

İLETİM HATTINA İLİŞKİN KARAKTERİSTİK DEĞERLERİN ELDE EDİLMESİ**1.1. Genel Bilgi**

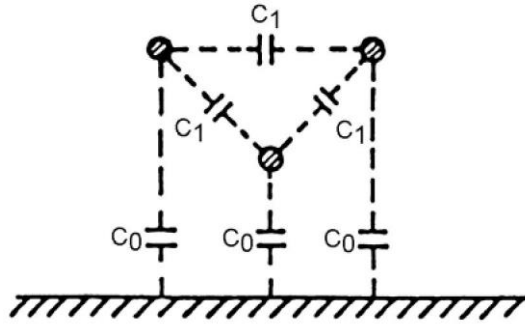
MV 1424 Hat Modeli 40 kV'lık nominal bir gerilim ve 350A'lık nominal bir akım için tasarlanmış 40 km uzunluğundaki bir enerji iletim hattını modellemektedir. Her bir faz iletkeni 120 mm²'lik bir kesit alanına sahiptir. Hattın güç değeri aşağıda verilmiştir:

$$S_n = 40 \cdot 10^3 \cdot 350 \cdot \sqrt{3} = 24 \text{MVA}$$

Bu hat modeli rezistörlerden, indüktörlerden ve kapasitörlerden oluşmaktadır. Gerçekte kapasitanslar, rezistanslar vs. hat boyunca tamamen dağıtılmıştır. Ancak bir modelde bunu emüle etmek zor olacaktır. Bu nedenle hat kapasitansı hattın her bir ucunda toplam kapasitenin yarısı kadar toplanmıştır. Aynı zamanda dağıtılmış şekilde kapasite kullanılırken teorik hesaplamalar çok karmaşık olmaktadır. Bu sebeple daha basit olan bu yöntem ayrıca bunun için de kullanılmaktadır. Tamamen dağıtılmış empedans bileşenleri ve yukarıda açıklanan yöntem arasındaki karşılaştırmalı hesaplamalar ile sonuçların bu iki yöntem arasında çok küçük farklılıklar gösterdiği ispatlanabilir.

Kapasitans

Bir enerji hattı için kapasitans hem iletkenler arasında C_1 (veya C_{+}) hem de iletken ve toprak arasında C_0 mevcut olabilir (Şekil 1'e bakınız). Bu üç iletken genellikle birbirlerine bağlıdır ve faz 1 ve faz 2 arasındaki kapasitans ile faz 1 ve faz 3 arasındaki kapasitans bu nedenle farklı olmalıdır. Ancak iletkenler genellikle "vidalıdır"; yani bu iletkenlerin bağlanma yöntemi dairesel olarak değiştirilmektedir. Bu işlem aslında indüktansı azaltmak amacıyla gerçekleştirilmektedir fakat bir sonucu olarak da kapasitans simetrik olacaktır.



Şekil 1. Fazlar arasındaki C_1 ve toprak ile faz arasındaki C_0 kapasitansları

C_1 daha çok 7-9 nF/km arasındaki OH-iletim hatları içindir. Kapasitans küçük görülebilir fakat büyütülmüş bir levha kapasitörün göstereceğinden daha büyüktür. Bu uzun bir iletken boyunca yük dağılımına bağlıdır.

Her ne kadar iletken ve toprak arasındaki mesafe iletkenler arasındaki mesafeden daha uzun olsa da toprağa giden kapasitans iletkeni şaşırtıcı bir şekilde yaklaşık olarak 6 nF/km gibi yüksek bir değere sahiptir. Bunun nedeni bu iletkenin kapasitördeki "karşı levha" gibi tümüyle toprak yüzeye sahip olmasıdır. Fazların vidalanması nedeniyle C_0 aynı zamanda simetriktir.



Şekil 1'de C_1 bir delta olarak ve C_0 nötr noktası olarak toprak ile birlikte bir Y olarak çizilmiştir. Her iki nicelik kolaylıkla Y-bağlantısından bir Δ -bağlantısına dönüştürülebilir ve çoğunlukla bu iki

kapasitif bileşen C ortak kapasitansını oluşturmak için eklenmiştir. Başka bir deyişle C ortak kapasitansı gerilim kaynağından (=yük) algılanmış her iki C_1+C_0 'dan ortaya çıkan nihai kapasitansdır. Duruma bağlı olarak bu bileşenler Δ - veya Y- biçiminde hesaplanacaktır.

Eğer C_1 kapasitansı ve C_0 kapasitansı birbirleri arasında eşit ise ki çoğu zaman onlar eşittir, onlar C ortak kapasitansı olarak bahsedilen tek bir kapasitansı oluşturmak için dönüştürülebilirler. Bir hat boyunca gerilim düşmesi hesaplanırken ortak kapasitanslar kullanılmalıdır. Topraklama kısa devre akımları hesaplanırken hem C_1 hem de C_0 dikkate alınmalıdır.

İndüktans

İletkenlerin bazı bobin türlerini bir veya birkaç sargı ile oluşturduğuna inanmak yaygın olarak yapılan bir hatadır, bu yanlıştır. Diğer şeyler arasında iletkenlerin vidalanması bundan sakınmayı amaçlar. İletkenin çapının iletkenler arasındaki mesafeye nazaran küçük olduğu bu durum altında indüktans aşağıdakilere bağlı olacaktır:

1. İletkenin indüktansı (genellikle şu şekilde ifade edilir $L = \frac{\mu \cdot \mu_0}{8 \cdot \pi} \cdot I$ [H]).

2. İletkenin içinde ve etrafında dönen manyetik akıdan elde edilmiş İletken dış indüktansı.

Bu yüzden indüktans bir bobindeki ortak akı ile karşılaştırılmaz. Düz bir iletken (bir bobin değil) 50 Hz'de yaklaşık olarak 0.40 ohm/km'lik bir reaktansa sahip olacaktır.

Rezistans

Hat direnci kilometre başına ohm olarak verilmektedir. Bu değer iletkenin kesit alanına bağlıdır. Fakat aynı zamanda iletkenin sıcaklığına da bağlıdır. İletken sıcak iken aynı zamanda direnç de daha yüksektir. Direnç elbette kullanılan materyale de bağlıdır. Bir enerji hattının direnci iletkenin öz direnci ρ (alüminyum için $\rho=0.027 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ve bakır için $\rho=0.0172 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) kullanılarak hesaplanmaktadır. Günümüzde; bir çelik tel etrafında alüminyum öncelikli olarak tercih edilmektedir (bakır daha düşük bir öz dirence sahiptir ancak alüminyumdan daha pahalıdır).

1.2. Modele İlişkin Hesaplamalar

Bu model yukarıda bahsedilen üç empedansın tümünü içerir. Ancak bu model 40kV ve 350A gerçek hat değerleri yerine 400V'luk bir gerilim ve 10A ile çalışır. Bu nedenle gerçek hat için bu değerler modelin daha düşük nominal gerilimini ve akımını uyarlamak amacıyla belli bir ölçekte azaltılmalıdır.

Bunu gerçekleştirmek için gerilim, akım ve empedans ölçeği hesaplanır: B ölçek faktörüdür [boyutsuz].

$$B_V = \frac{V_{MODEL}}{V_{REAL}} = \frac{400}{40000} = \underline{0.01}$$

$$B_I = \frac{I_{MODEL}}{I_{REAL}} = \frac{10}{350} = \underline{1/35}$$

$$B_Z = \frac{\frac{V_{MODEL}}{I_{MODEL}}}{\frac{V_{REAL}}{I_{REAL}}} = \frac{B_V}{B_I} = \frac{0.01}{1/35} = \underline{0.35}$$

Daha sonra hattın empedansları için gerçek değerler en son hesaplanan BZ empedans ölçeği yardımı ile hesaplanır, bu şekilde nominal değerler ve ölçülen değerler arasındaki oran model ve gerçek hat için aynı olur. Bu işlem aşağıdaki formüllere bağlı olarak dirençler, kapasitanslar ve indüktanslar için gerçekleştirilir:

$$L_{MODEL} = L_{REAL} \cdot B_Z$$

$$C_{MODEL} = C_{REAL} \cdot \frac{1}{B_Z}$$

$$R_{MODEL} = R_{REAL} \cdot B_Z$$

3 Hat hakkında verilen bilgi ve 0.35 ölçek faktörü ile birlikte bu formülleri kullanarak aşağıdakileri elde ederiz:

$$R_{REAL} = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0.027\Omega \cdot 40000m}{120mm^2} = \underline{9.0\Omega}$$

$$R_{MODEL} = 30.6 \cdot 0.35 = \underline{3.15\Omega}$$

$$X_{REAL} = 0.40\Omega \cdot 40km = \underline{16\Omega}$$

$$L_{REAL} = \frac{X_{REAL}}{\omega} = \frac{16}{2 \cdot \pi \cdot 50} = \underline{50.9mH}$$

$$L_{MODEL} = 0.0509 \cdot 0.35 = \underline{17.8mH}$$

$$C_{0REAL} = 6nF \cdot 40km = \underline{240nF}$$

$$C_{0MODEL} = 240nF / 0.35 = \underline{686nF}$$

$$C_{1REAL} = 8nF \cdot 40km = \underline{320nF}$$

$$C_{1MODEL} = 320nF / 0.35 = \underline{914nF}$$

Gerçek Hat için Değerler

$$R_{\text{REAL}} = 9.0 \text{ ohm}$$

$$L_{\text{REAL}} = 51 \text{ mH}$$

$$C_{0\text{REAL}} = 240 \text{ nF}$$

$$C_{1\text{REAL}} = 320 \text{ nF}$$

Model için Değerler

$$R_{\text{MODEL}} = 3.15 \text{ ohm}$$

$$L_{\text{MODEL}} = 17.8 \text{ mH}$$

$$C_{0\text{MODEL}} = 0.69 \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_{1\text{MODEL}} = 0.91 \text{ }\mu\text{F}$$

Pratikte yukarıda hesaplanan hat modelinin bu tam empedans değerlerini sağlamak mümkün değildir. Üstelik aynı zamanda bu gerçek değerler sadece yaklaşık formüller kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle daha uygun değerlerin seçimi haklı olabilir.

Bu değerler aşağıdadır:

$$R_{\text{MODEL}} = 3.4 \text{ ohm (iletkenin direnci dâhil)}$$

$$L_{\text{MODEL}} = 15 \text{ mH}$$

$$C_{0\text{MODEL}} = 0.6 \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_{1\text{MODEL}} = 1 \text{ }\mu\text{F}$$

1.3. DENEY**Amaç**

4

Hat modelinin karakteristik verisini hesaplamak ve tam ölçek hat ile karşılaştırmak.

Deneyde Kullanılacak Elemanlar

MV 1103 Değişken Transformatör (veya MV1302)	1
MV 1424 3-Faz Hat Modeli	1
MV 1922 Ampermetre	3
MV 1923 Ampermetre	3
MV 1926 Voltmetre	3
MV 1928 Wattmetre 50 V, 5A (P)	1

Teori

Hat modelinin bir tarafının kısa devre yapıldığı ve diğer tarafının nominal akım elde edilene kadar ayarlanmış düşük gerilim ile beslendiği yerde bir kısa devre testi yapılarak hat modelinin empedansı tespit edilebilir.

V_{sc} gerilimi ve I_{sc} akımı ve P_{sc} giriş gücü ölçümü ile Z , X ve R 'nin hesaplanması mümkün olabilir:

$$Z = V_{sc} / I_{sc}, \quad R = P_{sc} / I_{sc}^2 \quad \text{and} \quad X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$



Direncin hem rezistif bileşenlerde hem de indüktif kısımlarda yerleşmiş olması nedeniyle direncin gerçek değerinin (hat modeli için) doğrudan bir ohmmetre ile “R” üzerinde ölçülemeyeceği belirtilmelidir. Bu gerçek hesaplamalar gerçekleştirilirken dikkate alınmalıdır.

Ölçülen empedansı model değerlerden gerçek değerlere dönüştürmek için ölçülen empedans değerlerinin giriş bölümünde açıklandığı gibi $B_z = 0.35$ empedans ölçeği ile bölünmesi gereklidir.

Hat modeli nominal gerilime bağlanarak basit bir şekilde kapasitans değeri ölçülmektedir ve sekonder taraf açık iken (= yüklü değil) I_c yüksüz akımını ölçünüz.

$$X_c = \frac{V_n}{I_c} \text{ and } C = \frac{1}{\omega X_c} \Rightarrow C = \frac{I_c}{\omega V_n}$$

Üç fazın tümü bir AC gerilim kaynağına bağlanarak C_0 toprak kapasitansı ölçülebilir ve daha sonra I_{c0} yüksüz sıfır sıra akımını ölçünüz. Yukarıda açıklandığı gibi toplam kapasitansı hesaplayınız, fakat her bir faz için C_0 değerini elde etmek için bu kapasitans değerini 3 ile bölünüz. Bu hat modelinde ayrıca toprak kapasitans değerlerini elde etmek için ortak kapasitörlerin bağlantısını kesmek mümkündür, daha sonra sıfır-sıra akımını ölçmek gerekli değildir.

Km başına model hata kapasitansını (c) hesaplamak için C toplam kapasitansını km cinsinden hat uzunluğuna bölünüz.

Gerçek hat ortak kapasitansını hesaplamak için hat kapasitansını $Z_b = 0.35$ olan empedans ölçeği ile çarpınız. Gerçek hat toprak kapasitansı (C_0) aynı yöntemle hesaplanmaktadır.

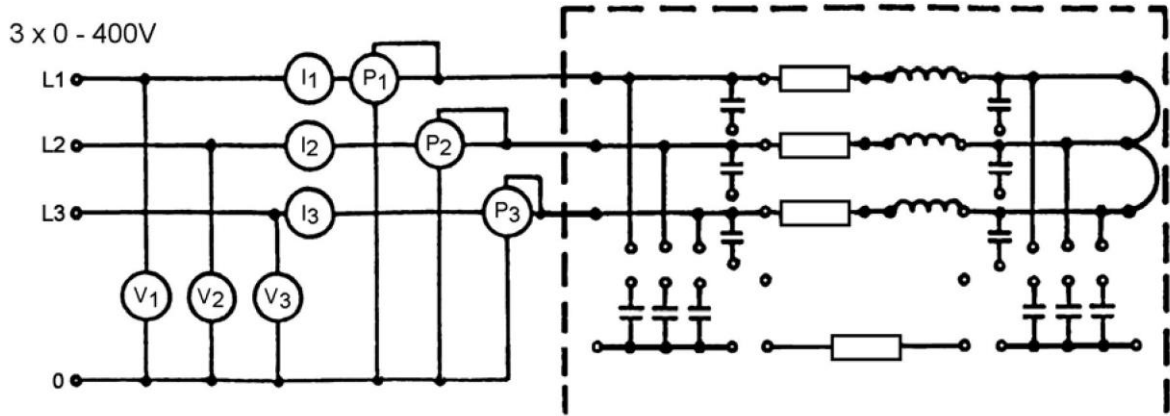
$$C_{REAL} = C_{MODEL} \cdot Z_b = C_{MODEL} \cdot 0.35$$

1.3.1. Kısa Devre Testi

1. Her bir faz için hat modelindeki hem indüktanslar hem de dirençler üzerinde toplam direnci ölçünüz. 1-10 ohm aralığında yüksek doğruluklu bir ommetre kullanınız. Her bir faz için toplam direnci yazınız.

2. Devreyi aşağıdaki şekillere/diyagramlara göre bağlayınız. MV 1923 (6A) türü ampermetre kullanınız.

MV 1424 Hat Modeli

**Şekil 1.1. Kısa Devre Deney Şeması**

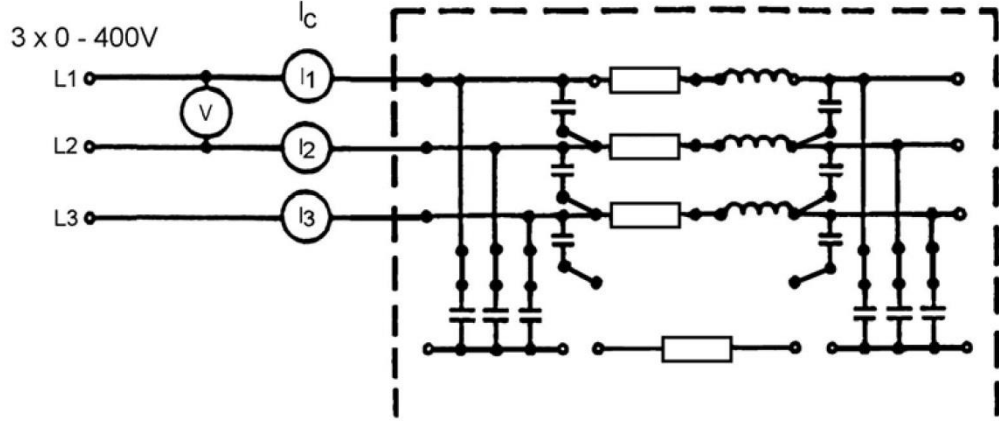
3. Güç kaynağı ünitesini bağlayınız ve bağlı olan üç-faz gerilimini 5A'lık bir akım elde edilinceye kadar 0'dan itibaren yavaşça arttırınız.

4. Ölçülen değerleri tabloda yazınız.

5. Güç kaynağını kapatınız.

1.3.2. Yüksüz Test

MV 1424 Hat Modeli



Şekil 1.2. Yüksüz Test Deney Şeması

1. Bileşenleri yukarıdaki diyagramlara bağlı olarak bağlayınız. MV 1922 (2A) türü ampermetre kullanınız.
2. Güç kaynağı ünitesini bağlayınız ve voltmetre üzerinde 400V gösterilene kadar gerilimi ayarlayınız.
3. Ortak kapasitanslar üzerinden geçen akımı yazınız.
4. Gerilimi sıfıra düşürünüz ve güç kaynağını kapatınız.
5. Fazlar arasındaki kapasitör için bağlantıları kesin fakat toprak kapasitansları bağlı kalsın.
6. Güç kaynağını tekrar bağlayınız ve gerilimi 400V olarak ayarlayınız.
7. Tüm toprak kapasitans akımlarını (I_{C0}) okuyunuz ve yazınız.
8. Üç-fazlı güç kaynağını kapatınız.

Tablo 1. Deneye İlişkin Veriler

Ölçüm	Faz	L1	L2	L3
1.3.1-1	R (ohm)			
1.3.1-4	V (Volt)			
1.3.1-4	I (Amper)			
1.3.1-4	P (Watt)			
1.3.2-3	I_C (Amper)			
1.3.2-7	I_{C0} (Amper)			

1.4. Değerlendirmeler

1. Bir önceki sayfadan elde edilen değerleri kullanarak Z, R ve X değerlerini hesaplayınız. Daha sonra X'in ortalama değerini hesaplayınız.
2. Verilen empedans ölçek faktörünü kullanarak (Modele ilişkin hesaplamalar bölümüne bakınız) X'in ortalama değerini gerçek bir hat değerine dönüştürünüz.
3. I_C ve I_{C0} 'nin ortalama değerini hesaplayınız.
4. Aşağıdaki formüle bağlı olarak gerçek hattın ortak kapasitansını hesaplayınız:

$$I_C = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \quad (burada 400 \text{ gerilim değeridir, } X_C = \frac{1}{\omega C})$$

Bu kapasitansı gerçek hat değerlerini hesaplamak için kullanınız.

Aynı zamanda kilometre başına ortak kapasitansı (c) hesaplayınız.

5. Aşağıdaki formüle göre gerçek hattın toprak kapasitansını (C_0) hesaplayınız:

$$I_{C0} = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_0 \quad (burada 400 \text{ gerilim değeridir, } X_C = \frac{1}{\omega C})$$

Bu kapasitansı gerçek hat değerlerini hesaplamak için kullanınız.

Aynı zamanda kilometre başına toprak kapasitansını (c) hesaplayınız.

NOT: Deneye gelirken hesap makinenizi getirmeyi unutmayınız.

İLETİM HATTINDAKİ GERİLİM DÜŞÜMÜ HESABI

2.1. Genel Bilgi

Hattın gerilim düşümünü yani giriş ve çıkış gerilimi arasındaki farkı ölçmek için kabul edilebilir bir doğruluk ile aşağıdaki formül kullanılabilir:

$$V_{\Delta} = V_1 - V_2 = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi - X \cdot I_C$$

burada;

V_1 = giriş gerilimi

V_2 = çıkış gerilimi

R = hat direnci

I = çıkış akımı

φ = çıkıştaki akım ve gerilim arasındaki faz açısı

X = hat reaktansı (önceden hesaplanmıştı)

$I_C = \frac{1}{2} \cdot w \cdot C \cdot V_2$ burada C hattın ortak kapasitansdır.

Bu formül aşağıdaki eşitlik mevcut iken kesindir:

1

$$\tan(\varphi) = \frac{X}{R}$$

V_1 ve V_2 ölçümü gerçekleştirilerek ve daha sonra aradaki fark hesaplanarak V_{Δ} sonucuna ulaşmaya çalışılırken oldukça büyük bir ölçüm hatası gerçekleştirmek kolaydır. Bu durum aşağıdaki örnek kullanılarak ispatlanabilir:

Her biri %1.5'lik bir doğruluğa sahip iki voltmetre kullanarak $V_1 = 230V$ ve $V_2 = 222V$ ölçümlerinin gerçekleştirildiğini varsayalım. V_{Δ} değeri $230V - 222V = 8V$ 'dur ve mutlak hata o zaman V_1 ve V_2 'deki mutlak hataların toplamıdır veya

$$V_{error} = 1.5 \cdot 10^{-2} \cdot (230 + 222) = 6.8$$

Bu şekilde biz V_{Δ} değerini $8 \pm 7 V$ olarak hesapladık. Bu elbette ki çok kötü bir doğruluk oranıdır.

Doğruluğu geliştirmenin basit bir yöntemi her iki ölçüm için aynı cihazı kullanmaktır. ΔV hesaplanması sırasında sistematik hatalar birbirlerini dengeleyecektir.

2.2. DENEY

Amaç

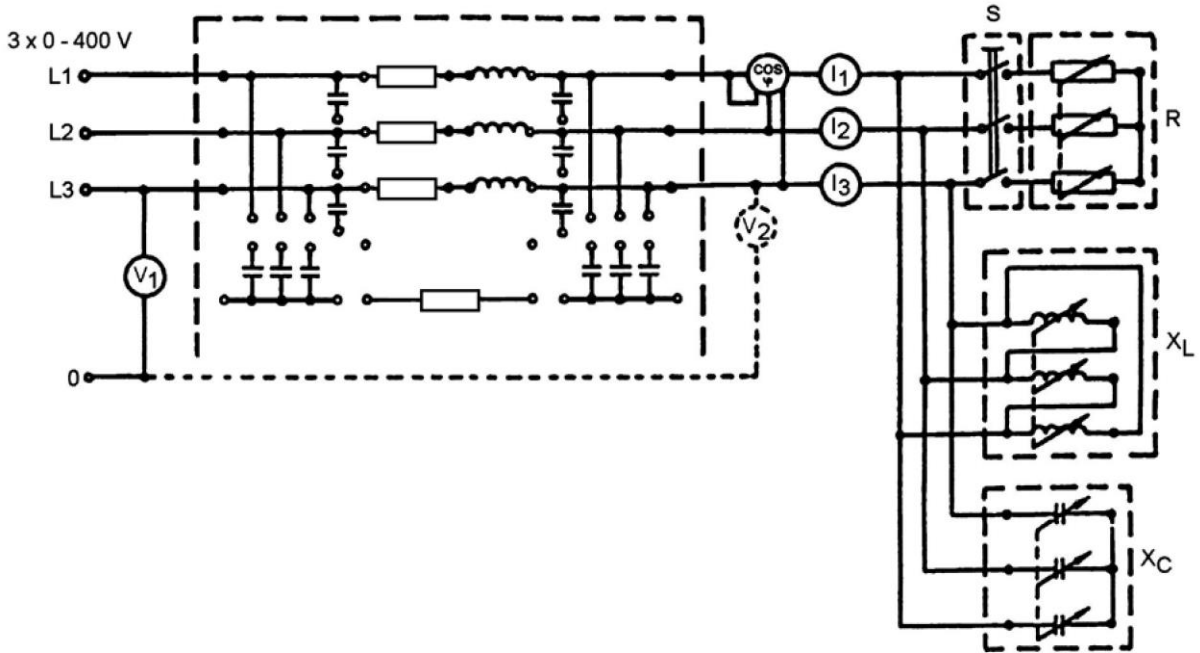
Hat üzerindeki gerilim düşümünü ölçme.

Deneyde Kullanılacak Elemanlar

MV 1100 Rezistif Yük Bankası (R)	1
MV 1101 İndüktif Yük Bankası (X_L)	1
MV 1102 Kapasitif Yük Bankası (X_C)	1
MV 1103 Ayarlı Transformatör (veya MV1302)	1
MV 1424 3-Fazlı Hat Modeli	1
MV 1500 Anahtar (S)	1
MV 1923 Ampermetre 6A (I_1 - I_3)	3
MV 1926 Voltmetre 500V (V_1 , V_2)	1
MV 1976 $\cos\phi$ metre 5A 400V	1

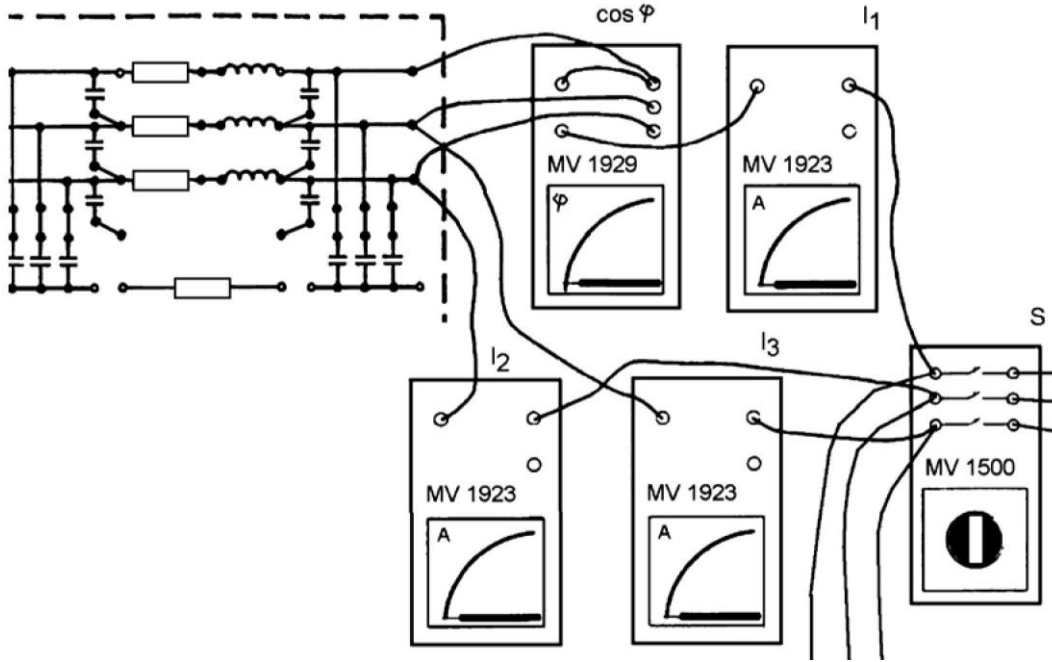
2.2.1. Gerilim Düşümünün Hesaplanması

1. Devreyi aşağıdakine benzer şekilde bağlayınız:



Şekil 2.1. Devre Bağlantı Şeması

S anahtarı açık olmalı ve hem kapasitör bankası hem de reaktif yük bankasının bağlantısı kesilmiş olmalıdır. Rezistif yükler sürekli olarak ayarlanabilir olduğundan dolayı onları kurmak kolaydır.



Şekil 2.2. cos φ metre (MV 1929) ve ampermetrelerin (MV 1923) bağlantıları

2.2.1.1. Rezistif Yük (Hiçbir hat kapasitansı bağlı değil)

3

1. Üç-faz gerilimi bağlayınız ve V_1 değerini 230V olarak ayarlayınız.
2. Rezistif yük bankasını en az akım için ayarladıktan sonra S anahtarını kapatınız ve I_1 değerini 2A olarak ayarlayınız.
3. V_1 değerinin hala 230V olup olmadığını kontrol ediniz ve eğer gerekliyse tekrar ayarlayınız.
4. Diğer fazlardaki akımların yaklaşık olarak 2A olup olmadığını ve güç faktörü ölçerinin 1.0 civarını gösterip göstermediğini kontrol ediniz.
5. Voltmetreyi çıkışa götürünüz ve V_2 değerini ölçünüz.
6. V_2 değerini aşağıdaki sonuçlar tablosunda yazınız.
7. Aynı ölçümü tekrarlayınız fakat I_3 değerini 3A, 4A ve 5A olarak ayarlayınız. Sistematik ölçüm hatalarından sakınmak için her iki V_1 ve V_2 ölçümleri gerçekleştirildiği sürece aynı voltmetre kullanılmalıdır.

Açıklama

Yük bankaları kademeli olarak çalıştırılırken tanımlanmış bir $\cos \phi$ (veya $\sin \phi$) ile yükleme gerçekleştirmek biraz zahmetli olmaktadır. Fakat biz gerçek $\cos \phi = 0.6$ ortalamasını dikkate alırsak (0.6 sadece bir örnektir fakat aynı yöntem farklı güç faktörleri içinde kullanılabilir) bu yöntemin anlaşılması kolay olacaktır:

$$\begin{aligned} P &= S \cdot \cos \phi & \text{veya} & & I_A &= I_{TOTAL} \cdot \cos \phi \\ Q &= S \cdot \sin \phi & \text{veya} & & I_Q &= I_{TOTAL} \cdot \sin \phi \end{aligned}$$

veya (bu durumda)

$$P = S \cdot 0.6 \quad \text{veya} \quad I_A = I_{TOTAL} \cdot 0.6$$

$$Q = S \cdot 0.8 \quad \text{veya} \quad I_Q = I_{TOTAL} \cdot 0.8$$

Örnek: Siz 0.8 A olan saf bir indüktif (veya kapasitif) yük akımına sahipseniz bu şu anlama gelir:

$$I_{TOTAL} = 0.8/0.8 = 1.0 \text{ A ve } I_A = 1.0 \times 0.6 = 0.6 \text{ A olarak ayarlanmış olmalıdır.}$$

Bu nedenle işlemleri aşağıdaki şekilde gerçekleştiriniz:

İlk olarak tablodaki önerilen deney değerlerine bağlı olarak 1, 2....5 A'den biraz daha az olacak reaktif akımı bulunuz. (Açıklama: tam olarak 1.00, 2.00 A vs. gibi değerleri seçmek gerekli değildir – bu deney için önerilen güç faktörünü korumak daha fazla önemlidir).

Daha sonra ilgili saf aktif akımı hesaplayınız (kolay bir şekilde sürekli olarak ayarlanan):

$$I_{ACTIVE} = I_{TOTAL} \text{ from } I_{ACTIVE} = \left(\frac{I_Q}{\sin \phi} \right) \cdot I_0 \cdot \frac{0.6}{0.8}$$

Yani ilk olarak bir I_Q değerini (rezistif yük olmaksızın) bulunuz daha sonra I_{active} değerini (reaktif yük olmaksızın) bulunuz. Son olarak her ikisini bağıntıya sokunuz ve bu şekilde $\cos \phi = 0.6$ değerine sahip olacaksınız (indüktif veya kapasitif).

4

2.2.1.2. İndüktif Yük (hiçbir hat kapasitansı bağlı değil)

1. Aynı ölçümler şimdi 0.6'lık bir güç faktörü ile gerçekleştirilecektir. Eğer rezistif akımın $I \times \sin \phi$ olması gerektiğini dikkate alırsak ayarlamalar biraz daha basit hale gelir. Bu nedenle 2 A'lık bir değer ile ilk ölçüm için rezistif yük bankasının öncelikli olarak bağlantısı kesilmelidir ve bu şekilde yük reaktörü $2.0 \times 0.8 = 1.60 \text{ A'lık bir akıma (veya yakın bir değere) ayarlanır.}$

2. S anahtarını kapatınız, indüktif yükün bağlantısını kesin ve yük rezistörünü ayarlayınız böylece 0.6 değerine yakın bir güç faktörüne ulaşmak için yaklaşık olarak $2.0 \times 0.6 = 1.20 \text{ A'lık bir akım elde edilir.}$ Daha sonra reaktif yükü yeniden bağlayınız (rezistif ile paralel olarak). Toplam akım 2 A'den biraz farklı olabilir ancak güç faktörü sabitini korumak daha önemlidir. Bu değer bizim ölçümler boyunca sabit olarak koruyacağımız değerdir.

3. İndüktif yükü hat modeline bağlayan seçici anahtarı kapalı duruma getirdikten sonra V_1 değerini 230V olarak ayarlayınız. Güç faktörü şimdi 0.6 değerine yakın olacaktır. Önerilen tüm akım değerleri için bu işlemi tekrarlayınız.

4. Her bir ölçüm için I_3 ve V_2 ölçüm değerlerini okuyunuz ve yazınız.

5. Güç kaynağını kapatınız.

2.2.1.3. Kapasitif Yük (hiçbir hat kapasitansı bağlı değil)



1. Bu ölçüm için güç faktörü bir kez daha 0.6 olacaktır fakat bu kez kapasitiftir. Dolayısıyla hat artık kapasitör bankaları ile yüklenmiş olmalıdır.

2. Güç Kaynağını kapatınız. Rezistif yük bankasının bağlantısını kesmek için S anahtarını açınız. İndüktif yükün bağlantısını kesiniz. Gücü açınız ve yukarıda açıklanan prosedürü takip ederek V_1 değerini 230V olarak ayarlayınız.

3. 1.6 A değerine mümkün olduğunca yakın bir akıma ulaşmak için kapasitif yük bankasını ayarlayınız.

4. Güç kaynağını kapatınız ve kapasitif yükün bağlantısını kesiniz. Gücü açınız V_1 değerini 230V olarak ayarlayınız. Daha sonra rezistif yük akımını I_A 1.2A olarak ayarlayınız.

5. Artık hem kapasitif hem de rezistif yükü paralel olarak bağlayınız. Toplam yük akımı artık yaklaşık olarak 2A ve güç faktörü 0.6 olacaktır. 0.6A'lık güç faktörüne ulaşmak için rezistif yükü ayarlayınız. Akımın daha sonra istenilen 2A değerinden sapabileceğine fakat bu ölçüm için güç faktörünün doğru olmasının daha önemli olduğuna dikkat ediniz. Tablo 2'de önerilen tüm akım değerleri için tekrarlayınız.

6. Her bir ölçüm için I_1 ve V_2 göstergelerini okuyunuz ve yazınız.

Tablo 2. Alınacak Değerler (V_1 sabiti = 230 V)

2.2.1.1-7 cos φ = 1	I_3 (A)	2.0	3.0	4.0	5.0
2.2.1.1-7 cos φ = 1	V_2 (V)				
2.2.1.2-4 indüktif cos φ = 0.6	I_3 (A)				
2.2.1.2-4 indüktif cos φ = 0.6	V_2 (V)				
2.2.1.3-6 kapasitans cos φ = 0.6	I_3 (A)				
2.2.1.3-6 kapasitans cos φ = 0.6	V_2 (V)				

2.3.Değerlendirmeler

1. 2.2.1.1-7 - 2.2.1.3-5 paragraflarındaki ölçümler için $V = f(I)$ karakteristiğini aynı diyagramda çiziniz.

2. $V_1 = 230V$, $I = 4A$ ve cos $\varphi = 0.60$ iken hat modeli için teorik çıkış gerilimini hesaplayınız. Deney 1'e ait sonuçlardan R ve X için hesaplanmış değerleri kullanınız. Sonuçları ölçülen değerler ile karşılaştırınız.

3. Çıkış geriliminin hat kapasitansı tarafından nasıl etkileneceğini açıklayınız.

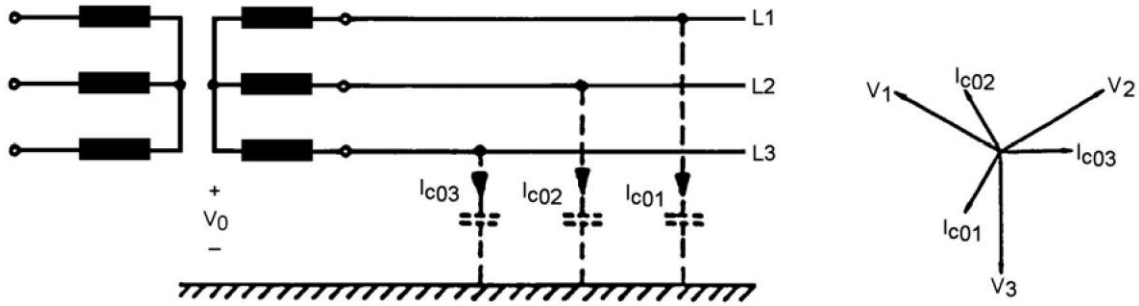
DENEY 3

İLETİM HATTI ÜZERİNDEKİ TOPRAK ARIZASININ İNCELENMESİ

3.1. Teorik Bilgi

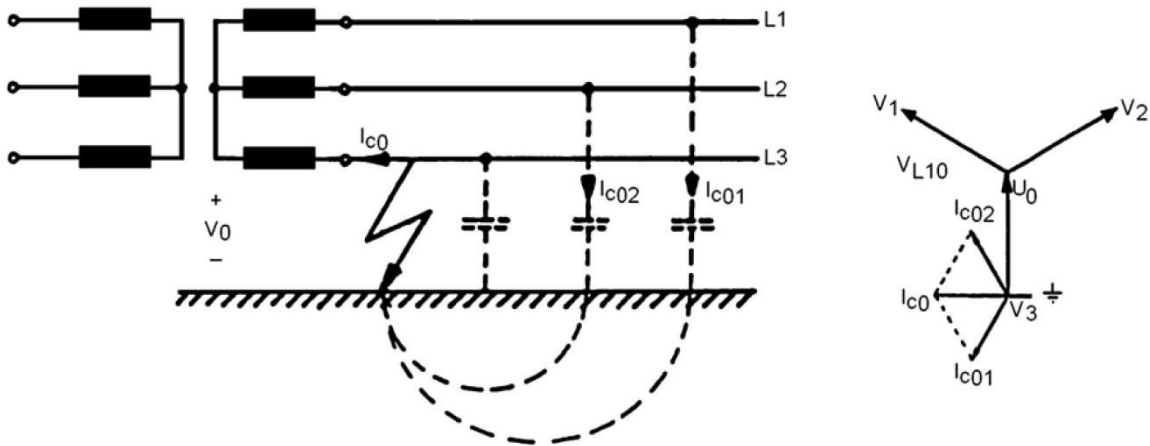
Yüksek gerilimler için üç-fazlı güç iletim hatlarında nötr çoğunlukla toprağa bağlı değildir. Bu nedenle bir faz iletkeni toprak ile temas gerçekleştirdiğinde onun hattı düşürmek amacıyla bir kesiciyi çalışma içerisine zorlayacak bir kısa devre akımına neden olması gerekli olmayacaktır. Bunun yerine hattın kapasitansına bağlı olarak hata yerinde bir akım olacaktır. Bu akım çoğunlukla kabul edilebilirdir ve aşırı akım korumasının aksamasına neden olmayacaktır.

Aşağıdaki şekilde normal durumu görebilirsiniz:



Şekil 3.1

Aşağıda bir önceki şeklin aynısını artık bir toprak hatası ile birlikte görebilirsiniz:

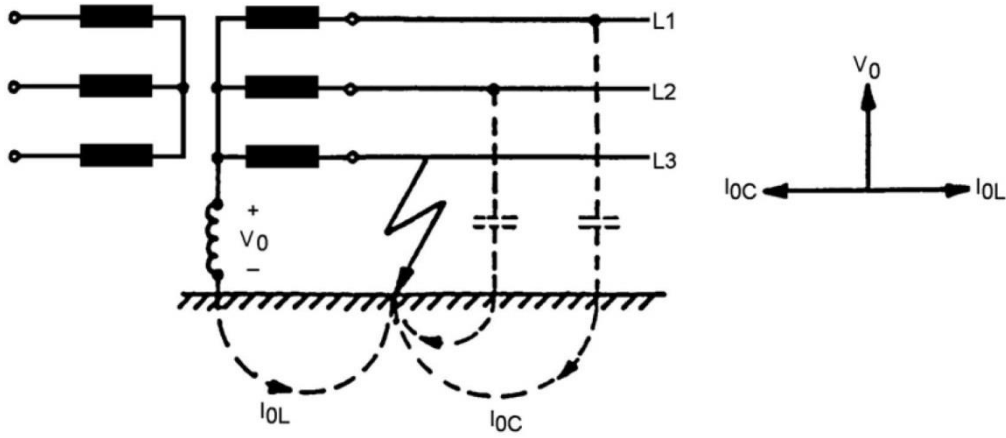


Şekil 3.2

Normal çalışmada simetri vardır ve V_0 nötr noktasının gerilimi sıfırdır veya sıfıra yakındır. Toprak hatasının bir sonucu olarak nötr nokta faz gerilim potansiyeli üzerinde olacaktır ve etkilenmemiş diğer iki faz toprak ile ilişkilendirilmiş hattan-hata gerilim seviyesi üzerinde olacaktır. Sonuç bağlı bileşenlerin hasar görmesi ve yalıtım hatasının gerçekleşebilmesi olabilir. Özellikle çok yüksek bir gerilim hattı üzerindeki ark riski örnek olarak bir yalıtkan bağda dikkate değer bir konudur.



Sıfır noktası ve toprak arasında bir indüktans bağlanarak (çoğunlukla "Petersen coil" olarak isimlendirilir) kapasitif olana nazaran 180 derece bir faz gecikmesine sahip olan indüktif akım kapasitif akımı dengeleyebilir böylece akımların toplamı sıfır veya sıfıra yakın olacaktır. Bu durum hata yerinde arkı yok etmek için çoğunlukla yeterlidir.



Şekil 3.3

Uygun olarak boyutlandırılmış bir bobin yani hattın toprak kapasitansına karşılık gelen bir bobin kullanarak; toprak hataları ile ilgili olarak belirli bir kapsam için kendini onaran bir hatta sahip olabilirsiniz. Sistem gerilimi ve koruma felsefesine bağlı olarak bu bobin bir nötr nokta rezistansı ile kombinasyon halinde kullanılabilir.

2

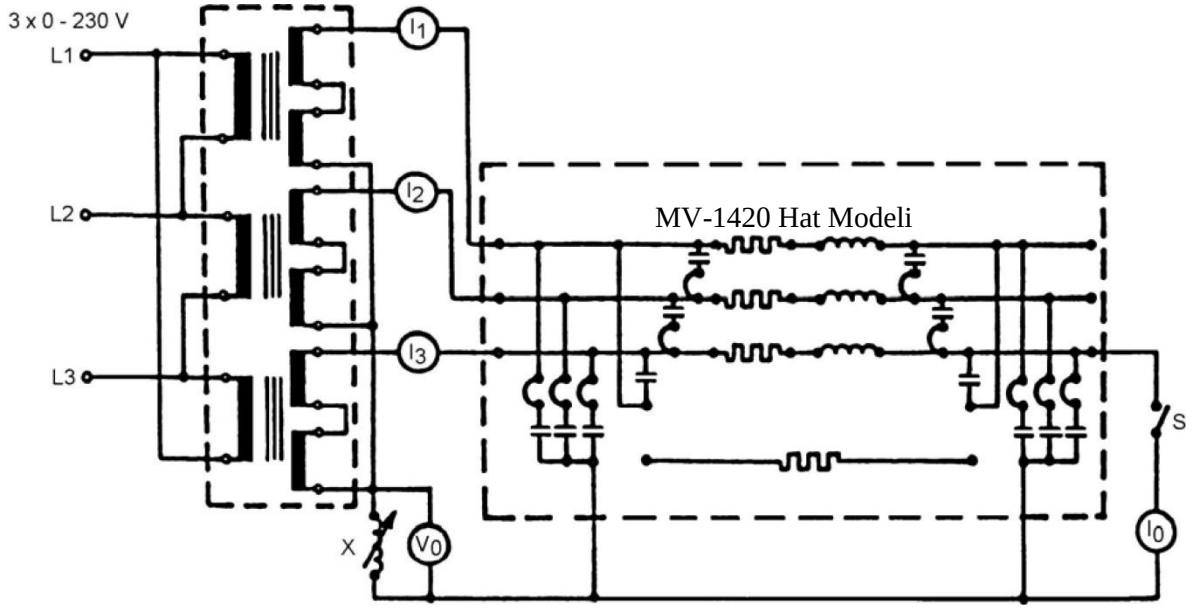
3.2. DENEY

Amaç

Bir iletim hattı üzerinde bir toprak hatasının sonuçlarını incelemek.

Deneyde Kullanılacak Elemanlar

MV1103 Ayarlı Transformatör (veya MV1300 Güç Paketi)	1
MV1915 Transformatör (T)	1
MV1923 Ampermetre 2 A (I_1 , I_2 , I_3)	1
MV1107 Yük Reaktörü 1-faz (X)	1
MV1926 Voltmetre 250V (V_0)	1
MV1500 Anahtar (S)	1
MV1923 Ampermetre 3A (I_0)	1



Şekil 3.4. Deney Bağlantı Şeması

Deney Adımları

- 1- Yukarıda gösterildiği gibi bağlantıları gerçekleştiriniz (Şekil 3.4)
- 2- Reaktör bankasını (X) sıfır yük konumunda ayarlayınız: henüz bağlı değil.
- 3- S anahtarı açılmalıdır: henüz toprak hatası yok.
- 4- Önceden ayarlı AC gerilimi bağlayınız, onu (hattan-hata gerilim) 230V değerine ayarlayınız, hem V_0 nötr nokta gerilimini hem de faz akımlarını okuyunuz. Sonuçları yazınız.
- 5- S anahtarını kapatarak L3-fazında bir toprak hatası gerçekleştiriniz. Yukarıdaki gibi akımları ve gerilimi okuyunuz ve değerleri yazınız. Daha sonra tüm değerleri tabloya yazdığınızda besleme gerilimini kapatınız.
- 6- Fazlar arasındaki kapasitansı sökünüz fakat toprak kapasitansı olduğu gibi kalsın. Besleme gerilimini bir kez daha bağlayınız ve akım değerleri ile gerilim değerini yeniden okuyunuz. Daha sonra bu değerleri yazınız. **Dikkat!** Bir toprak hatasını simüle etmek için S anahtarı **AÇIK** olmalıdır.
- 7- İndüktans bankasını I_0 en az değerine ayarlayınız.
- 8- Akım değerlerini ve gerilim değerini (V_0) okuyunuz ve bu değerleri sonuçlar tablosunda yazınız.
- 9- Üç faz şebeke gücünü kapatınız.

Ölçüm	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	V_0 (A)	I_0 (A)
3.2 – 4					
3.2 – 5					
3.2 – 6					
3.2 – 8					

3.3. Değerlendirmeler

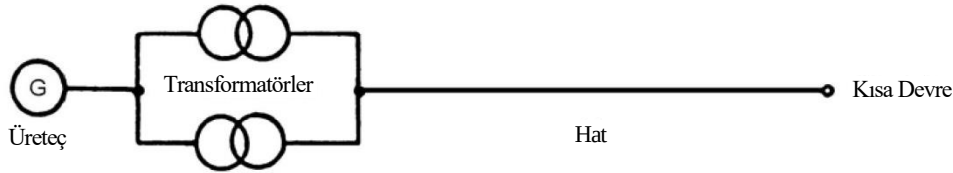
- 1- 3.2.6'ya göre kapasitans söküldüğünde niçin faz akımları değişiyor fakat toprak hata akımı değişmiyor, açıklayınız.
- 2- 3.2.6'daki ölçümlerden gerilim ve akım verilerine göre bir fazör diyagramı çizin. (Şekil 3.2 ile kıyaslayınız)
- 3- Bir toprak hatasını açıklayan ölçeklenmiş bir fazör diyagramından toprak hata akımını I_{C0} elde ediniz. Fazör diyagramının yardımıyla I_{C0} boyutunu bulunuz ve bu boyutun daha önceki sonuç ile eşleşip eşleşmediğini kontrol ediniz.
- 4- İndüktans bankası sürekli olarak değişebilir olsa da akımı tam olarak 0'a ayarlamak mümkün olmayacaktır. Bunun niçin olduğunu açıklamaya çalışınız.

KISA DEVRE TRANSFORMATÖRÜ VE ÇİFT TRANSFORMATÖR İLE HAT MODELİ ÜZERİNDE KISA DEVRE TESTİ

4.1. Teori

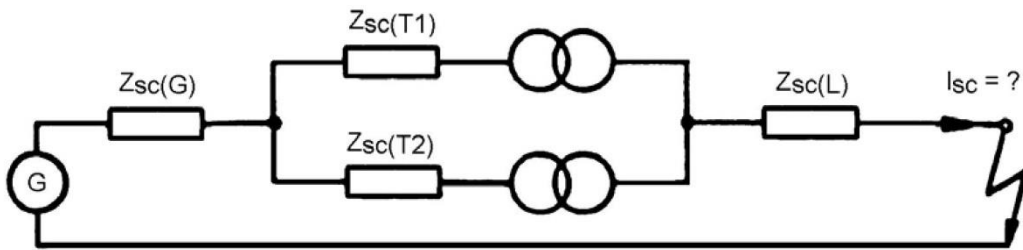
Tüm güç şebekelerinde, sistemin farklı parçalarındaki bir kısa devre nedeniyle ortaya çıkan akımın boyutunu veya hangi akımların sistemdeki diğer hata durumları nedeniyle ortaya çıkacağını bizim bilmemiz gerekir. Eğer biz bu bilgilere sahip olursak doğru koruma türünü seçebiliriz ve farklı hata türleri için iyi bir seçicilik seviyesini elde edebiliriz.

Kısa devre akımları tercihen daha düşük gerilimde doğrudan ölçülebilir. Eğer sistemdeki tüm bileşen verisi mevcut ise kısa devre akımı kolayca hesaplanabilir. Deneyde aşağıdaki devre diyagramı üzerindeki sisteme karşılık gelen iki transformatörlü (veya bir transformatör) bir üreteçten ve bir hattan oluşan iletim sistemini tercih ettik.



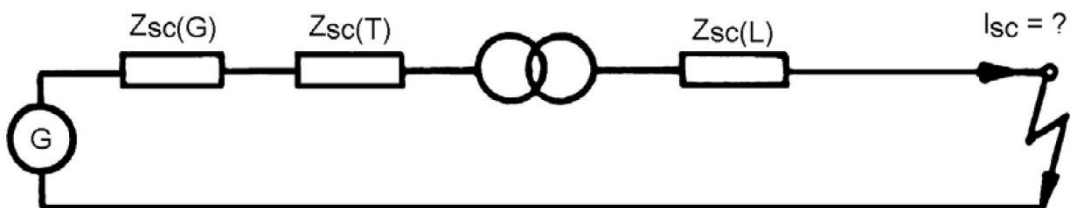
Şekil 4.1. Çift Transformatörlü Kısa Devre Modeli

Hesaplamaları kolaylaştırmak ve daha fazla anlaşılabilirlik sağlamak için yukarıdaki bileşenler kendi ilgili empedansları ile değiştirilir, böylece bir empedans haritası elde edilir. Yani bu transformatör ilgili empedans ile seri olacak şekilde ideal bir transformatör ile; üreteç bir empedans ile seri olacak şekilde bir gerilim kaynağı ile ve iletim hattı uygun bir şekilde bir empedans ile değiştirilir. Sonuç aşağıdaki diyagramda görülebilir:



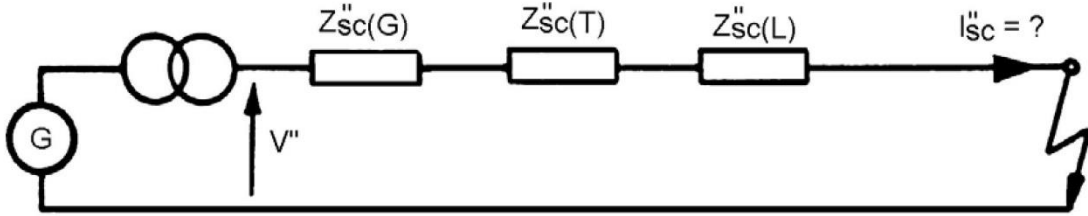
Şekil 4.2. Empedans Haritası

Aşağıdaki diyagrama bağlı olarak artık iki transformatörü basit bir transformatör ile değiştirebiliriz:



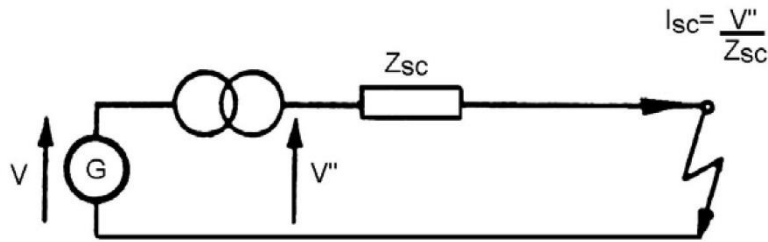
Şekil 4.3. Tek Transformatöre İndirgenmiş Model

Üreteç ve transformatör empedansları transformatörün sekonder tarafına dönüştürülecektir ve sonuç aşağıdaki diyagramda görüntülenecektir. Lütfen bizim bir gerilim seviyesini korumak zorunda olduğumuza dikkat ediniz (tercihen hata gerçekleşmeden önce hata konumunda geçerli bir seviye). Hesaplamaların doğru bir sonuç vermesi için tüm empedanslar bu gerilim seviyesine dönüştürülmelidir.



Şekil 4.4

Tüm empedanslar artık tek bir empedans ile değiştirilebilir ve daha sonra hem boyut hem de faz açısı ile ilgili kısa devre akımını hesaplamak mümkündür:



Şekil 4.5

(Örnek: Eğer empedans haritasındaki V_2 gerilim seviyesi üzerinde kullanılırsa V_1 gerilim seviyesi üzerindeki Z değeri $Z'' = Z \cdot (N_2/N_1)^2$ değerine dönüştürülecektir. Aynı zamanda bir transformatörün primer tarafı için Z_{sc1} değeri sekonder taraf üzerindeki $Z_{sc}'' = Z_{sc}(N_2/N_1)^2$ değerine eşittir.)

4.2. DENEY 1

Amaç

Bir transformatördeki kısa devre akımını ölçmek.

Deneyde Kullanılacak Elemanlar

MV 1103 Ayarlı Transformatör (veya MV1302)	1
MV 1915 Transformatör (T)	1

MV 1923 Ampermetre 6A (I)

1

MV 1926 Voltmetre 50V (V)

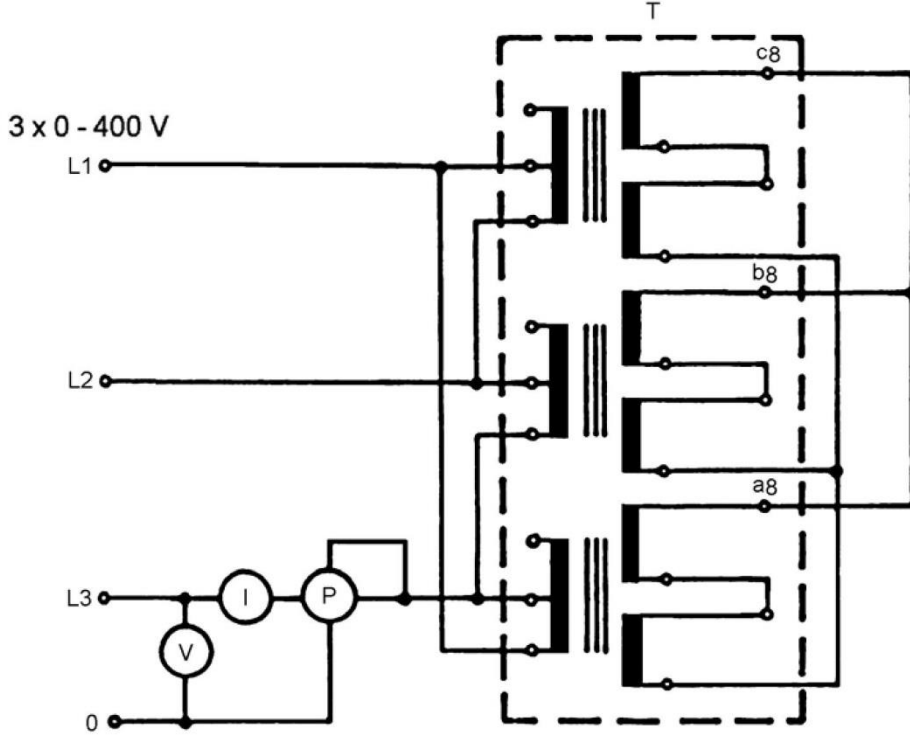
1

MV 1928 Wattmetre 50 V, 5A (P)

1

Deney Adımları

1. Aşağıdaki diyagramı anlayınız ve bileşenleri buna uygun olarak bağlayınız.

**Şekil 4.6**

Bu deney süresince transformatör Δ/Y - şeklinde bağlanmalıdır. Bu bağlantıdaki nominal güç 1.1 kVA olacaktır.

2. Üç-faz gerilimi bağlayınız ve akım değeri 5.25A'lık bir nominal akım değerine yaklaşıncaya kadar çok dikkatli bir şekilde gerilimi arttırınız.

3. Bir değer okuma gerçekleştiriniz ve gerilim (V), akım (I) ve güç (P) değerlerini yazınız (Deney 3'teki tabloda).

4. Üç-fazlı beslemeyi kapatınız. Deney 2 ile devam ediniz.

Dikkat!

Gerilim değeri çok küçük olduğundan dolayı (< 5 V) bu durum voltmetre ve wattmetre sapmasının doğru olarak okunmasında bazı problemlere neden olabilir. Bu nedenle eğer gerekliyse gerilimi ölçmek için ayrı bir multimetre kullanınız.

4.3. DENEY 2**Amaç**

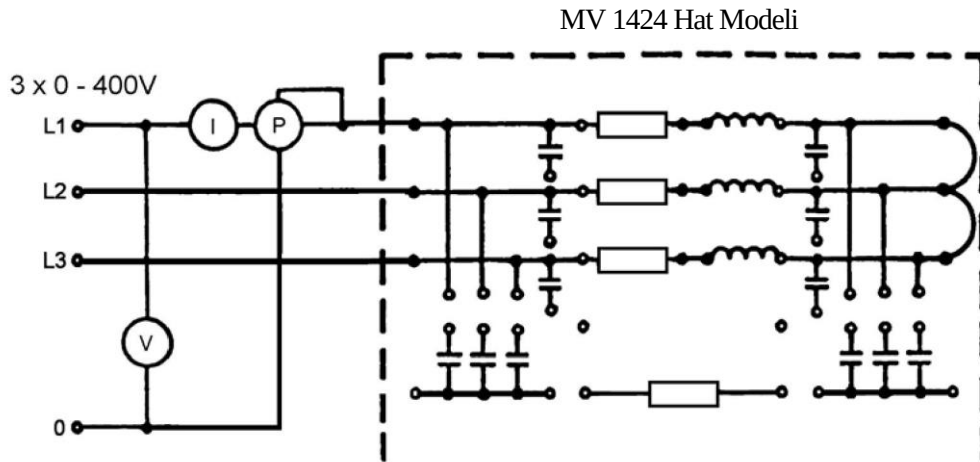
Hattın kısa devre akımını tespit etmek için hat modeli üzerinde kısa devre testi gerçekleştirmek

Deneyde Kullanılacak Elemanlar

MV 1103 Ayarlı Transformatör (veya MV1302)	1
MV 1424 3-Faz Hat Modeli	1
MV 1923 Ampermetre 6A (I)	1
MV 1926 Voltmetre 50V (V)	1
MV 1928 Wattmetre 50V, 5A (P)	1

Deney Adımları

1.



Şekil 4.7

Şekil 4.7'ye göre devreyi bağlayınız.

2. Her bir faz için hat modelindeki hem indüktanslar hem de dirençler üzerinde toplam direnci ölçünüz. 1-10 ohm aralığında yüksek doğruluklu bir ohmmetre kullanınız. Her bir faz için toplam direnci yazınız.

3. Üç-faz gerilimi açınız ve faz akımı 5A'lık bir değere ulaşmaya kadar gerilimleri yavaşça arttırınız.

4. Gerilim (V), akım (I) ve güç (P) değerlerini okuyunuz ve yazınız (Deney 3'teki tabloda).

5. Üç-fazlı beslemeyi kapatınız. Deney 3 ile devam ediniz.

Not: Aynı zamanda daha önce yaptığımız Deney 1'den de bu değerleri alabilirsiniz. Deneyin daha seri bir şekilde yapılabilmesi için ilgili veriler Deney 1'de bulunan veriler kullanılarak yapılacaktır.

4.4. DENEY 3

Amaç

Bileşik bir devrede kısa devre akımını ölçmek.

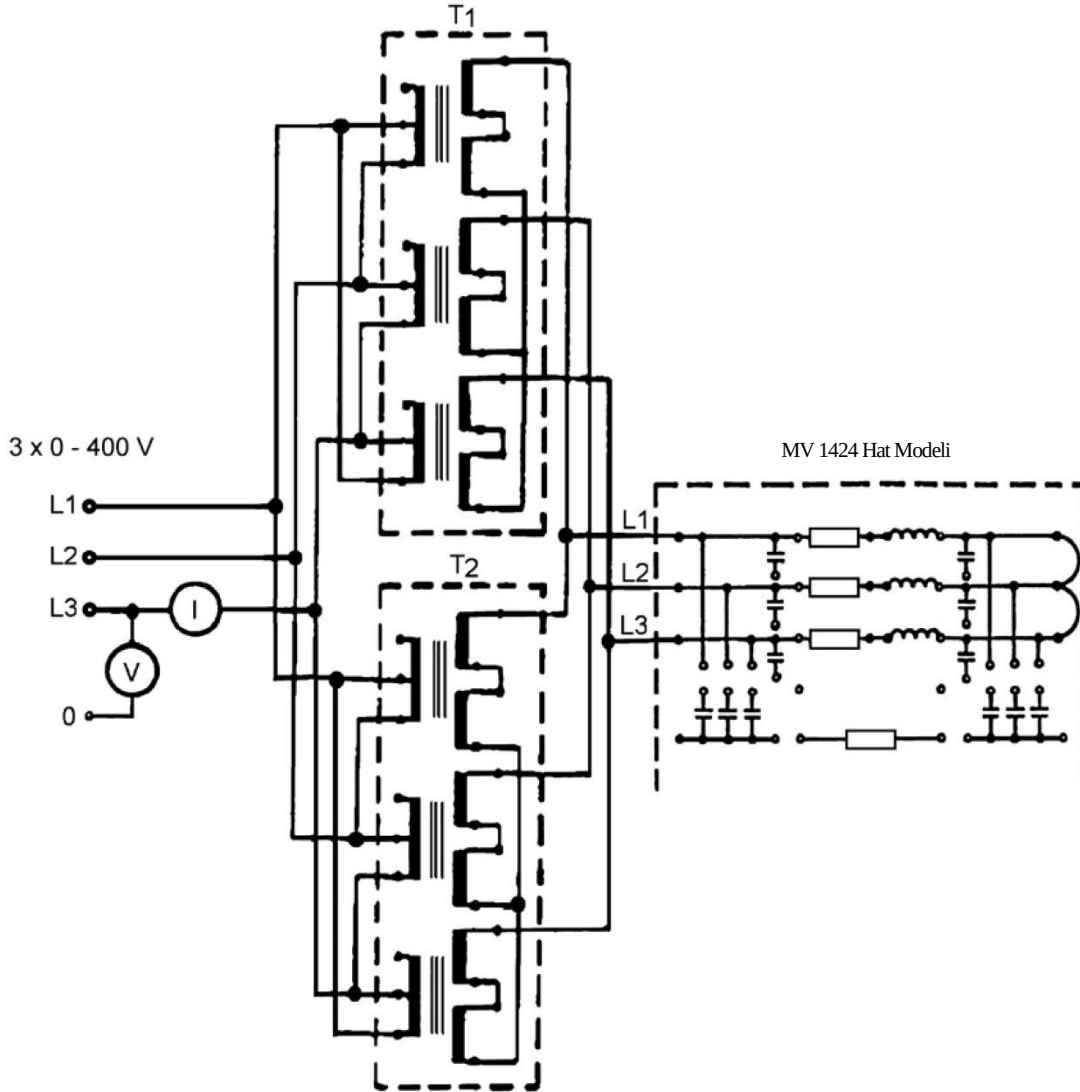
Deneyde Kullanılacak Elemanlar

MV 1103 Ayarlı Transformatör (veya MV1302)	1
MV 1424 3-Fazlı Hat Modeli	1
MV 1915 Transformatör (T1, T2)	2
MV 1923 Ampermetre 6A (I)	1
MV 1926 Voltmetre 50V (V)	1
MV 1928 Wattmetre 50V, 5A (P)	1

(Elbette bu deney sadece bir transformatör kullanılarak da gerçekleştirilebilir)

Deney Adımları

1. Devreyi aşağıdaki Şekil 4.8'e göre bağlayınız:



Şekil 4.8

2. Gerilimi açınız ve akım değeri 5.0A'e ulaşana kadar arttırınız.
3. Çift transformatör: Değer okumalarını gerçekleştiriniz ve gerilim (V), akım(I) ve güç (P) değerlerini yazınız.
4. Tek transformatör: Gücü kapatınız ve transformatörlerden bir tanesinin (her iki taraf) bağlantısını kesiniz. Gerilimi açınız ve akım değeri 5.0A'e ulaşana kadar arttırınız. Değer okumalarını gerçekleştiriniz ve gerilim, akım ve güç değerlerini yazınız.
5. Üç-fazlı beslemeyi kapatınız.

Deney 1,2 ve 3 için Tablo

Bölüm No- Deney Adımı	V (Volt)	I (Amper)	P (Watt)
4.2 – 3 (Kısa Devre Transformatörü)			
4.3 – 4 (Kısa Devre Hattı)			
4.4 – 3 (Tek Transformatör)			
4.4 – 4 (Çift Transformatör)			

6

4.5. Değerlendirmeler

1. Deney 1'in sonuçlarından transformatörün kısa devre empedansını $R_{sc(T)}$ ve $X_{sc(T)}$ hesaplayınız.
2. Deney 2'nin sonuçlarından hat modelinin hat empedansı $R_{sc(L)}$ ve $X_{sc(L)}$ yi hesaplayınız. Direncin zaten ölçülmüş olduğuna dikkat ediniz.
3. Transformatörün kısa devre empedansını sekonder tarafa dönüştürünüz:

$$R_{sc(T)}'' = R_{sc(T)} \cdot \left(\frac{V_{2n}}{V_{1n}} \right)^2 = R_{sc(T)} \cdot \left(\frac{230}{133} \right)^2 = R_{sc(T)} \cdot 3$$

$$X_{sc(T)}'' = X_{sc(T)} \cdot 3$$

4. Güç sisteminin tümü için kısa devre empedansını hesaplayınız. Paralel olarak bağlanmış çift transformatör aynıdır ve aynı kısa devre empedans değerlerine sahiptir. Onlar 3'ncü problemde hesaplanmış olan gibi yarı boyutta (empedanslar ile ilgili) bir empedans ile değiştirilebilirler. Toplam empedans aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanabilir:

$$Z_{sc}'' = \sqrt{(1/2 \cdot R_{sc(T)}'' + R_{sc(L)})^2 + (1/2 \cdot X_{sc(T)}'' + X_{sc(L)})^2}$$

Açıklama: Sadece bir transformatör kullanıldığında yukarıdaki formülden “1/2” çarpanını kaldırınız.

5. Kısa devre akımını hesaplayınız.

$$I_{sc}'' = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{sc}''} = \frac{230}{\sqrt{3} \cdot Z_{sc}''}$$

6. Deney 3'te ölçülmüş akımı bir kez daha Nominal gerilimdeki eşdeğer akımı hesaplamak için kullanınız.

$$I_{sc} = I \cdot \frac{V_n}{V} = I \cdot \frac{230}{V}$$

Kısa devre akımını sekonder tarafa dönüştürünüz.

$$I_{sc}'' = I_{sc} \cdot (133/230)$$

Bu değer daha önce 5'nci problemde elde edilmiş kısa devre akımı ile yaklaşık olarak aynı değeri vermelidir.

7. Gerçek bir güç hattının kısa devre akımını nasıl belirleyebileceğimiz ile ilgili olarak açıklamalarıyla birlikte bazı fikirler sununuz.

AC YÜKSEK GERİLİM ÜRETİMİ VE ÖLÇÜMÜ

Yüksek Gerilim Deneyleri için Güvenlik Düzenlemeleri

Ana Kural:

Bir yüksek-gerilim kurulum sahasına girmeden önce katılımcılar öncelikli olarak yüksek potansiyel olduğu tahmin edilen tüm iletkenlerin ve temas bölgesindeki çözeltilerin topraklandığından ve tüm şebeke hatlarının kesildiğinden emin olmalıdır.

Çitleme

Tüm yüksek-gerilim tesisatlarında tehlikeli bölgeye yetkisiz girişlere karşı bir koruma sağlanmalıdır. Bu koruma uygun bir şekilde metalik çitler yardımıyla gerçekleştirilir. 1 MV'ye kadar olan yüksek gerilimler için bu çitler kurulurken yüksek gerilimli bileşenlere karşı aşağıdaki minimum mesafeler aşılmamalıdır:

Alternatif ve doğrusal gerilimler her 100 kV için 50 cm

Darbe gerilimler her 100 kV için 20 cm

Gerilimin türüne ve değerine bağlı olmaksızın 50 cm'lik bir minimum mesafe daima korunmalıdır. 1 MV üzerindeki gerilimler için özellikle darbe gerilimlerinin anahtarlanması için bahsedilen bu değerler yetersiz kalabilir; özel koruyucu ölçümler daha sonra gerçekleştirilmelidir.

Bu çitler güvenli bir şekilde iletkenlere bağlanmalı, topraklanmalı ve şu mesajları içeren uyarı levhaları ile birlikte kurulmalıdır “Yüksek Gerilim! Dikkat! Çok Tehlikeli!”. Tesisat kullanımda iken bu çitler boyunca iletken nesne girişi yasaklanmıştır.

Emniyet Kilidi

Yüksek gerilim tesisatlarında her kapı güvenlik anahtarları ile donatılmalıdır; bu anahtarlar sadece tesisata gelen tüm ana şebeke hatları kesildiğinde kapıların açılmasına izin vermelidir. Doğrudan kesim yerine güvenlik anahtarları aynı zamanda kuruluma giden tüm ana şebeke hatlarının bağlantısını kesen ve kapıları açan bir güç devre kesiciye ait gerilimsiz röleyi çalıştırabilir.

Bu güç devre kesiciler aynı zamanda kapılar kapandığında da yeniden anahtarlanabilir. Bir yüksek gerilim şebekesinden (örnek olarak 10 kV şehir şebekesi) gelen doğrudan besleme için şebeke hatları ek bir açık izolasyon anahtarı ile tesisata giriş öncesinde gözle görülür bir şekilde kesilmelidir. Bir tesisatın anahtarlanmış durumu kırmızı bir ampul (tesisat açık) ve yeşil bir ampul (tesisat kapalı) ile gösterilmelidir.

Eğer bu koruma tesisattaki montaj ve demontaj işlemleri sırasında veya büyük modifikasyonlar esnasında devre dışı bırakılırsa tesisata giriş için alınması gereken tüm önlemler göz önünde bulundurulmalıdır. Burada şebeke hatlarının uygun bir şekilde kesildiğine özellikle dikkat edilmelidir. İzolasyon anahtarları veya diğer ayırma noktaları üzerinde ve tesisat ile ilgili denetim masası üzerinde “Açmayınız! Tehlikeli” ifadeleri yazan uyarı panoları bulunmalıdır.

Topraklama

Bir yüksek gerilim tesisatına sadece temas bölgesinde yüksek gerilim olduğu varsayılan tüm parçalar topraklandığında girilmelidir. Topraklama işlemi sadece çit içerisinde topraklanmış bir iletken ile gerçekleştirilebilir. Topraklama uçlarının topraklanacak parçalara bağlanması yalıtkan çubuklar yardımıyla gerçekleştirilmelidir. Aynı zamanda net bir şekilde görülebilen çalışma konumlu topraklama anahtarlarına izin verilebilir. Yüksek gerilim şebekelerinden elde edilen doğrusal beslemeli yüksek gerilim tesisatlarında topraklama işlemi topraklama izolatörleri ile gerçekleştirilmelidir. Topraklama sadece akım kaynağının kapatılması sonrası takip edilebilir ve sadece çit içerisinde artık hiç kimse yoksa veya topraklamanın kaldırılması sonrası tesisat boşta ise sökülebilir. Normal kullanım sırasında gerilim taşımayacak tesisata ait tüm metal kısımlar güvenli bir şekilde ve en az 1.5 mm²

Cu'luk uygun bir kesit ile topraklanmalıdır. Yüksek-gerilim şebekesinden gelen doğru beslemeli test tesisatlarında toprak bağlantıları ortaya çıkabilecek özel dinamik kuvvetler ile ilgili hususlar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir.

Devre ve Test Kurulumu

Tesisatın hazır kablolu bölümden sağlanmadığı bir durumda yüksek gerilim transformatörlerinin alçak gerilim devrelerine giden tüm hatlarda net bir şekilde işaretlenmiş yalıtım anahtarları sağlanmış olmalıdır ve bunlar çitin dışından kolayca tespit edilebilir bir şekilde düzene sokulmuş olmalıdır. Bu anahtarlar topraklama öncesinde ve tesisata giriş öncesinde açılmış olmalıdır.

Tesisat içerisindeki tüm kabloların döşenmesi gerekmektedir böylece gevşek ve asılı hiçbir uç kalmayacaktır. Arıza veya genel parlama sırasında yüksek gerilim taşıyacağı farz edilen alçak-gerilim kabloları ve ölçüm kabloları, kontrol kabloları ve/veya besleme kabloları gibi çitlenmiş alanın dışında kalan kablolar topraklanmış dirseklerde tesisat içerisinde döşenmelidir. Tesisatın tüm bileşenleri sıkı sıkıya sabitlenmeli veya askıya alınmalıdır, böylece bu bileşenler çalışma esnasında devrilmez veya kablolar tarafından aşağı düşürülmez. Araştırma amacı güden tüm tesisatlar için bir devre diyagramı çitli bölgenin dışında gözle net olarak görülebilecek bir konumda bulunmalıdır. Bir test tesisatı sadece devre kontrol edildikten ve yetkili bir personel tarafından verilen işe başlama izni verildikten sonra çalışma içerisine yerleştirilebilir.

Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Bu laboratuvarda deney gerçekleştiren herkes kendi inisiyatifiyle yerleştirilmiş tesisattan ve bu tesisat ile gerçekleştirilen deneylerden kişisel olarak sorumludur. Çalışma saatleri içerisinde gerçekleştirilen deneyler için kişisel güvenlik amacıyla test odasında ikinci bir kişinin olduğundan emin olunmalıdır. Eğer bu mümkün değilse o zaman en azından bir deneyin başlangıç ve bitiş zamanları ikinci bir kişiye bildirilmelidir. Çalışma saatleri süresince yüksek-gerilimler ile çalışılırken deney tesisatları ile aşına olan ikinci bir kişi aynı odada bulunmalıdır.

Eğer farklı kişiler aynı tesisat üzerinde çalışıyorsa herkesin özel bir deney için kimin anahtarlama işlemlerini gerçekleştirdiğini bilmesi gerekir. Yüksek gerilim tesisatları üzerinde anahtarlama işlemlerini gerçekleştirmeden önce hem kısa bir korna sinyali hem de “Dikkat! Anahtar Açılıyor!” çağrısının yapılması gerekir. Gürültülü deneyler sırasında bu oldukça önemlidir çünkü burada bulunan insanlar gürültü nedeniyle kulaklarını kapayabilirler. Eğer gerekliyse deneyin tamamlandığı ekipman kapatıldığında tek bir uzun ses veya “anahtar kapalı” çağrısı ile bildirilebilir.

Patlama ve Yangın Riski, Radyasyon Koruması

Yağ ve diğer yüksek oranda patlama riski olan materyaller ile gerçekleştirilen deneylerde patlama ve yangın riski nedeniyle özel bir dikkat gereklidir. İşin bu materyaller ile gerçekleştirildiği her odada uygun yangın söndürme cihazları kullanıma hazır olmalı ve hemen el altında bulunmalıdır. Yüksek oranda patlama riski olan artık ürünler, örnek olarak kâğıt ve kullanılmış pamuk artığı metal yerlerde hiçbir zaman bulundurulmamalıdır.

Deney 5.

EMNİYET TEDBİRLERİ!!!

Tüm katılımcıların deneylere başlamadan önce “Yüksek Gerilim Deneyleri için Güvenlik Yönergeleri” başlıklı bölümde açıklanan emniyet tedbirlerini sıkı sıkıya uygulamaları ve birbirlerini tanımaları önemli ve gereklidir.

5.1. Amaç

Alternatif gerilim birçok yüksek gerilim testi için gereklidir. İncelemeler bu gerilim türü ile doğrudan gerçekleştirilebilir ya da yüksek dc gerilim ve darbe gerilimlerinin üretimi için devrelerde kullanılır.

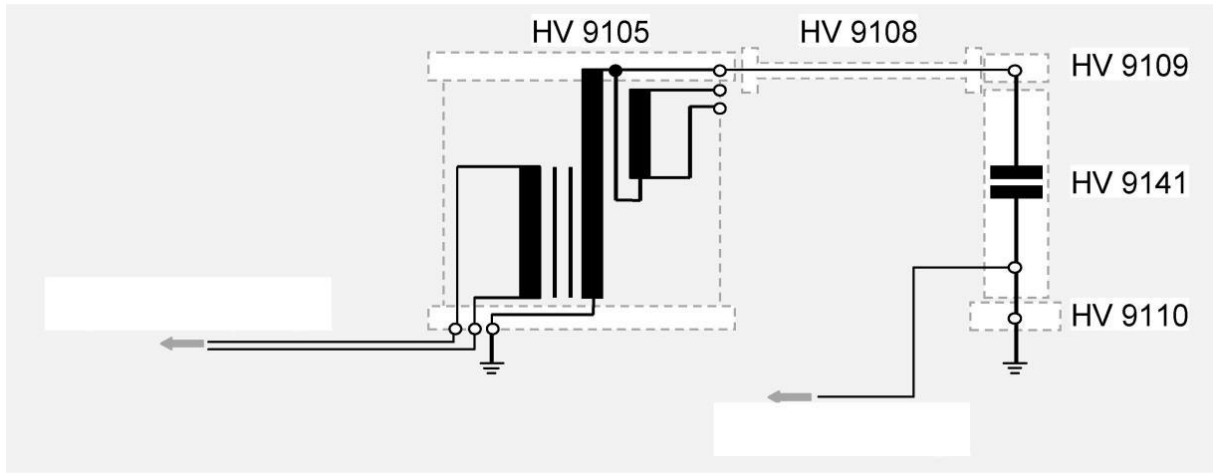
Bu deneyde bir Terco test transformatörü ile yüksek AC gerilim üretiminin nasıl gerçekleştirileceği incelenmektedir

5.2. Kullanılacak Ekipman

HV Test Transformatörü	HV9105
Kontrol Masası	HV9103
Ölçüm Kapasitörü	HV9141
AC Tepe Voltmetre	HV9150
Bağlantı Çubuğu	HV9108
Bağlantı Tablası	HV9109
Taban Pedestali	HV9110
Topraklama Çubuğu	HV9107

5.3. Test tesisi

Test tesisi transformatörden, bir ölçüm kapasitöründen, bir bağlantı tablasından, bir taban pedestalından ve aşağıda gösterilen elektriksel bağlantıdan oluşur:



Şekil 5.1 Kontrol masası aygıtları ile AC gerilim ölçümü için kullanılan devre

5.4. Giriş

5.4.1. HV Deneyinin Kurulması

AC yüksek gerilimi 220V/100kV Test Transformatörü (HV9105) kullanılarak Laboratuvar'da üretilmektedir. Bu gerilim kontrol masasından kontrol edilir. Yüksek gerilim deneyleri metal bariyerler ile çevrelenmiş özel HV deney alanlarında gerçekleştirilmelidir. Güç kaynağı tesisatlı kontrol masaları, güvenlik devreleri ve ölçüm cihazları standart ekipmanları oluşturur. Gerilim ölçümü sırasında transformatörün birincil gerilimini ölçmek amacıyla bir cihaz ve bir AC tepe voltmetre (HV9150) her masada bulunmalıdır. Katılımcılar bu deneyi gerçekleştirmeye başlamadan önce kendi işleri ile ilgili olarak birbirlerini tanımalı ve Kontrol Masası (HV9103) devresini incelemiş olmalıdır. Bu deneyde gücün kontrol masasında sağlandığı ve kapı kontağının bağlanmış olduğu varsayılmaktadır.

5.5. Yüksek Alternatif Gerilim Ölçüm Yöntemleri

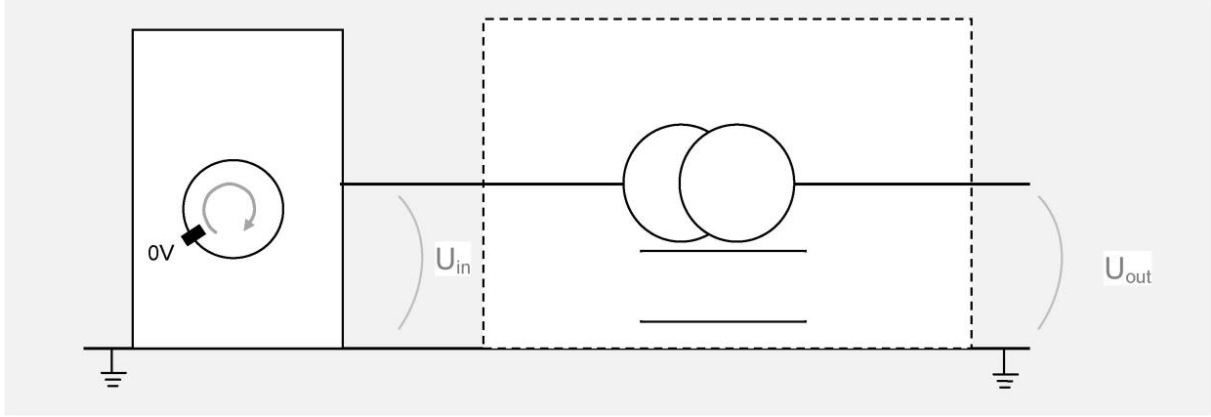
Yüksek AC gerilimler farklı yöntemler ile ölçülebilir:

- Birincil giriş gerilimi ve dönüştürücü oranı üzerinden Urms ölçümü
- Bir AC ölçüm kapasitörü (HV9141) vasıtasıyla tepe voltmetreli (HV9150) $\hat{U}$ ölçümü

Dönüştürücü Oranı

Transformatörün birincil giriş geriliminden ve dönüştürücü oranı üzerinden Urms değerini hesaplamak için ilk olarak bu değerlerin tespit edilmiş olması gerekir.

HV 9103 Kontrol Masası 0-220/230 VAC arası kullanıcı-regüleli bir çıkış gerilimi sağlar. Bu gerilim HV9105 dönüştürücünün birincil bölgesini besler.



Şekil. 5.2 Basitleştirilmiş Transformör Devresi

U_{out} değeri basitçe U_{in} değerinin dönüştürücü oranı ile çarpılmasıyla hesaplanabilir:

$$U_{out} = 450 \times U_{in}$$

Ölçüm Kapasitörü

Terco HV tesisatında AC gerilim değerini bulmanın en kolay ve en sık kullanılan yöntemi bir ölçüm kapasitörünün kullanılmasıdır.

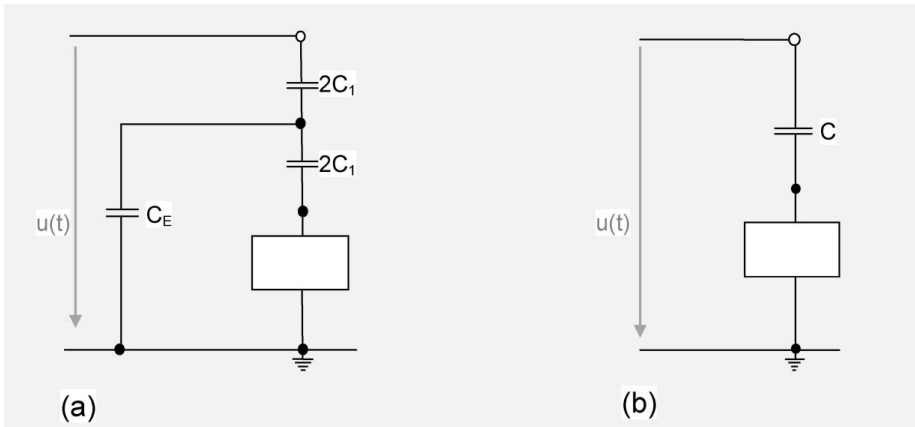
Yüksek gerilim kapasitörleri yüksek alternatif gerilimlerin cihazlar ile kolayca ölçülebilecek değerlere düşürülmesinde oldukça kullanışlıdır.

Yükleme

Gerilim kaynağı üzerindeki yüklemeyi mümkün olduğunca düşük tutmak için C_1 HV kapasitörü mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır. (bizim durumumuzda HV9141 için 100pF)

Doğruluk

Kapasitörler ile gerçekleştirilen yüksek-gerilim ölçümünün doğruluğu sadece C_1 kapasitörü etkileyebilecek ortam ile sınırlıdır. Bu durum aşağıdaki devrede (a) CE olarak belirtilmiş toprak kapasitansı tarafından



Şekil 5.3 (a) Toprak Kapasitanslı (b) Eşdeğer Kapasitans, C

Ölçüm devresi düşük-gerilim çıkış terminalinde bağlıdır.

C1 Birincil kapasitansı ile belirlenmiş ölçüm devresi üzerinden geçen akım için toprak kapasitans etkin birincil kapasitansı şu değere indirger:

$$C = C_1 \frac{1}{1 + \frac{C_E}{4 \times C_1}} \approx C_1 \left(1 - \frac{C_E}{4 \times C_1}\right)$$

Toprak kapasitansın homojen dağılımı varsayımı altında C1’de temsil edilen CE değerinin toplam toprak kapasitans değerinin 2/3’üne eşit olduğu görülebilir.

Silindirik bölücüler için Ce değeri 12 - 20 pF/m yükseltide hesaplanabilir.

Kapasitans değişim etkisi yeterli ölçüm doğruluğunu sağlamak için küçük tutulmalıdır. Bu durum pratikte yüksek gerilim kapasitörleri sabit yapılarak (daima aynı Ce) elde edilebilir.

5-6. Deney ve prosedür

Gerilim değerini yavaş yavaş artırınız. Elde edilen verileri aşağıdaki tabloya kaydediniz.

Sonuçlar Tablosu Birincil Hesaplanan İkincil Gerilim Gösterilen İkincil Gerilim
(regüle edilmiş) Gerilim

20 V

40 V

60 V

80 V

100 V

150 V

5

Not! Kafese girerken mutlaka herhangi bir potansiyel canlı güç kaynağını deşarj etmek amacıyla topraklama çubuğunu kullanınız.

5.7. Değerlendirme

1. HV 9150 AC Voltmetre üzerinde görüntülenen değerler dönüştürücü oranı kullanılarak hesaplanan teorik değerleri yansıtıyor mu?
2. Eğer bu değerler birbirleriyle uyumuyorsa buna neden olan bazı muhtemel sebepler nelerdir?

İZOLATÖRLERDE KİRLENME ATLAMASI

AC Yüksek Gerilim Ölçme Düzeneği ile gerçekleştirilen devreye test objesi bağlanarak deney gerçekleştirilecektir. Bu test objesi çeşitli izolatörler, kablolar veya yüksek gerilim dayanımı ölçülmek istenen bir eleman olabilir. Deneyde nemli bir izolatör üzerindeki kirlenme atlaması olayı incelenecektir.

6.1. Kirlenme Atlaması

Yüksek gerilim harici tip izolatörler; kıyıya yakın bölgelerde tuzdan, endüstriyel alanlarda toz ve kimyasal artıklardan dolayı kirlenmeye maruz kalırlar. Böyle bir izolatör kuru iken çok küçük bir kapasitif kaçak akım geçer ve gerilim dağılımı basit olarak elektrostatik alanla tanımlanır. Kir tabakasının yağmur, sis, rutubet vb. etkenlerle ıslanması sonucu iletken hale gelen kirli yüzey boyunca akan kaçak akımlar yüzeyde enerji kaybına sebep olurlar. Enerji kayıp yoğunluğunun büyük olduğu, özellikle izolatörün dar kısımlarındaki kirli bölgeler daha fazla ısınarak kurur ve “kuru bant” denilen kısımların oluşmasına yol açarlar. Bunun sonucunda yüzey boyunca gerilim dağılımı bozularak, homojen olmayan bir yapıya dönüşür. Kuru bant bölgelerindeki gerilim düşümü havanın dayanımını aşınca öndeşarjlar oluşur. Öndeşarjlar çoğunlukla söner; bazı şartlarda ise, yüzeye yayılarak kısa devre ile sonuçlanan atlama olayını meydana getirirler. Atlama sonucu meydana gelen yüksek akımlı ark enerjinin kesilmesine, birçok izolatörün tahrip olmasına ve hatta enerji nakil hattının eriyerek kopmasına sebep olabilir.

Bir yüksek gerilim izolatöründe kirlenme atlaması için üç ana şart veya beş kademe gereklidir.

1

1- İzolatör yüzeyinde iletken kir filminin teşekkülü

a) İzolatör yüzeyinin kir tabakası ile kaplanması

b) Kir tabakasının rutubet tesiri ile ıslanması

2- Kirli izolatör yüzeyinde öndeşarjların teşekkülü

a) Kuru bantların oluşması

b) Kuru bantlar boyunca öndeşarjların tutuşması

3- Öndeşarjların yüzey boyunca yayılması ve kısa devre

Eğer bu beş kademeden herhangi biri tamamen kontrol altına alınabilirse, kirlenme atlaması problemi kesin olarak çözülecektir.

Pratikteki gözlemlerden izolatör yüzeyinde kaçak akımın 100-200 mA değerine ulaşması halinde atlamanın meydana geldiği görülmüştür. Ancak sızma akımının değeri ile atlamanın meydana gelip gelmeyeceği arasında kesin bir bağıntı kurmak mümkün değildir.

6.2. Atlama Gelişiminin Fazları

Yüksek iyonizeli arkın tamamlanması tablo 6.1’de özetlenen birkaç aşamada meydana gelir. Bu durum şekil 6.1’de şematik olarak açıklanmıştır.

Atlama aşamaları şunlardır:

- 1- Yüzey tabakasının ısınması, iletkenlik ve akımın artmasına sebep olur (Şekil 6.1.a).
- 2- Devam eden ısı, yüzey tabakasında kısmi kurumalara yol açar (Şekil 6.1.b-c).
- 3- Daha fazla ısınma, kuru bantlar oluşturur (Şekil 6.1.d).

4- Kuru bantlar üzerinde düzensiz hava kırılımı nedeniyle, 4 kV/cm’lik alan şiddetlerinde, kısmi arkların başlaması kirli izolatlara has bir davranıştır. Yerel ısı konsantrasyonu, kısmi arkların pozisyonlarını kuru bantlar boyunca yana doğru değiştirmelerine sebep olur (Şekil 6.1.d-e-f). Ark sönümü, parıltı başlangıcı ve kuru bölgeler üzerinde hareketli deşarjların başladığı yerler en yüksek gerilim değişimlerine sahiptir. Bu safha kirli izolatlardan yayılan yoğun radyo gürültülerinin sebebi olup, şekilde gösterilmemiştir.

5.a- Birçok kısmi arkın birleşmesiyle, izolatörü kaplayan bir tek büyük ark oluşur. Bu ark ısı etki ile değişik yönlerde yayılır (Şekil 6.1.i). Bu arada ark sönümü ve dolayısıyla ikinci safhaya dönüş olabilir.

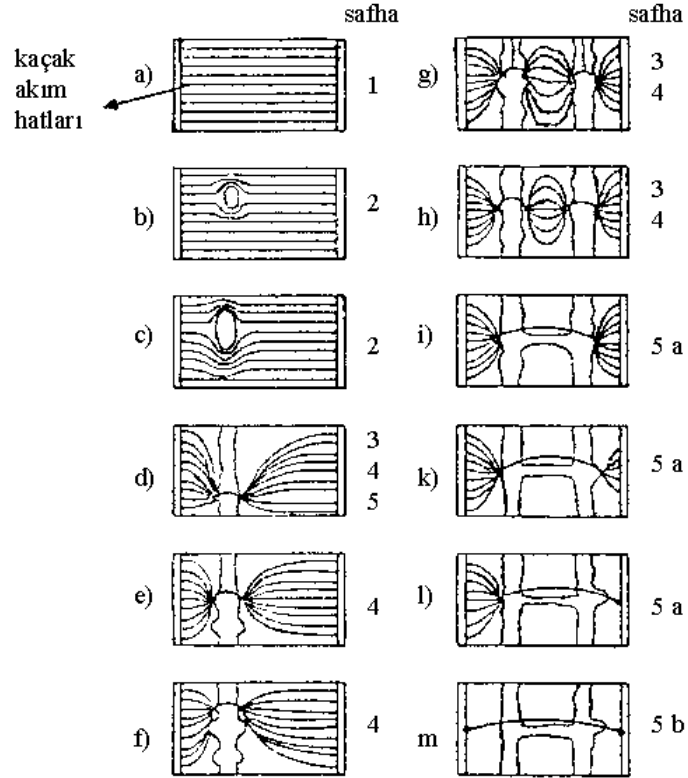
5.b- Ark uçlarının ıslak iletken tabaka boyunca hızlı süpürme hareketi, arkın tamamlanmasına ve atlamaya götürebilir (Şekil 6.1.m). Sızma aralığının köprülenen son kısmı kuru bir yol izlemez.

İlk dört safha kolayca anlaşılır, dakikalar veya saatlerce sürebildiklerinden gözlenmeleri kolaydır. Son safha ise, her cm için birkaç yüz voltluk gerilimlerde sızma aralığı boyunca istenmeyen atlamalara sebep olur. Son safhanın ilk kısmı ısı hareketlerle değerlendirilebilir. Sızma aralığı boyunca izolasyon dayanımını 200-400 V/cm’ye düşüren de bu son safhadaki ark uçlarının hızlı süpürme hareketidir. Son safha elektrotlar arasındaki ark nedeniyle izolasyon şiddetinin düşmesinin sebebidir.

Tablo 6.1. Atlama olayının gelişimi

	Safha	Kir tabakası	Deşarj şekli	Akım
1	Yüzey tabakası ısınır	İletkenlik artar	Yok	Artar
2	Yüzey tabakası kurur	İletkenlik kısmen azalır	Yok	Azalır
3	Kuru bant şekillenir	Enine kısmi kuruma	Yok	Sıfır
4	Kısmi ark tutuşması	İletkenlik azalır	Enine ark	Yavaş artar
	İşıltı ve buhar deşarjı	İletkenlik artar	İşıltı ve parazit	Küçük ve dalgalı

5.a	Ark büyümesi			
1°	Isıl	Kuru bant daha büyür	Ark büyür	Yavaş artar
2°	Elektrostatik	Artık kurumaz	İzolatörde atlama	Hızla artar
5.b	Atlama	Kısmen kurumuş	Ark	Kısa devre



Şekil 6.1. Kirlenme atlamasının safhaları

YÜKSEK DARBE GERİLİMLERİNİN ÜRETİLMESİ

Amaç

Bu deneyin amacı bir test transformatörü kullanarak darbe gerilim üretimini ve ölçümünü incelemektir.

Not: Doğrusal gerilim deneylerinde ekstra bir dikkat gereklidir, çünkü birçok devrede yüksek-gerilim kapasitörleri gerilimin kesilmesi sonucunda bile uzun bir süre boyunca kendi gerilimlerini tam olarak korumaya devam ederler. Topraklama yönergeleri sıkı sıkıya uygulanmış olmalıdır. Hatta hiç kullanılmamış yeni kapasitörler tehlikeli yükler edinebilirler!

7. YÜKSEK DARBE GERİLİMİ

7.1. Genel Bilgi

Yüksek gerilim teknolojisinde; yüksek darbe gerilimler, yıldırım (LI) ve anahtarlama (SI) aşırı gerilimlerin yol açtığı zorlanmaları yüksek gerilim deneylerinde temsil edebilmek, malzemelerin yüksek gerilime dayanım mekanizmaları ile ilgili temel araştırmalar yapmak ve üretilen elektromekanik ürünlerin ulusal/uluslararası standartlara uyumluluğunu deneylerle belirlemek için gerekmektedir.

Gerek elektromekanik sanayi üreticilerinin ürettiği ürünlerin rutin yüksek darbe gerilim dayanım deneylerinde, gerek araştırma geliştirme faaliyetleri yürüten laboratuvarlarda, gerekse yüksek gerilim konusunda kalibrasyon hizmeti veren kurumlarda sinyalin ölçülmesi aşamasında, doğru ve güvenilir bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Darbe gerilim ölçümlerinde darbe voltmetreleri, standart osiloskoplar ve özel kayıt özellikli dijital kaydediciler kullanılmaktadır.

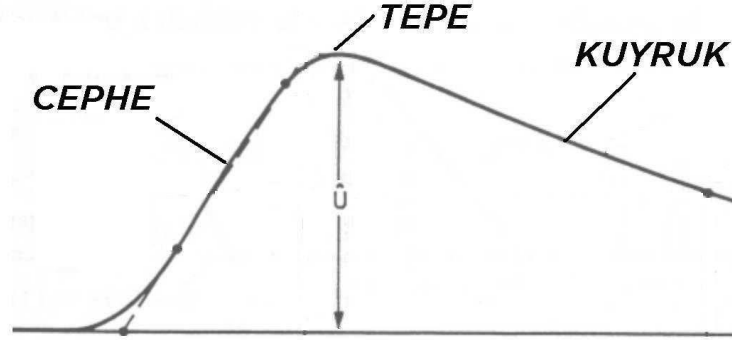
Darbe voltmetrelerini darbe gerilim ölçümlerinde kullanmak yeterli olmamaktadır. Çünkü bu cihazların darbe işaretlerinde zaman parametreleri belirleme özellikleri yoktur. Standart osiloskoplar ile darbe gerilim ölçümlerinde genlik ve zaman parametrelerini ölçmemiz mümkündür, fakat kullanıcı genlik ve zaman parametrelerini bulurken osiloskobun kaydettiği işaret üzerinde genlik ve zaman ayar düğmelerini elle hareket ettirerek genlik ve zaman parametrelerinin olduğu noktaları belirler ve çeşitli matematiksel işlemleri yaptıktan sonra işaretin genlik ve zaman değerlerini belirler. Bu yöntem uzun zaman alan ve hataya açık bir yöntemdir. Özel kayıt özellikli sayısal kaydediciler, darbe yüksek gerilim çalışmaları için en ideal cihazlardır. Diğer sistemlerde kullanıcının yaptığı ölçme ve hesaplamaları özel olarak hazırlanmış olan yazılım otomatik olarak yapar.

7.2. Yüksek Darbe Gerilimi Nedir?

Yüksek darbe gerilimi, kısa süreli, tek kutuplu ve yüksek frekanslı bir DC yüksek gerilim türüdür. Bu gerilimler, kendi aralarında yıldırım ve anahtarlama darbe yüksek gerilimler olarak ikiye ayrılırlar. Uygulamalarda darbe yüksek gerilimler, doğada oluşan ve yük boşalması biçiminde açıklanabilen yıldırım gerilimin (yıldırım darbesinin) ve bir şebekede anahtarlama ve kısa devreler sırasında ortaya çıkan darbelerin (anahtarlama darbesinin) benzerinin, laboratuvar koşullarında yapay olarak üretilmesine yarayan üreteçler kullanılarak elde edilmektedir. Bu üreteçlere Marx üreteçleri adı verilmektedir.

Bir darbe gerilimini tanımlayan dört temel karakteristik büyüklük vardır. Bunlar, T_1 cephe süresi, T_2 sırt yarı değer süresi, $\hat{U}$ gerilimin tepe değeri ve gerilimin kutbudur. Ayrıca, gerilimin zamanla

değişimi yani dalga şekli de önemlidir. Şekil 7.1’de gösterilen bir darbe geriliminin türü; tepe değeri, cephe süresi, kuyruk (sırt yarı değeri) süresi ile belirlenir.



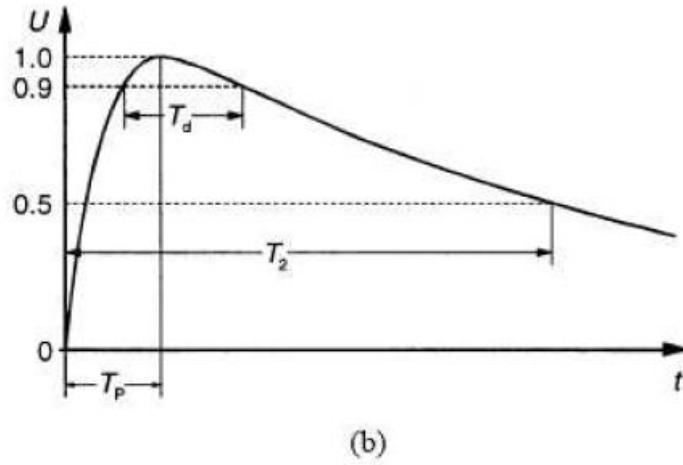
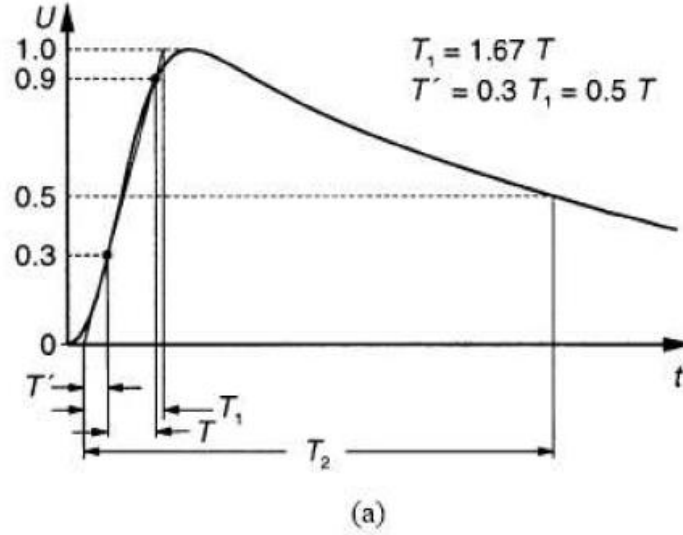
Şekil 7.1. Yüksek darbe gerilimi dalga şekli

Standart tür bir darbe gerilim, standart dışı bir salınım yapmadan hızla bir $\hat{U}$ tepe değere yükselir ve daha yavaş bir şekilde sıfıra düşer. Darbe gerilim devamı sırasında yüksek gerilim devresinde istemli ya da istemsiz bir delinme (breakdown) olursa, darbe gerilimin ön cephesinde, tepesinde veya kuyruk kısmında ani bir düşme gerçekleşir. Bu tür gerilimlere kesik darbe gerilim denir.

7.3. Yüksek Darbe Gerilimlerin Ölçülmesi Neden Önemlidir?

IEC 60060-1 ve IEC 60060-2 standartlarında belirtilen ve şekil 7.2’de dalga şekilleri verilen standart yıldırım ve anahtarlama darbe gerilimler, elektromekanik cihazların çeşitli yüksek gerilim deneylerinde kullanılmaktadır. Deney gerilimleri birkaç yüz kV mertebesinde MV mertebesine kadar uzanmaktadır.

Malzemelerin ve ürünlerin doğada gerçekleşen yıldırım gerilimlerine dayanım mekanizmaları ile ilgili araştırma geliştirme yapmak için ve üretilen malzeme ve elektromekanik ürünlerin ulusal ve uluslararası standartlara göre uygunluğunu belirlemek amacıyla yapılan deneylerin gerçekleştirilmesi için gerekli ve önemlidir.



Şekil 7.2. (a) Standart yıldırım darbe dalga şekli ($T_1 = 1.2 \mu s$ ve $T_2 = 50 \mu s$)
(b) Standart anahtarlama darbe dalga şekli ($T_p = 250 \mu s$ ve $T_2 = 2500 \mu s$)

7.4. Yüksek Darbe Gerilim Çeşitleri

Elektrik güç iletim ve dağıtım sistemlerinde sıklıkla bozulmalara neden olan üç çeşit yüksek darbe gerilim tipi vardır. Bunlar; yıldırım darbe, anahtarlama darbe ve kesik darbe gerilimleridir.

7.4.1. Yıldırım Darbe Gerilimler

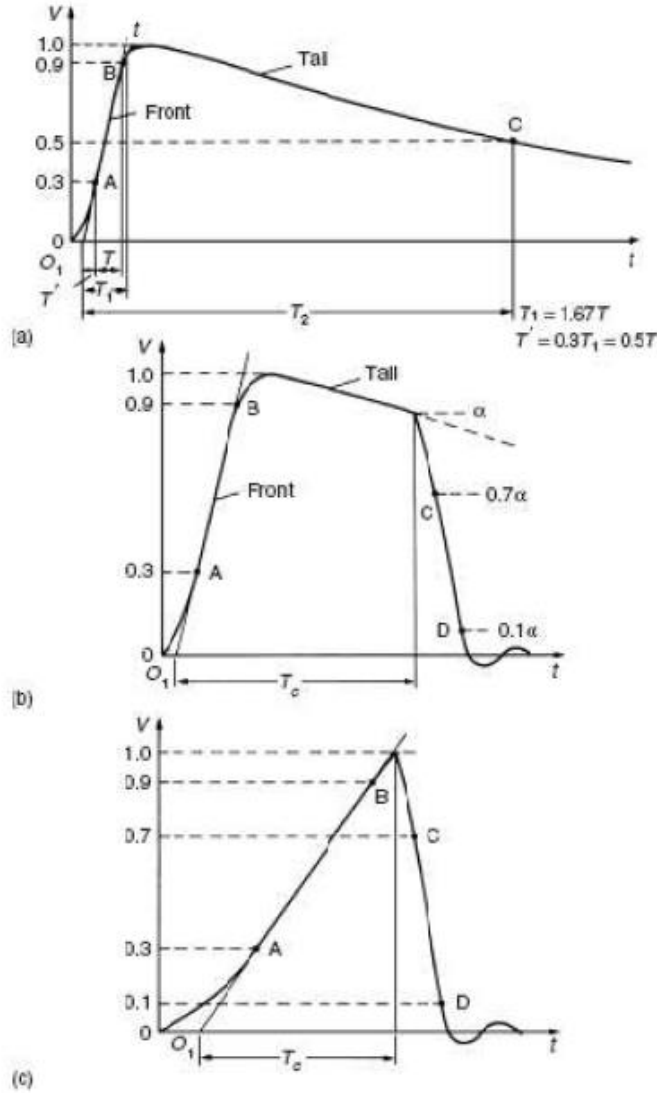
Doğada yıldırımların neden olduğu aşırı gerilimlerin tepe değere ulaşma süresinin $1 \mu s$ mertebelerinde olduğu darbe yüksek gerilim tipidir. Yıldırım darbelerinin etkileri genellikle, iletim ve dağıtım hatlarına veya trafo merkezlerine yıldırımın düşmesiyle ortaya çıkmaktadır. Darbelerin genlikleri yaklaşık olarak 1000 kV ve üzerindedir. Ayrıca her yıldırım darbe, iletim hattında genliği maksimum izolasyon dayanım seviyesinde ve yaklaşık 100 kA değerlerinde olan yürüyen darbe akımlarının oluşmasına neden olur. Yürüyen dalgaların dik yükselen kenarı ve dik düşen kenarı, güç transformatörlerinin ve diğer yüksek gerilim cihazlarının izolasyonları üzerinde aşırı gerilimler oluşturarak çok yüksek seviyedeki gerilimlerde birdenbire izolasyonun delinmesiyle atlamalara neden olur. Darbe geriliminin tepe değerinin %30 ve %90'ı arasında kalan sürenin 1.67 ile çarpımı T_1 süresini, yani cephe süresini verir. Darbe geriliminin başlangıç noktası ile tepe değerinin %50'sine düştüğü nokta arasında kalan süre T_2 süresini, yani sırt yarı değer süresini verir.

7.4.2. Anahtarlama Darbe Gerilimler

Elektromekanik aygıtların açma-kapama olaylarında ortaya çıkan ve iç aşırı gerilimlerin cephe süresinin 200 μ s mertebelerinde olduğu yüksek darbe gerilim tipidir. Bu tip darbelerin genliği daima uygulama gerilimi ile ilgilidir ve darbenin şekli sistemin empedansı ve anahtarlama koşullarına bağlıdır. Gerilimin yükselişi yıldırım darbe gerilim tipine göre daha yavaştır, fakat bu dalga şekli bilindiğinin aksine yalıtım sistemleri için çok daha tehlikeli olabilmektedir. Darbe geriliminin tepe değerinin %30 ve %90'ı arasında kalan sürenin 1.67 ile çarpımı ile T_p tepe değer süresi belirlenebilmektedir. Darbe geriliminin başlangıç noktası ile tepe değerinin %50'sine düştüğü nokta arasında kalan süre ise T_2 sırt yarı değer süresi olarak kabul edilmektedir.

7.4.3. Kesik Darbe Gerilimler

Standart yıldırım darbe işaretinin kendini tamamlayamadan işaretin aniden cephesinde veya kuyruk kısmında sıfıra düşmesiyle oluşan darbe yüksek gerilimlere kesik darbe gerilimler denir (Şekil 7.3).



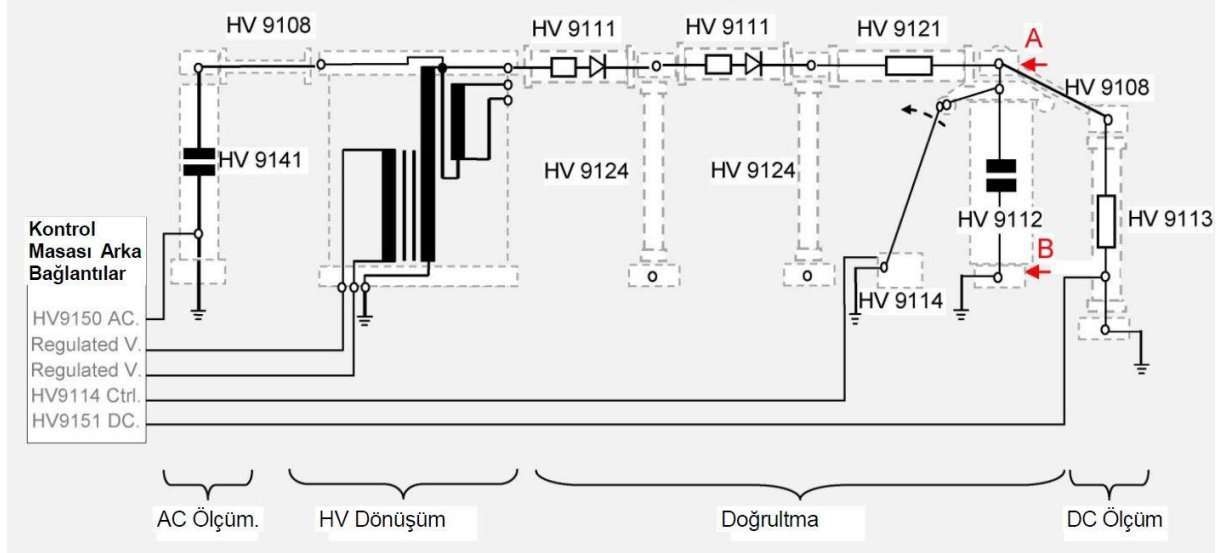
Şekil 7.3. Yıldırım darbe gerilim dalga şekli (LI)

(a) Tam LI (b) Kuyruk kısmında kesik LI (c) Cepheye kesik LI

T_1 : Cephe zamanı, T_2 : Yarı değer zamanı, T_c : Kesme zamanı, O_1 : Sanal orjin

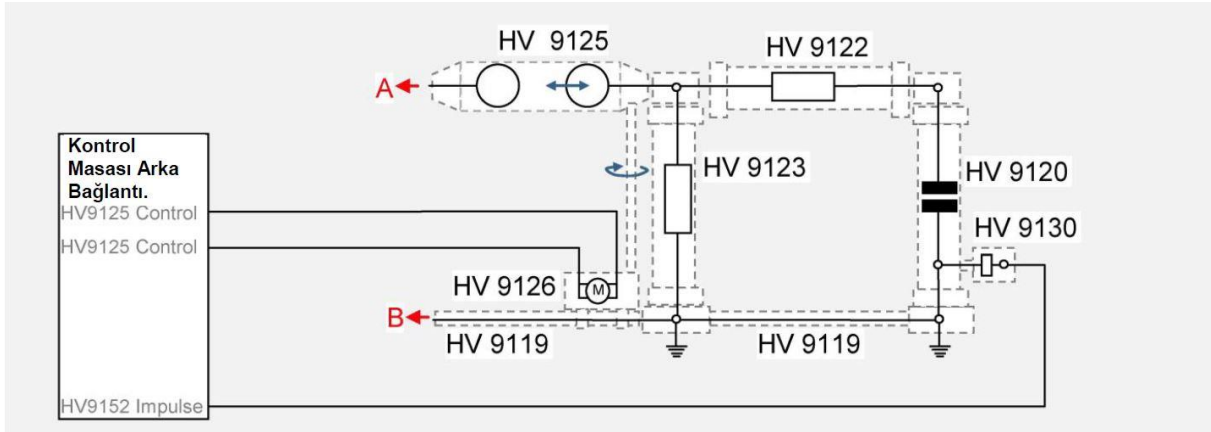
7.5. Test Tesisatı

Bu test tesisatı HV 9121 Rezistör ilavesi ile birlikte önceki deneyden elde edilen DC ölçüm tesisatını temel almaktadır. Genişletilmiş tesisat için gerekli olan ekstra alanı sağlamak için HV 9113 DC ölçüm rezistörü doğrultucuların hizasından 90°'lik bir açıda konumlandırılmalıdır. Bu rezistör hala HV 9112 süzgeçleme kapasitörüne bağlıdır. HV 9114 Topraklama Anahtarı eklenecek ekstra bileşenler için yer sağlamak amacıyla Süzgeçleme Kapasitörünün soluna kaydırılmıştır.



Şekil 7.4. Darbe Gerilim Ölçüm Tesisat Diyagramı Bölüm 1

Aşağıdaki şekil yukarıdaki az ayarlanmış DC Ölçüm tesisatındaki A ve B noktalarından kaynaklanan devamlılığı göstermektedir. Aşağıdaki bu bileşenler darbe ölçüm tesisatını tamamlamaktadır.



Şekil 7.5. Darbe Gerilim Ölçüm Tesisat Diyagramı Devamı