

39116

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE KİSMİ BOŞALMA
OLAYLARI VE AŞIRI GERİLİM DAĞILIMLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek. Müh. Hüseyin Bozkurt

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 21 Haziran 1993

Tezin Savunulduğu Tarih : 7 Temmuz 1993

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Muzaffer ÖZKAYA

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yılmaz ÖZKAN

Doç. Dr. Kevork MARDİKİYAN

TEMMUZ 1993

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖNSÖZ

Bu çalışmada yüksek gerilim ölçü transformatörlerini kısmi boşalma olayları ve aşırı gerilim dağılımı ağırlıklı olarak incelenmesi olanağı bulunmuştur.

Bana bu çalışmayı yapma olanağı veren danışmanım sayın Prof. Dr. Muzaffer Özkaya'ya ve çalışmalarım sırasında yardımlarını esigemeyen sayın Yrd. Doç. Dr. Özcan Kalenderli'ye teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin Bozkurt, 1993

İÇİNDEKİLER

ÖZET	V
SUMMARY	VI
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. ENDUKTİF YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE YANILGI HESAPLAMALARI	5
2.1. Gerilim Ölçü Transformatörlerinde Yanılgi Hesaplamaları	5
2.2. Akım Ölçü Transformatörlerinde Yanılgi Hesaplamaları	10
BÖLÜM 3. YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE ELEKTRİKSEL KISMI BOŞALMALARIN ÖLÇÜLMESİ ..	15
3.1. Kısmi Boşalmalar İle İlgili Tanımlar....	15
3.1.1. Görünen Yük	15
3.1.2. Darbe Tekrarlama Sıklığı	15
3.1.3. Kısmi Boşalma Enerjisi	15
3.1.4. Ortalama Boşalma Akımı	16
3.1.5. Karesel Oran	16
3.1.6. Boşalma Gücü	16
3.2. Kısmi Boşalmalar İle İlgili Gerilim Değerleri	17
3.2.1. Kısmi Boşalma Başlama Gerilimi	17
3.2.2. Kısmi Boşalma Sönme gerilimi	17
3.2.3. Kısmi Boşalma Oluşmazlık Deney Gerilimi	17
3.3. Boşluklu Katı Yalıtıkanda İç Kısmi Boşalmaların Alternatif gerilimde Eşdeğer Devre Yardımı ile incelenmesi ..	17
3.4. Yüksek Gerilim Ölçü Transformatörlerinde Kısmi Boşalma Ölçme Yöntemleri	22
3.4.1. Elektriksel Olmayan Yöntem (Gürültü-Akustik yöntemi)	22
3.4.2. Yüksek Gerilim Ölçü Transformatörlerinde Kısmi Boşalmaların Ölçülmesi İçin Elektriksel Yöntemler	23
3.4.2.1. Direkt Ölçme Yöntemi	23
3.4.2.2. Köprü Ölçme Yöntemi	27
3.4.2.3. Kayıp Ölçme Yöntemi	30
3.5. Yüksek Gerilim Ölçü Transformatörlerinde Boşalma Yerinin Bulunması	33

3.5.1. Boşalma Yerinin Bulunması İçin Kapasitif Darbelerin Sargıda Zayıflama Yönteminin Kullanılması	33
3.5.2. Yürüyen Dalga Yöntemi	41
3.5.3. Alçak Frekanslı Salınımların Ölçülmesi	46
3.6. Kısmi Boşalma Ölçümlerinin Yorumlanması	47
3.6.1. Boşluklu Katı Yalıtkan Malzemedeki İç boşalmalar	48
3.6.2. Yarıklı Katı Yalıtkan Malzemedeki İç Boşalmalar	51
3.6.3. Boşluklu Dökme Reçinedeki Boşalmalar ..	53
BÖLÜM 4. YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNİN TASARIMI	54
4.1. Endüktif Gerilim Transformatörlerinin Tasarımı	54
4.2. Endüktif Akım Transformatörlerinin Tasarımı	58
BÖLÜM 5. ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNİN YALITIM MALZEMESİ EPOKSI REÇİNELER	65
5.1. Dökme Reçine Kavramları	65
5.2. Epoksi Reçinenin İşlenmesi	66
5.3. Epoksi Reçinenin Özellikleri	68
BÖLÜM 6. YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE AŞIRI GERİLİM DAĞILIMININ İNCELENMESİ	70
6.1. Transformatör Sargılarının Karakteristikleri	73
6.1.1. Basitleştirilmiş Bir Transformatör Sargı Eşdeğer Devresi	74
6.1.2. Yüksek Frekanslarda Kapasitif Eşdeğer Devre Yaklaşımının Geçerliliği	76
6.1.3. Disk Tipi Sargılar İçin Eşdeğer Devre	77
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	81
EKLER	83
Ek A. Ölçü Transformatörlerinde Kullanılan Magnetik Malzemelerin Özellikleri	83
Ek B. Yüksek Gerilim Ölçü Transformatörlerinde Aşırı Gerilim Dağılım Eğrilerinin Elde Edilmesi ...	87
Ek C. Yüksek Gerilim Ölçü Transformatörlerinde Kısmi Boşalma Yer Öngörü Eğrisinin Çıkarılması	111
Ek D. Bir Akım Transformatöründe Elektriksel Dayanım Ve Kısmi Boşalma Ölçme Deneyleri	122
ÖZGEÇMİŞ	126

ÖZET

Bu çalışmanın ilk bölümlerinde yüksek gerilim akım ve gerilim ölçü transformatörleri için yanılğı hesaplamaları yapılip, belirlenen çalışma koşullarında daha doğru ölçümler yapılabilmesi için gerilim yanılğı ve faz açısı yanılğı ifadeleri çıkarılmıştır. Buradaki amacımız; yanılğıya etki eden faktörleri belirleyip, ölçü transformatörlerinin doğruluk sınıfını yükseltecek çekirdek malzemesini tespit etmektir.

Yüksek gerilim ölçü transformatörlerinin ömrüne etki eden en önemli faktörlerden biride, kısmi boşalmalardır. Kısmi boşalma ölçümleri duyarlılığı daha az olan elektriksel olmayan gürültü-akustik yöntemiyle yapılacağı gibi, artık günümüzde geniş bandlı ölçü aletlerinin kullanıldığı elektriksel yöntemler tercih edilmektedir. Yine önemli bir sorun olan kısmi boşalma yerinin bulunmasına yönelik yöntemler incelenmiş ve "PSPICE" paket programı kullanılarak, kapasitif dağılmış parametrelili transformatör eşdeğer devresinde, bir kısmi boşalma olması durumu için yer öngörü eğrisi çıkarılmıştır.

Yüksek gerilim ölçü transformatörlerinde; aşırı gerilimler gibi geçici durumlarda gerilim dağılımının doğrusal olmamasından dolayı sargılarda titreşimler ve zorlanmalar meydana gelmektedir. Yine "PSPICE" paket programı kullanılarak; değişken seri kapasite durumları için kapasitif dağılmış parametrelili transformatör eşdeğer devresinde gerilim dağılımı incelemeleri yapılmıştır. Transformatör sargılarında gerilim dağılımını doğrusal yapacak etkenler ve sargı düzenlemesi belirtilmiştir.

Ayrıca yüksek gerilim akım ve gerilim ölçü transformatörlerinin yapıları ve bu transformatörlerde kullanılan epoksi reçinelerin yapısı ve özellikleri belirtilmiştir.

_ SUMMARY _

EXAMINATION OF PARTIAL DISCHARGE AND IMPULSE VOLTAGE DISTRIBUTION ON HIGH VOLTAGE INSTRUMENT TRANSFORMER

We tried to obtain error calculation of both high voltage current and voltage instrument transformer. The aim of this error calculation of an instrument transformer is now to determine, voltage error (ε_u) and phase angle error ($\varepsilon_{\delta u}$) of a voltage transformer and current error (ε_i) and phase angle error ($\varepsilon_{\delta i}$) of a current transformer.

For voltage transformer, complex error is given by;

$$\underline{\varepsilon} = \varepsilon_u + j \varepsilon_{\delta u} \quad (1)$$

For current transformer, complex error is given by;

$$\underline{\varepsilon} = \varepsilon_i + j \varepsilon_{\delta i} \quad (2)$$

And the module of the current transformer is given by;

$$\varepsilon = \frac{l_E}{\omega w_2^2 q_E \mu_o \mu_r} Z \quad (3)$$

In the equation (III); Z is the empedans of sekonder of the current transformer, l_E iron path and q_E iron cross section.

As it can be seen from the equation (3), the error is inversely proportional to the permability of material which is used as a core in transformers.

As an example; for current transformers of high accuracy, nickel-iron alloys are chosen. Because they show high permability, even at low induction values. Because of the larger permabilitiy of material (μ_r), the error of a current transformer will be smaller.

Now for the partial discharge measurement of the high voltage transformer can be used three different electrical methods:

- a) Direct measurement method,
- b) Bridge method,
- c) Loss measurement method.

In the first measurement, we can measure current impulse or voltage impulse directly.

Discharge in the test material (instrument transformer) can be detected by increasing voltage ΔV on an instrument transformer. If the serial capacitance of an instrument transformer is given by C_s , then $\Delta V = q_a C_s$. Therefore discharge on an instrument transformer can be given by voltage impulse or q_a charge.

It is used a filter to terminate partial discharge effectively of high voltage sources at measurement point.

When electrical noises too much and using filter is not enough, bridge method can be preferred to prevent electromagnetic interferences. In this method high frequency Schering bridge is used. Out of filter is connected to oscilloscope. Partial discharge in instrument transformer cause an impulse on R resistance and at the same time this impulse is applied to the oscilloscope. Partial discharge can be detected by trace on oscilloscope screen.

In the loss measurement method, losses in dielectric can be described in terms of δ (loss angle). When energy disperses on a partial discharge, losses in dielectric increase over the discharge inception voltage.

Therefore variation of the voltage with $\tan \delta$ can be used to determine partial discharge inception voltage.

A same bridge method which is used is parallelogram method. This method gives us more information about partial discharge magnitudes.

In a parallelogram method; if a partial discharge occurs, trace on oscilloscope screen is like to a parallelogram (Fig.1).

According to Fig.1 ; while horizontal distance b is proportional to voltage applied to instrument transformer,

other horizontal distance a is proportional to the discharge inception voltage.

Total charge during the half period is proportional to vertical distance c . The vertical reflector is compared with known charge to be adjustment. The area of the shape on the oscilloscope screen gives us total energy which is being in each period

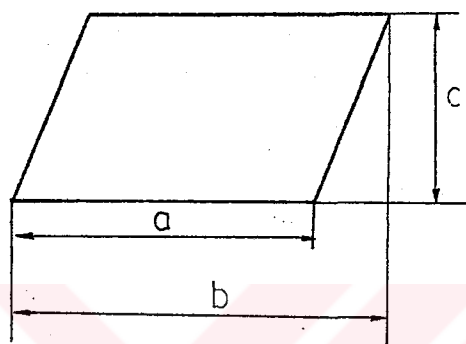


Fig.1 Paralelogram

Other problem is to find location of partial discharge in instrument transformer.

Location of partial discharge in instrument transformer can be found by three different methods.

1) Method using capacitive impulses which become enfeebled within the windings.

2) Travelling wave method.

3) Measurement of the low frequency oscillation.

According to first method, if a partial discharge occurs ends of the windings, the magnitude of impulses which can be detected on transformer ends decrease.

Using this information, measured impulses are compared with known impulses.

If U_0 is peak voltage of partial discharge impulse, n the number of turns between location of partial

discharge and end of the high voltage winding, U_T voltage of the ends of the transformer, C_s serial capacitance of the windings, C_p paralel capacitance of the transformer windings

$$U_T = U_o e^{[-(\sqrt{C_s/C_p})^n]} \quad (4)$$

Travelling wave method can be explained by the progress time of the travelling wave which is directly proportional to the length of the windings that travelling wave progress.

Partial discharges occur travelling waves which progress from the location of partial discharge to the two ends of the windings.

Travelling waves reache ends of the windings in different times. This time difference is a factor of locating partial discharge.

In this paper, we examine impulse voltage distribution within the windings using PSpice. We obtain voltage distribution curves for differant C_s/C_p (Fig.2).

According to this examination, if C_s is to larger than C_p , voltage distrubition becomes linear and there is no oscillation within the transformer windings.

For linear voltage distribution, interleaved windings can be used. The serial capacitance of the interleaved windings can be larger between 100 and 400 times than serial capacitance of the conventional windings.

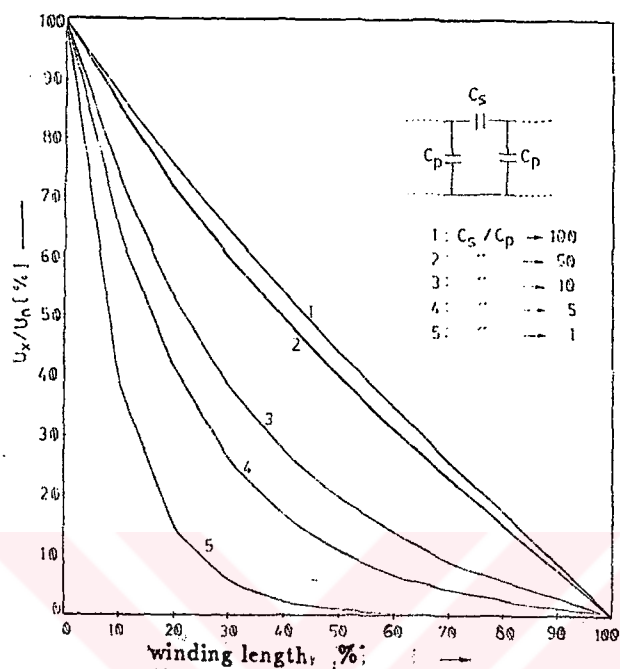


Fig. 2 Impulse Voltage distribution curves

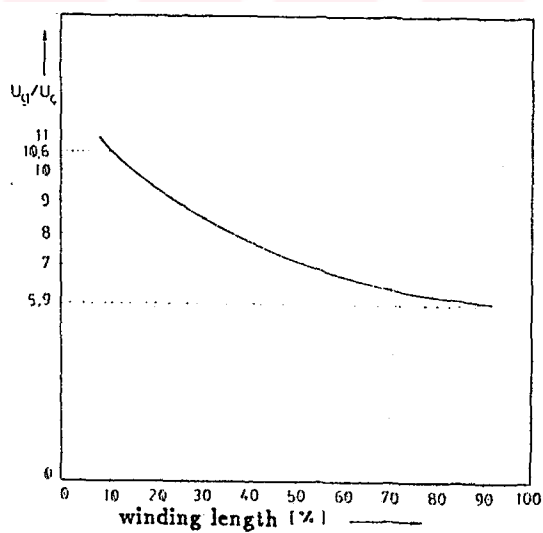


Fig. 3 The curves of partial discharge location

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Akım ve gerilim transformatörleri personel ve aygıtları yüksek gerilimden korumak; ölçü aletleri ve röleleri küçük ve aynı zamanda standart değerdeki akım ve gerilimlere göre, daha ekonomik ve standartlara uygun olarak imal edebilmek amaçları için kullanılırlar.

Akım ve gerilim transformatörlerinde, birincil ve ikincil sargılar arasındaki yalıtım bozulması durumunda personeli ve aygıtları yüksek gerilim tehlikesinden korumak için transformatörlerin gövdeleri ile ikincil sargı uçlarından birinin topraklanması zorunluluğu vardır.

Normal güç transformatörlerinin boşa çalışması ile normal yük ve hatta aşırı yük arasındaki bölgede çalışması göz önüne alındığında, gerilim transformatörünün normal çalışması boşa çalışma durumuna ve akım transformatörünün normal çalışması ise kısa devre durumuna karşı düşer.

Gerilim ölçü transformatörlerinin boşa çalışan bir transformatöre benzemesinin nedeni, bu transformatörlerin ikincil sargı uçlarına bağlanan voltmetre gibi ölçü aletlerinin iç dirençlerinin çok büyük olması nedeniyle ikincil sargılarından çok düşük değerli akımlar akmasıdır.

Akım ölçü transformatörlerinin kısa devre gibi çalışan bir transformatöre benzemesinin nedeni, bu transformatörlerin ikincil sargı uçlarına bağlanan ampermetre gibi ölçü aletlerinin iç dirençlerinin çok küçük olması nedeniyle ikincil sargılardan çok büyük akımların

akmasıdır.

Akım ve gerilim transformatörlerini incelemeye geçmeden önce bu incelemeye temel oluşturan endüksiyon ve magnetomotor kuvvet kavramlarını gözden geçirelim.

Kapalı magnetik çekirdekli bir sargının en basit şekli Şekil 1.1 de gösterilmiştir. w sarımlı bir sargıya U alternatif gerilimin uygulanması ile bir mıknatıslanma akımı I_0 oluşur. Bu akım, demir kesiti q_E ; ortalama akı yolu l_E olan bu çekirdekte Φ akısı oluşturur.

Φ akısından dolayı meydana gelen magnetik endüksiyon:

$$\underline{B} = \Phi / q_E \quad (1.1)$$

olacaktır.

$\omega = 2\pi f$ olmak üzere kompleks notasyonda endüksiyon yasasından;

$$U = j \omega q_E w B \quad (1.2)$$

Magnetik endüksiyonun tepe değeri;

$$\hat{B} = \sqrt{2} B = \sqrt{2} U / w \omega q_E \quad (1.3)$$

$f = 50$ Hz, U (Volt) ve q_E (m^2) cinsinden;

$$\hat{B} = U / w \cdot 222 q_E \text{ Tesla} \quad (1.4)$$

olacaktır.

U/w sarımlar arası gerilimdir. Transformatörün demir çekirdeği, genellikle 0.35 mm kalınlığındaki silisyumlu demir plakalardan meydana gelir. Üst üste yerleştirilerek oluşturulan bu plakalar sonuçta q_E demir kesitinden daha küçük bir değer almasına neden olur.

İzin verilebilir akı yoğunluğu B_n , demir kayıplarından dolayı bir üst sınıra sahiptir. Endüktif gerilim transformatörleri için $B_n=0,7....1,2$ Tesla dır.[1]

Akım transformatörlerinde akı yoğunluğu, ölçülen akıma ve yüke bağlıdır. Bu transformatörler için ise;
 $B_n=0,03.....0,3$ Tesla alınabilir.

Magnetomotor kuvvet yasası, magnetik alan H ile mıknatıslanma akımı I_o arasındaki ilişkiyi verir:

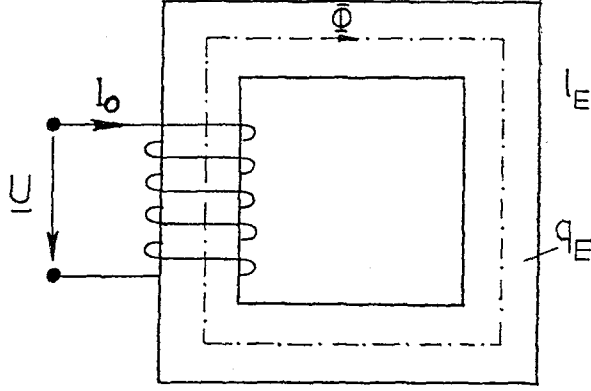
$$\underline{\Theta}_o = \underline{I}_o w \quad (1.5)$$

$$\underline{H} l_E = \underline{I}_o w \Rightarrow \underline{I}_o = \underline{H} l_E / w \quad (1.6)$$

Magnetik alan (H) ile magnetik endüksiyon (B) arasındaki ilişki, çekirdek malzemesinin mıknatıslanma karakteristiğini verir.

$$B=f(H); \quad \hat{B} = \mu_o \mu_r H \sqrt{2}; \quad (\mu_o: \text{boşluğun geçirgenliği})$$

$$\underline{I}_o = B \frac{l_E}{\mu_o \mu_r w} = \frac{U l_E}{\omega w^2 q_E \mu_o \mu_r} \quad (1.7)$$



Sekil 1.1 Magnetik çekirdekli sargı

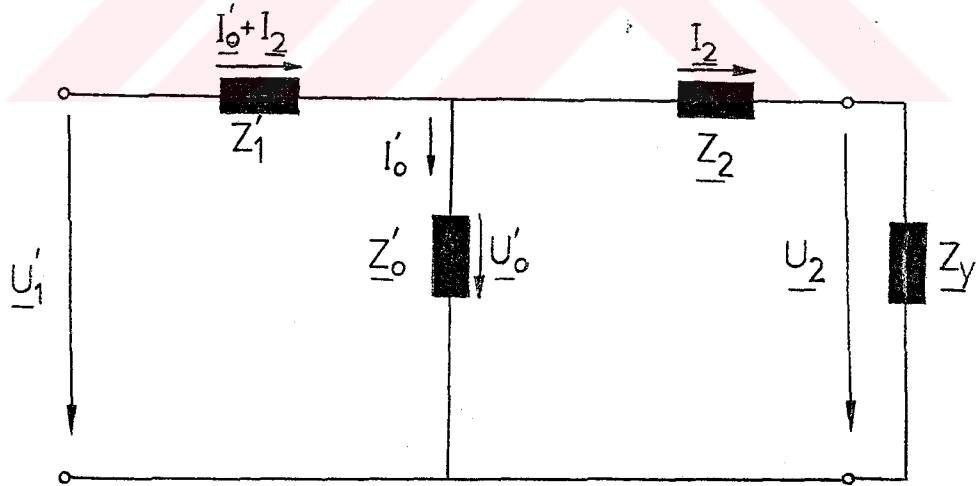
BÖLÜM 2

ENDÜKTİF YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNİN YANILGI HESAPLAMALARI

2.1 Gerilim Ölçü Transformatörlerinde Yanılgı Hesaplamaları

Endüktif gerilim ölçü transformatörleri için yanılgı hesaplamaları, Şekil 2.1 de gösterilen eşdeğer devre üzerinde yapılacaktır.[1]

Yük empedansı $\underline{Z}_y$, ölçü sistemlerinin empedanslarından oluşur.



Şekil 2.1 Yanılgı hesaplamaları için kullanılacak
gerilim transformatörü eşdeğer devresi

$$\underline{Z}_y = \underline{Z}_y (\cos\beta + j \sin\beta) = R_y + j. X_y \quad (2.1)$$

Burada ε olarak tanımlanan yanılgi kompleks değeri olarak şöyle ifade edilir:

$$\varepsilon = \frac{U_2' - U_1}{U_1} = \frac{U_2' - U_1'}{U_1'} \quad (2.2)$$

$$U_2' - U_1' = -I_0' Z_1' - I_2' (Z_1' + Z_2') \quad (2.3)$$

$$\varepsilon = \frac{-I_0'}{U_1'} Z_1' - \frac{I_2'}{U_1'} (Z_1' + Z_2') \quad (2.4)$$

Daha önce anlatılan magnetik devre özelliklerinden;

$$U_0 \cong U_1 \quad (2.5)$$

$$Z_0 = \frac{U_1}{I_0} = \frac{\omega^2 w_1^2 q_E \mu_0 \mu_r}{l_E} \quad (2.6)$$

$$I_2' Z_y \cong U_1' \quad (2.7)$$

yazılabilir.

Bu durumda yanılgi denklemi;

$$\varepsilon = - \frac{Z_1'}{Z_0} - \frac{Z_1' + Z_2'}{Z_y} = \varepsilon_0 (U_1') + \varepsilon_y (R_y, X_y) \quad (2.8)$$

Açık devre (boşta çalışma) yanılğısı ε_0 , mıknatıslanma akımı ve U_1' gerilimini içerir. Yükleme yanılğısı ε_y ,

yük ve transformatörün bu yükle yüklenmesine bağlıdır. Yanılgı fazörü $\underline{\varepsilon}$ 'u kompleks düzlemde gösterirken $\underline{U}_1$ 'nın yönünün gerçel eksen olarak seçilmesi uygundur.

Elde edilen gerçel bileşen, gerilim yanılgısı ε_u 'yu belirlerken; sanal bileşen, faz açısı yanılgısı $\varepsilon_{\delta u}$ 'yu belirler:

$$\underline{\varepsilon} = \varepsilon_u + j \varepsilon_{\delta u} \quad (2.9)$$

Bir ölçü transformatöründe yanılgı hesaplamasının amacı gerekli çalışma koşulları $\underline{U}_1$, R_y , X_y değerleri cinsinden $\varepsilon_{\delta u}$ ve ε_u 'yu saptayıp doğru ölçümler yapmaktır.

Burada δ_E demir kayıp açısını göstermek üzere;

$$\underline{I}_o = I_o (\sin \delta_E - j \cos \delta_E) \quad (2.10)$$

$$\underline{Z}_o = Z_o (\sin \delta_E + j \cos \delta_E) \quad (2.11)$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j X_1 \Rightarrow \underline{Z}'_1 = R'_1 + j X'_1 \quad (2.12)$$

$$\underline{Z}'_1 + \underline{Z}_2 = R + j X_s \quad (2.13)$$

Bu durumda yanılgı bağıntısı aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$\varepsilon_u = - \frac{R_1 \sin \delta_E + X_1 \cos \delta_E}{Z_o} - \frac{R \cos \beta + X_s \sin \beta}{Z_y} \quad (2.14)$$

$$\varepsilon_{\delta u} = - \frac{X_1 \sin \delta_E - R_1 \cos \delta_E}{Z_o} - \frac{X_s \cos \beta - R \sin \beta}{Z_y} \quad (2.15)$$

Gerilim yanılıgısı, kutupsal koordinatlarda genellikle $(\%) \varepsilon_u$ ile tanımlanırken; yanılıgı açısı δ_u , dakika cinsinden verilir.

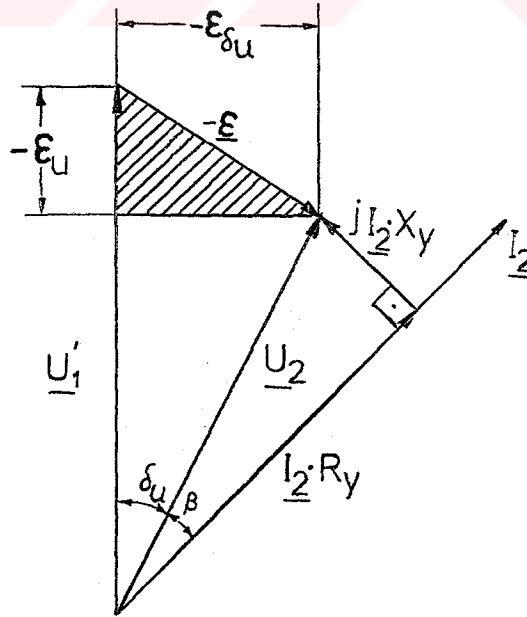
360° den bir açı, $21600'$ ya eşit ve o da radyan cinsinden 2π 'ye eşittir.

$$2\pi/0.01=21600'/34.4'$$

$$\% 1 = 34.4'$$

Yanılıgı çok küçüktür ve kesin bir doğruluk için yanılıgıyı görülebılır yapmak, ancak fazör diyagramını çok büyük çizmekle mümkündür.

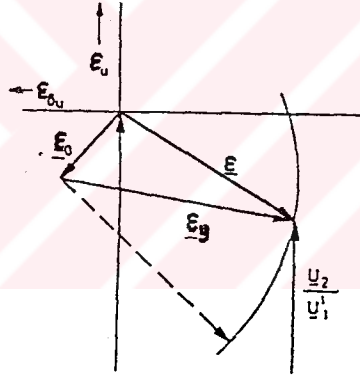
Şekil 2.3 de J.A.Mollinger tarafından verilen gerilim transformatör diyagramında, $\underline{U}'_1$ ve $\underline{U}_2$ paralel çizilmiştir. Koordinat sisteminin başlangıç noktası, ε fazörünün başlangıç noktasıdır ve gerçel eksen ile $\underline{U}'_1$ fazörünün ucu çakışıktır. [1]



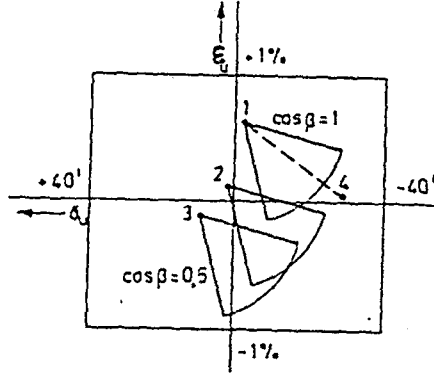
Şekil 2.2 Endüktif gerilim transformatörünün yanılıgı gösterimli fazör diyagramı

Gerilim yanılıgısı ε_u , eğer $\underline{U}_2 > \underline{U}_1'$ ise pozitiftir. Faz açısı yanılıgısı $\varepsilon_{\delta u}$, eğer $\underline{U}_2$ fazörü $\underline{U}_1'$ fazöründen önde ise pozitiftir. Bundan dolayı $\varepsilon_{\delta u}$ 'nun pozitif değerleri sol tarafta işaretlenmelidir. Boşta çalışma yanılıgısı ε_o , U_1 geriliminin büyüklüğüne bağlıdır. Yükleme yanılıgısı ε_y , ikincil akım I_2 ile orantılıdır. Sabit ikincil akımlar için yük açısı β nin değişimi, ε_y fazörünün açık devre noktasında dönmesine neden olur.

Şekil 2.4 de yanılıgı sınırlarını gösteren bu tip diyagram verilmiştir.



Şekil 2.3 Gerilim transformatör diyagramında yanılıgı gösterimi



Şekil 2.4 1 sınıfı gerilim transformatörünün yanılğı sınırlarını gösteren gerilim diyagramı

Yük sadece bir empedans olarak belirtilmeyip aynı zamanda bir reaktif güç olarak (Z_y empedansının tükettiği güç olarak) belirtilir.

Yük $P_{2n} = 120$ VA bir kutuplu (bir fazlı) gerilim transformatörünün ikincil gerilimi:

$$U_{2n} = 100/\sqrt{3} \text{ V} \quad (2.16)$$

iken yük empedansı;

$$Z_y = \frac{U_{2n}^2}{P_{2n}} = 28 \text{ ohm} \quad (2.17)$$

olacaktır.

2.2-Akım Ölçü Transformatörlerinde Yanılğı Hesaplamaları

Akım transformatörlerinin hata hesabı için transformator eşdeğer devresi şekil 2.5 de verilmiştir.

Akım transformatörlerinde yanılğı ε aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$\varepsilon = \frac{\frac{I'_2 - I_{-1}}{I_{-1}}}{\frac{I'_2 - I_{-1}}{I_{-1}}} = \frac{I'_2 - I_{-1}}{I_{-1}} \quad (2.18)$$

$$\varepsilon = \frac{\frac{-I'_0}{I_{-1}}}{\frac{-I'_0}{I_2}} \approx \frac{-I'_0}{I_2} \quad (2.19)$$

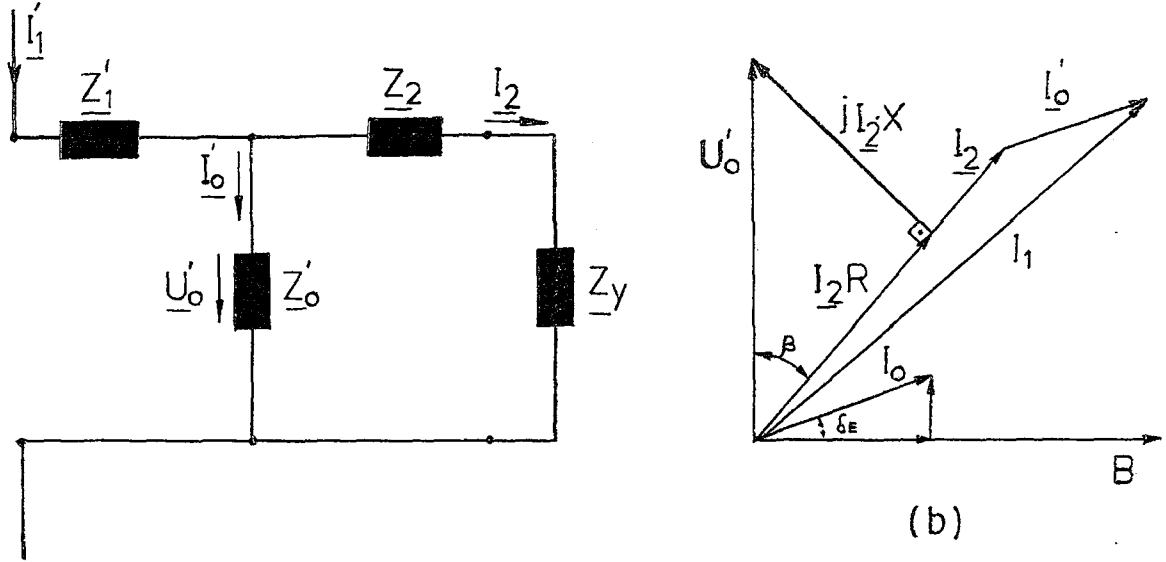
Böylece yanılğı, birincil devreye indirgenmiş mıknatıslanma akımına eşit olacaktır. Koruma amaçları için yapılan özel transformatörler dışında, akım transformatörleri kapalı demir çekirdekli yapılır.

Mıknatıslanma eğrisinin lineer olmamasından dolayı yanılğı, Z_y 'ye bağılı olarak lineer değildir ve gerilim transformatörlerinde olduğu gibi bir yanılğı diyagramı geliştirilemez.

İkincil devre uçları açıldığı zaman, normal olarak birincil akıma eşit mıknatıslanma akımı oluşur ve çekirdek doymaya gider. Açık ikincil devre uçlarında, büyük bozulmalı yüksek alternatif gerilim görülür ve bu da magnetik akının hızlı zaman değişimi, akımın sıfır olduğu sürece yüksek gerilim tepelerini gösterir.

Bu yüzden, akım transformatörleri düşük değerli bir omik yükle ve kısa devre durumunda çalıştırılmalıdır.

Temel amacımız; akım yanılğısını, mıknatıslanma akımı ve devre parametreleri cinsinden ifade etmektir.



(a)

Şekil 2.5 Yanılgı hesaplaması için kullanılacak akım transformatörünün eşdeğer devre ve fazör diyagramı

Şekil 2.5'e göre ;

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}'_o}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_y} \quad (2.20)$$

$$\underline{U}'_o = j \omega w_2 q_E \underline{B} \quad (2.21)$$

Endüksiyon yasasına göre, magnetomotor kuvvetinden;

$$\underline{I}'_o = \frac{\underline{H} l_E}{w_2} = \frac{l_E \underline{B}}{w_2 \mu_o \mu_r} \quad (2.22)$$

yazılabilir.

$$\underline{I}'_o = I'_o (\sin \delta_E - j \cos \delta_E) \quad (2.23)$$

$$I_o = \frac{U_o I_E}{\omega w_1^2 q_E \mu_o \mu_r} \quad (2.24)$$

Kısaltmalar yapılırsa;

$$Z_{-2} + Z_{-y} = Z = R + j X \quad (2.25)$$

$$\underline{\varepsilon} = \frac{-I_E}{\omega w_2^2 q_E \mu_o \mu_r} (\sin \delta_E - j \cos \delta_E) (R + j X) \quad (2.26)$$

Yanılgi iki kısma ayrılabilir:

ε_i : Akım yanılğısı

$\varepsilon_{\delta i}$: Faz açısı yanılğısı

$$\underline{\varepsilon} = \varepsilon_i + j \varepsilon_{\delta i} \quad (2.27)$$

$$\varepsilon_i = - \frac{I_E}{\omega w_2^2 q_E \mu_o \mu_r} (R \sin \delta_E + X \cos \delta_E) \quad (2.28)$$

$$\varepsilon_{\delta i} = - \frac{I_E}{\omega w_2^2 q_E \mu_o \mu_r} (X \sin \delta_E - R \cos \delta_E) \quad (2.29)$$

Yanılğının genliğı;

$$\varepsilon = \frac{I_E}{\omega w_2^2 q_E \mu_o \mu_r} Z \quad (2.30)$$

Yanılğı, demir çekirdeğın yolu l_E ile doğru orantılı ve q_E ile ters orantılıdır. İkincil yana indirgenmiş akım sabit parametre olduğundan yanılğıdaki değışme indirgenmiş akımın karesi ile orantılıdır.

Yanılğının küçölmesi için verilen indirgenmiş birincil akımda, birincil sarım sayısının olabildiğince büyük olması gerekmektedir.

Yüksek doğruluk gerektiren akım transformatörleri için nikel-demir alaşımı tercih edilir. Çünkü bu alaşım düşük endüksiyon değerlerinde bile yüksek geçirgenlik gösterir. Üstün olmayan tarafı ise, bir dereceye kadar düşük endüksiyonda, geçirgenlikte ani düşüş olur.

Koruma amaçlı transformatörlerde (bu transformatörlerde doğruluk ikinci dereceden önem taşıdığından) silisyum-demir alaşımı kullanılabilir.[1]

BÖLÜM 3

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE ELEKTRİKSEL KISMI BOŞALMALARIN ÖLÇÜLMESİ

3.1 Kısmi Boşalmalar İle İlgili Tanımlar

3.1.1 Görünen Yük (q)

Bir kısmi boşalmanın görünen yükü q , deney cisminin uçlarına birden bire uygulandığında, bunun uçları arasında kısmi boşalma miktarı kadar, ani bir gerilim değişmesi oluşturabilecek miktardaki yüküdür. Görünen yük kulon ile ifade edilir.

Bu biçimde tanımlanmış olan görünen yük q , yalıtkan malzemede ki, boşalmanın olduğu boşluğun içinden geçen gerçek yük miktarına eşit değildir. Bunun kullanılmasındaki neden; bu büyüklüğün, boşalmayı ölçen aletlere etkisinin olmasıdır.

3.1.2 Darbe Tekrarlama Sıklığı (n)

Kısmi boşalma darbe tekrarlama sıklığı n , bir saniyede oluşan ortalama kısmi boşalma darbe sayısıdır.

3.1.3 Kısmi Boşalmanın Enerjisi (W)

Bir kısmi boşalmanın enerjisi W , bir tek kısmi boşalma süresinde ortaya çıkan enerjidir ve joule ile ifade edilir.

$$W = \sqrt{2} (1/2) q U_i \quad (3.1)$$

Burada q ölçülen görünen yük ve U_i kısmi boşalmanın başladığı gerilim değeridir.

3.1.4 Ortalama Boşalma Akımı (I)

Belirli zaman aralığı $\langle T \rangle$ de deney cisminin bağlantı uçlarından, kısmi boşalma nedeniyle geçen doğrultulmuş yük mutlak değerleri toplamının bu zaman aralığına bölünmüştür.

$$I = (1/T) [|q_1| + |q_2| + \dots + |q_m|] \quad (3.2)$$

Eğer tüm yükler eşit genlikte ise;

$$I = (n/T) |q| \quad (3.3)$$

Ortalama boşalma akımı kulon/saniye ile ifade edilir.

3.1.5 Karesel Oran (D)

Bir kısmi boşalma nedeni ile bir deney cisminin bağlantı uçlarından, belirli zaman aralığı T süresince geçen yük değerleri karelerinin toplamının bu zaman aralığına bölümü ile elde edilir. $(\text{Kulon})^2/\text{saniye}$ ile ifade edilir.

$$D = (1/T) [q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_m^2] \quad (3.4)$$

3.1.6 Boşalma Gücü (P)

Belirlenen zaman aralığı T süresinde boşalma nedeni ile deney cisminin bağlantı uçlarına uygulanan ortalama güçtür.

$$P = (1/T) [q_1 U_1 + q_2 U_2 + \dots + q_m U_m] \quad (3.5)$$

Burada $U_1, U_2, \dots, U_m$ boşalmanın oluştuğu anlarda deney cisminin uçları arasındaki ani gerilim değerleridir. Boşalma gücü Watt ile ifade edilir.

3.2 Kısmi Boşalmalar İle İlgili Gerilim Değerleri

3.2.1 Kısmi Boşalma Başlama Gerilimi (U_i)

Belirlenen koşullarda ve gerilim değeri, kısmi boşalmanın oluşmadığı düşük bir gerilimden başlayarak yavaş artırıldığında kısmi boşalmanın belirli bir büyüklüğü geçmesi için gerekli olan en düşük gerilim değeridir.

3.2.2 Kısmi Boşalma Sönme Gerilimi (U_e)

Belirli koşullar altında başlangıç geriliminin üstünde bir gerilim değerinden başlanarak, gerilim yavaş yavaş azaltıldığında, kısmi boşalmanın belirli bir şiddetin altına düşüp sönmüş kabul edildiği gerilim değeridir.

3.2.3 Kısmi Boşalma Oluşmazlık Deney Gerilimi

Belirli bir deney yönteminde, belirlenen bir deney cisminde kısmi boşalmanın belirli bir şiddeti aşmadığı deney gerilimidir.[2]

3.3 Boşluklu Bir Katı Yalıtıkanda İç Kısmi Boşalmaların Alternatif Gerilimde Eşdeğer Devre Yardımıyla İncelenmesi

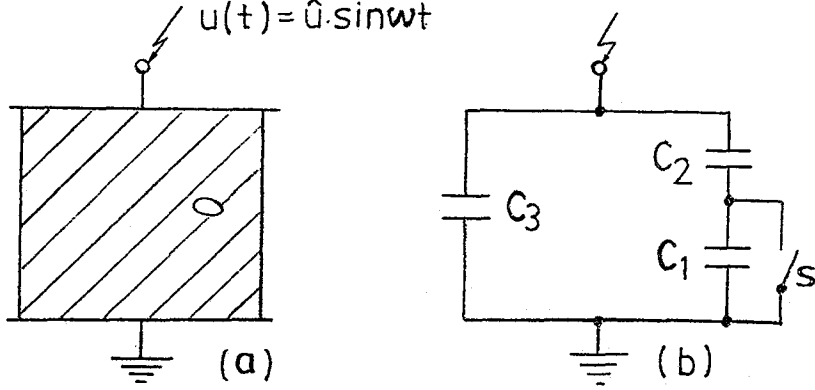
C_1 : Boşluğun kapasitesi

C_2 : Boşluk ile seri olan yalıtkan kapasitesi

C_3 : Geriye kalan kısmi boşalmasız yalıtkanın kapasitesi

S anahtarı: Boşluğun delinmesiyle oluşan ve normal

olarak açık olan iletken kanal olmak üzere Gemant ve Von Philippof'un verdiği eşdeğer devre Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Boşluklu yalıtkan (a) ve eşdeğer devresi (b)

Bu çok basitleştirilmiş eşdeğer devrede, boşluğun yüzeyleri metalik elektrotlardan oluşmuş bir atlama aralığı gibi düşünülmüş ve delinme geriliminin her iki kutbiyette aynı olduğu, C_1 kapasitesinin delinmede tamamen boşaldığı varsayılmıştır.

Katı yalıtkan malzemeye uygulanan gerilim $u = U_m \sin \omega t$ ise boşluğun uçları arasındaki gerilim hiç bir boşalma olmaması durumunda;

$$u_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} U_m \sin \omega t \quad (3.6)$$

$$U_{1m} = \frac{C_2}{C_1 + C_2} U_m \quad (3.7)$$

olmak üzere U_1 'in tepe değeridir.

Boşluğun uçlarındaki U_1 geriliminin tepe değeri,

boşluğun delinme gerilimi U_d değerine ulaştığında, yalıt-
kana uygulanan gerilimin aldığı değerde U_e olsun. Boşal-
ma meydana gelince boşluğun C_1 kapasitesi kısa devre olur.
Bu durumda C_2 kapasitesi kaynağa paralel duruma geldiğin-
den dolayı, kaynağın o andaki U_e değerine kadar dolar.
Boşalma C_1 kapasitesi kısa devre olur olmaz söner
($\ll 10^{-6} \dots \dots 10^{-8}$ sn) ve sönmesi ile C_1 kapasitesinden
kısa devre kalkar. C_1 kapasitesi kaynağın yükselen geri-
limi dolayısıyla yeniden dolmaya başlar.

Boşalmanın söndüğü t_d anını $t=0$ anı olarak alalım.
(Boşalmanın başladığı ve söndüğü anlar arasında sonsuz
küçük zaman geçtiğini kabul edelim.) Şekil 3.2 deki
devreyi Laplace ile s domeninde çözelim. C_1 ve C_2 ara-
sındaki düğüm için akımları yazıp gerilimler cinsinden
yerine koyarsak;

$$I_{C_2} = I_{C_1} \quad (3.8)$$

$$C_2 [s(u - U_1) - U_0] = C_1 s U_1 \quad (3.9)$$

$$C_2 s u - C_2 U_0 = s(C_1 + C_2) U_1 \quad (3.10)$$

$$U_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \frac{1}{s} (s u - U_0) \quad (3.11)$$

bulunur.

$U_0 = U(0)$ olduğundan;

$$s u - U_0 = \mathcal{L}\{U'(t)\} \quad (3.12)$$

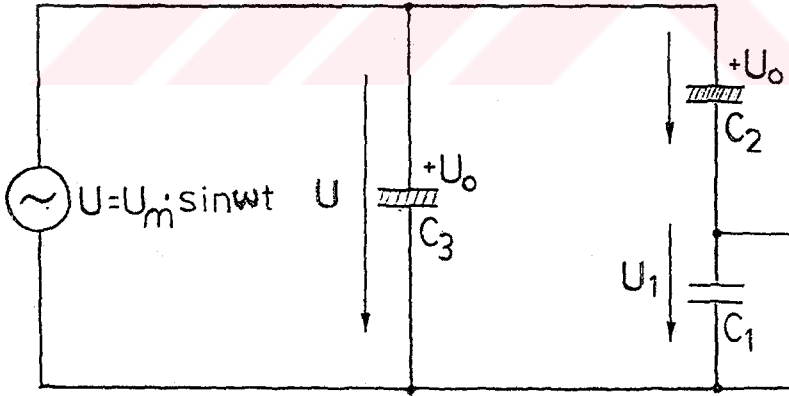
$$U_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \frac{1}{s} \mathcal{L}\{U'(t)\} \quad (3.13)$$

Zaman domenine geçerse;

$$u_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \int_0^t U(t) dt \quad (3.14)$$

$$u_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} [u(t) - U(0)] = \frac{C_2}{C_1 + C_2} [u(t) - U_0] \quad (3.15)$$

$$u_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} u(t) - \frac{C_2}{C_1 + C_2} U_0 \quad (3.16)$$

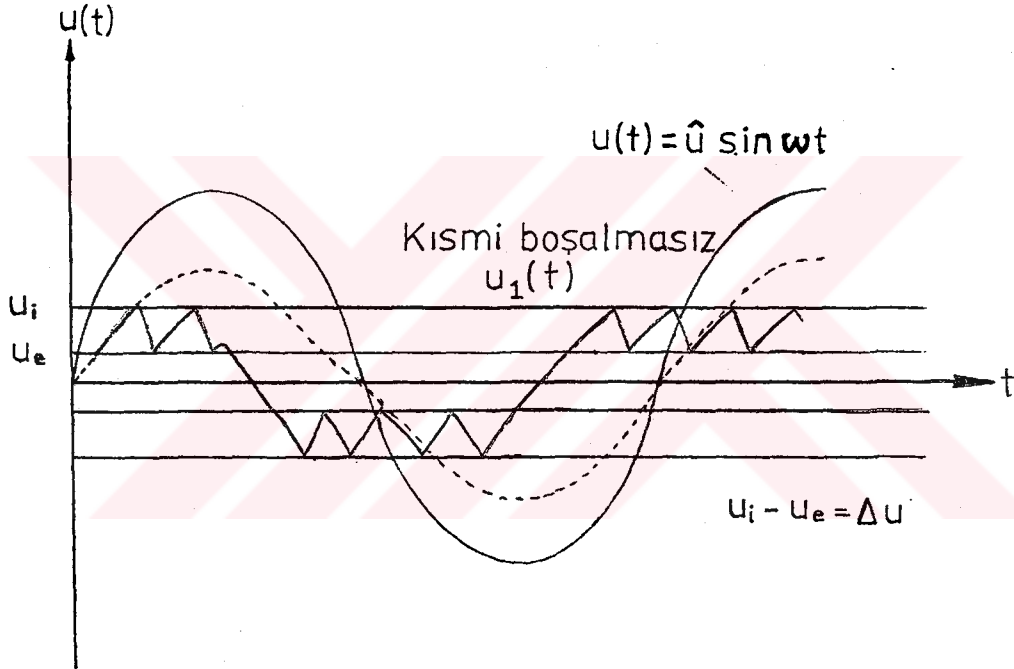


Şekil 3.2 Kısmi boşalma devresi

$$u_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} u(t) - U_d \quad (3.17)$$

Buradan boşalmadan sonra, boşluğun uçlarındaki gerilimin, U_d delinme gerilimi kadar ve delinmenin meydana geldiği gerilimin kutbiyetinin ters yönünde ötelenmediği anlaşılr.

Şekil 3.3 de alternatif gerilim uygulanmış yalıtkan maddede, boşluğun uçlarındaki kısmi boşalma darbelerini de içeren gerilim şekli görülmektedir.



Şekil 3.3 Kısmi boşalma darbelerinin oluşumu

Şekil 3.3 den de görüldüğü gibi boşluğun uçlarındaki gerilim, U_d delinme gerilimi değerine ulaştığında, boşalma meydana gelerek sıfıra düşmekte ve bundan sonra U_d kadar negatif yönde ötelenmiş olarak yine yükselmektedir. İç boşalmalar, boşalma meydana gelmediği durumda, boşluğun uçlarında görülecek gerilimin sıfırdan geçtiği noktalar etrafında simetrik olarak yerleşmiş durumdadır.

Eğer U_{1m} boşluğun delinme geriliminden büyük ama 2 katından küçük ise her periyotta yine 4 adet boşalma gözlenir.

$U_{1m} = 2 U_d$ ise her bir periyotta 8 adet kısmi boşalma darbesi oluşur. Boşluğun uçlarındaki gerilimin tepe değeri, boşluğun delinme geriliminin kaç katından ne kadar büyükse o değerin 4 ile çarpımı kadar boşalma darbesi oluşur. Diğer bir ifade ile;

$$n = \left[\frac{U_{1m}}{U_d} \text{ nin tam sayı kısmı} \right] \cdot 4 \quad (3.18)$$

biçimini alır.

3.4 Yüksek Gerilim Ölçü Transformatörlerinde Kısmi Boşalma Ölçme Yöntemleri

3.4.1 Elektriksel Olmayan Yöntem (Gürültü-Akustik Yöntemi)

Çok sessiz bir ortamda boşalmaların tıslama şeklindeki gürültüsünü kulakla dinleyerek kısmi boşalmaların belirlenmesi eskiden beri kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin duyarlılığı; deney yerinin temel gürültü düzeyine, kısmi boşalma yerinin yalıtkan yüzeyinden derinliğine ve deneyi yapan kişinin kulağına çok bağlıdır. Bu yöntemin duyarlılığı araştırılmış ve açıkta olduğu bilinen bir durum için (50Hz'de) 40 pC'luk kısmi boşalmalar ölçülebilmıştır. Yöntemin özellikle açık havada olan boşalmaları belirlemek için kullanılması daha uygun olmaktadır. İnsan kulağının duyabildiği ses frekansı 15 Hz-20 kHz arasındadır. Mikrofon veya kulaklık (steteskop) ile beraber ses kuvvetlendiricileri ve osiloskop kullanarak, daha geniş bir frekans bandında, daha duyarlı ölçümler

yapılabilir ve ayırtedicilik arttırılabilir.[3]

Transformatör içindeki kısmi boşalmalar, yağ içindeki bir mikrofon aracılığı ile incelenmiş ve dar bantlı bir kuvvetlendirici yardımıyla, en düşük 5 pC'luk boşalmalar ölçülebilmıştır. Mikrofonun kendi hareketi sonucu oluşan sürtünme gürültüleri, yöntemin uygulanmasını zorlaştırır.

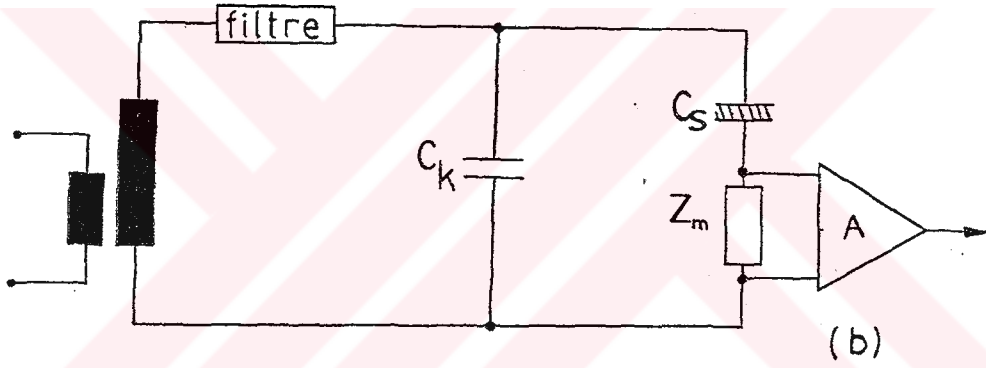
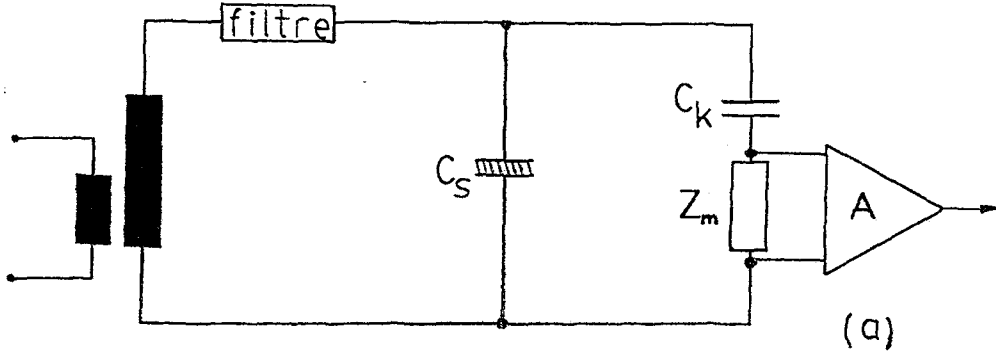
3.4.2 Yüksek Gerilim Ölçü Transformatörlerinde Kısmi Boşalmaların Ölçülmesi İçin Elektriksel Yöntemler

Kısmi boşalmaların elektriksel yöntemlerle ölçülmesi, tahribatsız yüksek gerilim deneylerindendir. Kısmi boşalmaların ölçülmesi için kullanılan elektriksel yöntemleri üç ana başlık altında inceleyebiliriz:

- a) Direkt (dolaysız) ölçme yöntemi
- b) Köprü yöntemi
- c) Kayıp ölçme yöntemi

3.4.2.1 Direkt Ölçme Yöntemi

Böyle bir yöntem için kullanılacak en temel ölçme devreleri Şekil 3.4 de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Kısmi boşalmayı direkt tespit eden yöntemlere ait devreler

(a) Gerilim darbesi saptayıcı devre

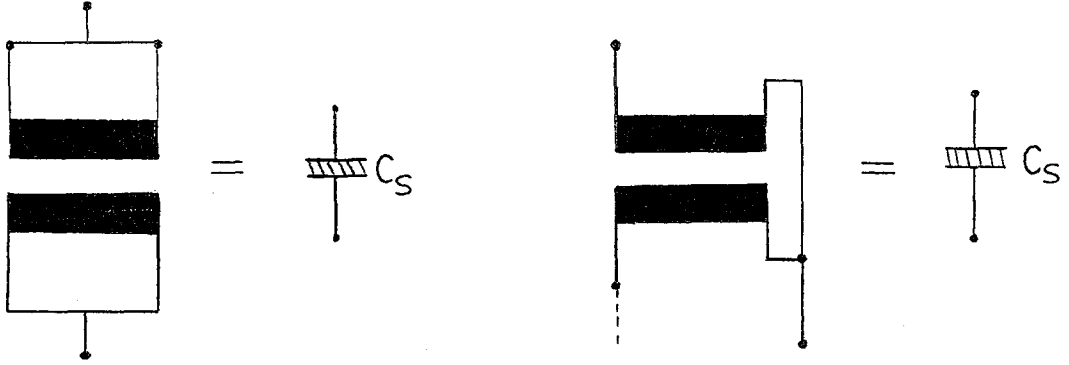
(b) Akım darbesi saptayıcı devre

C_k : Kuplaj (Bağlama) kondansatörü

C_s : Deney cismi

Z_m : Ölçü empedansı

A : Kuvvetlendirici



Şekil 3.5 Akım ve gerilim transformatörleri için bağlantı şekilleri
(a) Akım transformatörleri için
(b) Gerilim " "

Şekil 3.4 (a) da verilen devrede ölçü empedansı Z_m kuplaj kondansatörü ile seri bağlıdır. Deney cismi C_s 'e uygulanan gerilim darbesi bu deney cismine paralel bağlı bulunan C_k ile buna seri bağlı bulunan Z_m ölçü empedansı üzerine de uygulanmaktadır. Bu yüzden bu darbenin bir kısmı kuvvetlendirici A'nın uçlarına da uygulanmış olmaktadır. C_s üzerindeki bir boşalma bu deney cismi üzerinde oluşan ΔV gerilimi ile saptanabilir. $\Delta V = q_a C_s$. Bu yüzden boşalma, örnek üzerinde oluşan tüm gerilim darbesi veya görünen yük cinsinden ifade edilebilir.

Şekil 3.4 (b) de, ölçü empedansı deney cismi ile seri bağlıdır bu yüzden, deney cismi üzerindeki bir boşalma Z_m ölçü empedansı üzerinden geçen bir akım darbesi üretir ve aynı zamanda bu akım darbesi A kuvvetlendirici girişine uygulanır. Deney cismi C_s 'in içinde bir boşluktaki boşalma deney cisminin uçlarından geçen görünen yük cinsinden ifade edilebilir. Bu devrede bir de filtreye gereksinim duyulmasının nedeni, kuvvetlendirici girişindeki darbelerin yalnızca deney cismindeki boşalmalardan dolayı olmasını sağlamak yani yüksek gerilim kaynağında

oluşacak kısmi boşalmaların kuvvetlendiriciye iletilmesini önlemektir. Eğer yüksek bir doğruluk istenirse tüm devreyi dış elektromagnetik parazitlerden korumak gereklidir. Bunun içinde devre tamamen topraklanmış bir alana yerleştirilmelidir.

Bir diğer sorun ise sistemdeki iletkenler arasındaki kötü bağlantılar nedeniyle oluşan darbelerdir.

C_k kuplaj kapasitesi de uygulanan en büyük deney geriliminde kısmi boşalmasız olmalıdır.

Ölçü empedansı genellikle omik ağırlıklı olmakla birlikte direnç, endüktans ve kapasitelerin birleşiminden de meydana gelebilir.

Çok amaçlı bu deney düzenlerinde rezonans frekansı f , ölçme devresinin öz frekansına eşittir. Ölçme devresinin öz frekansı, tanım frekansı;

$\omega_o = 1 / \sqrt{L C_m}$ ve bağıl zayıflama $X = R_m / 2 L \omega_o$ ile elde edilir.

$$f = \frac{\omega_o}{2\pi} \sqrt{1 - X^2} \quad (3.19)$$

Tipik olarak frekans aralığı 30 kHz'den 100kHz'e kadardır. Genellikle 10-250 kHz gibi oldukça geniş bir bant aralığına 5×10^{-5} gibi bir kazançla sahip kuvvetlendirici ölçü empedansındaki darbeleri alabilir.

Ölçme devresinde kullanılan kuplaj kondansatörleri, ölçme duyarlılığına etki ederler. Kısmi boşalmasız olan bu kapasiteler mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır.

Kuplaj kondansatörlerinin değeri ne kadar büyük olursa ölçü aletinin duyarlılığı da o kadar büyük olur. Genellikle 500.....1000 pF mertebelerinde seçilmesi yeterlidir. Bu arada deney cismi ile kuplaj kondansatörü arasındaki bağlantının deney geriliminde korona meydana getirmemesi için özel önlemler alınması gerekir.

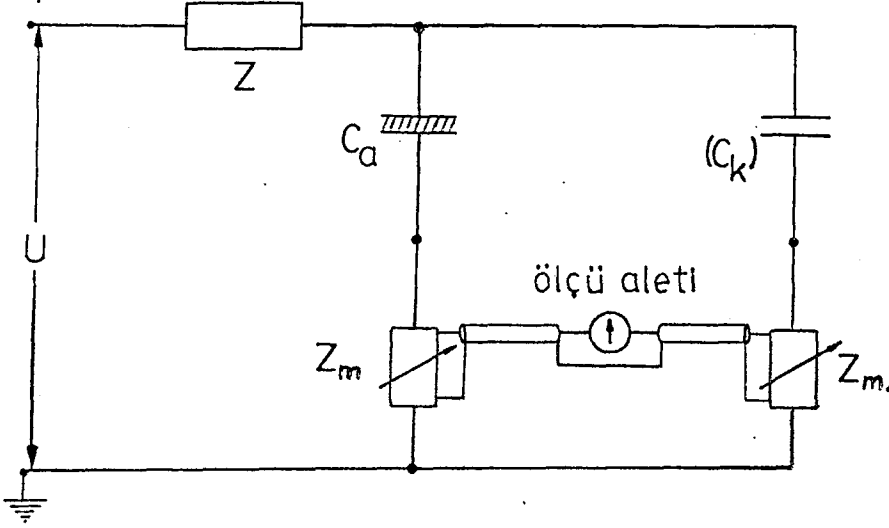
Kuvvetlendirici çıkış uçlarına genellikle, osiloskop gibi ölçü aletleri bağlanır. Bunun yanı sıra boşalma büyüklüğünün tepe değerini ölçen aletler kullanılabilir ve diğer olası bir yöntem ise kuvvetlendirici çıkışına darbe yükseklik analizörü bağlamaktır. Bu da darbe sayısını hesaplayıp farklı yükseklikteki darbeleri farklı belleklerde saklar.

Kuplaj kapasitesinin büyük olması nasıl duyarlılığı arttırıyorsa, deney cisminin kapasitesinin de küçük olması duyarlılığı arttırır.

Ekranlanmış bir laboratuarda 100 pC'luk bir deney cismi için 0.1 pC'dan daha iyi bir duyarlık elde edilebilir. Fakat endüstri deneylerinde 5 pC'luk duyarlık bile zor elde edilir.[3]

3.4.2.2 Köprü Ölçme Yöntemi

Elektriksel gürültülerin fazla olduğu ortamlar söz konusu olursa ve devreye filtre koyma veya deney alanını ekranlama yeterli olmaz ise, bu durumda köprü yöntemiyle ölçme tercih edilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.8 Köprü kısmi boşalma ölçtme devresi

Z_m, Z_{m_1} : Ölçü empedansı

C_a : Deney cismi

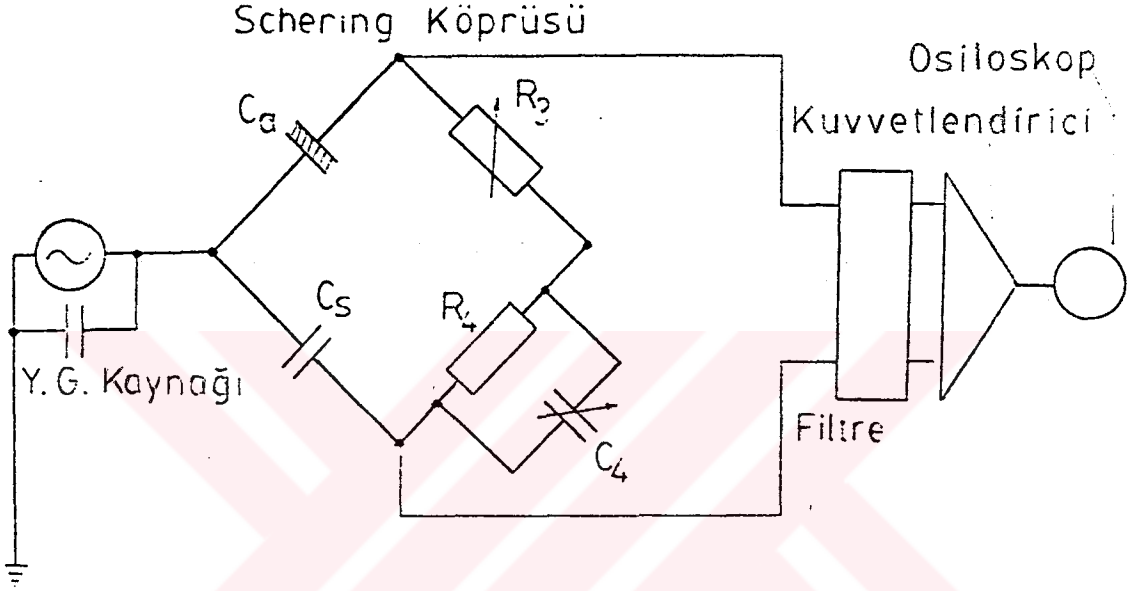
C_k : Kuplaj kondansatörü

Z : Filtre

Bu devrede deney cismi ve kuplaj kondansatörü birer ölçü empedansı üzerinden topraklanmıştır. Bu empedansların çıkışından alınan işaretlerin farkı bir ölçü aleti ile değerlendirilmektedir. Bu devre bir yüksek frekans Schering köprüsü olduğundan dolayı bu yönteme köprü yöntemi adı verilmiştir.

İlk defa, Star ve Arman tarafından kullanılan köprünün (Şekil 3.7) dedektörü, besleme gerilimi frekansında köprüyü dengeye getirmeyi kolaylaştırmak amacıyla 50 Hz'e ayarlanmıştır. Filtre 5 ila 20 kHz frekans bölgesindeki akımları geçirecek şekilde düzenlenir. Filtre çıkışı kuvvetlendirici üzerinden osiloskoba bağlanmıştır.

Deney cismindeki bir boşalma R_g direncinin uçlarında bir darbe oluşturur ve bu darbe filtre ve kuvvetlendirici üzerinden osiloskoba uygulanmıştır.



Şekil 3.7 Kısmi Boşalma Ölçme Köprüsü

Dışarıdan gelen parazitler ise köprünün her iki kolunda darbeler neden olur. Osiloskopta ölçülen darbeler arasındaki fark, darbelerin kendilerinden çok daha küçük olur. Bu yöntem ile dış parazitler için, 30 katı mertebede zayıflatma tesbit edilmiştir. Parazitlerin tamamen yok edilmesi için deney cisminin kapasitesi ile kuplaj kondansatörünün kapasitesi ve dielektrik kayıpları eşit olmalıdır. Yoksa geniş bandlı bir kuvvetlendirici için, dış gürültülerin yok edilmesi daha zor olur.

Daha sonra Kreuger, kuplaj kondansatörü yerine deney örneği ile aynı dielektrik kayıplı bir kapasite kullanılmıştır. Böylece, parazitler geniş bir frekans

bandı dahilinde yeterince ortadan kaldırılabilir. Başta gelen üstünlükleri, tek darbelerin ayırt edilmesi, daha geniş frekans bandında kullanılabilirliği, parazitlerin daha iyi bastırılmasıdır.

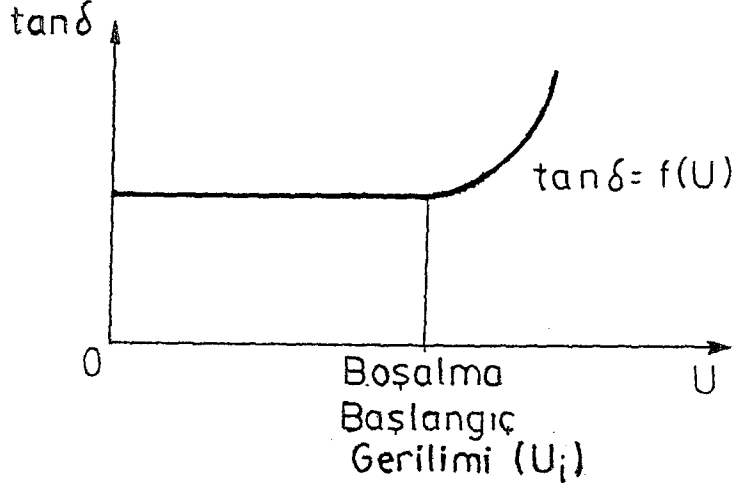
Bu yöntemle diferansiyel yöntem de denir. Böylece 3 ila 1000 kat arasında zayıflatma oranları elde edilir.

3.4.2.3 Kayıp Ölçme Yöntemi

Bu yöntemin ilkesi yalıtkan içindeki kayıpları, kayıp açısı δ cinsinden ifade etmektir. Enerji, bir kısmı boşalmada dağılırken, boşalma başlangıç geriliminin üzerinde kayıplar artar ve gerilim ile $\tan\delta$ 'nin değişiminin ölçümü, boşalma başlangıç gerilimi U_1 'nin saptanması için kullanılabilir (Şekil 3.8).

Bu yöntem ile ölçme yapılmasında bir çok problem ile karşılaşılır. Duyarlılık genellikle düşüktür, örneğin ölçülebilir minimum boşalma başlangıç gerilimi 10 kV olan 1000 pC'luk bir deney cismi için duyarlık, $\tan\delta$ 'nin değişimi için, 10^{-6} lık duyarlığa sahip iyi bir Schering köprüsü kullanıldığı zaman, 50 pC olacaktır.

Gerilim ile $\tan\delta$ arasında kademeli bir artış vardır ve bu yüzden boşalma başlangıç geriliminin saptanması zordur. Bunun içinde, dielektrik kaybına yol açan iç boşalmaları yalıtkan malzemeden ayıran değişik yöntemler kullanılır.

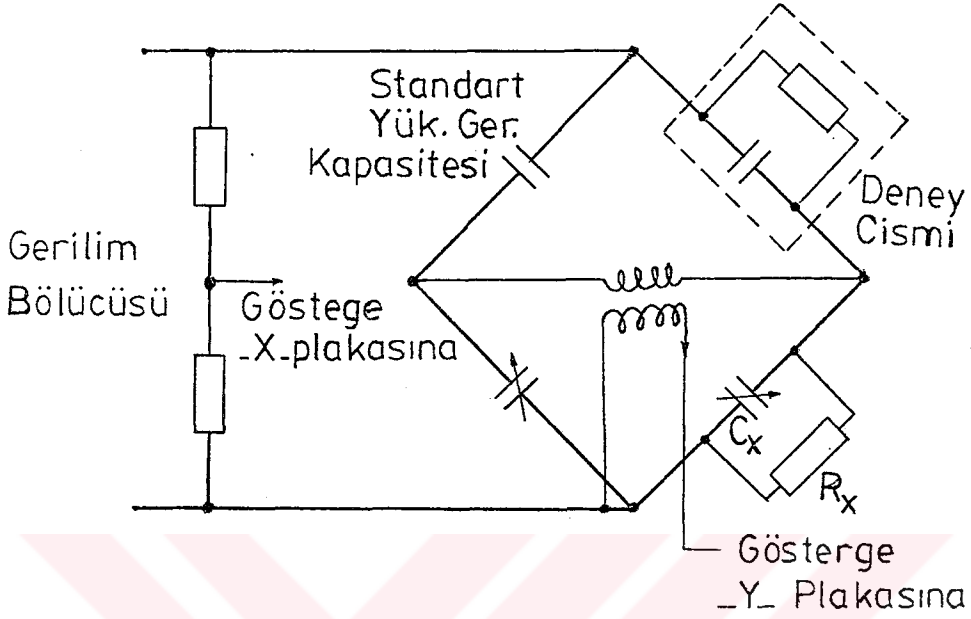


Şekil 3.8-Uygulanan gerilim ile $\tan \delta$ 'nın değişimi

Diğer bir sorunda bu yöntemin, yalıtkan malzemeye zarar verecek boşalmaların en küçük değeri ile yine aynı yalıtkan malzemeye zarar vermeyecek boşalmaların en büyük değerini ayırt edememesidir.

Daha fazla veri alınabilen bir benzer köprü yönteminde paralelogram yöntemidir (Çevrim izleme yöntemi) (Şekil 3.9).

C_x ve R_x alçak gerilim uygulanmış örnek ile osiloskop ekranında düz yatay çizgileri elde etmek için ayarlanır. Örnek deney cisminde, kısmi boşalmasız durumda denge; Schering köprüsündeki dengeye benzerdir. Bu yüzden R_x ve C_x değerlerinden $\tan \delta$ 'nın değeri elde edilecektir. Gerilim, boşalma başlangıç geriliminin üzerinde arttırıldığında zaman kayıpları artacak ve osiloskobun dikey plakasına uygulanmış dengesiz bir işaret oluşacaktır. Geçen yük ise etkin bir şekilde C_x tarafından integre edilir. C_x 'in üzerinde oluşan gerilim, dikey bir saptırma üretir.



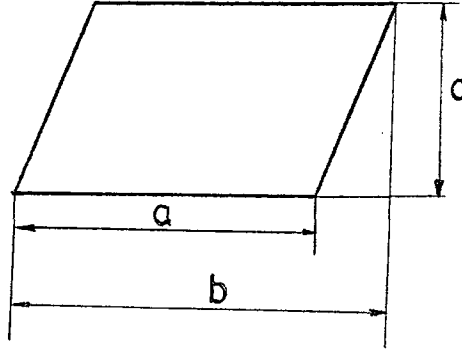
Şekil 3.9-Çevrim izleme yöntemi

Şayet boşalma varsa, osiloskop ekranı üzerindeki izler paralelograma benzer (Şekil 3.10).

Yatay uzaklık b deney cisminde uygulanan gerilim ile orantılı iken, diğer yatay büyüklük a ise kısmi boşalma başlangıç gerilimi ile orantılıdır.

Her yarım periyotta geçen toplam yük, dikey büyüklük c ile orantılıdır. Dikey saptırıcı bilinen bir yük ile karşılaştırılıp ayar edilir.

Osiloskop ekranında oluşan şeklin alanı ise, her bir periyotta kısmi boşalmadan dolayı oluşan toplam enerjiyi verecektir.[3]



Şekil 3.10-Paralelogram

3.5 Yüksek Gerilim Ölçü Transformatörlerinde Boşalma Yerinin Bulunması

Eğer bir transformatörün bir veya birden fazla ucunda istenmeyen boşalmalar saptanırsa, boşalmanın kritik olan bölgede yer alıp almadığına karar vermek ve boşalmaya sebep olan olası hataları belirleyebilmek için boşalma yerinin belirlenmesi gerekir. Boşalma yerini bulmaya yarayan, geliştirilmiş bir çok elektriksel yöntem vardır, bunları çeşitli alt başlıklar altında inceleyeceğiz.

3.5.1 Boşalma Yerinin Bulunması İçin Kapasitif Darbelerin Sargıda Zayıflama Yönteminin Kullanılması

Eğer kısmi boşalma, bir transformatörün sargı başlarına veya bağlantı uçlarına yakın yerde oluşursa, bu transformatör uçlarında saptanan darbelerin genliği büyüktür.

Bu bilginin kullanılmasıyla; transformatörlerin bir çok bağlantı ucunda, ilk anda yapılan ölçümler çok kolay anlaşılır ve ölçülen darbe genlik düzeyleri, ayarlanmış

darbe işaretleri ile karşılaştırılarak saptanır.

Tahminen, darbe büyüklüğü ölçümünde, ölçme frekansı sargı rezonansı ile etkin bir biçimde değişmedikçe boşalmanın yeri, transformatör bağlantı ucuna çok yakındır diyebiliriz.

Bu tip yer bulma işlemleri için, pikokulonmetreler kullanılabilir.

Bir transformatörün dağılmış kapasiteli bir eşdeğer devre olarak düşünülmesi, bir kısmi boşalmanın hemen ardından sargılardaki gerilim dağılımının hesabı için kullanılabilir.

Bu yollarda sargı uçlarındaki kapasitif iletilen darbelerin oranı ile kısmi boşalma yeri arasındaki ilişkiyi gösteren kısmi boşalmanın yer eğrileri çıkarılabilir. Transformatör ikiden fazla uçlu ise birden fazla eğri çıkarılır. Çıkarılan kısmi boşalma yer eğrileriyle de enerjili bir transformatörde, bir kısmi boşalma olduğunda sadece uçlarındaki kısmi boşalmalardan kaynaklanan kapasitif iletilen darbelerin oranının ölçülmesiyle kısmi boşalma yeri bulunabilir.

$$U_T = U_o e^{[-(\sqrt[n]{C_s/C_p})]} \quad (3.20)$$

Burada;

U_o : Boşalma darbe geriliminin tepe değeri

n : Boşalma yeri ile yüksek gerilim sargı ucu arasındaki sarım sayısı

U_T : Transformatör bağlantı ucundaki gerilim

C_s : Sargı seri kapasitesi

C_p : Paralel kapasitedir.

U_T/U_0 oranı, sargı boyunca bobin uçlarına, yapay gerilim darbeleri uygulanması ile ölçülebilir. Böyle bir ölçüm Şekil 2.11 de gösterilmiştir.

Gerilim darbesi hem pikokulonmetreler ile hemde darbentli parazit ölçen ölçü aletleri ile ölçülebilir.

Pikokulonmetreler ile çıkarılan zayıflama eğrileri daha düzgündür.

Harold ve Sletten gibi araştırmacılar çeşitli frekanslarda, çeşitli zayıflama ölçümlerini kullanıp, transformatör sargılarının incelenmesinde kullanılan ortalama değerleri elde etmişlerdir. [4]

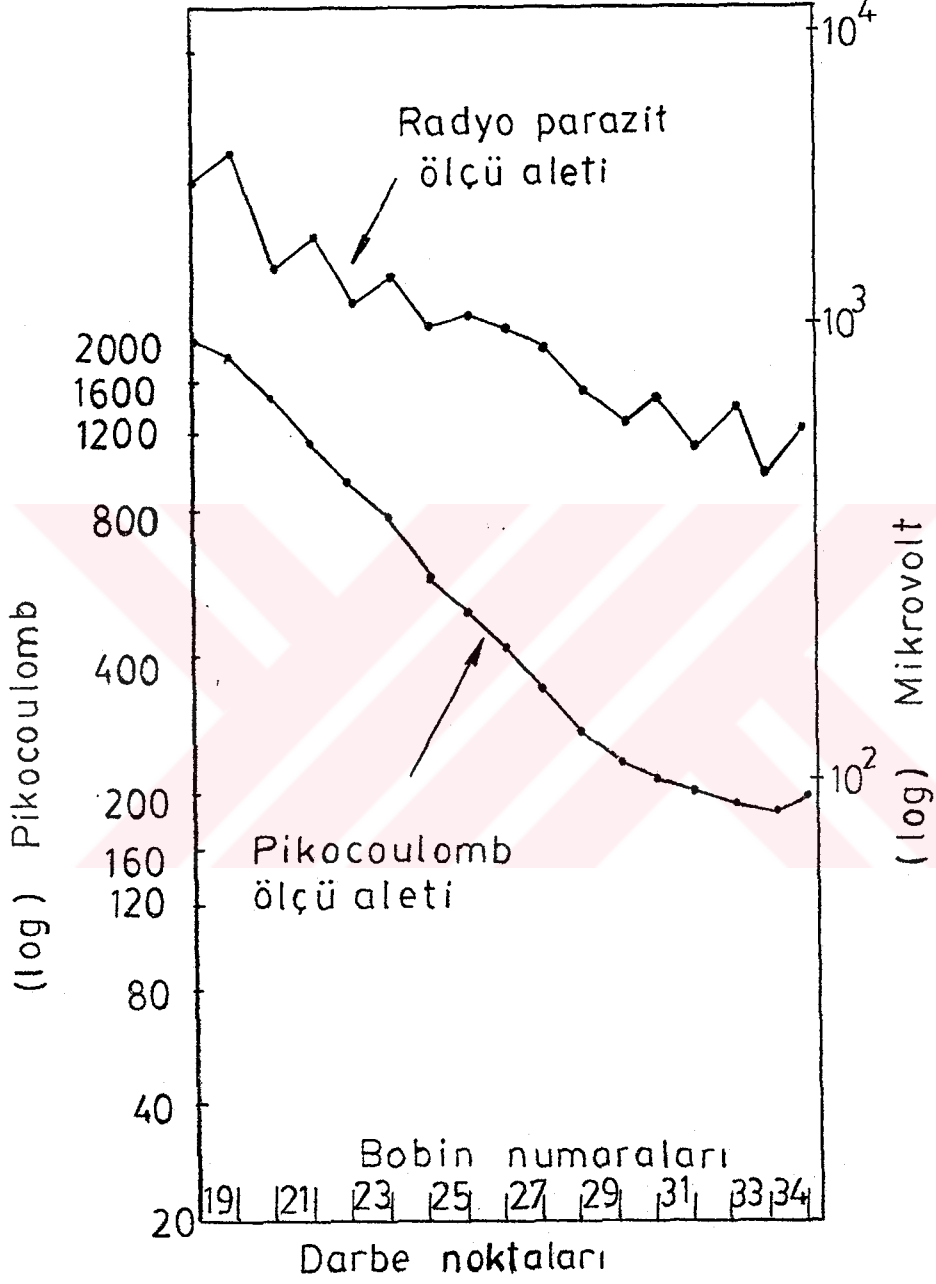
Simetrik iki bağlantı uçlu yüksek gerilim sargısına sahip transformatörler için, iki bağlantı ucundaki darbe gerilimleri oranı;

$$\frac{U_{T_1}}{U_{T_2}} = e^{[(N-2n) \sqrt{C_S / C_P}]} \quad (3.21)$$

veya

$$\log (U_{T_1} / U_{T_2}) = \alpha (N-2n) \quad (3.22)$$

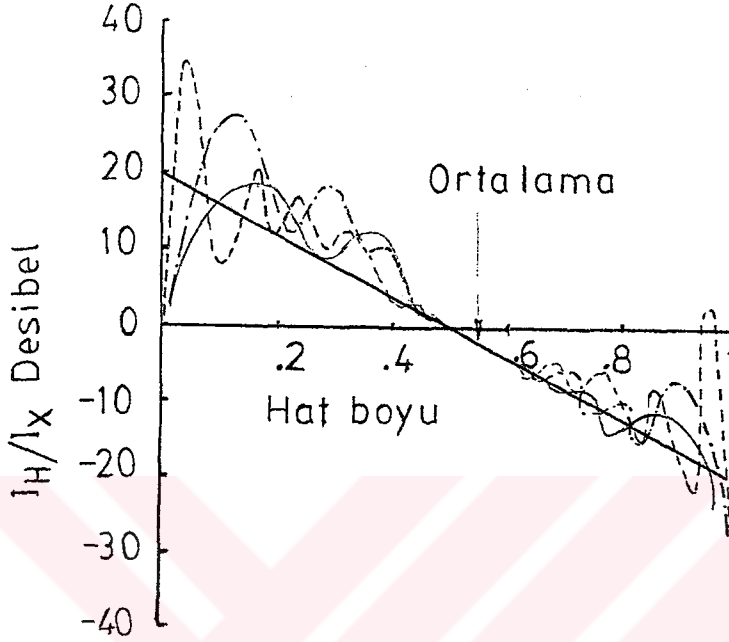
N, toplam sarım sayısı; n, boşalma noktasından transformatörün 1. bağlantı ucuna kadar olan sarım sayısıdır.



Şekil 3.11 Kısmi Boşalma darbesinin sargıda zayıflaması

Sargı boyunca çeşitli yerler için işaretin değişimi

şekil 3.12 de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Yansımali bir hat için ortalama yer öngörü eğrisi

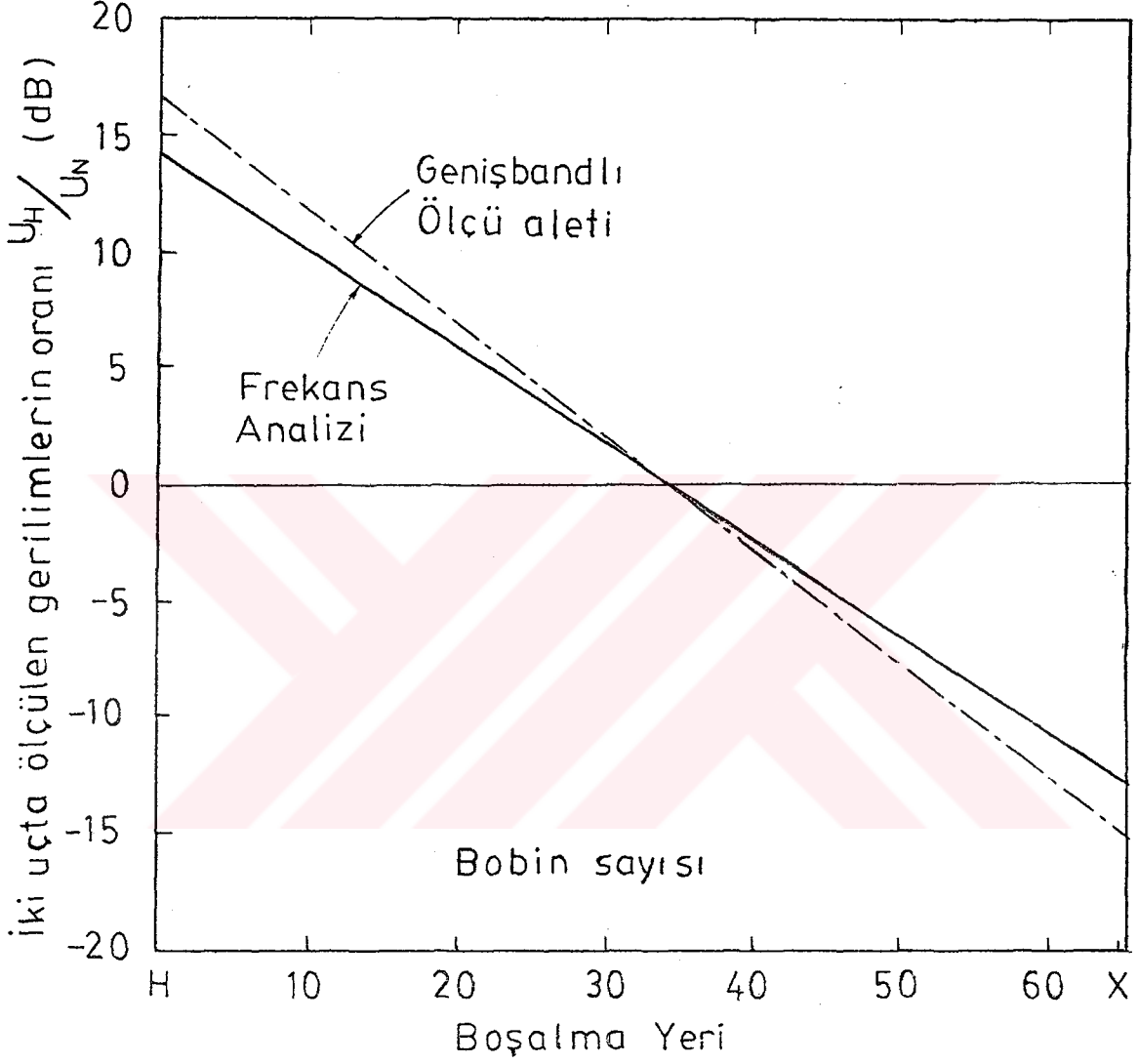
Bu çeşitli dar bant ölçüm frekanslarında işaret büyüklüğündeki geniş dalgalanmayı gösterir.

Araştırmacılar, analiz sırasında yalnızca darbelerin yansımalarını düşündüler oysaki boşalma yerinin bulunmasını zorlaştıran iç yansımalarda mevcuttur.

Bununla birlikte ortalama değerler dalgalanma dışında düzgün etkiye sahiptir.

Geniş bantlı ölçü aleti kullanılmasıyla elde edilen eğriler ile ortalaması alınmış öngörü yer eğrilerinin karşılaştırılması, onun az çok ortalaması alınmış frekanslarda olduğu gibi bir etkiye sahip olduğunu

gösterir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Bir transformatör içindeki boşalmaların frekans analizi ve geniş bantlı ölçü aleti ile ölçme sonuçlarının karşılaştırılması

Aynı zamanda bu yöntem ile birden fazla boşalma kaynağı olması durumunda da gerekli ölçümlerin yapılması olasıdır.

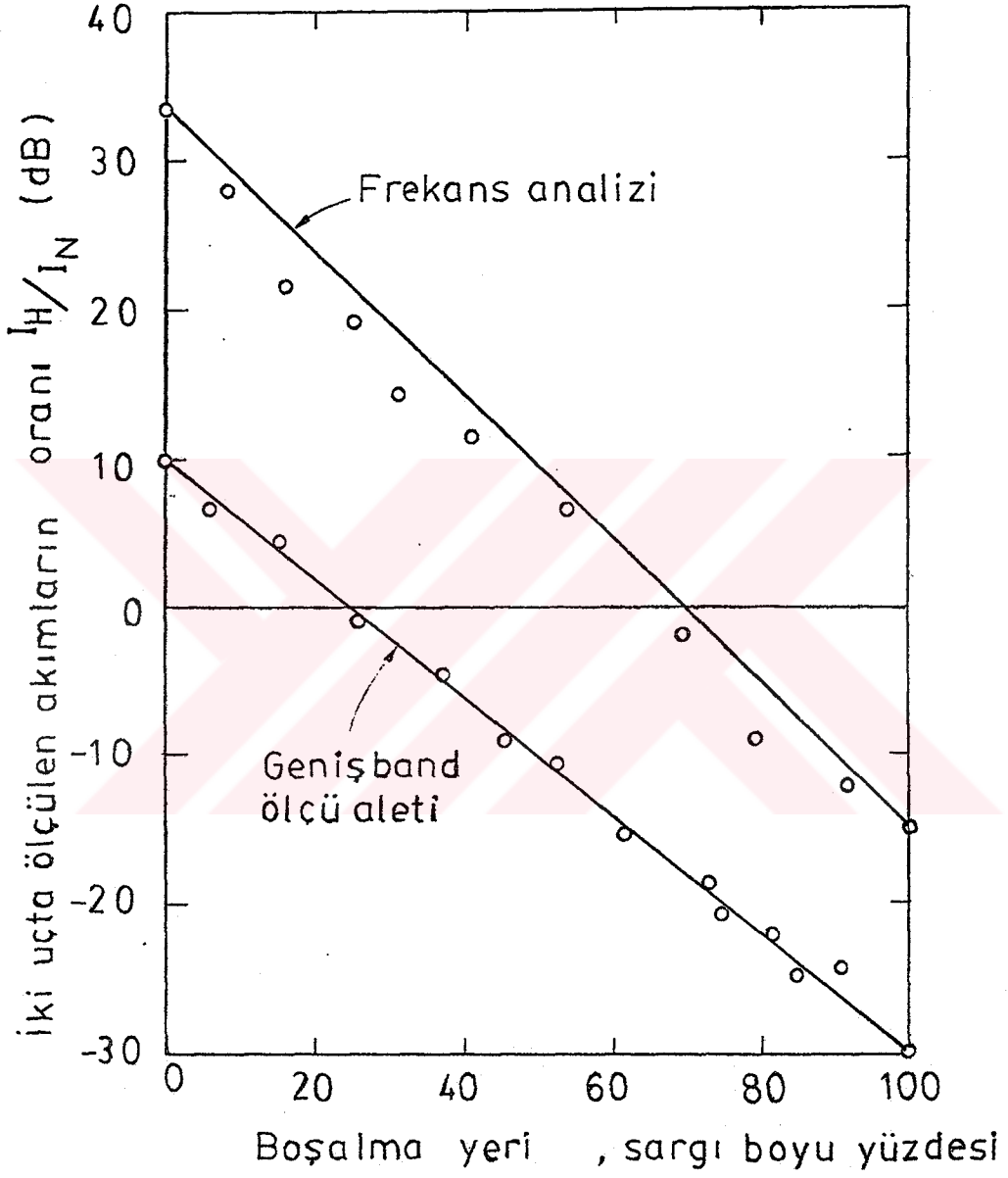
Farklı yerlerde iki boşalma kaynağı varsa, bir tanesi 1 nolu bağlantı ucuna, diğeri 2 nolu bağlantı ucuna daha yakındır. Böyle durumlarda, her iki uçtaki darbe büyüklüğünün belli bir frekansta eş zamanlı çalışan çift ışın-
lı osiloskop ile karşılaştırılması tercih edilir.

Eğer tek bir boşalma kaynağı olsaydı; işletme frekan-
sında bir bağlantı ucundaki darbelerin tümü, diğer bağ-
lantı ucundaki darbelere göre aynı genlikte olacaktı.

Eğer iki veya daha fazla kaynak varsa, bir tek periyot
boyunca darbelerin bir kısmı diğer gruplardan farklı gen-
liğe sahip olacaktır.

Her bir bağlantı ucu için, kuvvetlendirici ve osilos-
kop kazançlarının dikkatli bir şekilde ayarlanmasıyla;
iki veya üç raslantısal darbenin genliğinden, boşalma
kaynakları karşılaştırılabilir.

Osiloskop kullanmadan, radyo parazit ölçü aletleri
kullanarak boşalma kaynaklarından biri her iki transfor-
matör bağlantı ucunda daha büyük darbeler üretmedikçe;
iki kaynak olması durumunda da geçerli sonuçlar elde edi-
lebilir.[4]



Sekil 3.14 Bir transformatör içindeki boşalmanın frekans analizi ile geniş bantlı ölçü aleti ölçme sonuçlarının karşılaştırılması

3.5.2 Yürüyen Dalga Yöntemi

Transformatör sargılarında yürüyen dalgaların davranışı eskiden beri dikkati çekmektedir. Kısmi boşalma yerinin bulunmasında bu olaydan yararlanma düşüncesi çeşitli sargı modelleri üzerinde denenmiş ve transformatörlerde kullanılabileceği görülmüştür.

Transformatör sargılarında kısmi boşalmalar;

a)Yüksek gerilim sargıları ile alçak gerilim sargıları arasında veya yüksek gerilim sargıları ile, topraklanmış kısımlar arasında,

b)Aynı sargının sarımları arasında oluşabilir.

Endüklenen gerilimde kısmi boşalmaların her iki çeşidinde olması mümkündür. Yüksek gerilim sargıları ile alçak gerilim sargıları arasına bir gerilim uygulandığında, aynı sargının sarımları arasında bir kısmi boşalma olması olası değildir.

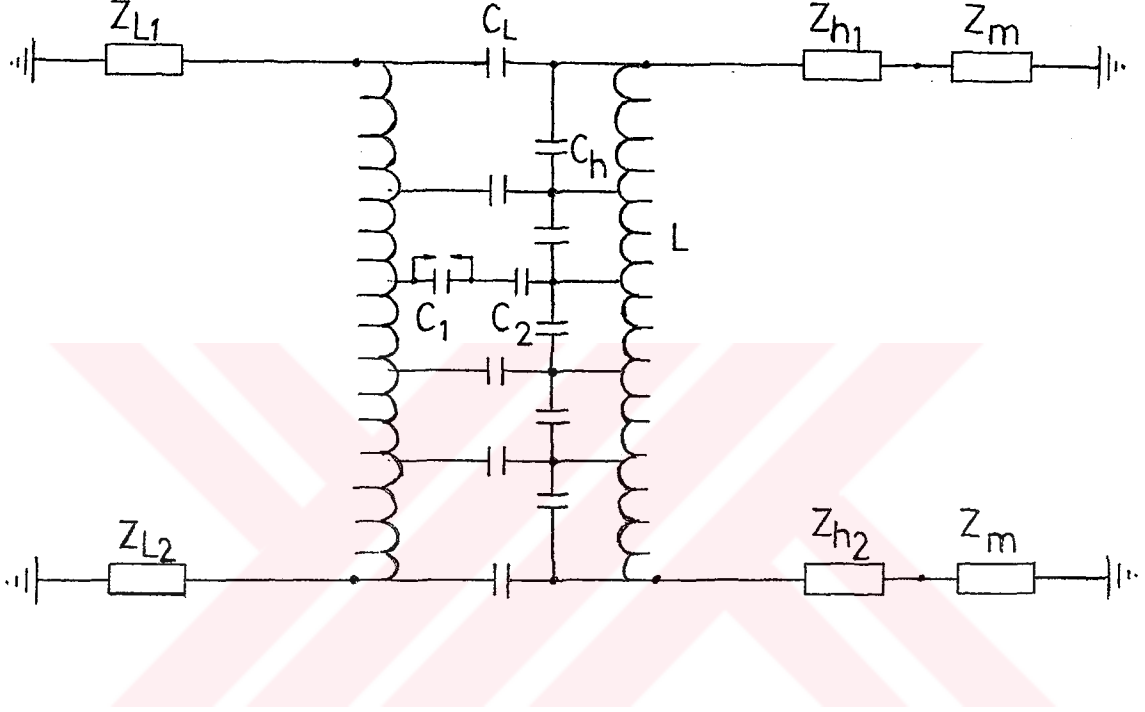
Yüksek gerilim sargıları ile alçak gerilim sargıları arasındaki kısmi boşalmalara ilişkin elektriksel eşdeğer devre Şekil 3.15 de gösterildiği gibi çizilebilir.

C_1 'in uçlarındaki alternatif gerilim boşalma gerilimi değerine ulaştığı anda C_1 deki boşalma nedeniyle C_1 'in uçlarındaki gerilim hızla azalır.

Bu kısa sürede transformatör geriliminde, farkedilemeyen bir gerilim düşümü oluşur.

C_1 'in uçlarındaki gerilim sönme değerine düştükten sonra, C_1 'in uçlarında boşalmadan önceki gerilim oluşacak şekilde bir gerilim kalır.

C_1 'in eski gerilim değerine ulaşma süresi, boşalma sönerken oluşan yüksek frekanslı salınımların süresinden oldukça uzundur.



Şekil 3.15 Alçak gerilim sargısı ile yüksek gerilim sargısı arasında kısmi boşalmalar olan bir sargı sisteminin elektriksel eşdeğer şeması

L : Birim uzunluk başına öz endüktans

C_L : " " " yüksek ve alçak gerilim

sargıları arası kapasite

C_h : Birim uzunluk başına yüksek gerilim sargı kapasitesi

Z_{h1}, Z_{h2} : Yüksek gerilim ucuyla Z_m ölçü empedansı arasındaki empedanslar

Z_{L1}, Z_{L2} : Alçak gerilim sargısının toprağa göre empedansları

C_1 : Boşalma kaynağının kapasitesi

C_2 : Boşalma kaynağı ile diğer sargı arası kapasite

Z_m : Ölçü empedansı

Devredeki C_1 ve C_2 yerine ve C_1 'in uçlarındaki gerilim

düşümüne uygun ve de kısmi boşalmaların elektriksel tekrarlanmalarına uygun bir darbe üretici kullanılabilir.

Aynı sargının sarımları arasındaki kısmi boşalmalara uygun elektriksel eşdeğer devre Şekil 3.16 da gösterilmiştir.

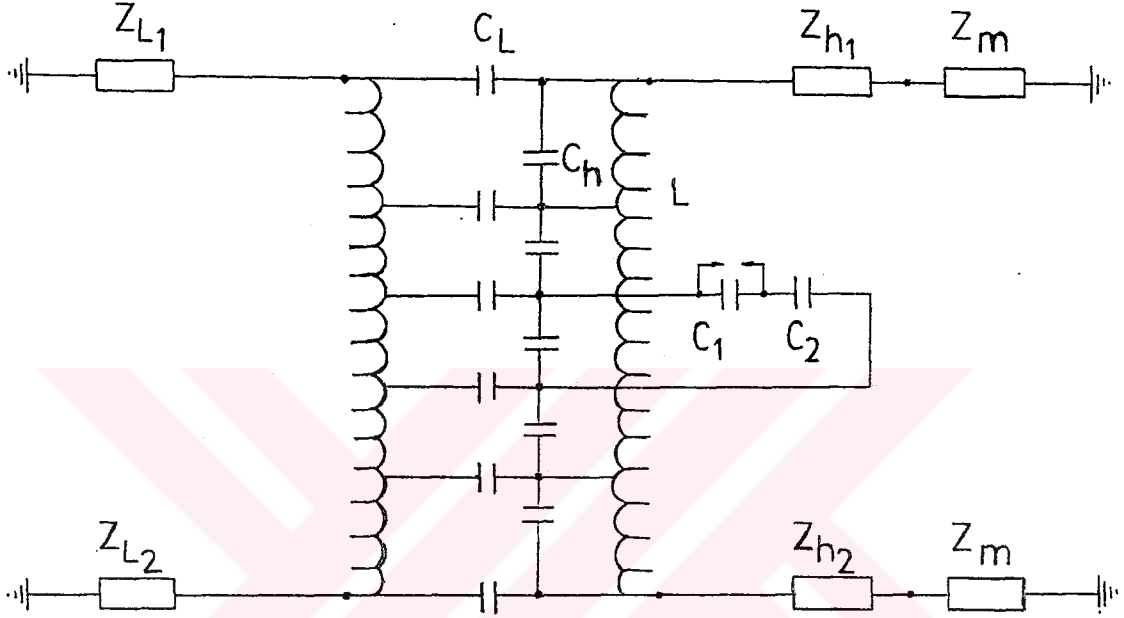
Bu durumda da bir darbe üretici, uçlarında aynı yerdeki gerçek bir boşalmaya uygun gerilim değişimlerini verecektir. Modeller üzerinde yapılan deneylerde, sargıların farklı yerlerinde değeri bilinen ve gerçek kısmi boşalma darbelerine benzeyen ayar darbeleri verilmiş ve sargı uçlarından hızlı osiloskoplarla darbelerin davranışı incelenmiştir.

Şekil 3.17 de de bir transformatör sargısında boşalma darbelerinin yayılmasını incelemek amacıyla kullanılan deney bağlantı şeması gösterilmiştir.

Bu deneyde Z_m sabit tutulup, sargılarda boşalma kaynağının değişik yerlerde olması durumunda ölçümler yapılır ve her değişik boşalma durumunda, başka bir Z_m ölçü empedansı kullanılır. [5]

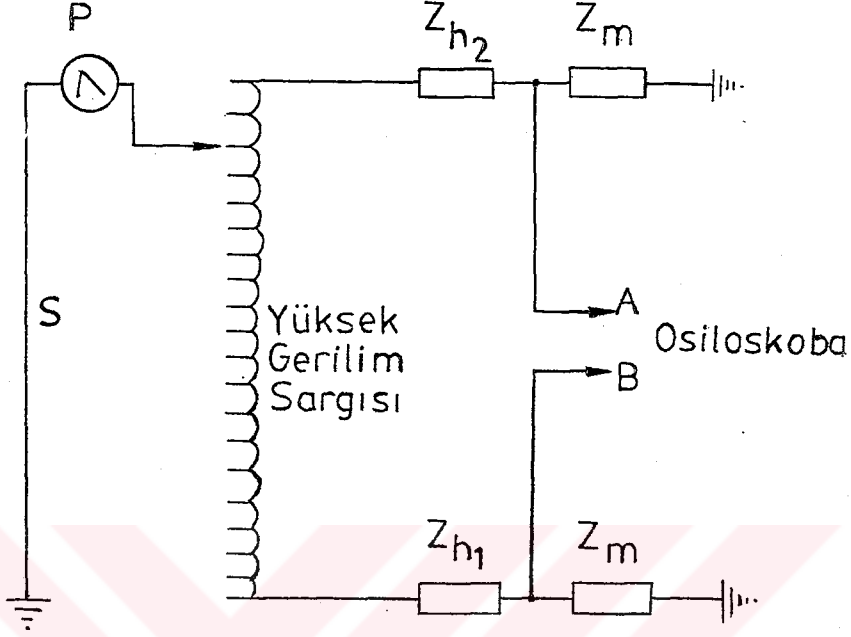
Yürüyen dalga yöntemi, yürüyen dalga ilerleme zamanının, katettiği sargı uzunluğu ile doğru orantılı olmasına dayanır. Yürüyen dalgaların transformatör sargılarındaki yayılma hızları da, yaklaşık 150-200 m/ μ s mertebesindedir. Yürüyen dalgaların bu hızı, gerçek transformatörlerde de ölçülüp kontrol edilebilir. Bunun için uzunluğu belli bir sargının ucundan bir ayar darbesi uygulanıp, diğer uca ulaşma süresinin ölçülmesi gerekir. Bu süre genellikle mikrosaniyeler mertebesindedir. Kısmi boşalma darbeleri, boşalmanın olduğu yerden sargının her iki ucuna doğru yayılan yürüyen dalgalar oluşturur.

Bu dalgaların sargı uçlarına ulaşma anları arasındaki zaman farkı da boşalma yerinin sargı uçlarına uzaklığı için bir ölçüdür.



Şekil 3.16 Aynı sargının sarımları arası kısmi boşalmayı gösteren eşdeğer devre

Yürüten dalgalar sargılarda hızla zayıfladığından, bu yöntemin büyük genlikli boşalmaların yerinin bulunmasında kullanılması daha uygundur. Bu yöntemde, yürüten dalgaların yansıma ve kırılmaları büyük hatalara yol açar. Yöntem birden fazla boşalma yeri olması durumunda da kullanılabilir. Ancak bu durumda, sargı uçlarından birine ayarlanabilir bir geciktirme devresi bağlanır. Sarımlar arasındaki veya yüksek gerilim sargısı ile topraklı kısımlar arasındaki boşalmaların yeri bu yöntem ile bulunabilir.



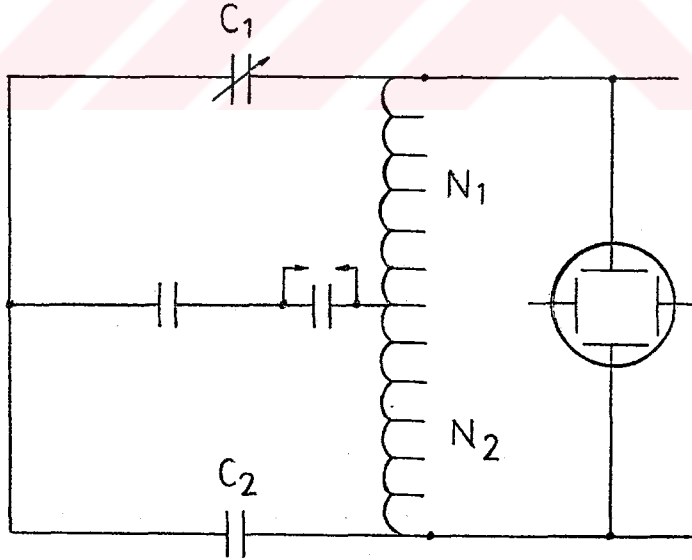
Şekil 3.17 Disk şeklindeki bir sargıda boşalma darbelerinin yayılmasını incelemek amacıyla oluşturulan deney bağlantısı
S: Metal ekran
(alçak gerilim sargısı yerine)
P: Darbe üretici

Yürüten dalga yöntemi, yalnızca özel ve tipik yürüten dalga davranışına sahip transformatörlerde kullanılabilir. Bu transformatörlerde sargılar, kesintisiz ve küçük seri kapasiteli ve yöntemi uygulayabilmek için yeterince uzun olmalıdır. Bu bakımdan kısa ve yüksek seri sargı kapasite değerine sahip transformatörlerde yöntem uygulanamaz. Ayrıca yöntemin başarısı, yürüten darbelerin diğer darbelerden ayırt edilmesine bağlıdır. Bunun için darbelerin küçük olması veya istenmeyen darbelerin yeterince bastırılması gerekmektedir.

3.5.3 Alçak Frekanslı Salınımların Ölçülmesi

Bir kısmi boşalma kaynağından sargı uçlarına ulaşan dalgaların üçüncü özelliği, sönümlü alçak frekanslı salınımlardır. Sönümlü salınımlar, boşalmanın sargı üzerindeki konumuyla orantılıdır. Bu alçak frekanslı salınımlardan yararlanarak bir köprü yöntemiyle boşalma yeri bulunabilir (Şekil 3.18).

Bunun için kolay olmasada değişken yüksek gerilim kondansatörleri kullanmak gereklidir. Oluşturulan köprüde sargının her iki ucuna seri olarak bağlanmış kapasitelerin oranı, boşalma noktasının her iki tarafında kalan sarım sayılarının oranı ile ters orantılıdır. Birden fazla boşalma yerinin varlığı, yöntemin uygulanmasını zorlaştırır. [6]

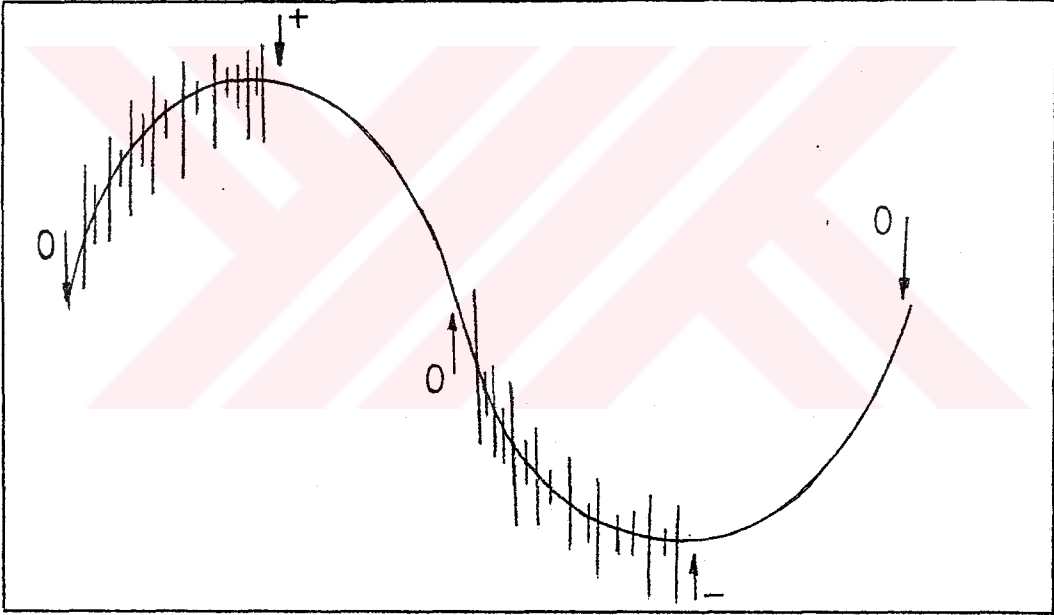


Şekil 3.18 Alçak frekanslı salınımları kullanarak köprü yardımıyla boşalma yerinin bulunması
(Dengede $C_1/C_2 = N_1/N_2$)

3.6 Kısmi Boşalma Ölçümlerinin Yorumlanması

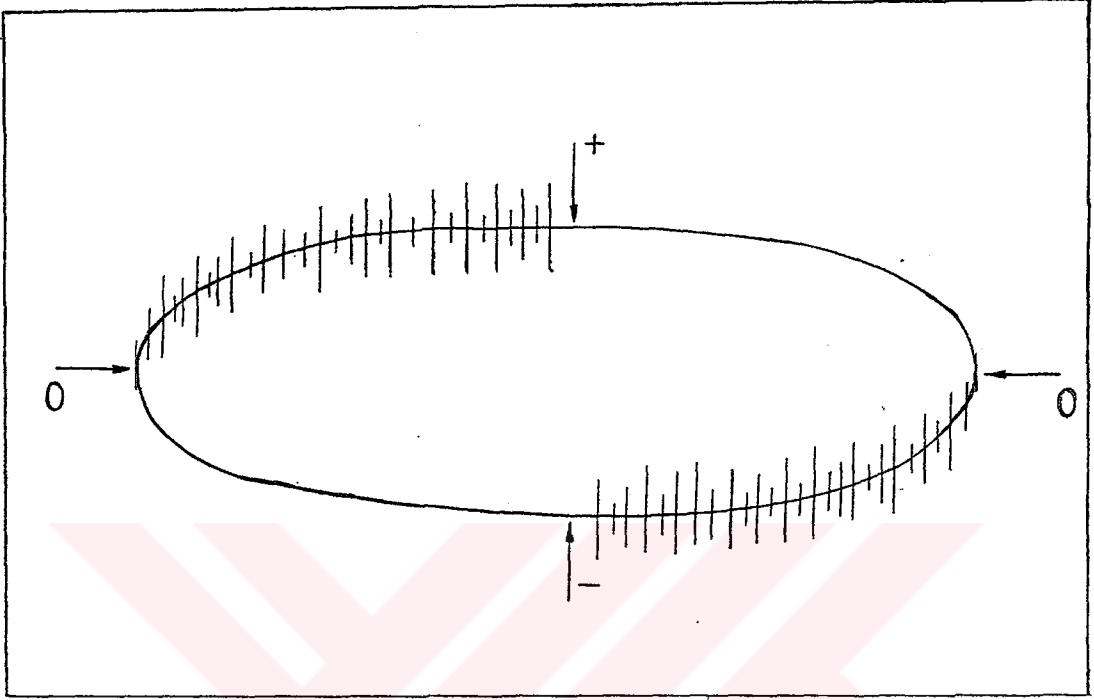
Kısmi boşalma ölçümlerinin yorumlanması, normal olarak kısmi boşalmaların bir osiloskop üzerinde incelenmesini gerektirir. Bu amaçla genellikle sinüs dalgasını simgeleyen eliptik gösterim kullanılır. [7]

Geniş bantlı ölçü aletleri Şekil 3.19 daki gibi sinüs üzerindeki boşalmaları ekranda gösterir.



Şekil 3.19 Sinüs gösterimi

Aynı sinüs dalgasının eliptik gösterimi ise Şekil 3.20 de gösterildiği gibidir.



Sekil 3.20 Eliptik gösterim

3.6.1 Boşluklu Katı Yalıtkan Malzemedeki İç Boşalmalar

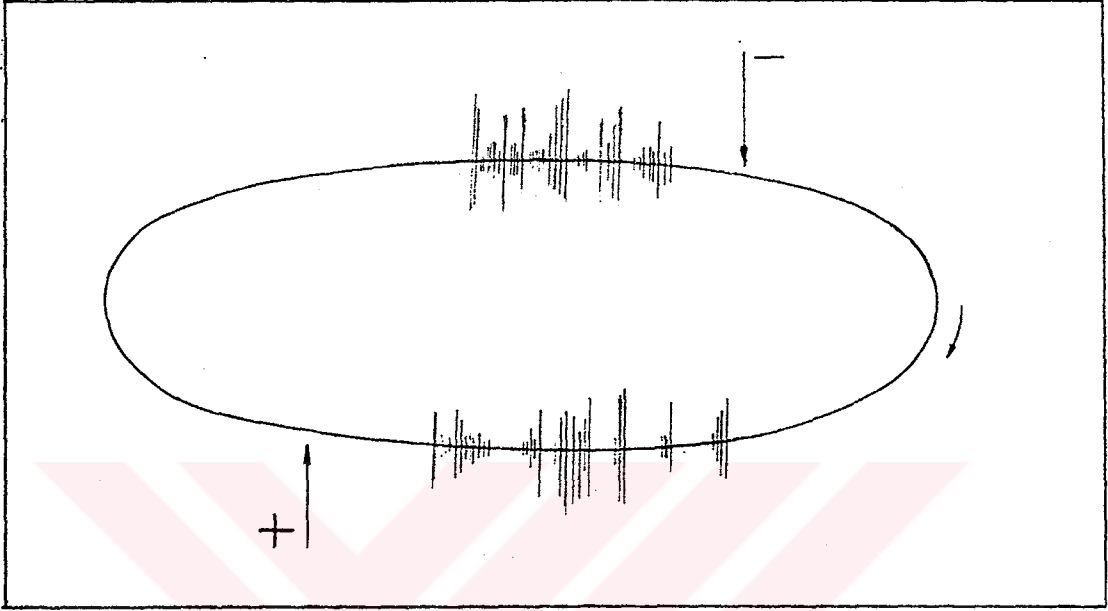
Sekil 3.21 ve 3.22 katı yalıtkan malzeme içindeki iç boşalmaları göstermektedir.

Bu genel olarak katı yalıtkan tabaka malzemesi veya bazı döküm bileşimlerinde bulunan boşluklardır.

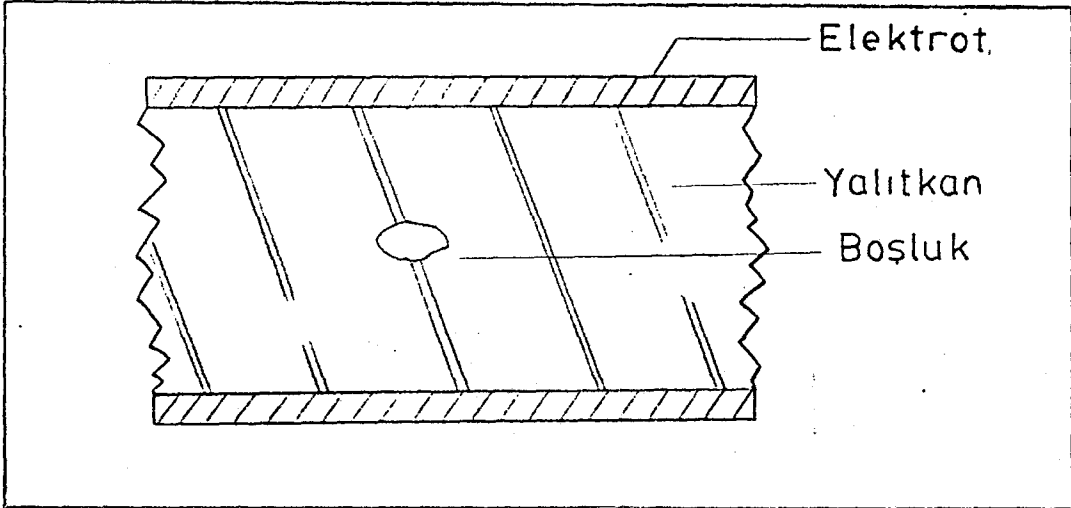
Boşalma, gerilimin tepe değerinden önce pozitif ve negatif yarı periyotlarda oluşur. Boşalma elipsin her iki yanında da aynı genlik ve sayıda oluşur.

Genlik ve yerin zamanla değişimi sırasında rastgele değişmelerin gözlenmesi normaldir.

Başlangıç gerilimi saptanabilir minimum boşalma geriliminin üzerinde tanımlanır.



Şekil 3.21 Katı yalıtkan içindeki boşlukta kısmi boşalma



Şekil 3.22 Boşluklu yalıtkan

Gerilim artışı ile boşalma büyüklüğünde hiç değişme olmayacağı gibi, küçük değişmelerde görülebilir ve boşalma sönme gerilimi, boşalma başlangıç gerilimi veya bu değerlerin biraz altında bir değere sahiptir.

Uygulanan gerilimin süresi, genellikle basit bir deney boyunca gösterilen boşalma örneğinde, çok büyük bir etkiye sahiptir (10 dakikaya kadar olan sürelerde).

Az çok benzer ikinci boşalma şekli daha yüksek gerilimde oluşursa, bu ikinci bir boşluğun boşalma başlangıç gerilimini gösterir.[7]

3.6.2 Yarıklı Katı Yalıtkan Malzemede İç Boşalmalar

İç boşalmalar, içinde yarık bulunan yalıtım malzemesinde elektrik alan yönünde oluşur.

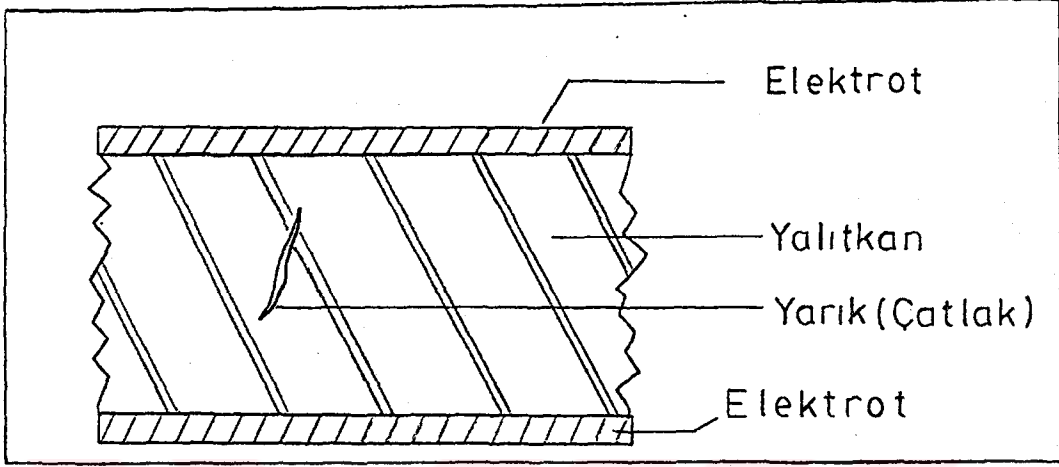
İç boşalmalar, aynı zamanda yapıştırıcı malzeme içeren termoplastik yalıtkan içindeki, yuvarlak boşluklar içerisinde de oluşur.

Gerilimin hızlı artması veya azalması ile, boşalma büyüklüğünde değişme çok az olabileceği gibi hiç de olmayabilir ve olaylar bir önceki bölümde anlatılanlara benzerdir.

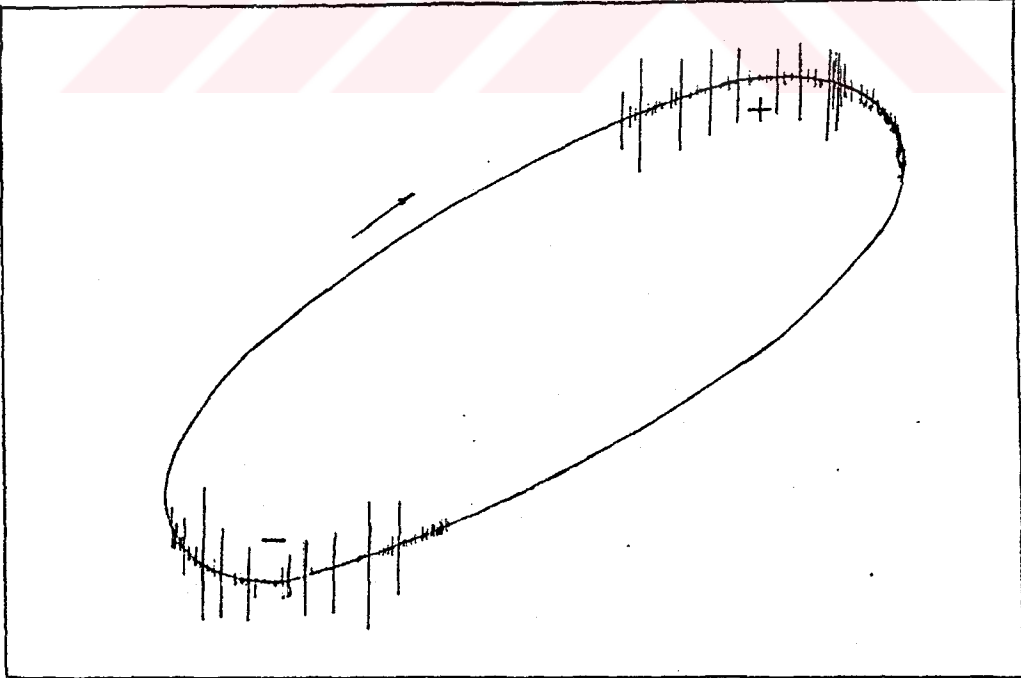
Uygulanan gerilim süresinin etkisi, tamamen farklıdır. Sayet maksimum gerilimde 30 dakika tutulursa boşalma büyüklüğü yavaş yavaş azalır ve sönme gerilimi, başlangıç geriliminden daha yüksek olur.

Eğer gerilim, tekrar en büyük gerilim değerine yükseltilir ve 20-24 saat bu gerilim uygulanırsa, boşalma büyüklüğü daha düşer ve sönme gerilimi bir öncekinden

daha yüksek olabilir (Şekil 3.23 ve 3.24).



Şekil 3.23 İçinde yarık bulunan katı yalıtkan



Şekil 3.24 Yarıklı katı yalıtıkanda kısmi boşalmalar

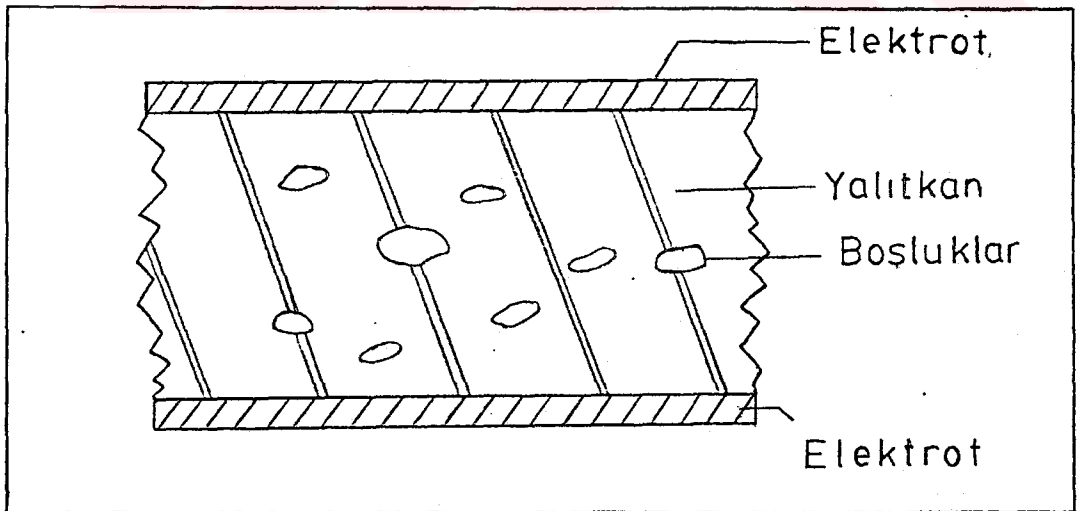
3.6.3 Boşluklu Dökme Reçinedeki Boşalmalar

Reçine dökme işlemi sırasındaki hatalar, dökme reçine yalıtım sistemlerinde sık olarak boşluk oluşumuna neden olur.

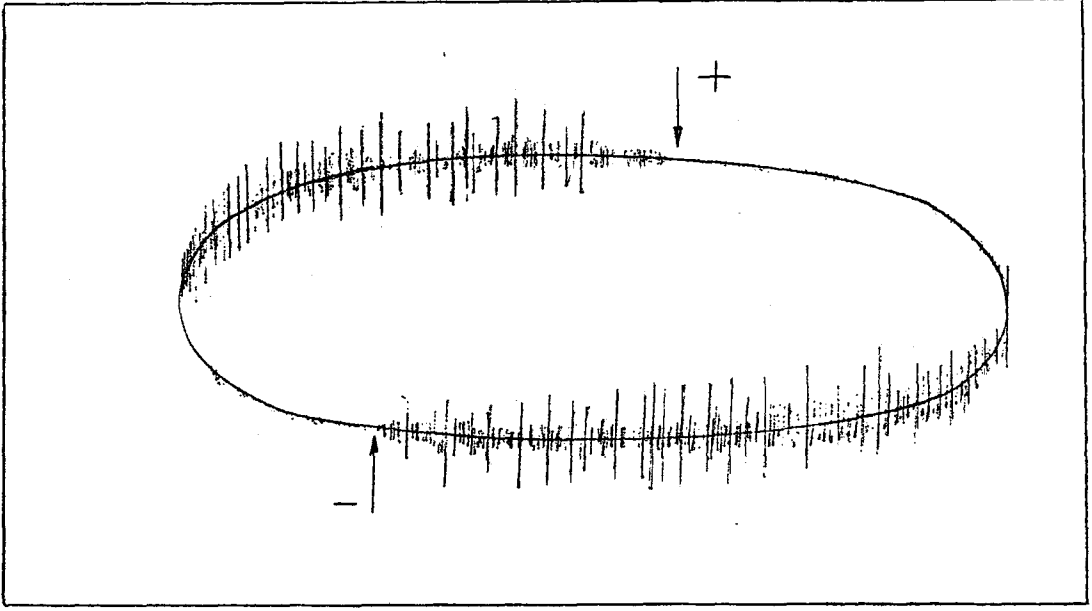
Elektriksel olarak iletken ürünlerin oluşumu, reçine-deki kısmi boşalma olaylarından ileri gelmektedir.

Kısmi boşalmalar, gerilimin tepe değerinden önce oluşur ve her iki yarı periyotta eşittir.

Kısmi boşalma başlangıç gerilimi normal olarak belirlenir ve tanımlanabilir. Eğer gerilim maksimum seviyede tutulursa, sönme ve tekrar boşalma gerilimleri, başlangıçtaki değerlerinden daha yüksek olacaktır. Mevcut zaman periyodunun geriye kalan kısmında başlangıç karakteristikleri yenilenecektir (Şekil 3.25 ve 3.26).



Şekil 3.25 Boşluklu döküm reçine yalıtkan



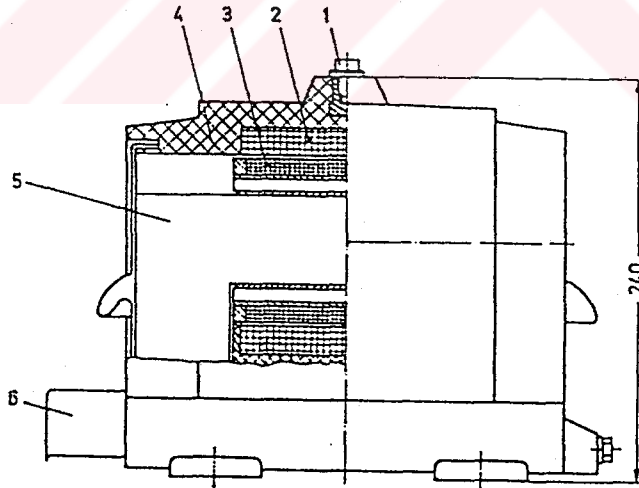
Şekil 3.26 Boşluklu döküm reçine yalıtıkanda kısmi boşalmalar

BÖLÜM 4

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNİN TASARIMI

4.1 Endüktif Gerilim Transformatörlerinin Tasarımı

Endüktif gerilim transformatörlerinin yapısı, anma gerilimine ve kullanma amacına bağlıdır. Ölçme amaçlı transformatörler, genellikle epoksi reçine yalıtıma sahiptirler. Kural olarak tüm sargılar ve hatta demir çekirdek, yalıtım malzemesinin içine gömülmüştür. Şekil 4.1 de bir fazlı 10 kV'luk bir gerilim transformatör örneğinin yapısı gösterilmektedir. [1]



Şekil 4.1 10kV'luk bir fazlı epoksi reçine yalıtımlı gerilim transformatörü

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 1-Yüksek gerilim bağlantı ucu | 4-Epoksi reçine yalıtım |
| 2-Birincil sargı | 5-Çekirdek |
| 3-İkincil sargılar | 6-Alçak gerilim bağlantı uçları |

Yağ emdirilmiş kağıt yalıtımlı bir fazlı transformatorlerin çok yüksek gerilimlere kadar uygulamaları bulunmaktadır.

Aktif parçaların (çekirdek ve sargılar) düzenlenmesi ve yerleştirilmesine bağlı olarak, yağ yalıtımlı transformatorler ile kuru tip yalıtımlı transformatorlerin tasarımları arasında fark vardır. Epoksi reçine yalıtımlı tasarımın üstünlüğü, fiziksel boyutların daha küçük olmasına dayanır. Yağ yalıtımlı transformatorlerde, daha büyük boyutlu porselen geçit izolatörü kullanılması gerekliliği istenmeyen bir özelliktir.

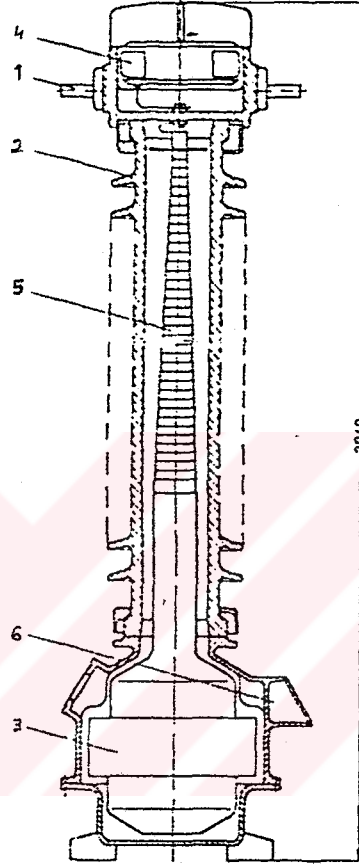
Bir örnek olarak, Şekil 4.2 de 110 kV'luk metal körtüklü yağ yalıtımlı gerilim transformatorü gösterilmektedir.

Şekil 4.3 de ise, dahili tip geçit izolatörlü 800 kV luk bir gerilim transformatorü gösterilmektedir. Bu transformatorün özelliği yapısından kaynaklanır. Bu transformator, dört katlı kaskad bağlantılı bir transformatördür. Her bir kattaki sargı, toplam gerilimin dörtte birine göre tasarlanmıştır.

Kaskad bağlı transformatorlerin bir önemli özelliği de, taşıma açısından kolaylık sağlamasıdır, çünkü her kat ayrı ayrı taşınabilir yapıdadır.

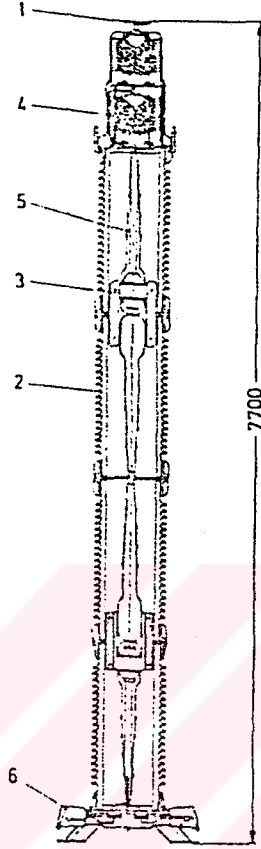
Gerilim transformatorlerinin önemli bir özel türü de, metal gövdeli SF₆ yalıtımlı olanlarıdır.

Bunlar hem epoksi reçine hem de gaz emdirilmiş kağıt yalıtımlı olabilirler. Şekil 4.4 de SF₆ yalıtımlı bağlama istasyonu için, epoksi reçine gövdeli gerilim transformatorü gösterilmektedir.

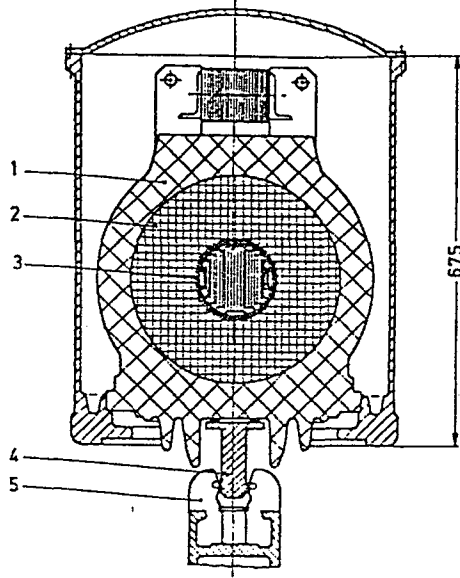


Şekil 4.2 110 kV'luk yağ yalıtımlı gerilim transformatörü

- 1-Birincil sargı bağlantı ucu
- 2-Porselen geçit izolatörü
- 3-Çekirdek ve sargılar
- 4-Körük
- 5-Kapasite katları
- 6-İkincil sargı bağlantı kutusu



Sekil 4.3 800 kV'luk kaskad bağılı gerilim
transformatörü
1-Birincil sargı bağlantı ucu
2-Porselen gövde
3-Çekirdek ve sargılar
4-Körükler
5-Bağlantılar
6-İkincil sargı bağlantı ucu



Sekil 4.4 SF₆ yalıtımlı 110 kV'luk gerilim transformatörü
1-Epoksi reçine yalıtım
2-Birincil sargı
3-İkincil sargı
4-Fiş bağlantı
5-Lale kontak

4.2 Endüktif Akım Transformatörlerinin Tasarımı

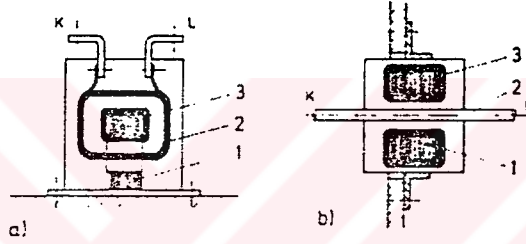
Birincil sargı sarım sayısına göre, tek iletkenli (sargılı) akım transformatörleri ile çok sargılı akım transformatörleri arasında bir fark vardır.

Düz iletken çubuk şeklindeki birincil sargılı tasarımın zayıf tarafı, ekonomik çekirdek boyutları için daha yüksek ölçüm etkinliğinin, yalnızca 1000 A'den büyük akımlarda elde edilebilmesidir.

Epoksi reçine yalıtımlı endüktif gerilim transformatörleri gibi bina içi tipi akım transformatörleri de genellikle 110 kV'a kadar olan gerilimler için

tasarlanmaktadır. Yalıtım malzemesine gömülmüş sargıların kısa devre dayanımları daha yüksek olduğundan, orta gerilimde porselen kullanılarak yapılanların yerine kullanılmaktadır.

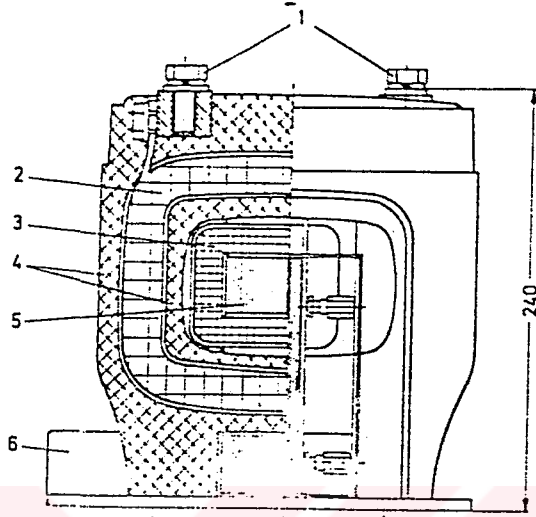
Şekil 4.5 de birincil sargısı çok sarımlı ve tek iletken olan (geçit tipi) akım transformatörleri arasındaki fark açıkça görülmektedir. [1]



Şekil 4.5 Epoksi reçine yalıtımlı akım transformatörleri

- a) Birincil sargılı akım transformatörü
- b) Geçit tipi akım transformatörü
- 1-Çekirdek
- 2-Birincil sargı
- 3-İkincil sargı

Şekil 4.6 da epoksi reçine yalıtımlı 10 kV'luk bir akım transformatörünün yapısı gösterilmektedir. Bina dışı yüksek gerilim istasyonları için akım transformatörleri, yağ emdirilmiş kağıt yalıtımlı ve porselen geçit izolatörlü yapılır.

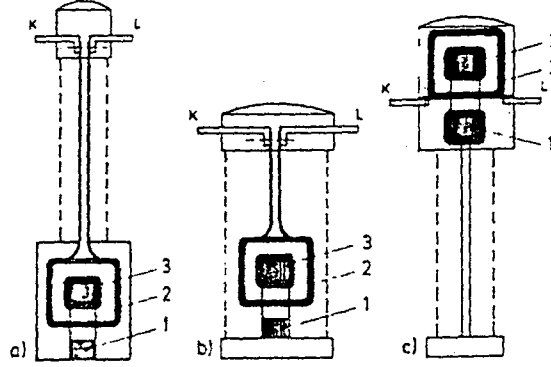


Şekil 4.6 Epoksi reçine yalıtımlı 10 kV'luk
akım transformatörleri
1-Birincil sargı bağlantı ucu
2-Birincil sargı
3-İkincil sargı
4-Epoksi reçine
5-Çekirdek
6-İkincil sargı uçları bağlantı kutusu

Çekirdek ve sargılar gibi aktif kısımların düzenlenmesine bağlı olarak, kazan tipi ile hava hattı tipi akım transformatörleri arasında fark vardır (Şekil 4.7).

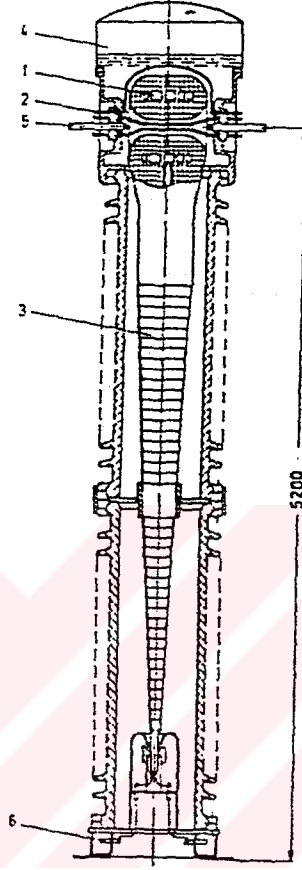
Şekil 4.8 de 400 kV'luk hava hattı tipi bir akım transformatörü gösterilmektedir.

Yüksek gerilim ve akımlarda, birincil iletken için U-tipi bir yapı yardımıyla, iyi düzenlenmiş yalıtımlar sağlanabilir. Böyle bir yapı Şekil 4.9 da verilmiştir.



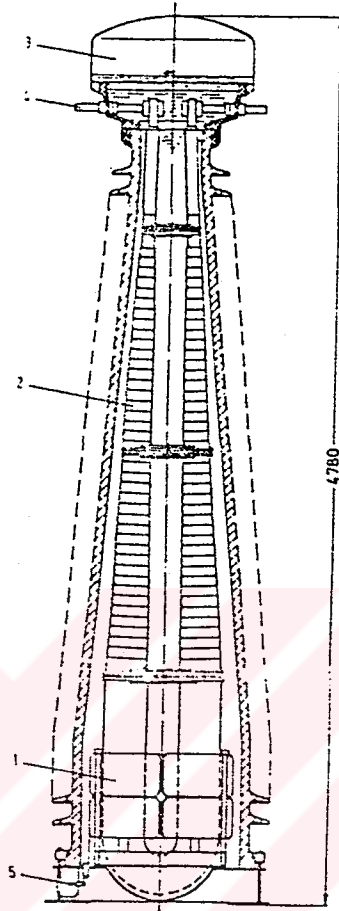
Sekil 4.7 Bina dışı tipi akım transformatörlerinin yapıları

- a) Kazan tipi
- b) Yalıtkan silindir gövdeli tip
- c) Hava hattı tipi
- 1-Çekirdek
- 2-Birincil sargı
- 3-İkincil sargı



Sekil 4.8 400 kV'luk hava hattı tipi akım transformatörü

- 1-Çekirdek
- 2-Tekrar bağlanabilir birincil sargılar
- 3-Kapasitif ikincil sargı bağlantısı
- 4-Azot yastığı
- 5-Birincil sargı bağlantı ucu
- 6-İkincil sargı bağlantı ucu



Sekil 4.9 500 kV'luk U-tipi birincil iletkenli akım transformatörü

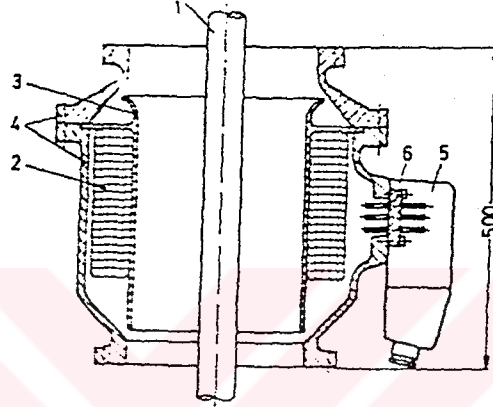
- 1-Çekirdek
- 2-Kapasitif ikincil sargı bağlantısı
- 3-Azot yastığı
- 4-Birincil sargı bağlantı ucu
- 5-İkincil sargı bağlantı ucu

Kablo ve transformatör geçit izolatörlerinde olduğu gibi eş eksenli yalıtım sistemlerinde, özel yalıtım olmaksızın tek iletkenli akım transformatörleri yapılabilir.

Halka çekirdek üzerine yerleştirilmiş ikincil sargı, yalıtım üzerine yerleştirilir ve bunun üzerinde de akım

transformatörünün toprak tabakası yer almaktadır.

Şekil 4.10 da SF_6 yalıtımlı bir istasyondaki, halka çekirdekli akım transformatörü gösterilmektedir.



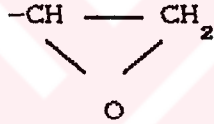
Şekil 4.10 SF_6 yalıtımlı 110 kV'luk istasyon için
akım transformatörü
1-Birincil sargı olarak boru iç iletken
2-İkincil sargılı halka çekirdek
3-Ekran elektrodu
4-Metal muhafaza
5-İkincil sargı bağlantı kutusu
6-Gaz sızdırmaz geçit izolatörlü tablo

BÖLÜM 5

ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNİN YALITIM MALZEMESİ EPOKSİ REÇİNELER

Yüksek gerilim yalıtım tekniğinde kullanılan dökme tip reçineler arasında en önemlisi epoksi reçinedir.

Epoksi reçinelerin kimyasal özelliği, sertleşme için yeterli oranda epoksi grubuna sahip olmasıdır.



Epoksi reçinenin işlem sırasını ve özelliklerini tanımlamadan önce, öncelik sırasına sahip bir kaç genel tanım vereceğiz. [1]

5.1 Dökme Reçine Kavramları

Dökme reçine; reçine, sertleştirici, hızlandırıcı, yapıştırıcı, dolgu ve renk verici bir madde içeren bir bileşimdir.

Yukarıda verilen tüm elemanlar kararsız bir yapıya sahip olup, belirli bir zaman için depolanabilir. Bu nedenden dolayı karışım işlemleri için sınırlandırılmış zaman aralıkları vardır.

Epoksi reçine için önemli kavramların verildiği DIN² ye göre; aktif maddeler, sertleştirici ve hızlandırıcıdır. Sertleştiriciler, polimerizasyona sebep olan

maddelerdir. Sertleşme işlemini hızlandıran maddelere ise hızlandırıcılar denilmektedir.

Aktif temel reçine, işlenmek için yukarıdaki malzemelerden oluşan bir karışım ve bazen de dolgu eklenmiş karışım olmaktadır.

5.2 Epoksi Reçinenin İşlenmesi

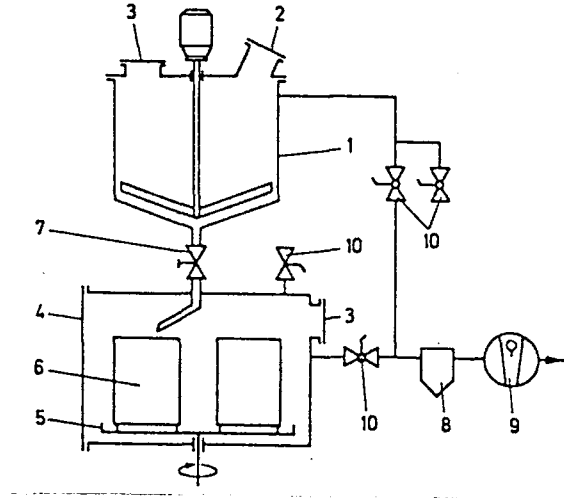
Yukarıda anlatılanlara uygun olarak epoksi reçine işlemi; hızlandırıcı, dolgu malzemesi, reçine, sertleştirici malzemelerin düzgün biçimde dağıtılıp karıştırılması ile yapılır.

Bu tepkime alüminyum veya çelik kaplar içerisinde gerçekleştirilir. Şekil 5.1 de döküm işleminin yapıldığı temel düzenek gösterilmektedir.

Epoksi reçinenin metale yapışma özelliği çok iyidir, bu yüzden döküm kabından reçineyi ayırmak için ayırıcı malzeme kullanılır. Büyük elektriksel zorlanmalar için hazırlanmış dökme reçine içinde, boşluk oluşmasının önüne geçilmelidir.

Jelatinlemeden sonra oluşan sertleşme, iki aşamada gerçekleşebilir: Döküm; uygun sertleşme sıcaklığında, sertleşme başlangıcından sonra döküm kabından çıkartılır, sertleşme sonu bir sonraki ısı aşamasında oluşur. Ancak ısıtmaksızın, oda sıcaklığında; sertleşen aktif reçinelerde vardır. Fakat yüksek sıcaklıklarda; soğuk dökümün elektriksel özellikleri, sıcak dökümün elektriksel özelliklerinden daha düşüktür.

% 3 kadarlık bir sertleşme boyunca saf reçine tepkime hacminden % 0.5'lik bir kayıp verir.



Şekil 5.1 Epoksi reçine dökümü için temel düzenek

1-Karıştırma kabı	6-Döküm kabı
2-Malzeme doldurma ağzı	7-Döküm vanası
3-İzleme penceresi	8-Süzgeç (Filtre)
4-Döküm odası	9-Vakum pompası
5-Döner taban	10-Vanalar

Yukarıda sözü edilen kayıp, çatlakların oluşumuna neden olan iç zorlanmalara yol açar. Bunun dışında, metal ile temas halinde olan reçinelerdeki hissedilebilir daha büyük ısı genleşmeler, metal ile reçine arasında sıcaklık değişimi boyunca mekaniksel gerilmelere neden olur. Bu da çatlama riskini oluşturur. Bu tehlike; dökümü daha esnek yapan, çatlak oluşumunu önleyen yapıştırıcı malzemenin reçineye katılmasıyla önlenir. Genellikle plastik karıştırılmış reçineler, daha düşük elektriksel özelliklere sahiptir.

Reçinenin kalıpta kalma süresi önemlidir; söyleki daha uzun sertleşme süresi, kontrol altına alınması kolay tepkime demektir.

Bu süreyi kısaltmak için, karışımın sıcaklığını yüksek tutan bir yöntem geliştirilmiştir.

Dolgu maddeleri; çatlakları azaltmak, gerilme direncini arttırmak, yanma riskini azaltmak ve ısı iletkenliği arttırmak için kullanılır. Reçine kütlesinin % 65'i oranında kullanılan bu dolgu malzemelerinin belli başlıcası kristal kuvars tozudur.

5.3 Epoksi Reçinenin Özellikleri

Bir kaç önemli epoksi reçinenin özellikleri, Çizelge 5.1 de verilmiştir. Bu çizelgeden görüleceği gibi epoksi reçinenin elektriksel özellikleri mükemmel değildir. Fakat yüksek gerilim yalıtım sistemleri için bir üstünlük olarak iyi mekanik ve ısı iletkenliklere sahiptir. Epoksi reçine; eter, alkol, benzin, yağ ve zayıf alkali ve asitlere karşı tepkime göstermez fakat güçlü asit ve alkali, aseton ve klorlanmış hidrokarbonlara karşı kararlı yapı göstermezler.[1]

Tablo 5.1 -Dökme reçine özellikleri

ÖZELLİK	BİRİM	EPOKSI REÇİNE			
		FS 1000-0	FS 1000-6	FS 1021-0	FS 1021-6
Reçine bileşimi Sertleştirici Dolgu	$\%S_iO_2$	Katı PSA 0	Katı PSA 60	Sıvı HHP SA 0	Sıvı HHP SA 65
Sertleşme sıcaklığı	$^{\circ}C$	120	120	60/90	60/90
Delinme dayanımı	kV/mm	15	15	15	18
Özgül direnç	Ohm cm	10^{14}	10^{14}	10^{14}	10^{14}
Bağıl dielektrik sabit (ϵ_r)		3	4	4	4
Kayıp katsayısı ($\tan \delta$)		10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}
Yoğunluk (γ)	gr/cm ³	1.2	1.8	1.2	1.9
Elastikiyet modülü	kN/mm ²	4	12	2.5	12
Eğilme kuvveti	N/mm ²	140	135	120	110
Gerilme kuvveti	N/mm ²	80	90	60	75
Isıl yalıtkanlık	W/Km	0.2	0.8	0.2	0.8
Doğrusal ısıl genleşme	$10^{-6}/K$	65	35	65	35
Isıl kararlılık	$^{\circ}C$	125	130	130	130

PSA: Phthalic asit anhidrat

HHP SA: Hekzahidropholic asit anhidrat

FS 1000-0: Doldurulmuş katı reçine

FS 1000-6: % 60 doldurulmuş katı reçine

FS 1021-0: Sıvı reçine

BÖLÜM 6

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE AŞIRI GERİLİM DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Transformatör sargılarındaki elektro-magnetik geçici durumları incelemek için, son zamanlarda bir kaç eşdeğer devre geliştirilmiştir. Daha fazla ayrıntı Heller ve Veverka tarafından verilmiştir. Heller ve Veverka iki sarım arasında ortak endüktanstaki azalmanın yaklaşık olarak (üstel fonksiyon olarak) aşağıdaki şekilde olacağını belirtmişlerdir. [8]

$$M = M_0 e^{-\lambda |x_i - x_j|} \quad (6.1)$$

Burada M_0 ; Bir tek sarımın endüktansı, $|x_i - x_j|$; sargılar arası açıklık, λ ; düzgünlük katsayısı (sargıların düzenlenmesine ve tipine bağlı pozitif bir katsayı) olmaktadır.

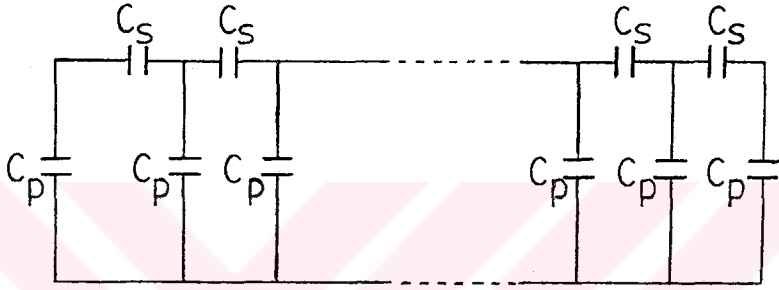
Çeşitli M değerleri için, çeşitli şekildeki diferansiyel denklemler sargılardaki geçici olayları incelemek için geliştirilmiştir; ancak başlangıç gerilim dağılımı, nötr ucu topraklanmış bir sargı için aşağıda verildiği gibidir.

$$\frac{d^2 U}{dx^2} = \frac{C_p}{C_s} U \quad (6.2)$$

Burada x , nötr ucundan ölçüm noktasına kadar olan sargı uzunluğu; U sargı boyunca x noktasındaki gerilim; C_p ve C_s ise sırasıyla paralel ve seri kapasitedir.

Bu bilgilerin ışığında, bir transformator sargısının kapasitif eşdeğer devresi Şekil 6.1 de verilmiştir. [9]

(6.2) nolu denklemin çözümünden sargılar boyunca darbe gerilim dağılımının geniş bir alanda incelenmesine olanak veren hiperbolik denklemler elde edilir.



Şekil 6.1 Bir transformator sargısının dağılmış parametrelili kapasitif eşdeğer devresi

$$\frac{d^2 U}{dx^2} - \frac{C_p}{C_s} U = 0 \quad (6.3)$$

$$r^2 - \frac{C_p}{C_s} = 0; \quad r_{1,2} = \pm \sqrt{C_p/C_s} = \pm \alpha \quad (6.4)$$

$$U = A_1 e^{\alpha x} + A_2 e^{-\alpha x} \quad (6.5)$$

Sargı başlangıcında ($x=0$ da) $U=1$ ve nötrü

topraklanmış olduğundan sargı sonunda ($x=1$ de) $U=0$ olacağından bu sınır koşulları kullanıldığında,

$$1=A_1+A_2 \quad (8.6)$$

$$0=A_1 e^{\alpha l}+A_2 e^{-\alpha l} \quad (8.7)$$

$$e^{\alpha l}=A_1 e^{\alpha l}+A_2 e^{\alpha l} \quad (8.8)$$

$$0=-A_1 e^{\alpha l}-A_2 e^{-\alpha l} \quad (8.9)$$

$$e^{\alpha l}=A_2 (e^{\alpha l}-e^{-\alpha l}), \quad (8.10)$$

$$A_2=\frac{e^{\alpha l}}{e^{\alpha l}-e^{-\alpha l}}=-\frac{e^{\alpha l}}{e^{-\alpha l}-e^{\alpha l}} \quad (8.11)$$

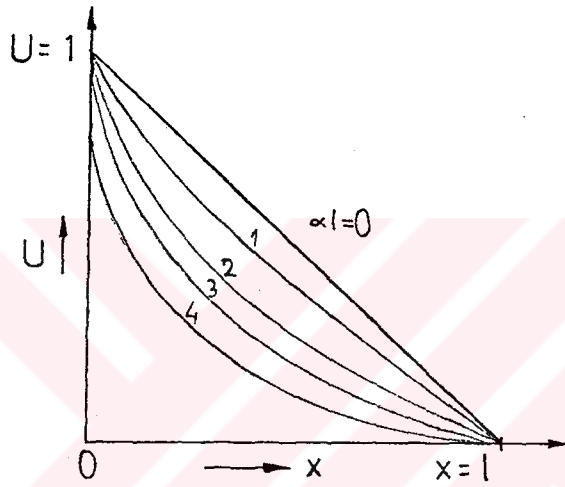
$$A_1=\frac{e^{-\alpha l}}{e^{-\alpha l}-e^{\alpha l}} \quad (8.12)$$

$$U=\frac{e^{-\alpha l}}{e^{-\alpha l}-e^{\alpha l}} e^{\alpha x}-\frac{e^{\alpha l}}{e^{-\alpha l}-e^{\alpha l}} e^{-\alpha x} \quad (8.13)$$

$$U=\frac{e^{-\alpha(1-x)}-e^{\alpha(1-x)}}{e^{-\alpha l}-e^{\alpha l}} \quad (8.14)$$

$$U=\frac{\text{sh } \alpha(1-x)}{\text{sh } \alpha l} \quad (8.15)$$

Yukarıda ifade edilen nötr ucu topraklanmış transformatör sargısının kapasitif eşdeğer devresi düşünüldüğünde, birim gerilim uygulanması durumunda çıkarılmıştır. Buna göre gerilim dağılımı Şekil 6.2 de verildiği gibi çizilebilir. [10] , [11]



Şekil 6.2 Nötr ucu topraklanmış bir sargıda gerilim dağılımı

6.1 Transformatör Sargılarının karakteristikleri

Transformatörler, normal olarak düzgün dağılımlı olmayan sargılar ve demir çekirdek içermesinden dolayı karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu yüzden sargılar içindeki elektro-magnetik geçici olayların incelenmesinde, tüm faktörlerin hesaba katılması olası değildir.

Basitleştirilmiş sargı modelinden başlanıp, daha fazla

ayrıntı içeren örnekler incelenerek, olay daha açık bir şekilde analiz edilebilir.

Özellikle mühendislik uygulamalarında böyle bir çok eşdeğer devre, geçici durumların incelenmesi için benimsenmiştir.

6.1.1 Basitleştirilmiş Bir Transformatör Sargı Eşdeğer devresi

Yukarıda açıklananlara uygun olarak (6.1) nolu denklemde verilen ortak endüktans M , çeşitli eşdeğer devrelerde büyük öneme sahiptir.

Genellikle düşünülen tüm sargı tipleri için ortak endüktans M , magnetik olarak bağlanmış parçalar arası uzaklığın $|x_i - x_j|$ 'ye bağlı olarak azalan bir fonksiyonu olacaktır.

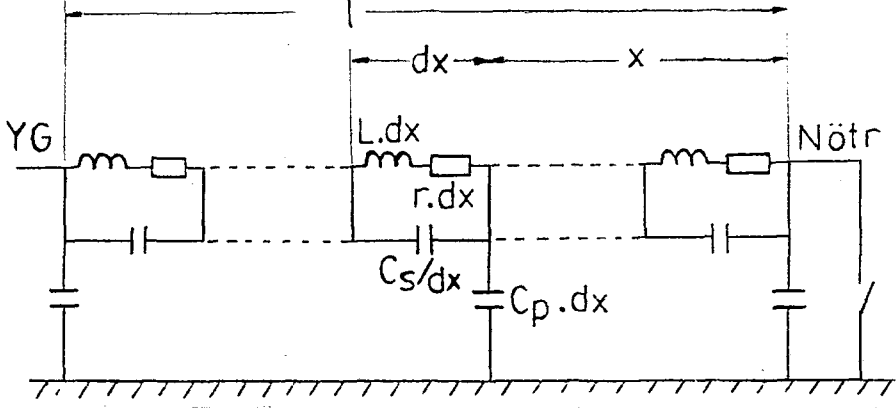
Ortak endüktans M , fiziksel olarak sargıların düzenlenmesine ve aynı zamanda devredeki demir çekirdeğin varlığına bağlıdır.

Hızlı geçici olaylarda, demir çekirdeğin akı taşıma özelliğini azaltan girdap akımlarının varlığından dolayı akı, demir çekirdek serbest yolu ile sınırlanmıştır.

Sonuç olarak ortak endüktans M , düşük frekanslarda daha küçük değer alacaktır ve $|x_i - x_j|$ 'nin hızla azalan fonksiyonuna benzeyecektir. Dolayısıyla yüksek frekanslarda λ değeri, demir çekirdekli sargılar için ihmal edilebilecektir.

Bu bilgilerin ışığında, daha kolay incelemeler için ortak endüktans M ve iletkenlik g ve G' 'yi ihmal eden

basitleştirilmiş bir Bewley eşdeğer devresi kullanılabilir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Bir transformatorün basitleştirilmiş eşdeğer devresi

Sargının birim uzunluk başına L endüktansı, r seri direnci, u gerilimi ve dx sargının birim uzunluğu olmak üzere bu basitleştirilmiş devrenin çözümü;

$$u = A \cosh(\gamma x) + B \sinh(\gamma x) \quad (6.16)$$

$$i = \frac{1}{Z} [A \sinh(\gamma x) + B \cosh(\gamma x)] \quad (6.17)$$

denklemleri ile ifade edilir. [12]

Burada A ve B değerleri sınır koşullarının belirleyeceği sabitlerdir. Yine bu denklemlerde,

$$\gamma = j \sqrt{C_p / C_s} \sqrt{1 + 1/jQ} / \sqrt{(1/LC \omega^2) - (1/jQ) - 1} \quad (6.18)$$

$$Z = j \frac{1}{\omega \sqrt{C_p C_s}} \frac{\sqrt{1 + 1/jQ}}{\sqrt{(1/LC_s \omega^2 - (1/jQ) - 1)}} \quad (6.19)$$

Sargının düzgünlük faktörü ise;

$$Q = \omega L / R \quad (6.20)$$

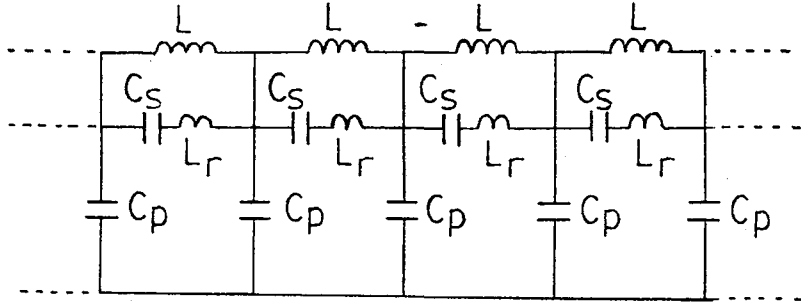
olarak verilir.

Genellikle bir transformatör sargısının düzgünlüğü, geniş frekans bandında büyüktür.

6.1.2 Yüksek Frekanslarda Kapasitif Eşdeğer Devre Yaklaşımının Geçerliliği

Yüksek frekans bantlarında; kapasitif eşdeğer devre, transformatör sargılarının simülasyonu için doğru sonuç vermeyecektir. Bunun nedeni ise basit olarak Şekil 6.4 de de gösterilen artık endüktans L_r 'nin varlığının düşünlmesi ile açıklanabilir.

Düşük frekanslarda, L_r ihmal edilebilecek kadar küçüktür; ancak yüksek frekanslarda L_r 'nin empedans değeri, C_s ve C_p kapasitelerinin empedans değerleri ile karşılaştırılabilir seviyede olduğu zaman, transformatör sargılarında etkin rol oynayacaktır.

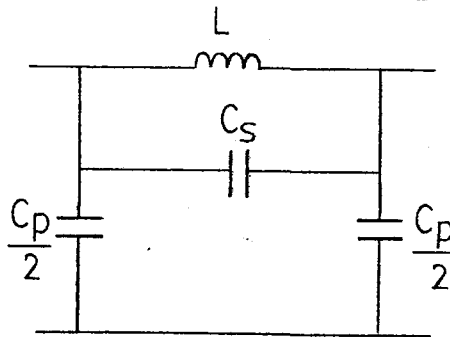


Sekil 6.4 Artık endüktans içeren dağılmış parametrelili bir transformatörün sargı eşdeğer devresi

6.1.3 Disk Tipi Sargılar İçin Eşdeğer Devre

Bir bobin genellikle iki diskten oluşur ve her iki diskin üzerinde sarımlar vardır.

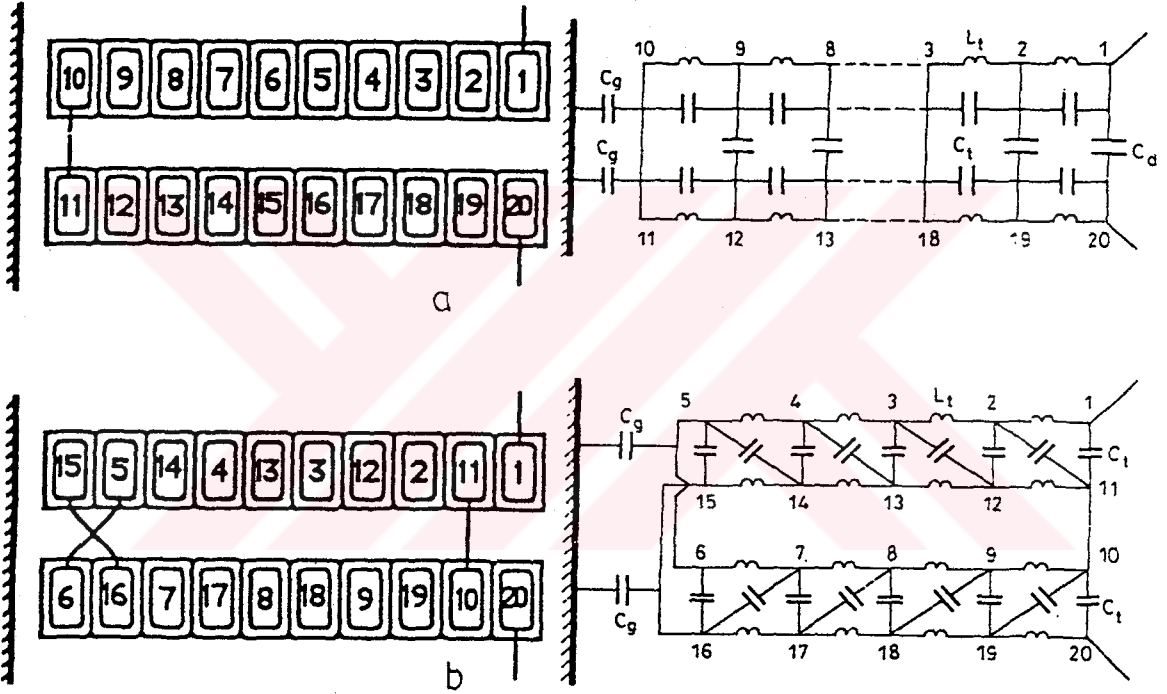
Yavaş geçici durumlar için, bir bobin Şekil 6.5 de gösterildiği gibi verilebilir.



Sekil 6.5 Yavaş geçici olaylar için sargı eşdeğer devresi

Bu devrede L sargı endüktansı, C_s toplam seri kapasite ve C_p ise toplam paralel kapasitedir.

Normal ve seri kapasitesi artırılacak şekilde bağlantı yapılmış iki tip transformatör sargı eşdeğer devresi ve bağlantı şekilleri Şekil 6.6 da verilmiştir.



Şekil 6.6 İki değişik tip sargı yapısı ve eşdeğer devreleri
a) Normal sargı
b) Seri kapasitesi arttırılmış sargı

Burada gösterilen sargılar aynı boyuta sahip olmakla birlikte farklı yapıdadırlar. Burada C_t sargı kapasitesi, C_d farklı sargılardaki yakın sarımlar arası kapasite, C_g iç ve dış sarımların toprağa göre kapasitesi, L_t ise her bobinin endüktansıdır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek gerilim ölçü transformatörlerinde yanılğı, kullanılan çekirdek malzemesinin magnetik geçirgenliğı ile ters orantılıdır. Büyük doğruluk sınıfı gerektiren ölçme amaçlı yüksek gerilim ölçü transformatörlerinde, magnetik geçirgenliğı daha büyük olan çekirdek malzemesi kullanılmalıdır. Ek A'ya bakılacak olursa, ölçme amaçlı transformatörler için nikel-demir alaşımı en uygun çözümlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğruluk sınıfları düşük koruma amaçlı transformatörler için ise çekirdek malzemesi olarak silisyum-demir alaşımı kullanılabilir.

Yüksek gerilim ölçü transformatörlerinin serviste kalma sürelerine (ömürlerine) en önemli etkenlerden biride kısmi boşalmalardır. Günümüzde kısmi boşalma ölçümleri elektromagnetik parazitleri yok eden köprü devreleri ve pikokulonmetreler (Geniş bandlı ölçü aletleri) kullanılarak yapılmaktadır. Yüksek duyarlık için elektromagnetik parazitleri büyük ölçüde gideren ekranlamalar yapılmalı ve yüksek gerilim kaynağındaki kısmi boşalmaların ölçme noktalarına ulaşmasını önlemek için de filtreler kullanılmalıdır.

Yüksek gerilim ölçü transformatörlerinde değeri bilinen bir kısmi boşalma olduğunda, sargı uçlarında ölçülen gerilimlerin oranı, kısmi boşalma yerinin bulunmasında bir etkindir. Yaptığımız incelemelerde sargı giriş ve çıkış uçları arasındaki gerilimlerin oranı en büyük olduğunda kısmi boşalma sargı girişinde, en küçük olduğunda kısmi boşalma sargı sonunda olmak üzere kısmi boşalma yer öngörü eğrisi üstel olarak azalan bir eğridir diyebiliriz.

Yüksek gerilim ölçü transformatörlerinde geçici durumlarda gerilim dağılımı eğrisi lineer değildir. Bu da fiziksel olarak sargılardaki serbest titreşimleri ve zorlanmaları ifade etmektedir. Yaptığımız incelemelerde transformatör sargılarının seri kapasiteleri büyüdükçe gerilim dağılım eğrisi lineere yaklaşmaktadır. Bunun içinde seri kapasiteleri arttırılmış sargı düzenekleri kullanılmalıdır.



KAYNAKLAR

- [1] KIND, D. , KARNER, H. , High Voltage Insulation Technology, Friedr Vieweg and Sohn, Braunschweig, (1985).
- [2] TS 2051, Elektriksel Kısmi Boşalmaların Ölçülmesi, (1975).
- [3] GALLEGHER, T.J. , PEARMAIN, A.J. , High Voltage Measurement Testing and Design, John Wiley & Sons, (1983).
- [4] BARTNIKANS, R. , Mc MAHON, E.J. , Corona measurement and Interpretation, ASTM, (1979).
- [5] THOENG, A.T. , Some Aspect of the Travelling Wave Detection Method for Location Partial Discharge in Transformer, CIGRE, Vol.1, pp 56-62, (1968).
- [6] KALENDERLİ, Ö. , Transformatörlerde Elektriksel Kısmi Boşalma Yerin Bulunması, Elektrik Müh. 2.Ulusal Kongresi, s.156-159, Ankara, (1987).
- [7] NATRASS, D.A. , Partial discharge Measurement and Interpretation, IEEE Electrical insulation Magazine, vol.4, pp. 10-23, (1988).
- [8] SU, Q. , JAMES, R.E. , Analysis of Partial Discharge Pulse Distribution Along Transformer Windings Using Digital Filtering Techniques, IEE Proceedings-C, Vol.139, pp. 402-410, (1992).
- [9] KARSAI, K. , KERENYI, D. , KISS, L. , Large Power Transformers, ELSEVIER, (1987).
- [10] GÜZELBEYOĞLU, N. , Elektrik Makinalarında Aşırı Zorlanmalar, İTÜ Kütüphanesi Sayı: 1400, İstanbul, (1989).
- [11] ÖZKAYA, M. , Yüksek Gerilim Tekniği Cilt II, İstanbul Teknik Üniversitesi, (1988).
- [12] SU, Q. , JAMES, R.E. , PHUNG, B.T. , Application of Digital Filtering Techniques to the Determination of Partial Discharge Location in Transformer, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.24, pp. 657-668, (1989).

- [13] MUHAMMAD, H.R., Spice for Circuits and Electronics
Using PSpice, Prentice Hall, (1990).
- [14] TS 620, Akım Transformatörleri, (1978).
- [15] TS 718, Gerilim Transformatörleri, (1978).
- [16] TS 4939, Ölçü Transformatörlerinde Elektriksel Kısmı
Boşalmaların Ölçülmesi, (1986).



EK-A-

ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE KULLANILAN MAGNETİK

MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Demir çekirdekli malzemenin boyutlandırılması için temel parametreler, çekirdek malzemesinin magnetik özellikleri tarafından belirlenir. Akı yoğunluğu B ile magnetik alan H arasındaki lineer olmayan ilişki, mıknatıslanma karakteristiği $B=f(H)$ veya geçirgenlik $\mu_r=f(B)$ ile tanımlanabilir. Biliyoruz ki;

$$\hat{B}=2 \mu_o \mu_r H \sqrt{2} \quad (A.1)$$

$$\mu_o=0.4 \pi 10^{-6} \frac{V s}{A m} \quad (A.2)$$

Demir çekirdek içerisindeki kayıplar, demir kayıp açısı $\delta_E=f(B)$ veya kayıpları ifade eden güç $P_{FE}=f(B)$ cinsinden ifade edilebilir. Buradaki her iki büyüklükte aşağıdaki denklemde de belli olduğu gibi mıknatıslanma karakteristiği ile ilişkilidir.

$$\sin \delta_E = \frac{P_{FE}(\hat{B}) \omega}{H(\hat{B}) \omega \hat{B} / \sqrt{2}} \quad (A.3)$$

Burada ω yoğunluk ve ω açısal frekanstır. [1]

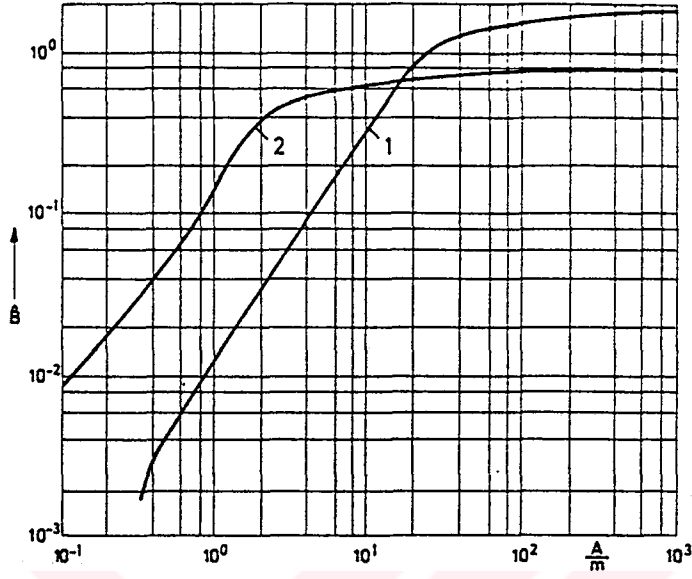
Bu karakteristikler uygun malzemeler için üreticiler tarafından çıkarılır. Belli başlı örnekler için silisyum-demir alaşımı ve nikel-demir alaşımı seçilebilir.

Çekirdek silindirselsel bant veya ince metal plakaların üst üste getirilmesiyle oluşur.

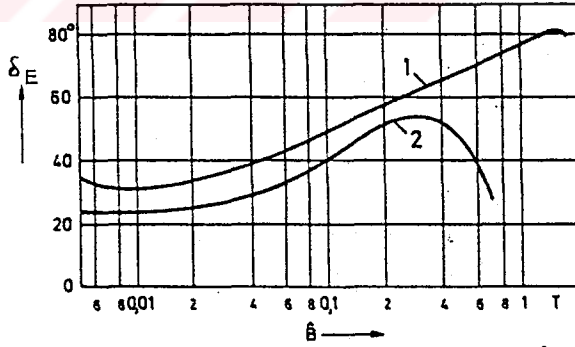
Silindirselsel bant çekirdeğinin karakteristik parametre değerleri, üst üste metal plakaların yerleştirilmesi ile oluşan çekirdeğin parametre değerlerinden farklıdır.

Bütün eğriler 50 Hz alternatif gerilim ve plaka kalınlığı 0.2 mm den 0.35 mm ye kadar olan çekirdek malzemesi için geçerli olup; 1 nolu eğriler silisyum-demir alaşımı 2 nolu eğriler ise nikel-demir alaşımli malzemeyi gösterir.

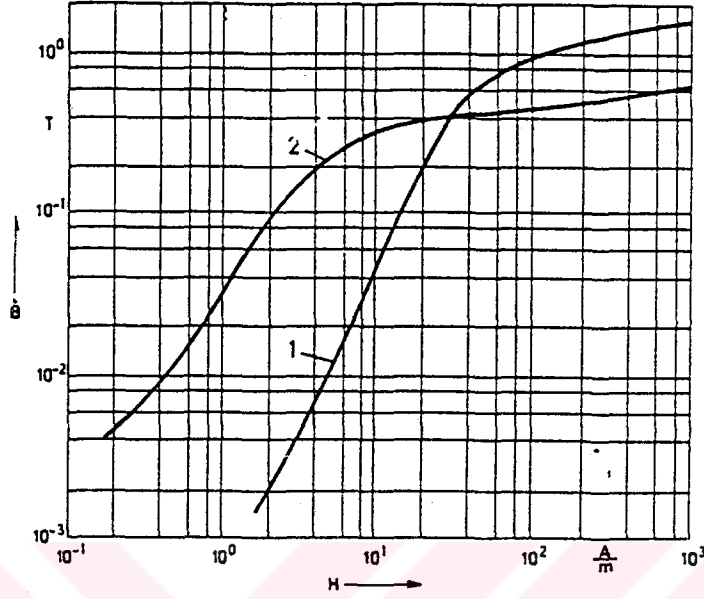
-84-



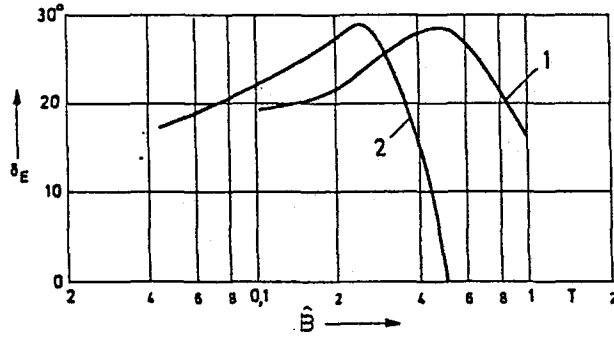
Sekil A.1-Silindirsel çekirdek için mıknatıslanma eğrisi
 (1) Silisyum-demir alaşımları
 (2) Nikel-demir alaşımları



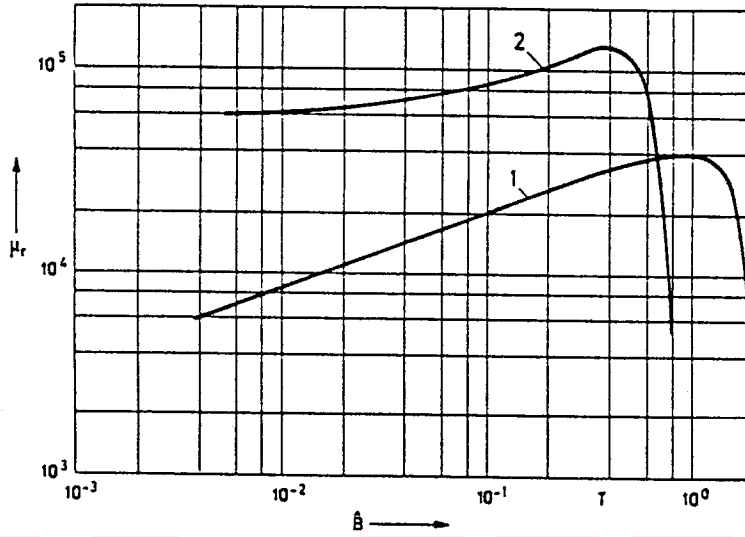
Sekil A.2-Silindirsel çekirdeğin demir kayıp açısı
 (1) Silisyum-demir alaşımları
 (2) Nikel-demir alaşımları



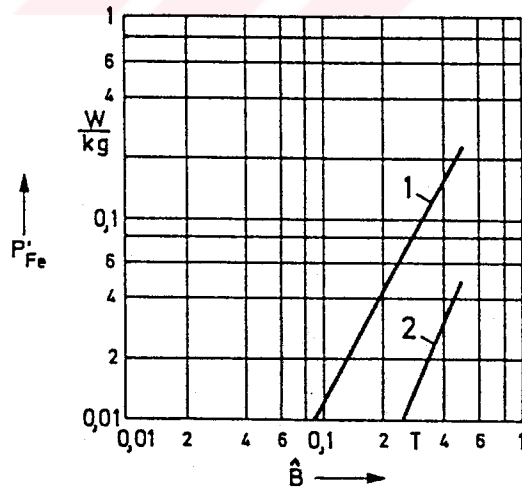
Sekil A.3-Ust üste metal plakalar yerleştirilmesiyle oluşan çekirdek için mıknatıslanma eğrisi
(1) Silisyum-demir alaşıml
(2) Nikel-demir alaşıml



Sekil A.4-Metal plakalardan oluşan çekirdeğin demir kayıp açısı
(1) Silisyum-demir alaşıml
(2) Nikel demir alaşıml



Sekil A.5-Silindrsel çekirdeğin geçirgenliği
(1) Silisyum-demir alaşımı
(2) Nikel-demir alaşımı



Sekil A.6-Metal plakalardan oluşan çekirdeğin
mıknatıslanma kayıpları
(1) Silisyum-demir alaşımı
(2) Nikel-demir alaşımı

EK -B-

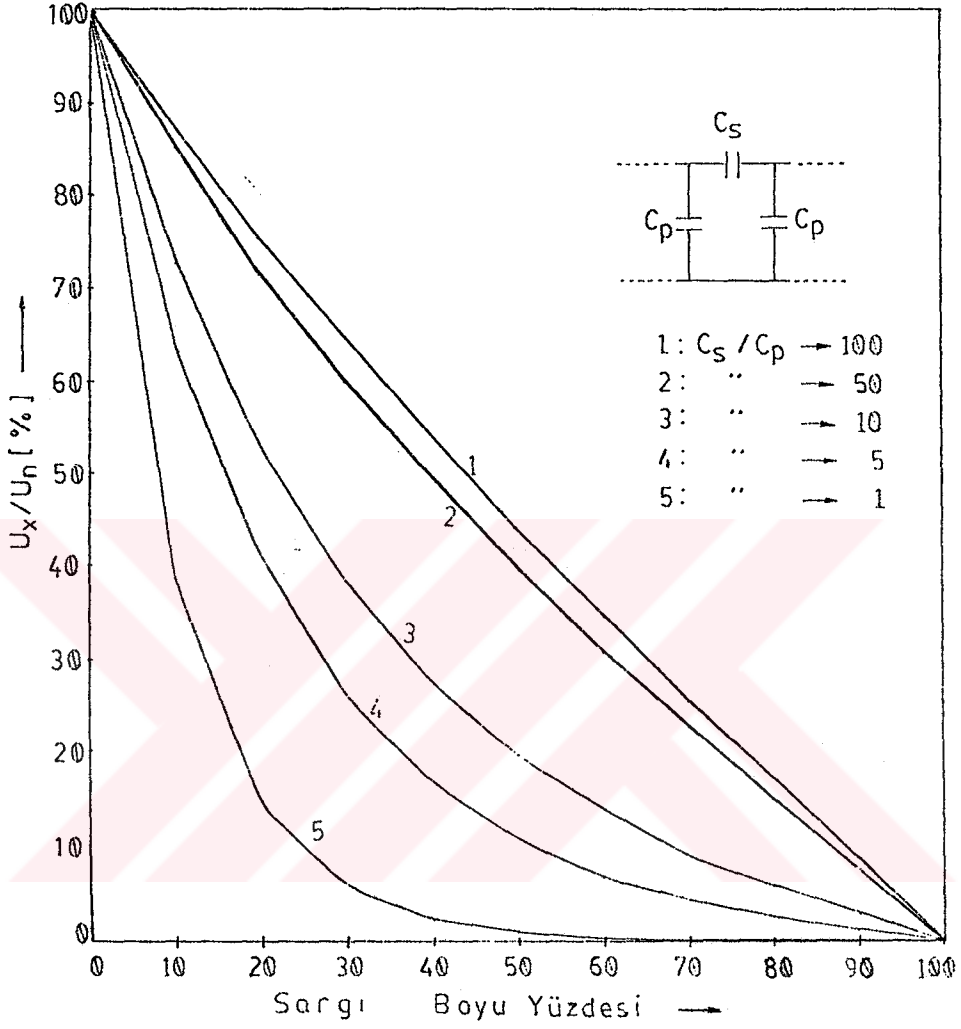
YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE AŞIRI GERİLİM DAĞILIM EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Bu bölümde "PSpice" paket programı kullanılarak kapasitif dağılmış parametrelili yüksek gerilim ölçü transformatör modeli ile basitleştirilmiş ölçü transformatör modelinde, çeşitli C_s/C_p 'ler için aşırı gerilim dağılımı hesabı yapıp, gerilim dağılım eğrileri çizilmiştir. [13]

Kapasitif transformatör eşdeğer devresinde, $0,2\mu s$ aralıklarla $1,2\mu s$ 'ye kadar transient (geçici durum) analizi yapılmıştır. $C_p=1pF$ değerinde sabit iken; $1pF$, $5pF$, $10pF$, $50pF$, $100pF$ 'lık seri kapasite değerleri için gerilim dağılım eğrileri çıkarılmıştır. Sargılara $1,2/50\mu s$ lik standart darbe gerilimine benzer darbeler uygulanmıştır. Bu bölümde;

V(1): Sargı başlangıç uç gerilimi,
V(3): Sargının %10'nundaki gerilim,
V(5): " %20'sindeki " ,
V(7): " %30'undaki " ,
V(9): " %40'ındaki " ,
V(11): " %50'sindeki " ,
V(4): " %60'ındaki " ,
V(6): " %70'indeki " ,
V(8): " %80'nindeki " ,
V(10): " %90'nındaki " ,
V(12): Sargı sonunda gerilim değeridir.

Basitleştirilmiş sargı modelinde, $C_p=1pF$ değerinde sabitken; $20pF$, $50pF$, $100pF$ 'lık seri kapasite değerleri için hesaplamalar yapıp gerilim dağılım eğrileri çizilmiştir.



Sekil B.1 Bir transformatör sargısının dağılmış parametrelili kapasitif eşdeğer devresinde gerilim dağılımı

*** 04/16/93 13:56:56 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

*** CIRCUIT DESCRIPTION

VIN 1 0 PWL (0 0 1.2US 35KV 50US 35KV)
R1 1 2 1M
C1 2 3 1PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 1PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 1PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 1PF IC=0
C8 9 11 1PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 1PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 1PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 1PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 1PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 1PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 10
.TRAN 0.2US 1.2US UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END

*** 04/16/93 13:56:56 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

*** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	0.000E+00	-6.676E-06	-2.623E-06	-9.537E-07	-2.384E-07
2.000E-07	5.833E+03	2.228E+03	8.511E+02	3.251E+02	1.242E+02
4.000E-07	1.167E+04	4.456E+03	1.702E+03	6.502E+02	2.483E+02
6.000E-07	1.750E+04	6.684E+03	2.553E+03	9.752E+02	3.725E+02
8.000E-07	2.333E+04	8.913E+03	3.404E+03	1.300E+03	4.967E+02
1.000E-06	2.917E+04	1.114E+04	4.255E+03	1.625E+03	6.208E+02
1.200E-06	3.500E+04	1.337E+04	5.106E+03	1.950E+03	7.450E+02

*** 04/16/93 13:56:56 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

*** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	1.863E-07	8.158E-07	2.263E-06	5.970E-06	1.565E-05
2.000E-07	4.743E+01	1.811E+01	6.898E+00	2.587E+00	8.623E-01
4.000E-07	9.485E+01	3.622E+01	1.380E+01	5.174E+00	1.725E+00
6.000E-07	1.423E+02	5.432E+01	2.069E+01	7.761E+00	2.587E+00
8.000E-07	1.897E+02	7.243E+01	2.759E+01	1.035E+01	3.449E+00
1.000E-06	2.371E+02	9.054E+01	3.449E+01	1.293E+01	4.311E+00
1.200E-06	2.846E+02	1.086E+02	4.139E+01	1.552E+01	5.174E+00

**** 04/16/93 13:55:56 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

*** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	4.098E-05
2.000E-07	4.312E-05
4.000E-07	4.311E-05
6.000E-07	4.311E-05
8.000E-07	4.311E-05
1.000E-06	4.311E-05
1.200E-06	4.311E-05

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME 53.55

**** 04/16/93 14:05:10 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** CIRCUIT DESCRIPTION

VIN 1 0 PWL (0 0 1.2US 35KV 50US 35KV)
R1 1 2 1M
C1 2 3 5PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 5PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 5PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 5PF IC=0
C8 9 11 5PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 5PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 5PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 5PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 5PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 5PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 10
.TRAN 0.2US 1.2US UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END

**** 04/16/93 14:05:10 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	8.504E-07	1.078E-04	2.864E-04	5.235E-04	8.647E-04
2.000E-07	5.833E+03	3.743E+03	2.401E+03	1.539E+03	9.847E+02
4.000E-07	1.167E+04	7.485E+03	4.801E+03	3.078E+03	1.969E+03
6.000E-07	1.750E+04	1.123E+04	7.202E+03	4.616E+03	2.954E+03
8.000E-07	2.333E+04	1.497E+04	9.603E+03	6.155E+03	3.939E+03
1.000E-06	2.917E+04	1.871E+04	1.200E+04	7.694E+03	4.923E+03
1.200E-06	3.500E+04	2.246E+04	1.440E+04	9.233E+03	5.908E+03

**** 04/16/93 14:05:10 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	1.379E-03	2.170E-03	3.394E-03	5.297E-03	8.259E-03
2.000E-07	6.275E+02	3.958E+02	2.433E+02	1.394E+02	6.336E+01
4.000E-07	1.255E+03	7.916E+02	4.865E+02	2.787E+02	1.267E+02
6.000E-07	1.882E+03	1.187E+03	7.298E+02	4.181E+02	1.901E+02
8.000E-07	2.510E+03	1.583E+03	9.730E+02	5.575E+02	2.534E+02
1.000E-06	3.137E+03	1.979E+03	1.216E+03	6.968E+02	3.167E+02
1.200E-06	3.765E+03	2.375E+03	1.460E+03	8.362E+02	3.801E+02

*** 04/15/93 14:05:10 *** Evaluation PSpice (January 1991) ***

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

*** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	1.287E-02
2.000E-07	1.583E-02
4.000E-07	1.584E-02
6.000E-07	1.584E-02
8.000E-07	1.584E-02
1.000E-06	1.584E-02
1.200E-06	1.584E-02

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME

54.81

*** 04/16/93 13:47:44 *** Evaluation PSpice (January 1991) ***

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

*** CIRCUIT DESCRIPTION

VIN 1 0 PWL (0 0 1.2US 35KV 50US 35KV)
R1 1 2 1M
C1 2 3 10PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 10PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 10PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 10PF IC=0
C8 9 11 10PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 10PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 10PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 10PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 10PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 10PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 10
.TRAN 0.2US 1.2US UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END

**** 04/16/93 13:47:44 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	5.448E-07	1.332E-03	2.870E-03	4.699E-03	6.997E-03
2.000E-07	5.833E+03	4.251E+03	3.093E+03	2.244E+03	1.620E+03
4.000E-07	1.167E+04	8.501E+03	6.186E+03	4.489E+03	3.241E+03
6.000E-07	1.750E+04	1.275E+04	9.278E+03	6.733E+03	4.861E+03
8.000E-07	2.333E+04	1.700E+04	1.237E+04	8.977E+03	6.481E+03
1.000E-06	2.917E+04	2.125E+04	1.546E+04	1.122E+04	8.102E+03
1.200E-06	3.500E+04	2.550E+04	1.856E+04	1.347E+04	9.722E+03

**** 04/16/93 13:47:44 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	9.993E-03	1.399E-02	1.939E-02	2.672E-02	3.673E-02
2.000E-07	1.158E+03	8.122E+02	5.473E+02	3.370E+02	1.605E+02
4.000E-07	2.317E+03	1.624E+03	1.094E+03	6.740E+02	3.210E+02
6.000E-07	3.475E+03	2.437E+03	1.642E+03	1.011E+03	4.815E+02
8.000E-07	4.633E+03	3.249E+03	2.189E+03	1.348E+03	6.420E+02
1.000E-06	5.792E+03	4.061E+03	2.736E+03	1.685E+03	8.024E+02
1.200E-06	6.950E+03	4.873E+03	3.283E+03	2.022E+03	9.629E+02

*** 04/16/93 13:47:44 ***** Evaluation PSoice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

*** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	5.040E-02
2.000E-07	8.025E-02
4.000E-07	8.024E-02
6.000E-07	8.024E-02
8.000E-07	8.024E-02
1.000E-06	8.024E-02
1.200E-06	8.024E-02

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME 55.64

**** 04/16/93 13:30:12 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** CIRCUIT DESCRIPTION

VIN 1 0 PWL (0 0 1.2US 35KV 50US 35KV)
R1 1 2 1M
C1 2 3 50PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 50PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 50PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 50PF IC=0
C8 9 11 50PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 50PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 50PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 50PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 50PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 50PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 10
.TRAN 0.2US 1.2US UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END

**** 04/16/93 13:30:12 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	4.709E-07	1.436E-02	2.919E-02	4.459E-02	6.090E-02
2.000E-07	5.833E+03	4.961E+03	4.187E+03	3.497E+03	2.877E+03
4.000E-07	1.167E+04	9.921E+03	8.374E+03	6.994E+03	5.754E+03
6.000E-07	1.750E+04	1.488E+04	1.256E+04	1.049E+04	8.631E+03
8.000E-07	2.333E+04	1.984E+04	1.675E+04	1.399E+04	1.151E+04
1.000E-06	2.917E+04	2.480E+04	2.093E+04	1.749E+04	1.439E+04
1.200E-06	3.500E+04	2.976E+04	2.512E+04	2.098E+04	1.726E+04

**** 04/16/93 13:30:12 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	7.842E-02	9.750E-02	1.185E-01	1.419E-01	1.682E-01
2.000E-07	2.315E+03	1.799E+03	1.319E+03	8.652E+02	4.289E+02
4.000E-07	4.630E+03	3.597E+03	2.637E+03	1.730E+03	8.568E+02
6.000E-07	6.944E+03	5.396E+03	3.955E+03	2.594E+03	1.285E+03
8.000E-07	9.259E+03	7.194E+03	5.274E+03	3.459E+03	1.713E+03
1.000E-06	1.157E+04	8.993E+03	6.592E+03	4.323E+03	2.141E+03
1.200E-06	1.389E+04	1.079E+04	7.910E+03	5.188E+03	2.569E+03

*** 04/16/93 11:30:12 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

*** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	1.978E-01
2.000E-07	1.070E+00
4.000E-07	1.070E+00
6.000E-07	1.070E+00
8.000E-07	1.070E+00
1.000E-06	1.070E+00
1.200E-06	1.070E+00

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME 56.30

*** 04/16/93 14:20:12 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

*** CIRCUIT DESCRIPTION

VIN 1 0 PWL (0 0 1.2US 35KV 50US 35KV)
R1 1 2 1M
C1 2 3 100PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 100PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 100PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 100PF IC=0
C8 9 11 100PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 100PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 100PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 100PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 100PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 100PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 10
.TRAN 0.2US 1.2US UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

**** 04/16/93 14:20:12 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	-1.950E-06	2.069E-02	4.181E-02	6.334E-02	8.551E-02
2.000E-07	5.833E+03	5.096E+03	4.409E+03	3.766E+03	3.161E+03
4.000E-07	1.167E+04	1.019E+04	8.817E+03	7.532E+03	6.322E+03
6.000E-07	1.750E+04	1.529E+04	1.323E+04	1.130E+04	9.482E+03
8.000E-07	2.333E+04	2.038E+04	1.763E+04	1.506E+04	1.264E+04
1.000E-06	2.917E+04	2.548E+04	2.204E+04	1.883E+04	1.580E+04
1.200E-06	3.500E+04	3.057E+04	2.645E+04	2.259E+04	1.896E+04

**** 04/16/93 14:20:12 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	1.085E-01	1.326E-01	1.581E-01	1.851E-01	2.140E-01
2.000E-07	2.588E+03	2.040E+03	1.513E+03	1.001E+03	4.994E+02
4.000E-07	5.175E+03	4.079E+03	3.025E+03	2.001E+03	9.967E+02
6.000E-07	7.762E+03	6.119E+03	4.537E+03	3.000E+03	1.494E+03
8.000E-07	1.035E+04	8.158E+03	6.048E+03	4.000E+03	1.991E+03
1.000E-06	1.294E+04	1.020E+04	7.560E+03	4.999E+03	2.488E+03
1.200E-06	1.552E+04	1.224E+04	9.072E+03	5.999E+03	2.986E+03

*** 04/16/93 14:20:12 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

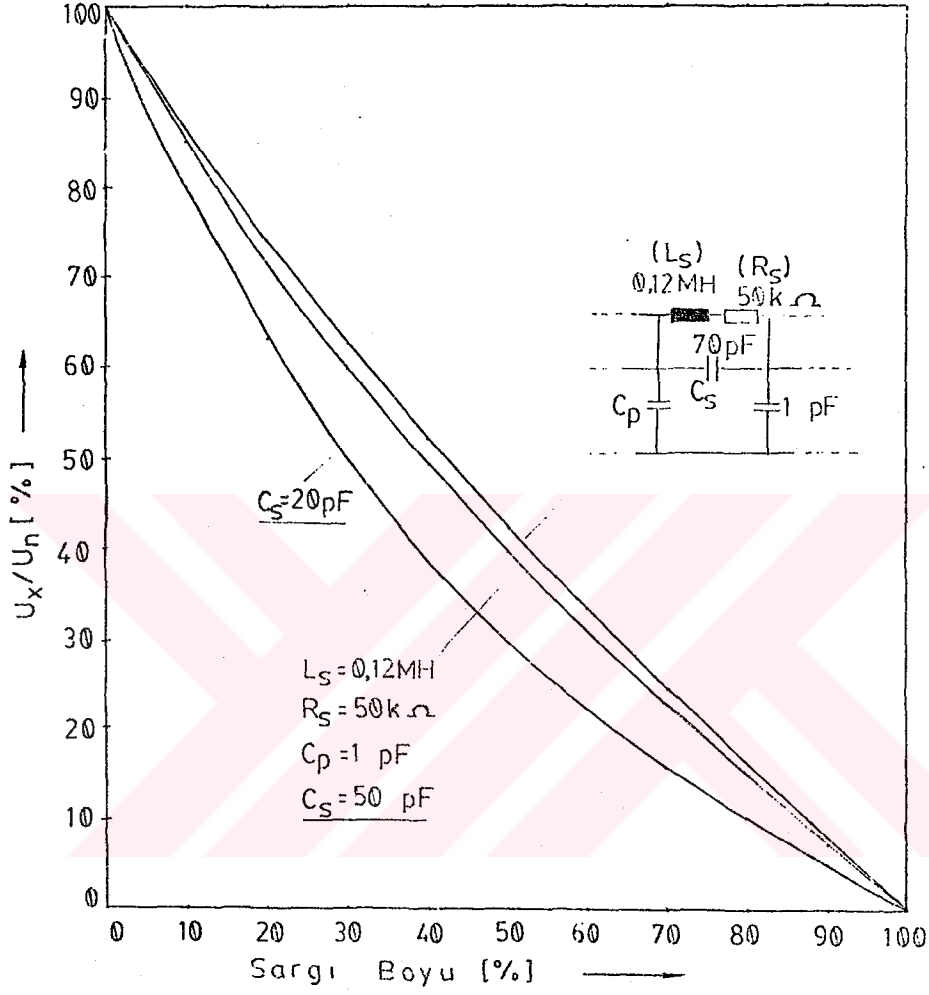
*** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	2.450E-01
2.000E-07	2.486E+00
4.000E-07	2.486E+00
6.000E-07	2.486E+00
8.000E-07	2.486E+00
1.000E-06	2.486E+00
1.200E-06	2.486E+00

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME 57.12



Şekil B.2 Bir transformatörün basitleştirilmiş eşdeğer devresinde gerilim dağılımı

**** 04/13/93 22:17:18 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** CIRCUIT DESCRIPTION

VIN 1 0 PWL (0 0 1.2US 100KV 2.5US 100KV)
R1 1 2 1M
C1 2 3 20PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 20PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 20PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 20PF IC=0
C8 9 11 20PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 20PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 20PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 20PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 20PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 20PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 10
L1 2 13 0.12MEGH IC=0
L2 3 15 0.12MEGH IC=0
L3 5 17 0.12MEGH IC=0
L4 7 19 0.12MEGH IC=0
L5 9 21 0.12MEGH IC=0
L6 11 14 0.12MEGH IC=0
L7 4 16 0.12MEGH IC=0
L8 6 18 0.12MEGH IC=0
L9 8 20 0.12MEGH IC=0
L10 10 22 0.12MEGH IC=0
R21 13 3 500
R22 15 5 500
R23 17 7 500
R24 19 9 500
R25 21 11 500
R26 14 4 500
R27 16 6 500
R28 18 8 500
R29 20 10 500
R30 22 12 500
.TRAN 0.6US 1.2US UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END

**** 04/13/93 22:17:18 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	1.215E-05	1.031E-02	2.142E-02	3.361E-02	4.747E-02
6.000E-07	5.000E+04	3.974E+04	3.146E+04	2.476E+04	1.930E+04
1.200E-06	1.000E+05	7.948E+04	6.292E+04	4.952E+04	3.859E+04

**** 04/13/93 22:17:18 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	6.372E-02	8.315E-02	1.067E-01	1.357E-01	1.714E-01
6.000E-07	1.480E+04	1.104E+04	7.828E+03	5.011E+03	2.445E+03
1.200E-06	2.959E+04	2.207E+04	1.565E+04	1.002E+04	4.889E+03

**** 04/13/93 22:17:18 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	2.156E-01
6.000E-07	8.147E-01
1.200E-06	8.147E-01

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME 99.41

**** 04/13/93 22:05:36 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** CIRCUIT DESCRIPTION

```
VIN 1 0 PWL (0 0 1.2US 100KV 2.5US 100KV)
R1 1 2 1M
C1 2 3 50PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 50PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 50PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 50PF IC=0
C8 9 11 50PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 50PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 50PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 50PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 50PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 50PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 10
L1 2 13 0.12MEGH IC=0
L2 3 15 0.12MEGH IC=0
L3 5 17 0.12MEGH IC=0
L4 7 19 0.12MEGH IC=0
L5 9 21 0.12MEGH IC=0
L6 11 14 0.12MEGH IC=0
L7 4 16 0.12MEGH IC=0
L8 6 18 0.12MEGH IC=0
L9 8 20 0.12MEGH IC=0
L10 10 22 0.12MEGH IC=0
R21 13 3 50000
R22 15 5 50000
R23 17 7 50000
R24 19 9 50000
R25 21 11 50000
R26 14 4 50000
R27 16 6 50000
R28 18 8 50000
R29 20 10 50000
R30 22 12 50000
.TRAN 0.6US 1.2US UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END
```

**** 04/13/93 22:05:36 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	-1.537E-05	3.209E-02	6.532E-02	9.985E-02	1.364E-01
6.000E-07	5.000E+04	4.252E+04	3.589E+04	2.997E+04	2.466E+04
1.200E-06	1.000E+05	8.504E+04	7.177E+04	5.995E+04	4.932E+04

**** 04/13/93 22:05:36 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	1.756E-01	2.184E-01	2.656E-01	3.180E-01	3.768E-01
6.000E-07	1.984E+04	1.542E+04	1.130E+04	7.412E+03	3.671E+03
1.200E-06	3.968E+04	3.083E+04	2.260E+04	1.482E+04	7.339E+03

**** 04/13/93 22:05:36 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	4.432E-01
6.000E-07	3.057E+00
1.200E-06	3.057E+00

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME 180.32

**** 04/13/93 21:57:39 ***** Evaluation PSpice (January 1991) *****

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** CIRCUIT DESCRIPTION

```
VIN 1 0 PWL (0 0 1.2US 100KV 2.5US 100KV)
R1 1 2 1M
C1 2 3 70PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 70PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 70PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 70PF IC=0
C8 9 11 70PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 70PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 70PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 70PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 70PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 70PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 10
L1 2 13 0.12MEGH IC=0
L2 3 15 0.12MEGH IC=0
L3 5 17 0.12MEGH IC=0
L4 7 19 0.12MEGH IC=0
L5 9 21 0.12MEGH IC=0
L6 11 14 0.12MEGH IC=0
L7 4 16 0.12MEGH IC=0
L8 6 18 0.12MEGH IC=0
L9 8 20 0.12MEGH IC=0
L10 10 22 0.12MEGH IC=0
R21 13 3 50000
R22 15 5 50000
R23 17 7 50000
R24 19 9 50000
R25 21 11 50000
R26 14 4 50000
R27 16 6 50000
R28 18 8 50000
R29 20 10 50000
R30 22 12 50000
.TRAN 0.6US 1.2US UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END
```

**** 04/13/93 21:57:39 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****
YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	2.866E-05	3.995E-02	8.101E-02	1.232E-01	1.672E-01
6.000E-07	5.000E+04	4.316E+04	3.694E+04	3.125E+04	2.600E+04
1.200E-06	1.000E+05	8.632E+04	7.388E+04	6.249E+04	5.199E+04

**** 04/13/93 21:57:39 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****
YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	2.136E-01	2.630E-01	3.162E-01	3.739E-01	4.369E-01
6.000E-07	2.112E+04	1.655E+04	1.221E+04	8.045E+03	3.996E+03
1.200E-06	4.224E+04	3.309E+04	2.442E+04	1.609E+04	7.989E+03

**** 04/13/93 21:57:39 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****
YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI

**** TRANSIENT ANALYSIS TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	5.062E-01
6.000E-07	4.658E+00
1.200E-06	4.658E+00

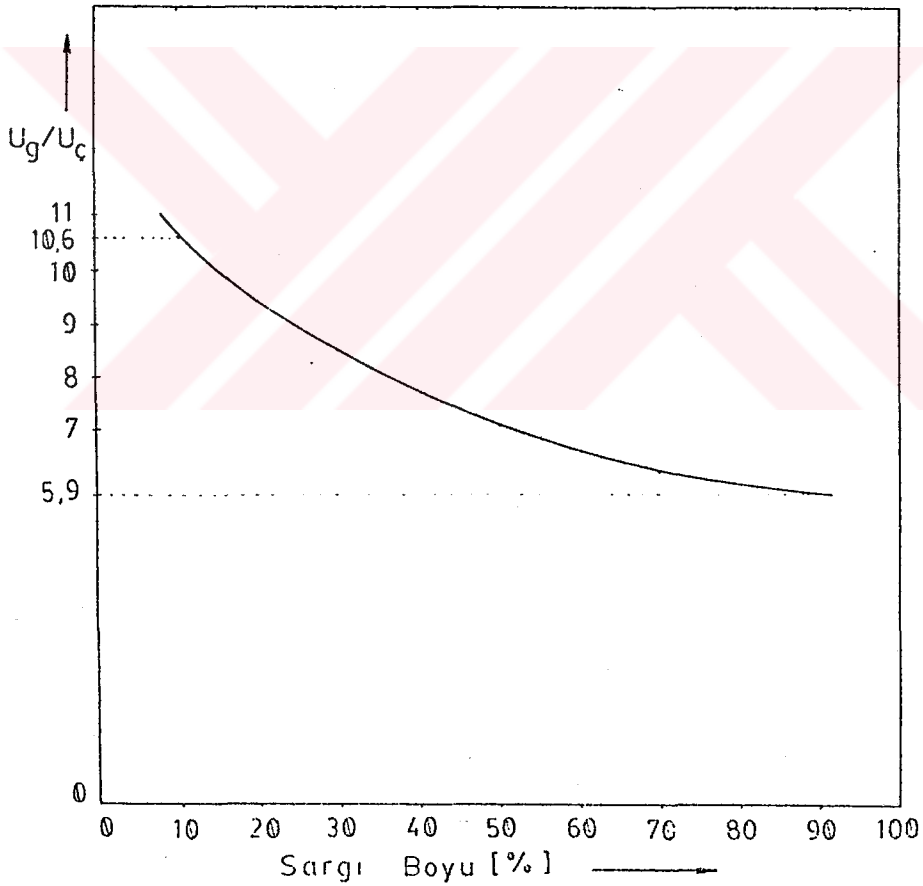
JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME 135.45

EK-C-

YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİNDE KİSMİ BOŞALMA YER ÖNGÖRÜ EĞRİSİNİN ÇIKARILMASTI

Bu bölümde kapasitif dağılmış parametrelili bir transformator modeli ele alınarak, sargıda değeri bilinen bir kısmi boşalma darbesi meydana geldiğinde, sargı giriş ve çıkış uçları arasındaki oranın "Pspice" paket programı kullanarak bulunması ile yer öngörü eğrisi çıkarılmıştır. Bu bölümdeki gerilim değerleride EK-B- de verilen sıralamada verilmiştir.



Şekil C.1 Kısmi boşalma yeri ile sargı uç gerilimleri oranının değişimi eğrisi

**** 05/24/93 13:22:49 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

KISMI BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

**** CIRCUIT DESCRIPTION

```
VIN 3 0 PWL (0 0 2MS 3.5KV 2.1MS 3.5KV)
V1 1 0 SIN (0 35KV 50HZ)
R1 1 2 1M
C1 2 3 50PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 50PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 50PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 50PF IC=0
C8 9 11 50PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 50PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 50PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 50PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 50PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 50PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 1000G
.TRAN 0.5MS 2MS UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END
```

**** 05/24/93 13:22:49 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

KISMI BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.192E-07	1.192E-07	1.192E-07
5.000E-04	5.475E+03	8.750E+02	7.803E+02	7.011E+02	6.360E+02
1.000E-03	1.082E+04	1.750E+03	1.560E+03	1.402E+03	1.272E+03
1.500E-03	1.589E+04	2.625E+03	2.341E+03	2.103E+03	1.908E+03
2.000E-03	2.057E+04	3.500E+03	3.121E+03	2.804E+03	2.543E+03

**** 05/24/93 13:22:49 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

KISMİ BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	1.192E-07	1.788E-07	1.788E-07	1.788E-07	1.788E-07
5.000E-04	5.837E+02	5.430E+02	5.131E+02	4.936E+02	4.839E+02
1.000E-03	1.167E+03	1.086E+03	1.026E+03	9.869E+02	9.675E+02
1.500E-03	1.750E+03	1.628E+03	1.539E+03	1.480E+03	1.451E+03
2.000E-03	2.333E+03	2.171E+03	2.051E+03	1.973E+03	1.934E+03

**** 05/24/93 13:22:49 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

KISMİ BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	1.788E-07
5.000E-04	4.839E+02
1.000E-03	9.675E+02
1.500E-03	1.451E+03
2.000E-03	1.934E+03

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME

54.16

**** 05/24/93 13:16:37 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

**** CIRCUIT DESCRIPTION

```
VIN 7 0 PWL (0 0 2MS 3.5KV 2.1MS 3.5KV)
V1 1 0 SIN (0 35KV 50HZ)
R1 1 2 1M
C1 2 3 50PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 50PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 50PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 50PF IC=0
C8 9 11 50PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 50PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 50PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 50PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 50PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 50PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 1000G
.TRAN 0.5MS 2MS UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END
```

**** 05/24/93 13:16:37 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
5.000E-04	5.475E+03	3.874E+03	2.351E+03	8.750E+02	7.938E+02
1.000E-03	1.082E+04	7.860E+03	4.659E+03	1.750E+03	1.587E+03
1.500E-03	1.589E+04	1.127E+04	6.879E+03	2.625E+03	2.381E+03
2.000E-03	2.057E+04	1.463E+04	8.973E+03	3.500E+03	3.175E+03

**** 05/24/93 13:16:37 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	0.000E+00	1.192E-07	1.192E-07	1.192E-07	1.788E-07
5.000E-04	7.284E+02	6.776E+02	6.404E+02	6.160E+02	6.039E+02
1.000E-03	1.457E+03	1.355E+03	1.281E+03	1.232E+03	1.208E+03
1.500E-03	2.185E+03	2.032E+03	1.921E+03	1.847E+03	1.811E+03
2.000E-03	2.913E+03	2.709E+03	2.560E+03	2.463E+03	2.414E+03

**** 05/24/93 13:16:37 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	1.788E-07
5.000E-04	6.039E+02
1.000E-03	1.208E+03
1.500E-03	1.811E+03
2.000E-03	2.414E+03

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME

53.94

**** 05/24/93 12:54:39 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

Kısmi Boşalma Yeri İle Sargı Uç Gerilimleri Oranının Değişimi

**** CIRCUIT DESCRIPTION

VIN 11 0 PWL (0 0 2MS 3.5KV 2.1MS 3.5KV)
V1 1 0 SIN (0 35KV 50HZ)
R1 1 2 1M
C1 2 3 50PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 50PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 50PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 50PF IC=0
C8 9 11 50PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 50PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 50PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 50PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 50PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 50PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 1000G
.TRAN 0.5MS 2MS UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END

**** 05/24/93 12:54:39 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

Kısmi Boşalma Yeri İle Sargı Uç Gerilimleri Oranının Değişimi

**** TRANSIENT ANALYSIS TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	0.000E+00	4.768E-07	0.000E+00	0.000E+00	2.384E-07
5.000E-04	5.475E+03	4.416E+03	3.445E+03	2.543E+03	1.692E+03
1.000E-03	1.082E+04	8.727E+03	6.813E+03	5.036E+03	3.359E+03
1.500E-03	1.589E+04	1.283E+04	1.003E+04	7.429E+03	4.977E+03
2.000E-03	2.057E+04	1.663E+04	1.302E+04	9.676E+03	6.523E+03

**** 05/24/93 12:54:39 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

Kısmi Boşalma Yeri İle Sargı Uç Gerilimleri Oranının Değişimi

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.192E-07	1.192E-07	1.192E-07
5.000E-04	8.750E+02	8.140E+02	7.693E+02	7.399E+02	7.254E+02
1.000E-03	1.750E+03	1.628E+03	1.538E+03	1.480E+03	1.451E+03
1.500E-03	2.625E+03	2.442E+03	2.308E+03	2.219E+03	2.176E+03
2.000E-03	3.500E+03	3.256E+03	3.076E+03	2.959E+03	2.901E+03

**** 05/24/93 12:54:39 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

Kısmi Boşalma Yeri İle Sargı Uç Gerilimleri Oranının Değişimi

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	1.192E-07
5.000E-04	7.254E+02
1.000E-03	1.451E+03
1.500E-03	2.176E+03
2.000E-03	2.901E+03

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME

54.16

**** 05/24/93 13:08:47 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

KISMI BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

**** CIRCUIT DESCRIPTION

VIN 6 0 PWL (0 0 2MS 3.5KV 2.1MS 3.5KV)
V1 1 0 SIN (0 35KV 50HZ)
R1 1 2 1M
C1 2 3 50PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 50PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 50PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 50PF IC=0
C8 9 11 50PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 50PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 50PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 50PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 50PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 50PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 1000G
.TRAN 0.5MS 2MS UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END

**** 05/24/93 13:08:47 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

KISMI BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	4.768E-07	4.768E-07
5.000E-04	5.475E+03	4.611E+03	3.840E+03	3.145E+03	2.514E+03
1.000E-03	1.082E+04	9.112E+03	7.591E+03	6.221E+03	4.977E+03
1.500E-03	1.589E+04	1.339E+04	1.116E+04	9.160E+03	7.339E+03
2.000E-03	2.057E+04	1.735E+04	1.448E+04	1.190E+04	9.553E+03

*** 05/24/93 13:08:47 *** Evaluation PSpice (January 1991) ***

KISMI BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

*** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	2.384E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.192E-07
5.000E-04	1.933E+03	1.390E+03	8.750E+02	8.416E+02	8.251E+02
1.000E-03	3.831E+03	2.763E+03	1.750E+03	1.683E+03	1.650E+03
1.500E-03	5.664E+03	4.104E+03	2.625E+03	2.525E+03	2.475E+03
2.000E-03	7.400E+03	5.396E+03	3.500E+03	3.366E+03	3.300E+03

*** 05/24/93 13:08:47 *** Evaluation PSpice (January 1991) ***

KISMI BOŞALMA YERİ İLE SARGI UÇ GERİLİMLERİ ORANININ DEĞİŞİMİ

*** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	1.192E-07
5.000E-04	8.251E+02
1.000E-03	1.650E+03
1.500E-03	2.475E+03
2.000E-03	3.300E+03

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME 53.77

**** 05/24/93 13:01:54 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

Kısmi Boşalma Yeri İle Sargı Uç Gerilimleri Oranının Değişimi

**** CIRCUIT DESCRIPTION

```
VIN 10 0 PWL (0 0 2MS 3.5KV 2.1MS 3.5KV)
V1 1 0 SIN (0 35KV 50HZ)
R1 1 2 1M
C1 2 3 50PF IC=0
C2 3 0 1PF IC=0
R3 3 0 500G
C3 3 5 50PF IC=0
C4 5 0 1PF IC=0
R4 5 0 500G
C5 5 7 50PF IC=0
R5 7 0 500G
C6 7 0 1PF IC=0
C7 7 9 50PF IC=0
C8 9 11 50PF IC=0
C9 9 0 1PF IC=0
R9 9 0 500G
C10 11 4 50PF IC=0
C11 11 0 1PF IC=0
R11 11 0 500G
C12 4 6 50PF IC=0
C13 4 0 1PF IC=0
R13 4 0 500G
C14 6 8 50PF IC=0
C15 6 0 1PF IC=0
R15 6 0 500G
C16 8 10 50PF IC=0
C17 8 0 1PF IC=0
R17 8 0 500G
C18 10 12 50PF IC=0
C19 10 0 1PF IC=0
R19 10 0 500G
R20 12 0 1000G
.TRAN 0.5MS 2MS UIC
.PRINT TRAN V(1) V(3) V(5) V(7) V(9) V(11) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12)
.PROBE
.END
```

**** 05/24/93 13:01:54 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

Kısmi Boşalma Yeri İle Sargı Uç Gerilimleri Oranının Değişimi

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(1)	V(3)	V(5)	V(7)	V(9)
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
5.000E-04	5.475E+03	4.697E+03	4.012E+03	3.408E+03	2.872E+03
1.000E-03	1.082E+04	9.279E+03	7.929E+03	6.737E+03	5.680E+03
1.500E-03	1.589E+04	1.364E+04	1.166E+04	9.911E+03	8.364E+03
2.000E-03	2.057E+04	1.766E+04	1.511E+04	1.286E+04	1.086E+04

**** 05/24/93 13:01:54 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

Kısmi Boşalma Yeri İle Sargı Uç Gerilimleri Oranının Değişimi

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(11)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)
0.000E+00	2.384E-07	2.384E-07	2.384E-07	1.192E-07	0.000E+00
5.000E-04	2.393E+03	1.962E+03	1.571E+03	1.211E+03	8.750E+02
1.000E-03	4.737E+03	3.888E+03	3.118E+03	2.410E+03	1.750E+03
1.500E-03	6.984E+03	5.743E+03	4.618E+03	3.586E+03	2.625E+03
2.000E-03	9.088E+03	7.494E+03	6.050E+03	4.728E+03	3.500E+03

**** 05/24/93 13:01:54 **** Evaluation PSpice (January 1991) ****

Kısmi Boşalma Yeri İle Sargı Uç Gerilimleri Oranının Değişimi

**** TRANSIENT ANALYSIS

TEMPERATURE = 27.000 DEG C

TIME	V(12)
0.000E+00	0.000E+00
5.000E-04	8.750E+02
1.000E-03	1.750E+03
1.500E-03	2.625E+03
2.000E-03	3.500E+03

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME 53.94

BİR AKIM TRANSFORMATÖRÜNDE ELEKTRİKSEL DAYANIM VE KİSMİ BOŞALMA ÖLÇME DENEYLERİ

Bu deneyler, İTÜ Fuat Költük Yüksek Gerilim Laboratuvarında yapılmıştır.

Deneylerin yapıldığı 100kV'luk ekranlı odanın duvarları 0.5mm kalınlığında bakır ile kaplanmış ve üzeri sunta ile örtülmüş, zemin ve tavan ekranlama bütünlüğünü bozmayacak şekilde kafes örgü ile kaplanmıştır.

Deney odasının kapı ve pencereleri bakır ile kaplanmış ve hareketli kısımlarına bakır kontaklar yerleştirilmiştir. Tüm bu ekranlama düzeni laboratuvar topraklamasına bağlanmış, böylelikle yayılan elektro-magnetik dalgalara karşı bir ekranlama sağlanmıştır.

Odanın elektriksel beslemesi, alçak geçiren (50 Hz) bir filtre üzerinden yapılmıştır. Bu amaçla besleme hattı üzerine seri bobinler yerleştirilmiştir. Filtre işlemini güçlendirmek amacıyla seri bobinlerin sonuna paralel kondansatörler yerleştirilebilir. Bu şekilde laboratuvar dışından bina elektrik tesisatı üzerinden gelebilecek yüksek frekanslı elektriksel parazitler önlenmiş olur. Ayrıca odadaki kumanda masası üzerinde elektriksel olarak iletilen parazitlere karşı bir yalıtım (220V/220V) transformatörü kullanılmıştır.

Bu tip ölçmelerin yapılacağı ortamlarda, boşalmalı (Deşarjlı) lambaların kullanımından parazit oluşturacakları nedeni ile kaçınıldığından, odanın aydınlatılması akkor telli lambalar ile yapılmıştır.

Deney Düzeni: Deney transformatörü, 0.22/100kV, bir fazlı, 5kVA, 50Hz'lik yağlı, gövdesi kuru tip (epoksi reçine), $u_k \approx 3.9$, kısmi boşalmasızdır (100kV'ta 1 μ V).

Ön direnç, 50kohm, 125W, 140kV'luk karbon dirençtir. Gerilim bölücü yüksek gerilim kondansatörü, 100kV, 100 pF'lık yağlı bir kondansatördür.

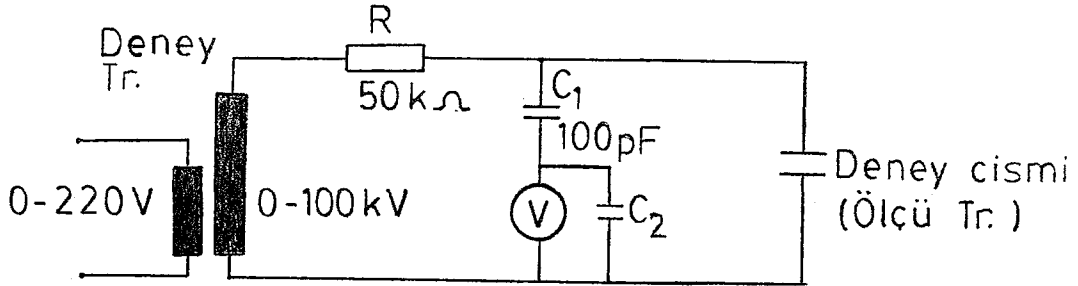
Gerilim bölücünün alçak gerilim kondansatörü (tepe değeri/2) cinsinden değeri ölçen yüksek gerilim voltmetresinin içinde yer almaktadır.

Deney transformatörü, 36 kV, 50Hz'lik epoksi reçine dökümlü, 20/5 A, 10P, 30VA, bir fazlı akım transformatörüdür.

Birincil Sargıların Şebeke Frekansında Gerilime Dayanma Deneyi: Yukarıdaki deney cismine, TS 620'ye göre 70 kV'luk, 50Hz'lik şebeke frekanslı alternatif dayanım gerilimi uygulanmıştır. Bu deney gerilimi, birincil sargının birbirine bağlanmış bağlantı uçları ile, toprak

arasına uygulanmıştır. İkincil sargılar ve gövde topraklanmıştır. [14]

70 kV'luk etkin gerilim deneyi, 1 dakika süre ile uygulanmıştır. Bu deney sonucu her hangi bir atlama ve delinme meydana gelmemiştir. [15]



Şekil D.1- 1 Dakika süreli şebeke frekanslı dayanım gerilim deneyinin bağlantı şeması

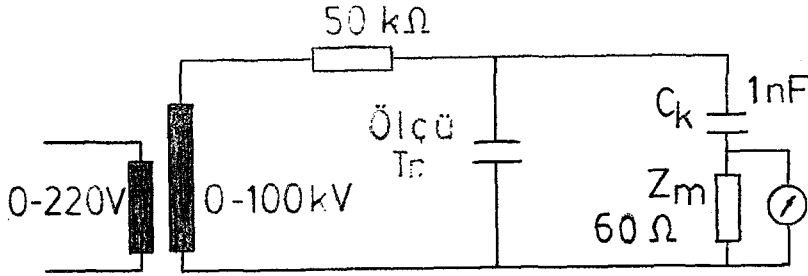
Kısmi Boşalma Ölçme Deneyi: TS 4939'a uygun olarak 10 sn süre ile deney cisminin max. geriliminin 1.3 katı olan $1.3 U_m = 46.8 \text{ kV}$ 'luk ön zorlanma gerilimi uygulanmıştır. Daha sonra sırasıyla $1.1 U_m = 39.6 \text{ kV}$ 'ta ölçme yapılmış ve $3500 \mu\text{V}$ 'luk kısmi boşalma değeri tespit edilmiştir. Bir sonraki değer $1.1 U_m / \sqrt{3}$ değerinde ise $2200 \mu\text{V}$ 'luk bir değer tespit edilmiştir. Bu değerler 2.5 katsayısı ile çarpıldığında pC cinsinden kısmi boşalma değerleri tespit edilir. [16]

Tablo D.1. Ölçülen Deney Sonuçları

Gerilim Değeri	Ölçülen Değer	İzin Verilen Kısmi Boşalma Seviyesi
$1.1 U_m$ (39.6 kV)	$3500 \mu\text{V}$ (8750 pC)	250 pC
$1.1 U_m / \sqrt{3}$ (22.8 kV)	$2200 \mu\text{V}$ (5500 pC)	50 pC

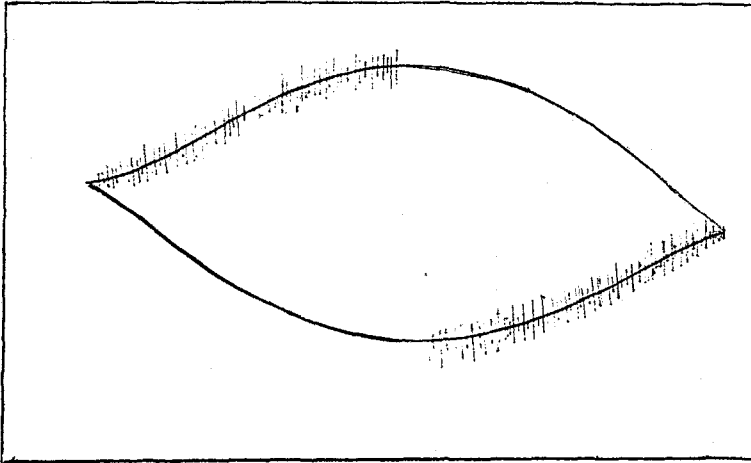
Ayrıca kısmi boşalma başlangıç gerilimi ile sönme gerilimi de tespit edilmiştir.

Bu transformatör için, kısmi boşalma başlama gerilimi $U_i=11.2$ kV, kısmi boşalma sönme gerilimi $U_e=10.5$ kV olarak ölçülmüştür.



Şekil D.2- Kısmi boşalma ölçme deney devresi

PD dedektörü (Kısmi boşalma dedektörü) ile yapılan incelemelerden elde edilen kısmi boşalma izleri Şekil D.3 de verilmiştir.



Şekil D.3-Osiloskopta görülen kısmi boşalma izleri

Yukarıdaki kısmi boşalma izleri, PD dedektörünün osiloskobunda belirlenen izlerdir ve bunun yorumu bölüm 3.8.3 (sayfa 52) de verildiği gibidir.



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Bozkurt 1968 yılında Bulgaristan'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1985 yılında Maçka Endüstri Meslek Lisesinden mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. Hüseyin Bozkurt 1989 yılında Elektrik Mühendisliği bölümünden mezun olup, 1990 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. İngilizce bilmekte olup, halen İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrencisidir.