

Tutorial LTSpice, tracé de courbes de caractéristique etc ...

Voici donc une petite présentation du logiciel, très succincte et simple, car je ne suis pas du tout un utilisateur chevronné ...

A terme, il a été aussi évoquée l'idée d'en faire un article, ce à quoi réfléchiront peut être les administrateurs du site en temps voulu si ça prend suffisamment forme, personnellement je pense que mes compétences d'utilisateur de base ne me permettent pas de faire un article sur ce logiciel ...

Toutes vos remarques et contributions sont bien sur les bienvenues !!

Cette présentation évoluera sans doute petit à petit, en fonction des remarques que vous ferez ici sur le topic

PRESENTATION DU LOGICIEL :

LTSpice est un logiciel de simulation de circuits électroniques, dérivé de SPICE

Il a l'avantage d'être freeware, et est bcp utilisé dans le monde du DIY des circuits à tubes entre autres. Vous le trouverez ici :

<http://www.linear.com/designtools/software/ltspice.jsp>

Ce qui nous intéressera principalement dans un premier temps quant aux possibilités du logiciel, c'est la saisie d'un schéma électronique, et la simulation de celui ci. Puis dans un 2ème temps, en application, le tracé de courbes de caractéristiques pour un tube donné, et tout ce qu'on y associe quand on fait une étude théorique avant de monter un ampli : tracé des droites de charge, estimation du point de bias, estimation de la puissance de sortie du montage etc ...

INSTALLATION DU LOGICIEL :

Après avoir installé le logiciel (pas de difficulté particulière), nous allons y adjoindre des modèles de tubes, de potentiomètres et de transfos de sortie. Je précise que ces modèles de tubes ont tous été récupérés sur des forums publics, et je remercie vivement toutes les personnes qui les ont créés !!

Pour celà, téléchargez les 2 fichiers ZIP ci joints :

<http://vintageamps.free.fr/symboles.zip>

<http://vintageamps.free.fr/modeles.zip>

Vous allez ensuite décompresser le contenu du fichier symboles.zip dans le répertoire C:/Program Files/LTC/LTSpiceIV/lib/sym/, et le contenu du fichier modeles.zip dans le répertoire C:/Program Files/LTC/LTSpiceIV/lib/sub/

UTILISATION DU LOGICIEL :

1) Saisie d'un schéma électronique :

Dans la fenêtre principale du logiciel, allez dans le menu File puis clic G sur New Schematic

Avant de saisir votre schéma, nous allons inclure les modèles de tubes, de la façon suivante :

Menu Edit / clic G sur SPICE Directive

Une fenêtre s'ouvre, dans laquelle on saisit la ligne suivante :

.inc preamp.inc

Puis ctrl + M pour un retour à la ligne

Puis on saisit cette nouvelle ligne :

.inc puissance.inc

Et vous validez par un clic G sur OK

Vous allez maintenant dessiner votre schéma, à l'aide de la barre d'outil, dans laquelle vous trouverez toute une série de boutons.

Placez votre curseur de souris sur chaque bouton pour avoir une brève description de l'outil.

L'outil crayon permet de dessiner les fils de connexions entre les différents composants. Pour dessiner un fil de connexion, on sélectionne l'outil, on fait un clic G à l'endroit souhaité, on déplace le curseur de la souris (le fil apparaît), et on fait un nouveau clic G pour valider la portion dessinée. On peut croiser les fils sans aucun souci, et quand on veut se connecter à un autre fil, un noeud apparaîtra (petit carré bleu)

Si on fait une fausse manip, on sélectionne l'outil ciseau, et on supprime ce que l'on veut

Pour ajouter un composant classique (résistance, diode, condensateur, inductance), on sélectionne l'outil adéquat, et on place le composant sur le schéma à l'aide d'un clic G.

Petite astuce : pour faire pivoter un composant en position verticale ou horizontale, après avoir sélectionné l'outil, appuyer sur ctrl + R

Pour ajouter une alimentation DC ou AC, sélectionnez l'outil component, puis le symbole voltage. Ensuite, clic G sur le schéma pour placer le symbole, puis clic D sur le symbole, pour du DC on rentre directement la valeur de tension désirée, pour de l'AC clic G sur advanced, sélectionnez le type de signal, par exemple Sine, et rentrez ses paramètres d'amplitude et de fréquence

Pour ajouter un tube, sélectionner l'outil component, une fenêtre s'ouvre, dans laquelle vous trouverez 3 types de symboles : triode pour les triodes, xpentode4 A S G K et xpentode4_pg1cg2 pour les pentodes ou beam power tetrodes.

C'est là où il y a une petite subtilité : certains modèles de pentodes / tetrodes sont écrits dans "l'ordre" A S G K (Anode / Grille de contre écran / Grille de commande / cathode), et d'autres dans l'ordre P G1 C G2 (Anode / Grille de commande / Cathode / Grille de contre écran)

Voici donc parmi les modèles de tubes fournis dans le fichier ZIP les modèles à utiliser avec le symbole A S G K :

EL84

EL34

6V6

KT88

EF86

Et les autres modèles à utiliser avec le symbole PG1CG2 :

6L6GC

6550

Pour les triodes de preamp, voici la liste des modèles fournis dans le fichier preamp.inc à utiliser avec le symbole triode :

12AX7
12AT7
12AY7
12AU7
12AV7
5751
E88CC
6SL7
6SN7

Tous les modèles de tubes sont inclus dans les 2 fichiers .inc dont vous avez donné le lien au début dans votre schéma, puissance.inc pour les tubes de puissance, et preamp.inc pour les tubes de preamp.

Quand vous avez inclu le bon symbole pour le tube, vous faites un clic D sur celui ci dans le schéma, une fenêtre s'ouvre, vous double cliquez sur la ligne Value, et vous saisissez le nom du modèle de tube désiré, vous validez par un clic G sur OK

Par ailleurs, la valeur de chaque composant inséré sur le schéma se sélectionne en faisant un clic D sur le composant désiré, et en rentrant sa valeur.

Pour les résistances, la syntaxe est du type 2.7k pour 2,7kohms ou 270 pour 270 ohms ou encore 1Meg pour 1Megohm

Pour les condos, du type 0.02u pour 0,02µF, 220n pour 220nF, 220p pour 220pF

Pour les inductances, du type 1 pour 1H, 1m pour 1mH ou 1u pour 1µH

Voici un exemple de schéma :

<http://vintageamps.free.fr/schema.asc>

2) Simulation du circuit :

2 types de simulation nous intéresseront :

- Simulation type oscilloscope pour visualiser un signal en différents points du circuit saisi :

Utiliser l'outil component, et sélectionner le composant voltage, puis vous placez ce générateur de tension à l'entrée de votre circuit sur le schéma par un clic G. Ensuite, clic D sur le symbole dans le schéma, puis clic G sur advanced, sélectionnez Sine, et saisissez les paramètres du signal (DC offset, amplitude et fréquence)

Ensuite, vous allez dans le menu Edit, puis clic G sur SPICE Analysis, une fenêtre apparaît. Vous sélectionnez l'onglet Transient, puis vous remplissez les champs Stop Time et Time to start saving data. Généralement, je rentre respectivement 100m et 95m dans ces 2 champs, et j'utilise en entrée de circuit un signal de fréquence 1KHz

Vous pouvez maintenant lancer la simulation en cliquant sur le bouton correspondant dans la

barre d'outil (bonhomme qui court)

Une nouvelle fenêtre va apparaître à côté de celle contenant votre schéma. Et pour visualiser le signal en différents points du circuit, vous placez le curseur de la souris sur le point désiré, apparaît une sonde, vous faites un clic G, et le signal apparaît (en tension)

Pour visualiser un courant, vous vous positionnez sur un composant, un dessin avec une flèche rouge passant dans un rond apparaît, et vous faites un clic G

- Simulation pour visualiser la réponse en fréquence d'un circuit :

To be continued ...

3) Tracer des courbes de caractéristique pour des pentodes ou tetrodes :

Téléchargez le fichier LTSpice suivant :

<http://vintageamps.free.fr/courbes.asc>

Vous l'ouvrez dans LTSpice, et vous choisissez d'abord si vous souhaitez tracer des courbes en mode pentode, triode ou UL. Pour ça, modifier le paramètre "Value" sur E1 (accès par clic droit sur E1), en double cliquant sur la ligne "Value". à 0, on est en mode pentode, à 1 en mode triode, et en UL 40% par exemple, on rentrera 0.4

Ensuite, on définit la tension Ug2, dans le fichier c'est le V0, donc clic droit sur la ligne ".param V0 = 480", et on rentre la valeur désirée à la place de 480

Puis on choisit les différentes tensions de grille, dans l'exemple donné dans le fichier, j'ai pris de 0V à -65V par incréments de -5V, on peut le modifier en faisant un clic droit sur la ligne ".dc V1 0 {V02} 1 V2 0 -65 -5" et en modifiant les 2 dernières valeurs

Et enfin, on choisit son tube, en insérant le symbole correspondant au tube souhaité sur le schéma, puis clic D sur le symbole, et on rentre le nom du tube dans la ligne "Value"

Enfin, on peut lancer la simulation, une fenêtre courbe.raw apparaît. On fait un clic D sur cette fenêtre, clic G sur "visible traces" et on sélectionne la ligne "Ix(U2:Anode)", ça vous donne les courbes de caractéristique, par dessus lesquelles on peut tracer des droites de charge en faisant tjs un clic D sur la fenêtre .raw, puis clic G sur "Add Trace", et on rentre l'équation de la droite de charge :

par exemple, pour une droite classe B avec un transfo à primaire de $R_{aa} = 4,8k$ sur un circuit simple push pull, ce serait : $(500V - v(a))/1200 : 500V$ c'est la tension d'anode U_a au repos au point de bias, $v(a)$ c'est la tension d'anode U_a , et 1200 c'est $R_{aa} / 4$ pour le fonctionnement classe B

Dernière chose, quand on trace les droites de charge, tout va disparaître sur la fenêtre raw, pas de panique, on modifie l'échelle de l'axe des abscisses (clic G sur l'axe des abscisses) et de l'axe des ordonnées (clic G aussi). Par contre, ne pas être surpris, il y aura 2 axes des ordonnées : 1 en mV sur la gauche, ce sont en fait des mA et 1 en mA sur la droite. Il faudra bien mettre les mêmes échelles à G et à D, sinon ce sera fossé sur le tracé

Pour le tracé de la droite classe A, c'est le même principe, sauf que ce serait par exemple : $35mA + ((500V - v(a))/2400)$ Les 35mA c'est le courant au point de bias au repos, et 2400 c'est $R_{aa} / 2$.

Et si on veut ajouter la limite PaMax :

- clic droit sur la fenêtre des courbes

- clic "Add Trace"

- dans le cadre "Expression to add", écrire la formule suivante $> P_{\text{amax}}/V(a)$, avec Pamax la valeur de la lampe utilisée (pour une el84 $> 12/V(a)$)

- clic sur "ok"

- clic droit sur la graduation de droite (une règle apparaît quand on passe dessus)

- entrer les mêmes valeurs que la graduation de gauche mais en mV

- "ok"

Je vous précise qu'il ne faut pas se fier à 100% aux tracés de courbes de caractéristiques, mais c'est une bonne approximation quand on a un bon modèle de tube, et très utile quand on étudie de façon théorique son circuit.

Pour voir à quel point vous pouvez vous fier à vos simulations, simulez des courbes avec les données d'un exemple précis d'un datasheet, et comparez vos courbes simulées à celles du datasheet, ça vous donnera une idée de la précision de la simulation ...