

INTRODUCTION A LA SIMULATION SOUS **Electronics Workbench (SPICE2.0).**

1970 :
STANFORD

LINPACK, EISPACK

1973 :
Berkeley Univ.

SPICE (Thèse de doctorat) 1.0 :
Programme de Simulation de circuits
linéaires et non- linéaires.

Uniquement calcul : fichier d'entrée
(composants, circuit) → tensions et
courant = $f(t)$

Distribution gratuite (sources fortran)

...

=> Logiciels commerciaux (HSPICE,
PSPICE, ICAP (Intusoft Inc.))

Développements : analyse de sensibilités,
de bruit, nouveaux modèles de
composants, visualisation, interactivité,
etc...

AUJOURD'HUI

2.G6 = dernière version publique.
3.0 (ICAP de Intusoft Inc.)
Edition de circuits, calcul et visualisation,
analyse en mode mixte...
Sous Xwindows, windows, DOS...

AU LABO

Electronics Workbench 4.0 (PC), version
étudiant (+- 15000 BEF)

RAPPEL : Analyse de Circuits Linéaires

Analyse DC (sources DC, pas de transitoires)

Eliminer les capacités, court-circuiter les inductances, puis : Lemmes de Kirchhoff ou méthode des mailles ou des noeuds.

Analyse Transitoire

Lemmes de Kirchhoff ou méthode des mailles ou des noeuds en transformée de Laplace. Résolution Symbolique $\Rightarrow U(p)$ ou $I(p) \Rightarrow u(t)$ ou $i(t)$

OU

Lemmes de Kirchhoff ou méthode des mailles ou des noeuds en format intégro-différentiel. Résolution numérique $\Rightarrow u(t)$ ou $i(t)$

Analyse en régime périodique (sources AC, pas de transitoires)

Substituts complexes : source sinusoidale = amplitude, phase

Lemmes de Kirchhoff ou méthode des mailles ou des noeuds, **sous forme opérationnelle**. Résolution du système linéaire \Rightarrow amplitudes et phases des tensions-courants.

- Si sources périodique non-sinusoidale : décomposition en série de Fourier (principe de superposition)
- Si Sources DC + AC : Principe de superposition \Rightarrow analyse DC + analyse AC.

- **Courbe de bode ?**

1. Résolution symbolique des équations de noeuds $\Rightarrow U(p)$ ou $I(p) \Rightarrow u(t)$ ou $i(t)$
2. Résolution du système en substituts complexe pour chaque fréquence envisagée.

Exemple d'analyse en régime sinusoïdal

Exercice 9 du protocole de laboratoire en Théorie des Circuits

```
function [U]=ananodal(VConnect,VN,VD,w,Inode)
% function [U] = ananod(VConnect,VN,VD,w,Inode) returns complex
% substitutes for the node voltages of any LTI circuit
% with a planar graph, and no coupling between branches.
% Each branch contains an admittance between nodes
% VConnect(i,1) and VConnect(i,2), defined as
%
%                               VN(i,:)
%   Y(VConnect(i),VConnect(j))= -----
%                               VD(i,:)
% Node 0 is the reference.
% Only one independant source is allowed : a current source
% = exp(jwt) is supposed to be connected between nodes 0 and
% Inode.
% The frequency response is computed on a line vector
% of pulsations w.

% T. DUTOIT, 5/2/93

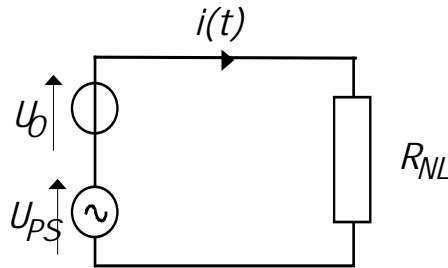
nnodes=max(max(VConnect));
U=zeros(nnodes,length(w));
I=zeros(nnodes,1); I(Inode,1)=1;
for i=1:length(w)
    Y=zeros(nnodes);
    for j=1:nnodes-1
        for k=j+1:nnodes
            branchjk=((VConnect(:,1)==j & VConnect(:,2)==k)
                | (VConnect(:,1)==k & VConnect(:,2)==j));
            Y(j,k)=-sum(repfreq(VN(branchjk,:),VD(branchjk,:),w(i)));
            end;
        end;
    end;
    Y=Y+Y.';
    for j=1:nnodes
        nodej=(VConnect(:,1)==j | VConnect(:,2)==j);
        Y(j,j)=sum(repfreq(VN(nodej,:),VD(nodej,:),w(i)));
        end;
    U(:,i)=Y\I;
end;
```

Analyse de Circuits NON - Linéaires

Lemmes de Kirchhoff => système d'équations integro-diférentielles
NON-LINEAIRES ...

Transformée de Laplace ? Toujours valable, mais $R, L, C = f(u,i)$???

Ex :



$$u_r(t) = R i_r(t)$$

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} u_r(t) \exp(-pt) dt &= \int_{-\infty}^{+\infty} R i_r(t) \exp(-pt) dt \\ &= R \int_{-\infty}^{+\infty} i_r(t) \exp(-pt) dt \end{aligned}$$

MAIS

$$u_r(t) = R_{NL}(u_r(t)) i_r(t)$$

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} u_r(t) \exp(-pt) dt &= \int_{-\infty}^{+\infty} R_{NL}(u_r(t)) i_r(t) \exp(-pt) dt \\ &??? \end{aligned}$$

ON JETTE TOUT et on résoud les équations intégro-diiférentielles
par intégrations numérique (Trapèze, Runge-Kutta, etc...) ???

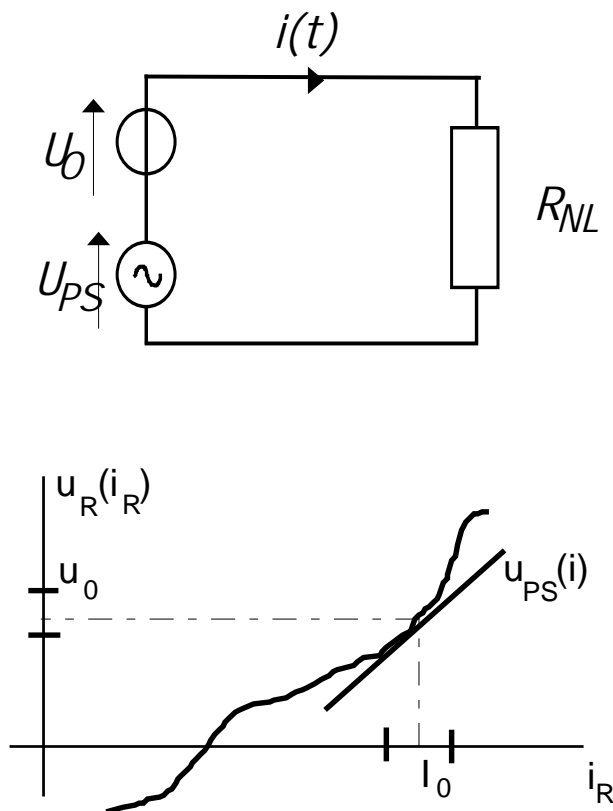
NON

Il existe des gradations dans la non-linéarité.

Analyse en petits signaux

HYPOTHESE : Fonctionnement du circuit = à peu près linéaire autour d'un *point de repos* qui peut être obtenu par **analyse DC**. Une fois le point de repos établi, on linéarise les composants non-linéaires, et on retombe sur le problème précédent : **analyse AC**.

Ex :



$$\text{Si } U_{PS} \ll U_0 : U_0 \Rightarrow I_0 \Rightarrow R_{PS} \Rightarrow I_{PS}$$

De plus, VALABLE EN AC régime ou transitoire !

MAIS attention à l'hypothèse "petits-signaux"

Analyse DC (cas non-linéaire)

Beaucoup plus complexe que dans le cas linéaire !

- Ouvrir capacités, court-circuiter les inductances, annuler les sources AC, et supposer le régime atteint.
- Considérer les éléments non-linéaires sous la forme de leurs **modèles DC**

Ex : (Diode, Transistor)

Méthode itérative : un état de départ (U,I) => valeurs du modèle DC => méthode des noeuds => nouvelles valeurs de (U,I) ...

Fin des itérations lorsqu'une solution "**stable**" a été atteinte.

Analyse régime petits signaux (cas non-linéaire)

Ex : tracé de la réponse en fréquence d'un circuit non-linéaire autour de son point de repos (Simulation d'un analyseur de Bode)

Méthode ?

1. Calcul du point de repos : Analyse DC (itérative)
2. Remplacement des éléments non-linéaires par leur *modèle petits-signaux* (fonction du point de repos !!!)
3. Pour chaque fréquence considérée, créer une matrice d'admittances nodales et résoudre par la méthode des noeuds.

Ex. de modèles "petits signaux" (Diode, Transistor)

Analyse transitoire en petits signaux (cas non-linéaire)

Ex : tracé de la réponse impulsionnelle d'un filtre ou d'un ampli actif

Méthode ?

1. Calcul du point de repos : Analyse DC (itérative)
2. Remplacement des éléments non-linéaires par leur *modèle petits-signaux* (fonction du point de repos !!!)
3. Lemmes de Kirkchhoff en Laplace => résolution symbolique
OU
Lemmes de Kirkchhoff en temporel => résolution numérique

Analyse en grands signaux

On ne considère plus de "point de repos" invariable au cours du temps: les grandeurs (u,i) évoluent, donc les valeurs des éléments non-linéaires évoluent aussi.

Analyse régime grands signaux (cas non-linéaire)

Méthode ?

1. Analyse DC (itérative) en $t=0$
2. Remplacement des éléments non-linéaires par leur valeur pour u et i courants.
3. Choix d'un pas temporel ($\Delta t \ll \ll$) et résolution numérique des équations intégral-différentielles (Trapèze ou Runge-Kutta)
4. en $t=\Delta t$: nouvelles valeurs des u,i => aller au point 2.

FIN : après une période du signal d'excitation

Analyse transitoire grands signaux (cas non-linéaire)

cfr plus haut, sauf que :

- pas d'analyse DC préalable : on suppose l'état quiescent
- **FIN** : lorsque on atteint un "régime" (précision à fixer).

CONCLUSION :

(Linéaire ? Non-Linéaire ?)

TRA - REG

(Petits signaux ? Grands signaux ?)

Δt

CAS PARTICULIER d'Electronics WorkBench

Analysis Options

Analysis Type

Transient

Steady-state

Active Component Simulation

Assume linear operation

Oscilloscope Display

Pause after each screen

Store results for all nodes

Tolerance: 1 %

Time domain points per cycle: 100

Bode Analysis points per cycle: 100

Temporary file size for simulation (Mb): 10

Accept

Cancel

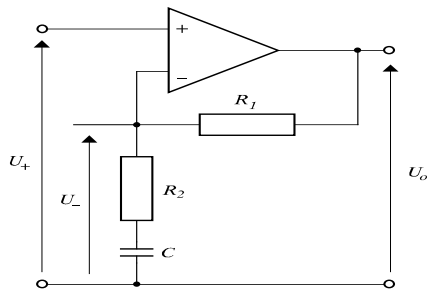
Transient - Steady State

Petits Signaux : Assume Linear Operation

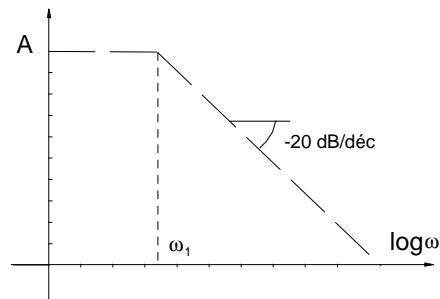
Δt : Time domain points per cycle (mais pour les transitoires, il choisit lui-même le nombre de points, de façon adaptative)

Problème de la modélisation DC/AC des éléments non-linéaires

Script 9 du protocole de laboratoire de Théorie des Circuits

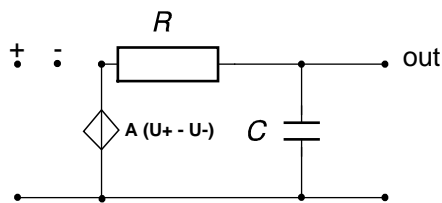


Amplificateur simple.

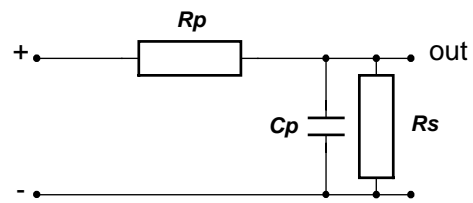


Transmittance en boucle ouverte.

On peut donc raisonnablement le modéliser par :



ou



Cependant, le deuxième modélisation est A REJETER : la coïncidence entre deux circuits au niveau de leurs réponses à vide n'entraîne en rien leur équivalence complète ! Ainsi, les impédances d'entrée et de sortie des circuits seront en général totalement différentes (un ampli op a des impédances d'entrées très élevées).

Modèle utilisé par Electronics Workbench :

=> Les modèles équivalents DC et AC des composants actifs sont affaire de spécialistes !