

Simulation du redressement triphasé sous EDWIN 1.1

par J.-C. MAURIN
25000 Besançon

1. INTRODUCTION

Les logiciels de simulation électronique sont basés sur SPICE, logiciel élaboré à l'Université de Berkeley en 1975 et désormais du domaine public, chaque éditeur élaborant pour son propre compte une interface permettant une utilisation en principe aisée.

Une utilisation pédagogique de ce type de logiciel nécessite surtout une prise en main intuitive par l'utilisateur : la simulation d'un circuit doit porter sur le circuit lui-même et non pas sur les commandes du logiciel qui permet cette simulation.

On commence à commercialiser des simulateurs sous Windows qui permettent enfin à l'utilisateur novice (ce qui est quelquefois le cas de l'élève) de se concentrer sur le circuit simulé et lui seul.

Nous allons voir un exemple de simulation sur EDWIN 1.1, version Windows du logiciel EED3 sous DOS.

Cet exemple s'intéresse au comportement des diodes dans un montage redresseur triphasé mono alternance dit montage de type P3.

2. SAISIE DU SCHÉMA

La première partie du travail en simulation est toujours de définir le circuit que l'on souhaite simuler.

Cette partie du travail sous SPICE était pénible et l'intérêt de la saisie des lignes de programme pour définir le circuit pouvait apparaître à l'esprit simple du physicien comme étant d'un intérêt modéré.

Ici le circuit se définit par son schéma que l'on saisit *directement* à la souris.

Les composants usuels sont regroupés dans différentes bibliothèques qui comprennent le schéma et le modèle physico-mathématique des composants (voir figure 1).

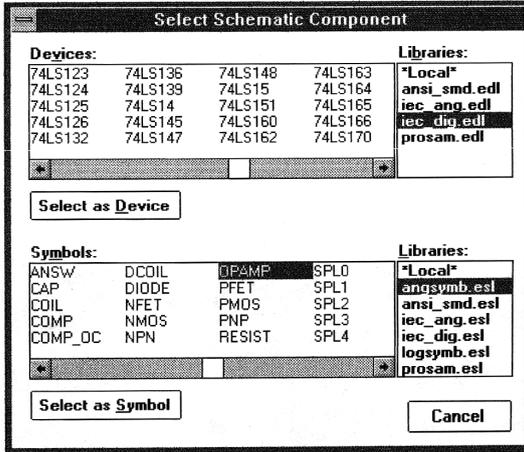


Figure 1

Une fois les composants choisis on passe à leurs connexions et à la vérification du schéma (toutes les commandes se font à la souris).

On peut alors passer à la simulation proprement dite en lançant le module simulation.

Le logiciel EDWIN élabore *lui-même* son programme SPICE. Il ne reste plus qu'à définir la valeur des composants en cliquant sur ceux-ci pour définir les paramètres souhaités : voici par exemple les paramètres de la diode (voir figure 2).

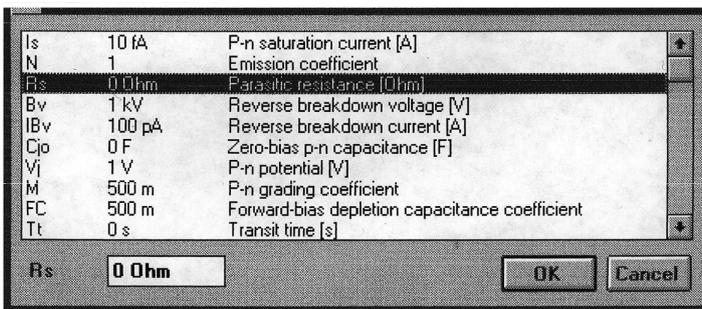


Figure 2

On réalise le schéma en totalité à la souris en plaçant les composants puis les connexions. On vérifie le montage. Ce montage comporte trois diodes D1, D2, D3 et une charge R, L.

L'alimentation est assurée par un transformateur triphasé (voir figure 3).

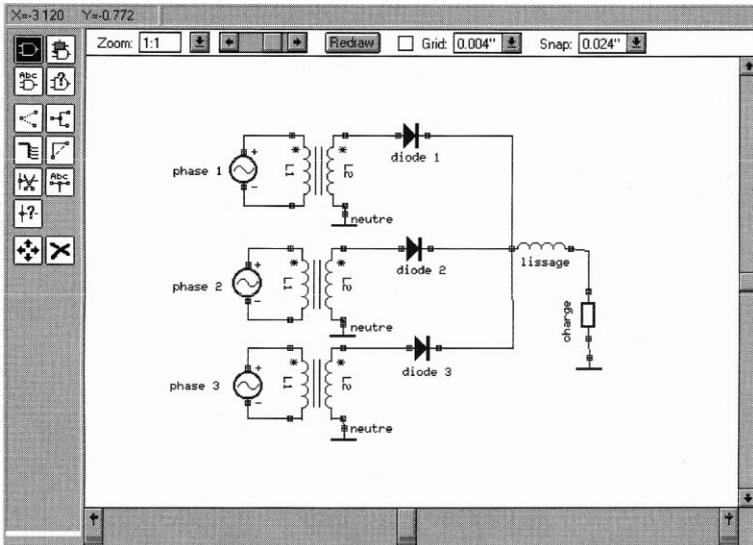


Figure 3

En l'absence de transformateur triphasé disponible dans les bibliothèques on se trouve dans l'obligation d'utiliser trois transformateur monophasés alimentés par trois générateurs de phases respectives : 0 , 120° , -120° (voir figure 4).

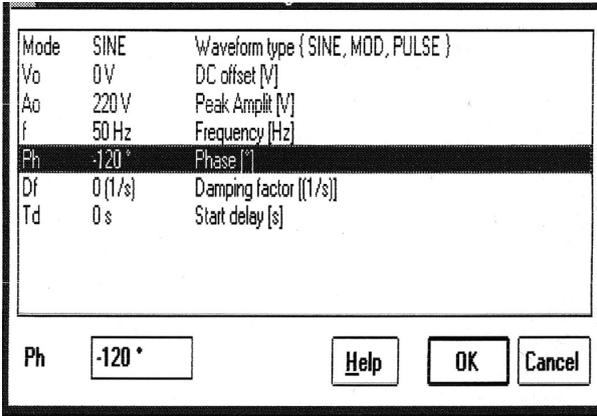


Figure 4

On adopte une amplitude de 220 V* et une fréquence de 50 Hz pour une tension sinusoïdale sans composante continue.

La saisie d'un tel schéma demande cinq minutes à l'utilisateur habituel.

3. ÉTUDE DE LA COMMUTATION DES DIODES DANS LE REDRESSEMENT P3

On va étudier le comportement des diodes, dans le pont triphasé P3 du schéma précédent, en fonction du courant I_4 dans la charge R, L. L'inductance de lissage est telle que le courant I_4 soit pratiquement continu.

On commence par changer de module : on passe dans le module simulation (voir figure 5).

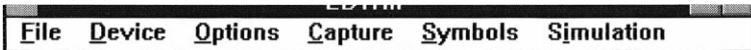


Figure 5

* N.D.L.R. : Il peut être plus réaliste de choisir l'amplitude maximale égale à $220 \sqrt{2} = 311$ V.

L'étude se fait en fonction du temps : il convient donc de placer les points tests pour visualiser les formes d'ondes des tensions et courants ainsi que les points tests pour afficher, *en cours* du calcul de simulation, les valeurs *instantanées* des courants et tensions.

On indique avec la souris le type de point test directement sur la figure 6.

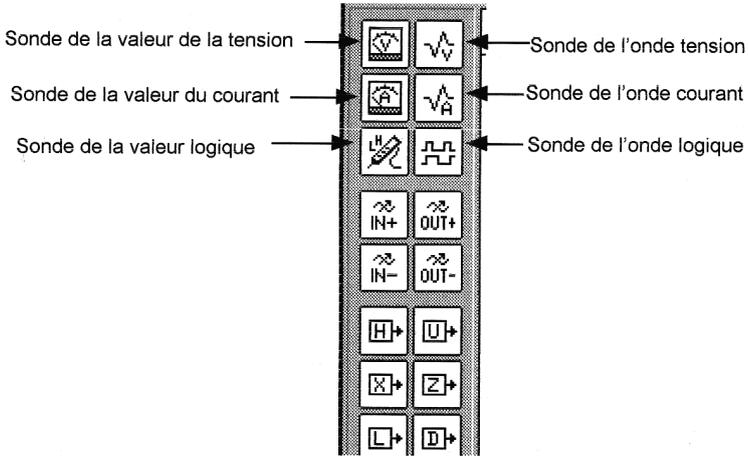


Figure 6

On peut alors lancer le calcul de type temporel : ANALYSE, TD SIM et choisir les paramètres de la simulation (voir figure 7).

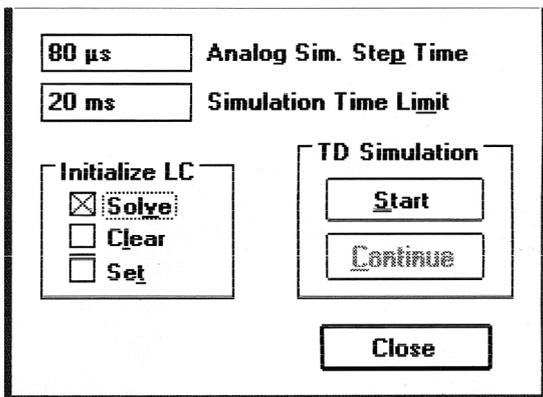


Figure 7

Le choix de la durée totale de simulation correspond ici à une période soit 20 ms et le pas de calcul (ici 80 μ s) est choisi pour avoir un nombre de points suffisants sans obérer la durée du calcul (cinq secondes).

En choisissant un pas encore plus faible (1 μ s) la visualisation des valeurs instantanées des courants et tensions *en cours de calcul* se trouverait facilitée mais la durée totale du calcul serait grande (cinq minutes).

Pour avoir des durées de calcul raisonnables le matériel requis est au minimum un 386 DX et 387 DX avec 4 Mo de mémoire.

La présence du coprocesseur mathématique est indispensable pour avoir des durées de calcul faibles (le coprocesseur est déjà compris dans le 486 DX ou le PENTIUM).

Ici la durée du calcul est de l'ordre de cinq secondes sur un 386 DX 40.

Lors du calcul, les valeurs numériques des courants et tensions évoluent *en temps réel* ce qui permet de vérifier le fonctionnement du montage : sur l'écran de la figure 8, enregistré en cours du calcul, on constate que la diode D3 conduit (courant $I_3 = 6,158$ A) et dans le

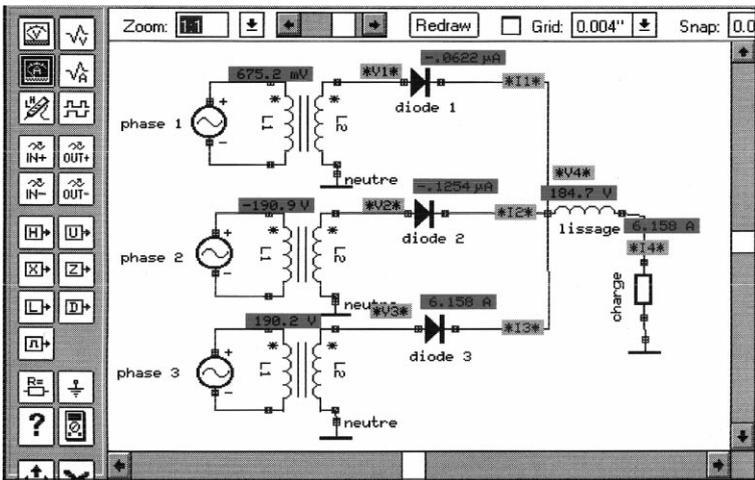


Figure 8

même temps c'est bien la tension sur son anode qui est la plus grande ($V_3 = +190,2$ V). La réalité physique rejoint la simulation à moins que ce ne soit l'inverse.

On obtient alors les formes d'ondes suivantes pour les courants et tensions. L'observation des courants I_1 , I_2 et I_3 (voir figure 9) nous montre la conduction successive des diodes D3, D1, D2, D3, D1, ... On peut noter que les courants ne commutent pas instantanément d'une diode à l'autre. L'inductance L_s du secondaire du transformateur interdit l'annulation instantanée du courant : c'est le phénomène d'empîement.

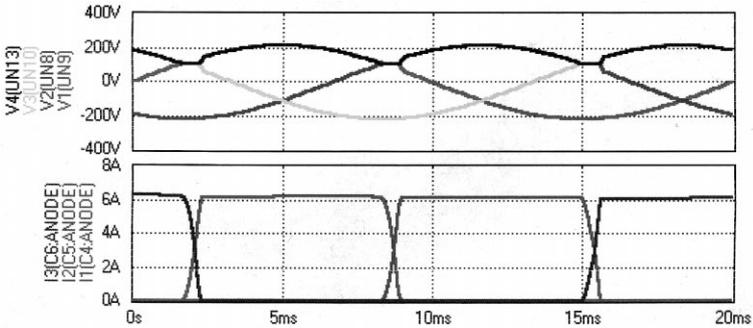


Figure 9

Lors de la commutation on remarque une déformation des tensions correspondantes : en effet, lors de la conduction simultanée des diodes D1 et D3 (aux alentours de 2 ms), les secondaires des transformateurs sont au même potentiel et on doit avoir $V_1 = V_3$, la tension commune est alors la moyenne des deux tensions : $(V_1 + V_3)/2$ (voir figure 10).

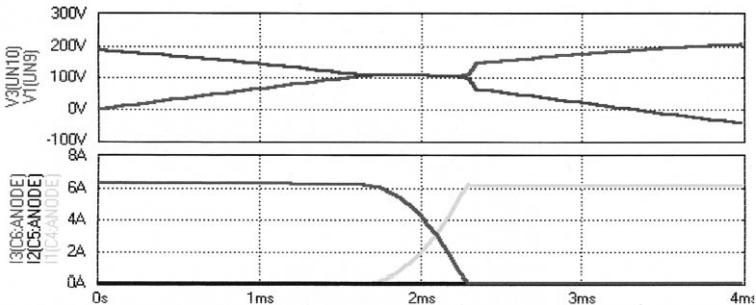


Figure 10

En modifiant les paramètres du calcul on étudie les instants proches de la commutation. On peut notamment remarquer la variation sinusoïdale des courants lors de la commutation des diodes. Ici la valeur choisie de la charge donne un courant de l'ordre de 6 A, la commutation débute à 1,8 ms et s'achève à 2,2 ms (voir figure 11).

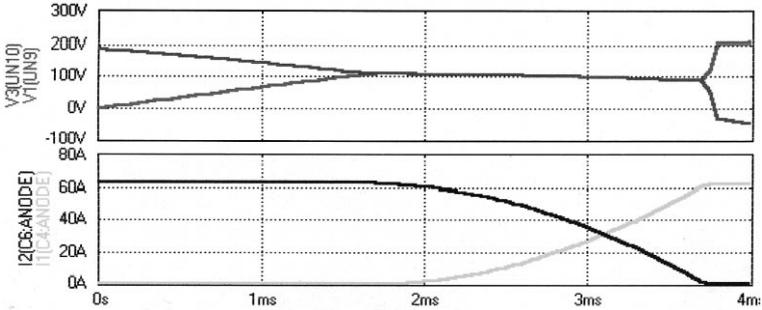


Figure 11

En modifiant la valeur de la charge (un simple clic de souris et on entre la nouvelle valeur de R) on obtient un courant $I_4 = 60$ A. La commutation débute toujours lorsque $V_1 = V_3$ soit ici à $t = 1,8$ ms mais s'achève désormais à $t = 3,2$ ms (voir figure 12), la variation des courants lors de la commutation est bien sinusoïdale.

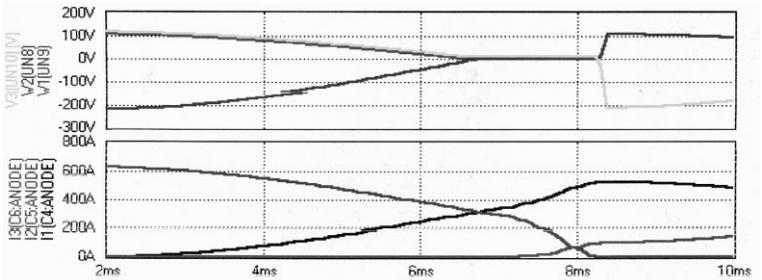


Figure 12

On peut, pour une charge très peu résistive ($I_4 = 600$ A soit un quasi court-circuit) obtenir un empiètement tel que la conduction de la troisième diode débute *avant* la fin de la commutation D1 D3. Sur la figure 12 on a conduction simultanée des **trois** diodes entre 7 et 8 ms.

La variation sinusoïdale des courants s'explique de la manière suivante : lors de la conduction simultanée de D1 et D3 on peut écrire la loi d'Ohm aux bornes du circuit constitué par le secondaire 1, D1, D3, et le secondaire 3 :

$$L_s dI_1/dt - L_s dI_3/dt = V_1(t) - V_3(t) = V' \max \sin(\omega t + \phi)$$

(L_s : inductance secondaire), de plus la somme $I_1 + I_3 = I_4$ est constante si la charge est très inductive (inductance de lissage).

On a donc :

$$dI_1/dt = -dI_3/dt$$

et on a : $2 L_s dI_1/dt = V' \max \sin(\omega t + \phi)$

d'où une solution sinusoïdale pour le courant. La conduction simultanée cesse lorsque I_1 atteint la valeur du courant constant I_4 de la charge. Suivant la valeur de I_4 la durée de la commutation augmente ou diminue.

On peut noter des intervalles durant lesquels la tension de sortie V_4 est nulle : ces instants correspondent à la conduction simultanée de D1, D2, D3, ainsi V_4 sera la moyenne de $V_1 V_2 V_3$, ce qui donne bien 0. Dans les autres intervalles la tension sera la moyenne de deux phases ce qui donne bien une amplitude de 110 V.

Les courants sont largement déformés, même si leur *somme est toujours constante* et de l'ordre de 600 A.

Ce type de fonctionnement limite est aisé à étudier lors d'une simulation.

Une expérimentation avec un courant de 600 A serait-elle vraiment raisonnable ? On peut s'interroger.

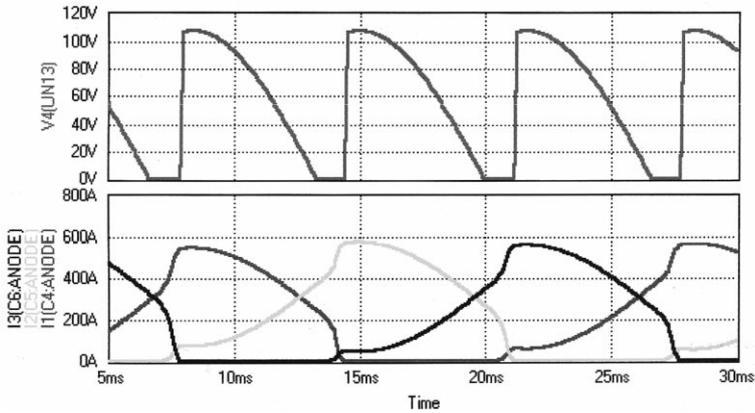


Figure 13

4. CONCLUSIONS

Le développement de la simulation est rendu possible par la qualité des modèles SPICE qui sont basés sur la physique du solide et par la puissance de calcul des PC actuels.

La simulation ne peut naturellement pas remplacer l'expérimentation mais elle peut aider en cours de séance pour montrer *rapidement* le comportement d'un montage lorsque certains paramètres varient, une telle utilisation n'est réaliste avec des élèves que dans la mesure où la prise en main du logiciel est aisée.

La simulation peut aussi permettre d'étudier un phénomène dont l'expérimentation réelle serait délicate voire dangereuse.

Les simulateurs électroniques sous Windows rendent désormais possible ce type d'utilisation pédagogique dans la mesure où l'enseignant a déjà saisi le circuit et surtout *vérifié son fonctionnement simulé*.

EDWIN 1.1 est édité par :

CONVERGIE - 9-11, rue du Moulin des Bruyères - 92400 COURBEVOIE -
Tél. : (1) 47.88.50.63.

Le prix de la version établissement est de l'ordre de 7 000 F.