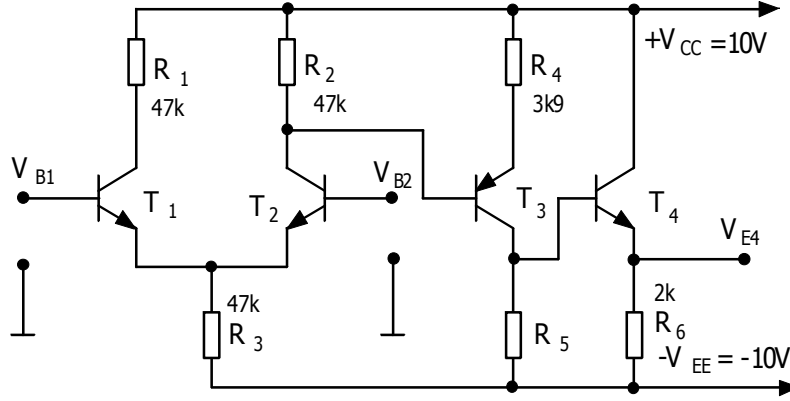


## SORULAR

**Soru 1-** Şekil 1. deki devrede kullanılan tranzistörler için  $h_{FE}=300$  ve  $|V_{BE}|=0,6V$  değerleri verilmiştir.  $T_1$  ve  $T_2$  tranzistörleri eştir.

- $V_{B1}=V_{B2}=0V$  iken  $V_{E4}=0V$  olabilmesi için  $R_5$  direncinin değerini hesaplayınız.
- Tranzistörlerin kolektör-emetör gerilimlerini hesaplayınız ve kolektör akımlarını belirtiniz.



Şekil 1.

**Çözüm:**

- $V_{E4}=0V$  olduğuna göre  $T_4$  tranzistörünün emetöründen akan akım

$$I_{C4} + I_{B4} = \frac{V_{E4} - (-V_{EE})}{R_6} = \frac{10}{2k} = 5mA$$

olur.  $T_1$  ve  $T_2$  tranzistörlerinin kolektör akımları bir birine eşittir. Bu akım, (7.77) bağıntısından yararlanılarak hesaplanırsa,

$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{V_{EE} - V_{BE1}}{2R_3} = \frac{10 - 0,6}{94k} = 0,1mA$$

bulunur.  $T_3$  tranzistörünün kolektör akımı, baz çevriminden hareketle

$$I_{C3} = -h_{FE3} \frac{R_2 I_{C2} + V_{BE3}}{R_2 + (h_{FE3} + 1)R_4} \cong -1mA$$

olarak elde edilir.  $T_4$  tranzistörünün kolektör akımı biliniyor buna göre  $T_4$  tranzistörünün baz çevriminden hareketle

$$I_{C4} = -h_{FE4} \frac{R_5 I_{C3} + V_{BE4}}{R_5 + (h_{FE4} + 1)R_6} = -300 \frac{-R_5 \cdot 1mA + 0,6}{R_5 + 301 \cdot 2k} = 5mA$$

denklemini elde edilir. Bu denklemden yararlanarak  $R_5$  direnci,

$R_5=10.8k\Omega$  olarak elde edilir.

- Tranzistörlerin kolektör-emetör arası gerilimleri kolektör çevrimlerinden hareketle hesaplanabilir. Gerekli işlemler yapıldığında bu gerilimler,

$$V_{CE1} = V_{CC} + V_{BE1} - R_1 I_{C1} = 10 + 0,6 - 47 \cdot 0,1 = 5,9V$$

$$V_{CE2} = V_{CC} + V_{BE1} - R_2 I_{C2} - R_2 I_{B3} = 6,06V$$

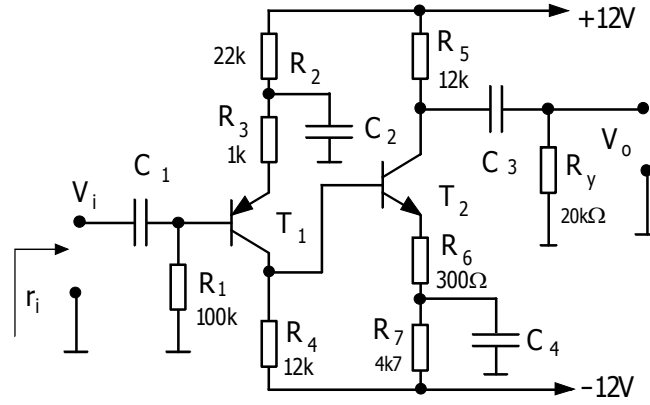
$$V_{CE3} = -(V_{CC} + V_{EE}) - R_5 (I_{C3} + I_{B4}) - R_4 (I_{C3} + I_{B3}) = -5,48V$$

$$V_{CE4} = V_{CC} = 10V$$

**Soru 2.-** Şekil 2. de kullanılan tranzistörler için  $h_{fe} = h_{FE}=200$ ,  $|V_{BE}|=0,6V$ ,  $h_{re}\cong 0$ ,  $h_{oe}\cong 0$  ve  $V_T=25mV$  değerleri verilmiştir.

- $T_1$  ve  $T_2$  tranzistörlerin çalışma noktası kolektör akımlarını hesaplayınız.

b) Devrenin  $V_o / V_i$  gerilim kazancını ve  $r_i$  giriş direncini hesaplayınız.



Şekil 2.

**Çözüm:**

a)  $T_1$  tranzistorunun çalışma noktası kolektör akımı için baz çevriminden hareketle

$$I_{C1} = -h_{FE1} \frac{V_{CC} + V_{BE1}}{R_1 + (h_{FE1} + 1)(R_2 + R_3)} = -0,482mA \quad r_{e1} = 51,9\Omega$$

değeri elde edilir.  $I_{C1}$  bilindiğine göre  $T_2$  tranzistorunun çalışma noktası kolektör akımı için

$$I_{C2} = -h_{FE2} \frac{R_4 I_{C1} + V_{BE2}}{R_4 + (h_{FE2} + 1)(R_6 + R_7)} = 1,02mA \quad r_{e2} = 24,51\Omega$$

değeri elde edilir.

b) Kaskat kuvvetlendiricinin gerilim kazancı katların kazançlarının çarpımına eşittir. Buna göre  $T_2$  den oluşan ortak emetörlü devrenin gerilim kazancı için

$$K_{v2} = -\frac{R'_{y2}}{r_{e2} + R_6} = -\frac{R_5 // R_y}{r_{e2} + R_6} = -\frac{7500}{324,51} = -23,1$$

değeri elde edilir.  $T_2$ 'den oluşan devrenin giriş direnci,

$$r_{i2} = h_{fe2}(r_{e2} + R_6) = 64,9k\Omega$$

olarak elde edilir.  $T_1$  tranzistorunun kolektöründeki eşdeğer direnç  $R'_y = r_{i2} // R_4$

dir.  $T_1$  tranzistorunun sağladığı gerilim kazancı,

$$K_{v1} = -\frac{R'_{y1}}{r_{e1} + R_3} = -\frac{r_{i2} // R_4}{r_{e1} + R_3} = -\frac{10127}{51,9 + 1000} = -9,63$$

olarak elde edilir. Kaskat kuvvetlendiricinin gerilim kazancı

$$K_v = K_{v1} K_{v2} = -23,1 \cdot (-9,63) \cong 222,45$$

olur. Devrenin giriş direnci için  $r_i = R_1 // h_{fe1}(r_{e1} + R_3) = 100k\Omega // 210,38 \cong 67,8k\Omega$  değeri elde edilir.

**Soru 3.-** Şekil 3.de kullanılan tranzistörler için  $h_{fe}=h_{FE}=250$ ,  $h_{re}\cong 0$ ,  $h_{oe}\cong 0$ ,  $|V_{BE}|=0,6V$  ve  $V_T=25mV$  değerleri verilmiştir.

a) Tranzistörlerin çalışma noktası kolektör akımlarını hesaplayınız.

b)  $V_o/V_i$  gerilim kazancını,  $r_i$  giriş direncini ve  $r_o$  çıkış direncini hesaplayınız.

**Çözüm:**

$T_1$  tranzistorunun çalışma noktası akımı için baz çevriminden hareketle,

$$I_{C1} = -h_{FE1} \frac{V_{CC} + V_{BE1}}{R_1 + (h_{FE1} + 1)(R_2 + R_3)} = -0,2mA \quad r_{e1} = 12,5\Omega$$

değerine varılır.  $T_2$  tranzistorunun baz çevriminden hareketle kolektör akımı için

$$I_{C2} = -h_{FE2} \frac{R_4 I_{C1} + V_{BE2}}{R_4 + (h_{FE2} + 1)(R_6 + R_7)} = 0,936mA \quad r_{e2} = 26,71\Omega$$

elde edilir.  $T_3$  tranzistörünün baz çevriminden hareketle kolektör akımı için

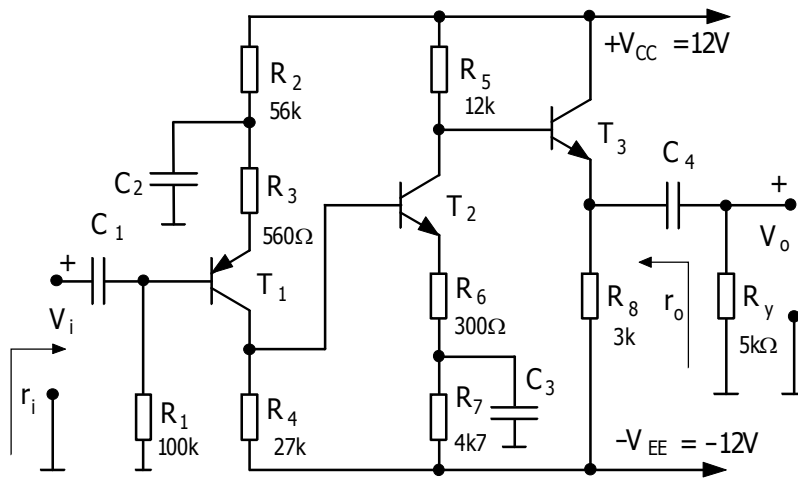
$$I_{C3} = h_{FE3} \frac{V_{CC} + V_{EE} - R_5 I_{C2} - V_{BE3}}{R_5 + (h_{FE3} + 1)R_8} = 3,98mA \quad r_{e3} = 6,28\Omega$$

bulunur.

b) Kaskat kuvvetlendiricinin kazancı katların kazançlarının çarpımına eşittir.  $T_3$  den oluşan emetör çıkışlı devrenin gerilim kazancı için

$$K_{v3} = \frac{R_{e3}}{r_{e3} + R_{e3}} = \frac{R_8 // R_y}{r_{e3} + (R_8 // R_y)} = \frac{1875}{6,28 + 1875} = 0,997$$

olur.  $T_3$ 'den oluşan devrenin giriş direnci  $r_B = h_{fe3}(r_{e3} + R_{e3}) = 470,3k\Omega$  dir.  $T_1$ 'den oluşan ortak emetörlü kuvvetlendirici devrenin gerilim kazancı,



Şekil 3.

$$K_{v2} = -\frac{R_5 // r_{i3}}{r_{e2} + R_6} = -35,82$$

değerinde bulunur.  $T_2$ 'den oluşan devrenin giriş direnci  $r_{i2} = h_{fe2}(r_{e2} + R_6) = 81,68k\Omega$  dir. Ortak emetörlü kuvvetlendirici olan  $T_1$ 'den oluşan devrenin gerilim kazancı,

$$K_{v1} = -\frac{R_4 // r_{i2}}{r_{e1} + R_3} = -29,62$$

olur. Kaskat kuvvetlendiricinin gerilim kazancı katların kazançlarının çarpımına eşittir. Bulunan kazanç değerleri kullanıldığında

$$K_v = K_{v1} K_{v2} K_{v3} \approx 1058 \text{ olur. Devrenin giriş direnci } R_{i1} // r_{i1} = R_1 // h_{fe1}(r_{e1} + R_3)$$

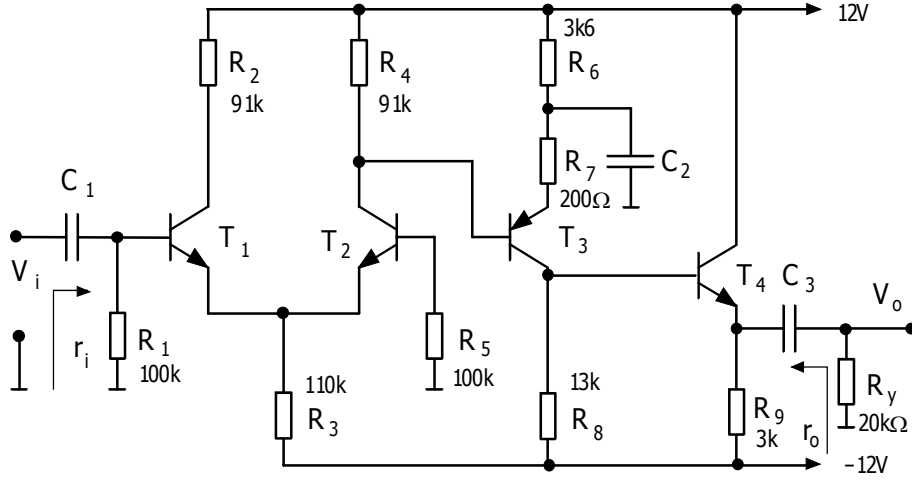
bağıntısı ile hesaplanır. Değerler yerine konduğunda  $r_{i1} = 100 // 171,25 \approx 63k\Omega$  bulunur. Çıkış direnci emetör çıkışlı kuvvetlendiricinin çıkış direncidir. Buna göre devrenin çıkış direnci,

$$r_o = (r_{e3} + \frac{R_5}{h_{fe3}}) // R_8 = 54,28 // 3000 = 53,3\Omega \text{ olur.}$$

**Soru 4.-** Şekil 4 de kullanılan tranzistörlerden  $T_1$  ve  $T_2$  eştir. Tranzistörler için  $h_{fe} = h_{FE} = 250$ ,  $|V_{BE}| = 0,6V$ ,  $h_{re} \approx 0$ ,  $h_{oe} \approx 0$  ve  $V_T = 25mV$  değerleri verilmiştir.

a) Tranzistörlerin çalışma noktası kolektör akımlarını hesaplayınız.

b)  $V_o/V_i$  gerilim kazancını,  $r_i$  giriş direncini ve  $r_o$  çıkış direncini hesaplayınız.



Şekil 4.

**Çözüm:**

$T_1$  ve  $T_2$  transistörleri eş transistörlerdir ve bazlarına bağlanan  $R_1$  ve  $R_5$  dirençleri de eşittir. Buna göre sükûnet halinde ( $V_i=0$  iken) kolektör akımları eşit olacaktır.  $T_1$ 'in baz çevriminden hareketle  $T_1$  ve  $T_2$  transistörlerinin kolektör akımı için

$$I_{C1} = I_{C2} = h_{FE1} \frac{V_{EE} - V_{BE1}}{R_1 + 2(h_{FE1} + 1)R_3} \cong 0,052mA \quad r_{e1} = r_{e2} = 481\Omega$$

olarak bulunur.  $T_3$  transistörünün baz çevriminden hareketle  $T_3$ 'ün kolektör akımı için

$$I_{C3} = -h_{FE3} \frac{R_4 I_{C2} + V_{BE3}}{R_4 + (h_{FE3} + 1)(R_6 + R_7)} \cong -0,99mA \quad r_{e3} = 25,3\Omega$$

bulunur.  $T_4$  transistörünün kolektör akımı için

$$I_{C4} = -h_{FE4} \frac{R_8 I_{C3} + V_{BE4}}{R_8 + (h_{FE4} + 1)R_9} = 4mA \quad r_{e4} = 6,25\Omega$$

bulunur.

b) Kaskat kuvvetlendiricinin gerilim kazancı, katların kazançlarının çarpımına eşittir.  $T_4$  transistörü emetör çıkışlı bir kuvvetlendirici olarak çalışmaktadır. Bu kuvvetlendiricinin gerilim kazancı için

$$K_{v4} = \frac{R_{e4}}{r_{e4} + R_{e4}} = \frac{R_9 // R_y}{r_{e4} + (R_9 // R_y)} = \frac{2609}{6,25 + 2609} = 0,998$$

bulunur.  $T_4$ 'den oluşan emetör çıkışlı devrenin girişinden görülen direnç,

$$r_{i4} = h_{fe4}(r_{e4} + R_{e4}) = 654k\Omega$$

olarak hesaplanır.  $T_3$  transistörünün kolektöründeki değişken işaret yükü,  $R_8 // r_{i4}$  dür. Buna göre ortak emetörlü bir kuvvetlendirici olan bu devrenin sağladığı gerilim kazancı,

$$K_{v3} = -\frac{R_8 // r_{i4}}{r_{e3} + R_7} = \frac{12747}{25,3 + 200} = -56,6$$

bulunur.  $T_3$  transistörünün bazından görülen direnç,

$$r_{i3} = h_{fe3}(r_{e3} + R_7) = 56,3k\Omega$$

olur.  $T_1$  ve  $T_2$  den oluşan uzun kuyruklu devrenin sağladığı gerilim kazancı,

$$K_{v2} = \frac{R_4 // r_{i3}}{2r_{e2} + \frac{R_5}{h_{fe2}}} = \frac{34781}{1362} = 25,5$$

dir. Kaskat kuvvetlendiricinin gerilim kazancı, katların kazançlarının çarpımına eşittir. Buna göre,

$$K_v = K_{v2} K_{v3} K_{v4} = -1440$$

olacaktır. Devrenin giriş direnci,

$$r_i = R_1 // (2h_{fe1}r_{e1} + R_5) = 77,3k\Omega$$

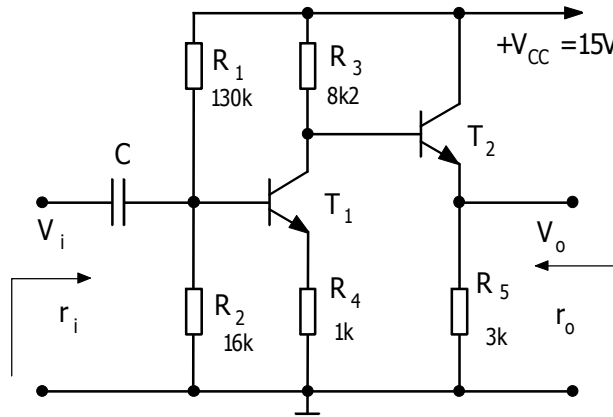
dir. Devrenin çıkış direnci, emetör çıkışlı kuvvetlendirici olan  $T_4$  tranzistorunun emetöründen görülen dirence eşittir. Buna göre

$$r_o = (r_{e4} + \frac{R_8}{h_{fe4}}) // R_9 = 58,25 // 3k\Omega \cong 57\Omega$$

olur.

**Soru 5.-** Şekil 5.de kullanılan tranzistor için  $h_{FE}=250$ ,  $V_{BE}=0,6V$ ,  $h_{re}\cong 0$ ,  $h_{oe}\cong 0$  ve  $V_T=25mV$  değerleri verilmiştir.

- Tranzistorların çalışma noktasında kolektör akımlarını hesaplayınız.
- $V_o/V_i$  gerilim kazancını,  $r_i$  giriş direncini ve  $r_o$  çıkış direncini hesaplayınız.



Şekil 5.

**Çözüm:**

$T_1$  tranzistoru baz bölücülü bir kuvvetlendiricidir. Bu kuvvetlendiricinin kolektör akımı için

$$I_{C1} = h_{FE1} \frac{V_{BB} - V_{BE1}}{R_B + (h_{FE1} + 1)R_4} = 250 \frac{1,644 - 0,6}{14,25 + 251,1} = 0,984mA \quad r_{e1} = 25,41\Omega$$

bulunur.  $T_2$  tranzistorunun kolektör akımı,

$$I_{C2} = h_{FE2} \frac{V_{CC} - R_3 I_{C1} - V_{BE1}}{R_3 + (h_{FE2} + 1)R_5} = 2,08mA \quad r_{e2} = 12\Omega$$

olur.

b) Kaskat kuvvetlendirici, ortak emetörlü bir kuvvetlendirici ile emetör çıkışlı bir kattan oluşmaktadır.  $T_2$ 'den oluşan emetör çıkışlı devrenin gerilim kazancı ve giriş direnci,

$$K_{v2} = \frac{R_{e2}}{r_{e2} + R_{e2}} = \frac{R_5}{r_{e2} + R_5} = \frac{3000}{12 + 3000} = 0,996 \quad r_{i2} = h_{fe2}(r_{e2} + R_5) = 753k\Omega$$

olur.  $T_1$ 'den oluşan ortak emetörlü devrenin gerilim kazancı ve bazdan görülen direnç,

$$K_{v1} = -\frac{R_3 // r_{i2}}{r_{e1} + R_4} = -\frac{8112}{1025,41} = -7,91 \quad r'_{i1} = h_{fe1}(r_{e1} + R_4) = 256,1k\Omega$$

dir. Kuvvetlendiricinin giriş direnci  $R_B$  ile  $r'_{i1}$  dirençlerinin paralel eşdeğeridir. Buna göre,

$$r_i = 14,24 // 256,1 = 13,5k\Omega$$

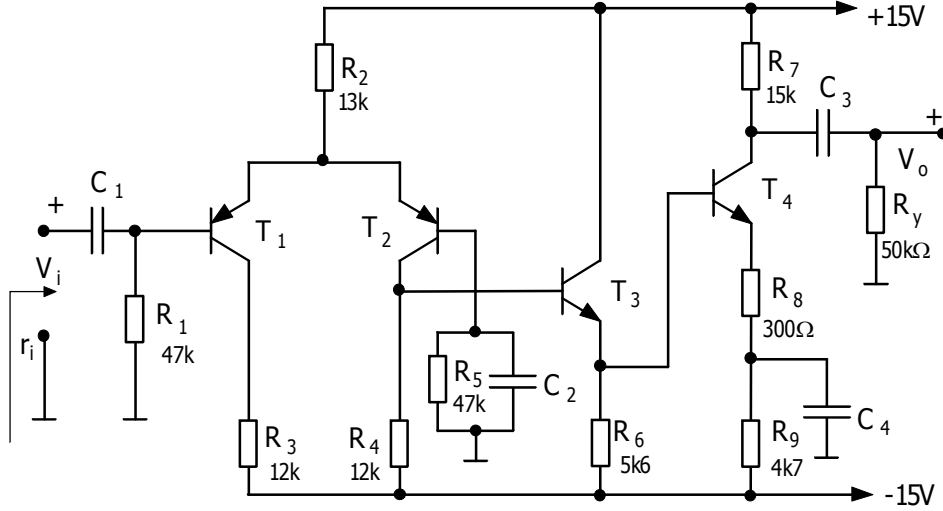
olur. Devrenin çıkış direnci emetör çıkışlı devrenin çıkış direncidir. Bu direnç hesaplanırsa,

$$r_o = (r_{e2} + \frac{R_3}{h_{fe2}}) // R_5 = 44,8 // 3000 = 44,14\Omega$$

elde edilir.

**Soru 6.-** Şekil 6. de kullanılan tranzistorlar için  $h_{fe}=h_{FE}=300$ ,  $h_{re}\approx 0$ ,  $h_{oe}\approx 0$ ,  $|V_{BE}|=0,6V$  ve  $V_T=25mV$  değerleri verilmiştir.

- Tranzistorların çalışma noktası kolektör akımlarını hesaplayınız.
- $V_o/V_i$  gerilim kazancını,  $r_i$  giriş direncini ve  $r_o$  çıkış direncini hesaplayınız.



Şekil 6.

**Çözüm:**

$T_1$  ve  $T_2$  tranzistorları eşit ve baz çevrimlerindeki dirençler de doğru bileşenler açısından eşittir. Bu durumda kolektör akımları eşit olacaktır. Kolektör akımları için

$$I_{C1} = I_{C2} = -h_{FE1} \frac{V_{CC} + V_{BE1}}{R_1 + 2(h_{FE1} + 1)R_2} = -300 \frac{15 - 0,6}{47 + 2.301.13} = -0,549mA$$

olur.  $r_{e1} = r_{e2} = 45,54\Omega$  dir.  $T_2$  tranzistorunun kolektör akımı için baz çevriminden hareketle,  $T_4$  tranzistorunun baz akımı ihmal edilerek,

$$I_{C3} = -h_{FE3} \frac{R_4 I_{C2} + V_{BE3}}{R_4 + (h_{FE3} + 1)R_6} = 1,06mA \quad r_{e3} = 23,6\Omega$$

değeri elde edilir.  $T_4$  tranzistorunun kolektör akımı,

$$I_{C4} = -h_{FE4} \frac{R_6 I_{C3} + V_{BE4}}{R_6 + (h_{FE4} + 1)(R_8 + R_9)} = 1,06mA \quad r_{e4} = 23,6\Omega$$

ile hesaplanır.

b) Kaskat kuvvetlendiricinin gerilim kazancı katların kazançlarının çarpımına eşittir.  $T_4$  den oluşan ortak emetörlü devrenin gerilim kazancı

$$K_{v4} = -\frac{R'_{y4}}{r_{e4} + R_{e4}} = -\frac{R_7 // R_y}{r_{e4} + R_8} = -\frac{11538}{23,6 + 300} = -36,7$$

olacaktır. Bu kuvvetlendiricinin bazından görülen direnç,  $T_3$ 'den oluşan emetör çıkışlı devrenin yüküdür. Bu yük,

$$R_{e3} = R_6 // r'_{i4} = R_6 // h_{fe4}(r_{e4} + R_8) = 5,6 // 97,08 \approx 5,3k\Omega$$

olur.  $T_3$ 'den oluşan emetör çıkışlı devrenin gerilim kazancı,

$$K_{v3} = \frac{R_{e3}}{r_{e3} + R_{e3}} = \frac{5300}{23,6 + 5300} = 0,996 \quad r_{i3} = h_{fe3}(r_{e3} + R_{e3}) = 1597k\Omega$$

dır. Uzun kuyruklu devre olan giriş katının gerilim kazancı,

$$K_{v2} = \frac{R_4 // r_{i3}}{2r_{e2}} = \frac{11911}{2.45,54} = 130,8$$

olur. Kaskat devrenin gerilim kazancı, katların gerilim kazançlarının çarpımına eşittir. Bu işlem yapıldığında,

$$K_v = K_{v2}K_{v3}K_{v4} = 130,8.0,996.(36,7) \cong 4791$$

biçiminde elde edilir.

Kuvvetlendiricinin giriş direnci,  $T_1$  tranzistorunun bazından görülen direnç  $R_1$  direncinin paralel eşdeğerine eşittir.  $T_1$ 'in bazından görülen direnç,

$$r'_{i1} = 2h_{fe1}r_{e1} = 27,3\Omega$$

dur. Kuvvetlendiricinin giriş direnci,

$$r_i = R_1 // r'_{i1} = 17,3k\Omega \quad r_i = R_1 // r'_{i1} = 17,3k\Omega$$

olur. Kuvvetlendiricinin çıkış direnci  $R_7$  direncine eşittir ve  $r_o = 15k\Omega$  dır.

**Soru7.-** Şekil 7. deki devrede kullanılan İşlemsel Kuvvetlendiriciler ideal alınabilmektedir.

a)  $V_o$  gerilimini  $V_1$  ve  $V_2$  cinsinden veren ifadeyi çıkartınız.

b)  $R_6 = R_7$ ,  $R_4 = R_5/2$ ,  $R_1 = R_2 = R_3/2$  ise  $V_o$  gerilimini veren ifade ne olacaktır?

c) (b) de verilen direnç eşitlikleri için  $V_o = 0V$  olması istendiğine göre  $V_1$  ve  $V_2$  gerilimleri arasında ne gibi bir ilişki olmalıdır?

**Çözüm:**

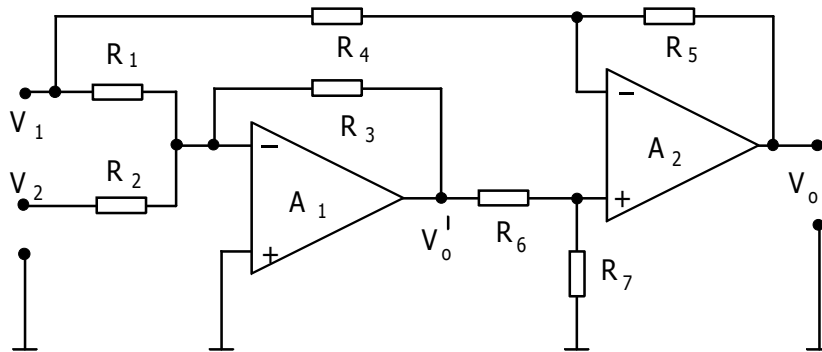
a)  $A_1$  işlemsel kuvvetlendiricisinin çıkış gerilimi,

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

dir.  $A_2$  işlemsel kuvvetlendiricisinin çıkış gerilimi,

$$V_o = -\frac{R_5}{R_4}V_1 + \frac{R_5 + R_4}{R_4} \frac{R_7}{R_6 + R_7} V_o' = -\left[\frac{R_5}{R_4} + \frac{R_5 + R_4}{R_4} \frac{R_7}{R_6 + R_7} \frac{R_3}{R_1} V_1\right. \\ \left. - \frac{R_5 + R_4}{R_4} \frac{R_7}{R_6 + R_7} \frac{R_3}{R_2} V_2\right]$$

dir.



Şekil 7.

b)  $R_6 = R_7$ ,  $R_4 = R_5/2$  ve  $R_1 = R_2 = R_3/2$  ise,

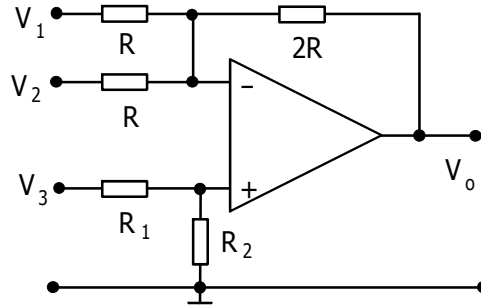
$V_o = -5V_1 - 3V_2 = 0$  ise,

$V_1 = -0,6V_2$  olmalıdır.

**Soru 8.-** Şekil 8. de kullanılan işlemsel kuvvetlendirici idealdir.

a)  $V_o$  gerilimini dirençler ve gerilimler cinsinden hesaplayınız.

b)  $V_1=V_2=V_3$  iken  $V_o=0$  olması için  $R_2 / R_1$  oranı ne olmalıdır.



Şekil 8.

**Çözüm:**

a)  $V_o$  çıkış gerilimi,

$$V_o = -2V_1 - 2V_2 + 5 \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_3$$

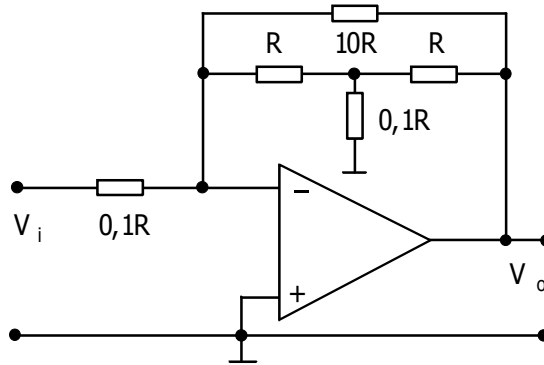
dir.

b)  $V_1 = V_2 = V_3$  alındığında  $V_o = 0$  olması için ifadeden kolayca görüleceği gibi  $R_2 = 4R_1$  olmalıdır.

**Soru 9,-**

Şekil 9. de görülen işlemsel kuvvetlendirici ideal olduğuna göre  $V_o / V_i$  gerilim kazancını hesaplayınız.

**Çözüm:**



Şekil 9.

$$-\frac{V_i}{0,1R} = \frac{V_o}{10R} + \frac{V_o}{11} \frac{1}{R + \frac{0,1}{1,1}R} = \frac{V_o}{10R} + \frac{V_o}{12R} = \frac{13V_o}{12R}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -54,54$$

olarak elde edilir.

**Soru 10.-** Şekil 10. deki devrede kullanılan işlemsel kuvvetlendiriciler idealdir.

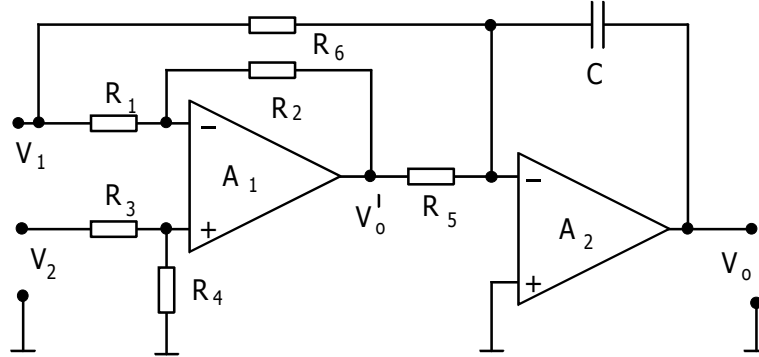
a)  $V_o$  gerilimini  $V_1$  ve  $V_2$  gerilimleri cinsinden veren genel ifadeyi bulunuz.



b)  $V_1$  ve  $V_2$  gerilimleri sabit değerler alındığında,  $t=0$  anında  $V_o=0$ ,  $R_1=R_2$ ,  $R_3=R_4$  ve  $R_5=R_6=R$  ise  $V_o$  geriliminin ifadesi ne olur? ( $RC=1$  alınacaktır.)

c) (b) de verilen durum için  $R_6=2R_5$  olması halinde  $V_o=0$  değerini alması için  $V_1$  ile  $V_2$  arasında nasıl bir ilişki olmalıdır?

**Çözüm:**



Şekil 10.

a) Devrede kullanılan  $A_1$  devresinden oluşan devre fark kuvvetlendiricisidir. Bu devrenin çıkış gerilimi,

$$V_o' = -\frac{R_2}{R_1} V_1 + \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2$$

dir.  $A_2$  devresi hem toplama işlemi yapmakta hem de entegral almaktadır. Buna göre  $A_2$  devresinin çıkış gerilimi,

$$V_o = -\frac{1}{R_6 C} \int V_1 dt - \frac{1}{R_5 C} \int V_o' dt$$

ifadesi ile  $V_1$  ve  $V_o'$  gerilimlerine bağlıdır.  $V_o'$  geriliminin  $V_1$  ve  $V_2$  cinsinden değerinin yerine konulması halinde  $V_o$  gerilimi, gerekli düzenlemeler yapılarak

$$V_o = \frac{R_2 R_6 - R_1 R_5}{R_1 R_5 R_6} \int V_1 dt - \frac{(R_1 + R_2) R_4}{R_1 R_5 (R_3 + R_4)} \int V_2 dt$$

biçiminde elde edilir.

b) Kolayca  $V_o'$ 'nın ifadesinden görüldüğü gibi çıkış gerilimi sadece  $V_2$  gerilimine bağlı olmaktadır ve

$$V_o = -\int V_2 dt$$

dir.  $V_2 = \text{st}$  olduğuna göre entegral alındığında

$$V_o = -V_2 t$$

olacaktır.

c)  $R_6 = R_5$  alındığında  $V_o = 0$  kolayca göstermek mümkündür ki

$$V_1 = 2V_2$$

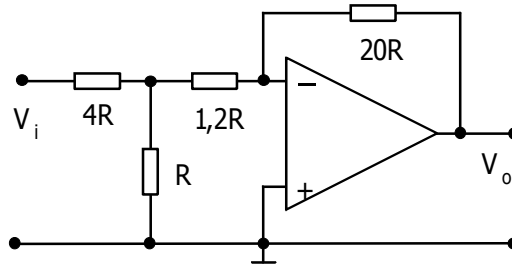
olmalıdır.

**Soru 11.-** Şekil 11. de kullanılan işlemsel kuvvetlendirici ideal olduğuna göre  $V_o/V_i$  gerilim kazancını hesaplayınız.

**Çözüm:**

Şekil 5. de verilen devreden Thévenin eşdeğeri alınarak gerekli hesaplar yapılırsa,

$$\frac{V_i}{10R} = -\frac{V_o}{20R}$$



Şekil 11.

bulunur ve buradan gerekli düzenlemeler yapıldığında

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

olarak elde edilir.

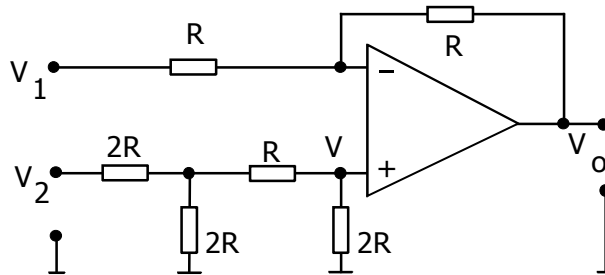
**Soru 12.-** Şekil 12. de kullanılan işlemsel kuvvetlendirici ideal olarak kabul edilebilmektedir.  $V_1=5V$  olduğuna göre  $V_o=0V$  olması için  $V_2$ 'nin alması gereken değerini hesaplayınız.

**Çözüm:**

İşlemsel kuvvetlendirici reel olduğundan  $V_o$  gerilimi,

$$V_o = 2V - V_1$$

ifadesi ile  $V$  ve  $V_1$  gerilimlerine bağlıdır.  $V$  gerilimi  $V_2$  gerilimi cinsinden hesaplanabilir. Bu hesaplar yapıldığında,



Şekil 12.

$$V = \frac{1}{4}V_2$$

dir. Buna göre çıkış gerilimi  $V_o$ ,

$$V_o = \frac{1}{2}V_2 - V_1$$

olacaktır.

**Soru 13.-** Şekil 13. de kullanılan işlemsel kuvvetlendirici i idealdir.  $V_o$  gerilimini  $V_1$ ,  $V_2$  ve  $V_3$  gerilimleri cinsinden hesaplayınız.

**Çözüm:**

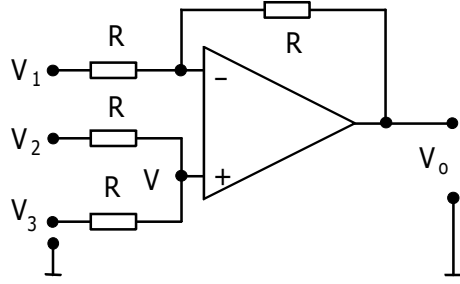
Şekil 13. de görülen  $V$  gerilimi,  $V_2$  ve  $V_3$  gerilimi cinsinden hesaplanırsa,

$$V = \frac{V_2 + V_3}{2}$$

dir.  $V_o$  gerilimi,  $V_1$  ve  $V$  cinsinden hesaplandığında,

$$V_o = 2V - V_1$$

olacağını göstermek oldukça kolaydır.  $V$  geriliminin  $V_2$  ve  $V_3$  cinsinden ifadesi yerine konursa,



Şekil 13.

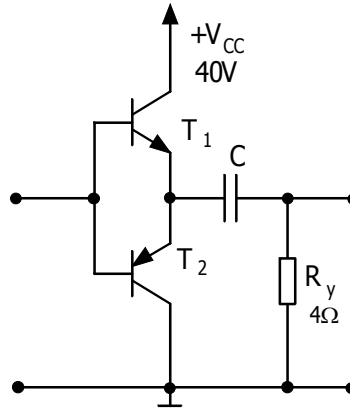
$$V_o = V_2 + V_3 - V_1$$

olacaktır.

**Soru 14.-** Şekil 14. de kullanılan eşlenik tranzistorlar için  $V_{CEsat}=1V$ ,  $R_{thjc}=5^\circ C/W$ ,  $R_{thch}=1^\circ C/W$  ve  $T_{jmax}=150^\circ C$  değerleri verilmiştir. Tranzistorlar ayrı ayrı soğutuculara bağlanmıştır.

a) Yüke aktarılabilir maksimum güç ne kadardır? Bu sırada verimin değeri ne olur?

b) Her bir tranzistor için kullanılması gereken soğutucu yüzeylerin ısı direnci en fazla ne kadar olmalıdır?  $T_a=50^\circ C$  alınacaktır.



Şekil 14.

**Çözüm:**

a) Tek kaynakla beslenen B sınıfı push-pull kuvvetlendiricide yüke aktarılan maksimum güç ve verim,

$$P_{y\max} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{2} - V_{CEsat}\right)^2}{2R_y} = 45,125W \quad \eta_{\max} = \frac{\pi}{2} \frac{\frac{V_{CC}}{2} - V_{CEsat}}{2} = \%74,6$$

olarak bulunur.

b) Her bir tranzistorda harcanan güç,

$$P_{tot} = \frac{2}{\pi^2} P_{y\max i}$$

dir. Tranzistorlar ideal alındığında yüke aktarılan maksimum güç,

$$P_{y\max i} = \frac{V_{CC}^2}{8R_y} = 50W \text{ tır. Buna göre her bir tranzistorda harcanan güç,}$$

$$P_{tot} = \frac{2}{\pi^2} P_{y\max i} = 10,13W$$

olarak elde edilir. Her bir tranzistor ayrı soğutuculara bağlandığına göre bir tranzistor için,

$T_{j\max} - T_a = P_{tot}(R_{thjc} + R_{thch} + R_{thha})$  ifadesi yazılabilir ve bu bağıntıda değerler yerine konduğunda soğutucunun ısıl direnci için  $R_{thha} = 3,9^\circ\text{C/W}$  değeri elde edilir.

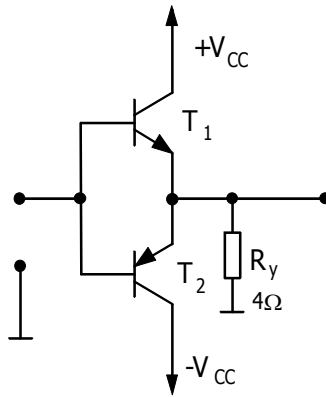
**Soru 15.-** Şekil 15. de verilen devrede kullanılan eşlenik tranzistorların her biri için  $T_{j\max}=150^\circ\text{C}$ ,  $R_{thjc}=2,5^\circ\text{C/W}$ ,  $R_{thch}=1^\circ\text{C/W}$  ve  $R_{thha}=6,5^\circ\text{C/W}$  değerleri verilmiştir. Bu tranzistorlar için  $I_{CM}=5\text{A}$  ve  $V_{CM}=50\text{V}$  olduğuna göre, ortam sıcaklığını  $T_a=50^\circ\text{C}$  ve  $V_{CEsat}=1\text{V}$  alarak, yüke maksimum güç aktaracak  $V_{CC}$  geriliminin değeri ne kadar olmalıdır? Seçilen  $V_{CC}$  gerilimi için yüke en fazla ne kadar güç aktarılabilir? Bu sırada verimin değeri ne kadardır?

**Çözüm:**

Her bir tranzistorda harcanabilecek güç, ısıl direncin bulunuş ifadesinden yararlanılarak hesaplanırsa,

$$P_{tot} = \frac{T_{j\max} - T_a}{R_{thjc} + R_{thch} + R_{thha}} = \frac{100}{2,5 + 1 + 6,5} = 10\text{W}$$

olarak elde edilir. Bu değer tranzistorda harcanabilecek maksimum güçtür. Bu güç değeri ile  $P_{y\max}$  arasındaki ilişki karşılaştırılırsa,



Şekil 15.

$$P_{tot} = \frac{2}{\pi^2} P_{y\max} = \frac{2}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{2R_y} \rightarrow V_{CC} = \pi \sqrt{P_{tot} R_y} = 19,87\text{V}$$

olur. Akım sınırından hareketle  $V_{CC}=R_y I_{CM}+V_{CEsat}=21$  olarak elde edilir. Gerilim sınırından yararlanıldığında  $V_{CC} \cong V_{CEM}/2=25\text{V}$  olacaktır. Bu üç besleme geriliminden görüleceği gibi çözüm, üç değer arasında en küçük olan  $V_{CC}=19,87\text{V}$  tur.  $V_{CC}=19,87\text{V}$  alındığında yüke aktarılabilen maksimum güç ve verim için,

$$P_{y\max} = \frac{(V_{CC} - V_{CEsat})^2}{2R_y} = 44,51\text{W} \quad \eta_{\max} = \frac{\pi}{4} \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{V_{CC}} = \%74,6$$

değerleri elde edilir.

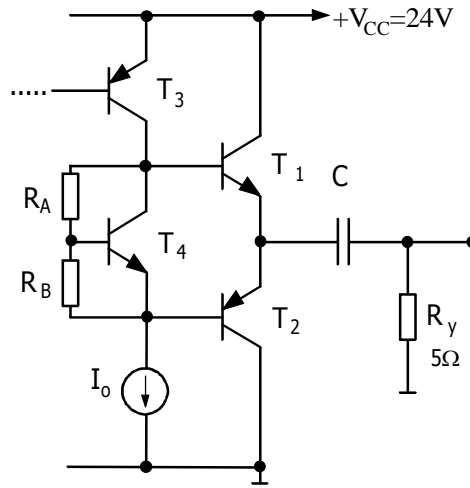
**Soru 16.-**

a) Şekil 16. de B-Sınıfı güç kuvvetlendiricisi çıkışında maksimum  $P_y=10\text{W}$  lık bir güç elde edilebildiği ölçülmektedir. Maksimum güçte çıkış tranzistorları ( $T_1$  ve  $T_2$ ) üzerinde kalan gerilimin değerini hesaplayınız.

b)  $T_1$  ve  $T_2$ 'nin dayanması gereken maksimum kolektör-emetör gerilimi  $V_{CEM}$  ile maksimum kolektör akımı  $I_{CM}$  değerlerine olmalıdır?

c)  $h_{FE1\min}=h_{FE2\min}=25$  olduğu dikkate alınırsa  $I_{O\min}$  ne olmalıdır? Bu durumda  $T_3$  üzerinde harcanan gücü hesaplayınız.  $V_{BE1}=|V_{BE2}| \cong 0,7\text{V}$  alınacaktır.

d)  $V_{BE1}=|V_{BE2}| \approx V_{BE4}$  olarak  $R_A$  ve  $R_B$  arasındaki ilişkiyi belirleyiniz.



Şekil 16.

**Çözüm:**

a) Tek kaynakla beslenen B-sınıfı push-pull kuvvetlendiricide yüke aktarılabilen maksimum güç,

$$P_{y\max} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{2} - V_{CEsat}\right)^2}{2R_y} = \frac{(12 - V_{CEsat})^2}{10} = 10W$$

tır. Bu bağıntıdan yararlanılarak  $V_{CEsat}$  gerilimi hesaplandığında,  $V_{CEsat}=2V$  olur.

b) Transistörler ideal alındığında yüke aktarılabilecek maksimum güç,

$$P_{y\max i} = \frac{V_{CC}^2}{8R_y} = 14,4W \text{ tır. Bu güç değeri ile } P_{tot} \text{ arasındaki ilişki kullanılarak, her bir}$$

transistörde harcanabilecek maksimum güç için

$$P_{tot} = \frac{2}{\pi^2} P_{y\max i} = 2,92W$$

değeri elde edilir. transistörlerden akabilecek maksimum akım, yüke maksimum güç aktarıldığında oluşur. Bu akım,

$$I_{CM} = I_{y\max} = \frac{\frac{V_{CC}}{2} - V_{CEsat}}{R_y} = 2A$$

dir. Push-pull kuvvetlendiriciyi oluşturan transistörlerin uçlarına gelen gerilim, diğer transistör doymaya girdiğinde oluşacaktır. Buna göre  $T_1$  ve  $T_2$  transistörlerinin uçları arasına gelebilecek maksimum gerilim değeri,

$$V_{CEM} \cong V_{CC} - V_{CEsat} = 24 - 2 = 20V$$

olur.

c) Transistörlerin akım kazançlarının minimum değerleri 25 olarak verilmiştir.  $T_1$  ve  $T_2$  transistörlerinin baz akımları, yük akımı maksimum olduğunda en büyük değerini alır. Bu akım hesaplandığında,

$$I_{B1\max} = I_{B2\max} = \frac{I_{y\max}}{h_{FE\min}} = \frac{2000}{25} = 80mA$$

çıkar.  $I_o$  akımı en az 80mA seçilmelidir. Transistörlerin baz-emetör arası 0,7V alındığında  $T_3$  transistöründe harcanan güç,

$$P_{tot3} = \left(\frac{V_{CC}}{2} - V_{CEsat}\right)I_o = 0,904W$$

olarak hesaplanır. Bu güç değeri  $T_3$  tranzistöründe harcanabilecek maksimum güç değeridir.

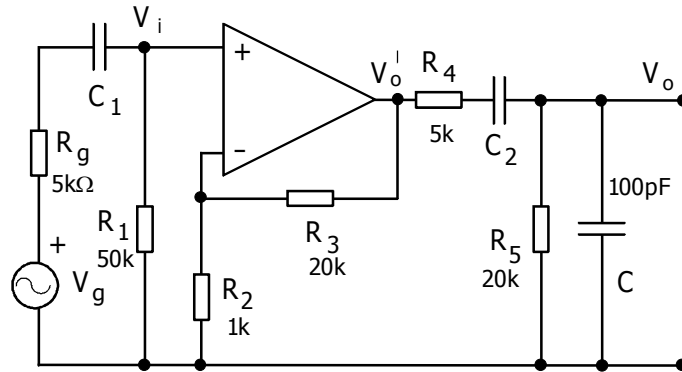
d) Gerilim çoğaltıcı devreden kolayca görüleceği gibi,  $T_1$  ve  $T_2$  tranzistörlerinin bazları arasında oluşacak gerilimin  $2V_{BE1}$  olabilmesi  $R_A$  ve  $R_B$  dirençlerinin birbirine eşit seçilmesi halinde mümkün olacaktır.

**Soru 17.-** Şekil 17. de görülen işlemsel kuvvetlendirici idealdir.

a)  $V_o/V_g$  gerilim kazancını orta frekans bölgesinde hesaplayınız.

b) Devrenin alt kesim frekansı  $f_1=20Hz$  ve asimptot eğiminin 40 dB/dekat olması istenmektedir. Belirtilen özelliği sağlayacak  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatör değerlerini hesaplayınız.

c) Devrenin üst kesim frekansını hesaplayınız.



Şekil 17.

**Çözüm:**

a) İşlemsel kuvvetlendirici ideal alındığına göre  $V_o/V_i$  gerilim kazancı,  $R_3$  ve  $R_2$  dirençleri tarafından belirlenir ve

$$\frac{V_o'}{V_i} = \frac{R_2 + R_3}{R_2} = 21$$

değerine eşittir. Devrenin giriş direnci  $R_1 = 50k\Omega$  değerine eşittir. Bu değer kullanılarak,

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{V_i}{V_g} \frac{V_o'}{V_i} \frac{V_o}{V_o'} = \frac{R_1}{R_1 + R_g} \frac{R_2 + R_3}{R_2} \frac{R_y}{R_4 + R_y} = \frac{50}{55} \frac{21}{1} \frac{20}{25} = 15,3$$

bulunur. İşlem sırasında işlemsel kuvvetlendirici ideal olduğundan çıkış direnci sıfır alınmıştır.

b) Devrenin alt kesim frekansının 20Hz ve asimptot eğiminin de 40dB/dekat olması istendiğine göre çakışık kutup vardır. Buna göre kutup frekansları,

$f_k = f_1 \sqrt{2^{1/2} - 1} = 12,87Hz$  olacaktır.  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerinin oluşturdukları kutup frekansları bu değere eşit alınarak değerleri hesaplanırsa,

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_k (R_g + R_1)} = 0,225\mu F \quad C_2 = \frac{1}{2\pi f_k (R_4 + R_y)} = 0,495\mu F$$

değerleri elde edilir.

c) Devrenin üst kesim frekansı  $C$  kondansatörü ile belirlenmektedir. Bu kondansatörün uçları arasına gelen eşdeğer direnç,  $R_4$  ve  $R_y$  dirençlerinin paralel eşdeğeridir. Bu direnç hesaplanırsa,  $R = R_4 // R_y = 4k\Omega$  olarak bulunur. Buna göre devrenin üst kesim frekansı,

$$f_2 = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi 100 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^3} \cong 398kHz$$

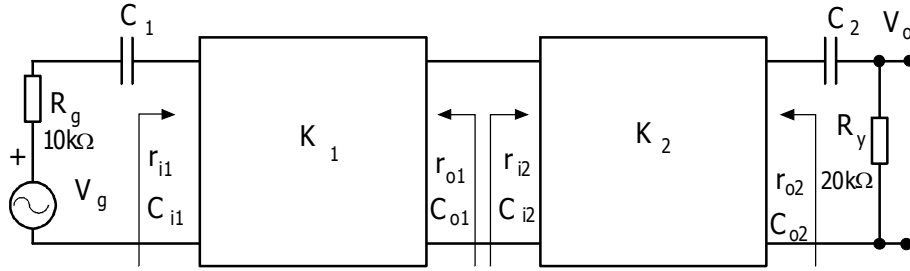
bulunur.

**Soru 18.-** Şekil 18. deki blok şemada kullanılan kuvvetlendirici blokların yüksüz büyüklükleri:

$$\begin{array}{llll} K_1=50 & r_{i1}=50k\Omega & C_{i1}=50pF & r_{o1}=5k\Omega & C_{o1}=5pF \\ K_2=20 & r_{i2}=100k\Omega & C_{i2}=20pF & r_{o2}=1k\Omega & C_{o2}=2pF \end{array}$$

olarak verilmiştir.  $R_g=10k\Omega$  ve  $R_y=20k\Omega$  dur.

- Devrenin  $V_o/V_g$  gerilim kazancını orta frekans bölgesi için hesaplayınız.
- $V_o/V_g$  kazancının alt kesim frekansının  $f_1=20Hz$  ve asimptot azalma eğiminin 40dB/dekat olması istendiğine göre  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerinin değerini hesaplayınız.
- Yüksek frekans bölgesi kutup frekanslarını hesaplayınız.



Şekil 18.

**Çözüm:**

- Devrenin orta frekans bölgesinde  $V_o/V_g$  gerilim oranı

$$\frac{V_o}{V_g} = K_1 K_2 \frac{r_{i1}}{r_{i1} + R_g} \frac{r_{i2}}{r_{o1} + r_{i2}} \frac{R_y}{r_{o2} + R_y} = 50 \cdot 20 \frac{50}{60} \frac{100}{105} \frac{20}{21} = 755,86$$

olarak hesaplanır.

- Devrenin alt kesim frekansının 20Hz ve asimptot eğiminin de 40dB/dekat olması istenmektedir. Çakışık kutup durumu olduğundan önceki soruda olduğu gibi kutup frekansları için,  $f_{k1} = f_{k2} = 12,87Hz$  değerleri elde edilir. Bu değerler ve  $C_1$  ile  $C_2$  kondansatörlerinin çevrimine giren dirençler kullanılarak

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_k (R_g + r_{i1})} = 0,206 \mu F \quad C_2 = \frac{1}{2\pi f_k (r_{o2} + R_y)} = 0,589 \mu F$$

değerlerine varılır.

- Yüksek frekans bölgesinde 3 tane kutup oluşacaktır. Bu kutuplara karşılık gelen kutup frekansları,

$$f_{k1} = \frac{1}{2\pi C_{i1} (R_g // r_{i1})} = \frac{1}{2\pi 50 \cdot 10^{-12} 8333} \cong 191 kHz$$

$$f_{k2} = \frac{1}{2\pi (C_{o1} + C_{i2}) (r_{o1} // r_{i2})} = \frac{1}{2\pi 25 \cdot 10^{-12} 4762} = 1,34 MHz$$

$$f_{k3} = \frac{1}{2\pi C_{o2} (r_{o2} // R_y)} = \frac{1}{2\pi 2 \cdot 10^{-12} 952,4} = 83,6 MHz$$

biçiminde hesaplanırlar.

**Soru 19.-** Şekil 19. de kullanılan kuvvetlendiricinin girişine orta frekans bölgesinde  $V_g=10mV$ 'luk bir gerilim uygulandığında kuvvetlendiricinin çıkışında 2V gerilim ölçülmektedir. Devrenin alt kesim frekansı  $f_1=40Hz$  ve asimptot eğimi 40dB/dekat tır. Devrenin üst kesim frekansı  $f_2=1MHz$  olarak ölçülmüştür. Çıkış kapasitesi  $C_o$  ihmal edilecek kadar küçüktür.

- Devrenin giriş ve çıkış direncini hesaplayınız.

b) Devrenin yüksüz gerilim kazancı K ne kadardır?

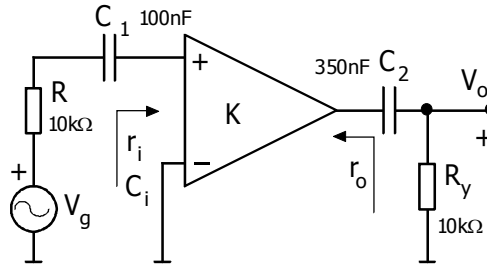
c) Devrenin giriş kapasitesini hesaplayınız.

**Çözüm:**

a) Devrenin alt kesim frekansı  $f_1 = 40\text{Hz}$  olarak ölçülmüş ve asimptot eğiminin  $40\text{dB/dekat}$  olduğu görüldüğüne göre çakışık kutup vardır. Bu kutup frekansı hesaplanırsa,

$$f_k = f_1 \sqrt{2^{1/2} - 1} = 25,74\text{Hz}$$

olarak elde edilir.  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerinin oluşturacakları kutup frekansları bu değere eşit olmalıdır. devreden hareketle bu frekanslar yazılırsa,



Şekil 19.

$$f_{k1} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_g + r_i)} \quad f_{k2} = \frac{1}{2\pi C_2 (r_o + R_y)}$$

dir. Bu bağıntılardan yararlanılarak  $r_i$  ve  $r_o$  dirençleri hesaplanırsa,

$$r_i = \frac{1}{2\pi C_1 f_{k1}} - R_g = 51830\Omega$$

$$r_o = \frac{1}{2\pi C_2 f_{k2}} - R_y = 7666\Omega$$

bulunurlar.

b) Devrenin  $V_o/V_g$  oranı verilen değerlerden hareketle hesaplanırsa,

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{2000}{10} = 200$$

dir. Devreden kolayca görüldüğü gibi bu kazanç,

$$\frac{V_o}{V_g} = K \frac{r_i}{r_i + R_g} \frac{R_y}{r_o + R_y} = K \frac{51830}{61830} \frac{10000}{17666} = 200$$

dir. Bu ilişkidten hareketle K için 421,5 değeri elde edilir.

c) Devrenin üst kesim frekansı  $C_i$  kapasitesinden oluşmaktadır. Bu kapasiteye paralel gelen eşdeğer direnç,  $R_g$  ve  $r_i$  dirençlerinin paralel eşdeğeridir. Bilinen değerler kullanıldığında bu direnç için  $R = R_g / r_i = 8,38\text{k}\Omega$  değeri bulunur. Üst kesim frekansı  $1\text{MHz}$  olarak verilmiştir. Üst kesim frekansı tek kutupla belirlendiğinden  $C_i$  kapasitesi,

$$C_i = \frac{1}{2\pi f_2 R} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^6 \cdot 8380} \cong 19\text{pF}$$

bulunur.

**Soru 20.-** Şekil20. deki devrede kullanılan kuvvetlendiricinin yüksüz gerilim kazancı  $K=2000$ , giriş direnci  $r_i=50\text{k}\Omega$  ve çıkış direnci  $r_o=500\Omega$  dur.

a) Devrenin  $V_o/V_g$  gerilim kazancını hesaplayınız.

b) Devrenin alt kesim frekansının  $20\text{Hz}$  ve asimptot eğiminin  $40\text{dB/dekat}$  olması istendiğine göre  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerinin değerini hesaplayınız.



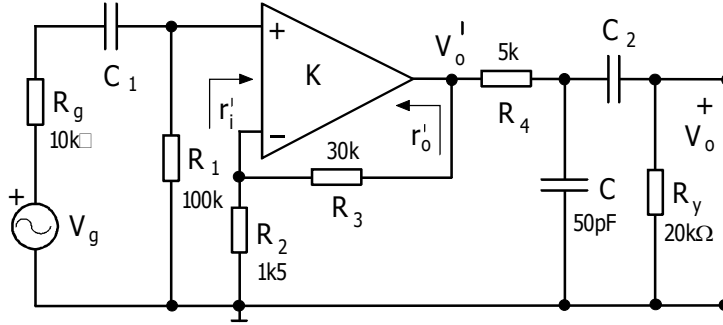
c) Devrenin üst kesim frekansını hesaplayınız.

**Çözüm:**

a) Devrede seri gerilim geribeslemesi bulunmaktadır.  $\beta$  devresi,  $R_2$  ve  $R_3$  dirençlerinden oluşur. Bu devreden  $\beta$  fonksiyonu hesaplanırsa,

$$\beta = -\frac{R_2}{R_2 + R_3} = -\frac{1,5}{30 + 1,5} = -\frac{1}{21}$$

olarak elde edilir.  $\beta$  devresinin girişinden ve çıkışından görülen dirençler hesaplandığında



Şekil 20.

$$r_{i\beta} = R_2 + R_3 = 31,5k\Omega \quad r_{o\beta} = R_2 // R_3 = 1,43k\Omega$$

olarak bulunurlar. Bu dirençlerin devreye dahil edilmesi ile devrenin açık çevrim büyüklükleri hesaplanırsa,

$$r_i = r_i' + r_{o\beta} = 50 + 1,43 = 51,43k\Omega \quad r_o = r_o' // r_{i\beta} = 492,2\Omega$$

değerleri elde edilir. Devrenin açık çevrim kazanç fonksiyonu,

$$K_v = \frac{V_o'}{V_t} = K \frac{r_i'}{r_i} \frac{R_y'}{r_o' + R_y'}$$

biçimindedir. Bağlantıda görülen  $R_y' = r_{i\beta} // (R_4 + R_y) = 13,94k\Omega$  dır. Bu direnç bağlantıda kullanıldığında  $K_v$  kazancı için

$$K_v = 2000 \frac{50}{51,43} \frac{13,94}{13,94 + 0,5} = 1877$$

değerine varılır. Devrenin geribeslemeli gerilim kazancı  $K_{vf}$ ,  $V_o'$  ile  $V_i$  arasında tanımlanmıştır. Bu kazanç hesaplanırsa,

$$K_{vf} = \frac{V_o'}{V_i} = \frac{K_v}{1 - \beta K_v} = 20,77$$

olur.  $V_o/V_g$  kazancı istenmektedir. Bu kazancın hesaplanabilmesi için geribeslemeli giriş direnci  $r_{if}$  hesaplanmalıdır.  $r_{if}$  giriş direnci,  $r_i'$  ile  $R_1$  dirençlerinin paralel eşdeğeridir.  $r_{if}$  direnci hesaplanırsa,

$$r_{if}' = r_i(1 - \beta K_v) = 51,43(1 + \frac{1877}{21}) = 4648,3k\Omega$$

olarak bulunur. Bu direnç değerinin kullanılması ile

$$r_{if} = R_1 // r_{if}' = 100 // 4648,3 = 97,9k\Omega$$

biçiminde geribeslemeli  $r_{if}$  direnci elde edilir. Bu direnç kullanılarak devrenin  $V_o/V_g$  gerilim oranı,

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{V_i}{V_g} \frac{V_o'}{V_i} \frac{V_o}{V_o'} = \frac{r_{if}}{R_g + r_{if}} K_{vf} \frac{R_y}{R_4 + R_y} = \frac{97,9}{97,9 + 10} 20,77 \frac{20}{20 + 5} = 15,08$$

olur.

b) Devrenin alt kesim frekansının 20Hz olması istenmektedir. Asimptot eğiminin 40dB/dekat olması istendiğinden çakışık kutup durumu vardır. Çakışık kutup frekansı,

$$f_k = f_1 \sqrt{2^{1/2} - 1} = 12,87 \text{ Hz}$$

olur.  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerinin değerinin hesaplanabilmesi için  $r_{of}$  direncinin değerinin hesaplanması gerekir. Bu direncin değerinin bulunabilmesi için  $K'_v$  kazancı hesaplanabilmelidir. Devreden hareketle

$$K'_v = K \frac{r'_i}{r_i} \frac{r_{i\beta}}{r'_o + r_{i\beta}} = 2000 \frac{50}{51,43} \frac{31,5}{31,5 + 0,5} = 1914$$

biçiminde  $K'_v$  kazancı hesaplanır.  $r_{of}$  geribeslemeli çıkış direnci,

$$r_{of} = \frac{r_o}{1 - \beta K'_v \frac{r_i}{r_i + R'_g}} = \frac{r_o}{1 - \beta K'_v \frac{r_i}{r_i + (R_g // R_1)}} = 6,27 \Omega$$

olarak hesaplanır.  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerinin çevrimindeki dirençler ve oluşan kutup frekansları bilindiğinden bu iki kondansatörün değeri için

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_k (R_g + r_{if})} = \frac{1}{2\pi 12,87 (10 \cdot 10^3 + 97,9 \cdot 10^3)} = 0,115 \mu F$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_k (r_{of} + R_4 + R_y)} = \frac{1}{2\pi 12,87 (6,27 + 5 \cdot 10^3 + 20 \cdot 10^3)} = 0,495 \mu F$$

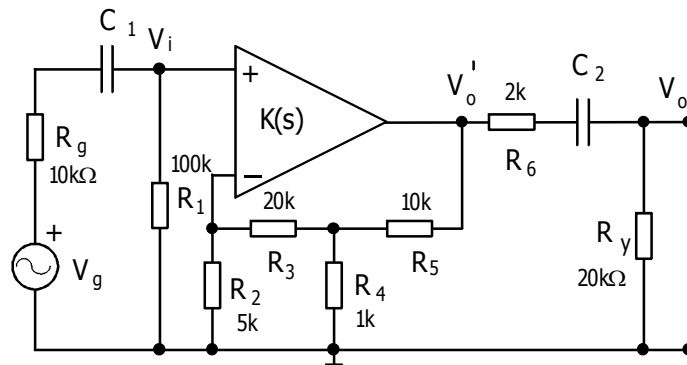
bulunur.

c) Devrenin üst kesim frekansı C kondansatörü ve bu kondansatörün uçları arasına gelen eş değer dirençle belirlenmektedir. Buna göre,

$$f_2 = f_k = \frac{1}{2\pi C [(r_{of} + R_4) // R_y]} = \frac{1}{2\pi 50 \cdot 10^{-12} (5006,27 // 20 \cdot 10^3)} = 795 \text{ kHz}$$

üst kesim frekansı elde edilir.

**Soru 21.-** Şekil 21. deki devrede kullanılan kuvvetlendiricinin giriş direnci çok büyük, çıkış direnci ise çok küçüktür. Kuvvetlendiricinin kazanç fonksiyonu



Şekil 21.

$$K(s) = \frac{2\pi 10^8}{s + 2\pi 10^5}$$

biçiminde verilmiştir.

a) Orta frekans bölgesinde  $V_o / V_g = K_{vko}$  değerini hesaplayınız.

b) Devrenin alt kesim frekansı 20Hz ve asimptotun azalma eğiminin 40db/dekat olabilmesi için  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerinin değerini hesaplayınız.

c) Devrenin üst kesim frekansını hesaplayınız.

**Çözüm:**

a) Kuvvetlendiricinin kazanç fonksiyonu yüksek frekans bölgesine ait bir fonksiyondur. Bu fonksiyon biçiminden yararlanılarak kuvvetlendiricinin orta frekans bölgesi kazancı hesaplanabilir. Yüksek frekans bölgesinde bir kutbu bulunan kazanç fonksiyonu,

$$K_v(s) = \frac{K_{vo}\omega_k}{s + \omega_k}$$

biçimindedir. Bu fonksiyonla verilen kazanç fonksiyonunun karşılaştırılması ile  $K_{vo} = 1000$  olarak bulunur. Devreye seri gerilim geribeslemesi uygulanmıştır.  $\beta$  devresi,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ve  $R_5$  dirençlerinden oluşmaktadır. Kuvvetlendiricinin giriş direnci çok büyük, çıkış direnci de çok küçük verildiğinden,  $\beta$  devresinin yükleme etkisi olmayacaktır. Dört dirençten oluşan  $\beta$  devresinin gerilim oranı, Thévenin dönüşümü ile kolayca

$$\beta = \frac{V_f}{V_o'} = -\frac{R_2 R_4}{(R_4 + R_5)(R_2 + R_3) + R_4 R_5} = -\frac{1}{57}$$

biçiminde elde edilir.  $R_6$  direnci çevrim dışında kalmakta ve geribeslemeli devrenin çıkışına seri gelmektedir. Orta frekans bölgesi  $V_o/V_g$  gerilim oranı,

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{V_i}{V_g} \frac{V_o'}{V_i} \frac{V_o}{V_o'}$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Bu ifadede görülen oranların bağıntıları kullanıldığında  $V_o/V_g$  gerilim oranı,

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{r_{if}}{R_g + r_{if}} \frac{K_{vo}}{1 - \beta K_{vo}} \frac{R_y}{R_6 + R_y}$$

olur.  $r_{if}$  geribeslemeli giriş direnci, açık çevrim giriş direnci çok büyük olduğundan  $R_1 = 100k\Omega$  değerine eşittir. Bilinen büyüklüklerin kullanılması ile

$$K_{vko} = \frac{V_o}{V_g} = \frac{100}{100 + 10} \frac{1000}{1 + \frac{1000}{57}} \frac{20}{2 + 20} = 44,6$$

olarak bulunur.

b) Alt kesim frekansının 20Hz ve asimptot eğiminin 40dB/dekat olması istendiğine göre çakışık kutup vardır. Buna göre kutup frekansları,

$$f_k = f_1 \sqrt{2^{1/2} - 1} = 12,87Hz$$

olur. Bu kutup frekanstan yararlanılarak

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_k (R_g + R_1)} = 0,112\mu F \quad C_2 = \frac{1}{2\pi f_k (R_6 + R_y)} = 0,562\mu F$$

kondansatör değerleri bulunur.

c) Üst kesim frekansı, kuvvetlendiricinin açık çevrim kazanç fonksiyonundan kaynaklanmaktadır. Açık çevrim kazanç fonksiyonunda tek kutup bulunan bir kuvvetlendiriciye frekanstan bağımsız geribesleme uygulandığında üst kesim frekansı  $(1 - \beta K_v)$  kadar artar. Açık çevrim üst kesim frekansı,  $f_2 = 100kHz$  dir. Buna göre geribeslemeli üst kesim frekansı,

$$f_{2f} = (1 - \beta K_v) f_2 = (1 + \frac{1000}{57}) 100 = 1854,4kHz = 1,854MHz$$

olur.

**Soru 22.-** Şekil 22. de kullanılan kuvvetlendiricinin yüksüz gerilim kazancı  $K=500$ , giriş direnci  $r_i=50k\Omega$ , çıkış direnci  $r_o=500\Omega$  olarak verilmiştir.  $R_1=5k\Omega$ ,  $R_2=200k\Omega$ ,  $R_y=20k\Omega$ ,  $C_1=1\mu F$  ve  $C_2=250nF$  tır.

a) Devrenin  $V_o/V_i$  gerilim kazancını hesaplayınız.

b) Devrenin alt kesim frekansını hesaplayınız.

**Çözüm:**

a) Devreye  $R_2$  direnci üzerinden paralel gerilim geribeslemesi uygulanmıştır.  $\beta$  devresi  $R_2$  direncinden oluşmaktadır. Geribesleme devresi  $\beta$ 'nın giriş ve çıkış dirençleri,

$$r_{i\beta} = R_2 = 200k\Omega \quad r_{o\beta} = R_2 = 200k\Omega$$

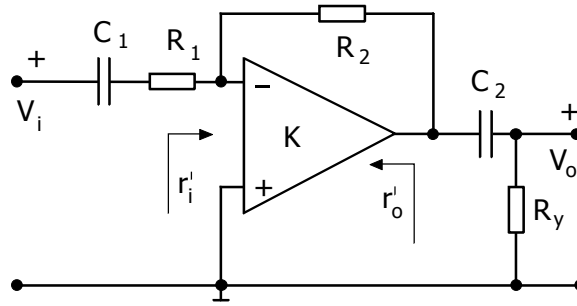
dır.  $\beta$  devresinin yükleme etkisi ile kuvvetlendiricinin açık çevrim büyüklükleri,

$$r_i = R_2 // r'_i = 50 // 200 = 40k\Omega \quad r_o = r'_o // R_2 = 500 // 200k = 499\Omega$$

direnç değerleri bulunur. Kuvvetlendiricinin açık çevrim gerilim kazancı,

$$K_v = -K \frac{R_2 // R_y}{r'_o + (R_2 // R_y)} = -500 \frac{200 // 20}{0,5 + (200 // 20)} = -500 \frac{18,2}{0,5 + 18,2} = -486,6$$

olur. Paralel gerilim geribeslemesinde kuvvetlendiricinin gerilim kazancı geribesleme ile değişmez. Buna göre  $V_o/V_i$  gerilim kazancı,



Şekil 22.

$$\frac{V_o}{V_i} = K_v \frac{r_{if}}{r_{if} + R_1}$$

olacaktır.  $r_{if}$  direncinin bulunması gerekmektedir. Bunun için açık çevrim geçiş empedansı hesaplanmalıdır. Gerilim kazancı ile geçiş empedansı arasındaki ilişkiden yararlanılarak

$$Z_m = K_v r_i = -486,6 \cdot 40k\Omega = -19464k\Omega$$

olarak hesaplanır.  $\beta = 1/R_2$  dir. Buna göre geribeslemeli giriş direnci,

$$r_{if} = \frac{r_i}{1 - \beta Z_m} = \frac{r_i}{1 - \frac{K_v r_i}{R_2}} = \frac{40}{98,32} = 406,8\Omega$$

olacaktır. Bu direncin kullanılması ile devrenin  $V_o/V_i$  gerilim kazancı,

$$\frac{V_o}{V_i} = K_v \frac{r_{if}}{R_1 + r_{if}} = -486,6 \frac{406,8}{406,8 + 5000} = -36,6$$

değeri elde edilir.

b) Devrenin alt kesim frekansının hesaplanması istenmektedir. Bu frekans  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörleri ve çevrimine giren dirençler tarafından belirlenir.  $C_1$  kondansatörünün çevriminde bulunan dirençlerin toplamı,  $R_1$  ve  $r_{if}$  dirençlerinin toplamına eşittir. Buna göre  $C_1$  kondansatörünün oluşturduğu kutup frekansı,

$$f_{k1} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_1 + r_{if})} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-6} (5000 + 406,8)} = 29,44Hz$$

dir.  $C_2$  kondansatörünün çevrimine giren dirençlerin toplamı,  $R_y$  ve  $r_{of}$  dirençlerinin toplamına eşittir.  $r_{of}$  direncinin hesaplanması gerekir. Geribeslemeli çıkış direnci,

$$r_{of} = \frac{r_o}{1 - \beta Z'_m \frac{R_1}{r_i + R_1}}$$

ifadesi ile hesaplanır.  $Z'_m$  geçiş empedansı,  $R_y$  açık devre iken bulunan geçiş empedansıdır. Bu empedans, yük açık devre iken bulunan gerilim kazancı ile giriş direncinin çarpımına eşittir. Yük açık devre edildiğinde devrenin gerilim kazancı,

$$K'_v = -K \frac{r_{i\beta}}{r'_o + r_{i\beta}} = -500 \frac{200}{0,5 + 200} = -498,8$$

dir. Bu kazanç değeri kullanıldığında  $Z'_m = -498,8 \cdot 40k\Omega = -19952k\Omega$  olur.  $Z'_m$  geçiş empedansının kullanılması ile geribeslemeli çıkış direnci,

$$r_{of} = \frac{499}{1 + \frac{19952}{200} \frac{5}{40 + 5}} = 41,3\Omega$$

olur.  $C_2$  kondansatörünün oluşturduğu kutup frekansı,

$$f_{k2} = \frac{1}{2\pi C_2 (r_{of} + R_y)} = 31,8Hz$$

olarak hesaplanır. Kutup frekansları eşit olmasa da birbirine çok yakındır. Bu durumda

$$f_k = \sqrt{f_{k1} f_{k2}} = 30,6Hz$$

değerinde çakışık iki kutup varmış gibi alt kesim frekansı hesaplanır. Bu hesaplar yapılırsa,

$$f_1 = \frac{f_k}{\sqrt{2^{1/2} - 1}} = 47,5Hz$$

olacaktır.

**Soru 23.-** Şekil 23. de görülen kuvvetlendiricinin yüksüz büyüklükleri  $K=1000$ ,  $r'_i=100k\Omega$ ,  $r'_o=200\Omega$  olarak verilmiştir.  $R_1=100k\Omega$ ,  $R_2=1k\Omega$ ,  $R_3=15k\Omega$ ,  $R_g=10k\Omega$  ve  $R_y=10k\Omega$  dır.

a) Devrenin  $V_o/V_i$  gerilim kazancını hesaplayınız.

b) Devrenin  $V_o/V_g$  gerilim kazancının ve geribeslemeli  $r_{of}$  çıkış direncinin değerini bulunuz.

**Çözüm:**

a) Devre, seri gerilim geribeslemesi uygulanmış bir kuvvetlendiricidir. Kuvvetlendiricinin geribeslemeli ifadelere diren büyüklükleri olan  $K_v$ ,  $r_i$  ve  $r_o$  değerlerinin hesaplanması gerekir.  $\beta$  devresinin giriş ve çıkışından görülen ve yükleme etkisin belirleyen dirençler,

$$r_{i\beta} = R_2 + R_3 = 16k\Omega \quad r_{o\beta} = R_2 // R_3 = 937,5\Omega$$

dur. Bu dirençlerle birlikte kuvvetlendiricinin yükleme etkisi ile sağladığı gerilim kazancı,

$$K_v = K \frac{r'_i}{r'_i + r_{o\beta}} \frac{R_y // r_{i\beta}}{r'_o + (R_y // r_{i\beta})} = 1000 \frac{100}{100 + 0,9375} \frac{6}{0,2 + 6} = 958,8$$

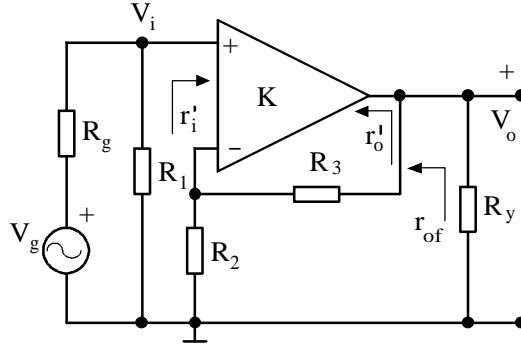
olacaktır. Geribesleme katsayısı  $\beta$ ,

$$\beta = -\frac{R_2}{R_2 + R_3} = -\frac{1}{16}$$

dır. Bu  $K_v$  ve  $\beta$  değerleri kullanılarak geribeslemeli gerilim kazancı,

$$K_{vf} = \frac{K_v}{1 - \beta K_v} = \frac{958,8}{1 + \frac{958,8}{16}} = 15,74$$

olacaktır.



Şekil 23.

b)  $V_o/V_g$  gerilim kazancının hesaplanması için  $r_{if}$  geribeslemeli giriş direncinin hesaplanması gerekir. Geribeslemeli giriş direnci,

$$r_{if} = R_1 // r'_i = R_1 // r_i (1 - \beta K_v) = R_1 // (r'_i + r_{o\beta}) (1 - \beta K_v) = 98,4 k\Omega$$

dir. Bu dirençle

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{r_{if}}{R_g + r_{if}} K_{vf} = 14,3$$

elde edilir.  $r_{of}$  direncinin hesaplanması için  $K'_v$  kazancı ve  $R_1 // R_g = R'_g$  dirençlerinin hesaplanması gerekir.  $K'_v$  kazancı, yük açık devre edilerek hesaplanan gerilim kazancıdır. Bu kazanç ve direnç hesaplanırsa,

$$K'_v = K \frac{r'_i}{r'_i + r_{o\beta}} \frac{r_{i\beta}}{r'_o + r_{o\beta}} = 978,5 \quad R'_g = R_1 // R_g = 9,09 k\Omega$$

olurlar. Geribeslemeli çıkış direnci, açık çevrim çıkış direnci  $r_o = r'_o / r_{i\beta} = 197,5 \Omega$  olduğundan

$$r_{of} = \frac{r_o}{1 - \beta K'_v \frac{r_i}{r'_i + R'_g}} = \frac{197,5}{1 + \frac{978,5}{16} \frac{100,94}{100,94 + 9,09}} = 3,46 \Omega$$

olur.

**Soru 24.** Şekil 24 deki devrede kullanılan kuvvetlendiricinin giriş direnci  $r_i$  çok büyük, giriş kapasitesi  $C_i$  çok küçük ve  $r_o$  çıkış direnci ile  $C_o$  çıkış kapasitesi ihmal edilecek kadar küçüktür. Kuvvetlendiricinin kazanç fonksiyonu

$$K(s) = K_o \frac{\omega_1 \omega_2}{(s + \omega_1)(s + \omega_2)}$$

biçiminde verilmiştir.  $K_o = 1000$  olarak verilmiştir.

a) Frekans eğrisinde tepe oluşmaması için  $\omega_2/\omega_1$  oranı hangi koşulu sağlamalıdır?

b)  $V_o/V_g$  gerilim kazancının alt kesim frekansını hesaplayınız.

c)  $\xi = 1/\sqrt{2}$  olduğu durumda devrenin üst kesim frekansını  $\omega_1 = 4 \cdot 10^3 \text{ rad/s}$  olduğuna göre hesaplayınız.

**Çözüm:**

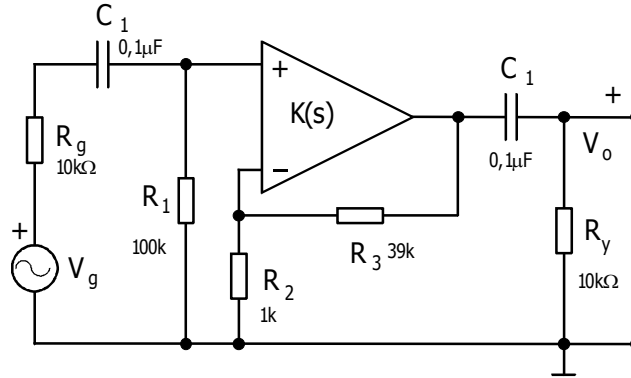
a) Frekans eğrisinde tepe oluşmama koşulu (14.34) bağıntısı ile verilmiştir. Bu bağıntıya göre

$$\frac{f_{k2}}{f_{k1}} \geq -2\beta K_o$$

koşulunun sağlanması gerekir. Devreden görüldüğü gibi

$$\beta = -\frac{R_2}{R_2 + R_3} = -\frac{1}{40}$$

dır. Bu  $\beta$  değeri ve  $K_o$  değerleri kullanılarak frekans eğrisinde tepe oluşmaması için



Şekil 24.

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} \geq \frac{2}{40} 1000 = 50$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} \geq 50$$

koşulunun sağlanması gerekir.

b)  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörleri nedeniyle alçak frekans bölgesinde oluşan kutup frekansları,

$$f_{k1} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_g + R_1)} = 14,5Hz \quad f_{k2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_y} = 13,3Hz$$

değerleri elde edilir. Kutup frekansları bir birine çok yakındır. Bu nedenle

$$f_k = \sqrt{f_{k1} f_{k2}} = 13,9Hz$$

olur ve alt kesim frekansı için

$$f_1 = \frac{f_k}{\sqrt{2^{1/2} - 1}} = 21,6Hz$$

olacaktır.

c) Frekans eğrisinde tepe olmaması ile  $\xi=1/\sqrt{2}$  aynı duruma karşılık düşer. Frekans eğrisinde tepe oluşmadığına göre  $\omega_2=50\omega_1$  eşitliği sağlanıyor demektir. Frekans  $\xi=1/\sqrt{2}$  olduğunda üst kesim frekansı  $f_2=f_o$  dur.  $\omega_2$  ve  $\omega_1$ 'in toplamı  $\sqrt{2} \omega_o$  olduğundan

$$\sqrt{2\omega_o} = (\omega_2 + \omega_1) = 51\omega_1 = 51.4.10^3 \rightarrow f_2 = f_o = \frac{204000}{2\pi\sqrt{2}} = 22958Hz$$

olur. Devrenin üst kesim frekansı  $f_2 \cong 22,96kHz$  dir.

**Soru 25.-** Şekil 25. deki devrede kullanılan kuvvetlendiricinin giriş direnci  $r_i$  çok büyük, giriş kapasitesi  $C_i$  çok küçük ve  $r_o$  çıkış direnci ile  $C_o$  çıkış kapasitesi ihmal edilecek kadar küçüktür. Kuvvetlendiricinin kazanç fonksiyonu

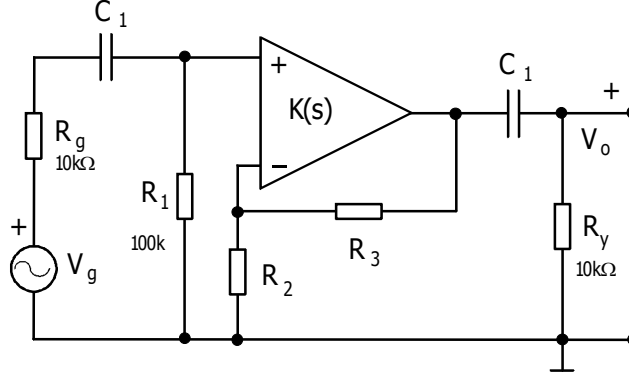
$$K(s) = K_o \frac{\omega_1 \omega_2}{(s + \omega_1)(s + \omega_2)}$$

biçimindedir.  $K_o=1000$  ve  $\omega_2= 100\omega_1= 10^6$  rad/s olarak verilmiştir.

a) Frekans eğrisinde tepe oluşmaması için  $R_3/R_2$  oranı hangi koşulu sağlamalıdır?

b)  $\xi=1/\sqrt{2}$  için devrenin üst kesim frekansını hesaplayınız.

c)  $V_o/V_g$  gerilim kazancının alt kesim frekansının 50Hz ve asimptot eğiminin 40dB/dekat olması için  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerinin değerini hesaplayınız.



Şekil. 25.

**Çözüm:**

a) Frekans eğrisinde tepe oluşmaması, (14.34) bağıntısına karşılık gelmektedir. Bu koşula göre

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} \geq -2\beta K_o = \frac{2R_2}{R_2 + R_3} K_o \rightarrow \frac{R_2}{R_2 + R_3} \leq \frac{\omega_2}{2K_o\omega_1} = \frac{1}{20}$$

koşulunun sağlanması gerekir. Bu koşuldan hareketle

$$\frac{R_3}{R_2} \geq 19$$

koşulu elde edilir.

b) Sönüm katsayısı  $\xi = 1/\sqrt{2}$  olduğunda üst kesim frekansı  $f_2 = f_o$  dir. Bu durumda  $\beta = -1/20$  dir. Bu değer kullanıldığında

$$\sqrt{2}\omega_o = \omega_2 + \omega_1 = 101 \cdot 10^4 \text{ rad/s} \rightarrow f_2 = f_o = \frac{101 \cdot 10^4}{2\sqrt{2}\pi} \cong 119,7 \text{ kHz}$$

olarak üst kesim frekansı bulunur.

c) Devrenin alt kesim frekansı 50Hz olsun isteniyor. Asimptot eğimi 40dB/dekat olduğundan çakışık kutup vardır. Buna göre çakışık kutup frekansı,

$$f_k = f_1 \sqrt{2^{1/2} - 1} = 32,2 \text{ Hz}$$

olur. Bu kutup frekansının  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörleri tarafından sağlanması gerekir.  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerinin çevrimine giren dirençlerden hareketle

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_k (R_1 + R_g)} = \frac{1}{2\pi 32,2 \cdot 110 \cdot 10^3} \cong 45 \text{ nF}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_k R_y} = \frac{1}{2\pi 32,2 \cdot 10 \cdot 10^3} = 0,494 \mu\text{F}$$

değerleri bulunur.

**Soru 26.-** Şekil 26. deki devrede kullanılan kuvvetlendiricinin kazanç fonksiyonu,

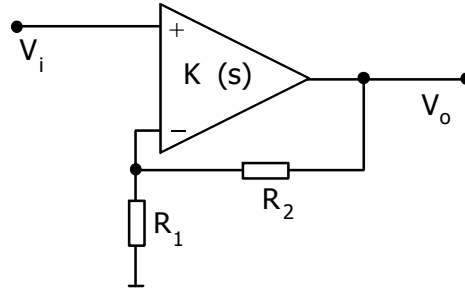
$$K(s) = \frac{K_o \omega_1 \omega_2 \omega_3}{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s + \omega_3)}$$

biçiminde verilmiştir. Kuvvetlendiricinin giriş direnci sonsuz sayılacak kadar büyük, çıkış direnci ise ihmal edilecek kadar küçüktür.  $\omega_1 = 300 \text{ rad/s}$ ,  $\omega_2 = \omega_3 = 10^6 \text{ rad/s}$  ve  $K_o = 10^4$  olarak verilmiştir.

a) Devrenin frekans eğrisinde tepe oluşmaması için  $R_2/R_1$  oranının kritik değerini hesaplayınız.



b) Devrenin osilasyon yapması hangi  $R_2 / R_1$  oranında meydana gelir?



Şekil 26.

**Çözüm:**

a) Üç kutuplu durumda frekans eğrisinde tepe oluşmaması için (14.44) koşulunun sağlanması gerekir. Bu koşul,

$$1 - \beta K_o \leq \frac{[f_{k3}(f_{k1} + f_{k2}) + f_{k1}f_{k2}]^2}{2f_{k1}f_{k2}f_{k3}(f_{k1} + f_{k2} + f_{k3})}$$

biçimindedir. Bu bağıntıda kutup frekansları kullanıldığında,

$$1 - \beta K_o \leq 3334,8 \rightarrow -\beta \cdot 10^4 \leq 3333,8 \rightarrow -\beta \leq \frac{1}{3}$$

koşuluna varılır. Devreden görüldüğü gibi

$$-\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \leq \frac{1}{3} \rightarrow \frac{R_2}{R_1} \geq 2$$

koşulunun sağlanması gerekmektedir.

b) Devrenin osilasyon yapması, Barkhausen koşulunun sağlanması demektir. Buna göre

$$\beta K(j\omega) = 1$$

sağlanmalıdır.  $K(s)$  kazanç fonksiyonunun payda polinomunun parentezleri açılırsa,

$$K(s) = \frac{K_o \omega_1 \omega_2 \omega_3}{s^3 + s^2(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3) + s(\omega_1 \omega_2 + \omega_2 \omega_3 + \omega_3 \omega_1) + \omega_1 \omega_2 \omega_3}$$

biçimini alır. Bu fonksiyonda  $s=j\omega$  konarak  $\beta$  ile çarpılırsa,

$$\frac{\beta K_o \omega_1 \omega_2 \omega_3}{\omega_1 \omega_2 \omega_3 - \omega^2(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3) + j\omega(\omega_1 \omega_2 + \omega_2 \omega_3 + \omega_3 \omega_1 - \omega^2)} = 1$$

olmalıdır. Eşitliği sağ tarafı reel olduğundan paydanın sanal kısmı 0'a eşit olmalıdır. Buna göre,

$$\omega_1 \omega_2 + \omega_2 \omega_3 + \omega_3 \omega_1 - \omega^2 = 0 \rightarrow \omega_o^2 = \omega_1 \omega_2 + \omega_2 \omega_3 + \omega_3 \omega_1$$

olacaktır. Bağıntıda görülen  $\omega_o$  osilasyon açısal frekansıdır. Bu ifade ile bulunan  $\omega_o^2$ , kullanılarak,

$$-\beta K_o \omega_1 \omega_2 \omega_3 = 2\omega_1 \omega_2 \omega_3 + \omega_1^2(\omega_2 + \omega_3) + \omega_2^2(\omega_1 + \omega_3) + \omega_3^2(\omega_1 + \omega_2)$$

eşitliğine varılır. Açısal frekansların değerleri yerlerine konduğunda

$$-\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cong \frac{1}{1,5}$$

olur. Bu ifadeden

$$R_2 = 0,5R_1$$

koşulu elde edilir. Devrenin osilasyon yapması için  $R_2=0,5R_1$  olmalıdır.

**Soru 27.-**

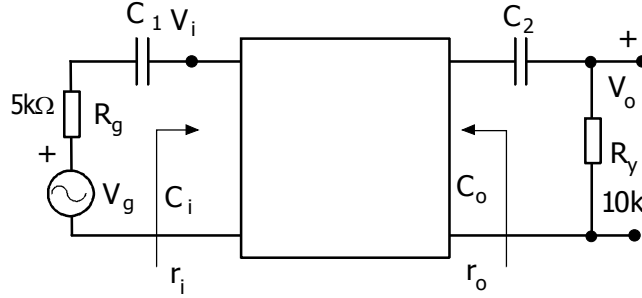
a) Şekil 27. deki devrenin girişine orta frekanslarda sinüsoidal işaret uygulandığında  $V_o/V_g=50$  ve  $V_o/V_i = 60$  olmaktadır. Devrenin giriş direncini hesaplayınız.

b) Devrenin girişine yükselme süresi  $t_{rg}=10\text{ns}$  olan kare dalga uygulanmıştır. Giriş direnci  $r_{io}=10\text{M}\Omega$ , giriş kapasitesi  $C_{io}=3.5\text{pF}$  ve  $50\text{MHz}$  band genişliği olan osiloskopa devrenin girişinde ölçülen yükselme süresi  $t_{ri}=0.23\mu\text{s}$  n olmaktadır. Devrenin giriş kapasitesini bulunuz.

c) Kuvvetlendiricinin çıkış direnci  $r_o=5\text{k}\Omega$ , çıkış kapasitesi  $C_o=5\text{pF}$  ise, aynı osiloskop kullanıldığında ölçülen yükselme süresi ne kadar olur.

d) Kare dalganın frekansı  $1\text{kHz}$  olduğunda,  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerinin her birinin oluşturduğu darbe üstü eğilmesinin % 0,5 olması için  $C_1$  ve  $C_2$  ne olmalıdır.

e) Devrenin alt ve üst kesim frekanslarını bulunuz.



Şekil 27.

### Çözüm:

a) Kuvvetlendiricinin  $V_o/V_g$  gerilim kazancının  $V_o/V_i$  kazancı cinsinden yazılması ile

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{r_i}{r_i + R_g} \frac{V_o}{V_i}$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte bilinen değerler yerine konduğunda  $r_i=5R_g$  olarak bulunur. Buna göre  $r_i = 25\text{k}\Omega$  olmalıdır.

b) Kuvvetlendiricinin girişine osiloskop bağlandığında ölçülen yükselme süresi, giriş yükselme süresi  $t_{rg}$ , osiloskobun kuvvetlendiricisinden gelen yükselme süresi ve devrenin girişindeki eşdeğer kapasiteden kaynaklanır. Buna göre

$$t_{ri} = 1,1\sqrt{t_{rg}^2 + t_{rio}^2 + t_{ros}^2} \rightarrow t_{rio} = \sqrt{\left(\frac{t_{ri}}{1,1}\right)^2 - t_{rg}^2 - t_{ros}^2}$$

dir. Osiloskobun band genişliğinden hareketle oluşacak yükselme süresi için

$$t_{ros} = \frac{0,35}{50 \cdot 10^6} = 7\text{ns}$$

değeri elde edilir. Bilinen değerlerin kullanılması ile devrenin giriş eşdeğer kapasitesinden kaynaklanan yükselme süresi,

$$t_{rio} = 208,7\text{ns}$$

olarak hesaplanır. Bu yükselme süresine karşılık gelen kutup frekansı,

$$f_{ki} = \frac{0,35}{208,7 \cdot 10^{-9}} = \frac{1}{2\pi C_{eş} (R_g // r_i // r_{io})} = 1,677\text{MHz}$$

olur. Buradan eşdeğer giriş kapasitesi,

$$C_{eş} = 23,73\text{pF} = C_i + C_{io} \rightarrow C_i = C_{eş} - C_{io} = 23,73 - 3,5 = 20,23\text{pF}$$

olarak hesaplanır.

c) Osiloskop devrenin çıkışına bağlandığında oluşacak yükselme süresi,

$$t_{roö} = 1,1\sqrt{t_{rg}^2 + t_{rio}^2 + t_{ro}^2 + t_{ros}^2}$$

olacaktır. bu bağıntıda bilinmeyen  $t_{ro}$  yükselme süresi, kuvvetlendiricinin çıkışında oluşan eşdeğer kapasitenin belirlediği yükselme süresidir. Bu kapasitenin değeri  $C_{oes}=C_o+C_{io}=5+3,5=8,5pF$  tır. Bu eşdeğer kapasiteye paralel gelen eşdeğer direnç,

$$R_{es} = r_o // R_y // r_{io} = 3332,8\Omega$$

dur. Çıkışta oluşan kutup frekansı ve yükselme süresi,

$$f_{ko} = \frac{1}{2\pi C_{oes} R_{es}} = 5,62MHz \quad t_{ro} = \frac{0,35}{5,62 \cdot 10^6} = 62,28ns$$

olur. Bu yükselme süresi kullanılarak kuvvetlendiricinin çıkışındaki yükselme süresi,

$$t_{ro\ddot{o}} = 1,1\sqrt{10^2 + 208,7^2 + 62,28^2 + 7^2} = 240ns = 0,24\mu s$$

değerinde elde edilir.

d) Uygulanan kare dalganın frekans 1kHz verildiğinde her bir kondansatörün oluşturduğu darbe üstü eğilmesinin  $\delta=\%0,5$  olması isteniyor.  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerinden kaynaklanan darbe üstü eğilmeleri ve kondansatör değerleri,

$$\delta_1 = \frac{1}{2fC_1(R_g + r_i)} = 0,005 \rightarrow C_1 = \frac{1}{2 \cdot 10^3 \cdot 0,005 \cdot 30 \cdot 10^3} = 3,33\mu F$$

$$\delta_2 = \frac{1}{2fC_2(R_y + r_o)} = 0,005 \rightarrow C_2 = \frac{1}{2 \cdot 10^3 \cdot 0,005 \cdot 15 \cdot 10^3} = 6,67\mu F$$

biçiminde bulunur.

e) Devrenin alt ve üst kesim frekanslarının değerlerinin hesaplanması isteniyor. Alçak frekans bölgesindeki kutup frekansları hesaplanmak istendiğinde eğilmeler eşit olduğundan kutup frekansları da eşit olacaktır. Buna göre,

$$f_{k1} = f_{k2} = \frac{1}{2\pi C_1(R_g + r_i)} = 1,59Hz$$

olur. Devrenin alt kesim frekansı,

$$f_1 = \frac{f_k}{\sqrt{2^{1/2} - 1}} = 2,47Hz$$

olacaktır.

Yüksek frekans bölgesinde oluşan kutup frekansları,

$$f_{ki} = \frac{1}{2\pi C_i(R_g // r_i)} = \frac{1}{2\pi 20,23 \cdot 10^{-12} 4167} = 1,89MHz$$

$$f_{ko} = \frac{1}{2\pi C_o(r_o // R_y)} = \frac{1}{2\pi 5 \cdot 10^{-12} 3333} = 9,55MHz$$

olurlar. Buradan üst kesim frekansı için

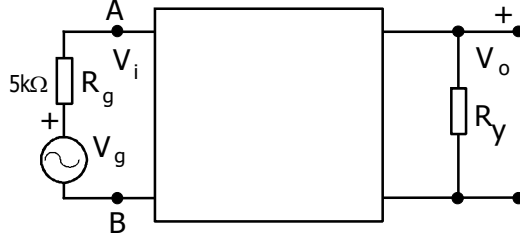
$$\frac{1}{f_2} = 1,1\sqrt{\frac{1}{f_{ki}^2} + \frac{1}{f_{ko}^2}} \rightarrow f_2 = 1,685MHz$$

değeri bulunur.

### Soru 28.-

Şekil 28. de görülen iki kapılı devrenin girişine frekansı 1kHz olan sinüsoidal işaret uygulanınca  $R_y$  direncinin uçları arasında 1,5V'luk değişken bir gerilim ölçülmüştür. Kuvvetlendirici A-B uçları arasına bağlı olmadığında bu uçlar arasında ölçülen gerilim 50mV'tur. Kuvvetlendirici bağlandığında  $V_o=1,5V$  iken  $V_i=40mV$  olmaktadır. İşaret kaynağı periyodik bir darbe olduğunda kuvvetlendirici bağlı değilken A-B uçları arasında ölçülen yükselme süresi  $t_{rg}=7ns$  dir.

Kuvvetlendirici A-B uçları arasına bağlanınca yükselme süresi  $t_{ri}=0,3\mu s$  ve çıkış yükselme süresi  $t_{ro}=0,4\mu s$  olmaktadır.



Şekil 28.

- a) Devrenin giriş direnci ve kapasitesini hesaplayınız.  
b)  $V_o/V_g$ 'nin yüksek frekans bölgesinde iki kutbu bulunduğuna göre bu kutuplara ilişkin kutup frekanslarını hesaplayınız.

**Çözüm:**

$$\text{a) } \frac{V_o}{V_g} = \frac{r_i}{r_i + R_g} = \frac{40}{50} = 0,8 \rightarrow r_i = 0,8r_i + 0,8R_g$$

$$0,2r_i = 0,8R_g \rightarrow r_i = 4R_g = 20k\Omega$$

bulunur.

$$t_{ri} = 1,1\sqrt{t_{rio}^2 + t_{rg}^2} = 300ns \rightarrow 74380 = 49 + t_{rio}^2$$

$$t_{rio} = 273ns \rightarrow f_{ki} = 1,287MHz = \frac{1}{2\pi C_i(r_i // R_g)}$$

$$C_i = \frac{1}{2\pi f_{ki}(r_i // R_g)} \cong 31pF$$

değeri elde edilir.

- b) Yüksek frekans kutup frekanslarından biri giriş kapasitesinden kaynaklanır ve bu frekans  $f_{ki}=1,287MHz$  dir. İkinci kutup çıkış kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Çıkışa ilişkin yükselme süresinden hareketle

$$400 = 1,1\sqrt{t_{rio}^2 + t_{ro}^2 + t_{rg}^2} \rightarrow t_{ro} = 240ns$$

$$f_{ko} = 1,458MHz$$

değeri elde edilir.

**Soru 29.**

- a) Açık çevrim gerilim kazancı  $K_o=100$  olan bir kuvvetlendiricinin çıkışına  $4k\Omega$ 'luk bir yük direnci bağlandığında devrenin  $V_o/V_i$  gerilim kazancı 80'e düşmektedir. Bu devrenin çıkış direnci nedir?

- b)  $r_i=50k\Omega$  olduğuna göre iç direnci  $R_g$  olan bir kaynakla sürülen devrenin yük direnci bağlı iken, kazancının  $V_o/V_g=50$  olması için kaynak direncinin değeri ne olmalıdır?

- c)  $C_i=100pF$  olduğuna göre, bu devreyi iç direnci çok küçük olan ve yükselme süresi ihmal edilecek kadar küçük bir darbe kaynağı ile sürülürse çıkışta ölçülen yükselme süresi 50ns olmaktadır. Osiloskobun yükselme düresi 20ns ise devrenin çıkış kapasitesini hesaplayınız.

**Çözüm:**

a)  $K'_v = 100 \quad K_v = 80$

$$K_v = K'_v \frac{R_y}{r_o + R_y} \rightarrow \frac{R_y}{r_o + R_y} = 0,8 \rightarrow R_y = 0,8R_y + 0,8r_o$$

$$0,2R_y = 0,8r_o \rightarrow r_o = \frac{R_y}{4} 1k\Omega$$

olarak çıkış direnci elde edilir.

b)

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{V_o}{V_i} \frac{V_i}{V_g} \rightarrow \frac{V_o}{V_g} = \frac{r_i}{r_i + R_g} \frac{V_o}{V_i} \rightarrow 80 \frac{r_i}{r_i + R_g} = 50$$

$$1,6r_i = r_i + R_g \rightarrow R_g = 0,6r_i = 30k\Omega$$

olarak kaynak iç direnci elde edilir.

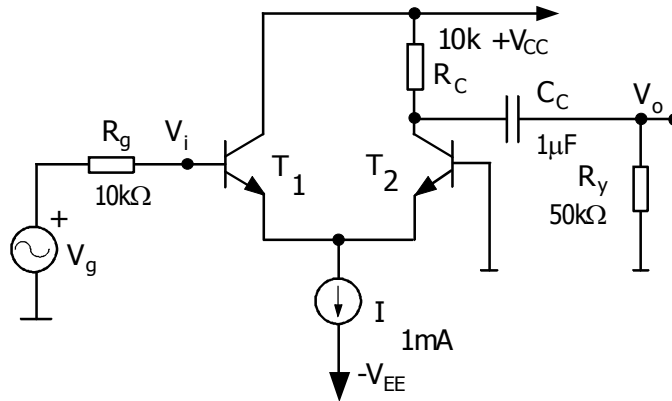
$$t_{ro} = 1,1\sqrt{t_{ro}^2 + t_{ros}^2} = 50$$

$$c) \left(\frac{50}{1,1}\right)^2 = t_{ro}^2 + 20^2 \rightarrow t_{ro} = 40,8ns = 2,2C_o(r_o // R_y)$$

$$C_o = \frac{40,8 \cdot 10^{-9}}{2,2 \cdot 800} = 23,2pF$$

olur.

**Soru 30.-** Şekil 30. deki devrede kullanılan tranzistorlar birbirinin aynıdır.  $h_{FE}=\beta=200$ ,  $f_T=450MHz$ ,  $C_{cb}=0.5pF$  dir.



Şekil 30.

a) Orta frekanslara ilişkin  $K_{vo} = V_o/V_g$  kazancını bulunuz.

b) Kuvvetlendiricinin girişine ideal bir basamak işareti uygulandığında çıkıştan alınan işaretin  $t_r$  yükselme süresini bulunuz.

c) Devrenin girişine, iç direnci aynı değerde fakat  $f=1kHz$ 'lik kare dalga veren bir sürücü kaynak bağlandığında darbe üstü eğilmesi ne kadar olur?

d) Devrenin bant genişliğini daha da arttırmak için ne yapılabilir? Devreyi yeniden çizerek yeni bant genişliğini bulunuz. Bu durumda  $t_r$  yükselme süresi ne kadar olur?

**Çözüm:**

a) Tranzistorlar eş olduğundan çalışma noktası akımları bir birine eşittir ve  $0,5mA$  dir. Buna göre

$$r_e = \frac{V_T}{I/2} = \frac{25}{0,5} = 50\Omega$$

olur. Kuvvetlendiricinin gerilim kazancı,

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R'_y}{2r_e} = \frac{R_C // R_y}{2r_e} = \frac{8333}{2.50} = 83$$

olarak bulunur. T<sub>1</sub> tranzistorunun bazından görülen direnç,

$$r_i = 2h_{fe}r_e = 2.200.50 = 20k\Omega$$

dir. V<sub>o</sub>/V<sub>g</sub> gerilim oranı,

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{r_i}{r_i + R_g} \frac{V_o}{V_i} = \frac{20}{30} 83 = 55,3$$

biçiminde elde edilir.

b) f<sub>T</sub> ve r<sub>e</sub> bilindiğine göre,

$$C_{b'e} = \frac{1}{2\pi f_T r_e} - C_{cb'} = 6,6pF$$

dir. Uzun kuyruklu devrenin girişinden görülen eşdeğer kapasite,

$$C_i = C_{cb'} + \frac{C_{b'e}}{2} = 3,8pF$$

olacaktır. Giriş devresinde oluşan kutup frekansı,

$$f_{ki} = \frac{1}{2\pi C_i (R_g // r_i)} = \frac{1}{2\pi 6667.3,8.10^{-12}} = 6,28MHz \rightarrow t_{ri} = \frac{0,35}{f_{ki}} = 53,7ns$$

çıkış eşdeğer kapasitesi C<sub>cb'</sub> olduğundan

$$f_{ko} = \frac{1}{2\pi C_{cb'} (R_y // R_C)} = \frac{1}{2\pi 8333.0,5.10^{-12}} = 38,2MHz \rightarrow t_{ro} = \frac{0,35}{f_{ko}} = 9,2ns$$

değerleri elde edilir. Toplam yükselme süresi,

$$t_r = 1,1\sqrt{t_{ri}^2 + t_{ro}^2} = 74,3ns$$

olacaktır.

c) f=1kHz, C<sub>c</sub>=1μF olarak verildiğine göre kare dalgada darbe süresi ve zaman sabiti,

$$T_D = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f} = 0,5ms \quad \tau = C_c (R_C + R_y)$$

olacaktır. Bu büyüklüklerden yararlanılarak darbe üstü eğilmesi için

$$\delta = \frac{T_D}{C_c (R_C + R_y)} = \frac{0,5.10^{-3}}{10^{-6}.60.10^3} = \%0,83$$

değeri elde edilir.

d) Kutup frekanslarından küçük olan giriş devresinde oluşmaktadır. Band genişliğini arttırmak için devrenin girişine seri olarak L değerinde bir endüktans bağlanmalıdır. Endüktansın değeri için

$$L = \frac{R_A R_B^2 C_i}{2r_i}$$

bağıntısı kullanılır. Bağıntıda görülen büyüklükler,

$$R_A = R_g + r_i = 30k\Omega \quad R_B = R_g // r_i = 8,33k\Omega \quad C_i = 3,8pF \quad r_i = 20k\Omega$$

dur. Bu değerler kullanıldığında

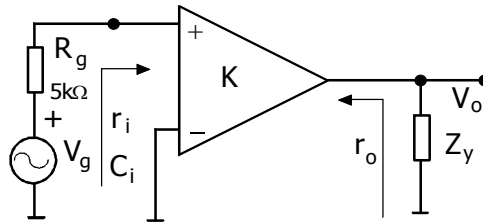
$$L = \frac{30.10^3.8333^2.3,8.10^{-12}}{2.20.10^3} = 0,2mH$$

olarak endüktansın değeri elde edilir. Bu endüktans değeri kullanıldığında giriş devresinde oluşan kutup frekansı  $\sqrt{2}$  kadar artacaktır ve  $f_{kiL} = \sqrt{2} f_{ki} = 8,88\text{MHz}$  olur. Bu frekans değeri için  $t_{riL} = 0,35/8.88\text{MHz} = 39,4\text{ns}$  olacaktır. Çıkışta oluşacak toplam yükselme süresi,

$$t_r = 1,1\sqrt{39,4^2 + 9,2^2} = 44,5\text{ns}$$

olacaktır.

**Soru 31.-** Şekil 31. de kullanılan kuvvetlendiricinin yüksüz gerilim kazancı  $K=100$ , giriş direnci  $r_i=100\text{k}\Omega$ , giriş kapasitesi  $C_i=50\text{pF}$  çıkış direnci de  $r_o=5\text{k}\Omega$  dur.  $C_o$  çıkış kapasitesi ihmal edilebilmektedir.  $Z_y$  empedansı devreye bağlandığında orta frekanslardaki  $V_o/V_g$  gerilim kazancı 70 olarak ölçülmüştür ve  $V_o/V_g$  kazancının üst kesim frekansı  $50\text{kHz}$  olmaktadır. Devrenin band genişliğini arttırmak için bağlanması gereken  $L$  endüktansının yerini belirtiniz ve değerini hesaplayınız.



Şekil 31.

**Çözüm:**

$V_o/V_g=70$  olarak verilmiştir. Devredeki büyüklükler cinsinden bu kazanç,

$$\frac{V_o}{V_g} = K \frac{r_i}{r_i + R_g} \frac{R_y}{r_o + R_y} \rightarrow 70 = 100 \frac{100}{105} \frac{R_y}{r_o + R_y} \rightarrow \frac{R_y}{r_o + R_y} = 0,735$$

bağıntısı elde edilir. Bu ilişkiden  $R_y \approx 13,87\text{k}\Omega$  olarak bulunur. Kuvvetlendiricinin giriş devresinde oluşan kutup frekansı,

$$f_{ki} = \frac{1}{2\pi C_i (R_g \parallel r_i)} = 668,5\text{kHz}$$

dır. Üst kesim frekansı  $50\text{kHz}$  olarak verilmiştir. baskın kutupla bu frekans belirlenmektedir. Buna göre çıkış devresinde oluşacak kutup frekansı,

$$f_{ko} = \frac{1}{2\pi C_o (r_o \parallel R_y)} \rightarrow C_o = \frac{1}{2\pi f_{ko} (R_y \parallel r_o)} = 866\text{pF}$$

olur. Yüke seri olarak değeri  $L$  olan bir endüktans bağlanmalıdır. Bu endüktansın değeri,

$$L = \frac{(r_o + R_y)(r_o \parallel R_y)^2 C_o}{2R_y} = 7,93\text{mH}$$

değeri bulunur.

**Soru 32.-** Şekil 32. deki devrede kullanılan tranzistorlar birbirinin aynıdır.  $h_{FE}=\beta=150$ ,  $C_{cb}=1\text{pF}$ ,  $f_T=400\text{MHz}$  ve  $r_{bb'}=50\Omega$  dur.

a) Orta frekanslara ilişkin  $K_{v0}=v_o/v_g$  kazancını bulunuz.

b) Kuvvetlendiricinin girişine ideal bir basamak işareti uygulandığında çıkıştan alınan işaretin  $t_r$  yükselme süresini bulunuz.

c) Devrenin bant genişliğini daha da arttırmak için ne yapılabilir? Devreyi yeniden çizerek yeni bant genişliğini bulunuz. Bu durumda  $t_r$  yükselme süresi ne kadar olur?

**Çözüm:**

a) Transistörler bir birine seri bağlanmıştır. Bu nedenle çalışma noktası akımları bir birine eşittir. Transistörlerin baz akımları ihmal edildiğinde,

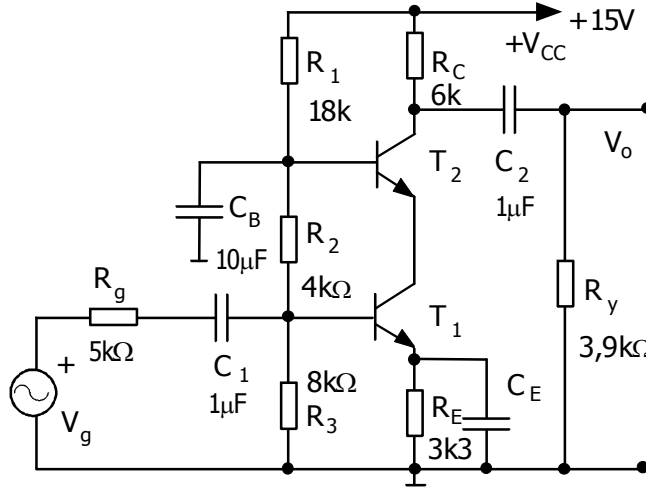
$$I_{C1} = I_{C2} = h_{FE1} \frac{V_{BB} - V_{BE1}}{R_B + (h_{FE1} + 1)R_E} \quad V_{BB} = \frac{R_3 V_{CC}}{R_1 + R_2 + R_3} = 4V$$

$$R_B = R_3 // (R_1 + R_2) = 5,87k\Omega$$

dur. Akım ifadesinde bilinen değerlerin kullanılması ile  $I_{C1}=I_{C2}=1,01mA$  olarak bulunur. Bu akım değeri için  $r_{e1}=r_{e2}=34,75\Omega$  dur. Kaskod kuvvetlendiricinin sağladığı gerilim kazancı ve giriş direnci,

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R'_y}{r_{e1}} = -\frac{R_C // R_y}{r_{e1}} = -95,5 \quad r_i = R_2 // R_3 // h_{fe1}r_{e1} = 1,55k\Omega$$

olacaktır. Bu değerler yardımı ile



Şekil 32.

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{r_i}{r_i + R_g} \frac{V_o}{V_i} = -22,62$$

bulunur.

b) Transistörlerin  $f_T$  frekansı yardımı ile

$$C_{b'e} = \frac{1}{2\pi f_T r_e} - C_{cb'} = 15pF$$

değeri bulunur. Kaskod kuvvetlendiricinin giriş devresinden görülen eşdeğer kapasite,  $C_i = C_{b'e} + 2C_{cb'} = 17pF$  tır.  $T_1$  transistörünün kolektörüne gelen eşdeğer kapasite,  $C_{b'e}$  dir. Çıkışa gelen eşdeğer kapasite ise büyük  $C_{cb'}$  dir. Bu kapasiteler yardımı ile yüksek frekans bölgesinde oluşan kutup frekansları ve bu frekanslara karşılık gelen yükselme süreleri,

$$f_{k1} = \frac{1}{2\pi C_i (r_i // R_g)} = 7,9MHz \rightarrow t_{r1} = \frac{0,35}{f_{k1}} = 44,3ns$$

$$f_{k2} = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_e} = 428,7MHz \rightarrow t_{r2} = \frac{0,35}{f_{k2}} = 0,82ns$$

$$f_{k3} = \frac{1}{2\pi C_{cb'} (R_C // R_y)} = 67,3MHz \rightarrow t_{r3} = \frac{0,35}{f_{k3}} = 5,2ns$$

olurlar. toplam yükselme süresi,

$$t_r = 1,1\sqrt{t_{r1}^2 + t_{r2}^2 + t_{r3}^2} = 49ns \text{ olacaktır.}$$



c) Küçük kutup frekansı devrenin girişinde olduğundan LC kompanzasyonu devrenin girişinde yapılmalıdır. Devrenin girişine seri olarak L değerinde bir endüktans bağlanır. Bu endüktansın değeri,

$$L = \frac{(R_g + r_i)(R_g // r_i)^2 C_i}{2r_i} = 50,3\mu H$$

değeri bulunur. Bu endüktans kullanıldığında giriş devresinde oluşan kutup frekansı  $\sqrt{2}$  kadar artacak ve bu kutuptan kaynaklanan yükselme süresi de  $\sqrt{2}$  kadar azalacaktır. Buna göre  $t_{r1L} = t_{r1}/\sqrt{2} = 31,3ns$  olur. Toplam yükselme süresi,

$$t_{rL} = 1,1\sqrt{t_{r1L}^2 + t_{r2}^2 + t_{r3}^2} = 34,9ns$$

olacaktır.

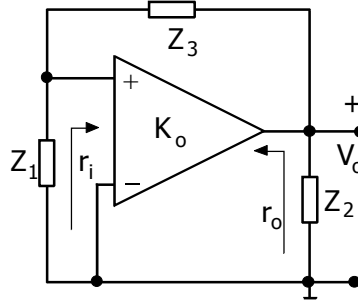
**Soru 33.-** Şekil 35. de kullanılan kuvvetlendiricinin giriş direnci  $r_i$  çok büyüktür.  $r_o = 5k\Omega$  olarak verilmiştir.  $K_o = 5$  ve  $Z_3$  yerine değeri 1mH olan bobin kullanıldığında göre devrenin  $f_o = 1MHz$  de osilasyon yapması için  $Z_1$  ve  $Z_2$  empedansları yerine kullanılacak reaktif elemanların değerini hesaplayınız.

**Çözüm:**

Colpitts osilatöründe

$$K_o = \frac{C_1}{C_2} = 5 \quad f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}}}$$

dir. Bu bağıntıya göre  $C_1 = 5C_2$  olmaktadır. Frekans ilişkisinden yararlanılarak,



Şekil 33.

$$\left(\frac{1}{2\pi f_o}\right)^2 = L\frac{C_1C_2}{C_1+C_2} = \frac{5}{6}LC_2$$

olur ve  $C_2$  kondansatörünün değeri için

$$C_2 = \frac{6}{5L(2\pi f_o)^2} = 30,4pF \quad C_1 = 5C_2 = 152pF \text{ değerleri bulunur.}$$

**Soru 34-** Şekil 34. de görülen dolup-boşalma osilatör devresinde evirmeyen türden bir Schmitt tetikleme devresi kullanılmıştır.  $V_{IH} = 3V$  ve  $V_{IL} = 1,5V$  dur. Çıkıştaki işaretin frekansı  $f = 1kHz$  ve darbe boşluk oranı  $1/3$  ise  $I_1$  ve  $I_2$  akımlarını hesaplayınız.

**Çözüm:**

frekans 1kHz, darbe/başlık oranı  $= 1/3$  olarak verilmiş darbe kondansatör boşalırken, boşluk ise kondansatör dolarken oluşur. Dolma ve boşalma sürelerinin oranı 3'e eşit olmalıdır. Kondansatör  $I_1$  akımı ile dolarken  $I_2 - I_1$  akımı ile boşalır. Bu süreler,

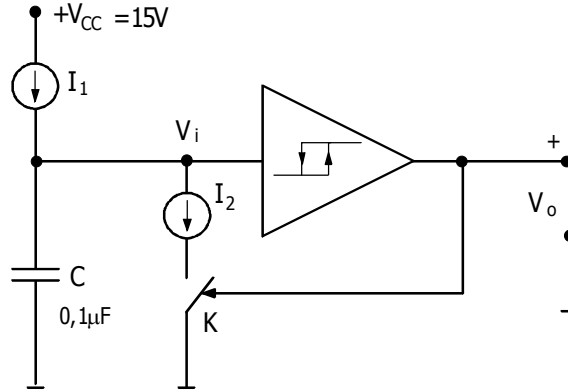
$$t_d = \frac{CV_H}{I_1} \quad t_b = \frac{CV_H}{I_2 - I_1} \quad V_H = V_{IH} - V_{IL} = 1,5V$$

tur. Süreler oranlanırsa,

$$\frac{t_d}{t_b} = \frac{I_2 - I_1}{I_1} = 3$$

$$I_2 = 4I_1$$

olur. Değişimin frekansı,



Şekil 34.

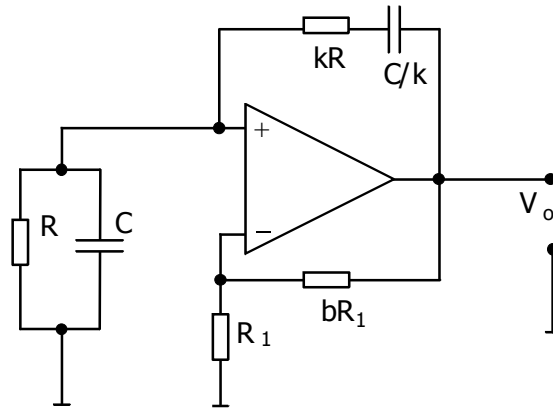
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_b + t_d} = \frac{1}{4t_b} = \frac{3I_1}{4CV_H} = 1000\text{Hz}$$

olacaktır. Buradan hareketle  $I_1=0,2\text{mA}$  ve  $I_2=0,8\text{mA}$  değerleri elde edilir.

**Soru35.-** Şekil 35. de kullanılan kuvvetlendirici ideal işlemsel kuvvetlendiricidir.

a) Devrenin titreşim (osilasyon) frekansını ve kuvvetlendiricinin kazancını belirleyen b parametresini veren ifadeleri R, C ve k parametresi cinsinden bulunuz.

b)  $b=3$  ve  $C=100\text{pF}$  olduğu bilindiğine göre devrenin  $100\text{kHz}$  de osilasyon yapması için R'in değeri ile k parametresini hesaplayınız.



Şekil 35.

**Çözüm:**

a) Wien osilatörünün hesaplarından görüldüğü gibi,

$$K = \frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2} + 1 \quad f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

dir. Devreden görüldüğü gibi  $R_2/R_1=k$ ,  $C_1/C_2=k$  dır. Bu değerler kullanıldığında

$$K = 2k + 1 \quad f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

olur.

b) Devrenin negatif geribeslemeden hareketle sağladığı gerilim kazancı,

$$K = \frac{bR_1 + R_1}{R_1} = b + 1 = 2k + 1$$

dir.  $b=3$  olarak alındığında  $k=1,5$  olacaktır.  $C=100\text{pF}$  olarak verildiğine göre frekans ilişkisinden hareketle

$$R = \frac{1}{2\pi f_o C} = 15,92\text{k}\Omega$$

biçiminde elde edilir.  $b=3$  için devrenin sağlaması gereken gerilim kazancı  $K = 4$  olmalıdır.