

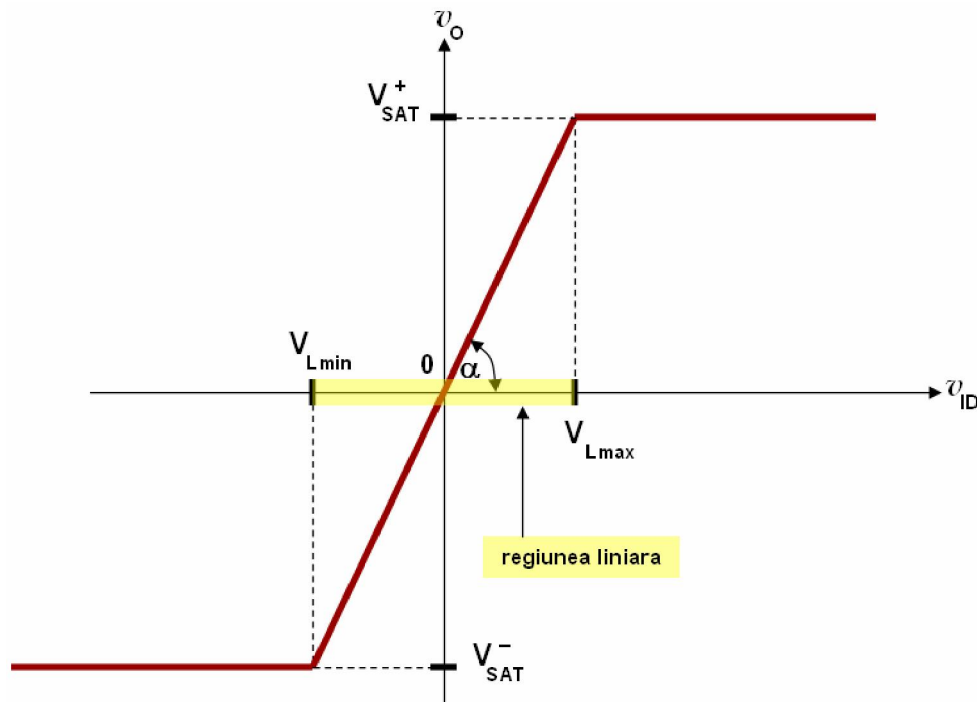
Determinarea regiunii liniare de funcționare

Problema 1

Un amplificator operațional AO este alimentat de la 2 surse de tensiune continuă, $V_{CC} = 11[V]$ și $V_{EE} = -11[V]$ și are o amplificare în tensiune $A_{VAO} = 100000$. Să se determine intervalul de valori al tensiunii de intrare diferențiale v_{ID} în care AO-ul funcționează în regiunea liniară.

Rezolvare

Determinarea regiunii liniare a AO-ului constă în determinarea intervalului de valori al tensiunii de intrare diferențiale v_{ID} , în care acesta funcționează în regiunea liniară. Calculul necesar determinării regiunii liniare de funcționare a AO-ului se realizează pe baza caracteristicii sale de funcționare, indicat în figura de mai jos, în care intervalul de valori al tensiunii v_{ID} care corespunde regiunii liniare este reprezentat de intervalul de valori $[V_{Lmin} \div V_{Lmax}]$.



Caracteristica de funcționare a AO-ului.

În cazul în care valoarea în modul a celor 2 surse de alimentare este egală, este suficient să se determine numai valoarea V_{Lmax} , deoarece $|V_{Lmin}| = V_{Lmax}$. În problema curentă, $|V_{EE}| = V_{CC}$ deci este suficient să se determine valoarea limitei V_{Lmax} a intervalului de valori al tensiunii v_{ID} care corespunde regiunii liniare.

Determinarea valorii V_{Lmax} :

Relația de definiție a amplificării în tensiune este:

$$A_{VAO} = \frac{v_O}{v_{ID}}$$

iar, din caracteristica de funcționare a AO-ului rezultă :

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

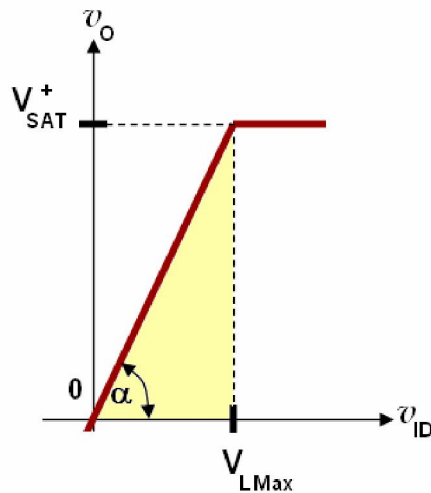
$$tg(\alpha) = \frac{v_O}{v_{ID}}$$

unde α reprezint unghiul dintre caracteristica de func ionare a AOului i axa OX a caracteristicii, considerat în regiunea liniar .

Din rela iile de mai sus rezult :

$$tg(\alpha) = A_{VAO}$$

Din caracteristica de func ionare a AOului, considerînd triunghiul dreptunghic indicat mai jos,



se deduce:

$$tg(\alpha) = \frac{V_{SAT}^+}{V_{Lmax}}$$

inând cont de rela ia dedus anterior, rezult :

$$A_{VAO} = \frac{V_{SAT}^+}{V_{Lmax}}$$

de unde rezult rela ia de calcul a limitei superioare a tensiunii v_{ID} , care corespunde regiunii liniare:

$$V_{Lmax} = \frac{V_{SAT}^+}{A_{VAO}}$$

Conform defini iei, tensiunea de satura ie pozitiv se poate determina cu rela ia:

$$V_{SAT}^+ = V_{CC} - 1[V]$$

de unde rezult c rela ia final de calcul a valorii limitei superioare a tensiunii v_{ID} , care corespunde regiunii liniare, devine urm toarea:

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

$$V_{Lmax} = \frac{V_{CC} - 1[V]}{A_{VAO}}$$

inând cont de datele problemei, valoarea limitei V_{Lmax} este:

$$V_{Lmax} = \frac{V_{CC} - 1[V]}{A_{VAO}} = \frac{11[V] - 1[V]}{100000} = \frac{10}{100000} [V] = 10^{-4} [V] = 100 [\mu V]$$

deci,

$$V_{Lmax} = +100 [\mu V]$$

iar

$$V_{Lmin} = -100 [\mu V]$$

A adar, intervalul de valori al tensiunii de intrare diferen iale v_{ID} în care AOul func ioneaz în regiunea liniar este:

$$[-100\mu V, +100\mu V]$$

Determinarea valorii tensiunii de ie ire

Problema 2

Un amplificator opera ional AO este alimentat de la 2 surse de tensiune continu , $V_{CC} = 11[V]$ si $V_{EE} = -11[V]$. Pentru AOul respectiv, se cunoa te intervalul de valori al tensiunii de intrare diferen iale v_{ID} în care AOul func ioneaz în regiunea liniar $[-250\mu V, +250\mu V]$. S de determine valoarea tensiunii de ie ire dac :

- | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| a. $v_{ID}(\omega t) = 50 \cdot \sin(\omega t) [\mu V]$ | b. $v_{ID}(\omega t) = 500 \cdot \sin(\omega t) [\mu V]$ |
| c. $v_{ID}(\omega t) = 1000 + 50 \cdot \sin(\omega t) [\mu V]$ | d. $V_{ID} = 100 [\mu V]$ |
| e. $V_{ID} = -500 [mV]$ | |
| f. $v_{I^+}(\omega t) = 200 \cdot \sin(\omega t) [\mu V]$ i $v_{I^-}(\omega t) = 100 \cdot \sin(\omega t) [\mu V]$ | |

Rezolvare

a. Deoarece valoarea tensiunii de ie ire depinde de regiunea în care func ioneaz AOul, mai întâi trebuie s se determine, în condi iile enun ate mai sus, în ce regiune func ioneaz acesta. Decizia regiunii în care func ioneaz AOul se ia în func ie de valoarea maxim , respectiv minim a tensiunii de intrare diferen iale v_{ID} , care se compar cu valorile limit ale intervalului de valori al tensiunii de intrare diferen iale v_{ID} , în care AOul func ioneaz în regiunea liniar .

A adar, identificarea regiunii de func ionare a AOului, atunci când tensiunea de intrare diferen ial apar ine unui interval de valori

$$v_{ID} \in [v_{IDmin}, v_{IDmax}]$$

se realizeaz prin compararea valorilor limit ale tensiunii de intrare diferen iale, aplicat la amplificator v_{IDmin} , v_{IDmax} , cu limitele regiunii liniare de func ionare a AOului, V_{Lmin} , V_{Lmax} .

Pentru ca amplificatorul opera ional s func ioneze în regiunea liniar este necesar s fie îndeplinit condi ia,

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

$$V_{ID\min} > V_{L\min} \quad \text{si} \quad V_{ID\max} < V_{L\max}$$

condi ia ca un AO s lucreze în regiunea liniar pentru cazul în care v_{ID} este variabil în timp

în caz contrar, AOul func ioneaz în regiunea de satura ie.

Deoarece $v_{ID}(\omega \cdot t) = 50 \cdot \sin(\omega \cdot t) [\mu V]$ rezult c tensiunea de intrare diferen ial are o form de und sinusoidal axat pe valoarea medie $0[V]$. Din acest motiv, valoarea minim a acestei tensiuni este

$$v_{ID\min} = -50[\mu V]$$

iar valoarea maxim a acestei tensiuni este:

$$v_{ID\max} = +50[\mu V]$$

Prin compararea acestor valori cu valorile limit ale regiunii liniare ale AOului,

$$V_{L\min} = -250[\mu V] \qquad V_{L\max} = +250[\mu V]$$

se constat c este satisf cut condi ia ca AOul s func ioneze în regiunea liniar :

$$\begin{aligned} v_{ID\min} > V_{L\min} \quad -50[\mu V] > -250[\mu V] \quad \text{ade var at} \\ v_{ID\max} < V_{L\max} \quad +50[\mu V] < +250[\mu V] \quad \text{ade var at} \end{aligned}$$

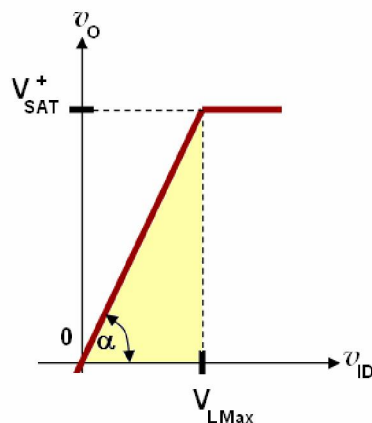
deci, AOul func ioneaz în regiunea liniar , i în acest caz, expresia tensiunii de ie ire este urm toarea:

$$v_O = A_{VAO} \cdot v_{ID}$$

În continuare, trebuie calculat valoarea amplific rii în tensiune, A_{VAO} .

Determinarea valorii amplific rii în tensiune

Din caracteristica de func ionare a AOului, considerînd triunghiul dreptunghic indicat mai jos,



Din rela ia de defini ie a parametrului A_{VAO} i semnifica ia unghiului α în caracteristica de func ionare a AOului, se tie c

$$A_{VAO} = \operatorname{tg}(\alpha)$$

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

Dar,

$$tg(\varphi) = \frac{V_{SAT}^+}{V_{Lmax}}$$

Deci,

$$A_{VAO} = \frac{V_{SAT}^+}{V_{Lmax}}$$

Conform definiției, tensiunea de saturație pozitivă se poate determina cu relația:

$$V_{SAT}^+ = V_{CC} - 1[V]$$

de unde rezultă relația de calcul a amplificării în tensiune a AOului:

$$A_{VAO} = \frac{V_{CC} - 1[V]}{V_{Lmax}}$$

înănd cont de datele problemei, valoarea amplificării în tensiune este:

$$A_{VAO} = \frac{V_{CC} - 1[V]}{V_{Lmax}} = \frac{11[V] - 1[V]}{250[\mu V]} = \frac{10[V]}{250[\mu V]} = \frac{10}{25 \cdot 10^{-6}} \frac{[V]}{[V]} = \frac{10^{+6}}{25} = 4 \cdot 10^4 = 40000$$

deci,

$$A_{VAO} = 40000$$

Rezult :

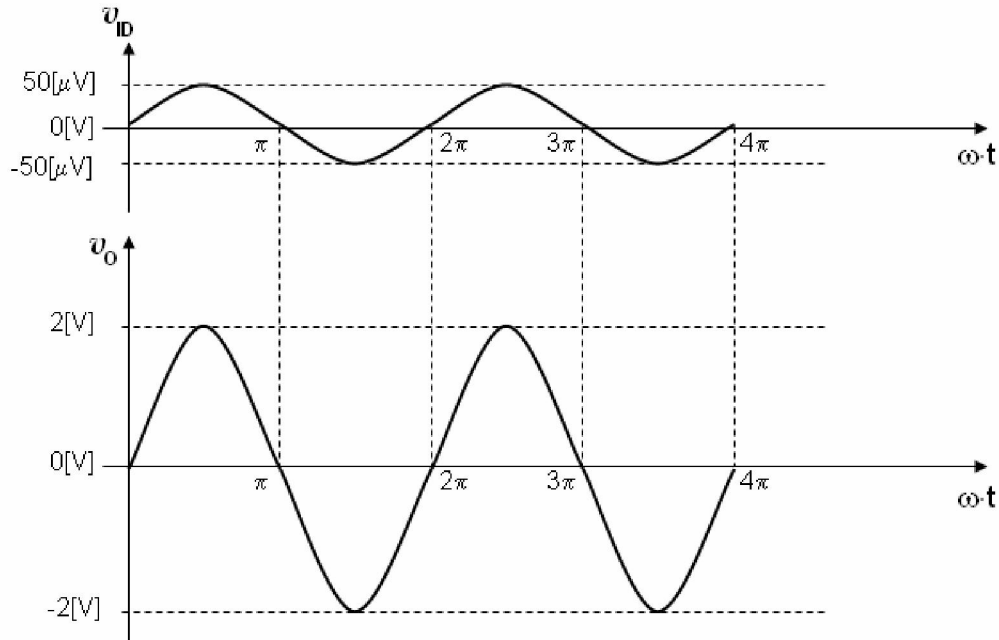
$$v_O = A_{VAO} \cdot v_{ID} = 40000 \cdot 50 \cdot \sin(\omega t)[\mu V] = 4 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot \sin(\omega t)[\mu V] = 2 \cdot 10^6 \cdot \sin(\omega t)[\mu V]$$

$$v_O = 2 \cdot 10^6 \cdot 10^{-6} \cdot \sin(\omega t)[V] = 2 \cdot \sin(\omega t)[V]$$

$$v_O = 2 \cdot \sin(\omega t)[V]$$

Formele de undă ale celor 2 tensiuni intrare-ie ire sunt indicate în figura de mai jos. Se observă că la ieșirea AOului forma de undă a tensiunii de intrare (sinus) se păstrează la ieșire (AOul nu introduce distorsiuni), datorită funcționării în regiunea liniară a acestuia.

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale



b. Deoarece $v_{ID}(\omega t) = 500 \cdot \sin(\omega t) [\mu V]$ rezultă că tensiunea de intrare diferențială are o formă de undă sinusoidală axată pe valoarea medie $0[V]$. Din acest motiv, valoarea minimă a acestei tensiuni este

$$v_{IDmin} = -500[\mu V]$$

iar valoarea maximă a acestei tensiuni este:

$$v_{IDmax} = +500[\mu V]$$

De această dată se constată că este nu mai este satisfăcută condiția ca AO-ul să funcționeze în regiunea liniară :

$$\begin{aligned} v_{IDmin} > V_{Lmin} \quad -500[\mu V] > -250[\mu V] \quad & \text{fals} \\ v_{IDmax} < V_{Lmax} \quad +500[\mu V] < +250[\mu V] \quad & \text{fals} \end{aligned}$$

deci, AO-ul funcționează în regiunea de saturație, iar expresia tensiunii de ieșire a amplificatorului operațional este de această dată următoarea:

$$v_O = \begin{cases} V_{SAT}^+ & v_{ID} \geq 0 \\ V_{SAT}^- & v_{ID} < 0 \end{cases}$$

Conform definiției, tensiunea de saturație pozitivă se poate determina cu relația:

$$V_{SAT}^+ = V_{CC} - 1[V]$$

iar, tensiunea de saturație negativă se poate determina cu relația:

$$V_{SAT}^- = V_{EE} + 1[V]$$

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

Rezult ,

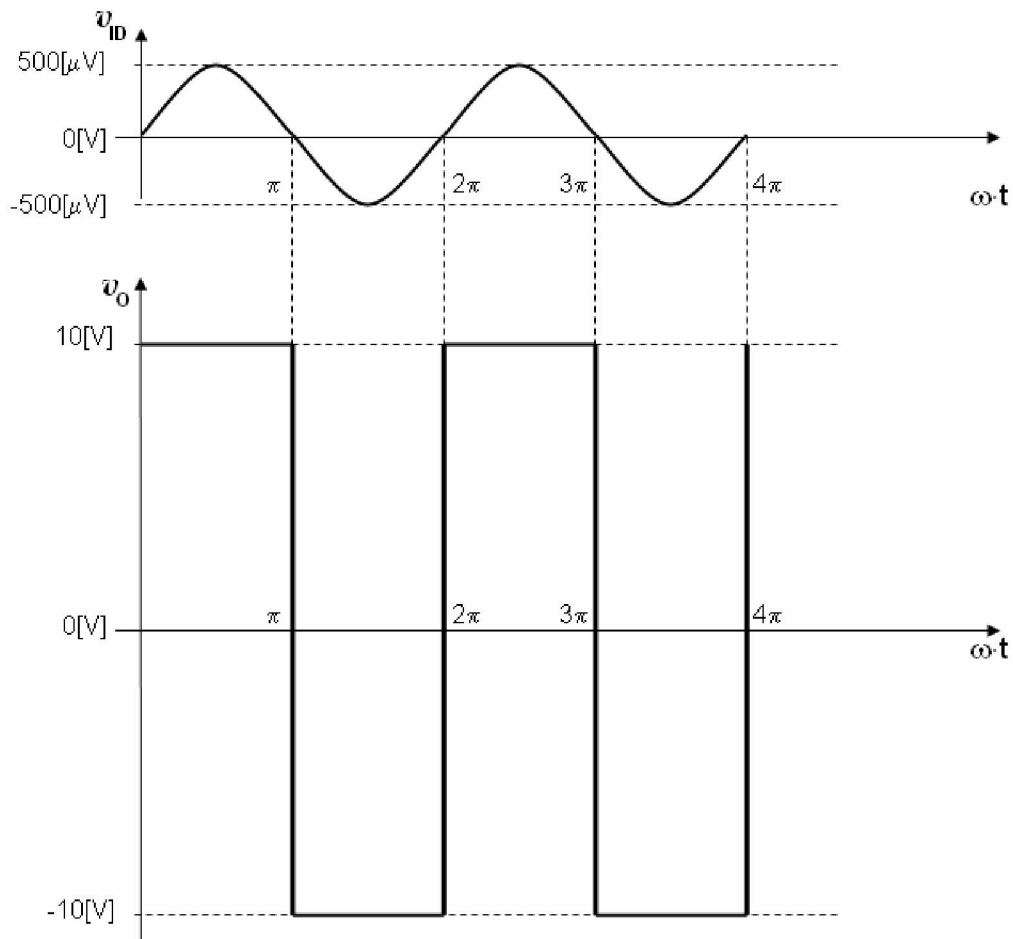
$$V_{SAT}^+ = V_{CC} - 1[V] = 11[V] - 1[V] = 10[V]$$

$$V_{SAT}^- = V_{EE} + 1[V] = -11[V] + 1[V] = -10[V]$$

A adar,

$$v_O = \begin{cases} +10[V] & v_{ID} \geq 0 \\ -10[V] & v_{ID} < 0 \end{cases}$$

Formele de und ale tensiunilor sunt indicate în figura de mai jos. Se observ modul în care, func ionarea în regiunea de satura ie determin introducerea distorsiunilor de c tre AO.



c. Deoarece $v_{ID}(\omega \cdot t) = 1000 + 50 \cdot \sin(\omega \cdot t) [\mu V]$ rezult c tensiunea de intrare diferen ial are o form de und sinusoidal axat pe valoarea medie **1000** $[\mu V]$. Din acest motiv, valoarea minim a acestei tensiuni este

$$v_{IDmin} = 1000[\mu V] - 50[\mu V] = 950[\mu V]$$

iar valoarea maxim a acestei tensiuni este:

$$v_{IDmax} = 1000[\mu V] + 50[\mu V] = 1050[\mu V]$$

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

Datorit valorii medii, care, în raport cu cazul **a**, a deplasat spre valori pozitive valorile tensiunii de intrare v_{ID} , se constat c este **NU** satisf cut condi ia ca AOul s func ioneze în regiunea liniar :

$$\begin{aligned} v_{IDmin} > V_{Lmin} \quad 950[\mu V] > -250[\mu V] \quad & fals \\ v_{IDmax} < V_{Lmax} \quad 1050[\mu V] < 250[\mu V] \quad & adevarat \end{aligned}$$

Deoarece nu sunt adev rate ambele condi ii, AOul func ioneaz în regiunea de satura ie, i în acest caz, expresia tensiunii de ie ire este urm toarea:

$$v_O = \begin{cases} V_{SAT}^+ & v_{ID} \geq 0 \\ V_{SAT}^- & v_{ID} < 0 \end{cases}$$

În continuare, se observ c tensiunea de intrare diferen ial este tot timpul pozitiv (valoarea ei minim este mai mare decât **0[V]**),

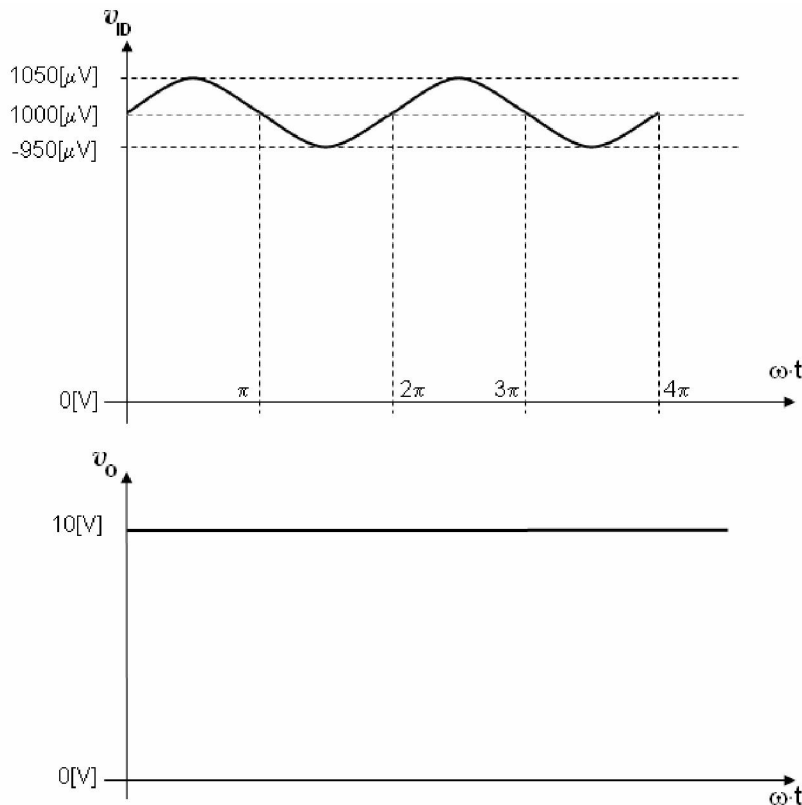
$$v_{ID} > 0$$

deci, din cele dou valori posibile indicate în rela ia de mai sus a tensiunii de ie ire cea corect este urm toarea:

$$v_O = V_{SAT}^+$$

unde, $V_{SAT}^+ = V_{CC} - 1[V] = 11[V] - 1[V] = 10[V]$

Rezult : $v_O = 10[V]$



Formele de und ale tensiunilor sunt indicate în figura de mai sus. Se observ modul în care tensiunea de intrare diferen ial v_{ID} este deplasat spre valori mari datorit introducerii valorii medii de **1000[μV]**, precum i faptul c tensiunea de ie ire este blocat în **+10[V]**, indiferent de valoarea tensiunii v_{ID} .

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

d. În acest caz, tensiunea de intrare diferențială este o tensiune continuă. Din acest motiv, valoarea tensiunii de intrare diferențială v_{ID} are o valoare unică în timp egală cu $V_{ID} = 100 [\mu V]$.

În cazul în care tensiunea de intrare diferențială este continuă, condiția care trebuie să fie satisfăcută pentru ca AO-ul să funcționeze în regiunea liniară devine următoarea:

$$V_{LMin} < V_{ID} < V_{LMax}$$

condiția ca un AO să lucreze în regiunea liniară pentru cazul în care v_{ID} este o tensiune continuă

Pe baza datelor problemei, se observă că este respectată condiția de mai sus,

$$V_{LMin} < V_{ID} < V_{LMax} \quad -250[\mu V] < 100[\mu V] < 250[\mu V] \quad \text{adevarat}$$

deci, AO-ul funcționează în regiunea liniară, și în acest caz, expresia tensiunii de ieșire este următoarea:

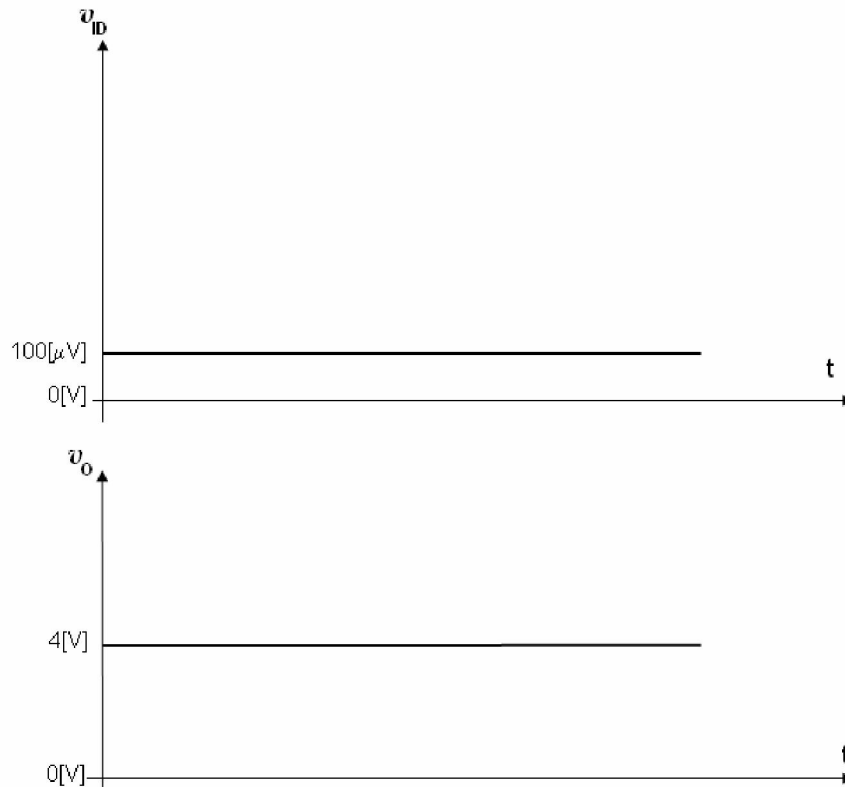
$$V_O = A_{VAO} \cdot V_{ID}$$

Deci,

$$V_O = 4000 \cdot 100[\mu V] = 4 \cdot 10^4 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}[V] = 4[V]$$

$$V_O = 4[V]$$

Cele două tensiuni sunt prezentate în figura de mai jos.



Observație: datorită tensiunilor parazite, care sunt permanent prezente în circuitele electronice, cazul analizat în acest punct (tensiune continuă de valoare foarte mică) nu este întâlnit în circuitele practice, exemplul prezentat fiind pur teoretic.

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

e. Tensiunea de intrare diferen ial este o tensiune continu . Pe baza datelor problemei, se observ c NU este respectat condi ia de func ionare în regiunea liniar ,

$$V_{LMin} < V_{ID} < V_{LMax} \quad -250[\mu V] < -500[mV] < 250[\mu V] \quad fals$$

deci, AOul func ioneaz în regiunea de satura ie, i în acest caz, expresia tensiunii de ie ire este urm toarea:

$$V_O = \begin{cases} V_{SAT}^+ & v_{ID} \geq 0 \\ V_{SAT}^- & v_{ID} < 0 \end{cases}$$

În continuare, se observ c tensiunea de intrare diferen ial este negativ ,

$$V_{ID} < 0$$

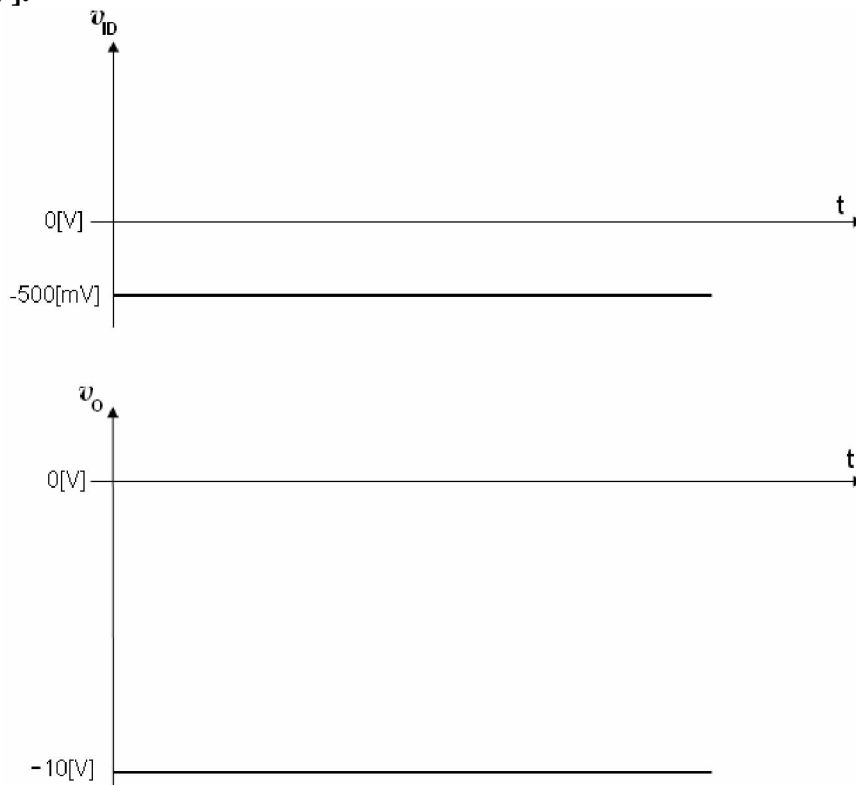
deci, din cele dou valori posibile indicate în rela ia de mai sus a tensiunii de ie ire cea corect este urm toarea:

$$V_O = V_{SAT}^-$$

unde, $V_{SAT}^- = V_{EE} + 1[V] = -11[V] + 1[V] = -10[V]$

$$V_O = -10[V]$$

Cele 2 tensiuni sunt indicate în figura de mai jos. Se observ faptul c tensiunea de ie ire este blocat în **-10[V]**.



f. **indica ie:** pentru determinarea tensiunii v_{ID} se utilizeaz rela ia de defini ie:

$$v_{ID} = v_I^+ - v_I^-$$

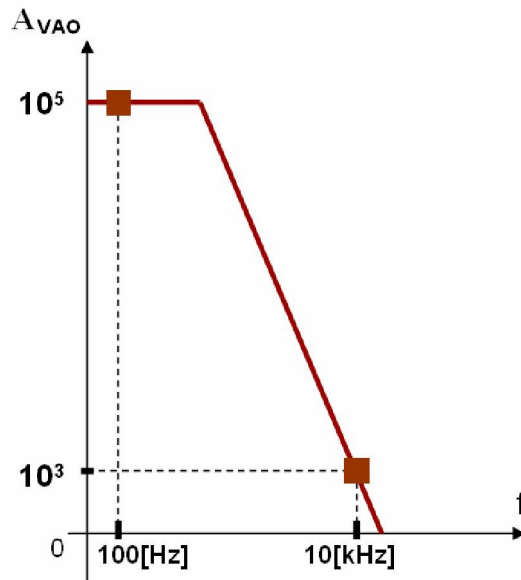
Utilizarea caracteristicii de frecven

Problema 3

Un amplificator opera ional AO este alimentat de la 2 surse de tensiune continu , $V_{CC} = 11[V]$ si $V_{EE} = -11[V]$ si are caracteristica de frecven indicat în figura de mai jos. S se determine valoarea tensiunii de ie irea amplificatorului opera ional, dac :

a. $v_{ID}(t) = 200 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot t) [\mu V]$

b. $v_{ID}(t) = 1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^4 \cdot t) [mV]$



Rezolvare

Pentru determinarea valorii tensiunii de ie ire, este necesar s se determine regiunea în care amplificatorul opera ional func ioneaz . În acest scop, trebuie determinat intervalul de valori $[V_{Lmin}, V_{Lmax}]$ al tensiunii de intrare diferen iale v_{ID} , care corespunde regiunii liniare.

Intervalul de valori al tensiunii de intrare diferen iale v_{ID} , care corespunde regiunii liniare, se determin dup procedura indicat în problema 1. Astfel, pentru determinarea limitei maxime a intervalului respectiv, rela ia de calcul, dedus în problema 1, este:

$$V_{Lmax} = \frac{V_{CC} - 1[V]}{A_{VAO}}$$

Pentru calcularea valorii limit V_{Lmax} mai trebuie determinat valoarea amplific rii în tensiune a amplificatorului opera ional, A_{VAO} . Aceast valoare se determin de pe graficul caracteristicii de frecven a amplificatorului opera ional, în func ie de frecven a de lucru a acestuia, unde frecven a de lucru este dat de frecven a tensiunii de intrare diferen iale.

a. $v_{ID}(t) = 200 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot t) [\mu V]$

Conform expresiei de mai sus, tensiunea de intrare diferen ial v_{ID} este o tensiune sinusoidal , cu frecven a egal cu:

$$f = 10^2 [Hz]$$

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare operaționale

În identificarea valorii frecvenței tensiunii v_{ID} s-a utilizat expresia generală a unei mrimi electrice sinusoidale (armonice):

$$x(t) = X_A + X_a \cdot \sin \left(2 \cdot \pi \cdot \underset{\substack{\downarrow \\ \text{frecvența} \\ \text{în} \\ \text{hertzi}}}{f}} \cdot t + \dots \right)$$

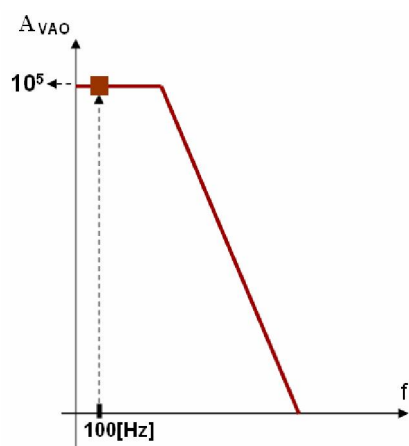
particularizat astfel pentru expresia tensiunii v_{ID} :

$$v_{ID}(t) = 0 + 200 \cdot \sin \left(2 \cdot \pi \cdot \underset{\substack{\downarrow \\ \text{frecvența} \\ \text{în} \\ \text{hertzi}}}{10^2}} \cdot t + 0 \right) [\mu V]$$

Rezultă că frecvența de lucru a AOului este

$$f = 10^2 [\text{Hz}] = 100 [\text{Hz}]$$

Pe baza caracteristicii de frecvență a AOului, fiind frecvența de lucru a acestuia, rezultă amplificarea în tensiune a AOului: conform caracteristicii de frecvență, valoarea parametrului A_{VAO} care corespunde frecvenței **100[Hz]** este **10^5** .



Deci,

$$A_{VAO} = 10^5$$

Rezultă

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

$$V_{Lmax} = \frac{V_{CC} - 1[V]}{A_{VAO}} = \frac{11[V] - 1[V]}{10^5} = \frac{10}{10^5}[V] = 10^{-4}[V] = 100[\mu V] \quad V_{Lmax} = 100[\mu V]$$

Deoarece $|V_{EE}| = V_{CC}$ limita inferioar a intervalului de valori a lui v_{ID} care corespunde regiunii liniare este: $V_{Lmin} = -100[\mu V]$. Deci, intervalul de valori a lui v_{ID} care corespunde regiunii liniare este:

$$[-100\mu V , +100\mu V]$$

Deoarece $v_{ID}(t) = 200 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot t)$ [μV] rezult c tensiunea de intrare diferen ial are o form de und sinusoidal , axat pe valoarea medie $0[V]$. Din acest motiv, valoarea minim a acestei tensiuni este

$$v_{IDmin} = -200[\mu V]$$

iar valoarea maxim a acestei tensiuni este:

$$v_{IDmax} = +200[\mu V]$$

Se constat c nu este satisf cut condi ia ca AOul s func ioneze n regiunea liniar :

$$\begin{aligned} v_{IDmin} > V_{Lmin} & \quad -200[\mu V] > -100[\mu V] \quad fals \\ v_{IDmax} < V_{Lmax} & \quad +200[\mu V] < +100[\mu V] \quad fals \end{aligned}$$

deci, AOul func ioneaz n regiunea de satura ie, iar expresia tensiunii de ie ire a amplificatorului opera ional este urm toarea:

$$v_O = \begin{cases} V_{SAT}^+ & v_{ID} \geq 0 \\ V_{SAT}^- & v_{ID} < 0 \end{cases}$$

Conform defini iei, tensiunea de satura ie pozitiv se poate determina cu rela ia:

$$V_{SAT}^+ = V_{CC} - 1[V]$$

iar, tensiunea de satura ie negativ se poate determina cu rela ia:

$$V_{SAT}^- = V_{EE} + 1[V]$$

Rezult ,

$$V_{SAT}^+ = V_{CC} - 1[V] = 11[V] - 1[V] = 10[V] \quad V_{SAT}^- = V_{EE} + 1[V] = -11[V] + 1[V] = -10[V]$$

A adar,

$$v_O = \begin{cases} +10[V] & v_{ID} \geq 0 \\ -10[V] & v_{ID} < 0 \end{cases}$$

b. $v_{ID}(t) = 1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^4 \cdot t)$ [mV]

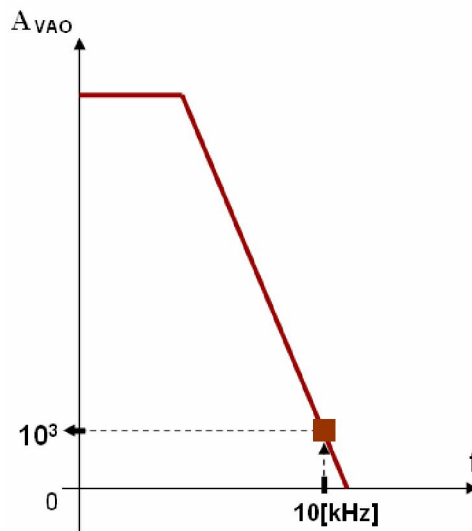
Conform expresiei de mai sus, tensiunea de intrare diferențială v_{ID} este o tensiune sinusoidală, cu frecvența egală cu:

$$f = 10^4 [\text{Hz}]$$

Rezultă că frecvența de lucru a AO-ului este

$$f = 10^4 [\text{Hz}] = 10000 [\text{Hz}] = 10 [\text{kHz}]$$

Pe baza caracteristicii de frecvență a AO-ului, fiind frecvența de lucru a acestuia, rezultă amplificarea în tensiune a AO-ului: conform caracteristicii de frecvență, valoarea parametrului A_{VAO} care corespunde frecvenței $10 [\text{kHz}]$ este 10^3 .



Deci,

$$A_{VAO} = 10^3$$

Prin micșorarea valorii amplificării în tensiune a AO-ului, regiunea liniară a acestuia se extinde, și din acest motiv, intervalul de valori al tensiunii v_{ID} care corespunde regiunii liniare trebuie recalculat.

Aadar,

$$V_{Lmax} = \frac{V_{CC} - 1[V]}{A_{VAO}} = \frac{11[V] - 1[V]}{10^3} = \frac{10}{10^3} [V] = 10^{-2} [V] = 10 [mV] \quad V_{Lmax} = 10 [mV]$$

Deoarece $|V_{EE}| = V_{CC}$ limita inferioară a intervalului de valori al lui v_{ID} care corespunde regiunii liniare este: $V_{Lmin} = -10 [mV]$. Deci, intervalul de valori al lui v_{ID} care corespunde regiunii liniare devine:

$$[-10mV, +10mV]$$

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

Deoarece $v_{ID}(t) = 1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^4 \cdot t)$ [mV] rezult c tensiunea de intrare diferen ial are o form de und sinusoidal , axat pe valoarea medie $0[V]$. Din acest motiv, valoarea minim a acestei tensiuni este

$$v_{IDmin} = -1[mV]$$

iar valoarea maxim a acestei tensiuni este:

$$v_{IDmax} = +1[mV]$$

Se constat c de aceast dat este satisf cut condi ia ca AOul s func ioneze n regiunea liniar :

$$\begin{aligned} v_{IDmin} > V_{Lmin} \quad -1[mV] > -10[mV] \quad \text{ade var at} \\ v_{IDmax} < V_{Lmax} \quad +1[mV] < +10[mV] \quad \text{ade var at} \end{aligned}$$

deci, AOul func ioneaz n regiunea liniar , iar expresia tensiunii de ie ire a amplificatorului opera ional este urm toarea:

$$v_O = A_{VAO} \cdot v_{ID}$$

Rezult :

$$v_O = A_{VAO} \cdot v_{ID} = 1000 \cdot 1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^4 \cdot t) [mV] = 10^3 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^4 \cdot t) [V] = 1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^4 \cdot t) [V]$$

$$v_O = 1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^4 \cdot t) [V]$$

Comportamentul AOului n regim variabil de semnal mare

Problema 4

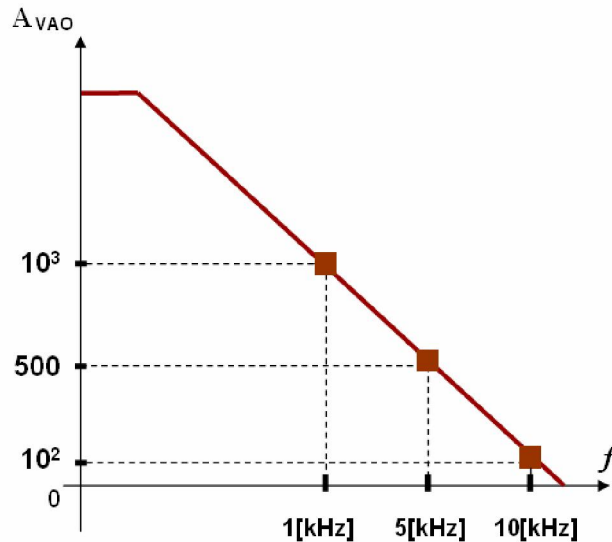
Un amplificator opera ional AO este alimentat de la 2 surse de tensiune continu , $V_{CC} = 11[V]$ si $V_{EE} = -11[V]$ si are caracteristica de frecven indicat n figura de mai jos, iar parametrul $SR = 0,5 \left[\frac{V}{\mu S} \right]$. S se precizeze dac tensiunea de ie ire a AOului, v_O este sau nu distorsionat , n condi iile n care:

a. $v_{ID}(t) = 5 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot t)$ [mV]

b. $v_{ID}(t) = 5 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^5 \cdot t)$ [mV]

c. $v_{ID}(t) = 50 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot t)$ [mV]

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale



Rezolvare

Pentru a nu introduce distorsiuni, un AO trebuie s îndeplineasc 2 condi ii:

1. s func ioneze în regiunea liniar ; dac nu lucreaz în regiunea liniar , atunci AOul introduce distorsiuni, datorit intr rii în regiunea de satura ie;
2. în cazul în care func ioneaz în regim variabil de semnal mare, frecven a sa de lucru trebuie s nu fie mai mare decât frecven a maxim de lucru a AOului, indicat de parametrul f_{MAX} ;

$$f < f_{MAX}$$

În caz contrar, AOul introduce distorsiuni prin limitarea vitezei de varia ie a tensiunii de ie ire, datorit faptului c este incapabil s genereze la ie ire saltul de tensiune necesar în intervalul de timp specific gener rii formei de und ideale.

În continuare, se va stabili dac AOul care func ioneaz în condi iile enun ate în problem , satisface cele 2 condi ii indicate mai sus.

Mai întâi, trebuie determinat intervalul de valori $[V_{Lmin}, V_{Lmax}]$ al tensiunii de intrare diferen iale v_{ID} , care corespunde regiunii liniare. Intervalul de valori al tensiunii de intrare diferen iale v_{ID} care corespunde regiunii liniare se determin dup procedura indicat în problema 1. Astfel, pentru determinarea valorii maxime a intervalului respectiv, rela ia de calcul, dedus în problema 1, este:

$$V_{Lmax} = \frac{V_{CC} - 1[V]}{A_{VAO}}$$

Pentru calcularea valorii V_{Lmax} mai trebuie determinat valoarea amplific rii în tensiune a amplificatorului opera ional. Aceast valoare se determin de pe graficul caracteristicii de frecven a amplificatorului opera ional, în func ie de frecven a de lucru a acestuia, unde frecven a de lucru este dat de frecven a tensiunii de intrare diferen iale.

Apoi, trebuie verificat dac frecven a de lucru a AOului este mai mic decât valoarea frecven ei maxime a AOului, f_{MAX} , pentru care acesta înc nu introduce distorsiuni, în condi iile în care trebuie s genereze la ie irea sa un salt de tensiune Δv_O . Valoarea frecven ei maxime a AOului se determin cu rela ia

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

$$f_{MAX} = \frac{SR}{2 \cdot \Delta v_O} [MHz]$$

a. $v_{ID}(t) = 5 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot t)$ [mV]

Conform expresiei de mai sus, tensiunea de intrare diferen ional v_{ID} este o tensiune sinusoidal , cu frecven a egal cu:

$$f = 10^3 [Hz]$$

Rezult c frecven a de lucru a AOului este

$$f = 10^3 [Hz] = 1 [kHz]$$

Pe baza caracteristicii de frecven a AOului, tiind frecven a de lucru a acestuia, rezult amplificarea în tensiune a AOului: conform caracteristicii de frecven , valoarea parametrului A_{VAO} care corespunde frecven ei **1[kHz]** este **10^3** .

Deci,

$$A_{VAO} = 10^3$$

Rezult

$$V_{Lmax} = \frac{V_{CC} - 1[V]}{A_{VAO}} = \frac{11[V] - 1[V]}{10^3} = \frac{10}{10^3} [V] = 10^{-2} [V] = 10 [mV] \quad V_{Lmax} = 10 [mV]$$

Deoarece $|V_{EE}| = V_{CC}$ limita inferioar a intervalului de valori a lui v_{ID} care corespunde regiunii liniare este: $V_{Lmin} = -10 [mV]$. Deci, intervalul de valori a lui v_{ID} care corespunde regiunii liniare este:

$$[-10mV, +10mV]$$

Deoarece $v_{ID}(t) = 5 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot t)$ [mV] rezult c tensiunea de intrare diferen ional are o form de und sinusoidal , axat pe valoarea medie **0[V]**. Din acest motiv, valoarea minim a acestei tensiuni este

$$v_{IDmin} = -5 [mV]$$

iar valoarea maxim a acestei tensiuni este:

$$v_{IDmax} = +5 [mV]$$

Se constat c este satisf cut condi ia ca AOul s func ioneze în regiunea liniar :

$$\begin{aligned} v_{IDmin} > V_{Lmin} \quad -5 [mV] > -10 [mV] \quad \text{adevar at} \\ v_{IDmax} < V_{Lmax} \quad +5 [mV] < +10 [mV] \quad \text{adevar at} \end{aligned}$$

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare operaționale

deci, AO-ul funcționează în regiunea liniară, iar expresia tensiunii de ieșire a amplificatorului operațional este următoarea:

$$v_O = A_{VAO} \cdot v_{ID}$$

Rezultă :

$$v_O = A_{VAO} \cdot v_{ID} = 1000 \cdot 5 \cdot \sin(2 \cdot 10^3 \cdot t) [mV] = 5 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(2 \cdot 10^3 \cdot t) [V] = 5 \cdot \sin(2 \cdot 10^3 \cdot t) [V]$$

$$v_O = 5 \cdot \sin(2 \cdot 10^3 \cdot t) [V]$$

În continuare, se calculează frecvența maximă a AO-ului până la care acesta nu introduce distorsiuni, în condițiile în care trebuie să genereze la ieșire o variație de tensiune de Δv_O volți.

Frecvența maximă de lucru a AO-ului se determină cu relația $f_{MAX} = \frac{SR}{2 \cdot \Delta v_O} [MHz]$ unde variația de tensiune de Δv_O se determină ca dublul amplitudinii tensiunii de ieșire, notate V_o :

$$\Delta v_O = 2 \cdot V_o$$

Variația tensiunii de ieșire este:

$$v_O = \underset{\substack{\downarrow \\ \text{amplitudine}}}{5} \cdot \sin(2 \cdot 10^3 \cdot t) [V]$$

de unde se deduce că valoarea amplitudinii este:

$$V_o = 5 [V]$$

de unde se deduce valoarea variației maxime a tensiunii de ieșire:

$$\Delta v_O = 2 \cdot V_o = 2 \cdot 5 [V] = 10 [V] \qquad \Delta v_O = 10 [V]$$

În calculul numeric al frecvenței maxime de lucru a AO-ului, parametrul **SR** se introduce exprimat în volți/microsecundă, variația tensiunii de ieșire Δv_O se introduce în volți, iar valoarea frecvenței f_{MAX} va rezulta automat exprimată în megaherți:

$$f_{MAX} = \frac{SR}{2 \cdot \Delta v_O} = \frac{0.5 \left[\frac{V}{\mu s} \right]}{2 \cdot 10 [V]} = \frac{0.5}{2 \cdot 3.14 \cdot 10} [MHz] = \frac{5}{6.28} \cdot 10^{-2} [MHz] = 0.796 \cdot 10^{-2} [MHz] = 7.96 \cdot 10^{-3} [MHz]$$

$$f_{MAX} = 7.96 [kHz]$$

În final, se compară valoarea frecvenței de lucru a AO-ului, cu frecvența sa maximă de lucru. Frecvența de lucru a AO-ului este dată de frecvența tensiunii de intrare diferențiale, v_{ID} , deci frecvența de lucru a AO-ului este (așa cum deja s-a amintit):

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare operaționale

$$f = 1[\text{kHz}]$$

Se constată că

$$f < f_{MAX} \quad (1[\text{kHz}] < 7.96[\text{kHz}])$$

deci, AO-ul nu introduce distorsiuni prin limitarea tensiunii de ieșire.

b. $v_{ID}(t) = 5 \cdot \sin(2\pi \cdot 10^5 \cdot t)$ [mV]

Conform expresiei de mai sus, tensiunea de intrare diferențială v_{ID} este o tensiune sinusoidală, cu frecvența egală cu:

$$f = 10^5[\text{Hz}]$$

Rezultă că frecvența de lucru a AO-ului a crescut față de punctul precedent la valoarea

$$f = 10^5[\text{Hz}] = 100[\text{kHz}]$$

Pe baza caracteristicii de frecvență a AO-ului, fiind frecvența de lucru a acestuia, rezultă amplificarea în tensiune a AO-ului: conform caracteristicii de frecvență, valoarea parametrului A_{VAO} care corespunde frecvenței **100[kHz]** este **10^2** .

Deci,

$$A_{VAO} = 10^2$$

Rezultă

$$V_{Lmax} = \frac{V_{CC} - 1[V]}{A_{VAO}} = \frac{11[V] - 1[V]}{10^2} = \frac{10}{10^2}[V] = 10^{-1}[V] = 100[mV] \quad V_{Lmax} = 100[mV]$$

Deoarece $|V_{EE}| = V_{CC}$ limita inferioară a intervalului de valori a lui v_{ID} care corespunde regiunii liniare este: $V_{Lmin} = -100[mV]$. Deci, intervalul de valori a lui v_{ID} care corespunde regiunii liniare este:

$$[-100mV, +100mV]$$

Valoarea minimă, respectiv maximă a tensiunii de intrare diferențiale rămâne nemodificată față de punctul precedent, deci

$$v_{IDmin} = -5[mV] \quad v_{IDmax} = +5[mV]$$

Se constată că este satisfăcută condiția ca AO-ul să funcționeze în regiunea liniară :

$$\begin{aligned} v_{IDmin} > V_{Lmin} \quad -5[mV] > -100[mV] \quad \text{adevarat} \\ v_{IDmax} < V_{Lmax} \quad +5[mV] < +100[mV] \quad \text{adevarat} \end{aligned}$$

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare opera ionale

deci, AOul func ioneaz în regiunea liniar , iar expresia tensiunii de ie ire a amplificatorului opera ional este urm toarea:

$$v_O = A_{VAO} \cdot v_{ID}$$

Rezult :

$$v_O = A_{VAO} \cdot v_{ID} = 100 \cdot 5 \cdot \sin(2 \cdot 10^5 \cdot t) [mV] = 5 \cdot 10^2 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(2 \cdot 10^5 \cdot t) [V] = 0.5 \cdot \sin(2 \cdot 10^5 \cdot t) [V]$$

$$v_O = 0.5 \cdot \sin(2 \cdot 10^5 \cdot t) [V]$$

În continuare, se calculeaz frecven a maxim de lucru a AOului, pîn la care acesta nu introduce distorsiuni, în condi iile în care trebuie s genereze la ie irea sa o varia ie de tensiune de Δv_O vol i.

Expresia varia iei tensiunii de ie ire este:

$$v_O = \underset{\substack{\downarrow \\ \text{amplitudine}}}{0.5} \cdot \sin(2 \cdot 10^5 \cdot t) [V]$$

de unde se deduce c valoarea amplitudinii este:

$$V_o = 0.5 [V]$$

de unde se deduce valoarea varia iei maxime a tensiunii de ie ire:

$$\Delta v_O = 2 \cdot V_o = 2 \cdot 0.5 [V] = 1 [V] \qquad \Delta v_O = 10 [V]$$

Pentru aceast valoare a varia iei tensiunii de ie ire, frecven a maxim de lucru a AOului devine:

$$f_{MAX} = \frac{SR}{2 \cdot \Delta v_O} = \frac{0.5 \left[\frac{V}{\mu s} \right]}{2 \cdot 1 [V]} = \frac{0.5}{2 \cdot 3.14 \cdot 1} [MHz] = \frac{5}{6.28} \cdot 10^{-1} [MHz] = 0.796 \cdot 10^{-1} [MHz] = 7.96 \cdot 10^{-2} [MHz]$$

$$f_{MAX} = 79.6 [kHz]$$

În final, se compar valoarea frecven ei de lucru a AOului, cu frecven a sa maxim de lucru. Frecven a de lucru a AOului este dat de frecven a tensiunii de intrare diferen iale, v_{ID} , deci frecven a de lucru a AOului este (a a cum deja s-a amintit):

$$f = 100 [kHz]$$

Se constat c

$$f > f_{MAX} \quad (100 [kHz] < 79.6 [kHz])$$

În acest caz, concluzia este c , de i AOul lucreaz în regiunea liniar , introduce distorsiuni, iar cauza distorsiunilor este reprezentat de limitarea vitezei de varia ie a tensiunii de ie ire.

c. $v_{ID}(t) = 50 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot t) [mV]$

Conform expresiei de mai sus, tensiunea de intrare diferen ial v_{ID} este o tensiune sinusoidal , cu frecven a egal cu:

$$f = 5 \cdot 10^3 [Hz]$$

Rezult c frecven a de lucru a AOului este

$$f = 5 \cdot 10^3 [Hz] = 5 [kHz]$$

Pe baza caracteristicii de frecven a AOului, tiind frecven a de lucru a acestuia, rezult amplificarea în tensiune a AOului: conform caracteristicii de frecven , valoarea parametrului A_{VAO} care corespunde frecven ei **5[kHz]** este **500**.

Deci,

$$A_{VAO} = 500$$

Rezult

$$V_{Lmax} = \frac{V_{CC} - 1[V]}{A_{VAO}} = \frac{11[V] - 1[V]}{5 \cdot 10^2} = \frac{10}{5} \cdot 10^{-2} [V] = 20 [mV] \quad V_{Lmax} = 20 [mV]$$

Deoarece $|V_{EE}| = V_{CC}$ limita inferioar a intervalului de valori a lui v_{ID} care corespunde regiunii liniare este: $V_{Lmin} = -20 [mV]$. Deci, intervalul de valori a lui v_{ID} care corespunde regiunii liniare este:

$$[-20mV, +20mV]$$

Deoarece $v_{ID}(t) = 50 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot t) [mV]$ rezult c tensiunea de intrare diferen ial are o form de und sinusoidal , axat pe valoarea medie **0[V]**. Din acest motiv, valoarea minim a acestei tensiuni este

$$v_{IDmin} = -50 [mV]$$

iar valoarea maxim a acestei tensiuni este:

$$v_{IDmax} = +50 [mV]$$

Se constat c NU este satisf cut condi ia ca AOul s func ioneze în regiunea liniar :

$$\begin{aligned} v_{IDmin} > V_{Lmin} \quad -50 [mV] > -10 [mV] \quad & fals \\ v_{IDmax} < V_{Lmax} \quad +50 [mV] < +10 [mV] \quad & fals \end{aligned}$$

deci, AOul func ioneaz în regiunea de satura ie, iar expresia tensiunii de ie ire a amplificatorului opera ional este urm toarea:

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare operaționale

$$v_O = \begin{cases} V_{SAT}^+ & v_{ID} \geq 0 \\ V_{SAT}^- & v_{ID} < 0 \end{cases}$$

Conform definiției, tensiunile de saturație se pot determina cu relațiile:

$$V_{SAT}^+ = V_{CC} - 1[V] \qquad V_{SAT}^- = V_{EE} + 1[V]$$

$$V_{SAT}^+ = V_{CC} - 1[V] = 11[V] - 1[V] = 10[V] \qquad V_{SAT}^- = V_{EE} + 1[V] = -11[V] + 1[V] = -10[V]$$

Aadar,

$$v_O = \begin{cases} +10[V] & v_{ID} \geq 0 \\ -10[V] & v_{ID} < 0 \end{cases}$$

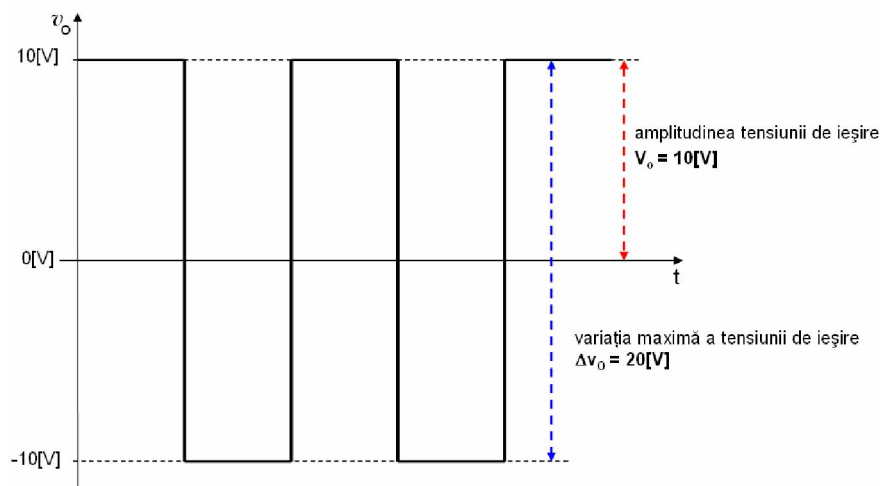
În concluzie, amplificatorul introduce distorsiuni prin intrarea în regiunea de saturație. În acest caz, forma de undă a tensiunii de ieșire rezultă dreptunghiulară, fiind caracterizată de salturi de tensiune între 2 niveluri, reprezentate de tensiunile de saturație.

În continuare, se calculează frecvența maximă de lucru a A.O-ului, pînă la care acesta nu introduce distorsiuni, în condițiile în care trebuie să genereze la ieșire o variație de tensiune egală cu Δv_O volți.

În acest caz, expresia tensiunii de ieșire este:

$$v_O = \begin{cases} +10[V] & v_{ID} \geq 0 \\ -10[V] & v_{ID} < 0 \end{cases}$$

Forma de undă a tensiunii de ieșire este de formă dreptunghiulară, prezentând salturi între **-10[V]** și **+10[V]**, așa cum este indicat în figura de mai jos.



Din acest motiv, valoarea amplitudinii este:

$$V_o = 10[V]$$

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 10 DEEA
Amplificatoare operaționale

de unde se deduce valoarea variației maxime a tensiunii de ieșire:

$$\Delta v_O = 2 \cdot V_O = 2 \cdot 10[V] = 20[V]$$

$$\Delta v_O = 20[V]$$

Rezult :

$$f_{MAX} = \frac{SR}{2 \cdot \Delta v_O} = \frac{0.5 \left[\frac{V}{\mu s} \right]}{2 \cdot 20[V]} = \frac{0.5}{2 \cdot 3.14 \cdot 2 \cdot 10} [MHz] = \frac{5}{12.56} \cdot 10^{-2} [MHz] = 0.398 \cdot 10^{-2} [MHz] = 3.98 \cdot 10^{-3} [MHz]$$

$$f_{MAX} = 3.98[kHz]$$

Se compară valoarea frecvenței de lucru a AOului, cu frecvența sa maximă de lucru. Frecvența de lucru a AOului este dată de frecvența tensiunii de intrare diferențiale, v_{ID} , deci frecvența de lucru a AOului este (așa cum deja s-a amintit):

$$f = 5[kHz]$$

Se constată că

$$f > f_{MAX} \quad (5[kHz] < 3.98[kHz])$$

deci, AOul introduce distorsiuni prin limitarea vitezei de variație a tensiunii de ieșire. Forma de undă generată la ieșirea amplificatorului este prezentată în figura de mai jos, din care se remarcă faptul că, saltul de tensiune între $-10[V]$ și $+10[V]$ este generat de către circuit într-un interval de timp Δt diferit de 0, datorită limitării vitezei de variație a tensiunii de ieșire (la o formă de undă dreptunghiulară, saltul de tensiune între $-10[V]$ și $+10[V]$ este generat într-un interval de timp Δt care tinde la 0).

