

ELEKTRONİK DEVRELER I

Dr. Öğr. Üyesi Nergis TURAL POLAT

İÇERİK

1- Yarıiletken Diyot

- Termodinamik dengede, iletimde ve tıkanmada kutuplanmada p-n eklemleri
- Diyotun DC analizi (karakteristiği) ve diyot modelleri
- Diyotun AC analizi (dinamik davranışı)
- Çeşitli Diyot Yapıları
- Doğrultucular ve regülatörler

2- Bipolar Jonsiyonlu Transistör (BJT)

- BJT Fiziksel Yapısı ve akım-gerilim ilişkisi
- DC karakteristiği
- BJT Orta Frekans AC karakteristiği (küçük işaret davranışı)
- Hibrid- π eşdeğer Devresi
- BJT kuvvetlendiriciler
- Çok katlı BJT kuvvetlendirici analizi

3- Metal-Oksit-Silisyum Alan Etkili Transistör

(Metal-Oxide Silicon Field Effect Transistor-MOSFET)

- MOS-kapasite Yapısı
- MOSFET Eşik Gerilimi
- MOSFET DC karakteristiği
- MOSFET Orta Frekans AC karakteristiği (küçük işaret davranışı)

- MOSFET'li kuvvetlendiriciler
- Geri katlı MOSFET'li kuvvetlendirici analizi

4- Kuvvetlendirici Frekans Cevabı

Güç ve Faz

- BODE diyagramları

- Açık devre ve kısa devre zaman sabiti tanımı

4.1- BJT'lerin Alçak Frekans Davranışı → (Küçük sinyal etkisi)

- BJT AF eşdeğer devresi ve alt kesim frekansının hesaplanması

4.2- MOSFET'lerin Alçak Frekans Davranışı

- MOSFET AF eşdeğer devresi ve alt kesim frekansının hesaplanması

4.3- BJT'lerin Yüksek Frekans Davranışı

- BJT Y.F. eşdeğer devresi ve üst kesim frekansının hesaplanması

4.4- MOSFET'lerin Yüksek Frekans Davranışı

- MOSFET Y.F. eşdeğer devresi ve üst kesim frekansının hesaplanması
- (Birim kazanç bant genişliği tanımı vs.)

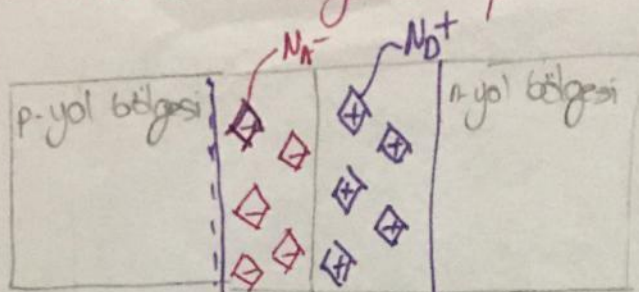
Ref. Kitap- Donald A. Neamen

Microelectronics, Circuit Analysis and Design,
4th Edition, 2010, McGraw Hill.

TEMEL ELEKTRONİK DEĞERLERİ

①

1. Termodinamik dengede p-n eklemi



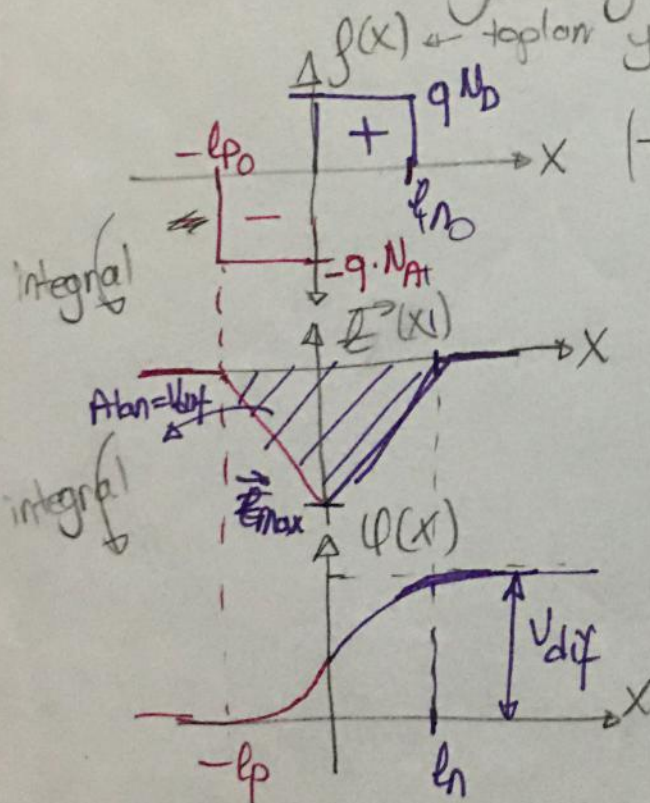
N_A^- ve N_D^+ lar hareketсіз iyon yükleridir, Elektrik alan oluşturur.

\vec{E} : elektrik alan
 E : enerji
 ϕ : potansiyel (gerilim)

$-lp$ ln
uzay yükü bölgesi

* Oda sıcaklığında tüm katkılar iyonlaşmıştır ($N_D^+ = N_D$, $N_A^- = N_A$)
* Yol bölgeleri nötrdür.

Td.D : Sıcaklık değişimi yok ve dışarıdan bir gerilim uygulamıyız.



$$(+Q) = (-Q) \Rightarrow q \cdot N_D \cdot l_n = q \cdot N_A \cdot l_p$$

$$N_D l_n = N_A \cdot l_p$$

$\text{div } \vec{D} = f$ } Tek boyutlu inceleme için $\text{div} \Rightarrow \frac{d}{dx}$
 $\text{div } \vec{E} = \frac{f}{\epsilon_{si}}$

$$\frac{d\vec{E}(x)}{dx} = \frac{f(x)}{\epsilon_{si}} = - \frac{d^2\phi(x)}{dx^2}$$

$$f(x) = \begin{cases} q N_D, & 0 \leq x \leq l_n \\ -q N_A, & -l_p \leq x \leq 0 \end{cases}$$

$$\vec{E}(x) = \begin{cases} \frac{q N_D}{\epsilon_{si}} x + C_1, & 0 \leq x \leq l_n \\ -\frac{q N_A}{\epsilon_{si}} x + C_2, & -l_p \leq x \leq 0 \end{cases}$$

$\vec{E}(x)|_{x=l_n} = 0 \Rightarrow C_1 = -\frac{q N_D l_n}{\epsilon_{si}}$
 $\vec{E}(x)|_{x=-l_p} = 0 \Rightarrow C_2 = -\frac{q N_A l_p}{\epsilon_{si}}$

$$\vec{E}(x) = \begin{cases} \frac{q N_D}{\epsilon_{si}} (x - l_n), & 0 \leq x \leq l_n \\ -\frac{q N_A}{\epsilon_{si}} (x + l_p), & -l_p \leq x \leq 0 \end{cases}$$

~~İki bölge~~ ~~Yöntem~~

$$\phi(x) = - \int \vec{E}(x) dx$$

(2)

$$\phi(x) = \begin{cases} -\frac{qN_D}{\epsilon_{si}} \left(\frac{x^2}{2} - l_{n0}x \right) + C_1 & , 0 \leq x \leq l_{n0} \\ +\frac{qN_A}{\epsilon_{si}} \left(\frac{x^2}{2} + l_{p0}x \right) + C_2 & , -l_{p0} \leq x \leq 0 \end{cases}$$

$x=0$ için iki koldan bulunan potansiyel değerleri eşit olmalıdır. Dolayısıyla $C_1 = C_2$ olmalıdır.

$\phi(-l_{p0}) = 0$ ve $\phi(l_{n0}) = V_{dif}$ sınır değerleri de kullanılarak

$$\phi(-l_{p0}) = -\frac{qN_A}{\epsilon_{si}} \left(\frac{l_{p0}^2}{2} - l_{p0}^2 \right) + C_2 = 0 \Rightarrow C_2 = \frac{qN_A}{2\epsilon_{si}} l_{p0}^2 = C_1$$

$$\phi(l_{n0}) = -\frac{qN_D}{\epsilon_{si}} \left(\frac{l_{n0}^2}{2} - l_{n0}^2 \right) + \frac{qN_A}{2\epsilon_{si}} l_{p0}^2 = V_{dif}$$

$$* \frac{q}{\epsilon_{si}} (N_D l_{n0}^2 + N_A l_{p0}^2) = V_{dif}, \text{ öte yandan } N_D \cdot l_{n0} = N_A \cdot l_{p0}$$

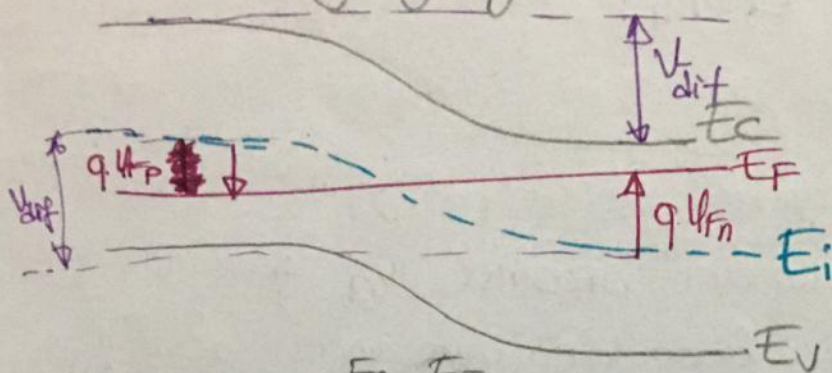
dolayısıyla yukarıdaki denklemden uzay yükü bölgesi uzunlukları bulunur ($l_{n0} = \frac{N_A}{N_D} l_{p0}$ veya $l_{p0} = \frac{N_D}{N_A} l_{n0}$ yazılarak)

$$l_{n0} = \sqrt{\frac{2\epsilon_{si}}{qN_D} \cdot \frac{1}{1 + \frac{N_D}{N_A}} \cdot V_{dif}} = \sqrt{\frac{2\epsilon_{si}}{qN_D} \cdot \frac{N_A}{N_A + N_D} \cdot V_{dif}}$$

$$l_{p0} = \sqrt{\frac{2\epsilon_{si}}{qN_A} \cdot \frac{1}{1 + \frac{N_A}{N_D}} \cdot V_{dif}} = \sqrt{\frac{2\epsilon_{si}}{qN_A} \cdot \frac{N_D}{N_A + N_D} \cdot V_{dif}}$$

$$l_0 = l_{n0} + l_{p0} = \sqrt{\frac{2\epsilon_{si}}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \cdot V_{dif}}$$

Enerji - Bant Diyagramı incelendiğinde p-n eklemının (3) termodinamik dengede Fermi seviyesi değişmeyeceğinden bantların eğildiği gözlenir.



Hatırlatma:

$$\vec{E}(x) = - \frac{d\phi(x)}{dx}$$

elektrik alan $\frac{dx}{dx}$

$$E(x) = -q\phi(x)$$

enerji [eV] ϕ [V]

$$n(x) = N_c e^{-\frac{E_c - E_F}{kT}}$$

$$p(x) = N_v e^{-\frac{E_F - E_v}{kT}}$$

Daha önce Fermi seviyesi veya $n(x), p(x)$ 'i E_c veya E_v bandını referans alarak hesaplıyorduk.

E_c : iletim bandının alt kenarı

E_v : Valans bandının üst kenarı

E_i : Öziletim Fermi S.

E_F p-n. eklemının Fermi S.

p-n eklemi için ise hem elektron hem delik yoğunluğunu hesaplamamız gerektiğinden hesaplarda kolaylık olması açısından $n(x)$ ve $p(x)$ yoğunluklarını n_i ve E_i referanslarına göre hesaplayacağız.

$$n(x) = n_i e^{\frac{E_F - E_i}{kT}}, \quad q\phi_{Fn} = E_i - E_F \Rightarrow n(x) = n_i e^{-\frac{q\phi_{Fn}}{kT}}$$

$$n(x) = n_i e^{-\frac{\phi_{Fn}}{V_{Th}}} \Rightarrow n(x) = N_p \Rightarrow \phi_{Fn} = -V_{Th} \ln\left(\frac{N_p}{n_i}\right)$$

$$V_{Th} = \frac{kT}{q} : \text{ısıl gerilim [V]} \quad \left. \begin{array}{l} T = T_0 \Rightarrow 26 \text{ mV} \\ \text{ısı enerji: } kT [\text{eV}] \\ T = T_0 \Rightarrow 26 \text{ meV} \end{array} \right\}$$

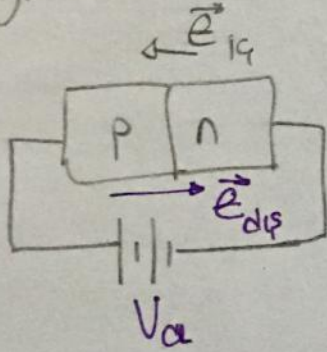
$$p(x) = n_i e^{\frac{E_i - E_F}{kT}}, \quad q\phi_{Fp} = E_i - E_F$$

$$p(x) = n_i e^{\frac{q\phi_{Fp}}{kT}} = n_i e^{\frac{\phi_{Fp}}{V_{Th}}} = N_A \Rightarrow \phi_{Fp} = V_{Th} \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)$$

$$V_{dif} = |U_{Fp}| + |U_{Fn}| = V_{th} \ln \left(\frac{N_D \cdot N_A}{n_i^2} \right) \quad \text{Temas potansiyali (built-in potential)} \quad (4)$$

İletim - Yönünde p-n Etkemi:

İletim yönünde kutuplama, p-n etkeminin p tarafına pozitif, n tarafına negatif gerilim uygulanarak yapılan kutuplamadır. p ve n uçları arasında V_a gerilimi uyguladığınızı kabul edelim. Dışarıdan uygulanan gerilim sebebiyle oluşan elektrik alan, sistem iç yapısından dolayı oluşan elektrik alanı azaltacak yöndedir. Bu durumda p'den n'e delik enjeksiyonu ve n'den p'ye elektron enjeksiyonu mümkün hale gelir ve sistemden akım akar.



Hatırlatma: Katılarda 2 temel atom mekanizması bulunur

1. Elektrik Alan etkisiyle sürüklenme Akımı (drift current field current)

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \rightarrow \text{Elektrik alan}$$

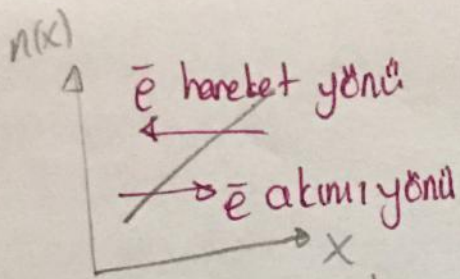
akım yoğunluğu σ iletkenlik

$$\vec{J}_F = \vec{J}_{nF} + \vec{J}_{pF} = q \cdot \mu_n \cdot n(x) \vec{E} + q \cdot \mu_p \cdot p(x) \vec{E}$$

2. Taşıyıcı yoğunluk farkı (gradyanı) etkisiyle difüzyon akımı (diffusion current)

$$\vec{J}_{Dif} = \vec{J}_{nDif} + \vec{J}_{pDif} = q \cdot D_n \frac{dn(x)}{dx} - q \cdot D_p \frac{dp(x)}{dx}$$

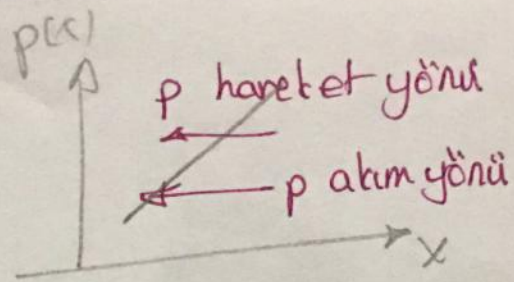
(5)



\bar{e} akım yönü gradyan
artış yönüyle aynıdır.

$$J_{ndif} = +q D_n \frac{dn(x)}{dx}$$

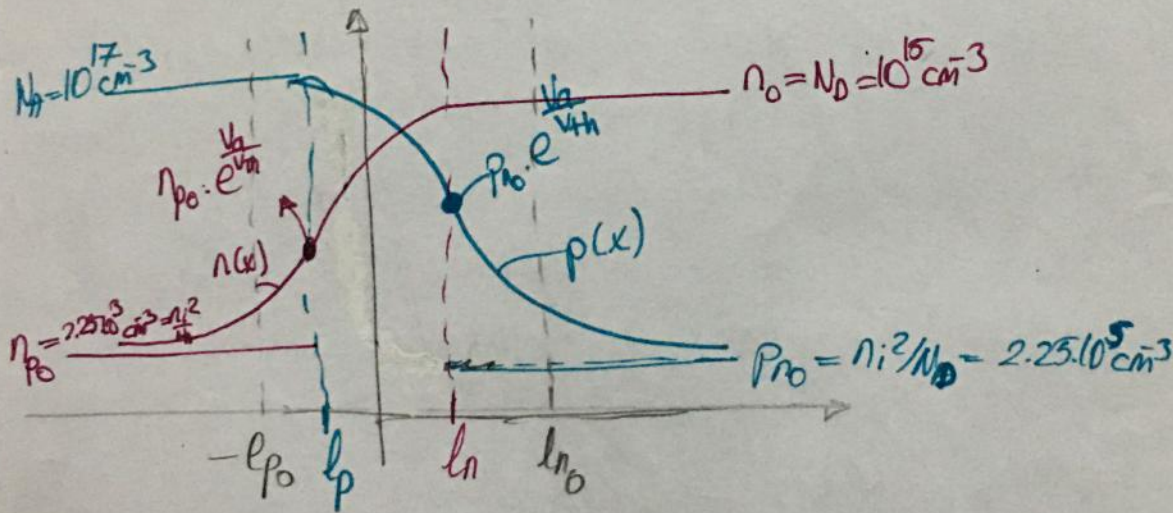
$$D_n = \mu_n \cdot V_{th} : \text{difüzyon katsayısı}$$



delit akım yönü gradyanın
azalma yönündedir dolayısıyla

$$J_{pdif} = -q D_p \frac{dp(x)}{dx}$$

$$D_p = \mu_p \cdot V_{th} = \text{difüzyon katsayısı}$$



$$p(l_n) = p_{n0} e^{\frac{V_0}{V_{th}}}, \quad n(-l_p) = n_{p0} e^{\frac{V_0}{V_{th}}}$$

$p(x) - p_{n0}$: iletim yönünde kutuplama sayesinde n-yol bölgesine enjekte edilen ekstra delik yoğunluğu.

$n(x) - n_{p0}$: iletim yönünde kutuplama sayesinde p-yol bölgesine enjekte edilen ekstra elektron yoğunluğu.

$$p(x) - p_{n0} = p_{n0} \left(e^{\frac{V_0}{V_{th}}} - 1 \right) \cdot e^{-\frac{x - l_n}{L_p}}$$

deliklerin
difüzyon
uzaklığı
 $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$

$$n(x) - n_{p0} = n_{p0} \left(e^{\frac{V_a}{V_{th}}} - 1 \right) \cdot e^{\frac{x+l_p}{L_n}}$$

(6) L_n elektronların dif. uzunluğu

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} \quad \tau_n: \text{ortalama ömür}$$

Hareketli yük taşıyıcılarının değerlerini bu şekilde ifade ettikten sonra akım yoğunluğu ifadelerine geçebiliriz. (Hatırlatma: p-n eklemi seri bir eleman olduğuna göre eklemnin herhangi bir kesitindeki toplam akım yoğunluğu bir başka kesitteki toplam akım yoğunluğuna eşittir. Öte yandan $x = l_n$ ve $x = -l_p$ noktalarında elektrik alan değeri sıfıra düştüğünden bu noktadaki alan akımları sıfır kabul edilir. Diğer bir deyişle dışarıdan uygulanan gerilim ve elektrik alanı p-n eklemnin uzay yükü bölgesine düşer kabul edilir, yol bölgelerinin direnci uzay-yükü bölgesine göre oldukça düşüktür).

$$J_{\text{toplam}} = J_{\text{dif}}(x) \Big|_{x=l_n} + J_{\text{dif}}(x) \Big|_{x=-l_p}$$

toplam akım yoğunluğu

$$J_{\text{toplam}} = -q \cdot D_p \cdot \frac{dp(x)}{dx} \Big|_{x=l_n} + q \cdot D_n \cdot \frac{dn(x)}{dx} \Big|_{x=-l_p}$$

$$J_{\text{toplam}} = + \frac{q D_p p_{n0}}{L_p} \left(e^{\frac{V_a}{V_{th}}} - 1 \right) \cdot e^{-\frac{x-l_n}{L_p}} \Big|_{x=l_n}$$

$$+ \frac{q D_n n_{p0}}{L_n} \left(e^{\frac{V_a}{V_{th}}} - 1 \right) e^{\frac{x+l_p}{L_n}} \Big|_{x=-l_p}$$

⑦

$$J_{\text{toplarn}} = \left[\frac{q D_p p_{n0}}{L_p} + \frac{q D_n n_{p0}}{L_n} \right] \cdot (e^{\frac{V_a}{V_{th}}} - 1)$$

I_S : felkora akom

$$\bar{I}_{\text{toplam}} = A \cdot J_{\text{toplam}} = A \cdot q \cdot \left(\frac{D_p \cdot p_{n0}}{L_p} + \frac{D_n \cdot n_{p0}}{L_n} \right) \cdot (e^{\frac{V_a}{V_{th}}} - 1)$$

akemin
geçtiği kesit alanı

$$D_p = \mu_p \cdot V_{th}, \quad D_n = \mu_n \cdot V_{th}, \quad \varphi = \sqrt{\frac{q}{C_{ox}}}, \quad L_p = \sqrt{\frac{D_p}{f_0}}$$

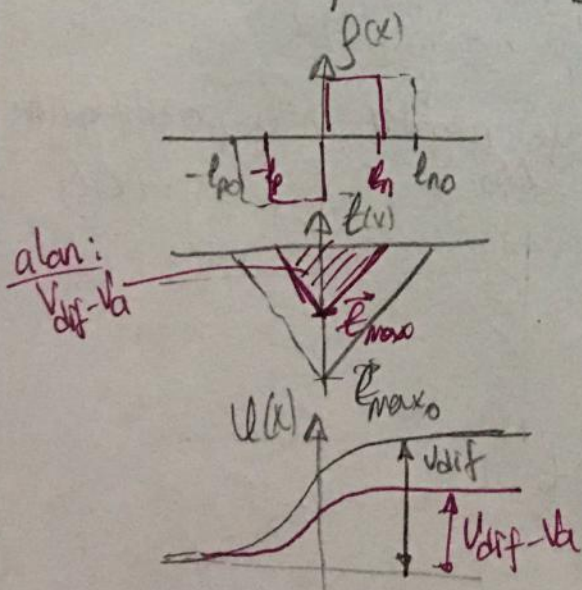
$$I_{D_{\text{yot}}} = I_s \cdot \left(e^{\frac{V_{D_{\text{yot}}}}{V_{th}}} - 1 \right)$$

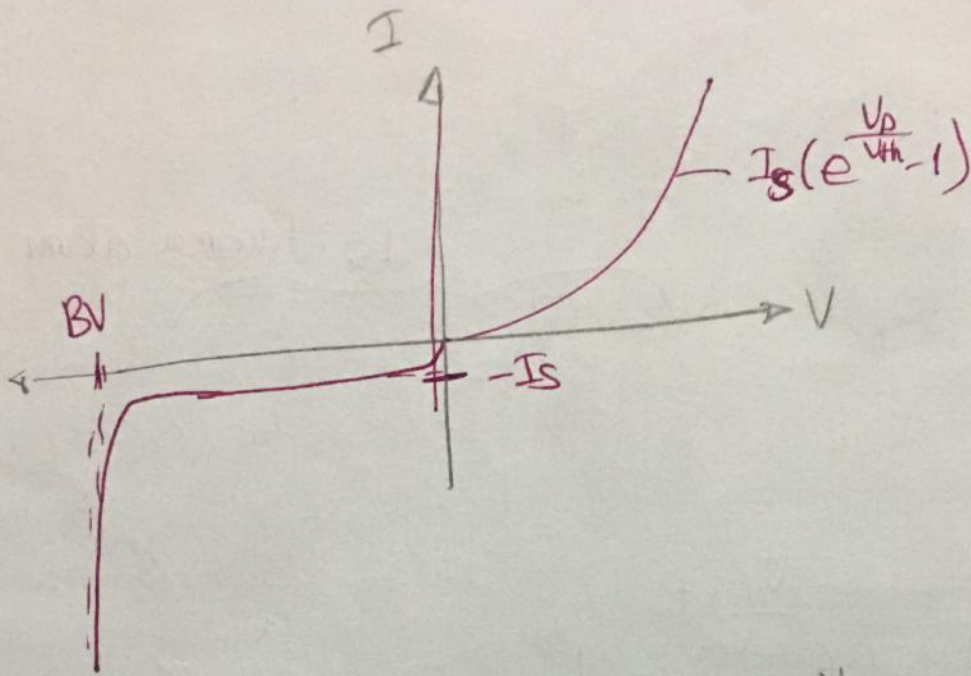
$V_{\text{diyot}} \geq 4V_{th} \approx 100\text{mV}$ için üstel fadenin yanındaki 1 de (haval) edilebilir

$$l_n = \sqrt{\frac{2\epsilon_{si}}{qN_D} \cdot \frac{N_A}{N_A + N_D} \cdot (V_{diff} - V_a)}$$

$$l_p = \sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}}{qN_A} \cdot \frac{N_D}{N_A + N_D} \cdot (V_{dif} - V_a)}$$

$$l = \sqrt{\frac{2\epsilon_0 \epsilon_i}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (V_{df} - V_a)} \quad , \quad l_{max} = - \frac{2(V_{df} - V_a)}{l}$$

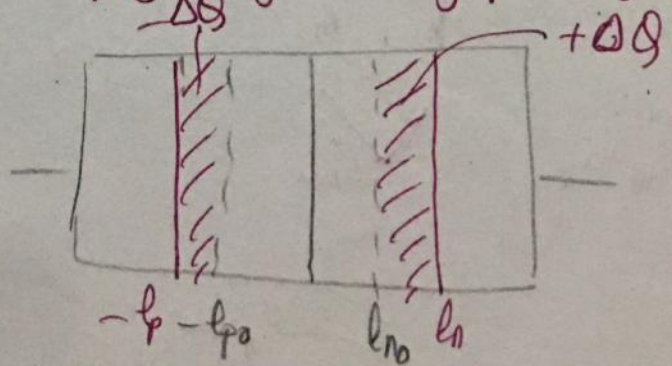
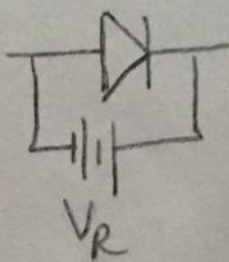
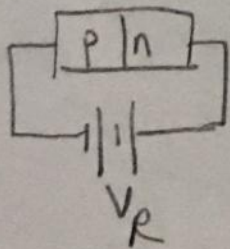




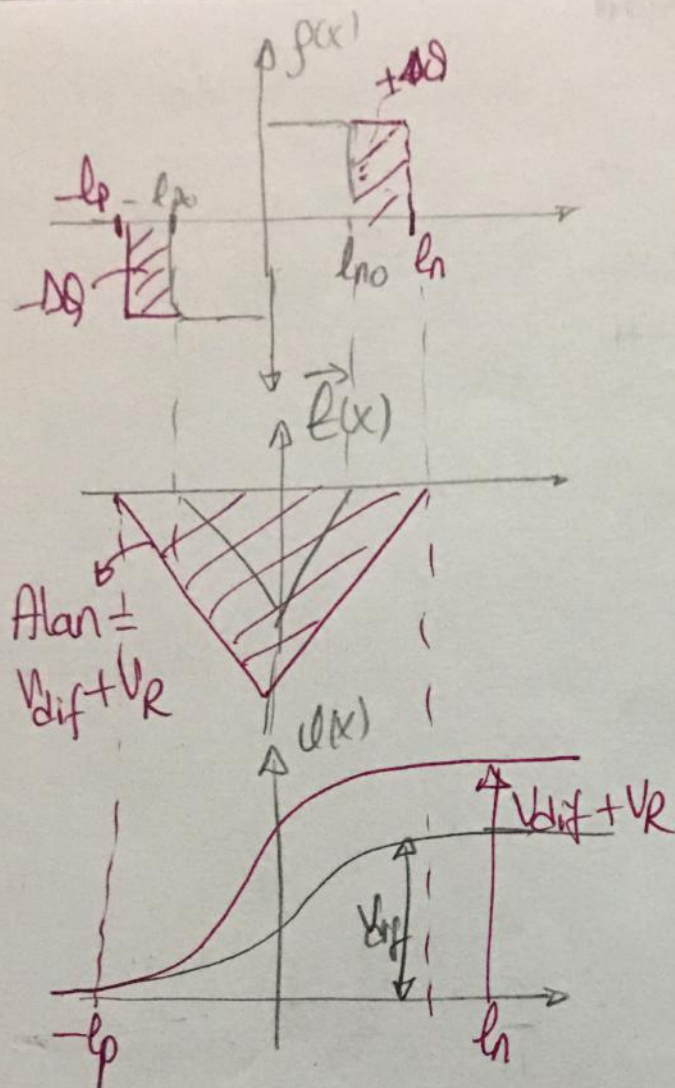
Diğerot iletim yönünde $I_D = I_s(e^{\frac{V_D}{V_{th}}} - 1) \approx I_s e^{\frac{V_D}{V_{th}}}$

karakteristiğini takip eder, tıkanma yönünde ise pratik olarak açık devre davranır, yalnızca I_s gibi bir tıkanma akımı akıtır. I_s 'in değeri pA-fA mertebesinde. Tıkanma yönünde belli bir BV gerilimi aşıldığında diğerot üzerinden çok yüksek akım geçer, bir direnç vs ile sınırlanmamışsa diğerot yanar. Bu BV gerilimine kırılma gerilimi veya belverme gerilimi denir (breakdown voltage). Kırılma bölgesinde çalışan ve özel kırılma gerilimine sahip diğerotlara zener - Diğerot denir.

13. Tıkanma yönünde p-n eklemini: p'ye negatif, n'ye pozitif gerilim.



(9)



$$l_n = \sqrt{\frac{2\epsilon_{si}}{qN_D} \cdot \frac{N_A}{N_A + N_D} (V_{dif} + V_R)}$$

$$l_p = \sqrt{\frac{2\epsilon_{si}}{qN_A} \cdot \frac{N_D}{N_A + N_D} (V_{dif} + V_R)}$$

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

$$E_{max} = - \frac{2(V_{dif} + V_R)}{l}$$

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_{th}}} - 1 \right) = I_S \left(e^{\frac{-V_R}{V_{th}}} - 1 \right) \approx -I_S$$

≈ 0 ihmal

Dışarıdan uygulanan gerilim, sistemin iç yapısından dolayı oluşan gerilimi arttırıcı yönde etki eder, dolayısıyla yol bloklarına yük taşıyıcı enjeksiyonu mümkün olmaz. Tıkama yönünde gerilimin artması sistemde bir yük artışına sebep olur. Eğer gerilim ile yük değişimi yarattıkça yorsa bu sistem bir kapasite ile modellenebilir dolayısıyla tıkama yönünde diyotun tıkama kapasitesi önemlidir.

$$C_J = \frac{C_{J0}}{\sqrt{1 + \frac{V_R}{V_{dif}}}}$$

C_J : Jontsiyon kapasitesi
yani termodinamik değeri
 C_{J0} : gerilim uygulanmamış durumdaki
Jontsiyon kapasitesi

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{l} \Rightarrow C_{J0} = \epsilon_{Si} \cdot \frac{A}{l_0} \leftarrow \text{kat alanı}$$

$$C_{J0} = \epsilon_{Si} \frac{A}{\sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}}{q} \cdot \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right) \cdot V_{dif}}}$$

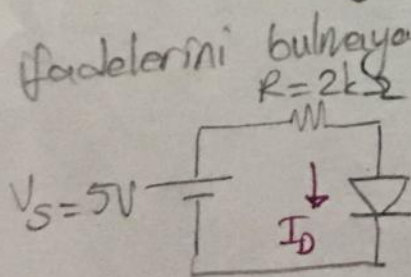
$$C_J = \epsilon_{Si} \cdot \frac{A}{\sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right) \cdot (V_{dif} + V_R)}} = \frac{C_{J0}}{\sqrt{1 + \frac{V_R}{V_{dif}}}}$$

Diyot kapasitesi diyotun anahtarlarına özelliklerini ve sınırları belirler.

1.4.1. DC Analiz ve Diyot Modelleri

1.4.1.1. DC Analiz ve Diyot Modelleri

Diyotun I-V karakteristiği nonlineer olduğundan dolayı DC analiz sırasında işlemleri kolaylaştırmak için eşitli basitleştirilmiş (ve genellikle lineerleştirilmiş) diyot modelleri kullanılır. Aşağıdaki basit diyotlu devredeki akım-gerilim ifadelerini bulunuz.



görsel: Diyotun karakteristik akımı $I_S = 10^{-13} A$ olarak verilmiştir.

$$V_S = I_D \cdot R + V_D, \quad I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_{th}}} - 1 \right)$$

$$V_S = I_S \cdot R \cdot \left(e^{\frac{V_D}{V_{th}}} - 1 \right) + V_D$$

Tek bilinmeyen V_D olmasına rağmen ifade hem lineer hem üstel terimler içerdiğinden çözümü karmaşıktır. Bu durumda grafik çözüm veya iteratif çözümden yararlanılır.

iteratif çözüm (deneme-yanılma yöntemi)

$$I_S \cdot R \cdot (e^{V_D/V_{Th}} - 1) + V_D - V_S = 0 = f(V_D) \text{ diyelim}$$

V_D diyot gerilimine değerler verilerek $f(V_D)=0$ olan nokta aranır

$$\frac{10^{-13} \cdot 2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-10}} e^{V_D/V_{Th}} + V_D - 5V = 0 = f(V_D)$$

V_D	0.6V	0.65V	0.62V	0.615V	0.619V
$f(V_D)$	-2.296	10.05	0.162V	-0.638V	-0.01
	negatif	pozitif			$\Downarrow \approx 0$

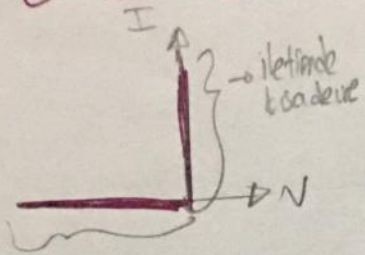
$$V_D = 0.619V$$

tam sonuç bu iki değer arasında

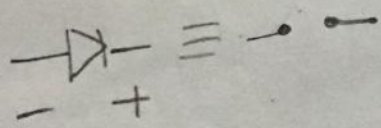
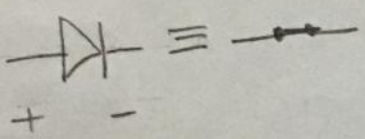
$$I_D = I_S e^{V_D/V_{Th}} = \frac{V_S - V_D}{R} = 2.19mA$$

Görüldüğü gibi basit bir devre için bile nonlineer diyot karakteristikleri ile işlem yapmak oldukça karmaşıktır. DC analizde diyotun eşitli basitleştirilmiş modelleri kullanılır.

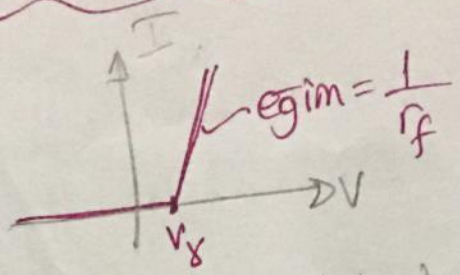
İdeal Diyot



Tıkanmada açık devre, tüm tıkanma gerilimleri için akım sıfır. İletimde ksa devre, tüm akım değerleri için diyot gerilimi sıfır.

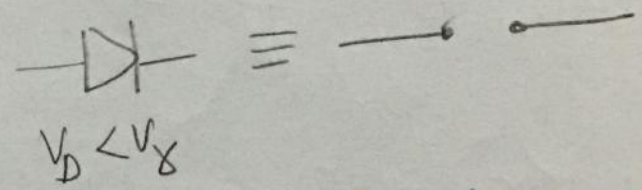
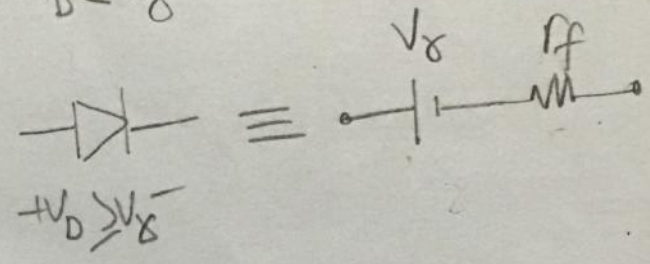


Parçalı Lineer Model

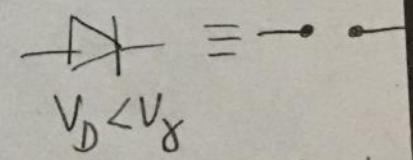
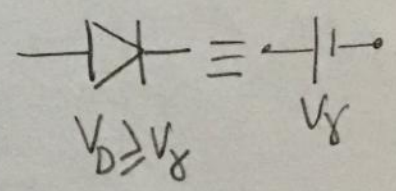
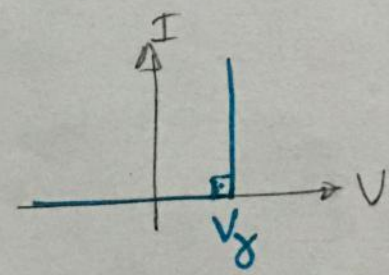


$V_D \geq V_g$ için iletimde

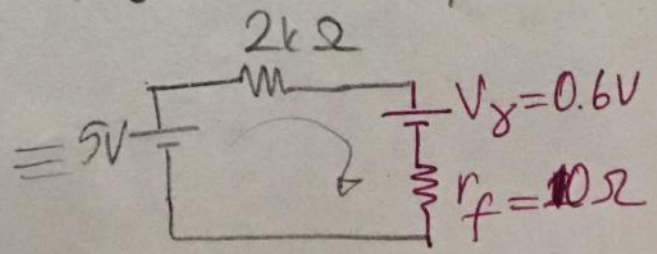
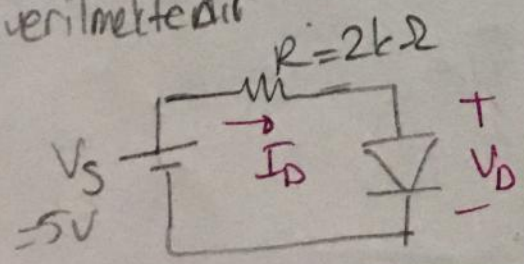
$V_D < V_g$ için tıkanmada



Parçalı Lineer Model, $r_f = 0$ ile



Örnek: İlk örneğimizdeki devreyi parçalı lineer diyot modeli kullanarak çözelim $V_g = 0.6V$ ve $r_f = 10\Omega$ olarak verilmektedir



$$I_D = \frac{V_S - V_X}{R + r_f} = \frac{5 - 0.6}{2 \cdot 10^3 + 10} = 2.19 \text{ mA}$$

ve diyet gerilimi $V_D = V_X + I_D r_f = 0.6 + 2.19 \cdot 10^{-3} \cdot 10$

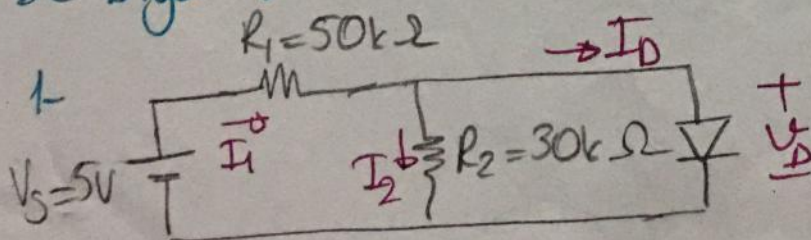
$$V_D = 0.6219 \text{ V}$$

Buradan da görüldüğü üzere parçalı lineer model kullanarak yapılan analiz sonucu gerçek nonlinear karakteristik kullanılarak yapılan sonuçlara çok yakın çıkmaktadır ve analiz yöntemi nonlinear karakteristik kullanarak yapılan-
dan kat kat basittir. Genellikle tam sonuçtan bir miktar
öden vermek pahasına analizin kolaylaştırılması tercih edilir.

Örnekte r_f direnci R yanında çok düşük olduğundan I_D akım değeri r_f 'ten bağımsız kabul edilebilir. Hatta V_X değeri 0.7 V kabul edilseydi I_D akımı 2.15 mA bulunacaktı, ki bu da önceki sonuçlardan çok farklı değildir. Dolayısıyla bir Si diyotun eşik gerilimi aksi belirtilmedikçe

$V_X = 0.7 \text{ V}$ ve iletim direnci $r_f = 0$ alınır.

DC Diyet Karakteristikleri ile ilgili örnekler:



Diyot tıkanma akımı

$I_S = 10^{-13} \text{ A}$ olarak
verildiğine göre $I_D, V_D = ?$

$$I_1 = I_2 + I_D$$

$$\frac{V_S - V_D}{R_1} = \frac{V_D}{R_2} + I_S (e^{\frac{V_D}{V_{Th}}} - 1)$$

ihmal

$$-V_S + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)V_D + R_1 I_S e^{\frac{V_D}{V_{Th}}} = 0 = f(V_D)$$

$$-5V + 2.66V_D + 5 \cdot 10^{-9} e^{\frac{V_D}{26mV}} = 0 = f(V_D)$$

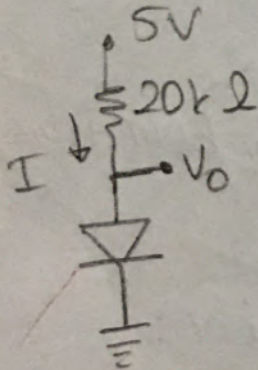
V_D	0.6	0.5	0.55	0.53
$f(V_D)$	49.216	-2546	4.154	-0.02 ≈ 0

$$V_D = 0.53V$$

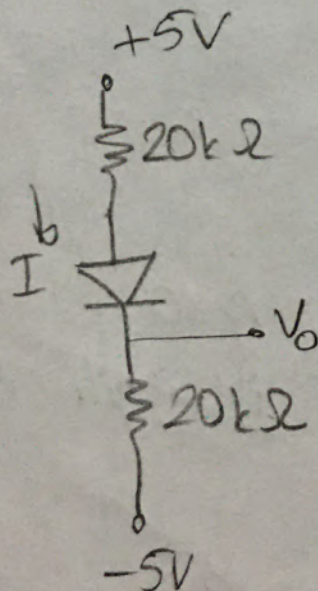
$$I_D = I_S e^{\frac{V_D}{V_{Th}}} = 0.071mA = 71\mu A$$

2 a, b, c ve d' de verilen devrelerde

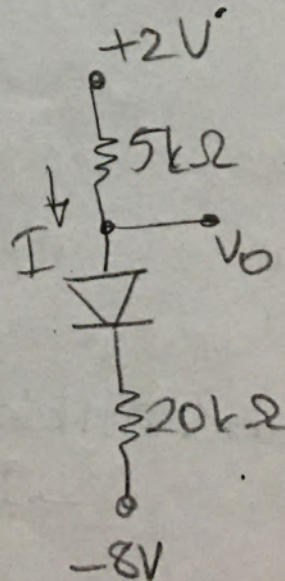
(i) $V_D = 0.7V$ ve (ii) $V_D = 0.6V$ için I ve V_o değerlerini bulunuz.



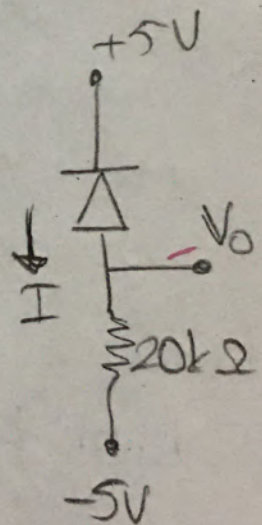
(a)



(b)



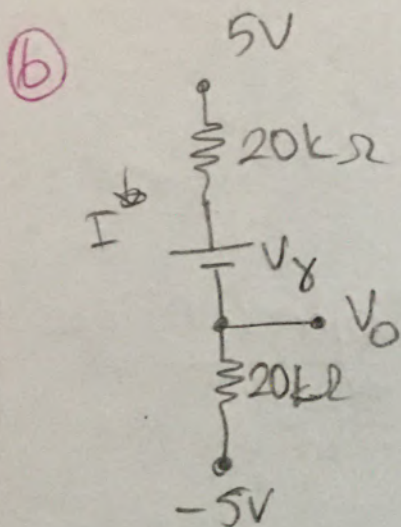
(c)



(d)

(a) i. $V_g = V_o = 0.7V$ $I = \frac{5 - V_o}{20k} = 0.215mA$

ii. $V_g = V_o = 0.6V$ $I = \frac{5 - V_o}{20k} = 0.22mA$



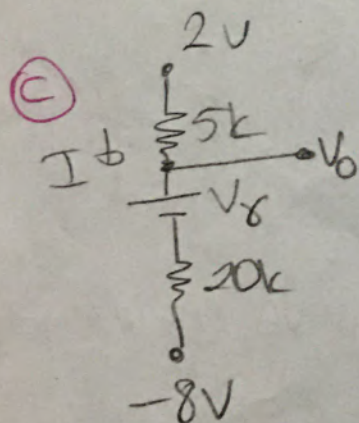
$$-5 + I \cdot 20k + V_g + I \cdot 20k - 5 = 0$$

$$I = \frac{5 - (-5) - V_g}{40k} = \frac{10 - V_g}{40k}$$

$$V_o = I \cdot 20k + (-5V)$$

i. $I = 0.2325mA$, $V_o = -0.35V$

ii. $I = 0.235mA$, $V_o = -0.3V$



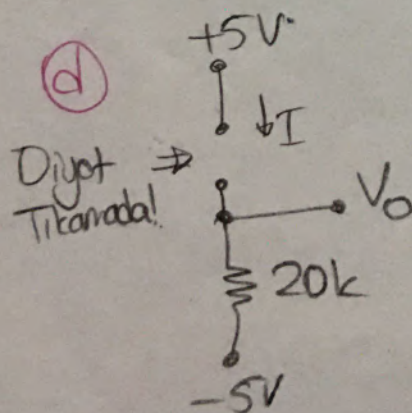
$$-2 + I \cdot 5k + V_g + I \cdot 20k - 8V = 0$$

$$I = \frac{10 - V_g}{25k}$$

$$V_o = 2 - I \cdot 5k = -8 + I \cdot 20k + V_g$$

i. $I = 0.372mA$, $V_o = 0.14V$

ii. $I = 0.376mA$, $V_o = 0.12V$



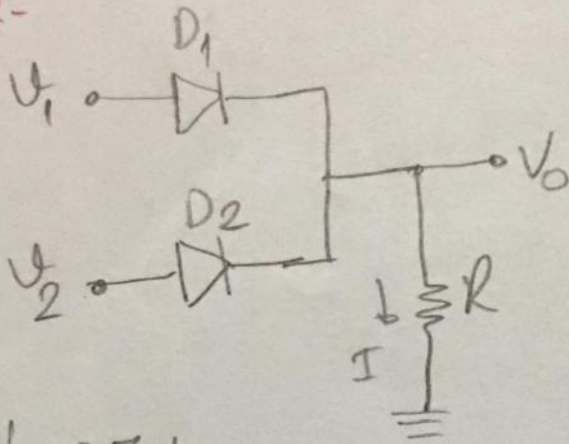
i. $I = 0$, $V_o = -5V$

ii. $I = 0$, $V_o = -5V$

3- Diyotlu lojik devre örnekleri:

(16)

a-

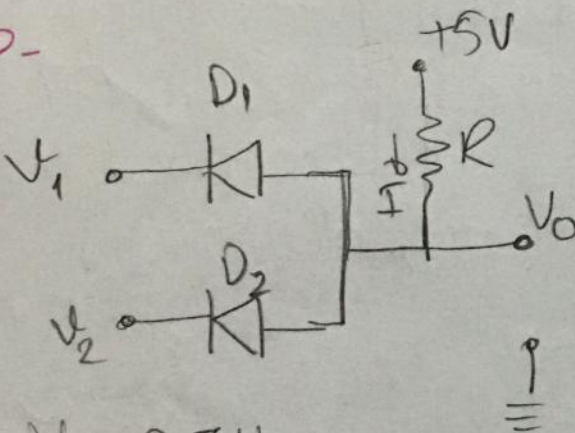


$$V_g = 0.7V$$

D_1	D_2	$V_1(V)$	$V_2(V)$	$V_0(V)$
off	off	0	0	0
on	off	5	0	4.3
off	on	0	5	4.3
on	on	5	5	4.3

Lojik veya (OR) kapısı

b-

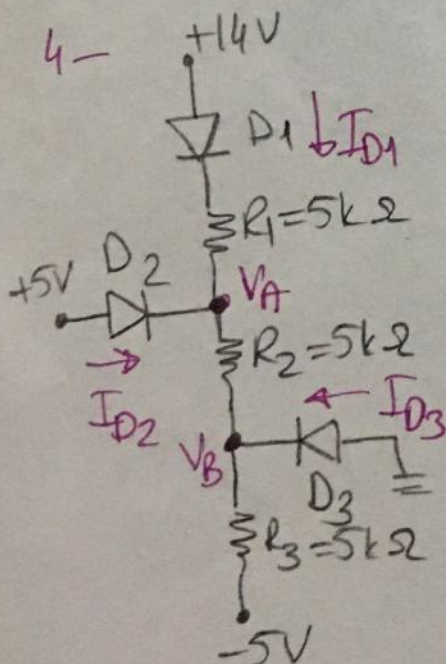


$$V_g = 0.7V$$

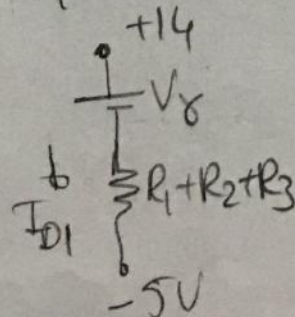
D_1	D_2	$V_1(V)$	$V_2(V)$	$V_0(V)$
on	on	0	0	0.7
off	on	5	0	0.7
on	off	0	5	0.7
off	off	5	5	5

Lojik ve (AND) kapısı

4-



D_1, D_2 ve D_3 için $V_g = 0.7V$ alarak $I_{D1}, I_{D2}, I_{D3}, V_A$ ve V_B 'yi bulunuz.
 D_1 iletir, D_2 ve D_3 tıkanır kabul edelim



$$I_{D1} = \frac{14 - V_g}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{13.3}{15k}$$

$$I_{D1} = 1.022mA$$

$$V_A = 14 - 0.7 - I_{D1} \cdot 5k$$

$$V_A = 7.2V$$

(kabul doğru) $\rightarrow V_A > 5V \Rightarrow D_2$ tıkanır

$$V_B = -5V + I_{D1} R_3 = -5 + 1.22.5 = 1.1V$$

$$V_B > 0 \Rightarrow D_3 \text{ tıkmamış, kabul doğru}$$

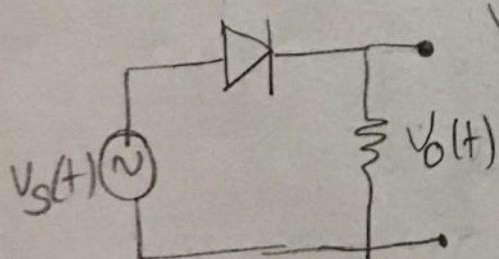
$$I_{D1} = 1.22 \text{ mA}, I_{D2} = I_{D3} = 0, V_A = 7.2V, V_B = 1.1V$$

1.4.2 Diyotun ~~Alternatif~~ İşaretlerin için incelenmesi

1.4.2.1 ^(kaynak) İşaret Periyodu $T \gg \tau_n, \tau_p$ ve genliği büyük ise:

Kaynak işaretinin periyodu τ_n, τ_p yanında çok büyük olduğundan gerilim farkı nedeniyle oluşacak yük ve kapasite değişimleri ihmal edilir. Ayrıca işaretin genliği yaklaşık $5V_g \sim 10V_g$ 'dan büyükse o zaman diyotun V_g gerilimi de yaklaşık sıfır kabul edilebilir, yani diyot ideal kabul edilir.

Örneğin Diyotlu tek yöllü doğrultucuda:



$$V_g = 0.7V, v_s(t) = 5V \cdot \sin(\omega t) \quad \omega = 2\pi \cdot 10^3 \text{ olsun}$$

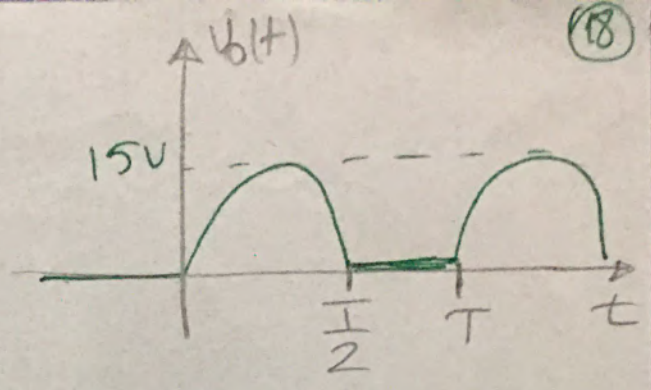
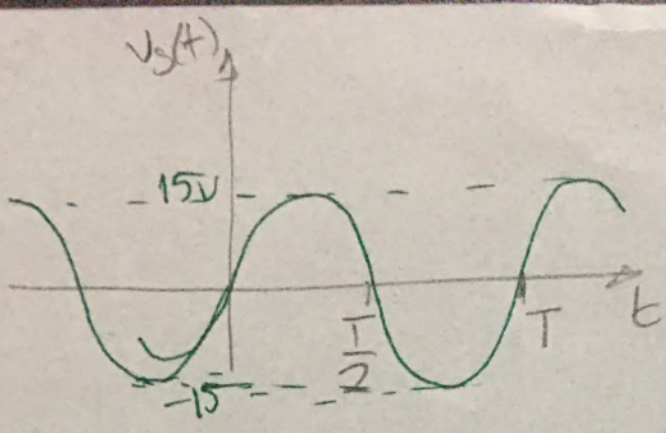
$$f = 1 \text{ kHz} \Rightarrow T = 1 \text{ ms}$$

diyotun τ_n, τ_p değerleri μs veya birkaç yüz ns mertebesinde dir.

$$\text{dolayısıyla } T \gg \tau_n, \tau_p$$

$$15V \gg 0.7V \Rightarrow \text{diyot ideal kabul edilebilir}$$

Büyük İşaret!



Kaynak işaretinin genliği V_s 'ya göre büyük değilse normal diyot karakteristiği geçerlidir. $I_D = I_S(e^{\frac{V_D}{V_m}} - 1)$

Örneğin, $V_s = 2V \sin(\omega t)$ olsun;

