

# **SPICE - Lucrarea 3**

## **Macromodelarea amplificatoarelor operaționale**

### **1. Scopul macromodelării:**

Programul PSpice este un simulator la nivel de dispozitiv, ceea ce îi conferă o foarte bună precizie. Însă, în cazul circuitelor complexe care conțin multe circuite integrate apare dezavantajul unui timp de simulare foarte mare. Din acest motiv, în unele analize care se fac pentru verificarea funcționării de principiu a circuitului, nu este necesar să se folosească descrierea internă completă a tuturor circuitelor integrate din componența sa. Astfel, este mult mai avantajos să se folosească pentru circuitele integrate **macromodele** a căror structură conține doar foarte puține tranzistoare și care păstrează caracteristicile funcționale importante ale circuitului integrat. Rezultatul va fi acela că circuitul, în ansamblu, va fi mai simplu, iar analiza se va putea efectua într-un timp mai scurt.

Macromodelele nu pot simula decât o parte din caracteristicile circuitului integrat real, dar, în schimb, realizează un compromis acceptabil între precizie și timpul de analiză.

Din aceste considerente, se acordă o foarte mare atenție modelării dispozitivelor, iar unele simulatoare la nivel de dispozitiv conțin încorporate și limbaje pentru modelarea prin linii de comandă a dispozitivelor (limbaje asemănătoare ca structură cu C-ul). Așa este Saber-ul, produs de Analogy, care folosește anumite componente descrise nu electric, ci pe baza caracteristicilor de funcționare, în limbajul MAST.

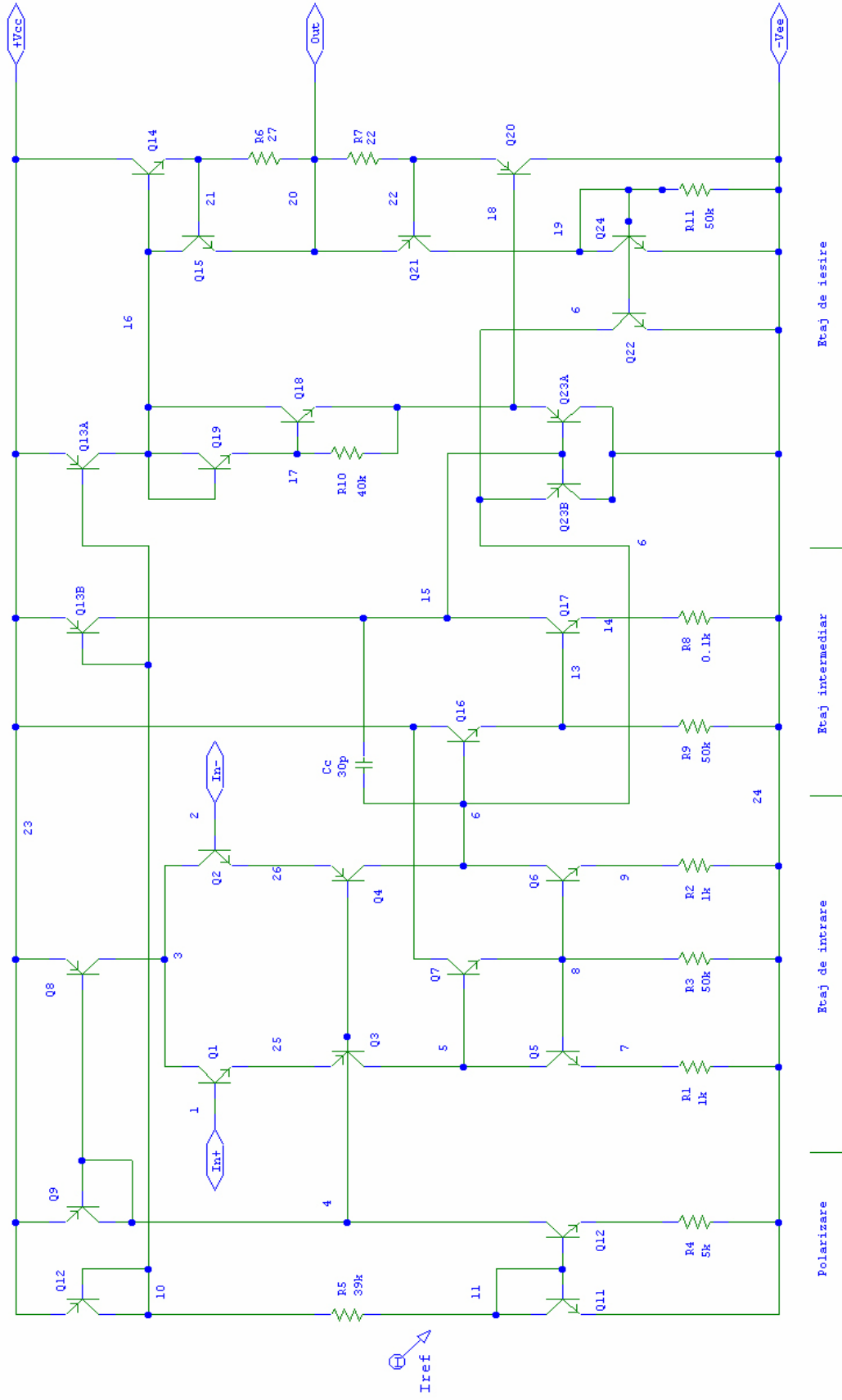
### **2. Macromodelarea amplificatoarelor operaționale:**

O categorie importantă de circuite integrate a căror macromodele se folosesc pe scară largă în analize o reprezintă amplificatoarele operaționale. Macromodelele amplificatoarelor operaționale se diferențiază după tipul etajului de intrare (cu tranzistoare bipolare, cu tranzistoare cu efect de câmp – TEC-J – sau cu tranzistore MOS), în rest topologia fiind identică.

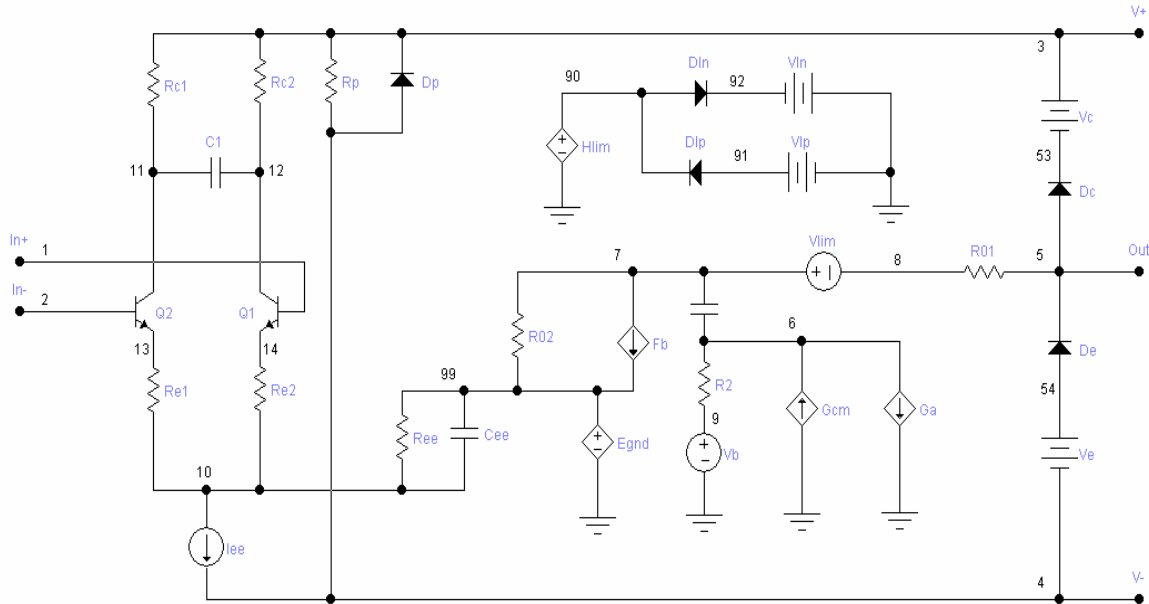
Macromodelele amplificatoarelor operaționale utilizează elemente ideale de circuit, atât pasive cât și active, împreună cu un etaj diferențial de intrare format din tranzistoare de același tip cu cele din etajul de intrare al AO reale pentru a simula cât mai fidel anumite caracteristici ale acestora. Macromodelul, datorită structurii simplificate, nu poate simula toate caracteristicile unui AO real. Astfel, variația cu temperatura a parametrilor AO, reacția surselor de alimentare (PSRR), zgomotul, etc. nu pot fi simulate de către macromodel.

În continuare se prezintă macromodelul amplificatoarelor operaționale acăror etaj diferențial de intrare este realizat cu tranzistoare bipolare de tip npn.

În figurile următoare se prezintă schemele reală și respectiv cea a macromodelului unui amplificator operațional  $\mu A741$ .



Schema electrică a amplificatorului operațional  $\mu A741$



Schema macromodelului Spice a amplificatorului operațional  $\mu A741$

Macromodelul amplificatorului operațional  $\mu A741$  este descris în format SPICE ca subcircuit astfel:

```

*-----
* connections:  non-inverting input
*                | inverting input
*                | | positive power supply
*                | | | negative power supply
*                | | | | output
*                | | | | |
.subckt UA741  1 2 3 4 5
*
c1  11 12 8.661E-12          rc1  3 11 5.305E3
c2  6 7 30.00E-12          rc2  3 12 5.305E3
dc  5 53 dx                 re1  13 10 1.836E3
de  54 5 dx                 re2  14 10 1.836E3
dlp 90 91 dx               ree  10 99 13.19E6
dln 92 90 dx               ro1  8 5 50
dp  4 3 dx                 ro2  7 99 100
egnd 99 0 poly(2) (3,0) (4,0) 0
+.5 .5                      rp  3 4 18.16E3
fb  7 99 poly(5) vb vc ve vlp
+vln 0 10.61E6 -10E6 10E6 10E6 -10E6
ga  6 0 11 12 188.5E-6      vb  9 0 dc 0
gcm 0 6 10 99 5.961E-9     vc  3 53 dc 1
iee 10 4 dc 15.16E-6       ve  54 4 dc 1
hlim 90 0 vlim 1k          vlim 7 8 dc 0
q1  11 2 13 qx             vlp 91 0 dc 40
q2  12 1 14 qx             vln 0 92 dc 40
r2  6 9 100.0E3           .model dx D(Is=800.0E-18 Rs=1)
                          .model qx NPN(Is=800.0E-18 Bf=93.75)
                          .ends
*-----

```

Acest subcircuit se va folosi în schemele de test viitoare ca atare, fie că este deja introdus în unul din fișierele bibliotecă existente (de exemplu în PAC.lib sau IISME.lib), fie că se introduce în fișierul curent sau în biblioteca IISME.lib.

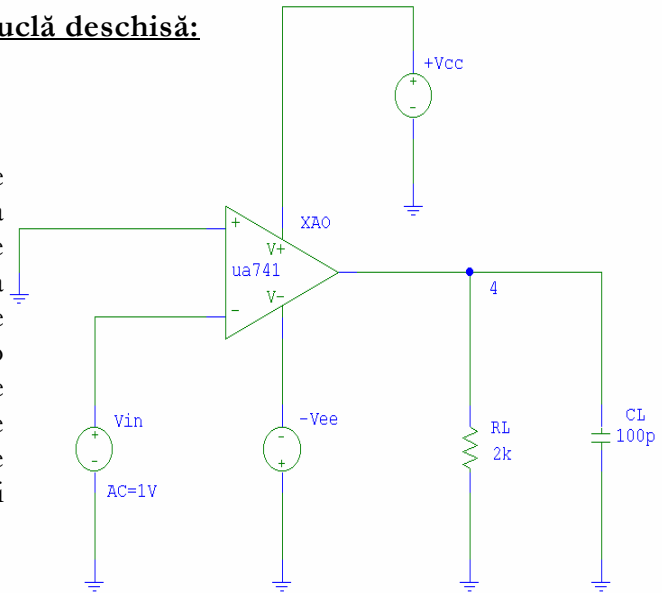
În cele ce urmează se propune simularea atât a macromodelului amplificatorului operațional  $\mu A741$  cât și a modelului electric al AO  $\mu A741$  (uA741 din bibliotecile implicite ale simulatorului), pentru obținerea principalelor caracteristici ale acestora.

Se recomandă lucrul direct în fișier .cir, fără editare de schemă.

### 3. Caracteristica de amplificare în buclă deschisă:

[BUR, pag 190]

Pentru a simula caracteristica de amplificare în buclă deschisă a amplificatorului operațional, se utilizează configurația din figura alăturată, în care  $V_{in}$  este o sursă de semnal mic. Circuitului i se efectuează o analiză AC în intervalul de frecvențe de la 0.1Hz la 100KHz. În *PROBE* se vizualizează caracteristica de amplificare în buclă deschisă (în decibeli) și caracteristica de fază:  $V_{db}(4)$  și  $V_p(4)$ .



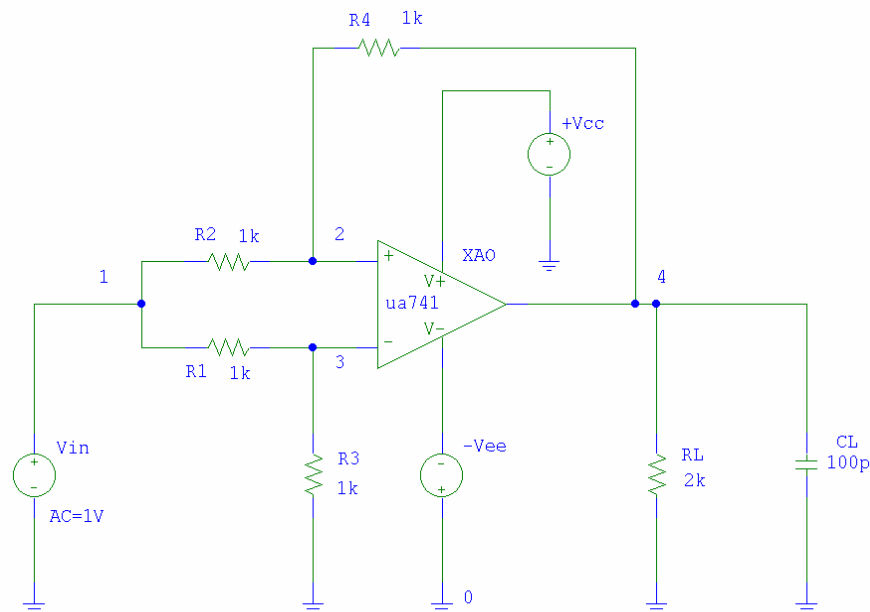
### 4. Caracteristica de variație a CMRR cu frecvența:

[BUR, pag 191]

Factorul de rejecție a modului comun (CMRR) este definit ca raportul dintre amplificarea de mod diferențial și amplificarea de mod comun. Pentru a simula cu Spice variația CMRR cu frecvența se utilizează o configurație de circuit în care amplificarea de mod diferențial este unitară. În acest mod, CMRR va fi egal cu inversa amplificării de mod comun.

Configurația de circuit pentru simularea variației CMRR cu frecvența este prezentată în figura alăturată. Semnalul furnizat de sursa  $V_{in}$  este un semnal de mod comun. Dacă sursei  $V_{in}$  i se specifică valoarea AC 1, atunci amplificarea de mod comun este numeric egală cu nivelul ieșirii.

Caracteristica de variație a CMRR (în decibeli) cu frecvența se vizualizează în *PROBE* cu expresia:  $-DB(V(4))$ .

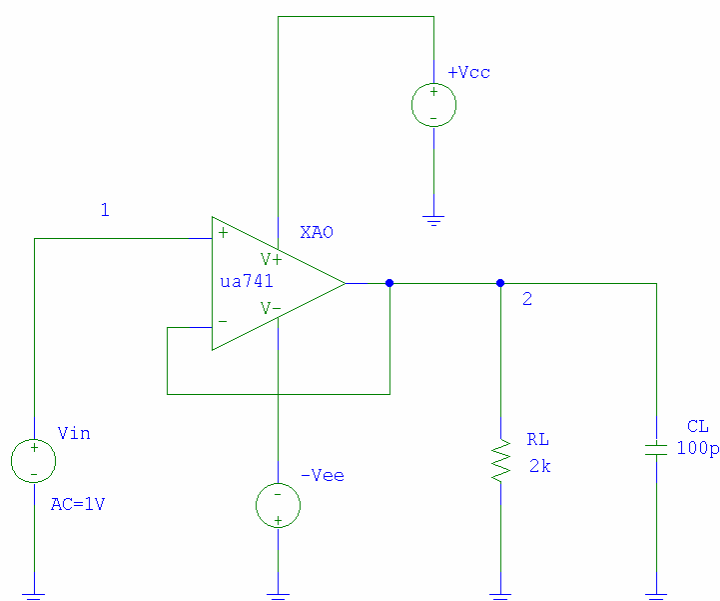


## 5. Slew-rate-ul pozitiv și negativ ( $SR^+$ , $SR^-$ ):

[BUR, pag 192]

Slew-rate-ul reprezintă o măsură a vitezei de variație a ieșirii amplificatorului operațional când la intrare are loc o comutație. Viteza de variație finită a ieșirii (se măsoară în  $V/\mu s$ ) se datorează curentului maxim limitat pe care îl poate furniza etajul de ieșire al amplificatoarelor operaționale.

Pentru a determina slew-rate-ul amplificatorului operațional se folosește configurația de repetor, așa cum este prezentată în figura atașată. La intrare se aplică o formă de undă dreptunghiulară cu variație între  $\pm 5V$ . În urma analizei în domeniul timp se pot vizualiza forma de undă de la intrare, împreună cu forma de undă a tensiunii de la ieșirea AO. Se poate astfel determina  $SR^+$ , egal cu panta variației crescătoare a tensiunii de la ieșire și  $SR^-$ , egal cu modulul pantei variației descrescătoare.



### Verificare:

- Determinați variația cu frecvența a impedanței de ieșire a AO. Indicație: AO va fi cu bucla deschisă, în ieșire se injectează un curent (semnal mic) de test, iar sursele de la intrare se pasivizează (intrările AO se conectează la masă).

- Comparați valorile parametrilor de la cele patru configurații prezentate pentru macromodelul AO (pagina 3) cu cele obținute pentru AO modelat electric (pagina 2).

### Bibliografie:

[BUR]	Popescu, Gabriel și Burdia, Dănuț, „Proiectarea asistată de calculator cu VHDL și SPICE a circuitelor electronice”, Ed. MatrixROM, București - 1998
[MAX]	Maxim, Adrian și Gheorghe, „Modelarea și simularea SPICE a dispozitivelor și circuitelor electronice”, Ed. Venus, Iași - 2000

**Timp de lucru:** 2 ore.