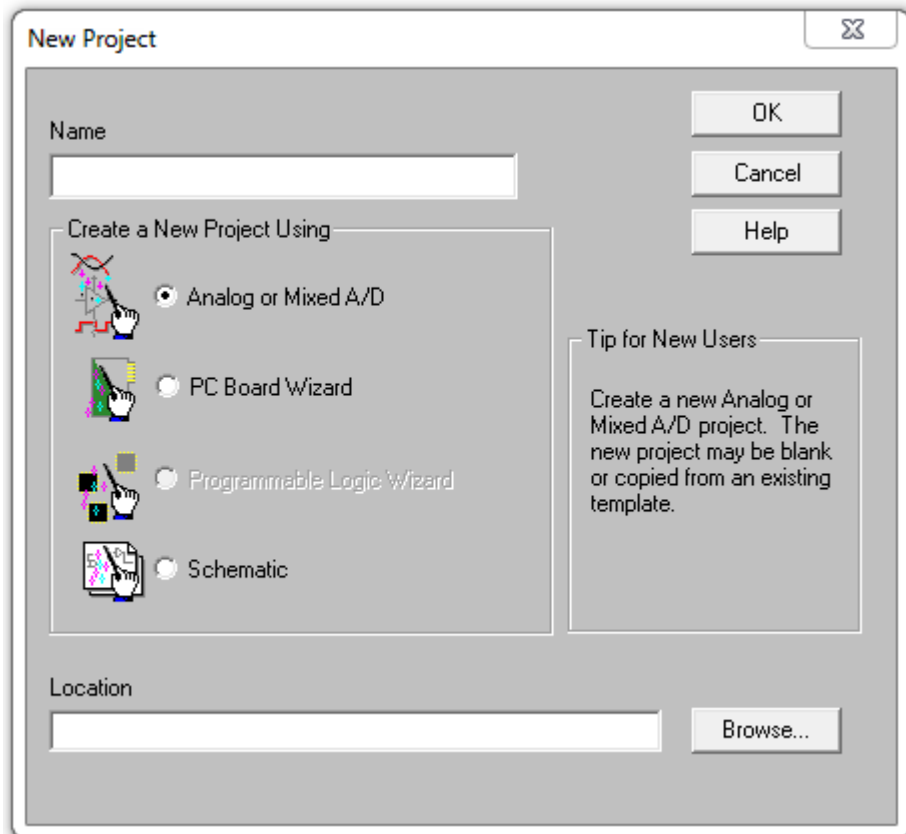


Introducere in programul PSpice

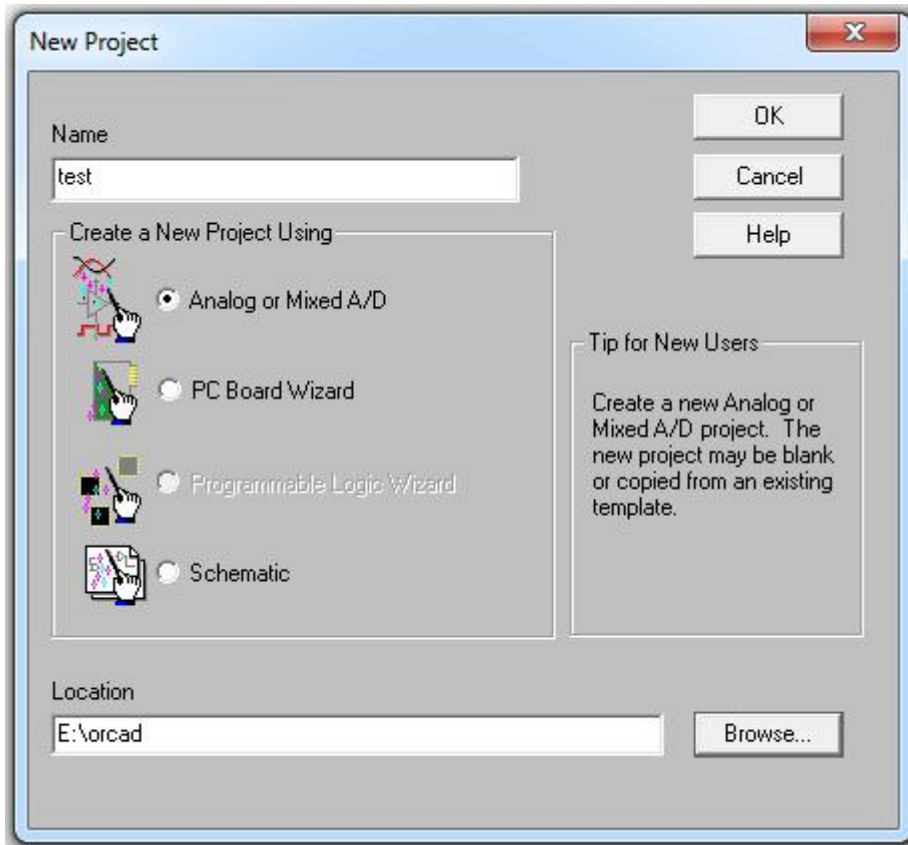
Programul PSpice este un program de simulare a circuitelor analogice. Programul are o parte de desenare a schemei, numita Capture CIS si o parte de analiza a circuitului (motorul de calcul - engine). Legatura dintre cele doua parti este asigurata de un “parser” (analizor de lexica), care transforma desenul in forma matriciala a ecuatiilor de circuit bazate pe teorema tensiunilor de noduri (TTN). Inainte de a incepe simularea propriu-zisa, trebuie configurate optiunile de simulare, numite in PSpice “Simulation Profile”, ce contine analizele de circuit propuse si optiunile pentru aceste analize. Partea finala a programului este cea de afisare grafica sau tabelara a rezultatelor.

Se deschide din familia de programe Orcad programul **Capture CIS** pentru desenarea schemei. Pentru a crea un proiect nou se deschide “File”, “New”, “Project”.

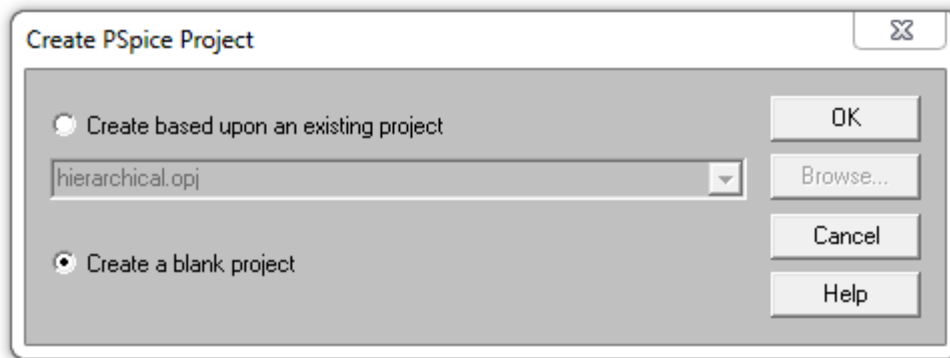
In fereastra care apare:



Se denumeste proiectul (nume de fisier, conform standardului Windows), se bifeaza Analog or Mixed A/D (celelalte optiuni sunt pentru realizarea unui cablaj PCB sau doar desenare de schema “schematic”). Analog or Mixed A/D permite legatura intre programul de desenare si cel de simulare a schemei. La locatie “Location” este de preferat sa se creeze un folder (director) separat de cel in care se gaseste instalat programul, de preferinta folderul “student_grupa_xxxx”.



Urmatoarea fereastră da posibilitatea alegerii între a crea un proiect gol (blank project) sau mostenit dintr-un proiect mai vechi. Se va selecta prima opțiune (adică blank project):



Acum proiectul este creat și se poate desena schema.

În partea dreapta avem butoanele necesare desenării schemei. Se remarcă simbolurile:



- permite introducerea de componente electronice



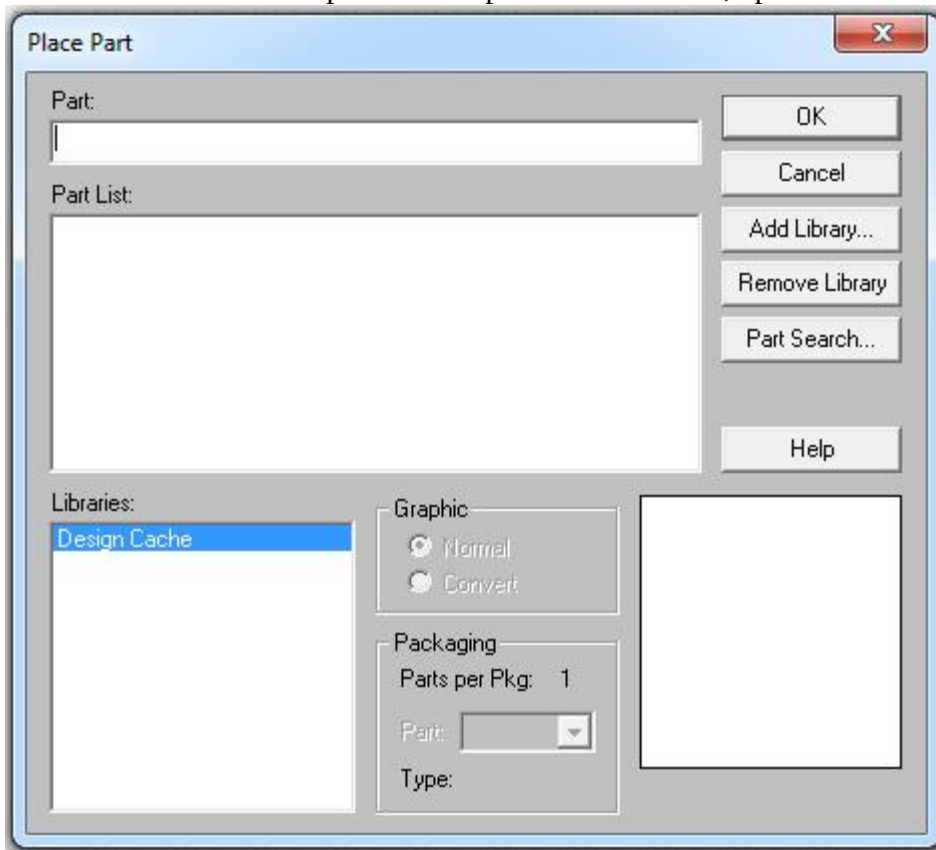
- permite introducerea de fire de legatura dintre componente



- permite introducerea simbolului de masă

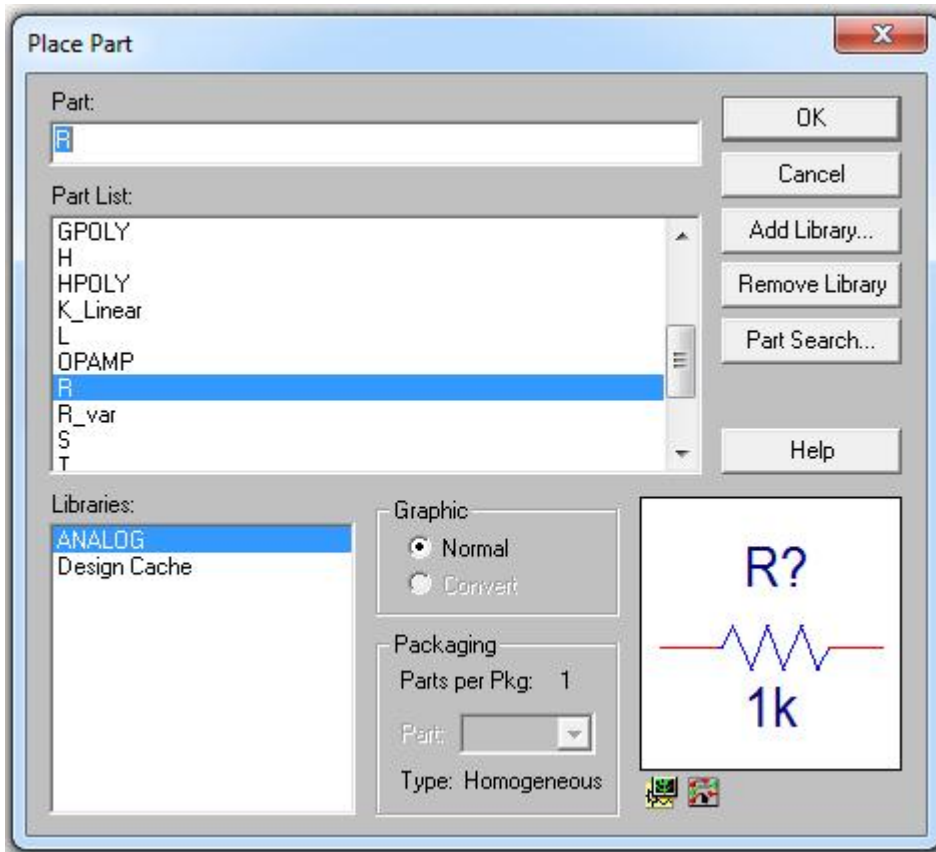
Componentele sunt organizate în biblioteci de componente grupate pe tipuri de componente.

Pentru a introduce o componenta se apasa butonul , apare urmatoarea fereastra:



La prima utilizare a programului se introduc pe rand bibliotecile necesare, prin apasarea butonului "Add Library", sau daca se cunoaste numele componentei se cauta apasand "Part Search".

- **Elemente pasive:** R, L, C: se adauga biblioteca "analog" din care se pot selecta componentele dorite. Componentele pasive din aceasta biblioteca sunt ideale si nu tin cont de variatia cu temperatura sau tensiunea aplicata pe ele. Componenta se poate roti apasand litera R cand componenta este activata sau dand click pe ea, din meniul corespunzator valorii componentei respective. Componentele au o valoare implicita (ex. R=1k), modificarea valorii se poate efectua dand click pe valoarea componentei respective.

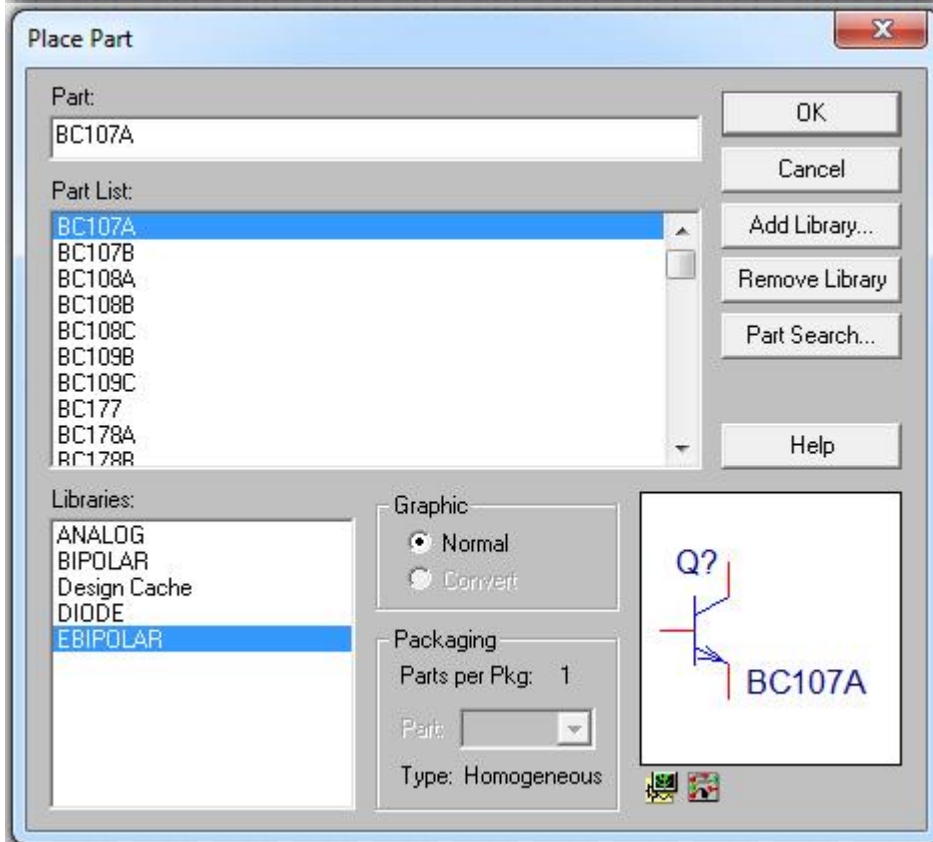
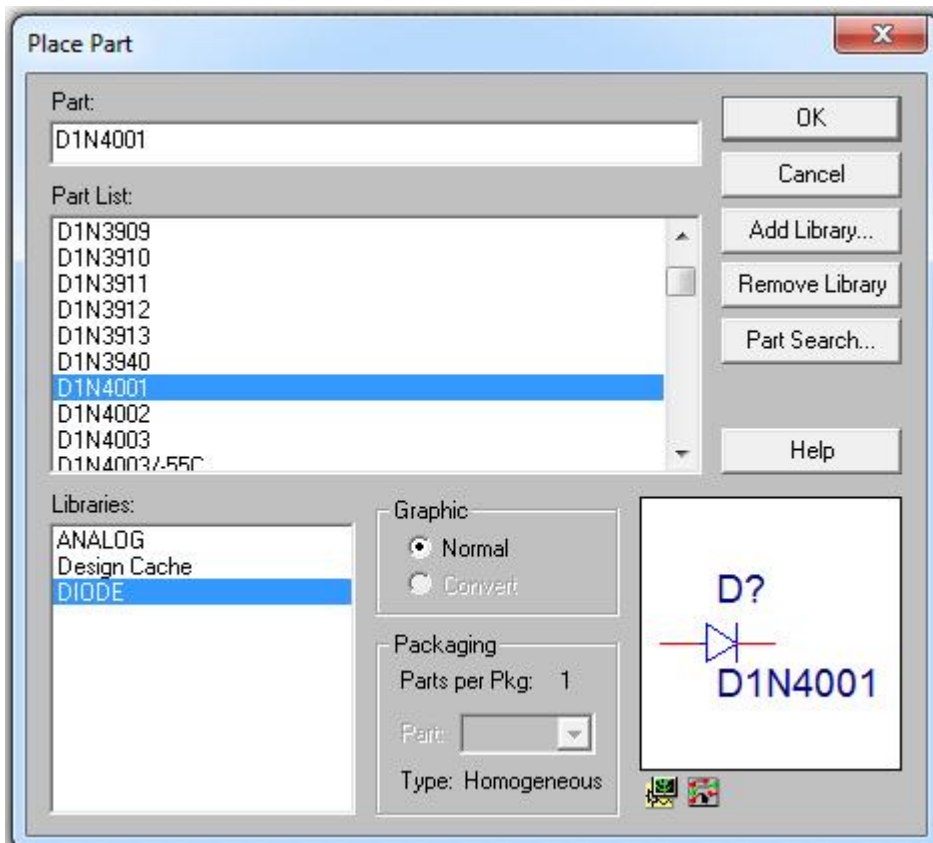


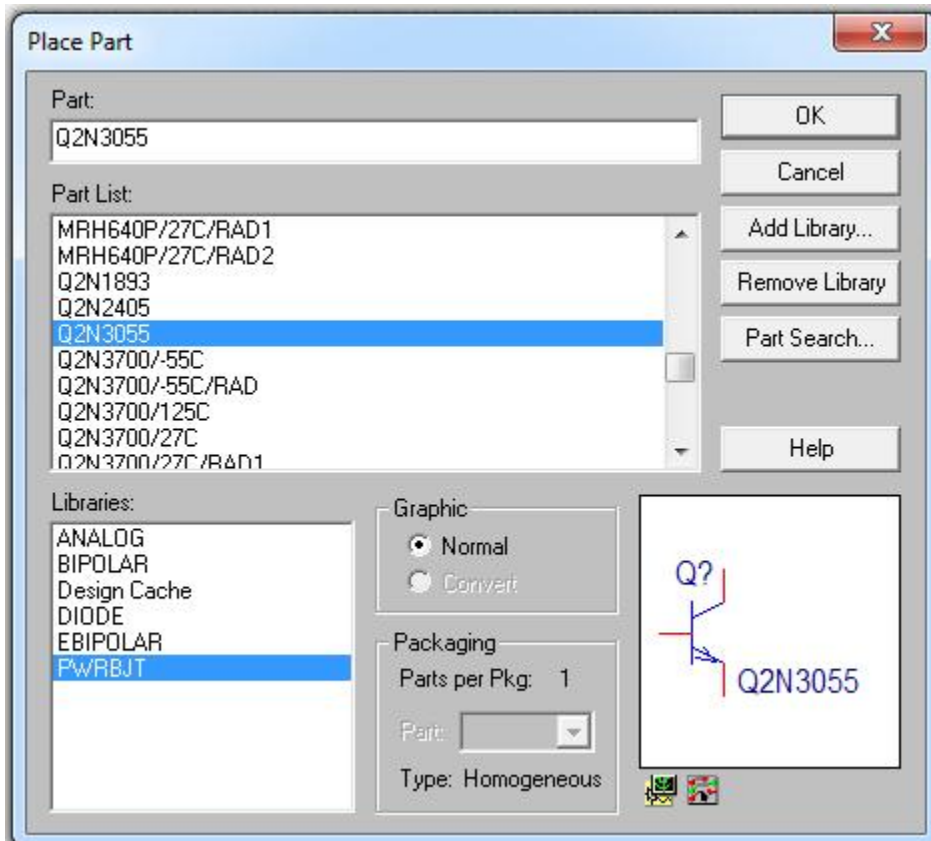
Similar se plaseaza pe foaia de desen toate componentele pasive.

-Semiconductoare:

Diode semiconductoare: se selecteaza biblioteca "diode" si spre exemplu o dioda de joasa frecventa, utilizata in redresare 1N4001

Tranzistoare bipolare: sunt mai multe biblioteci, functie de firma producatoare. Spre exemplu se poate selecta biblioteca "ebipolar" si tranzistoarele BC107(A,B,C)-BC109 pentru npn, sau BC177(A,B,C)-BC179 pentru pnp. Sunt tranzistoare de mica putere, semnal mic. Pentru puteri mai mari se poate selecta din biblioteca PWRBJT tranzistorul 2N3055 de tip npn.



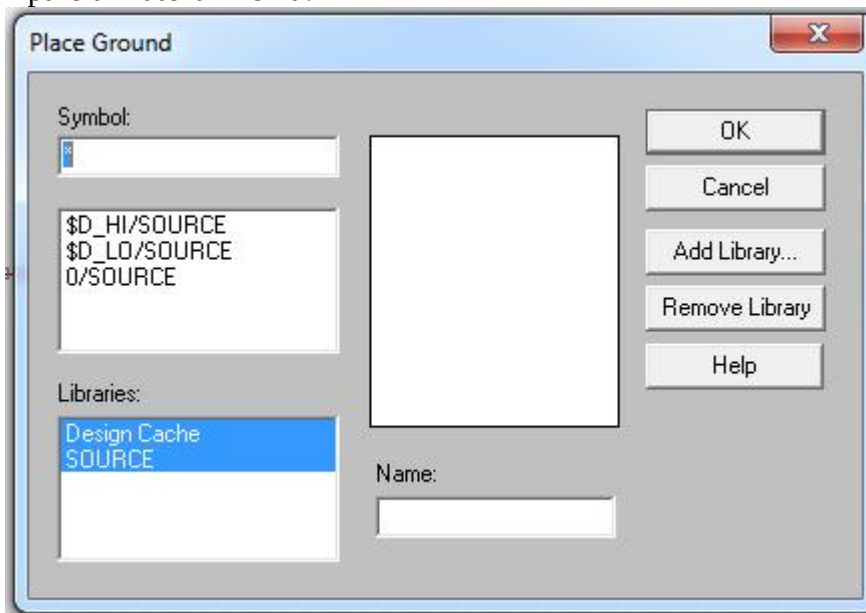


Plasarea masei (GND): In PSpice masa (GND) este putin ascunsa, mai greu de gasit. Pentru a plasa corect masa, avand in vedere ca masei i se atribuie automat numerotarea de nod 0 se procedeaza astfel:

Din butoanele din partea dreapta se selecteaza butonul GND:



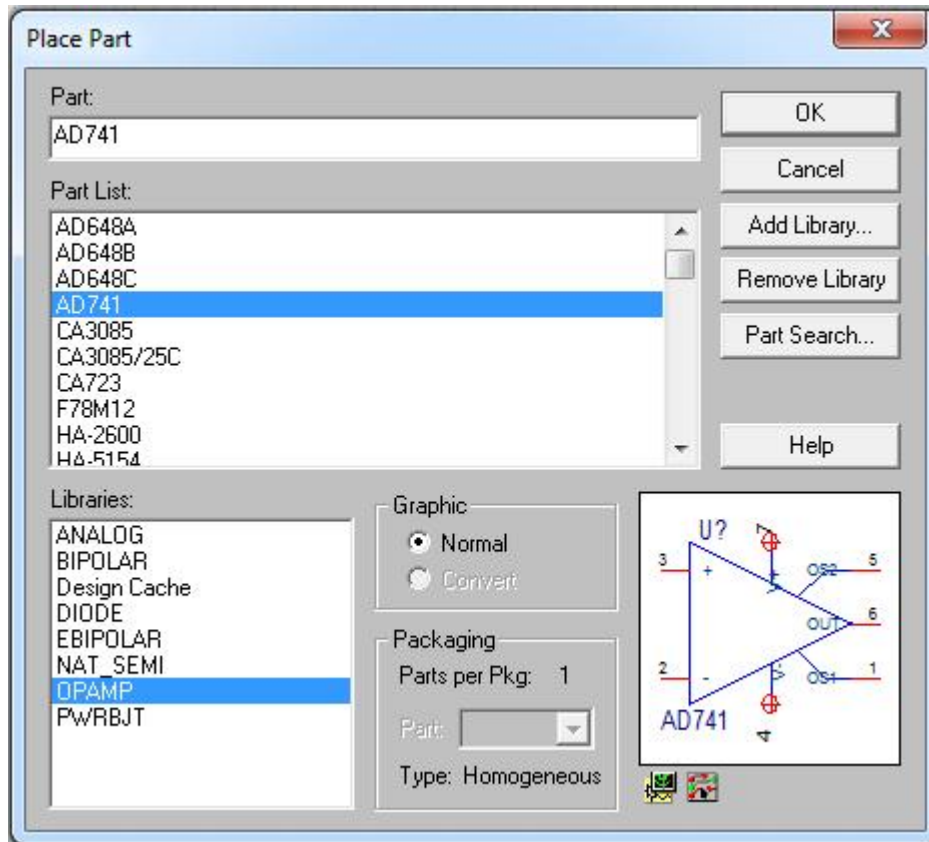
Apare urmatorul meniu:



Se selecteaza biblioteca SOURCE si componenta 0/SOURCE.

Simbolul desenat trebuie sa arate asa: . Orice alt simbol de GND da erori la crearea netlistului (lista de noduri utilizata pentru simulare).

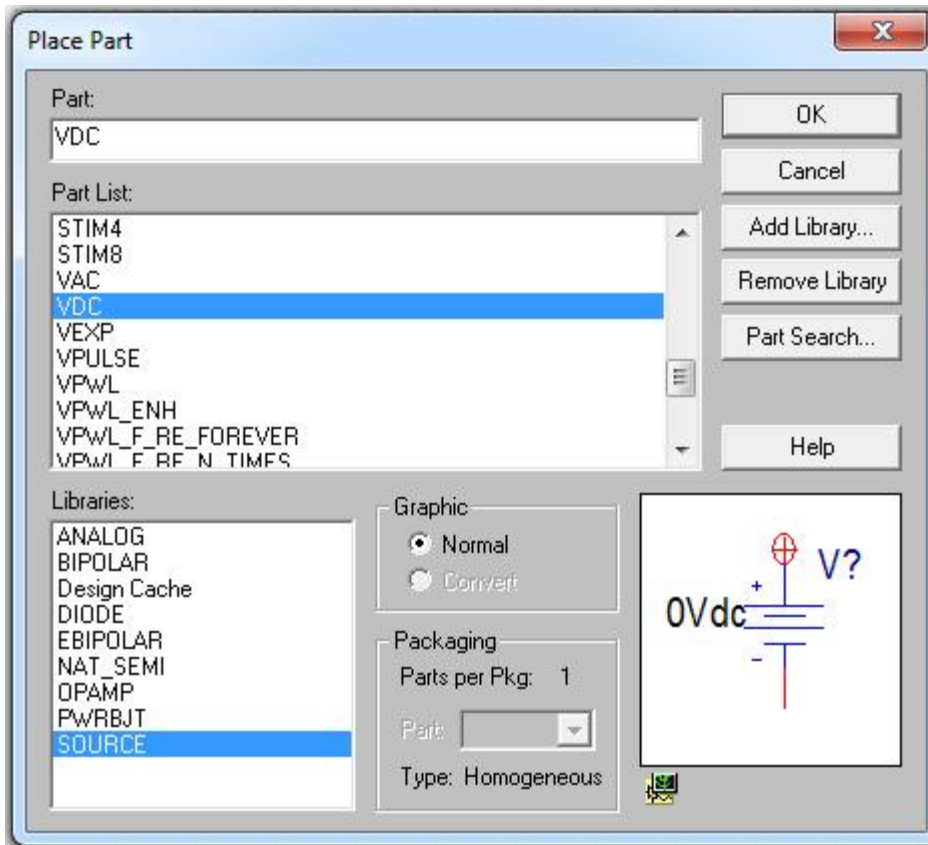
-Amplificatoare operationale: AO din familia 741 se pot gasi in bibliotecile NAT_SEMI OPAMP (de la National Semiconductors), LM741/OPAMP; AD741/OPAMP de la Analog Devices in biblioteca OPAMP.



Surse independente de tensiune

Exista mai multe tipuri de surse de tensiune, functie de tipul analizei dorite a fi efectuate:

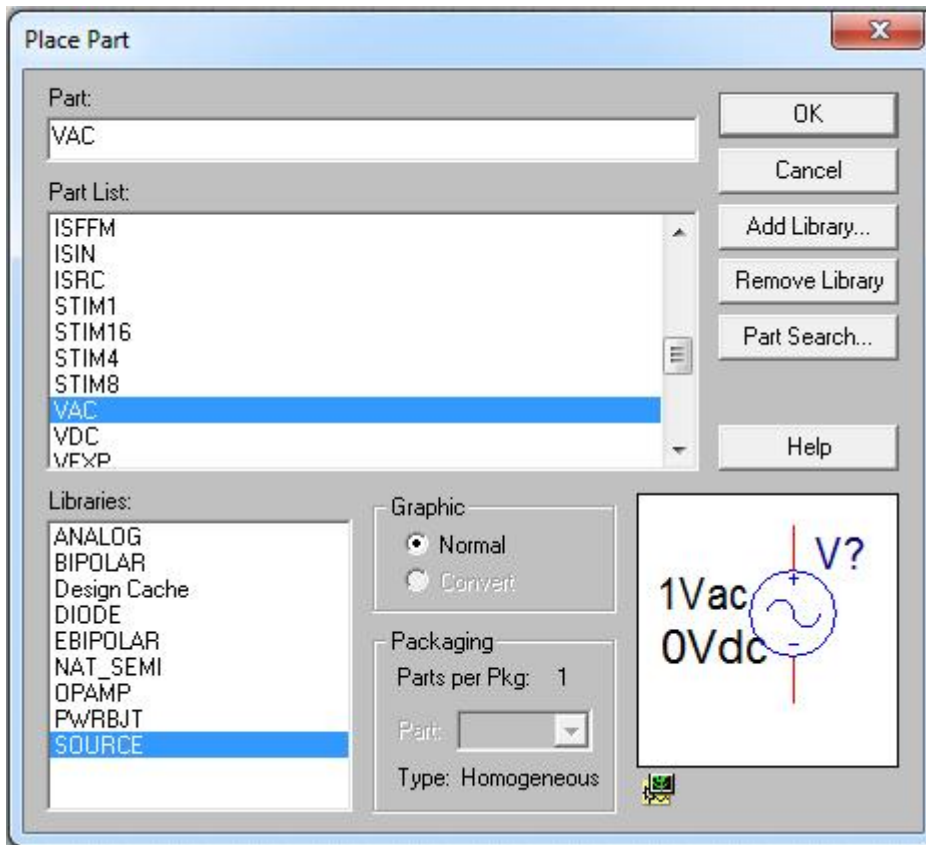
1. **Sursa de curent continuu** (engl. DC = direct current), in PSpice este notata cu VDC. Se apeleaza cu butonul de componente din biblioteca SOURCE.



Valoarea implicita este zero, aceasta valoare se poate modifica facand click pe valoarea sursei. Plusul sursei este indicat in simbol. Este utilizata ca sursa de alimentare a circuitului sau la circuite de curent continuu.

2. Sursa de tensiune de semnal mic. In analiza de semnal mic a unui circuit se presupune ca sursa de intrare este sinusoidala si are o amplitudine suficient de mica incat circuitul sa poata fi aproximat ca fiind liniar. Valoarea implicita este 1, pentru usurinta determinarii functiilor de transfer sau a amplificarii unui circuit. Valoarea de 1V atribuita implicit, nu are semnificatia de 1Volt, ci de valoare egala cu 1 (simbolic). Denumirea sursei este VAC, valoarea de c.a. este 1 si se poate impune si o valoare de c.c. (offset sau valoare de mod comun). Se selecteaza tot din butonul de componente, biblioteca SOURCE.

Analiza de semnal mic este o analiza in domeniul frecventa, care da functia de transfer a circuitului, castigul si defazajul dintre intrare si iesire, prin baleierea frecventelor intr-un interval specificat (vom reveni).



3. Surse pentru analiza tranzitorie in domeniul timp. Analiza tranzitorie in domeniul timp integreaza in domeniul timp ecuatiile diferentiale ce caracterizeaza circuitul. Rezultatele sunt forme de unda ce rezulta din excitarea circuitului la diverse surse de tensiune sau curent exprimate tot in domeniul timp.

-VPULSE - genereaza o forma de unda aproximativ dreptunghiulara cu urmatoorii parametri:

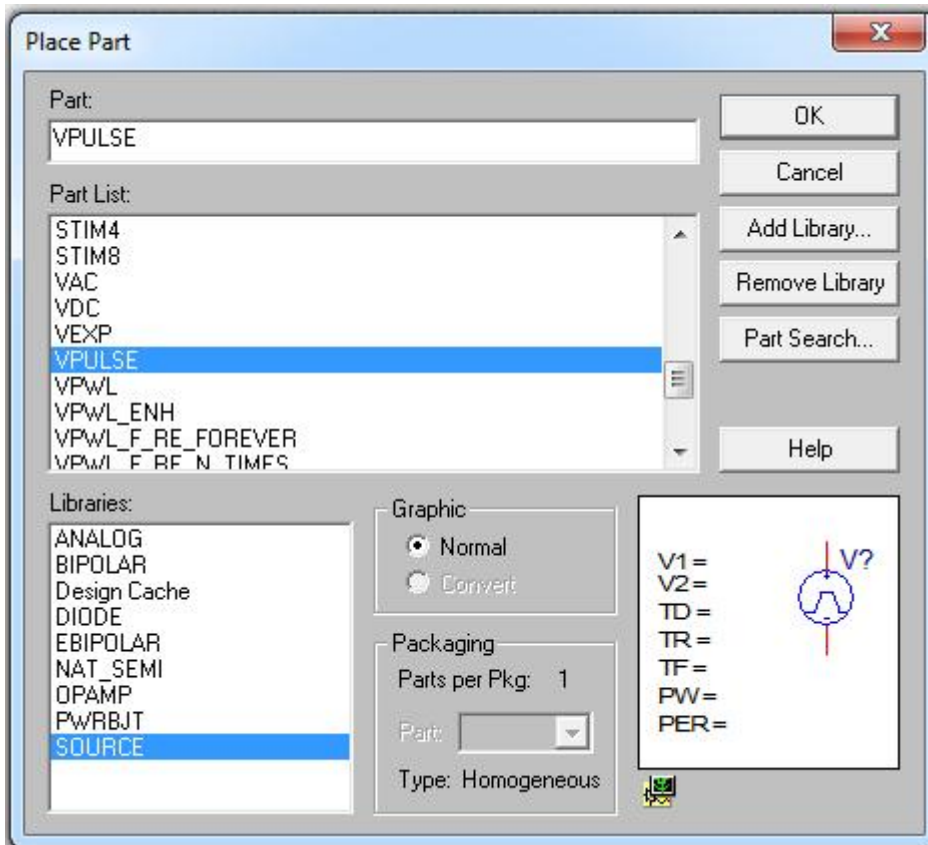
V1, V2 cele doua nivele de tensiune intre care oscileaza forma de unda dreptunghiulara

TD - timpul de intarziere fata de momentul 0, de la care porneste forma de unda

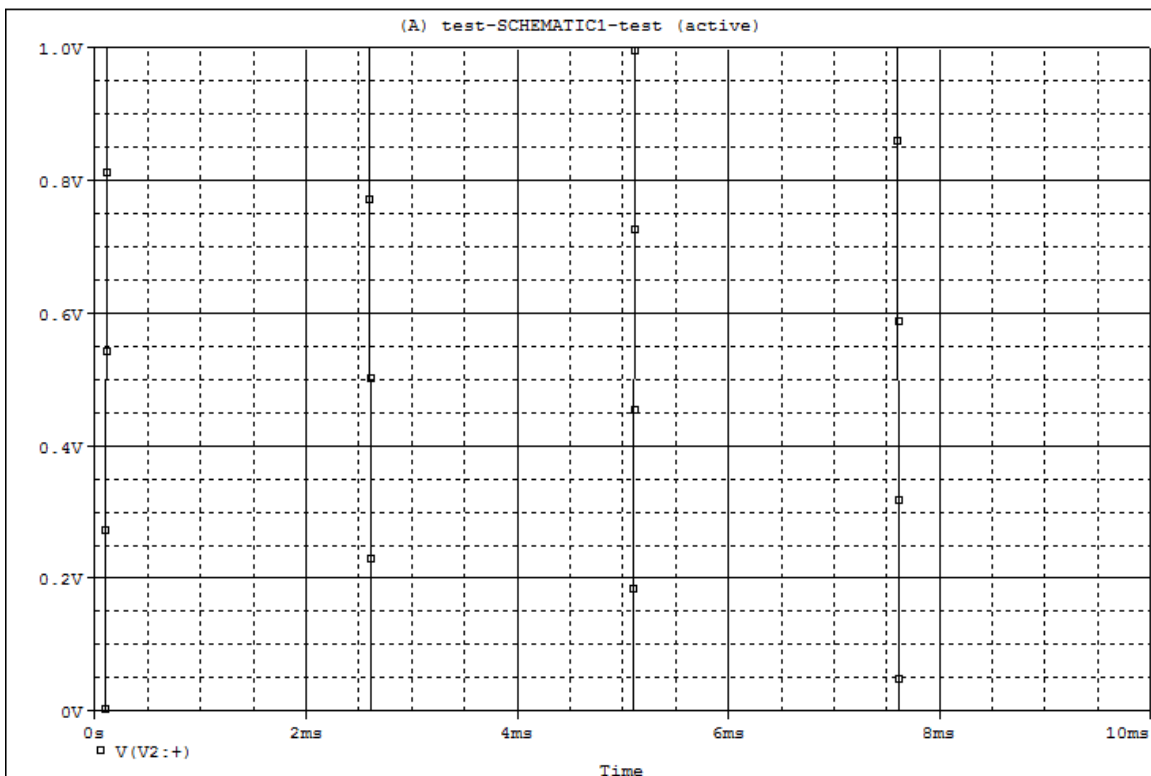
TR, TF - timpii de crestere si descrestere pe flancurile formei dreptunghiulare (ideal =0, real nu poate fi zero pentru ca ar avea derivata infinita).

PW - pulse width (latimea pulsului) sau factorul de umplere, durata cat semnalul este in starea logica "1", adica V2

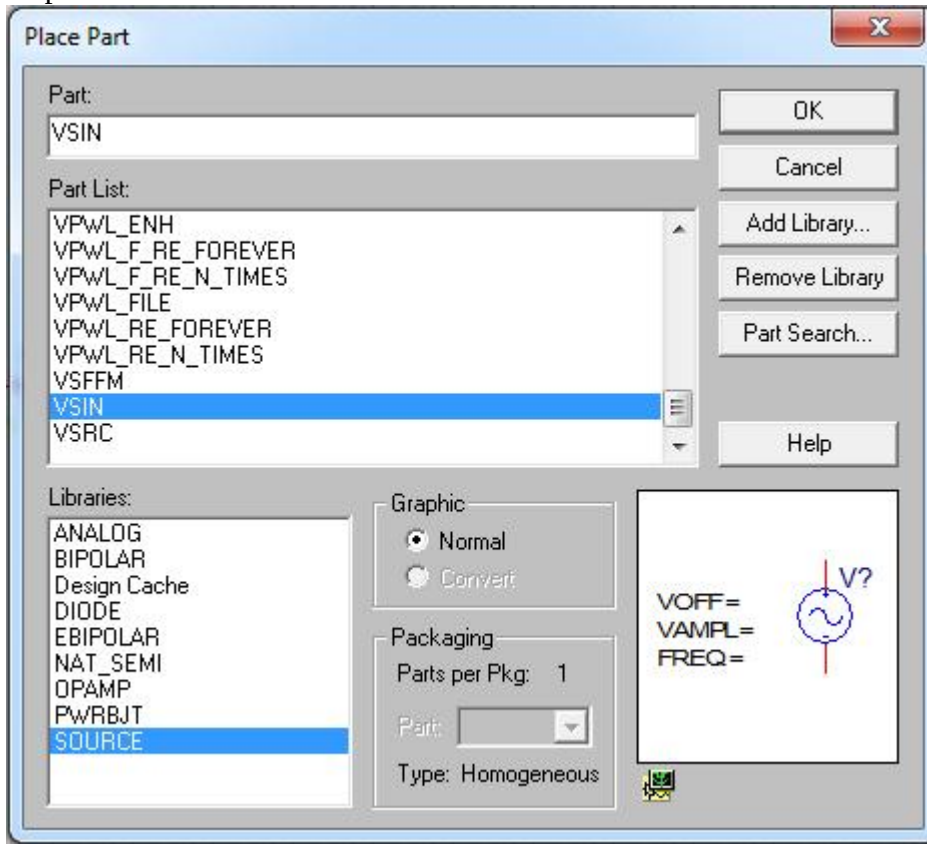
PER - perioada semnalului



Forma de unda pentru o sursa cu $V1=0$, $V2=1$, $TD=100\mu$, $TR=TF=20\mu S$, $PW=2.48mS$, $PER=5mS$



VSIN - genereaza o tensiune cu forma de unda sinusoidala. Impreuna cu analiza tranzitorie permite vizualizarea si calcularea distorsiunilor armonice pentru un amplificator de semnal.



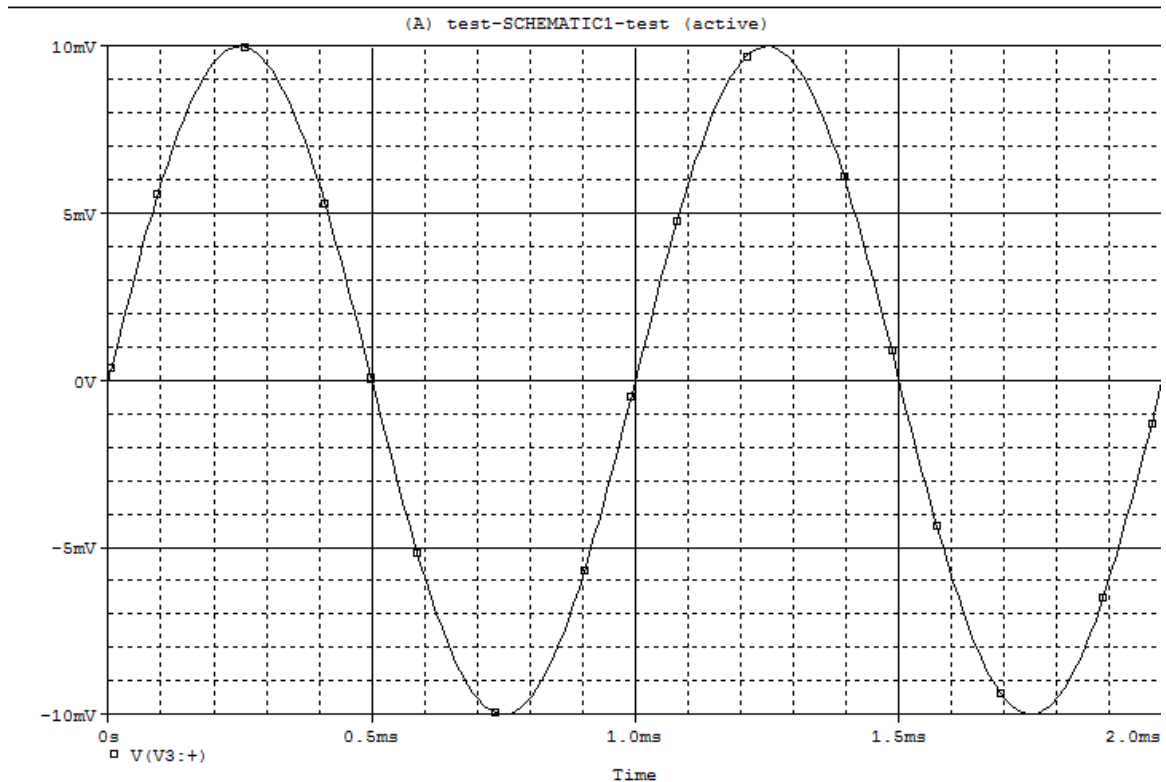
Parametri:

VOFF - offsetul, componenta de curent continuu

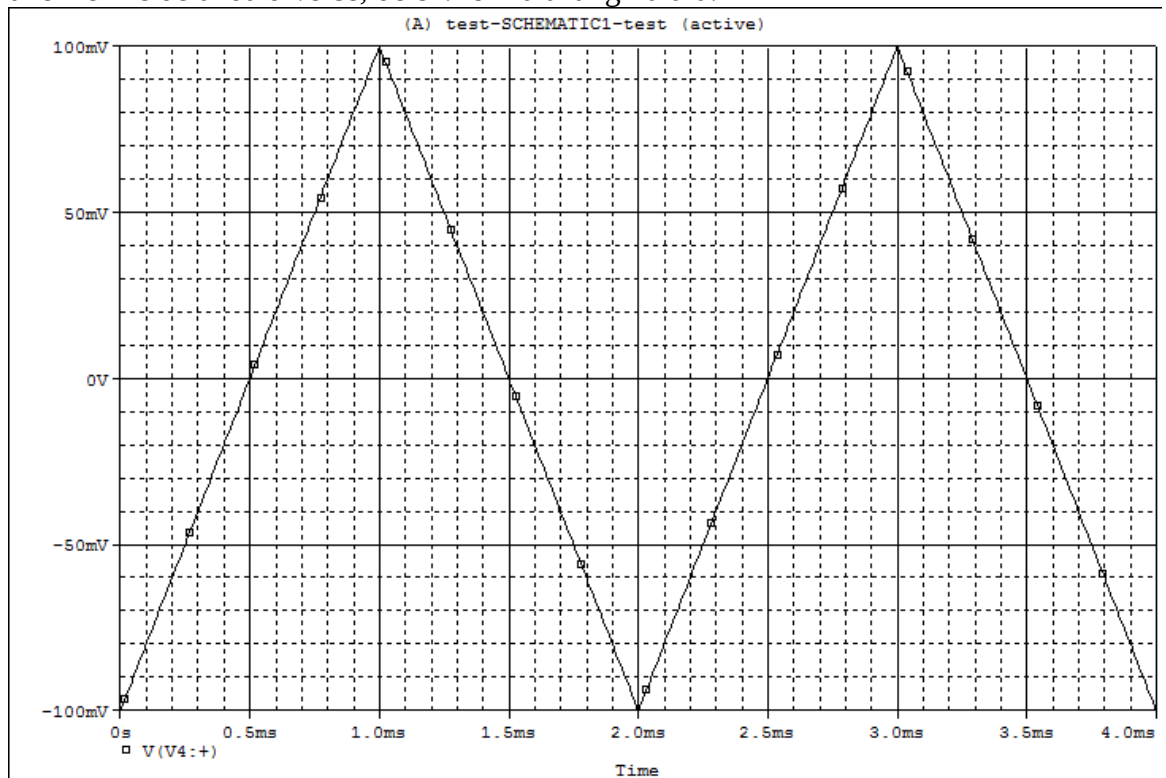
VAMPL - amplitudinea sinusoidei

FREQ - frecventa sinusoidei

Exemplu pentru VAMPL=10mV si f=1kHz.



VPWL - forma de unda definita prin puncte, liniarizata pe portiuni. Permite definirea unor forme de unda diverse, de ex. forma triunghiulara.



Pentru sursele de curent tipurile de surse sunt aceleasi ca la sursele de tensiune, avanda aceiasi parametri, numai ca in loc sa se masoare in Volți sau submultipli se masoara in Amperi sau submultipli.

Tipurile principale de analiza in PSpice:

-**Bias Point** - punctul de polarizare sau PSF. Este analiza de curent continuu a circuitului, care stabileste curenții prin circuit și punctul de polarizare al tranzistorului bipolar sau MOS. După calculul PSF programul stabileste principalii parametri ai transistorului pentru analiza de semnal mic: g_m , r_π , β_{DC} , și β_{AC} , r_o , etc. Acești parametri se găsesc sub forma de tabel în fisierul de ieșire, Output File. Analiza se face la o temperatură specificată, de regula 27°C (300K).

-**DC Sweep** - Este o analiză de curent continuu, repetată funcție de variația unui parametru. Acest parametru poate fi temperatura (ne arată cum variază PSF cu temperatura), un parametru din modelul tranzistorului (de ex. B - ne arată modificarea PSF la modificarea β), tensiunea de alimentare, etc.

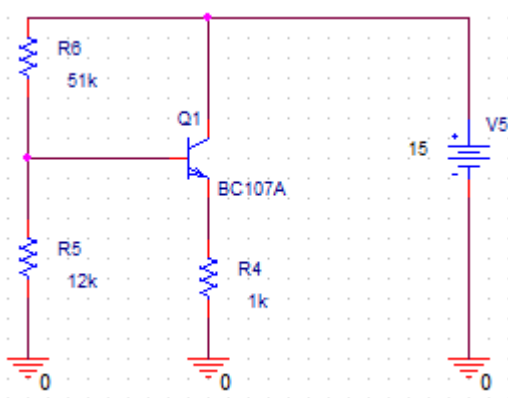
-**AC Sweep** - este o analiză de semnal mic pe modelul liniarizat al tranzistoarelor, repetată pe intervalul de frecvențe specificat. Se poate determina caracteristica amplificării-frecvență, impedanțele de intrare și ieșire funcție de frecvență, etc.

- **Transient** - este analiza tranzitorie în domeniul timp. Programul rezolvă ecuațiile diferențiale neliniare ce caracterizează circuitul, utilizând modelele neliniare ale tranzistoarelor. Raspunsul este o formă de undă reprezentată grafic, funcție de timp. Pe baza rezultatului calculat, utilizând transformata FFT se pot determina distorsiunile semnalului de ieșire la excitație sinusoidală la intrarea amplificatorului. Această analiză se utilizează când semnalul de intrare este mare și dispozitivele semiconductoare (diode, tranzistoare) nu pot fi liniarizate.

Aplicații:

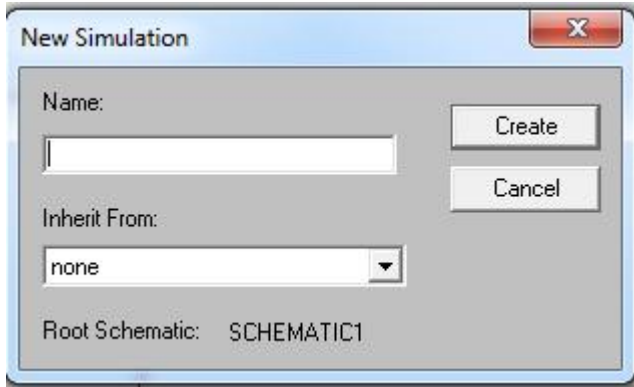
Polarizarea tranzistorului bipolar

Ne propunem realizarea unui circuit de polarizare cu divizor de tensiune în baza tranzistorului, pentru un curent de polarizare $I_c=2\text{mA}$. Se alege căderea de tensiune pe rezistența de emitor de 2V care asigură o variație cu temperatura a curentului de colector de aproximativ 10% la o variație de 100°C. Schema rezultantă este prezentată în figura:



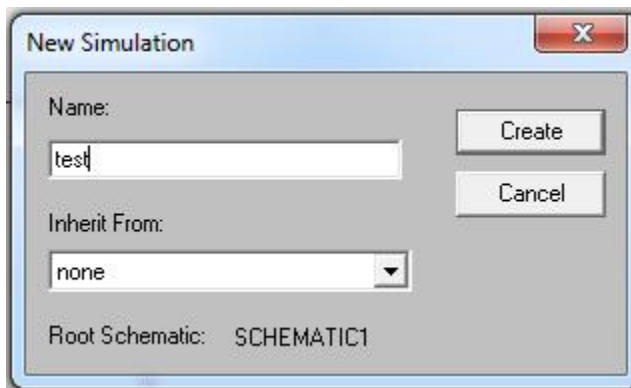
Se va efectua mai întâi o analiză de curent continuu pentru determinarea PSF.

Din bara de meniuri se selecteaza PSpice, New simulation Profile. Apare urmatoarea fereastră:



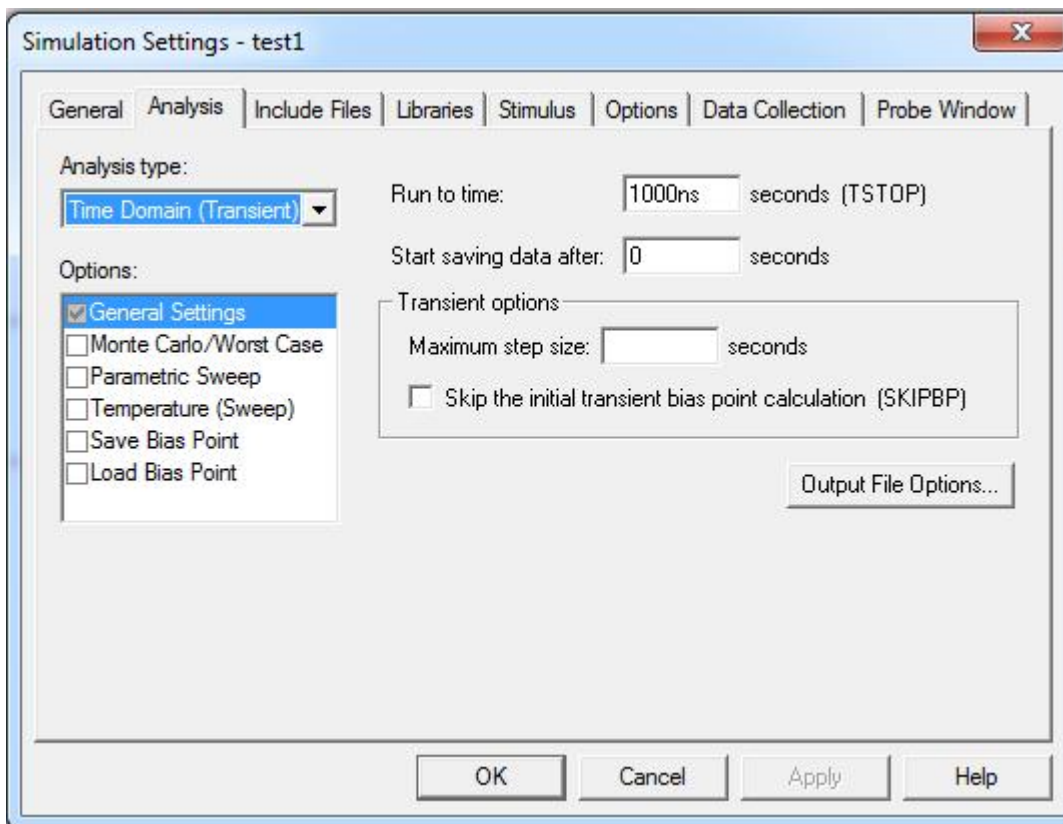
La nume se denumeste profilul de simulare (care salveaza setarile de simulare). Numele poate fi acelasi cu cel al proiectului, ex. test.

Inherit From = Mostenit din alt proiect, se lasa optiunea none.:



Se apasa Create.

Apare urmatoarea fereastră:



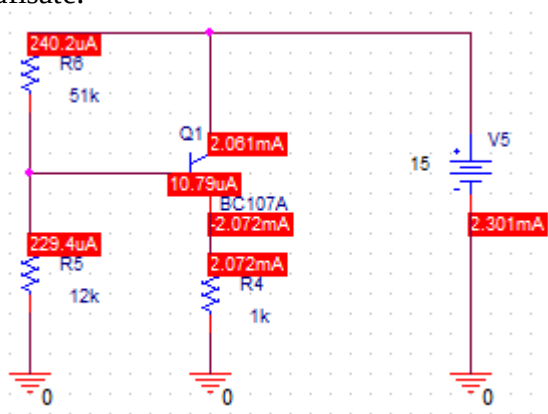
Se selecteaza succesiv:

Analysis Type: Bias Point

In schema se selecteaza butonul de marcare a curentului continuu, ce va afisa toti curentii de curent continuu din circuit, deoarece marimea de interes este curentul de colector:

I. Functie de valorile curentilor afisati se poate aprecia daca tranzistorul este in RAN.

Se verifica daca calculele de proiectare corespund in limita aproximatiilor cu valorile afisate.

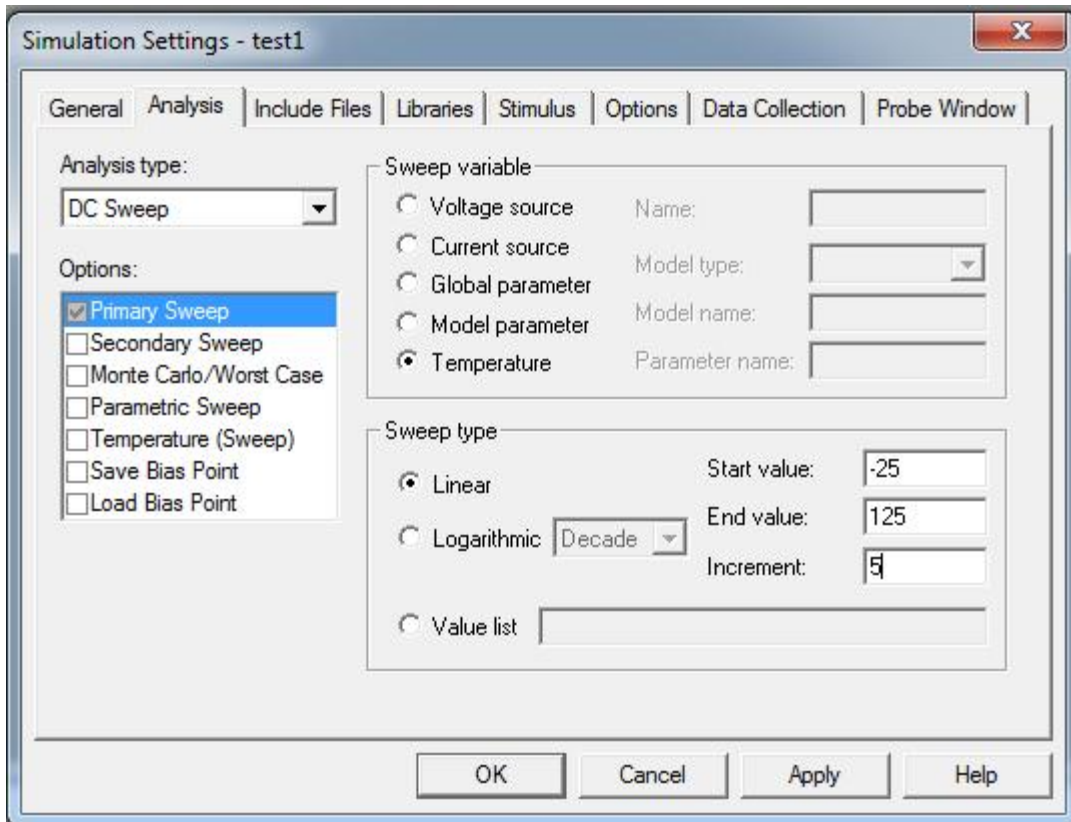


Variatia PSF cu temperatura:

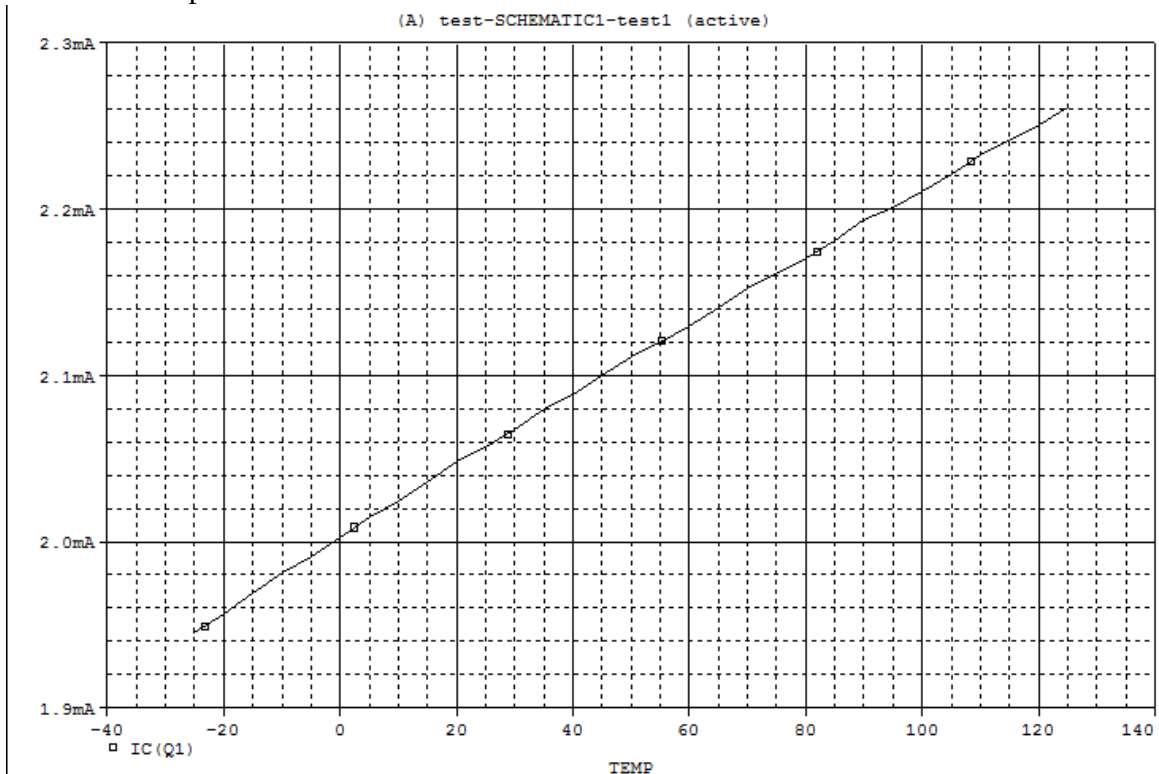
Se selecteaza din nou PSpice, Edit Simulation Profile, apoi la Analysis Type: DC Sweep.

Aceasta este o analiza parametrica, repetata in raport cu variatiile temperaturii.

Se completeaza datele conform figurii de mai jos, temperatura este in grade Celsius:



Se selecteaza de data asta markerul de curent , care se plaseaza in terminalul de colector al tranzistorului. Dupa efectuarea analizei obtinem variatia curentului de colector functie de temperatura:



Se poate determina variatia procentuala a curentului cu temperatura:

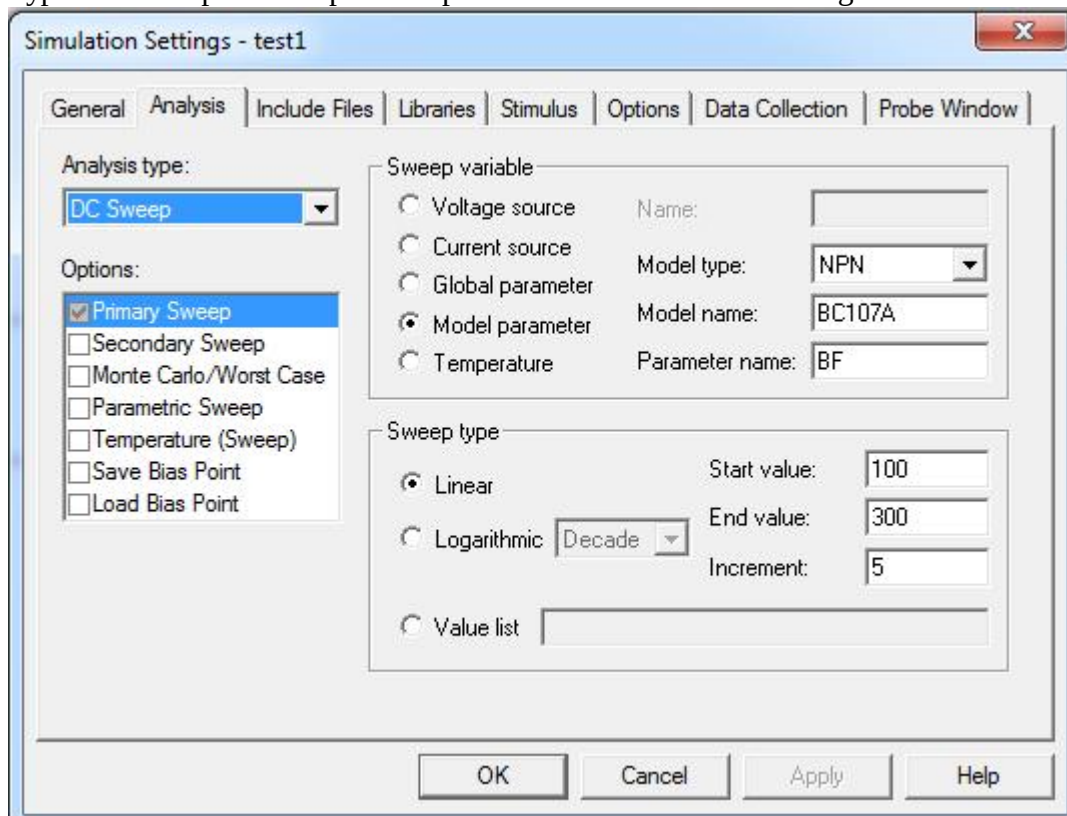
$$\frac{\Delta I_c}{\Delta T} = \frac{2,2mA - 2mA}{95 - 0} = 2,1 \cdot 10^{-6} mA/^{\circ}C$$

$$\frac{\Delta I_c}{I_c \Delta T} \cdot 100^{\circ}C \cdot 100\% = \frac{2,1 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^4 = 10,5\%$$

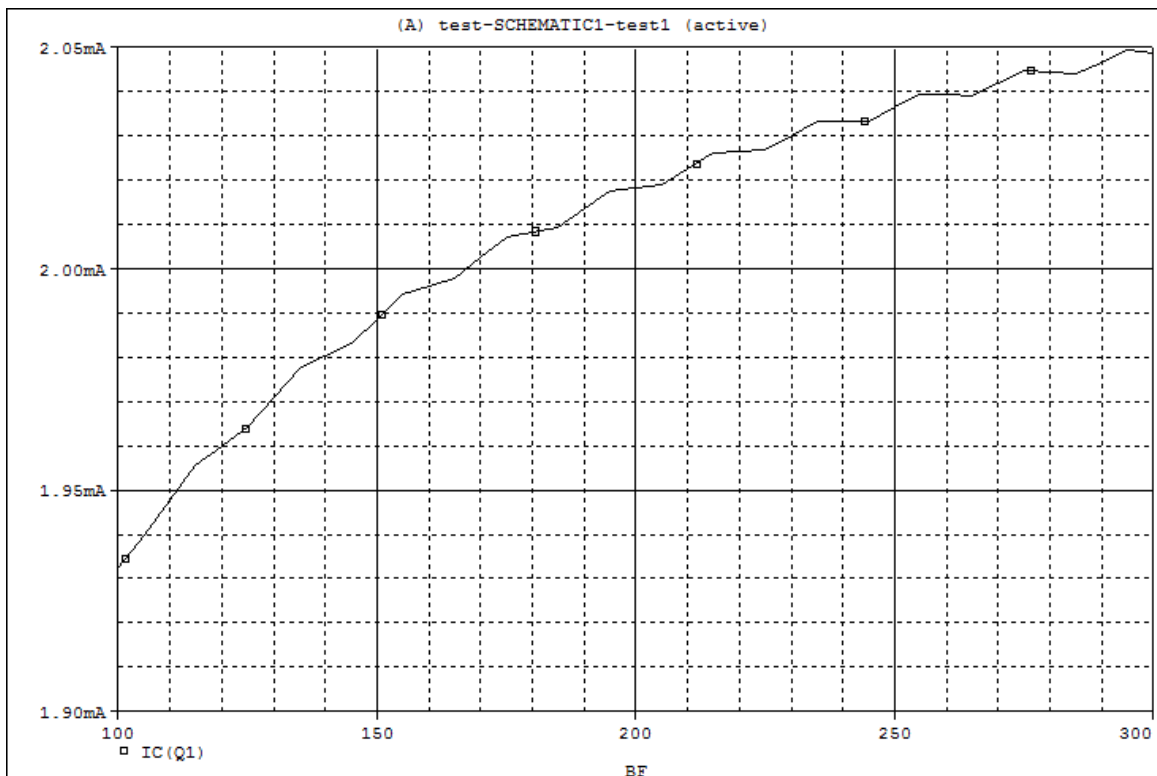
Deci aproape de valoarea estimata de 10%.

Variatia cu factorul de amplificare in curent al TB - β

Se modifica din nou profilul de simulare din PSpice, Edit Simulation Profile, Analysis Type: DCSweep. Se completeaza profilul de simulare conform figurii:



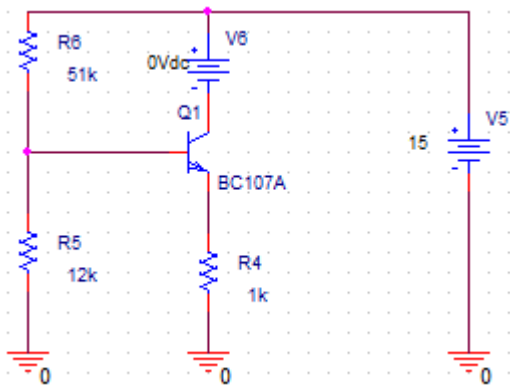
Analiza parametrica se face dupa parametrul BF (beta forward) al TB, tipul modelului este tranzistorul npn, numele modelului este tranzistorul ales BC107A. BF variaza intre 100 si 300 cu pasul de 5.



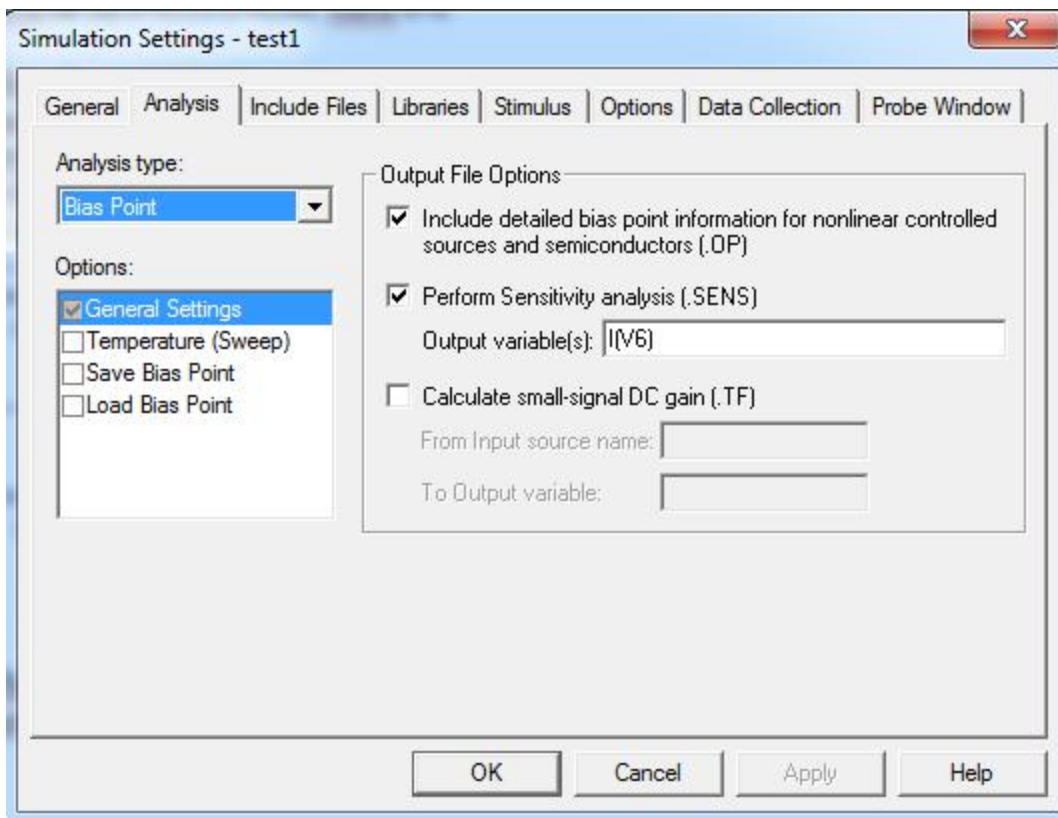
Se observa ca variatia curentului de colector este intre 1,93mA si 2,05mA cu o variatie relativa de $\Delta I/I = 0,12/2 = 0,06$, adica 6%.

Analiza de sensibilitate

Aceasta analiza permite determinarea influentei tolerantelor rezistoarelor asupra variatiei curentului de colector. Pentru a determina curentul in aceasta analiza in PSpice trebuie sa introducem o sursa pilot de tensiune continua, egala cu zero (nu influenteaza ecuatiile de circuit). Sursa V6 din schema realizeaza acest lucru:



In PSpice, Edit Simulation Profile se selecteaza Analysis Type din nou Bias Point, cu caracteristicile prezentate in figura:



Deci se selecteaza Sensitivity Analysis cu variabila de iesire I(V6), adica curentul prin sursa V6 (curentul de colector). Dupa efectuarea analizei, in fisierul de iesire (Output File) se gasesc rezultatele tabelate:

DC SENSITIVITIES OF OUTPUT I(V_V6)

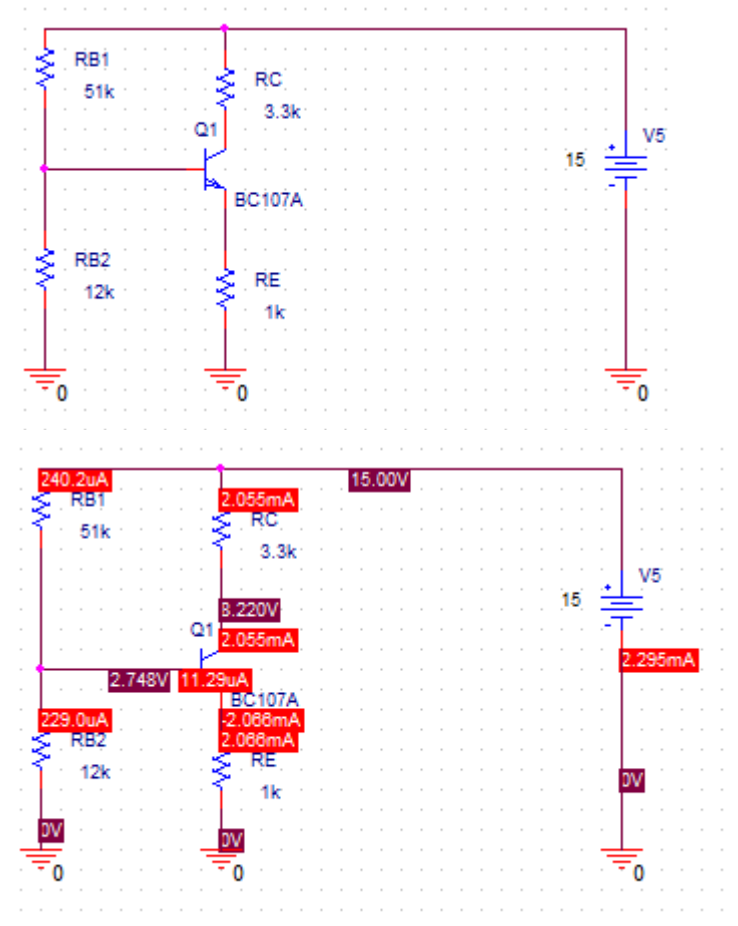
ELEMENT NAME	ELEMENT VALUE	ELEMENT SENSITIVITY (AMPS/UNIT)	NORMALIZED SENSITIVITY (AMPS/PERCENT)
R_R4	1.000E+03	-1.951E-06	-1.951E-05
R_R5	1.200E+04	1.747E-07	2.096E-05
R_R6	5.100E+04	-4.303E-08	-2.195E-05

Se observa ca valorile sensibilitatii normalizate se invart in jurul valorii de 2e-5A/%. Deci la o variatie de 10% a valorii unei rezistente (toleranta), variatia curentului este de 2e-4A, care raportata la valoarea curentului de colector de 2mA, rezulta o variatie relativa a curentului de aproximativ 10%. Daca se aleg rezistoare cu tolerante de 5% si variatia curentului de colector va fi tot de 5%. Tolerantele au variatii aleatoare si este putin probabil ca abaterile sa se adune cu acelasi semn (cazul cel mai defavorabil), ele se sumeaza de regula statistic, fiind necorelate, erorile se aduna patratice.

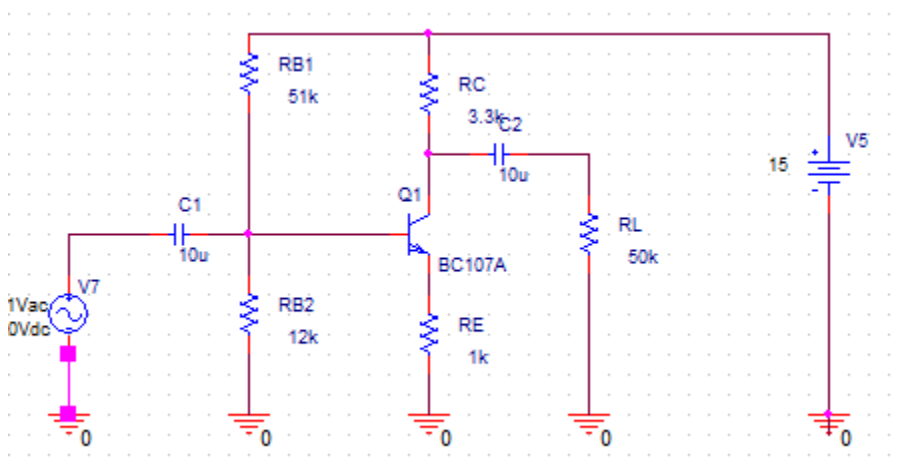
Analiza de semnal mic

Se modifica circuitul pentru a realiza un etaj cu sarcina distribuita. Pentru gama dinamica maxima diferenta dintre tensiunea de alimentare de 15V si caderea de tensiune pe rezistenta de emitor V_E , trebuie impartita in doua parti aproximativ egale, adica $15-2=13V$, impartit la doi, egal 6,5V. Asta inseamna ca $V_{RC}=6,5V$, la un curent de 2mA, rezulta

$R_c=3,25k$, standardizat $R_c=3,3k\Omega$. Rezulta $V_{RC}=6,6V$ si $V_{CE}=V_{AL}-V_{RC}-V_{RE}=6,4V$
 Se reface analiza de curent continuu (bias point) cu rezultatele:

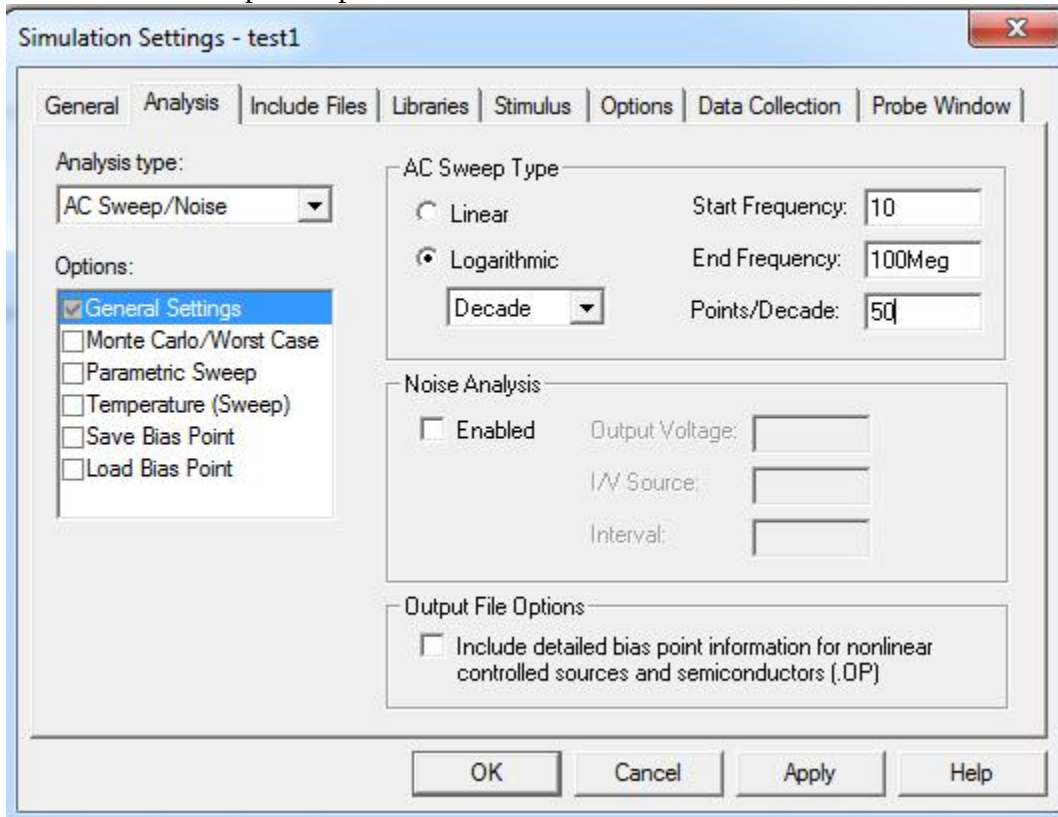


Se adauga la schema elementele de conectare cu sursa de semnal si cu sarcina $R_L=50k$ prin intermediul capacitatilor de cuplaj de $10\mu F$:

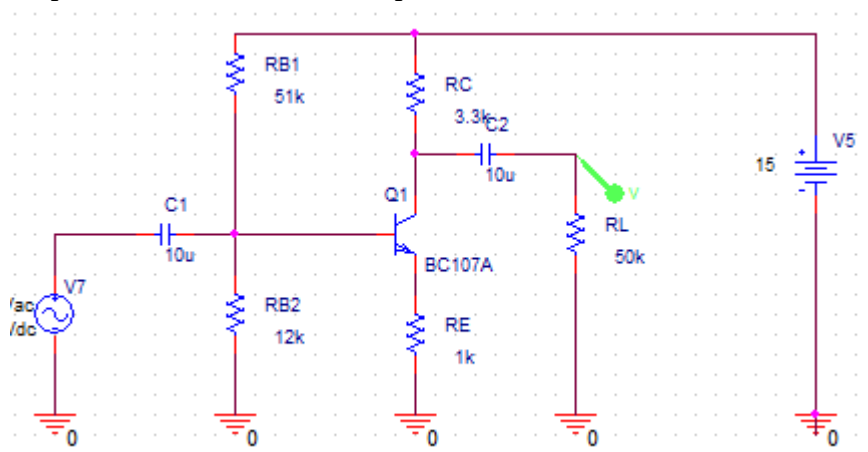


Analiza de semnal mic pentru determinarea amplificarii si benzii de frecventa: se selecteaza PSpice, Edit Simulation Menu, Analysis Type: AC Sweep, adica o analiza cu baleierea frecventei in limitele impuse. Se completeaza variatia frecventei de tip

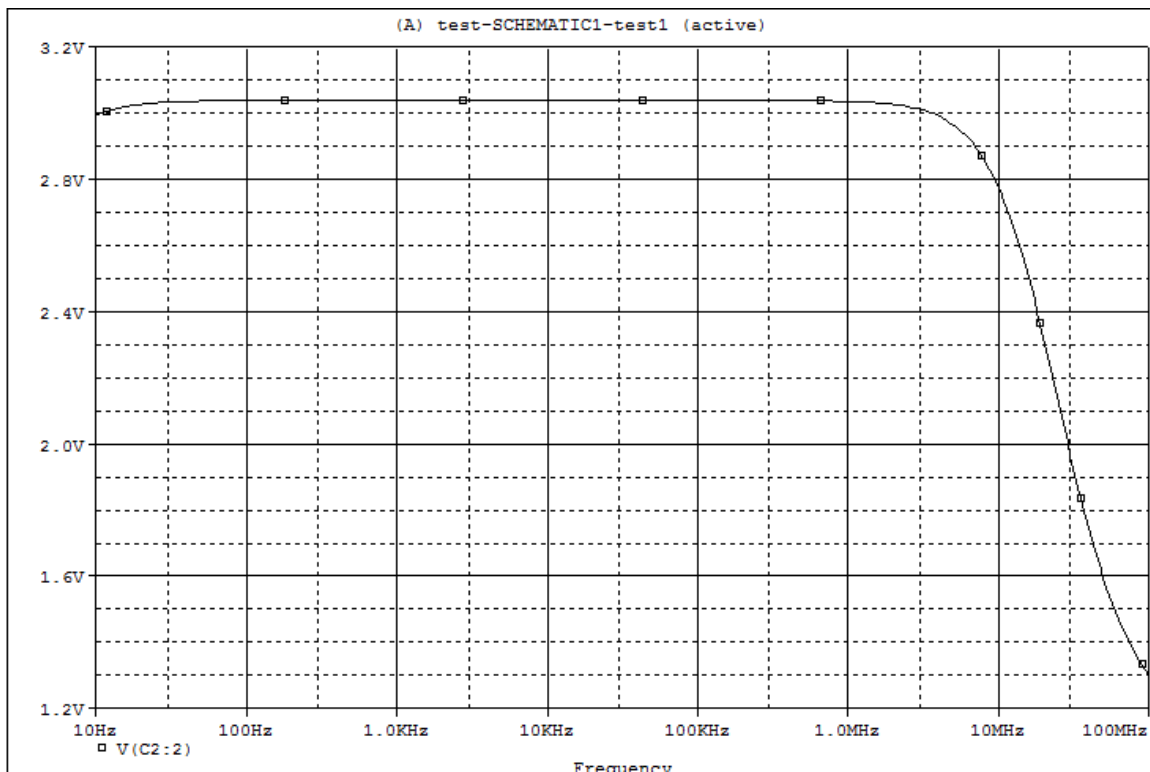
logaritmice (pentru a gasi caracteristica amplitudine frecventa de tip Bode), intre 10Hz si 100MHz cu 50 de puncte pe decada.



Se pune un marker de semnal pe rezistenta de sarcina



Dupa simulare se obtine rezultatul:



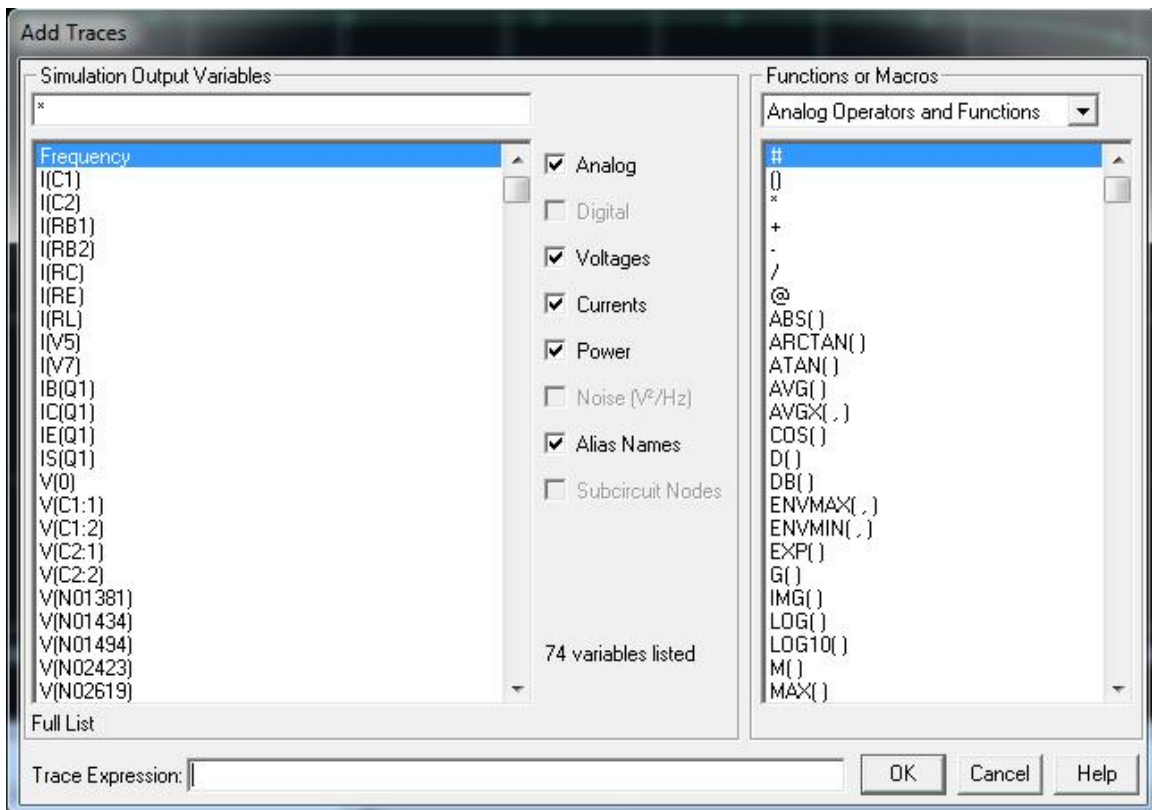
Amplificarea in banda este:

$$A_v = \frac{g_m(R_c \parallel R_L)}{1 + g_m R_E} = 3,05$$

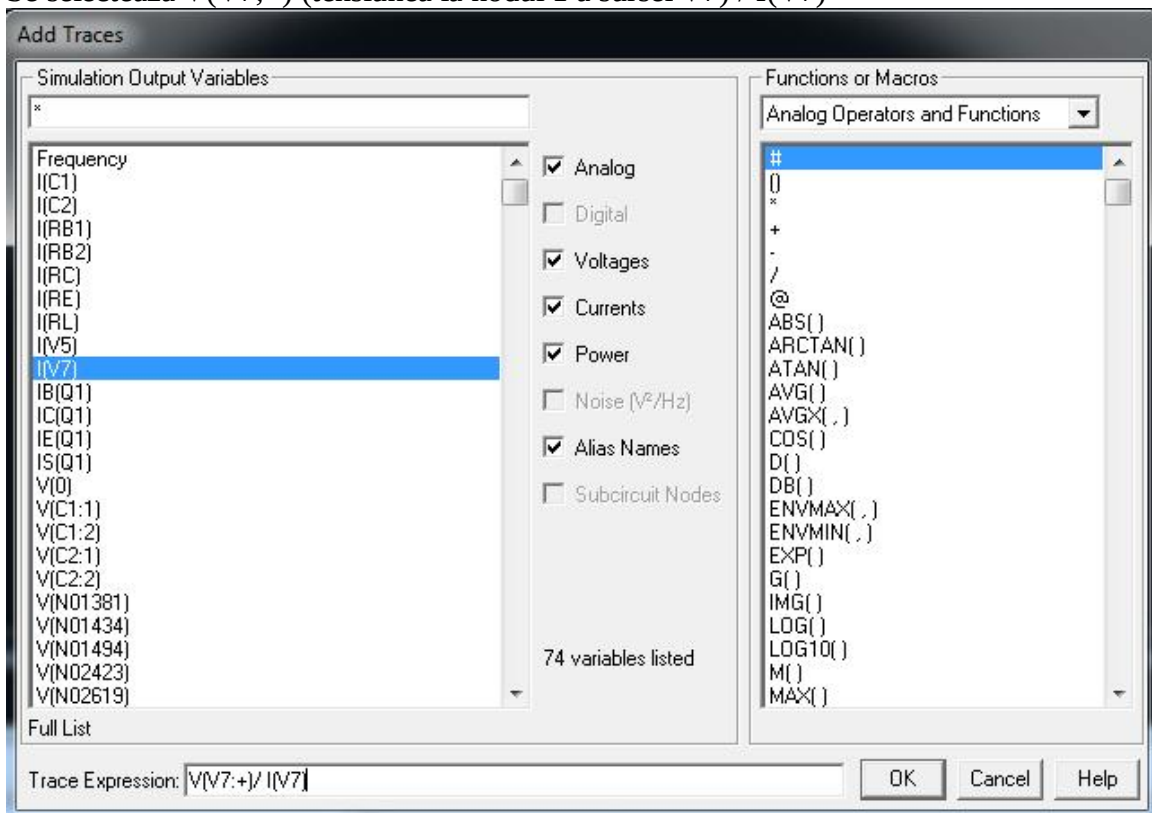
Din simulare $A_v=3,04$.

Determinarea impedantei de intrare se realizeaza dupa definitie: Impedanta de intrare este egala cu raportul dintre amplitudinea sursei de semnal de la intrare (tensiune) si curentul care parcurge sursa respectiva de semnal.

Cu aceeasi analiza ca cea anterioara din subprogramul de afisare grafica se selecteaza Trace, Delete All Traces, apoi Add Trace. Din lista care se deschide:



Se selecteaza V(V7,+) (tensiunea la nodul 1 a sursei V7) / I(V7)



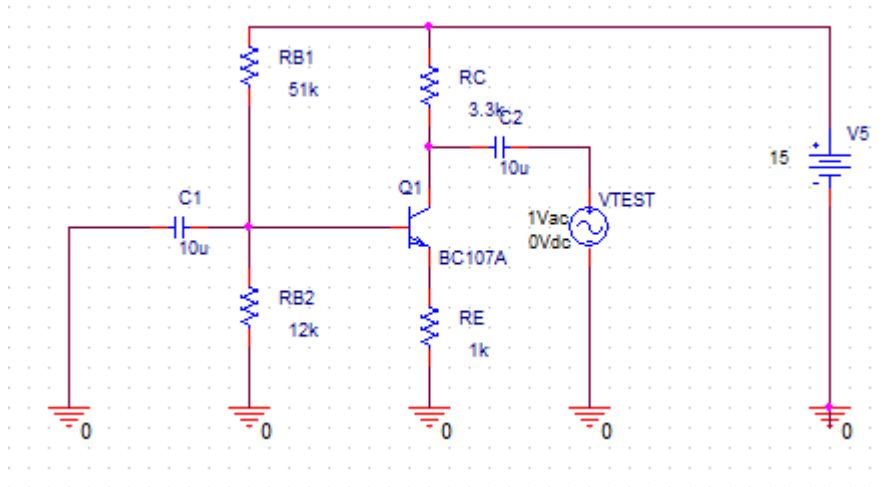
Se apasa OK si se observa graficul afisat.

Impedanta de intrare in banda este:

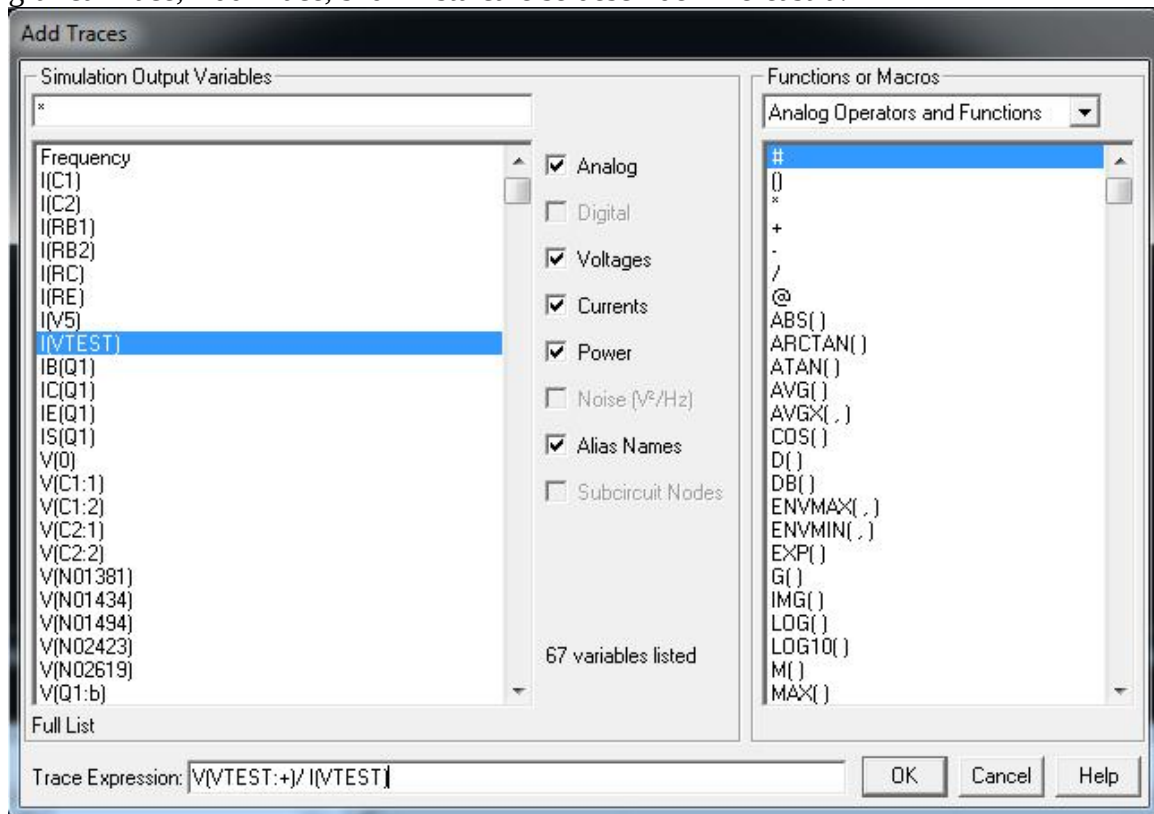
$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel (r_p + bR_E) \approx R_1 + R_2 = 9,7k\Omega$$

Din simulare: $R_{in}=9,26k\Omega$

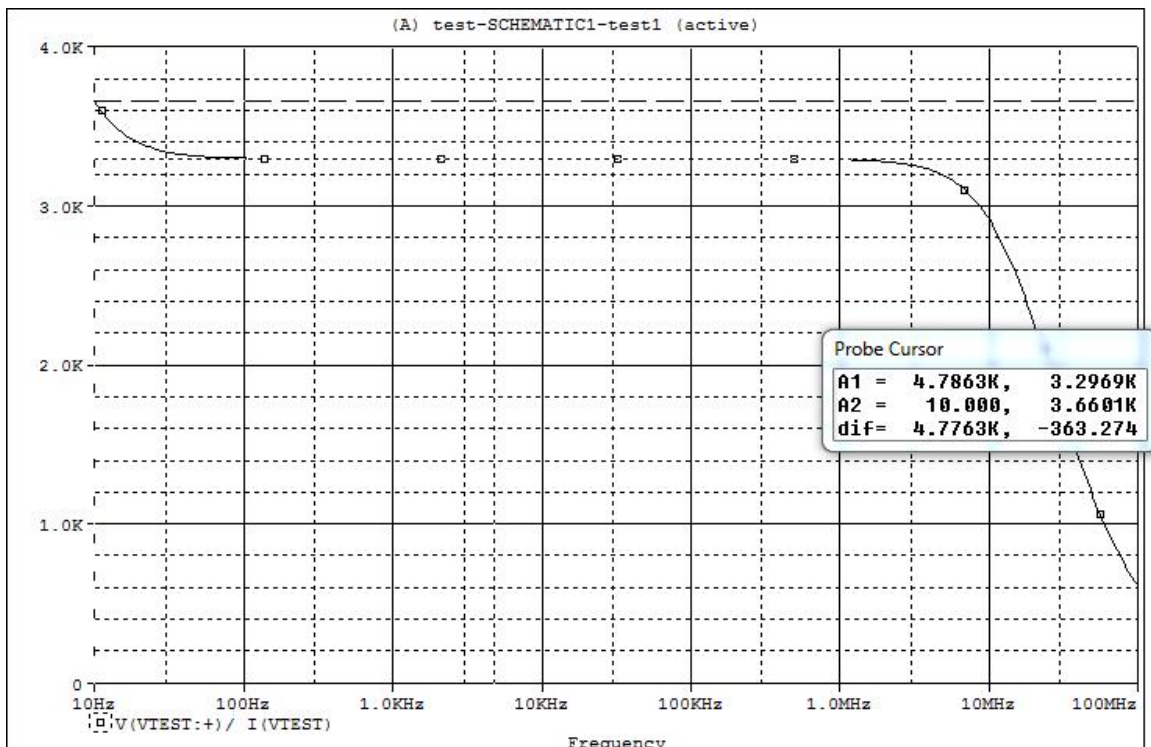
Impedanta de iesire presupune pasivizarea sursei de semnal de la intrare si inlocuirea rezistentei de sarcina cu o sursa de semnal de test:



Similar cu determinarea rezistentei de intrare trebuie selectat in programul de afisare grafica Trace, Add Trace, si din lista care se deschide in fereastra:



$V(VTEST:+)/I(VTEST)$, VTEST fiind sursa care inlocuieste sarcina.

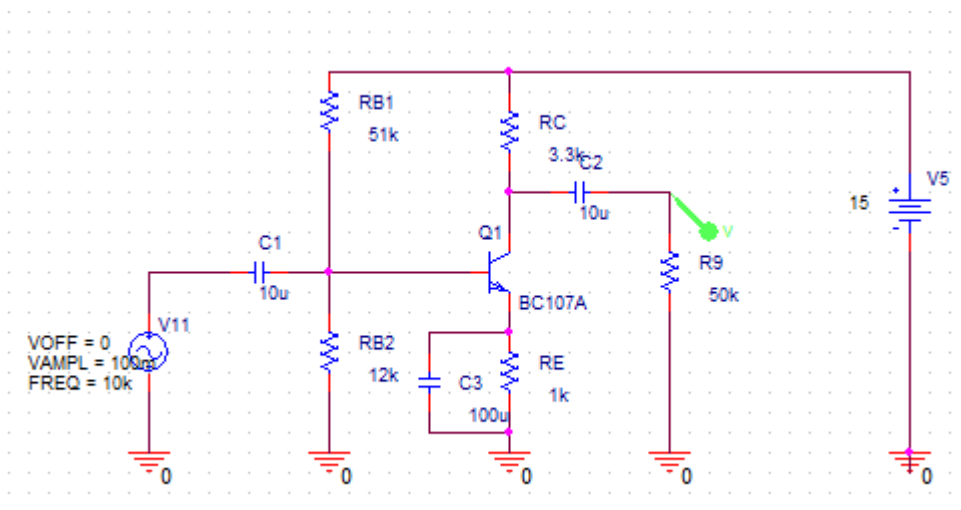


Rezistența de ieșire este aproximativ egală cu $R_C = 3,3k\Omega$, din simulare $3,297k\Omega$.

Similar se determină impedanțele de intrare și de ieșire pentru amplificatoare cu mai multe etaje.

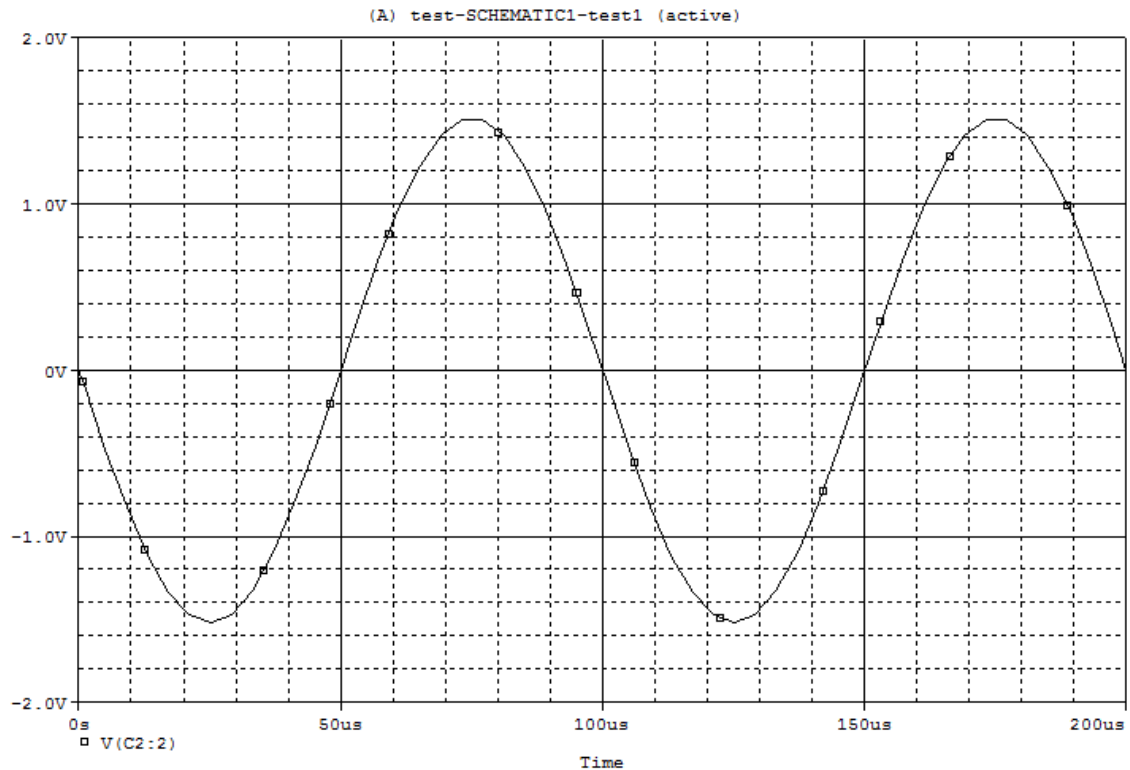
Analiza tranzitorie

Se înlocuiește sursa de semnal de la intrare cu o sursă de semnal sinusoidală VSIN. Pentru a fi în bandă vom alege frecvența 10kHz, iar amplitudinea va fi crescută treptat până apar distorsiuni. Se începe cu o amplitudine la intrare de 100mV.

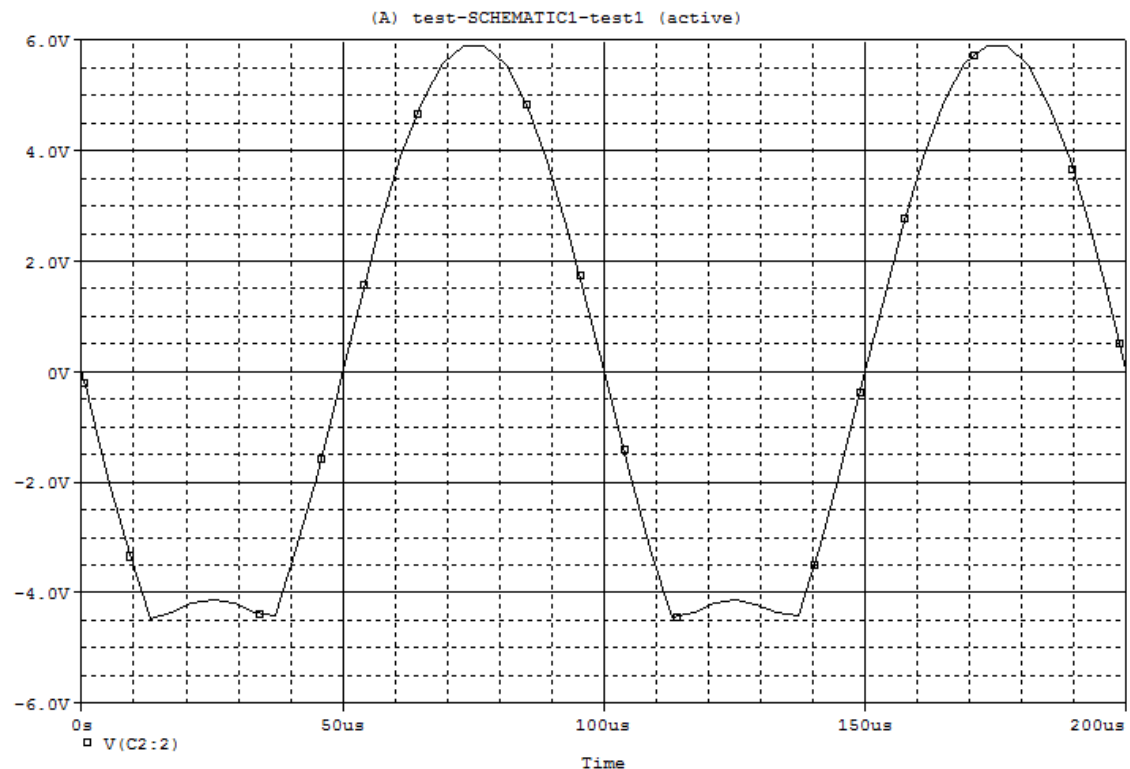


Din PSpice, Edit Simulation Profile, Analysis Type se selectează analiza tranzitorie Time Domain. Deoarece frecvența este 10kHz, vom simula pe două perioade, adică 0,2ms.

Pasul de simulare trebuie sa fie mult mai mic decat perioada semnalului, adica $10\mu\text{s}$.
La o amplitudine la intrare de 500mV se obtine la iesire forma de unda:

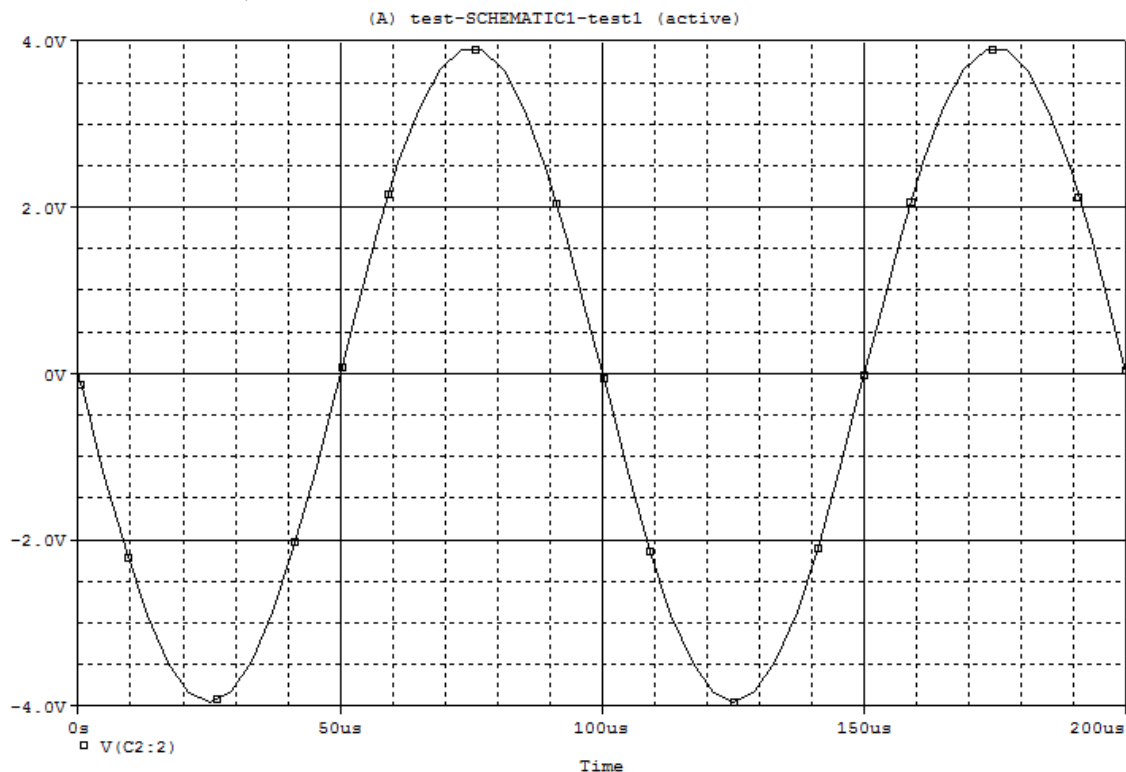


Daca amplitudinea de intrare creste la 2V forma de unda este distorsionata prin intrarea in saturatie a tranzistorului:



Gama dinamica este de aproximativ 4V la iesire, ceea ce inseamna $V_{oMax}/A_v=1,33$ la

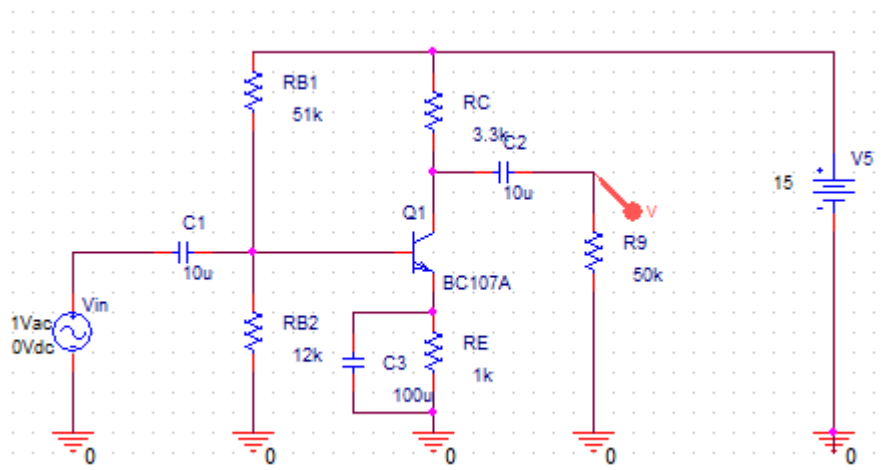
intrare. Pentru $V_{in}=1,33V$ se obtine forma de unda:



Etajul emitor comun

Se modifica circuitul anterior adaugand o capacitate in paralel cu rezistenta R_E .

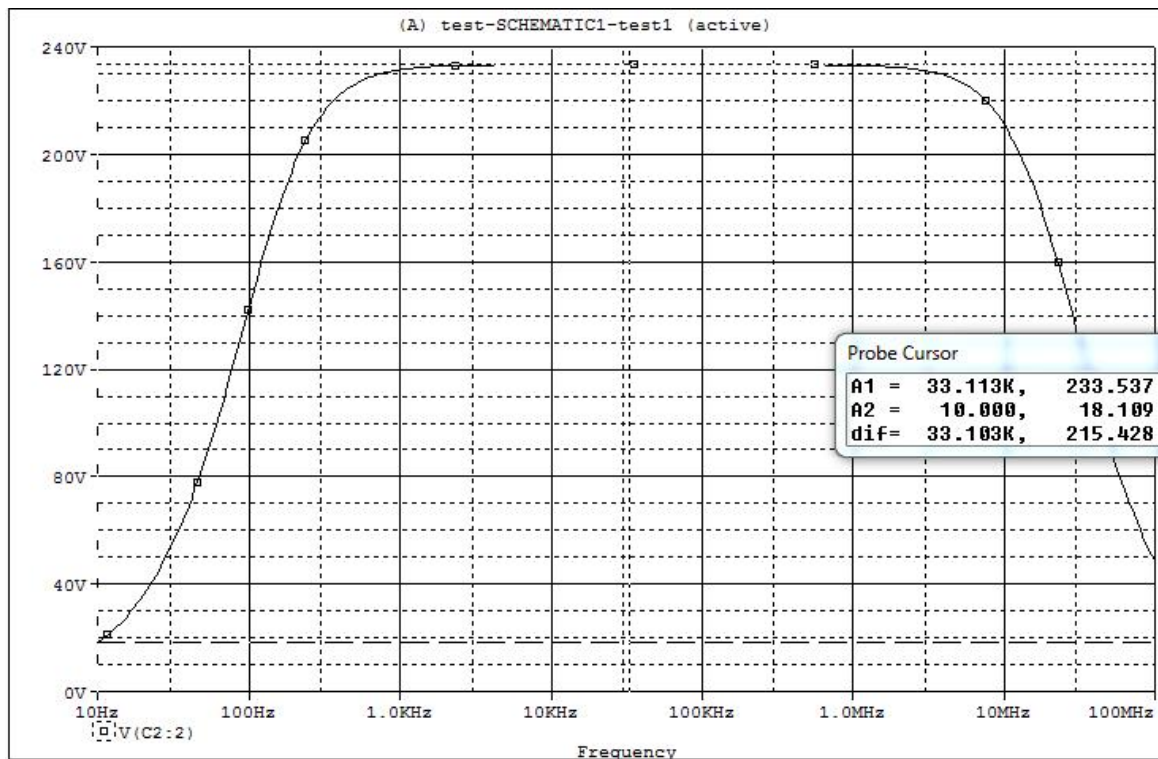
Se reface **analiza de semnal mic AC**. PSF nu se modifica.



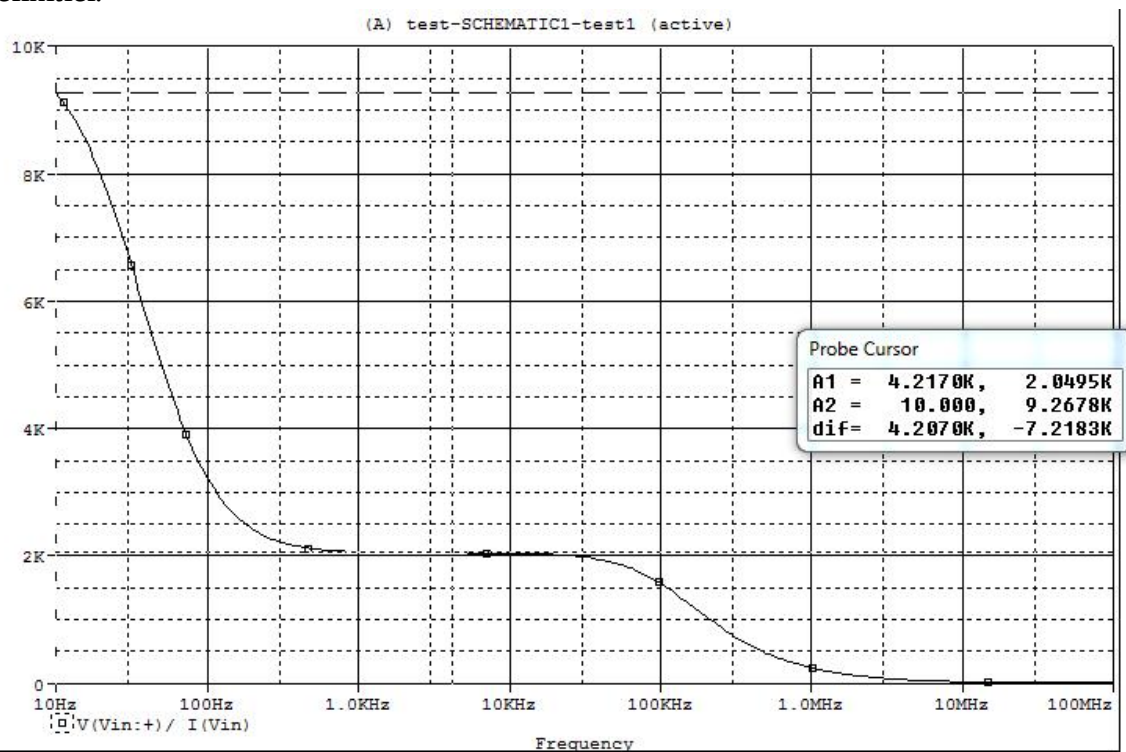
Amplificarea creste, dar gama dinamica scade. Amplificarea are valoarea:

$$A_v = -g_m \cdot (R_C \parallel R_L) = -80mS \cdot 3,09k = -247$$

Simularea arata valoarea de 233 pentru amplificarea in banda:



Impedanta de intrare se determina conform definitiei.



In banda $R_{in}=2,04k\Omega$ la simulare. Relatia analitica este:

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_p = 51k \parallel 12k \parallel (206 / 79,4) = 2,04k\Omega$$

$BETA_{AC}=206$, $g_m=79,4\text{mS}$.

Impedanta de iesire nu se modifica.

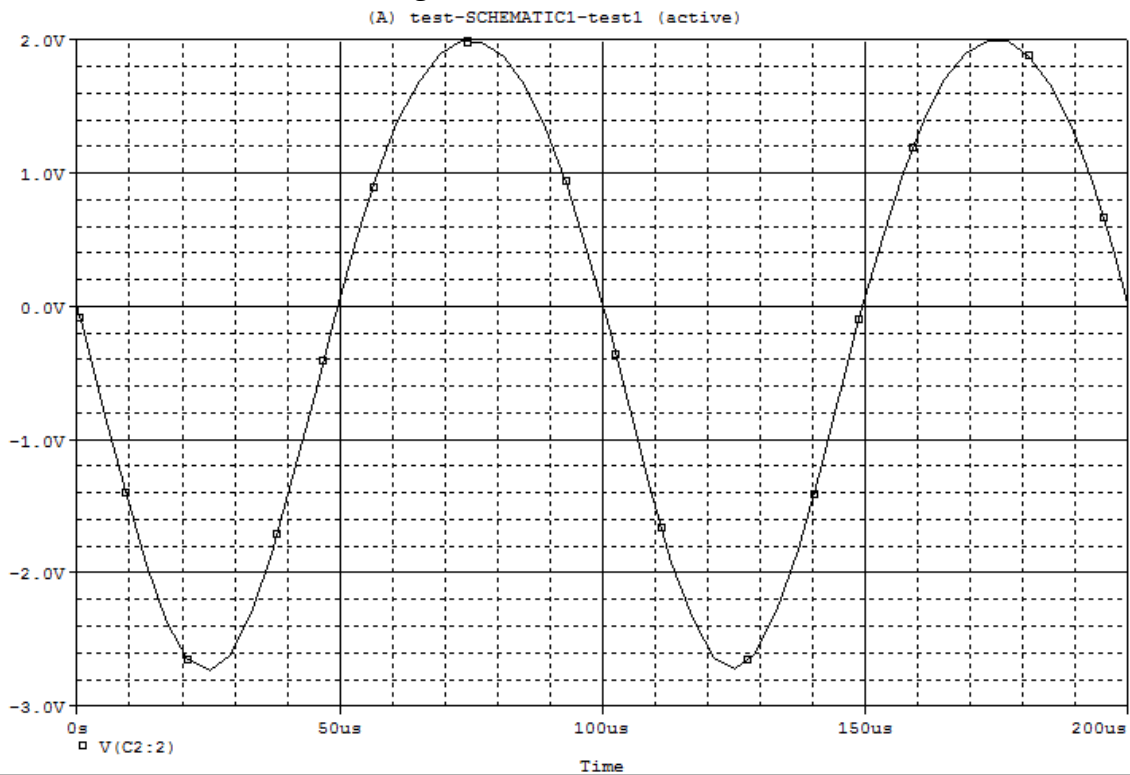
Analiza tranzitorie

Deoarece sursa de semnal se aplica direct pe o jonctiune p-n polarizata direct, semnalul maxim la care distorsiunile sunt acceptabile este de aproximativ 10mV. Vom simula pornind de la aceasta valoare.

Se inlocuieste sursa de semnal VAC cu o sursa sinusoidala VSIN cu amplitudinea de 10mV si se va creste treptat aceasta valoare pana apar distorsiuni.

Se repeta pasii de la analiza tranzitorie de la etajul cu sarcina distribuita.

La $V_{in}=10\text{mV}$ iesirea arata ca in figura:



Se observa ca semnalul este deja distorsionat datorita dependentei exponentiale curent-tensiune a jonctiunii BE.

La $V_{in}=100\text{mV}$ semnalul este puternic distorsionat, atat datorita dependentei exponentiale curent-tensiune a jonctiunii BE, cat si datorita intrarii in saturatie a tranzistorului. La 100mV, datorita amplificarii mari in tensiune, semnalul de iesire este mai mare decat in cazul anterior si tranzistorul se satureaza. In grafic, jos apare saturatia, iar sus intrarea in blocare a tranzistorului.

