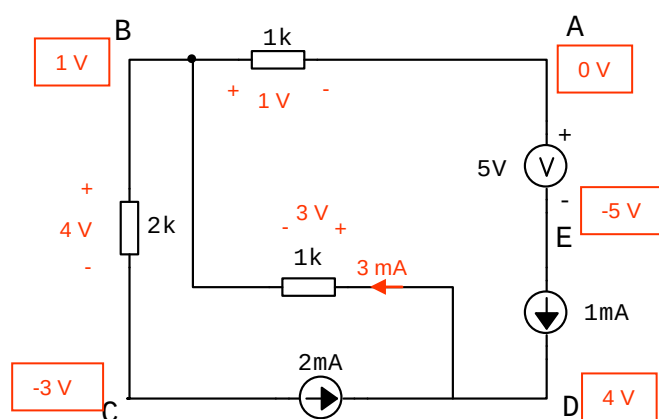


1. Justificați introducerea rezistenței interne de emitor r_e în modelul de semnal mic al tranzistorului bipolar și deduceți expresia acesteia.

Cu o bună aproximație tranzistorul bipolar poate fi modelat cu o sursă ideală de curent ce produce curentul de colector I_C , sursa fiind comandată de tensiunea bază-emitor V_{BE} după legea $I_C = I_{CS} e^{V_{BE}/V_T}$. I_{CS} este o constantă a tranzistorului iar potențialul termic V_T este determinat de constanta Boltzman, sarcina elementară și temperatura joncțiunii (în K) prin relația $V_T = k_B \cdot T / e$. Dependența $I_C(V_{BE})$ este asemănătoare caracteristicii statice a diodei. Pentru variații mici în jurul unui punct static de funcționare, o primă aproximație ar fi $\Delta V_{BE} = 0$ ($V_{BE} = \text{const.}$) dar aceasta este insuficient de precisă pentru calculul circuitelor cu tranzistoare. Aproximația de ordinul 1 (aproximarea porțiunii de grafic cu un segment de linie dreaptă) $\Delta I_C = \frac{dI_C}{dV_{BE}} \cdot \Delta V_{BE}$ conduce la $\Delta V_{BE} = \frac{V_T}{I_{CQ}} \cdot \Delta I_C$, unde I_{CQ} este valoarea curentului de colector în jurul căreia se efectuează variațiile. Cum $I_E \cong I_C$, variațiile ΔV_{BE} ale tensiunii bază-emitor pot fi puse pe seama trecerii variațiilor ΔI_E printr-o rezistență r_e cu valoarea V_T / I_{CQ} . Includerea lui r_e în modelul de semnal mic este necesară pentru producerea variațiilor tensiunii bază-emitor, **variații care nu pot fi neglijate**.

2. În circuitul din schema alăturată potențialul nodului A este nul. Determinați potențialele celorlalte noduri (B, C, D și E) și curenții prin laturi.

Curentul pe ramura DB are valoarea 3 mA. Tensiunile pe rezistoare, calculate cu legea lui Ohm au valorile și polaritățile din figură. Ordinea de calcul a potențialelor este: $V_B = V_A + 1V = 1V$; $V_C = V_B - 4V = -3V$; $V_D = V_B + 3V = 4V$; $V_E = V_A - 5V = -5V$

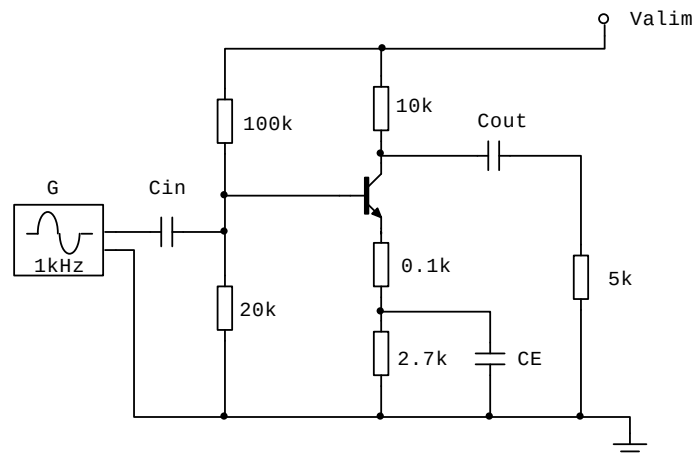


3. Tensiunea de alimentare a amplificatorului din figura de mai jos este de 12 V.

a) Calculați potențialele și curenții de repaus. Curentul de bază poate fi neglijat în comparație cu cei prin divizorul rezistiv.

b) Considerînd neglijabile impedențele condensatoarelor la frecvența de lucru. calculați amplificarea de tensiune a amplificatorului.

c) Pentru $\beta = 200$ estimați impedența de intrare a amplificatorului și valoarea tensiunii de ieșire dacă generatorul de semnal are tensiunea în gol de 50 mV și impedența internă de 10 k Ω .



a) Potențialul bazei se calculează cu regula de 3 simplă $V_B = \frac{20k\Omega}{100k\Omega + 20k\Omega} \cdot 12V = 2V$ de unde potențialul de emitor rezultă $V_E = V_B - 0,6V = 1,4V$. Curentul continuu ce iese din emitor curge la masă printr-o rezistență cu valoarea $0,1k\Omega + 2,7k\Omega = 2,8k\Omega$. De aici calculăm $I_E = V_E / 2,8k\Omega = 1,4V / 2,8k\Omega = 0,5mA$ și $I_C \cong I_E = 0,5mA$. Colectorul se găsește la potențialul $V_C = V_{alim} - I_C \cdot 10k\Omega = 12V - 5V = 7V$.

b) În curent alternativ rezistența de sarcina apare în paralel cu cea de colector, rezistența lor echivalentă fiind

$$\frac{10k\Omega \cdot 5k\Omega}{10k\Omega + 5k\Omega} = \frac{50(k\Omega)^2}{15k\Omega} = 3,3k\Omega$$

Curentul alternativ ce iese din emitor străbate doar rezistența de $0,1k\Omega$. În consecință, amplificarea de tensiune este

$$A_v = -\frac{3,3k\Omega}{r_e + 0,1k\Omega}, \text{ unde rezistența dinamică a emitorului } r_e = V_T / I_C = 25mV / 0,5mA = 50\Omega.$$

$$\text{De aici obținem } A_v = -\frac{3,3k\Omega}{50\Omega + 0,1k\Omega} = -\frac{3300\Omega}{150\Omega} = -22.$$

c) Impedența de intrare în baza tranzistorului este $Z_{inB} = \beta(r_e + R_{Ecc}) = 200 \cdot 150\Omega = 30k\Omega$. Impedența de intrare în etajul de amplificare este combinația paralel a rezistențelor de polarizare și a impedenței de intrare în baza tranzistorului

$$\frac{1}{Z_{in}} = \frac{1}{100k\Omega} + \frac{1}{20k\Omega} + \frac{1}{30k\Omega} = \left(\frac{1}{100} + \frac{1}{20} + \frac{1}{30} \right) \frac{1}{k\Omega} = (0,01 + 0,05 + 0,033) \cdot \frac{1}{k\Omega} = 0,093 \cdot \frac{1}{k\Omega}$$

de unde $Z_{in} = \frac{1}{0,093} \text{ k}\Omega = 10,8 \text{ k}\Omega$.

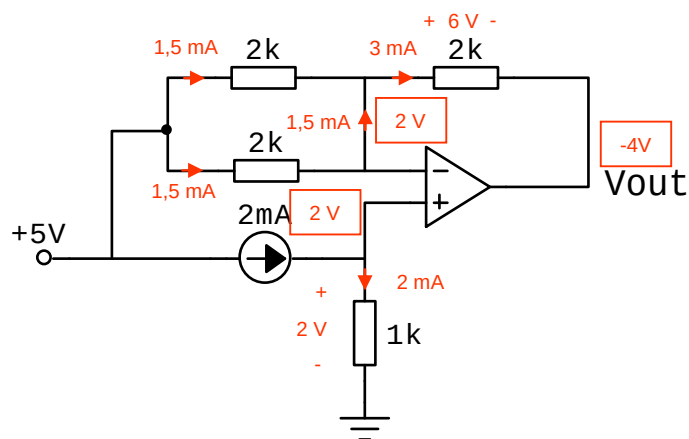
La bornele de intrare nu apare tensiunea de mers în gol a generatorului $\Delta V_g = 50 \text{ mV}$ ci

$$\Delta V_{in} = \frac{Z_{in}}{R_G + Z_{in}} \Delta V_g = 50 \text{ mV} \cdot \frac{10,8 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 10,8 \text{ k}\Omega} \cong 26 \text{ mV}.$$

Cum modulul amplificării este

$$|A_v| = 22, \text{ la ieșire variația de tensiune va fi } \Delta V_{out} = 26 \text{ mV} \cdot 22 \cong 570 \text{ mV}$$

4. Amplificatorul operațional din circuitul alăturat este ideal. Determinați valoarea tensiunii de ieșire.



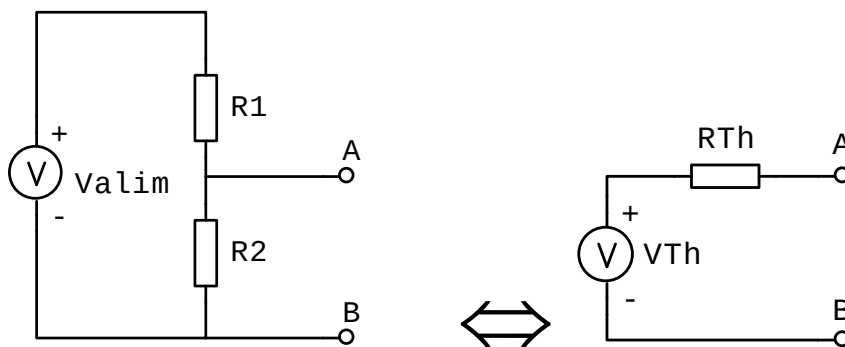
Curentul sursei ideale curge integral spre masă prin rezistența de $1 \text{ k}\Omega$ de unde obținem potențialul intrării neînversoare $V_{in+} = 2 \text{ V}$. Cum AO este ideal, acesta va fi și potențialul intrării inversoare. Astfel, prin fiecare dintre rezistențele de $2 \text{ k}\Omega$ va trece un curent de $1,5 \text{ mA}$. Suma acestor doi curenți va circula prin rezistența de reacție spre ieșirea AO producând o cădere de tensiune pe aceasta de 6 V . În consecință, ieșirea AO va fi la potențialul $V_{out} = -4 \text{ V}$.

Varianta B

1. Enunțați teorema Thèvenin și aplicați-o în cazul unui divizor de tensiune rezistiv.

Un circuit liniar accesibil la două borne este echivalent cu o sursă ideală de tensiune legată în serie cu o rezistență. Valoarea sursei de tensiune V_{Th} este egală cu valoarea tensiunii la borne **în gol** iar valoarea rezistenței R_{Th} este $R_{Th} = \frac{V_{Th}}{I_{sc}}$, unde I_{sc} este curentul de scurtcircuit la bornele circuitului.

Echivalența celor două circuite înseamnă ca orice am conecta la bornele de acces valorile tensiunii și curentului vor fi aceleași pentru ambele circuite (care nu pot fi deosebite prin astfel de experimente).



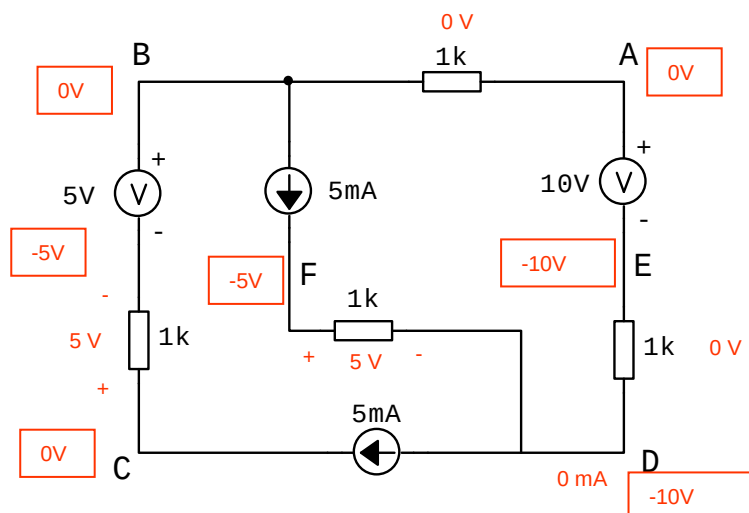
Circuitul format dintr-o sursă de alimentare cu tensiunea V_{alim} și două rezistențe R_1 și R_2 legate ca în figură produce la bornele AB ale rezistenței R_2 o tensiune ce poate fi utilizată pentru alimentarea altor circuite. Bornele de ieșire ale divizorului sunt, deci, bornele lui R_2 .

În gol (adică fără altceva conectat între borne), tensiunea este $V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{alim}$. În condiții

de scurtcircuit, rezistența R_2 este scurtcircuitată și prin firul care face scurtcircuitul curentul este $I_{sc} = \frac{V_{alim}}{R_1}$. De aici obținem rezistența Thevenin a circuitului,

$$R_{Th} = \frac{V_{alim} R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1}{V_{alim}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

2. În circuitul din schema alăturată potențialul nodului A este nul. Determinați potențialele celorlalte noduri (B, C, D și E) și curenții prin laturi.



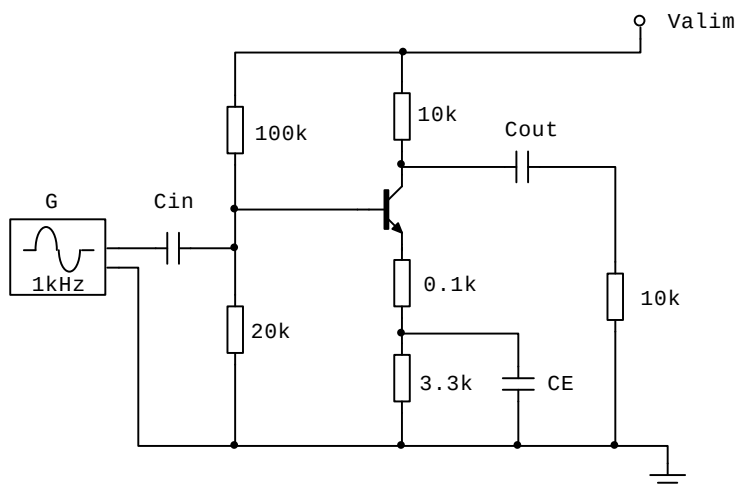
Pe ramura BAD curentul e nul. Tensiunile pe rezistoare, calculate cu legea Ohm au valorile și polaritățile din figură. Calculăm imediat $V_E = -10V$, $V_B = V_A = 0V$. Apoi $V_F = V_D + 5V = -5V$ și $V_C = V_B - 5V + 5V = V_B = 0V$.

3. Tensiunea de alimentare a amplificatorului din figura de mai jos este de 24 V.

a) Calculați potențialele și curenții de repaus. Curentul de bază poate fi neglijat în comparație cu cei prin divizorul rezistiv.

b) Considerînd neglijabile impedanțele condensatoarelor la frecvența de lucru. calculați amplificarea de tensiune a amplificatorului.

c) Pentru $\beta = 300$ estimați impedanța de intrare a amplificatorului și valoarea tensiunii de ieșire dacă generatorul de semnal are tensiunea în gol de 100 mV și impedanța internă de 20 kΩ.



a) Potențialul bazei se calculează cu regula de 3 simplă $V_B = \frac{20k\Omega}{100k\Omega + 20k\Omega} \cdot 24V = 4V$ de

unde potențialul de emitor rezultă $V_E = V_B - 0,6V = 3,4V$. Curentul continuu ce iese din emitor curge la masă printr-o rezistență cu valoarea $0,1k\Omega + 3,3k\Omega = 3,4k\Omega$. De aici calculăm $I_E = V_E / 3,4k\Omega = 3,4V / 3,4k\Omega = 1mA$ și $I_C \cong I_E = 1mA$. Colectorul se găsește la potențialul $V_C = V_{alim} - I_C \cdot 10k\Omega = 24V - 10V = 14V$.

b) În curent alternativ rezistența de sarcină apare în paralel cu cea de colector, rezistența lor echivalentă fiind

$$\frac{10\text{k}\Omega \cdot 10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega} = \frac{100(\text{k}\Omega)^2}{20\text{k}\Omega} = 5\text{k}\Omega$$

Curentul alternativ ce iese din emitor străbate doar rezistența de $0,1\text{k}\Omega$. În consecință, amplificarea de tensiune este $A_v = -\frac{5\text{k}\Omega}{r_e + 0,1\text{k}\Omega}$, unde rezistența dinamică a emitorului e

$$r_e = V_T / I_C = 25\text{mV} / 1\text{mA} = 25\Omega. \text{ De aici obținem } A_v = -\frac{5\text{k}\Omega}{25\Omega + 0,1\text{k}\Omega} = -\frac{5000\Omega}{125\Omega} = -40.$$

c) Impedanța de intrare în baza tranzistorului este $Z_{inB} = \beta(r_e + R_{Eca}) = 300 \cdot 125\Omega = 37,5\text{k}\Omega$. Impedanța de intrare în etajul de amplificare este combinația paralel a rezistențelor de polarizare și a impedanței de intrare în baza tranzistorului

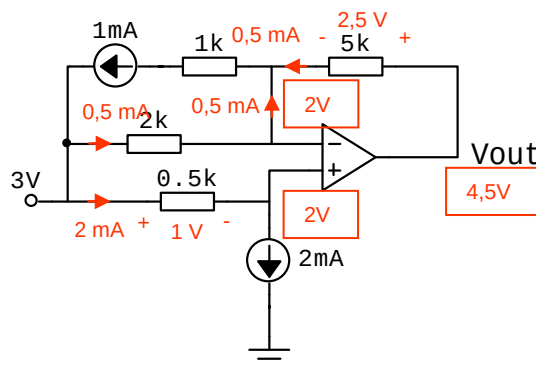
$$\frac{1}{Z_{in}} = \frac{1}{100\text{k}\Omega} + \frac{1}{20\text{k}\Omega} + \frac{1}{37,5\text{k}\Omega} = \left(\frac{1}{100} + \frac{1}{20} + \frac{1}{37,5} \right) \frac{1}{\text{k}\Omega} = (0,01 + 0,05 + 0,027) \cdot \frac{1}{\text{k}\Omega} = \frac{0,087}{\text{k}\Omega}$$

$$\text{de unde } Z_{in} = \frac{1}{0,087} \text{k}\Omega = 11,5 \text{k}\Omega.$$

La bornele de intrare nu apare tensiunea de mers în gol a generatorului $\Delta V_g = 100\text{mV}$ ci

$$\Delta V_{in} = \frac{Z_{in}}{R_G + Z_{in}} \Delta V_g = 100\text{mV} \cdot \frac{11,5\text{k}\Omega}{20\text{k}\Omega + 11,5\text{k}\Omega} \cong 37\text{mV}. \text{ Cum modulul amplificării este } |A_v| = 40, \text{ la ieșire variația de tensiune va fi } \Delta V_{out} = 37\text{mV} \cdot 40 = 1480\text{mV} = 1,48 \text{ V}$$

4. Amplificatorul operațional din circuitul alăturat este ideal. Determinați valoarea tensiunii de ieșire.



Curentul sursei ideale de 2 mA vine integral prin rezistența de $0,5\text{k}\Omega$ pe care produce o cădere de tensiune de 1 V. Astfel, potențialul intrării neinvertoare este $V_{in+} = 3\text{V} - 1\text{V} = 2\text{V}$. Cum AO este ideal, $V_{in-} = 2\text{V}$ și curentul prin rezistența de $2\text{k}\Omega$ este de 0,5 mA. Din acest motiv, prin rezistența de reacție trebuie să sosească în punctul de sumare un curent de 0,5 mA, determinînd o tensiune de 2,5 V pe aceasta. În concluzie, potențialul ieșirii AO este $2\text{V} + 2,5\text{V} = 4,5\text{V}$.