



Licence EEA Semestre 5

Fascicule Bureau d'Etude SPICE

Responsable : Mr Buso, david.buso@laplace.univ-tlse.fr

TP 1: ETUDE D'UN CIRCUIT DU PREMIER ORDRE

Objectifs pédagogiques de la séance

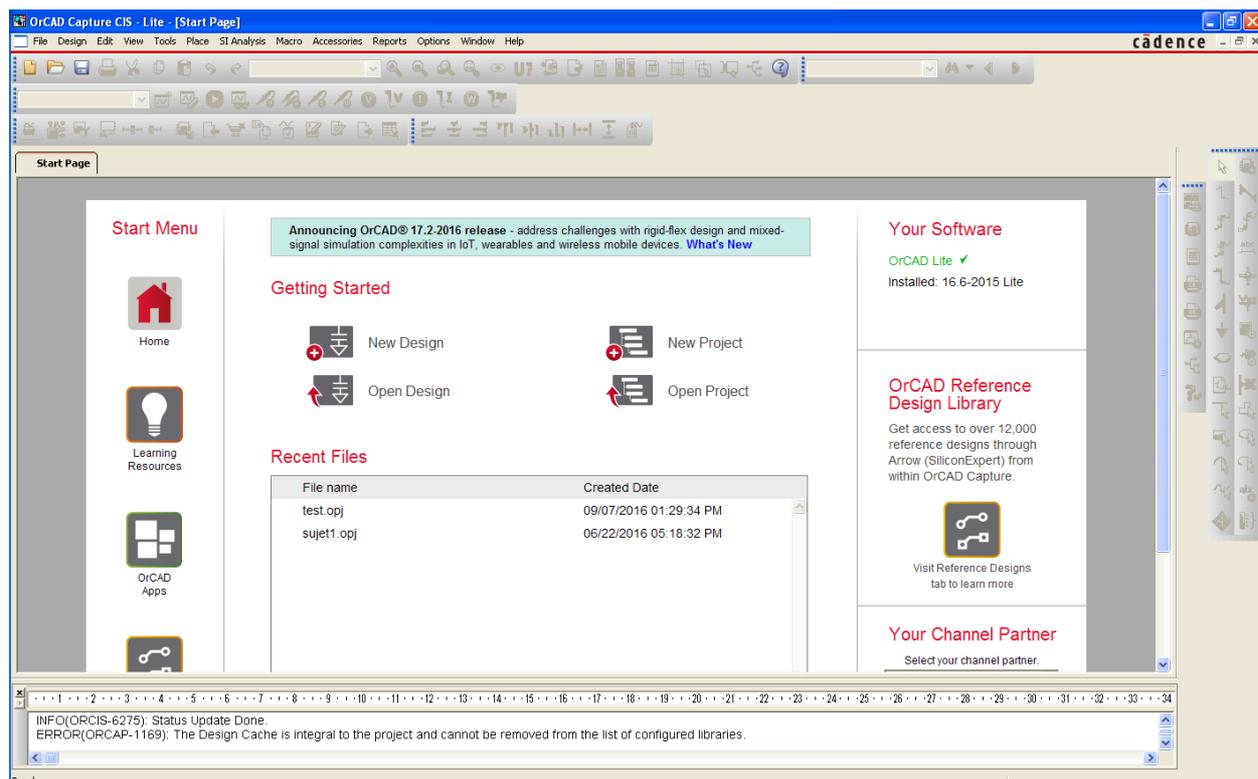
- 1- Prise en main du logiciel
- 2- Simulation de la réponse fréquentielle et temporelle d'un circuit du premier ordre
- 3- Etude paramétrique

1 Prise en main du logiciel

Cette prise en main concerne la version 16.6 de PSPICE. Cette version fonctionne uniquement sous environnement Windows. Il faut donc tout d'abord lancer l'application « Parallel Desktop » sous l'environnement MAC. Cette application est une émulation de windows XP. Il est conseillé de travailler en mode « fenêtré » ce qui facilite les captures d'écran.

Lancer l'application « **OrCAD Capture CIS Lite** » qui se trouve en suivant le chemin **Démarrer->Tous les programmes->Cadence->OrCAD 16.6 Lite.** ou en utilisant le raccourci sur le bureau

La première étape consiste à ouvrir un nouveau projet. Pour ce faire il faut cliquer sur **New project** dans la page qui s'ouvre.



Il suffit alors d'indiquer le nom de votre projet (TP1 est tout approprié...) et cochez la case

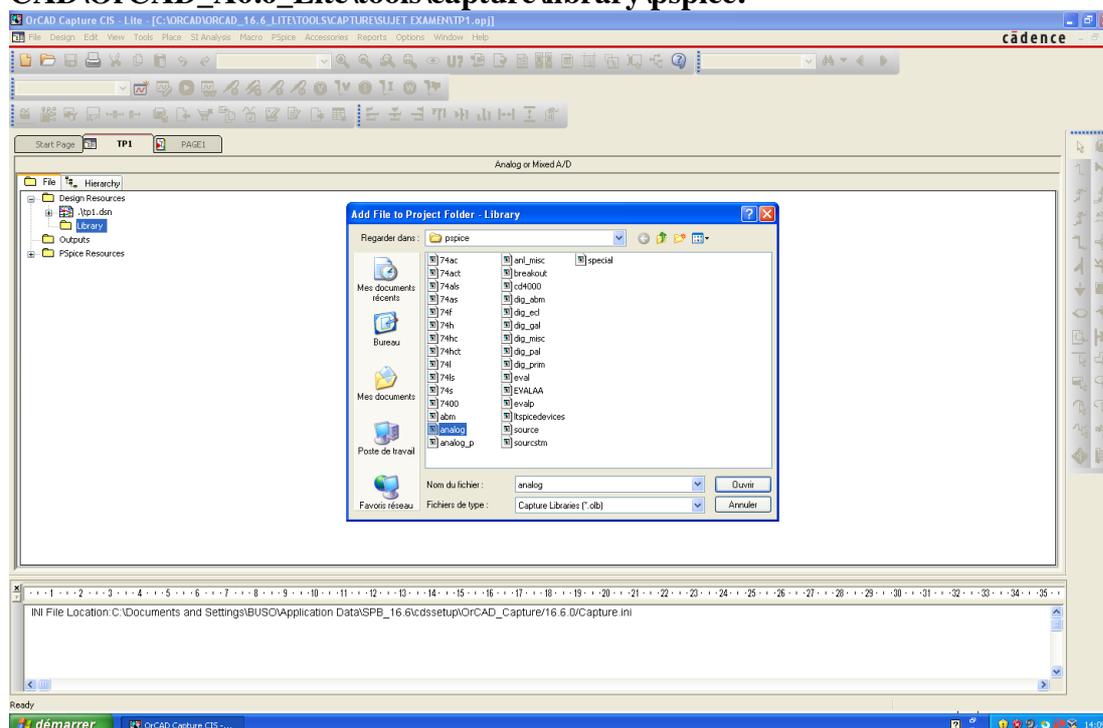
Analog or Mixed-Signal Circuit. Dans la nouvelle fenêtre, sélectionner **Create a blank project**

1.1 PROJECT MANAGER

Avant de pouvoir dessiner le circuit à simuler sur la feuille de dessin en cliquant sur l'onglet **PAGE1**, il faut d'abord vérifier la présence des bibliothèques de composant dont vous avez besoin. Cliquez sur l'onglet portant le nom de votre projet **TP1**. Cette fenêtre correspond à **Project Manager**, c'est-à-dire l'organisation de votre projet. Cette fenêtre comporte trois rubriques : **Design Ressources**, **Outputs**, **Pspice Ressources**. En cliquant sur la première rubrique, il apparaît des sous-rubriques, comme : **.Atp1.dsn** et **Library**. **Tp1** est le nom de votre fichier, l'extension **dsn** correspond à design (dessin). un signe plus (+) sur la gauche d'une rubrique, signifie qu'il existe encore des sous-rubriques. Cliquez sur le signe (+) devant **.Atp1.dsn**, il va apparaître la sous-rubrique **Schematic1** qui est le nom de la feuille de dessin, dont la sous-rubrique est **PAGE1** qui est la première page de la feuille de dessin. En cliquant sur cette dernière sous-rubrique vous serez ramené à la page de dessin principale.

1.2 AJOUT DE BIBLIOTHÈQUES

S'il n'y a pas de signe (+) devant le dossier **Library** cela signifie qu'aucune bibliothèque de composant n'est disponible pour votre projet. Pour en ajouter, faites un clic droit sur le dossier **library**. Cliquez sur **Add file** et ajoutez les bibliothèques Analog (contenant les composants passifs) et Sources (contenant les sources). Le chemin à suivre pour trouver ces bibliothèques est : **C:\ORCAD\OrCAD_A6.6_Lite\tools\capture\library\pspice**.

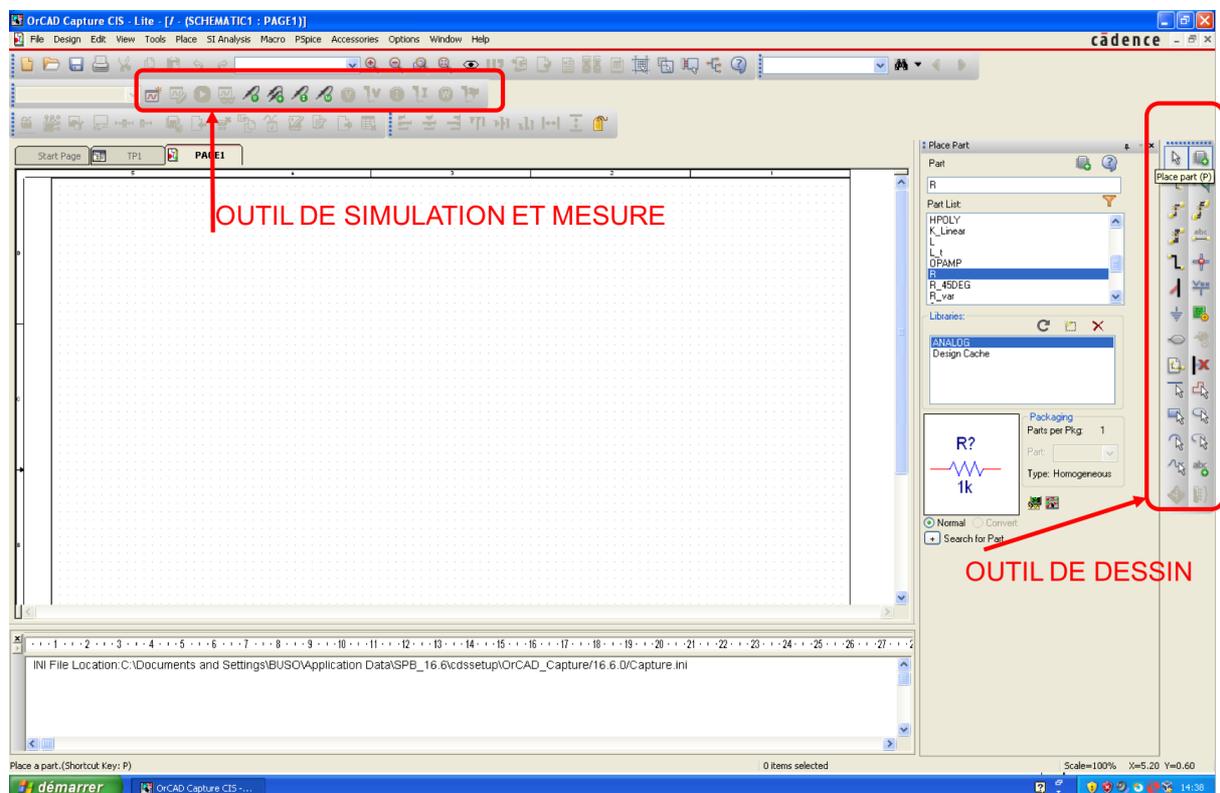


Vous verrez alors apparaître le nom de toutes les bibliothèques disponibles contenant la description de la forme des composants. Toutes ces bibliothèques ont l'extension .OLB

1.3 FEUILLE DE DESSIN

En cliquant sur **PAGE1** (soit sur l'onglet en haut de la fenêtre, soit sous le dossier **Schematic1**) vous accédez à une feuille de dessin vierge dans laquelle vous allez pouvoir implanter tous les composants et simuler votre circuit. Pour cela deux barres d'outils sont à votre disposition :

- La barre **d'outil de dessin** situé à droite de la feuille de dessin
- La barre **d'outil de simulation** situé au dessus de la feuille de dessin.



Par exemple l'utilisation de l'icône **Place Part**  (indiqué par la bulle d'aide) permet d'accéder aux composants disponibles dans chacune des bibliothèques. Pour vous familiariser avec son utilisation, sélectionnez la bibliothèque **Analog.olb** et cliquez sur la résistance (**R**) puis sur OK. Une résistance se place dans la feuille, tant que vous n'avez pas cliqué sur le bouton gauche de la souris vous pouvez la déplacer dans la feuille. Au clic la résistance se fige à l'emplacement voulu et vous constatez qu'une autre résistance est encore à votre disposition, si vous souhaitez en implanter une autre, etc... Pour cesser de placer les résistances il faut utiliser soit la touche

Echappement, soit le bouton droit de la souris. Ensuite vous pouvez sélectionner une des résistances dans la feuille, en cliquant dessus et à partir de là, vous pouvez la déplacer en tirant dessus avec la souris, la faire pivoter avec les touches **R**, la copier et la coller avec **CTRL C** puis **CTRL V**, comme dans n'importe quel traitement de texte. Vous pouvez également la supprimer.

Il est recommandé de se familiariser avec l'implantation de divers composants situés dans les diverses bibliothèques, leur déplacement, leur recopie, leur suppression.

L'icône **Place Wire**  permet de tracer des fils de liaison entre les composants. L'appel de cette fonction fait apparaître une croix sur l'écran. On indique le début du tracé en cliquant une fois à l'emplacement voulu, puis on trace en tirant sur la souris et on termine le tracé en cliquant une seconde fois sur le bouton gauche. On arrête de tracer de la même façon que pour les composants.

Dans tout schéma, pour faciliter la lecture des résultats graphiques, il est indispensable de repérer les fils de liaison par une lettre, un mot ou des caractères alphanumériques. Pour cela on utilise l'icône **Place Net Alias**  qui permet de taper le texte souhaité, puis de le positionner sur le fil choisi.

Dans tout circuit, il est obligatoire de définir la référence des potentiels (la masse). Pour cela il faut utiliser un composant dont le potentiel est nul et qui est accessible avec l'icône marquée **Place Ground** . La masse est le composant **GND** situé dans la bibliothèque **CAPSYM**.

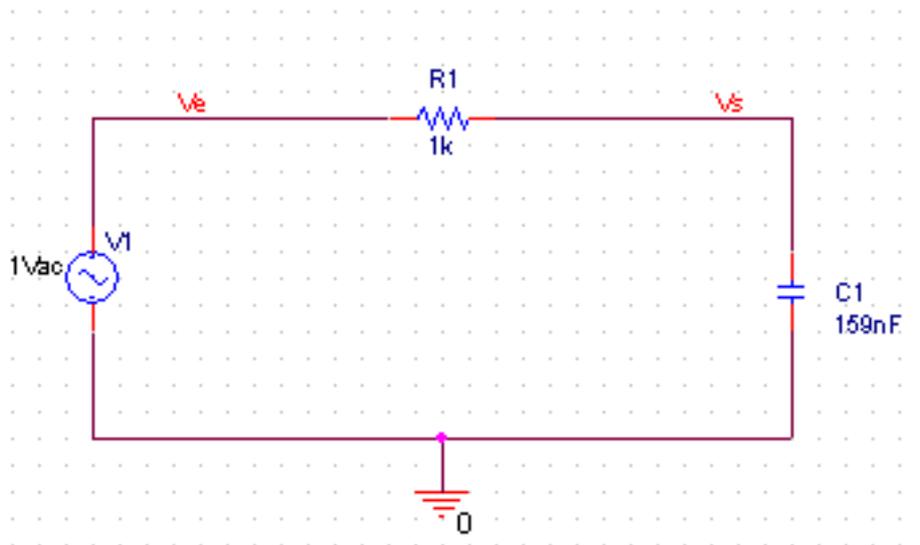
Pour modifier la valeur d'un composant, il suffit de se positionner sur cette dernière et de cliquer deux fois, pour disposer d'une fenêtre dans laquelle on peut faire les modifications souhaitées. La valeur ou le nom du composant étant sélectionné, vous pouvez déplacer l'élément pour arranger la présentation sur l'écran.

2 ETUDE D'UN CIRCUIT DU PREMIER ORDRE

Pour se familiariser avec le logiciel, nous allons commencer par l'étude d'un circuit simple, en l'occurrence il s'agit d'un circuit RC intégrateur. Dans la feuille de dessin actuellement ouverte, sélectionner tous les composants que vous avez placé et les supprimer pour disposer de nouveau d'une feuille vierge.

Réalisez le circuit ci-dessous, avec les valeurs des composants indiqués. La source de tension

utilisée dans un premier temps sera une source sinusoïdale simple de nom **VAC** qui se trouve dans la librairie **SOURCE.OLB**. Son amplitude sinusoïdale est déjà égale à 1V, ce qui permet d'avoir en sortie un résultat facile à exploiter, puisque par exemple le gain sera directement égal à la tension de sortie.



2.1 SIMULATION DU CIRCUIT

Une fois que le circuit est représenté sur la feuille, il faut choisir le type d'analyse que l'on souhaite effectuer sur celui-ci pour étudier son comportement. Les principales analyses auxquelles on va faire appel sont par exemple :

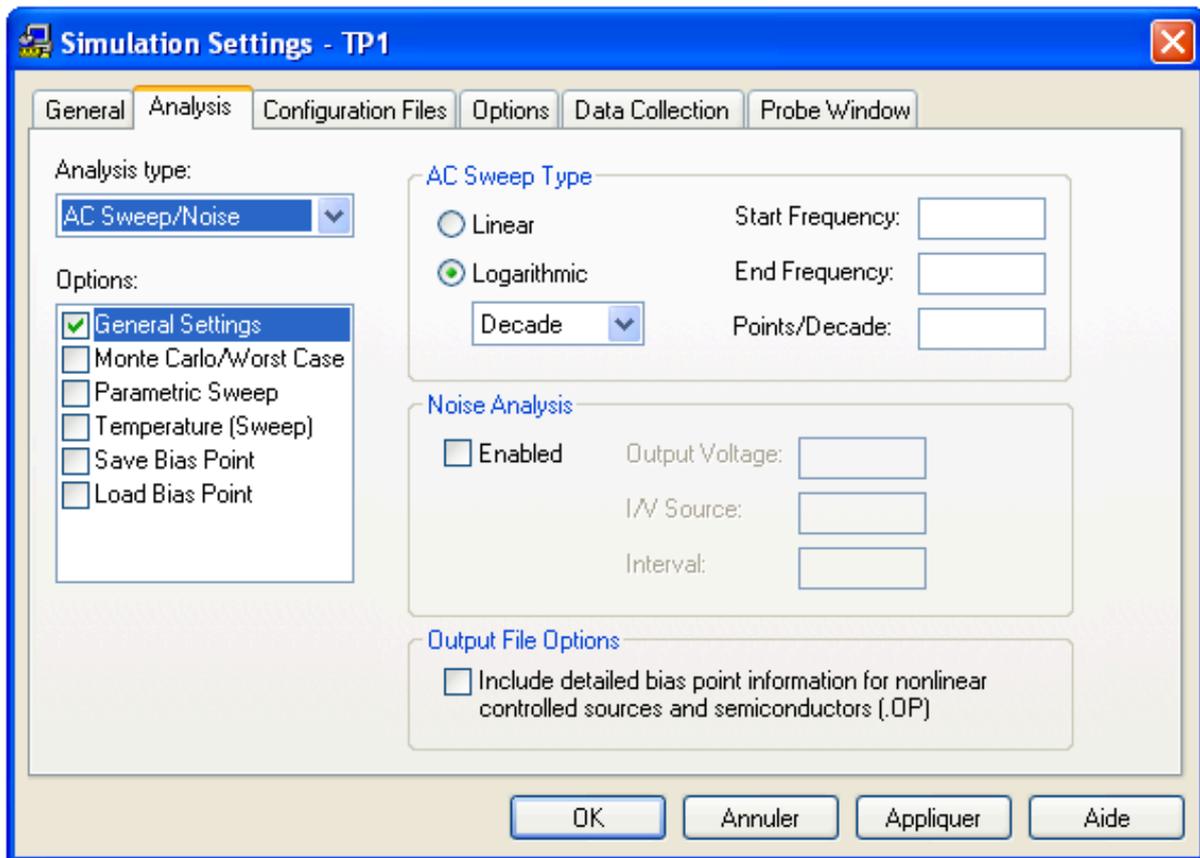
- **L'analyse harmonique**, c'est-à-dire la réponse en fréquence lorsque le signal d'entrée est sinusoïdal.
- **L'analyse temporelle**, c'est-à-dire la réponse à un signal variant au cours du temps, qu'il soit périodique ou non.

Le type d'analyse doit être paramétré dans le simulateur. Pour ce faire il faut d'abord créer un nouveau profil de simulation en cliquant sur **New simulation profile** . Il faut ensuite donner un nom au profil de simulation. La fenêtre de configuration du simulateur s'ouvre alors.

Dans l'onglet **Analysis** il faut préciser le type d'analyse à réaliser dans le menu déroulant **Analysis type**:

- **AC Sweep/Noise** pour une **analyse harmonique**
- **Time Domain (transient)** pour une **analyse temporelle**

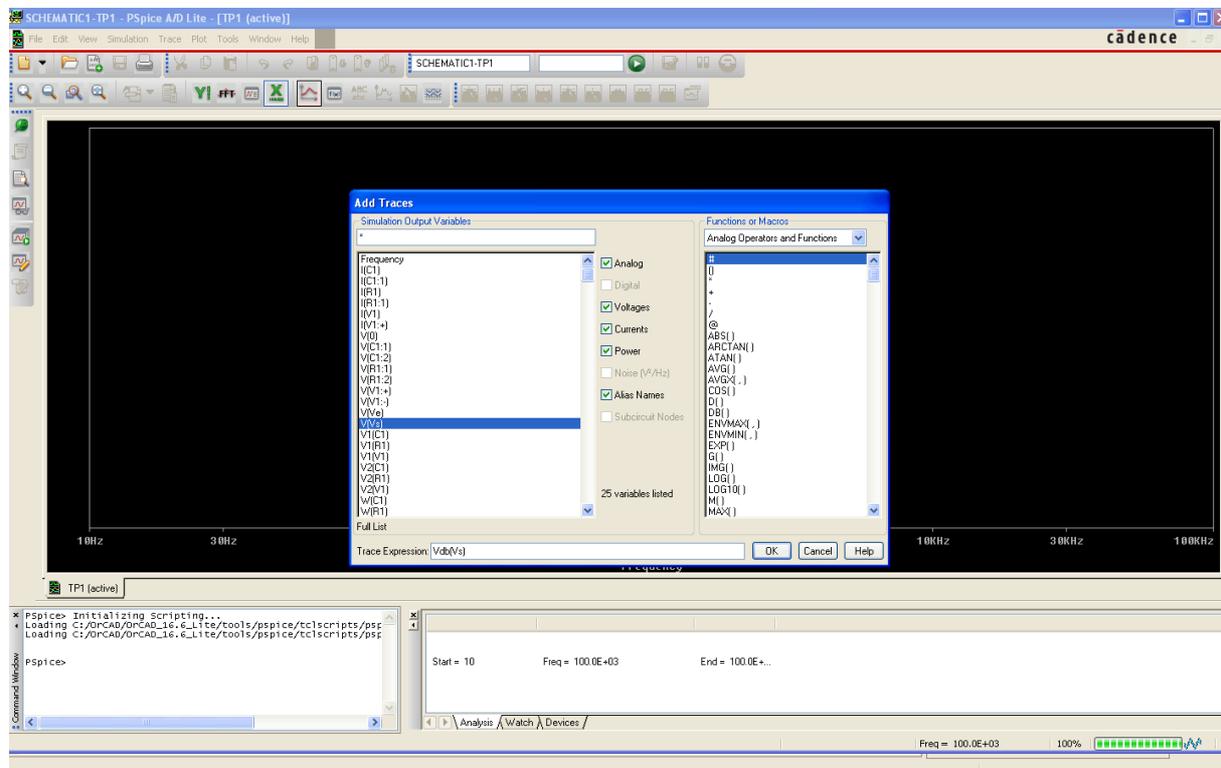
Sélectionner le type **AC Sweep/Noise**. La fenêtre de paramétrage du simulateur apparaît. Cette fenêtre est accessible de la fenêtre de dessin grâce à l'icône **Edit Simulation Profile** .



On va examiner la réponse du circuit lorsque la fréquence du signal d'entrée va varier entre 10hz et 100khz. Pour cela, indiquez les bornes inférieures et supérieures pour la fréquence ainsi qu'un parcours par décade, avec 100 points de calcul /décade. Cliquer sur appliquer et OK pour fermer la fenêtre.

2.2 VISUALISATION DES RESULTATS DE SIMULATION

Lancer la simulation par l'icône **Run Pspice**  ou par les commandes **PSPICE, RUN** (les icônes ne sont que des raccourci vers une fonction. Ces fonctions sont toutes accessibles en choisissant le menu déroulant adéquat dans la barre des menus tout en haut de l'écran). Constaté que peu après une nouvelle fenêtre apparaît, c'est la fenêtre graphique de présentation des résultats. Utiliser les commandes **Trace, Add** ou le raccourci  et dans le tableau à votre disposition demander d'afficher Vdb(S).



A l'aide du diagramme de Bode obtenu, déterminer :

- la fréquence de coupure à -3dB . Utiliser les curseurs  pour vous faciliter la mesure.
- Vérifier également que la pente de la courbe, loin de F_c est égale à -20dB/décade .

Ajouter un second graphe avec les commandes **Plot**, **Add Plot to window** et tracer la variation de la phase de la tension de sortie ($V_p(E)$). Déterminer la valeur de cette phase pour F_c .

2.3 ETUDE PARAMETRIQUE

On souhaite voir l'influence de la valeur de la résistance sur la fréquence de coupure F_c du circuit. On va donc faire varier la valeur de la résistance entre 100Ω et $1\text{k}\Omega$ avec un pas de 100Ω .

Commencer dans le dessin par remplacer la valeur actuelle de R_1 par une expression du type **{Rvar}** (Attention c'est la valeur qu'il faut changer pas le nom). Ceci est un paramètre que l'on doit déclarer et initialiser comme dans tout programme de calcul. On intègre dans la feuille le composant **PARAM** situé dans la librairie **SPECIAL**.

On peut intégrer des bibliothèques de composant directement depuis la feuille de dessin. Pour cela il faut cliquer sur **Place Part**  et utiliser la fonction de recherche de composant. Il suffit

d'entrer le nom du composant requis dans la rubrique **Search for** et de cliquer sur . La librairie dans laquelle se trouve le composant apparaît dans la fenêtre **Libraries**. Il suffit de sélectionner la/les librairie(s) d'intérêt et de cliquer sur **Add**.

Lorsque le composant est dans la feuille cliquez deux fois sur celui-ci pour entrer dans l'éditeur de propriétés. Faire **New**, donner **Rvar** comme nom (*sans les accolades*), puis sous le nom du paramètre taper la valeur (par exemple 1k), le bouton **Display**, permet de faire afficher à la fois le nom et la valeur, ensuite **Apply** et enfin fermer ces propriétés. Dans la feuille il doit apparaître maintenant en dessous de **Parameters** le nom du paramètre et sa valeur. Cette valeur est la valeur par défaut prise par le simulateur pour tester la continuité du circuit.

Il faut ensuite spécifier la plage de variation de la valeur de la résistance. Ceci s'effectue dans les profils de simulations.  Il faut cocher la rubrique **Parametric Sweep** et renseigner la plage de variation. Le paramètre est un **global parameter** et a pour nom **Rvar**. Terminer en lançant la simulation. Dans le graphe, utilisez les commandes **Plot**, **Axis settings**, et dans l'axe X cochez la case **Performance Analysis**, ou cliquez sur l'outil **Performance Analysis** .

Vous constaterez que sur l'axe des abscisses est indiqué le domaine de variation du paramètre **Rvar** entre 100Ω et 1kΩ à la place de la fréquence. Faire afficher la trace correspondant à la variation de F_c en utilisant la fonction **Cutoff_Lowpass_3dB(Vdb(Vs))** qui calcule le moment où la courbe chute de 3db par rapport au gain statique. (Bande passante à -3db du circuit passe-bas (Low Pass BandWith)).

2.4 ANALYSE TEMPORELLE

Remplacer le générateur **VAC** par un générateur sinusoïdal **VSIN** et lui donner une amplitude d'offset nulle, une amplitude du signal égale à 1V et une fréquence de 1khz. Dans les paramètres du simulateur, sélectionner **Time Domain (Transient)** et décocher **Parametric Sweep**. Paramétrez le simulateur pour que le temps final soit égal à 10 périodes du signal d'entrée. Lancer la simulation et observer le résultat concernant la tension d'entrée et la tension de sortie. Comparer les deux amplitudes et comparer avec les résultats de l'analyse précédente, sachant que la résistance $R_1 = R_{var} = 1 \text{ k}\Omega$ et que la fréquence de travail est égale à F_c . On peut améliorer la forme des signaux en imposant un pas de calcul (**Maximum Step Size**) égal à 1μs. Paramétrez ensuite la fréquence et faites une analyse paramétrique pour 3 valeurs de celle-ci, par exemple 100hz, 1khz et 50khz.

Observez les résultats obtenus et comparez avec la théorie.

2.5 FONCTION INTEGRATEUR

Remplacez le générateur sinusoïdal par un générateur pouvant délivrer des signaux de type rectangulaire (**VPULSE**). Donner à V_1 et à V_2 (amplitude des signaux) les valeurs suivantes $V_1 = -1V$ $V_2 = 1V$, puis **TD** (retard) = 0, **TR** (temps de montée) et **TF** (temps de descente) des valeurs faibles (par exemple 1ns), **PW** (Largeur de l'impulsion) = 0.5ms et enfin **PER** (Période) = 1ms. Lancer une simulation et observez les signaux d'entrée et de sortie obtenus.

Utilisez l'icône marquée FFT  qui permet de procéder à l'analyse fréquentielle de Fourier et notez les composantes présentes ainsi que leurs amplitudes. Paramétrez la largeur de l'impulsion puis lancer une étude paramétrique avec trois valeurs de ce paramètre (par exemple 5 μ s 0.5ms et 2ms). **Attention il faut que la période soit obligatoirement égale à deux fois la largeur de l'impulsion.**

Quelle est la courbe qui correspond le mieux à la fonction intégrateur et pourquoi ?

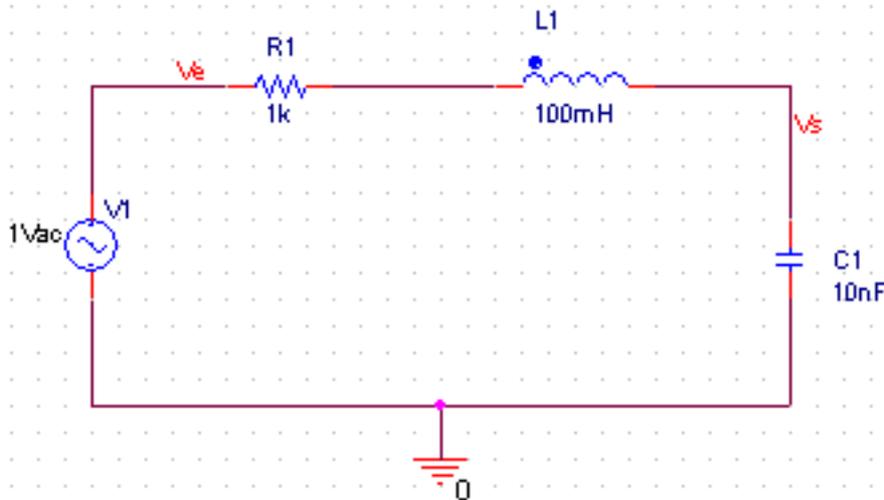
TP 2: ETUDE D'UN CIRCUIT DU SECOND ORDRE

Objectifs pédagogiques de la séance

- 1- Analyse harmonique d'un circuit du second ordre
- 2- Analyse temporelle d'un circuit du second ordre
- 3- Réponse impulsionnelle d'un circuit du second ordre

2 Etude d'un circuit du second ordre

Réaliser le circuit ci-dessous :



2.1 ANALYSE HARMONIQUE

Réalisez une analyse harmonique avec la valeur de ces composants et déterminer la fréquence de résonance F_0 . Comparer avec la valeur théorique. Déterminer le facteur de surtension Q et le comparer avec la valeur théorique $Q = \frac{L_1 \omega_0}{R_1}$. Déterminer la largeur de bande ΔF correspondant à l'intervalle de fréquences pour lesquelles la tension de sortie chute de 3 db par rapport à la valeur maximum et comparer avec la valeur $\Delta F = \frac{F_0}{Q}$.

Paramétrez la résistance R_1 pour qu'elle varie entre 100Ω et $1k\Omega$, et tracer la variation de la fréquence de résonance en fonction de cette résistance. Sur le même graphe, mais en ajoutant un second axe Y, tracer la variation du coefficient de surtension Q .

2.2 ANALYSE TRANSITOIRE

On va commencer par examiner la réponse du circuit lorsque celui-ci est attaqué par un échelon de tension, c'est-à-dire une tension qui passe brutalement de 0 à 1V par exemple au bout de 1ns et qui conserve cette valeur indéfiniment. Remplacer le générateur précédent par un générateur de type **VPULSE** que l'on programmera pour qu'il délivre un signal qui parte de 0 pour atteindre 1V au bout de 1ns, ou bien par un générateur de type **VPWL** pour lequel on peut indiquer la valeur de la tension délivrée à chaque instant, de T_1 à T_{10} . Comparez les signaux d'entrée et de sortie. Déterminer la fréquence du signal de sortie et comparez la au résultat de l'analyse précédente.

Déterminer le décrétement logarithmique défini comme : $\delta = \ln \frac{V_1}{V_2}$

V_1 et V_2 étant l'amplitude de 2 maximums successifs.

2.3 REPONSE IMPULSIONNELLE

Appliquer sur l'entrée une impulsion de tension d'amplitude égale à 10V et de durée égale à 10 μ s, dont les temps de montée et de descente sont égaux à 1ns. Observez à la fois la forme de la tension de sortie et du courant qui circule dans le circuit. Quelle différence (en dehors des amplitudes non comparables) notez-vous entre ces deux signaux ?

Tracer un graphe en portant en abscisse la tension de sortie V_s et en ordonnée le courant I dans le circuit. Comment peut-on expliquer le résultat obtenu. Modifiez la fréquence du générateur d'impulsion de telle sorte que cette fréquence soit égale à la fréquence de résonance F_0 du circuit et refaire les simulations précédentes pour noter les différences

TP 3: ETUDE D'UN AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Objectifs pédagogiques de la séance

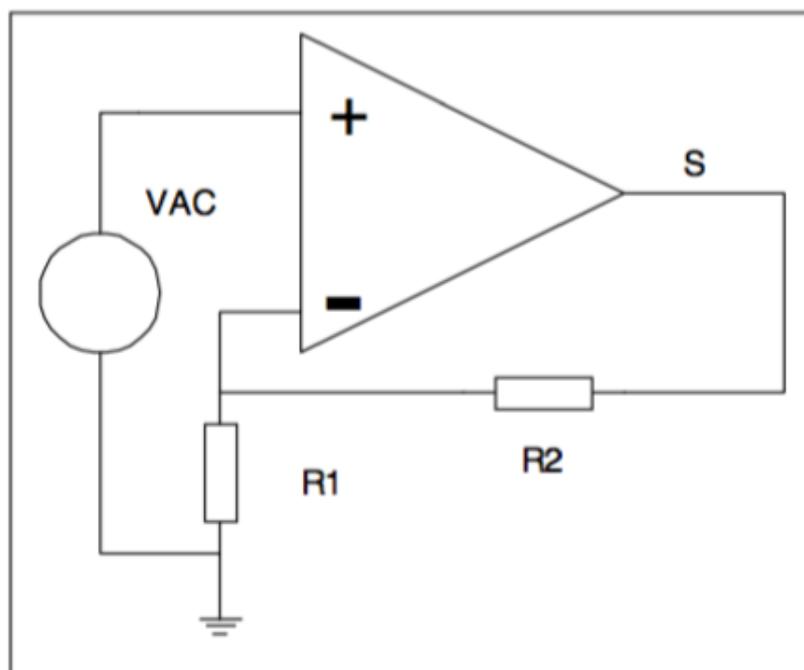
- 1- AOP en boucle ouverte
- 2- AOP en boucle fermée
- 3-Modélisation du comportement fréquentiel d'un AOP
- 4- Implémentation du modèle fréquentiel d'un AOP à l'aide du formalisme de LAPLACE

3 Etude d'un amplificateur opérationnel

Le but de l'étude consiste en la détermination des caractéristiques d'un amplificateur opérationnel, en boucle ouverte et en boucle fermée. Dans un second temps nous allons simuler le fonctionnement de cet amplificateur à l'aide de bloc simples pour nous permettre de contourner la difficulté présentée par la version Démo qui n'autorise l'utilisation que de 2 AOP dans les schémas.

3.1 FONCTIONNEMENT EN BOUCLE OUVERTE

Nous allons utiliser le composant **LM324** de la librairie **EVAl**, qui est un AOP simple que nous allons alimenter en $\pm 15V$. Réaliser le montage ci- dessous :



Prendre $R_1 = 1k\Omega$ et $R_2 = 10M\Omega$ et tracer la courbe de réponse en fréquence en déterminant la valeur du gain statique A , la fréquence de coupure F_{c1} et la pente de la courbe loin de F_{c1} .

3.2 FONCTIONNEMENT EN BOUCLE FERMÉE

Donner à R_2 la valeur $R_2 = 10\text{k}\Omega$. Tracer la réponse en fréquence et comparer le gain indépendant de la fréquence et comparer avec $A_V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

Déterminer la nouvelle fréquence de coupure F_{c2} . Celle-ci est déterminée par la relation: $F_{c2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_0}$ dans laquelle C_0 est la capacité d'un condensateur interne à l'AOP. Déterminer C_0 .

Comme la réponse de l'AOP est du même type que celle d'un intégrateur du premier ordre, dessiner dans la même feuille un circuit RC de ce type en donnant à R la valeur R_2 et à C la valeur C_0 . Tracer la réponse et comparer avec celle de l'AOP. Pour compenser le manque de gain on va ajouter au circuit intégrateur un ampli de gain égal à celui de l'AOP. Cet ampli porte le nom de **GAIN** dans la librairie **ABM**. Toujours dans la même feuille ajouter un circuit particulier qui est un bloc de **LAPLACE** dont le numérateur et le dénominateur sont des polynômes de la variable de Laplace $p = j\omega$. Dans le simulateur la variable p est remplacée par la variable s . Programmez votre bloc de **LAPLACE** pour que sa fonction de transfert soit la même que celle du circuit intégrateur précédent et comparez sa réponse à celle de l'AOP.

Remplacer le générateur VAC par un générateur sinusoïdal de fréquence égale à 1kHz et dont l'amplitude sera paramétrée de façon à pouvoir la faire varier. Faire une analyse transitoire pour 3 valeurs de l'amplitude des signaux d'entrée $V = 10\text{mV}$, 500mV et 1.5V . Le montage utilisant l'AOP sature en sortie lorsque les signaux sont trop importants, notez la tension de saturation V_{sat} et comparez avec les tensions d'alimentation. Pour avoir ce même phénomène avec les circuits intégrateur et **LAPLACE**, il faut utiliser en sortie deux diodes Zener (**D1N750**) dont il faut programmer la tension zener (**BV**) à la valeur des tensions de saturation de l'AOP. Cette modification s'opère dans le modèle de la diode. Pour ce faire, faite un clic droit sur la diode et sélectionner **Edit PSpice Model**. Il suffit alors de changer la propriété **Bv** dans le modèle.

Testez le résultat obtenu et essayez de disposer ainsi de modèles simplifiés d'AOP.

TP 4: ETUDE D'UN CIRCUIT COUPLE

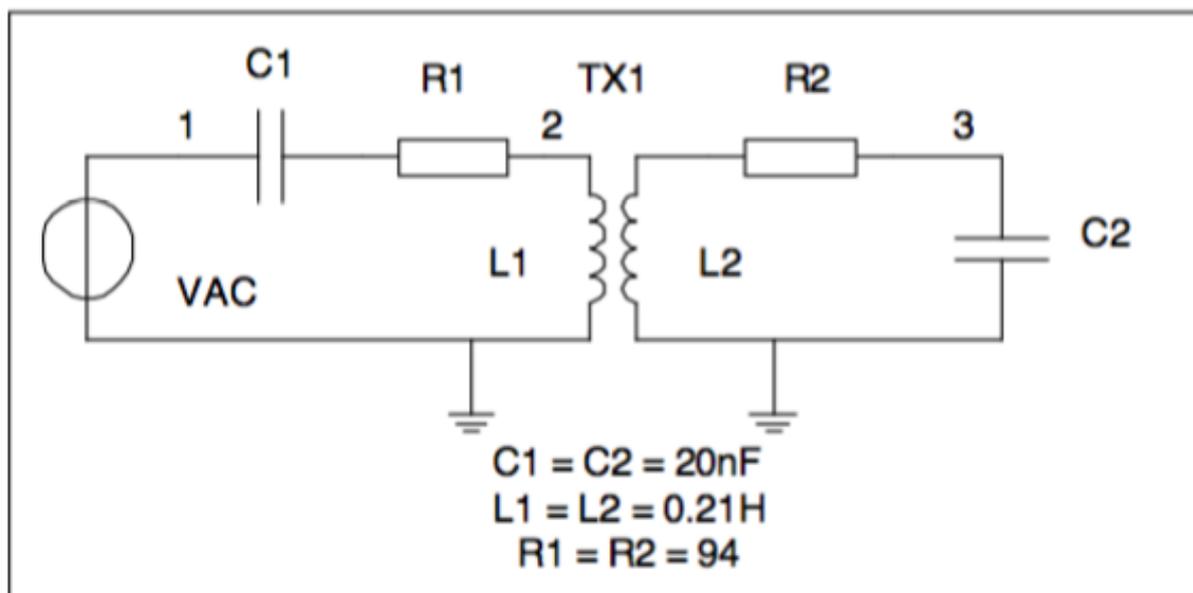
Objectifs pédagogiques de la séance

- 1- modéliser un couplage magnétique entre deux bobinages
- 2- Simuler un couplage magnétique par un couplage capacitif

4 Etude d'un circuit couplé

On va maintenant étudier le comportement d'un circuit couplé, c'est-à-dire un circuit constitué de deux bobines couplées magnétiquement ou encore un transformateur sans noyau. Ce composant se trouve dans la librairie **Analog** sous le nom **XFRM_LINEAR**. Il faut indiquer pour ce composant la valeur de l'inductance de chacun des bobinages ainsi que la valeur du couplage (**coupling**).

On réalisera le montage ci-dessous avec la valeur indiquée pour chacun des composants.



4.1 ETUDE DU PRIMAIRE

Donner au couplage une valeur très faible ($1e-4$) et déterminer les caractéristiques du circuit primaire (fréquence de résonance, coefficient de surtension et largeur de bande ΔF)

4.2 ETUDE DU SECONDAIRE

Donnez au couplage la valeur 0.01 et paramétrez le condensateur C_2 de telle sorte que sa valeur puisse varier entre 16nF et 24nF avec un pas de 0.1nF. Lancer une simulation de réponse harmonique en travaillant avec la seule valeur de la fréquence de résonance du primaire.

Déterminer la valeur de C_2 qui donne une tension maximum au point 3.

4.3 ETUDE DU COUPLAGE

Avec la valeur de C_2 trouvée ci-dessus, paramétrez maintenant le couplage du transformateur TX1, de telle sorte qu'il puisse varier entre 0.01 et 0.2. Faire une analyse harmonique sur la fréquence de résonance et déterminer la valeur du couplage (couplage critique = k_C) qui donne un maximum de tension au point 3.

4.4 ETUDE DE LA REPONSE EN FREQUENCE DU CIRCUIT

Retracer la réponse en fréquence du circuit (au point 3) pour $k = k_C$ et comparer la largeur de bande ΔF_1 obtenue avec celle du primaire. Calculer le rapport $\frac{\Delta F_1}{\Delta F}$

Terminer l'étude en comparant les résultats obtenus pour les 3 valeurs de k suivantes: $k = 0.5k_C$, $k = k_C$ et $k = 1.5k_C$.

4.5 COUPLAGE CAPACITIF

Le couplage précédent est magnétique et donc très difficile à contrôler. On peut obtenir un résultat semblable en utilisant un couplage capacitif. Sur la même feuille de schéma dessinez le même circuit que précédemment avec les modifications suivantes :

- Le primaire et le secondaire du transformateur (TX1) sont remplacés respectivement par deux bobines L_3 et L_4 indépendantes dont les valeurs sont identiques et égales à 0.21H.
- Utilisez un condensateur C_5 qui assure la liaison entre les deux bobines. Celui-ci joue un rôle équivalent au couplage entre le primaire et le secondaire du transformateur. Paramétrez sa valeur $\{CL\}$ et faites une analyse en fréquence pour trois valeurs de CL : .1nF, .5nF et 1nF. Pour améliorer encore plus la comparaison, on donnera la valeur 19.5nF aux deux condensateurs en série avec les bobines.