

TP1 : ANALYSE SPECTRALE

TP2 : MODULATION ET DEMODULATION D'AMPLITUDE

TP3 : DETECTION SYNCHRONE



IUT -Département Mesures Physiques –MP2

TP1 : ANALYSE SPECTRALE

A. INTRODUCTION :

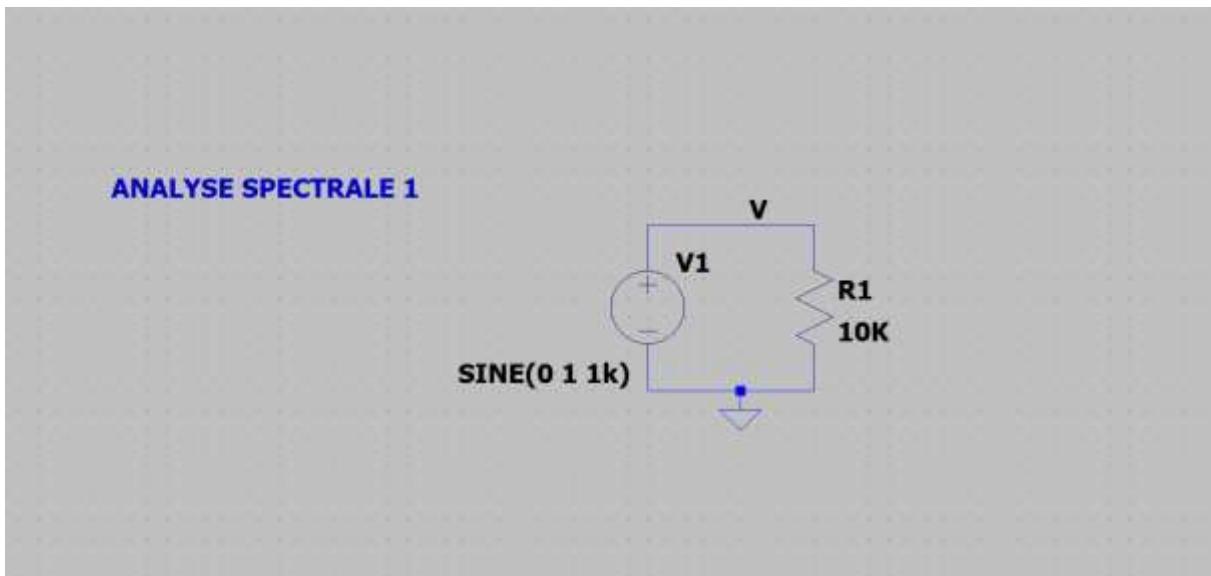
Nota : Pour la prise en main de LTSpice vous pouvez consulter :

<https://sitelec.org/simulation.htm>

La représentation fréquentielle d'un signal périodique, appelée spectre fréquentiel est très utilisée pour analyser un signal dans la plupart des disciplines technologiques ou de la physique. (Acoustique, optique, télécommunication, traitement du signal,...). Les analyseurs de spectres réalisent donc de visualiser la répartition en fréquence d'un signal soit par traitement analogique du signal ou par bien traitement numérique en utilisant l'algorithme mathématique de la transformation de Fourier rapide (FFT)

B. SPECTRE D'UN SIGNAL SINUSOIDAL :

1. Editez le schéma suivant avec V1 sinusoidal, amplitude 1V et fréquence 1kHz



2. Effectuez une analyse temporelle sur une durée égale à 20 périodes et observez la tension V(t)
3. Mesurez sa valeur efficace V_{RMS}
4. A partir du tracé observé, effectuez une analyse FFT et observez le spectre (pour plus de clarté modifiez l'échelle X ($100\text{Hz} < f < 10\text{kHz}$))
5. Mesure en dB l'amplitude du signal, retrouvez sa valeur en volt.
6. Passez en échelle linéaire sur l'axe Y et mesurez l'amplitude du signal
7. Conclusion

C. SPECTRE D'UN SIGNAL CARRE :

1. Modifiez le générateur de tension V(t) pour obtenir un signal carré de période égale à 1ms et avec $V_{min} = 0\text{V}$ et $V_{max} = 1\text{V}$.
2. Effectuez une analyse temporelle sur une durée égale à 20 périodes et observez la tension V(t)
3. A partir du tracé observé, effectuez une analyse FFT et observez le spectre V(f) (pour plus de clarté modifiez l'échelle X ($100\text{Hz} < f < 10\text{kHz}$) et l'échelle Y en visualisation linéaire.

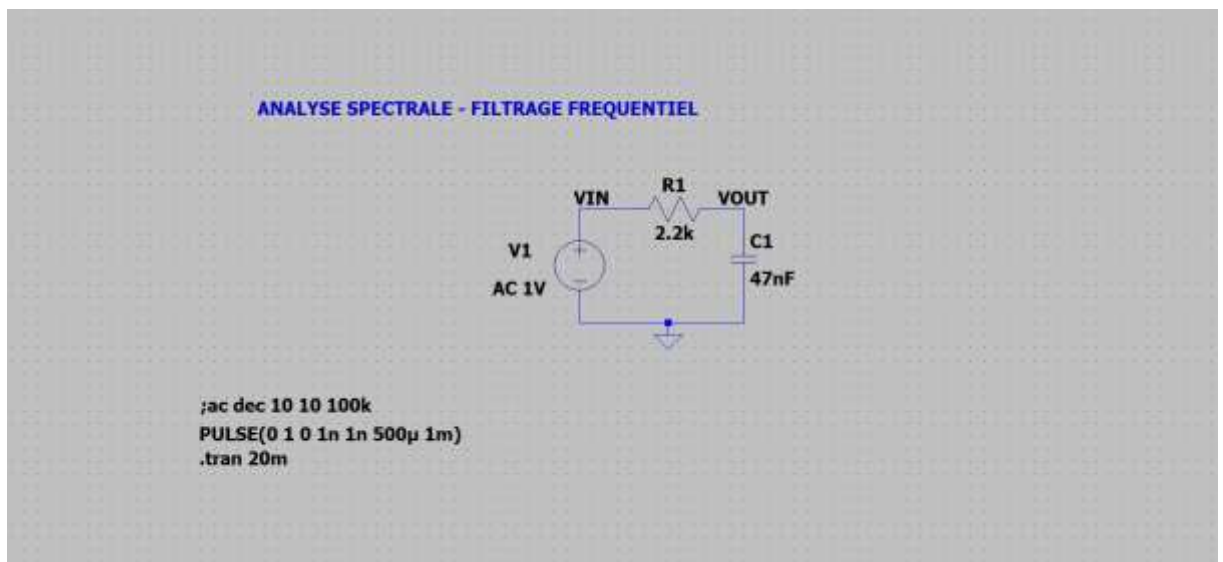
4. Que constatez-vous ?
5. Quelle est la valeur de la fréquence du fondamental ?
6. En utilisant le curseur pour effectuer les mesures, complétez le tableau :

Fréquence (kHz)	1000	3000	5000	7000	9000
Tension (V)					
rapport (V_i/V_1)					

D. FILTRAGE FREQUENTIEL :

L'opération de filtrage fréquentiel consiste à modifier la répartition spectrale d'un signal, par atténuation, amplification et/ou suppression de fréquences du signal (Filtre passe-bas, passe-haut, passe-bande ou coupe bande).

1. Editez le schéma suivant :



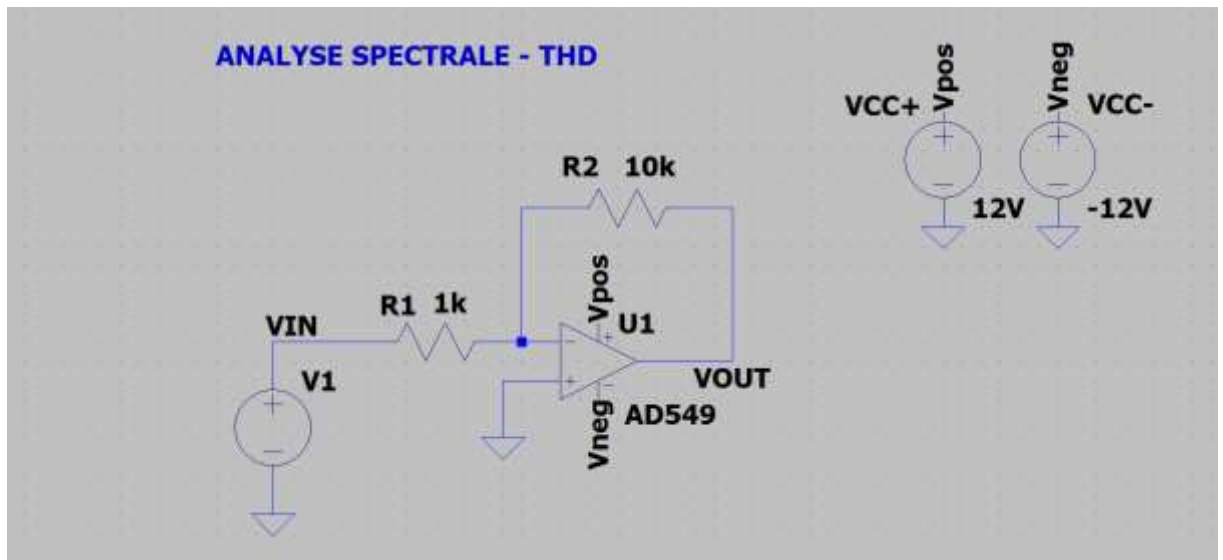
2. Quelle est la nature du filtre R1/C1
3. Calculez sa fréquence de coupure.
4. Effectuez une simulation AC pour tracer le diagramme de Bode ($100\text{Hz} < f < 100\text{kHz}$)
5. Mesurez sur le graphique la fréquence de coupure et comparez à la valeur calculée.
6. Réglez la source de tension V1 pour obtenir un signal carré de période égale à 1ms et avec $V_{\min} = 0\text{V}$ et $V_{\max} = 1\text{V}$.
7. Effectuez une analyse temporelle sur 20 périodes.
8. Observez les signaux $V_{\text{IN}}(t)$ et $V_{\text{OUT}}(t)$
9. Effectuez une analyse FFT pour visualiser $V_{\text{IN}}(f)$ et $V_{\text{OUT}}(f)$ (pour plus de clarté modifiez l'échelle X ($100\text{Hz} < f < 100\text{kHz}$) et l'échelle Y en visualisation linéaire.
10. Que constatez-vous ?

E. TAUX DE DISTORSION HARMONIQUE :

Le taux de distorsion harmonique (THD) permet de quantifier la pureté spectrale d'un signal périodique, la référence étant le signal sinusoïdal pur car il ne contient pas d'harmonique et donc son taux de distorsion harmonique est nul (THD=0).

Ce paramètre est très utilisé pour quantifier également la linéarité d'un amplificateur. Linéarité intrinsèque ou altérée par des phénomènes d'écrêtage ou saturation.

1. Editez le montage suivant

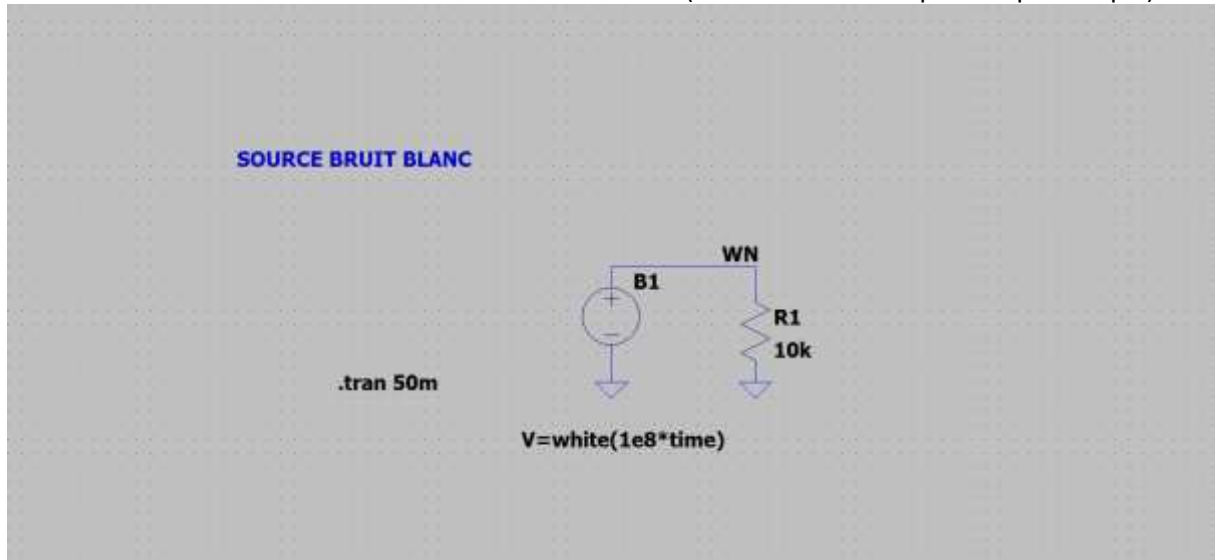


2. Réglez la source V1 pour obtenir le signal suivant $V1(t) = V1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$ avec $V1 = 1$ volt et $f = 1000$ Hz
3. Effectuez une analyse temporelle pour visualiser $VIN(t)$ et $VOUT(t)$ sur une durée de 20 périodes.
4. Mesurez la valeur absolue de l'amplification et comparez à la valeur théorique.
5. Observez maintenant les spectres fréquentiels $VIN(f)$ et $VOUT(f)$ en ajustant si besoin les échelles.
6. Que constatez-vous ?
7. Réglez l'amplitude de $V1(t)$ à $V1 = 2$ volts
8. Effectuez une analyse temporelle pour visualiser $VIN(t)$ et $VOUT(t)$ sur une durée de 20 périodes.
9. Commentez la forme du signal $VOUT(t)$ et mesurez les valeurs maximale et minimale atteintes est ce prévisible ?
10. Observez maintenant les spectres fréquentiels $VIN(f)$ et $VOUT(f)$ en ajustant si besoin les échelles.
11. Que constatez-vous ?
12. A partir du spectre $VOUT(f)$ calculez le taux de distorsion harmonique (THD), on ne considèrera que le fondamental et les harmoniques à 3000Hz et 5000Hz pour ce calcul.

F. SIGNAL BRUIT

Le signal appelé bruit est un signal dont les variations peuvent être simulées avec LTspice au moyen d'un générateur arbitraire comportemental BV ou BI.

1. Editez le schéma suivant : ici le bruit est dit blanc (variation aléatoire pseudo-périodique)

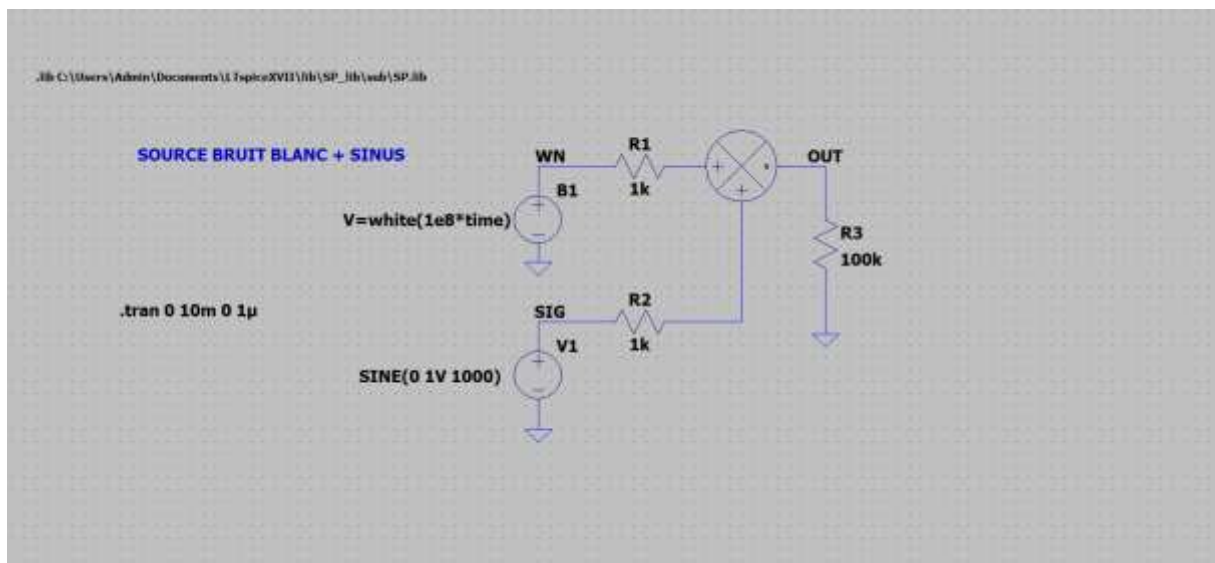


- Effectuez une analyse temporelle et observez la tension WN(t)
- A partir de ce tracé, observez l'évolution fréquentielle de la tension WN(f), que pouvez-vous dire sur la plage 100Hz – 5 kHz en ce qui concerne le niveau de bruit ?

G.ADDITION SIGNAL ET BRUIT

Les signaux électriques sont très souvent perturbés par le bruit dont les origines sont diverses (intrinsèque ou extrinsèque), cela peut s'observer sur les tracés temporel et fréquentiel.

1. Editez le schéma suivant

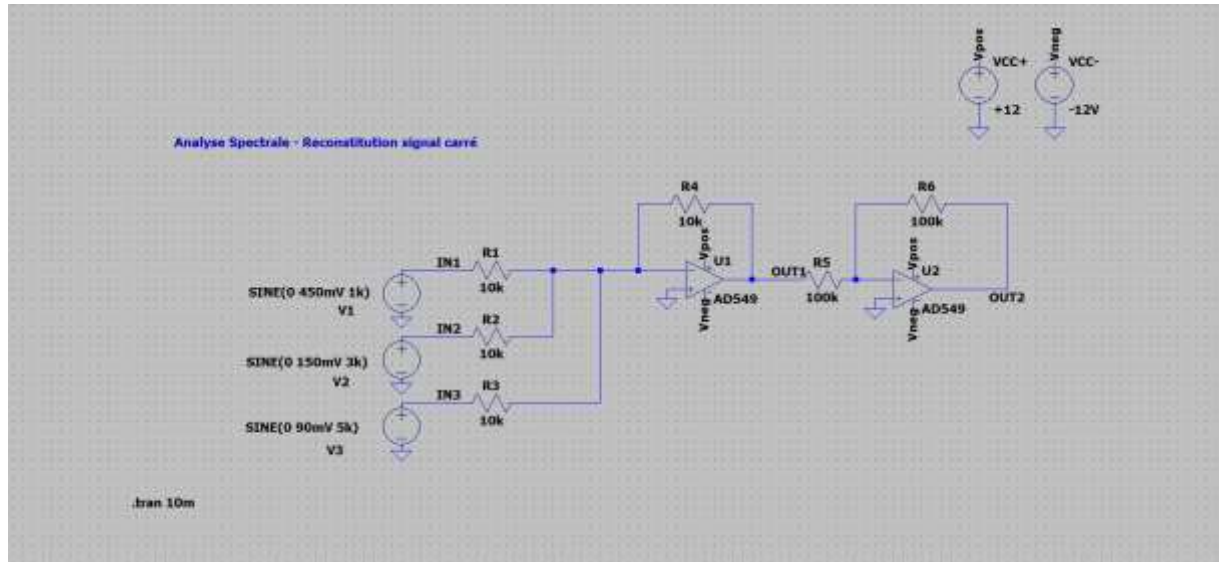


- Effectuez une analyse temporelle et observez les tensions SIG(t) et OUT(t)
- A partir de ce tracé, observez l'évolution fréquentielle de la tension SIG(f) et OUT(f), Voit –on encore la fréquence du signal sur le spectre OUT(f) ?

H. RECONSTITUTION D'UN SIGNAL CARRE A PARTIR DE SES HARMONIQUES

Il s'agit ici de reconstituer un signal périodique à partir de ses composantes harmoniques.

1. Editez le montage suivant :



2. Effectuez une simulation temporelle sur 10 millisecondes et observez les signaux IN1(t), IN2(t) et IN3(t) sur un même graphique ainsi que le signal de sortie OUT2(t) sur un graphique séparé.
3. Que constatez-vous sur la forme de la sortie OUT2(t)
4. Effectuez une analyse FFT de ce signal de sortie et commentez l'allure du spectre fréquentiel.
5. Ajoutez un harmonique correctement paramétré pour rapprocher la sortie d'un signal carré.
6. Vérifiez le résultat obtenu

TP2 : MODULATION ET DEMODULATION D'AMPLITUDE

A. INTRODUCTION :

Les systèmes de télécommunication sans fils consistent à émettre par voie hertzienne un signal tel que de la voix, des images ou des données. Cette transmission radio ne nécessite aucun support matériel puisque l'onde électromagnétique émise par l'antenne se propage librement dans l'air. Les ondes électromagnétiques de fréquence élevée ont ainsi la propriété de se propager, soit dans l'atmosphère, soit sur un support (guide d'onde, câble) sur de très grandes distances. Il est alors intéressant d'utiliser cette propriété afin de transmettre à distance une information. Toutefois, l'information à transmettre sera caractérisée par un signal de fréquence beaucoup plus faible.

On utilise alors une "modulation". L'onde de fréquence élevée est appelée **la porteuse**. L'information est contenue dans la modification du **signal porteur** au cours du temps. Afin de transmettre l'information, il faut par conséquent :

- fabriquer le signal contenant l'information.
- le transmettre entre le point d'émission et celui de réception
- amplifier le signal reçu et éliminer le bruit
- le démoduler pour ne retenir que l'information.

B. MODULATION :

La partie **modulation** nécessite deux signaux : un **signal porteur** sinusoïdal de fréquence élevée et un signal contenant l'information à transmettre, c'est le **signal modulant** qui en réalité n'est pas sinusoïdal et la combinaison des deux signaux produit le **signal modulé**.

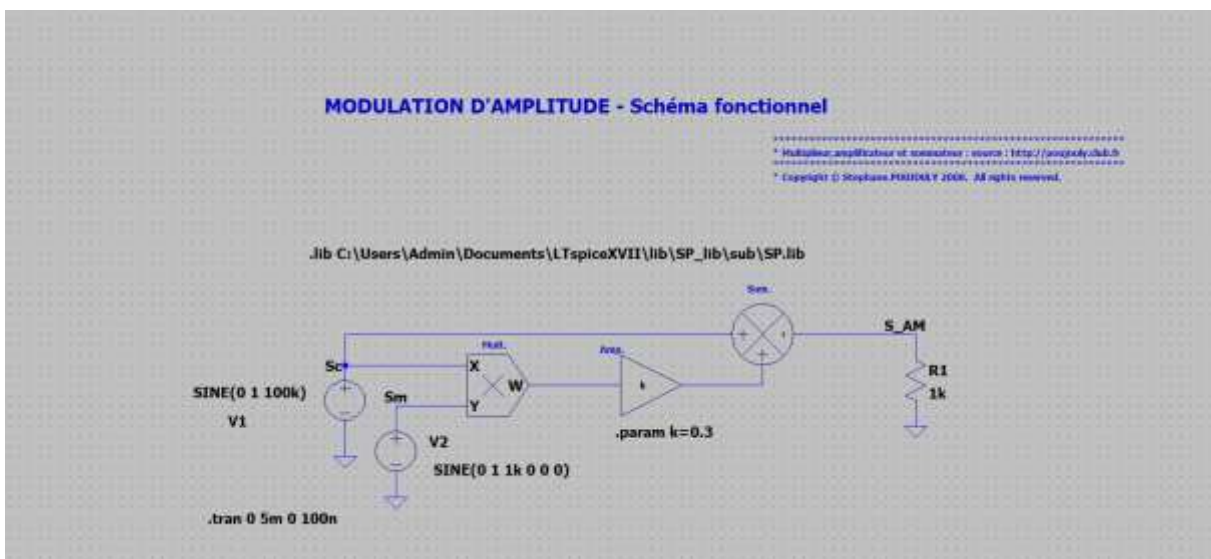
(Remarque : dans ce TP le signal porteur est noté S_c (c pour carrier))

Les deux signaux peuvent donc être mis sous la forme :

Signal porteur : $S_c(t) = S_c \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$
 Signal modulant : $S_m(t) = S_m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_m \cdot t)$

La modulation d'amplitude consiste à modifier l'**amplitude S_c** en insérant le signal modulant, plusieurs méthodes sont possibles, la plus utilisée est celle du modulateur équilibré pouvant être schématisé ci-après. Cette fonction fait appel à un multiplieur, un amplificateur k et un additionneur.

Analyse par le schéma fonctionnel :



1. Donnez en vous aidant du schéma fonctionnel l'expression du signal modulé $S(t)$.
2. Montrez que $S(t)$ peut être mis sous la forme suivante :

$$S_{AM}(t) = S_c(1 + m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_m \cdot t)) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t) \quad (1)$$

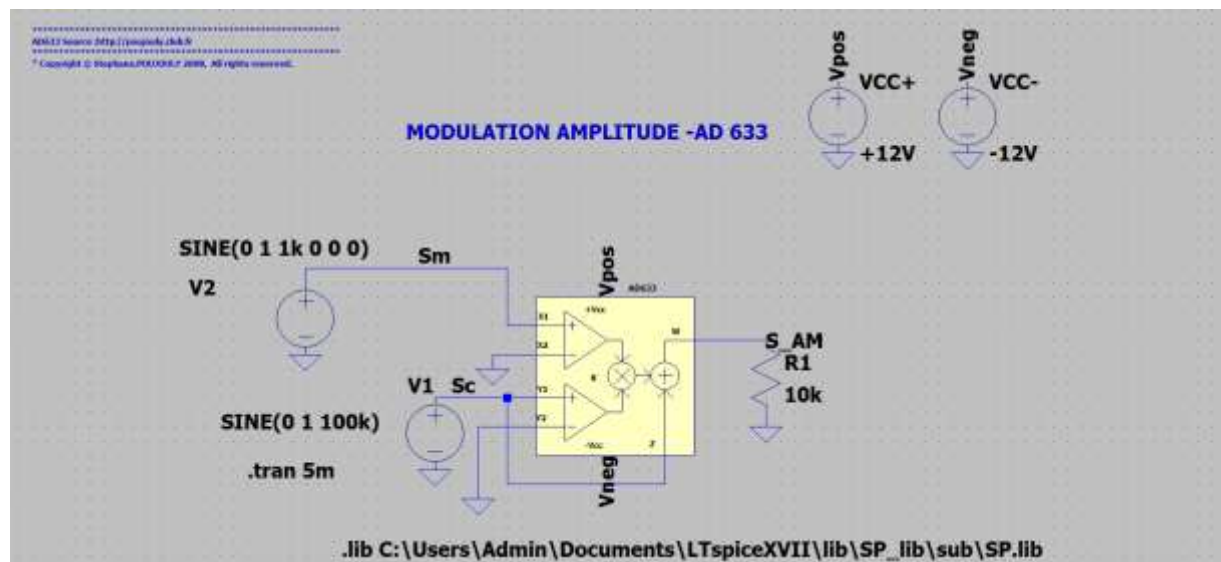
3. Donner l'expression du paramètre m qui est l'indice de modulation.

ETUDE PAR LA SIMULATION SPICE :

1. Après avoir démarré l'environnement SPICE (LTspice), éditez le schéma précédent, avec les paramètres suivants : $S_c = 1V$ et $f_c = 100 \text{ kHz}$; $S_m = 1V$ et $f_m = 1\text{kHz}$, $k = 0,1$
2. Calculez la valeur de l'indice de modulation m .
3. Effectuez une simulation temporelle et visualisez $S_{AM}(t)$ sur une durée de 5 ms.
4. Mesurez l'indice de modulation m , à partir du graphe en utilisant les curseurs. On comparera m à sa valeur théorique.
5. Effectuez une transformation de Fourier (FFT) sur le signal S_{AM} et réglez les paramètres des axes pour visualiser la porteuse et les deux bandes latérales. Mesurez alors l'indice m sur ce tracé.
6. Effectuez une nouvelle simulation avec $k = 0,5$ que constatez-vous sur la représentation temporelle et fréquentielle ?
7. Effectuez une nouvelle simulation avec $k = 1$ que constatez-vous maintenant et que se passe t'il si k devient supérieur à 1 ? Essayez par exemple avec $k = 1,2$ et visualisez les résultats.

Utilisation du circuit intégré analogique AD633 :

En vous référant à la fiche technique du circuit « DATA SHEET » éditez le montage suivant :



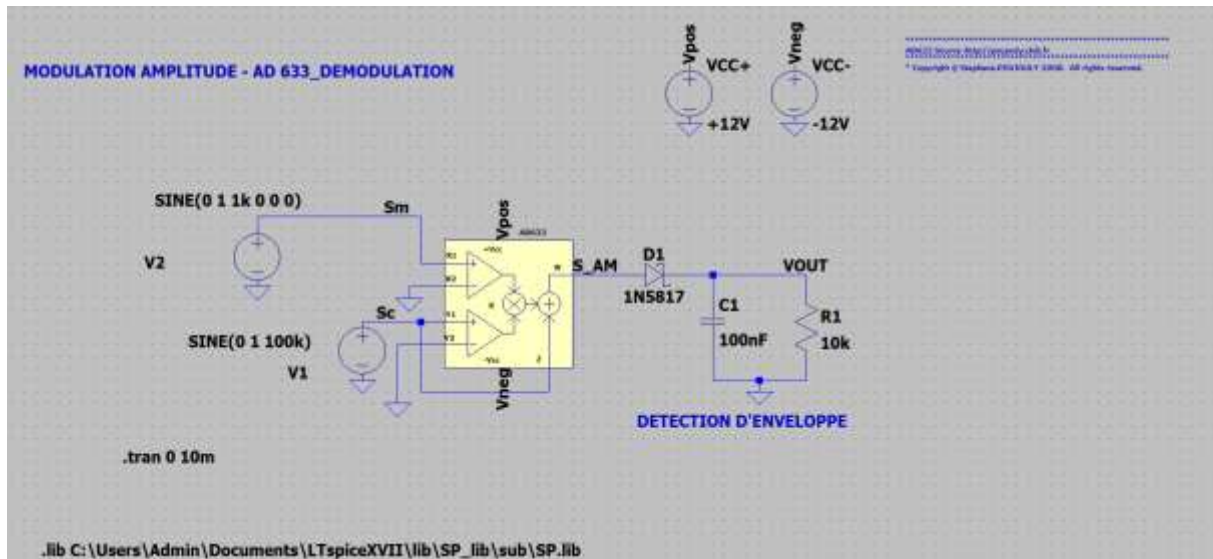
1. Effectuez une simulation temporelle et visualisez $S_{AM}(t)$ sur une durée de 5 ms.
2. Mesurez l'indice de modulation m , à partir du graphe en utilisant les curseurs. On comparera m à sa valeur théorique.

C. DEMODULATION :

Ils s'agit ici de récupérer le signal contenant l'information $S_m(t)$, plusieurs méthodes sont possibles, nous utilisons ici la démodulation par détection de crête ou d'enveloppe.

Détection de crête par diode

Editez le schéma suivant :

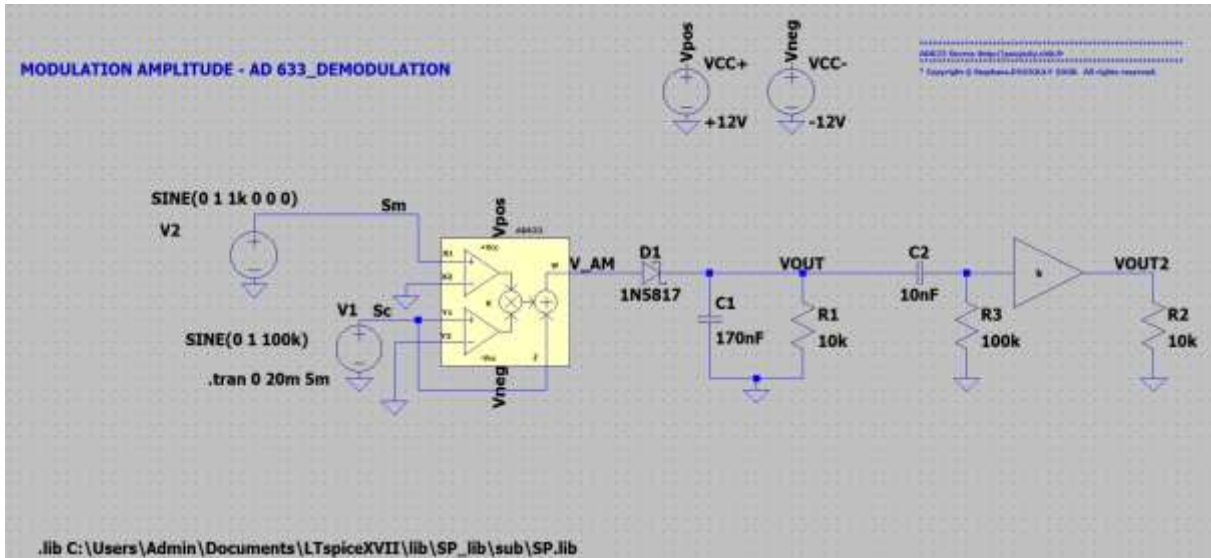


1. Quelle est la fonction de la diode D1
2. Calculez la constante de temps τ du circuit C1-R1
3. Comparez cette valeur à la période du signal modulant S_m et du signal porteur S_c
4. Effectuez une simulation temporelle sur 10 ms et visualisez $S_m(t)$, $S_{AM}(t)$ et $V_{OUT}(t)$
5. Que constatez-vous ?

Détection de crête par diode / suppression composante continue et amplification

Pour finaliser et retrouver au plus près de la réalité le signal $S_m(t)$, il faut maintenant supprimer la composante continue de V_{OUT} et amplifier son amplitude.

Editez le montage :



1. Quel est le rôle du circuit C2/R2
2. Calculez sa fréquence de coupure
3. Régler l'amplification k à $k=10$
4. Effectuez une simulation temporelle sur 20m
5. Observez les signaux $S_m(t)$ et $V_{OUT2}(t)$
6. Que constatez-vous ?

TP3 : DETECTION SYNCHRONE

LA TECHNIQUE DE DETECTION SYNCHRONE

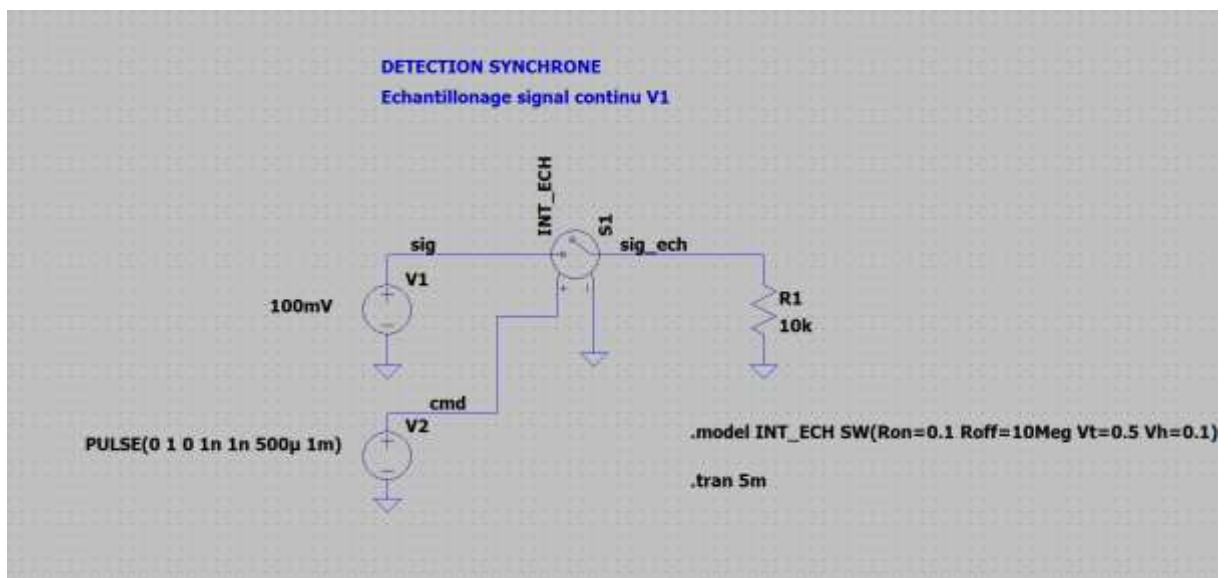
L'instrumentation classique (voltmètre, oscilloscope,..) permet de mesurer facilement les amplitudes des signaux électriques usuels, toutefois si les signaux sont bruités et/ou de faible amplitude, la détection synchrone peut présenter une solution pour ces mesures. Un détecteur synchrone mesure des signaux périodiques, si la grandeur à mesurer est continue, on la périodise souvent en signal impulsionnel (carré par exemple). Pour des raisons de calcul on considèrera une variation sinusoïdale de la grandeur à mesurer, sachant qu'un sinus représente la composante fondamentale d'un signal périodique.

A. Périodisation d'un signal continu

Pour réaliser cette périodisation, l'utilisation d'un interrupteur commandé par une tension est une solution élégante. Un transistor peut réaliser cette opération.

Dans le schéma qui suit nous utilisons un schéma fonctionnel pour cet interrupteur SW.

1. Editez le schéma suivant :



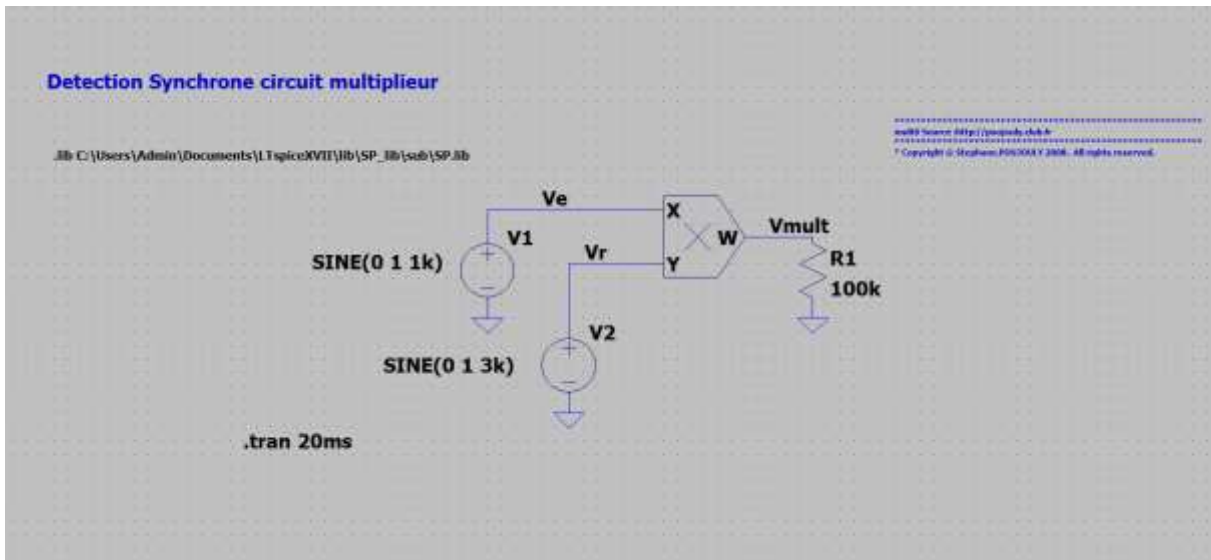
2. Effectuez une analyse temporelle et observez les signaux Vin et Vout

B. Signal à mesurer et signal de référence

Nous utilisons maintenant deux signaux sinusoïdaux (plus pratique pour la démonstration) le signal $V_e(t)$ est le signal à mesurer (*soit son amplitude maximale ou efficace et /ou sa phase*) et $V_r(t)$ le signal de référence.

Multiplication analogique

Editez le schéma suivant : avec $V_e(t) = V_e \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$ le signal dont on veut mesurer l'amplitude V_e .



1. Effectuez une analyse temporelle et observez sur trois graphes $V_e(t)$, $V_r(t)$ et V_{mult}
2. A partir de l'analyse FFT de V_{mult} , observez le spectre fréquentiel du signal. (ajustez les échelles si besoin)
Relevez les amplitudes et fréquences des raies observées. (axe fréquences 100Hz-10kHz)
3. Réglez la fréquence du signal V_2 à 1kHz et après une nouvelle analyse temporelle observez les signaux temporels.
4. A partir de l'analyse FFT de V_{mult} , observez le spectre fréquentiel du signal. (ajustez les échelles si besoin en prenant ici 0 Hz-10kHz avec une échelle linéaire sur X et Y)
Relevez les amplitudes et fréquences des raies observées. Que représente la raie à 0Hz ?
5. Modifiez le signal $V_e(t)$ en ajoutant un **déphasage Φ_e de 45 degré** et observez de nouveau après une analyse FFT les raies en mesurant amplitude et fréquence
6. Que se passerait-il au niveau de la raie à 0Hz si $\Phi_e = 90$ degré ?

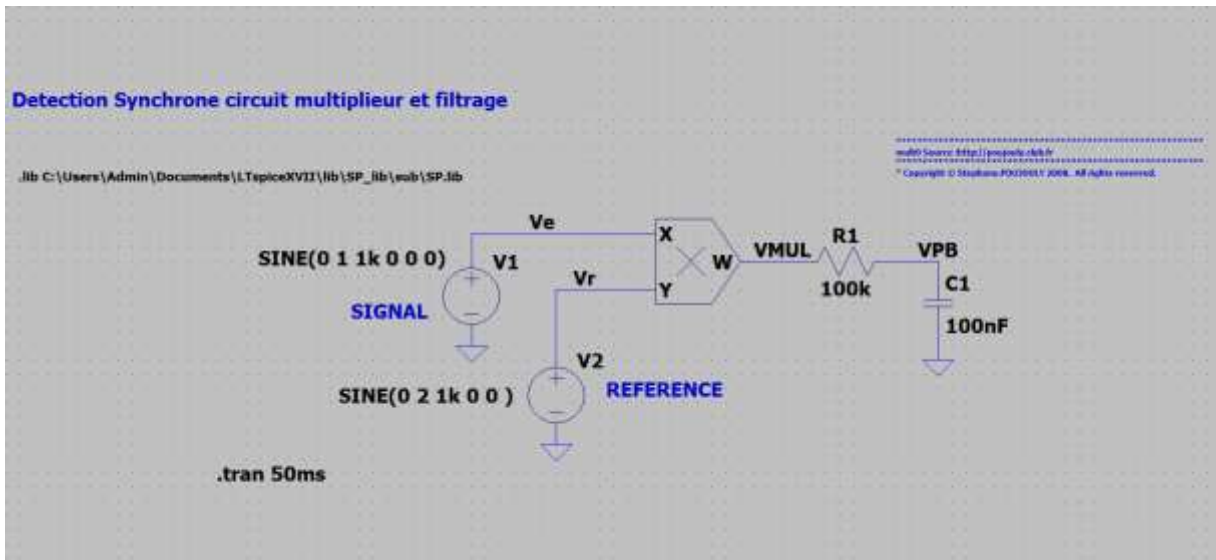
Multiplication analogique et filtrage passe bas

Ce que nous recherchons à mesurer est l'amplitude du signal $V_e(t)$, pour réaliser cela, on place un filtre passe bas en sortie du multiplieur.

1. Editez le schéma suivant

Avec $V_e(t) = V_e \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi_e)$ $V_e = 1$ volt, $f = 1$ kHz et $\phi_e = 0$

$V_r(t) = V_r \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi_r)$ $V_r = 2$ volts, $f = 1$ kHz et $\phi_r = 0$

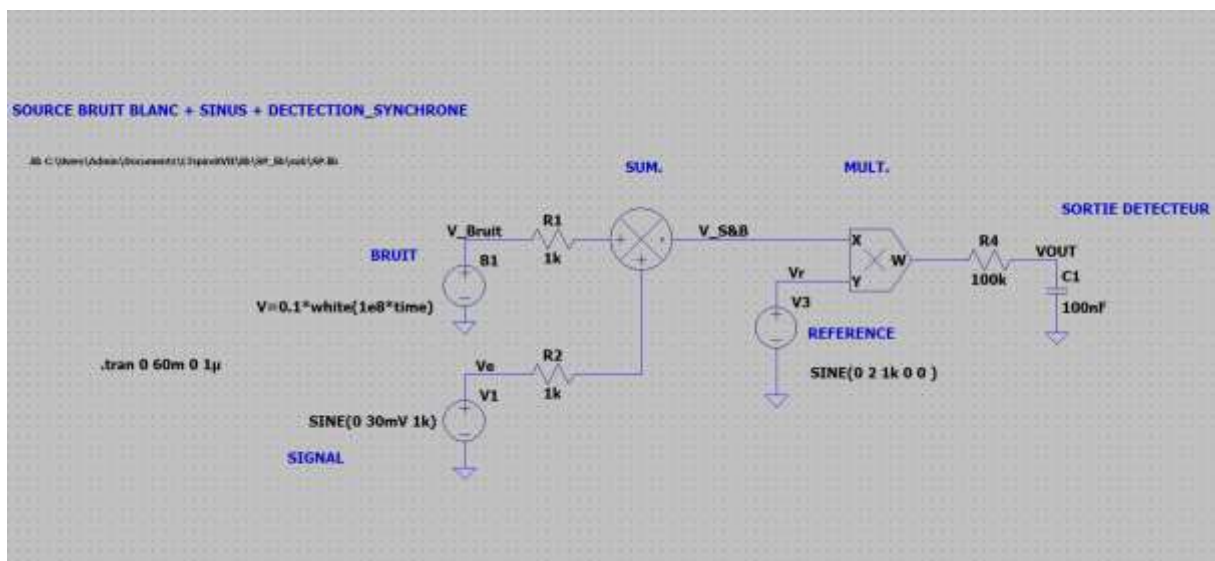


2. Calculez la fréquence de coupure du filtre R1/C1
3. Effectuez une simulation temporelle sur 50 ms et observez les signaux $V_e(t)$ et $VPB(t)$ sur le même graphe.
4. Que constatez-vous ?
5. Modifiez la phase de $V_e(t)$ pour la valeur $\Phi_e=45$ deg et effectuez de nouveau une analyse temporelle.
6. Expliquez l'évolution de $VPB(t)$

C. Extraction d'un signal dans du bruit

Une spécificité de la détection synchrone repose sur son aptitude à retrouver un signal masqué par du bruit. Dans ce qui suit un signal analogique sinusoïdal de faible amplitude V_e est très bruité et la détection synchrone permet d'en extraire la valeur de V_e .

1. Editez le schéma suivant (Une tension bruitée s'additionne à une tension sinusoïdale de faible d'amplitude $V_e=30mV$ et l'on souhaite retrouver V_e dans le signal bruité)



2. Effectuez une analyse temporelle, observez les signaux $V_{S\&B}$, V_e et V_{OUT} .

3. Quelle est la valeur atteinte par VOUT après stabilisation ?
4. Comparez cette valeur à V_e
5. Diminuez maintenant la tension V_e pour avoir $V_e=10\text{mV}$ et effectuez la même analyse
6. Retrouve-t-on encore V_e en sortie du détecteur ?