



AC/DC Yüksek Gerilim Prob/Kaynak Kalibrasyonları ve IEC 60060

Dr. Ahmet MEREV
05.11.2015

- TÜBİTAK UME Yüksek Gerilim Laboratuvarı
- Yüksek gerilim nedir?
- Yüksek gerilim ölçmeleriyle ilgili gereklilikler
- Ölçüm sistemlerinin performans testleri
- Kalibrasyonlar
- Rms ve Peak/ $\sqrt{2}$
- AC/DC yüksek gerilim problemleri
- Yüksek gerilim ölçmeleriyle ilgili kapsam içerikleri
- Çözüm önerileri
- Tartışma/Sonuç

TÜBİTAK UME Yüksek Gerilim Laboratuvarı



- 1000 kV Yıldırım ve Anahtarlama Darbe
- 400 kV AC Yüksek Gerilim (50 Hz)
- 400 kV DC Yüksek Gerilim
- Kapasitans/tand Ölçümleri
- Kısmi Deşarj (PD) Ölçümleri



TÜBİTAK UME Yüksek Gerilim Laboratuvarı



Bureau
International des
Poids et
Mesures



Yüksek gerilim nedir?

Potansiyel, V:

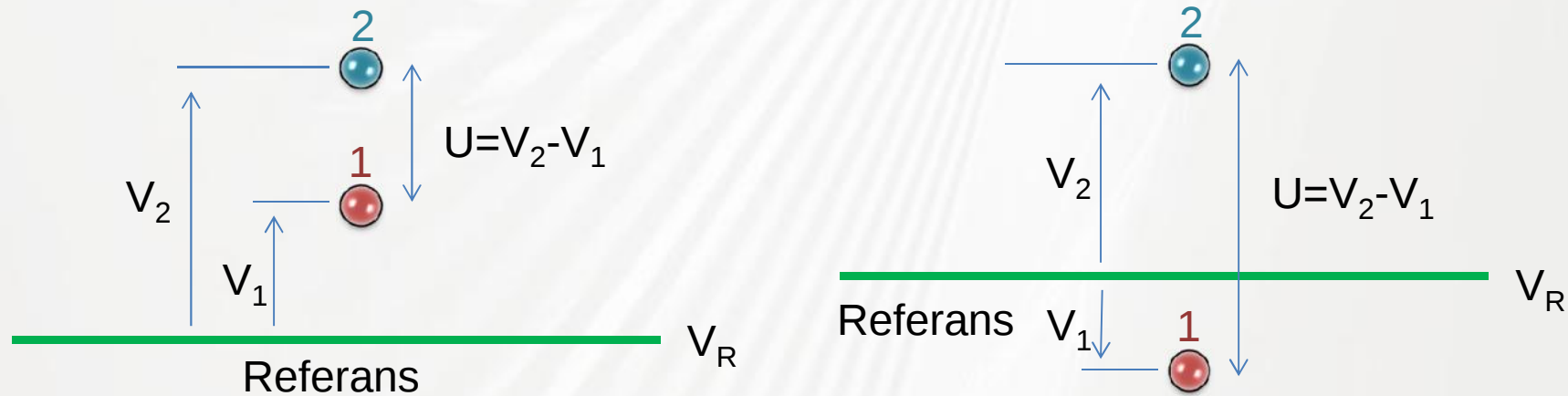
Bir noktanın referansa göre elektriksel konumudur.

Potansiyelin Birimi: Volt

Gerilim, U:

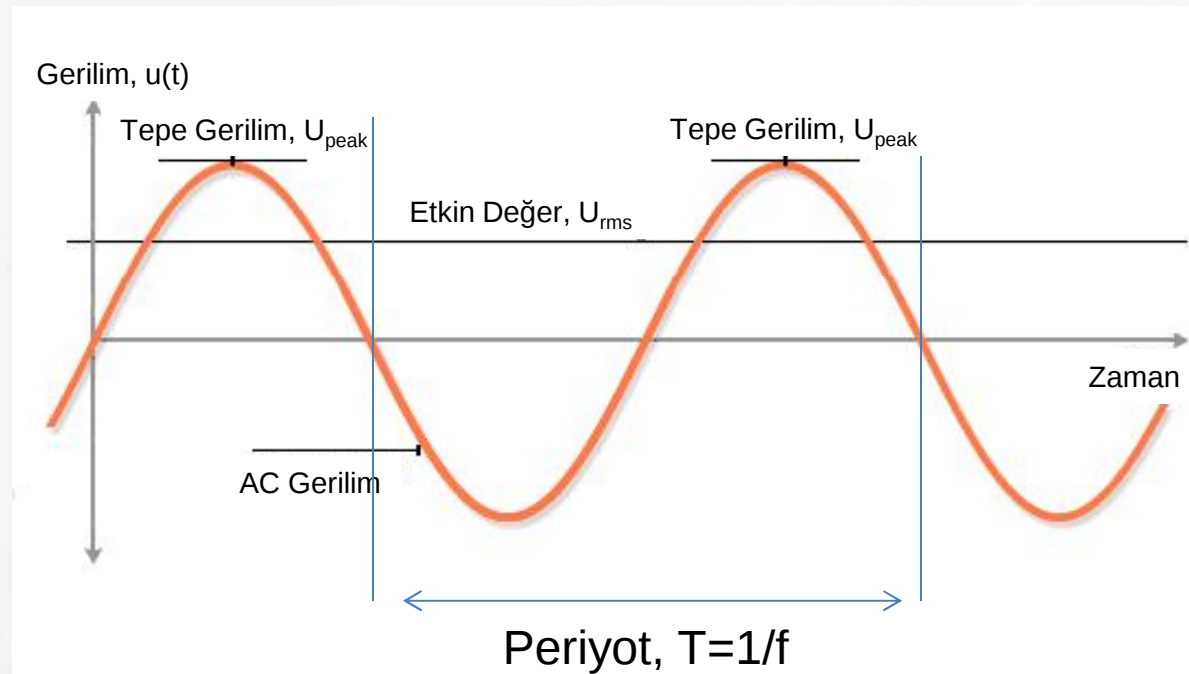
Potansiyel farkı

Gerilimin Birimi: Volt



Yüksek gerilim nedir?

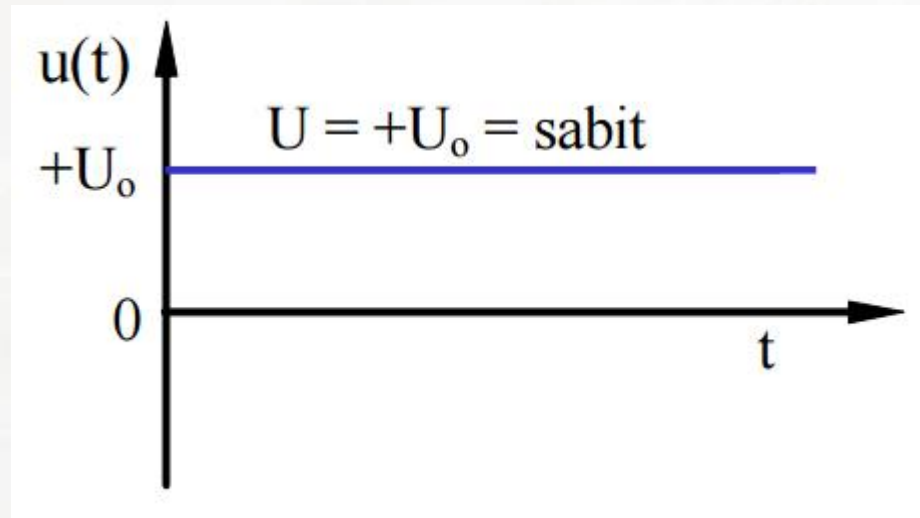
- Alternatif gerilim (AC)



$$U_{rms} = U_{peak} / \sqrt{2}$$

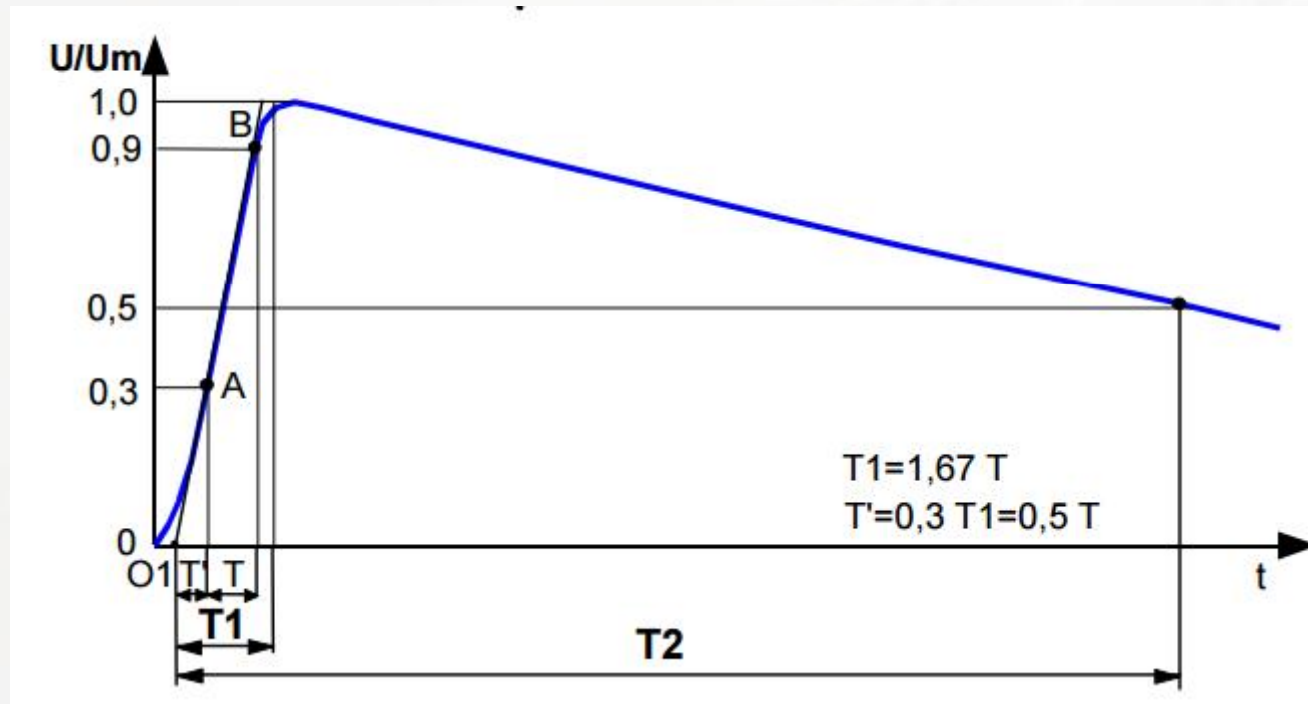
Yüksek gerilim nedir?

- Doğru gerilim ($\pm$ DC)



Yüksek gerilim nedir?

- Darbe gerilim (LI, SI vb.)



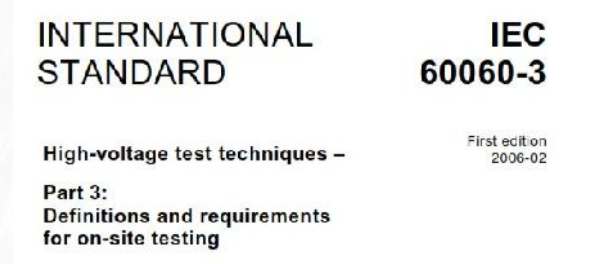
Gerilim Seviyeleri

- Alçak Gerilim: $U \leq 1\text{kV}$

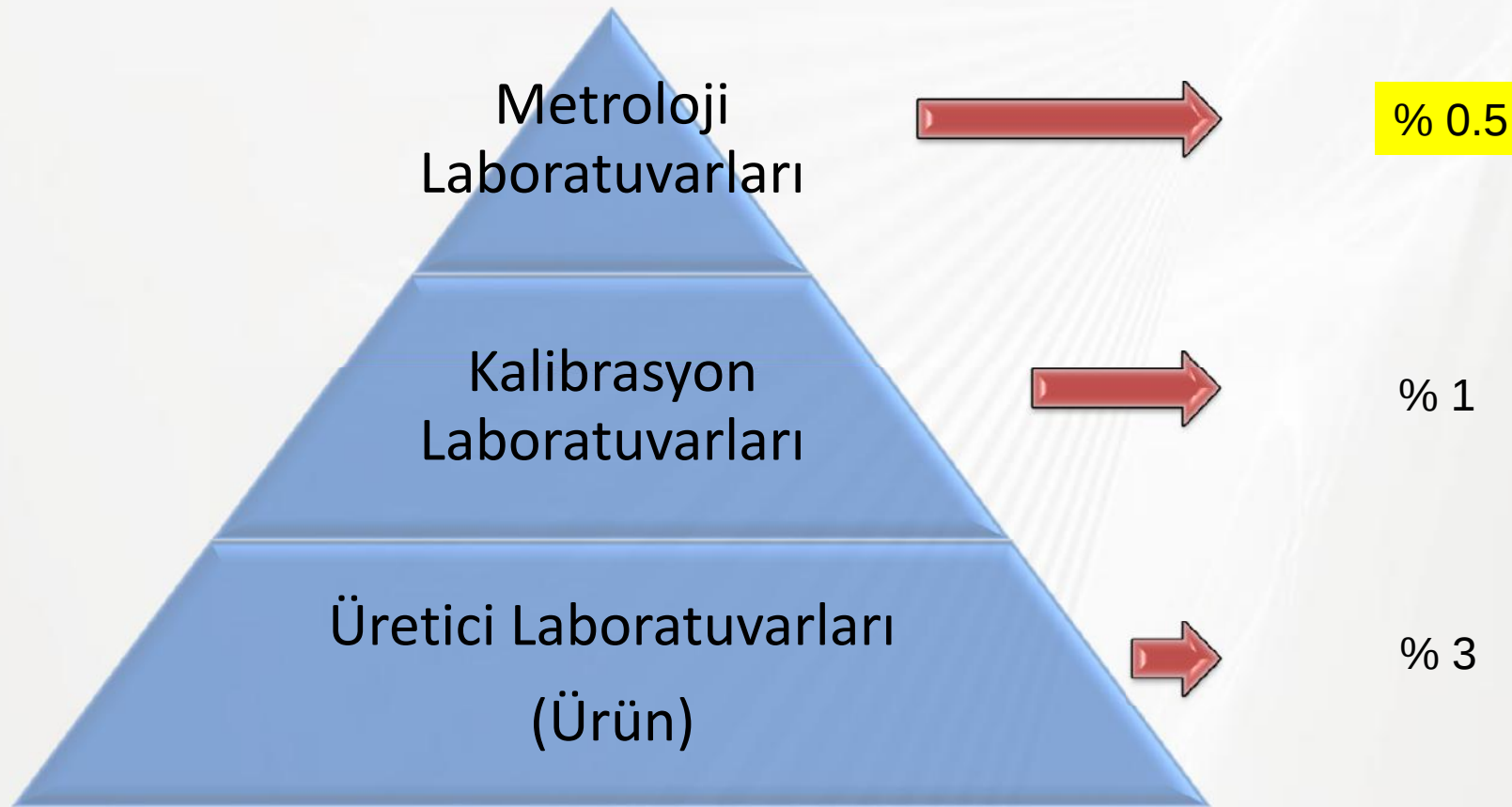
- Yüksek Gerilim: $U > 1\text{ kV}$



- IEC 60060: High-Voltage Test Techniques
 - Part 1: General definition and test techniques
 - Part 2: Measuring system
 - Part 3: Definition and requirements for on-site testing



AC ve DC
(IEC 60060-2)



YÜKSEK GERİLİM

DC Yüksek Gerilim

Yüksek Gerilim Ölçer, DC yüksek gerilim ölçme sistemi

1 kV

Akım: ≤ 10 mA

3,0 μ V/V

1 kV - 200 kV

Akım:
 ≤ 10 mA

20 μ V/V

201 kV - 400 kV

Akım: ≤ 10 mA

3,5 mV/V

DC Yüksek Gerilim: Oran

DC yüksek gerilim ölçme sistemi

$10^{-6} - 1$

Y.Gerilim: 1 kV
Akım: ≤ 10 mA

3,0 μ V/V

$10^{-6} - 1$

Y.Gerilim: 1 kV - 200 kV
Akım: ≤ 10 mA

20 μ V/V

$10^{-6} - 1$

Y.Gerilim: 201 kV - 400 kV
Akım: ≤ 10 mA

3,5 mV/V

AC Yüksek Gerilim: Yüksek Gerilim Ölçer

AC bölücü,
AC yüksek gerilim ölçme sistemi
(rms ve peak/ $\sqrt{2}$)

0,7 kV

Frekans: 50 Hz

0,17 mV/V

0,7 kV - 140 kV

Frekans: 50 Hz

4,2 mV/V

141 kV - 400 kV

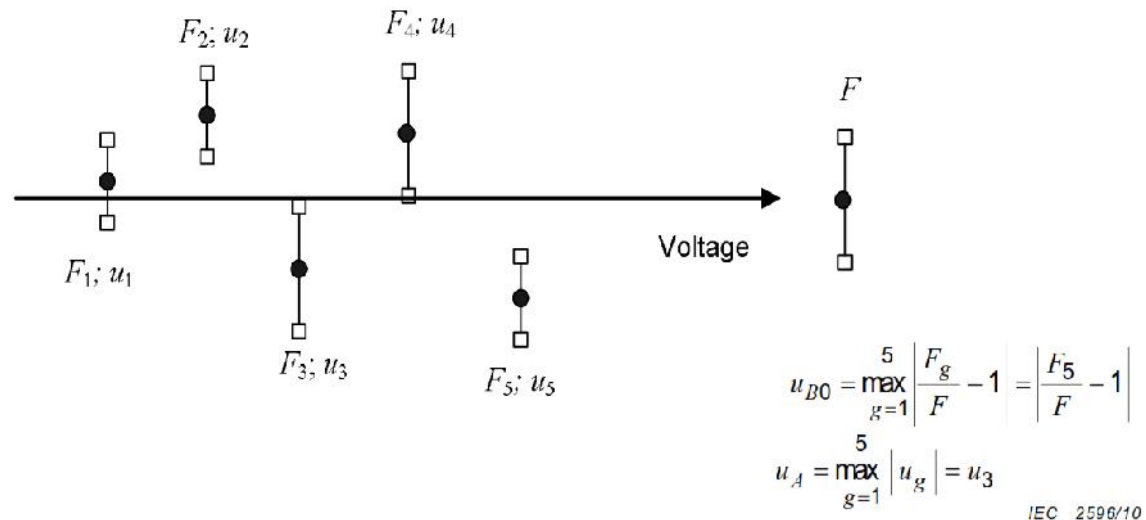
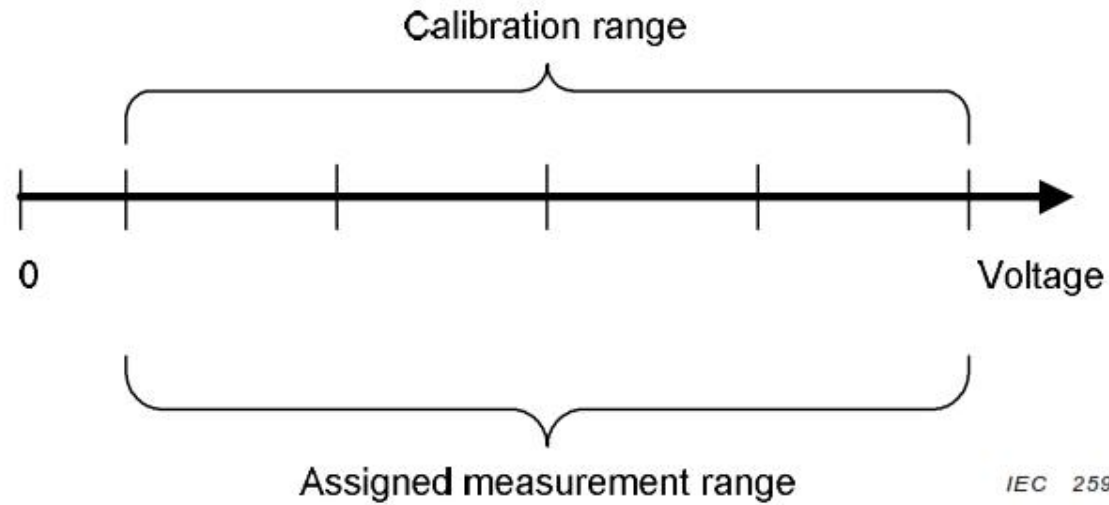
Frekans: 50 Hz

4,2 mV/V

Performans Testleri

Performans	AC	DC
Skala faktörü	●	●
Doğrusallık	●	●
Kısa dönem kararsızlığı	●	●
Yıllık kayma	●	●
Sıcaklık etkisi (ortam)	●	●
Yakınlık etkisi	●	●
Yazılım etkisi	●	●
Frekans etkisi	●	
Polarite etkisi		●

Kalibrasyon İşlemi

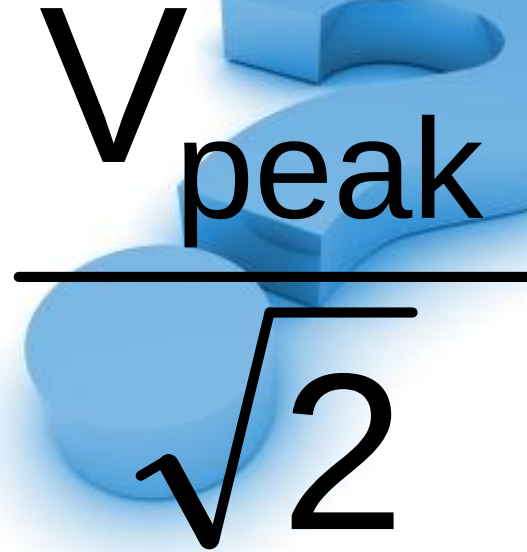


Rms & Peak/ $\sqrt{2}$

$$\begin{aligned} V_{\text{rms}} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [V_{pk} \sin(\omega t + \phi)]^2 dt} \\ &= V_{pk} \sqrt{\frac{1}{2T} \int_0^T [1 - \cos(2\omega t + 2\phi)] dt} \\ &= V_{pk} \sqrt{\frac{1}{2T} \int_0^T dt} \\ &= \frac{V_{pk}}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

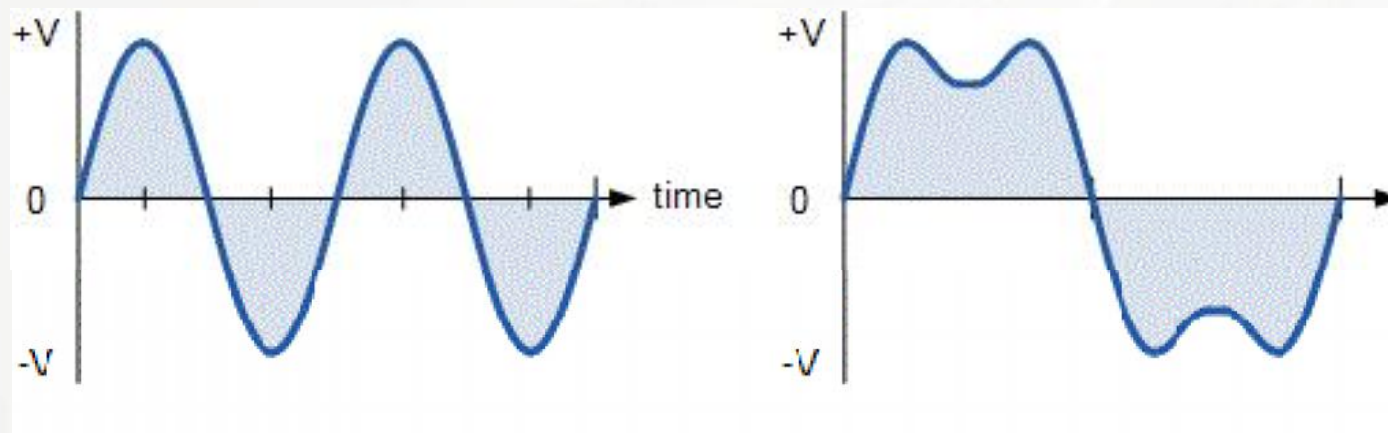
Yüksek gerilim deneyleri için $V_{peak}/\sqrt{2}$ değeri deney gerilimi olarak kabul edilir.

$$V_{rms} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}}$$


$$\frac{V_{\text{peak}}}{\sqrt{2}}$$

Yalıtım tekniğinde elektriksel delinmeler, elektrik alan şiddetinin en yüksek olduğu değerde yada bir başka deyişle gerilimin tepe değerinde 1 μs gibi çok kısa süreler içerisinde gerçekleşmektedir. AC deneylerinde gerilimin tepe değerinin ölçülmesi bu açıdan önemlidir.

Rms & Peak/ $\sqrt{2}$

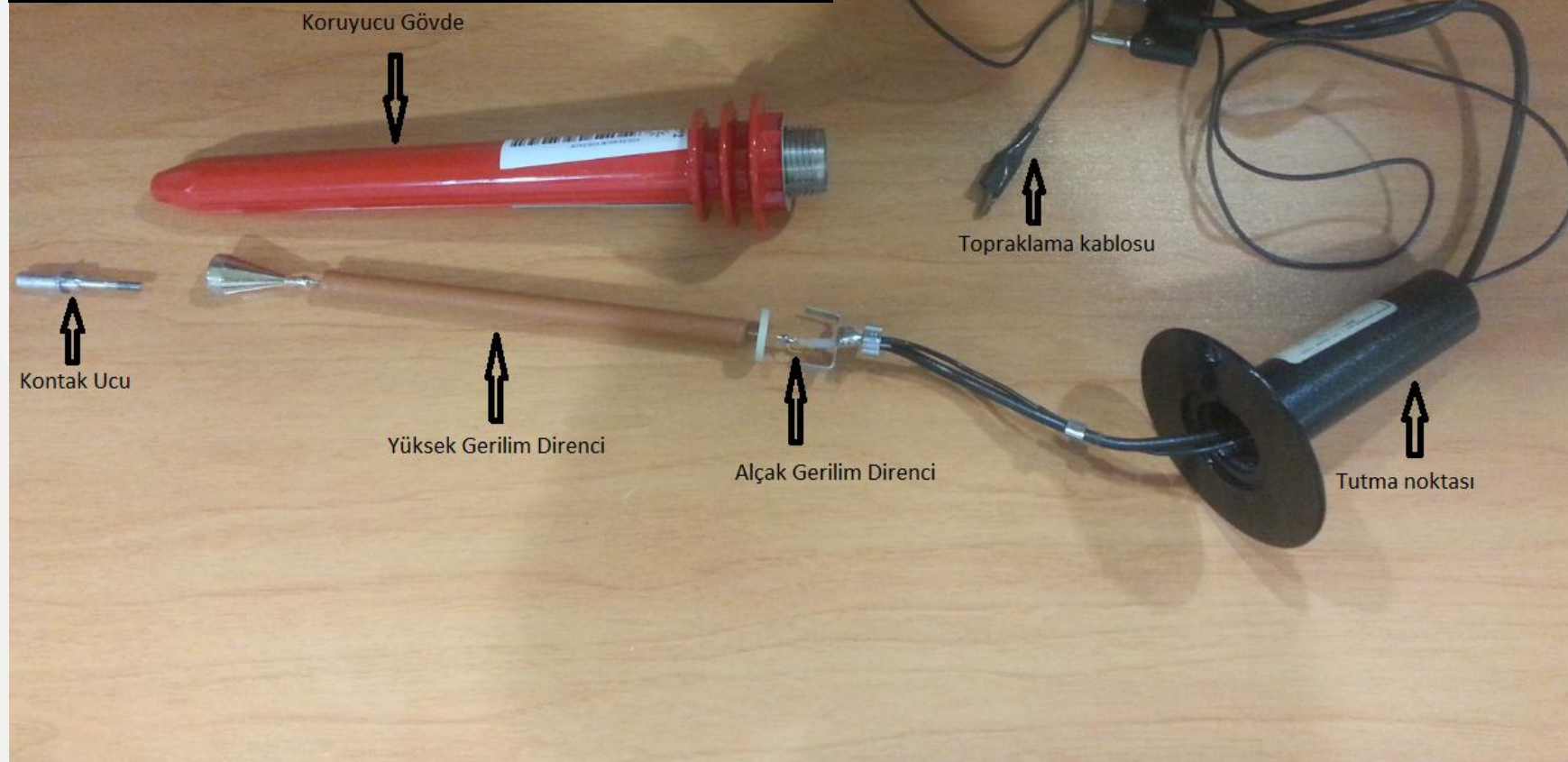


AC/DC Yüksek Gerilim Problemleri



AC/DC Yüksek Gerilim Problemleri

Yüksek Gerilim Direnci	1000 M Ω
Alçak Gerilim Direnci	1 M Ω
Bölüm Oranı	1000:1
DC Yüksek Gerilim Ölçüm Aralığı	0-40 kV DC
AC Yüksek Gerilim Ölçüm Aralığı	0-28 kV AC
Birlikte Kullanılması Gereken Multimetre Giriş Empedansı	10M Ω



AC/DC Yüksek Gerilim Problemleri

GERİLİM TİPİ	FLUKE 80K-40		IEC60060-2
DC Ölçme	0 kV – 20 kV	% 2	% 1 DİRENÇSEL
	20 kV – 35 kV	% 1	
	35 kV – 40 kV	% 2	
AC Ölçme	0 kV – 28 kV	% 5	% 1 KAPASİTİF

Kapsam İçerikleri

	50 kHz - 100 kHz	0,01 - 10	0 - 20 mV	
	200 V < U ≤ 1000 V	10 Hz - 40 Hz 40 Hz - 10 kHz 10 kHz - 30 kHz	$1,0 \cdot 10^{-4} \cdot U + 20 \text{ mV}$ $9,5 \cdot 10^{-5} \cdot U + 20 \text{ mV}$ $2,0 \cdot 10^{-4} \cdot U + 40 \text{ mV}$	
	1 kV < U ≤ 20 kV	10 Hz - 1 MHz	$1,0 \cdot 10^{-2} \cdot U$	Osiloskop ile
AC Akım	10 μA < I ≤ 220 μA	10 Hz - 20 Hz 20 Hz - 40 Hz 40 Hz - 1 kHz 1 kHz - 5 kHz	$2,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + 1,2 \text{ μA}$ $1,6 \cdot 10^{-4} \cdot I + 1,2 \text{ μA}$ $1,2 \cdot 10^{-4} \cdot I + 1,2 \text{ μA}$ $2,8 \cdot 10^{-4} \cdot I + 1,2 \text{ μA}$	I : Ölçüm Değeri Fluke 5720A

Kapsam İçerikleri

AC Güç Kaynağı	10 V		$1,0 \cdot 10^{-3} \cdot U + 0,7 \text{ V}$	
	$10 \text{ V} < U \leq 100 \text{ V}$			
	$100 \text{ V} < U \leq 750 \text{ V}$			
AC YÜKSEK GERİLİM AC Yüksek Gerilim Kaynakları: Yüksek Gerilim Test Cihazı	$0,75 \text{ kV} < U \leq 12 \text{ kV}$	$50 \text{ Hz} \leq f \leq 60 \text{ Hz}$	$9,8 \cdot 10^{-2} \cdot U + 90 \text{ V}$	UT 804 DMM VE PİNTEK HVP-40 PROB İLE $U = \text{ÖLÇÜLEN DEĞER}$ $f = \text{AYARLANAN DEĞER}$
AC GERİLİM AC Gerilim Ölçerler: Multimetre AC Gerilim AC Voltmetre Pensampermetre	$1 \text{ mV} < U \leq 20 \text{ mV}$	$50 \text{ Hz} - 1 \text{ kHz}$	$8 \cdot 10^{-4} \cdot U + 0,14 \text{ mV}$	FLUKE 5101B İLE $U = \text{ÖLÇÜLEN DEĞER}$ $f = \text{AYARLANAN DEĞER}$
	$20 \text{ mV} < U \leq 0,2 \text{ V}$	$50 \text{ Hz} - 1 \text{ kHz}$	$9 \cdot 10^{-4} \cdot U + 0,3 \text{ mV}$ $8 \cdot 10^{-4} \cdot U + 0,7 \text{ mV}$	
	$0,2 \text{ V} < U \leq 2 \text{ V}$	$50 \text{ Hz} - 10 \text{ kHz}$	$8 \cdot 10^{-4} \cdot U + 6 \text{ mV}$	

Kapsam İçerikleri

	10 Hz - 1 kHz	1 kHz - 20 kHz	10 Hz - 20 kHz	
AC YÜKSEK GERİLİM	1 kV ile 25 kV	100 Hz - 400 Hz	% 6,1	Yüksek Gerilim Probu
AC Gerilim Yüksek Kaynağı				
AC AKIM	100 μ A ile < 320 μ A	10 Hz - 3 kHz	1.3 mA/A	Wavetek 9100 Kalibratör

Kapsam İçerikleri

DC Yüksek Akım Kaynakları

$$4 \text{ A} \leq I < 1000 \text{ A}$$

$$2,3 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,58 \text{ A}$$

I: Okunan Akım

Fluke 376 ile

DC Yüksek Gerilim Kaynakları

$$1 \text{ kV} \leq U < 5 \text{ kV}$$

$$2,5 \cdot 10^{-2} \cdot U$$

U: Okunan Gerilim

Fluke 287 ve 80K-40 ile

$$5 \text{ kV} \leq U < 15 \text{ kV}$$

$$2,5 \cdot 10^{-2} \cdot U$$

AC Yüksek Gerilim Kaynakları

$$1 \text{ kV} \leq U < 5 \text{ kV} \quad f=50 \text{ Hz}$$

$$6,0 \cdot 10^{-2} \cdot U$$

U: Okunan Gerilim

Fluke 287 ve 80K-40 ile

$$5 \text{ kV} \leq U < 12 \text{ kV}$$

$$5,9 \cdot 10^{-2} \cdot U$$

Kapsam İçerikleri

DC Yüksek Gerilim Kaynakları	0,12 V < U ≤ 1,2 V		$(1,2 \cdot 10^{-4} \cdot U) + 0,0058$ mV	(HP 34401A ile)
DC Kilowatt Kaynağı	1,2 V < U ≤ 12 V		$(1,3 \cdot 10^{-4} \cdot U) + 0,023$ mV	
	12 V < U ≤ 120 V		$(1,2 \cdot 10^{-4} \cdot U) + 1,7$ mV	Lab. ve sahada (Y. Gerilim
	120 V < U ≤ 1000 V		$(1,0 \cdot 10^{-4} \cdot U) + 13$ mV	probu ve Fluke 287 DMM ile)
			$(2,5 \cdot 10^{-2}) \cdot U$	
			$(2,7 \cdot 10^{-2}) \cdot U$	
	1 kV ≤ U ≤ 5 kV			
	5 kV < U ≤ 15 kV			
	kV			
AC Yüksek Gerilim	10 mV ≤ U ≤ 120 mV	50 Hz ≤ f ≤ 10 kHz	$(2,0 \cdot 10^{-4} \cdot U) + 0,13$ mV	U: Ölçülen Gerilim
AC Yüksek Gerilim Kaynakları	0,12 V < U ≤ 1,2 V		$(9,7 \cdot 10^{-4} \cdot U) + 0,39$ mV	U: Measured Voltage
	1,2 V < U ≤ 12 V	50 Hz ≤ f ≤ 1 kHz	$(9,7 \cdot 10^{-4} \cdot U) + 3,9$ mV	(HP 34401A ile)
	12 V < U ≤ 120 V		$(1,1 \cdot 10^{-4} \cdot U) + 37$ mV	
	120 V < U ≤ 1000 V	50 Hz	$(9,6 \cdot 10^{-4} \cdot U) + 320$ mV	Lab. ve sahada (Y. Gerilim
			$(6,1 \cdot 10^{-2} \cdot U)$	probu ve Fluke 287 DMM ile)
	1 kV ≤ U ≤ 5 kV		$(6,2 \cdot 10^{-2} \cdot U)$	
	5 kV < U ≤ 12 kV			
	kV			

Kapsam İçerikleri

ELEKTRİK

DC Gerilim Ölçüm Cihazları	100 $\mu\text{V} \leq U \leq 999,9 \mu\text{V}$ 1 mV $\leq U \leq 9,9 \text{ mV}$ 10 mV $\leq U \leq 329,9 \text{ mV}$ 0,33 V $\leq U \leq 3,29 \text{ V}$ 3,3 V $\leq U \leq 32,9 \text{ V}$ 33 $\leq U \leq 329,9 \text{ V}$ 330 $\leq U \leq 1000 \text{ V}$		$4,3 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $4,3 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $4,8 \cdot 10^{-4} \cdot U$ $8,6 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $8,7 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $9,2 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $8,2 \cdot 10^{-5} \cdot U$	FLUKE 5500 A İLE U : Uygulanan Gerilim *Laboratuvarda ve Mobil olarak
DC Gerilim Kaynak Cihazları	100 $\mu\text{V} \leq U < 1000 \mu\text{V}$ 1 mV $\leq U < 200 \text{ mV}$ 0,2 mV $\leq U < 2 \text{ V}$ 2 V $\leq U < 20 \text{ V}$ 20 V $\leq U < 200 \text{ V}$ 200 V $\leq U < 1000 \text{ V}$ 1 kV $\leq U < 20 \text{ kV}$		$2,1 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $2,1 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $3,1 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $2,4 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $5,2 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $3,4 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $2,3 \cdot 10^{-5} \cdot U$	KEITHLEY 2002 DMM ile U : Uygulanan Gerilim *Laboratuvarda ve Mobil olarak Gerilim Bölücü ve 2030 DMM ile
DC Akım Ölçüm Cihazları	0,1 mA $\leq I \leq 3,29 \text{ mA}$ 3,3 mA $\leq I \leq 32,9 \text{ mA}$		$1,5 \cdot 10^{-3} \cdot I$ $4,8 \cdot 10^{-4} \cdot I$	FLUKE 5500 A İLE I : Uygulanan Akım

Kapsam İçerikleri

			Ort. Belirsizlik $K=2/(2)$	
AC Gerilim Ölçüm Cihazları	$1\text{mV} \leq U \leq 10\text{ mV}$ $10\text{mV} \leq U \leq 330\text{ mV}$ $0,33\text{V} \leq U \leq 3,3\text{ V}$ $3,3\text{V} \leq U \leq 33\text{ V}$ $33\text{V} \leq U \leq 330\text{ V}$ $330\text{V} \leq U \leq 1000\text{ V}$	45Hz - 10 kHz 45Hz - 10 kHz 45Hz - 10 kHz 45Hz - 10 kHz 45Hz - 1kHz 45Hz - 1kHz	$2,4 \cdot 10^{-2} \cdot U$ $2,9 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $8,2 \cdot 10^{-4} \cdot U$ $7,8 \cdot 10^{-4} \cdot U$ $8,4 \cdot 10^{-4} \cdot U$ $8,8 \cdot 10^{-4} \cdot U$	FLUKE 5500 A İLE U : Uygulanan Gerilim Laboratuvar ve Mobil olarak
AC Gerilim Kaynak Cihazları	$1\text{mV} \leq U \leq 10\text{ mV}$ $10\text{mV} \leq U \leq 200\text{ mV}$ $200\text{mV} \leq U \leq 2\text{ V}$ $2\text{V} \leq U \leq 20\text{ V}$ $20\text{V} \leq U \leq 200\text{ V}$ $200\text{V} \leq U \leq 1000\text{ V}$ $1\text{kV} \leq U \leq 20\text{ kV}$	50 Hz - 100 Hz 100 Hz - 10 kHz 50 Hz - 100 Hz 100 Hz - 10 kHz 50Hz - 100 Hz 100 Hz - 10 kHz 50Hz - 100 Hz 100 Hz - 10 kHz 50Hz - 100 Hz 100 Hz - 10 kHz 50Hz - 100 Hz 100 Hz - 1 kHz 50 Hz	$3,5 \cdot 10^{-2} \cdot U$ $2,3 \cdot 10^{-2} \cdot U$ $4,3 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $2,4 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $2,5 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $1,4 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $2,5 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $2,2 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $2,5 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $2,2 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $2,0 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $1,5 \cdot 10^{-3} \cdot U$ $4,2 \cdot 10^{-2} \cdot U$	KEITHLEY DMM 2002 ile U : Uygulanan Gerilim Laboratuvar ve Mobil olarak Gerilim Bölücü ve 2030 DMM
AC Akım Ölçüm Cihazları	$0,1\text{mA} \leq I \leq 3,3\text{ mA}$ $3,3\text{mA} \leq I \leq 33\text{ mA}$ $33\text{mA} \leq I \leq 330\text{ mA}$	45 Hz - 1 kHz 45 Hz - 1 kHz 45 Hz - 1 kHz	$4,9 \cdot 10^{-3} \cdot I$ $2,2 \cdot 10^{-3} \cdot I$ $2,3 \cdot 10^{-3} \cdot I$	FLUKE 5500 A İLE U : Uygulanan Akım

- Referans cihaz altyapısının geliştirilmesi
- TÜBİTAK UME referans yapım çalışmaları
- Ara kontrol işlemleri
- Akreditasyon EVET laboratuvar HAYIR
- Kalibrasyon periyotları
- Yerinde kalibrasyonlar (on-site)
- Karşılaştırmalar
- Kapsamların gözden geçirilmesi
- Erteleme/süre verilmesi
- Denetimlerde standardizasyon
- Denetimlerdeki denetimsizlik

**Katılımınız
için
teşekkürler...**