

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ

**Yüksek Alternatif Gerilimlerin Üretilmesi
(devam)**

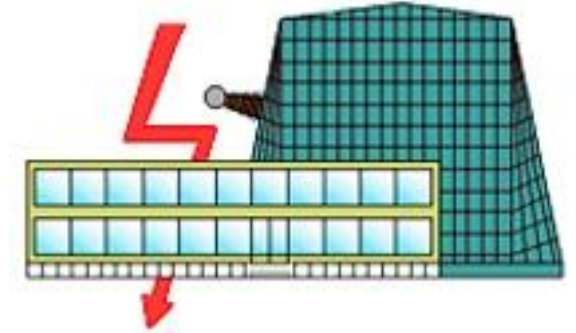


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

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 ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Deney amaçlı yüksek alternatif gerilimler, **frekansına göre** üç genel başlıkta toplanabilir. Bunlar,

- 1) **Şebeke frekanslı** (50 Hz veya 60 Hz frekanslı) alternatif gerilimler
- 2) **Yüksek frekanslı** (genelde 10 kHz'den yüksek frekanslı) gerilimler
- 3) **Düşük frekanslı** (genelde 0,1 Hz ile 2 Hz arası frekanslı) alternatif gerilimlerdir.

demıştik. Derste bu tür gerilimlerin üretimlerini anlatmaya devam edeceğiz. Kaldığımız yerden devam ...

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek gerilim deney transformatörlerinin özellikleri:

- ❖ Güç transformatörlerine göre güçleri daha küçüktür.
- ❖ Bir fazlı olarak üretilirler.
- ❖ Deney transformatörlerinin yükleri genellikle kapasitiftir.
- ❖ Genelde 50 Hz çalışma frekansı için imal edilirler.
- ❖ Çevirme oranları yüksektir.
- ❖ Gerilim, alçak gerilim tarafından (sürekli) ayarlanır.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek gerilim deney transformatörlerinin özellikleri:

- ❖ Sargıları kısa devrelere dayanıklıdır.
- ❖ Yüksek gerilim sargıları iyi yalıtılmıştır.
- ❖ Kazanı topraklı veya potansiyel altında olabilir.
- ❖ Kazanı, yalıtkan malzemedен yapılabilir.
- ❖ Kısa süreli çalışmaya uygundur.

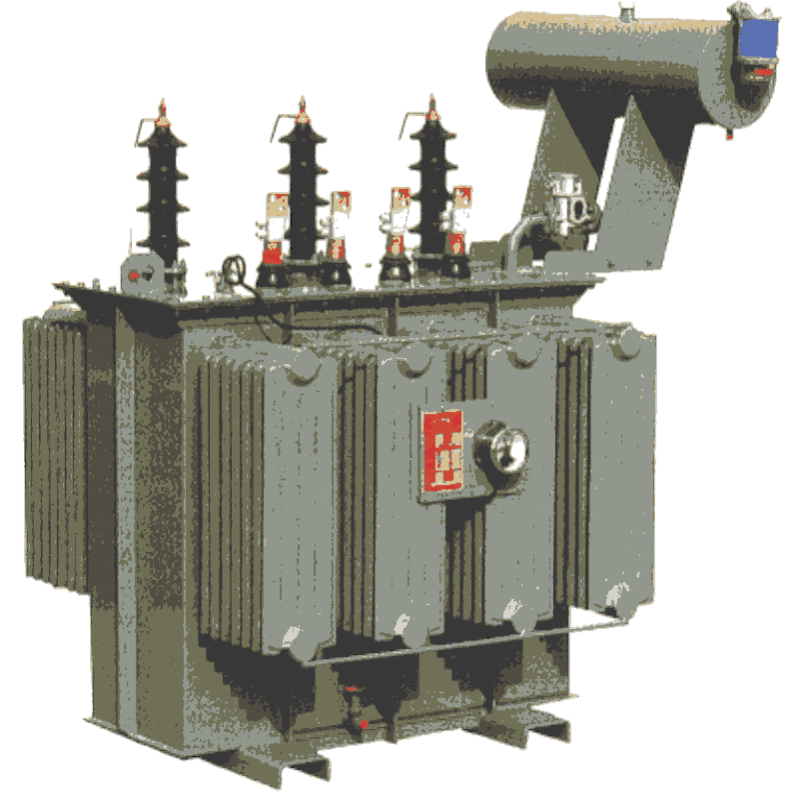


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

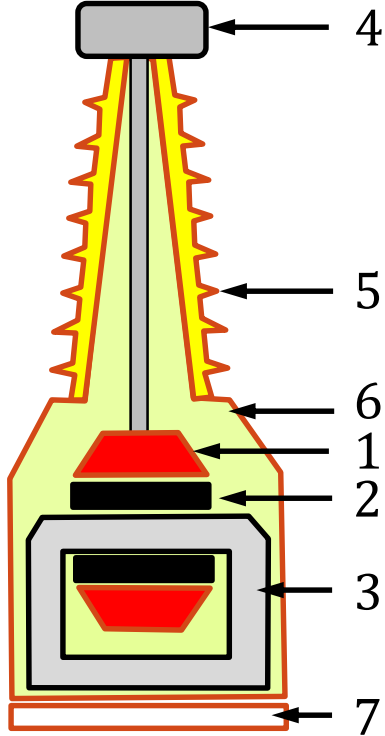
Yüksek gerilim güç transformatörlerinin özellikleri:

- ❖ Güçleri, deney transformatörlerine göre çok büyüktür.
- ❖ Genellikle üç fazlı olarak üretilirler.
- ❖ Kazanı ve çekirdeği daima topraklıdır.
- ❖ 50 Hz çalışma frekansı için imal edilirler.
- ❖ Gerilim, kademe değiştirici (tap changer) ile basamaklı olarak ayarlanır.
- ❖ Yüksek kısa devre akımları ve sürekli çalışma için üretilirler.
- ❖ Sargıları aşırı gerilimlere göre yalıtılmıştır.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek Gerilim Deney Transformatörü Örnekleri



- 1: Yüksek gerilim sargısı
- 2: Alçak gerilim sargısı
- 3: Demir çekirdek
- 4: Yüksek gerilim çıkışı
- 5: Geçit izolatörü
- 6: Metal kazan (tank, gövde)
- 7: Taban

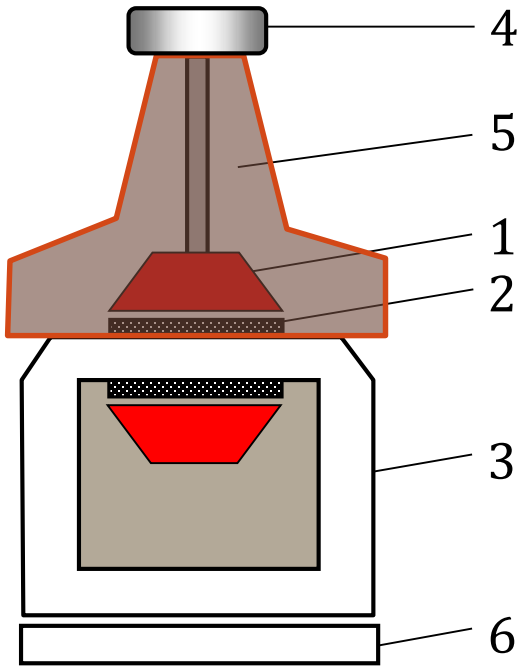
Yağlı, geçit izolatörlü, kazan tipi
yüksek gerilim deney transformatörü



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek Gerilim Deney Transformatörü Örnekleri



Kuru tip (genellikle dökme reçine) yalıtımlı yüksek gerilim deney transformatörü

Bu tip transformatörlerde hem yüksek gerilim hem de alçak gerilim sargıları dökme reçine (epoksi reçine) içinde bulunur.

Ayrıca yalıtıma ve gövdeye gerek yoktur.

Arızalanmaları durumunda onarımları zordur veya yapılamaz.

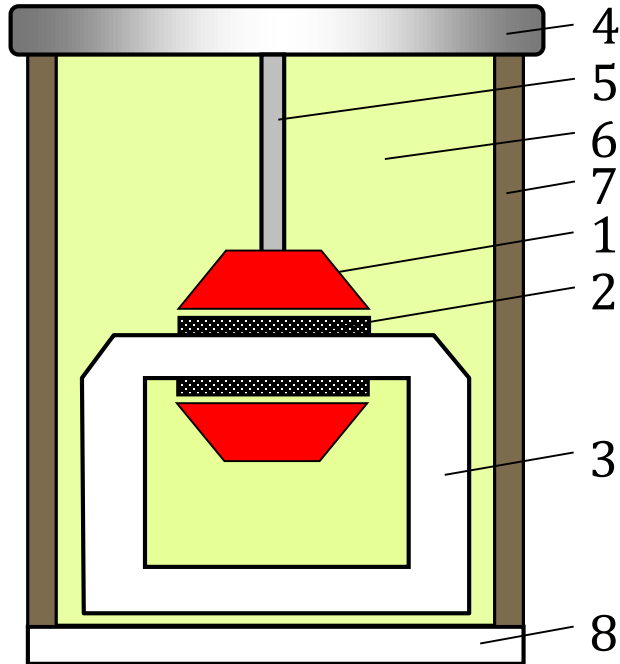
- 1: Yüksek gerilim sargısı; 2: Alçak gerilim sargısı;
3: Demir çekirdek; 4: Yüksek gerilim çıkışı;
5: Dökme reçine; 6: Taban



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek Gerilim Deney Transformatörü Örnekleri



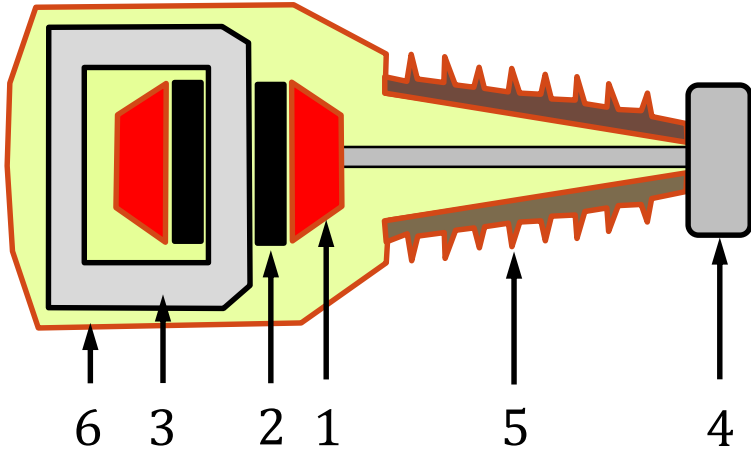
- 1: Yüksek gerilim sargısı
- 2: Alçak gerilim sargısı
- 3: Demir çekirdek
- 4: Yüksek gerilim çıkışı
- 5: Geçit iletkeni
- 6: Yalıtkan yağ
- 7: Yalıtkan gövde
- 8: Taban



Yalıtkan gövdeli, yağlı, geçit izolatörsüz deney transformatörü

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek Gerilim Deney Transformatörü Örnekleri



- 1: Yüksek gerilim sargısı
- 2: Alçak gerilim sargısı
- 3: Demir çekirdek
- 4: Yüksek gerilim çıkışı
- 5: Yalıtkan kapak (ara tutucu)
- 6: Metal kazan



Gaz (SF6) yalıtımlı
yüksek gerilim deney transformatörü



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek Gerilim Deney Transformatörü Örnekleri



800 kV'luk gaz (SF6) yalıtımlı
yüksek gerilim deney transformatörü

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Kaskad Bağlı Deney Transformatörleri

Transformatörlerin fiyatları gerilimle hızla artmaktadır. Bu nedenle birkaç yüz kilovoltun üstündeki deney gerilimleri çok katlı deney transformatörleri yardımı ile üretilir. Çünkü bir transformatörün her boyutunun gerilimle orantılı olduğu kabul edilir ve bu varsayıma göre bir transformatörün hacmi veya ağırlığı gerilimin küpü ile orantılı olarak alınır.

$$G = k \cdot U^3$$

Denkleme göre elde edilmek istenen gerilim yükseldikçe transformatörün ağırlığı da yaklaşık gerilimin küpüyle orantılı olarak artar. Ağırlık artışına bağlı olarak maliyet de artar.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

U_1 gerilimindeki bir trafonun ağırlığı:

$$G_1 = k \cdot U_1^3$$

$U_2 = 3U_1$ gerilimindeki bir trafonun ağırlığı:

$$G_2 = k \cdot U_2 = k \cdot (3 \cdot U_1)^3 = k \cdot 27 \cdot U_1^3$$

$$G_2 = 27 \cdot G_1$$

Yani bir transformatörün 3 katı bir gerilim için üretiminde ağırlığı ilk ağırlığının yaklaşık 27 katı olmaktadır. Bunun yerine üç transformatör kaskad olarak bağlanırsa ağırlığı yaklaşık

$$G_2 = 6 \cdot G_1$$

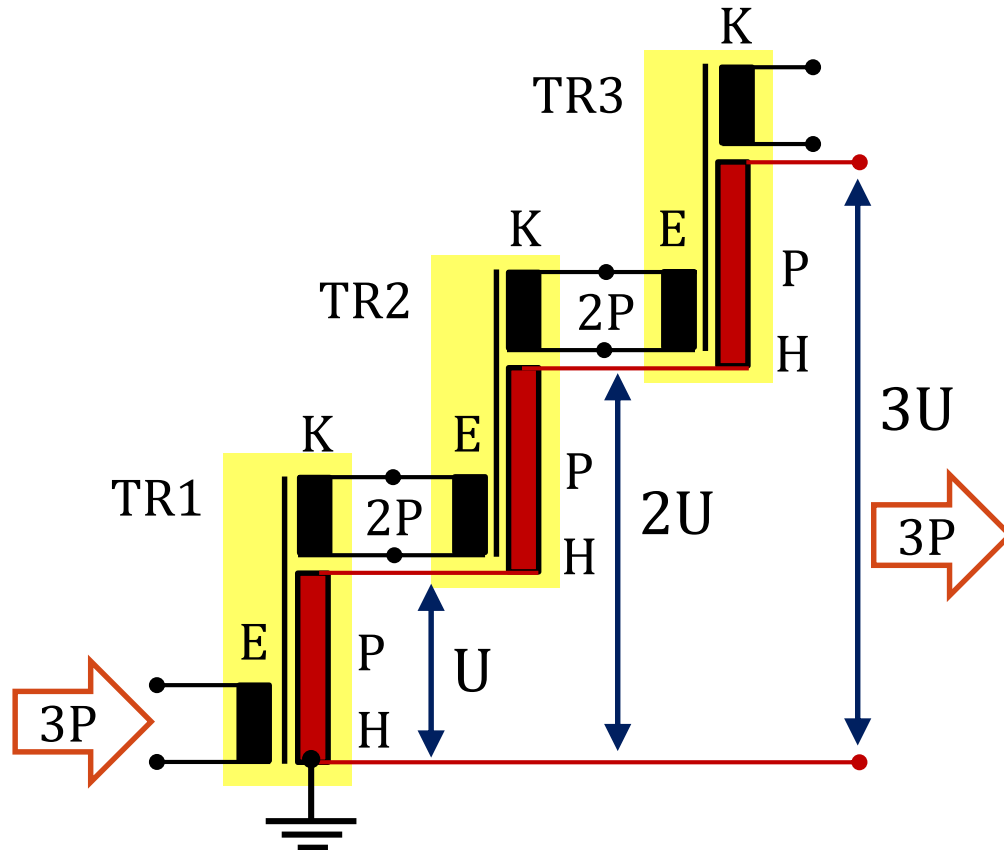
olmaktadır.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Kaskad Deney Transformatörü (3 Katlı)



TR1, TR2, TR3: Deney transformatörleri,
E: Uyarma veya besleme sargısı,
H: Yüksek gerilim sargısı
K: Kuplaj (tersiyer) sargı

Kaskad deney transformatörlerinde
H yüksek gerilim sargıları birbirine seri
bağlanır.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Kaskad Deney Transformatörleri (Açık Alanda Kurulu)



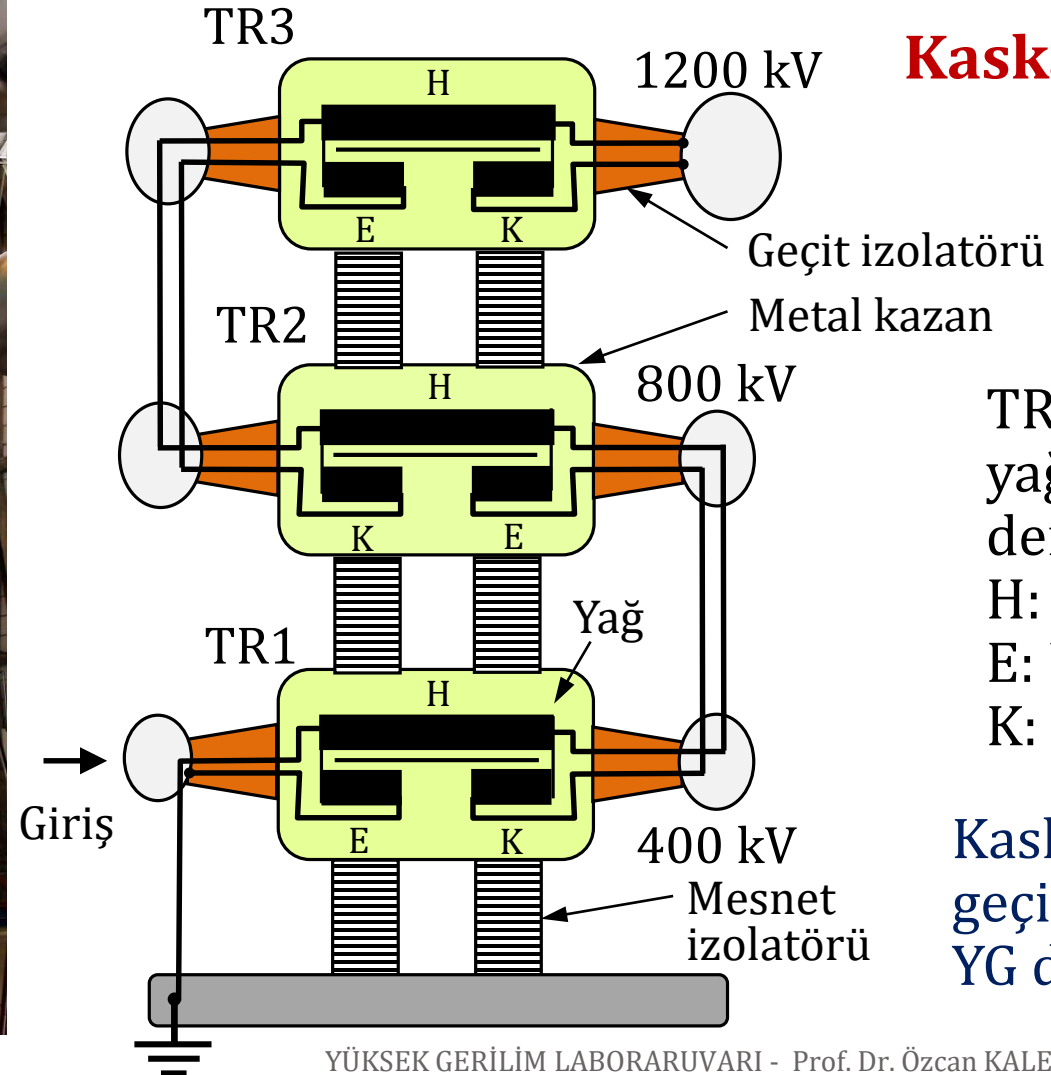
YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ



İTÜ Fuat Köllük Yüksek Gerilim Laboratuvarı – Gümüşsuyu / Taksim'deki 1200 kV, 1000 kVA kaskad deney transformatörü

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ



Kaskad Deney Transformatörü

TR1, TR2, TR3: Metal gövdeli, yağlı, geçit izolatörlü, bir fazlı deney transformatörleri

H: Yüksek gerilim sargısı

E: Uyarma sargısı

K: Kuplaj sargısı

Kaskad bağlı, 3 katlı, metal gövdeli, geçit izolatörlü, yağlı, bir fazlı YG deney transformatörü

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Kaskad Deney Transformatörü

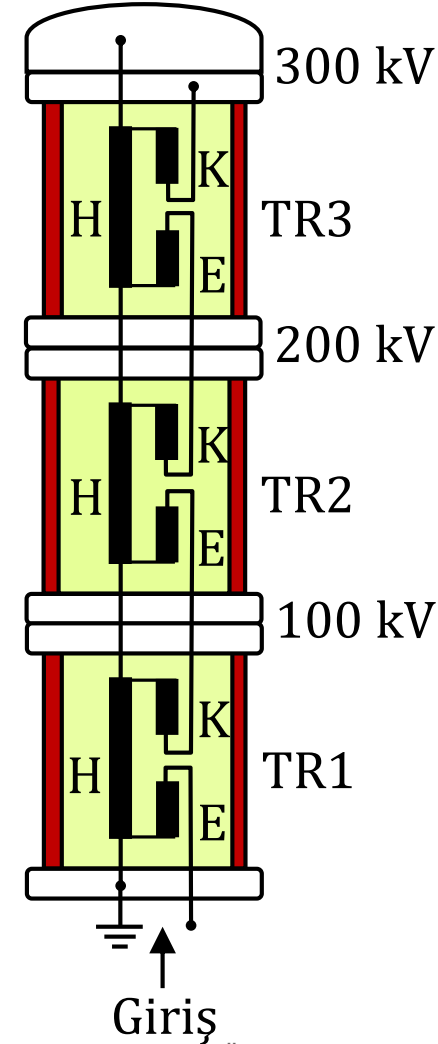
TR1, TR2, TR3: Yalıtkan gövdeli, yağlı, geçit izolatörsüz, bir fazlı deney transformatörleri

H: Yüksek gerilim sargısı

E: Uyarma sargısı

K: Kuplaj sargısı

Kaskad bağlı, 3 katlı, yalıtkan gövdeli, geçit izolatörsüz, yağlı, bir fazlı yüksek gerilim deney transformatörü



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

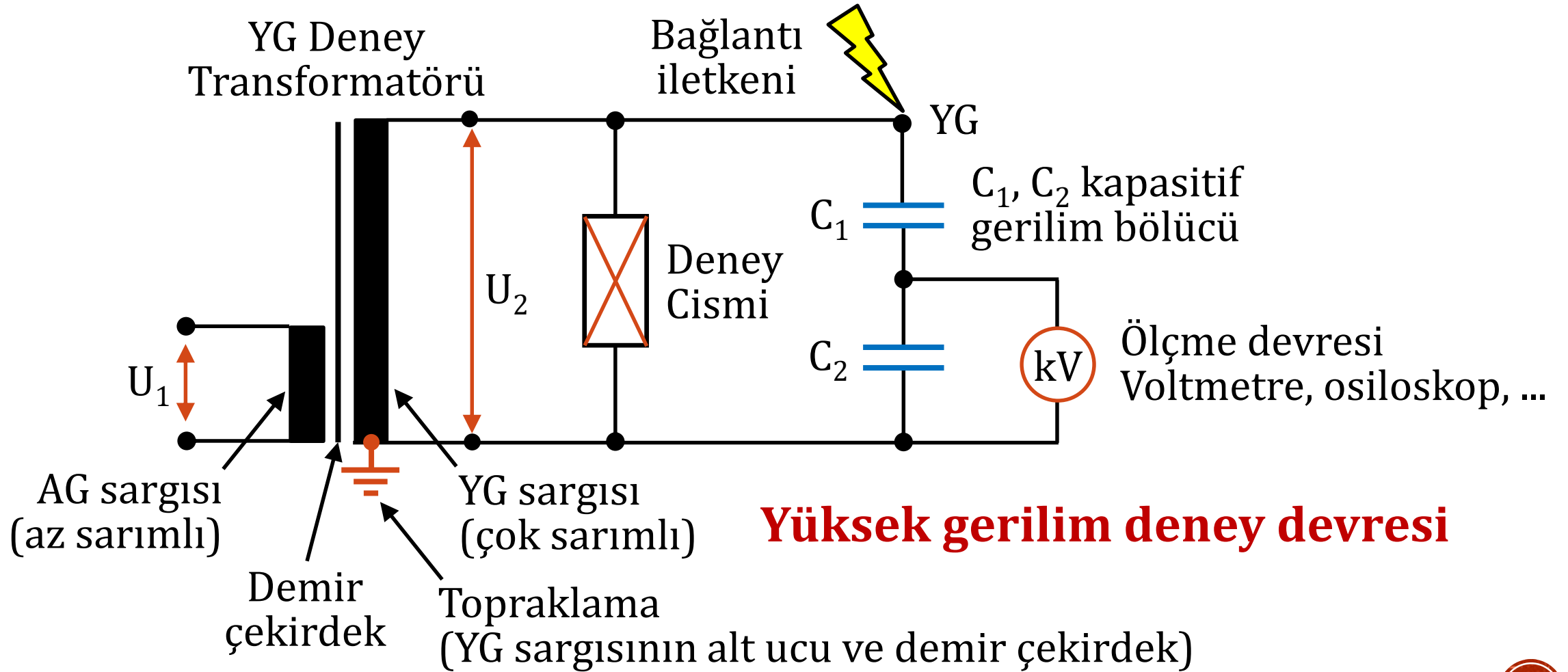
Deney Transformatörlerinin İşletme Özellikleri

Deney transformatörlerinin işletme özellikleri, güç transformatörlerinin işletme özelliklerinden gidilerek açıklanamaz. Çünkü deney transformatörlerinde, birinci derecede yüksek gerilim sargısının C_i öz kapasitesi ve C_a deney cisminin kapasitesi önemli rol oynar.

Yüksek gerilim deney transformatörlerinin deney devresi bir sonraki sayfada görülmektedir.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

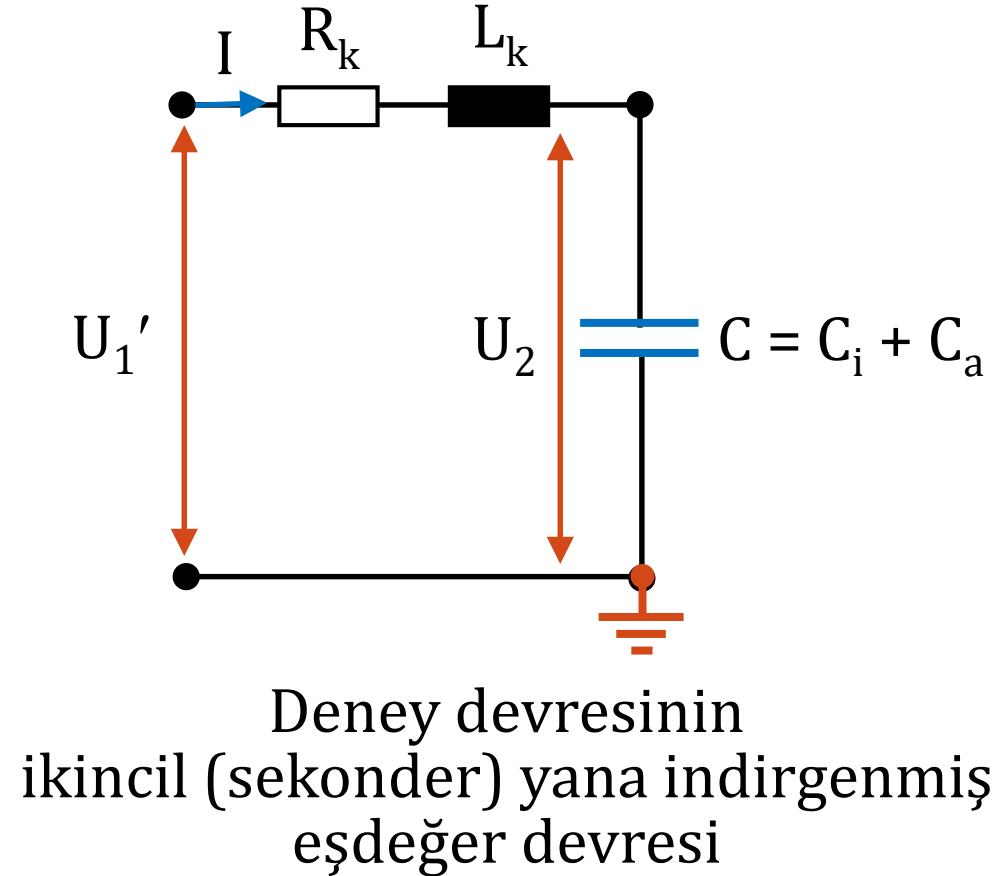
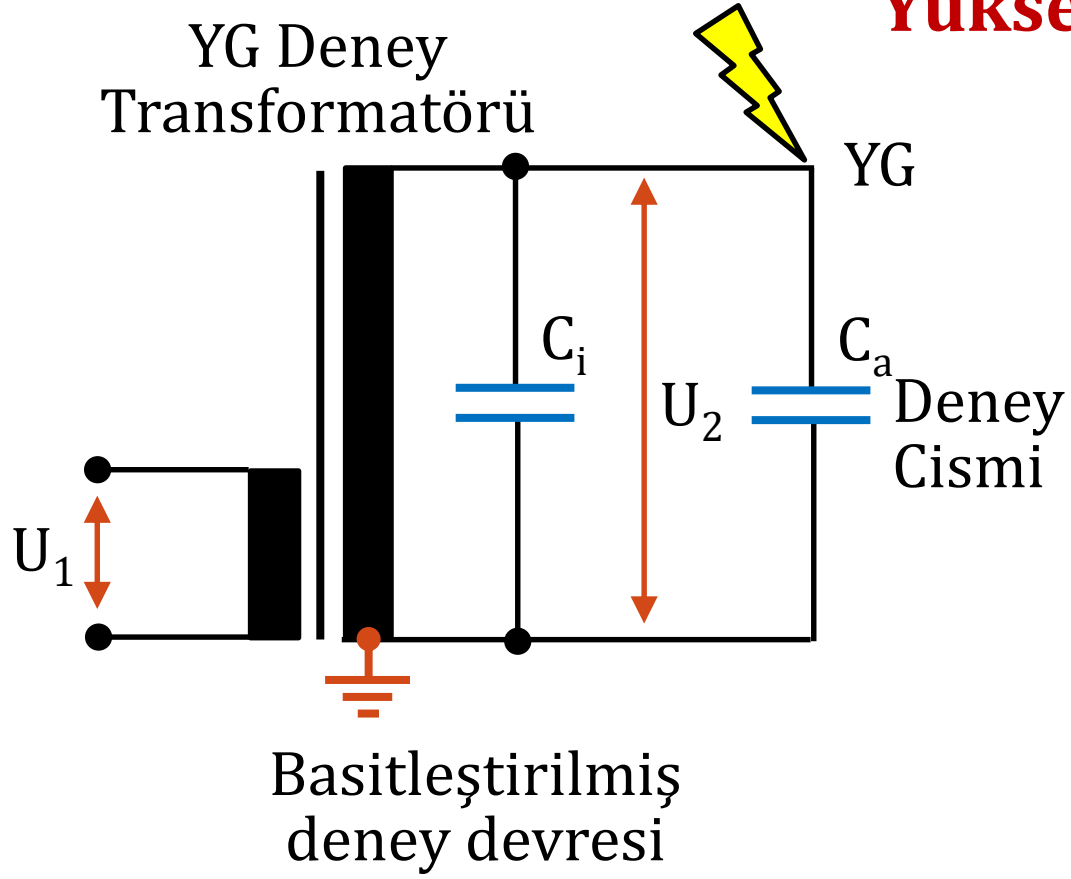
YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

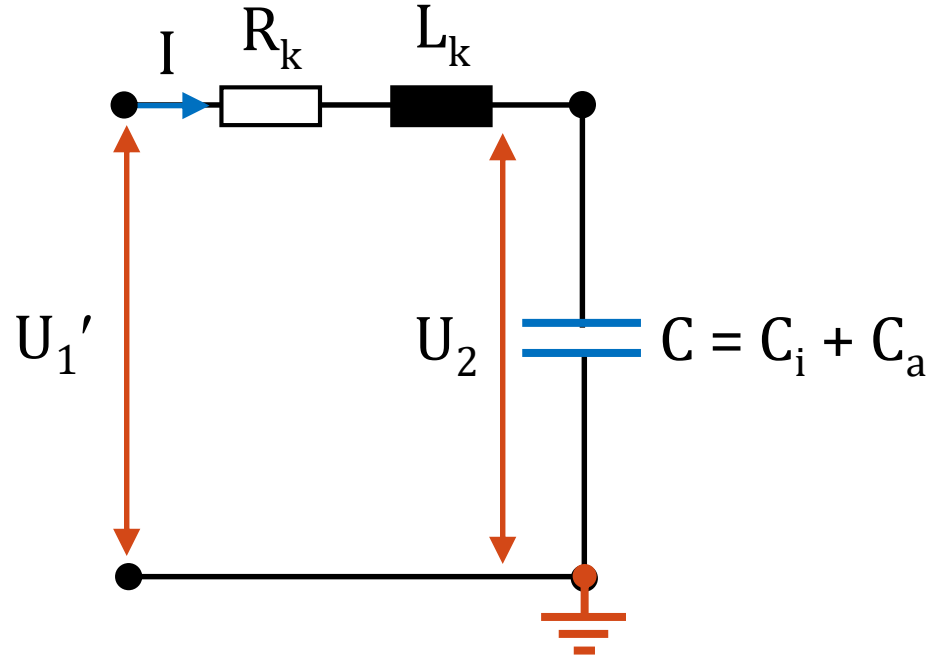
Yüksek gerilim deney devresi



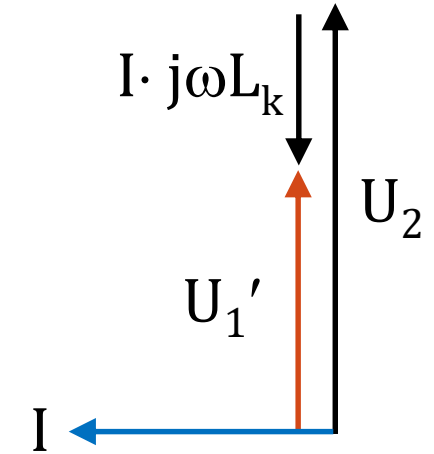
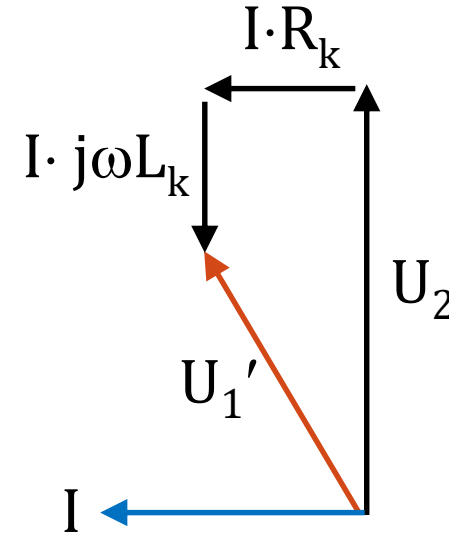
YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Fazör diyagramları



Deney devresinin
ikincil (sekonder) yana indirgenmiş
eşdeğer devresi



$R_k = 0$ alınırsa
(ihmal edilirse)

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

R_k kısa devre direnci ve L_k kısa devre endüktansı olmak üzere deney transformatörünün kısa devre empedansı

$$Z_k = R_k + j\omega L_k$$

ve yüksek gerilim tarafındaki toplam kapasite de

$$C = C_i + C_a$$

olur. Kapasitif yükün (C_a) artışı U_2 çıkış geriliminde artışa sebep olur. İkincil yana indirgenmiş birincil gerilim

$$U_1' = U_{Rk} + U_{Lk} + U_2 = I \cdot R_k + I \cdot X_{Lk} + U_2$$

$$U_1' = I \cdot (R_k + j\omega L_k) + U_2$$

olur. Bu denklemde akım için $I = U_2 / X_C = j\omega C \cdot U_2$ yerine yazılır ve U_2 gerilimi bulunursa

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

$$U_2 = U_1' \cdot \frac{1}{1 - \omega^2 L_k C}$$

elde edilir. Bu denkleme göre $0 < \omega^2 L_k C < 1$ ve $1 - \omega^2 L_k C \neq 0$ olduğundan

$$U_2 > U_1'$$

olacağı anlaşılır yani transformatörün aynı giriş gerilimi için deney cisminin C_a kapasitesi arttıkça dolayısıyla transformatörün çıkışındaki C kapasitesi arttıkça (yüklendikçe) transformatörün çıkış gerilimi artar (yükselir):

$$C_a \uparrow, C \uparrow, 1 - \omega^2 L_k C \downarrow, \Rightarrow U_2 \uparrow$$

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

$$U_2 = U_1' \cdot \frac{1}{1 - \omega^2 L_k C}$$

denkleminde

$$u_k = \omega^2 L_k C$$

Uygulamada u_k %3 - %25 arasında değişir.

ile gösterilir ve u_k 'ya **bağlı kısa devre gerilimi** denir. Buna göre

$$U_2 = U_1' \cdot \frac{1}{1 - u_k}$$

olur. Bağlı kısa devre gerilimi büyüdükçe, aynı giriş gerilimi için trafodan daha yüksek gerilim çıkışı alınır. Bu nedenle bağlı kısa devre gerilimi büyük trafoların YG sargı yalıtımları daha güçlü yapılmalıdır.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Örnek: Bağlı kısa devre geriliminin önemi

$$U_2 = U_1' / (1 - u_k)$$

a) $u_k = \%5$ için $U_2 = 1,0526 U_1'$

b) $u_k = \%10$ için $U_2 = 1,1111 U_1'$

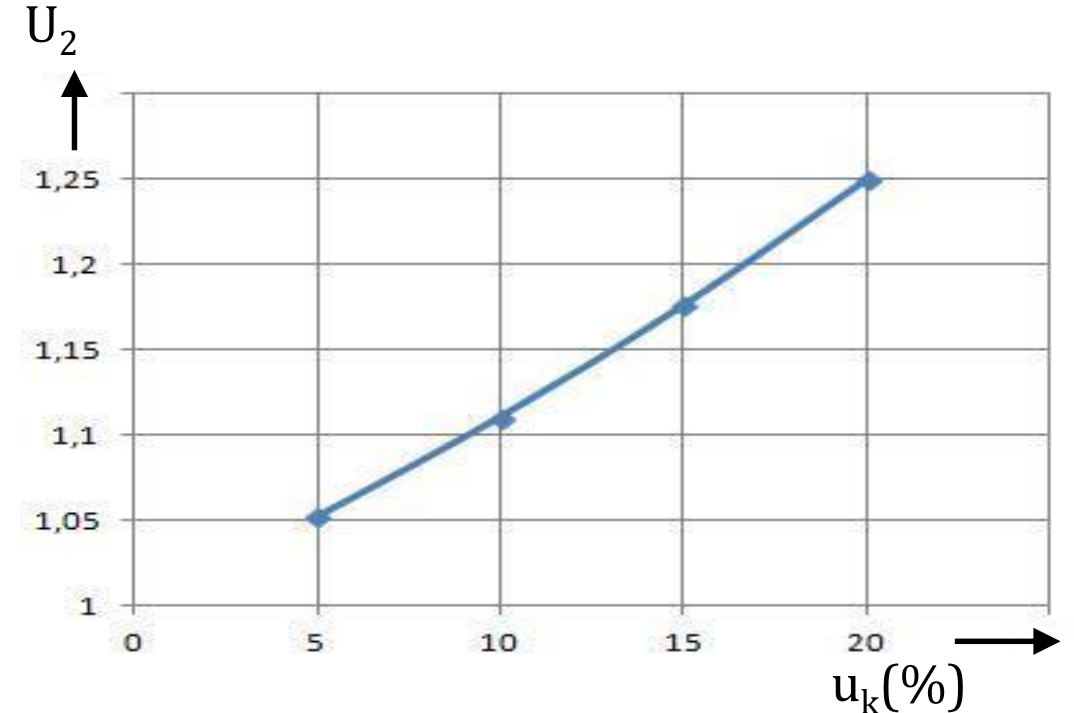
c) $u_k = \%15$ için $U_2 = 1,1765 U_1'$

d) $u_k = \%20$ için $U_2 = 1,2500 U_1'$

olur.

Dikkat!

Bir transformatörün bağlı kısa devre gerilimi ne kadar büyükse kapasitif yük arttığında, transformatörün çıkışındaki gerilim o kadar yüksek olur.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Rezonans Transformatörleri ile 50 Hz Frekanslı Yüksek Alternatif Gerilim Üretilmesi

Şebeke (50 Hz) frekanslı yüksek alternatif gerilimler, genel olarak, üç farklı şekilde üretilir:

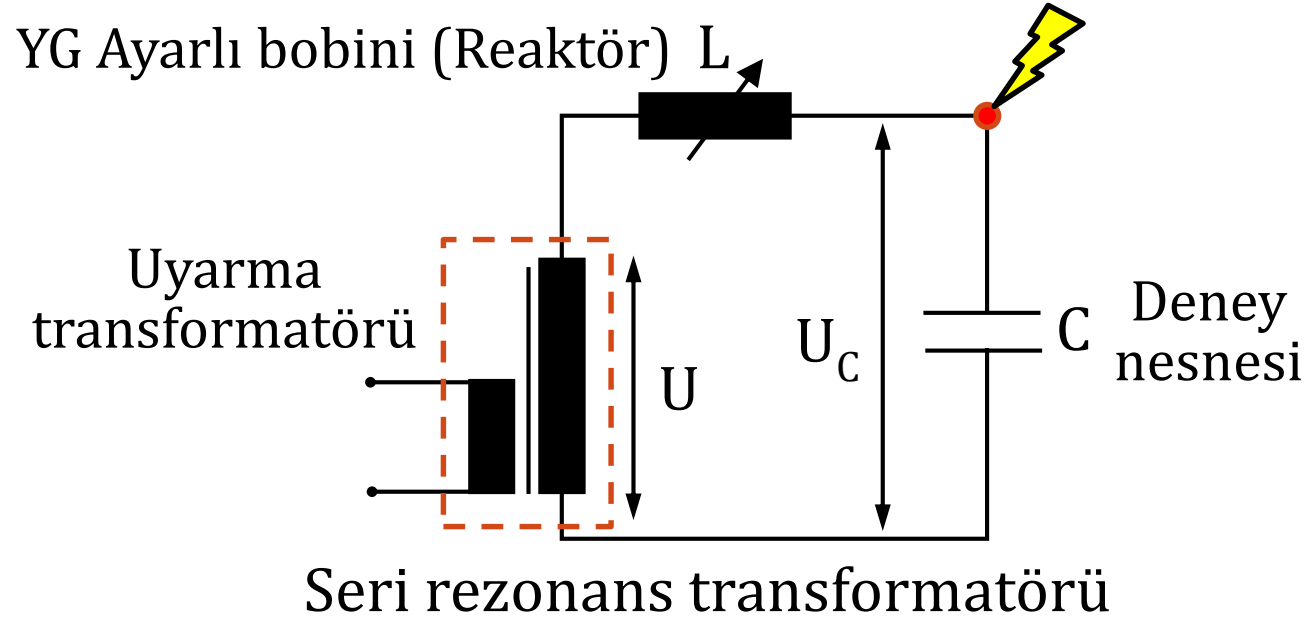
- 1) Senkron generatörlerle,
- 2) Yüksek transformatörleri ile (tek katlı, çok katlı deney trafoları) ve
- 3) Seri rezonans transformatörleri ile üretilir.

Daha önce, senkron generatörlerle ve YG deney trafoları ile üretimden söz edildi. Şimdi de seri rezonans transformatörleri ile yüksek alternatif gerilim üretiminden ilke olarak söz edilecektir.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

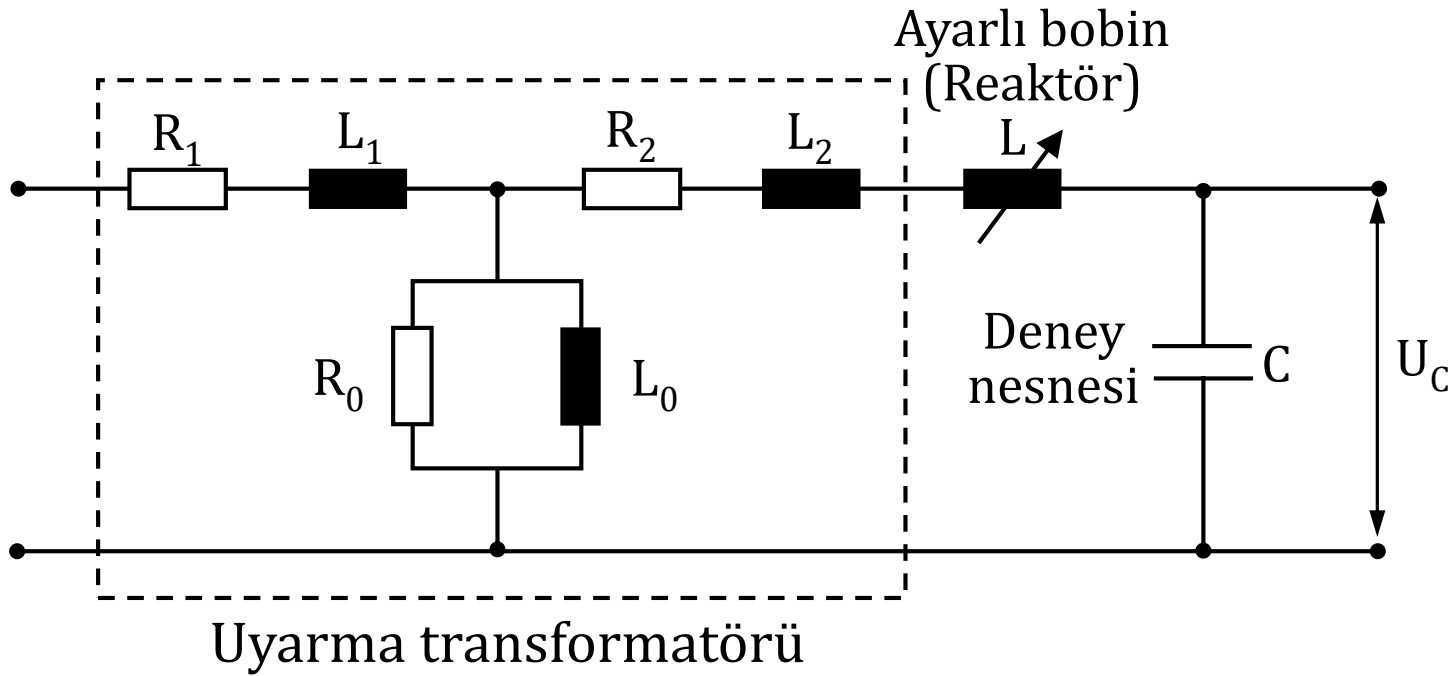
YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Bir seri rezonans transformatörü, bir yüksek gerilim (uyarma) transformatörü çıkışına ayarlı bir bobin ve deney cisminin bağlandığı bir devredir. Aşağıda seri rezonans transformatörü, bir sonraki sayfada da eşdeğer devresi gösterilmiştir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ



Eşdeğer devrede

R_1, R_2 : Uyarma transformatörünün birincil ve ikincil sargılarının dirençleri;

L_1, L_2 : Uyarma transformatörünün birincil ve ikincil sargılarının endüktansları;

R_0, L_0 : Uyarma transformatörünün mıknatıslanma direnci ve endüktansı;

L : Ayarlı bobinin endüktansı;

C : Deney nesnesinin kapasitesidir.

Seri rezonans transformatörü eşdeğer devresi

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Devrenin ayarı, deney cismi kapasitesine göre, ayarlı bobin ile rezonans frekansı 50 Hz olacak şekilde yapılır.

Rezonans transformatörünün avantajı, gerilim üretmek için küçük güç gerektirmesi ve harmoniksiz, saf sinüs biçimli gerilim elde edilebilmesidir.

Deney cisminde bir atlama veya delinme olduğunda, devre rezonanstan çıkar ve ark oluşmaz (trafo çıkışında kısa devre oluşmaz).

Rezonans transformatörlerinin olumsuz yanı, ayarlı, yüksek endüktanslı ve yüksek gerilime dayanıklı bir bobine (reaktöre) gereksinim duyulmasıdır.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek Gerilim Rezonans Transformatörleri



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Devre incelenirse devrenin eşdeğer reaktansı:

$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

Devreden akan akım

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R + j(X_L - X_C)}$$

Rezonans durumunda

$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega^2 LC = 1 \quad \rightarrow \quad \omega = 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

olur.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Devrenin rezonans frekansı

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 50 \text{ Hz}$$

olacak şekilde, ayarlı bobini ile, L endüktans değeri ayarlanır.

Buna göre rezonans durumunda devreden akan akım

$$I = \frac{U}{R + j(X_L - X_C)} = \frac{U}{R}$$

ve deney nesnesi uçlarındaki gerilim

$$U_C = X_C \cdot I = \frac{1}{\omega C} \cdot \frac{U}{R} = Q \cdot U$$

olur.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

olduğundan

$$U_C = X_L \cdot I = \omega L \cdot \frac{U}{R} = Q \cdot U$$

olarak ta yazılır. Sonuç olarak, deney cisminin uçlarındaki gerilim

$$U_C = Q \cdot U$$

olur. Bu denklemde **Q iyilik faktörü** olarak adlandırılır:

$$Q = \frac{1}{\omega CR} = \frac{\omega L}{R}$$

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

R direnci küçüldükçe Q katsayısı ve üretilen gerilim artar.

Denklemlerdeki eşdeğer endüktans

$$L = L_1 + L_2 + L_0$$

ve direnç

$$R = R_1 + R_2 + R_{\text{reaktör}}$$

olur.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Düşük Frekanslı (VLF: Very Low Frequency) (0,1-2 Hz) Yüksek Alternatif Gerilim Üretimi

0,1 Hz frekanslı gerilimler, özellikle sahada kablo, transformatör gibi büyük kapasiteli deney cisimlerini fazla güç gerektirmeden denemek için kullanılır.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Düşük Frekanslı (VLF: Very Low Frequency) (0,1-2 Hz) Yüksek Alternatif Gerilim Üretimi

Kapasitif deney cisimleri için trafo gücü

$$S = j\omega C (U_2)^2 = j 2\pi f C (U_2)^2$$

olduğundan frekansa göre gereken trafo güçleri

$f = 50 \text{ Hz}$ için $S_{50\text{Hz}} = j 2\pi 50 C (U_2)^2$ iken

$f = 0,1 \text{ Hz}$ için $S_{0,1\text{Hz}} = j 2\pi 0,1 C (U_2)^2$ olur. Yani

$$S_{50\text{Hz}} > S_{0,1\text{Hz}}$$

olur. Bu, $S_{50\text{Hz}} = 500 \times S_{0,1\text{Hz}}$ veya $S_{0,1\text{Hz}} = (1/500) \times S_{50\text{Hz}}$ demektir.



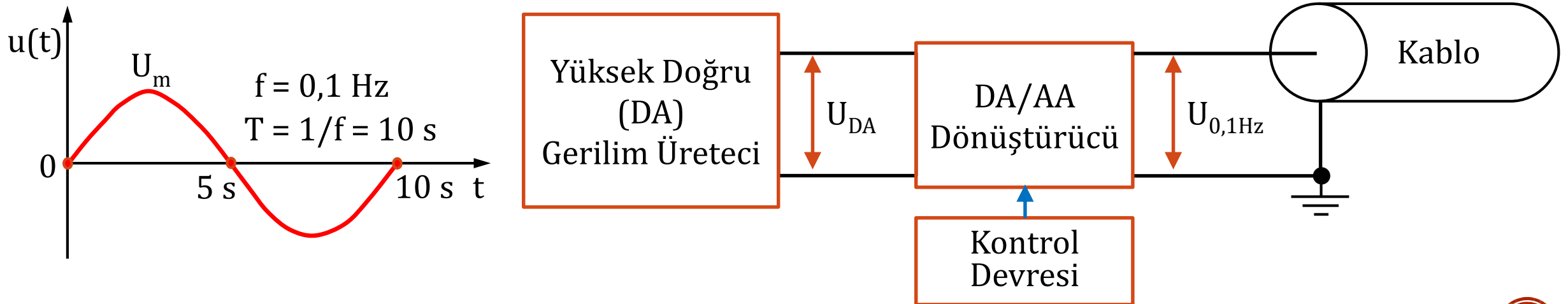
YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Düşük frekanslı (VLF) yüksek alternatif gerilimler üretim şekline göre iki genel sınıfa ayrılır:

- a) Sinüsoisal düşük frekanslı (VLF) yüksek gerilim
- b) Dikdörtgen düşük frekanslı (VLF) yüksek gerilim

a) Sinüsoidal VLF yüksek gerilim üretimi

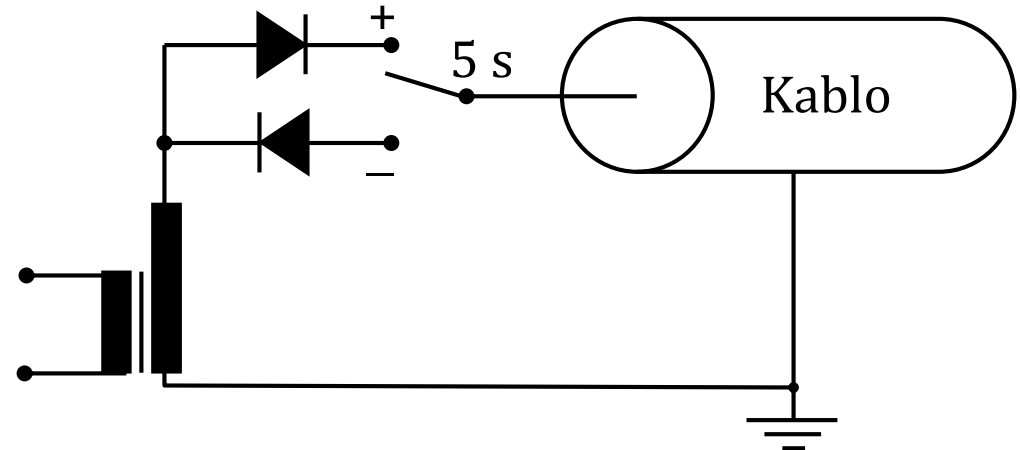
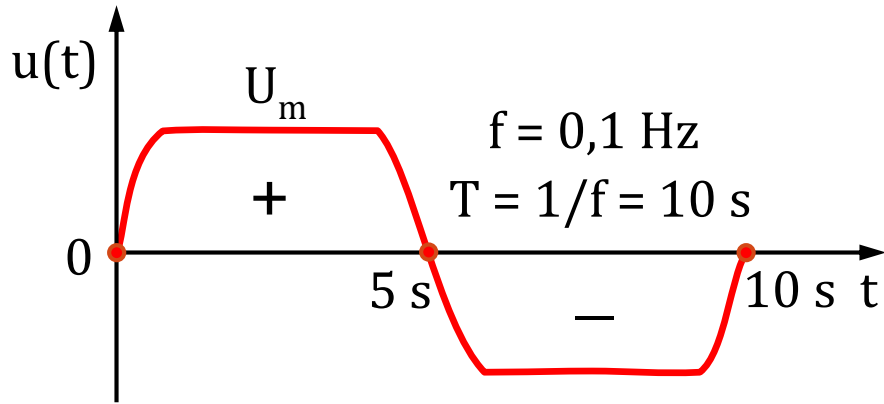


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

b) Dikdörtgen VLF yüksek gerilim üretimi

$f = 0,1$ Hz için periyot, $T = 1/f = 10$ s'dir. Buna göre bir yüksek doğru gerilim üreticinden, genliği istenen genliğe uygun, 5 s pozitif doğru gerilim, 5 s negatif doğru gerilim uygulamaları yaparak, kabaca, frekansı 0,1 Hz olan yüksek gerilim üretilebilir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek Frekanslı Yüksek Alternatif Gerilimlerin Üretilmesi



Yüksek frekanslı yüksek gerilimler, doğru gerilim güç kaynaklarının beslemesi için istenir.

Ayrıca, elektriksel aygıtların bağlama darbeleri ile denenmesi için, yüksek frekanslı yüksek gerilim sönümlü salınımlar gerektirir.

Bunun dışında bu gerilimler, elektriksel kıvılcımlar üretmek, görmek, göstermek için hobi ve eğlence amaçlı üretilmektedir.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek frekanslı yüksek alternatif gerilim transformatörlerinin üstünlüğü:

- 1) Transformatörde demir çekirdek yoktur, bu nedenle maliyet, ağırlık ve boyut tasarrufu söz konusudur,
- 2) Çıkış gerilimi saf sinüsoidaldir,
- 3) Birkaç periyot sonra gerilim yavaşça azalır, böylece bağlama darbeleri nedeniyle bir zarar söz konusu olmaz,
- 4) Çok sayıda birimden oluşan alt sarımlar nedeniyle bobinin uçlarındaki gerilim dağılımı düzgündür.

Yüksek frekanslı yüksek alternatif gerilim üretmek için en tanınmış üreteç, Tesla transformatörüdür.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

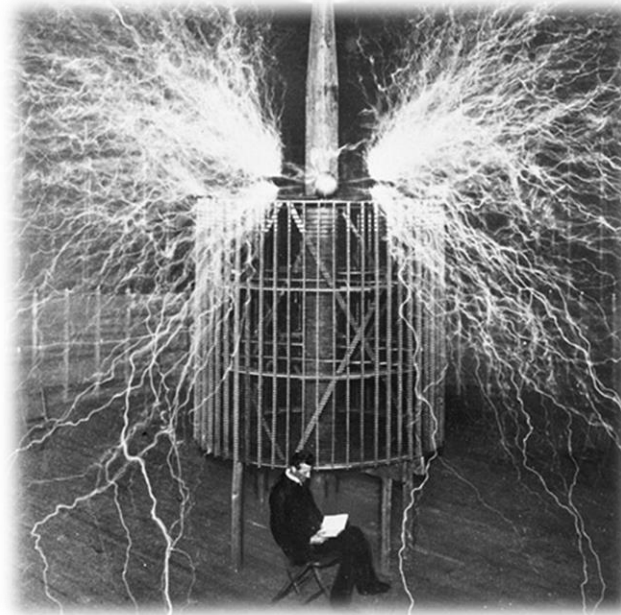
Yüksek Frekanslı Yüksek Alternatif Gerilimlerin Üretilmesi



Nikola TESLA
1856-1943

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Bulucusunun adına Tesla transformatörü (**Tesla bobini**) adı verilen bu üreteç, demir çekirdeksiz bir seri rezonans devresidir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI - Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ

Ekim 22

41

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek Frekanslı Yüksek Alternatif Gerilimlerin Üretilmesi



Tesla bobini

Tesla transformatörü, havalı ve eş eksenli yerleştirilmiş primer ve sekonder rezonans devrelerinden meydana gelmiştir.

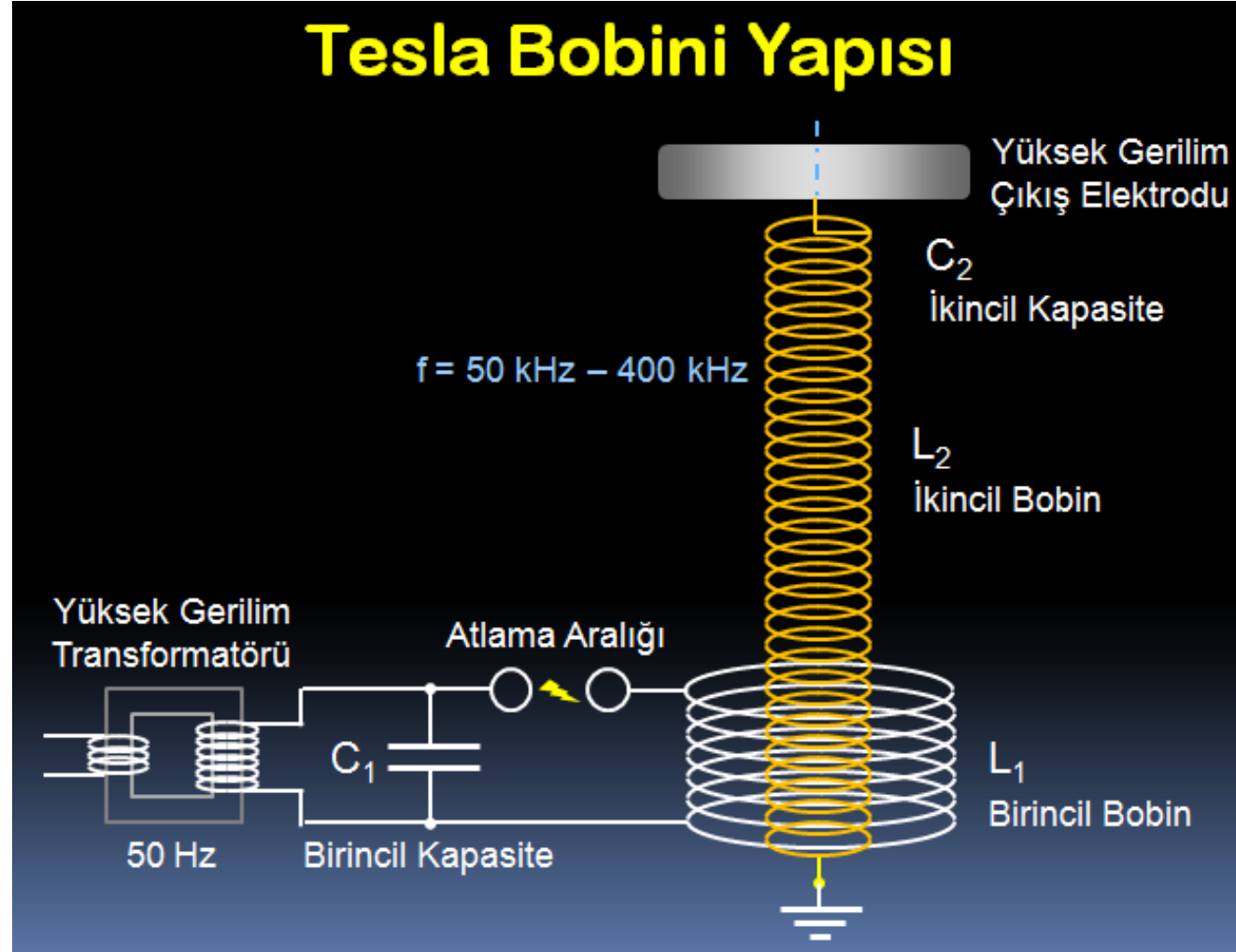
Sarım sayısı çok olan yüksek gerilim sargısı, yalıtkan bir çerçeve üzerine sarılmıştır.

Sargılar arası yalıtım, hava veya transformatör yağı olabilir.

Alçak gerilim sargısı da yalıtkan bir çerçeve üzerine sarılmış az sayıda sarımdan oluşan bir sargıdır.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

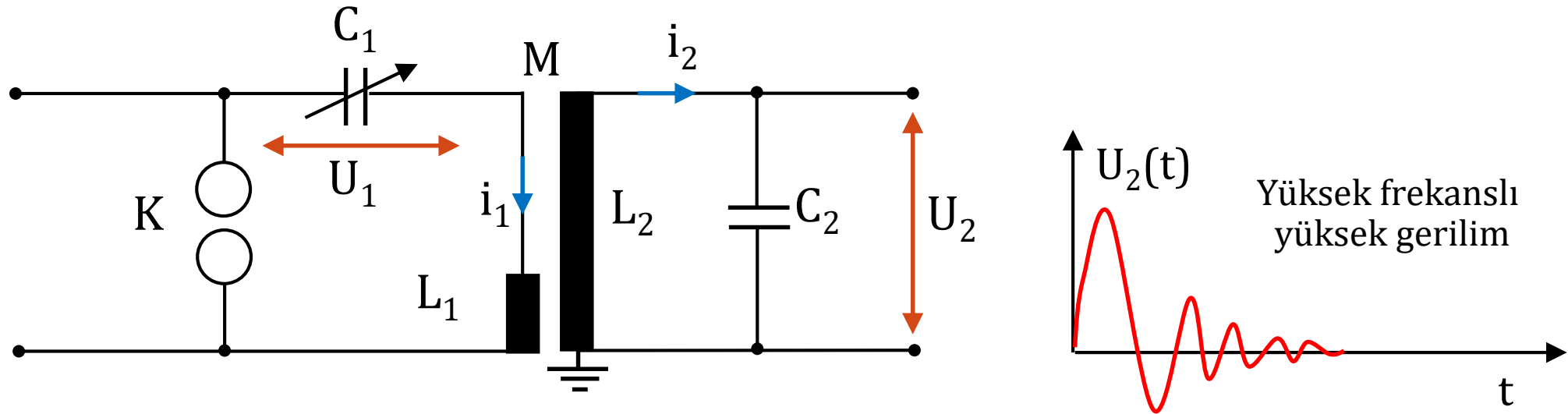
YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek Frekanslı Yüksek Alternatif Gerilimlerin Üretilmesi



Tesla transformatörü (bobini) eşdeğer devresi

C_2 kondansatörü, yüksek gerilim sargısının, deney cisminin ve ölçme amacı ile kullanılan küresel elektrotların eşdeğer kapasitesini göstermektedir.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

C_1 kondansatörü, bir doğru gerilim veya alternatif gerilim kaynağından beslenir ve besleme gerilimine veya K küresel elektrotların atlama gerilimine kadar dolar. Küresel elektrotlar arasında atlama olmasıyla birlikte C_1 kondansatörü boşalır ve Tesla transformatörünün primer sargısında yüksek frekanslı, sönümlü bir gerilim meydana gelir.

Salınımların (rezonansın) frekansı yaklaşık olarak;

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$$

eşitliği ile hesaplanır. Endüklenen gerilimin (çıkış geriliminin) frekansı (f_2), $L_1C_1 = L_2C_2$ olduğunda girişinki ile aynı olur ($f_1 = f_2$).

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

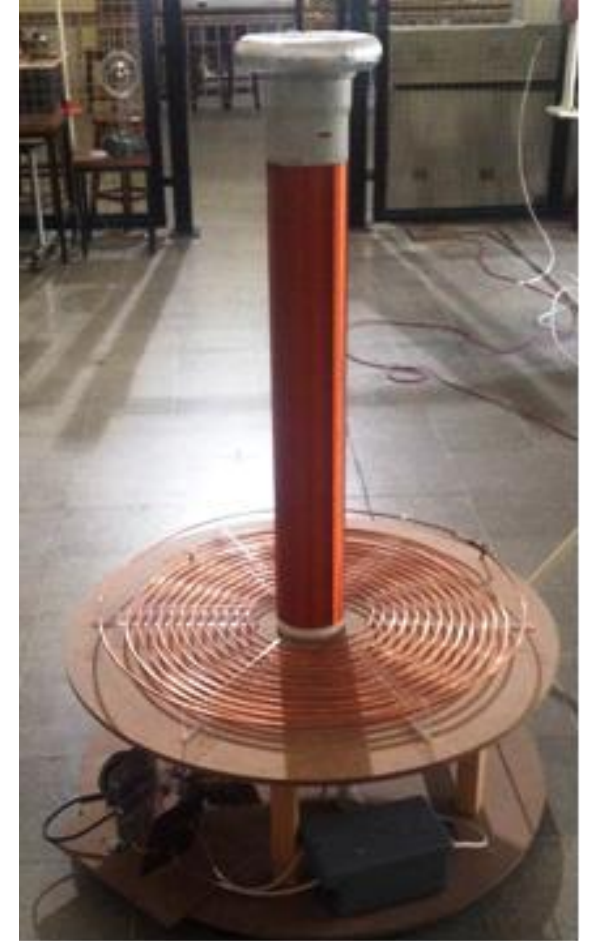
YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Birincil ve ikincil sargılar (L_1 ve L_2), çekirdeksiz (hava çekirdekli) olarak yalıtılmış bir kaide üzerine sarılır ve yağ emdirilir (yağ içine daldırılır).

Sargılar C_1 ve C_2 kondansatörleri yardımıyla 50 kHz ile 400 kHz arasında bir frekansa ayarlanır.

U_2 çıkış gerilimi, L_1 , L_2 , C_1 , C_2 ve M ortak endüktansına bağlıdır.

Sargı dirençleri, genellikle titreşimleri söndürebilecek kadardır ve küçüktür.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Çıkış dalga şeklinin analizi, sargı dirençleri ihmal edilerek basit olarak yapılabilir.

C_1 kondansatörünün küresel elektrotta atlama olduğunda U_1 gerilimi ile yüklü olduğunu düşünelim. Bu durumda L_1 birincil sargısından i_1 akımı akacak ve bu L_2 ve C_2 üzerinden geçen bir i_2 akımına neden olacaktır. Bu durumda

Birincil devreden
$$U_1 = \frac{1}{C_1} \int_0^t i_1 dt + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

İkincil devreden
$$0 = \frac{1}{C_2} \int_0^t i_2 dt + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Bu iki denklemin Laplace dönüşüğü

$$\frac{U_1}{s} = \left(sL_1 + \frac{1}{sC_1} \right) I_1 + sMI_2$$

$$0 = sMI_1 + \left(sL_2 + \frac{1}{sC_2} \right) I_2$$

olur. Bu denklemlerde I_1 ve I_2 , $i_1(t)$ ve $i_2(t)$ akımlarının Laplace dönüşüğüdür.

C_2 kondansatörünün uçlarındaki U_2 çıkış gerilimi

$$U_2 = \frac{1}{C_2} \int_0^t i_2 dt$$

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

veya bunun Laplace dönüşüğü

$$U_2(s) = \frac{I_2}{sC_2}$$

olur. Burada $U_2(s)$, U_2 'nin Laplace dönüşüğüdür. Yukarıdaki denklemlerden U_2 çözülürse

$$U_2 = \frac{MU_1}{\sigma L_1 L_2 C_1} \cdot \frac{1}{\alpha_2^2 - \alpha_1^2} (\cos \alpha_1 t - \cos \alpha_2 t)$$

bulunur. Bu denklemde

$$\sigma = \sqrt{1 - \frac{M^2}{L_1 L_2}} = \sqrt{1 - K^2} \rightarrow \left(\sigma^2 = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} = 1 - K^2 \right)$$

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

K, L_1 ve L_2 sargısı arasındaki kuplaj katsayısıdır. K kuplaj katsayısı büyükse, salınım frekansı küçük olur. Sargı dirençlerinin ve K'nın büyük olması durumunda dalga şekli tek yönlü bir darbe şeklinde olur.

$$\alpha_{1,2} = \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{2}\right)^2 - \omega_1^2 \omega_2^2 (1 - K^2)}$$

Bu denklemde de

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$$

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

U_2 çıkış geriliminin maksimum değeri

$$U_{2\max} = eU_1\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

olarak yazılabilir. Burada

$$e = \frac{2\sqrt{(1-\sigma)}}{\sqrt{(1+a)^2 - 4\sigma a}}$$

e bağıntısında

$$a = \frac{L_2 C_2}{L_1 C_1} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}$$

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK ALTERNATİF GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Tesla transformatörü için çok daha basit analiz, manyetik kuplaj nedeniyle C_1 kapasitesinde birincil devrede biriken enerjinin C_2 'ye aktarımını göz önüne alarak yapılabilir. Eğer C_1 de tutulan enerji W_1 , C_2 'ye aktarılan enerji W_2 ise ve transformatörün verimi de η ise

$$W_2 = \frac{1}{2} C_2 U_2^2 = \eta W_1 = \eta \left(\frac{1}{2} C_1 U_1^2 \right)$$

olur. Bu eşitlikten Tesla bobini çıkış gerilimi, basitçe

$$U_2 = \sqrt{\eta \frac{C_1}{C_2}} \cdot U_1 = \sqrt{\eta \frac{L_2}{L_1}} \cdot U_1$$

olarak elde edilir. Burada $L_1 C_1 = L_2 C_2$ rezonans koşulu göz önüne alınmıştır.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI GİRİŞ

Bu derslik bu kadar!

Gelecek ders

Yüksek Doğru Gerilimlerin Üretilmesi
konusunu işleyeceğiz.

Sağlıkla kalın.