

YÜKSEK GERİLİM LABORATUARI

DENEY FÖYÜ

- İÇİNDEKİLER -

<u>Deney No</u>	<u>Deney Adı</u>	<u>Sayfa No</u>
-	Yüksek Gerilim Laboratuvarı İç Tüzüğü	2
1	Küresel Elektrotlarla Ölçme	4
2	Kesici ve Transformatörler İçin Yalıtkan Yağlar	15
3	Yalıtkan Maddelerde Kayıp Katsayısı ve Bağıl Dielektrik Sabitinin Bulunması	25
4	Elektrolitik Banyo Yöntemiyle Elektrostatik Alanın İncelenmesi	32
5	İzolatör Zincirlerinde Gerilim Dağılışı ve Atlama Geriliminin Tayini	37

-YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI İÇ TÜZÜĞÜ-

1-GENEL:

Yüksek Gerilim Laboratuvarında çalışanlar, bu gibi yerlerde söz konusu olabilecek tehlikelerin tamamıyla ortadan kaldırılamayacağını bilmelidirler. Laboratuvarlarda geçici veya sürekli olarak çalışan her şahıs yukarıda belirtilen tehlikeler karşısında, gerek kendisini ve gerekse diğer şahısları tehlikeden uzak bulundurmak amacıyla gerekli her türlü güvenlik önlemlerini almak ve aşağıda belirtilen noktalara kesinlikle uymak zorundadır. Karşı davranışta bulunanlar, meydana gelebilecek her çeşit tehlikeden öncelikle kendilerinin sorumlu olacaklarını bilmelidirler.

2-GÜVENLİK ÖNLEMLERİ:

- a) **Ana Şalterin Açılması:** Yüksek gerilim deney alanına girmek isteyen her şahıs, ana tablo üzerinde bulunan şalterin açık ve yüksek gerilim alabilecek her iletkenin topraklanmış olduğunu bizzat gördükten sonra deney alanına girebileceklerdir.
- b) **Topraklama:** Yüksek gerilim deney alanına girebilmek için, yüksek gerilim transformatörlerinin yüksek gerilim kutupları ile kondansatörlerin her iki kutbu topraklanacaktır. Topraklama işlemi, izole topraklama çubuğuna bağlı örgülü iletkeni vasıtası ile yapılacak ve deney alanında çalışmalar devam ettiği sürece bu topraklama hiçbir surette kesintiye uğratılmayacaktır. Topraklama işlemi ancak akım devresinin kesilmesinden sonra yapılabilecektir. Kullanılmayan transformatörlerin ve kondansatörlerin kutupları sabit bir şekilde topraklanacaktır. Topraklama bağlantıları herhangi bir etkiyle kopmayacak şekilde yapılmalıdır.
- c) **Deney Montajının Hazırlanması:** Deney montajı, ilgili montaj şemasına göre devrilmeyecek ve düşmeyecek şekilde sağlam bir biçimde yapılacaktır. Deneye başlamadan önce deney montajı, deneyi yaptıran şahsa gösterilecektir. Deneye, deneyi yaptıran şahsın kontrol ve izninden sonra başlanacaktır.
- d) **Deneyin Yapılması:** Laboratuvarda bulunan yüksek gerilim cihazlarının alçak gerilim taraflarına ait şalter ve sigortalar ana tablo üzerinde bulunmaktadır. Her şalter ve sigortanın ait olduğu devre yazılı olarak belirtilmiştir. Deney sırasında bu şalterlerin açılıp kapatılmasında, her türlü güvenlik önlemlerinin alındığına ve deney alanında hiçbir şahsın bulunmadığına ve bu alanı ayıran kapının kapalı ve kilitli olduğuna dikkat edilmelidir. Her yüksek gerilim cihazı ayrı bir kumanda panosu üzerinden idare edilmektedir. Bu kumanda panoları, söz konusu yüksek gerilim cihazlarının alçak gerilim tarafında tesis edilmiş olup, gerekli otomatik şalterleri, sigortaları ve ayar düzeneğini içermektedir. Bir deneye başlamadan önce, bu kumanda panolarındaki şalterlerin açık ve ayar düzeneğinin başlangıç konumunda olmasına özellikle dikkat edilecektir.

Önce ana tablo üzerindeki şalter, güvenlik önlemleri göz önünde bulundurulmak koşuluyla kapatılarak, yüksek gerilim cihazlarının kumanda panosuna gerilim verilir. Bundan sonra kumanda panosundaki şalter kapatılarak deneye başlanır.

Bir deney sırasında devre ilk olarak deneyi yaptıran tarafından kapatılacak, bunu izleyen devre açık kapamalar deneyi yapanlar tarafından yapılabilecektir.

Deneyin devamı sırasında deney alanına girmek gerektiğinde yalnız yüksek gerilim cihazına ait kumanda panosundaki şalterin açık olması yeterli değildir. Ayrıca ana tablo üzerindeki şalter açılmadıkça deney alanına girmek yasaktır.

Deney yapanlar deney alanına girerken mutlaka deneyi yaptıran haber vereceklerdir. Deney alanına girerken yukarıda söylenilen güvenlik önlemlerinin alınmasına dikkat edilecektir.

Yüksek gerilim deney alanında iki deney birden yapılamaz. Deney sırasında kullanılmayan cihazlara ait kumanda panolarını karıştırmak ve gereksiz müdahalelerde bulunmak yasaktır.

Yüksek gerilim laboratuvarında yapılan çalışmalarda en az iki kişinin bulunması gerekir. Grup halinde yapılan deneylerde, grupta bulunan herkes belirli bir işle görevlendirilir.

Güvenlik bakımından görev bölümü şu şekilde yapılmalıdır.

- a) Bir kişi ana şalteri açıp kapatacaktır.
- b) Bir kişi yüksek gerilim cihazının kumanda panosunda devrenin açılıp kapatılması ile görevlendirilecektir.
- c) Bir kişi kumanda masasındaki ayarlarla ilgilenecektir.
- d) Gruptaki diğer elemanlar ölçümlerle meşgul olacaktır.

Bu görevler elemanlar arasında sıra ile yapılacak, görev değişimleri tüm grup elemanları ve deneyi yaptıran şahıs tarafından bilinecektir.

Aynı deneyi yapacak çok sayıda grupların bulunması halinde laboratuvarında yalnız sırası gelen grup bulunacak, diğerleri laboratuvarların dışında bekleyecektir.

Deney alanındaki montaj veya topraklama işleri ile görevli her şahıs, bu alana girmeden önce kumanda panosundaki görevli şahsa ve ana şalter başındaki şahsa sırasıyla “şalteri aç!” diye yüksek sesle seslenecektir. Bu görevli şahıslar sırasıyla şalteri açtıktan sonra “Şalteri açtım!” diye yüksek sesle cevap vereceklerdir. Bundan sonra söz konusu şahıs deney alanına girebilecektir. Deney alanını terk eden son şahıs, deney alanı kapısını kapayıp kilitledikten sonra “Tamam!” diye yüksek sesle bağıracaktır.

DENEY-1

KÜRESEL ELEKTROTLARLA ÖLÇME



1) DENEYİN AMACI

Bu deneyde, yüksek gerilim tekniğinde temel ölçme metotlarından biri olan küresel elektrot sistemiyle yüksek alternatif gerilimlerin ölçülmesi amaçlanmaktadır.

2) GENEL BİLGİ

Yüksek gerilim laboratuvarında kullanılan küresel elektrot sistemleri çok basit bir yapıya sahiptir. Bununla birlikte, ölçme hataları da uygulama açısından kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır. Bu iki temel özelliğinden dolayı küresel elektrot sistemleri eğitim, araştırma ve endüstriyel laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Küresel elektrotlar ile alternatif gerilimlerin ve doğru gerilimlerin (DC) tepe değerleri ölçülebilir. Kürelerin yapısı ve düzenlenmesinde gerekli yapısal şartlar sağlandığı takdirde, ölçme hatası istenilen sınırlar içerisinde kalmaktadır.

Güvenilir ve basit yapılarından dolayı küresel elektrotlar, yüksek gerilim laboratuvarlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Daha doğru ve kullanımı kolay olan elektronik ölçme aletleri genellikle rutin ölçümler için kullanılırlar. Ancak bu yapıdaki cihazlar, elektromanyetik etkilere karşı hassas oldukları için hatalı ölçüm yapmaları da muhtemeldir. Bu nedenle bu cihazlar, küresel elektrotlar yardımıyla kalibre edilirler ve böylece büyük ölçme hataları engellenmiş olur.

2.1) Küresel Elektrot Sistemleri ile Gerilim Ölçülmesinin Temeli

Küresel elektrotlarla ölçme işlemi, iki elektrot arasındaki açıklığa bağlı olarak atlama geriliminin bilinmesi prensibine dayanmaktadır. Bu atlama gerilimleri küre çaplarına, küre düzenine ve farklı hava koşullarına göre değişim göstermektedir. Bu nedenle literatürde, atlama gerilimlerinin gösteren standart cetveller oluşturulmuştur (Tablo-1).

Küresel elektrotlarla ölçme yaparken elektrotlar arasındaki elektrik alanın düzgün olması istenir. Ancak elektrotlar arası mesafe büyüdükçe elektrik alanın düzgünlüğü de bozulmaktadır. Bu nedenle mümkün olduğu minimum hatalı bir ölçme yapabilmek için küreler arası açıklığın (a), küre çapına (D) oranının 0,5 den küçük olması istenmektedir. ($a/D \leq 0,5$) şartının sağlandığı durumda ön boşalmaların olmadığı ve elektrik alanın yaklaşık olarak düzgün olduğu kabul edilmektedir. $a = 0,5 \cdot D$ elektrot açıklığına kadar yapılan ölçmelerde, ölçme hatası $\pm \%3$ sınırları içerisinde kalmaktadır. Ölçüm yapılırken dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da, ölçmek istenilen gerilim (U) ile küre çapı (D) arasındaki ilişkidir. Bahsedilen hata sınırları içerisinde kalabilmek için $U(kV) \leq D(mm)$ şartının sağlanması gerekmektedir. Bu ifade, kV cinsinden ölçebileceğimiz maksimum gerilim değerinin, mm cinsinden küre çapından büyük olmaması gerektiğini anlatmaktadır.

Örnek verilecek olursa;

10 cm çapındaki bir küre ile ancak 100 kV'luk alternatif gerilimleri ölçebiliriz. Bu sınır aşıldığı takdirde, ölçme işlemi kararsız bir hal almaktadır ve atlama gerilimi her yeni ölçmede farklılık göstermektedir. Dolayısı ile standart tablolarda bu kriteri sağlamayan durumlardaki atlama gerilim değerleri parantez içerisinde belirtilmiştir.

2.2) Küresel Elektrotlarla Ölçmeyi Etkileyen Faktörler

Küresel elektrotlarla ölçme, hava aralığında meydana gelen atlama ile ilgili olduğundan dolayı, ölçmeyi etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri aşağıda belirtilmiştir.

2.2.1) Kürelerin Yapısı

Küresel elektrotlar, eşit çaplı iki metal küreden oluşmaktadır. Malzeme olarak ise alüminyum, pirinç, bakır, bronz veya başka bir metal kullanılmaktadır. Küre çapı olarak ise standartlarda belirtilen

D: 2, 5, 6.25, 10, 12.5, 15, 25, 50, 75, 100, 150, 200 cm değerleri kullanılmaktadır. Ayrıca gerçek küre çapı, ancak küre çapının %2'sinden fazla fark etmemelidir.

Tablo-1 Bir küresi topraklanmış küresel elektrotlarda alternatif gerilim, darbe gerilimi ve doğru gerilimler için atlama geriliminin kV cinsinden tepe değerleri, Hava koşulları: 20 °C ve 760 mmHg/1013mbar

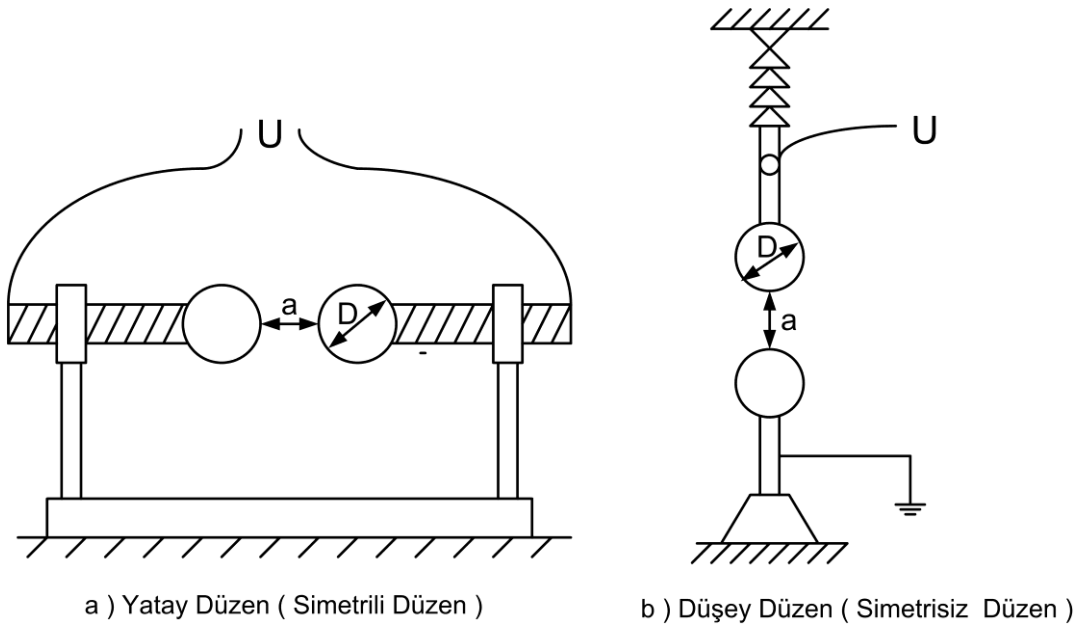
Küreler Arası Açıklık (cm)	Küre çapı (cm)											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
0,05	2,8											
0,1	4,7											
0,15	6,4											
0,2	8	8										
0,25	9,6	9,6										
0,3	11,2	11,2										
0,4	14,4	14,3	14,2									
0,5	17,4	17,4	17,2	16,8	16,8	16,8						
0,6	20,4	20,4	20,2	19,9	19,9	19,9						
0,7	23,2	23,4	23,2	23	23	23						
0,8	25,8	26,3	26,2	26	26	26						
0,9	28,3	29,2	29,1	28,9	28,9	28,9						
1	30,7	32	31,9	31,7	31,7	31,7	31,7					
1,2	(35,1)	37,6	37,5	37,4	37,4	37,4	37,4					
1,4	(38,5)	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9					
1,5	(40)	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5					
1,6		48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1					
1,8		53	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5					
2		57,5	58,5	59	59	59	59	59	59			
2,2		61,5	63	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5			
2,4		65,5	67,5	69,5	70	70	70	70	70			
2,6		(69)	72	74,5	75	75,5	75,5	75,5	75,5			
2,8		(72,5)	76	79,5	80	80,5	81	81	81			
3		(75,5)	79,5	84,4	85	85,5	85,5	86	86	86		
3,5		(82,5)	(87,5)	95	97	98	99	99	99	99		
4		(88,5)	(95)	105	108	110	112	112	112	112		
4,5			(101)	115	119	122	125	125	125	125		
5			(107)	123	129	133	137	138	138	138	138	
5,5				(131)	138	143	149	151	151	151	151	
6				(138)	146	152	164	164	164	164	164	
6,5				(144)	(154)	161	173	177	177	177	177	
7				(150)	(161)	169	184	189	190	190	190	
7,5				(155)	(168)	177	195	202	203	203	203	
8					(174)	(185)	206	214	215	215	215	
8,5					(185)	(198)	226	239	240	241	241	
10					(195)	(209)	244	263	265	266	266	266
11						(219)	261	286	290	292	292	292
12						(229)	275	309	315	318	318	318
13							(289)	331	339	342	342	342
14							(302)	353	363	366	366	366
15							(314)	373	387	390	390	390
16							(326)	392	410	414	414	414
17							(337)	411	432	438	438	438
18							(347)	429	453	462	462	462
19							(357)	445	473	486	486	486
20							(366)	460	492	510	510	510
22								489	530	555	560	560
24								515	565	595	610	610
26								(540)	600	635	655	660
28								(565)	635	675	700	705
30								(585)	665	710	745	750
32								(605)	695	745	790	795
34								(625)	725	780	835	840
36								(640)	750	815	875	885
38								(665)	(775)	845	915	930
40								(670)	(800)	875	995	975
45									(850)	945	1050	1080
50									(895)	1010	1130	1180
55									(935)	(1060)	1210	1260
60									(970)	(1110)	1280	1340

2.2.2) Kürelerin Yüzeyi

Küresel elektrotların yüzeyi pürüzsüz, tozsuz ve kuru olmalıdır. Çünkü kürelerin birbirine değdiği “atlama noktası” nda olabilecek her türlü yabancı malzeme (yağ, vernik veya oksitlenmeyi önleyici koruyucu malzemeler vb.) atlama gerilimini etkilemektedir.

2.2.3) Kürelerin Düzeni

Küresel elektrot sistemleri, “yatay düzen” ve “düşey düzen” olarak iki farklı şekilde kullanılabilir. Ancak her iki durumda da sistem elemanlarının belirli ebatlarda olması ve gerekli açıklıkların sağlanması gerekmektedir. Aksi halde, elektrik alan dağılımı bozulabilir veya ölçüm esnasında istenmeyen atlamalar gerçekleşebilir. Yatay ve düşey düzenler Şekil-1 de verilmiştir.



Şekil-1 Yatay ve Düşey Düzen Küresel Elektrot Sistemleri

Şekil-1 de verilen düzenlerde her iki elektrotta toprağa karşı yalıtılmış şekilde yüksek gerilime bağlandığında “simetrik düzen” oluşturulmuş olur. Simetrik düzende elektrik alan dağılımı düzgündür. Kürelerden biri yüksek gerilime diğeri toprağa bağlandığında ise “simetrisiz düzen” elde edilir. Simetrisiz düzende ise elektrik alan dağılımı düzgün olmamakla birlikte maksimum zorlanmanın simetrik düzene göre daha büyük olduğu bilinmektedir.

2.2.4) Küreler Arası Açıklık

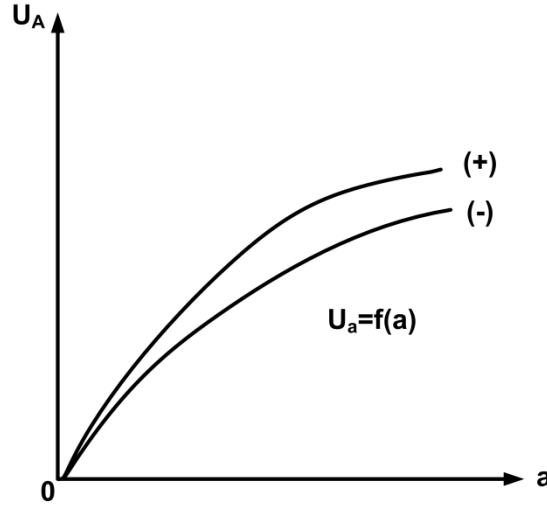
Küreler arası açıklık en çok % 0,5 toleransla ölçülmelidir.

2.2.5) Gerilimin Kutbiyeti

Küresel elektrotlarda atlama geriliminin değeri alternatif gerilimin kutbiyetine bağlı olarak değişmektedir. Elektrik alanın düzgün olduğu durumlarda, kutbiyetin atlama gerilimi üzerindeki etkisi azdır. Ancak alan dağılımı düzgün değil ise ($a/D > 0,5$) gerilimin kutbiyeti önemli bir hal

almaktadır. Elektrotlar arası açıklık küçük iken kutbiyetin etkisi kararlı değildir ve atlamaların %50'si pozitif alternansta gerçekleşir. Elektrotlar arası açıklık arttıkça, negatif alternanstaki atlamaların sayısı artar ve belli bir değerden sonraki atlamalar sürekli olarak negatif alternansta gerçekleşir. Elektrot açıklıkları daha da fazla arttırılırsa (1,5 – 2D) atlamalar pozitif alternansta gerçekleşir.

Simetrisiz (topraklanmış) bir düzende yapılan ölçmeler özellikle büyük elektrot açıklıklarında, gerilim uygulanan kürenin pozitif veya negatif kutbiyette olmasına bağlı olarak değişmektedir. Bu değişim Şekil-2 de verilmiştir.



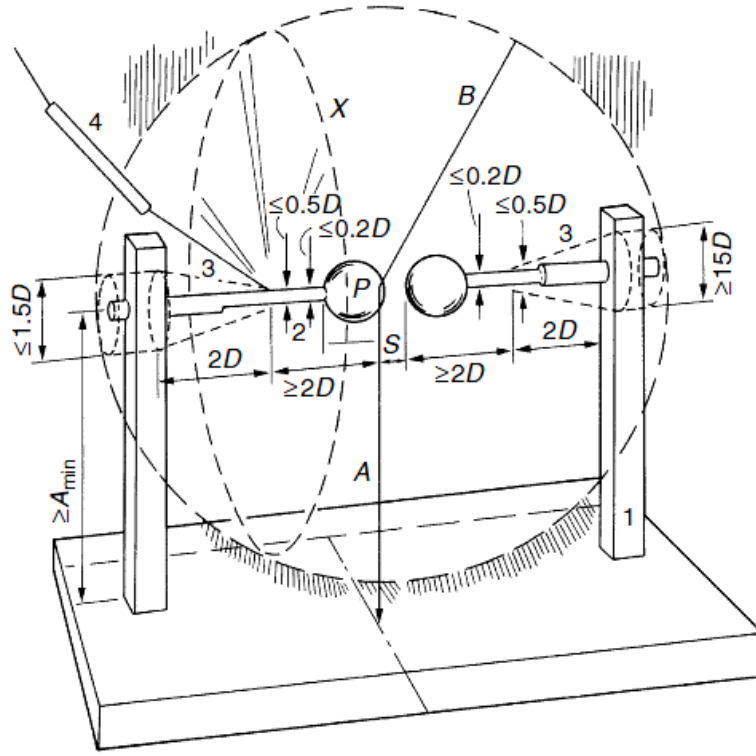
Şekil-2 Gerilimin kutbiyetine göre $U_a=f(a)$ değişimi

2.2.6) Gerilimin Frekansı

Küresel elektrotlarla ölçme işlemi genellikle 50 Hz frekansta yapılır. Ancak 50 Hz den farklı frekans değerlerinde yapılan ölçmeler için düzeltme katsayıları kullanılmaktadır. Gerilimin frekans değeri arttıkça deşarj süresi kısalmaktadır. Yüksek frekans değerlerinde yarı peryot boyunca oluşan pozitif iyonlar, elektrotlar arası mesafeyi kat edemezler. Bu sebeple ortamda pozitif hacimsel yükler oluşur ve bu yükler titremeye başlar. Bu da atlama geriliminin küçülmesine sebep olmaktadır.

2.2.7) Çevredeki Cisimler ve Güvenlik Açıklıkları

Küresel elektrot düzenleri harici alanlardan ve elektrotların alanını bozabilecek diğer cisimlerden olabildiğince uzakta bulunmalıdırlar. Çevredeki cisimlerin küresel elektrot sistemine olan uzaklıkları ve farklı düzeneklerdeki minimum açıklıklar standartlarda belirtilmiştir. Şekil-3 de yatay düzen bir küresel elektrot sistemi için olması gereken minimum açıklıklar verilmiştir.



Şekil-3 Yatay düzen bir küresel sistemi ve minimum açıklık değerleri [1]

2.2.8) Ön Direnç (Koruma Direnci)

Ölçme esnasında, küreler arasında atlama veya deney cisminde delinme meydana geldiği anda devre üzerinden akan akımın trafo sargılarına ve kürelere zarar vermemesi için ölçü kürelerine seri olarak bir direnç bağlanmaktadır. Bu direnç aynı zamanda deney devresinde oluşan ön boşalmaları da engellemektedir. Şekil-4 de deney devresinde kullanılan ön direnç resmi verilmiştir.



Şekil-4 Deney devresinde kullanılan koruma direnci

Direnç değeri, deney devresinin boşta çektiği kapasitif akımdan dolayı meydana gelecek gerilim düşümünün, nominal gerilimin %1'inden küçük olacak şekilde seçilmelidir. Alternatif ve Doğru gerilimler için genellikle 100 kΩ ile 1 MΩ arasında direnç değerleri seçilmektedir.

Darbe gerilimlerinin ölçülmesinde ise, elektrotlar ile deney cismi arasındaki mesafenin uzun olmasından dolayı yürüyen dalga titreşimlerini engellemek için endüktansı değeri olmayan ve 500Ω'u aşmayan ön dirençler kullanılır.

Ön dirençlerin yapılmasında silit direnç, tel direnç veya su direnci kullanılabilir.

2.2.9) Hava Koşulları



Şekil-5 Hava koşullarını gösteren ölçüm cihazı

Küresel elektrotlarla ölme işlemi hava koşullarından etkilenmektedir. Standart tablolaradaki atlama gerilimi değerleri normal hava koşulları (20°C, 760 mmHg, bağıl nem %63 @ 20°C) için verilmiştir. Ancak laboratuvar şartlarında bu değerler tam olarak sağlanamadığı için, elde edilen atlama gerilim değerinin katsayılarla düzeltilmesi gerekmektedir. Normal şartlar dışındaki hava koşullarındaki atlama gerilimi değeri,

$$U = \frac{\delta}{k} \cdot U_0 \quad \text{bağıntısı ile belirlenir.}$$

U_0 : Normal koşullardaki (20°C, 760 mmHg) atlama gerilimi

δ : Bağıl hava yoğunluğu

U : Deney esnasındaki atlama gerilimi

k : Nem düzeltme katsayısı

Bağıl hava yoğunluğu,

$$\delta = \frac{p}{760} \cdot \frac{273 + 20}{273 + T} = 0,386 \cdot \frac{p}{273 + T} \quad \text{olarak ifade edilir.}$$

p : Basınç [mmHg]

T : Sıcaklık [°C]

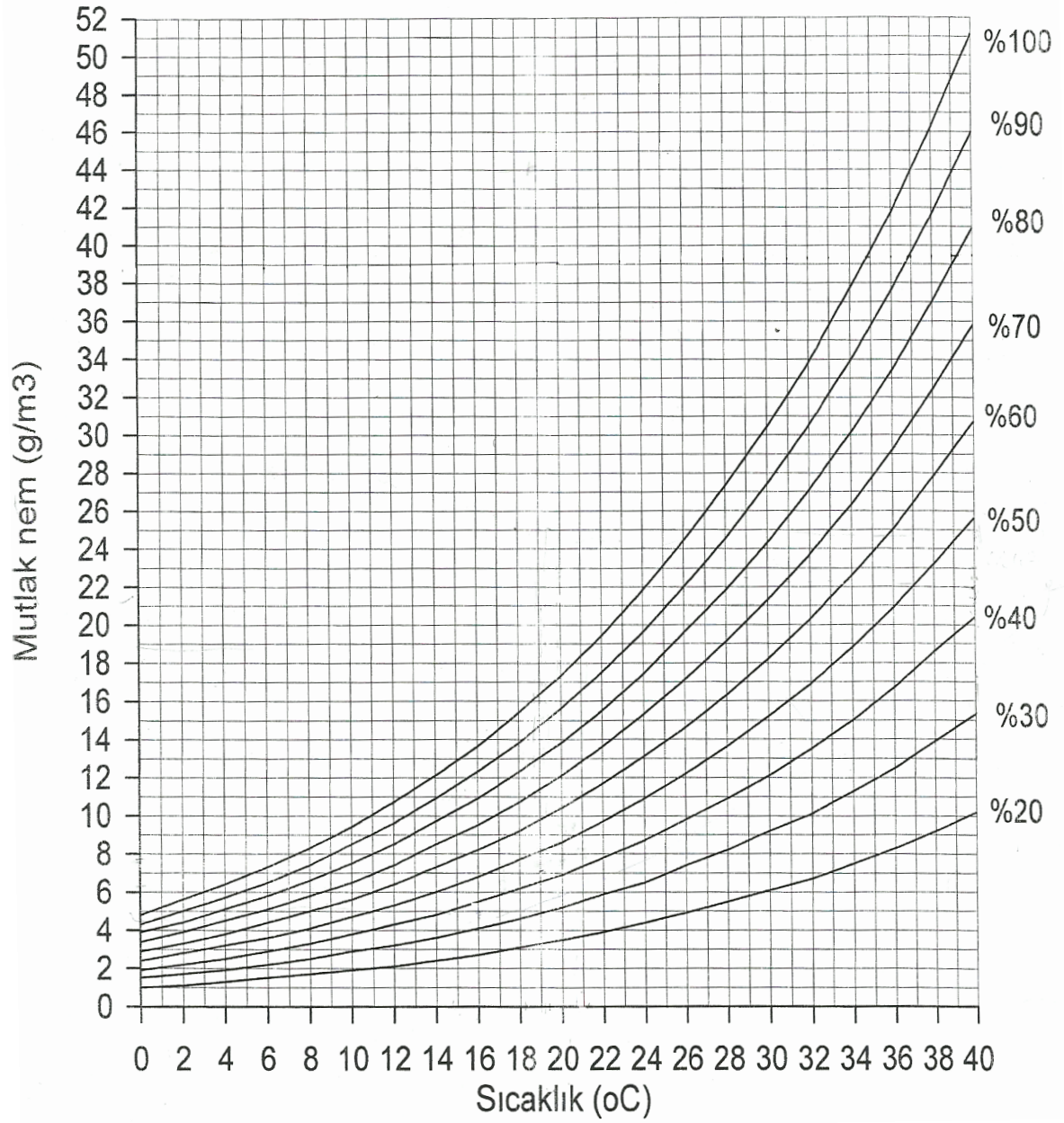
Bağıl hava yoğunluğu 0,95 ile 1,05 arasında bir değerde hesaplandığı zaman, bulunan değerler direk olarak kullanılabilir. Ancak 0,95 den küçük veya 1,05 den büyük değer ile karşılaşıldığında δ yerine $f(\delta)$ düzeltme katsayısı kullanılmalıdır. $f(\delta)$ düzeltme katsayısının, bağıl hava yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği Tablo-2 de verilmiştir.

Tablo-2 Bağıl hava yoğunluğuna göre $f(\delta)$ düzeltme katsayısı

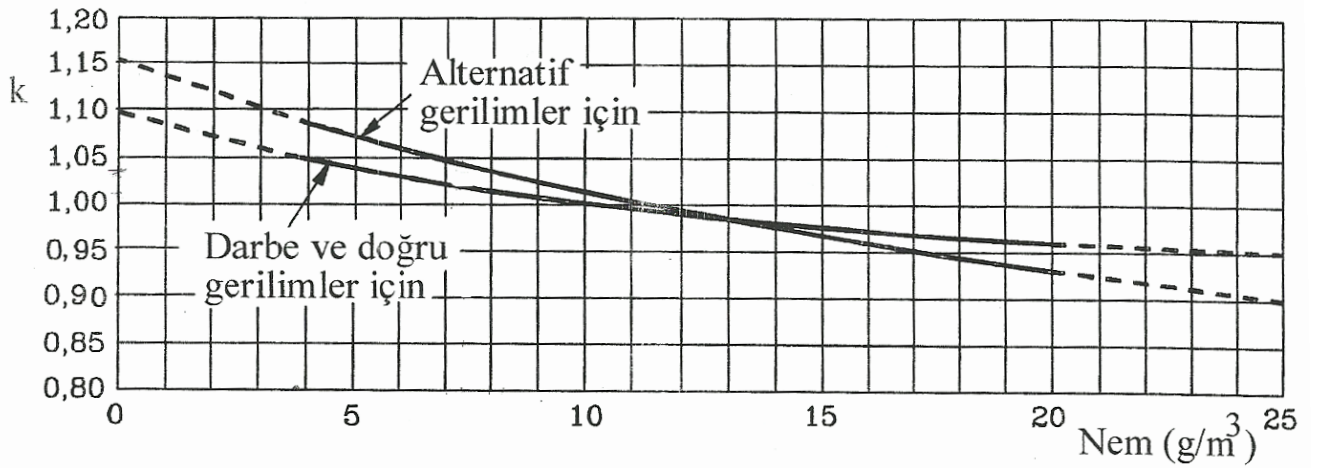
δ	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$f(\delta)$	0,72	0,77	0,82	0,86	0,91	0,95	1,00	1,05	1,09	1,13

2.2.10) Nem

Yapılan çalışmalarla birlikte, nem değerinin arttıkça atlama geriliminin de yükseldiği belirlenmiştir. Bu sebeple, deneyin yapıldığı ortamdaki nem düzeltme katsayısının (k) belirlenmesi gerekmektedir. Laboratuvardaki hava koşullarını ölçen cihazlar genellikle mutlak nem bilgisini göstermektedir. Nem düzeltme katsayısını bulabilmek için öncelikle mutlak nemin belirlenmesi gerekmektedir. Nem düzeltme katsayısının belirlenmesi için gerekli grafikler Şekil-6 ve Şekil-7 de verilmiştir



Şekil-6 Bağıl nem ve sıcaklığa göre mutlak nem değişimi



Şekil-7 Nem düzeltme katsayısının mutlak nem ile değişimi

2.2.11) Mor Ötesi Işınlarla Aydınlatma

Ölçülmek istenen gerilim seviyesinin 50 kV' un üstünde ve küre çapının da 12,5 cm veya daha küçük olduğu durumlarda ölçüm hatasını en aza indirmek için küre aralıkları mor ötesi ışınlar ile aydınlatılmalıdır.

2.3) Küresel Elektrotlar ile Ölçme

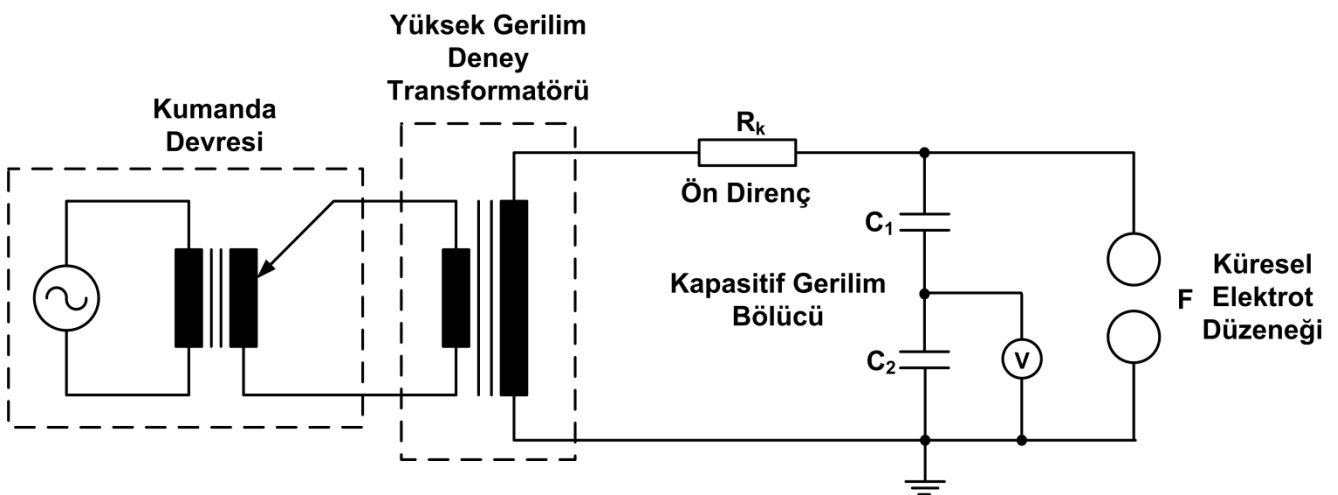
Küresel elektrotlar ile darbe gerilimleri, alternatif gerilimler ve doğru gerilimler ölçülebilmektedir. Her bir gerilim tipi için atlama gerilim değerleri normal hava koşulları için (20°C, 760mmHg) küre çapı(D) ve küre açıklığına bağlı olarak standart tablolarda verilmiştir. Küresel elektrotlarla ölçme işlemi iki farklı yöntem ile gerçekleştirilir.

1- Sabit Elektrot Açıklığı, Değişken Gerilim: Bu metot da elektrot açıklığı sabit tutulur ve atlama oluncaya kadar gerilim değeri yavaş yavaş artırılır. Böylece ayarlanan açıklıktaki atlama gerilimi tayin edilmiş olur. Başlangıçta elektrotlara ölçülmek istenen gerilimin yarısı uygulanır. Atlama oluncaya kadar geçen zaman 30 saniyeden fazla olmamalıdır.

2- Sabit Gerilim, Değişken Elektrot Açıklığı: Gerilim istenen değerde sabit tutulur ve atlama oluncaya kadar elektrotlar birbirine yaklaştırılır. Atlama olduğu andaki elektrot açıklığına karşılık gelen gerilim değeri standart tablolar yardımıyla hesaplanır.

3) DENEYİN YAPILIŞI

Deney düzeneği Şekil-8 'de verilmiştir. Yukarıda anlatılan bilgilerden faydalanarak, aşağıda istenen ölçümleri gerçekleştiriniz.



Şekil-8 Deney düzeneği

1. Bir gerilim ölçü transformatörü yardımı ile kapasitif gerilim bölücünün çevirme oranını 1000 değerine ayarlayınız.
2. Küreler arası açıklığı cm değerine için ayarlayınız. Laboratuvar koşullarını da dikkate alarak bu açıklığa karşılık gelen atlama gerilimini sayısal olarak hesaplayınız ve ölçüm sonuçları ile karşılaştırıp hata yüzdesini belirleyiniz. (Toplam beş ölçüm yapılacak ve atlama gerilimi olarak bu değerin ortalaması alınacaktır.)
3. Laboratuvar şartlarında bir deney cismine efektif olarak kV'luk gerilim uygulanmak isteniyor. Gerekli küre açıklığını sayısal olarak hesaplayınız ve ölçüm işlemini gerçekleştiriniz. Hata yüzdesini belirleyiniz.

4) RAPORDA İSTENENLER

1. Deney devresini çizerek, devre elemanlarının görevlerini açıklayınız.
2. Deneyde yapılanları kısa bir şekilde özetleyiniz.
3. Deneydeki tüm hesaplamaları ve sonuç tablolarını veriniz.
4. Deneyde kullanılan kapasitif gerilim bölücüye kV alternatif gerilim uygulandığında, üzerinden akan akımı hesaplayınız.
5. Küresel elektrotlarla ölçme haricinde kullanılan ölçme yöntemlerini maddeler halinde yazınız.

Sıcaklık (°C)	Basınç (mmHg)	Bağıl Hava Yoğunluğu	Bağıl Nem (%)	Nem Düzeltme Katsayısı

	Ayarlanan Küre Açıklığı (mm)	Hesaplanan Atlama Gerilimi (kV)	Ölçüm 1 (kV)	Ölçüm 2 (kV)	Ölçüm 3 (kV)	Ölçüm 4 (kV)	Ölçüm 5 (kV)	Ortalama (kV)	Bağıl Hata (%)
1. Deney									

	Uygulanacak Gerilim (kV)	Hesaplanan Küre Açıklığı (mm)	Ölçüm 1 (kV)	Ölçüm 2 (kV)	Ölçüm 3 (kV)	Ölçüm 4 (kV)	Ölçüm 5 (kV)	Ortalama (kV)	Bağıl Hata (%)
2. Deney									

[1] High Voltage Engineering Fundamentals, E. Kuffel, W.S. Zaengl, J. Kuffel, Butterworth-Heinemann, 2000.

DENEY-2

KESİCİ VE TRANSFORMATÖRLER İÇİN YALITKAN YAĞLAR



1) DENEYİN AMACI

Elektrik sistemlerinde kullanılan transformatörlerin, kesicilerin vb. cihazların soğutulmasında ve yalıtımında kullanılan yalıtkan sıvıların özelliklerinin tanıtılarak delinme dayanımı deneylerinin yapılmasıdır.

2) GENEL BİLGİ

Yüksek gerilim tesislerinde kullanılan cihazlarda, izolasyon, soğutma, vb. amaçlarla yalıtkan sıvılar kullanılmaktadır. Yalıtkan sıvıların yüksek gerilim cihazlarında geniş bir kullanım alanı vardır. Yalıtkan sıvılar yalıtılacak olan yüzeyi dış ortam etkilerinden, ısıdan, nemden vb. etkilerden korur. Yalıtkan sıvılar ısıyı konveksiyon yolu ile mevcut ortamdan uzaklaştırır. Bu sayede yalıtılacak yüzeyler korunmuş olur.

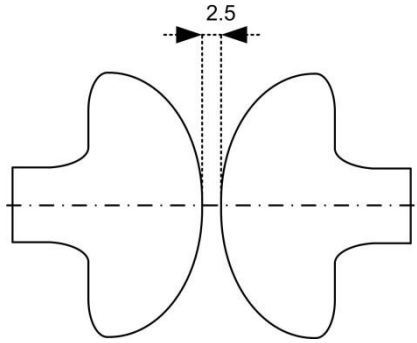
Delinme dayanımı, dielektrik kayıplar ve iletkenlik yalıtkan sıvıların başlıca özellikleri arasında yer almaktadır. Yalıtkan sıvı içinde bulunabilecek nem, toz, elyaf parçacıkları gibi yabancı maddeler, elektriksel özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Yalıtkan sıvılarda bu yabancı maddeler homojen şekilde dağılmayabileceğinden düzgün elektriksel alan elde edilemeyebilir. Fakat yalıtım için kullanılan gazlarda aynı şartlarda düzgün bir elektrik alan elde edilebilir.

Bu malzemeler için sabunlaşma indisi, kül miktarı ve asit indisi kimyasal özelliklerini oluşturur. Fiziksel özelliklerin başında ise saflık, yoğunluk, akışkanlık, nem derecesi, viskozitesi, akma ve alevlenme noktaları gelmektedir. Yalıtkan sıvılar; madeni yağlar, reçineli yağlar, klorlu madeni

yağlar, flüorlu madeni yağlar, silikon yağları gibi çeşitlere ayrılırlar. Kullanılan yalıtkanın uygunluğuna sadece kimyasal ve fiziksel özellikler; test edilerek karar verilemez. Yalıtkan sıvıların yüksek gerilimde kullanılması durumunda yalıtım için uygunluğu gerilime dayanma testi gibi testlerin yapılmasıyla karar verilmektedir. Laboratuvar ortamında yapılacak deneyde yalıtkan bir yağın yüksek gerilimde kullanılması için uygunluğu test edilecektir. Bu deney ile yalıtkan yağın delinme dayanımı farklı koşullar altına belirlenmiş olacaktır.

Anma Delinme Gerilimi:

Anma delinme gerilimi; standartlarda belirtildiği gibi Şekil-1 'de gösterilen 2.5 mm'lik açıklığa sahip iki adet elektrotun kullanılması sonucu ölçülen ve kV cinsinden elde edilen anma (nominal) delinme gerilimidir.



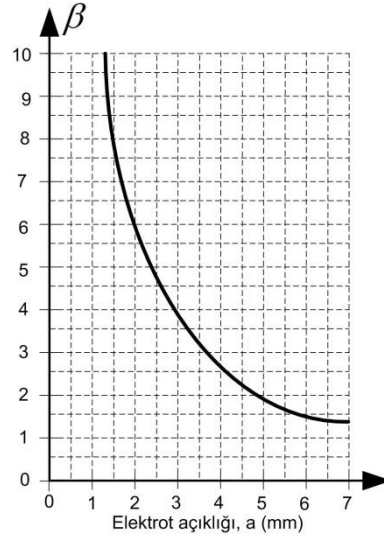
Şekil-1 Yalıtkan yağların, delinme geriliminin ölçülmesinde kullanılan elektrotlar

Delinme Dayanımı:

Yalıtım için kullanılacak sıvıya ait delinme dayanımı, cm başına düşen kV mertebesinde gerilim olarak bulunabilir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$E_d = \frac{\alpha}{a \cdot 10^{-1}} \cdot U_d = \beta U_d \quad \text{kV/cm}$$

Bu eşitlikte; a, mm cinsinden elektrotlar arası açıklık; U_d , kV olarak ölçülen anma delinme gerilimi ve α elektrot sisteminin düzgünlük faktörüdür. β [1/cm] boyutunda olup Şekil 1'de verilen elektrot şekilleri ve muhtelif elektrot açıklıkları için Şekil-2 'den bulunabilir.



Şekil-2 β 'nın elektrot açıklığına göre değişimi

Yağların yukarıda bahsedilen kimyasal ve fiziksel özelliklerinden ayrıntılı şekilde aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

3) YAĞLARIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

3.1) Sabunlaşma İndisi:

Yalıtımda kullanılacak olan, 1 gr yağ numunesinin sabunlaşması için gerekli potasyum hidroksitin miligram olarak ifadesi sabunlaşma indisi.

3.2) Toplam Asit İndisi:

Yalıtımda kullanılacak olan, 1 gr yağ numunesindeki asitleri nötrleştirmek için kullanılan potasyum hidroksitin miligram olarak ifadesi toplam asit indisi.

4) YAĞLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

4.1) Viskozite

Sıvılarda akışkanlığa karşı direnç olarak tanımlanan Viskozitenin sayısal olarak hesaplanmasında dinamik (η) ve kinematik (ν) viskozite katsayıları kullanılır. Burada dinamik viskozite katsayısı (η), cgs sistemindeki birimi Poise (P) olan, birim uzunluktaki paralel olarak bulunan iki akışkan yüzeyin birim yüzeyinde birinin diğerine göre birim hızla hareketini sağlayan teğetsel kuvvettir.

Kinematik viskozite katsayısı (ν), cgs sistemindeki birimi Stokes (S) olan ve dinamik viskozitenin, akışkanın özgül ağırlığına (d) (aynı sıcaklıktaki değerlerinin) bölünmesiyle $\nu = \eta/d$ elde edilir.

4.2) Alevlenme Noktası

Belirli koşullar altında yağ ısıtılır ve yağ sıcaklığındaki değişim 3°C aralıklarla okunur. Deney alevi kapalı bir kabın içinde yağa uygulanır ve parlamanın meydana geldiği sıcaklık değeri bu yağ için alevlenme noktasını ifade eder.

4.3) Akışkanlık

Akışkana ait dinamik viskozite değerinin tersidir ve genellikle, ϕ ($1/\mu$) veya F ($1/\eta$) ile gösterilir. Birimi poise'in tersi olup ($\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{g}^{-1}$), rhe olarak okunur.

4.4) Akma Noktası

Belirli koşullar altında yağ soğutulur ve yağ sıcaklığındaki değişim 3°C aralıklarla okunur. Yağın akmasının durmaya başladığı sıcaklığın bir üst basamağı bu yağ için akma noktasını ifade eder.

5) YALITKAN SIVILARDA DELİNME GERİLİMİNE ETKİYEN FAKTÖRLER

Yalıtkan sıvılarda delinme olayının gerçekleşmesi ile ilgili olarak çeşitli durumlar göz önüne alınmaktadır. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

5.1) Toz, is ve elyafli parçacıklar

Toz, is ve elyafli maddeler, yağ içinde olabilecek katı maddelerdir. Yağların bu maddelerden tamamen ayrıştırılması mümkün değildir. Hemen hemen her yalıtkan yağın içinde bu maddelerden bulunmaktadır. Ayrıca, suyun dielektrik sabitesinin yağa göre büyük olması nedeniyle nemli parçacıklarda büyük bir elektriksel kuvvetle maksimum alana doğru yönelme olmaktadır. Bunun sonucunda köprü oluşmakta ve delinme dayanımı küçültmekte ya da delinmeye neden olmaktadır.

5.2) Hava Kabarcıkları

Düzgün alanda ϵ_{r1} dielektrik sabiti değerine sahip yağ içinde bulunan ϵ_{r2} değerindeki hava kabarcıkları, $\epsilon_{r2} < \epsilon_{r1}$ olması halinde sistemden dışa doğru itilir. $E_{\text{maxhava}} > E_{\text{dhava}}$ hava olduğunda hava kabarcıklarında başlayan boşalmalar ana deşarjın daha küçük gerilimde başlamasında neden olur.

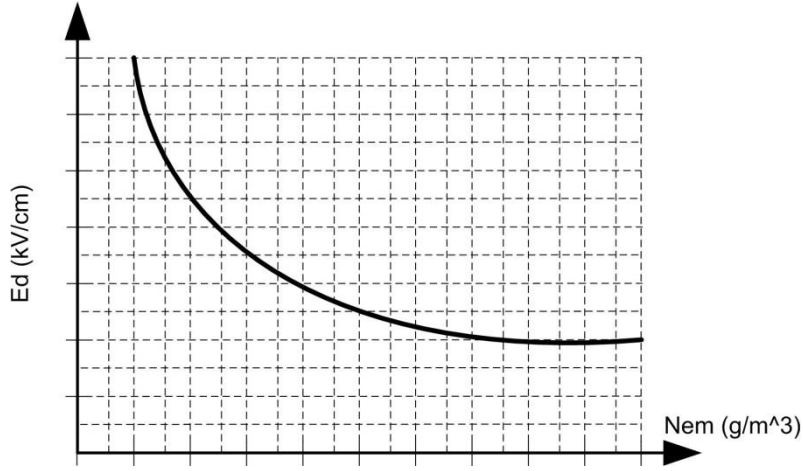
5.3) Su Damlacığı

Düzgün alanda ϵ_{r1} değerine sahip yağ içinde bulunan, ϵ_{r2} değerindeki su damlacıkları, $\epsilon_{r2} > \epsilon_{r1}$ olması halinde sisteme (elektrotlara) doğru çekilir.

5.4) Nem

Yalıtkan yağın içinde bulunacak nem veya su buharı delinme dayanımı büyük oranda düşürür. Örneğin su buharı için bu oran %0.01 ise yalıtım için kullanılan sıvının delinme dayanımı 100 kV/cm'den 5 kV/cm'ye düşebilir. Şekil 3 'de delinme dayanımının neme bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Bu nedenlerden dolayı transformatör yağlarının kurutularak nem ve sudan, filtre edilerek yabancı maddelerden arındırılması gerekir. Yağda erimiş halde bulunan gazlar ve nem, yüksek vakum altında yağın ısıtılmasıyla temizlenir. Yalıtım için kullanılan sıvılar açıkta bulundurulduğu takdirde içine nem alır. Bu nedenle transformatörler nem almayacak şekilde tasarlanır.



Şekil-3 Delinme dayanımının neme değişimi

5.5) Sıcaklık

Sıcaklık arttıkça yalıtım için kullanılan yağın delinme dayanımı değeri azalmaktadır.

5.6) Basınc

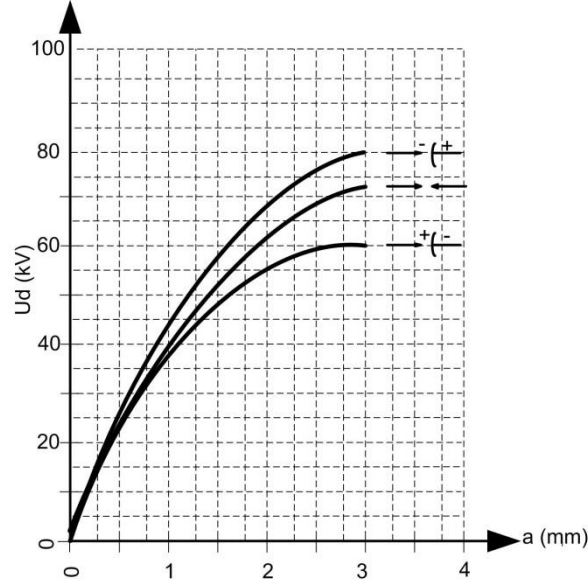
Basıncın artmasıyla yağa ait delinme dayanımı artmaktadır.

5.7) Elektrot Malzemesi ve Yüzey Durumu

Elektrotların yapıldığı malzemeler delinme gerilimini etkilemektedir. Gümüş elektrot kullanıldığında delinme gerilimi en büyük değere ulaşırken, demir elektrot kullanıldığında bu değer en küçük değerine düşmektedir.

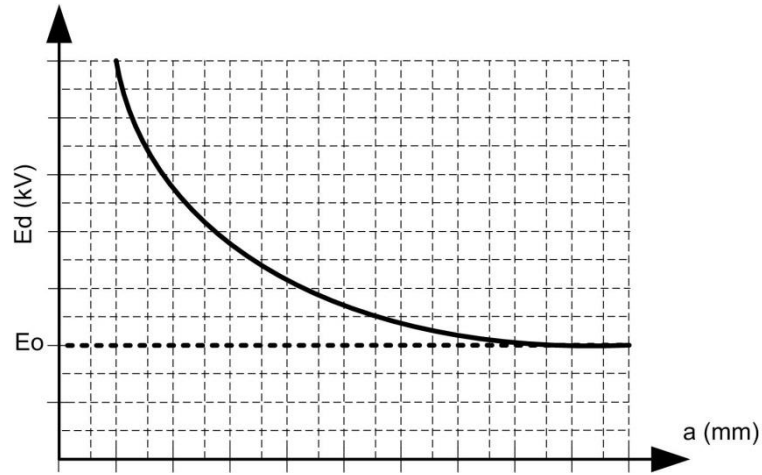
5.8) Elektrot Şekilleri ve Elektrotlar Arası Açıklık

Elektrik alanının düzgün dağılmadığı duruma ait delinme gerilimi değişim eğrileri $U_d=f(a)$ Şekil-4'te verilmiştir.



Şekil-4 Düzgün olmayan elektrik alanında $U_d=f(a)$ değişimi

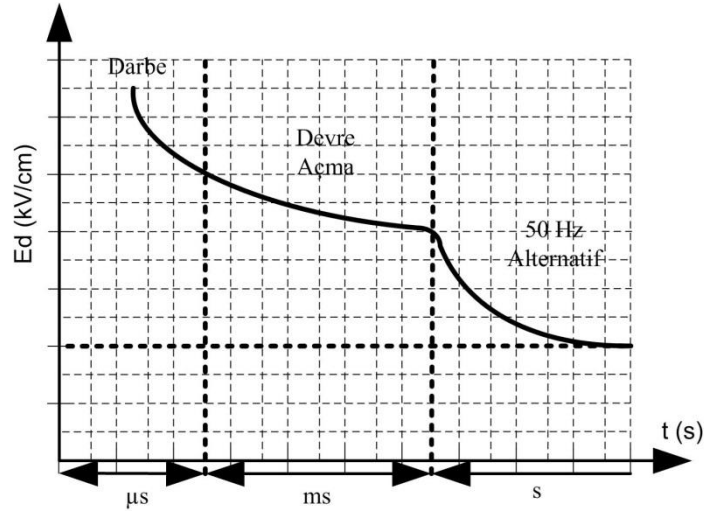
Elektrik alanın düzgün dağıldığı duruma ait delinme gerilimi değişim eğrileri Şekil 5 'te verilmiştir. Bu eğriye göre düzgün elektrik alanın olduğu durumlarda elektrotlar arası açıklık arttıkça delinme dayanımı küçülmektedir.



Şekil-5 Düzgün alanda $E_d=f(a)$ değişimi

5.9) Gerilimin Uygulanma Süresi ve Gerilimin Şekli

Yalıtkan sıvılarda delinme dayanımının, uygulanan gerilim süresi ile değişimi Şekil-6 'da verilmiştir. Uygulanan gerilimin süresi arttıkça delinme dayanımı daha düşük değerlere inmektedir.



Şekil-6 Delinme dayanımının gerilimin uygulanma süresine göre değişimi

6) DENEYİN YAPILIŞI

6.1) Deney Düzenegi, Kullanılacak Alet ve Aygıtlar

Yağ test cihazında bulunması gereken kısımlar;

- Transformatör: Deney için gerekli olan 50 Hz frekanslı sinüzoidal yüksek gerilim, alçak gerilimin yükseltilmesi ile elde edilebilir. Deney gerilimi numuneye belirli standartlar çerçevesinde yavaş yavaş yükseltilerek uygulanır
- Delinme gerçekleşikten sonra devre enerjisini kesecek düzenek,
- Numuneye uygulanan deney gerilimini görmek için ölçüm cihazı,
- Porselen, cam veya buna benzer uygun bir malzemeden yapılmış muayene kabı bulunmalıdır.

6.2) Numune Alınması

- Deney yapılırken dikkat edilmesi gereken husulardan birisi de, testi yapılacak olan yağ numunesi alınırken içine başka yabancı maddelerin (toz, nem vb.) karışmamasıdır.
- Sisli, nemli ve yağmurlu havalarda numune almak gerekiyor ise numunenin havadan nem alması engellenmelidir.
- Numunesi alınacak yağın sıcaklığı ile ortam sıcaklığının aynı olması gerekir. Farklı sıcaklıklarda numune içinde bulunan su buharı ortam sıcaklığına geçtiğinde yoğunlaşabilir. Sıcaklık farkının bulunduğu durumlarda yağın sıcaklığının ortam sıcaklığına gelmesi beklenmelidir.
- Yağ numunelerinin saklandığı kapları kapatmak için pürüzsüz cam tapalar kullanılmalı, kauçuk malzemeden yapılmış tapalar kullanılmamalıdır.
- Numunelerin saklandığı ve alındığı cihazların temizliğinde toz ve parçacık bırakmayacak maddeler kullanılmamalıdır. Bu maddelerin numuneye karıştığında numunenin yapısını bozacağı unutulmamalıdır.

- Yağ kabının dibinden numune alınması gerekirse, yağ numunesi kaba konulduktan sonra kap hareket ettirilmeden en az 8 saat (mümkünse 24 saat) beklendikten sonra yağ kabının dibinden numune alınmalıdır. Bu sayede yağ içinde bulunan yabancı maddeler (lif, tortu vb.) dibe çökecektir.
- Numune almada kullanılan kaplar ve cihazlar, numunesi alınacak yağ ile doldurulup çalkalandıktan veya numunesi alınacak yağa batırıldıktan sonra numune alınmalıdır.
- Yağ kabının üst tarafından numune alınması gerektiğinde, yağ yüzeyinde bulunan yabancı maddelerin arıtılmasından sonra numune alınmalıdır. Yağ kabının kapağını açmadan önce kapak ve civarı silinip, toz ve nemden temizlenmelidir. Yapılacak bazı deneyler (tortu değerini tespit ve yağın bakıra etkisini tayin deneyleri) için yağ numunesinin ışıktan korunmalıdır

6.3) Deney Hücresinin Hazırlanması

Deney hücresi kullanılmadan önce temiz ve tozsuz bir halde olmalıdır. Kullanılmadığı zamanlarda kuru ve temiz yağ ile doldurularak nem ve tozun bulunmadığı bir ortamda muhafaza edilmelidir. Deney hücresi yağ numunesi ile deney öncesinde çalkalanarak deneye hazır halde getirilir ve yağ numunesi deney hücresine konularak deney yapılır.

6.4) Numunenin Hazırlanması

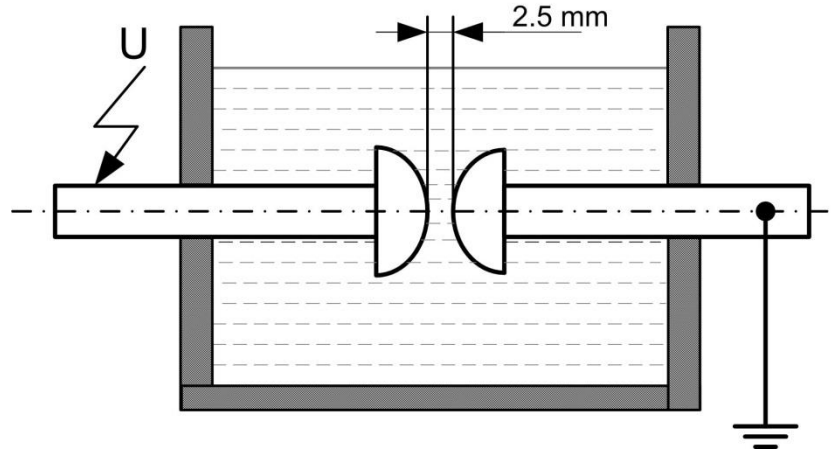
Numune kabına yağ numunesi konulurken dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Numune yağın kaba konulmadan önce homojen halde olması gerekir. Bunun için numune kabı, yağ içinde hava kabarcığı olmayacak şekilde farklı yönlerde yavaşça sallanır. Yağ numunesi deney kabına akıtılırken yine hava kabarcığı oluşmaması önemlidir. Bunun için yağ yavaşça ve temiz kuru bir cam çubuk yardımı ile deney kabına akıtılır. Bu işlemler yapılırken ortamın tozsuz ve nemsiz olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca numune yağın sıcaklığı ile ortam sıcaklığının aynı olması gerekir. Bu sıcaklık tercihen 20 °C olmalıdır ve bu sıcaklık kaydedilmelidir.

6.5) Deneyin Yapılışı

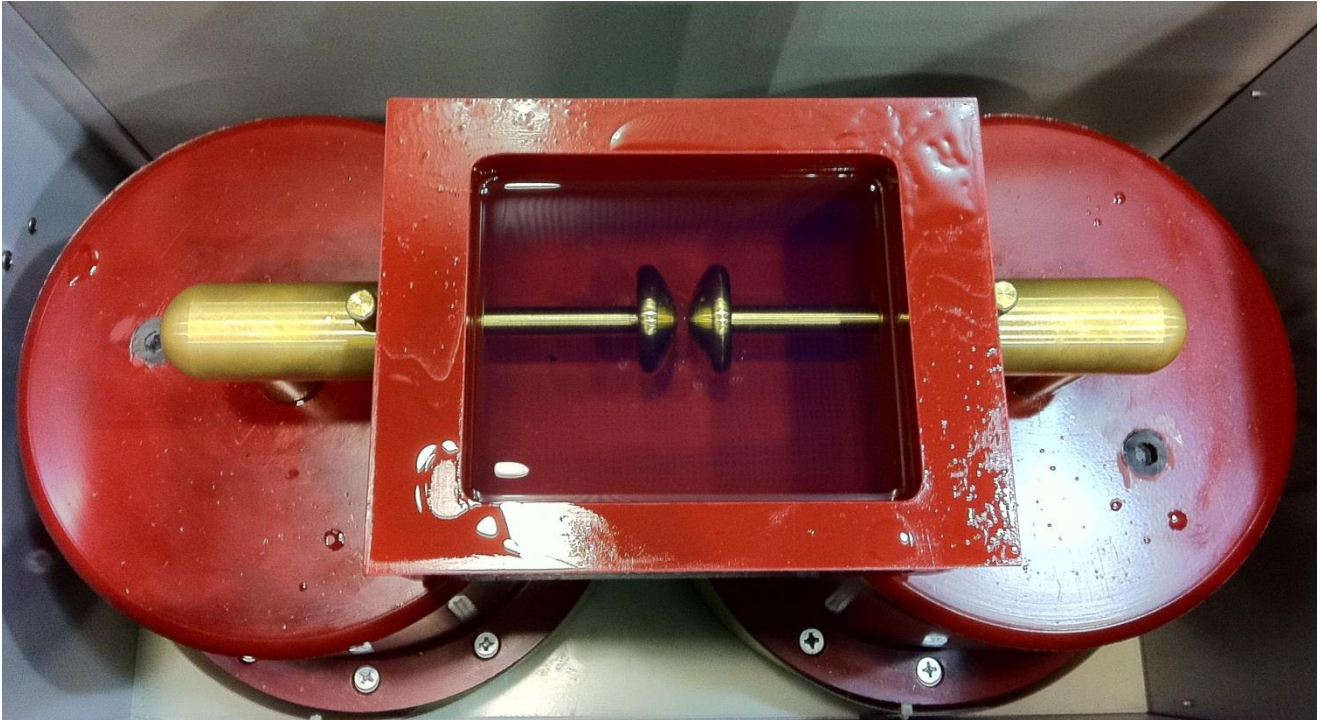
1. Yağ test cihazından seçilen standart çerçevesinde 40 - 62 Hz frekanslı, sıfırdan başlayıp saniyede 2.2 kV olacak şekilde düzgün bir şekilde artan alternatif gerilim yağda delinme oluncaya kadar numuneye uygulanır. Elektrotlar arasında atlama gerçekleştiğinde devre otomatik olarak açılarak devre korunacaktır.

Numune deney kabına konulmasından sonra deneye başlanmadan önce yağ test cihazının kapağında bulunan yüksek gerilim koruma kilidinin devre dışı kalması için cihaz kapağı kapatılmalıdır. Kaba konulan numune yağ değiştirilmeden deneyler yapılır. 4 adet ölçüm değeri alınır. Bu değerlerden ilki numune yağın kaba konulmasından hemen sonra alınır. Bu değer sonraki alınacak değerlerden ayrı tutulur ve değerlendirmeye alınmaz. Sonrasında deney 3 kez tekrarlanır. İlk deney sonrasında hava kabarcıkları kaybolduktan 1 dakika sonra diğer deney yapılabilir. Deney sonrasında elektrotlar arasında oluşan hava kabarcıkları, hava kabarcığı oluşturmadan temiz bir cam çubuk ile karıştırılır ve hava kabarcığı ortadan kaldırılır. 3 deney sonunda elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak yağın delinme gerilimi bulunur.

2. Yağ içinde hava kabarcığı oluşturularak, hava kabarcığının elektrotlara doğru olan hareketi gözlemleyiniz.
3. Yağ içine su ekleyerek, su kabarcığının elektrotlara doğru olana hareketi gözlemleyiniz.
4. Yağ içine yabancı maddeler (tebeşir tozu, elyaflı parçacıklar, vb.) ekleyerek bu maddelerin sistemdeki davranışını inceleyiniz.



Şekil-7 Deney kabı



Şekil-8 Deney kabının görüntüsü

7) **RAPORDA İSTENENLER**

1. Laboratuvarda yaptığımız bu deneyin yapılışını anlatınız.
2. Ölçtüğünüz numunelerin delinme gerilimlerini ve dayanımlarını veriniz.
3. İki adet 1mm kalınlığa sahip düzlemsel elektrot arasına dielektrik sabiti $\epsilon_r = 2.2$ olan 2.5 mm kalınlığında yağ numunesi bulunmaktadır.
 - Sistemin delinme gerilim ve dayanımını bulunuz.
 - Bu düzenekte 0.5 mm kalınlığında su kabarcığı yağın içine (merkeze) eklenirse, yeni durum için sistemin delinme dayanım ve gerilimini bulunuz.

DENEY-3

YALITKAN MADDELERDE KAYIP KATSAYISI VE BAĞIL DİELEKTRİK SABİTİNİN BULUNMASI



1) DENEYİN AMACI

Bu deneyde, dielektrik malzemelerin kapasite, direnç, endüktans gibi eşdeğer devre elemanlarının ve dielektrik kayıp katsayısının bulunması amaçlanmaktadır.

2) GENEL BİLGİ

Dielektrik malzemeler gerilime maruz kaldıkları zaman, ısı şeklinde ortaya çıkan bir güç kaybı oluşur ve buna dielektrik kayıp denmektedir. Oluşan bu kayıplardan dolayı ısı ortaya çıkar ve dielektrik malzeme ısınır. Dielektrik malzemelerin yalıtım dirençleri çok yüksektir ve üzerlerinden çok az bir akım akıtırlar. Dolayısıyla oluşan güç kaybı da küçüktür ancak yine de bu kayıp dielektrik malzeme için zararlı olabilir. Yüksek gerilim yeraltı kabloları gibi soğutma imkânı olmayan ve uzun süre gerilime maruz kalan dielektrik malzemelerde oluşan kayıplar, termik delinmelere neden olabilmektedir.

Gelişen malzeme teknolojisi ve ar-ge çalışmaları ile birlikte mekanik, elektriksel ve ekonomik açıdan en uygun yalıtım malzemesi üretimi çalışmaları yapılmaktadır. Bilindiği gibi katı yalıtkan maddelerin mekanik dayanımları yüksektir. Ancak bu malzemelerin aynı zamanda elektriksel ve ekonomik açıdan da aynı kaliteyi göstermesi beklenmektedir. Fiber, plastik ve mika gibi malzemeler hem ekonomik açıdan hem de mekanik açıdan yüksek kaliteli malzemelerdir. Ancak bu malzemeler elektriksel yalıtım için kullanılacakları zaman iki önemli parametre daha gündeme gelmektedir. Bu parametreler aşağıda verilmiştir.

- Bağlı dielektrik sabiti (ϵ_r)
- Dielektrik kayıp faktörü ($\tan \delta$)

Aslında yalıtkan malzemelerin gerçek kalitesi, bu iki parametrenin çarpımı olarak tanımlanan “kayıp indisi” tarafından belirlenmektedir.

Bir yalıtkan malzemenin dielektrik sabiti,

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \text{ ifadesiyle tanımlanır.}$$

Burada ε_0 , boşluğun dielektrik sabitidir ve değeri $\varepsilon_0 = 8,854 \text{ pF/m}$ dir. ε_r ise malzemenin dielektrik sabitidir.

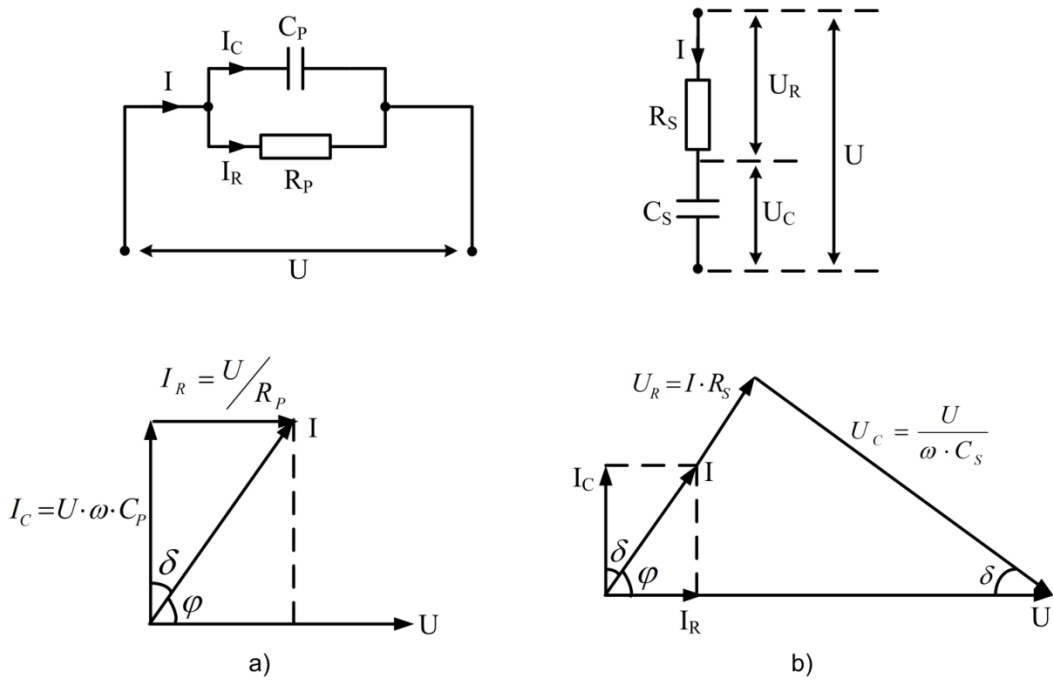
Bir malzemenin dielektrik sabiti,

$$\varepsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \text{ ile ifade edilmektedir.}$$

C_x değeri, elektrotları arasında tamamen yalıtkan malzeme bulunan bir kondansatörün kapasite değeridir. C_0 ise, elektrotlar arasında yalıtkan malzeme yerine hava olması durumundaki kapasite değeridir. (Geometrik kapasite)

Bir malzeme tamamen (ideal) yalıtkan ise bu malzemeye gerilim uygulandığında elektrik yükleri veya elektronlar hareket edemezler. Bu yapıdaki malzemeye örnek olarak ideal, kayıpsız bir kondansatör gösterilebilir. İdeal bir kondansatörün akımı ile gerilim arasında 90° faz farkı bulunmaktadır. Ancak gerçekte kullanılan yalıtkan malzemeler tam olarak ideal bir kapasiteye sahip değildir ve üzerlerinde güç kaybı oluşmaktadır. Bu güç kaybı, yalıtkan malzemenin eşdeğer devresinde kondansatöre ek olarak bir direnç ile ifade edilmektedir.

Eşdeğer devredeki kondansatöre paralel veya seri (veya hem seri hem paralel) olarak bir direnç eklendiği takdirde akım ile gerilim arasındaki açı da 90° den farklı olacaktır. Bu farkı oluşturan δ açısına “kayıp açısı”, bu açının tanjantına ($\tan \delta$) “dielektrik kayıp faktörü” ve direnç üzerinde harcanan güce de “dielektrik kayıp” denmektedir. Şekil-1’ de yalıtkan malzemelere ait paralel ve seri eşdeğer devreler verilmiştir.



Şekil-1

- a) Paralel eşdeğer devre ve fazör diyagramı
b) Seri eşdeğer devre ve fazör diyagramı

Yukarıdaki şekillerden ve fazör diyagramlarından faydalanılarak Tablo-1'deki bağıntılar bulunabilir.

Tablo-1 Paralel ve Seri eşdeğer devrenin denklemleri

Paralel Eşdeğer Devre	Seri Eşdeğer devre
$\tan \delta = \frac{1}{\omega \cdot R_p \cdot C_p}$	$\tan \delta = \omega \cdot R_s \cdot C_s$
$P_{\text{kayıp}} = U^2 \cdot \omega \cdot C_p \cdot \tan \delta$	$P_{\text{kayıp}} = \frac{U^2 \omega \cdot C_s \cdot \tan \delta}{1 + \tan^2 \delta}$
$C_s = C_p \cdot (1 + \tan^2 \delta)$	
$R_s = R_p \cdot \frac{\tan^2 \delta}{1 + \tan^2 \delta}$	

Yüksek kaliteye sahip dielektrik malzemelerde $\tan^2 \delta \ll 1$ olacağından $C_p \approx C_s = C$ olarak kabul edilebilir. Bu durumda,

$$P_{\text{kayıp}} = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \tan \delta = U^2 \cdot \omega^2 \cdot C^2 \cdot R_s = U^2 \cdot \omega \cdot C_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \tan \delta$$

bağıntısı elde edilir.

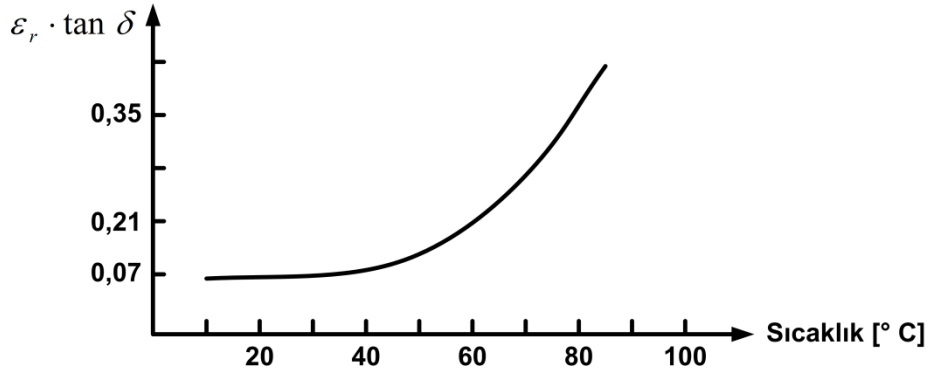
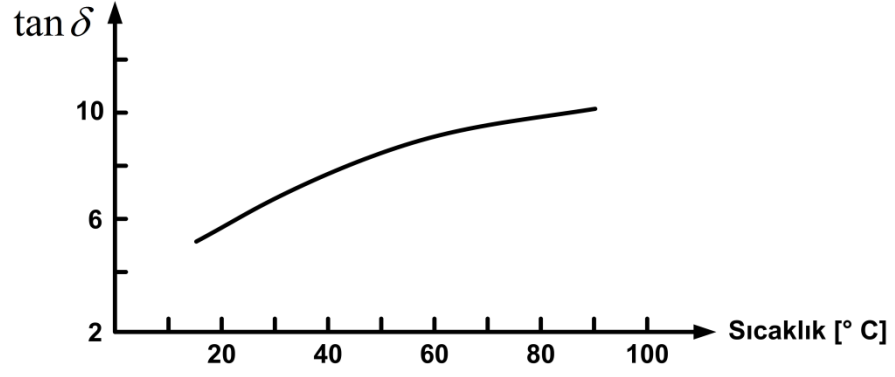
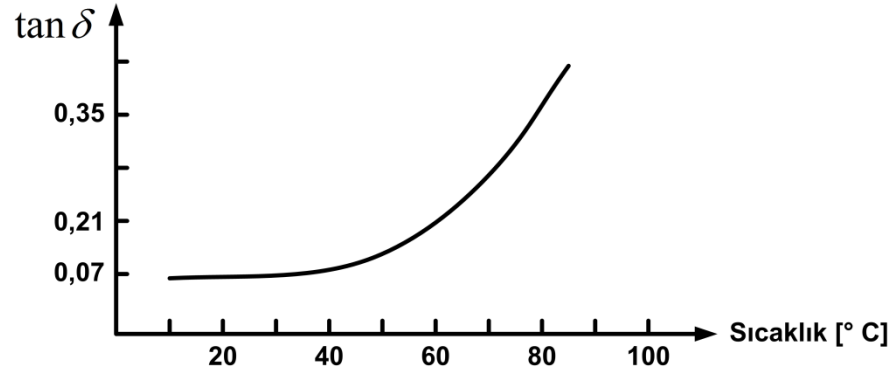
Elde edilen bağıntıdan da görüldüğü üzere, dielektrik kaybı gerilimin ve frekansın karesiyle doğru orantılıdır. Bu sebeple, yüksek frekans ve yüksek gerilime maruz kalacak dielektrik malzemelerin $\varepsilon_r \cdot \tan \delta$ kayıp indisinin çok küçük olması gerekmektedir.

Bir dielektrik malzeme içerisinde dielektrik kayıpların oluşmasının birçok nedeni olabilmektedir. Bunlar,

- Malzeme içerisinde heterojen olarak bulunan yabancı maddeler
- Kaçak akımlar
- Polarizasyon akımları
- Malzeme içerisindeki boşlukların iyonizasyonu

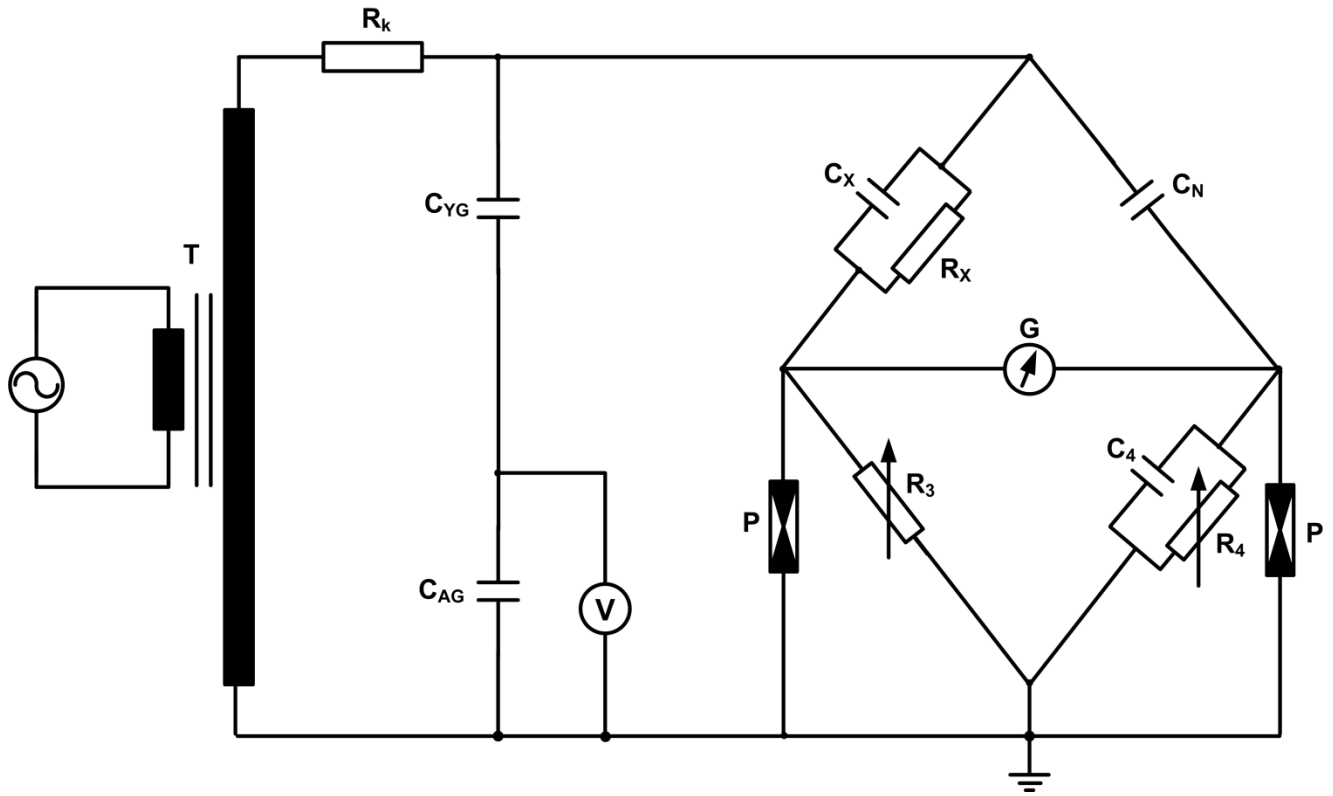
Bunlara ek olarak dielektrik malzemelerin bağlı noktalarında oluşan kontak dirençlerin de özellikle yüksek frekans ve yüksek gerilimlerde dielektrik kayıp üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir. Ayrıca elektrot şekillerinden dolayı oluşan kenar etkisi ve dielektrik malzemenin şekline bağlı olarak oluşan korona olayları da ölçme sonucunu etkilemektedir. Ölçme işlemi yapılırken bahsedilen parametrelere dikkat edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gereklidir.

Dielektrik kayıp faktörü, sıcaklık, frekans, nem ve gerilime bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple, yapılan ölçümlerin anlam kazanabilmesi için bahsedilen değişkenlerin de belirtilmesi gerekmektedir.



Şekil-2 $\tan \delta$, ϵ_r ve $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ 'nin sıcaklıkla değişimi

3) SCHERING KÖPRÜSÜ

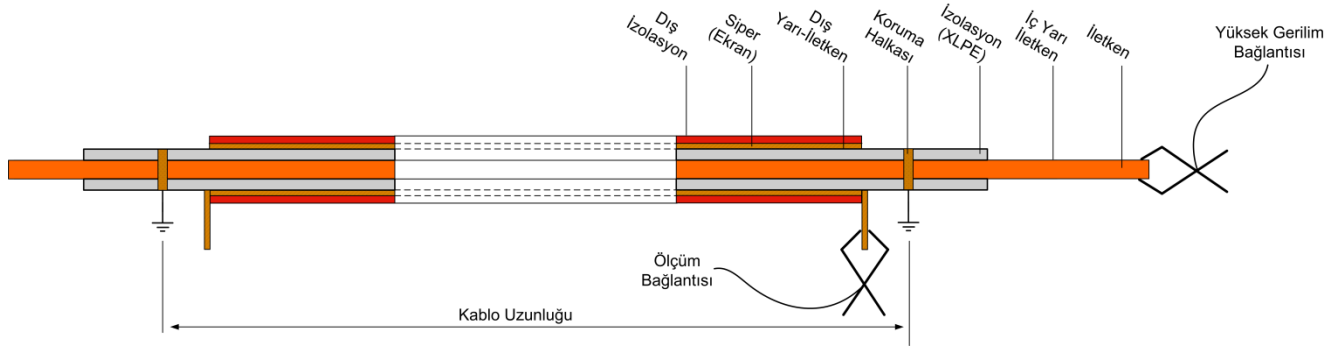


Şekil-3 Schering Köprüsü

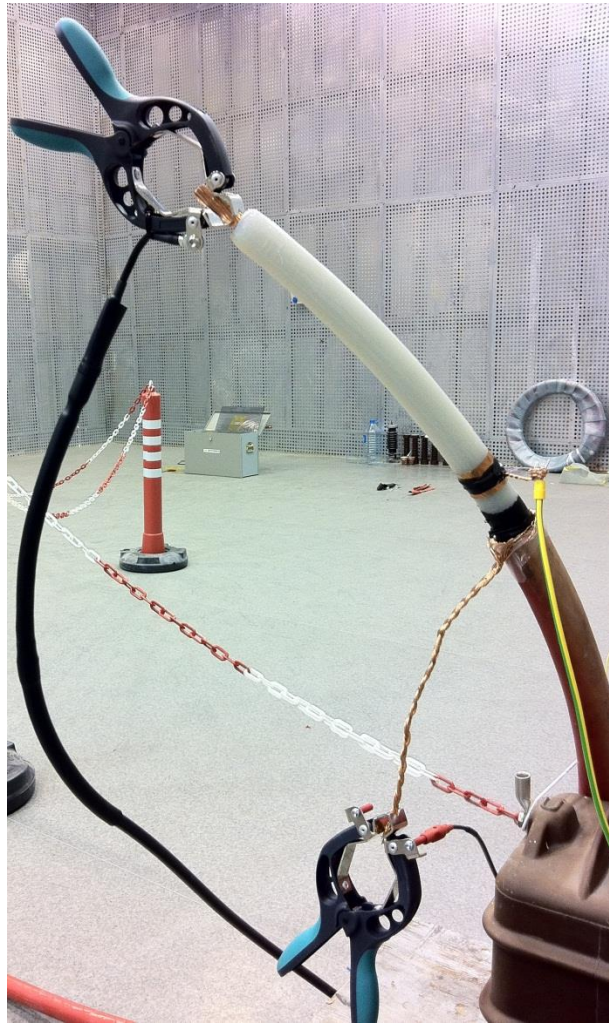
R_x	: Deney cisminin (numunenin) ohmik direnci
C_x	: Deney cisminin (numunenin) kapasitesi
C_N	: Değeri hassas olarak bilinen ve değeri değişmeyen etalon (standart) kondansatör
R_3	: Denge hali için değeri ayarlanabilen ohmik direnç
C_3	: Denge hali için değeri ayarlanabilen kondansatör
R_4	: Sabit değerli direnç
P	: Deney cisminin delinmesi durumunda R_3 , R_4 ve C_4 elemanlarının yüksek gerilime karşı korunması amacıyla kullanılan parafudr
R_k	: Koruma direnci
C_{yg} , C_{ag}	: Kapasitif gerilim bölücü
T	: Yüksek gerilim deney transformatörü
V	: Voltmetre
G	: Galvanometre

3) DENEYİN YAPILIŞI

Dielektrik kayıp faktörünü bulmak için bilinen en eski yöntem “Schering Köprüsü” metodudur. Ancak bu deney de istenilen değerleri elektronik olarak hesaplayan CPC 100 cihazı kullanılmaktadır. Deney numunesi olarak bir yüksek gerilim kablosu kullanılacaktır. Cihazın yüksek gerilim probu iletken kısma ve alçak gerilim probu da kablunun siper kısmına bağlanacaktır. Daha sonra farklı gerilim ve frekans seviyelerinde Tan delta, C_x , R_x , R_s ve P_k ölçümleri yapılacaktır.



Şekil-4 Deney bağlantı şeması



Şekil-5 Deney montajı

4) RAPORDA İSTENENLER

1. Ölçüm sonuçlarını tablo halinde veriniz.
2. Paralel ve seri eşdeğer devrelerde dielektrik kayıp katsayısı ve dielektrik kayıp ifadelerini çıkarınız.
3. Frekansa bağlı olarak tan delta değişimlerini çiziniz.
4. Ölçülen kapasite ve direnç değerlerini kullanarak seri ve paralel eşdeğer devre için tan delta, Z ve Pk değerlerini hesaplayınız.
5. Ölçülen kapasite değerini kullanarak kayıp indisini ve malzemenin bağlı dielektrik katsayısını hesaplayınız.

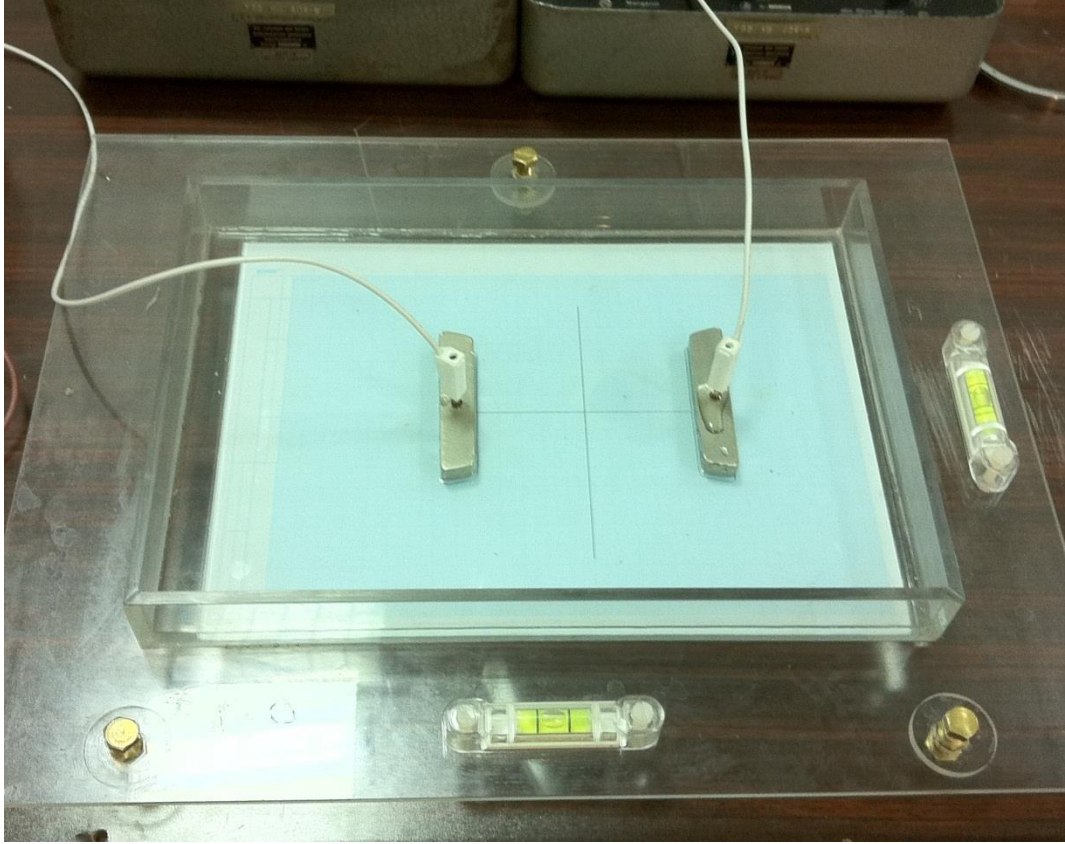
Deney

Numunesi.....

Gerilim	Frekans	Akım	Tan Delta	Cx	Rx	Rs	Pk	Z

DENEY-4

ELEKTROLİTİK BANYO YÖNTEMİYLE ELEKTROSTATİK ALANIN İNCELENMESİ



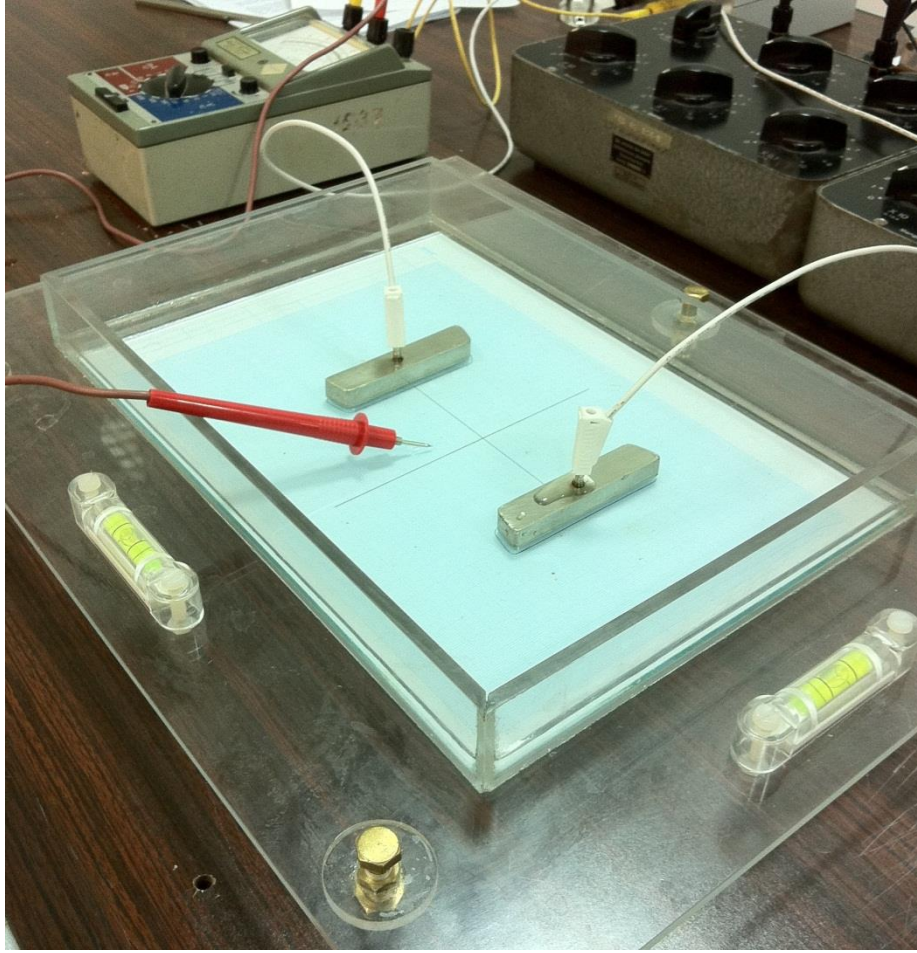
1) DENEYİN AMACI

Yüksek gerilim aygıtlarının, alçak gerilimde farklı elektrot yapılarıyla modellenerek elektrotlar arasındaki eş potansiyel çizgilerin çizilmesi ve bu eş potansiyel çizgilere her noktada dik olarak çizilen elektrik alan çizgileri yardımıyla elektrostatik alan dağılımının incelenmesidir.

2) GENEL BİLGİ

Yüksek gerilimde kullanılan tüm aygıtların ve malzemelerin elektriksel dayanımları çok önemlidir. Firmalar bu yalıtkan malzemelerde, elektriksel zorlanmaların malzemenin en çok neresinde olduğunu dikkate alarak şekillendirme ve boyutlandırma yapmak zorundadırlar. Bu nedenle söz konusu ürünlerin alan dağılımlarının bilinmesi gerekmektedir.

Bu sistemlerin simetrik olmaları durumunda alan dağılımları matematiksel (analitik) olarak incelenebilmektedir. Fakat simetrik olmayan sistemlerde ise alan dağılımı ancak çizim (grafik) yöntemiyle veya deneysel olarak incelenebilir.



Şekil-1 Deney sistemine ait görüntü

2.1) Çizim Yöntemi

Bu konu bir örnek üzerinde anlatılarak konunun daha iyi anlaşılması sağlanacaktır. Bir elektrot sisteminde önce eş potansiyel çizgiler sonra bunları her noktada dik kesecek şekilde alan çizgileri çizilir. (Şekil-2)

d: Elektrotların sayfa düzlemine dik doğrultudaki yüksekliği,

n: Alan çizgileri sayısı,

m: Eş potansiyel çizgi sayısı olmak üzere;

$$Q = \int \vec{D} \cdot d\vec{F} = n \cdot \epsilon \cdot E \cdot b \cdot d$$

$$E = \frac{\Delta\phi}{a} \quad \text{ve} \quad \Delta\phi = \frac{U}{m+1} \quad \text{yerine konursa,}$$

$$Q = U \cdot \frac{b}{a} \cdot \epsilon \cdot d \cdot \frac{n}{m+1} \quad C = \frac{Q}{U} \quad \bar{C} = C/d = \epsilon \cdot \frac{n}{m+1} \quad E_{\max} = \frac{\Delta\phi}{a_{\min}} \quad \text{bulunur.}$$

Q : Yük Miktarı [Coulomb]

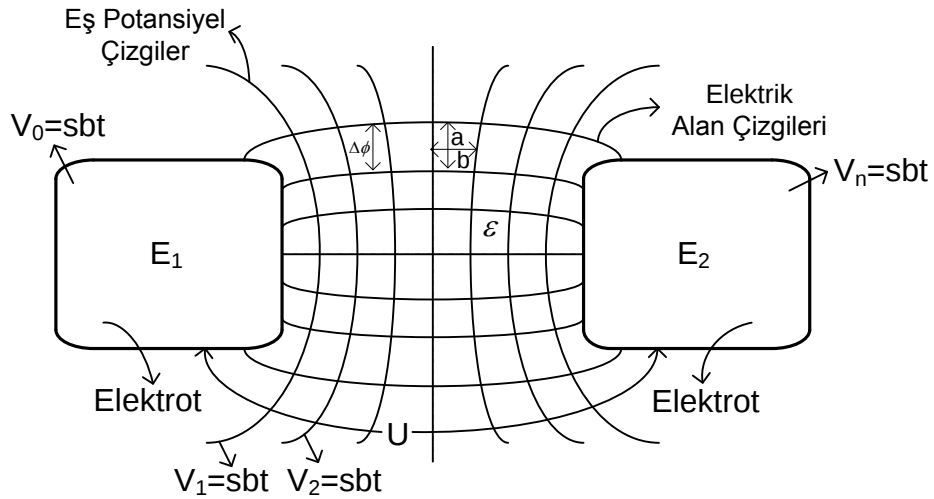
$\Delta\phi$: Alan farkı

D : Deplasman (Elektriksel Yük Yoğunluğu) [C/m²]

F : Elektriksel Kuvvet [N]

a : Elektrik alan çizgileri arası açıklık

b : Potansiyel çizgileri arası açıklık



Şekil-2 Eş potansiyel ve alan çizgilerinin elde edilmesi

2.2) Elektrolitik Banyo Yöntemi

Elektrik alanı ile stasyoner akım alanı arasında yakın bir benzerlik vardır. Bu benzerlik elektrolitik banyo yöntemiyle elektrostatik alan dağılımının bulunmasına yardımcı olur.

Statik elektrik Alanı

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E}_s$$

$$Q = \oint \vec{D} \cdot d\vec{F}$$

$$C = Q/U$$

Stasyoner Akım Alanı

$$\vec{J} = \rho \cdot \vec{E}_i$$

$$I = \oint \vec{J} \cdot d\vec{F}$$

$$G = 1/R = I/U$$

$$\vec{E} = -\text{grad}\phi$$

$$\text{div grad}\phi = 0$$

$\vec{J}$ akım yoğunluğu ile $\vec{D}$ deplasman vektörleri analitik olarak birbirine benzemektedir. Bundan dolayı ρ iletkenlikli bir ortamda elde edilen akım yoğunluğu çizgileri; aynı elektrot sisteminin ϵ_r bağıl dielektrik sabitli yalıtkan ortamdaki deplasman çizgileriyle (izotrop bir ortam için statik alan çizgileriyle) çakışır. Bu özellikten faydalananak, alan dağılımı incelenecek elektrot sisteminin mükemmel iletken yapılmış ölçekli bir modeli elektrolitik bir sıvı içerisine yerleştirilip akım çizgileri

çizilirse, aynı zamanda bu elektrot sisteminin elektrostatik alan dağılımı da bulunmuş olur. Akım çizgilerinin çizilmesinde Bölüm 3'te anlatılan çizim yönteminden yararlanılır.

Yukarıda açıklanan benzerlikten faydalanarak Bölüm 3'te çıkarılan bağıntıların benzeri Stasyoner Akım Alanı için elde edilir:

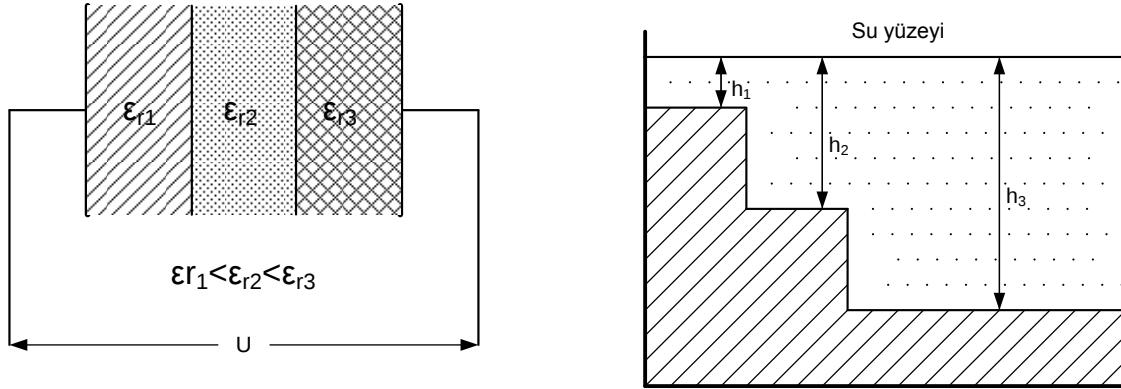
$$I = \oint \vec{J} \cdot d\vec{F} = U \cdot \rho \cdot \frac{b}{a} \cdot d \cdot \frac{n}{m+1}$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} = \rho \cdot \frac{b}{a} \cdot d \cdot \frac{n}{m+1}$$

Yine $\frac{b}{a} = 1$ alınıp gerekli işlemler yapılırsa;

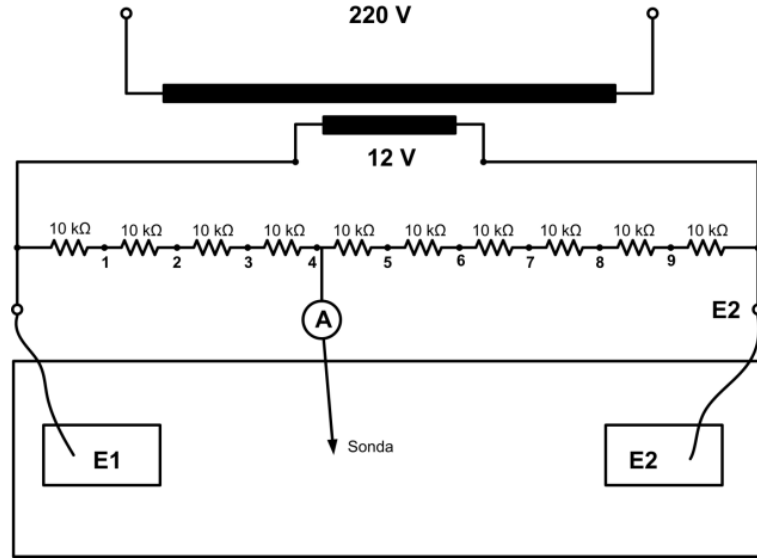
$$G = \frac{1}{R} = \rho \cdot d \cdot \frac{n}{m+1} \quad \text{ve} \quad R \cdot C = \frac{\epsilon}{\rho} \text{ bulunur.}$$

Bu arada benzerliğin yapılabilmesi için her iki alanın sınır koşullarının eşdeğer olması gerekir. Elektrolitik banyo yöntemi, eğer modeller istenildiği şekilde seçilerek ($\epsilon_{r1}, \epsilon_{r2}, \epsilon_{r3}$ bağıl dielektrik sabitli tabakalar) ve $\frac{\epsilon_{r1}}{h_1}, \frac{\epsilon_{r2}}{h_2}, \frac{\epsilon_{r3}}{h_3}$ olacak şekilde farklı elektrolitik sıvı yükseklikleri oluşturularak, dielektrik sabitleri farklı çok tabakalı sistemlere de uygulanabilir.



Şekil-3 Çok tabakalı bir elektrot sisteminin farklı sıvı yükseklikleriyle temsil edilmesi

3) DENEYİN YAPILIŞI



Şekil-4 Deney devresi

Alan dağılımı incelenecek olan elektrot sisteminin ölçekli bir modeli milimetrik bir kâğıt üzerine çizilir. Milimetrik kâğıt su kabının içerisine konularak ilgili elektrotlar milimetrik kâğıt üzerine yerleştirilir. Elektrotlar arasını iletken hale getirmek için kabın içerisine 1-2 mm yüksekliğinde su konur. (Şekil-4)

Güç kaynağının önüne $R=10\text{ k}\Omega$ değerinde 10 adet direnç bağlanarak sondanın bağlı olduğu noktanın potansiyeli $U=(0-0,1-0,2\ldots\ldots 0,9-1,0)\times 12$ aralığında ayarlanabilir. Her bir U geriliminde eş potansiyel noktanın bulunabilmesi için, üzerinde ampermetrenin bağlı olduğu sonda ucu elektrotlar arasında gezdirilir. Sonda elektrotlar arasında, dik bir şekilde tutarak gezdirilirken ampermetreden akım değişimi takip edilir. Akımın sıfıra düştüğü (akım akmadığı) nokta eş potansiyel nokta olacaktır. Bu şekilde her bir U geriliminde 8 eş potansiyel nokta bulunup milimetrik kâğıt üzerine işaretlenir. Belirlenen bu eş potansiyel noktalar birleştirilerek eş potansiyel çizgiler çizilmiş olur. Bu eş potansiyel çizgilere her noktada eş potansiyel çizgilerle dik olacak şekilde alan çizgileri çizilir.

4) RAPORDA İSTENENLER

1. Deneyde yapılan tüm işlemleri adım adım yazarak bu deneyin amacını kısaca açıklayınız.
2. Milimetrik kâğıt üzerine önce eş potansiyel çizgileri daha sonra alan çizgilerini dikkatlice çizin.

DENEY-5

İZOLATÖR ZİNCİRLERİNDE GERİLİM DAĞILIMI VE ATLAMA GERİLİMİNİN TAYİNİ



1) DENEYİN AMACI

Bu deneyde, yüksek gerilimin bulunduğu hemen hemen her yerde izolasyon amacıyla kullanılan izolatörler hakkında genel bilgi verilecektir. Ayrıca havai hatlarda kullanılan zincir izolatörlerdeki gerilim dağılımı ile bunların atlama gerilimleri tayin edilecektir.

2) GENEL BİLGİ

İzolatörler, gerilim altında bulunan iletkenleri toprağa karşı yalıtım amacıyla kullanılan elemanlardır. Ayrıca havai hatlarda kullanılan izolatörlerin bir diğer görevi de iletken ağırlığını ve iletkene gelen ek yükleri karşılamaktır.

İzolatörler ilk olarak 1844 yılında Washington-Baltimore, Maryland arasına çekilen telgraf hatlarında kullanılmıştı ve balmumu ile ıslatılmış malzemeden yapılmaktaydı.

2.1) İzolatörlere Ait Tanımlamalar

Türk Standartları Enstitüsü'nce yayımlanan “*Elektroteknikte Kullanılan Terimler ve Tarifler- İzolatörler*” (TS 5007 / Ocak 1987) isimli standartlara göre bazı tanımlamalar şöyledir:

- **Ark:** Elektriğin sürekli olarak sıvı veya gaz içerisinde atlayarak akmasıdır.
- **Atlama:** Bir izolatörün dışında normal olarak gerilim bulunan bölümleri arasında meydana gelen zarar verici boşalmadır. Atlama terimi, hem izolatör yüzeyi boyunca oluşan atlama hem de izolatör etrafındaki havada atlamayla oluşan zarar verici boşalmaları kapsar.
- **Ark Atlama Gerilimi:** İzolatörün taşıdığı ve yalıtıdığı iletkenlerdeki normal frekanslı elektrik geriliminin atlamayı meydana getiren değeridir. Kuru ve yağ şartlar altında değişiklik gösterir.
- **Delinme:** Bir izolatörün porselen ya da cam gibi yalıtkan aksamından geçen zarar verici boşalma olayıdır.



Şekil-1 Delinmiş bir izolatör

- **Delinme Gerilimi:** Belirli test koşullarında bir zincir izolatör ünitesi ya da bir mesnet izolatöründe delinmeyi meydana getiren gerilimdir.
- **Gövde:** Dıştan elektrik hatlarının, içten mesnet demirinin tespit edildiği porselen izolatörün montaj ve çalışma sırasında mekanik ve elektriksel etkilere karşı dayanıklılığını sağlayan ve genel olarak izolatörün siper, tespit yuvası gibi kısımlarını içeren porselen ya da camdan parçadır.
- **İletken Yuvası:** İzolatörün tepesinde ve yanlarında bulunur. İzolatöre bağlanacak iletkenlerin yerleştirilmesine yarayan yerdir.
- **Kırılma Yüğü:** İzolatörün kullanılamaz derecede hasara uğramasını meydana getiren mekanik yüktür.
- **Kuruda Darbe Gerilimi:** Belirli test koşullarında bir izolatörün zarar görmeden kuruda dayandığı gerilimdir.
- **Siper:** İzolatörün, elektrik gerilimi atlama direncini arttırmak amacıyla özel olarak şekillendirilip bir veya birkaç katlı yapılan etek kısmıdır.
- **Standart Atmosfer Şartları:** Çevre sıcaklığı 20 derece, barometrik basınç 760 mm cıva, rutubet %63 olma halidir.
- **Tespit Demiri:** İzolatörün direk veya başka mesnede tespitine yarayan ve tespit yuvasına giren bir ucunda yivi veya kertikleri, diğer ucunda da direk veya başka mesnetlere tespitine yarayan düzeneği bulunan düz veya diğer şekilleri olan demirdir.

- **Tespit Yuvası:** İzolatörlerin birbirlerine bağlanmasına veya mesnet demirlerine tutturulmasına yarayan ve yerine göre (durdurma izolatörlerinde olduğu gibi) düz veya yivli olarak yapılan delik veya kanallardır.

2.2) İzolatörlerin Sınıflandırılması

2.2.1) Hammadde Malzemesine Göre

Porselen İzolatörler: Porselen izolatörler kaolin, kuarts ve feldspot kullanılarak oluşturulan bir karışımın yüksek derecede fırınlanmasıyla elde edilen bir malzemedir. Mekanik mukavemeti yüksek bu malzeme aynı zamanda ısı değişikliklerinden de az etkilenmektedir. Porselen izolatörlerin dielektrik dayanımlarını arttırmak için yüzeyleri ince bir sır tabakası ile kaplanmaktadır. Böylece malzeme yüzeyi daha pürüzsüz olmakta ve kirlendikten sonra yağmur suyu ile kolayca temizlenebilmektedir. Porselen malzemenin dielektrik dayanımı 60-70 kV/cm civarındadır.



Şekil-2 Porselen İzolatör

Cam İzolatörler: Cam izolatörler, sodyum silikat (NaSiO_3) ve kalsiyum silikat (CaSiO_3)'ın birleşiminden elde edilirler ve havai hatlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam izolatörlerin dielektrik dayanımlarının porselen izolatörlere göre yüksek olması ve maliyetlerinin düşük olması nedeniyle kullanımları alanları genişlemiştir. Ayrıca şeffaf bir yapıya sahip olmalarından dolayı, izolatör üzerindeki kırık ve çatlaklar kolay bir şekilde tespit edilebilmektedir. Ancak bu özelliklerinin yanı sıra cam izolatörlerin mekanik ve ısıl dayanımları düşüktür. İmalat safhasında döküm işleminden sonraki soğuma aşamasında, malzeme içerisinde oluşan iç gerilmeler nedeniyle kompleks geometriler için üretilmemektedirler.



Şekil-3 Cam İzolatör

Epoksi Reçineli İzolatörler: Mekanik dayanımları çok yüksek olan bu izolatörlerin üretiminin pahalı maliyetli olması nedeniyle özel uygulamalarda tercih edilmektedir.

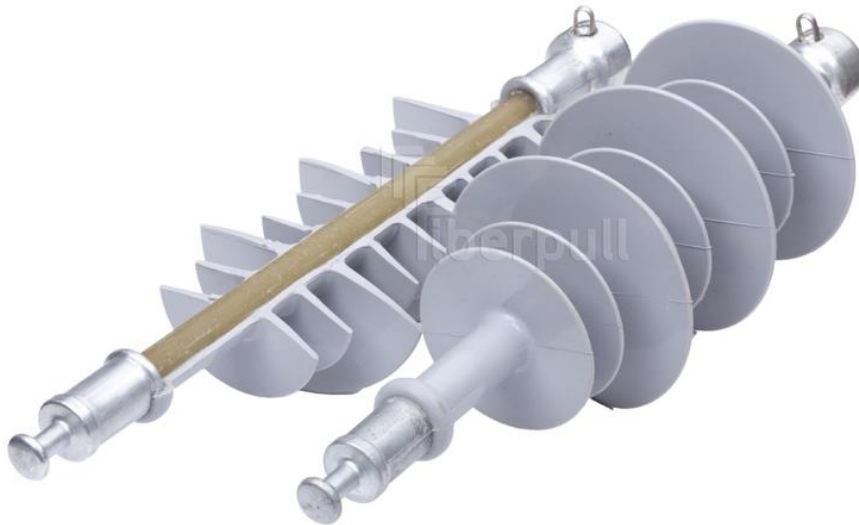


Şekil-4 Epoksi Reçine İzolatör

Silikon İzolatörler: Silikon izolatörlerin diğer bir adı da kompozit izolatördür. Bu izolatör tipinin porselen ve cam izolatörlere göre birçok üstün özellikleri bulunmaktadır:

- Mekanik darbelere karşı dayanımları yüksektir.
- Kırılma ve çatlama riski diğer izolatörlere göre daha azdır.
- Kolay montaj edilebilmektedir.
- Yüzeyinde yağmur ve kar suyu tutmadığından dolayı ark oluşturmazlar.
- Diğer izolatör tiplerine göre daha hafiftirler.
- Değişken hava koşullarında (çok sıcak ve çok soğuk) mekanik ve elektriksel özellikleri çok az değişim göstermektedir.

Yukarıda bahsedilen avantajlarının yanı sıra pahalı olmalarından dolayı kullanım alanları henüz yaygınlaşmamıştır.



Şekil-5 Silikon İzolatör

2.2.2) Taşıdığı İletkenin Gerilimine Göre

- Alçak gerilim izolatörleri
- Orta gerilim izolatörleri
- Yüksek gerilim izolatörleri

2.2.3) Atmosferik Çevre Koşullarına Göre

- Dahili tip izolatörler
- Harici tip izolatörler

2.2.3) Kullanım Amacına Göre

- Mesnet izolatörleri



Şekil-6 Mesnet İzolatörleri

- Zincir İzolatörler



a)



b)

Şekil-7

a) Cam zincir izolatör

b) Porselen zincir izolatör

- Geçit İzolatörleri



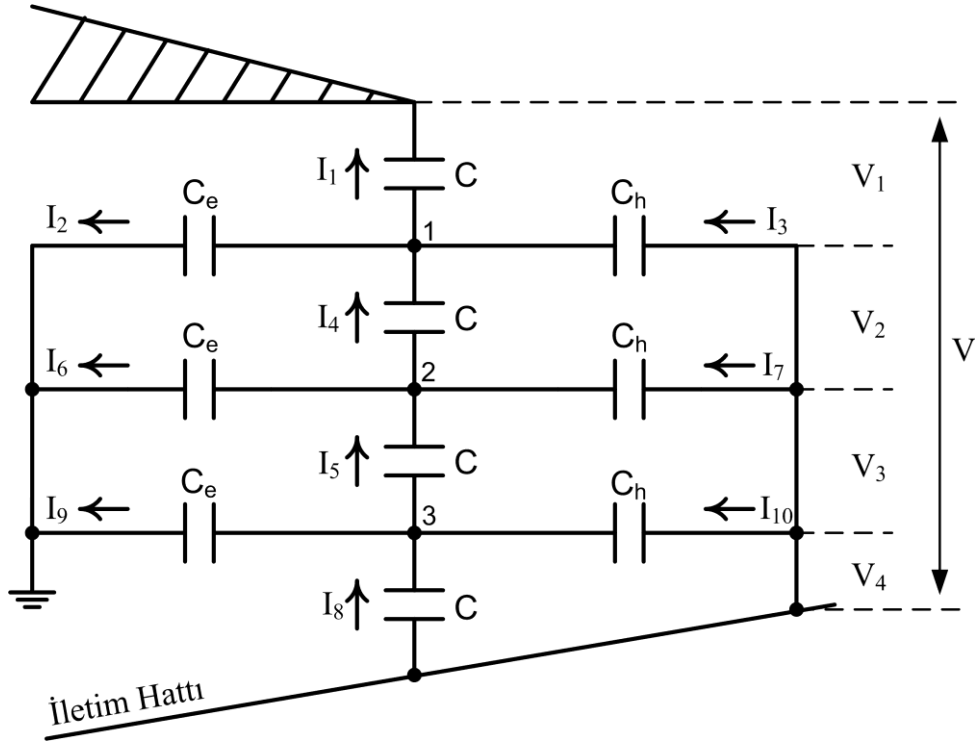
Şekil-8

- a) Hariçten dahile geçit izolatörü
b) Dahilden dahile geçit izolatörü

2.3) Zincir İzolatörlerde Gerilim Dağılımının Hesaplanması

Bilindiği gibi izolatörlerin görevi, gerilimli kısımları toprağa karşı yalıtmaktır. Bazı özel durumlar haricinde (yağmurlanma, yüzeysel kirlenmeler vb.) izolatörler kapasitif olarak davranmaktadırlar. Bu sebeple eşdeğer devre oluşturulurken izolatörler kapasite (C) olarak temsil edilirler. Dolayısıyla zincir halinde bağlanmış bir izolatörün de eşdeğer devresi seri bağlı kondansatörler şeklinde olacaktır. Bu durumda hat geriliminin tüm elemanlara eşit bir şekilde dağılacak yani gerilim dağılımı lineer olacaktır.

Ancak gerçek uygulamalarda her bir zincir üzerine düşen gerilim değerinin eşit olmadığı bilinmektedir. Bunun sebebi ise sistem içerisinde izolatör kapasitelerinden başka bu elemanların başlıkları ile toprak (direk) arası kapasiteler (C_e) ve yine bu başlıklar ile iletim hattı arası kapasiteler (C_h) bulunmasıdır. Tüm bu kapasiteler sebebiyle zincir elemanlardaki gerilim dağılımı lineerlikten uzaklaşmaktadır. Şekil-9'da 4 elemanlı bir zincir izolatör sisteminin eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil-9 Dört elemanlı bir zincir izolator sisteminin eşdeğer devresi

Topraklı taraftan itibaren n. izolatördeki gerilim yüzdesi,

$$\frac{\Delta U_k}{U_h} = \frac{100}{(C_e + C_h) \cdot \sinh(n \cdot \gamma_n)} \{C_e [\sinh(k \cdot \gamma_n) - \sinh((k-1) \cdot \gamma_n)] - C_h [\sinh((n-k) \cdot \gamma_n) - \sinh((n-k+1) \cdot \gamma_n)]\}$$

$$\gamma_n = \sqrt{\frac{C_e + C_h}{C}}$$

Zincir sistemindeki en küçük gerilime sahip izolator,

$$k_{\min} = \frac{1}{2\gamma_n} \cdot \ln \left[1 + \frac{C_h \cdot e^{n \cdot \gamma_n} + C_e}{C_h \cdot e^{-n \cdot \gamma_n} + C_e} \right]$$

denklemleri bulunmaktadır.

n elemanlı zincirde hat geriliminin büyük kısmı iletken en yakın izolator elemanında düşer. Böyle bir sistemde izolator üniteleri için verim,

$$\% \eta = \frac{V}{n \cdot V_n} \cdot 100$$

denklemleri ile ifade edilmektedir.

2.4) Zincir İzolatörlerde Gerilim Dağılımının Deneysel Olarak Bulunması

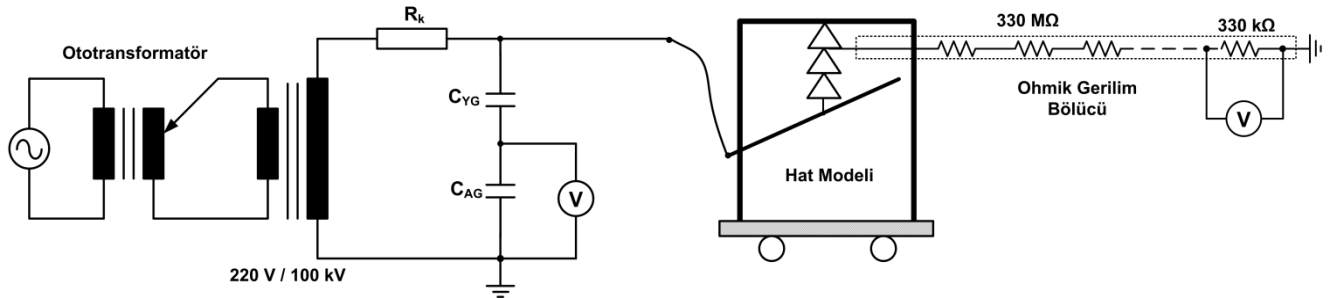
Gerilim dağılımının deneysel olarak bulunmasında kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır.

1. Gerilim bölücüler kullanarak ölçme
2. Elektrolitik banyo yöntemiyle ölçme
3. Küçük çaplı küresel elektrotlar kullanarak ölçme

3) DENEYİN YAPILIŞI

Bu deneyde zincir izolatörlerdeki gerilim dağılımını ölçmek için ohmik gerilim bölücü kullanılacaktır.

Ölçme işlemi için Şekil-10'da verilen deney düzeneği hazırlanacaktır.



Şekil-10 Deney düzeneği

4) RAPORDA İSTENENLER

1. Zincir elemanlardaki gerilim dağılımlarını ve bir izolatörün atlama gerilimi değerini tablolar halinde veriniz.
2. $U=.....kV$, $C=..... pF$, $C_e=.....pF$, $C_h=.....pF$, $n=.....$ elemanlı bir zincir izolatör sisteminde her bir eleman üzerine düşen gerilimi ve sistemin verimini hesaplayınız.
3. Deneyde kullanılan ohmik gerilim bölücüyekV gerilim uygulandığında her bir dirençteki üzerindeki gerilim düşümünü, akımı ve güç kaybını hesaplayınız.