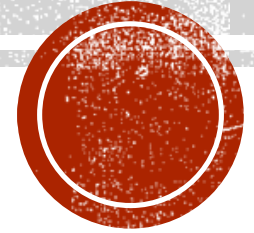


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ



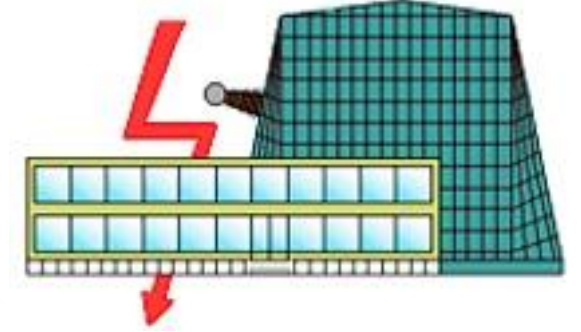
Yüksek Doğru Gerilimlerin Üretilmesi

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 DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek Doğru Gerilimlerin Üretilmesi

Yüksek doğru gerilimler,

- ❖ Güç iletim sistemlerinde (HVDC: **H**igh **V**oltage **D**irect **C**urrent)
- ❖ Yüksek gerilim laboratuvarlarında örneğin kablolar gibi yüksek kapasiteli deney cisimlerinin deneylerinde
- ❖ Araştırma laboratuvarlarında yalıtkan malzemelerin davranışlarını inceleyen çalışmalarda
- ❖ Yüksek darbe gerilimi üretmek için
- ❖ Elektrostatik filtreleme, boyama, kaplama, ... gibi endüstriyel uygulamalarda
- ❖ Tıpta, örneğin x-ışınları elde etmede

yaygın olarak kullanılır.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek doğru gerilimler, güç iletim sistemlerinde (HVDC: **H**igh **V**oltage **D**irect **C**urrent) yaygın olarak kullanılır.

Bir örnek:

± 500 kV,
demet iletkenli
yüksek doğru
gerilim (HVDC)
hattı ve direği



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek doğru gerilimler, yüksek gerilim laboratuvarlarında örneğin kablolar gibi yüksek kapasiteli deney cisimlerinin deneylerinde yaygın olarak kullanılır.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

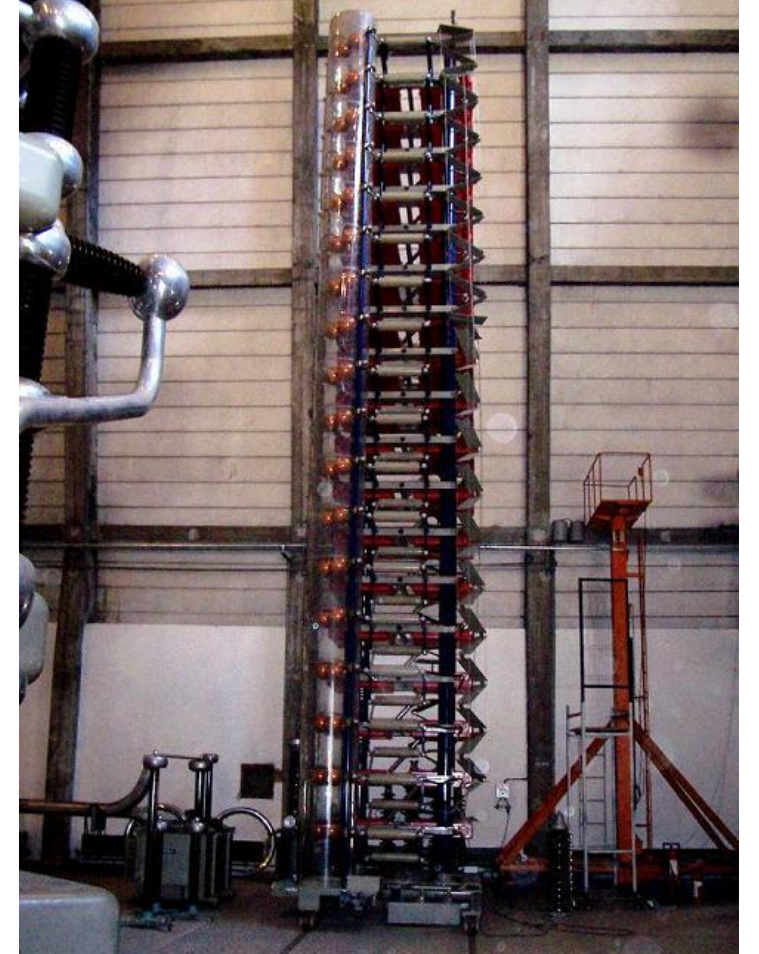
Yüksek doğru gerilimler, yüksek darbe gerilimi üretmek için kullanılır.



140 kV, 1 kJ darbe gerilimi üretici
İTÜ (sağdaki)



1000 kV, 10 kJ
darbe gerilimi üretici
İTÜ

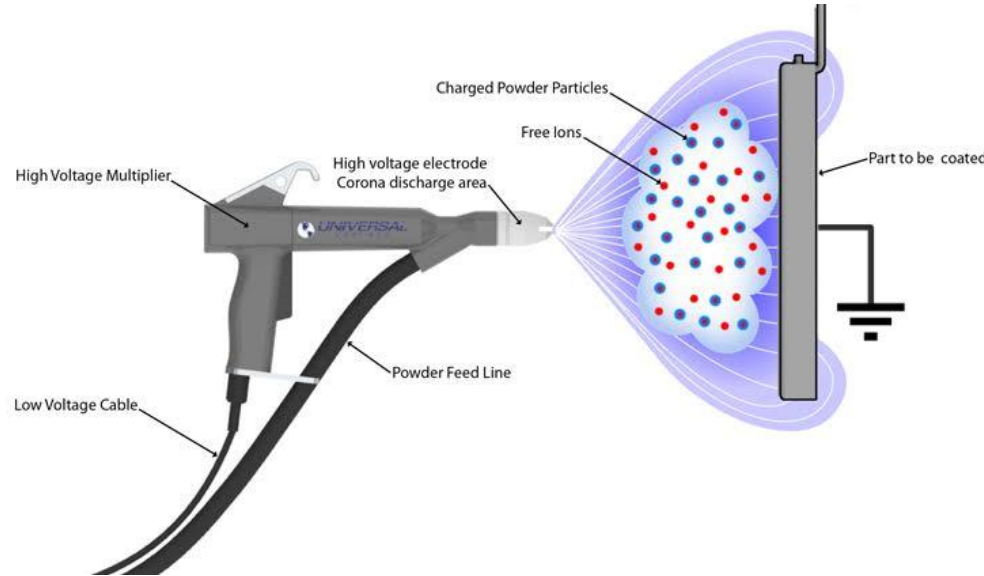
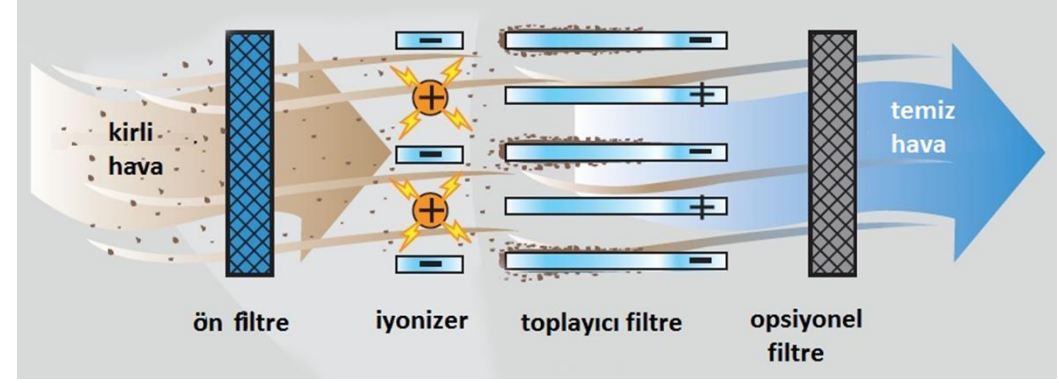


3600 kV, 180 kJ darbe gerilimi üretici
İTÜ

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

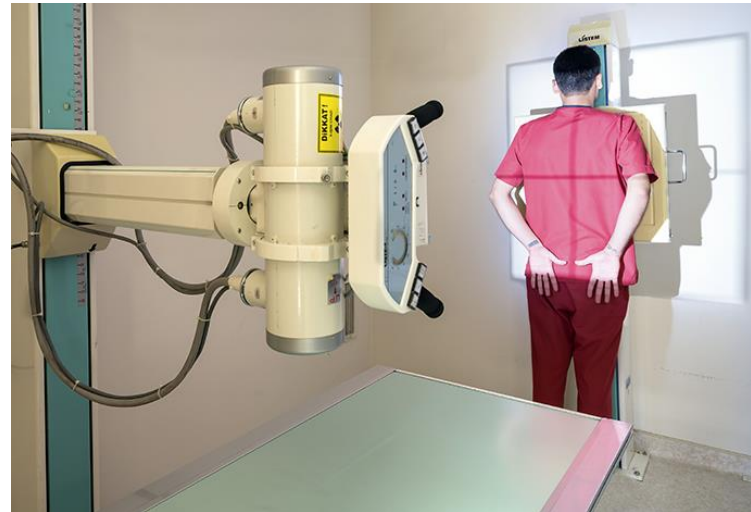
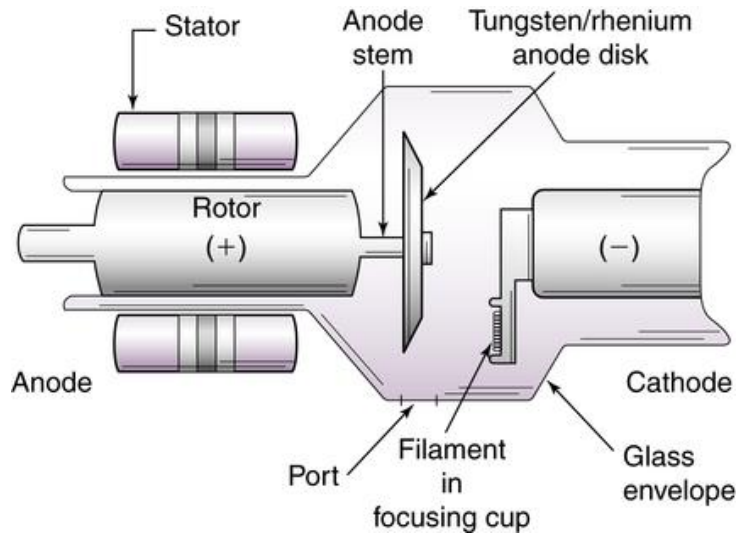
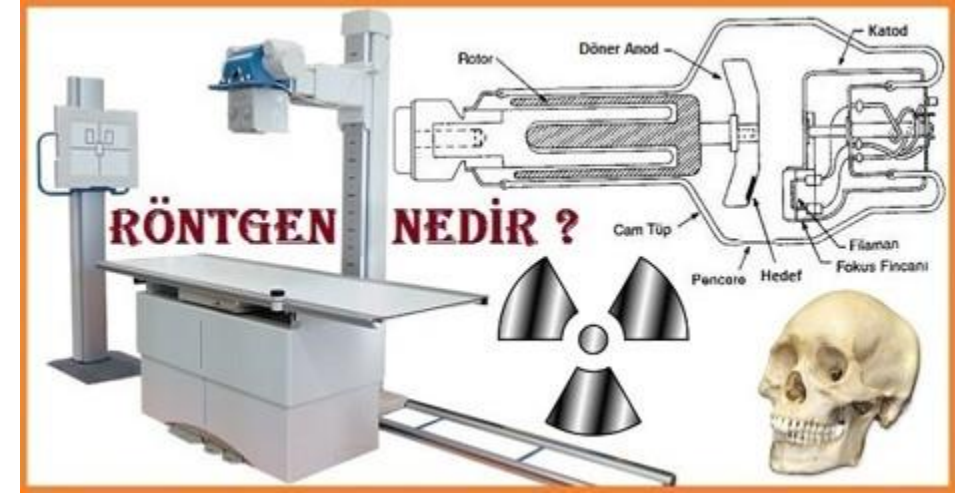
Yüksek doğru gerilimler, elektrostatik filtreleme, boyama, kaplama, ... gibi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

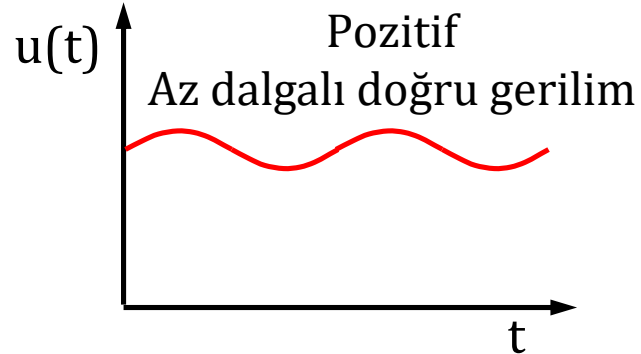
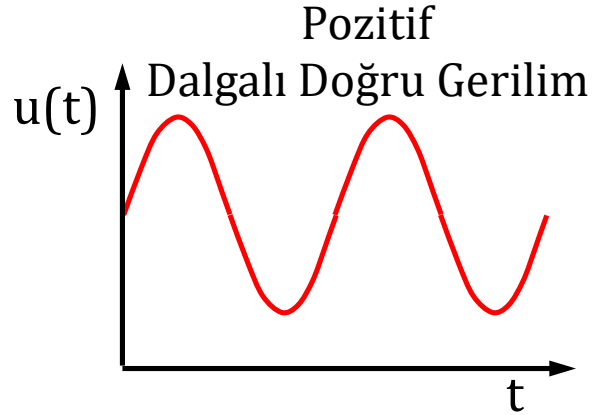
Yüksek doğru gerilimler, tıpta, örneğin x-ışınları elde etmede yaygın olarak kullanılır.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Zaman ekseninin bir tarafında (altında veya üstünde) kalan, zaman eksenini kesmeyen gerilimlere **doğru gerilim** denir.



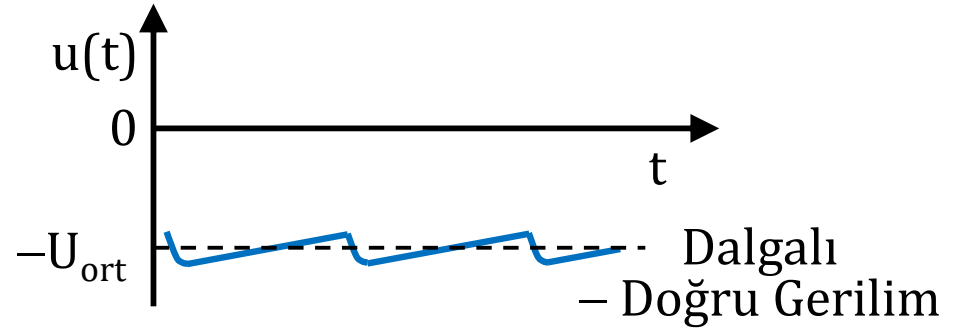
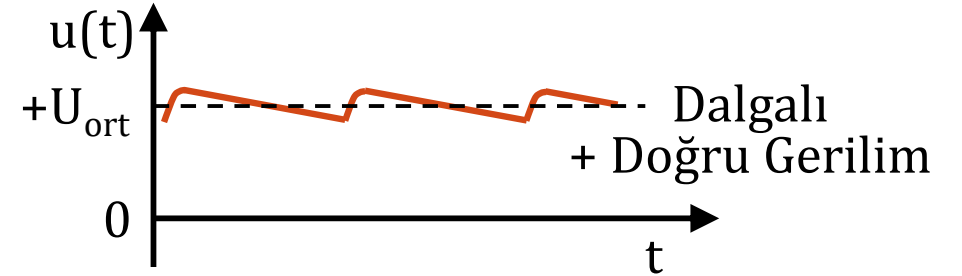
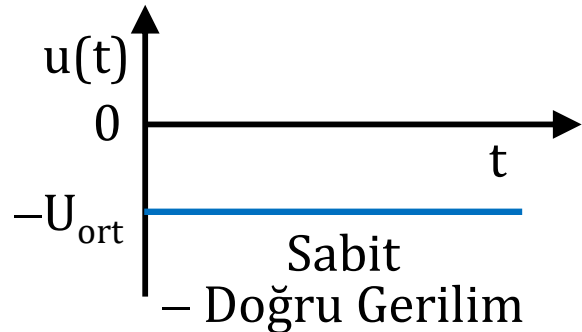
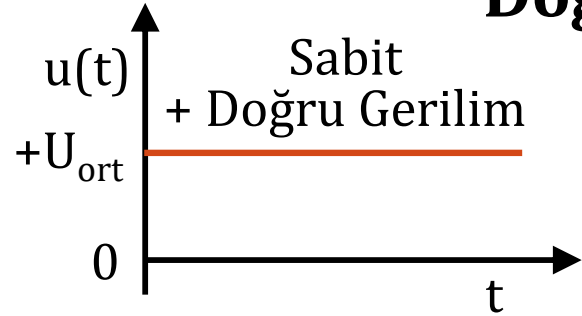
Doğru gerilim kutuplu bir gerilimdir. Doğru gerilim ya pozitif (+) kutuplu ya da negatif (-) kutuplu olur. Bu nedenle doğru gerilimden söz ederken kutbundan (polaritesinden) de söz edilmelidir (pozitif doğru gerilim veya negatif doğru gerilim gibi).

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek doğru gerilimler, genlik ($U_{\max}$, $U_{\min}$, U_{ort}), dalgalanma (δU) büyüklükleri ve dalga şekline göre üretilir ve ölçülür.

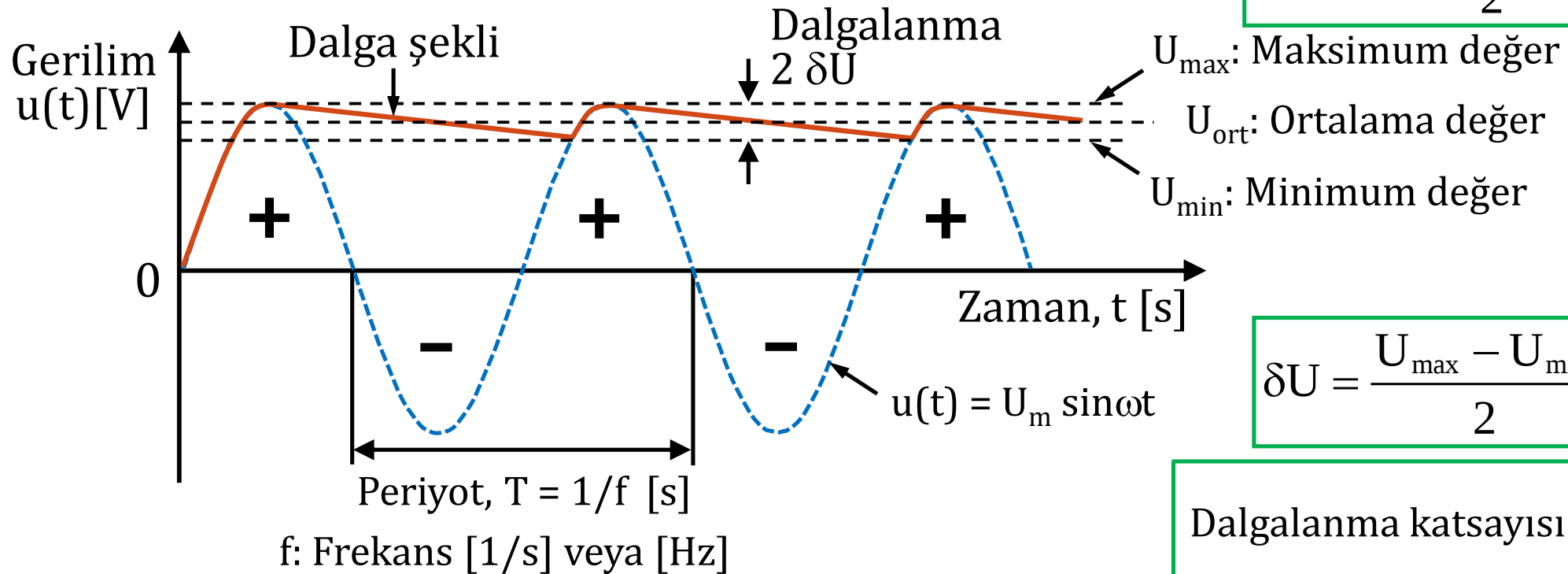
Doğru Gerilim Türleri



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Doğru gerilim büyüklükleri



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

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Yüksek doğru gerilimler iki yolla üretilir:

- 1) Alternatif gerilimlerin doğrultulması ile,
- 2) Elektrostatik üreteçlerle.

1) Alternatif Gerilimlerin Doğrultulması ile Yüksek Doğru Gerilimlerin Üretilmesi

Bunun için doğrultucu eleman ve devrelerden yararlanılır. Doğrultucu devrelere, uygulamada redresör adı da verilmektedir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Doğrultucu elemanlar

a) Yarıiletken diyotlar



Yüksek doğru gerilim üretim devrelerinde

- ❖ Germanyumlu (akım ve gerilimleri küçük)
- ❖ Silisyumlu (akımı ve gerilimi büyük)
- ❖ Selenli (gerilimi büyük, akımı küçük)

yarıiletken doğrultucu elemanlar (diyotlar) kullanılır.

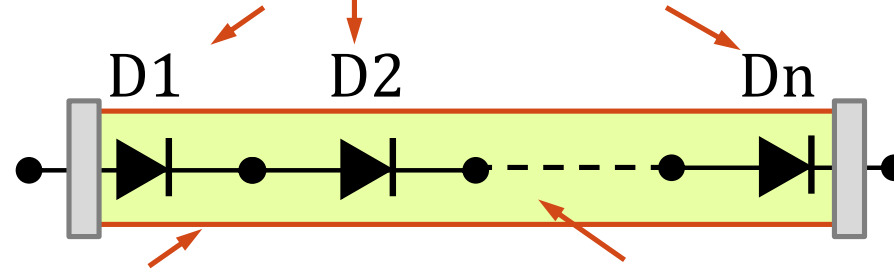
Yüksek gerilimde genellikle selenli diyotlar kullanılır.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Diyot sembolü: Anot  Katot

Seri bağlı düşük gerilimli diyotlar



Yalıtkan gövde

Yağ (yalıtım ve soğutma için)

Yüksek Gerilim Diyotu

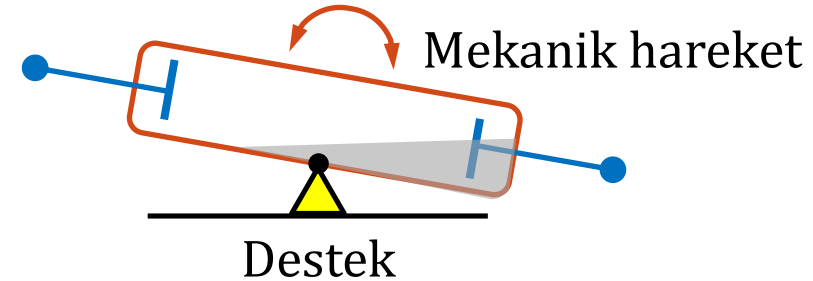
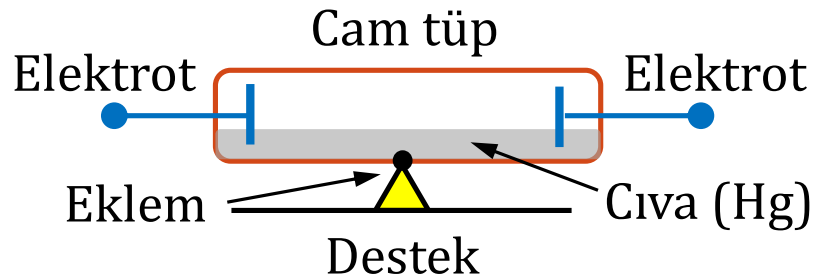


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

b) **Cıvalı doğrultucu mekanik doğrultucu (redresör)**

Yüksek akımlı ve yüksek tıkama gerilimli doğrultuculardır.



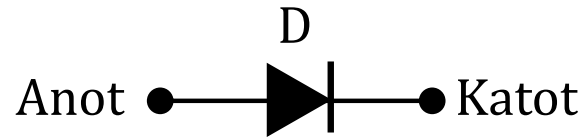
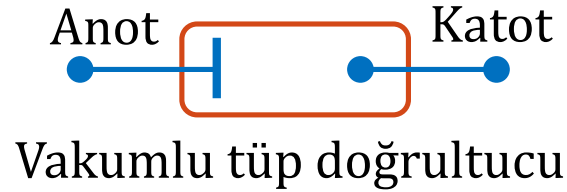
Cam tüp, $f = 50$ Hz (periyot, $T = 1/f = 20$ ms) için her 10 ms'de bir, yatay ve eğik konumlara getirilerek cıvanın hızlı hareket etmesinden ve elektriksel iletkenliğinden yararlanarak elektrotları bir kısa devre eder (akımı geçirir, iletim durumu), bir ayırır (akımı geçirmez, tıkama durumu).

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

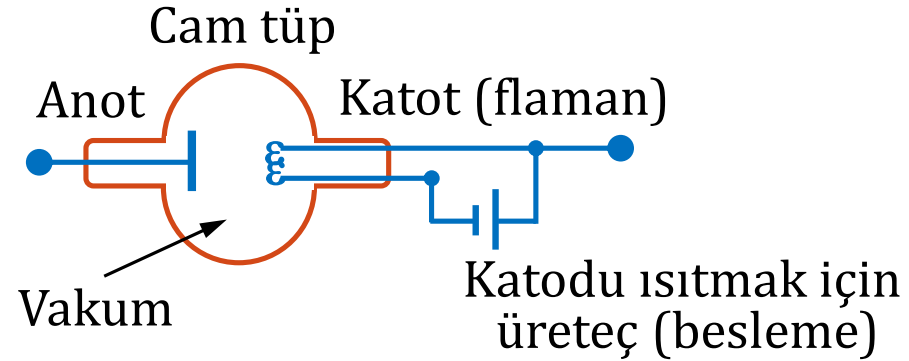
YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

c) **Kızgın katotlu yüksek vakumlu tüp doğrultucular**

İlkesi, katodunu ısıtarak anoda doğru elektron çıkışını sağlamaya (iletme) dayanır. Yaklaşık 200 kV'a kadar tıkama gerilimlerine ve yaklaşık 0,1 A akımlara sahip olabilirler.



Yarıiletken doğrultucu (diyot)



Röntgen tüpü

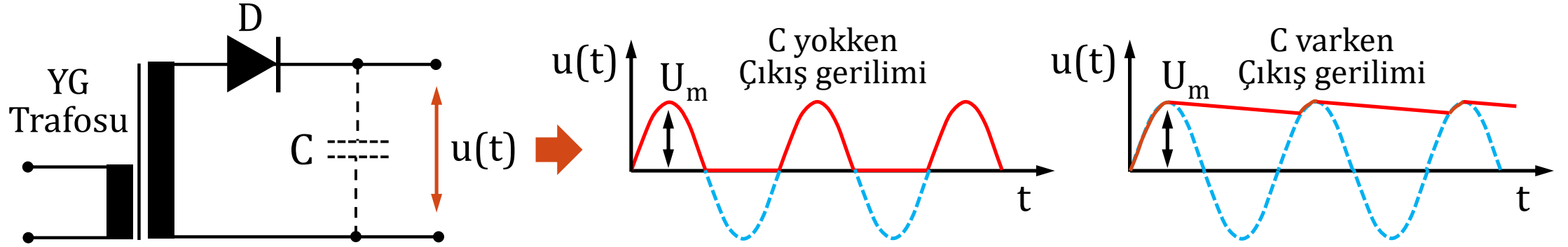


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

1.1) Dalgalı Doğru Gerilim Üreten Devreler

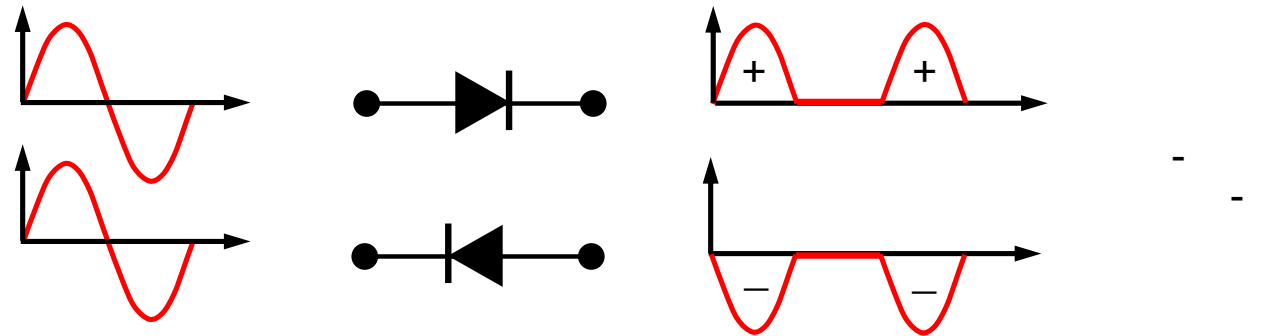
a) Bir yarı dalgadan yararlanan devre (yarı dalga doğrultucu)



Yarı dalga doğrultucu

C: Düzleme kondansatörü (dalgalılığı azaltmak için)

Diyot yönü değiştirilerek kutup (kutbiyet) değiştirilir.



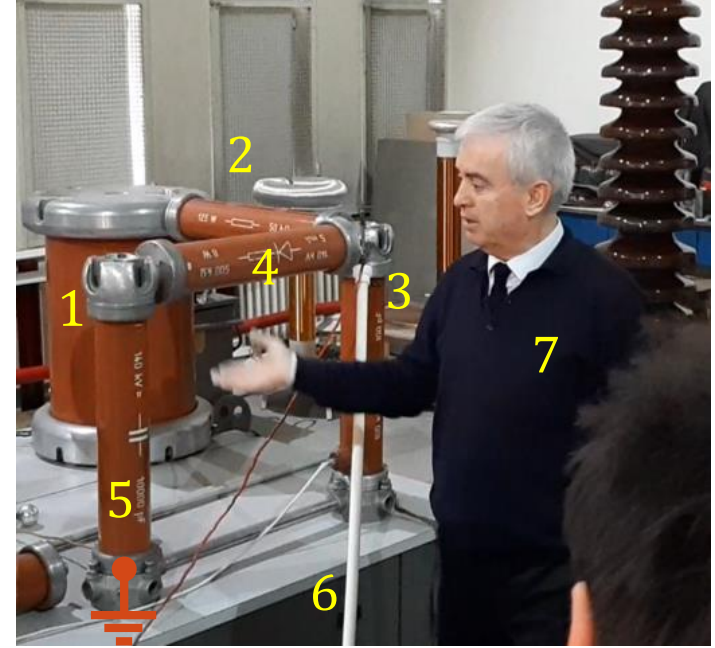
YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

İTÜ Yüksek Gerilim Laboratuvarı – Maslak'ta yarı dalga doğrultucu devre ile yüksek doğru gerilim üretilmektedir.

Devrenin çıkışına bir yüksek gerilim kondansatörü bağlanmıştır. Bu sayede deney amaçları için yeterli dalgalılığa sahip doğru gerilim elde edilmektedir.

Devredeki diyodun yönü değiştirilerek doğru gerilimin kutbu değiştirilmektedir.

Yanda söz konusu devrenin fotoğrafı bulunmaktadır.

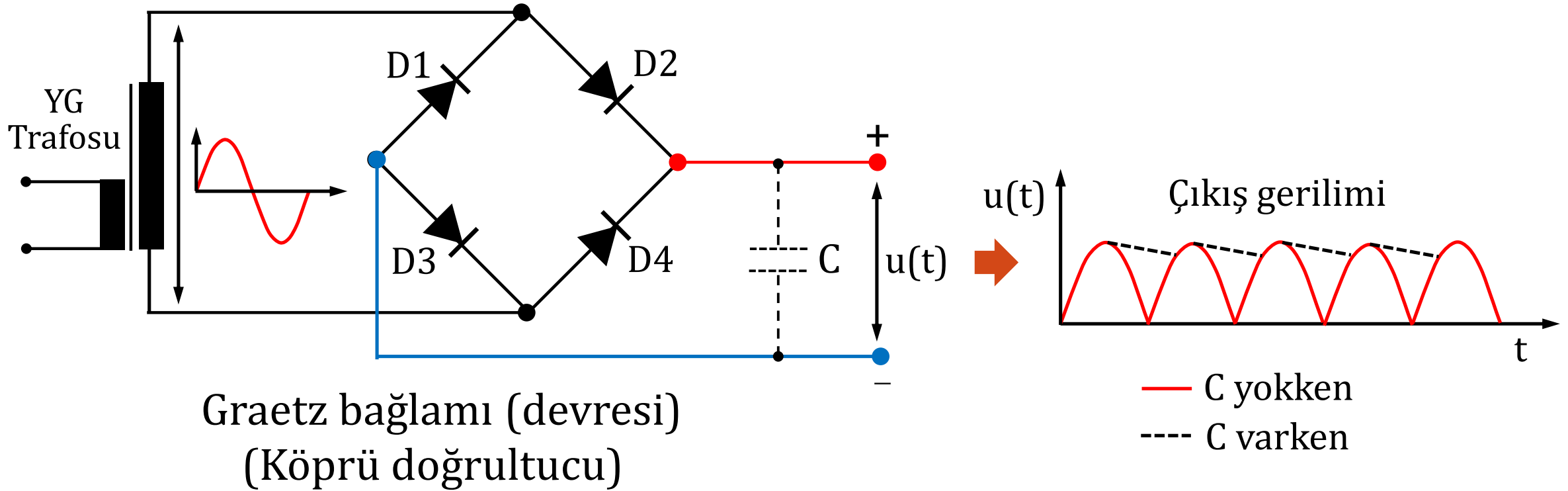


- 1) 100/0,220 kV, 5 kVA deney trafosu,
- 2) 50 k Ω , 125 W koruma (ön) direnci,
- 3) 100 pF, 100 kV kapasitif gerilim bölücü,
- 4) 140 kV, 5 mA, 8 W diyot,
- 5) 10 nF, 140 kV düzleme kondansatörü
- 6) Topraklama çubuğu ve
- 7) Ben 😊

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

b) İki yarı dalgadan yararlanan devre (tam dalga doğrultucu)



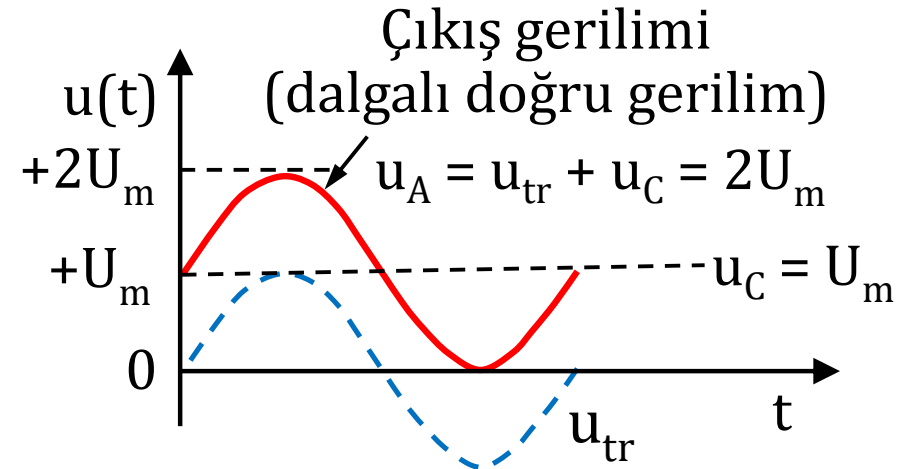
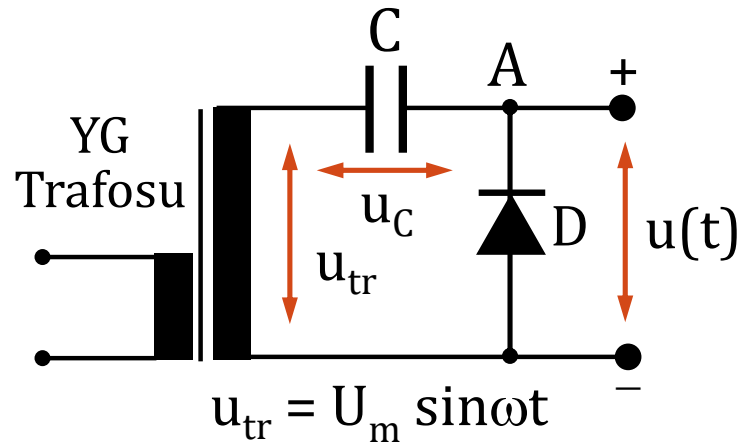
YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

1.2) Gerilimi Yükselten Yüksek Doğru Gerilim Üreteçleri (Devreleri)

1.2.1) Villard devresi (montajı, bağlamı)

Bu devre, gerilimi iki katına çıkaran en basit devredir. Devrenin çıkışı $2U_m$ tepe değerli, dalgalı doğru gerilim elde edilir. Diyot, $2U_m$ tepe değerli gerilime dayanmalıdır.

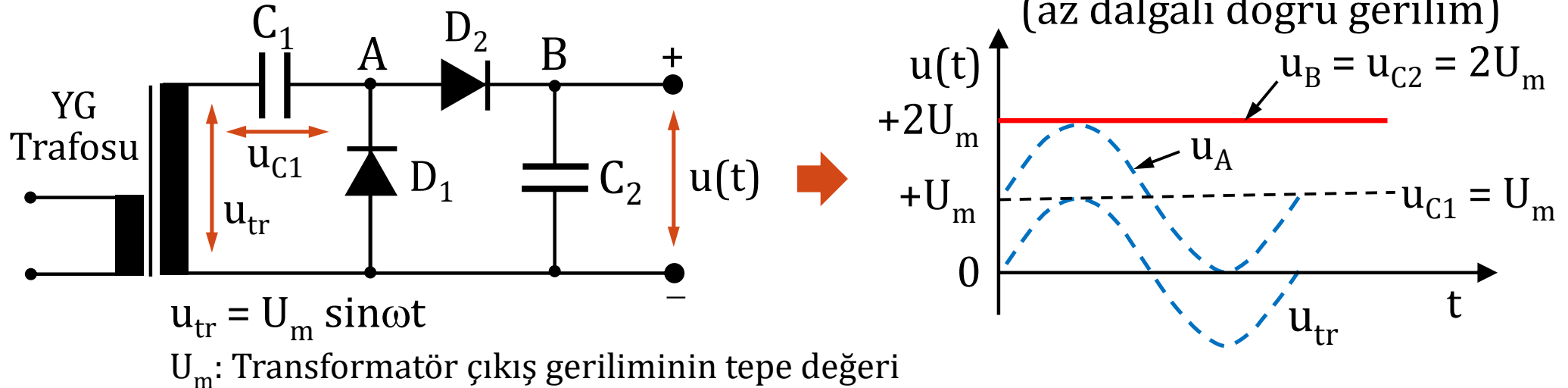


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

1.2.2) Greinacher devresi (montajı, bağlamı)

Bu devre, gerilimi iki katına çıkaran bir devredir. Villard devresinin gelişmiş şeklidir. D_2 diyotu ve C_2 kondansatörü eklenerek çıkış geriliminin dalgalılığı azaltılmıştır. Çıkış, $2U_m$ genlikli doğru gerilimdir. D_1 , D_2 , C_2 elemanları $2U_m$ gerilimine dayanmalıdır.

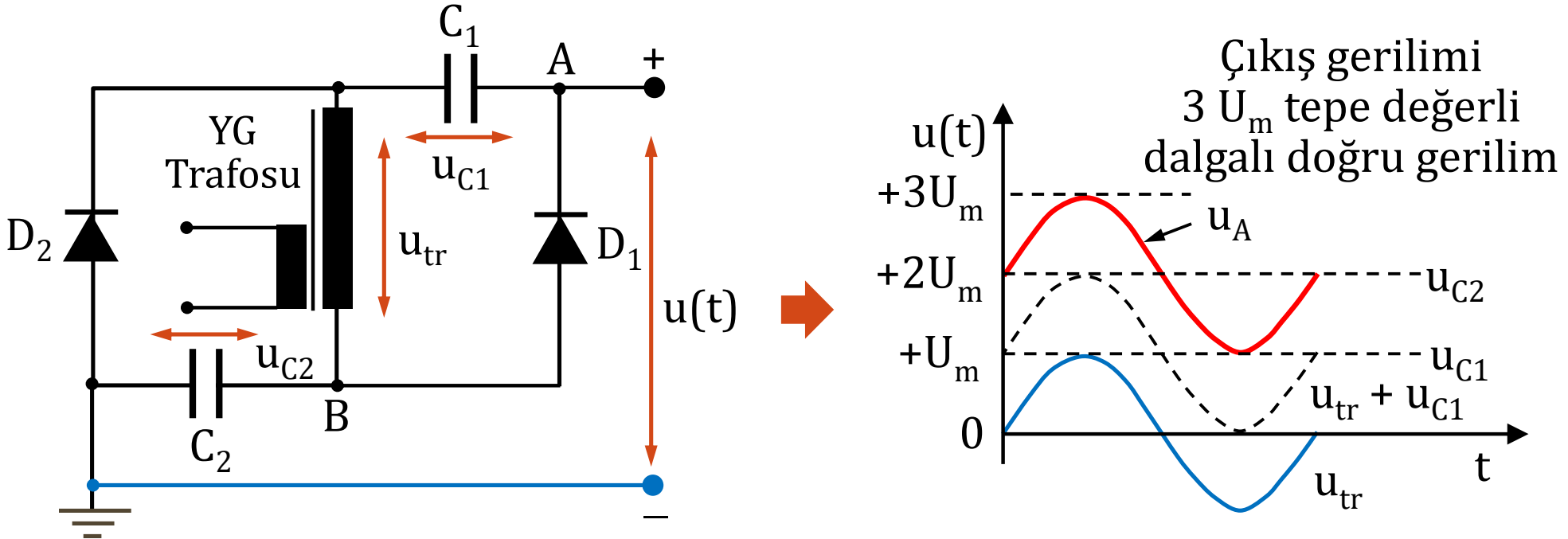


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

1.2.3) **Zimmermann-Witka devresi** (montajı, bağlamı)

İki adet Villard devresinin ters bağlanmasından oluşmuş bir devredir. Çıkışta $3U_m$ tepe değerli, dalgalı doğru gerilim elde edilir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

1.2.4) Çok katlı Greinacher devresi (Kaskad Greinacher devresi, Cockroft-Walton devresi)

Daha yüksek doğru gerilim üretmek için 1920 yılında Greinacher tarafından önerilmiş bir devredir.

Greinacher devresi, alternatif gerilimden doğru gerilim üretmek için kullanılan ve gerilimi iki katına çıkaran bir devre idi.

Greinacher devreleri kaskad (ard arda) bağlanarak çıkış gerilimi arttırılabilir. Her bir katın çıkışında giriş alternatif geriliminin tepe değerinin iki katı ($2U_m$) kadar gerilim oluşur.

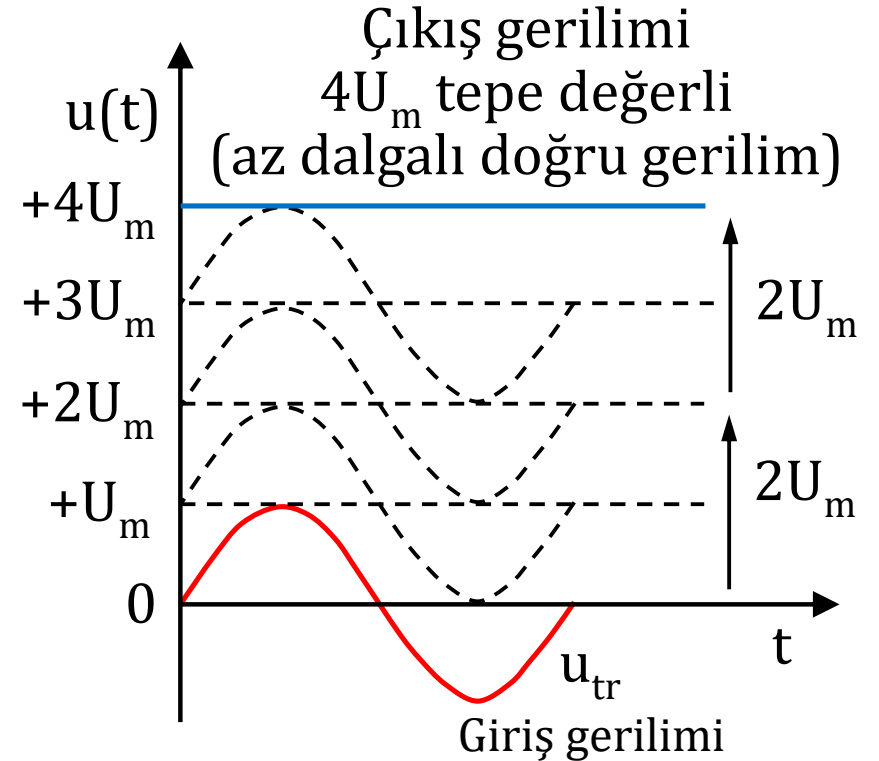
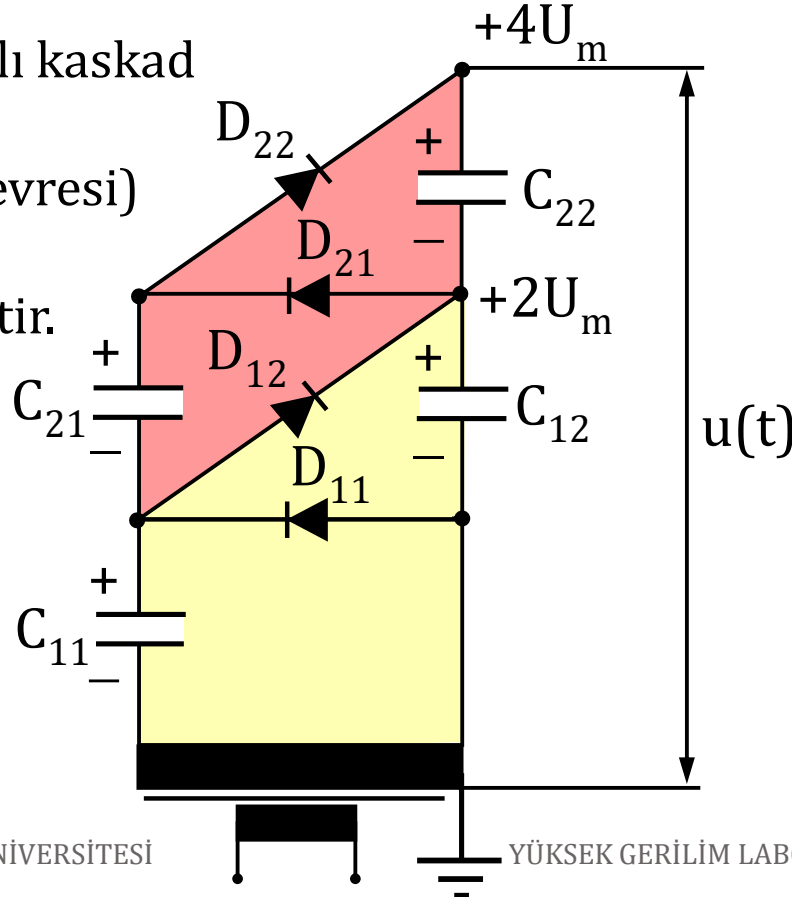
Tüm devrenin çıkışında, örneğin iki katlı kaskad bir devre için $2 \text{ kat} \times (2U_m) = 4U_m$ kadar çıkış gerilimi elde edilir.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

1.2.4) Çok katlı Greinacher devresi (Kaskad Greinacher devresi, Cockroft-Walton devresi)

Örnek olarak iki katlı kaskad Greinacher devresi (Cockroft-Walton devresi) ve giriş-çıkış dalga şekilleri gösterilmiştir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

2) **Elektrostatik Üreteçlerle Yüksek Doğru Gerilim Üretimi**

Bir kapasitede yük biriktirerek yüksek doğru gerilim elde edilmesine dayanır.

Bu tür üreteçler, genellikle, fizikte ve nükleer fizikte parçacık hızlandırıcı olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca, statik elektriğin etkilerini gözlemlemek için bilim fuarlarında, müzelerinde yer alan üreteçlerdir.

Farklı elektrostatik üreteçler vardır.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

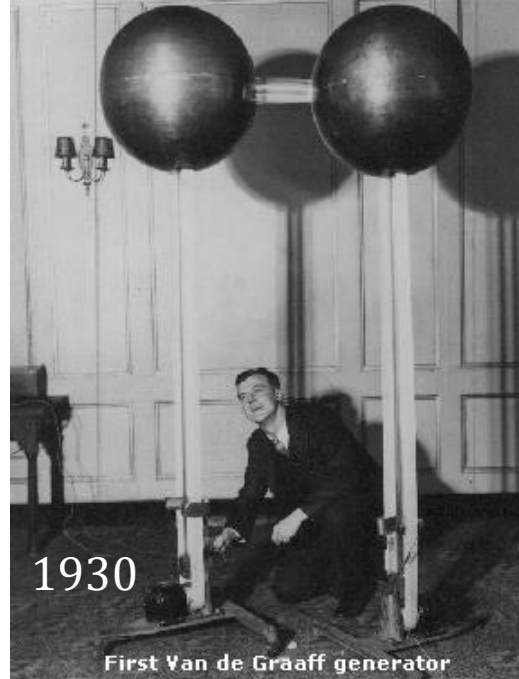
2.1) **Van de Graaff generatörü** (üreteci)

Bu üreteç, statik elektrikle yüksek doğru gerilim üretme ilkesine dayanan en tanınmış üreteçtir.

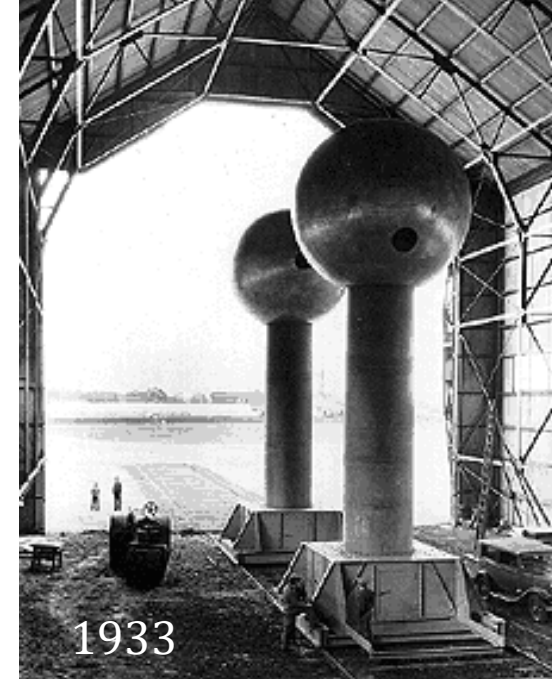


Robert Jemison Van de Graaff
(1901-1967)
Amerikalı Fizikçi

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI - Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ



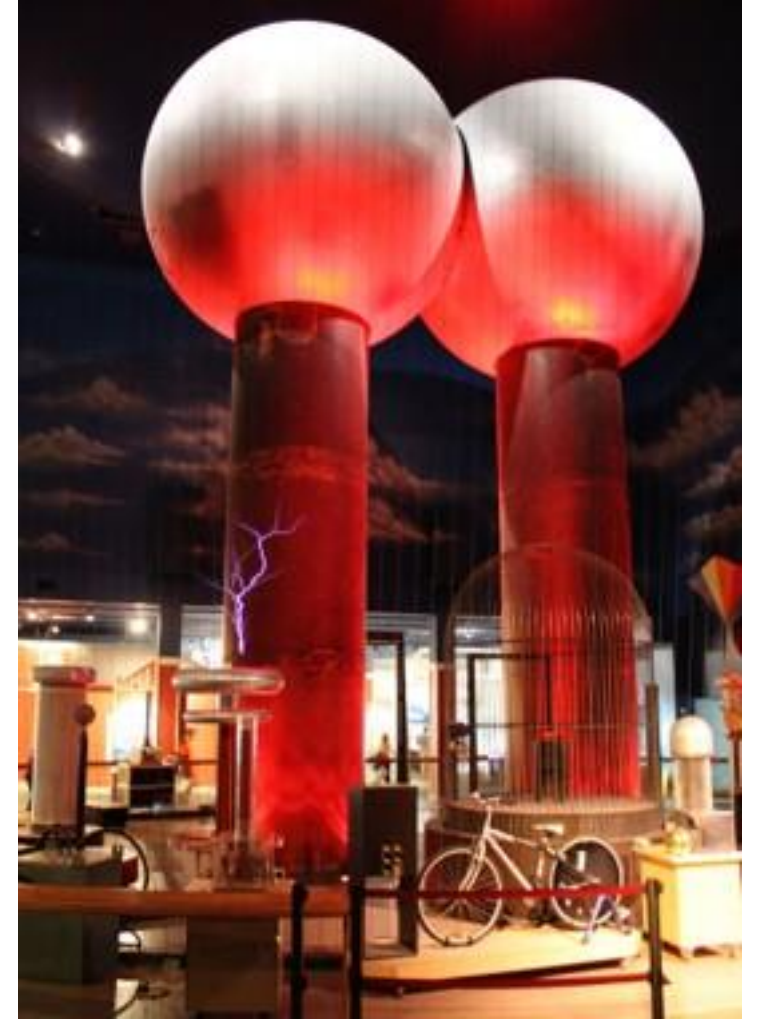
Ekim 22

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Van de Graaff generatörü (üreteci)



Boston Bilim Müzesi (ABD)

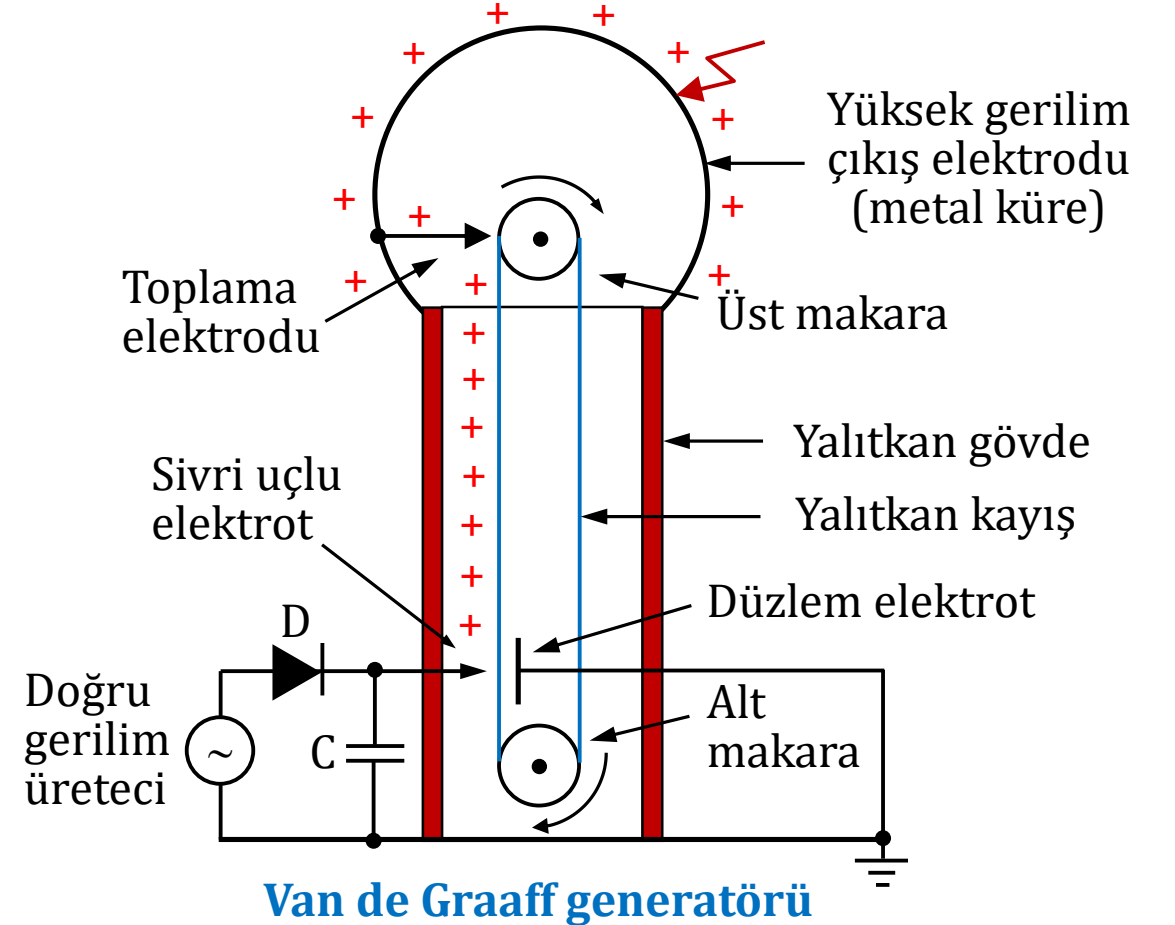


YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

2.1) Van de Graaff generatörü (üreteci)

Bir yalıtkan gövde ile topraktan yalıtılmış bir metal kürede, kürenin yere göre kapasitesinden yararlanılarak, makaralar üzerinde dönen bir yalıtkan kayışla elektrik yüklerinin taşınarak bu kapasitede biriktirilmesi ilkesiyle çalışır.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Üreteçte

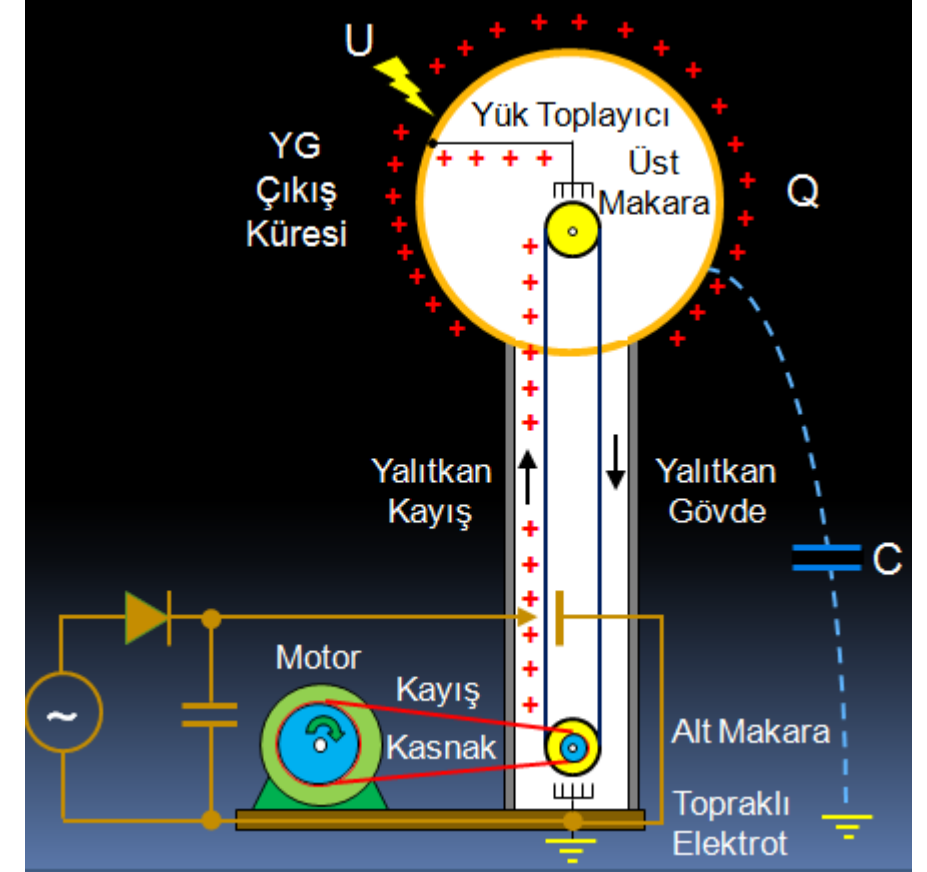
$$Q = C.U \text{ veya } U = Q/C$$

bağıntısına göre biriken elektrik yükü ile yüksek gerilim elde edilmektedir.

Bir doğru gerilim üreticinden bir sivri uçlu elektrot ucunda korona (elektrik yükleri) elde edecek kadar gerilim uygulanır.

Elde edilen elektrik yükleri tepe elektroduna yalıtkan kayışla taşınır ve toplama elektrodu ile aktarılır.

Yükler, tepe elektrot ile toprak arasındaki kapasitede biriktirilerek yüksek doğru gerilim elde edilir.



YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Üretecin Özelliklerinin Belirlenmesi

a) Üretecin Kapasitesi

Eşmerkezli küresel elektrot sisteminin kapasitesi:

$$C_{\text{eşmrk}} = 4\pi\epsilon \times r_1 \times r_2 / (r_2 - r_1) = 4\pi\epsilon r_1 / (1 - r_1/r_2)$$

Burada r_2 'nin sonsuz olduğu varsayılarak boşlukta $r_1 = r$ yarıçaplı çıkış küresinin kapasitesi

$$C = 4\pi\epsilon r = 4\pi\epsilon_0 \times \epsilon_r \times r$$

denklemini ile hesaplanır. Bu denklemde

$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ F/m (boşluğun dielektrik sabiti)

$\epsilon_r = 1$ (havanın bağıl dielektrik sabiti)

r : Çıkış küresinin yarıçapı



200 kV Van de Graaff üretecini
İTÜ Yüksek Gerilim Laboratuvarı

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

b) Üretecın Çıkış Gerilimi

Eşmerkezli küresel elektrot sisteminde maksimum elektrik alan şiddeti

$$E_{\max} = U \times r_2 / [r_1 \times (r_2 - r_1)]$$

denklemini ile hesaplanır. Bu denklemde $r_2 = \infty$ alınarak boşlukta $r_1 = r$ yarıçaplı bir küre üzerinde maksimum elektrik alan şiddeti

$$E_{\max} = U/r$$

bulunur. Buna göre üretecın çıkış gerilimi

$$U = E_{\max} \times r$$

olur. Üretecın üretebileceği maksimum gerilim ($E_{\max} < E_{d,hava}$)

$$U_{\max} < (E_{d,hava} \times r)$$

olacaktır. Havanın, tepe değeri olarak, delinme elektrik alan şiddeti:

$$E_{\max} = E_{d,hava} = 3 \times 10^6 \text{ V/m} = 3 \text{ MV/m}$$

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

c) Üretecın Enerjisi

Bir Van de Graaff üretecinde depolanan enerji:

$$W = 0,5 \times C \times U^2$$

d) Üreteç İçin Gereken Mekanik Güç ve Kayış Akımı

Mekanik güç, yaklaşık olarak üretecın elektrik gücüne eşittir:

$$P = U \times I$$

Bu denklemde U üretecın çıkış gerilimi ve I kayış akımıdır. Çıkış akımı

$$I = \sigma \times b \times v = \epsilon_0 \epsilon_r E_{\max} \times b \times v$$

denklemlle hesaplanır. Denklemlde b kayışın eni ve v kayışın hızıdır.

Üretecın çıkış gerilimi:

$$U = E_{\max} \times r$$

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

Mekanik (elektrik) güç:

$$P = U \times I = \varepsilon_0 \varepsilon_r E_{\max}^2 \times r \times b \times v$$

Dakikada n devir (rpm) dönen d çaplı makara ile kayış hızı:

$$v = (n/60) \pi \times d$$

Mekanik (elektrik) güç ve akım:

$$P = \varepsilon_0 \varepsilon_r E_{\max}^2 \times r \times b \times (\pi/60) \times n \times d$$

$$I = \varepsilon_0 \varepsilon_r E_{\max} \times b \times (\pi/60) \times n \times d$$

Bu denklemlerde

$$\varepsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}, \varepsilon_r = 1$$

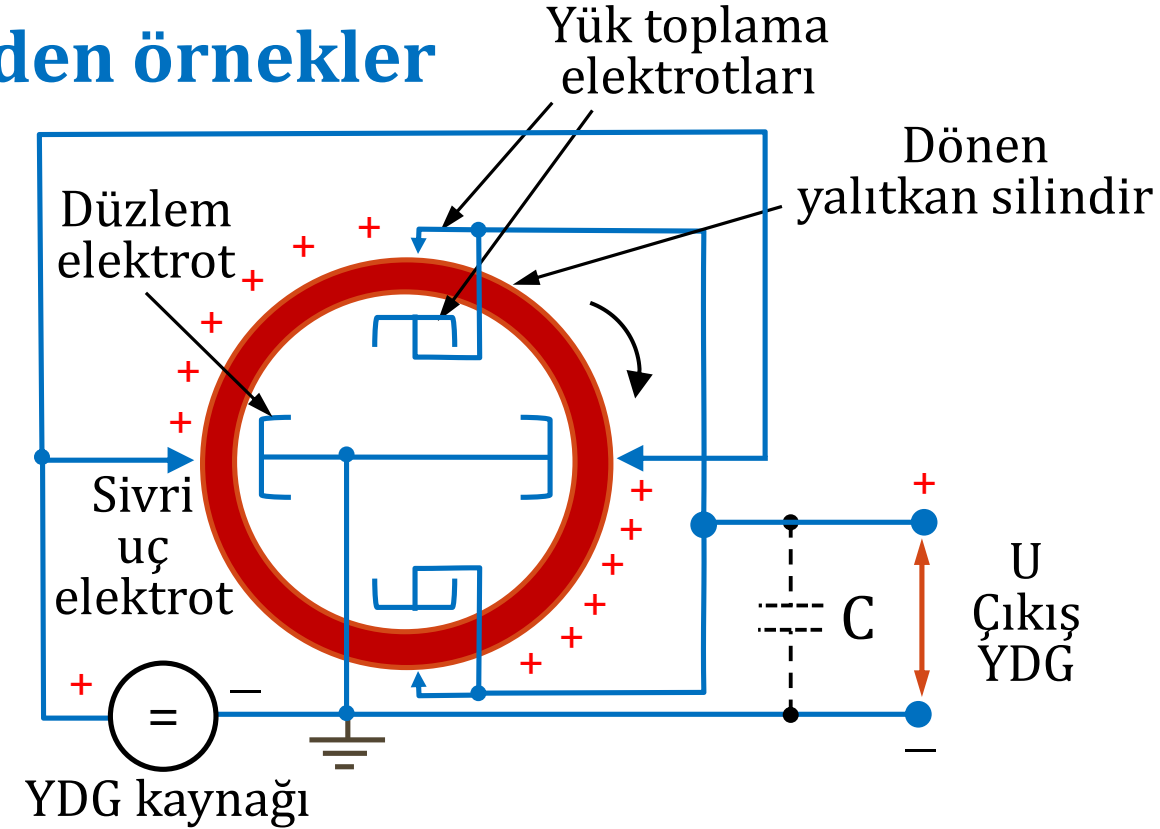
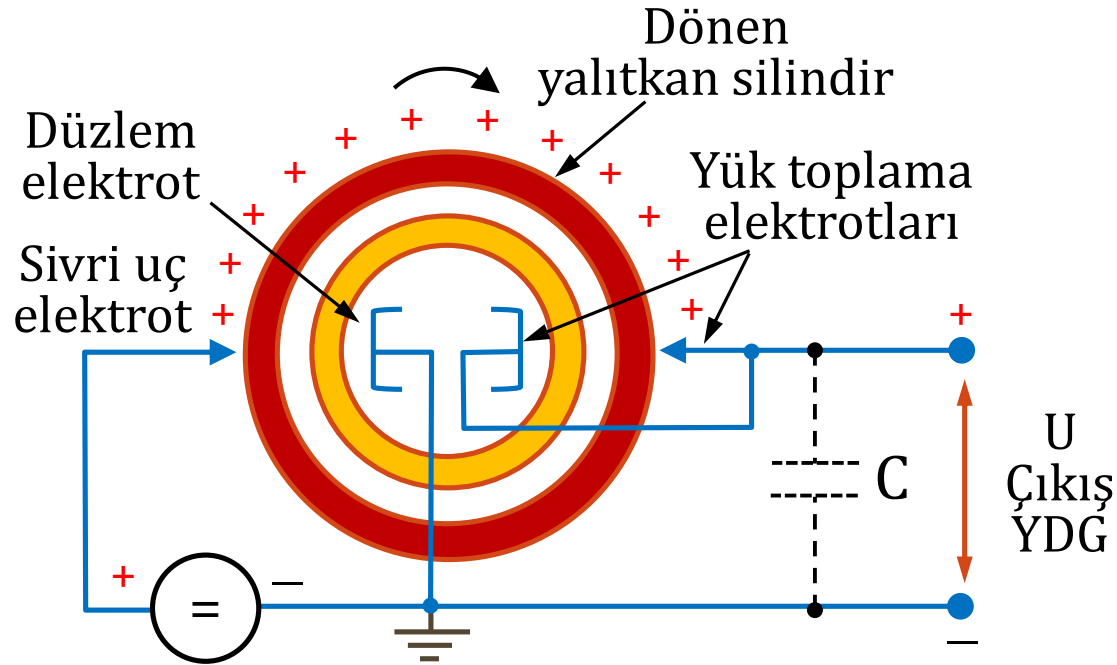
$$E_{\max} = 3 \times 10^6 \text{ V/m}$$

olarak alınır.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

2.2) Diğer elektrostatik üreteçlerden örnekler



Felici elektrostatik yüksek doğru gerilim generatörü (üreteci)

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

2.2) Diğer elektrostatik üreteçlerden örnekler



Dönen silindir (cam)
elektrostatik üreteçleri



B. Franklin'ın
elektrostatik üreteci

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI

YÜKSEK DOĞRU GERİLİMLERİN ÜRETİLMESİ

2.2) Diğer elektrostatik üreteçlerden örnekler



Winter elektrostatik üretici



Wimshurst makinası
(elektrostatik üreteç)

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARI GİRİŞ

Bu derslik bu kadar!

Gelecek derste

Yüksek Darbe Gerilimlerinin Üretilmesi

ve

Yüksek Gerilimlerin Ölçülmesi

konularını işleyeceğiz.

Sağlıkla kalın.

