

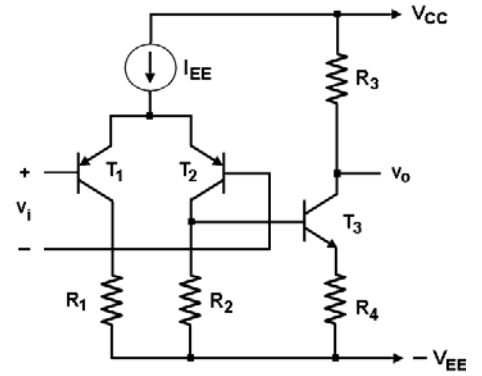
Şekil-1

**Soru-1** Şekil-1’de B sınıfı bir güç kuvvetlendirici devresinin prensip hali verilmektedir.

- Devrenin çalışmasını kısaca açıklayınız.(6Puan)
- Sinüs tipi bir giriş işareti için yüke aktarılabilecek maksimum gücü bulunuz.(7Puan)
- Tranzistorların dayanması gereken akım ( $I_C$ ) ve gerilim ( $V_{CE}$ ) değerlerini bulunuz (devrede tranzistorlar üzerinde oluşacak maksimum akım ve gerilim değerlerini bulunuz). (7Puan)

**Soru-2.** Şekil 2’deki kuvvetlendirici devresi için  $V_{CC}=V_{EE}=10$  V,  $I_{EE}=2$  mA,  $R_1=R_2=8$  kΩ,  $R_3=4$  kΩ,  $R_4=3.3$  kΩ,  $V_T=26$  mV,  $|V_{BE}|=0.6$  V,  $\beta_F=200$ ,  $h_{oe}=1/r_{ce}=20$  μS olarak verilmektedir.

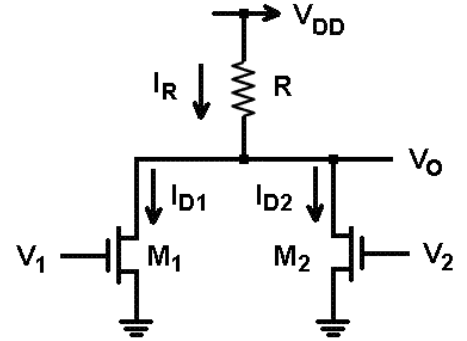
- $V_{B1}=V_{B2}=0$  için tranzistorların  $I_C$  akımlarını ve  $V_O$  çıkış gerilimini hesaplayınız. (5 p)
- $I_{EE}=2$  mA akımını sağlayacak akım aynasını tasarlayınız.(10 p)
- b’deki durum için ortak işareti bastırma oranını (CMRR) bulunuz. (5 p)
- Kuvvetlendiricinin ac modelini eleman değerlerini hesaplayarak çiziniz. (10 p)



Şekil-2

**Soru-3.** Şekil 3’teki NMOS sayısal devrede giriş gerilimleri ( $V_1$  ve  $V_2$ ) sadece 0 ve  $V_{DD}$  değerlerini almaktadır. NMOS tranzistorlar eşitir.  $V_{DD}=5$  V,  $R_D=2$  kΩ,  $V_t=1$  V,  $\mu_n C_{ox}=50$  μA/V<sup>2</sup>,  $(W/L)_1=(W/L)_2=10$  olarak verilmektedir.

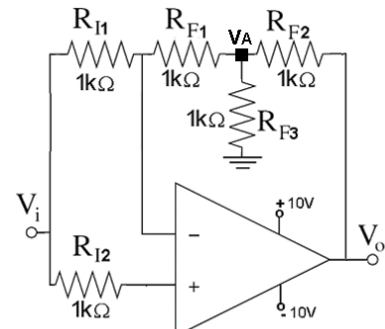
- $V_1=V_2=0$  olması durumunda  $M_1$  ve  $M_2$  tranzistorları hangi çalışma bölgesinde olur? Bu durumda  $I_{D1}$ ,  $I_{D2}$ ,  $I_R$  ve  $V_O$  değerlerini hesaplayınız. (5 p)
- $V_1=V_2=V_{DD}$  olması durumunda a) şıkkını tekrarlayınız. (10 p)
- $V_1=0$  ve  $V_2=V_{DD}$  olması durumunda a) şıkkını tekrarlayınız. (10 p)
- Yukarıda bulduğunuz sonuçları yorumlayınız. (5 p)



Şekil-3

**Soru-4** Şekil-4’teki devrede kullanılan İ.K. ±10V’luk kaynaklarla beslenmektedir.

- 10V<Vi<10V aralığı için Vo-Vi karakteristiğini çiziniz.(10Puan)
- İ.K.’nın + girişi ile – girişinin yer değiştirdiği durum için a şıkkında istenileni tekrar yapınız.(10Puan)



Şekil-4

## ÇÖZÜM-1

C-1

- a)  $V_i$  ac bir işaret olup genliği sıfırken her iki transistor kesimdedir ve yük akımı (dolayısıyla yük gerilimi) sıfırdır. Bu durumda C kondansatörü  $V_{cc}/2$ 'lik yani 16V'luk gerilimle dolmuştur.  $V_i$ 'nin pozitif alternansında üstteki NPN transistor,  $V_i$ 'nin negatif alternansında alttaki PNP transistor iletimde olup yük akımını (dolayısıyla yüke gücü) sırayla temin ederler.
- b) Yükteki maksimum gerilimin tepe değeri  $V_{cc}/2$  olur.  
 $P_{Y_{max}} = (V_{cc}/2)^2 / (2 * R_Y) = 16^2 / 16 = 16W$
- c)  $I_{C_{max}} = I_{Y_{max}} = V_{Y_{max}} / R_Y = 16V / 8\Omega = 2A$  (iletimde olan transistor üzerinde oluşur)  
 $V_{CE_{max}} = V_{cc} = 32V$  (kesimde olan transistor üzerinde oluşur)

## ÇÖZÜM-4

C-4

- a) İ.K. negative geribeslemeli kullanılmaktadır. Çıkış saturasyonda olmazsa  $V_N = V_P$  olur. Bu durumda ise  $V_N = V_i$  sonucuna ulaşılır. Buradan da

$$I_{R_{H1}} = 0 = I_{R_{F1}}$$

elde edilir. Sonuç olarak

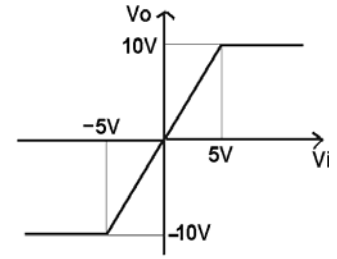
$$V_A = V_i$$

$$V_e$$

$$V_O = (V_i / R_{F3}) * (R_{F3} + R_{F2}) = 2V_i \text{ elde edilir. Diğer taraftan}$$

Çıkış gerilimi kaynakları aşamaz. Dolayısıyla  $V_O - V_i$  karakteristiği

Şekil-4b deki gibi elde edilir



Şekil-4b

- b) İ.K. pozitif geribeslemeli kullanılmaktadır. İ.K.'nın çıkış ya pozitif kaynakta ( $V_P > V_N \rightarrow +10V$ ) ya da negatif kaynaktır ( $V_N > V_P \rightarrow -10V$ ). Bu durum için devre Şekil-4c'deki gibi olur.

- c) Şekil-4c'deki devre analiz edilirse:

$$2V_O = 5V_A - V_i$$

sonucuna ulaşılır. Buradan

$$V_P = (6V_i + 2V_O) / 10$$

elde edilir.  $V_N = V_i$  ifadesi dikkate alındığında

$$V_P = (6V_i + 2V_O) / 10 > V_N = V_i \text{ olduğunda } V_O = +10V,$$

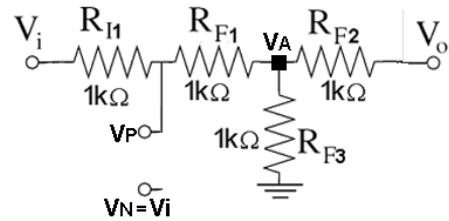
$$V_P = (6V_i + 2V_O) / 10 < V_N = V_i \text{ olduğunda } V_O = -10V$$

Durumları oluşur. Dolayısıyla

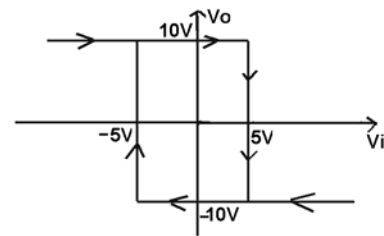
$$V_O / 2 > V_i \text{ olduğunda } V_O = +10V$$

$$V_O / 2 < V_i \text{ olduğunda } V_O = -10V$$

Olur. Bu sonuç histerizisli bir eğrinin oluşması anlamına gelir ki Şekil-4d elde edilir.



Şekil-4c



Şekil-4d

## SORU 2

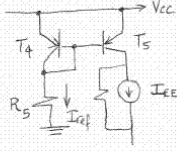
C-2

a)  $I_{C1} = I_{C2} \cong \frac{I_{EE}}{2} = 1 \text{ mA}$

$$R_2 I_{C2} = V_{BE3} + R_4 I_{E3}$$

$$8.1 = 0.6 + 3.3 \cdot I_{E3} \quad I_{E3} = 2.24 \text{ mA} \cong I_{C3}$$

b) Akım aygıtı pnp transistörlerdir.



$$I_{EE} = 2 \text{ mA için;}$$

$$I_{EE} = \frac{1}{1 + \frac{2}{\beta_F}} I_{ref} = \frac{1}{1 + \frac{2}{200}} I_{ref}$$

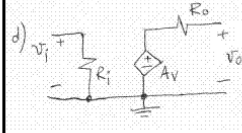
$$I_{ref} \cong 2 \text{ mA}$$

$$R_5 = \frac{V_{CC} - V_{BE4}}{I_{ref}} = \frac{10 - 0.6}{2 \cdot 10^{-3}} = 4.7 \text{ k}\Omega$$

$$R_0 = r_{os} = \frac{1}{h_{oe}} = \frac{1}{20 \cdot 10^{-6}} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$c) CMRR = 20 \log \left| \frac{2R_0 + r_{el}}{r_{el}} \right| = 20 \log \left| \frac{2 \cdot 50 \cdot 10^3 + 26}{26} \right| = 71.7 \text{ dB}$$

$$r_{el} = \frac{V_T}{I_{E1}} = \frac{26}{1} = 26 \Omega$$



$$A_v = \frac{v_o}{v_{b3}} \cdot \frac{v_{b3}}{v_{in}} = \left( -\frac{R_3 // r_{o3}}{r_{e3} + R_4} \right) \left( \frac{R_2 // R_{i3}}{2r_{e1}} \right)$$

$$r_{e3} = \frac{V_T}{I_{E3}} = \frac{26}{2.24} = 11.6 \Omega$$

$$R_{i3} = \beta_F (r_{e3} + R_4) = 200 (11.6 + 3300) = 662.32 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = \left( -\frac{4 \cdot 10^3 // 50 \cdot 10^3}{11.6 + 3300} \right) \left( \frac{8 \cdot 10^3 // 662.32 \cdot 10^3}{2 \cdot 26} \right)$$

$$= (-1.12) (152)$$

$$= -170.24$$

$$R_i = 2\beta_F r_{el} = 2 \cdot 200 \cdot 26 = 10.4 \text{ k}\Omega$$

$$R_0 = R_0' // R_3 \quad R_0' = \frac{1}{h_{oe}} \frac{\beta_F (R_4 + r_{e3}) + R_2}{\beta_F R_3 + R_4 + R_2}$$

$$= 50 \cdot 10^3 \cdot \frac{200 (3300 + 11.6) + 8 \cdot 10^3}{200 \cdot 11.6 + 3300 + 8 \cdot 10^3}$$

$$= 50 \cdot 10^3 \cdot (49.2)$$

$$\cong 2.5 \text{ M}\Omega$$

C-3

3a)  $V_1 = V_2 = 0$  olduğunda;

$V_1 = V_2 < V_t$  olduğundan  $M_1$  ve  $M_2$  kesimdedir.

$I_{D1} = I_{D2} = 0$  olur.  $I_R = 0$  olur.

$V_0 = V_{DD} - R \cdot I_R = V_{DD} = 5 \text{ V}$  olur.

b)  $V_1 = V_2 = V_{DD}$  olduğunda;

$V_{GS1} - V_t$  ?  $V_{DS1}$

$V_1 - V_t$  ?  $V_0$

$V_{DD} - V_t$  ?  $V_0$

$5 - 1$  ?  $V_0$

$4$  ?  $V_0$   $V_0$  bilinmiyor.

> varsayalım  $\Rightarrow$  lineer bölgede

$M_1$  ve  $M_2$  aynı durumda olduğundan aynı varsayım.

$I_R = I_{D1} + I_{D2}$   $M_1$  ve  $M_2$  eş  $\Rightarrow I_{D1} = I_{D2}$

$$\frac{V_{DD} - V_0}{R} = 2 \cdot \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) \left[ 2(V_1 - V_t) \cdot V_0 - V_0^2 \right]$$

$$\frac{5 - V_0}{2 \cdot 10^3} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \left[ 2(5 - 1) \cdot V_0 - V_0^2 \right]$$

$$5 - V_0 = 8V_0 - V_0^2$$

$$V_0^2 - 9V_0 + 5 = 0$$

$$\frac{9 \mp \sqrt{81 - 20}}{2} = \begin{cases} 0.594 \checkmark \\ 8.405 \times \end{cases} \quad \text{varsayım doğru}$$

$$I_R = \frac{V_{DD} - V_0}{R} = \frac{5 - 0.594}{2 \cdot 10^3} = 2.2 \text{ mA}$$

$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{I_R}{2} = 1.1 \text{ mA}$$

c)  $V_1 = 0$   $V_2 = V_{DD}$  olduğunda;

$M_1$  kesimdedir,  $M_2$  b) den biliyoruz, lineer bölgede

$I_R = I_{D2}$

$$\frac{V_{DD} - V_0}{R} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) \left[ 2(V_2 - V_t) \cdot V_0 - V_0^2 \right]$$

$$\frac{5 - V_0}{2 \cdot 10^3} = \frac{1}{2} \cdot 50 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot \left[ 2(5 - 1) \cdot V_0 - V_0^2 \right]$$

$$5 - V_0 = 0.5 \left[ 8V_0 - V_0^2 \right] = 4V_0 - 0.5V_0^2$$

$$0.5V_0^2 - 5V_0 + 5 = 0$$

$$V_0 = \frac{5 \mp \sqrt{25 - 10}}{1} = \begin{cases} 1.127 \text{ V } \checkmark \\ 8.872 \text{ V } \end{cases}$$

$$I_R = I_{D2} = \frac{5 - 1.127}{2 \cdot 10^3} = 1.94 \text{ mA}$$