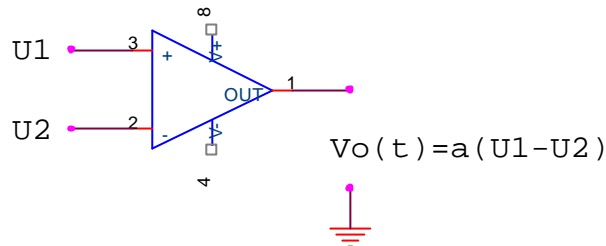


Modele pentru amplificatorul operational

Modele liniare	1
Modele neliniare	2
Model Spice pentru AO	3

Amplificatorul operational (AO) este un circuit (integrat sau discret) prevazut cu doua borne de intrare si o borna de iesire, furnizând la iesire o tensiune (fata de masa) egala cu replica amplificata a tensiunii *dintre* cele doua borne de intrare. Simbolul utilizat pentru AO este prezentat mai jos:

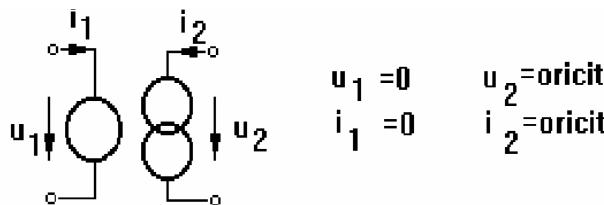


Amplificatorul operational realizeaza amplificare mare, banda de frecventa suficient de larga în aplicatii uzuale, impedanta de intrare mare si cea de iesire mica.

În functie de aplicatia concreta, modelul adoptat pentru AO poate fi diferit. Aceste modele se împart în doua categorii: liniare si neliniare.

Modele liniare

Cel mai simplu (si mai utilizat) model liniar este cel numit **nulator norator**; aceste doua cuvinte desemnând denumirile *uniportilor degenerati* ce modeleaza intrarea, respectiv iesirea amplificatorului operational. În acest model, denumit *amplificator operational ideal*, acceptabil în majoritatea aplicatiilor, se considera amplificarea, banda de frecventa si impedanta de intrare infinite, iar impedanta de iesire nula. Simbolul si relatiile matematice sunt prezentate mai jos:

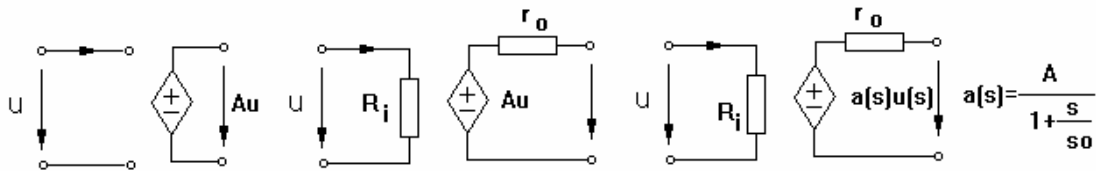


Se pot face o serie de observatii în legatura cu acest model:

- nulatorul si noratorul apar întotdeauna în pereche;
- noratorul are întotdeauna un terminal legat la masa;
- nulatorul impune doua restrictii semnalelor aplicate la bornele sale, iar noratorul nici una;
- pe model nu sunt precizate bornele de intrare inversoare si neinversoare, însa într-o aplicatie concreta ele se precizeaza în asa fel încât *stabilitatea* circuitului sa fie asigurata.

Analiza circuitelor cu AO se face în cazurile simple cu legile lui Kirchoff, iar în cazuri mai complicate cu metoda Nathan, care este în esenta o generalizare a teoremei tensiunilor nodale pentru circuite cu elemente degenerate. În ambele metode ideea este de a folosi cele 2 restrictii pe care le impune modelul nulator-norator.

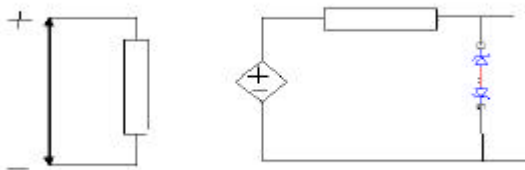
Un alt model liniar care se apropie din ce în ce mai mult de amplificatorul operational real, care are amplificare finita si dependenta de frecventa, impedanta de intrare mare, dar finita, impedanta de iesire mica, dar nenula este:



Modele neliniare

În cazul în care nivelul semnalului de intrare este suficient de mare pentru a obliga tensiunea de iesire sa atinga valoarea tensiunii de alimentare este necesara adoptarea unui model neliniar.

Cel mai simplu model neliniar pentru AO este:



Pentru a modela saturatia se cupleaza la circuit cele doua diode Zener. Deoarece circuitul este neliniar nu se poate folosi Laplace.

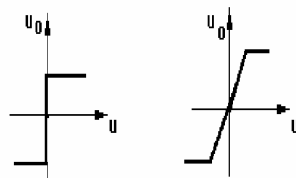
Pentru acest model avem relatiile:

$$U = \frac{aA}{s + a} V_I$$

$$\frac{dU(t)}{dt} + \alpha U(t) = \alpha A V_I$$

Doua sunt neliniaritatile principale care se manifesta în functionarea AO: intrarea în saturatie si viteza maxima de variatie a semnalului la iesire (slew-rate).

Prima este pusa în evidenta mai jos cu ajutorul unor caracteristici de tip comparator, respectiv de amplificator cu limitare:



A doua manifestare neliniara consta în aceea ca, în functionarea cu nivel mare al semnalului de intrare si la frecventa ridicata, semnalul de la iesirea AO nu mai reuseste sa urmareasca variatiile rapide ale semnalului aplicat la intrare, astfel încât forma tensiunii de iesire apare distorsionata (la frecvente foarte mari, practic triunghiulara). Se pune astfel în evidenta o viteza maxima de variatie a semnalului la iesirea AO, denumita *slew-rate* (SR), masurata în V/μs si care constituie un parametru de catalog. Pentru scopul acestei lucrari de laborator ne vom multumi cu un calcul simplu care ilustreaza relatia dintre acest parametru si marimile din circuit.

Sa presupunem ca la iesirea AO avem un semnal sinusoidal cu amplitudinea V_o si pulsatia ω_o :

$$v_o(t) = V_o \sin \omega_o t \tag{1}$$

Se stie ca viteza de variatie a unei marimi este data de derivata acesteia în raport cu timpul, în consecinta viteza de variatie a tensiunii la iesirea AO se calculeaza cu relatia:

$$\frac{dv_o}{dt} = V_o \omega_o \cos \omega_o t$$

de unde rezulta ca valoarea maxima a acesteia este:

$$SR = \left(\frac{dv_o}{dt} \right)_{\max} = V_o \omega_o \quad [V/\mu s]$$

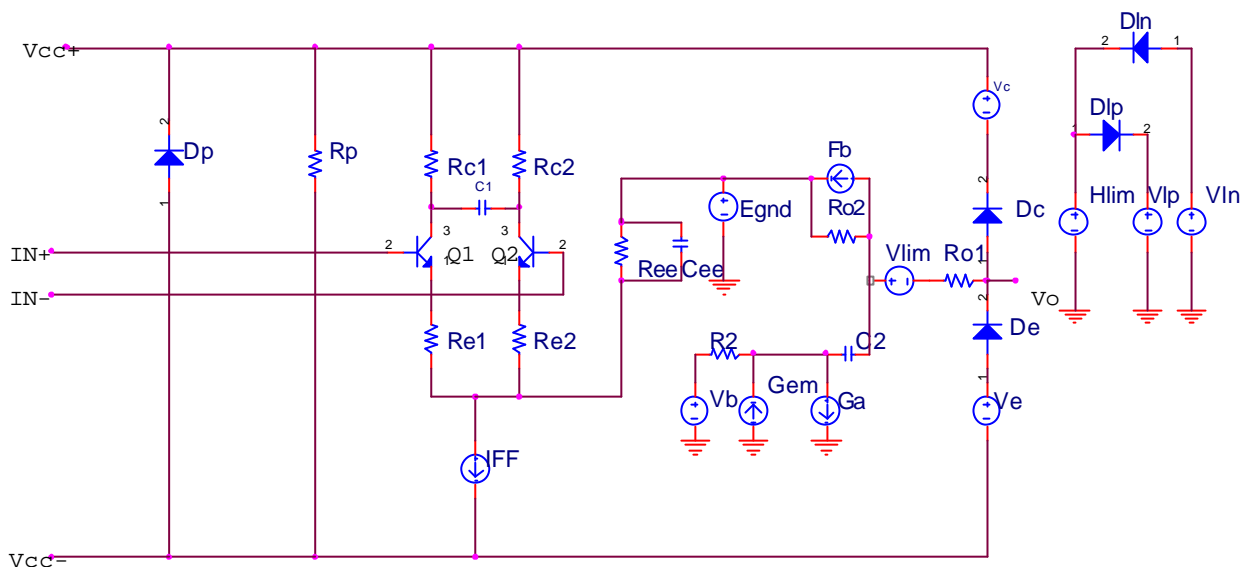
Se pot face acum o serie de observatii:

- aceasta manifestare neliniara apare mai întâi la trecerile prin zero ale semnalului de iesire;
- SR se determina măsurînd panta semnalului triunghiular de la iesire - într-o aplicatie concreta, cunoscînd valoarea tensiunii de alimentare (egala cu valoarea maxima la care ar putea ajunge V_o) si citind din catalog valoarea SR pentru amplificatorul operational folosit se poate determina valoarea maxima a frecventei de lucru pîna la care aceasta manifestare neliniara nu va apare, marime denumita *banda de câstig integral*:

$$W_{\max} = \frac{SR}{V^+}$$

Model Spice pentru AO

In macromodelul pentru AO de mai jos avem:



- Q1,Q2 constituie etajul diferential de intrare;
- Ree modeleaza impedanta de intrare pe modul comun;
- C1 modeleaza rezerva de faza, adaugand un defazaj suplimentar;
- Rp modeleaza puterea absorbita din sursele de alimentare;
- Ro1,Ro2 modeleaza impedanta de ie sire;
- Ga realizeaza trecerea de la etajul de intrare la etajul de iesire;

```
.subckt uA741 1 2 3 4 5
c1 11 12 8.661E-12
c2 6 7 30.00E-12
de 54 5 dy
dln 92 90 dx
dp 4 3 dx
egnd 99 0 poly(2),(3,0),(4,0) 0 .5 .5
fb 7 99 poly(5) vb vc ve vlp vln 0 10.61E6 -1E3 1E3 10E6 -10E6
ga 6 0 11 12 188.5E-6
gcm 0 6 10 99 5.961E-9
iee 10 4 dc 15.16E-6
hlim 90 0 vlim 1K
q1 11 2 13 qx
q2 12 1 14 qx
r2 6 9 100.0E3
rc1 3 11 5.305E3
rc2 3 12 5.305E3
re1 13 10 1.836E3
re2 14 10 1.836E3
ree 10 99 13.19E6
ro1 8 5 50
ro2 7 99 100
rp 3 4 18.16E3
vb 9 0 dc 0
vc 3 53 dc 1
ve 54 4 dc 1
vlim 7 8 dc 0
vlp 91 0 dc 40
vln 0 92 dc 40
.model dx D(Is=800.0E-18 Rs=1)
.model dy D(Is=800.00E-18 Rs=1m Cjo=10p)
.model qx NPN(Is=800.0E-18 Bf=93.75)
.ends
```