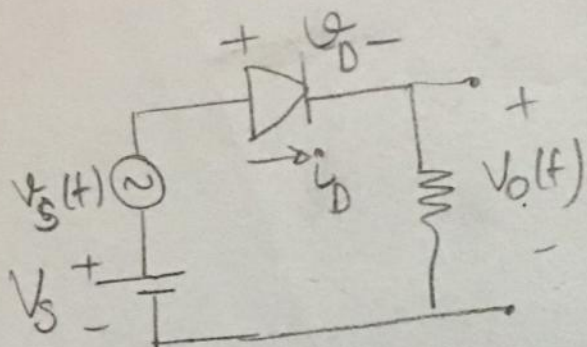


1.4.22.  $T \approx \gamma_n, \gamma_p$  ve küçük genlikli işaretler için: (19)



$$v_D = V_{DQ} + v_d$$

$$i_D = I_{DQ} + i_d$$

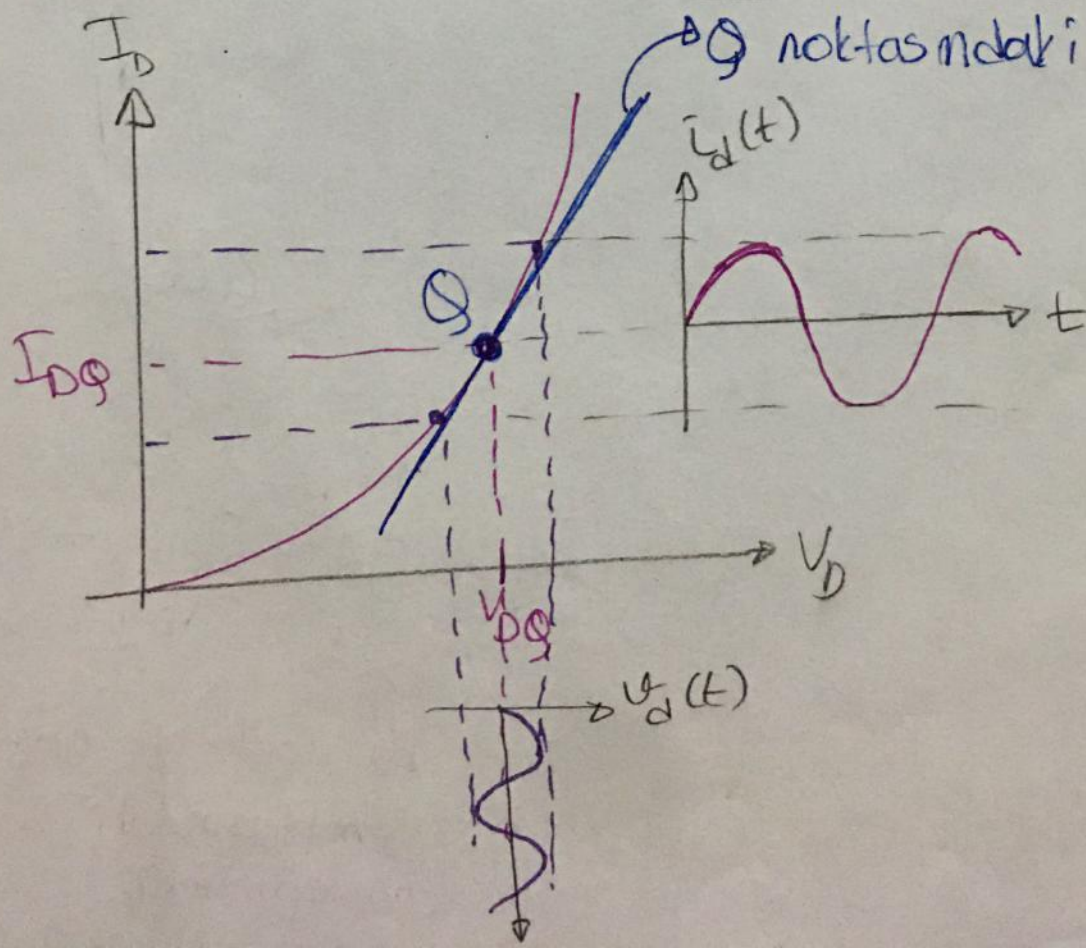
Notasyon hatırlatması

$V_{DQ}, I_{DQ} \rightarrow$  değişken ve alt indis büyük harf ise, DC değeri gösterir.

$v_D, i_D \rightarrow$  değişken küçük, indis büyük harf  $\rightarrow$  DC + AC değerler

$v_d, i_d \rightarrow$  değişken ve indis küçük harf  $\rightarrow$  yalnız AC değerler

$V_d, I_d \rightarrow$  değişken büyük indis küçük harf gösterimi.

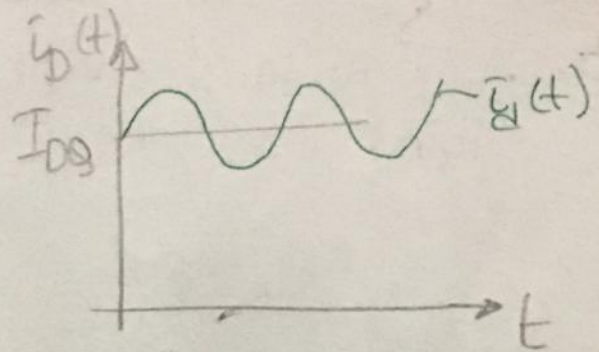
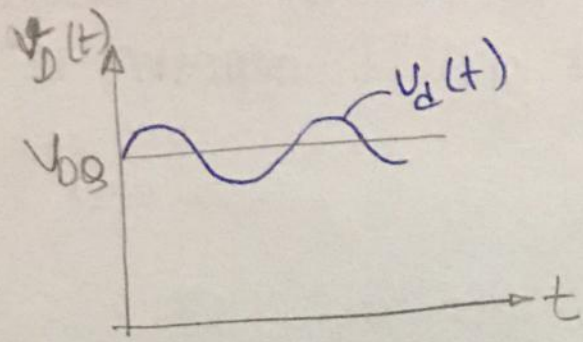


Q noktasındaki teget

Q noktasındaki tegetin eğimi:

$$\left. \frac{\partial I_D}{\partial V_D} \right|_Q = g_d$$





20

$$i_D(t) = I_S \cdot \left( e^{\frac{v_D(t)}{V_{Th}}} - 1 \right) \underset{\text{ihmal}}{\approx} I_S e^{\frac{v_D(t)}{V_{Th}}}$$

$$v_D(t) = V_{DQ} + v_d(t)$$

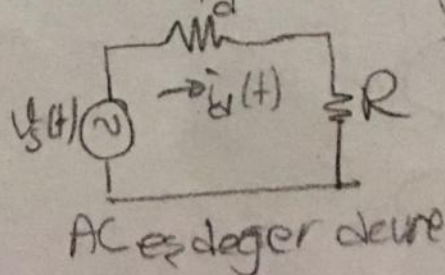
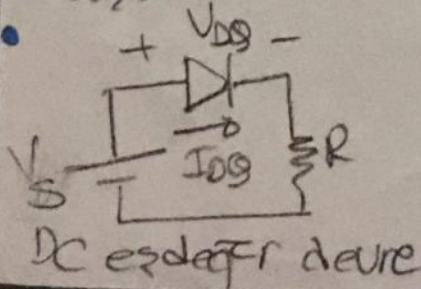
$$i_D(t) = I_S e^{\frac{V_{DQ} + v_d(t)}{V_{Th}}} = \underbrace{I_S e^{\frac{V_{DQ}}{V_{Th}}}}_{I_{DQ}} \cdot e^{\frac{v_d(t)}{V_{Th}}}$$

$v_d(t)$  genliği,  $V_{Th} = 26\text{mV}$  olan ısıl gerilimden çok küçüktür, küçük işaret tabiri de buradan gelmektedir (küçük-genlikli alternatif işaret!). Dolayısıyla,

$$e^{\frac{v_d(t)}{V_{Th}}} \approx 1 + \frac{v_d(t)}{V_{Th}} \quad (e^x = 1+x) \text{ yaklaşıklığı kullanılabilir.}$$

$$i_D(t) = I_{DQ} \cdot \left( 1 + \frac{v_d(t)}{V_{Th}} \right) = I_{DQ} + \underbrace{\frac{I_{DQ}}{V_{Th}} \cdot v_d(t)}_{i_d(t)}$$

Yani yukarıdaki devre iki basit eşdeğer devrenin süperpozisyonu olarak düşünülebilir:



$$g_d = \frac{\partial I_D}{\partial v_D} \bigg|_Q = \frac{1}{r_d}$$

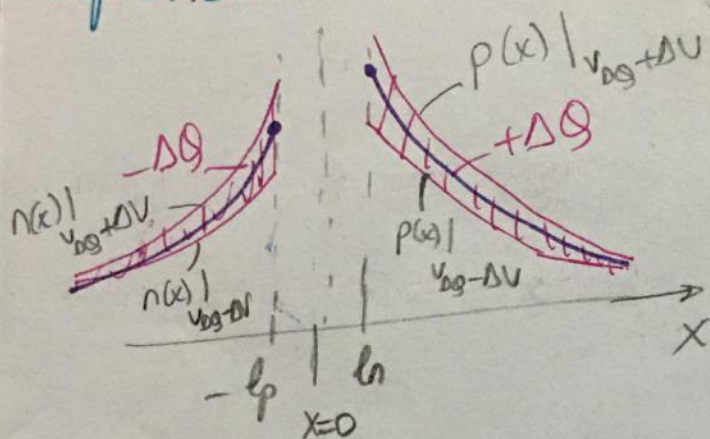
↑  
Bu ifade de grafikte Q noktasındaki tegetin eğimidir.



## Frekans Cevabı

Eğer AC giriz işaretinin frekansı arttırılırsa, diyotun kapasitif etkileri gözlemlenmeye başlar.

iletim yönünde kutuplanmış bir diyot için **diffuzyon kapasitesi** etkili olur. ( $C_{dif} \gg C_J$ )



$$C_{dif} = \frac{dQ}{dV_D}$$

$$C_{dif} = \frac{1}{2} q_d \frac{p_{n0} l_p + n_{p0} l_n}{\frac{l_p}{\tau_p} p_{n0} + \frac{l_n}{\tau_n} n_{p0}}$$

Tıkama yönünde kutuplanmış bir diyot için ise **fonksiyon kapasitesi** etkili olur ( $C_J \gg C_{dif}$ )

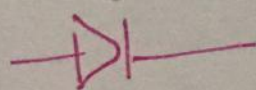
$$C_J = \frac{\epsilon_{si} \cdot A}{l} \quad \text{tıkama adak, uzay yükü bölge kalınlığı}$$

$$l = \sqrt{\frac{2\epsilon_{si}}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (V_{dif} + V_R)}$$

$$C_{J0} = \epsilon_{si} \frac{A}{l_0}, \quad l_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon_{si}}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) V_{dif}}$$

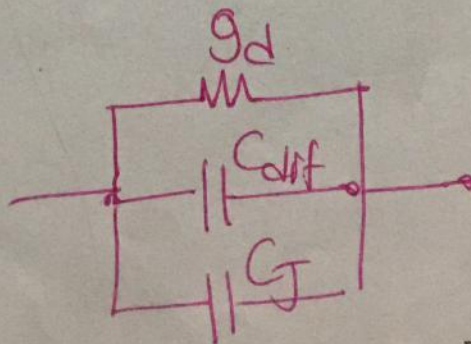
$$C_J = C_{J0} \cdot \sqrt{\frac{V_{dif}}{V_{dif} + V_R}} = C_{J0} \sqrt{\left( 1 + \frac{V_R}{V_{dif}} \right)^{-1}}$$

Diyotun toplam küçük işaret eşdeğer devresi



$v_d(t)$

$\equiv$

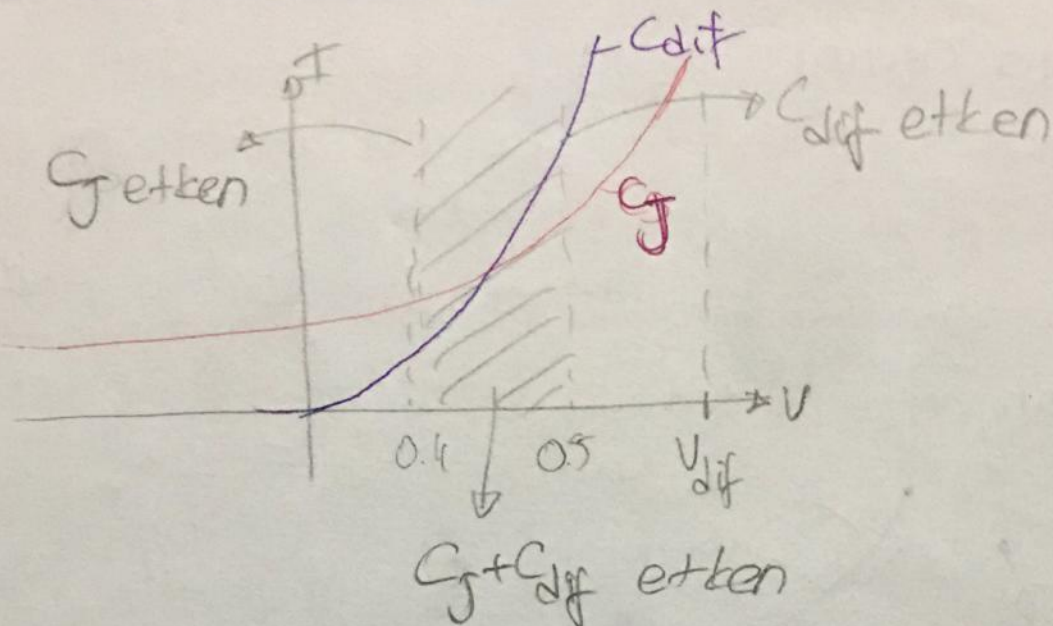


$$y = g_d + j\omega C$$

$$C = C_{dif} + C_J$$

$$i_d(t) = y \cdot v_d(t)$$





Özel durumları:

1) Diyot p+n eklemi ise: ( $N_A \gg N_D$  ise)

$$C_{dif} = \frac{1}{2} q_d \bar{n}_p$$

$$p_{n0} \gg n_{p0} \quad \frac{n_i^2}{N_A}$$

2) Diyot n+p eklemi ise: ( $N_D \gg N_A$  ise)

$$n_{p0} \gg p_{n0}$$

$$C_{dif} = \frac{1}{2} q_d \bar{n}_n$$

3)  $\bar{n}_n = \bar{n}_p = \bar{n} \Rightarrow C_{dif} = \frac{1}{2} q_d \cdot \bar{n}$

Örnek: Bir p+n eklemi  $N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , azınlık taşıyıcılarının difüzyon uzaklıkları  $L_n = L_p = 10 \mu\text{m}$  ve diyot alanı  $A = 1 \text{ mm}^2$  olarak veriliyor.

a.  $I_S = ?$

b. Diyota iletim yönünde  $V_a = 0.6 \text{ V}$  gerilim uygulandığında diyottan akan akımı bulunuz.

c. Verilen kalıba noktası için  $y = ?$

d.  $v_s(t) = 5 \text{ mV} \sin(\omega t)$ ,  $f = 10 \text{ MHz}$  olsun,  $i_d(t) = ?$



a.  $I_D = I_S (e^{\frac{V_D}{V_{Th}}} - 1)$

$$I_D = A \cdot q \cdot \left( \frac{D_p \cdot p_{no}}{L_p} + D_n \cdot \frac{n_{po}}{L_n} \right) \quad \varphi = N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3} \quad n_{po} = \frac{n_i^2}{N_A}$$

$$p_{po} = 2.25 \cdot 10^{5} \text{ cm}^{-3}$$

$$n = N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3} \Rightarrow p_{no} = 2.25 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$$

$p_{no} \ll n_{po}$  dolayısıyla  $I_S$  ifadesinde  $p_{no}$  'lı terim ihmal edilir.

$$I_S = A \cdot q \cdot D_n \cdot \frac{n_{po}}{L_n}$$

$$D_n = \mu_n V_{Th}$$

$$D_p = \mu_p V_{Th}$$

oda sıcaklığında

$$\mu_n = 1350 \frac{\text{cm}^2}{\text{V.s}}$$

$$\mu_p = 480 \frac{\text{cm}^2}{\text{V.s}}$$

$$D_n = 1350 \cdot 0.026 \approx 35 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$D_p = 480 \cdot 0.026 \approx 12.5 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$I_S = 1 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ A.s} \cdot \frac{35 \text{ cm}^2/\text{s} \cdot 2.25 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}}{10 \cdot 10^{-4} \text{ cm}}$$

$$I_S = 12.6 \cdot 10^{-12} \text{ A} = 12.6 \text{ pA}$$

b.  $V_a = V_{DS} = 0.6 \text{ V} \Rightarrow I_D = I_S e^{\frac{V_a}{V_{Th}}} = 12.6 \cdot 10^{-12} \cdot e^{\frac{0.6}{0.026}}$

$$I_{DS} = 126 \text{ mA}$$

pn-j ekleme için

c.  $L \approx L_p = \sqrt{\frac{2 \epsilon_{Si}}{q N_A} \cdot \frac{N_D}{N_D + N_A} \cdot (V_{dif} - V_a)}$

$$\approx N_D$$

$$V_{dif} = V_{Th} \ln \left( \frac{N_D \cdot N_A}{n_i^2} \right) = 0.026 \ln \left( \frac{10^{32}}{2.25 \cdot 10^{20}} \right) \approx 0.7 \text{ V}$$

$$\left. \begin{array}{l} \epsilon_{Si} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \\ 8.85 \cdot 10^{-14} \frac{\text{F}}{\text{cm}} \end{array} \right\} \epsilon_{Si} = 1.03 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{cm}}$$



$$l = \sqrt{2 \cdot \frac{1.03 \cdot 10^{-12} \text{ F/cm}}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}}} (0.7 - 0.6) \text{ V} = 0.358 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \quad (24)$$

$$l = 0.358 \mu\text{m}$$

$$g_d = \left. \frac{\partial I_D}{\partial v_{gs}} \right|_Q = \frac{I_D}{V_{th}} e^{\frac{v_{gs}}{V_{th}}} = \left. \frac{I_D}{V_{th}} \right|_Q = \frac{I_{DQ}}{V_{th}} = \frac{126 \text{ mA}}{26 \text{ mV}}$$

$$g_d \approx 5 \frac{\text{A}}{\text{V}}$$

$$C_{df} = \frac{1}{2} g_d \cdot \tau_n = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 30 \cdot 10^{-9} = 75 \text{ nF}$$

$$\tau_n = \sqrt{\tau_n \tau_n'} \Rightarrow \tau_n = \frac{L_n^2}{D_n} = \frac{(10 \cdot 10^{-4} \text{ cm})^2}{35 \text{ cm}^2/\text{s}} \approx 30 \text{ ns}$$

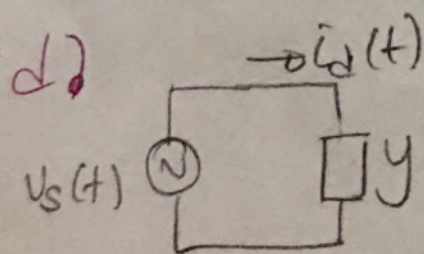
$$C_j = \epsilon_{si} \frac{A}{l} = 1.03 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{cm}} \cdot \frac{10^{-2} \text{ cm}^2}{0.358 \cdot 10^{-4} \text{ cm}} \approx 0.3 \text{ nF}$$

$C_{df} \gg C_j$ ,  $C_j$  ihmal edilebilir (iletim yollarında  $C_{df}$  etkendir)

$$y = g_d + j\omega \cdot (C_{df} + C_j) \quad \omega = 2\pi f, \quad f = 10 \text{ MHz}$$

$$\approx C_{df}$$

$$y = 5 + j \underbrace{2\pi \cdot 10^7 \cdot 75 \cdot 10^{-9}}_{\approx 5} = 5 + j5$$



$$i_o(t) = y \cdot v_s(t)$$

$$v_s(t) = 5 \text{ mV} \sin \omega t$$

$$i_o(t) = y \cdot 5 \text{ mV} \sin \omega t$$



$$\bar{y}(t) = |y| \cdot 5 \text{ mV} \sin(\omega t + \angle y)$$

$$|y| = \sqrt{5^2 + 5^2} \approx 7 \quad \angle y = \arctan \frac{5}{5} = 45^\circ$$

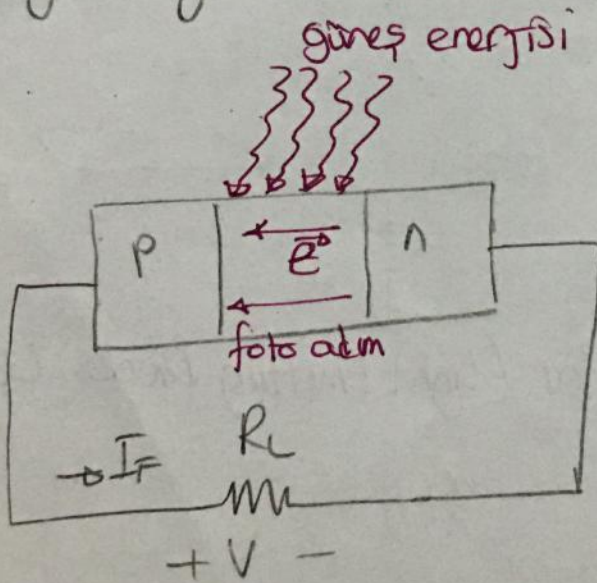
$$\bar{y}(t) = 35 \sin(\omega t + 45^\circ)$$

1.4.3.

### FEŞİTLİ DİYOT YAPILARI

#### 1.4.3.1. Güneş Pili (Solar Cell)

Pn ekleminin uzay yükü bölgesine düşen ışık sayesinde elektron-delik çiftleri üretilir, üreyen bu elektron-delik çiftleri uzay yükü bölgesindeki elektrik alan etkisiyle uzay yükü bölgesinden uzaklaşarak devrede akım üretirler. Böylece güneş enerjisi elektrik enerjisine çevrilir olur.

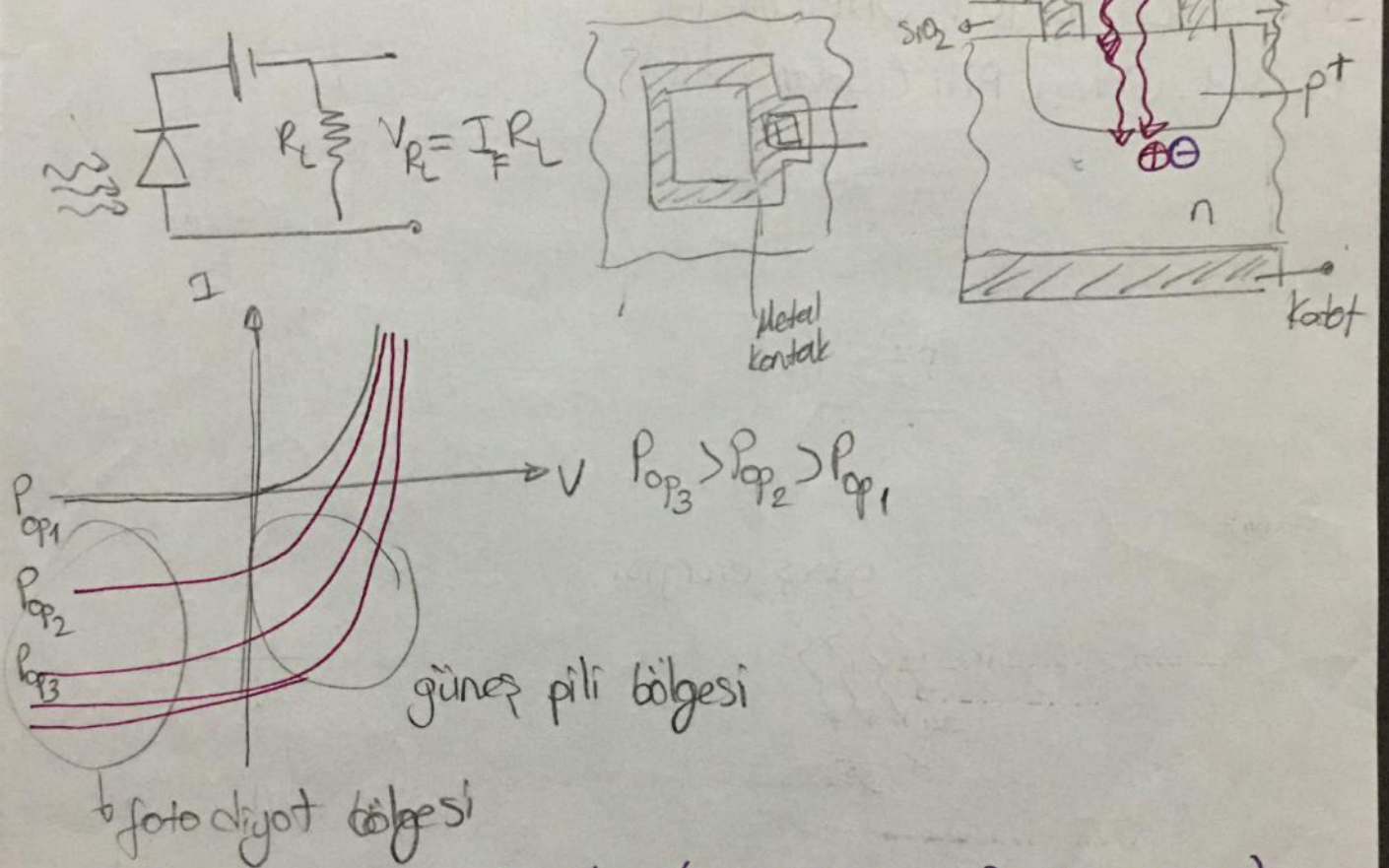


#### 1.4.3.2 Foto diyotlar

Fotodiyotların çalışma prensibi güneş piline benzer, tek farkı pn jantsiyonunun bir tıkama geriliminde çalıştırılmasıdır. Fotodiyot üzerine düşen ışık dalgaları



uzay yükü bölgesinde ekstra elektron-delik çiftleri (26) üretir, bu elektron delik çiftleri elektrik alan etkisiyle birbirinden ayrılıp uzay yükü bölgesini terteder ve bir alan yaratırlar. Elde edilen alan, fotodiyot üzerine düşen ışığın akısıyla doğru orantılıdır.



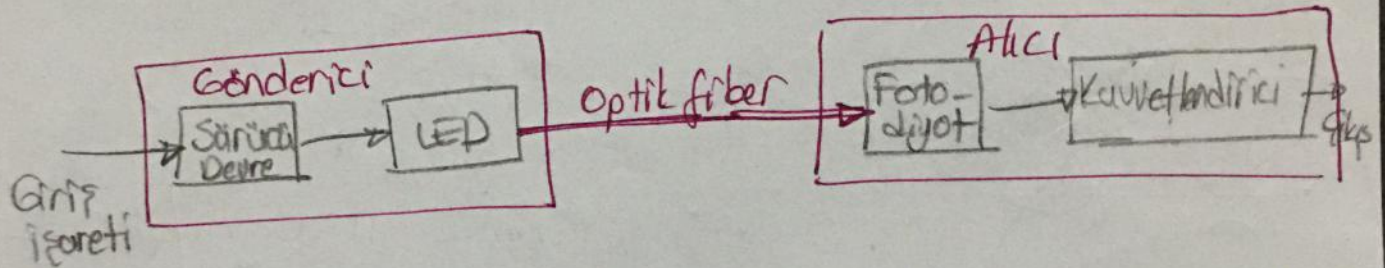
#### 1.4.3.3. Işık Sıyran Diyotlar (Light Emitting Diodes, LEDs)

Elektrik enerjisini optik enerjiye çevirir. Bir pn junctionuna iletim yönünde gerilim uygulandığında elektron ve delikler daralan uzay yükü bölgesini geçerek yal bölgelerinde ekstra ozmluk taşıyıcıları olurlar. Eğer yarıiletken malzeme GaAs gibi doğrudan-yasak bant (direct bandgap) yarıiletkeni ise elektron ve delikler momentum kaybı olmadan tekrar bir



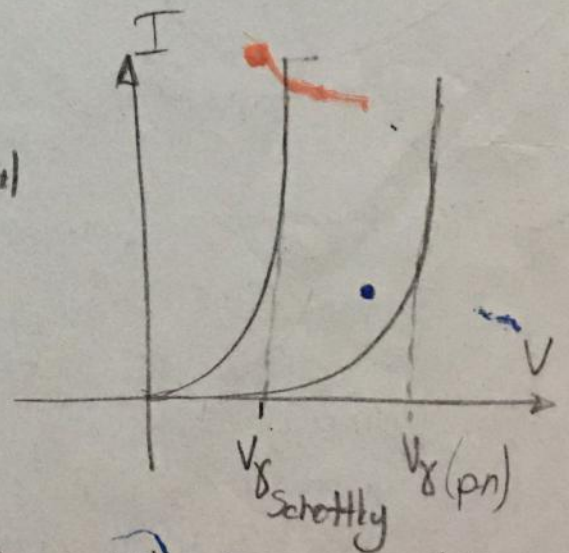
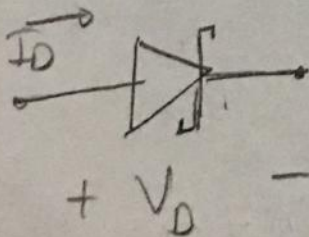
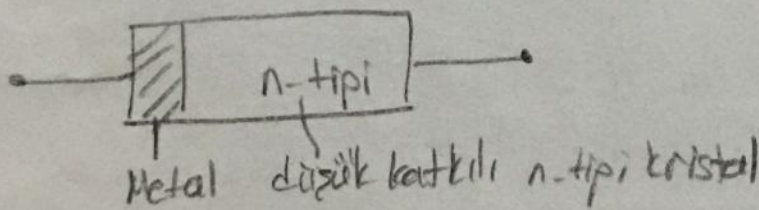
ileşebilir ve bir foton veya ışık dalgası yayabilir. Si gibi dolaylı -yarak bant yarıiletkenlerinde ise elektron ve delik birleşirken hem enerji hem momentum korunmalıdır, dolayısıyla Si için bu durumda foton yayılma ihtimali çok düşüktür. Bu nedenle LED'ler GaAs gibi III-V veya diğer bileşik yarıiletkenlerinden üretilirler.

LED ve fotodiyotlar birlikte kullanılarak bir optik iletim sistemi tasarlanabilir:



#### 1.4.3.4. Schottky Bariyer Diyota (Schottky Diyot)

Metal- Yarıiletken geçişinden oluşur.



→ Bir tarafı metal olduğu için n bölgesindeki elektronların metal-YI bariyerini aşması yeterlidir akım akması için. pn eklemindeki gibi yol bölgesinde ekstra azınlık

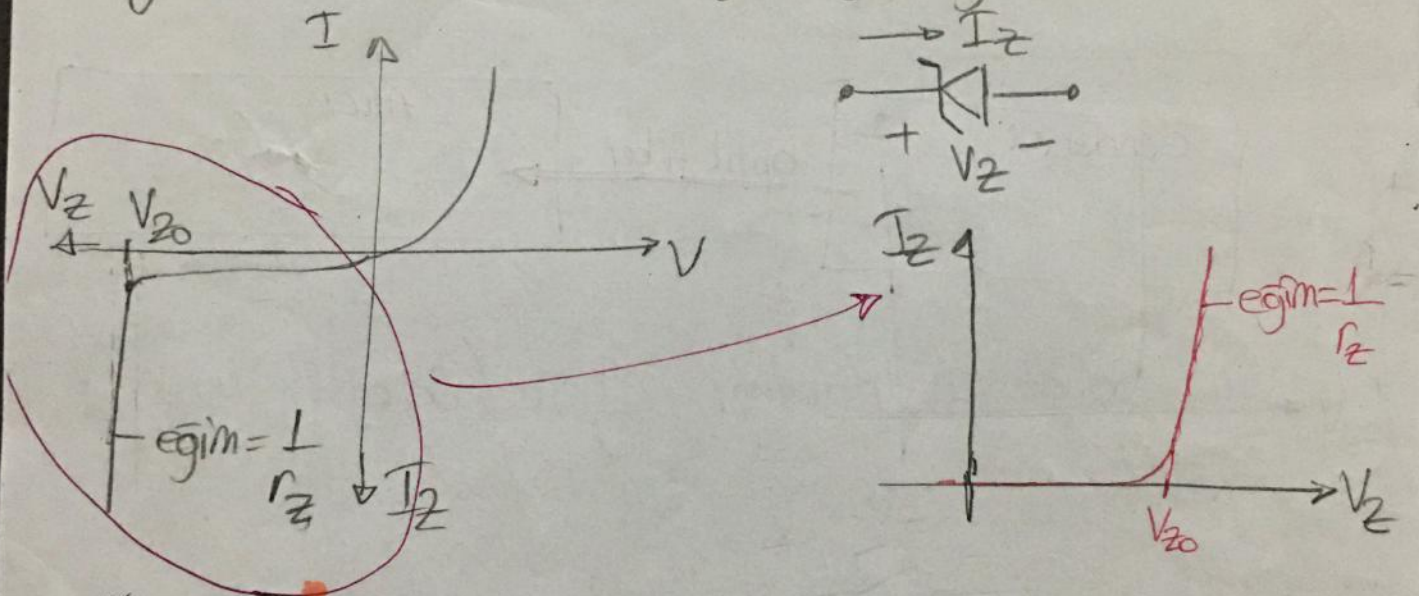


bağıyıcısı olmadığından hızlı anahtarlama devrelerinde (28) de kullanılır.

→ Aynı boyuttaki pn jantisiyona göre  $I_s$  akımı daha yüksektir dolayısıyla daha düşük gerilimlerde pn jantisiyona ile aynı akımları elde eder.

### 1.4.3.5 Zener Diyotlar

Tıkama bölgesinde kullanılan diyotlardır. Özel bir kırılma gerilimi  $V_{z0}$  ve tıkama bölgesi  $r_z$  değeri ile tanımlanırlar.



Kırılma gerilimini oluşturan 2 temel kırılma mekanizması vardır.

1- Güç Çoğullaması (avalanche breakdown)

2- Tünelleme (çok yüksek katı yığ  $\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  mertebesi -) ve yüksek tıkama elektrik alanı  $E(0) \sim 10^6 \text{ V/cm}$ )

Güç kırılma gerilimi:

$$V_{z0} = V_{kq} = \frac{1}{2} \left( \frac{\gamma+1}{k} \right)^{\frac{2}{\gamma+1}} \left( \frac{\epsilon_s}{qN} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma+1}} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Si için} \\ \gamma=7 \\ k=10^{-35} \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} p^+n \rightarrow V_{kq} = 5.6 \cdot 10^{13} \left( \frac{1}{N_D} \right)^{3/4} \\ n^+p \rightarrow V_{kq} = 5.6 \cdot 10^{13} \left( \frac{1}{N_A} \right)^{3/4} \end{array}$$

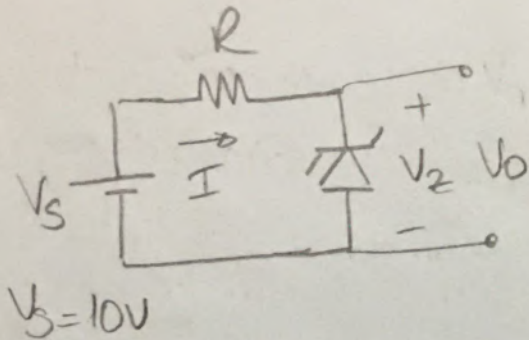
İdeai zener diyot için  $\rightarrow \begin{cases} V_z < V_{z0} \Rightarrow I_z = 0 \\ V_z \geq V_{z0} \Rightarrow V_z = V_{z0} \end{cases}$

veya,  $\begin{cases} I_z = 0 \Rightarrow V_z < V_{z0} \\ I_z \neq 0 \Rightarrow V_z = V_{z0} \end{cases}$

$\Rightarrow V_z = V_{z0}$   
R ile belirlenen  $I_z$



Örnek: Şekildeki devrede  $V_{Z0} = 5.6V$  ve  $r_z = 0$  olduğuna göre, diyot akımını  $3mA$ 'de sınırlayacak direnç değerini bulunuz. (29)



$$V_Z = V_{Z0} = 5.6V$$

$$I = \frac{V_S - V_{Z0}}{R} = 3mA$$

$$R = \frac{(10 - 5.6)V}{3mA} = 1.47k\Omega$$

Zener diyotta harcanan güç

$$P_Z = I_Z \cdot V_{Z0} = (3mA)(5.6V) = 16.8mW$$

Devrenin sorunsuz çalışabilmesi için zener diyotun da yarabileceği maksimum güç değerinin  $P_Z$ 'den büyük olması gerekir. Bu devrede varolan direnç Zener diyottan geçen akımı sınırlamak için kullanılmaktadır. Devrenin çıkış gerilimi  $V_S$  ve  $R$  değişse bile (sınırlı bir bölge dahilinde)  $V_{Z0}$  değerinde sabit kalmaktadır. Dolayısıyla bu basit devre ile sabit çıkış gerilimi elde edilir.

Şeyfa 28'e ek:

$$I_Z = \underbrace{M}_{\text{güçlülme faktörü}} \cdot I_S, \quad M = \frac{1}{1 - \left(\frac{V_Z}{V_{Z0}}\right)^4}$$