.4

0.2

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

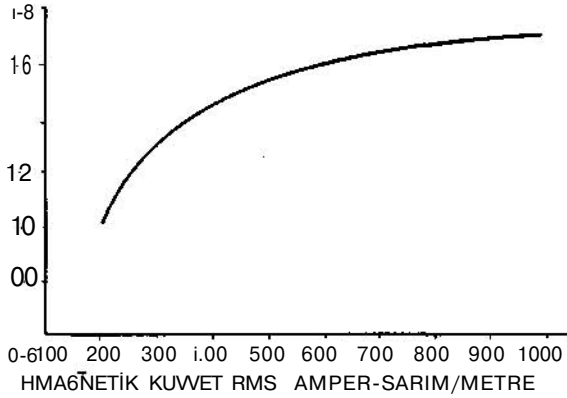
0

0

0

0

0



Şekil 4.2 0.33 mm kalınlığındaki soğuk haddelenmiş transformatör saçları için tipik A.C. mıknatıslama eğrisi.

Bu durum, tek fazlı transformatörün mıknatıslama akımını hesaplamak için kullanılan formüllerin göz önüne alınmasıyla ispat edilebilir.

$$H = \frac{I_m N_1 \sqrt{2}}{10^{-2} L_m}$$

H = Alan şiddeti (Amper - Sarım/Metre)

I_m = Mıknatıslama akımının r.m.s. değeri (Amper)

N_1 = Primer sargıdaki sarım sayısı

L_m = Manyetik devrenin ortalama uzunluğu (cm)

Formül I_m 'e göre yazılırsa :

$$I_m = \frac{10^{-2} L_m \cdot H}{N_1 \sqrt{2}} \text{ olur.}$$

$$\text{Nominal primer akım} = \frac{\text{kVA} \cdot 1000}{V_1}$$

V_1 = Primer gerilim

Yüzde mıknatıslama akımı :

$$I_m = \frac{10^{-2} \cdot L_m \cdot H}{N_1 \sqrt{2}} = \frac{V_1 \cdot 1000}{\text{kVA} \cdot 1000} = \frac{L_m \cdot H \cdot V_1 / N_1}{1414 \text{ kVA}}$$

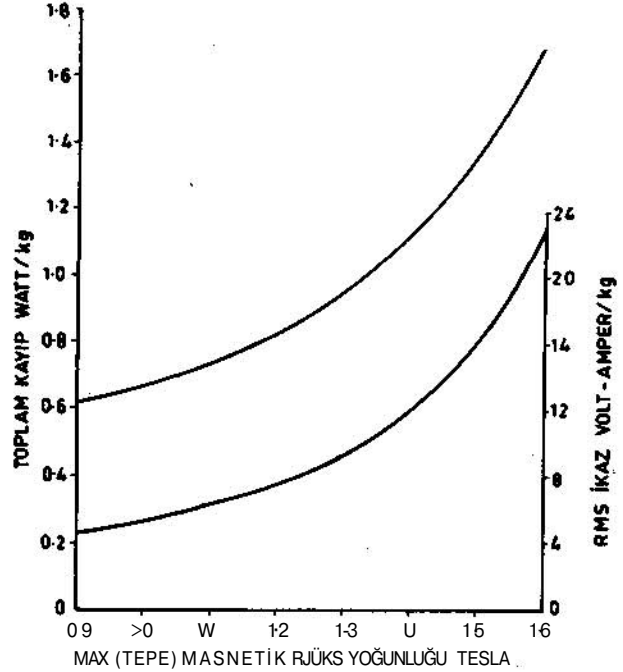
V_1 / N_1 = Her sarımdaki gerilim takriben kVA'nın karesiyle orantılı değişir.

H = Sadece B_m fluks yoğunluğuna bağlıdır.

I_m = H ve B_m 'in sabit değerlerinde kVA'nın dördüncü kökü ile ters orantılı değişmektedir.

Boştaki akım, nominal akımın küçük bir yüzdesidir. Transformatör için pek önemli sayılmayacak bir unsurdur. Şekil 4-3'de verilen bir eğriden boştaki akımı hesaplamak bugün için daha o/ağandır. Bu eğriden belirli bir fluks yoğunluğu değerinde, çekirdeği ikaz eden (her

kg'ını) Volt-Amper değerini ve boştaki akımı bulmak mümkündür. Üç fazlı bir transformatörde, manyetik devredeki simetrisizlikten ötürü, bacaklardaki farklı oluşacak üç faz akımının aritmetik ortalaması, yukarıdaki eğriden bulunan boştaki akıma eşittir.



Şekil 4.3 0.33 mm kalınlığındaki soğuk haddelenmiş transformatör saçları için tipik demir kaybı ve ikaz Volt-Amper özellikleri.

1 (c) Kayıpları besleyen akımdan ileri gelen $I^2 R$ kaybı :

Serviste bulunan bir transformatörde giriş gücü, çıkış gücü toplam kayıplarının toplamına eşit miktarda aşar. Bu nedenle primer akım, nominal güç ve primer gerilimden hesaplanarak bulunan değerden daha büyüktür. Büyüyen primer akım ilave $I^2 R$ kaybı yaratacaktır. Kayıpları besleyen akımdan ileri gelen $I^2 R$ kayıpları işte bu kayıptır. Bu kayıp önceki durumda olduğu gibi ihmal edilir. Diğer kayıpların minimuma indirildiği bir dizaynda bu kaybın da azaltılacağı aşikârdır.

1 (d) Kaçak alanlardan iletkenlerde ileri gelen E_{di} akım kayıpları :

Manyetik olanlardaki dağılmalardan ileri gelen bu kayıplara, iletkenlerdeki E_{di} akımları sebebiyet verir. Bu kayıplar belirli bir doğruluk seviyesinde hesaplanması en zor olan kayıplardır. Dizaynda gerekli itina gösterilmezse çok önemli büyüklüklere ulaşabilirler. Bu kaybı hesaplamak için zaman zaman çeşitli formüller ileri sürülmüştür. Ancak hesaba etkisi olan pek çok faktör vardır. Bu nedenle formüller vasıtası ile hesabetmek yerine $I^2 R$ kayıplarına belirli bir yüzde ilave etmek daha pratiktir. İlave

edilecek yüzdelere belirli transformatör tiplerinin tecrübeleri ile belirlenmeye çalışılır. Bu kaybın minimuma indirilebilmesi için artma veya eksilmesine neden olan çeşitli faktörleri gözönünde tutmak gerekir. Genel olarak kaçak fluks yoğunluğunun karesiyle, transformatör toplam bakır ağırlığıyla ve kaçak fluks yoluna dik gelen iletkenlerin boyutlarının karesiyle orantılı olduğu söylenebilir. Bu faktörlerden kaçak fluks yoğunluğu ile toplam bakır ağırlığı çoğunlukla sabittir. Bu nedenle değiştirilebilecek yegâne faktör, kaçak fluks yoluna dik gelen münferit iletkenlerin boyutlarıdır. Bu boyut; iletkenleri bölümlere ayırarak (Kesiti küçülterek) ve çeşitli kısımları birbirinden yalıtarak, mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır.

Çoğunlukla Edi akım kaybının içinde farzedilen bir kayıp daha mevcuttur. Aslında bu kayıp bir Edi kaybı değildir. Bölümlere ayrılmış bir iletkenin çeşitli kısımlarının veya katlarının yükü eşit olarak bölüşmemesinden ileri gelen bir kayıptır. İletken uzunluklarının eşit olmaması, kaçak fluksa nazaran homogen, simetrik, dengeli yerleştirilmelerinin mümkün olmamasından ortaya çıkar. Sarma işlemleri esnasında terminalden terminale iletkenlerde yapılacak uygun transpozisyonlarla bu problem çoğunlukla halledilebilir.

2 (a) Çekirdek tabakalarındaki histerisiz kaybı :

Kullanılan çekirdek saçlarının kalitesine bağlıdır. Saç imalatçıların verdikleri eğrilerden kayıplar hesaplanabilir. Tabii olarak kullanılan malzemenin ağırlığı ile orantılı olacak ve dizaynda seçilen fluks yoğunluğuna göre değişecektir. Bu kaybın mümkün olduğunca azaltılabilmesinde, çekirdek ağırlığının da mümkün olduğunca azaltılması ve fluks yoğunluğunun büyük seçilmemesi gerekir. Ancak fluks yoğunluğunu azaltmanın; sargıların sarım uzunluğunu artıracak daha büyük kesitli saç kullanılmasına veya sarım sayılarının artırılmasına, böylece her iki halde de sargılardaki kayıpların artırılmasına neden olacağı da göz önünde tutulmalıdır.

2 (b) Çekirdek tabakalarındaki Edi akımı kaybı:

Bu kayıp fluks yoğunluğuna, çekirdek saçlarının kalitesine, saçların kalınlığına ve çekirdek saçları arasındaki yalıtıma bağlıdır. Histerisiz kayıpları için söylenenlerin çoğu bu kayıplar için de geçerlidir. Gerçekte iki kayıpta silisli saç imalatçılarından temin edilen eğrilerden çoğunlukla müşterek olarak hesaplanır. Şekil 4-4 50 Hz ve 60 Hz. için transformatörlerde kullanılan 0,33 mm.lik saçların her kg.'ında kayıp ve fluks yoğunluğu arasındaki takribi ilişkiyi gösteren eğrilerdir. Belirli bir malzeme ağırlığı için kayıp, silisli saç tabakalarının kalınlığı azaltılarak küçültülebilir. Ancak kalınlığın aşırı derecede azaltılması aşağıda dezavantajları ortaya çıkarır.

1. Tabakaların kalınlığı çok küçültülürse, aralarındaki yalıtımın toplam kalınlığı daha büyük olur ve doldurma faktörü kötüye gider.
2. Saç tabakaları incelidikçe transformatör çekirdeğinin montajı zorlaşır. Kalınlıklar çok azaltılırsa, demir kayıplarında kazanılmaya çalışılan avantaj, boyunduruklara

saçların kusurlu dizilmesiyle (İnterleave) kaybedilir. Ayrıca; çok ince saçlardan inşa edilen çekirdek daha kalın plakalardan inşa edilen çekirdekten, mekanik olarak daha kuvvetsizdir.

2 (c) Çekirdek klemplerinde, saplamalarında vs. dağılan (Stray) Edi akım kaybı :

Bu kaybın önceden tayini çok zordur. İletkenlerdeki Edi kayıplarında olduğu gibi tecrübelerle dayanılarak belirlenirler. Çekirdek saç eğrilerinden hesaplanan manyetik devre kayıplarına, belirli bir % de ilavesi ile hesaplara katılırlar. Bu kayıpları minimumda tutabilmek için, klemplere çok dikkat edilmesi gerekir.

2 (d) Tanka dağılan (Stray) kaybı :

Bakır kaybını artırma hariç, 2 (c)'de izah edilene benzer ve çoğu kez aynı tarzda hesaba katılır. Bu kayıp tankı kesen fluks dağılımından iki gelir. Yükleme şartlarında, bilhassa sekonder akım büyükse, oldukça yüksek oranlara çıkabilir. Sekonder çıkışlarda yapılacak uygun dizayn, bu kaybı azaltacaktır. Büyük akım taşıyan buşingler, kapak veya tankın yan yüzlerinde aynı etkiyi yaratırlar ve bu kayıpları artırır. Buşing flanşları civarında amanyetik malzeme kullanılarak stray (Dağılma) kayıpları uygun oranlar içinde tutulabilir.

Bir transformatörde çeşitli kayıpları hesaplamak için kullanılan yöntemlerin özetlerinden sonra, bu kayıpları bir minimuma indirmek için kullanılan araçlardan mümkün olan en iyi sonuçları elde edebilmek için bir nevi uzlaşma yapılmasının gerekliliği görülmektedir. Boştaki kayıpları (Demir) azaltmaya yönelik çabalar, bakır kaybını artırmaya yönelik olacaktır. Bu nedenle, en iyi dizaynın hangi sıra boyunca olacağına kesin karar vermeden önce, iki esas kayıptan hangisinin minimum olacağını belirlemek gerekir. Bunun neticesi olarak; bakır kaybına göre, çok düşük bir demir kaybına sahip olan bir transformatörün maksimum randımına daha düşük güçlerde sahip olacağına dikkat etmektir. (Bakır kaybına göre demir kayıpları büyüdükçe maksimum randım için güç büyüyecektir.) Sonuç olarak; düşük yüklerde çalıştırılan bir transformatörde, bakır kayıplarını biraz daha artırsa bile, demir kayıplarının minimuma indirilmesi gerektiği anlaşılmalıdır. Kayıpların oranına karar verirken gözönünde tutulması gereken bir başka nokta da, transformatör kullanılmadığı durumlarda şebekeden ayrılmazsa sürekli bir demir kaybı mevcut olacaktır. Bakır kaybı sadece transformatör yük altında iken etkin olacaktır. Bu incelemeler sonucu, bir transformatörün mümkün olduğunca küçük demir kaybı ile dizayn edilmesinin çoğu kez arzu edildiği, bakır kaybının nisbeten önemsiz olduğu görülecektir. Ancak böyle bir transformatörde aşağıda belirtilen dezavantajlara sahip olacaktır.

1. Bakır kaybının demir kaybına oranı yüksek olan bir transformatörün empedansı da yüksektir. Bu durum kısa devrelere çok sık maruz kalan transformatörlerde avantaj sağlasa bile, bilhassa küçük güç faktörlerinde transformatörün çok yüksek bir regülasyona sahip olmasına sebep olur.

2. Bakır kaybı, akımın karesi ile orantılı değiştiğinden, bakır kaybı demir kaybına göre büyük olan transformatörler, iki kaybın birbirine yaklaştığı transformatörlere göre daha düşük bir yükleme kapasitesine sahiptir.

3. Uygulamada akım ve manyetik fluks yoğunlukları takriben sabittir. Bu nedenle esas iki kayıp, kullanılan aktif malzeme ağırlıkları ile genellikle orantılı olacaktır. Bakır kaybının demir kaybına oranının yüksek olduğu bir transformatörde, bakır ağırlığının demir ağırlığına oranı da yüksek olacaktır. Bobin ve yağ kanallarının dizaynında çok dikkatli olunmazsa böyle bir transformatörün şargılarında sıcak noktaların meydana gelmesi (hot spots) ihtimali kayıp oranları birbirine yakın ve normal olan transformatörlere göre, çok daha fazla olacaktır.

RANDIMAN

Bir transformatörün randımanı, yüzde cinsinden

$$\frac{\text{Watt cinsinden güç}}{\text{Watt cinsinden toplam kayıplar}} \times 100$$

Watt cinsinden güç + Watt cinsinden toplam kayıplar

eşit olarak ifade edilir.

Kayıplar konusunda ewelce söylenenlerden, bütün yüklerde manyetik devredeki kayıpların sabit olduğu, bu sebeple transformatör gücünün bir yüzdesi olarak ifade edi-

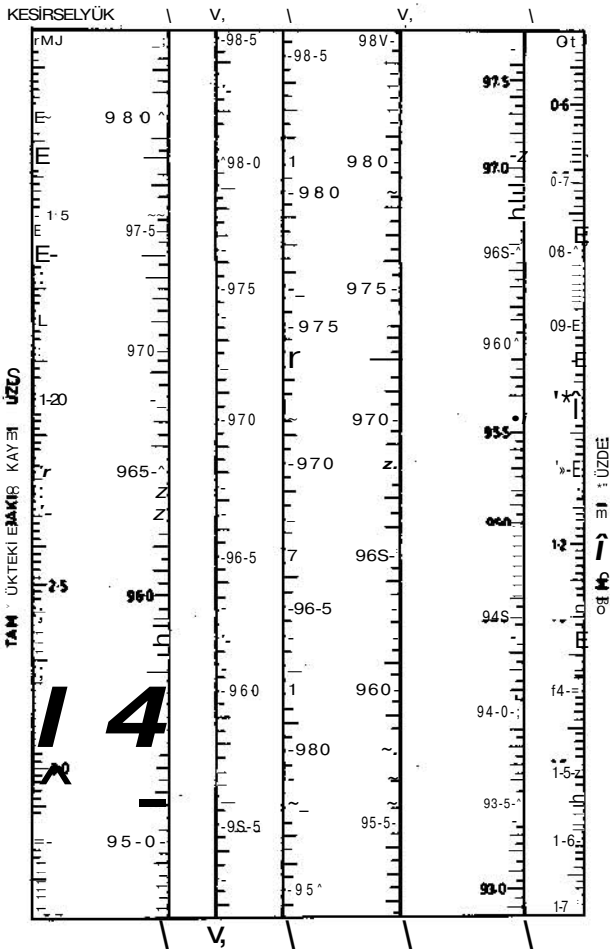
len bu kayıpların, yükte ters orantılı olarak değişeceği anlaşılmalıdır. Diğer taraftan bakır kayıpları, transformatörün taşıdığı yükün karesiyle değişir ve bunun için yükün bir yüzdesi olarak ifade edilince, yükte doğru orantılı olarak değişecektir. Basit matematik işlemleriyle iki esas kaybın eşit olduğu bir yükte, transformatörün en yüksek randımana sahip olduğu ispat edilebilir. Bundan randımanın en yüksek olduğu yükün:

$$\frac{\text{Yükte yük}}{\text{Yükte yük}} = \frac{\text{Demir kaybı}}{\text{Bakır kaybı}} \times 100 \text{ olarak anlaşılır.}$$

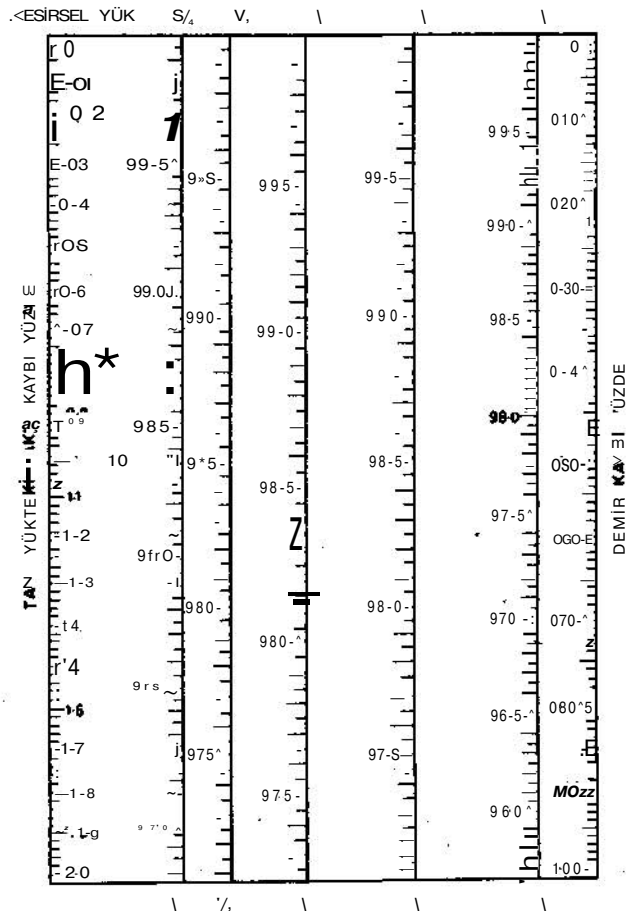
Bunun için, bakır kaybının demir kaybına oranının dörtte bir olduğu bir transformatör, maksimum randımana yarım yükte sahip olacaktır. Genel olarak ifade edilirse, kayıpların oranına yakın bir yaklaşım, her ne kadar bu oranın kararlaştırılmasında ayrı ayrı kayıplar hakkında önceden söylenenlerin akılda tutulması gereklisede, beslenecek olan yükün cinsi göz önüne alınarak tayin edilir.

Bu transformatör randımanının çabuk hesaplanması için Şekil 4.5 ve 4.6'da gösterilen nomogramların faydalı oldukları anlaşılmıştır.

Verilen bir yükteki randımanı bulmak için, demir ve bakır kaybı değerleri arasına düz bir cisim yerleştirilir ve düz cismin istenilen yük ordinatını kestiği noktadaki randıman okunur. (Cetvel ile)



Şekil 4.5 Transformatör randımanı abağı



Şekil 4.6 Transformatör randımanı abağı*

Verilen bir yükteki randımanı bulmak için, demir ve bakır kaybı değerleri arasına düz bir cisim yerleştirilir ve düz cismin istenilen yük ordinatını kestiği noktadaki randıman okunur.

Bu nomogramlarda, sol tarafta, yüzde bakır kayıplarını, sağ tarafta yüzde demir kayıplarını gösteren ölçekler olduğu görülecektir. İncelenen transformatörün normal tam yük değerindeki yüzde kayıplara tekabül eden noktalarda, bu iki ölçeği kesecek şekilde düz bir cisim konulunca, nomogramlarda gösterilen çeşitli yüklerdeki randımanlar doğrudan doğruya okunabilir. Nispeten düşük bir reaktansa sahip olan normal bir güç transformatöründe, güç faktörünün bir olduğu değerdeki yüzde regülasyon, bakır kaybının güce bölünüp yüzle çarpılmasına eşittir. Bununla beraber şayet reaktans yeteri kadar büyükse bunun için bir tolerans bırakmak gereklidir. Güç transformatörlerinde normal olarak bulunan reaktansların sahası için aşağıdaki formülün yeterince doğru olduğu anlaşılacaktır. (20 %'nin üzerindeki empedanslar için B.S. 171'e bakınız)

Güç faktörünün bir olduğu değerdeki yüzde regülasyon

$$= \frac{\text{Bakır kaybı} \times 100}{\text{güç}} + \frac{(\text{Yüzde reaktans})^2}{200}$$

Güç faktörünün birden farklı olduğu değerlerdeki regülasyonu bulmak için, aşağıdaki formül kullanılacaktır.

Cos 0₂ güç faktöründeki yüzde regülasyon

$$= V_R \cos 0_2 + V_x \sin 0_2 + \frac{(V_x \cos 0_2 - V_R \sin 0_2)^2}{200} \quad (4.1)$$

V_R = Yüzde direnç gerilimi, yani $\frac{\text{Bakır kaybı} \times 100}{\text{güç}}$

V_x = Yüzde kaçak reaktans gerilimi olur.

Formül, aynı zamanda, aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Cos 0₂ = m' güç faktöründeki yüzde regülasyon

$$= V_{R'} m + V_x y \sqrt{1 - m^2} + \frac{(V_x m - V_{R'} / \sqrt{1 - m^2})^2}{200}$$

Bir transformatörde, verilen şartlar altındaki farklı güç faktörlerinde yüzde regülasyonun süratle tayin edilmesi için Şekil 4.7 ve 4.8'de gösterilen nomogramlar kolaylık sağlayan bir araçtır.

Ticari testlerde, doğrudan doğruya ölçülen daima empedans gerilim düşmesidir (reaktans gerilim düşmesi değildir.) Bununla beraber yüzde reaktans,

$$V_x = \sqrt{V_z^2 - V_R^2}$$

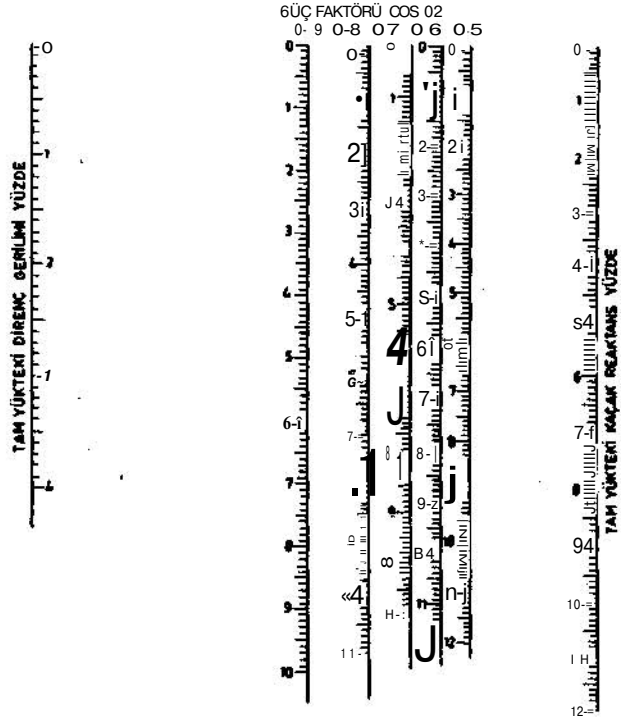
formülünden kolayca hesaplanabilir.

V_x = Yüzde kaçak reaktans gerilimi

V_z = Yüzde empedans gerilimi

V_R = Yüzde direnç gerilimi

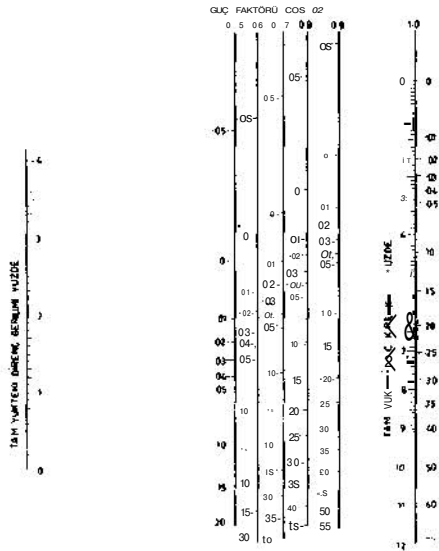
Bir transformatör reaktansının, düşük güç, faktörlerinde, regülasyon üzerinde yeterince hissedilebilir bir etkiye sahip olduğu bu formüllerden anlaşılacaktır. En kötü regülasyonun, yüzde bakır kaybının yüzde empedansa bölünmesine eşit bir güç faktöründe meydana geldiğini ve bu RÜÇ faktöründe, regülasyonun yüzde empedansa eşit olduğunu belirtmek ilginçtir.



Şekil 4.7 Transformatör regülasyon abağı

Verilen bir güç faktöründeki yüzde regülasyonu bulmak için, V_R ve V_x 'in değerlerini hesaplamak gereklidir ve sonra bu değerlerin arasına düz bir cisim yerleştirerek, uygun güç faktörü ölçeğinden regülasyon okunur. Şekil 4.7 denklem 4.1'in ($V_R \cdot \cos 0_2 + V_x \cdot \sin 0_2$) kısmı ve Şekil 4.8 aynı denklemin ($(V_x \cdot \cos 0_2 - V_R \cdot \sin 0_2)^2 / 200$) kısmı için regülasyonu verir. Toplam regülasyon bu iki bileşenin toplamıdır.

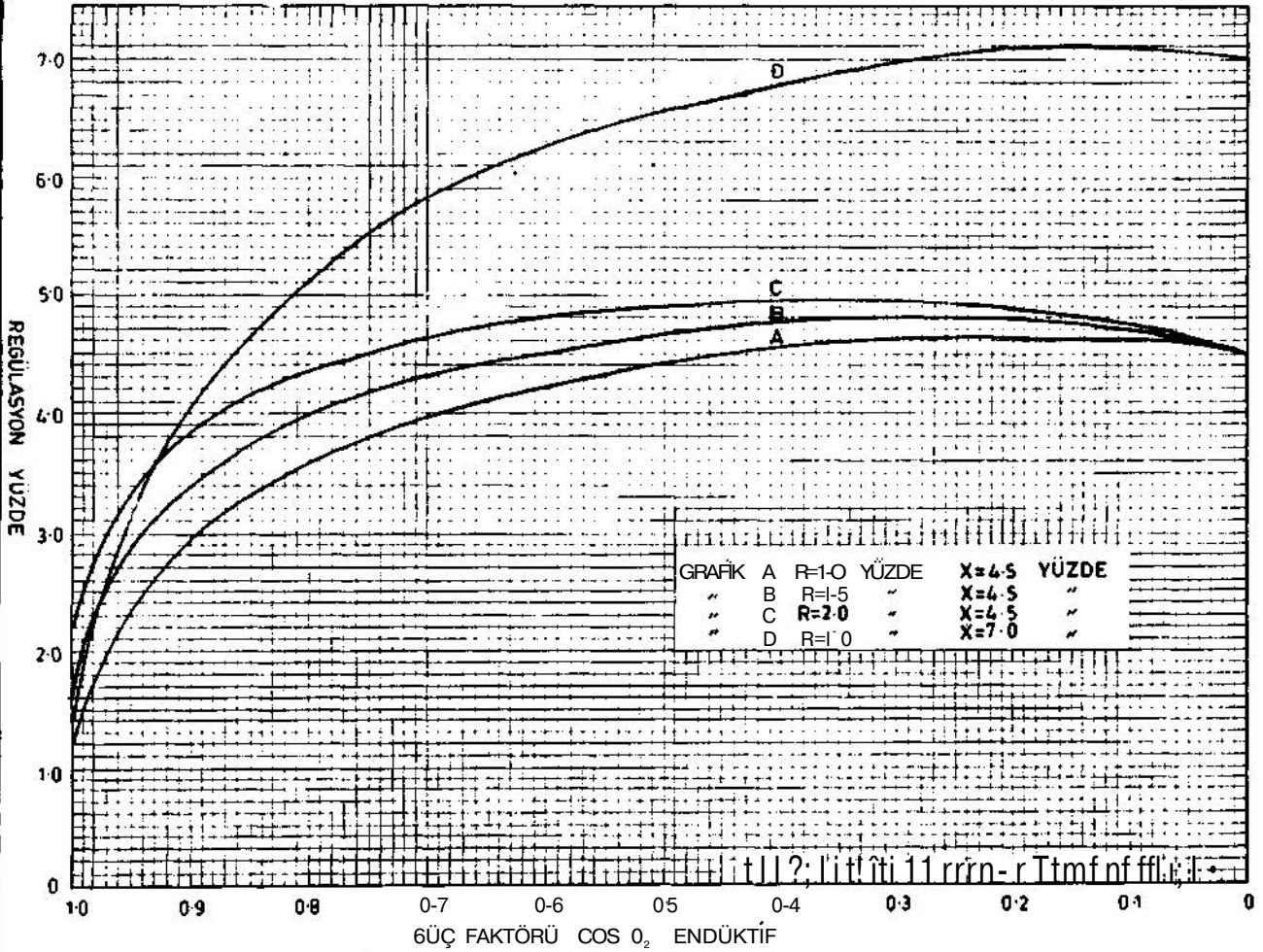
Tam yükte, regülasyon ve güç faktörü arasındaki ilişkiyi gösteren tipik eğriler Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Bu eğriler hazırlanırken, çeşitli yüzde bakır kayıpları ve kaçak reaktanslar alınmıştır. Düşük regülasyon arzu edilirse, düşük bir reaktansa sahip olan bir transformatöre gerek bulunduğu görülmektedir. Böyle bir transformatör, regülasyon bakımından ihtiyaçları kesinlikle karşılar, fakat aynı zamanda, dezavantajları da vardır. Bir zamanlar, transformatör imalatçıları çok iyi regülasyona sahip olan transformatör taleplerini karşılamak için 2%'ye kadar azalan kaçak reaktansa dizayn yapma alışkanlığında iddiler. Fakat böyle dizayn edilen bir transformatörde, sistemde bir kısa devre meydana gelirse, bilhassa sistemdeki toplam güç arttıkça büyük hasarlar olması ihtimal dahilindedir.



Şekil 4.8 Transformatör regülasyon ab.üü

Verilen bir güç faktöründeki yüzde regülasyonu bulmak "Çi". VR ve Vx'in değerlerini hesaplamak gereklidir ve sonra bu değerlerin arasına düz bir cisim yerleştirerek, uygun güç faktörü ölçeğinden regülasyon okunur Şekil 4.7 denklem 4.1'in $(VR \cos \theta_2 + Vx \sin \theta_2)$ kısmı ve Şekil 4.8 aynı denklemin $(Vx \cos \theta_2 - VR \sin \theta_2) / 200$ kısmı için regülasyonu verir. Toplam regülasyon bu iki bileşenin toplamıdır.

Bir transformatörde meydana gelen mekanik gerilmelerin, takriben akımın karesiyle değiştiği hatırlanmalıdır. Bir kısa devre meydana gelmesi halinde, kısadevre akımı, transformatörün yüzde empedansı ile ters orantılı olarak değişir. Bu sebepten, bir kısadevreden dolayı meydana gelen mekanik gerilmeler, yüzde empedansın karesiyle ters orantılı değişir. Böyle gerilmelerin 2 % empedansa sahip olan bir transformatördeki büyüklüğü, 5 % empedansa sahip olan bir transformatörde olanlardan, altı defadan fazla olacaktır. Bir transformatör empedansının ne olacağına karar verirken, meseleye bütün güç faktörlerini



Şekil 4.9 Yüzde empedansı değişen değerler için çeşitli güç faktörlerindeki transformatör regülasyonlarını gösteren eğri.

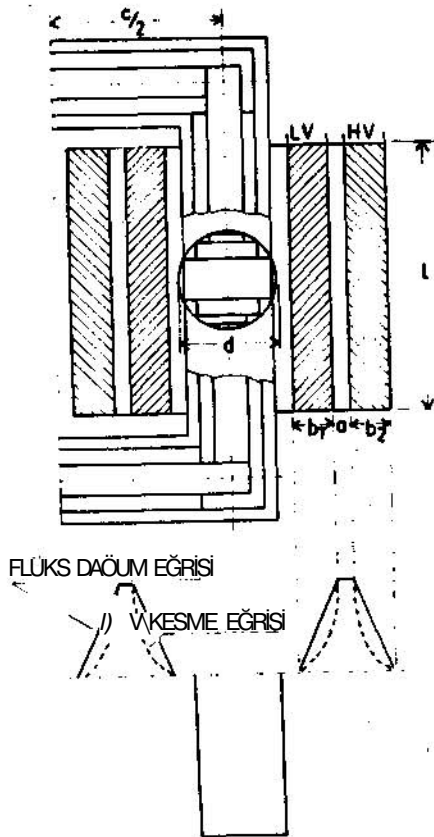
de iyi regülasyon elde edilmesini gözönünde tutmaktan /iyade, emniyet açısından bakmak daha iyidir. Transformator mühendisliğinin bu safhası, çeşitli sistemlerin toplam gücünde yer alacak olan çok geniş kapsamı sebebiyle çok önemlidir. (Bir kılavuz olarak minimum empedanslar tablo 4-6, 4-7 ve 4-7-1'de verilmiştir.)

Kaçak reaktansı etkileyen transformator dizaynındaki özellikler bakımından, çekirdek tipi, müşterek merkezli sargıları olan bir transformatorün reaktansının hesaplandığı formülü gözönünde tutmak ilginçtir. Bu formül aşağıda gösterildiği şekildedir.

$$\text{Yüzde reaktans} = \frac{7.9 \text{ INmwf}}{N1} \left(a + \frac{b1 + b2}{3} \right) \times 10^{-6} \quad (4.2)$$

Formüle :

IN = A.G. veya Y.G. sargısındaki toplam amper-sarım,
 λw = A.G. ve Y.G. sargılarında sarımların ortalama uzunluğu,



Şekil 4.10 Reaktans formülleri için boyut şeması

f = Frekans (Hertz),

V/N = A.G. veya Y.G. sargılarında her sarımdaki gerilim,

l = Daha kısa sargının aksiyal uzunluğu

a = Y.G. ve A.G. sargıları arasındaki çıplak bakırdan çıplak bakıra radyal mesafe,

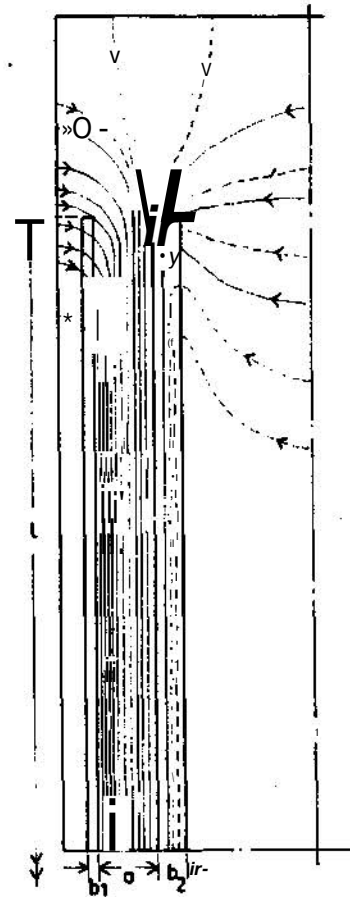
b1 = A.G. sargısındaki çıplak bakırın radyal genişliği,

b2 = Y.G. sargısındaki çıplak bakırın radyal genişliği olur.

Bu formül bütün boyutlar santimetre (cm) olduğu zaman geçerlidir. Esas boyutlar, açıklığa kavuşturulması için Şekil 4-10'da şematik olarak gösterilmiştir. Şekil aynı zamanda bir flüks dağılım eğrisini ve bazen kesme-linkage-şeması denen eğriyi de göstermektedir. Kesme şeması, kaçak flüks yoğunluğunun ve Y.G. veya A.G. sargılarının herhangi bir noktasında kesilen (Links) sarımların çarpımını gösterir. Reaktans formülünün (Denklem 4.2) sonunda parantez içerisinde gösterilen; bir olan, bir maksimum ordinatın kabul edilmesiyle, bu eğrinin altındaki alandır.

Şekil 4-11 tipik flüks şartlarını tanımlar.

• Hem mekaniki, hem de elektriki sebeplerden iki sargının aksiyal uzunlukları eşit olmalıdır. Daha kısa sargı dernekle, uygulamada kaçınılması imkânsız küçük farklar kastedilmiştir.



Şekil 4.11 Kaçak flüks şeması

Yapı oranları değişiminin, reaktans üzerindeki niceliksel etkilerini anlayabilmek için meseleye bir gözatmak uygun olur ve aşağıdaki ifadeler bunu anlatır. Verilen bir kVA güründe, primer ve sekonder gerilimlerinde:

(1) İki sargıdan birisindeki İN, sargıdaki sarım sayısı N ile doğru orantılı olarak değişir.

$$\sqrt{a} \frac{1}{\sqrt{IN}} - a \frac{1}{d^2} ; d \text{ çekirdek dairesi çapı}$$

(2) Mw, yapı boyutları fazla değiştirilmezse, çok fazla değişmez.

(3) $\sqrt{IN} \propto d^2$

(4) L, gerçekte, aksiyal sargı uzunluğudur, fakat niteliksel maksatlar için, çekirdek uzunluğu olarak alınabilir.

(5) $(a + \frac{b_1 + b_2}{3}) a (c - d) ; c$ çekirdek merkezleri arasındaki mesafe olur.

Bu orantılandırma, ana (majör) yalıtımın, yağ kanallarının ve bobinlerin nisbi ebadlarının çok değişmediğini kınılar. Yapı oranlarında çok büyük değişiklikler olmaması şartıyla yukarıda söylenenlerden,

$$(6) X a \sqrt{\frac{1}{d^2} \frac{1}{d^2} \frac{1}{L}} (c - d) ; \text{ yani,}$$

$$X a \frac{c - d}{d^4 L} \text{ olduğu görülecektir.}$$

(7) Ortalama sarım uzunluğunun oldukça etkileneceği bir seviyede yapı boyutu değiştirilirse, Mw a c + d ifadesi, bir yaklaşım olarak alınabilir.

(8) (7)'de bahsedilen şartlar altında, reaktans orantılandırılması :

$$X a \sqrt{\frac{1}{d^2} \frac{1}{d^2} \frac{1}{L}} (c + d) \frac{1}{L} (c - d) \text{ yani,}$$

$$X a - \frac{c^2 - d^2}{d^4 L} \text{ olur.}$$

Not : Şayet sargı bakır faktörü akım yoğunlukları ve manyetik fluks yoğunlukları sabit kalırsa, c, d ve L ayrı ayrı değişebilir, fakat $d^2 L (c - d)$ çarpımının sabit kalması gerekmektedir.

TRANSFORMATÖR DİZAYNI

Transformatör dizaynında, her zaman gözönünde tutulması gereken önemli özellikler, aşağıda gösterildiği şekilde özetlenebilir.

İŞLETME EMNİYETİ :

Hem dizayn hem de imalattaki ilk düşünce, bir transformatörün işletme emniyetini tayin etmektir; esas faktörler :

- (a) Sağlam mekanik yapı
- (b) Serbest yağ kanalları ve elektrikli kleranslar
- (c) Mahalli ısınmayı önleyecek akım ve fluks yoğunlukları
- (d) Serbest yayılma yüzeyleri
- (e) Uygun yağ olarak belirlenebilir.

Bütün bu faktörler bir transformatörün ilk masrafının artırılmasına neden olur. Ancak tamir masraflarından tasarruf ve servis sürekliliğinin sağlanması avantajı çok daha önemli bir husustur.

DEMİR KAYBI :

Bu kayıp sabit ve transformatörün devreye bağlandığı anlarda sürekli olduğundan, bir transformatörün demir kaybının minimuma indirilmesinin gerektiği belirtilmiştir. Bununla beraber düşük bir demir kaybı (şaphesiz büyük bir avantaj olmasına rağmen) çok yüksek bakır kaybı pahasına elde edilmemelidir. Bu nedenle işletme emniyetini feda etme olasılığı ve diğer sorunlar ewelce söylenenlerin ışığı altında göz önünde tutulmalıdır.

BAKIR KAYBI :

Verilen bir güç ve orantılardaki ticari bir transformatörün işletilmesinin, genellikle demir ve bakır kayıplarının toplamına eşit miktarda oldukça sabit güç kaybını gerektireceği hatırlanmalıdır. Bu ifadenin kabulü, ticari bir transformatörün demir kaybı çok düşükse, bakır kaybının yüksek olacağını ve tersini belirtir. Yüksek bakır kaybı, bobinlerin iç tarafında meydana gelecek lokal aşırı ısınma ihtimalinden dolayı, bobin yalıtımına kötü etki ilebilir. Bunun için çok düşük demir kaybını, bakır kaybına veya transformatörün elektrikli veya termik dizaynına feda etmektense, bakır ve demir kayıpları arasında daha yakın bir uyum ile dizayn yapmak uygulamada daha sıhhatlidir.

EMPEDANS :

Empedansın regülasyon üzerindeki etkisi anlatılmış, düşük güç faktörlerinde yüksek bir empedansın, yüksek bir regülasyonu gerektirdiği belirtilmiştir. Böyle yüksek regülasyon elbette istenmeyen bir özelliktir, fakat harici kısa devrelere yeterince dayanması gereken bir transformatörde hasara karşı en iyi korumanın oldukça yüksek bir empedans olduğu gözden kaçırılmamalıdır.

Bunun için bir transformatör empedansının ne olacağı kararlaştırılırken öncelik işletme emniyetine ve güvenine verilmelidir. Bu hususta paralel çalışma sorunu da önemlidir. Çünkü mevcut bir transformatörle paralel çalışacak transformatörün, yüzde empedansı ilk belirtilenin yüzde empedansına eşit olmalıdır. Bununla beraber, modern şartlar altında tatmin edici servis için, empedans çok düşük olursa, gelişmiş teknoloji modern uygulamaya uygun olmayan yüksek empedanslı bir dizaynı devam ettirmek yerine, mevcut transformatöre seri bağlanan reaktanslar ilave etmek daha iyi olur.

BİR TRANSFORMATÖRÜN PERFORMANSINI TAYİN EDEN FORMÜLLER :

Randımanlar :

Herhangi bir yükte ve herhangi bir güç faktörü COS ϕ_7 'de-

ki yüzde randıman

$$\eta = \left(1 - \frac{\text{Yüzde demir kaybı} + \text{Yüzde bakır kaybı}}{(\text{Cos } \theta_j \times 100) + \text{Yüzde demir kaybı} + \text{Yüzde bakır kaybı}} \right) 100$$

Yukardaki formüle eklenecek yüzde kayıplar, aşağıda tablo 4.8'de belirtildiği gibi önce incelenen yük için tayin edilir.

TABLO 4.8

Yük	5/4	1/1	3/4	1/2	1/4
Yüzde demir kaybı	4/4 T _i · P _f	4/3 P _f	2/1 P _f	4/TP _f	
Yüzde bakır kaybı	5/4 P _c	P _c	3/4 P _c	1/2 P _c	1/4 P _c

P_f Normal gerilimde yüzde demir kaybı,

P_c = Tam yükte yüzde bakır kaybı, olur.

örnek : 1000 kVA, 3-Fazlı, 50 Hz 6300/400 Volt, Demir kaybı 1770 Watt, bakır kaybı, tam yük ve 75°C'de 11640 Watt, Empedans gerilimi, tam yük ve 75°C'de 4,75 %

(a) Tam yükte, güç faktörünün bir olduğu değerde :

$$\text{Yüzde demir kaybı} = \frac{1770 \times 100}{1000 \times 1000} = 0,177 \%$$

$$\text{Yüzde bakır kaybı} = \frac{11640 \times 100}{1000 \times 1000} = 1,164 \%$$

Cos 02 = 1.0

Yüzde randıman =

$$\left(1 - \frac{0,177 + 1,164}{(1 \times 100) + 0,177 + 1,164} \right) 100 = 98,67 \%$$

(b) 5/4 Yükte, güç faktörünün bir olduğu değerde :

$$\text{Yüzde demir kaybı} = \frac{4}{5} \times 0,177 = 0,142 \%$$

$$\text{Yüzde bakır kaybı} = \frac{5}{4} \times 1,164 = 1,455 \%$$

Cos 02 = 1.0

Yüzde randıman =

$$\left(1 - \frac{0,142 + 1,455}{(1 \times 100) + 0,142 + 1,455} \right) 100 = 98,43 \%$$

(c) 3/4 Yükte, Cos 0₂ = 0.8

$$\text{Yüzde demir kaybı} = \frac{4}{3} \times 0,177 = 0,236 \%$$

$$\text{Yüzde bakır kaybı} = \frac{3}{4} \times 1,164 = 0,874 \%$$

$$\left(1 - \frac{0,236 + 0,874}{(0,8 \times 100) + 0,236 + 0,874} \right) 100 = 98,90 \%$$

Kaçak reaktans :

Tam yükteki yüzde kaçak reaktans gerilimi :

$$V_x = \sqrt{V_z^2 - V_R^2}$$

V_z = Tam yükteki yüzde empedans gerilimi.

VR = Tam yükteki yüzde direnç gerilimi olur.

Tam yükteki yüzde direnç gerilimi, tam yükteki yüzde bakır kaybı olarak alınabilir.

Tam yükten farklı yüklerdeki yüzde kaçak reaktans gerilimi ve yüzde direnç gerilimi, tam-yük değerlerini tablo 4.9'da verilen faktörlerle çarparak bulunabilir.

TABLO 4.9

Yük	5/4	1/1	3/4	1/2	1/4
Faktör	5/4	1	3/4	1/2	1/4

Örnek : 1000 kVA, 3 Fazlı, 50 Hz., 6300/400 Volt, Demir kaybı 1770 Watt bakır kaybı, tam yük ve 75°C'de 11640 Watt, Empedans gerilimi, tam yük ve 75°C'de 4,75 %

(a) Tam yük, yüzde empedans ve direnç geriliminden, yüzde reaktans gerilimini bulmak için :

Tam yük yüzde empedans gerilimi = 4,75 %

$$\text{Tam yük yüzde direnç gerilimi} = \frac{11640 \times 100}{1000 \times 1000} = 1,164 \%$$

$$\text{Tam yük yüzde reaktans gerilimi} = \sqrt{4,75^2 - 1,164^2} = 4,604 \%$$

(b) 5/4 Yükteki reaktans gerilimini bulmak için :

$$\text{5/4 Yükte yüzde reaktans gerilimi} = \frac{5}{4} \times 4,604 = 5,755 \%$$

(c) 3/4 Yükteki yüzde direnç gerilimini bulmak için :

$$\text{3/4 Yükte yüzde direnç gerilimi} = \frac{3}{4} \times 1,164 = 0,874 \%$$

Regülasyon :

Herhangi bir yükteki ve herhangi bir güç faktörü Cos 0₂ deki yüzde regülasyon

(Yüzde direnç gerilimi x Cos <ρ₂>) + (Yüzde reaktans gerilimi x Sin 0₂)

[(Yüzde reaktans gerilimi x Cos <j>₂) - (Yüzde direnç gerilimi x Sin 0₂)] P/200

Regülasyon formülüne eklenecek yüzde, direnç ve reaktans gerilimi tetkik edilen yük için, Tablo 4.10'dan tayin edilmelidir.

TABLO 4.10

Yük	5/4	1/1	3/4	1/2	1/4
Faktör	5/4	1	3/4	1/2	1/4

TABLO'4.11
COS İN ÜS VE SİNÜSLER

Cos ϕ_2	1.000	0.950	0.900	0.850	0.800
Sin ϕ_1	0.000	0.312	0.436	0.527	0.600
	0.750	0.700	0.650	0.600	0.550
	0.661	0.714	0.760	0.800	0.835
				0.500	0.866

Örnek : 1000 kVA, 3 · fazlı, 50 Hz, 6300/400 Volt, Demir kaybı 1770 Watt, Bakır kaybı, tam yük ve 75°C'de 11640 Watt, Empedans gerilimi tam yük ve 75°C'de 4.75%

(a) Tam yükte, güç faktörünün bir olduğu değerde

Yüzde direnç gerilimi = 1.164 %

Yüzde reaktans gerilimi = 4.604 %

Cos $\phi_2 = 10$ Sinüs $\phi_2 = 0$

Yüzde regülasyon = $(1.164 \times 1.0) + (4.604 \times 0) + \frac{[(4.604 \times 1.0) - (1.164 \times 0)]^2}{200} = 1.164\%$

(b) 5/4 Yükte, güç faktörünün bir olduğu değerde

Yüzde direnç gerilimi = 1.455 %

Yüzde reaktans gerilimi = $\frac{5}{4} \times 4.604 = 5.755\%$

Yüzde regülasyon = $(1.455 \times 1.0) + (5.755 \times 0) + \frac{[(5.755 \times 1.0) - (1.455 \times 0)]^2}{200} = 1.62\%$

(c) 3/4 Yükte, Cos $\phi_2 = 0.8$

Yüzde direnç gerilimi = 0.874

Yüzde reaktans gerilimi = $\frac{3}{4} \times 4.604 = 3.453\%$

Yüzde regülasyon = $(0.874 \times 0.8) + (3.453 \times 0.6) + \frac{[(0.8 \times 3.453) - (0.874 \times 0.6)]^2}{200} = 0.874\%$

Bir transformatörün performansı, bakır kaybı ve empedans gerilimi değerlerinin verildiği sıcaklıklar için, önce-

ki formüllerden bulunabilir. Diğer bir sıcaklıkta, performans hesaplanması için gerekli bilgi imalatçıdan alınabilir.

Not : Uygulanan gerilim ve frekans değişmemek kaydıyla, bir transformatörün Watt cinsinden demir kaybı, yükü veya sıcaklıkla değişmez, bunun için yüzde demir kaybı yükü ters orantılı olarak değişir.

Bir transformatörün Watt cinsinden bakır kaybı, yükün karesiyle değişir, bunun için yüzde bakır kaybı yükü doğru orantılı olarak değişir.

Bakır kaybı : $I^2 R$ kaybindan, yapı boyutlarına bağlı dağılıma (stray) kaybindan ve iletkenlerdeki Edi akını kayıplarından ibarettir. $I^2 R$ kaybı, sıcaklıktaki her bir derece santigrad artışla takriben 0.4 % artar, fakat Edi bileşeni aynı oranla azalır. Dağılıma (Stray) kayıpları, frekans ve sıcaklıkla değişmez.

SÜREKLİ EMNİYET DEĞERİ (CER - Continuous Emergency Rated) SİSTEM TRANSFORMATÖRLERİ

Sürekli emniyet değerli sistem transformatörü ONAN soğutma şartları altında çalıştığı zaman B.S.'a göre nominal değerli bir transformatördür. Bunun için, standart bir ortam sıcaklığında, yağda 60 ve direnç vasıtasıyla sargıda 65°C'lik bir ısınmaya sahip olacaktır. Emniyet şartları altında OFAF soğutmayla çalıştığı zaman, ONAN değerinin 200 %'ünde sürekli bir değere sahiptir. Böyle çalıştığı zaman, 5°C'lik bir ortam sıcaklığı ile, 115°C'ı aşmayan bir sıcak nokta sıcaklığına sahip olacak şekilde dizayn edilir.

33/11.5 kV'luk bir gerilim oranlı ve her MVA'da takriben 1.0 %'lik bir empedansa sahip olan 12/24 MVA'lık transformatör tipik bir misal olacaktır. Bir trafo merkezi ne, 100 % yedek kapasiteli iki transformatör tesis etme uygulaması, günümüzde lüzumsuz sayılmaktadır, zira CER sistem transformatörlerinin kullanılmasıyla, kesin ekonomik avantajlar elde edilebilir. Normal sistem çalışma şartları altında böyle iki ünitenin her birisi, yükün yarısını alarak paralel çalışacaktır. Bir transformatörün arızalanması halinde, sağlam transformatör acil ihtiyaç süresince trafo merkezinin yükünü taşımaya muktedir olacaktır. Böyle acil ihtiyaçların çok seyrek meydana geldiği göz önünde tutularak tavsiye edilen standart çalışma sıcaklıkları, acil ihtiyaç müddetince asılabilir. Kaybedilebilecek olan ortalama transformatör ömründeki küçük miktarın mazur görüleceği ve 115°C'lik bir maksimum sıcak nokta sıcaklığına müsaade edileceği kabul edilmektedir.

Bu tip transformatörler, üç farklı termik değere sahiptir.

(i) Yağda 60°C'lik ve ortalama sargı yükselmesinde 65°C'lik bir ONAN ısınması ile, sürekli emniyet değerinin 50 %'indeki bir nominal güce sahiptir.

(ii) Yağda 60°C'lik ve ortalama sargı yükselmesinde 65°C'lik bir OFAF ısınması ile sürekli emniyet değerinin 80 %'indeki bir nominal güce sahiptir.

(iii) 5°C'lik bir ortam sıcaklığında çalıştığı zaman, 110°C'lik bir maksimum sıcak-nokta sıcaklığı ile 100% sürekli emniyet değeri (CER) ne sahiptir.