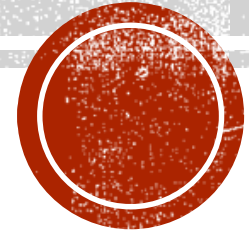


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ

Yüksek Gerilimlerin Ölçülmesi

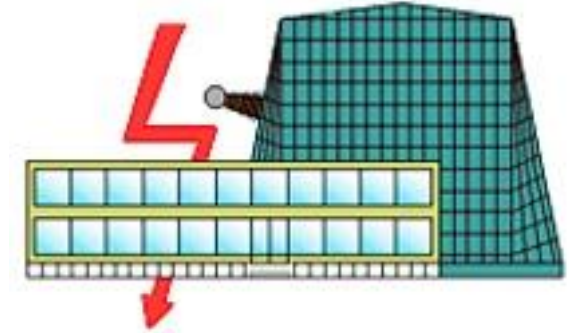


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

Yüksek Gerilim Laboratuvarı - 2022-2023 Güz Yarıyılı

Dersi veren öğretim üyesi:

Prof. Dr. Özcan Kalenderli



CRN 11995	ELK 411	Yüksek Gerilim Laboratuvarı	Özcan Kalenderli	Perşembe 1230/1529	35	ELK	ELK 312 MIN DD veya ELK 312E MIN DD
--------------	------------	--------------------------------	------------------	-----------------------	----	-----	--

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Yüksek Gerilimlerin Ölçülmesi

Bu derste, kısaca

- 1) Yüksek alternatif gerilimlerin
- 2) Yüksek doğru gerilimlerin
- 3) Yüksek darbe gerilimlerin

ölçülmesi ve

4) Hava koşulları etkilerinin göz önüne alınması konularından söz edilecektir.

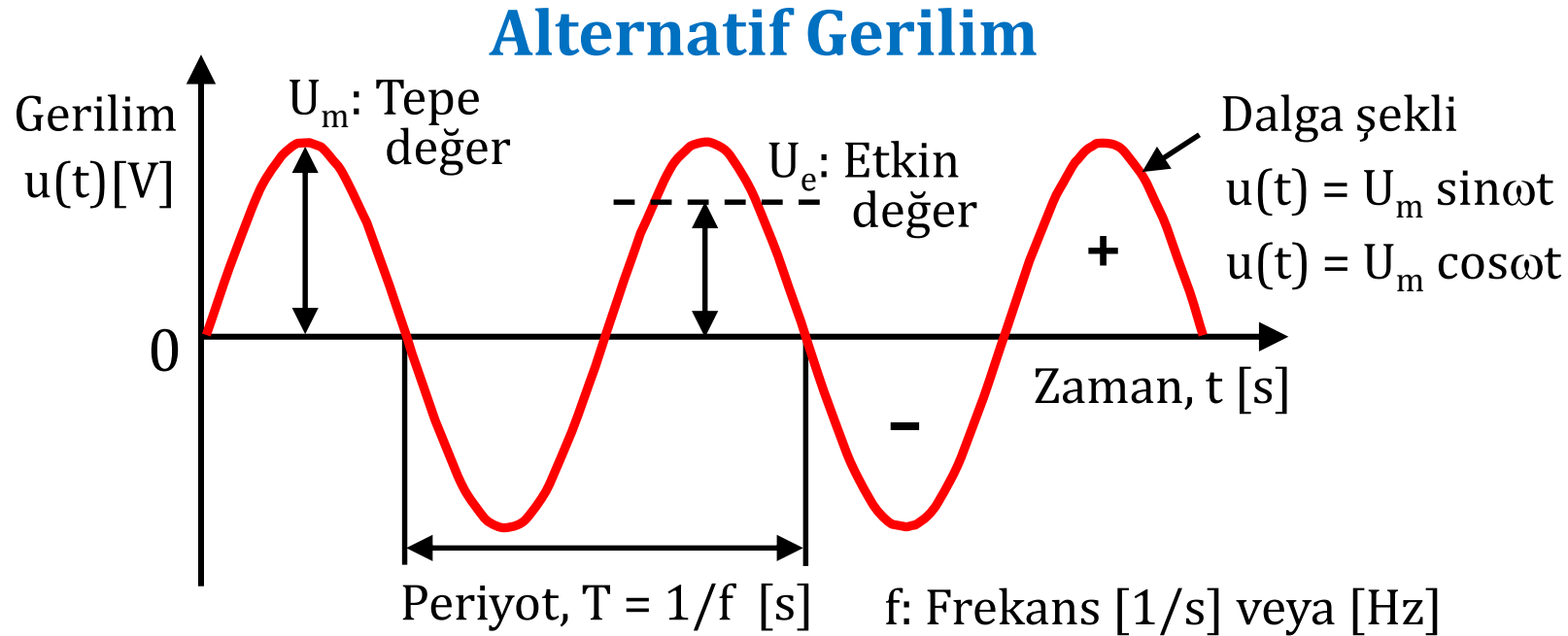
Önce, ölçülecek gerilimin dalga şekli ve onun büyüklükleri belirtilecek, sonra, bu büyüklüklerin ölçülmesi yöntemleri öz olarak açıklanacaktır.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

1) Yüksek Alternatif Gerilimlerin Ölçülmesi

Amaç, farklı yöntemlerle yüksek alternatif gerilimlerin genlik (U_m , U_e), zaman (T), frekans (f) büyüklüklerinin ve dalga şekillerinin ölçülmesidir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

1) Yüksek Alternatif Gerilimlerin Ölçülmesi

Yüksek alternatif gerilimler başlıca beş yolla ölçülür. Bunlar

1.1) Küresel elektrotlarla (tepe değer ölçme)

1.2) Kapasitif gerilim bölücü ile (tepe değer, etkin değer, dalga şekli, frekans, periyot ölçme)

1.3) Gerilim ölçü transformatörü ile (etkin değer ölçme)

1.4) Elektrostatik voltmetre ile (etkin değer ölçme)

1.5) Kondansatör akımından yararlanarak (Chubb ve Fortescue devresi ile) gerilim ölçme (tepe değer ölçme)

ölçmedir.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

1.1) Küresel elektrotlarla ölçme

Ölçme, her küre çapı ve elektrot açıklığı için küreler arasındaki atlama geriliminin belli olmasına dayanır. Ölçme iki yönlü yapılabilir:

- 1) Bir yerde var olan ve değeri bilinmeyen yüksek gerilim, elektrot açıklığı atlama olana kadar azaltıldığında, küreler arasında atlama olduğu andaki açıklığa karşı düşen gerilimdir.
- 2) Bir yere veya deney cismine istenen değerde yüksek gerilim uygulamak için, elektrot açıklığı bu gerilimde atlama olacak şekilde açılır. Küreler arasında atlama olduğu andaki gerilim, uygulanmak istenen gerilim olur.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

1.2) Kapasitif gerilim bölücü ile ölçme

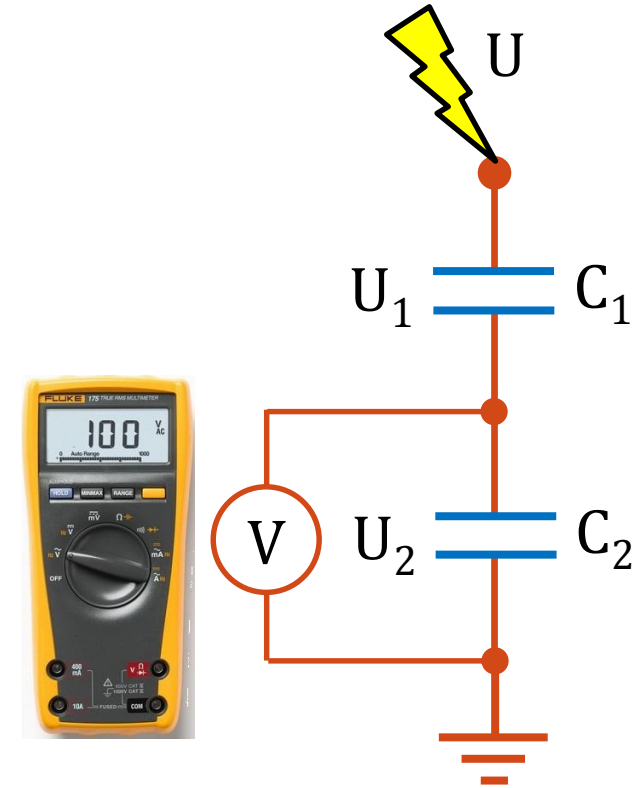
Bu ölçmede, şekildeki gibi, iki kondansatör (C_1 , C_2) seri bağlanarak bir kapasitif gerilim bölücü oluşturulur.

Bir kapasitif gerilim bölücünün gerilim bölme oranı:

$$n = U/U_2 = (C_1 + C_2)/C_1$$

dir. Gerilim bölücünün alçak gerilim (C_2) uçlarından alçak gerilim voltmetro ile ölçülen gerilim değeri, gerilim bölücünün çevirme (dönüştürme, bölme) oranı ($n = (C_1 + C_2)/C_1$) ile çarpılarak yüksek gerilim (U) ölçülür.

$$U = n \cdot U_2$$

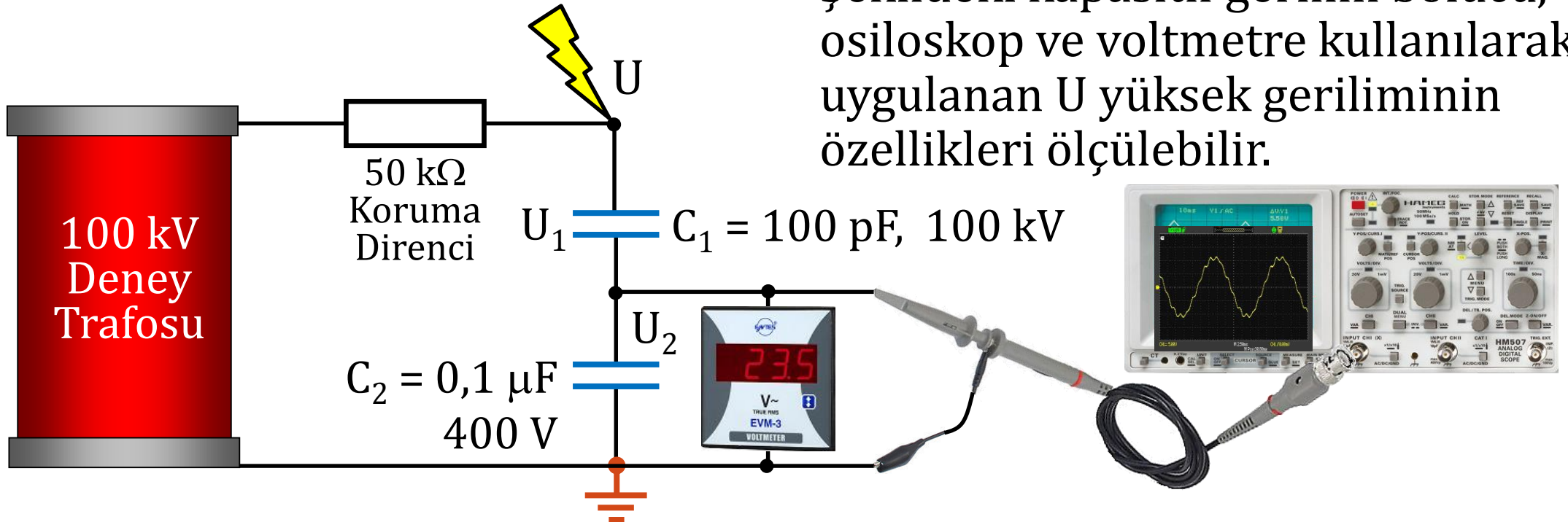


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Kapasitif gerilim bölücü ve osiloskop kullanarak alternatif gerilim dalga şeklinin ve tanım büyüklüklerinin ölçülmesi

Şekildeki kapasitif gerilim bölücü, osiloskop ve voltmetre kullanılarak uygulanan U yüksek geriliminin özellikleri ölçülebilir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

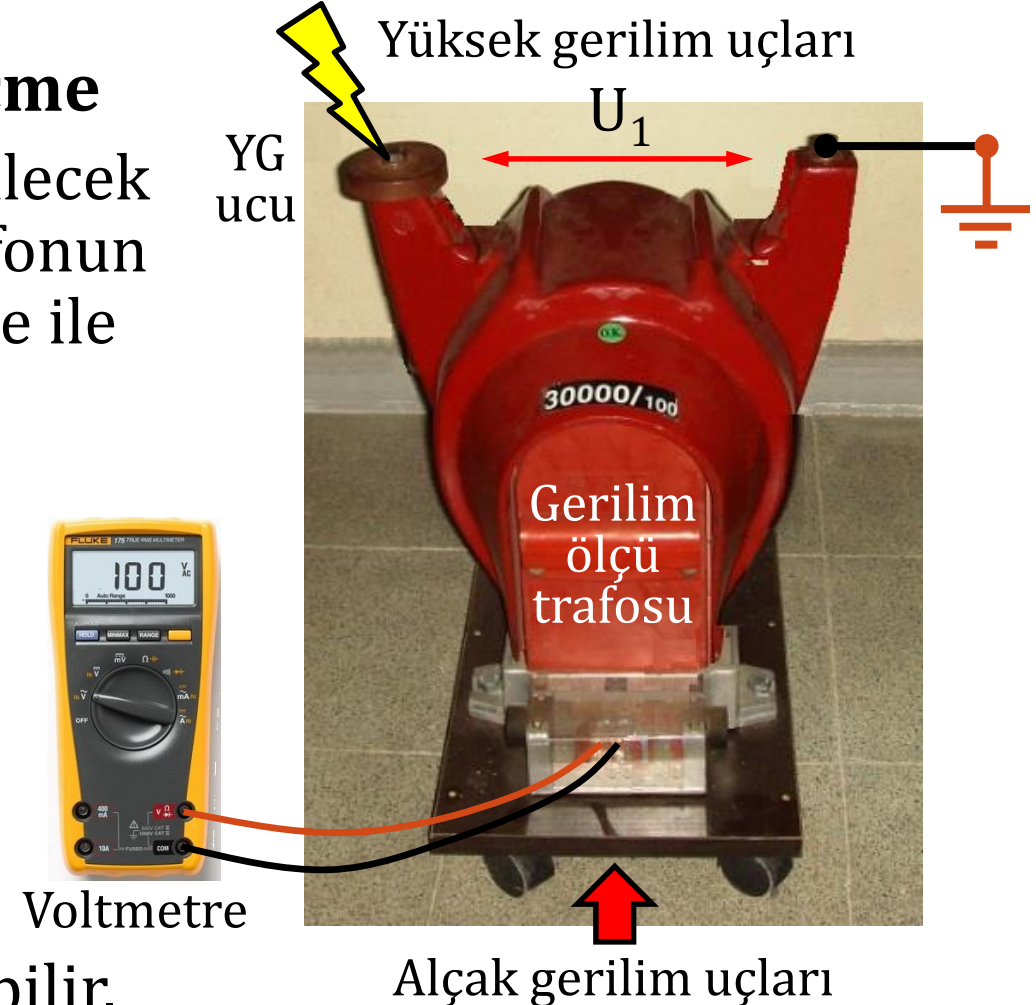
1.3) Gerilim ölçü transformatörü ile ölçme

Gerilim ölçü trafosunun YG ucu, gerilim ölçülecek noktaya bağlanır. Diğer ucu topraklanır. Trafonun alçak gerilim uçlarına bağlanan bir voltmetre ile çıkış gerilimi (U_2) ölçülür.

Ölçülen gerilim, gerilim ölçü trafosunun çevirme oranı (n) ile çarpılarak uygulanan gerilim ($U_1 = n \cdot U_2$) ölçülmüş olur.

Bu yolla gerilimin etkin değeri ölçülür.

Ölçü trafosu çıkışına bir osiloskop bağlanarak gerilim dalga şekli ve genlik, frekans, periyot, ... gibi büyüklükler ölçülebilir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

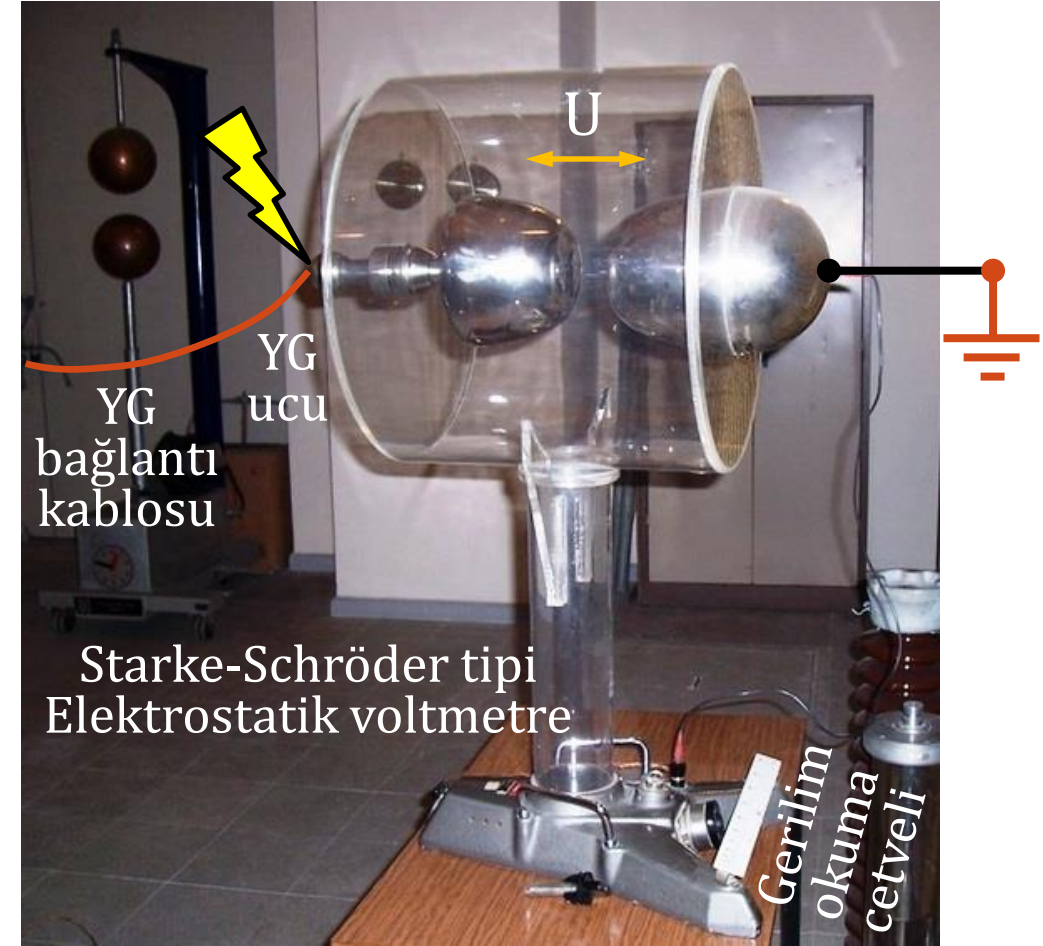
YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

1.4) Elektrostatik voltmetre ile ölçme

Elektrostatik voltmetrelerin ilkesi, uygulanan gerilimle, elektrotlar arası elektrik alan şiddetinin ve mekanik çekim kuvvetinin orantılı olmasına dayanır.

Bu ilkeye dayanan pek çok farklı türden (düzlemsel, küresel, silindrsel elektrotlu, ...) elektrostatik voltmetre tasarlanmıştır.

Elektrostatik voltmetreler ile hem alternatif gerilimin hem de doğru gerilimin, doğrudan ölçme noktasına (YG) bağlanarak, etkin değeri ölçülür.

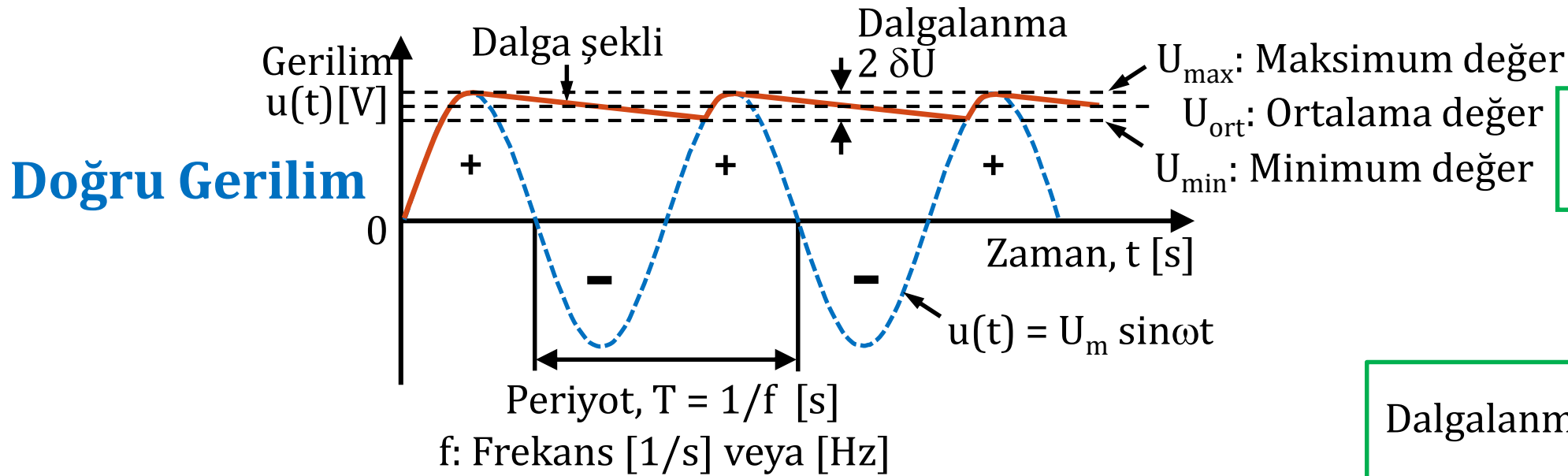


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

2) Yüksek Doğru Gerilimlerin Ölçülmesi

Amaç, farklı yöntemlerle yüksek doğru gerilimlerin genlik ($U_{\max}$, $U_{\min}$, U_{ort} , U_e), dalgalanma (δU) büyüklüklerinin ve dalga şekillerinin ölçülmesidir.



$$U_{\text{ort}} = \frac{U_{\max} + U_{\min}}{2}$$

$$\delta U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2}$$

$$\text{Dalgalandırma katsayısı} = \frac{\delta U}{U_{\text{ort}}}$$

Sabit doğru gerilim için $U_{\text{ort}} \approx U_e \approx U_{\max} \approx U_{\min}$

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

2) Yüksek Doğru Gerilimlerin Ölçülmesi

Yüksek doğru gerilimler başlıca dört yolla ölçülür. Bunlar

2.1) Yüksek değerli dirençle (ortalama değer ölçme)

2.2) Dirençsel gerilim bölücü ile (ortalama değer, maksimum değer, minimum değer, dalgalanma, dalga şekli ölçme)

2.3) Elektrostatik voltmetre ile (etkin değer ölçme)

2.4) Elektrotlarla (küresel, düzlemsel) (tepe değer ölçme)
ölçmedir.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

2.1) Yüksek değerli direnç ile ölçme

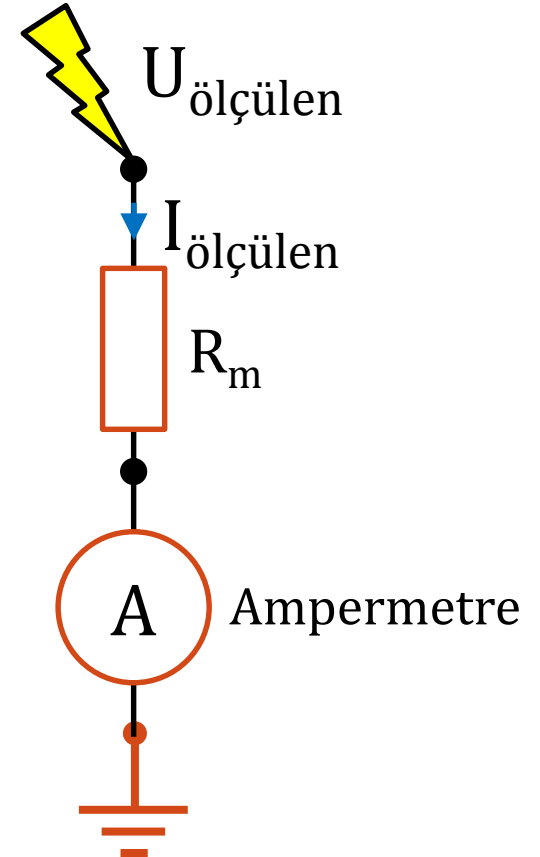
Yüksek değerli ölçme direncinin (R_m) bir ucu ölçme yapılacak noktaya, diğer ucu ampermetre üzerinden topraklamaya bağlanır.

Ölçmede, gerilim altında, ampermetreden geçen akım ölçülür ve

$$U_{\text{ölçülen}} = R_m \cdot I_{\text{ölçülen}}$$

Ohm yasası bağıntısıyla uygulanan doğru gerilim bulunur. Ölçme direncinin değeri, ölçülecek yüksek gerilimde ampermetreden mA - nA mertebesinde akım geçecek şekilde $M\Omega$ - $G\Omega$ değerinde seçilir.

Yüksek Doğru Gerilim



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

2.2) Dirençsel gerilim bölücü ile ölçme

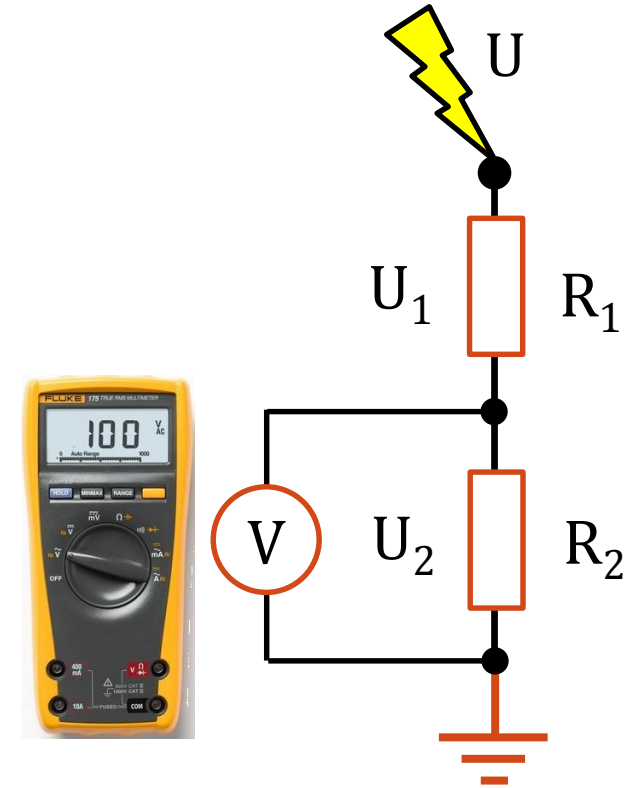
Bu ölçmede, şekildeki gibi, iki direnç (R_1 , R_2) seri bağlanarak bir dirençsel (ohmik) gerilim bölücü oluşturulur.

Bir dirençsel gerilim bölücünün gerilim bölme oranı:

$$n = U/U_2 = (R_1 + R_2)/R_2$$

olur. Gerilim bölücünün alçak gerilim (R_2) uçlarından alçak gerilim voltmetro ile ölçülen gerilim değeri (U_2), gerilim bölücünün bölme oranı, ($n = (R_1 + R_2)/R_2$) ile çarpılarak yüksek doğru gerilim (U) ölçülür.

$$U = n \cdot U_2$$

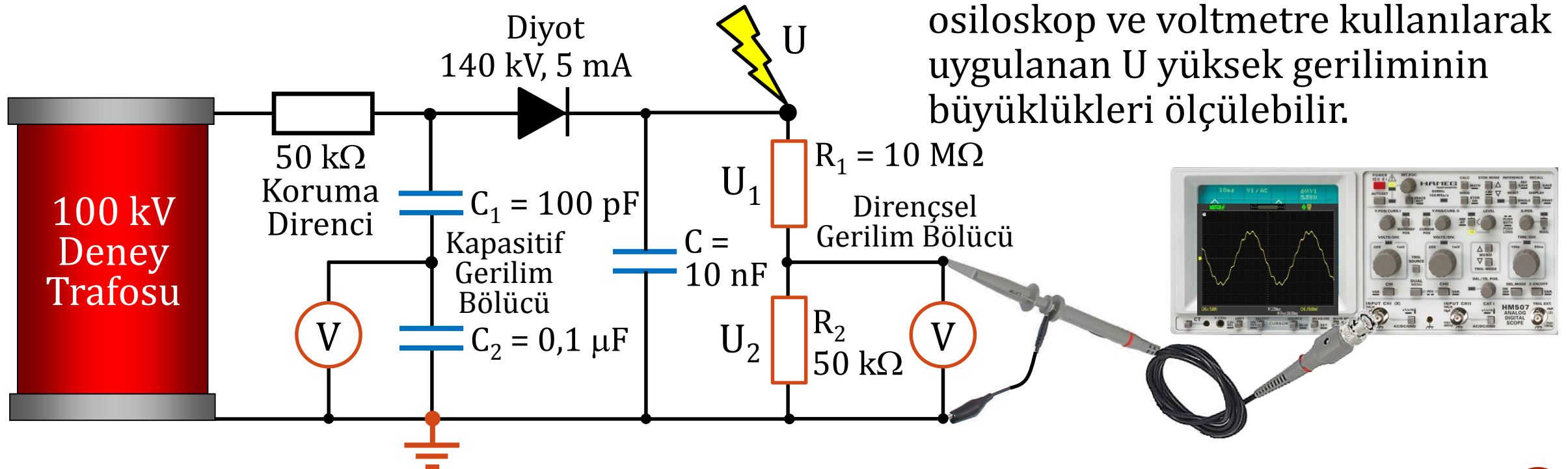


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Dirençsel gerilim bölücü ve osiloskop kullanarak doğru gerilim dalga şeklinin ve tanım büyüklüklerinin ölçülmesi

Şekildeki dirençsel gerilim bölücü, osiloskop ve voltmetre kullanılarak uygulanan U yüksek geriliminin büyüklükleri ölçülebilir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

2.3) Elektrotlarla ölçme

Küresel ve düzlemsel elektrotlarla yüksek alternatif; pozitif ve negatif doğru ve darbe gerilimlerinin tepe değerleri ölçülebilir.

Yüksek alternatif gerilimlerin ölçülmesinde yapıldığı gibi küresel elektrotlarla doğru gerilimler de ölçülebilir.

Bu yolla hem pozitif hem de negatif kutuplu yüksek doğru gerilimlerin tepe değerleri ölçülür.

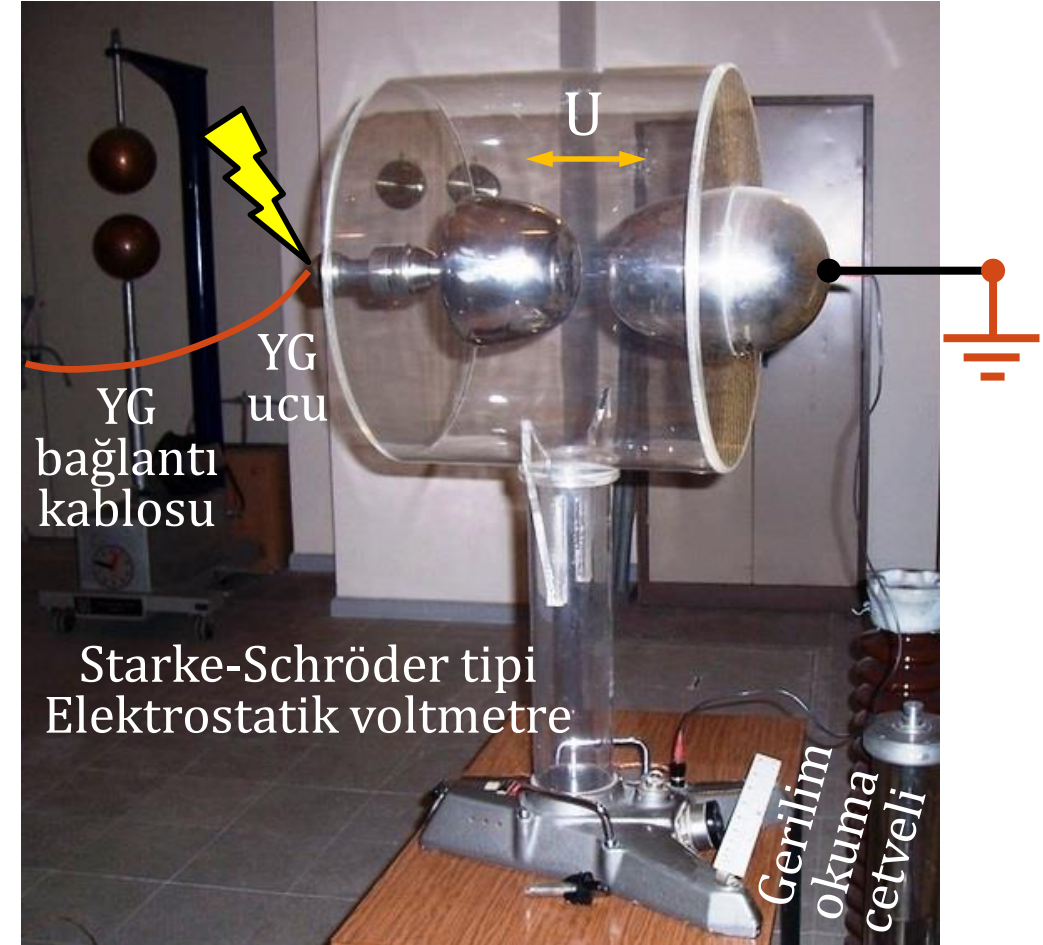


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

2.4) Elektrostatik voltmetre ile ölçme

Elektrostatik voltmetre ile hem alternatif hem de pozitif ve negatif doğru gerilimin, doğrudan ölçme noktasına (yüksek gerilime) bağlanarak, etkin değeri ölçülür.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

3) Yüksek Darbe Gerilimlerinin Ölçülmesi

Amaç, farklı yöntemlerle yüksek darbe gerilimlerinin genlik (U_m), zaman büyüklükleri (T_1 , T_2 , T_c) ve dalga şekilleri ölçülmesidir.

Bizi ilgilendiren iki tür darbe gerilimi vardır:

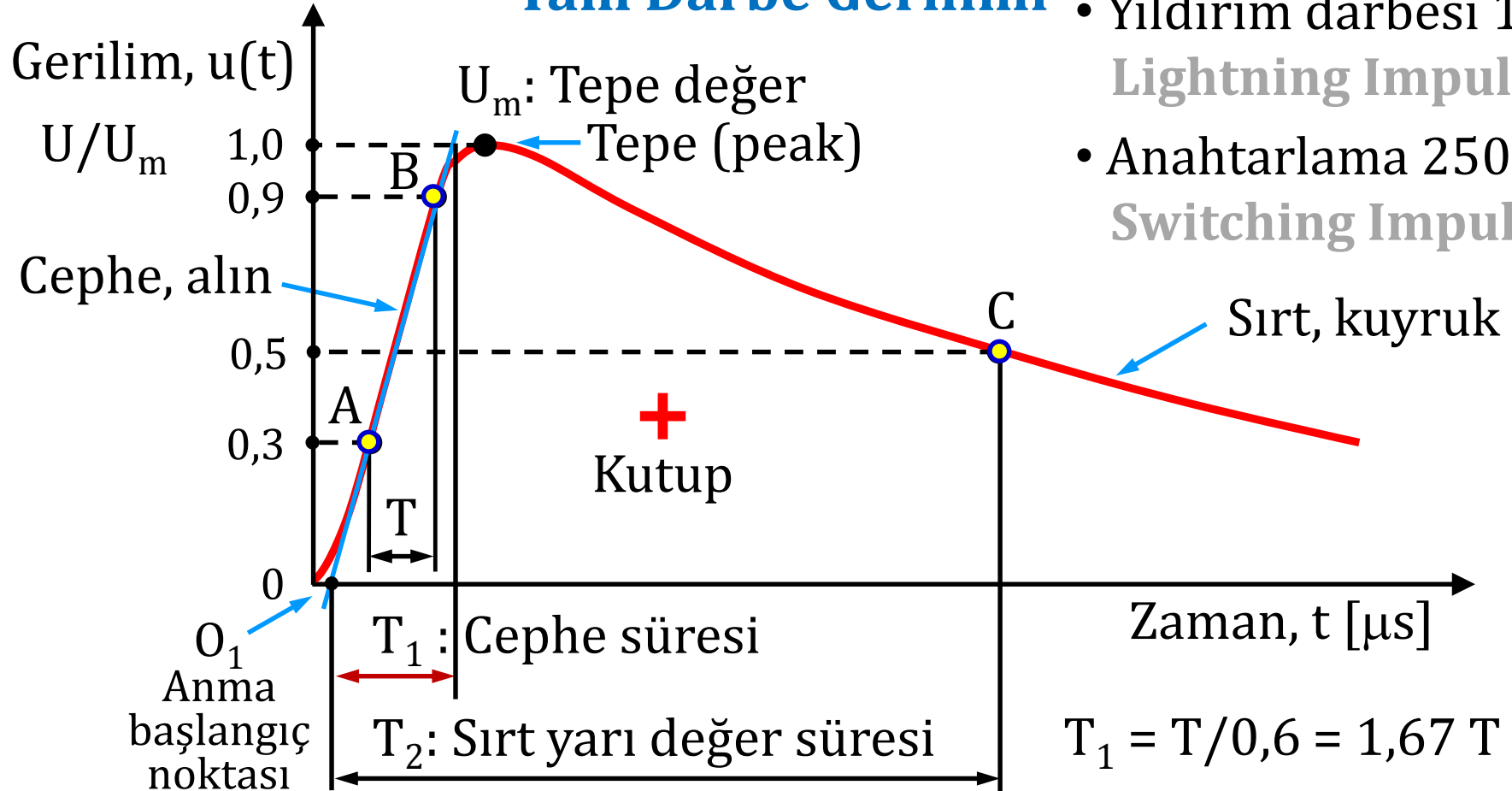
- ❖ Yıldırım darbe gerilimi ($U_m < 300$ kV için)
(Lightning impulse (LI) voltage)
- ❖ Anahtarlama darbe gerilimi ($U_m \geq 300$ kV için)
(Switching impulse (SI) voltage)

İlki dış aşırı gerilimdir. Yıldırım kaynaklıdır. İkincisi devre içi, anahtarların (kesicilerin) açma-kapama eylemi sırasında ortaya çıkan aşırı gerilimlerdir.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

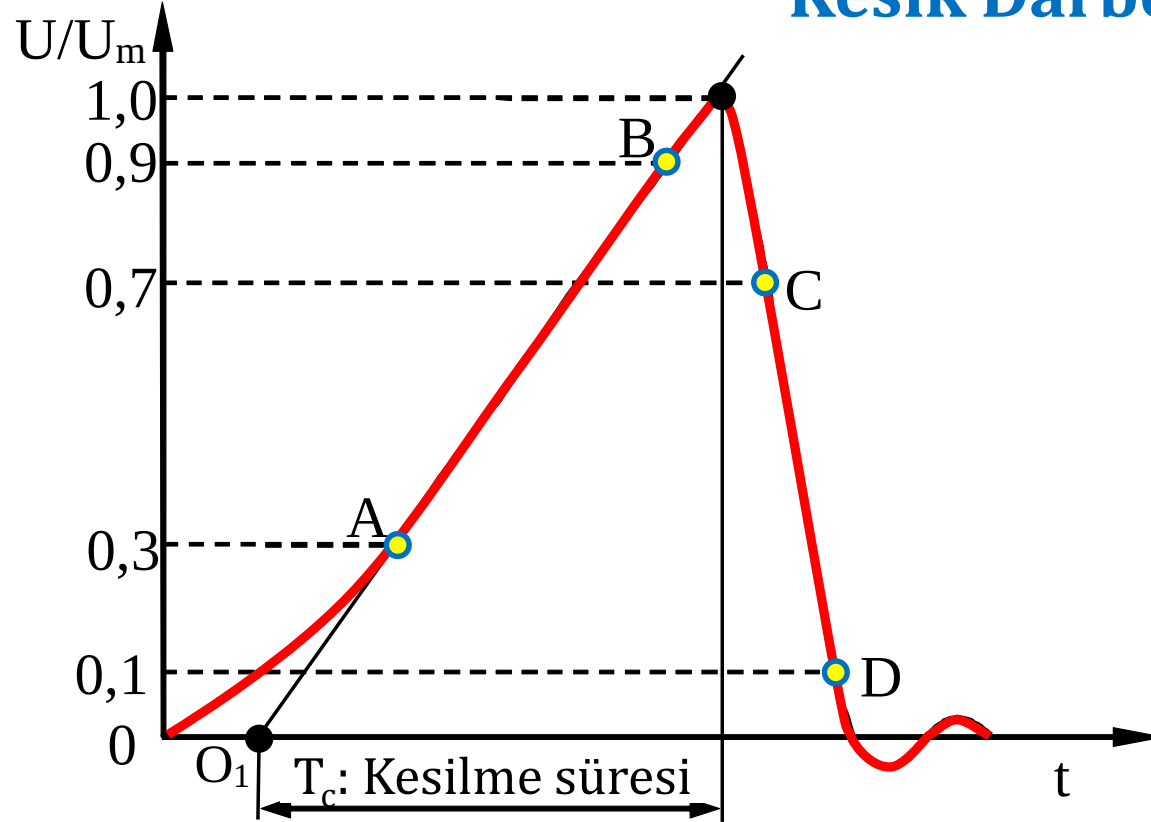
Tam Darbe Gerilimi



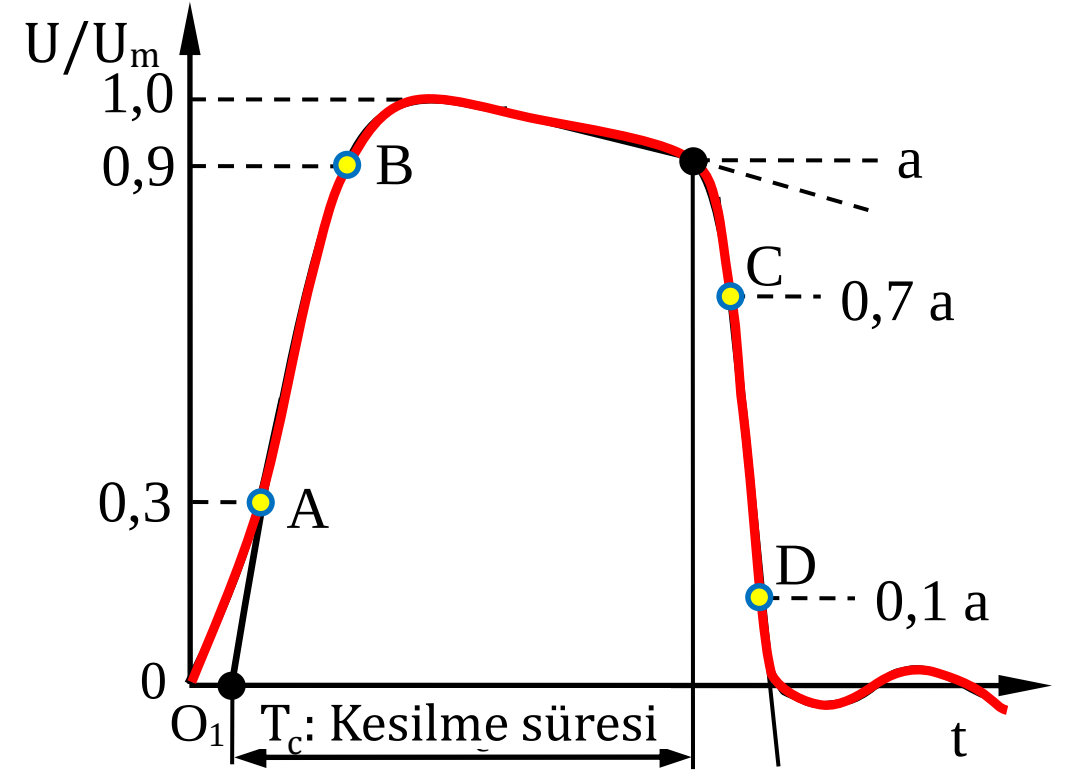
YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Kesik Darbe Gerilimi



Cephede kesik darbe gerilimi



Sırtta kesik darbe gerilimi

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Darbe geriliminin ölçülecek büyüklükleri ve toleransları:

- ❖ **Tepe değer gerilimi, U_m** : Gerilimin maksimum değeri $\pm \%3$ (darbe gerilimleri tepe değerleri ile verilir, ölçülür)
- ❖ **Cephe süresi, T_1** ($= t_m - t_{01}$) $\pm \%30$. Örneğin, standart yıldırım darbe gerilimi ($T_1/T_2 = 1,2/50$) için $T_1 = 1,2 \mu s \pm \%30$
- ❖ **Sırt yarı değer süresi, T_2** ($= t_c - t_{01}$) $\pm \%20$. Örneğin, standart yıldırım darbe gerilimi ($T_1/T_2 = 1,2/50$) için $T_2 = 50 \mu s \pm \%20$
- ❖ **Kutup (+/-)** (darbe gerilimi tek kutuplu bir gerilimdir, ya pozitif ya da negatif kutuplu olur, kutbu ile belirtilir)
- ❖ **Dalga şekli** (ana şeklinden $\pm \%3$ 'ten fazla sapma olması istenmez)

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

3) Yüksek Darbe Gerilimlerinin Ölçülmesi

Yüksek darbe gerilimleri başlıca iki yolla ölçülür. Bunlar

3.1) Kapasitif gerilim bölücü ile (tepe değer ölçme, zaman büyüklükleri, dalga şekli görme, belirleme, kayıt, ...)

3.2) Küresel elektrot sistemi ile (tepe değer ölçme)

ölçmedir.

Darbe gerilimin kutbu, diyot geçirme yönü, dolayısıyla darbe gerilimi üretici doğru gerilim besleme geriliminin kutbu değiştirilerek; gerilimin genliği, darbe gerilimi üreticindeki atlama aralığının açıklığı değiştirilerek değiştirilir.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ



3.1) Kapasitif gerilim bölücü ile ölçme

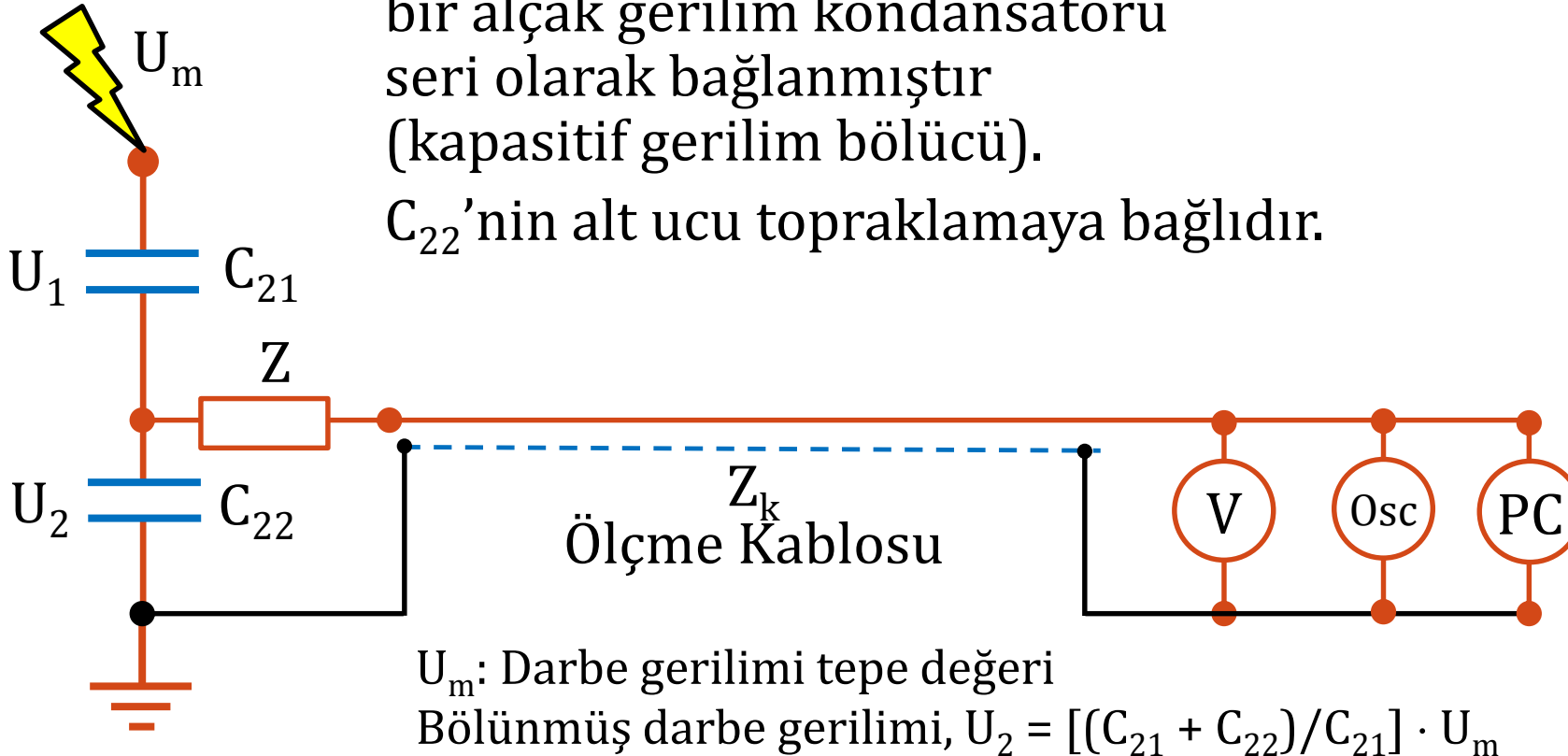
Bu ölçmede, darbe gerilimi üreticinin çıkışındaki C_2 kondansatörü, aynı zamanda, kapasitif gerilim bölücü olarak (C_{21} ve C_{22} şeklinde) kullanıma uygun tasarlanır.

Darbe gerilimlerinin tepe değerleri, herhangi bir voltmetre ile değil, darbe tepe değer voltmetreleri ile ölçülür.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

C_{21} yüksek gerilim kondansatörüne
 C_{22} olarak adlandırabilecek
bir alçak gerilim kondansatörü
seri olarak bağlanmıştır
(kapasitif gerilim bölücü).
 C_{22} 'nin alt ucu topraklamaya bağlıdır.



U_m : Darbe gerilimi tepe değeri

Bölünmüş darbe gerilimi, $U_2 = [(C_{21} + C_{22})/C_{21}] \cdot U_m$



V: Tepe değer voltmetresi

Osc: Osiloskop

PC: Bilgisayar

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

3.2) Küresel elektrotlarla ölçme

Küresel elektrotlar, gerilimin tepe değerini ölçen düzenlerdir.

Darbe gerilimleri de tepe değerleri ile belirtilen, ölçülen gerilimler olduğundan, küresel elektrot sistemi hem pozitif hem de negatif darbe gerilimlerinin tepe değerlerini ölçmek için uygun bir ölçme düzenidir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Yüksek Gerilim Ölçmelerinde Hava Koşullarının Etkisi

Küresel elektrotlarla ölçme gibi elektrotlarla yapılan ölçmelerde ve hava ortamında yapılan atlama deneylerinde sıcaklık, basınç, nem gibi hava koşulları, ölçme sonuçlarına etkir. Bu nedenle hava koşulları ölçülmeli ve etkileri düzeltme katsayıları ile göz önüne alınmalıdır.



Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

Bağıl nem (Relative Humidity), RH (%)

Basınç (mmHg, bar)



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Bir deney sırasındaki atlama gerilimi hava koşullarına bağlıdır.

Atlama geriliminin gerçek değeri, bağıl hava yoğunluğu d'nin değerinin 0,95 ile 1,05 arasında kalması durumunda

$$U_a = d \times U_n \quad (1)$$

bağıntısı ile bulunur. Bu bağıntıda

U_a : Deney sırasındaki atlama gerilimi

d: Bağıl hava yoğunluğu

U_n : Normal koşullardaki (20°C sıcaklık ve 760 mmHg basınçtaki) atlama gerilimidir.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Bağıl hava yoğunluğu, d:

$$d = \frac{p \text{ (mmHg)}}{760} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t \text{ (}^{\circ}\text{C)}} = 0,386 \cdot \frac{p \text{ (mmHg)}}{273 + t \text{ (}^{\circ}\text{C)}} \quad (2)$$

Hava basıncının hektoPaskal (hPa) veya milibar (mbar) cinsinden ölçülmesi durumunda, normal koşullardaki hava basıncının 1013 hPa (= 1013 mbar) olduğu göz önüne alınarak bağıl hava yoğunluğu:

$$d = \frac{p \text{ (hPa)}}{1013} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t \text{ (}^{\circ}\text{C)}} = 0,289 \cdot \frac{p \text{ (hPa)}}{273 + t \text{ (}^{\circ}\text{C)}} \quad (3)$$

olur.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Bağıl hava yoğunluğu, 0,95'ten küçük veya 1,05'ten büyük ise deney sırasındaki atlama gerilimi

$$U_a = f(d) \times U_n \quad (4)$$

bağıntısından bulunur. Burada $f(d)$ düzeltme katsayısı bağıl hava yoğunluğuna bağlı olarak Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Bağıl hava yoğunluğu – düzeltme katsayısı ilişkisi

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

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Deneyimler, nemin artması ile atlama geriliminin yükseldiğini göstermiştir. Bu nedenle deneyin yapıldığı yerdeki neme karşılık olan k nem düzeltme katsayısı ile deney sırasındaki atlama gerilimi düzeltilir. Bu durumda atlama gerilimi

$$U_a = d \times k \times U_n \quad (5)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada

U_a : Deney sırasındaki atlama gerilimi,

d : Bağıl hava yoğunluğu,

k : Nem düzeltme katsayısı,

U_n : Normal koşullardaki (20°C, 760 mmHg) atlama gerilimidir.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Nem düzeltme katsayısı (k), mutlak neme bağlıdır.

Nem düzeltme katsayısını belirlemek için, önce, mutlak nemin standartlarda verilen bağıntıdan veya grafikten bulunması gerekir.

Mutlak nem, h:

$$h = 13,24 \cdot \frac{RH \cdot e^{17,6t/(243+t)}}{273+t} \quad (6)$$

denklemden hesaplanabilir (IEC 60060-1:2010). Bu denklemde

h: Mutlak nem (g/m³),

RH: Bağıl nem (%) ve

t: Ortam sıcaklığı (°C)

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK GERİLİMLERİN ÖLÇÜLMESİ

Mutlak nem ve bağıl hava yoğunluğu bilindikten sonra, gerilim türüne bağlı olarak nem düzeltme katsayısı, k:

Alternatif gerilim deneylerinde ($1 \text{ g/m}^3 < h/d < 15 \text{ g/m}^3$ için)

$$k = 1 + 0,012 \cdot (h/d - 11) \quad (7)$$

Doğru gerilim deneylerinde ($1 \text{ g/m}^3 < h/d < 15 \text{ g/m}^3$ için)

$$k = 1 + 0,014 \cdot (h/d - 11) - 0,00022 \cdot (h/d - 11)^2 \quad (8)$$

Darbe gerilimi deneylerinde ($1 \text{ g/m}^3 < h/d < 20 \text{ g/m}^3$ için)

$$k = 1 + 0,010 \cdot (h/d - 11) \quad (9)$$

bağıntısından bulunur.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI



İTÜ Yüksek Gerilim Laboratuvarı – EEF – Maslak

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

Ders kısmı, bu özetle bitti.

Bundan sonra

Laboratuvar Uygulamaları - Deneyler

var. Kolay gelsin.

Sağlıkla kalın.