



Primer Yıldırım ve Anahtarlama Darbe Kalibratörü Projesi

Serkan DEDEOĞLU

Yüksek Gerilim Laboratuvarı

5 Kasım 2015

- Giriş
- Darbe Yüksek Gerilim Nedir?
- Darbe Yüksek Gerilim Ölçümleri Neden Önemlidir?
- Darbe Yüksek Gerilim Çeşitleri Nelerdir?
- Projenin Amacı
- Darbe Kalibratörünün Yapımı
- Darbe Kalibratörünün Matematiksel Analizi ve Yazılım Tasarımı
- Darbe Kalibratörünün Çalışma Prensibi
- Darbe Kalibratörünün Ölçüm Sonuçları
- İzlenebilirlik
- Yaygın Etki / Katma Değer

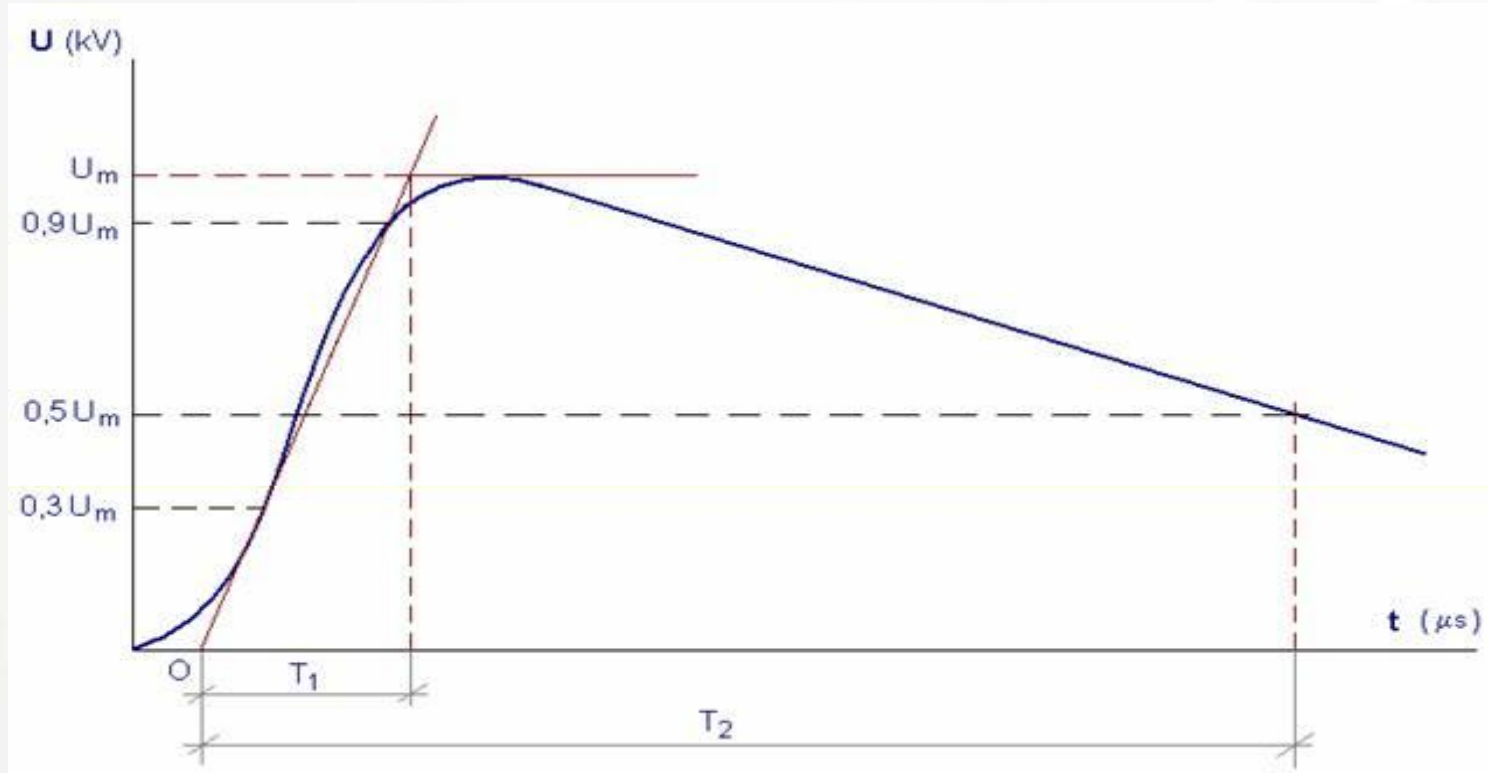
Ülkemizdeki enerji iletim ve dağıtım sistemlerimiz 50 Hz şebeke frekanslı AC yüksek gerilim altında çalışmaktadır.

Fakat normal AC çalışma gerilimini aşan iki ana geçici gerilim tipi, elektrik güç iletim ve dağıtım sistemlerinde sıklıkla bozulmalara neden olurlar. Bu nedenle bu tip gerilimlere maruz kalabilecek tüm sistem, cihaz veya ürünlerin bu geçici tip gerilimler altında dayanım deneylerinin yapılması gerekmektedir

Standart darbe dayanım deneylerinde Yıldırım Darbe ve Anahtarlama Darbe olmak üzere iki çeşit gerilim kullanılır.

Bir darbe geriliminin türü; tepe değeri, cephe süresi ve sırt yarı değer süresi ile belirlenir.

Darbe Yüksek Gerilim Nedir?



Darbe yüksek gerilimler yapısal olarak kısa süreli, tek kutuplu ve yüksek frekanslı bir DC yüksek gerilim tipidir.

Neden Önemli?



Yıldırım darbe yüksek gerilim
ölçümleri neden gereklidir ?

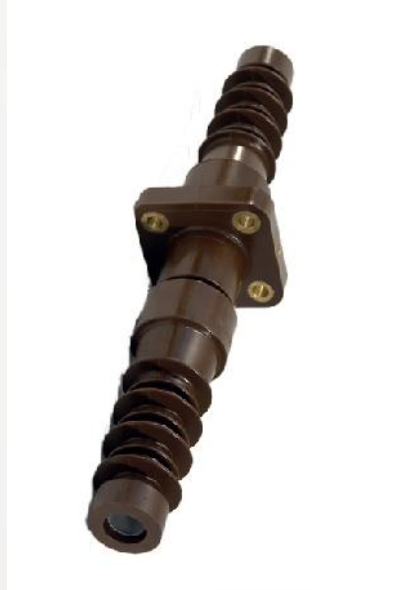
Neden Önemli?



Malzemelerin ve ürünlerin doğada gerçekleşen yıldırım gerilimlerine dayanım mekanizmaları ile ilgili araştırma geliştirme yapmak.



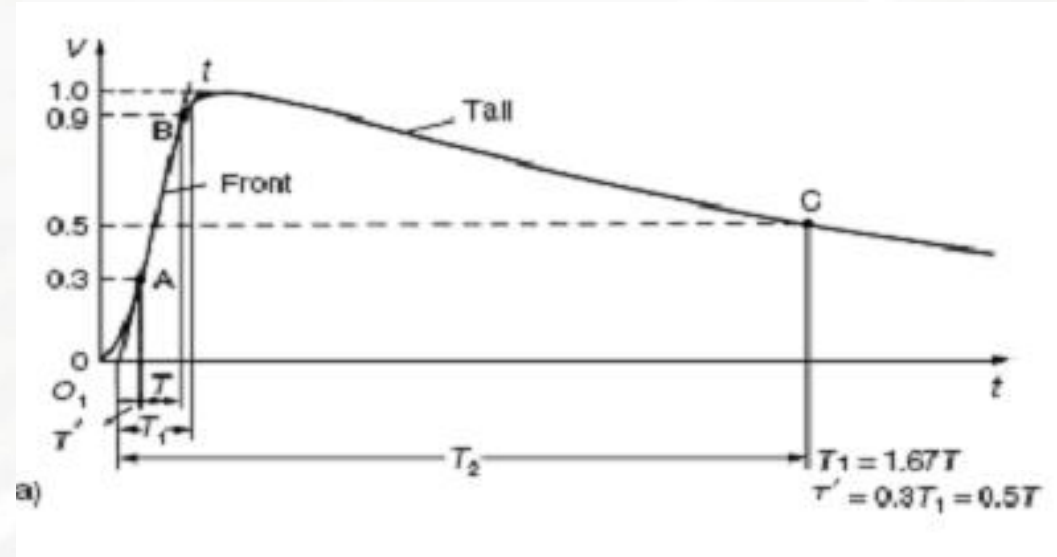
Neden Önemli?



Üretilen nihai malzeme ve elektromekanik ürünlerin ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğunu belirlemek amacıyla yapılan darbe yüksek gerilim deneylerin gerçekleştirilmesi için gereklidir.

- Yıldırım Darbe (LI) Yüksek Gerilimleri
- Anahtarlama Darbe (SI) Yüksek Gerilimleri

Yıldırım (LI) Darbe Yüksek Gerilimler



Doğada yıldırımların neden olduğu aşırı gerilimlerin tepe değere ulaşma süresinin $1 \mu s$ mertebelerinde olduğu darbe yüksek gerilim tipidir.

Darbe geriliminin tepe değerinin %30 ve %90 ının arasında kalan sürenin 1,67 ile çarpımı ile 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.

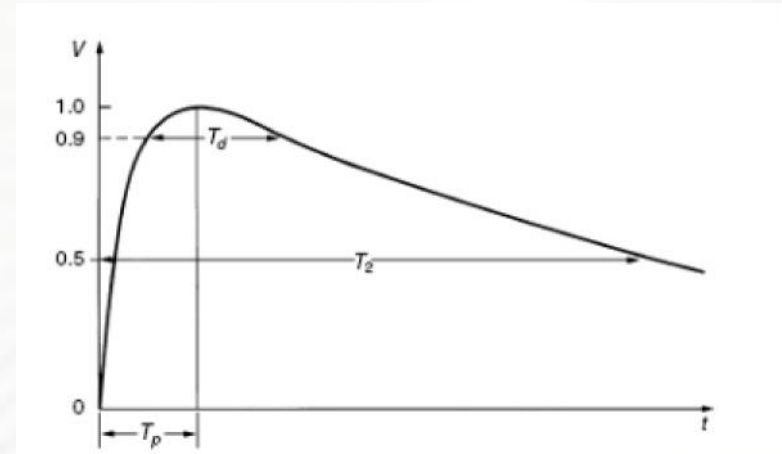
Deney gerilimleri toleransları şu şekildedir.

$$U = U_p \pm \%3$$

$$T_1 = 1,2 \mu s \pm \%30$$

$$T_2 = 50 \mu s \pm \%20$$

Anahtarlama (SI) Darbe Yüksek Gerilimler



Elektromekanik ürünlerin açma-kapama olayları sırasında ortaya çıkan ve iç aşırı gerilimlerin tepe değere ulaşma süresinin 200 μ s mertebelerinde olduğu darbe yüksek gerilim tipidir.

Darbe geriliminin başlangıç noktası ile tepe değeri arasında kalan süre T_p 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.

Deney gerilimleri toleransları şu şekildedir.

$$U = U_p \pm \%3$$

$$T_p = 250 \mu s \pm \%20$$

$$T_2 = 2500 \mu s \pm \%20$$

Referans Darbe Kalibratörü Projesinin Amacı



Bu proje tamamlanana kadar TÜBİTAK UME Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nın darbe yüksek gerilim ölçümleri konusunda izlenebilirliği yurt dışından sağlanmaktaydı. Yıldırım ve anahtarlama darbe gerilimler konusunda, dışa bağımlı olmaksızın izlenebilirliğin sürdürülebilmesi için referans darbe kalibratörüne ihtiyaç duyulmaktaydı.



Bu projede ulusal kaynakların kullanımıyla, referans darbe kalibratörü tasarımı ve yapımı gerçekleştirilmiş ve bu sayede darbe yüksek gerilim izlenebilirliği konusunda dışa bağımlılığımız ortadan kalkmış ve primer seviyede ölçümler yapılması sağlanmıştır.

Primer Darbe Kalibratörünün Yapımı

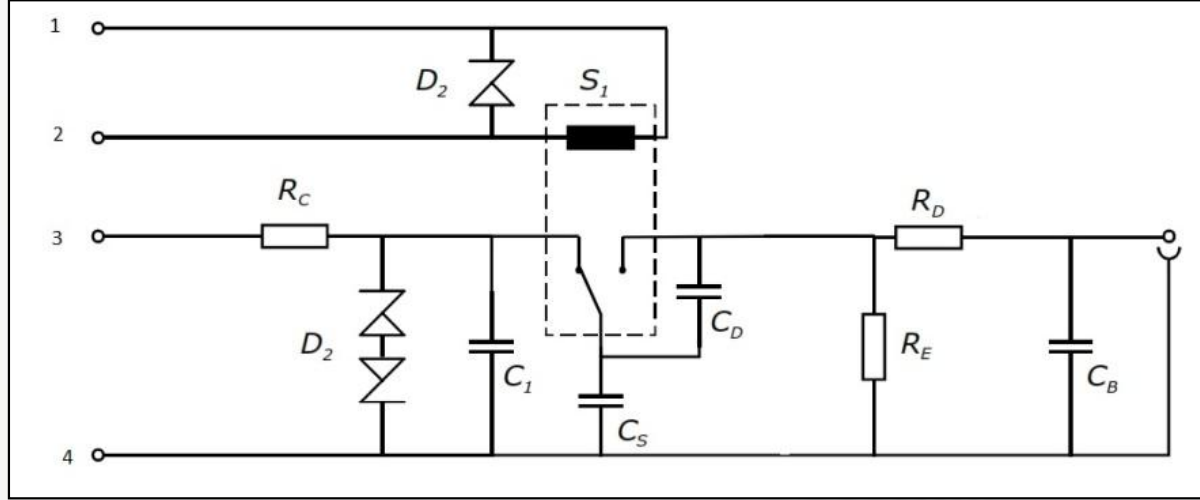
Bu proje ile yapımı gerçekleştirilen Hesaplanabilir Primer Yıldırım ve Anahtarlama Darbe Gerilim Kalibratörü, tek katlı bir darbe generatörü prensibiyle çalışmaktadır.



Yıldırım ve anahtarlama darbe kalibratörü, darbe yüksek gerilim ölçümlerinde primer düzeyde ölçümler yapabilmek için tüm Ulusal Metroloji Enstitüleri için vazgeçilmez bir referans cihazdır.

Primer Darbe Kalibratörünün Yapımı

Bir referans darbe gerilim kalibratörünün oluşturulabilmesi için gerekli olan eşdeğer devre incelendiğinde;



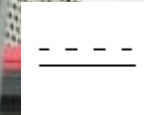
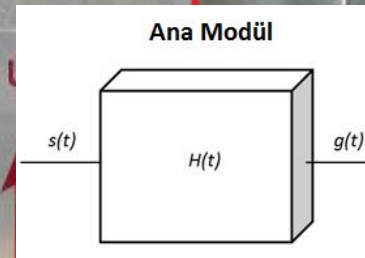
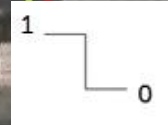
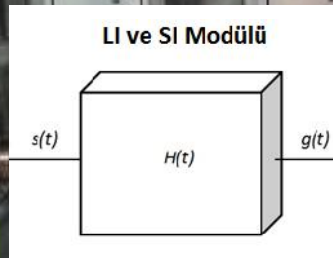
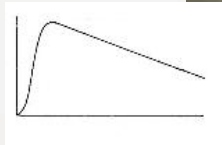
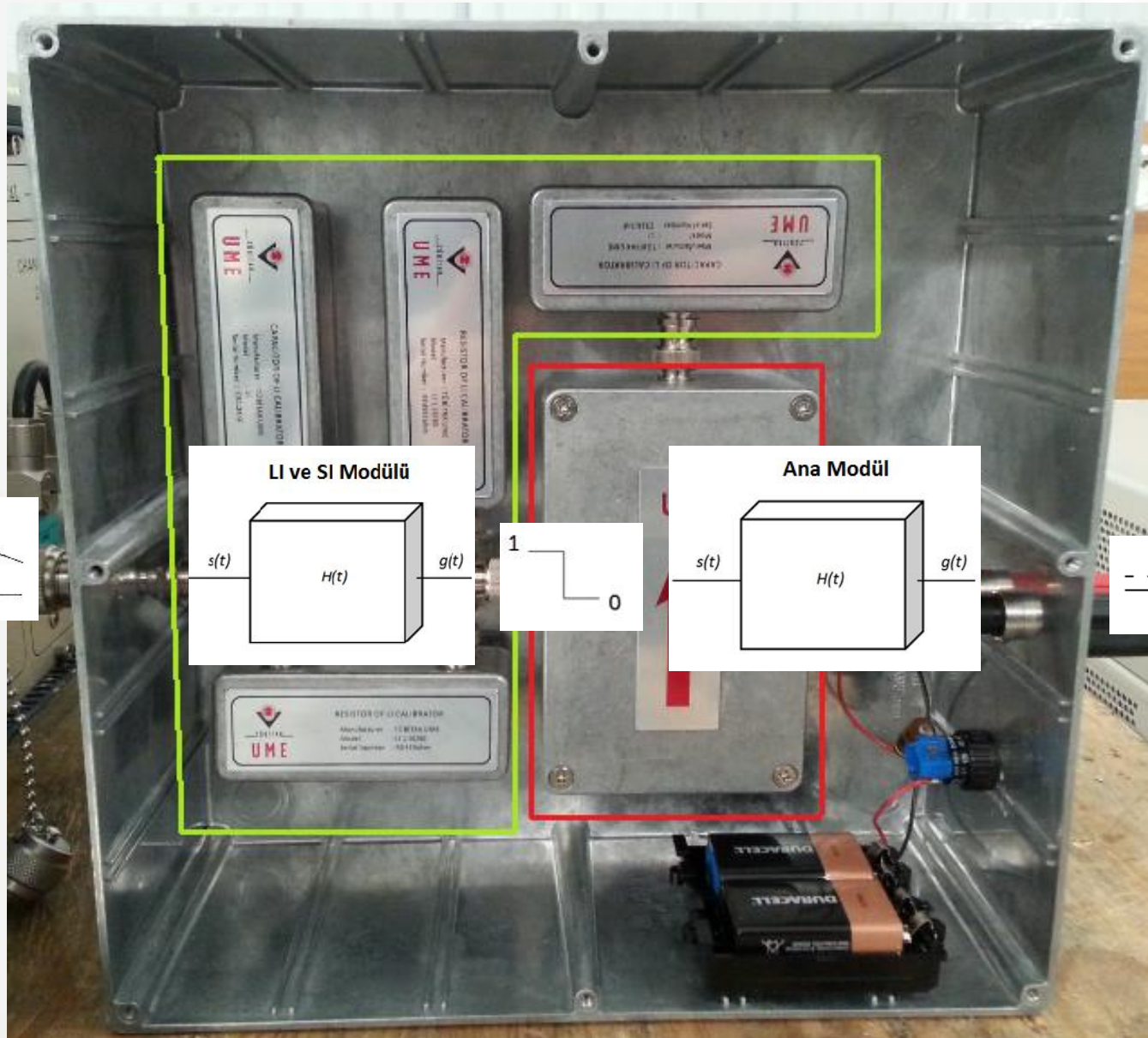
Darbe kalibratörünün eşdeğer devresi

İlk olarak devrenin girişinde, işaretin üretilmesi için gerekli olan dc gerilimi sağlayacak olan dc şarj birimi bulunmaktadır.

Daha sonra şarj edilen dc gerilimi çok hızlı bir şekilde tetikleyerek step darbe üreten bir röle ve röle kontrol devresi bulunmaktadır.

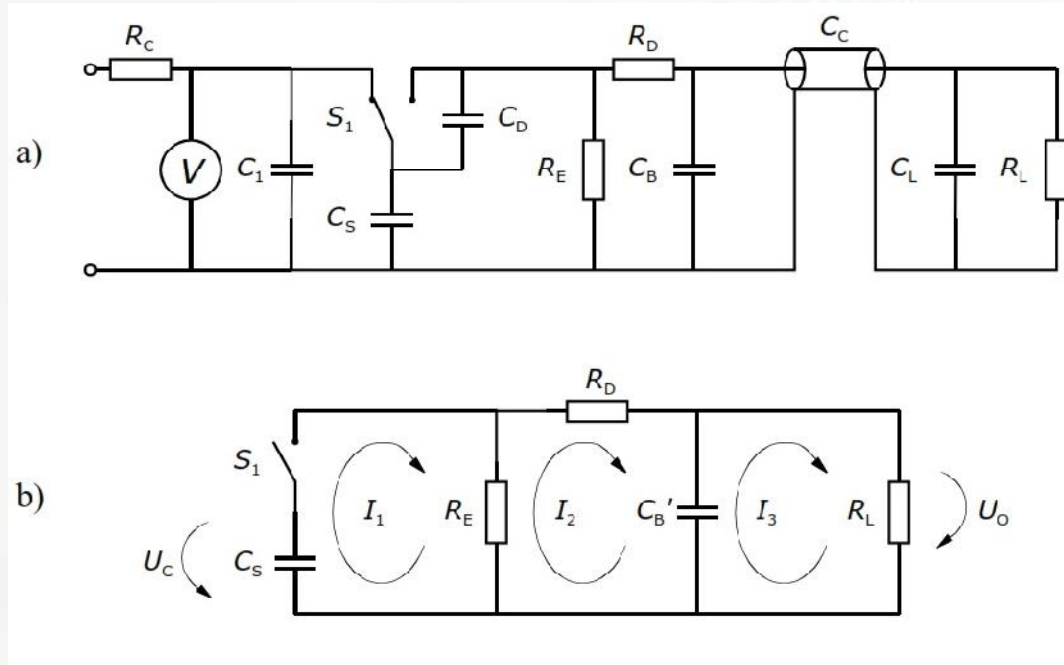
Devrenin çıkışında ise; step darbeyi referans darbe sinyaline dönüştüren, değerleri kalibre edilerek tam olarak bilinen kapasitör ve direnç komponentlerinden oluşan tek katlı darbe jeneratörü devresi bulunmaktadır.

Yıldırım ve Anahtarlama Darbe Kalibratörü Yapımı



Referans Darbe Kalibratörünün Matematiksel Analizi ve Yazılım Tasarımı

Primer yıldırım ve anahtarlama darbe kalibratörü, aynı zamanda hesaplanabilir bir standart darbe kaynağı olduğundan dolayı darbenin formunu oluşturan çeşitli parametrelerin hesaplama metodlarındaki matematiksel teorisinin çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Standart darbe işaretinin genlik ve zaman parametreleri olan U_p , T_1 , T_2 , T_p büyüklüklerinin matematiksel teorisini oluşturabilmek için öncelikle eşdeğer devresi üzerinde analitik hesaplamalar yapılması gerekmektedir.

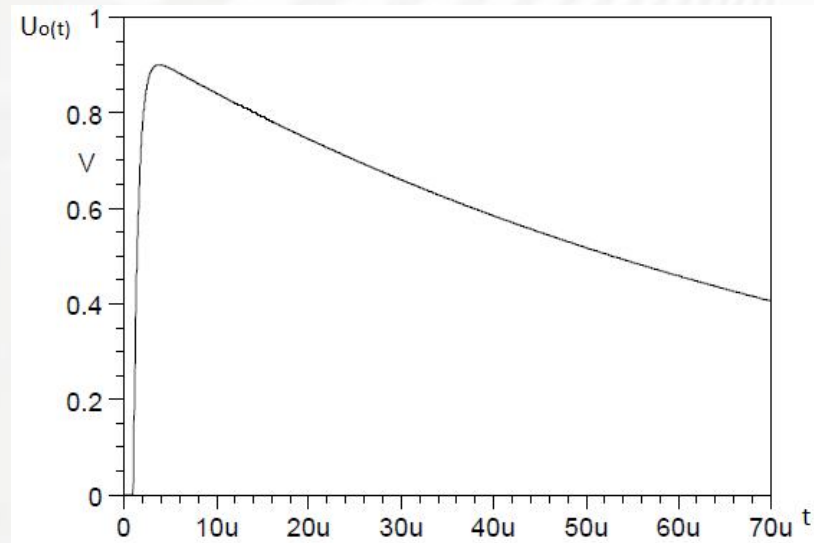


a) Devre diyagramı b) darbe parametreleri hesaplamaları için eşdeğer devre

Referans Darbe Kalibratörünün Matematiksel Analizi ve Yazılım Tasarımı

Devrenin matematiksel modelinin çözümü çift üstel (double exponansiyel) bir sinyalin çözümünü verir.

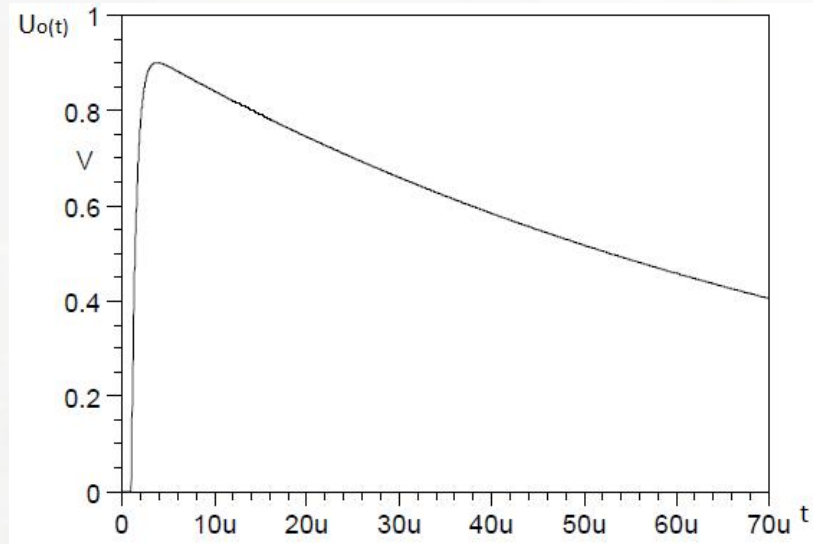
$$\begin{bmatrix} 1/sC_S + R_E & -R_E & 0 \\ -R_E & R_E + RD + 1/sC'_B & -1/sC'_B \\ 0 & -1/sC'_B & 1/sC'_B + R_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Uc/s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$



Referans Darbe Kalibratörünün Matematiksel Analizi ve Yazılım Tasarımı



Bu çift üstel (double exponansiyel) sinyalin matematiksel denklemi aşağıdaki şekilde bulunur. Bu denklem (u) genlik ve (t) zaman parametreleri bilinmeyen çift bilinmeyenli bir denklemdir.



$$U_0(t) = U_c \frac{d}{a(g - h)} (e^{gt} - e^{ht})$$

Referans Darbe Kalibratörünün Matematiksel Analizi ve Yazılım Tasarımı



Yıldırım ve Anahtarlama darbe işaretinin zaman parametreleri olan T_1 , T_2 ve T_p değerlerinin bulunabilmesi için eğrinin ön cephesinin % 30'u ve % 90'nını kestiği nokta ve darbenin kuyruğunun % 50'ye düştüğü noktalardaki genliklere denk düşen zaman değerlerin bilinmesi gerekmektedir.

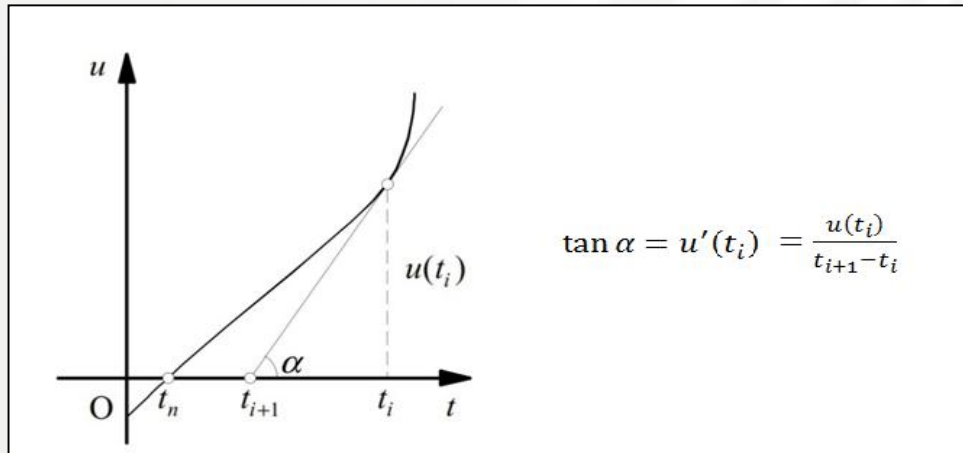
T_1 , T_2 ve T_p parametrelerinin, bu çift bilinmeyenli denklemle doğrudan çözülmesi mümkün değildir.

$$U_0(t) = U_c \frac{d}{a(g - h)} (e^{gt} - e^{ht})$$

Bu parametrelerin bulunmasında kullanılacak en uygun çözüm metodu Newton iterasyon metodudur.

Referans Darbe Kalibratörünün Matematiksel Analizi ve Yazılım Tasarımı

Newton iterasyon metodu 2. derece veya daha yüksek dereceli denklemlerin köklerini yaklaşık değerler atanarak bulunmasını sağlayan bir metottur. Aşağıdaki grafikte görülebileceği gibi t_i gibi bir yaklaşık değer atanır, bu değere göre denklemin $\tan \alpha$ hesaplanır ve eğriye teğet geçen çizginin t eksenini kestiği nokta yeni tahmini değeri verecektir. Bu işlem tahmini iki değer arasındaki değişimin en küçük olduğu değere kadar tekrar edilir. Denklemden maksimum genliğin %30, %90 ve %50 sine denk gelen noktalara teğetler çizilerek iterasyon metoduyla bu noktalardaki t süreleri hesaplanır.



$$U_c \frac{d}{a(g-h)} (e^{gt_{30}} - e^{ht_{30}}) - 0,3\bar{u}_0 = 0$$

$$U_c \frac{d}{a(g-h)} (e^{gt_{90}} - e^{ht_{90}}) - 0,9\bar{u}_0 = 0$$

$$U_c \frac{d}{a(g-h)} (e^{gt_{50}} - e^{ht_{50}}) - 0,5\bar{u}_0 = 0$$

Referans Darbe Kalibratörünün Matematiksel Analizi ve Yazılım Tasarımı



Primer yıldırım ve anahtarlama darbe kalibratörü tarafından üretilecek olan ve çift exponansiyel şeklinde bir sinyal olan “standart yıldırım darbe” ve “standart anahtarlama darbe” işaretlerinin çeşitli Laplace dönüşümlerini ve zaman-frekans domenindeki matematiksel analizlerini yaparak bu sinyallerin U_p, T_1, T_2, T_p büyüklüklerinin yüksek doğrulukla belirlenmesini sağlayacak olan matlab tabanlı bir yazılım tasarımı yapılmış ve kullanıcı arayüzü hazırlanmıştır.

LI_calibrator

TÜBİTAK-UME HIGH VOLTAGE LABORATORY

Calculable Lightning Impulse Voltage Calibrator Software

Uc V

Cs nF

Cb nF

Re Ohm

Rd Ohm

CL pF

RL Ohm

Up= V

T1= us

T2= us

a=

b=

c=

d=

g=

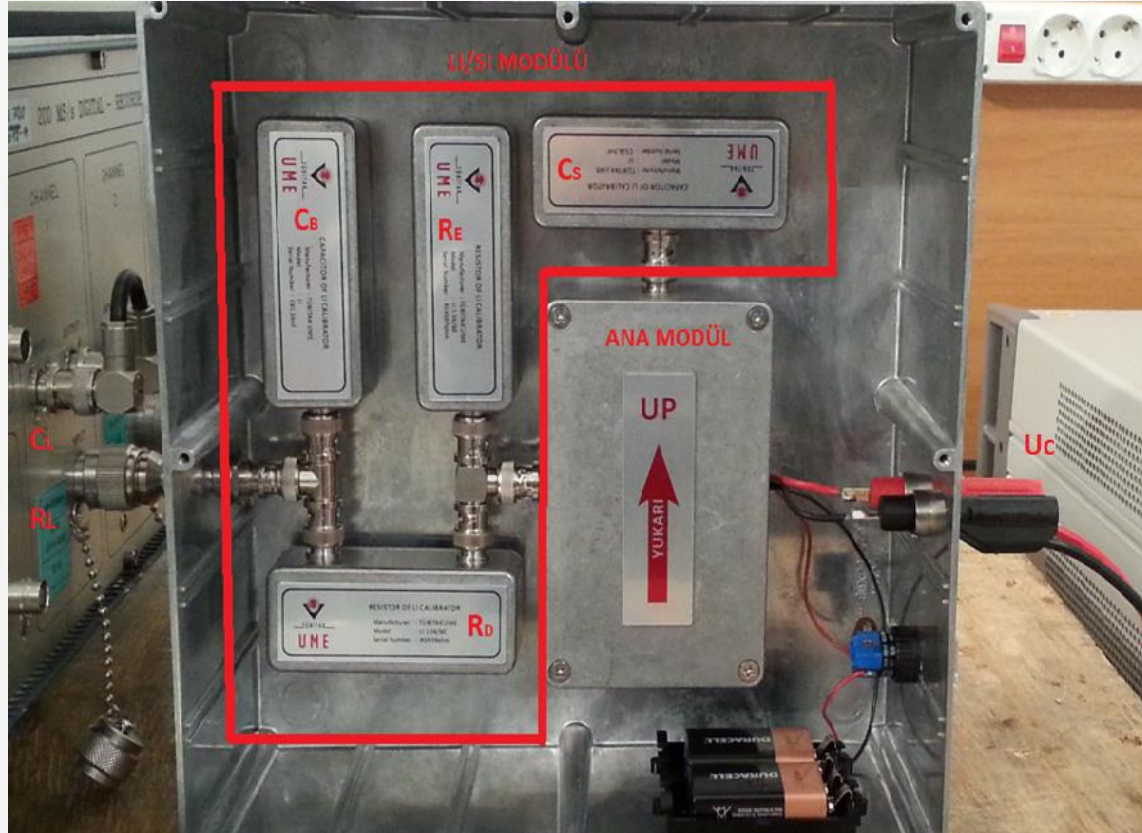
h=

tp=

Calculate

Darbe Kalibratörünün Çalışma Prensibi

Öncelikle Primer yıldırım ve anahtarlama darbe kalibratörü içerisindeki modüler yapıdaki direnç ve kapasitör modüllerinin değerleri kalibre edilerek belirlenmelidir.



Darbe Kalibratörünün Çalışma Prensibi



Kalibrasyon sonucu elde edilen komponent değerleri yazılıma girilir ve yazılım bu konfigürasyon için üretilecek çift exponansiyel darbe sinyalinin genlik ve zaman parametrelerini hesaplayarak ekrana yazdırır. Bu değerler kalibratörün ürettiği referans darbeye ait genlik ve zaman değerleridir.

LI_calibrator

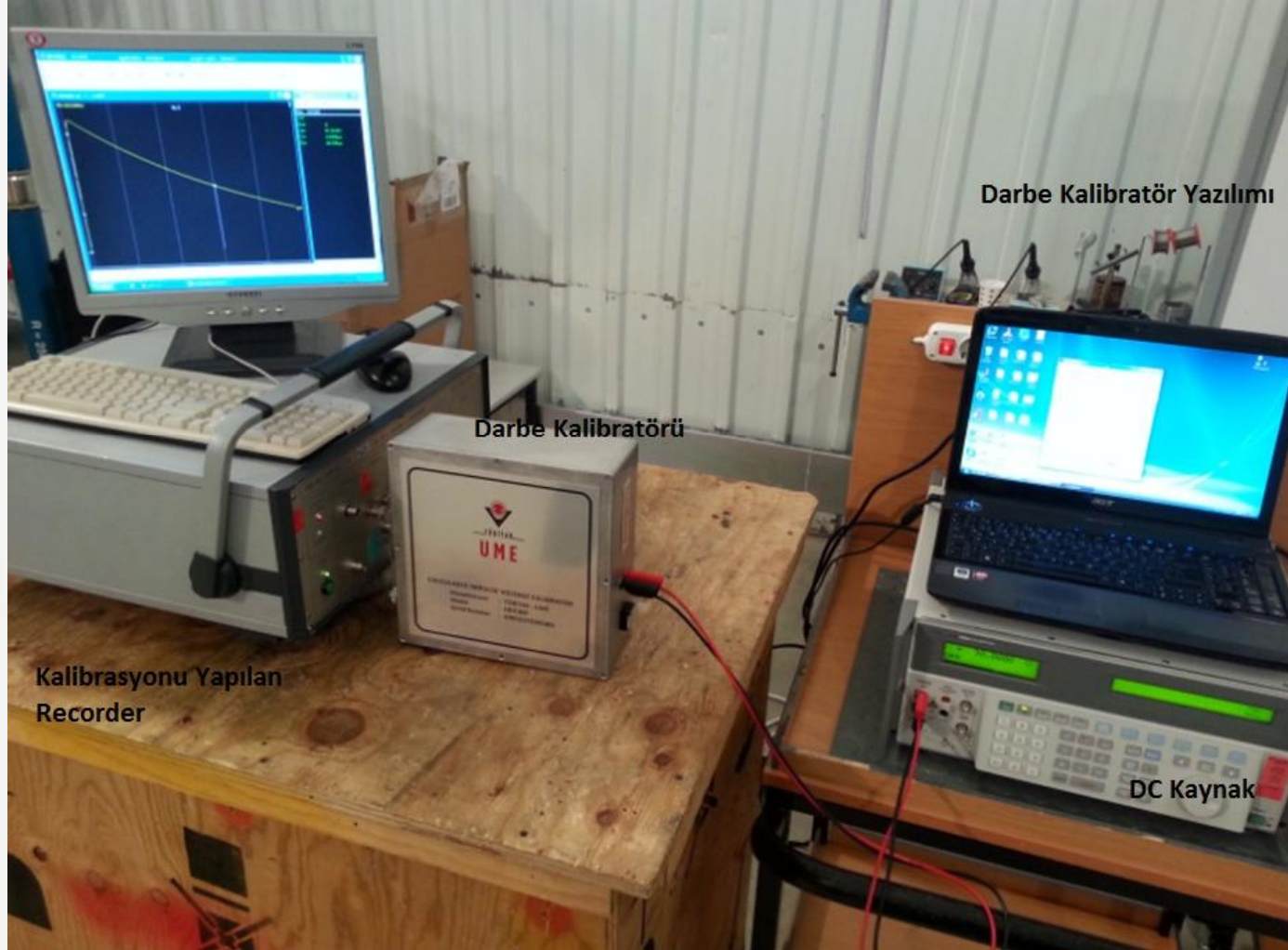
TÜBİTAK-UME HIGH VOLTAGE LABORATORY

Calculable Lightning Impulse Voltage Calibrator Software

Uc	1	V	Up=	0.784357900	V
Cs	56.4	nF	T1=	169.974438593	us
Cb	9.45	nF	T2=	2630.858445554	us
Re	52430	Ohm	a=	0.223331	
Rd	7950	Ohm	b=	3554.17	
CL	50	pF	c=	1.06038e+006	
RL	1000000	Ohm	d=	2957.05	
			g=	-304.161	
			h=	-15610.2	
			tp=	0.000257292	

Calculate

Darbe Kalibratörünün Çalışma Prensibi



Ölçüm Düzeneği

Darbe Kalibratörünün Ölçüm Sonuçları



calibrator1

TÜBİTAK-UME HIGH VOLTAGE LABORATORY

Calculable Lightning Impulse Voltage Calibrator Software

Uc 100 V

Cs 16.6535 nF

Cb 1.25626 nF

Re 3857.91 Ohm

Rd 337.1804 Ohm

CL 50 pF

RL 1000000 Ohm

Up= 89.872875308 V

T1= 1.211869396 µs

T2= 50.599727152 µs

a= 2.82976e-005

b= 69.7492

c= 1.0042e+006

d= 64.2477

g= -14482.3

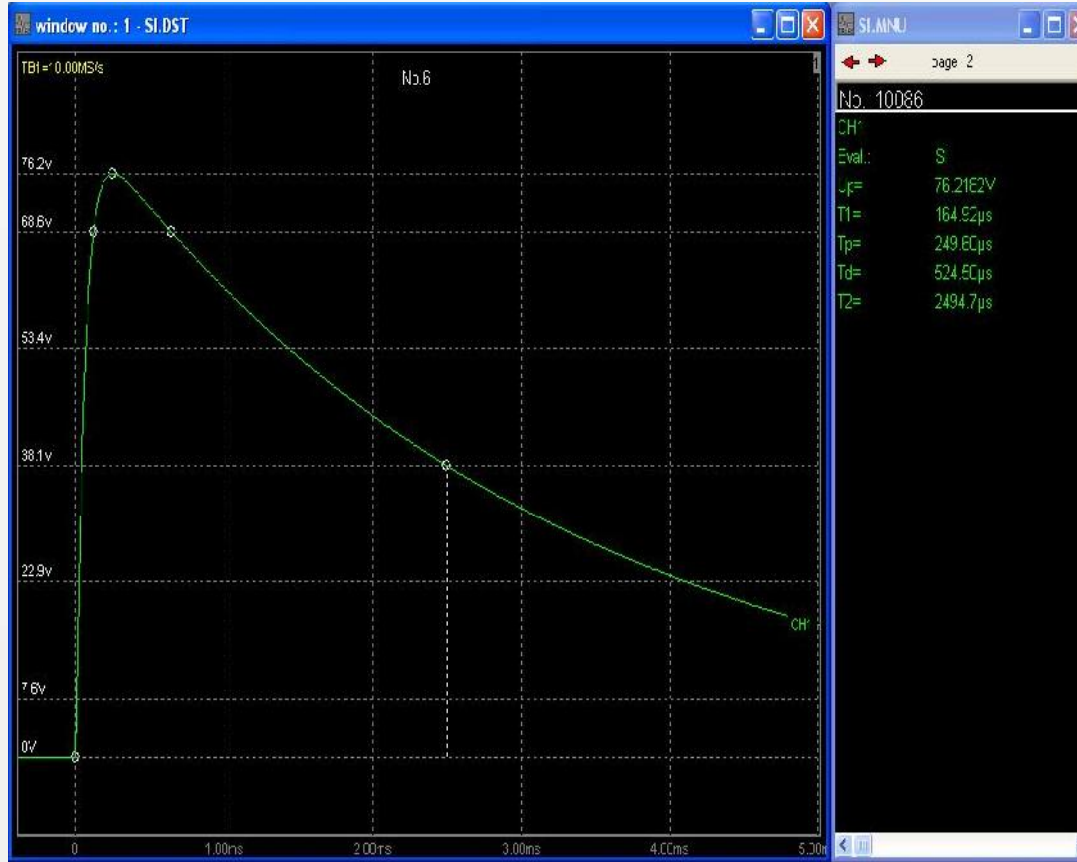
h= -2.45036e+006

tp= 2.10645e-006

Calculate

Ölçüm Bölgesi	Kalibratörden Uygulanan Değerler			Kaydediciden Okunan Değerler			Sapma		
	U (REF) µs	T1 (REF) µs	T2 (REF) µs	U (UUT) µs	T1 (UUT) µs	T2 (UUT) µs	U (%)	T1 (%)	T2 (%)
1,2/50 µs 100V	89,8729	1,21187	50,5997	89,513	1,2119	50,855	-0,4	0,0	0,5

Darbe Kalibratörünün Ölçüm Sonuçları



calibrator2

TÜBİTAK-UME HIGH VOLTAGE LABORATORY

Calculable Switching Impulse Voltage Calibrator Software

Uc V

Cs nF

Cb nF

Re Ohm

Rd Ohm

CL pF

RL Ohm

Up= 76.236036496 V

T1= 164.959125404 μs

Tp= 249.277560381 μs

T2= 2492.917344056 μs

a= 0.208298

b= 3409.62

c= 1.06271e+006

d= 2759.06

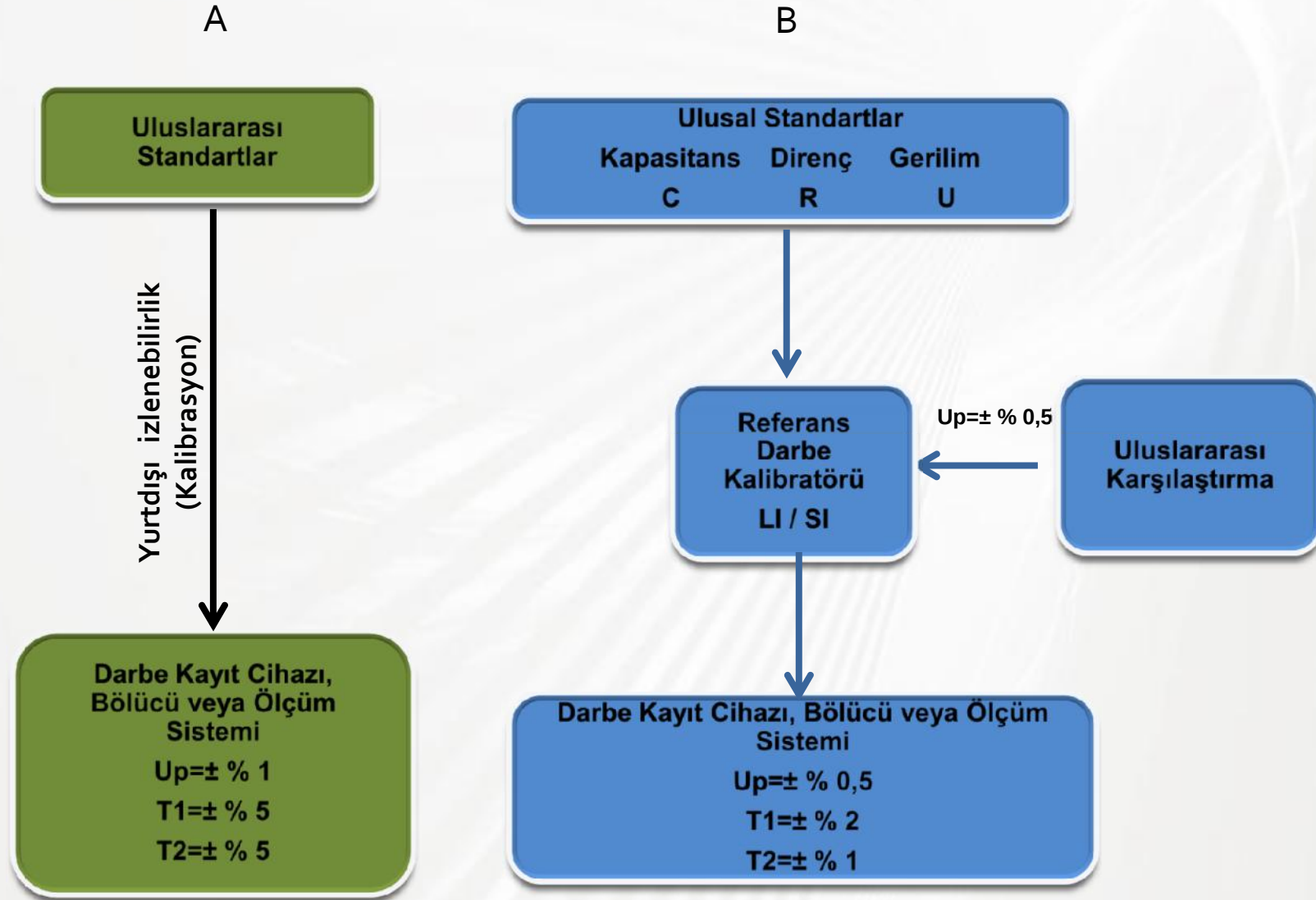
g= -317.853

h= -16051.1

tp= 0.000249278

Calculate

Ölçüm Bölgesi	Kalibratörden Uygulanan Değerler			Kaydediciden Okunan Değerler			Sapma		
	U _(REF) μs	T _{p(REF)} μs	T _{2(REF)} μs	U _(UUT) μs	T _{p(UUT)} μs	T _{2(UUT)} μs	U (%)	T _p (%)	T ₂ (%)
1,2/50 μs 100V	76,2360	249,277	2492,917	76,2182	249,60	2494,7	0,0	-0,1	-0,1



Darbe yüksek gerilim izlenebilirlik zinciri

A) projeden önceki durum B) proje tamamlandığında oluşan yeni izlenebilirlik

- Primer ölçüm sistem
- Düşük belirsizlik
- Yurtdışına bağımlılığın sonlandırılması
- Zaman ve ekonomik kazanç
- Bilgi birikimi ve deneyim
- Prestij

İlginiz için teşekkürler !!!