$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$

ℓ → uzunluk (cm)
A → alan (cm^2)
R → direnç (Ω)
ρ → özdirenç ($\Omega.cm$)

$\rho_{bakır} \approx 10^{-6}\ \Omega.cm$ (iletken) $\rho_{germanyum} \approx 50\ \Omega.cm$ (Yarıiletken)

$\rho_{silisyum} \approx 50 \times 10^{3}\ \Omega.cm$ (Yarıiletken)

$\rho_{mika} \approx 10^{12}\ \Omega.cm$ (Yalıtkan)

Atom → Elektronlar (- yüklü)
Atom → Çekirdek → Protonlar (+ yüklü)
Atom → Çekirdek → Nötronlar (yüksüz)

Proton sayısı atom numarasını verir.
Proton ve nötron sayıları toplamı kütle numarasını verir.

Elektronlar çekirdek etrafındaki yörüngelerde dolanırlar. Atomun elektronlarının bulunduğu en dış yörüngesine valans yörünge, bu yörüngede dolanan elektronlara da valans elektronlar denir. Valans elektronlar atomun elektriksel davranışında önem taşırlar.

Valans yörüngesindeki elektron sayısı 4'ten az olan basit maddelere iletken denir. Bütün metaller iletkendir ve elektrik akımını iletirler. İletkenlerin son yörüngesinde bulunan valans elektronlar yörüngelerinden çok kolay bir şekilde ayrılabilirler. Valans elektron sayısı ne kadar az ise iletkenlik o kadar fazladır.

Valans elektron sayısı 4'ten fazla olan basit maddelere yalıtkan denir. Yalıtkanlar, elektrik akımına karşı büyük direnç gösterirler. Cam, Porselen, Plastik, Kauçuk vb. maddeler yalıtkandır.

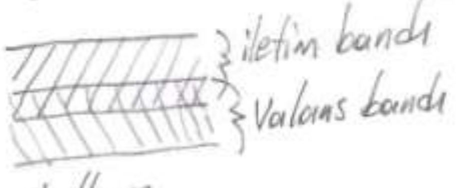
Son yörüngesinde 4 elektron bulunan basit maddelere yarıiletken denir. En çok kullanılanlar: Silisyum, Germanyum, Selenyum, Sülfür, Bakır oksit, Çinko oksit, Kurşun Sülfit, Kadmiyum sülfittir.

• 2 8 3 Aliminyum iletkendir. 13 elektron

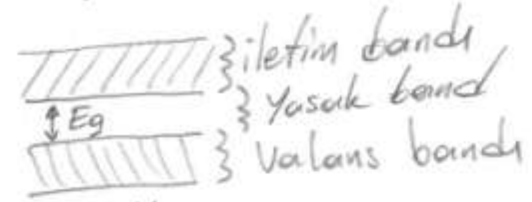
• 2 8 18 1 Bakır iletkendir 29 elektron

$2n^2$ formülü

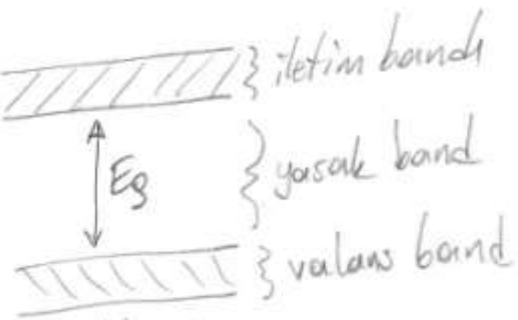
Bir maddeyi iletken hale getirmek için dışarıdan bir enerji uygulanması gerekir. Bu enerji 3 ayrı enerji bandının oluşmasını sağlar. iletim bandı, Yasak band, Valans bandı



iletken



yarıiletken



yalıtkan

$E_g > 5\ eV$ (Yalıtkan)

$E_g = 1.1\ eV$ (Si)

$E_g = 0.67\ eV$ (Ge)

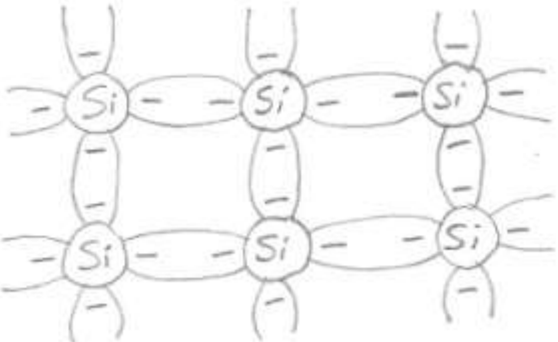
$$W = QV = \underbrace{(1.6 \times 10^{-19}\ C)}_{\text{1 elektron yükü}} \times \underbrace{(1V)}_{\text{1 Volt}} = 1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$$

Elektronlar, çekirdekten ne kadar uzak ise, enerji durumları da o derece yüksektir. Ana atomdan ayrılmış bir elektron atomik yapıdaki herhangi bir elektrondan daha yüksek bir enerji durumuna sahiptir.

• 2 8 4 Si atomu 14 elektrona sahiptir.	• 2 8 18 4 Ge atomu 32 elektrona sahiptir.	Si ve Ge atomları dış yörüngelerinde 4 valans elektrona sahip olduklarından yarıiletkendirler.

Yarıiletken malzemelerin karakteristikleri, nispeten saf yarıiletken malzemeye bazı katkı atomları ilave edilerek önemli ölçüde değiştirilebilir.

Si ve Ge, 10 milyarda 1 gibi, çok yüksek bir saflık düzeyinde üretilebilmektedir. Si ve Ge maddesine milyonda 1 gibi bir katkı ilavesi, onları nispeten iyi bir iletkene dönüştürmektedir.



Dış yörüngedeki valans elektronların paylaşımıyla oluşan bağa **kovalent bağ** denir.
Dış yörünge 8'e tamamlanmış olur.

Her ne kadar Kovalent Bağ, valans elektronlarıyla ana atomlar arasında daha sağlam bir bağlaşıma sebep olsa da, valans elektronların doğal sebeplerle yeteri kadar kinetik enerji alıp kovalent bağdan koparak serbest hale geçmesi mümkündür.

Oda sıcaklığında, 1 cm^3 öz Si maddesinde yaklaşık 1.5×10^{10}, öz Ge maddesinde ise 2.5×10^{13} serbest taşıyıcı vardır.

Öz maddeler, katkıları çok düşük bir düzeye düşürmek amacıyla modern teknoloji ile mümkün olan en yüksek saflıkta rafine edilmiş yarıiletkenlerdir.

Katkılı Malzeme : Yarıiletken maddeye dışarıdan yabancı bir madde katılırsa iletkenliği katılan maddenin özelliğine göre oldukça değişir. Yarıiletken kristalin her 16 gramına, 1 gramın milyonda biri kadar yabancı madde atomu katılmalıdır.

N tipi malzeme

Si ve Ge gibi bir yarıiletken malzemeye 5 valans elektronlu yabancı atomlar eklenmesiyle elde edilir. 4 valans elektron kolavent bağa katılır. 5. elektron serbest haldedir. Bu elektronun atomdan ayrılması kolay olduğundan akım taşıyıcı olarak kullanılır. Bu elektronu koparmak için 0.01 eV enerji yeterlidir.
Oda sıcaklığında, bir öz Si malzemede her 10^{12} atoma yaklaşık 1 serbest elektron düşer. Katkı düzeyi 10 milyonda bir olursa $10^{12}/10^{7} = 10^{5}$, yani taşıyıcı yoğunluğu 100.000 kez artar. Aynı sıcaklıkta, öz Ge malzemede her 10^{9} atoma yaklaşık 1 serbest elektron düşer.
Taşıyıcı yoğunluğu ne kadar fazla ise iletkenlik o derece iyidir.

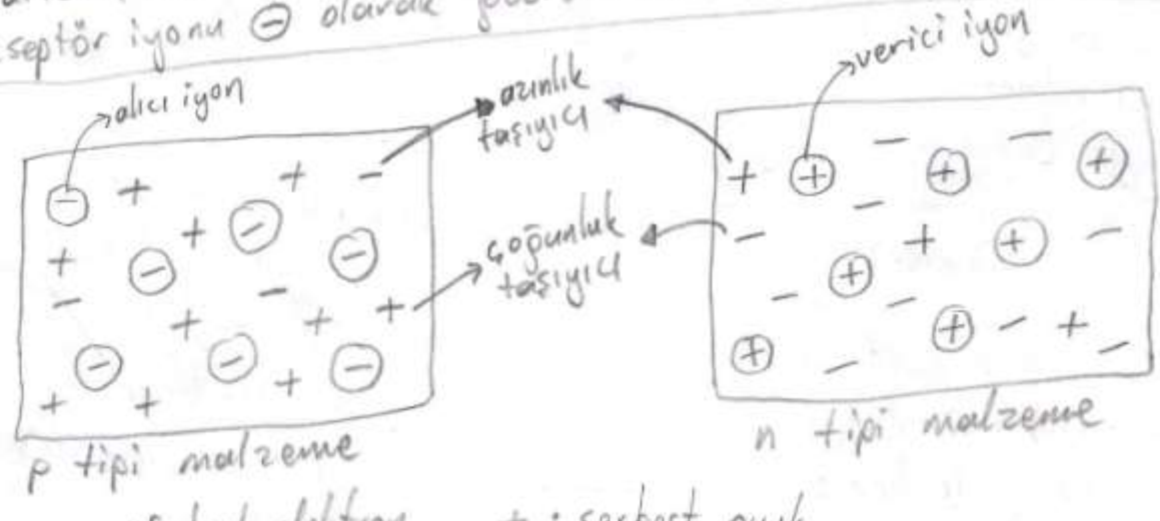
P tipi malzeme

Si ve Ge gibi bir yarıiletken malzemeye 3 valans elektronlu yabancı atomlar eklenmesiyle elde edilir. 3 valans elektronu kovalent bağa katılır. Ancak, yarıiletkenin bir valans elektronu yabancı madde atomu içinde bağ yapacak elektron bulamaz. Burada oyuk meydana gelir. Küçük bir enerji ile bu oyuk, komşu atomdan bir valans elektronu ile doldurulur. Böylece, geride elektron veren atomda bir oyuk meydana gelir. Oyuklar akım taşıyıcı olarak kullanılır. n tipi malzemede elektronlar akım taşıyıcı idi.

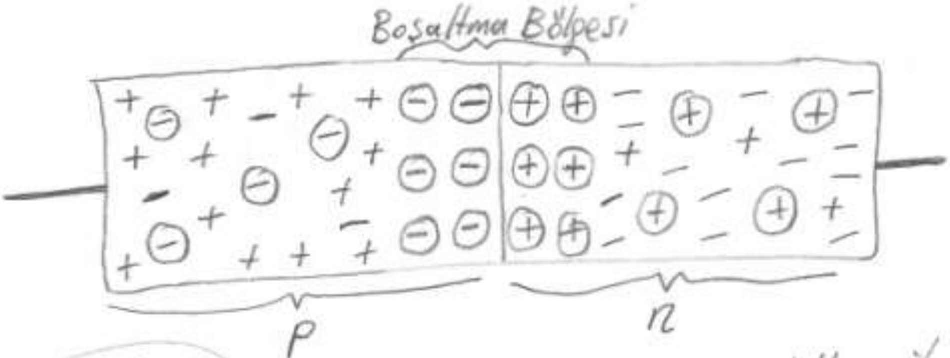
p tipi malzemeye gerilim uygulanırsa, oyuklar akım geçişini sağlar. Oyuklar serbest elektron gibi elektrik akımını taşıyarak iş görmüş olur. Oyukların hareketi elektronların hareketine zıt yöndedir. Akım taşıma işi pozitif yüklü oyuklar tarafından yapıldığından bu tip yarıiletkenlere p tipi yarıiletkenler denir.

Malzemedeki toplam proton sayısı, toplam elektron sayısına eşit olduğundan n tipi malzeme ve p tipi malzeme elektriksel olarak nötürdür.

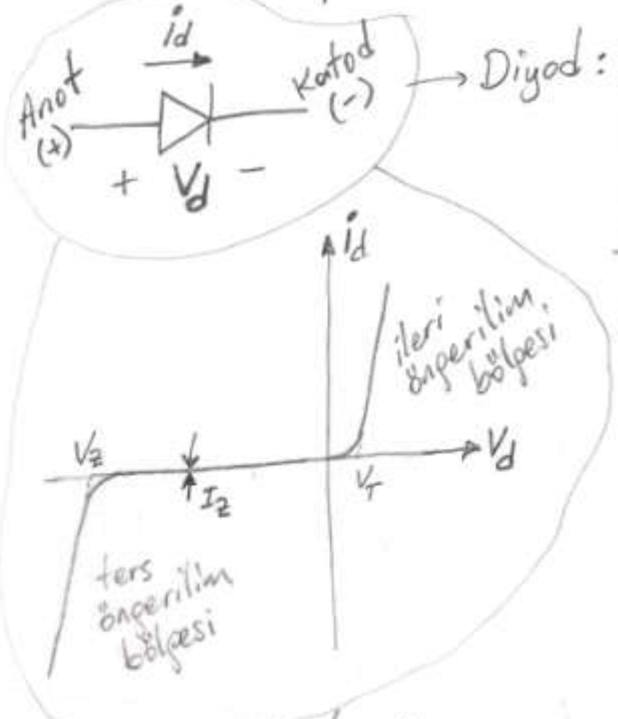
Bir donör atomunun 5. elektronu ana atomdan ayrıldığında, geriye kalan atomun net bir pozitif yükü olur. Bundan dolayı donör iyonu ⊕ olarak gösterilir. Ekseptör atomunundan bir elektronu eksik olduğundan dışarıdan bir elektron alınca atom negatif yüklü olur. Bundan dolayı ekseptör iyonu ⊖ olarak gösterilir.



− : Serbest elektron + : serbest oyuk



gerilim uygulanmamış hali



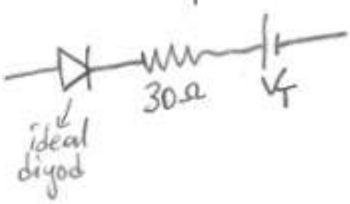
→ Diyod: p tipi yarıiletken ile n tipi yarıiletken birleştirilerek elde edilir.

ileri önperilimleme

Boşaltılmış bölge küçülür. akıma karşı küçük direnç.

$V_T = 0.7$ Volt (Si)

$V_T = 0.3$ Volt (Ge)



$V > V_T$ olunca ideal diyod kısa devre

Tersine önperilimleme

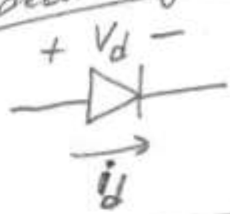
Boşaltılmış bölge genişler. Akıma karşı yüksek direnç.

$E < V_Z$ için $I = I_S$: Ters doyma akımı

$I_S \approx 0$ olduğundan kapalı devre

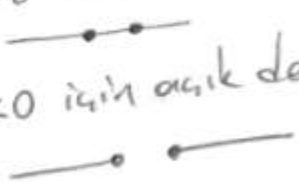
$V_Z = 40$ Volt (Si) Diyod bu bölgede kullanılmaz.

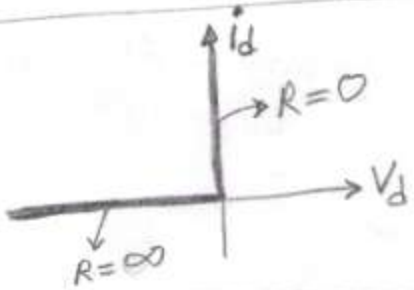
ideal Diyot

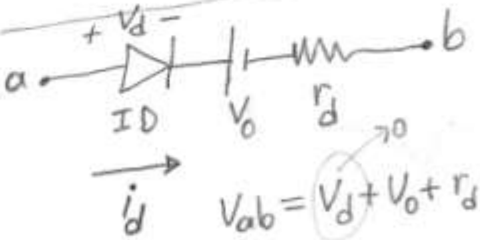


$V_d \geq 0$ için kısa devre

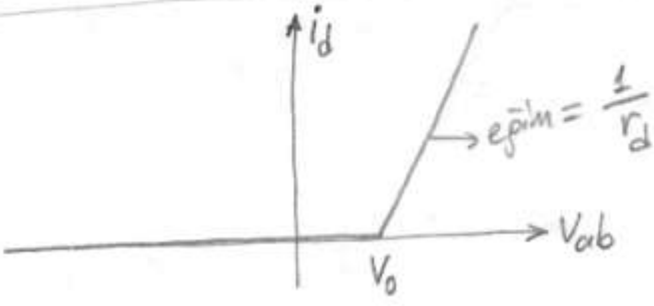
$V_d < 0$ için açık devre



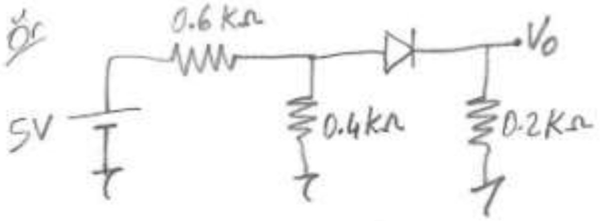




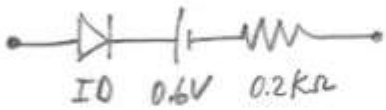
$V_{ab} = V_d + V_0 + r_d i_d$ ($V_d \to 0$)



Ör

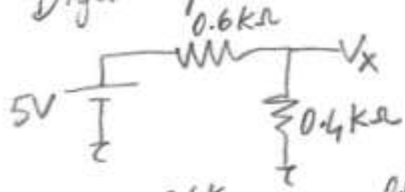


Diyot modeli



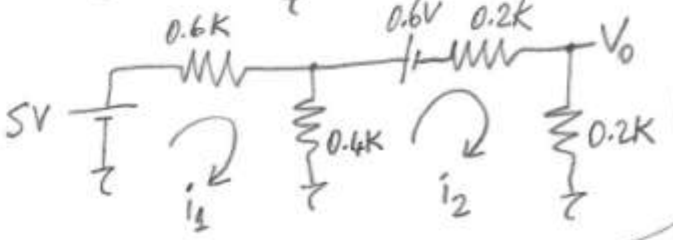
$V_0 = ?$

Diyot kapalı kabul edilirse



$$V_x = \frac{5V}{0.6k\Omega + 0.4k\Omega} \times 0.4k\Omega = 2V > 0.6V$$

Diyot açık olmalıdır.



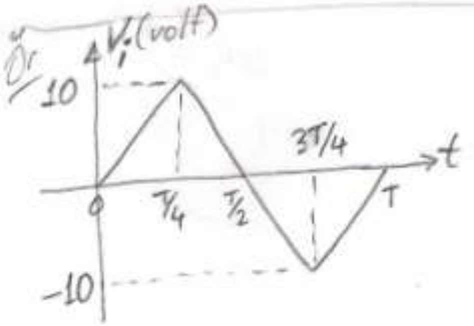
$$i_1 - 0.4 i_2 = 5$$
$$0.4 i_1 - 0.8 i_2 = 0.6$$

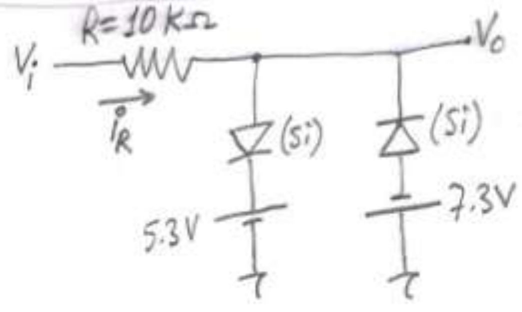
5 ile çarp

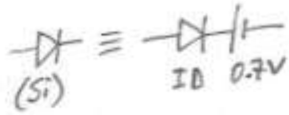
$$5 i_1 - 2 i_2 = 25 \rightarrow i_1 = \frac{25 + 2 i_2}{5}$$
$$2 i_1 - 4 i_2 = 3$$
$$2\,\frac{25 + 2 i_2}{5} - 4 i_2 = 3$$

$i_2 = \frac{35}{16}$ mA , $V_0 = 0.2\, i_2 = \frac{7}{16}$ Volt

Ör







i_R akımının grafiğini çiziniz.

$5.3V + 0.7V = 6V$ $\quad V_0 > 6V$ için 1. diyot açık.

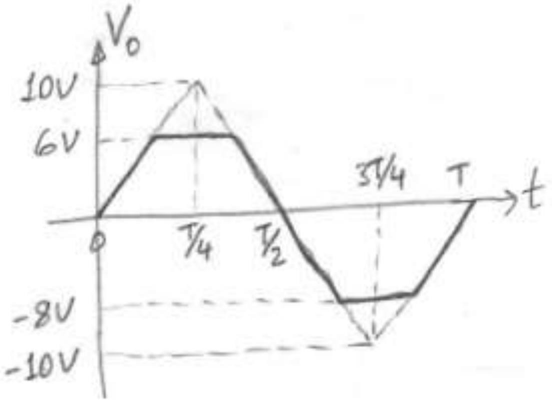
$7.3V + 0.7V = 8V$ $\quad V_0 < -8V$ için 2. diyot açık.

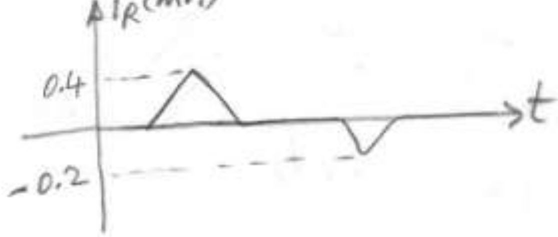
$$i_R = \frac{V_i - V_0}{R} = \frac{V_i - V_0}{10K}$$

$-8V < V_0 < 6V \longrightarrow i_R = 0$

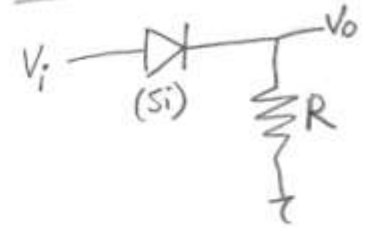
$V_0 = 10V$ için $i_R = \frac{10-6}{10} = 0.4$ mA

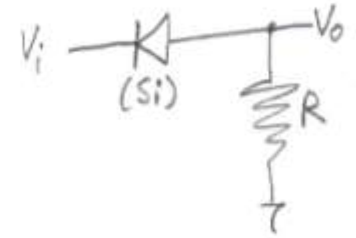
$V_0 = -10V$ için $i_R = \frac{-10+8}{10} = -0.2$ mA

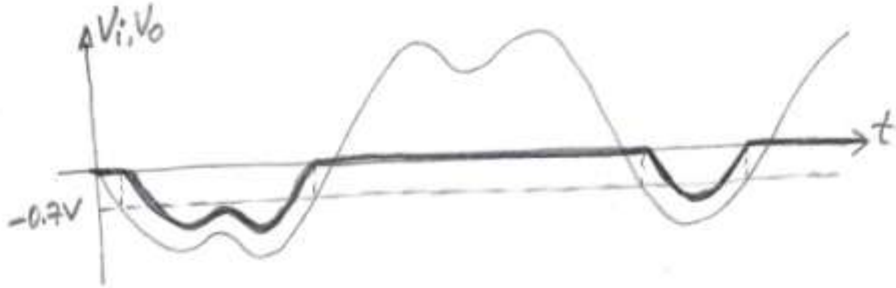


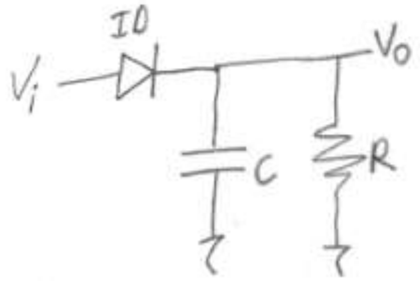


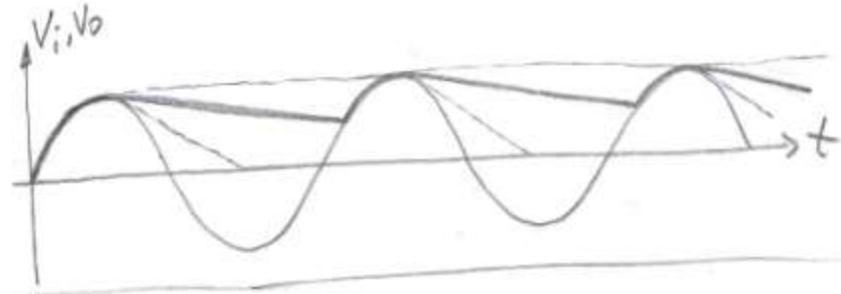
Yarım Dalga Doğrultucu



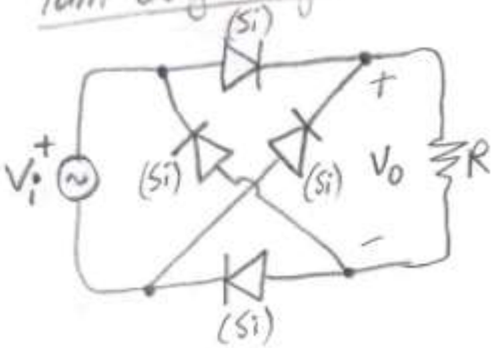


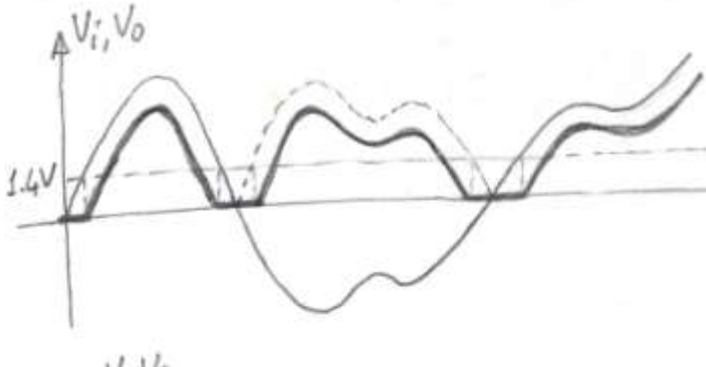


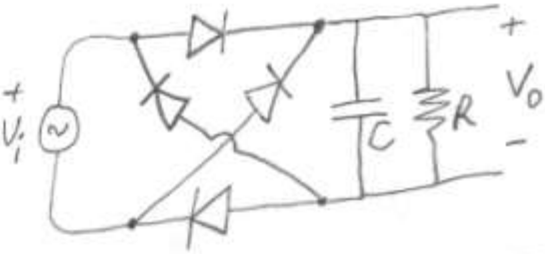


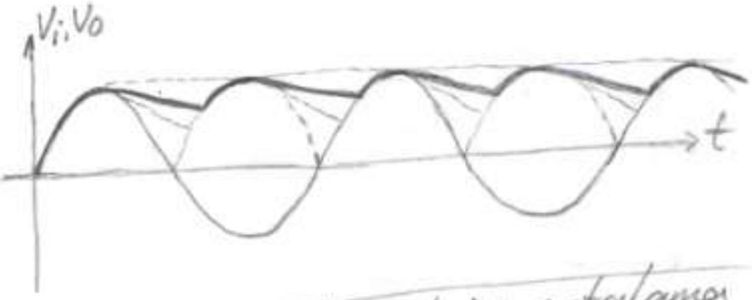


Tam Dalga Doğrultucu









$V_i(t) = V_m \sin wt$, $w = 2\pi/T$ olsun. Kapasitör yok ise ortalama dc voltaj.

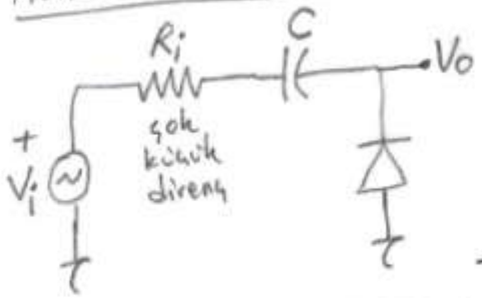
Yarım Dalga Doğrultucusu için $V_{dc} \approx 0.318\,(V_m - V_T)$

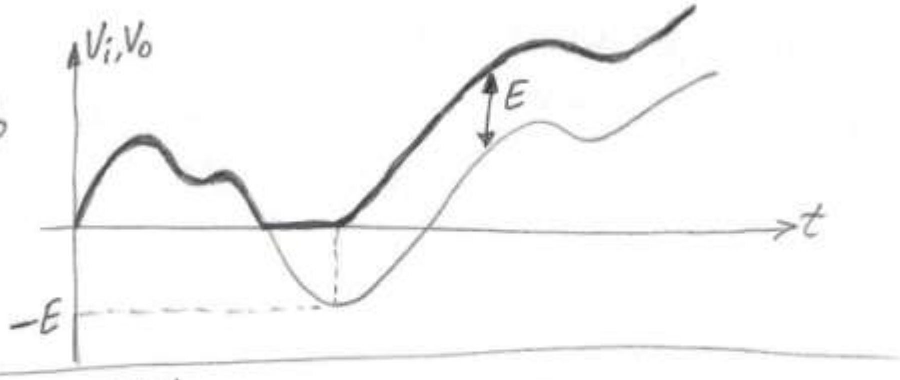
$V_T << V_m$ ise $V_{dc} \approx 0.318 \cdot V_m$

Tam Dalga Doğrultucusu için $V_{dc} \approx 0.636\,(V_m - 2V_T)$

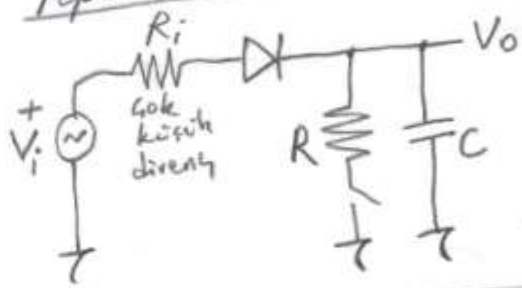
$2V_T << V_m$ ise $V_{dc} \approx 0.636 \cdot V_m$

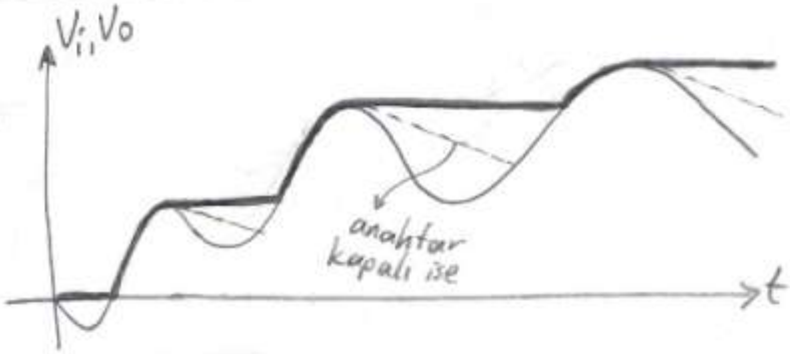
Kenetlenme Devresi



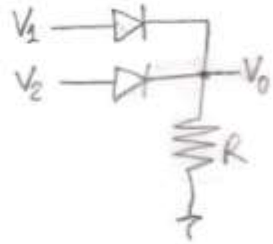


Tepe Dedektörü



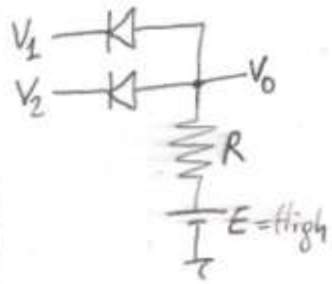


Pozitif Mantık Veya Kapısı



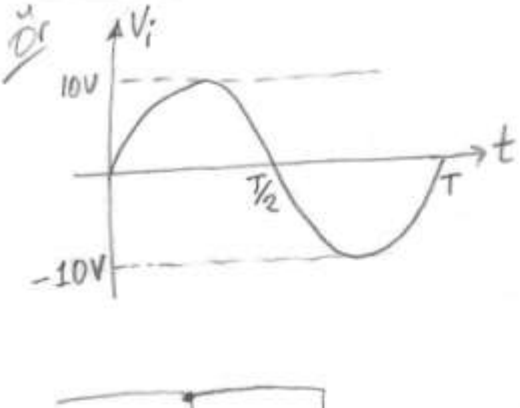
V_1 V_2	V_o
L L	L
L H	H
H L	H
H H	H

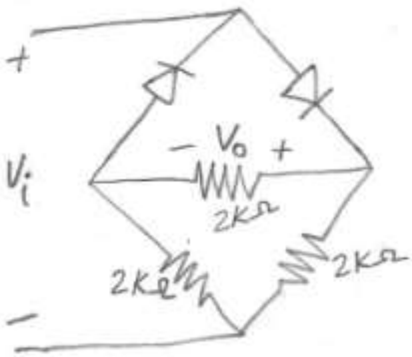
Pozitif Mantık Ve Kapısı



V_1 V_2	V_o
L L	L
L H	L
H L	L
H H	H

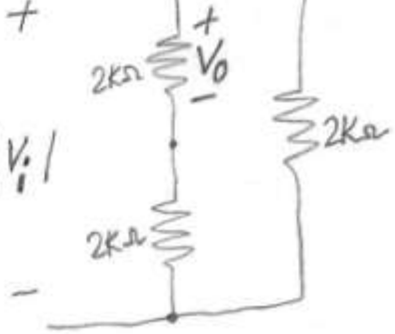
Ör

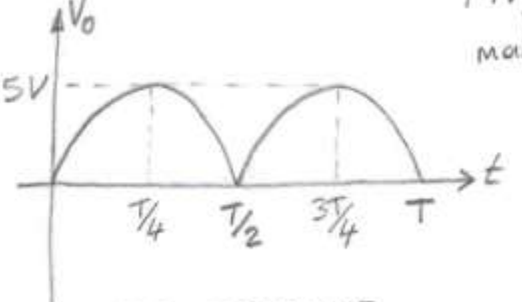




V_o çıkış dalgasını çiziniz.

PIV ve DC düzeyini hesaplayınız.





$5\tau = 5RC >> T$

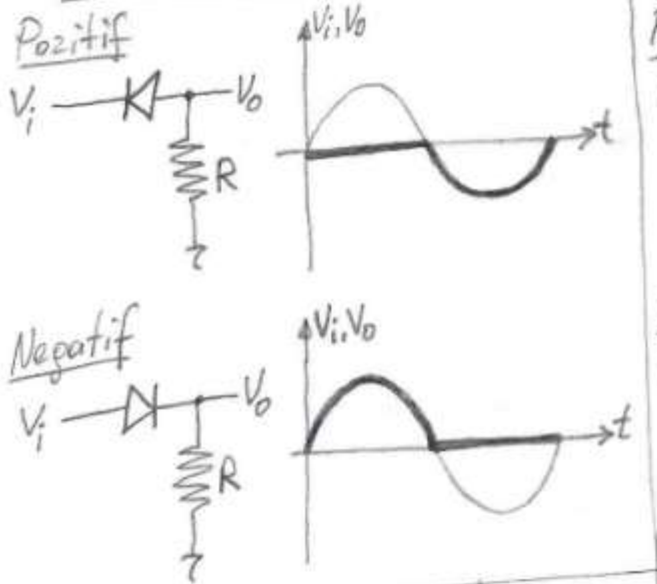
PIV, R üzerindeki maksimum gerilime eşittir

$PIV = 5\ Volt$

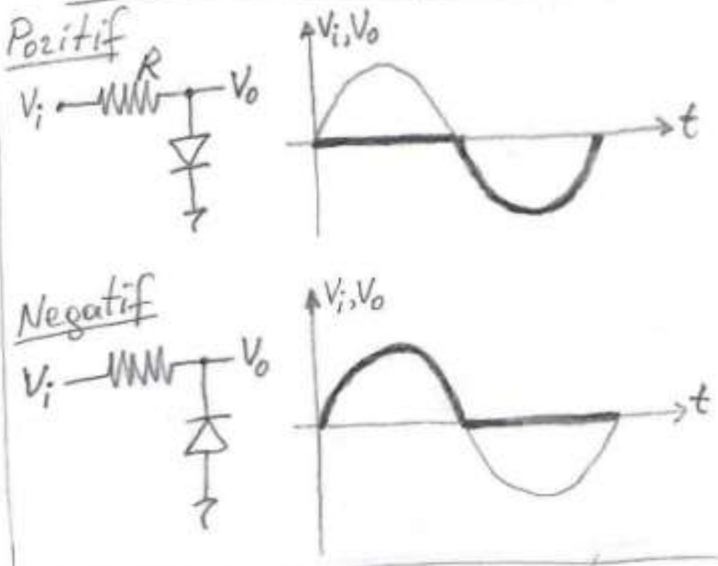
$V_{dc} = 0.636 \times 5V$

$= 3.18\ V$

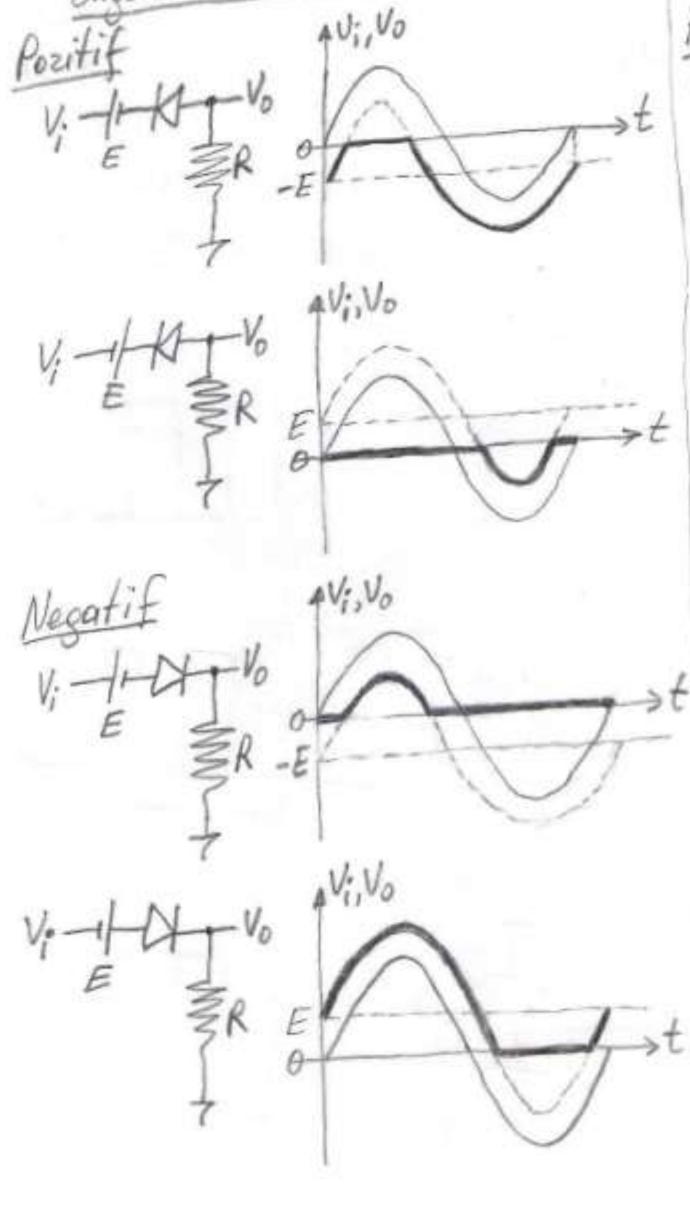
Basit Seri Kırpıcılar



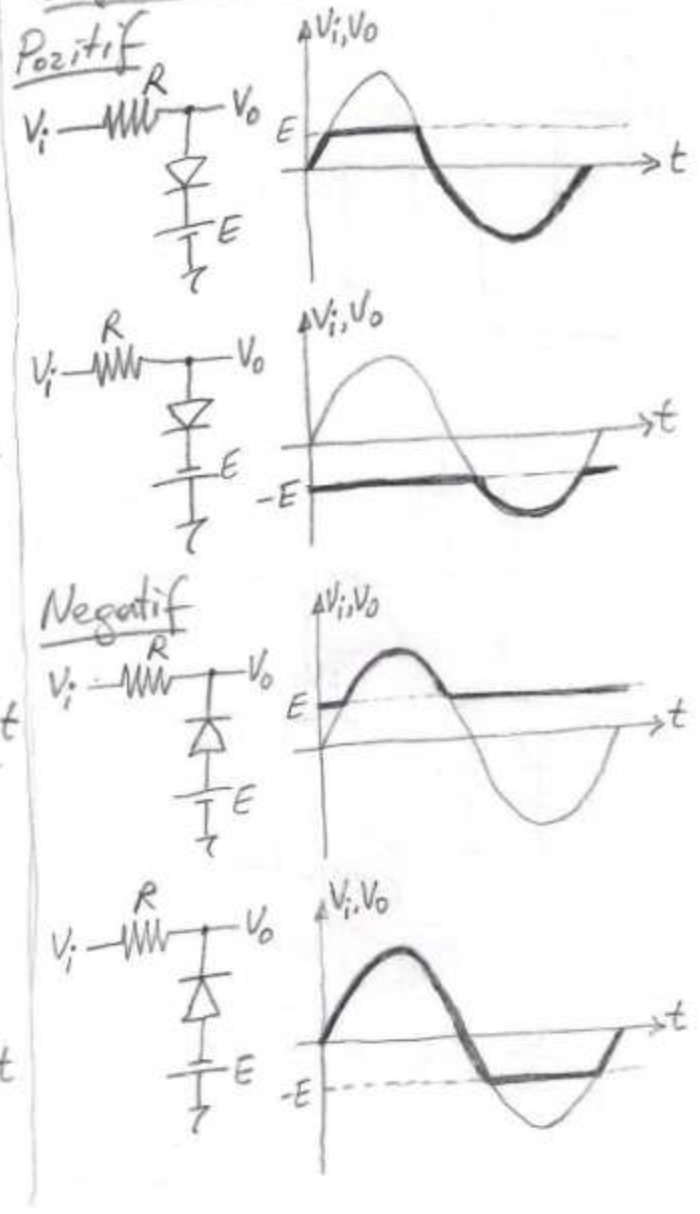
Basit Paralel Kırpıcılar



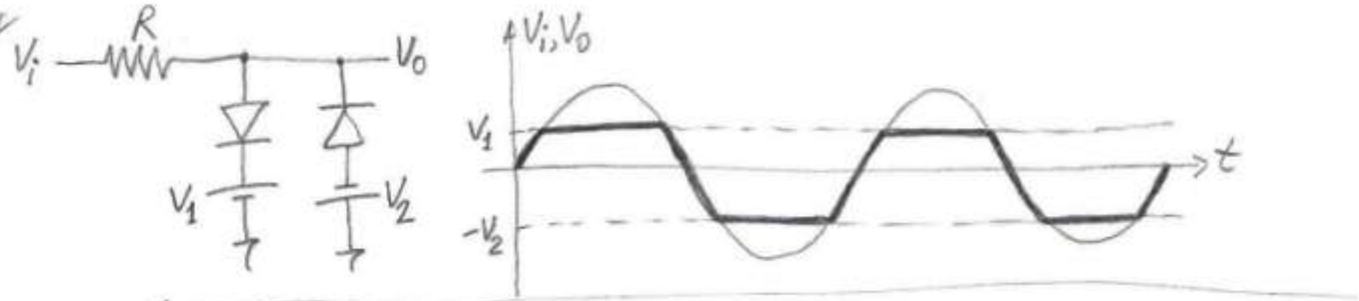
Öngerilimli Seri Kırpıcılar



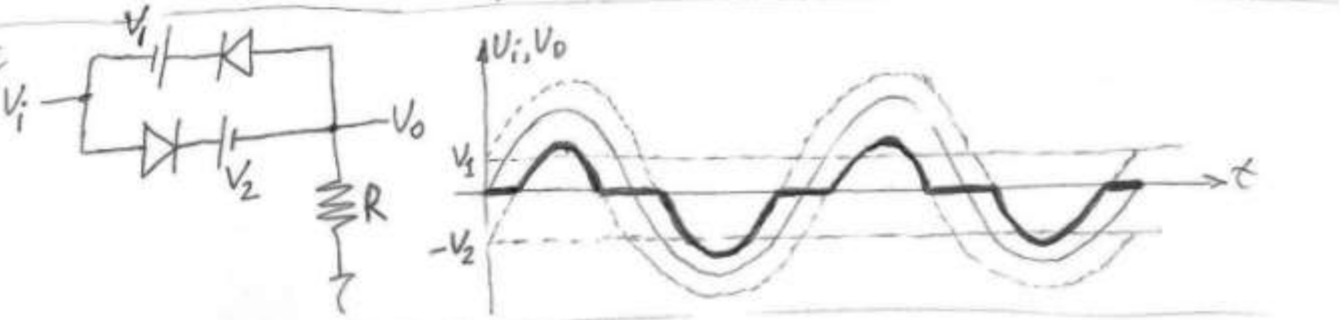
Öngerilimli Paralel Kırpıcılar



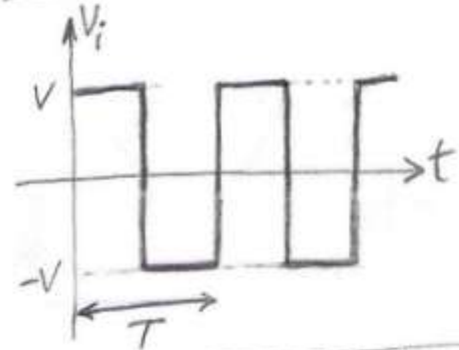
ör



ör



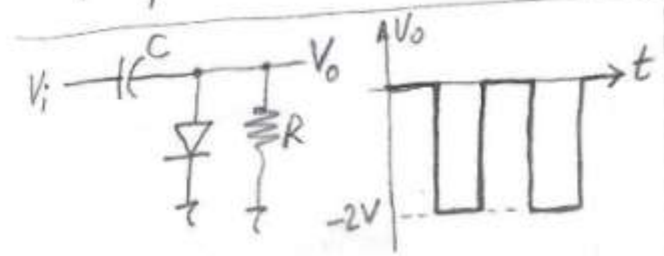
Kenetleme Devreleri

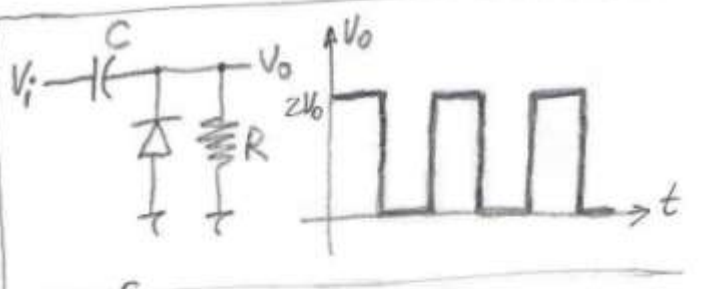


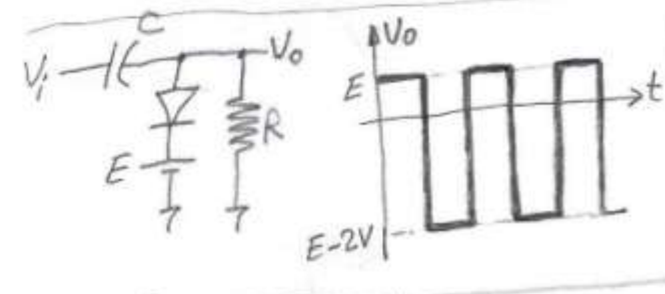
f: frekans (Hz) $T = \frac{1}{f}$: peryod (s)

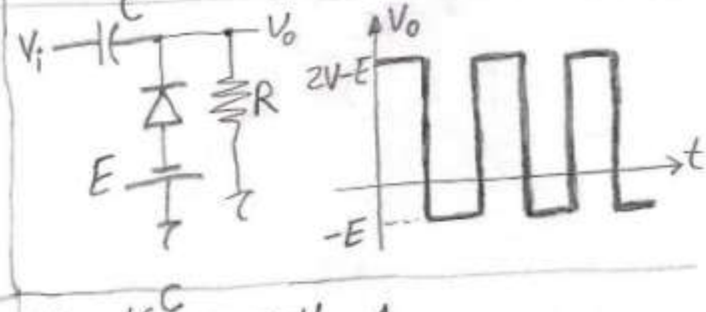
$\tau = RC \rightarrow 5\tau$ (Kapasitörün direnç üzerinden dolması ve boşalması için gerekli süre)

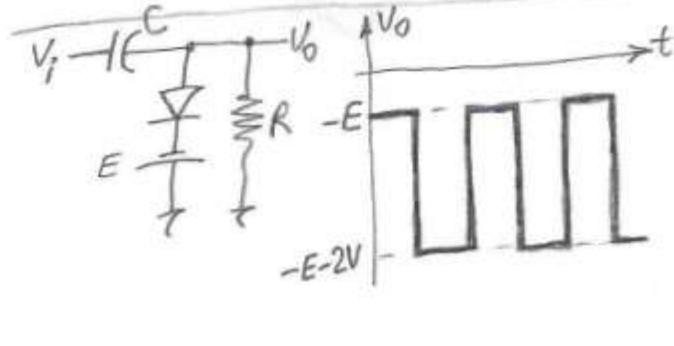
$T \ll 5\tau$ ise kapasitörün dolması ve boşalması için süre çok az.

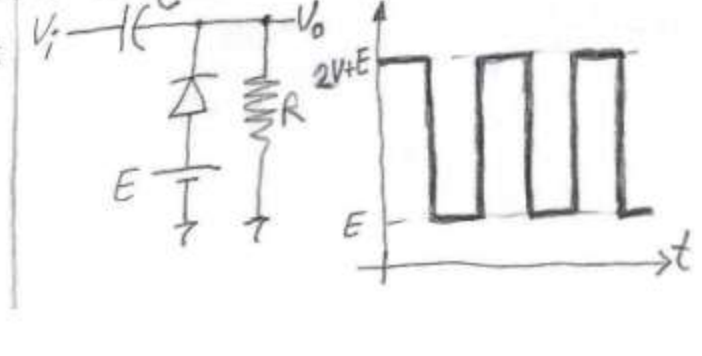




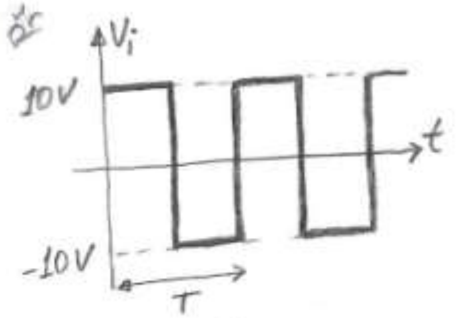


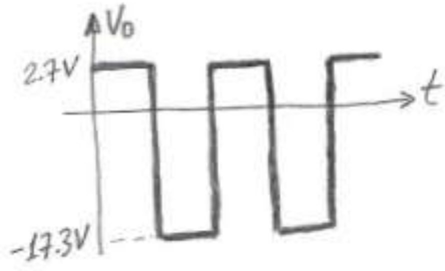






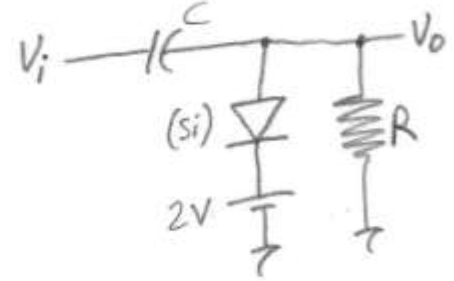
Ör





Si Diyot kullanarak devreyi tasarla.

$5\tau = 5RC >> T$



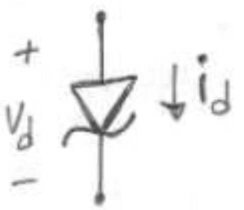
$V_i = 10V$ için diyot açık.

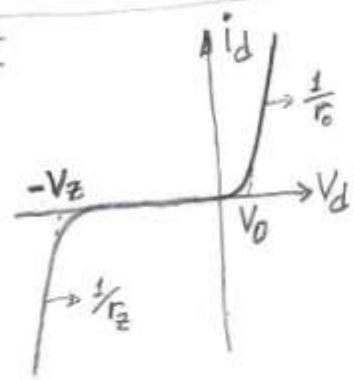
$V_0 = 2V + 0.7V = 2.7V \quad V_C = V_i - V_0 = 7.3V$

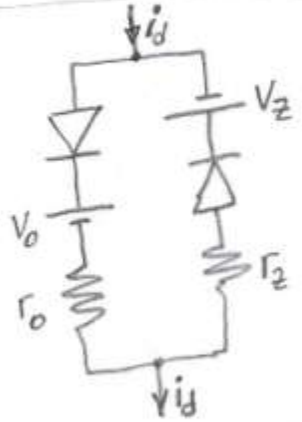
$V_i = -10V$ için diyot kapalı.

$V_0 = V_i - V_C = -10V - 7.3V = -17.3V$

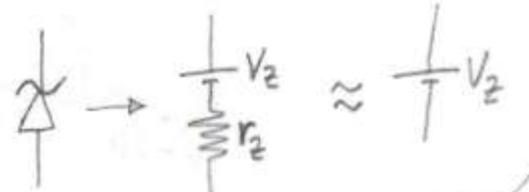
Zener Diyot



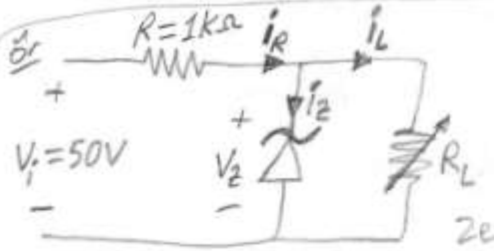




Zener diyot zener bölgesinden tam anlamıyla faydalanmak için kullanılır.



Ör



$V_Z = 10V$

$I_{ZM} = 32\,mA$

Zener diyot regülatör devresi

a) R_L ve i_L aralığını bulunuz.

b) Zener diyotta harcanan maksimum gücü bulunuz.

$i_Z = 0$ için R_L minimum olur.

$$i_R = i_L \longrightarrow \frac{V_i - V_Z}{R} = \frac{V_Z}{R_{Lmin}} \longrightarrow R_{Lmin} = \frac{R V_Z}{V_i - V_Z} = \frac{(1k\Omega)\cdot(10V)}{50V - 10V} = 0.25\,K\Omega$$

$$i_{Lmax} = \frac{V_L}{R_{Lmin}} = \frac{V_Z}{R_{Lmin}} = \frac{10V}{0.25K\Omega} = 40\,mA = i_R$$

$$i_{Lmin} = i_R - i_{ZM} = 40mA - 32mA = 8\,mA$$

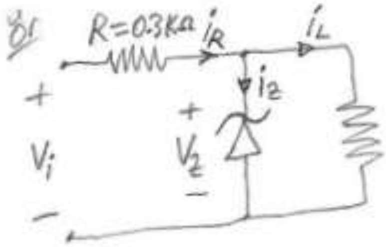
$$R_{Lmax} = \frac{V_L}{I_{Lmin}} = \frac{V_Z}{I_{Lmin}} = \frac{10V}{8mA} = 1.25\,K\Omega$$

$8mA \le i_L \le 40mA$

$0.25\,K\Omega \le R_L \le 1.25\,K\Omega$

$$P_{max} = V_Z \cdot I_{ZM} = (10V)\cdot(32mA) = 320\,mW$$

8)



$V_Z = 20V$

$R_L = 1.2K\Omega$ $I_{ZM} = 60\,mA$

Zener diyot regülatör devresi

a) V_i aralığını bulunuz. b) Zener diyotta harcanan maksimum güç.

$i_Z = 0$ için V_i minimum olur.

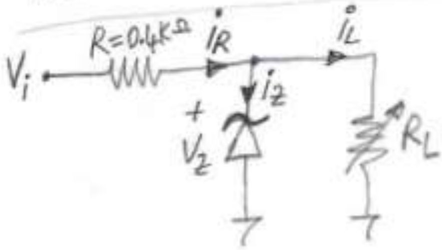
$i_R = i_L \longrightarrow \dfrac{V_{imin} - V_Z}{R} = \dfrac{V_Z}{R_L} \longrightarrow V_{imin} = \dfrac{R + R_L}{R_L} V_Z = \dfrac{0.3K\Omega + 1.2K\Omega}{1.2K\Omega} \times 20V = 25V$

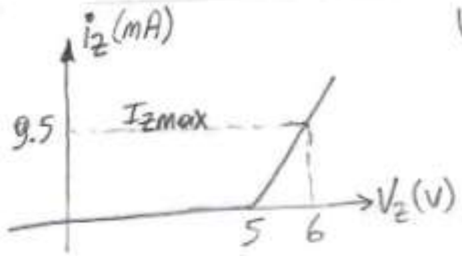
$i_L = \dfrac{V_L}{R_L} = \dfrac{V_Z}{R_L} = \dfrac{20V}{1.2K} = \dfrac{50}{3} mA = 16\frac{2}{3}\ mA$

$i_{Rmax} = i_{ZM} + i_L = 60mA + 16\frac{2}{3} mA = 76\frac{2}{3}\ mA$

$V_{imax} = R\,i_{Rmax} + V_Z$
$= (0.3K\Omega) \cdot (76\frac{2}{3} mA) + 20V$
$= 46V$

$P_{max} = V_Z\, I_{ZM} = (20V) \cdot (60mA) = 1200\,mW = 1.2\,W$





$V_i(t) = 8 + 2\cos wt$ için R_L direncinin ve i_L akımının sınır değerlerini bulunuz. Zener kırılma bölgesinde çalışıyor.

$V_i(t) = 8 + 2\cos wt$ için $V_{imin} = 6V$, $V_{imax} = 10V$

V_{imin} ve $i_Z = 0$ için R_L minimum olur.

$i_R = i_L \longrightarrow \dfrac{V_{imin} - V_{Zmin}}{R} = \dfrac{V_{Zmin}}{R_{Lmin}} \longrightarrow R_{Lmin} = \dfrac{R\,V_{Zmin}}{V_{imin} - V_{Zmin}} = \dfrac{(0.4K\Omega) \times (5V)}{6V - 5V} = 2K\Omega$

$i_{Lmax} = \dfrac{V_{Zmin}}{R_{Lmin}} = \dfrac{5V}{2K\Omega} = 2.5\ mA$

V_{imax} ve $i_Z = 9.5mA$ için R_L maksimum olur.

$i_R = \dfrac{V_{imax} - V_{Zmax}}{R} = \dfrac{10V - 6V}{0.4\,K\Omega} = 10\,mA$

$i_{Lmin} = i_R - i_{Zmax} = 10\,mA - 9.5mA = 0.5\,mA$

$R_{Lmax} = \dfrac{V_{Zmax}}{i_{Lmin}} = \dfrac{6V}{0.5mA} = 12\,K\Omega$

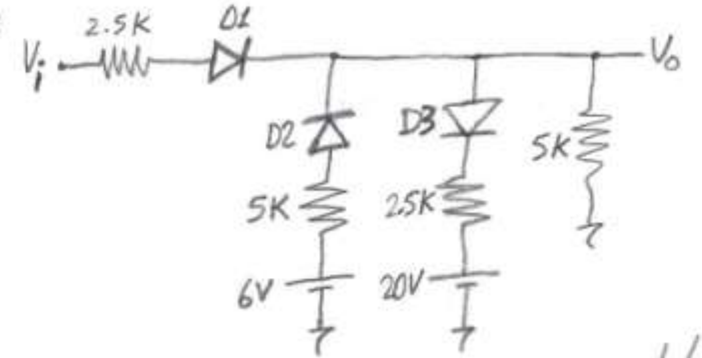
$2K\Omega \le R_L \le 12K\Omega$

$0.5\,mA \le i_L \le 2.5\,mA$

Zener üzerindeki maksimum güç tüketimi

$P_{max} = V_{Zmax} \cdot I_{Zmax} = (6V) \times (9.5\,mA) = 57\,mW$

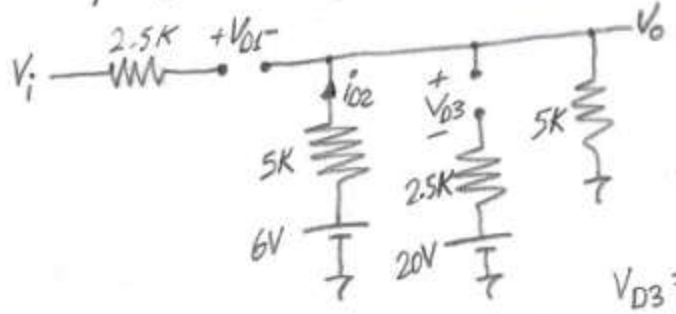
Ö1



Bütün diyotlar idealdir.

$V_i - V_o$ grafiğini çiziniz.

$-\infty < V_i < ?$ D_1, D_3 kapalı, D_2 açıktır.



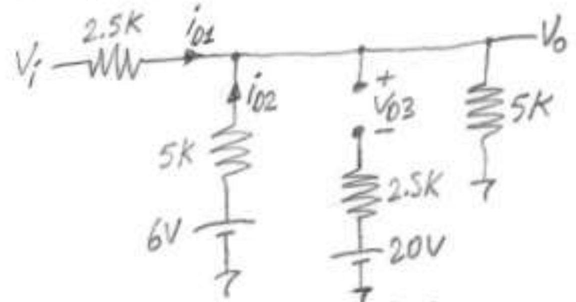
$$i_{D2} = \frac{6V}{5K+5K} = \frac{6V}{10K} = 0.6\,mA > 0 \checkmark$$

$$V_o = 5K \cdot i_{D2} = 5K \cdot 0.6mA = 3V$$

$$V_{D1} = V_i - V_o = V_i - 3 < 0 \rightarrow V_i < 3V$$

$$V_{D3} = V_o - 20 = 3 - 20 = -17V < 0 \checkmark$$

$3 < V_i < ?$ D_1, D_2 açık, D_3 kapalıdır.



$$V_o = 5K \cdot (i_{D1} + i_{D2}) = 5K \cdot \left(\frac{V_i - V_o}{2.5K} + \frac{6 - V_o}{5K} \right)$$

$$= 2V_i - 2V_o + 6 - V_o = 2V_i + 6 - 3V_o$$

$$4V_o = 2V_i + 6 \rightarrow V_o = \frac{V_i + 3}{2} \quad \text{olur.}$$

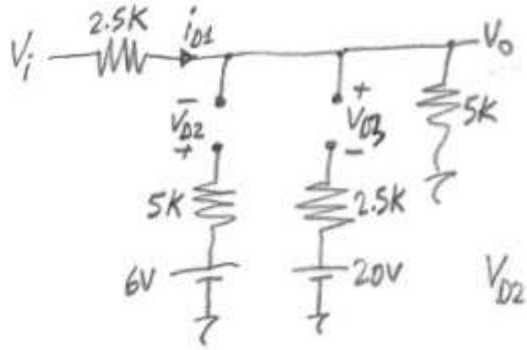
$$i_{D1} = \frac{V_i - V_o}{2.5K} = \frac{V_i - \frac{V_i+3}{2}}{2.5K} > 0 \rightarrow V_i > 3V \checkmark$$

$$i_{D2} = \frac{6 - V_o}{5K} = \frac{6 - \frac{V_i+3}{2}}{5K} > 0 \rightarrow V_i < 9V$$

$$V_{D3} = V_o - 20 = \frac{V_i+3}{2} - 20 < 0$$

$$V_i < 37V$$

$9 < V_i < ?$ D2, D3 kapalı, D1 açık olmalıdır.



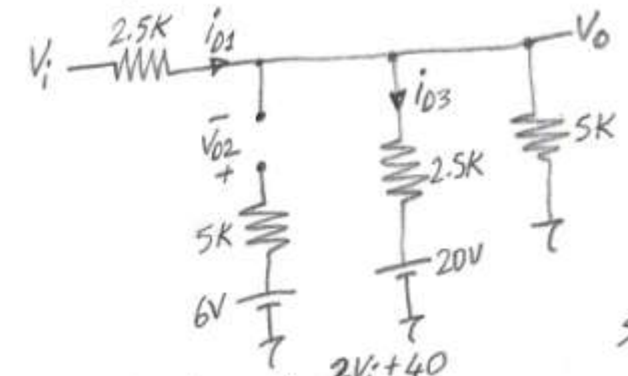
$$V_o = 5K \cdot i_{D1} = 5K \cdot \frac{V_i}{2.5K + 5K} = \frac{2V_i}{3} \quad \text{olur.}$$

$$i_{D1} = \frac{V_i - V_o}{2.5k} = \frac{V_i - \frac{2V_i}{3}}{2.5k} > 0 \rightarrow V_i > 0V \checkmark$$

$$V_{D2} = 6 - V_o = 6 - \frac{2V_i}{3} < 0 \rightarrow V_i > 9V \checkmark$$

$$V_{D3} = V_o - 20 = \frac{2V_i}{3} - 20 < 0 \rightarrow V_i < 30V$$

$30 \leq V_i < ?$ D1, D3 açık, D2 kapalıdır.



$$V_o = 5K \times (i_{D1} - i_{D3})$$

$$= 5K \times \left(\frac{V_i - V_o}{2.5} - \frac{V_o - 20}{2.5} \right)$$

$$= 2V_i - 2V_o - 2V_o + 40$$

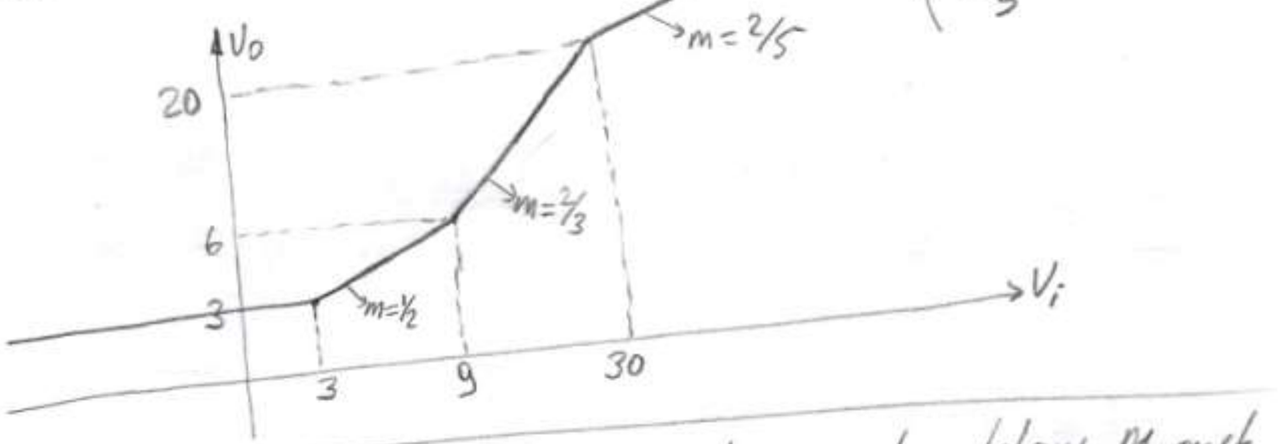
$$5V_o = 2V_i + 40 \rightarrow V_o = \frac{2V_i + 40}{5}$$

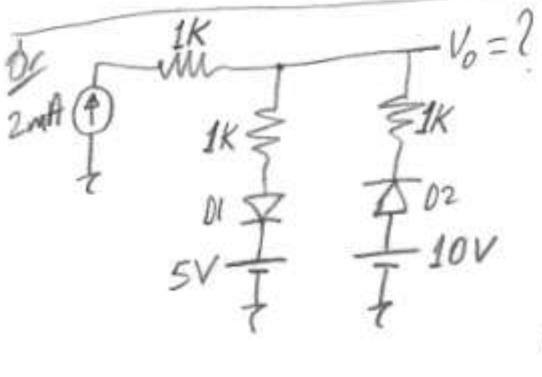
$$i_{D1} = \frac{V_i - V_o}{2.5K} = \frac{V_i - \frac{2V_i + 40}{5}}{2.5K} > 0 \rightarrow V_i > \frac{40}{3} V \checkmark$$

$$V_{D2} = 6 - V_o = 6 - \frac{2V_i + 40}{5} < 0 \rightarrow V_i > -5V \checkmark$$

$$i_{D3} = V_o - 20 = \frac{2V_i + 40}{5} - 20 > 0 \rightarrow V_i > 30V \checkmark$$

$$V_o = \begin{cases} 3 & V_i < 3 \\ \frac{V_i + 3}{2} & 3 \leq V_i < 9 \\ \frac{2V_i}{3} & 9 \leq V_i < 30 \\ \frac{2V_i + 40}{5} & V_i \geq 30 \end{cases}$$



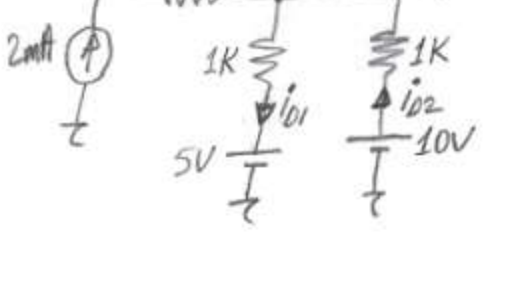


Akım kaynağından dolayı D1 açık, D2 kapalı kabul edersek

$$i_{D1} = \frac{V_o - 5V}{1K} = 2mA \rightarrow V_o = 7V$$

$$V_{D2} = 10 - V_o = 10 - 7 = 3V > 0$$

D2 açık olmalı.



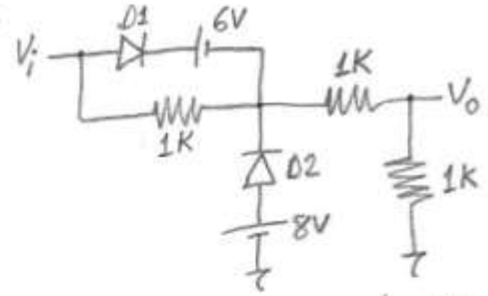
$$i_{D1} = i_{D2} + 2\,mA$$

$$5V + 1K \times i_{D1} = 10V - 1K \times i_{D2}$$

$$5 + i_{D2} + 2 = 10 - i_{D2} \rightarrow i_{D2} = 3/2\ mA$$

$$V_o = 10V - 1K \times i_{D2} = 8.5\ \text{Volt}$$

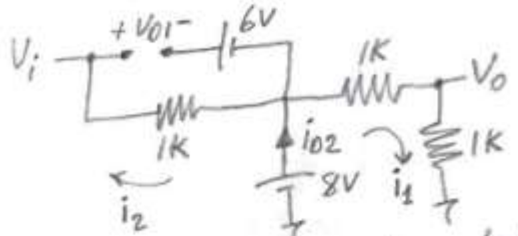
Ör



Bütün diyotlar idealdir.

$V_i - V_0$ grafiğini çiziniz.

$-\infty < V_i < ?$ D1 kapalı, D2 açıkdır.

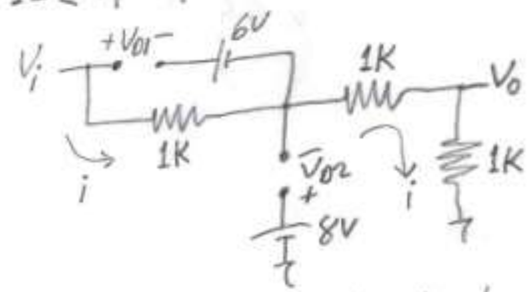


$i_1 = \frac{8V}{2K} = 4mA$, $V_0 = 1K \times i_1 = 1K \times 4mA = 4V$

$V_{D1} = V_i - 6 - 8 = V_i - 14 < 0 \rightarrow V_i < 14V$

$i_{D2} = i_1 + i_2 = 4mA + \frac{8 - V_i}{1K} = 12 - V_i > 0 \rightarrow V_i < 12V$

$12 \leq V_i < ?$ D1 ve D2 kapalıdır.

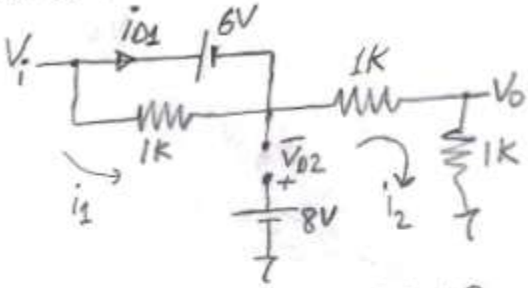


$i = \frac{V_i}{3K}$, $V_0 = 1K \times i = 1K \times \frac{V_i}{3K} = \frac{V_i}{3}$

$V_{D1} = V_i - 6 - 2i = V_i - 6 - \frac{2V_i}{3} = \frac{V_i}{3} - 6 < 0 \rightarrow V_i < 18V$

$V_{D2} = 8 - 2i = 8 - \frac{2V_i}{3} < 0 \rightarrow V_i > 12V$ ✓

$18 \leq V_i < ?$ D1 açık, D2 kapalıdır.



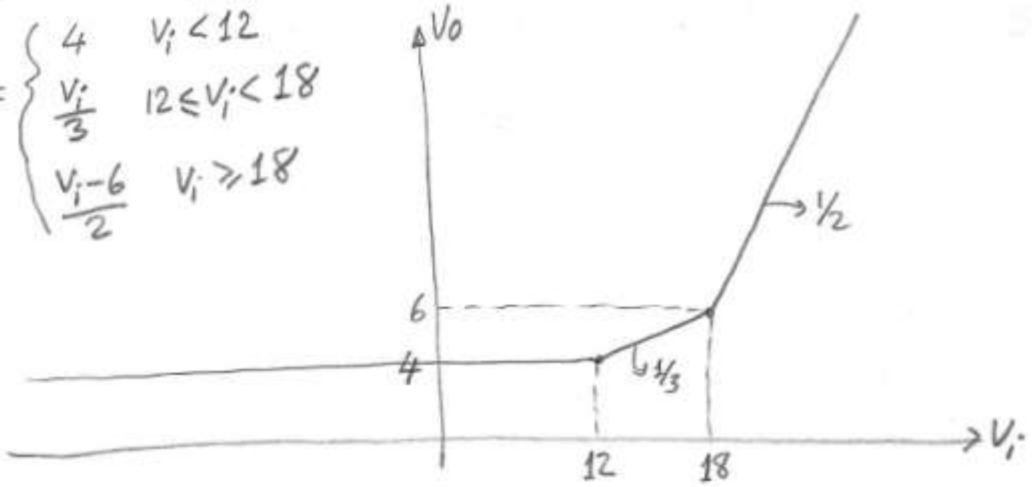
$i_1 = \frac{6V}{1K} = 6mA$, $i_2 = \frac{V_i - 6V}{2K} = \frac{V_i - 6}{2}$

$V_0 = 1K \times i_2 = \frac{V_i - 6}{2}$

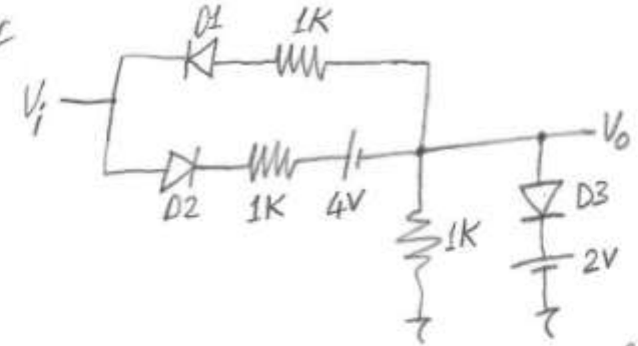
$i_{D1} = i_2 - i_1 = \frac{V_i - 6}{2} - 6 > 0 \rightarrow V_i > 18V$ ✓

$V_{D2} = 8 + 6 - V_i = 14 - V_i < 0 \rightarrow V_i > 14V$ ✓

$$V_0 = \begin{cases} 4 & V_i < 12 \\ \frac{V_i}{3} & 12 \leq V_i < 18 \\ \frac{V_i - 6}{2} & V_i \geq 18 \end{cases}$$

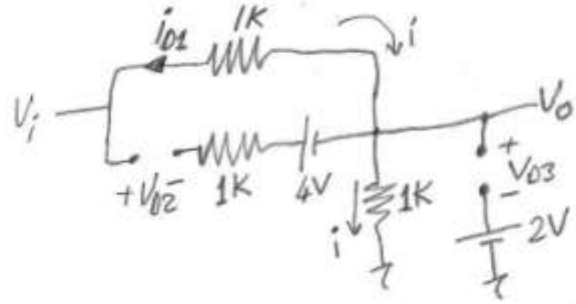


Ör



Bütün diyotlar idealdir.
V_i-V_o grafiğini çiziniz.

$-\infty < V_i < ?$ D1 açık, D2 ve D3 kapalıdır.



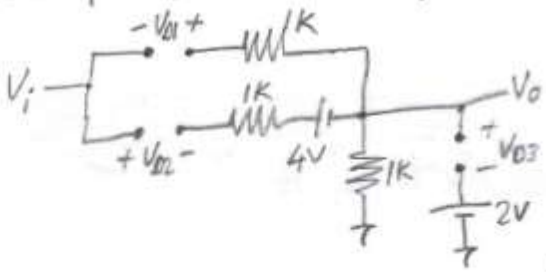
$V_o = \frac{V_i}{2}$, $i_{D1} = V_o - V_i = -\frac{V_i}{2} > 0 \rightarrow V_i < 0V$

$V_{D2} = V_i - 4 - V_o = V_i - 4 - \frac{V_i}{2}$

$= \frac{V_i}{2} - 4 < 0 \rightarrow V_i < 8V$

$V_{D3} = V_o - 2 = \frac{V_i}{2} - 2 < 0 \rightarrow V_i < 4V$

$0 \leq V_i < ?$ D1, D2, D3 kapalıdır.



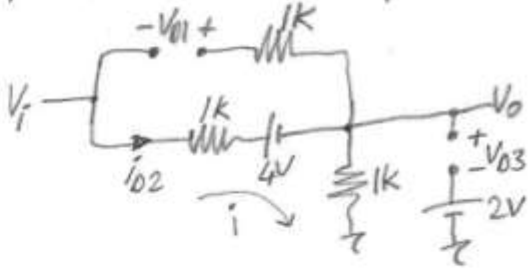
$V_o = 0$

$V_{D1} = V_o - V_i = -V_i < 0 \rightarrow V_i > 0V$ ✓

$V_{D2} = V_i - 4 - V_o = V_i - 4 < 0 \rightarrow V_i < 4V$

$V_{D3} = V_o - 2 = -2 < 0$ ✓

$4 \leq V_i < ?$ D1, D3 kapalı, D2 açıktır.



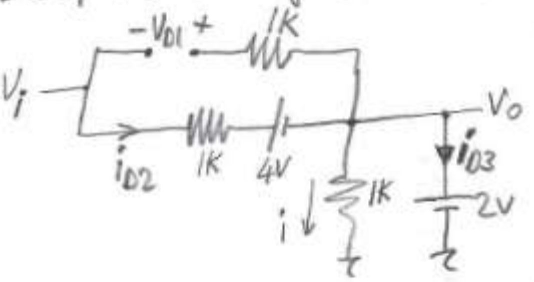
$V_o = \frac{V_i - 4}{2}$

$i_{D2} = V_i - 4 - V_o = V_i - 4 - \frac{V_i - 4}{2} = \frac{V_i - 4}{2} > 0 \rightarrow V_i > 4V$ ✓

$V_{D2} = V_o - V_i = \frac{V_i - 4}{2} - V_i = -\frac{V_i}{2} - 2 < 0 \rightarrow V_i > -4V$ ✓

$V_{D3} = V_o - 2 = \frac{V_i - 4}{2} - 2 = \frac{V_i - 8}{2} < 0 \rightarrow V_i < 8V$

$8 \leq V_i < ?$ D1 kapalı, D2 ve D3 açık.



$V_o = 2V$

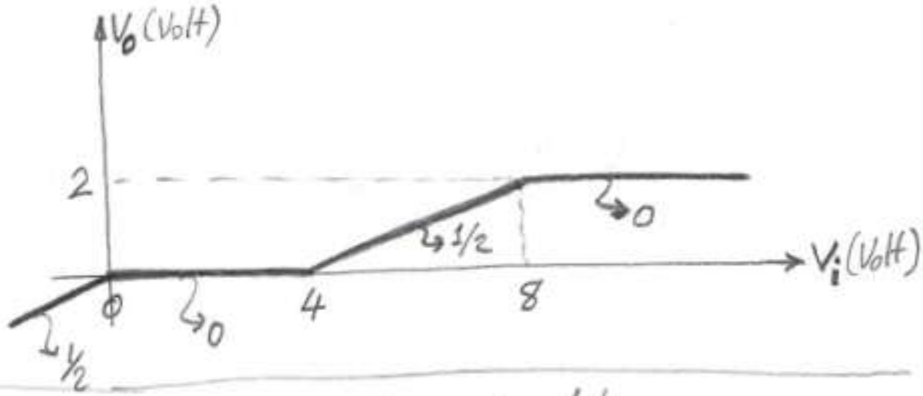
$i_{D2} = \frac{V_i - 4 - V_o}{1K} = V_i - 6 > 0 \rightarrow V_i > 6V$ ✓

$i = \frac{V_o}{1K} = 2mA$

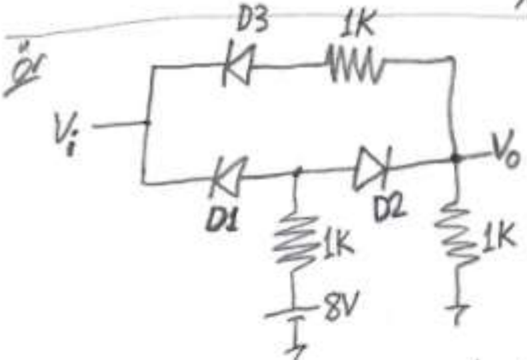
$V_{D1} = V_o - V_i = 2 - V_i < 0 \rightarrow V_i > 2V$ ✓

$i_{D3} = i_{D2} - i = V_i - 8 > 0 \rightarrow V_i > 8V$ ✓

$$V_o = \begin{cases} \dfrac{V_i}{2} & V_i < 0 \\ 0 & 0 \le V_i < 4 \\ \dfrac{V_i - 4}{2} & 4 \le V_i < 8 \\ 2 & V_i \ge 8 \end{cases}$$

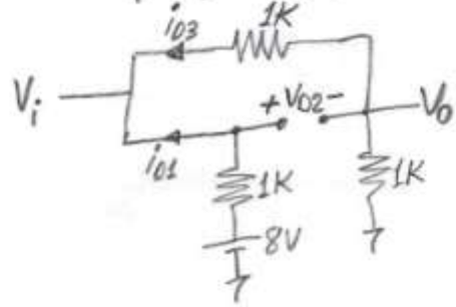


Ör



Bütün diyotlar idealdir. $V_i - V_o$ grafiğini çiziniz.

$-\infty < V_i < ?$ D1, D3 açık, D2 kapalıdır.



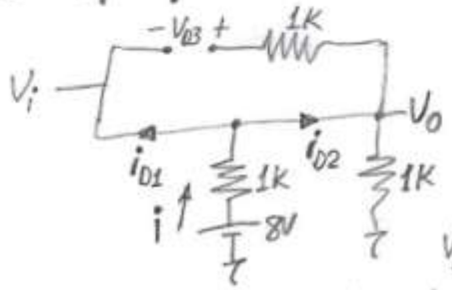
$$\frac{V_i - V_o}{1K} = \frac{V_o}{1K} \rightarrow V_o = \frac{V_i}{2}$$

$$i_{D1} = \frac{8V - V_i}{1K} = 8 - V_i > 0 \rightarrow V_i < 8V$$

$$V_{D2} = V_i - V_o = V_i - \frac{V_i}{2} = \frac{V_i}{2} < 0 \rightarrow V_i < 0V$$

$$i_{D3} = \frac{V_o - V_i}{1K} = V_o - V_i = \frac{V_i}{2} - V_i = -\frac{V_i}{2} > 0 \rightarrow V_i < 0V$$

$0 \le V_i < ?$ D1, D2 açık, D3 kapalıdır.



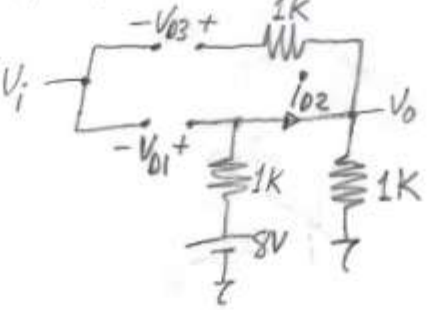
$$V_o = V_i, \quad i_{D2} = \frac{V_o}{1K} = V_i > 0 \checkmark$$

$$i = \frac{8 - V_o}{1K} = 8 - V_i, \quad i_{D1} = i - i_{D2} = 8 - V_i - V_i$$

$$= 8 - 2V_i > 0 \rightarrow V_i < 4V$$

$$V_{D3} = V_o - V_i = V_i - V_i = 0 \checkmark$$

$4 \le V_i < ?$ D1, D3 kapalı, D2 açıktır.

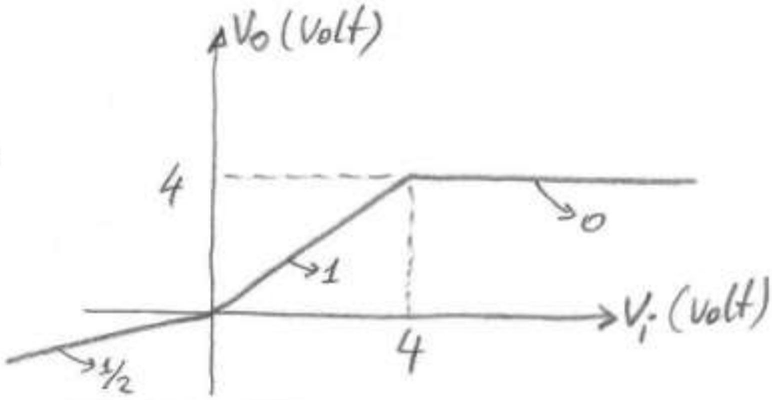


$$i_{D2} = \frac{8V}{2K} = 4\,mA > 0 \checkmark \quad V_o = 1K \times i_{D2} = 4V$$

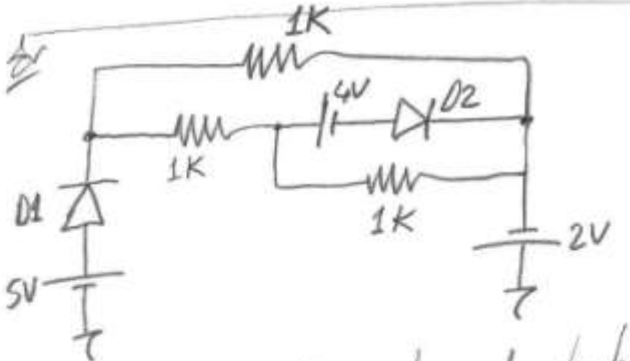
$$V_{D1} = V_o - V_i = 4 - V_i < 0 \rightarrow V_i > 4V \checkmark$$

$$V_{D3} = V_o - V_i = 4 - V_i < 0 \rightarrow V_i > 4V \checkmark$$

$$V_o = \begin{cases} \frac{V_i}{2} & V_i < 0 \\ V_i & 0 \le V_i < 4 \\ 4 & V_i \ge 4 \end{cases}$$

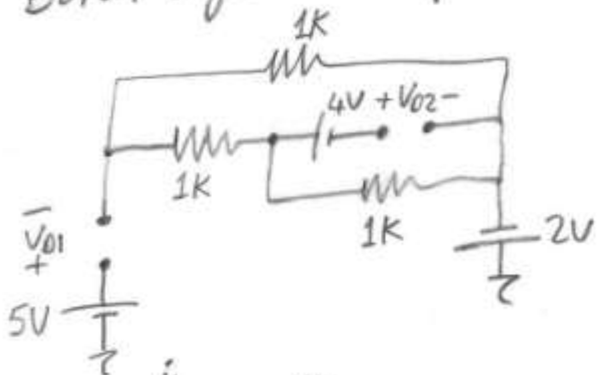


Ör



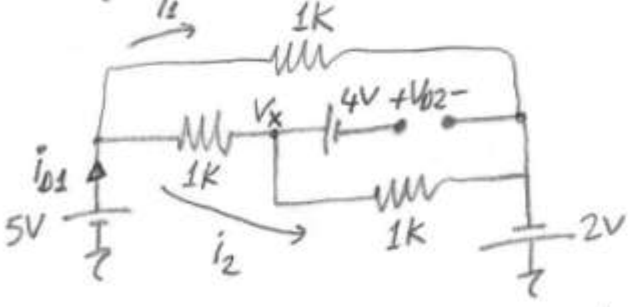
D1 ve D2 diyotlarının durumu nasıldır?

Bütün diyotları kapalı kabul edersek.



$V_{D1} = 5V + 2V = 7V > 0$ açık olmalı

$V_{D2} = -4V < 0$ kapalı olmalı



$i_1 = \frac{5V+2V}{1K} = 7\ mA$

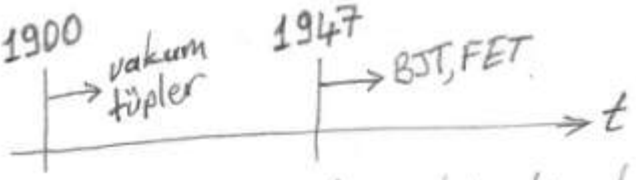
$i_2 = \frac{5V+2V}{2K} = 3.5\ mA$

$i_{D1} = i_1 + i_2 = 7\,mA + 3.5\,mA = 10.5\,mA > 0$ ✓

$V_x = 5V - 1K \times i_2 = 5 - i_2 = 5 - 3.5 = 1.5V$

$V_{D2} = V_x - 4 + 2 = 1.5 - 2 = -0.5V < 0$ ✓

Transistörler

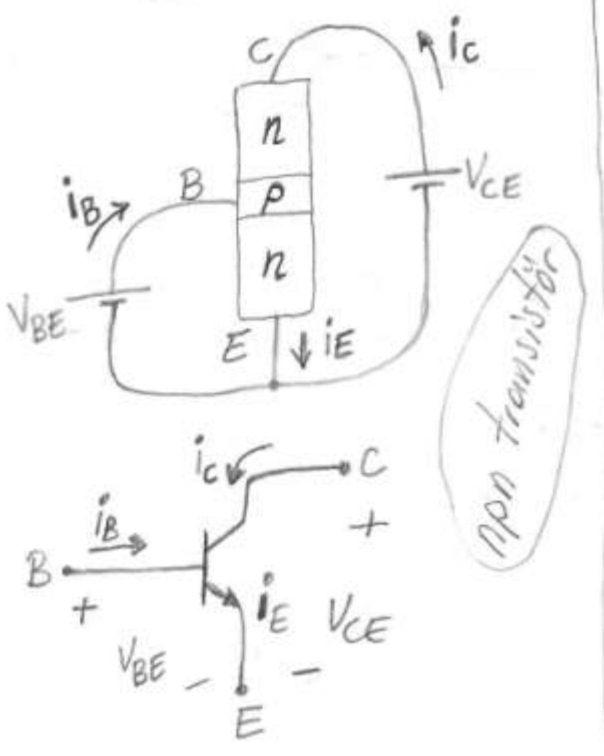


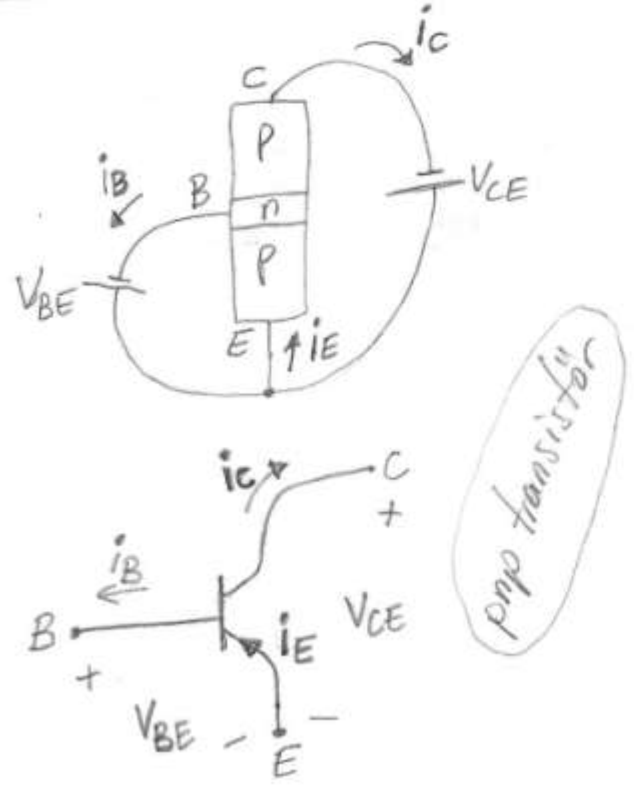
BJT : Bipolar Junction Transistor
FET : Field Effect Transistor

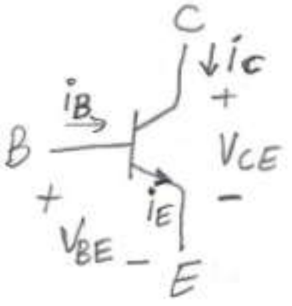
1904'te vakum tüp diyodu J.A.Flemming tarafından bulundu. 1906'da Lee De Forest, kontrol ızgarası denen ve ilk yükselteç sayılan triyodun ortaya çıkmasını sağlayan üçüncü bir elemanı vakum diyoda ekledi. Üretim 1922 yılında 1 milyon tüp iken, 1937'de 100 milyon tüpe yükseldi. 1930'ların ilk yıllarında dört elemanlı tetrot ve beş elemanlı pentot, elektronik tüp endüstrisinde ağırlık kazanmaya başladı.

1947'de üç uçlu yarıiletken bir eleman olan ilk transistör bulundu. Tüpe göre avantajları çok fazlaydı. Daha küçük ve daha hafifti. Isıtıcıya ve ısınma süresine gereksinimi yoktu. Bu yüzden ısıtıcı kaybı yoktu. Sağlam bir yapıya sahipti. Daha az güç harcadığından daha verimliydi Daha küçük oranda çalışma gerilimine gereksinim duymaktaydı.

İki Kutuplu Jonksiyon Transistörleri (BJT'ler)



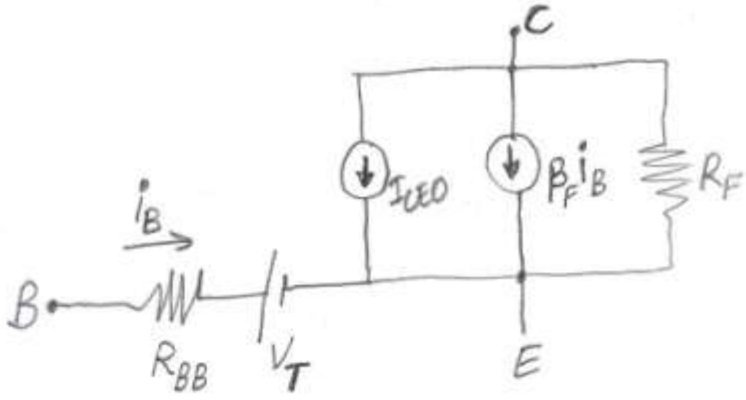




$$i_C = \beta i_B = \alpha i_E$$

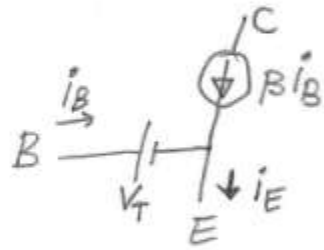
$$i_E = i_C + i_B = \beta i_B + i_B = (\beta+1)\cdot i_B$$

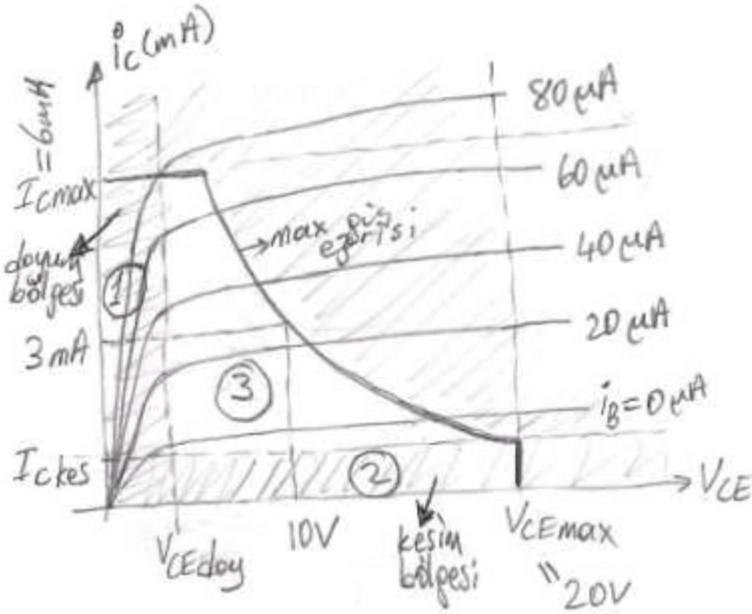
$$\alpha = \frac{\beta}{\beta+1} \quad \text{veya} \quad \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

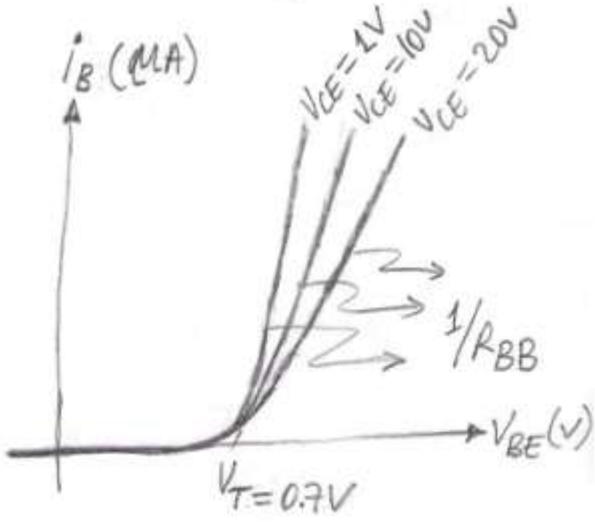


$R_{BB} \rightarrow 0$, $R_F \rightarrow \infty$

$I_{CEO} \rightarrow 0$, $\beta_F \rightarrow \beta$







$I_{Cmax} = 6mA$, $V_{CEmax} = 20V$, $P_{Cmax} = V_{CE} \cdot I_C = (10V) \times (3mA)$
$= 30\, mVA = 30\, mW$

① Doyum (Saturation) Bölgesi $V_{BE} \gg V_T$, $V_{CE} \approx 0.2V$

② Kesim (Cut off) Bölgesi $V_{BE} \leq V_T$, $i_B = 0$, $i_C \approx 0$

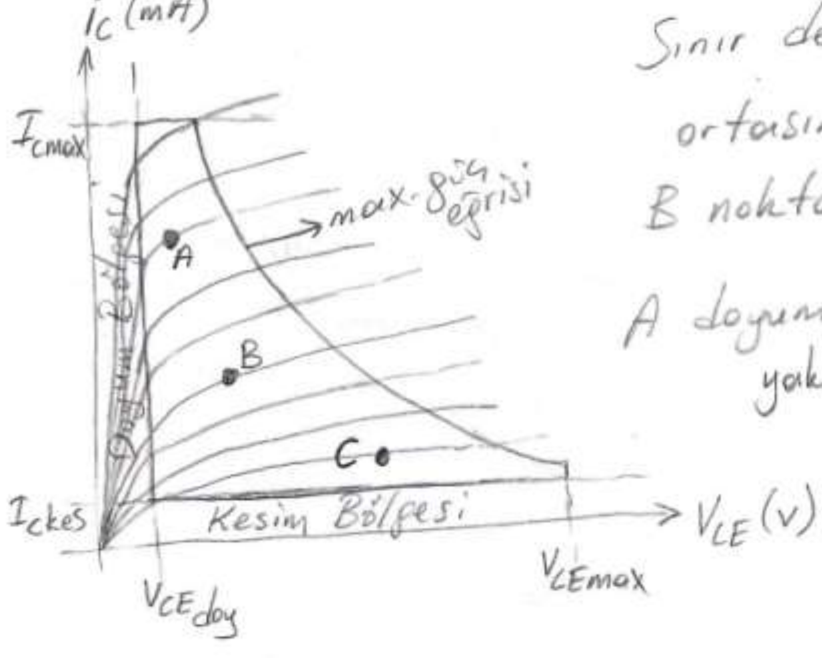
③ Aktif Bölge $i_C = \beta i_B > 0$

BJT'lerde DC öngerilimleme

BJT'lerin akım veya gerilim yükseltme veya kontrol (açma-kapama) elemanı olarak kullanılması için önce öngerilimlenmesi lazımdır. Öngerilimleme transistörü açık duruma getirmek ve en doğrusal bölgede çalıştırmak için gereklidir. Öngerilimleme olmasaydı transistör daha baştan kapalı olurdu.

Öngerilimleme sabit bir akımı transistör içinden geçirmek ve transistör üzerinde istenilen sabit bir gerilim düşüsünü sağlamakla ilgili olduğundan statik bir işlemdir. Transistörün öngerilimlendiği noktaya çalışma noktası veya Q-noktası denir.

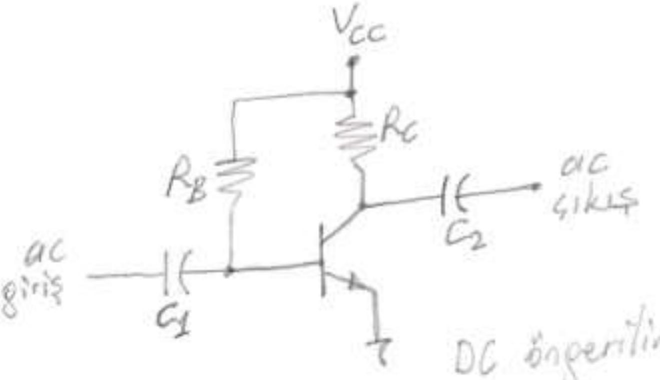
Öngerilimlemeye ek olarak devreye bir sinyal uygulandığında çalışma noktası kayar. Çalışma noktasındaki kaymaların akım ve gerilim yönünden minimum-maksimum sınırlar içerisinde kalması lazımdır ki transistör doğru çalışabilsin. Transistörün düzgün çalışabildiği noktaların oluşturduğu bölgeye çalışma bölgesi denir.



Sınır değerlerin tam ortasında olduğundan B noktası en uygun noktadır. A doyuma yakın, C kesime yakındır.

Max. güç eğrisi dışındadan transistör çalıştırılabilir. Ancak ömrü kısalır veya bozulabilir.

Ör



$V_{CC} = 12V$

$R_C = 2.2K \quad R_B = 240K$

$C_1 = C_2 = 10\,\mu F$

$\beta = 50 \quad V_T = 0.7V$

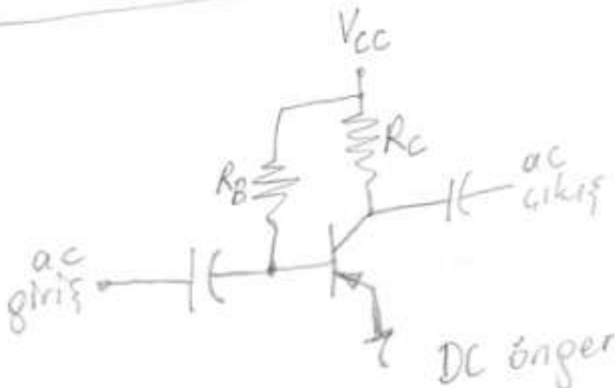
DC öngerilimleme akım ve gerilimini bulunuz.

$$i_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12V - 0.7V}{240K} = 47.08\,\mu A$$

$$i_{CQ} = \beta\, i_{BQ} = 50 \times (47.08\,\mu A) = 2.35\,mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - R_C I_{CQ} = 12V - (2.2K)\times(2.35\,mA) = 6.83\,V$$

Ör



$V_{CC} = -22V$

$R_C = 3.3K \quad R_B = 680K$

$C_1 = C_2 = 20\,\mu F$

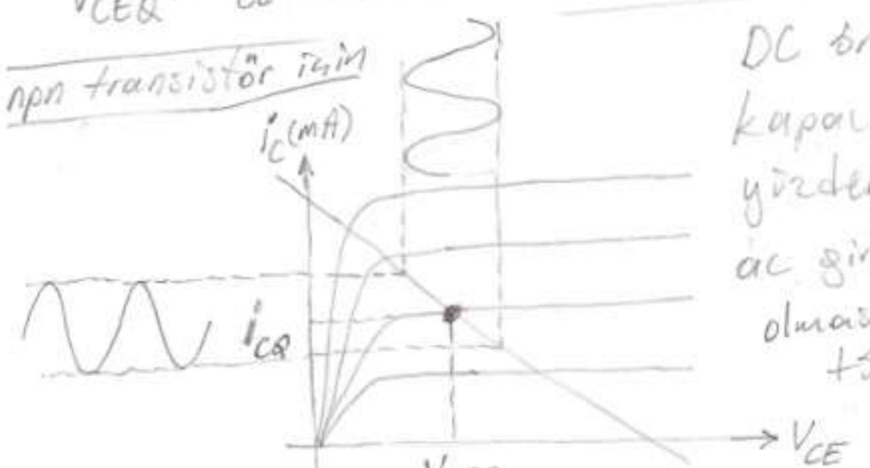
$\beta = 120 \quad V_T = 0.7$

DC öngerilimleme akım ve gerilimini bulunuz.

$$i_{BQ} = \frac{V_{BE} - V_{CC}}{R_B} = \frac{-0.7V - (-22V)}{680K} = 31.32\,\mu A$$

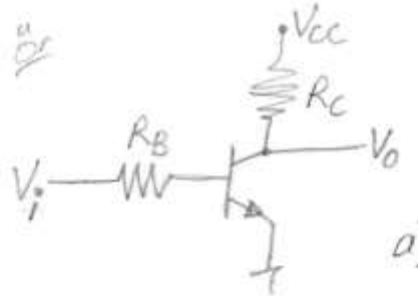
$$i_{CQ} = \beta\, i_{BQ} = 120 \times (31.32\,\mu A) = 3.76\,mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} + R_C i_{CQ} = -22V + (3.3K)\times(3.76\,mA) = -9.6\,V$$



DC öngerilimleme için kapasitörler dolar bu yüzden açık devre olurlar. ac giriş frekansının büyük olmasından dolayı kapasitörlere tesir etmez kısa devre olurlar.

Ör



$R_B = 92K \quad R_C = 0.5K \quad V_{cc} = 10V \quad \beta = 100$

$V_T = 0.6V, \; R_{BB} = 2K, \; I_{CEO} = 0, \; R_F = \infty$

a) $V_i = 10V$ b) $V_i = -4.1V$ c) $V_i = 28.8V$

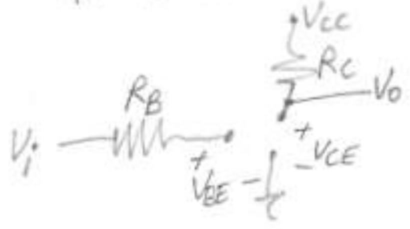
a) $i_B = \dfrac{V_i - V_T}{R_B + R_{BB}} = \dfrac{10V - 0.6V}{92K + 2K} = 0.1\,mA \qquad i_C = \beta i_B = 10\,mA$

$V_o = V_{cc} - R_C i_C = 10V - (0.5K)\cdot(10mA) = 5V$ çalışma noktası

b) $i_B = \dfrac{V_i - V_T}{R_B + R_{BB}} = \dfrac{-4.1V - 0.6V}{92K + 2K} = \dfrac{-4.7V}{94K} = -0.05\,mA < 0$ olamaz.

transistör kapalı.

$V_{BE} = V_i = -4.1 \text{ Volt} < V_T = 0.6V$



$V_o = V_{CE} = V_{cc} = 10 \text{ Volt}.$

$i_B = 0, \; i_C = 0, \; i_E = 0$

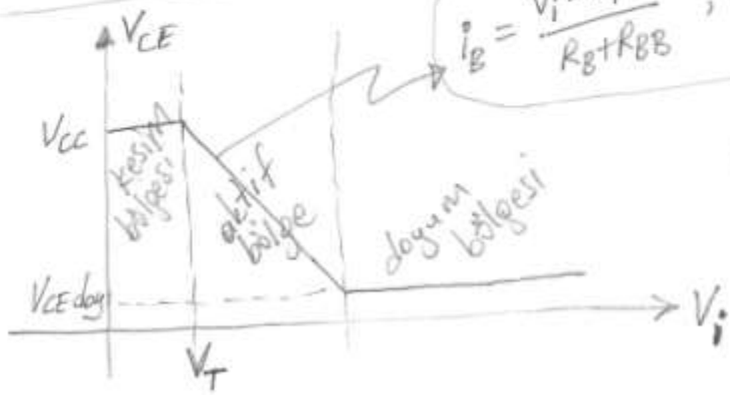
c) $i_B = \dfrac{V_i - V_T}{R_B + R_{BB}} = \dfrac{28.8V - 0.6V}{92K + 2K} = \dfrac{28.2V}{94K} = 0.3\,mA$

$i_C = \beta i_B = 100 \times (0.3mA) = 30\,mA > i_{cmax}$

$i_{cmax} = \dfrac{V_{cc}}{R_C} = \dfrac{10V}{0.5K} = 20\,mA$

transistör doyum noktasında

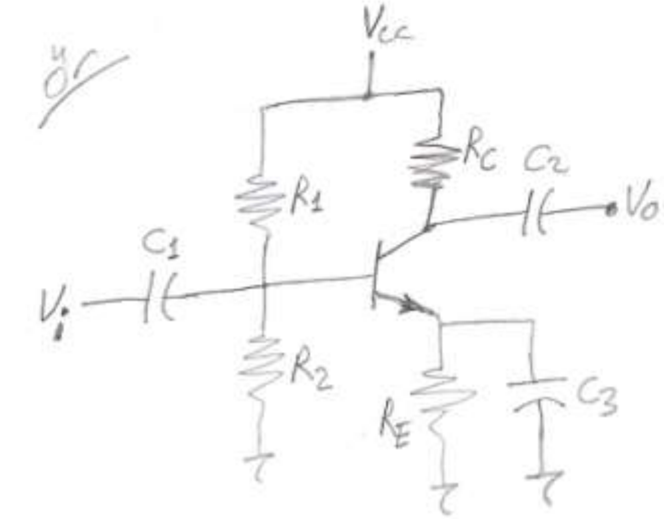
$V_{CEdoy} \cong 0.2V$ kabul edilir.



$i_B = \dfrac{V_i - V_T}{R_B + R_{BB}}, \; i_C = \beta i_B, \; V_{CE} = V_{cc} - R_C i_C$

$V_{CE} = V_{cc} - \dfrac{R_C(V_i - V_T)}{R_B + R_{BB}}$

Ör



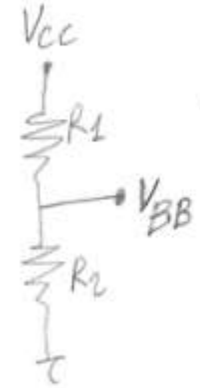
$V_{CC} = 22V \quad \beta = 140$

$R_1 = 39K \quad R_2 = 3.9K \quad V_T = 0.7V$

$R_C = 10K \quad R_E = 1.5K$

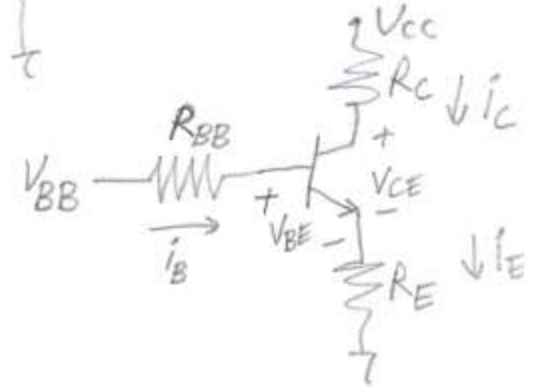
$C_1 = C_2 = 10\mu F \quad C_3 = 50\mu F$

DC öngerilimleme akım ve voltajını bulunuz.



$$R_{BB} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{39K \times 3.9K}{39K + 3.9K} = 3.55K$$

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{3.9K}{39K + 3.9K} \times 22V = 2V$$



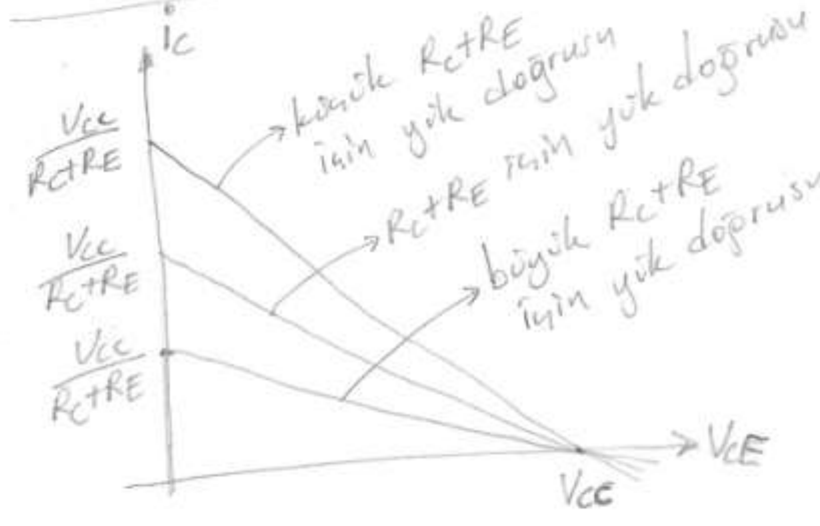
$$i_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (\beta+1) R_E}$$

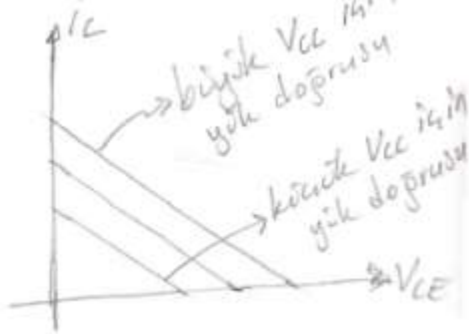
$$= \frac{2V - 0.7V}{3.55K + 141 \times (1.5K)} = 6.05\,\mu A$$

$$i_{CQ} = \beta\, i_{BQ} = 140 \times 6.05\,\mu A = 0.85mA \simeq i_{EQ}$$

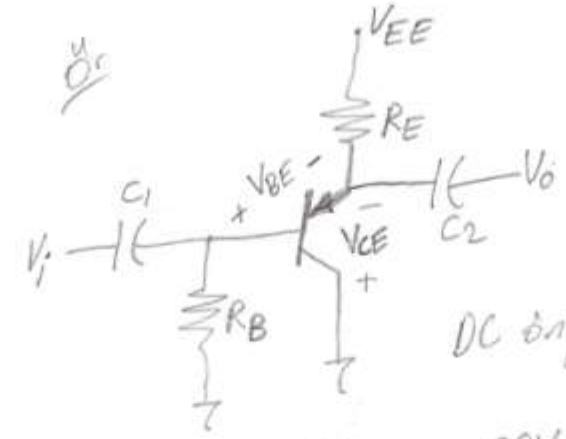
$$V_{CEQ} = V_{CC} - (R_C + R_E)\, i_{CQ} = 22V - (10K + 1.5K) \times (0.85mA) = 12.2V$$

$$i_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E}$$





Ör



$V_{EE}=20V$ $\beta=80$

$C_1=C_2=10\,\mu F$ $V_T=0.7V$

$R_B=240K$ $R_E=2K$

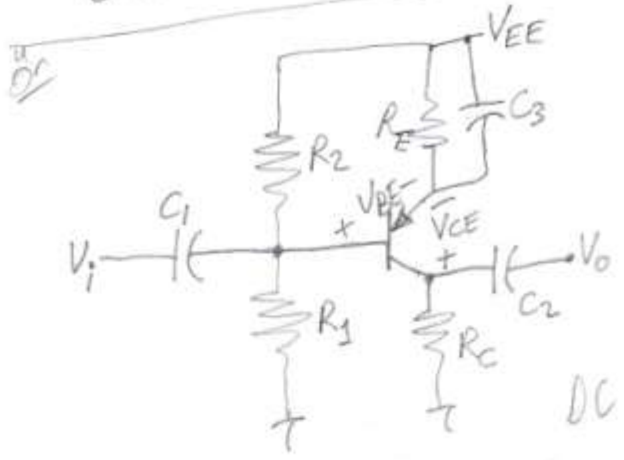
DC öngerilimleme akım ve voltajını bulunuz.

$$i_{BQ}=\frac{V_{EE}+V_{BE}}{R_B+(\beta+1)R_E}=\frac{20V-0.7V}{240K+81\times(2K)}=48.01\,\mu A$$

$$i_{CQ}=\beta i_B=80\times(48.01\,\mu A)=3.84\,mA\approx i_{EQ}$$

$$V_{CEQ}=R_E\,i_{EQ}-V_{EE}=(2K)\times(3.84\,mA)-20V=-12.32V$$

Ör



$V_{EE}=10V$ $\beta=180$ $V_T=0.7V$

$C_1=C_2=10\,\mu F$, $C_3=20\,\mu F$

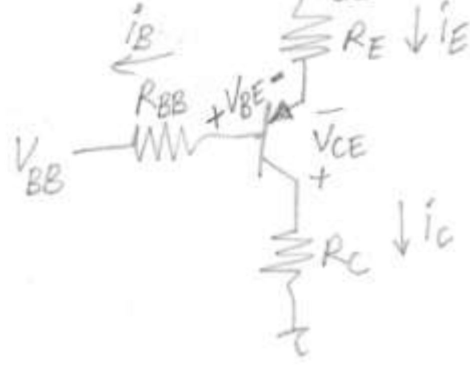
$R_1=43K$ $R_2=10K$

$R_C=6.2K$ $R_E=2K$

DC öngerilimleme akım ve voltajını bulunuz.

$$V_{BB}=\frac{R_1V_{EE}}{R_1+R_2}=\frac{43K\times10V}{43K+10K}=8.11V$$

$$R_{BB}=R_1//R_2=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}=\frac{43K\times10K}{43K+10K}=8.11K$$



$$i_{BQ}=\frac{V_{EE}-V_{BB}+V_{BE}}{R_{BB}+(\beta+1)R_E}=\frac{10V-8.11V-0.7V}{8.11K+181\times2K}$$

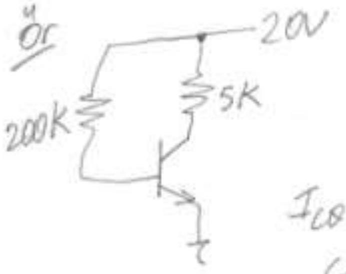
$$=\frac{1.19V}{370.11K}=3.215\,\mu A$$

$$i_{CQ}=\beta\,i_{BQ}=180\times3.215\,\mu A\approx0.579\,mA\approx i_{EQ}$$

$$V_{CE}=(R_C+R_E)\,i_{CQ}-V_{EE}=8.2K\times0.579mA-10V$$

$$\approx-5.25V$$

Ör



$\beta = 100$

$V_\gamma = 0.6V$

I_{CQ}, V_{CEQ}

Çöz

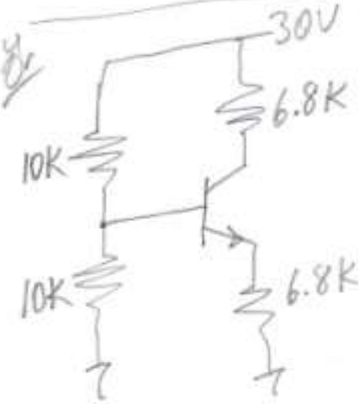
$$i_{BQ} = \frac{20V - 0.6V}{200k} = 0.097\,mA$$

$$i_{CQ} = \beta\, i_{BQ} = 9.7\,mA$$

$$V_{CEQ} = 20 - (5k) \times (9.7\,mA) = -28.5 < 0$$

transistör doyum bölgesinde

Ör

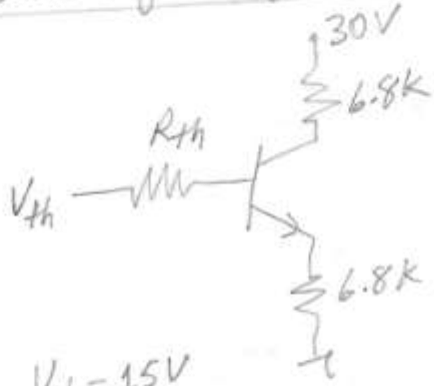


$\beta = 100$

$V_T = 0.6V$

I_{CQ}, V_{CEQ}

Çöz



$V_{th} = 15V$

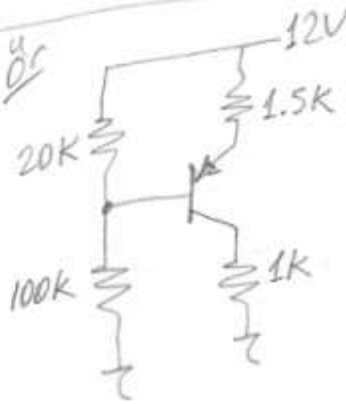
$R_{th} = 5K$

$$i_{BQ} = \frac{V_{th} - V_T}{R_{th} + (\beta+1)R_E} = \frac{15V - 0.6V}{5k + 101 \times 6.8k} \approx 20.815\,\mu A$$

$$i_{CQ} = \beta\, i_{BQ} = 2.0815\,mA \approx i_{EQ}$$

$$V_{CEQ} = 30 - (6.8k + 6.8k) \times (2.0815\,mA) \approx 1.69\,V$$

Ör

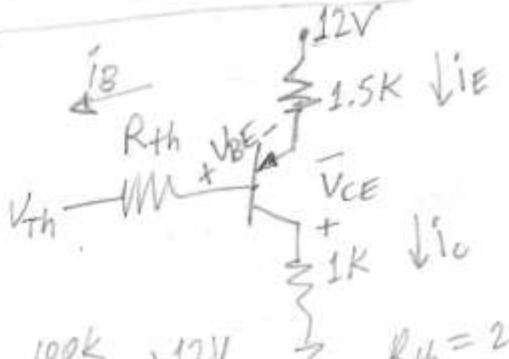


$\beta = 100$

$V_T = 0.6V$

I_{CQ}, V_{CEQ}

Çöz



$$V_{th} = \frac{100k}{100k + 20k} \times 12V = 10V$$

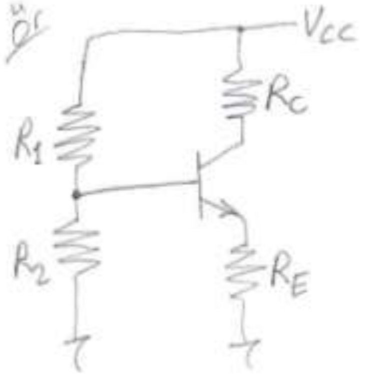
$$R_{th} = 20K // 100k = \frac{20K \times 100k}{20k + 100k} = 16.67K$$

$$i_{BQ} = \frac{12 + V_{BE} - V_{th}}{R_{th} + (\beta+1)R_E} = \frac{12 - 0.6 - 10}{16.67 + 101 \times 1.5} = \frac{1.4V}{168.17k} \approx 8.325\,\mu A$$

$$i_{CQ} = \beta\, i_{BQ} = 0.8325\,mA$$

$$V_{CEQ} = (R_C + R_E)\, i_{CQ} - 12V = 2.5K \times 0.8325mA - 12V \approx -9.92V$$

Ör

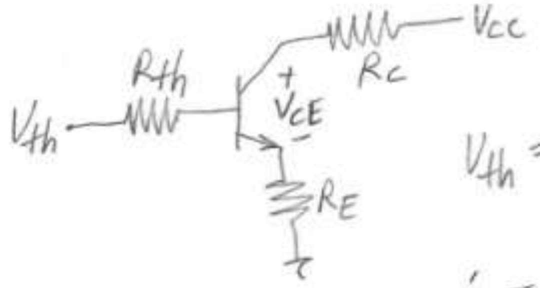


$V_{CC} = 20V \quad R_2 = 50K \quad R_C = 1K \quad V_T = 0.7V$

$50 \le \beta \le 150$ için

$3.9\,mA \le i_C \le 4.1\,mA$ oluyor ise

R_1 ve R_E dirençlerini, V_{CE} aralığını bulunuz.



$$R_{th} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50 R_1}{50 + R_1}$$

$$V_{th} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{1000}{50 + R_1}$$

$$i_C = \beta i_B = \frac{\beta (V_{th} - V_T)}{R_{th} + (\beta + 1) R_E}$$

$\frac{619.1}{198.9}$ ile çarp.

$$3.9 = \frac{50(V_{th} - 0.7)}{R_{th} + 51 R_E} \longrightarrow 3.9 R_{th} + 198.9 R_E = 50 V_{th} - 35$$

$$4.1 = \frac{150(V_{th} - 0.7)}{R_{th} + 151 R_E} \longrightarrow 4.1 R_{th} + 619.1 R_E = 150 V_{th} - 105$$

$$8.039 R_{th} = 5.631 V_{th} - 3.942$$

$$\frac{402 R_1}{50 + R_1} = \frac{5631}{50 + R_1} - 3.942 \longrightarrow R_1 \approx 13.386K$$

$$V_{th} = \frac{1000}{50 + R_1} \approx 15.78V, \quad R_{th} = \frac{50 R_1}{50 + R_1} \approx 10.56K$$

$$R_E = \frac{50 V_{th} - 35 - 3.9 R_{th}}{198.9} \approx 3.584K$$

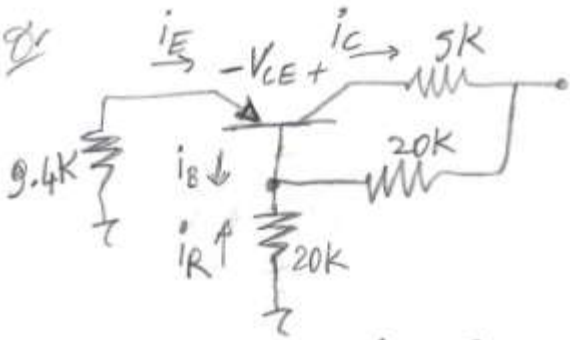
$$V_{CE} = V_{CC} - R_C i_C - R_E i_E \qquad i_C \approx i_E$$

$$= V_{CC} - (R_C + R_E) i_C$$

$i_{CC} = 3.9\,mA$ için $V_{CE} = 20 - (1K + 3.584K) \times 3.9mA \approx 2.1224\,V$

$i_{CC} = 4.1\,mA$ için $V_{CE} = 20 - (1K + 3.584K) \times 4.1mA \approx 1.2056\,V$

Ör



$V_T = 0.6\,V$

$\beta = 200$

Q-point bulunuz

$-9.4\,i_E - V_T + 20\,i_R = 0 \longrightarrow i_R = \dfrac{0.6 + 9.4\,i_E}{20}$

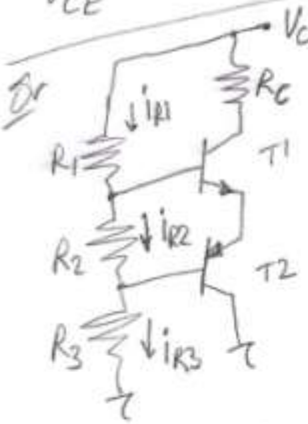
$V_{CC} + 20(i_B + i_R) + 20\,i_R = 0 \rightarrow i_R = \dfrac{20 - 20\,i_B}{40} = \dfrac{201 - i_E}{402}$

$i_R = i_R \longrightarrow \dfrac{0.6 + 9.4\,i_E}{20} = \dfrac{201 - i_E}{402} \longrightarrow i_E \simeq i_C \simeq 1\,mA$

$-9.4\,i_E + V_{CE} - 5\,i_C = V_{CC} = -20$ $\quad i_E \approx i_C$ olduğundan

$V_{CE} = -20 + 14.4\,i_C = -5.6\,V$

Ör



$V_{CE1} = 7.5V \quad V_{CE2} = -15V$

$i_{C1} = i_{C2} = 1mA \quad \beta_1 = \beta_2 = 100$

$V_{T1} = V_{T2} = 0.6V \quad R_1 = R_3$

$i_{R1} = 50\,i_{B1}\,, \quad i_{R3} = 50\,i_{B2}$

R_1, R_2, R_3, R_C dirençlerini bul.

$V_{CC} - R_C\,i_{C1} - V_{CE1} + V_{CE2} = 0 \rightarrow R_C = \dfrac{V_{CC} - V_{CE1} + V_{CE2}}{i_{C1}}$

$R_C = \dfrac{30V - 7.5V - 15V}{1mA} = \dfrac{7.5V}{1mA} = 7.5\,K$

$i_{B1} = \dfrac{i_{C1}}{\beta_1} = 0.01\,mA \quad i_{B2} = \dfrac{i_{C2}}{\beta_2} = 0.01\,mA$

$i_{R1} = 50 \times i_{B1} = 0.5\,mA \quad i_{R3} = 50\,i_{B2} = 0.5\,mA$

$R_2\,i_{R2} = V_{BE1} - V_{BE2}$

$R_2 = \dfrac{V_{BE1} - V_{BE2}}{i_{R1} - i_{B1}} = \dfrac{0.6V + 0.6V}{0.49mA} = 2.449\,K$

$R_1\,i_{R1} + R_2\,i_{R2} + R_3\,i_{R3} = V_{CC}$

$R_1\,i_{R1} + R_2(i_{R1} - i_{B1}) + R_1\,i_{R3} = V_{CC}$

$0.5R_1 + 0.49R_2 + 0.5R_1 = 30 \Rightarrow R_1 = 30 - 0.49R_2$

$R_1 = R_3 = 30 - 0.49 \times 2.449$

$\simeq 28.8\,K$

Alan Etkili Transistörler (Field Effect Transistors – FET's)

npn veya pnp tipli bir BJT (iki kutuplu jonksiyon transistörü) hem elektron hem de oyuk akımının kullanıldığı akım kontrollü bir transistördür. FET tek kutuplu bir transistördür. n kanallı bir FET elektron akımıyla, p kanallı bir FET ise oyuk akımıyla çalışan gerilim kontrollü bir transistördür.

FET'lerde giriş direnci 100 MΩ civarındadır. BJT'lerde ise 2 kΩ civarındadır.

FET'ler tek temel p-n jonksiyonuna sahip üç uçlu elemanlardır.

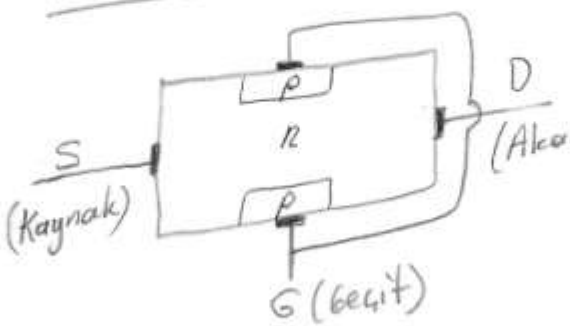
- FET
  - → JFET
  - → MOSFET
    - → Kanal ayarlamalı MOSFET
    - → Kanal oluşturmalı MOSFET

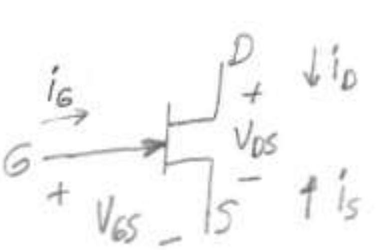
Büyük ölçekli entegre devreler öncelikle MOSFET'ler kullanılarak üretilirler.

JFET : Jonksiyon FET

MOSFET : Metaloksit yarıiletken FET

n kanallı JFET

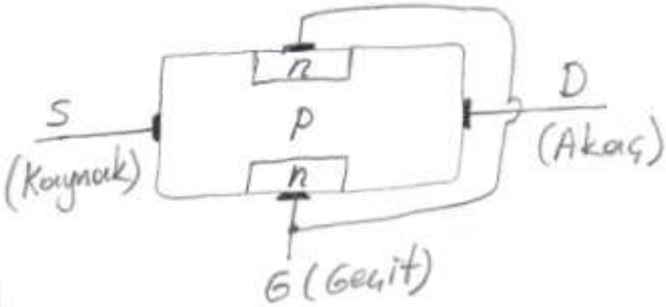


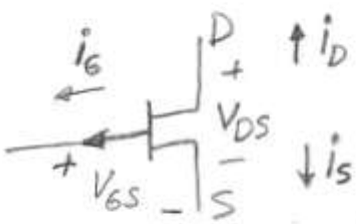


$i_G = 0$, $i_D = -i_S$, $i_D > 0$

$V_{DS} > 0$, $V_p < V_{GS} \leq 0$

p kanallı JFET





$i_G = 0$, $i_D = -i_S$, $i_D > 0$

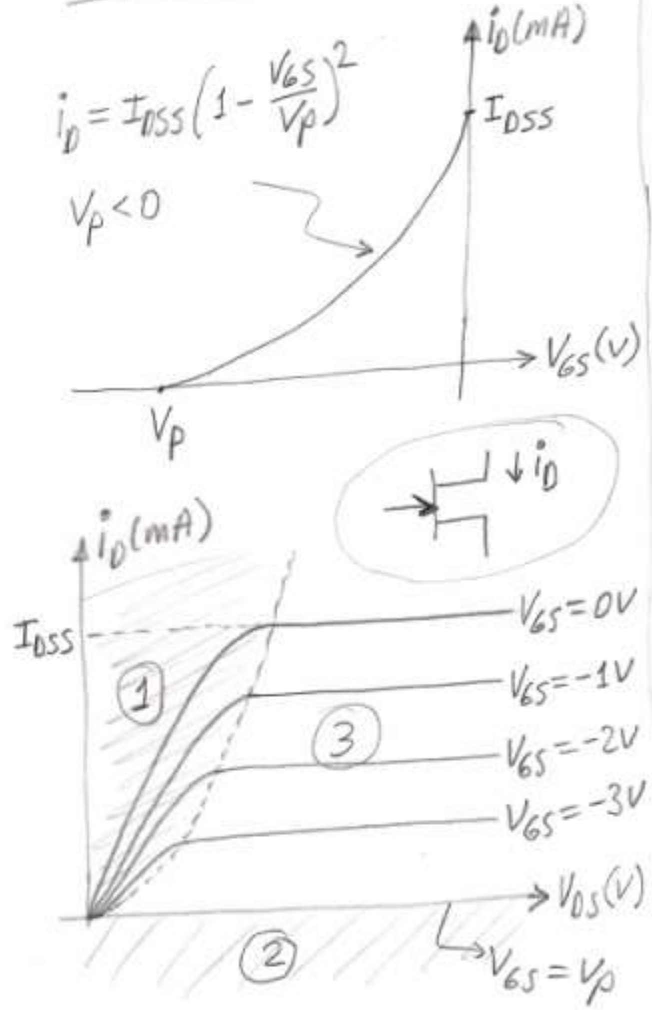
$V_{DS} < 0$, $0 \leq V_{GS} < V_p$

I_{DSS} : Akaç kaynak doyum akımı

Sabit akım bölgesinde

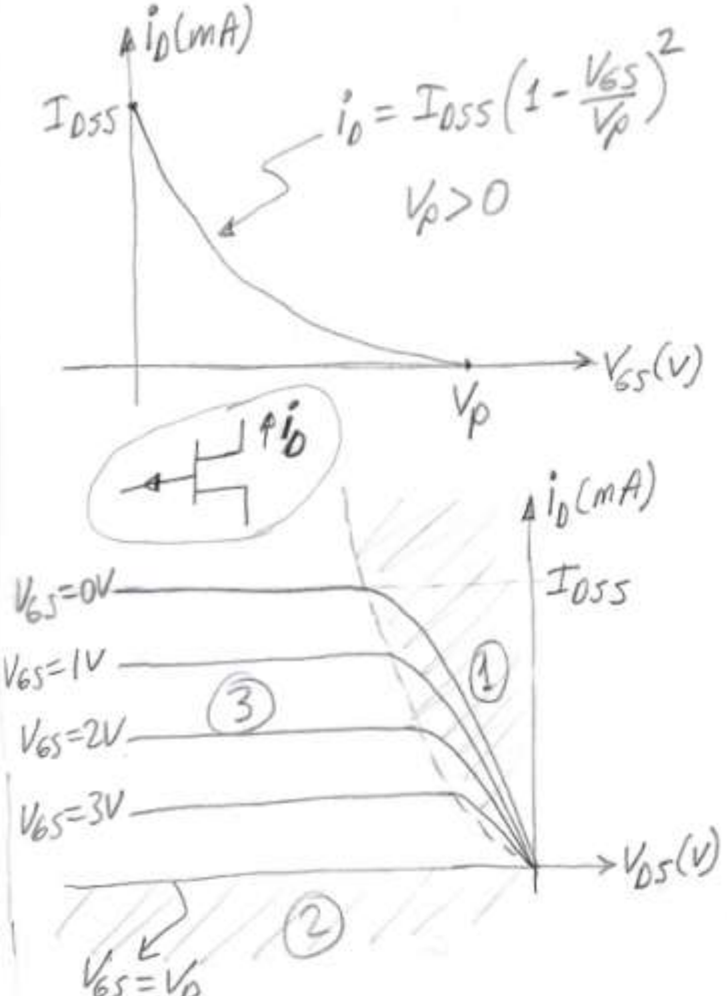
$$i_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \rightarrow \begin{cases} V_{DS} \geq V_{GS} - V_P > 0 & \text{n kanallı} \\ V_{DS} \leq V_{GS} - V_P < 0 & \text{p kanallı} \end{cases}$$

n kanallı JFET



1. Direnç Bölgesi
   $V_{DS} \leq V_{GS} - V_P$
2. Kapalı Bölge $V_{GS} \leq V_P < 0$
3. Sabit akım bölgesi
   $V_{DS} \geq V_{GS} - V_P > 0$
   $i_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$

p kanallı JFET



1. Direnç Bölgesi
   $V_{DS} \geq V_{GS} - V_P$
2. Kapalı Bölge $V_{GS} \geq V_P > 0$
3. Sabit Akım Bölgesi
   $V_{DS} \leq V_{GS} - V_P < 0$
   $i_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$

Ör. Kısılma gerilimi $V_p = -4V$, akaç-kaynak doyum akımı $I_{DSS} = 12\,mA$ olan bir n kanallı JFET'in akaç akımını aşağıdaki kapı-kaynak gerilimleri için bulunuz.

a) $V_{GS} = 0V$ b) $V_{GS} = -1.2V$ c) $V_{GS} = -2V$ d) $V_{GS} = -5V$ e) $V_{GS} = 1V$

$i_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$ alırsak

a) $i_D = 12\,mA\left(1 - \frac{0}{-4}\right)^2 = 12\,mA$

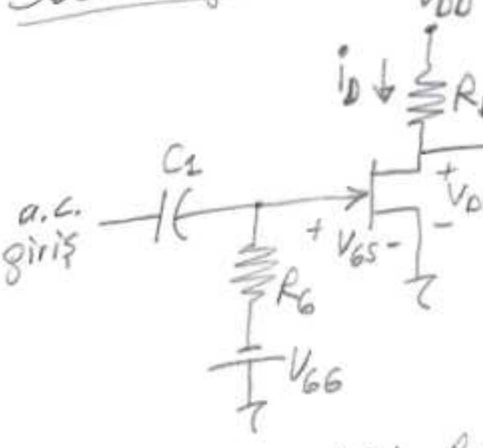
b) $i_D = 12\,mA\left(1 - \frac{-1.2}{-4}\right)^2 = 5.88\,mA$

c) $i_D = 12\,mA\left(1 - \frac{-2}{-4}\right)^2 = 3\,mA$

d) $V_{GS} = -5V < V_p = -4$ olduğundan JFET kapalı bölgede

e) $V_{GS} = 1V > 0$ olamaz. uygunsuz durum.

Sabit önperilim



R_G direnci, C_1 kondansatörü üzerinden uygulanacak herhangi bir ac sinyalinin R_G üzerinde artırılmasını sağlamak için eklenmiştir.

$V_{DD} = 12V$ $V_{GG} = 1.5V$ $R_G = 1\,M\Omega$ $R_D = 1.2\,k\Omega$ $C_1 = 0.01\,\mu F$ $C_2 = 2\,\mu F$

$I_{DSS} = 12\,mA$ $V_p = -4V$ ise çalışma noktasını bulunuz

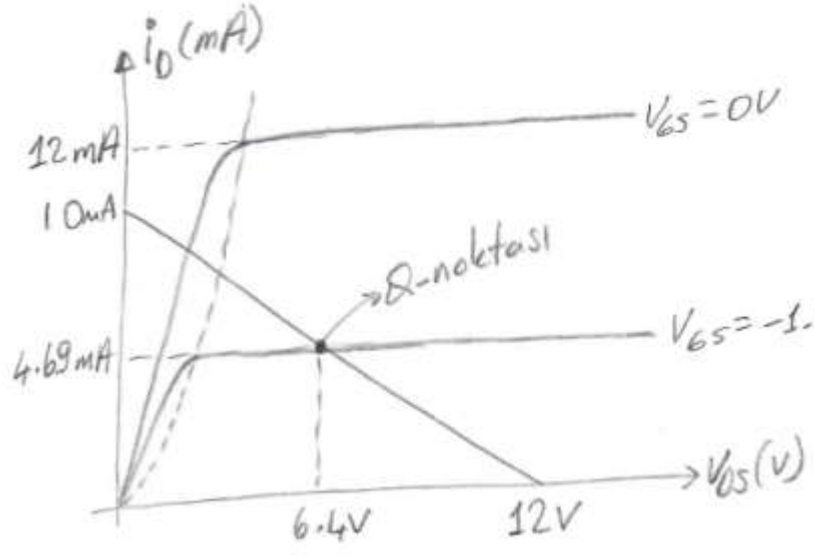
$V_{GS} = -V_{GG} = -1.5V$

$i_{DQ} = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$

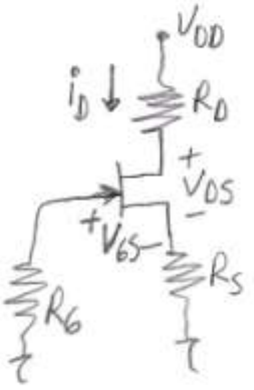
$= 12\,mA \cdot \left(1 - \frac{-1.5}{-4}\right)^2$

$= 4.69\,mA$

$V_{DSQ} = V_{DD} - R_D\, i_{DQ} = 6.4\,V$



Kendinden öngerilimli JFET



$i_G = 0$, $V_G = 0$, $V_S = R_S i_D$

$V_{GS} = V_G - V_S = -R_S i_D$

$i_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = I_{DSS}\left(1 + \frac{R_S i_D}{V_P}\right)^2$

$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) i_D$

Ör Yukarıdaki şekili kullanarak soruyu çöz.
$I_{DSS} = 10\,mA$ $V_P = -4V$ $R_D = 6.2k\Omega$ $R_S = 1.5k\Omega$ çalışma noktası.
$R_G = 1M\Omega$ $V_{DD} = 24V$

$V_{GS} = -R_S i_D$

$i_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = I_{DSS}\left(1 + \frac{R_S i_D}{V_P}\right)^2 = 10\left(1 - \frac{1.5 i_D}{4}\right)^2$

$2.25 i_D^2 - 13.6 i_D + 16 = 0 \rightarrow i_D = \frac{20}{4.5} mA = 4.444\,mA$
$\rightarrow i_D = \frac{7.2}{4.5} mA = 1.6\,mA$

$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) \cdot i_D$

$i_D = \frac{20}{4.5} mA$ için $V_{DS} = 24 - (6.2 + 1.5) \times \frac{20}{4.5} = -10.22\,V$ X

$i_D = 1.6\,mA$ için $V_{DS} = 24 - (6.2 + 1.5) \times 1.6 = 11.68\,V$ ✓

$i_{DQ} = 1.6\,mA$ ve $V_{DSQ} = 11.68V$ ve $V_{GSQ} = -2.4\,V$

Ör $V_{DD} = 10\,V$, $R_D = 4K$, $R_S = 2k$, $I_{DSS} = 9\,mA$ $V_P = -3V$ olsa idi çalışma noktası

$V_{GS} = -R_S i_D = -2 i_D$

$i_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$

$= 9\left(1 - \frac{2 i_D}{3}\right)^2 = (3 - 2 i_D)^2$

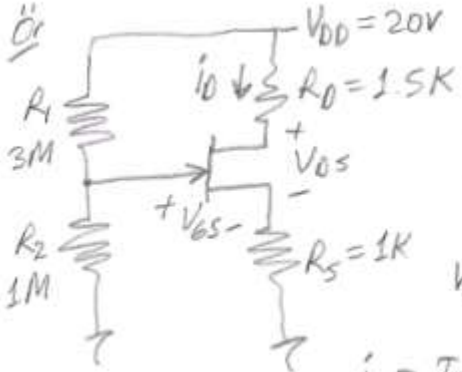
$\rightarrow 4 i_D^2 - 13 i_D + 9 = 0 \rightarrow i_D = 1\,mA$
$\rightarrow i_D = 2.25\,mA$ Olmuyor.

$i_D = 1mA$ için $V_{GS} = -2 i_D = -2V < -3V$ ✓

$V_{DS} > V_{GS} - V_P = 1V$

$V_{DS} = 10 - (4+2) \times 1 = 4V > 1V$ ✓

Ör



$V_p = -5V$, $I_{DSS} = 8mA$ ise çalışma noktası?

$$V_G = \frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2} = \frac{1M \times 20V}{3M + 1M} = 5V$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_S i_D = 5 - i_D$$

$$i_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 = 8\left(1 - \frac{5 - i_D}{-5}\right)^2 = 8\left(\frac{i_D - 10}{5}\right)^2$$

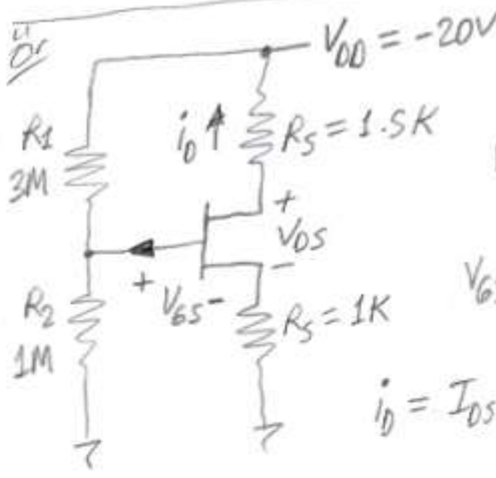
$$i_D^2 - 23.125 i_D + 100 = 0 \rightarrow i_D = 17.37\ mA \ \times$$
$$\rightarrow i_D = 5.76\ mA$$

$i_{DQ} = 5.76\ mA$ için $V_{GSQ} = 5 - i_{DQ} = -0.76V$ $(V_p < V_{GS} \leq 0)$ ✓

$V_{DSQ} \geq V_{GSQ} - V_p = -0.76V - (-5V) = 4.24V$

$V_{DSQ} = V_{DD} - (R_D + R_S)\, i_{DQ} = 20V - (1.5K + 1K) \times 5.76mA = 5.6V > 4.24V$ ✓

Ör



$V_p = 5V$, $I_{DSS} = 8mA$ ise çalışma noktası?

$$V_G = \frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2} = \frac{1M \times (-20V)}{3M + 1M} = -5V$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G + R_S i_D = i_D - 5$$

$$i_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 = 8\left(1 - \frac{i_D - 5}{5}\right)^2 = 8\left(\frac{i_D - 10}{5}\right)^2$$

$$i_D^2 - 23.125 i_D + 100 = 0 \rightarrow i_D = 17.37\ mA \ \times$$
$$\rightarrow i_D = 5.76\ mA$$

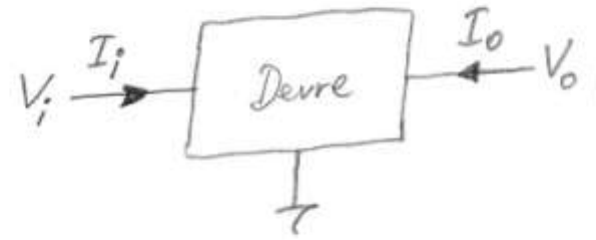
$i_{DQ} = 5.76\ mA$ için $V_{GSQ} = i_D - 5 = 0.76V$ $(0 \leq V_{GS} < V_p)$ ✓

$V_{DSQ} < V_{GSQ} - V_p = 0.76V - 5V = -4.24V$

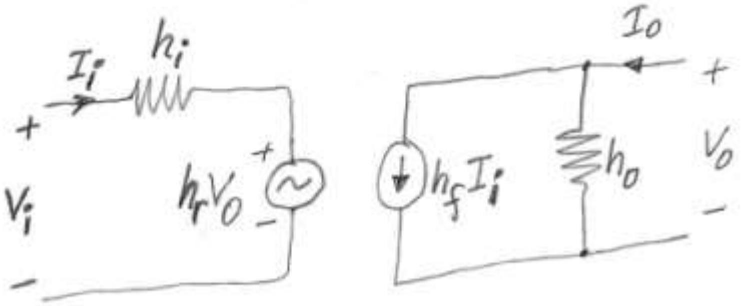
$V_{DSQ} = V_{DD} + (R_S + R_D)\, i_{DQ}$

$= -20V + (1.5K + 1K) \times 5.76mA = -5.6V < -4.24V$ ✓

Karma Eşdeğer Devre



$$V_i = h_{11} I_i + h_{12} V_0$$
$$I_0 = h_{21} I_i + h_{22} V_0$$



Tam karma eşdeğer devre

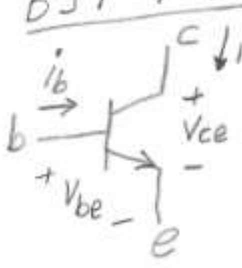
h_{11} (h_i) : Giriş direnci (input) $\rightarrow h_{11} = \dfrac{V_i}{I_i}\Big|_{V_0=0}$ (Ω) ohm

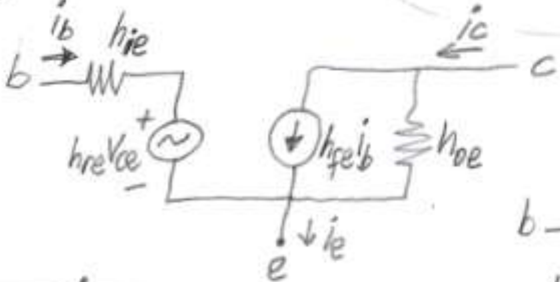
h_{12} (h_r) : Ters transfer gerilim oranı (reverse) $\rightarrow h_{12} = \dfrac{V_i}{V_0}\Big|_{I_i=0}$ (birimsiz)

h_{21} (h_f) : İleri transfer akım oranı (forward) $\rightarrow h_{21} = \dfrac{I_0}{I_i}\Big|_{V_0=0}$ (birimsiz)

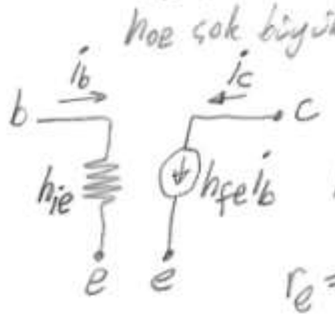
h_{22} (h_0) : çıkış iletkenliği (output) $\rightarrow h_{22} = \dfrac{I_0}{V_0}\Big|_{I_i=0}$ $(\mho)$ mho siemens

BJT Küçük Sinyal Analizi



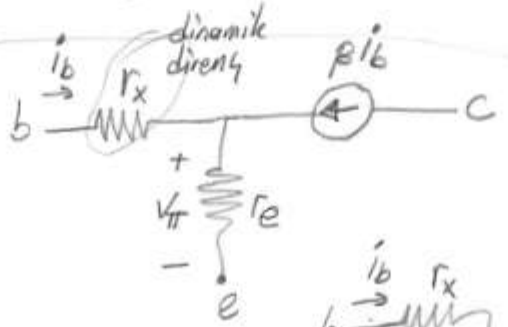


h_{re} çok küçük ve h_{oe} çok büyük ise

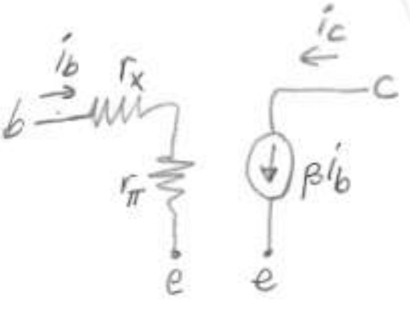


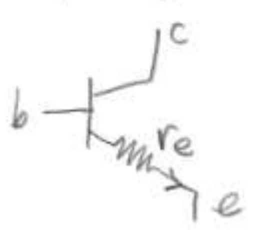
$h_{fe} = \beta$

$$r_e = \frac{26mV}{I_{EQ}}$$

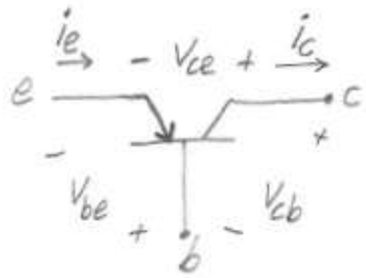


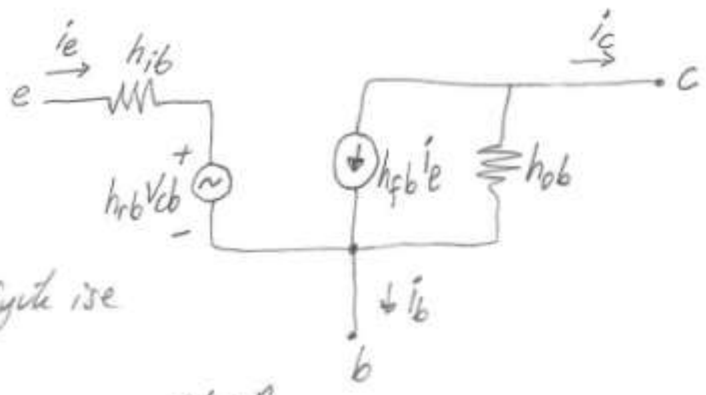
$$h_{ie} = (\beta+1) r_e = r_{ac} = \frac{26mV}{I_{BQ}}$$



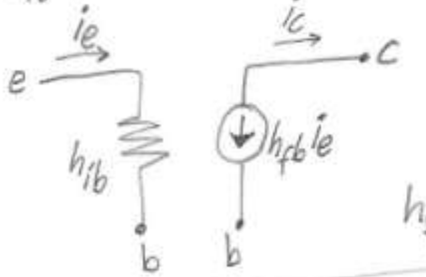


$$V_\pi = r_e i_e = \underbrace{(\beta+1) r_e}_{r_\pi} i_b$$





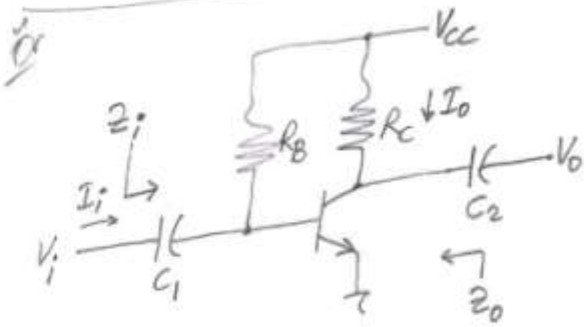
h_{rb} çok küçük, h_{ob} çok büyük ise



$$h_{ib} = r_e = \frac{26mA}{I_{EQ}}$$

$$h_{fb} = -\alpha$$

ör



ortak emitörlü sabit öngerilimli düzenlem

$C_1 = C_2 = 0.1\ \mu F$

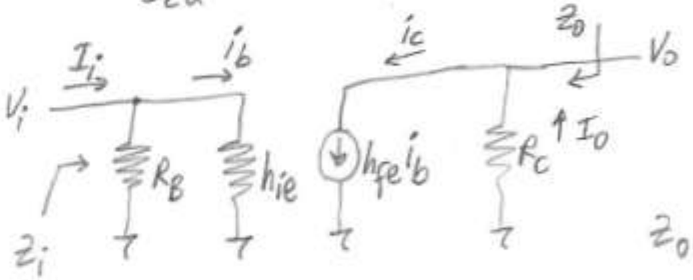
$R_B = 560K \quad R_C = 3k\Omega$

$\beta = 100$, $V_{CC} = 12V$ ise

Z_i, Z_o, A_v, A_o değerlerini bulunuz.

$$i_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12V - 0.7V}{560K} \approx 20\ \mu A \qquad i_{CQ} \approx i_{EQ} = \beta\, i_{BQ} = 100 \times 20\ \mu A = 2\ mA$$

$$r_e = \frac{26\ mV}{I_{EQ}} = 13\ \Omega \qquad h_{ie} = (\beta + 1) \cdot r_e \approx 1300$$



$$Z_i = R_B // h_{ie} \approx h_{ie} = 1.3K$$

$(R_B >> h_{ie})$

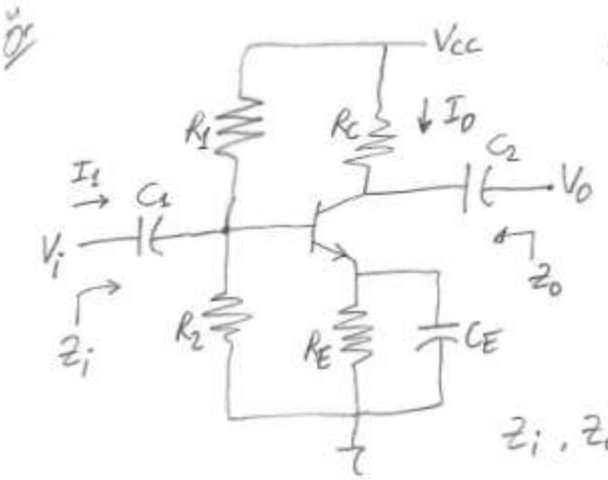
$$Z_o = R_C = 3K \qquad h_{fe} = \beta = 100$$

$$V_o = -R_C I_o = -R_C i_c = -R_C h_{fe} i_b = -R_C h_{fe} \frac{V_i}{h_{ie}}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -R_C \frac{h_{fe}}{h_{ie}} = -3K \cdot \frac{100}{1.3K} = -230.77$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{i_c}{i_b} = h_{fe} = 100$$

Ö/



Gerilim Bölücü ile öngerilimleme

$C_1 = C_2 = 1\mu F \quad C_E = 0.1\mu F$

$R_1 = 56K \quad R_2 = 5.6K \quad \beta = 90$

$R_C = 10K \quad R_E = 1.5K \quad V_{CC} = 22V$

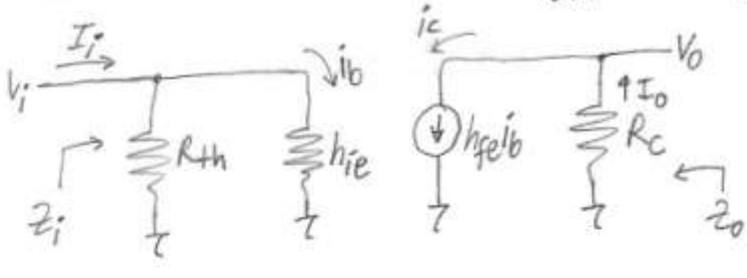
Z_i, Z_o, A_i, A_o değerleri?

$$V_{th} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{5.6K \times 22V}{56K + 5.6K} = 2V \qquad R_{th} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 5.09K$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta+1)R_E} = \frac{2V - 0.7V}{5.09K + 91 \times 1.5K} = 9.18\,\mu A \qquad h_{fe} = \beta = 90$$

$$I_{CQ} = \beta\, i_{BQ} = 90 \times 9.18\,\mu A = 0.826\,mA \approx I_{EQ}$$

$$h_{ie} = (\beta+1)\, r_e = (\beta+1) \cdot \frac{26\,mV}{I_{EQ}} = \frac{26\,mV}{I_{BQ}} = \frac{26\,mV}{9.18\,\mu A} = 2.835K$$



$$Z_i = R_{th} // h_{ie}$$
$$= 5.09K // 2.835K = 1.821K$$

$$Z_0 = R_C = 10K$$

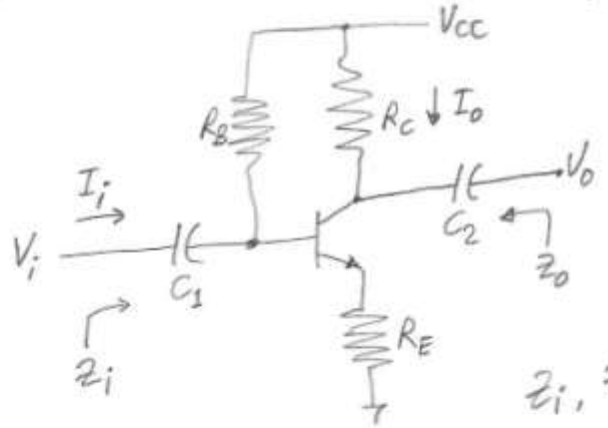
$$V_0 = -R_C I_0 = -R_C h_{fe} i_b = -R_C h_{fe} \frac{V_i}{h_{ie}}$$

$$A_V = \frac{V_0}{V_i} = -R_C \frac{h_{fe}}{h_{ie}} = -10K \frac{90}{2.835K} = -317.5$$

$$A_i = \frac{I_0}{I_i} = \frac{h_{fe} i_b}{V_i / Z_i} = \frac{Z_i h_{fe} i_b}{V_i} = \frac{(R_{th} // h_{ie}) \cdot h_{fe} i_b}{h_{ie} i_b} = \frac{R_{th} h_{fe}}{R_{th} + h_{ie}}$$

$$= \frac{5.09 \times 90}{5.09 + 2.835} = 57.8$$

Ör: CE Köprülenmemiş emitör önperilimli düzenleme



$C_1 = C_2 = 0.1\ \mu F$

$V_{cc} = 20V \quad \beta = 120 \quad V_T = 0.7V$

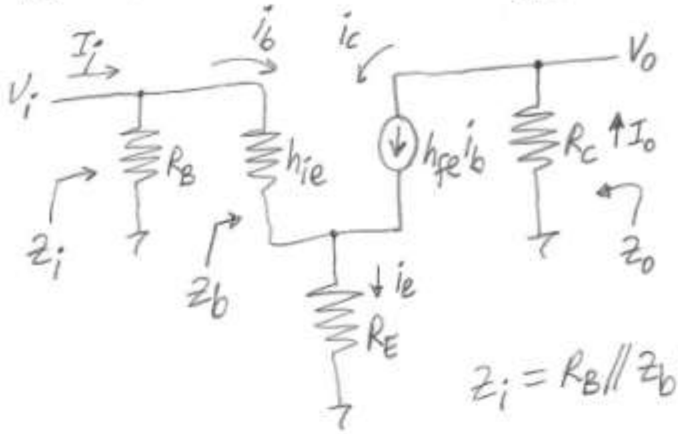
$R_B = 270\ k \quad R_C = 5.6K \quad R_E = 1.2K$

$z_i,\ z_o,\ A_v,\ A_i$ değerlerini bulunuz.

$$i_{BQ} = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_B + (\beta+1)R_E} = \frac{20V - 0.7V}{270K + 121 \times 1.2K} = \frac{19.3V}{415.2K} = 46.48\ \mu A$$

$$i_{EQ} = (\beta+1)\, i_{BQ} = 5.624 \approx i_{CQ}$$

$$h_{ie} = (\beta+1)\, r_e = (\beta+1)\frac{26\,mV}{I_{EQ}} = \frac{26\,mV}{I_{BQ}} = 0.56K$$



$$z_b = h_{ie} + (1 + h_{fe})R_E$$

$$= 0.56K + 121 \times 1.2K$$

$$= 145.76K$$

$$z_i = R_B // z_b = \frac{R_B z_b}{R_B + z_b} = 94.66K$$

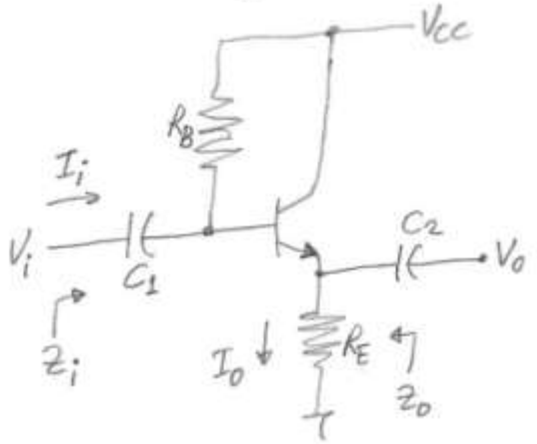
$$z_o = R_C = 5.6\ K$$

$$V_o = -R_C I_o = -R_C h_{fe} i_b = -R_C h_{fe} \frac{V_i}{z_b}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -R_C \frac{h_{fe}}{z_b} = -5.6K \times \frac{120}{145.76K} = -4.61$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{V_o/z_o}{V_i/z_i} = \frac{V_o}{V_i}\frac{z_i}{z_o} = A_v \frac{z_i}{z_o} = -4.61\ \frac{94.66K}{5.6K} = -77.93$$

Ⓑ Emitör izleyici dizenleme



$V_{CC} = 12V \quad V_T = 0.7V \quad \beta = 98$

$C_1 = C_2 = 0.1\ \mu F$

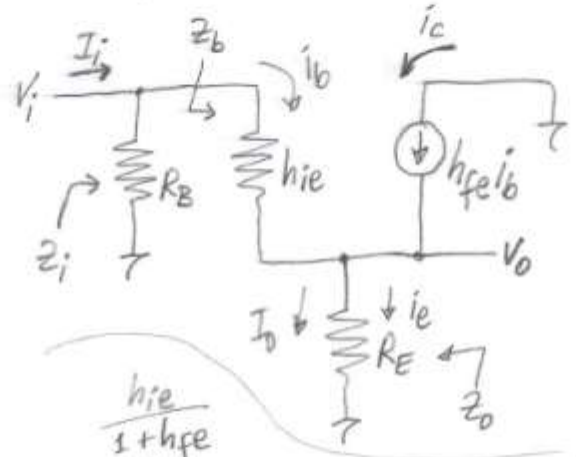
$R_B = 220K \quad R_E = 3.3K$ ise

z_i, z_o, A_v, A_i değerlerini bulunuz.

$$i_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_T}{R_B + (\beta+1)R_E} = \frac{12V - 0.7V}{220k + 99 \times 3.3K} = \frac{11.3V}{546.7K} = 20.67\ \mu A$$

$$i_{EQ} = (\beta+1)\, i_{BQ} = 2.05\ mA \approx i_{CQ}$$

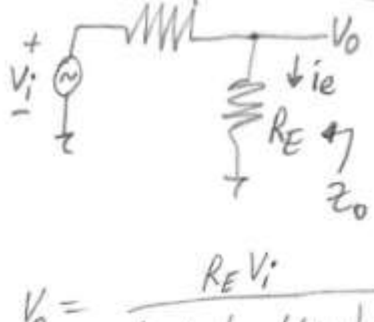
$$h_{ie} = (\beta+1)\, r_e = (\beta+1)\,\frac{26mV}{i_{EQ}} = \frac{26mV}{i_{BQ}} = 1.26\,K \qquad h_{fe} = \beta = 98$$



$$z_b = h_{ie} + (1 + h_{fe})R_E$$

$$= 1.26K + 99 \times 3.3K = 327.96\,K$$

$$z_i = R_B \,//\, z_b = \frac{R_B z_b}{R_B + z_b} = 131.67\,K$$



z_o'ı bulmak için V_i sıfır yapılırsa

$$z_o = R_E \,//\, \frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}} = (3.3K)\,//\,(12.7\,\Omega) \approx 12.7\,\Omega$$

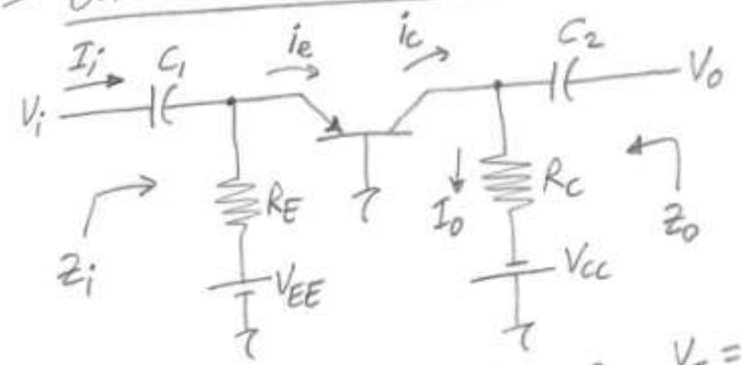
$$V_o = \frac{R_E V_i}{R_E + h_{ie}/(1+h_{fe})} \rightarrow A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E}{R_E + h_{ie}/(1+h_{fe})} \approx \frac{3.3K}{3.3K + 12.7\,\Omega} \approx 1$$

$$V_i = R_B(I_i - i_b) = z_b i_b \rightarrow i_b = \frac{R_B I_i}{R_B + z_b}$$

$$I_o = i_e = (1 + h_{fe})\, i_b = \frac{R_B(1 + h_{fe})I_i}{R_B + z_b} \rightarrow A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{R_B(1+h_{fe})}{R_B + z_b}$$

$$= \frac{220K \times 99}{220K + 327.96k} \approx 39.75$$

Ör: Ortak Bazlı Düzenleme



$C_1 = C_2 = 1\,\mu F$

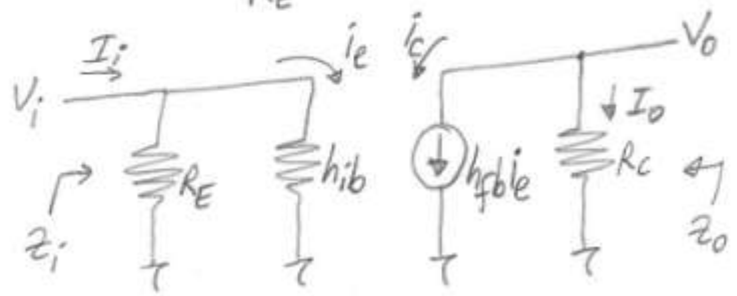
$R_E = 1K \quad R_C = 5K$

$V_{EE} = 2V \quad V_{CC} = 8V$

$V_T = 0.7V \quad \beta = 100$

z_i, z_o, A_v, A_i değerleri?

$$I_{EQ} = \frac{V_{EE} + V_{BE}}{R_E} = \frac{2V - 0.7V}{1K} = 1.3\,mA$$



$$h_{ib} = r_e = \frac{26mV}{I_{EQ}} = 20\Omega$$

$$h_{fb} = -\alpha = -\frac{\beta}{\beta+1} \approx -1$$

$$z_i = R_E \,//\, h_{ib} = (1K)//(20\Omega) = 19.6\Omega \quad (R_E >> h_{ib})$$

$$z_o = R_C = 5K$$

$$V_o = R_C I_o = -R_C i_c = -R_C h_{fb} i_e = -R_C h_{fb} \frac{V_i}{h_{ib}}$$

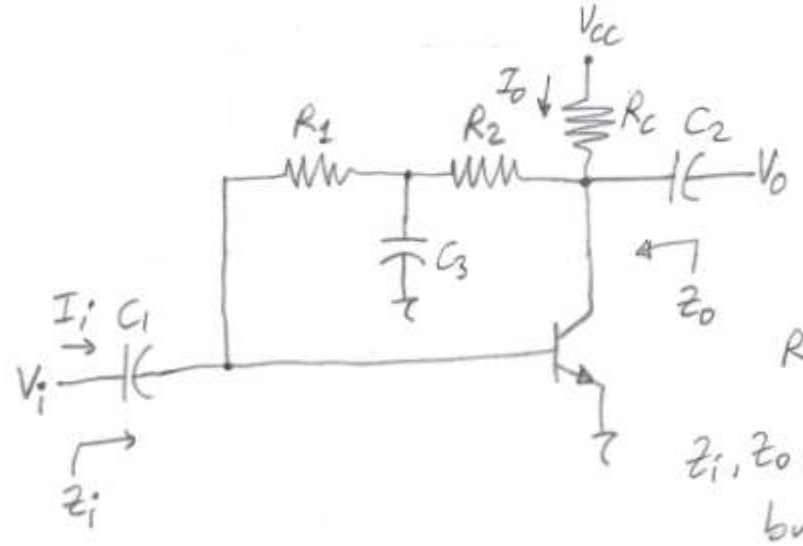
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -R_C \frac{h_{fb}}{h_{ib}} = -5K \frac{-1}{20\Omega} = 250$$

$R_E >> h_{ib}$ olduğundan $I_i \approx i_e$ olur.

$$I_o = +i_c = -h_{fb} i_e \approx -h_{fb} I_i$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = -h_{fb} = 1$$

Ör: Kollektör DC geribesleme ve fark yükseltici



$V_{CC} = 12V \quad V_T = 0.7V$

$R_1 = 120K \quad R_2 = 68K$

$C_1 = C_2 = 0.1\ \mu F$

$C_3 = 0.01\ \mu F$

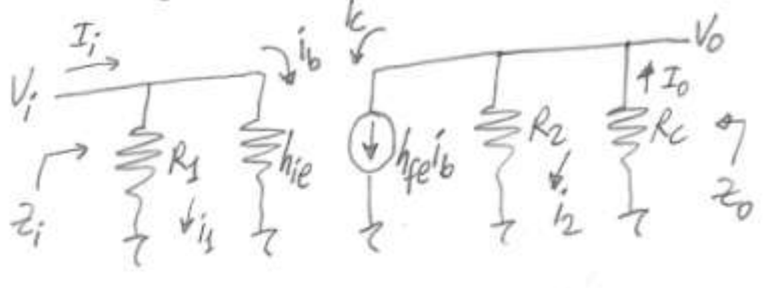
$R_C = 3K \quad \beta = 140$

Z_i, Z_o, A_v, A_i değerlerini bulunuz.

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1 + R_2 + (\beta+1)R_C} = \frac{12V - 0.7V}{120K + 68K + 141 \times 3K} = \frac{11.3V}{611K} = 18.5\ \mu A$$

$$I_{EQ} = (\beta+1) I_{BQ} = 2.6\ mA \approx I_{CQ}$$

$$r_e = \frac{26mV}{I_{EQ}} = 10\,\Omega \qquad h_{ie} = (\beta+1) r_e = 1.41K \qquad h_{fe} = \beta = 140$$



$$Z_o = R_C // R_2 = (3K)//(68K) \approx 2.87K$$

$$Z_i = R_1 // h_{ie} = (120K)//(1.41K) \approx 1.38K$$

$$V_o = -R_C I_o = -R_C(i_c + i_2) = -R_C\left(h_{fe} i_b + \frac{V_o}{R_2}\right)$$

$$= -R_C h_{fe} i_b - \frac{R_C}{R_2} V_o = -R_C h_{fe} \frac{V_i}{h_{ie}} - \frac{R_C}{R_2} V_o$$

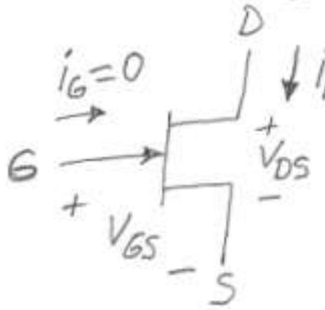
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C h_{fe}}{h_{ie}} \frac{R_2}{R_2 + R_C} = \frac{-3K \times 140}{1.41K} \cdot \frac{68K}{68K + 3K} = -285.29$$

$$V_i = R_1 i_1 = h_{ie} i_b \rightarrow i_1 = \frac{h_{ie}}{R_1} i_b \rightarrow I_i = i_1 + i_b = \left(1 + \frac{h_{ie}}{R_1}\right) i_b$$

$$V_o = R_2 i_2 = -R_C I_o \rightarrow i_2 = -\frac{R_C}{R_2} I_o \rightarrow I_o = i_c + i_2 = h_{fe} i_b - \frac{R_C}{R_2} I_o \rightarrow I_o = \frac{R_2 h_{fe} i_b}{R_2 + R_C}$$

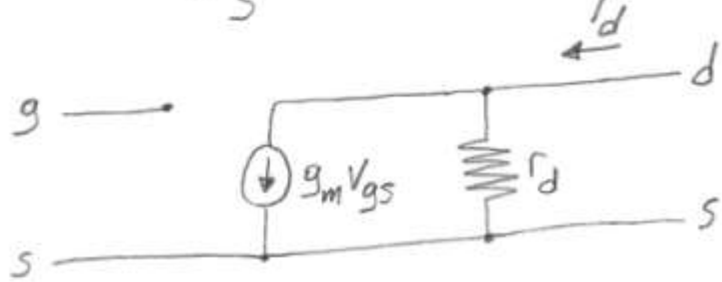
$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{R_1 R_2 h_{fe}}{(R_1 + h_{ie})(R_2 + R_C)} = \frac{120K \times 68K \times 140}{(120K + 1.41K)(68K + 3K)} \approx 132.54$$

FET Küçük Sinyal Analizi



$$i_D = I_{DSS}\left(1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 > 0$$

$$V_P < V_{GS} \le 0 \qquad V_{DS} \ge V_{GS} - V_P > 0$$



$$i_d = g_m V_{gs} + \frac{V_{ds}}{r_d}$$

g_m: küçük sinyal geçiş iletkenliği

r_d: küçük sinyal çıkış direnci

$$g_m = \left.\frac{\partial i_D}{\partial V_{GS}}\right|_Q = g_{mo}\left(1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right)$$

$$r_d = \frac{1}{y_{os}}$$ → y_{os}: küçük sinyal çıkış iletkenliği

$r_d = r_{ds}$ (10k ile 100k arası)

$$y_{os} = \left.\frac{\partial i_D}{\partial V_{DS}}\right|_Q \qquad g_{mo} = \frac{2 I_{DSS}}{|V_P|}$$

$V_{GS}=0$ ise $g_m = g_{mo}$ olur.

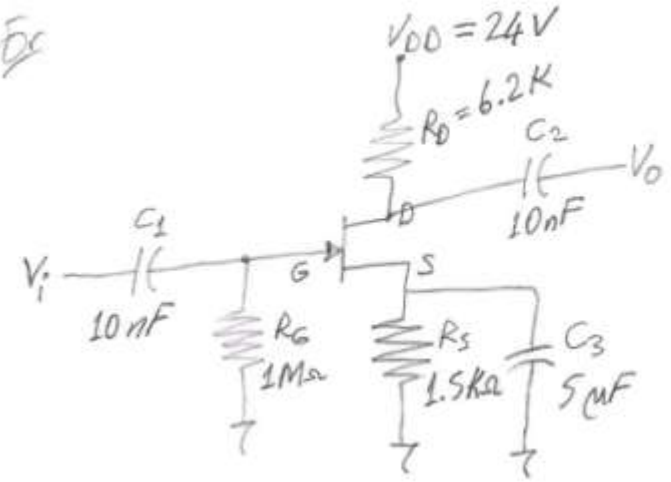
Fet elemanları çok yüksek giriş direncinde gerilim kazancı sağlayan küçük sinyal yükselteçlerinin kurulması için kullanılır. Hem JFET hem de kanal ayarlamalı MOSFET, aynı gerilim kazancını sağlayan benzer dc öngerilim koşullarında çalışabilir. Bununla beraber MOSFET transistörü çok daha yüksek giriş empedansı sağlar.

En iyi gerilim kazançlı çalışmayı, ortak kaynak yükseltici düzenlemesi sağlar. Kapıya bir giriş sinyali uygulanır. Çıkış sinyali kanaldan alınır ve kaynak ucu referans ve ortak uç olarak kullanılır.

Ör. $I_{DSS} = 12\,mA$, $V_P = -3V$, $V_{GS} = -1V$ ise $g_m = ?$

$$g_{mo} = \frac{2 I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2\times 12\,mA}{3V} = 8mS \qquad g_m = g_{mo}\left(1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right) = 8mS\left(1-\frac{-1}{-3}\right) = \frac{16}{3}\,mS$$

Ör



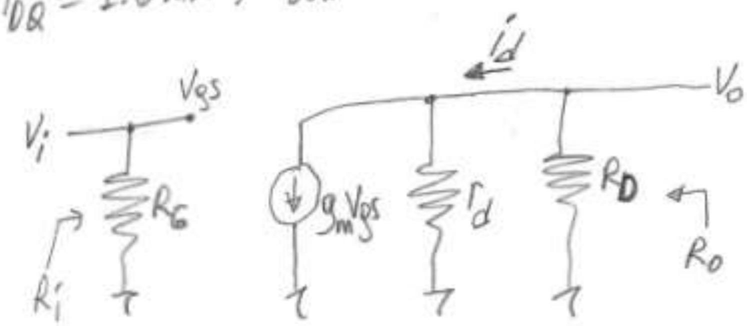
$I_{DSS} = 10\,mA$, $V_p = -4V$

$r_d = 50K$

transistörün çalışma noktasını ve R_i, R_o, A_v değerlerini bulunuz.

Daha önce bulduk.

$i_{DQ} = 1.6\,mA$, $V_{DSQ} = 11.68V$, $V_{GSQ} = -2.4V$



$$R_o = R_D // r_d = \frac{6.2K \times 50K}{6.2k + 50K} = 5.52\,K\Omega$$

$$R_i = R_G = 1M\Omega$$

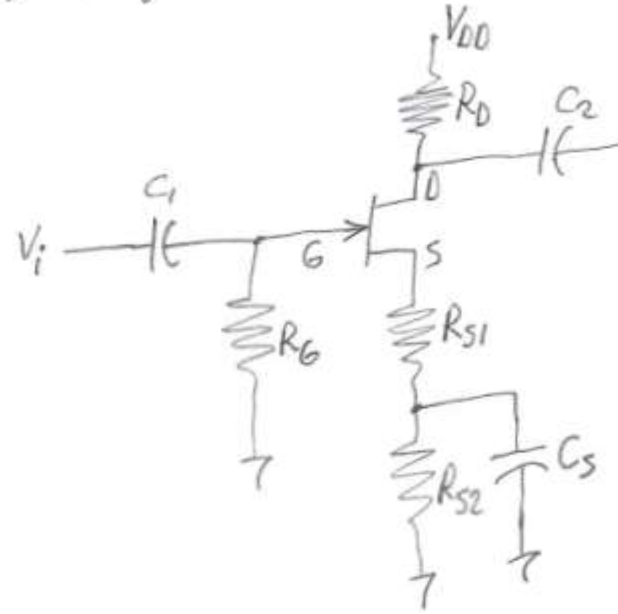
$$g_{mo} = \frac{2 I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2 \times 10mA}{4V} = 5\,mS$$

$$g_m = g_{mo}\left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P}\right) = 5mS \times \left(1 - \frac{-2.4V}{-4}\right) = 2\,mS$$

$$V_{gs} = V_i \quad , \quad i_D = g_m V_{gs} + \frac{V_o}{r_d} = 2V_i + \frac{V_o}{50}$$

$$V_o = -R_D i_d = -12.4V_i - 0.124V_o \Rightarrow A_v = \frac{V_o}{V_i} = -11.03$$

Ör: Kaynak Dirençli Yükselteç



$V_P = -6V$

$I_{DSS} = 10\ mA$, $r_d = 50K$

$C_1 = C_2 = 0.05\ \mu F$

$C_S = 5\ \mu F$

$V_{DD} = 24V$, $R_D = 4.3K$

$R_{S1} = 0.25K$, $R_{S2} = 1.75K$

A_v değerini bulunuz.

$R_S = R_{S1} + R_{S2} = 2K$

$V_{GS} = -R_S i_D$

$i_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = I_{DSS}\left(1 + \frac{R_S i_D}{V_P}\right)^2 = 10\left(1 + \frac{2 i_D}{-6}\right)^2$

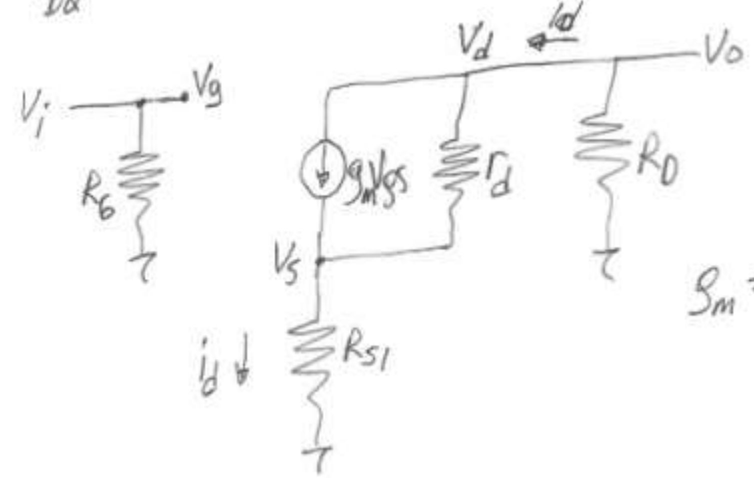
$i_D^2 - 6.9 i_D + 9 = 0 \rightarrow i_D = 5.155\ mA$, $\rightarrow i_D = 1.745\ mA$

$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) i_D$

$i_D = 5.155\ mA \rightarrow V_{DS} = 24 - (4.3 + 2) \times 5.155 = -8.48V$ X

$i_D = 1.745\ mA \rightarrow V_{DS} = 24 - (4.3 + 2) \times 1.745 = 13V$ ✓

$i_{DQ} = 1.745\ mA$, $V_{DSQ} = 13V$, $V_{GSQ} = -3.49V$

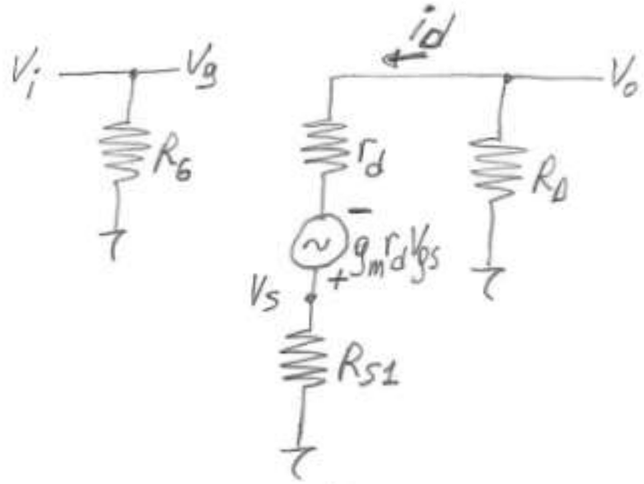


$g_{mo} = \frac{2 I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2 \times 10mA}{6V}$

$= \frac{10}{3}\ mS$

$g_m = g_{mo}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$?

$= \frac{10}{3}\left(1 - \frac{-3.49}{-6}\right) = 5.27\ mS$

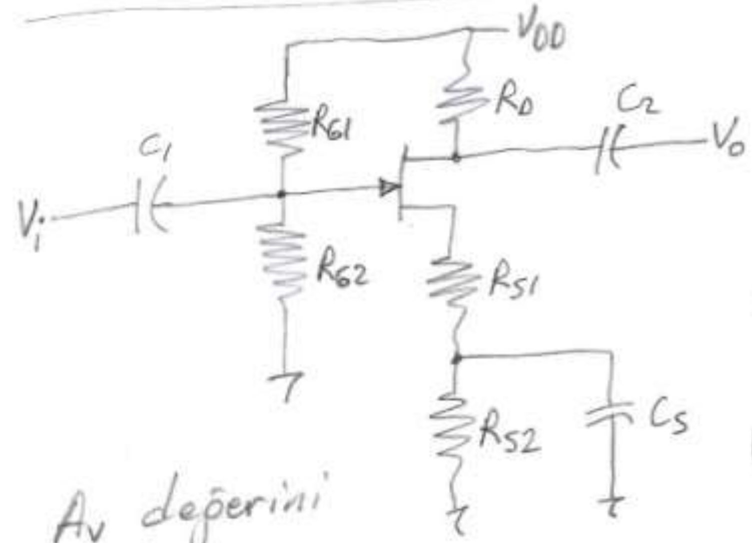


$$V_{gs} = V_g - V_s = V_i - V_s$$
$$= V_i - R_{S1} i_D = V_i - R_{S1} \times \left(\frac{-V_o}{R_D} \right)$$
$$= V_i + \frac{R_{S1}}{R_D} V_o$$

$$V_o = -\frac{R_D}{r_d + R_{S1} + R_D} g_m r_d V_{gs} = -\frac{R_D}{r_d + R_{S1} + R_D} g_m r_d \left(V_i + \frac{R_{S1}}{R_D} V_o \right)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_{S1} + \frac{R_D + R_{S1}}{r_d}}$$

$$= \frac{-5.27 \times 4.3}{1 + 5.27 \times 0.25 + \frac{4.3 + 0.25}{50}} = \frac{-22.661}{2.4085} = -9.41$$



$R_{G1} = 3M \quad R_{G2} = 1M$

$R_D = 1.5K \quad R_{S1} = 0.25K$

$R_{S2} = 0.75K$

$C_1 = C_2 = 0.05\ \mu F$

$C_S = 5\ \mu F$

$V_{DD} = 20V \quad I_{DSS} = 8mA$

$V_P = -5V \quad r_d = 50K$

A_v değerini bulunuz.

Daha önce bulmuştuk.

$R_S = R_{S1} + R_{S2} = 1K$

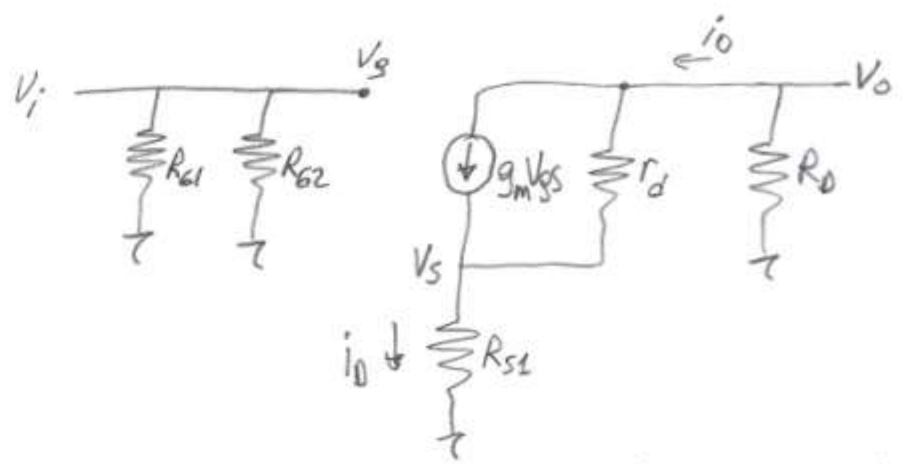
$I_{DQ} = 5.76\ mA$

$$g_{m0} = \frac{2 I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2 \times 8mA}{5V} = 3.2\ mS$$

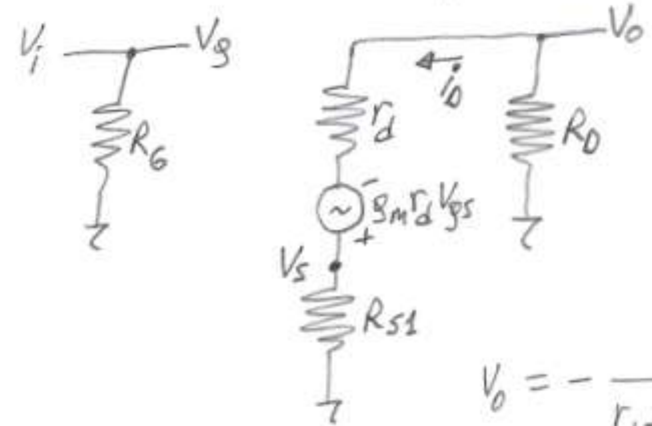
$V_{GS} = -0.76V$

$V_{DSQ} = 5.6V$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) = 3.2mS \cdot \left(1 - \frac{+0.76}{+5} \right) = 2.71\ mS$$



$$R_G = R_{G1} // R_{G2}$$



$$V_{gs} = V_g - V_s = V_i - V_s$$

$$= V_i - R_{S1} i_D = V_i - R_{S1} \times \left(-\frac{V_o}{R_D}\right)$$

$$= V_i + \frac{R_{S1}}{R_D} V_o$$

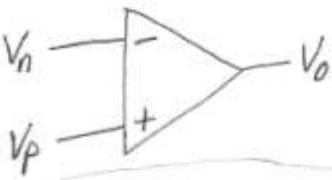
$$V_o = -\frac{R_D}{r_d + R_{S1} + R_D} \times g_m r_d V_{gs}$$

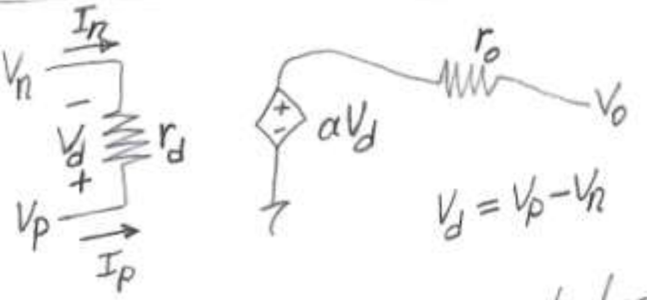
$$V_o = -\frac{R_D}{r_d + R_{S1} + R_D} g_m r_d \left(V_i + \frac{R_{S1}}{R_D} V_o\right)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_{S1} + \frac{R_D + R_{S1}}{r_d}} = \frac{-2.71 \times 1.5}{1 + 2.71 \times 0.25 + \frac{1.5 + 0.25}{50}} = -2.37$$

İşlemsel Kuvvetlendiriciler - The Operational Amplifier

Opamp





$V_d = V_p - V_n$

ideal Opamp

$r_d \to \infty$, $I_p = I_n = 0$, $r_o = 0$

$a \to \infty$ yani $V_d = \frac{V_o}{a} = 0$

Opamp $\mp 15V$ ile beslenir ise

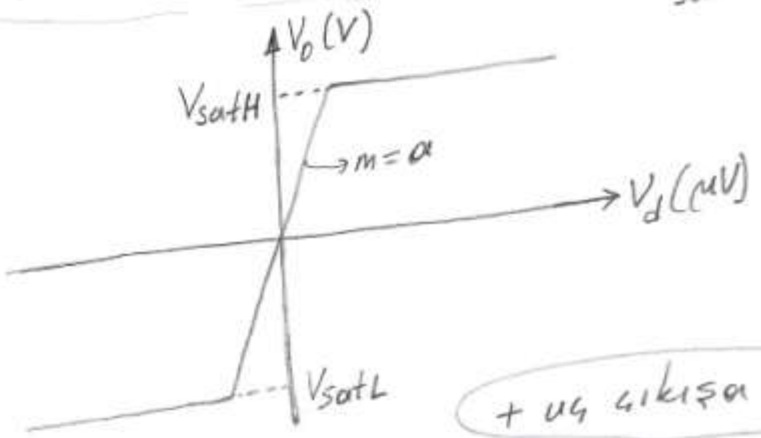
$V_{satH} \approx 15 - 2 = 13V$

$V_{satL} \approx -15 + 2 = -13V$

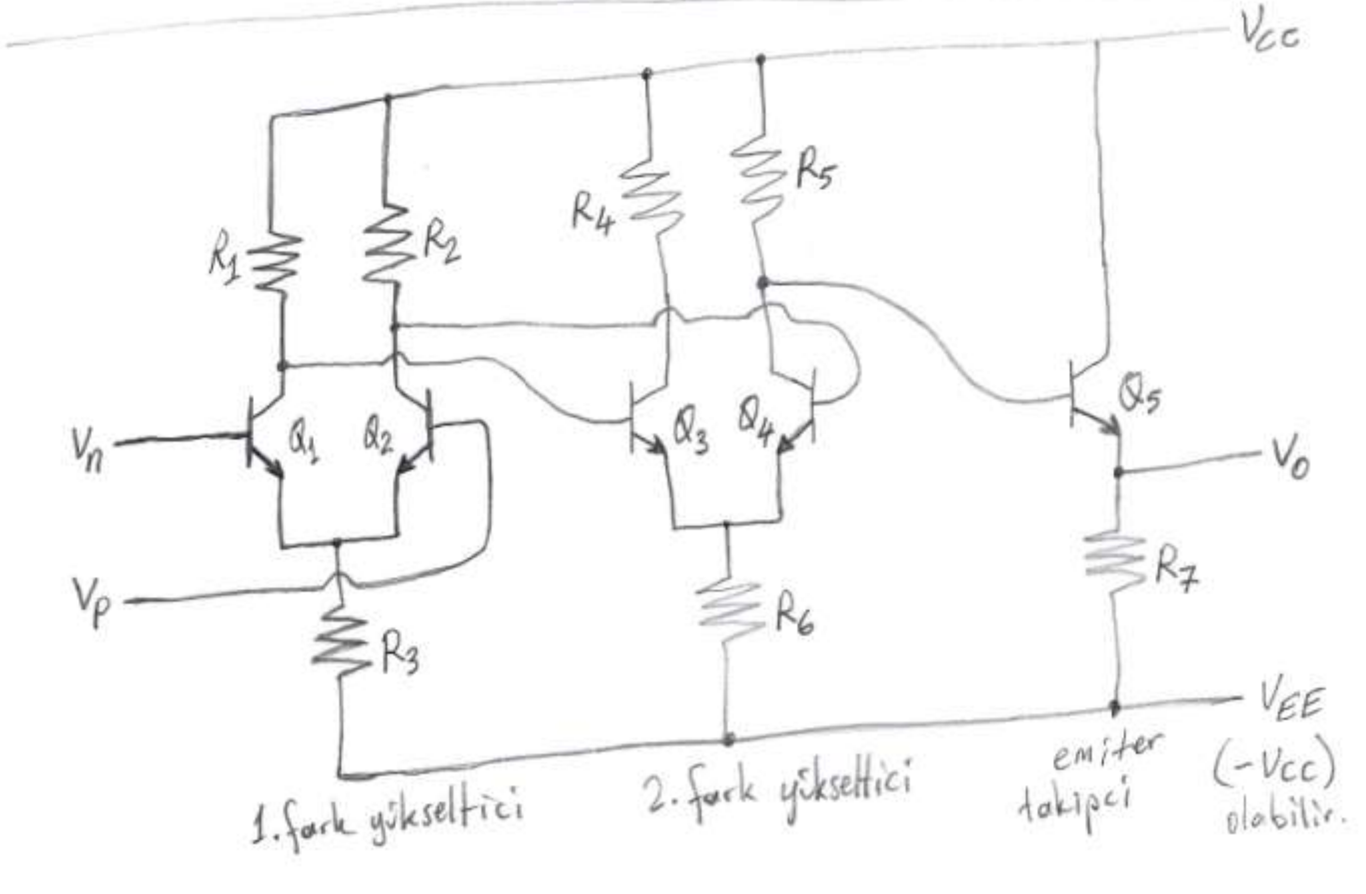
$a = 200.000$

$\frac{13V}{a} \approx 65\ \mu V$

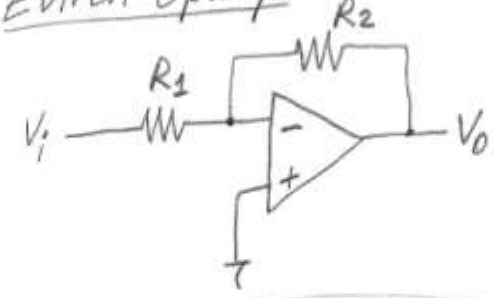
$-65\ \mu V < V_d < +65\ \mu V$



+ uç çıkışa verilmez → kararsız osilasyon yapar



Eviren Opamp



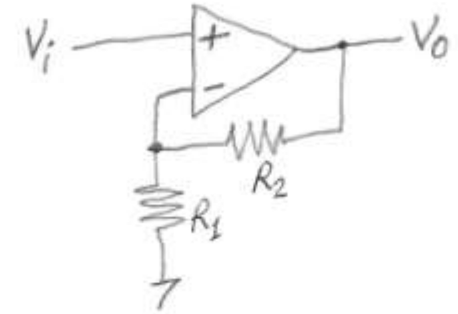
$$\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_o}{R_2} = 0 \rightarrow V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$$

$R_i = R_1$

$R_o = 0$

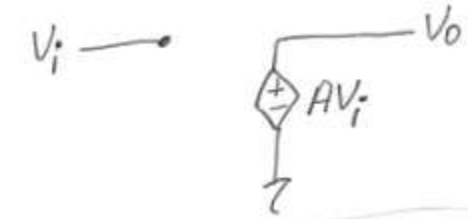
$A = -R_2/R_1$

Evirmeyen Opamp



$$\frac{V_i}{R_1} = \frac{V_o}{R_1 + R_2} \rightarrow V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i$$

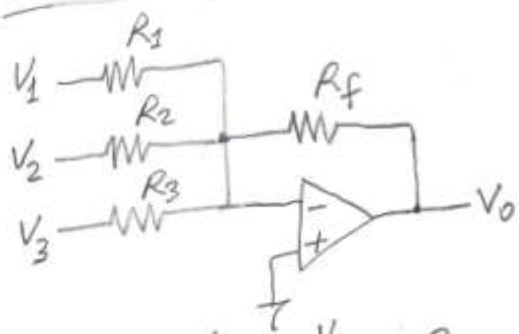
$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



$R_i = \infty$

$R_o = 0$

Eviren toplayıcı opamp



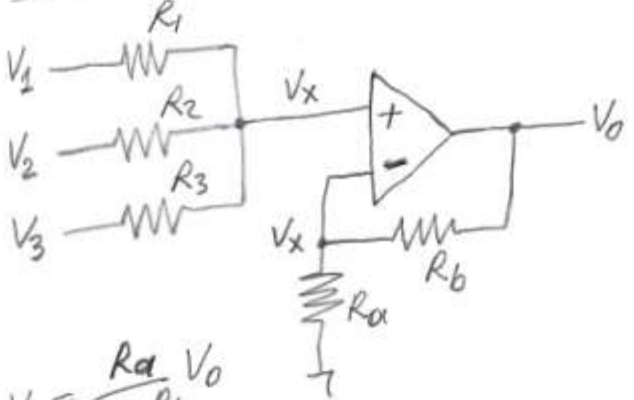
$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_o}{R_f} = 0$$

$$V_o = -R_f\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right)$$

$R_1 = R_2 = R_3 = R$ olursa

$$V_o = -\frac{R_f}{R}\left(V_1 + V_2 + V_3\right)$$

Evirmeyen toplayıcı opamp



$$V_x = \frac{R_a}{R_a + R_b} V_o$$

$$\frac{V_1 - V_x}{R_1} + \frac{V_2 - V_x}{R_2} + \frac{V_3 - V_x}{R_3} = 0$$

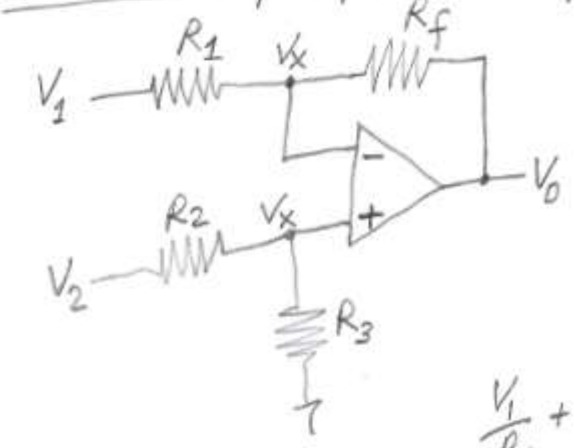
$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = V_x\left(\underset{(R_2R_3)}{\frac{1}{R_1}} + \underset{(R_1R_3)}{\frac{1}{R_2}} + \underset{(R_1R_2)}{\frac{1}{R_3}}\right)$$

$$V_x = \frac{R_1R_2R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right)$$

$R_1 = R_2 = R_3 = R$ olursa

$$V_o = \frac{1}{3}\left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right) \cdot \left(V_1 + V_2 + V_3\right)$$

Çıkarıcı Opamp



$R_{i1}=R_1$, $R_{i2}=R_2+R_3$, $R_o=0$

$$V_x=\frac{R_3}{R_2+R_3}V_2$$

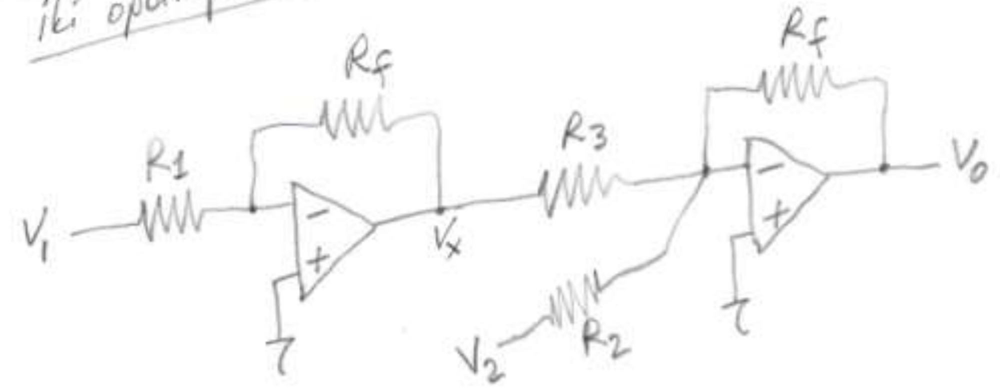
$$\frac{V_1-V_x}{R_1}+\frac{V_0-V_x}{R_f}=0$$

$$\frac{V_1}{R_1}+\frac{V_0}{R_f}=\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_f}\right)V_x$$

$$V_0=\left(1+\frac{R_f}{R_1}\right)\frac{R_3}{R_2+R_3}V_2-\frac{R_f}{R_1}V_1$$

$\frac{R_f}{R_1}=\frac{R_3}{R_2}=k$ alınırsa $V_0=\frac{R_f}{R_1}(V_2-V_1)$

iki opamplı çıkarıcı

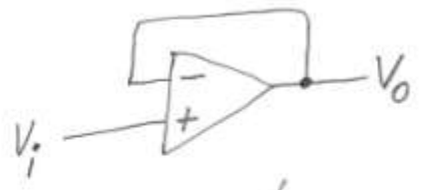


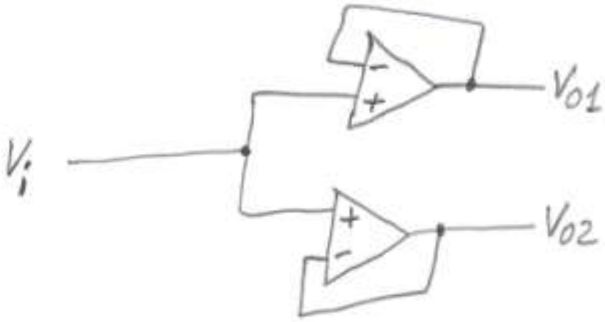
$$\frac{V_1}{R_1}+\frac{V_x}{R_f}=0\longrightarrow V_x=-\frac{R_f}{R_1}V_1$$

$$\frac{V_x}{R_3}+\frac{V_2}{R_2}+\frac{V_0}{R_f}=0\longrightarrow V_0=-\frac{R_f}{R_3}V_x-\frac{R_f}{R_2}V_2$$

$$V_0=\left(-\frac{R_f}{R_3}\right)\left(-\frac{R_f}{R_1}\right)V_1+\left(-\frac{R_f}{R_2}\right)V_2=\frac{R_f^2}{R_1R_3}V_1-\frac{R_f}{R_2}V_2$$

Voltaj Takip Edici

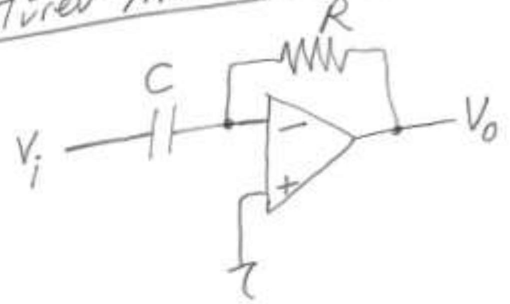




$V_o = V_i$ olur.

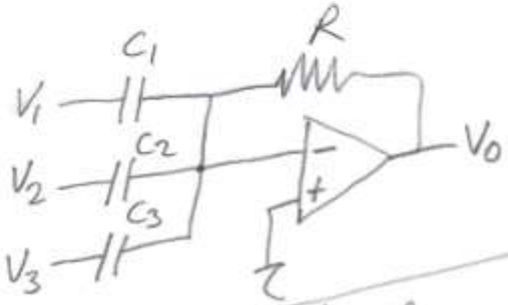
$A = 1$, $R_i = \infty$, $R_o = 0$

Türev Alıcı Devre



$$C\frac{dV_i}{dt} + \frac{V_o}{R} = 0$$

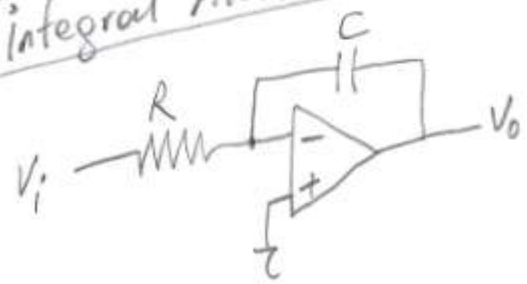
$$V_o = -RC\frac{dV_i}{dt}$$



$$C_1\frac{dV_1}{dt} + C_2\frac{dV_2}{dt} + C_3\frac{dV_3}{dt} + \frac{V_o}{R} = 0$$

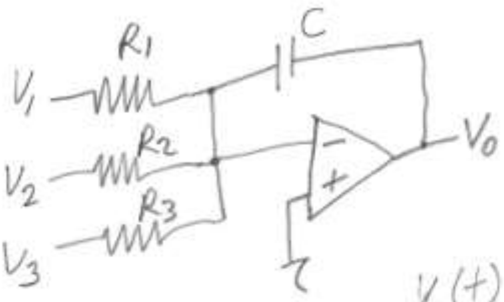
$$V_o = -RC_1\frac{dV_1}{dt} - RC_2\frac{dV_2}{dt} - RC_3\frac{dV_3}{dt}$$

İntegral Alıcı Devre



$$\frac{V_i}{R} + C\frac{dV_o}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{dV_o}{dt} = -\frac{1}{RC}V_i$$

$$V_o(t) = V_o(0) - \frac{1}{RC}\int_0^t V_i(z)\,dz$$

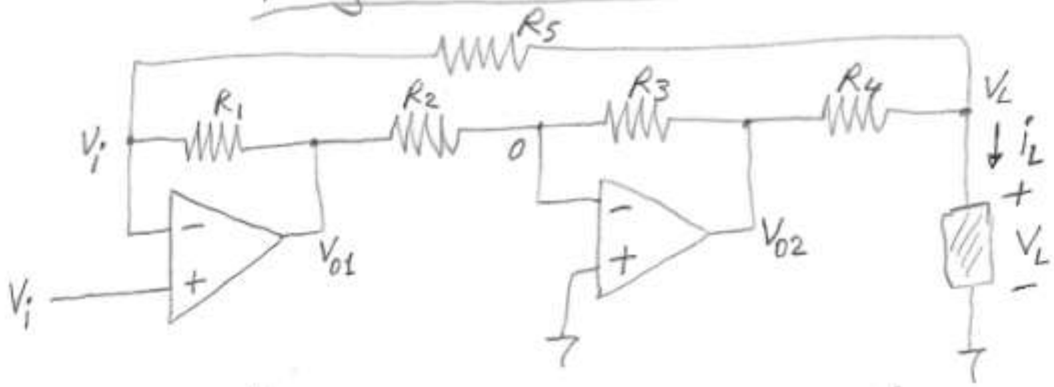


$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + C\frac{dV_o}{dt} = 0$$

$$\frac{dV_o}{dt} = -\frac{V_1}{R_1C} - \frac{V_2}{R_2C} - \frac{V_3}{R_3C}$$

$$V_o(t) = V_o(0) - \frac{1}{R_1C}\int_0^t V_1(z)\,dz - \frac{1}{R_2C}\int_0^t V_2(z)\,dz - \frac{1}{R_3C}\int_0^t V_3(z)\,dz$$

Voltaj-Akım Dönüştürücü



$$\frac{V_L - V_i}{R_5} + \frac{V_{01} - V_i}{R_1} = 0 \longrightarrow V_{01} = \left(1 + \frac{R_1}{R_5}\right)V_i - \frac{R_1}{R_5}V_L$$

$$\frac{V_{01}}{R_2} + \frac{V_{02}}{R_3} = 0 \rightarrow V_{02} = -\frac{R_3}{R_2}V_{01} = \frac{R_1 R_3}{R_2 R_5}V_L - \left(1 + \frac{R_1}{R_5}\right)\frac{R_3}{R_2}V_i$$

$$i_L = \frac{V_{02} - V_L}{R_4} + \frac{V_i - V_L}{R_5} = \frac{V_i}{R_5} + \frac{V_{02}}{R_4} - \frac{V_L}{R_4} - \frac{V_L}{R_5}$$

$$= \frac{V_i}{R_5} + \frac{R_1 R_3}{R_2 R_4 R_5}V_L - \left(1 + \frac{R_1}{R_5}\right)\frac{R_3}{R_2 R_4}V_i - \frac{V_L}{R_4} - \frac{V_L}{R_5}$$

$$= \left(\frac{1}{R_5} - \left(1 + \frac{R_1}{R_5}\right)\frac{R_3}{R_2 R_4}\right)V_i + \left(\frac{R_1 R_3}{R_2 R_4 R_5} - \frac{1}{R_4} - \frac{1}{R_5}\right)V_L$$

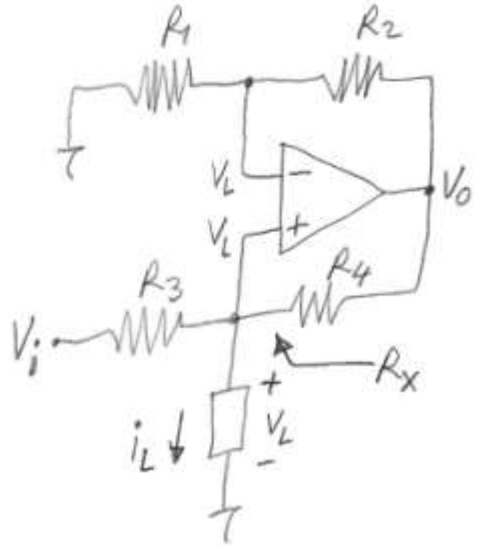
$$\left(\frac{R_2 R_4 - R_3 R_5 - R_1 R_3}{R_2 R_4 R_5}\right)V_i - \left(\frac{R_1 R_3 - R_2 R_5 - R_2 R_4}{R_2 R_4 R_5}\right)V_L$$

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 + R_5 = R$ olsun

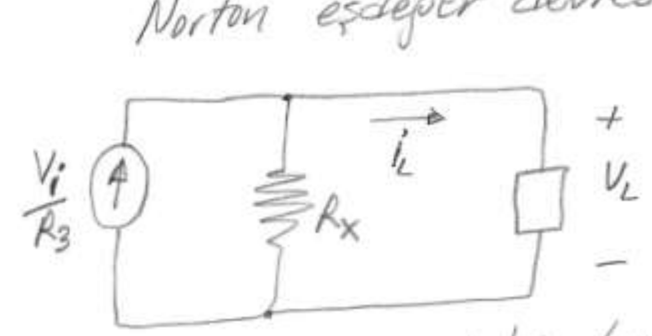
$$i_L = \left(\frac{R.R_4 - R.R_5 - R.R}{R R_4 R_5}\right)V_i - \left(\frac{R.R - R R_5 - R R_4}{R R_4 R_5}\right)V_L$$

$$= \frac{R_4 - R_5 - R}{R_4 R_5}V_i - \frac{R - (R_4 + R_5)}{R_4 R_5}V_L \longrightarrow 0$$

$$= \frac{\cancel{R} - R_5 - R_5 - \cancel{R}}{R_4 R_5}V_i = -\frac{2}{R_4}V_i$$ (sabit akım)



Norton eşdeğer devresi



$$i_L = \frac{V_i}{R_3} - \frac{V_L}{R_x}$$

Aşağıdaki denklem bu şekle getirilip R_x bulunur.

$$\frac{V_L}{R_1} + \frac{V_L - V_0}{R_2} = 0 \longrightarrow V_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right).V_L$$

$$i_L = \frac{V_i - V_L}{R_3} + \frac{V_0 - V_L}{R_4} = \frac{V_i - V_L}{R_3} + \frac{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)V_L - V_L}{R_4}$$

$$= \frac{V_i}{R_3} - \frac{V_L}{R_3} + \frac{R_2}{R_1 R_4}V_L = \frac{V_i}{R_3} - \left(\underset{(R_1R_4)}{\frac{1}{R_3}} - \underset{(R_3)}{\frac{R_2}{R_1 R_4}}\right)V_L$$

$$= \frac{V_i}{R_3} - \left(\frac{R_1R_4 - R_2R_3}{R_1R_3R_4}\right)V_L = \frac{V_i}{R_3} - \frac{V_L}{\frac{R_1R_3R_4}{R_1R_4 - R_2R_3}}$$

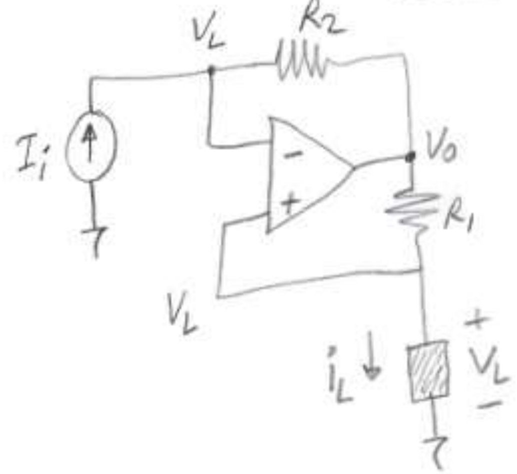
$$R_x = \frac{R_1R_3R_4}{R_1R_4 - R_2R_3} = \frac{R_4}{\frac{R_4}{R_3} - \frac{R_2}{R_1}}$$

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1} = k \text{ ise } R_x = \frac{R_4}{k-k} = \frac{R_4}{0} = \infty$$

Bu durumda

$$i_L = \frac{V_i}{R_3} - \underbrace{\frac{V_L}{R_x}}_{0 \text{ olur}} \Longrightarrow i_L = \frac{V_i}{R_3}$$

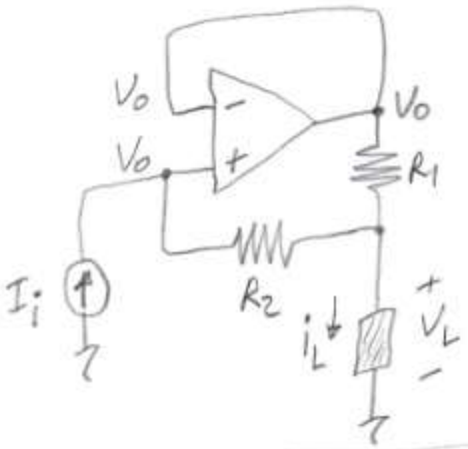
Akım Yükseltici



$$I_i = \frac{V_L - V_o}{R_2} \Rightarrow V_o - V_L = -R_2 I_i$$

$$i_L = \frac{V_o - V_L}{R_1} = -\frac{R_2}{R_1} I_i$$

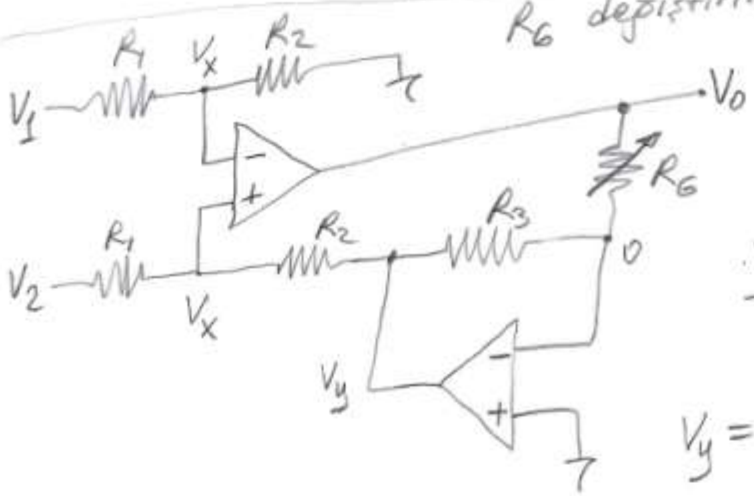
$$I_i = \frac{V_o - V_L}{R_2} \Rightarrow V_o - V_L = R_2 I_i$$



$$i_L = I_i + \frac{V_o - V_L}{R_1} = I_i + \frac{R_2 I_i}{R_1}$$

$$= \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) I_i$$

R_6 değiştirilerek kazanç değiştirilebilir.



$$V_x = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1$$

$$\frac{V_2 - V_x}{R_1} + \frac{V_y - V_x}{R_2} = 0$$

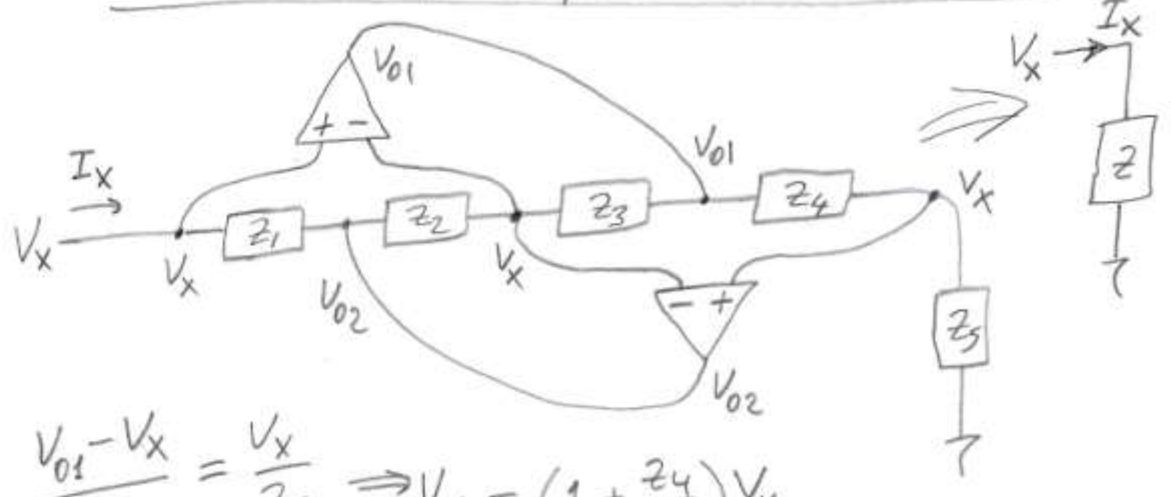
$$V_y = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_x - \frac{R_2}{R_1} V_2$$

$$= \frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$$

$$\frac{V_y}{R_3} + \frac{V_o}{R_6} = 0$$

$$V_o = -\frac{R_6}{R_3} V_y = +\frac{R_2 R_6}{R_1 R_3} (V_2 - V_1)$$

Genelleştirilmiş Empedans Dönüştürücü

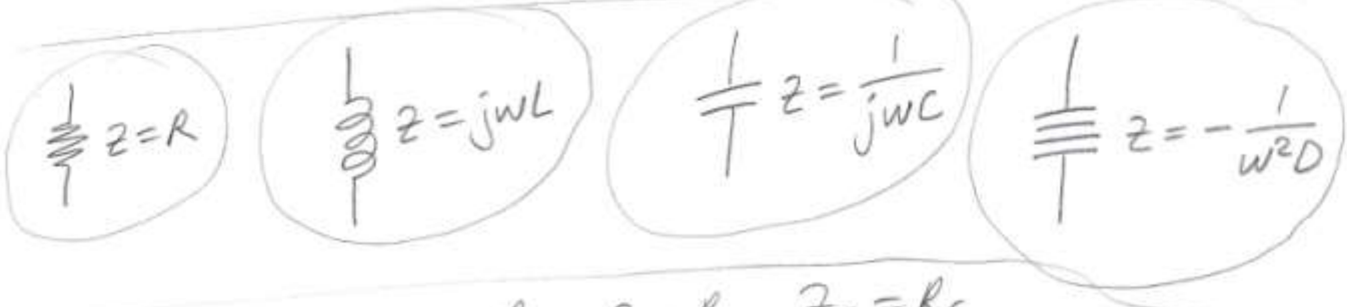


$$\frac{V_{01}-V_x}{Z_4} = \frac{V_x}{Z_5} \Rightarrow V_{01} = \left(1+\frac{Z_4}{Z_5}\right)V_x$$

$$\frac{V_{02}-V_x}{Z_2} = \frac{V_x-V_{01}}{Z_3} \Rightarrow V_{02} = \left(1+\frac{Z_2}{Z_3}\right)V_x - \frac{Z_2}{Z_3}V_{01}$$

$$V_{02} = \left(1+\frac{Z_2}{Z_3}\right)V_x - \frac{Z_2}{Z_3}\left(1+\frac{Z_4}{Z_5}\right)V_x = \left(1-\frac{Z_2Z_4}{Z_3Z_5}\right)V_x$$

$$I_x = \frac{V_x-V_{02}}{Z_1} = \frac{Z_2Z_4}{Z_1Z_3Z_5}V_x \Rightarrow Z_x = \frac{V_x}{I_x} = \frac{Z_1Z_3Z_5}{Z_2Z_4}$$



$$Z_1=R_1,\ Z_2=\frac{1}{j\omega C_2},\ Z_3=R_3,\ Z_4=R_4,\ Z_5=R_5$$

$$Z = \frac{Z_1Z_3Z_5}{Z_2Z_4} = \frac{R_1R_3R_5}{\frac{1}{j\omega C_2}\cdot R_4} = j\omega\left(\frac{R_1R_3R_5C_2}{R_4}\right) \longrightarrow L = \frac{R_1R_3R_5C_2}{R_4}$$

$$Z_1=\frac{1}{j\omega C_1},\ Z_2=R_2,\ Z_3=R_3,\ Z_4=R_4,\ Z_5=\frac{1}{j\omega C_5}$$

$$Z = \frac{Z_1Z_3Z_5}{Z_2Z_4} = \frac{\frac{1}{j\omega C_1}R_3\frac{1}{j\omega C_5}}{R_2R_4} = -\frac{R_3}{\omega^2C_1C_5R_2R_4} \Rightarrow D = \frac{R_2R_4C_1C_5}{R_3}$$