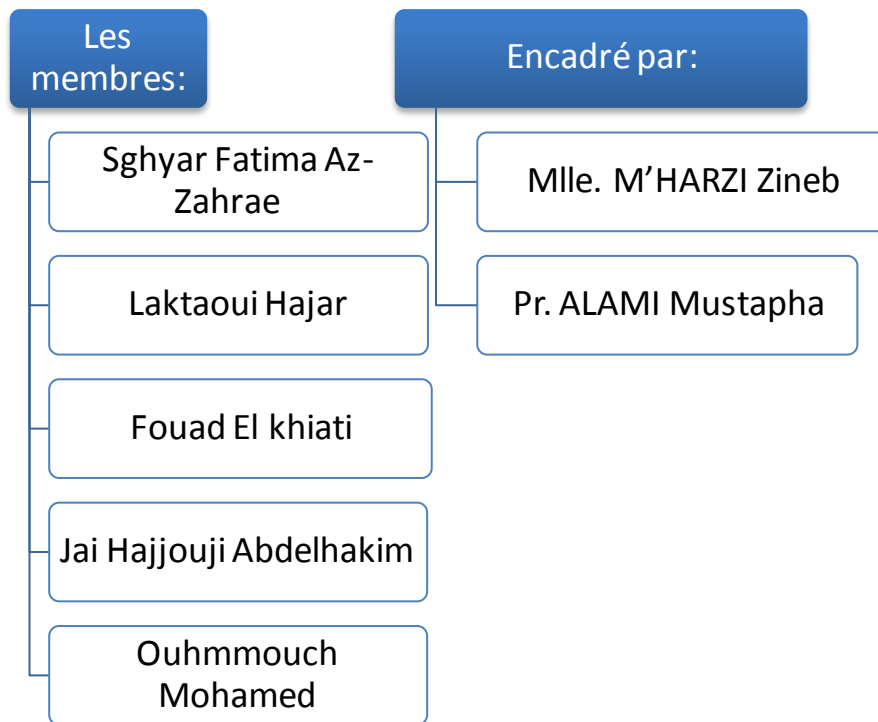




المعهد الوطني للبريد والمواصلات
المعهد الوطني للبريد والمواصلات
Institut National des Postes et Télécommunications

Projet par Mise en Situation
Projet N° 1 :
« *Modulation-Démodulation AM* »
Filière : SESNUM

Année universitaire : 2020-2021

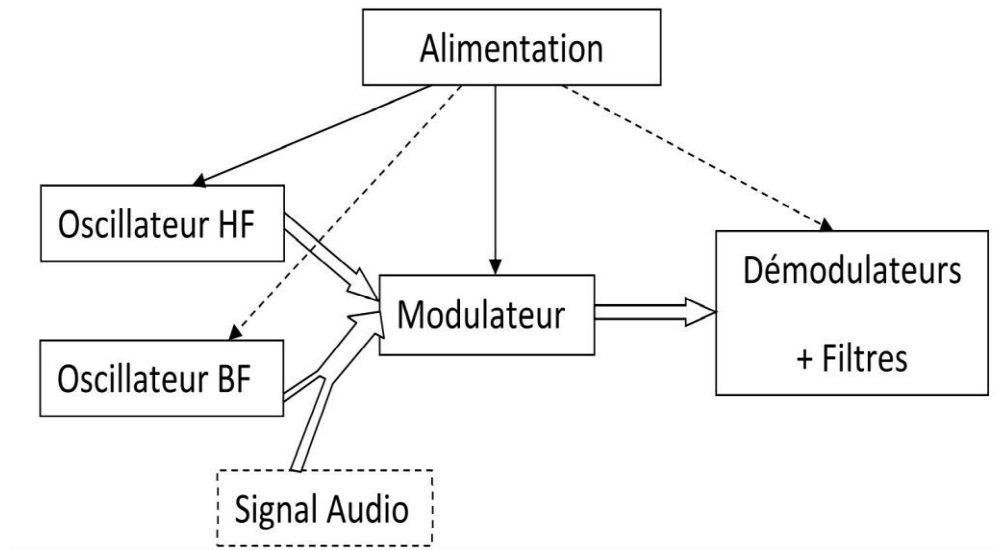


I) Présentation de projet :

Le but de ce projet est la réalisation d'une maquette des travaux pratiques de modulation et démodulation AM complète.

Cette maquette sera constituée de 5 blocs :

- **Bloc 1** : alimentation symétrique 15V, 0, -15V.
- **Bloc 2** : oscillateur basse fréquence pour simuler le signal modulant.
- **Bloc 3** : oscillateur haute fréquence pour créer la porteuse.
- **Bloc 4** : multiplieur pour réaliser la modulation des deux signaux.
- **Bloc 5** : démodulateurs + filtres.



A- Alimentation Symétrique :

-La partie théorique :

On cherche à réaliser une alimentation stabilisée pouvant débiter un courant I_{\max} et imposer une tension U_{\max} . On utilise pour cela le montage proposé sur la figure (1):

Celui-ci est composé :

- d'un transformateur de rapport M
- d'un pont de diodes, chacune d'entre elles possède une tension de seuil notée V_D
- d'une capacité C.
- et d'un régulateur intégré CI.

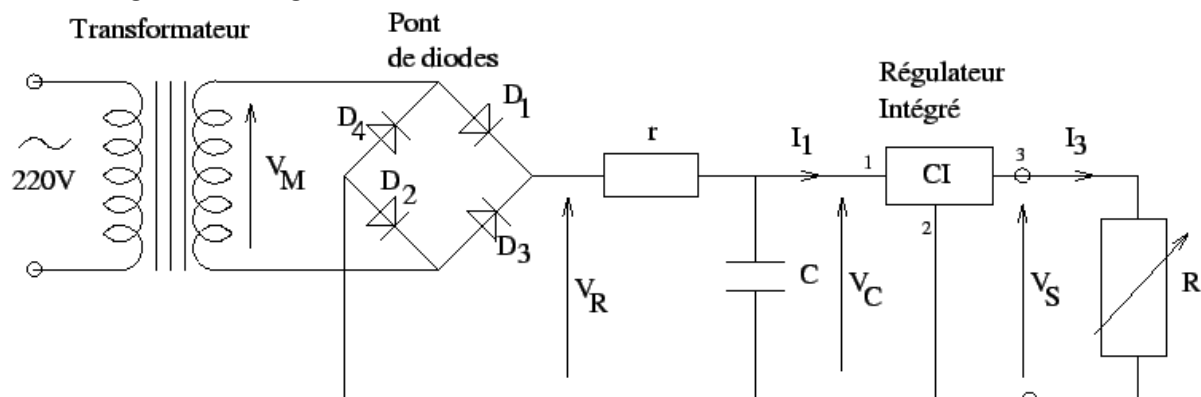


Figure: Schéma complet de l'alimentation régulière. La résistance R permet de faire fonctionner ce système en charge. La résistance r a une très faible valeur et elle permet de mesurer l'évolution du courant dans le pont de diodes. Elle est négligée dans les calculs.

Pour comprendre la façon de choisir ces différents composants, il faut d'abord s'intéresser au fonctionnement du montage complet.

1. Fonctionnement du montage :

Le transformateur génère une tension "quasi" sinusoïdale d'amplitude crête $220/M = 20$ ($M=11$) et de fréquence $f=50\text{Hz}$ (fréquence du secteur en France). Cette tension est redressée sur ces deux alternances par le pont de diodes. L'association pont de diodes -capacité forme un détecteur de crête (on néglige la résistance r). En l'absence de charge R , la tension aux bornes de la capacité est continue et égale à $20 - 2V_D$.

Le régulateur est un circuit intégré (CI) générant une tension constante entre ses broches 2 et 3 lorsque la tension entre ses bornes 1 et 2 est supérieure d'une tension de seuil notée V_T . De plus, le courant sortant de la broche 2 est négligeable. Le courant débit par le circuit provient donc de son entrée 1 soit : $I_1 = I_3$. En charge, le courant débit par le CI va venir décharger la capacité C . Le courant de décharge est $I_3 = V_S / R$ et il reste constant tant que la tension V_C aux bornes du condensateur reste supérieure à la tension de seuil V_T du régulateur.

Pour un fonctionnement normal du montage, il faut que quelle que soit la charge, la tension aux bornes de la capacité soit supérieure à la tension de seuil du régulateur.

2. Choix des différents éléments :

On néglige dans cette partie la résistance r , la résistance de sortie du transformateur et le courant inverse des diodes du pont.

1.1 Choix du régulateur :

Ce choix se fait à partir des valeurs d' U_{max} et I_{max} désirées. On trouvera en annexe quelques références de régulateur intégré.

2.2 Choix de la capacité C :

La figure (2) indique l'évolution de la tension aux bornes de la capacité C quand le montage fonctionne à vide $V_{C\text{vide}}$ et en charge $V_{C\text{charge}}$ dans le cas où la capacité C est correctement dimensionnée.

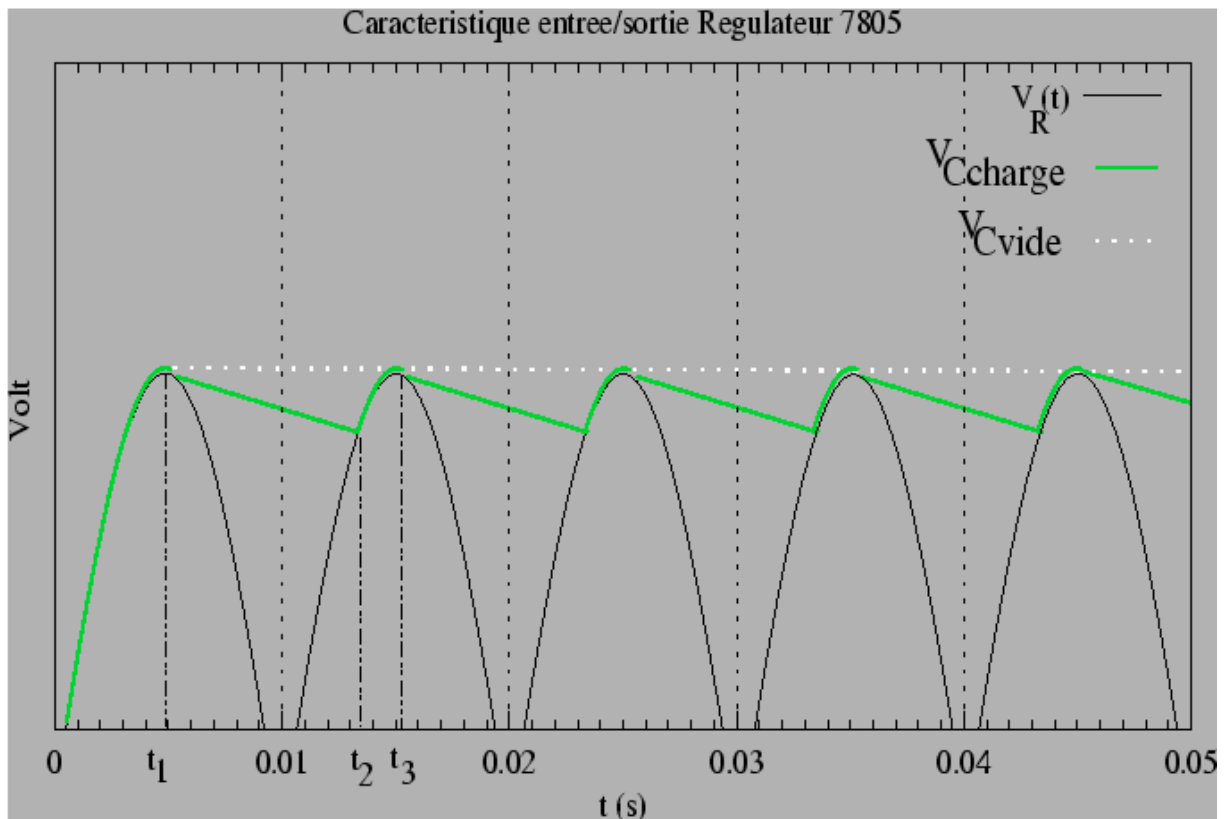


Figure: Evolution de la tension aux bornes de la capacité à vide et en charge dans le cas où la capacité est correctement dimensionnée.

On suppose que l'on allume le dispositif à $t=0$. Pour la première période T de la tension secteur, trois instants t_1 , t_2 et t_3 peuvent être définis :

- t_1 est l'instant où la tension $V_C(t)$ est maximale.
- t_2 est l'instant où la tension $V_R(t)$ est égale à la tension $V_C(t)$.
- t_3 est l'instant où la tension $V_R(t)$ est de nouveau maximale.

Pour $0 < t < t_1$, les diodes D_1 et D_2 sont passantes, et la tension $V_R(t)$ est égale à la tension $V_C(t)$: la capacité se charge.

Pour $t_1 < t < t_2$, toutes les diodes du pont sont bloquées puisque que la tension $V_C(t) > V_R(t)$. En fonctionnement à vide, la tension $V_C(t)$ reste constante et égale à $\frac{220}{M} - 2V_D = 20 - 2V_D$. En charge, la tension aux bornes de la capacité est donnée par :

$$\left(\frac{220}{M} - 2 \cdot V_D \right) \cdot \left[1 - (t - t_1) \frac{V_S}{R \cdot C} \frac{1}{\frac{220}{M} - 2 \cdot V_D} \right]$$

Pour $t_2 < t < t_3$, les diodes D_2 et D_4 sont passantes. La capacité se charge. Après la valeur maximale de la tension $V_R(t > t_3)$, un cycle identique se reproduit indéfiniment.

La valeur de la capacité C'est déterminé par la condition :

$$V_{Ccharge}(t_2) \geq V_T$$

-La partie Pratique :

➤ Pour réaliser ce bloc, nous avons besoin des composants suivants :

- Transformateur 220V – 2x22V (facteur de couplage =0.1),
- Quatre Diodes 1N4004,
- Deux Condensateurs 100μF,
- Deux Condensateurs 100nF,
- Deux Régulateurs : LM7815C + LM7915C (Boitier TO220).

➤ Description des régulateurs LM7815C + LM7915C :

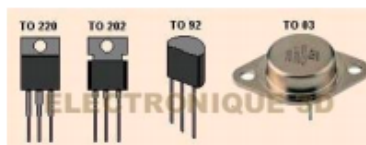
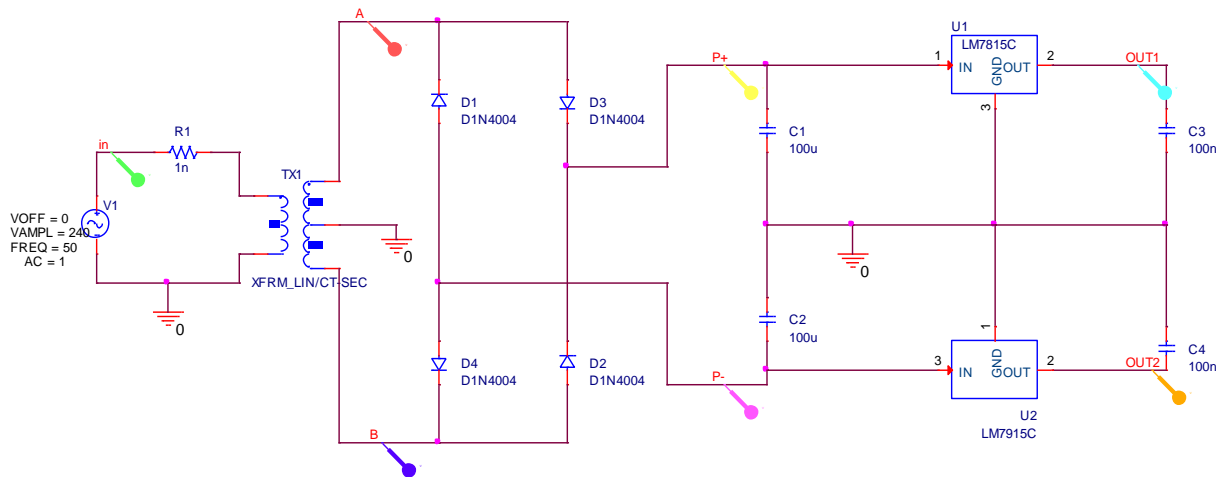


Figure 1: Type de boîtier.



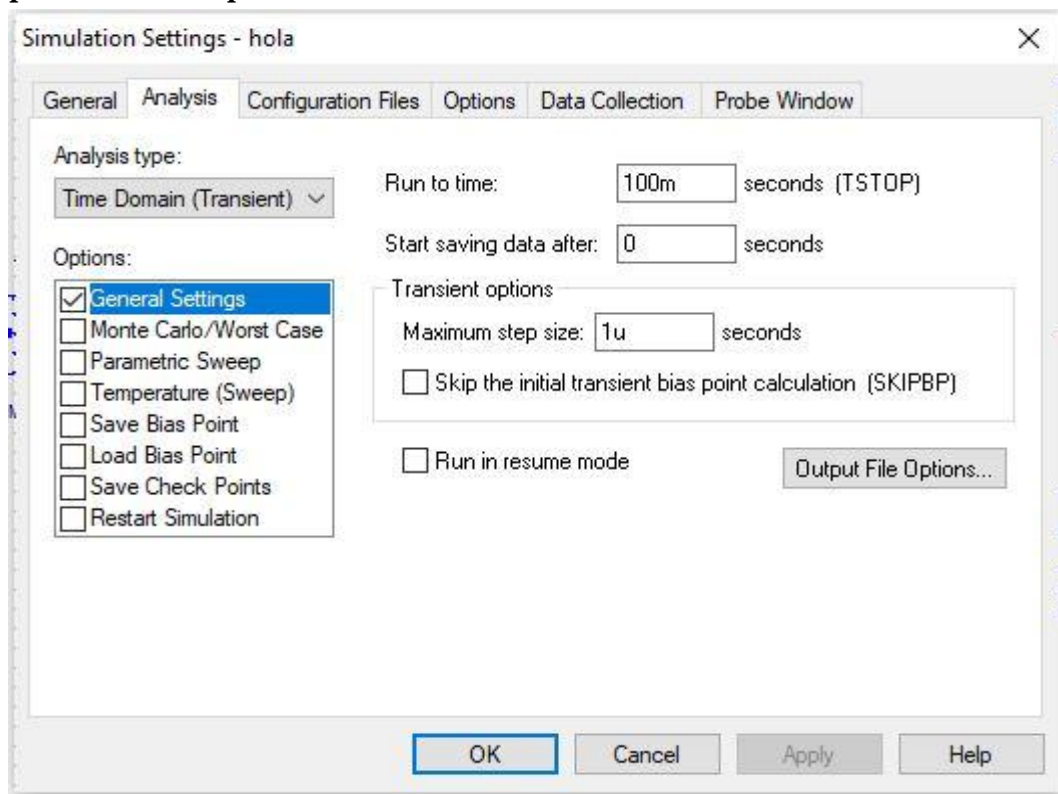
- LM78XX (1 entrée, 2 masse, 3 sortie) donne tension positive.
- LM79XX (2 entrée, 1 masse, 3 sortie) donne tension négative.

➤ Simulation de circuit :



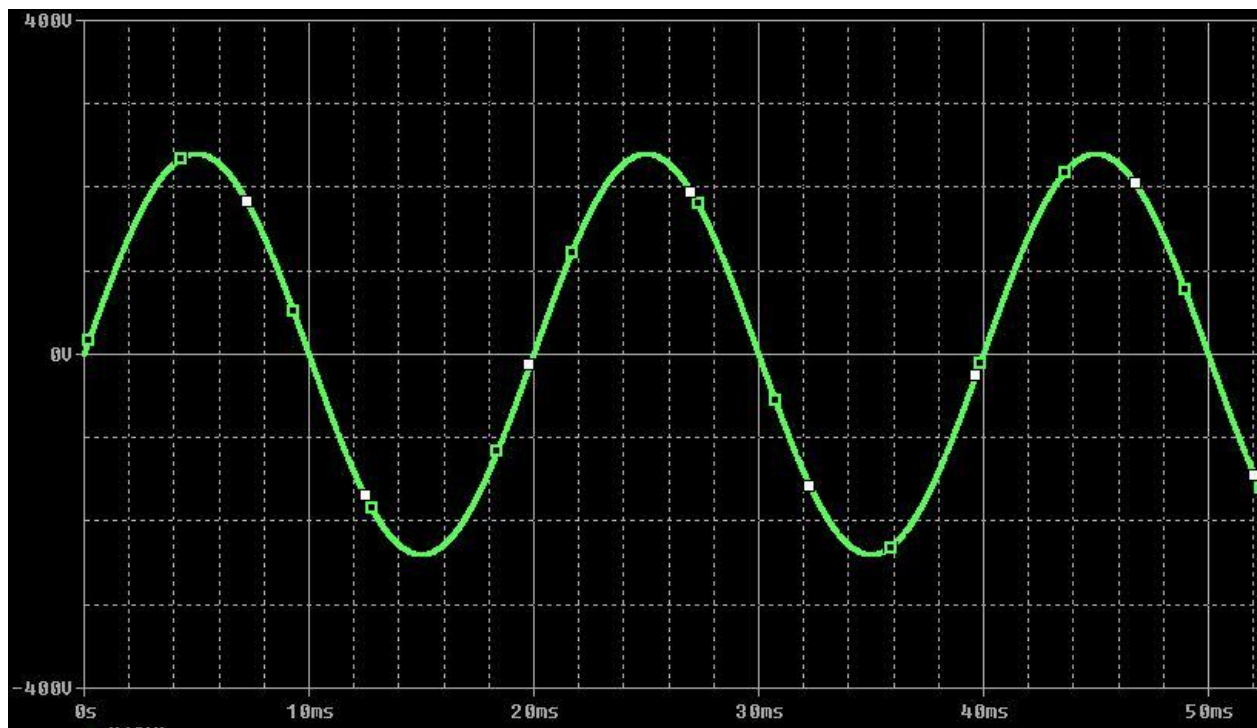
➤ Traçage des tensions :

Pour simuler le circuit on va utiliser l'analyse temporelle et prendre les paramètres suivants,

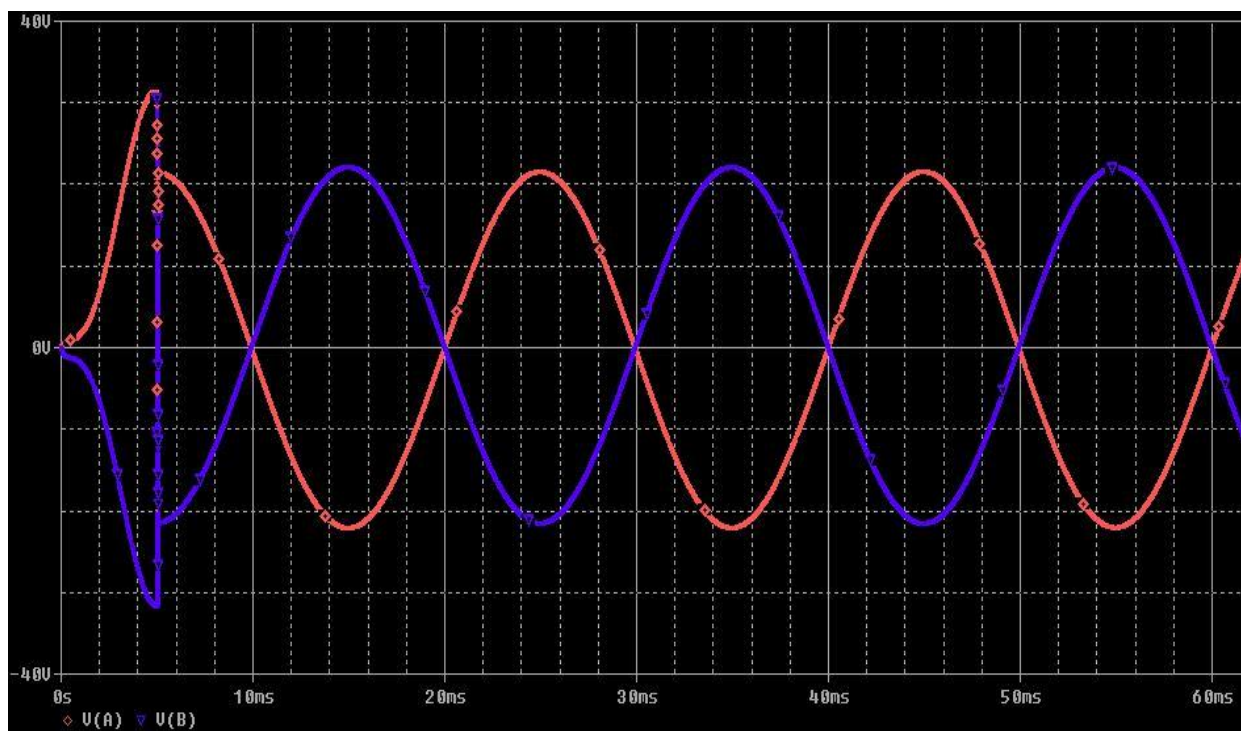


Alors on a :

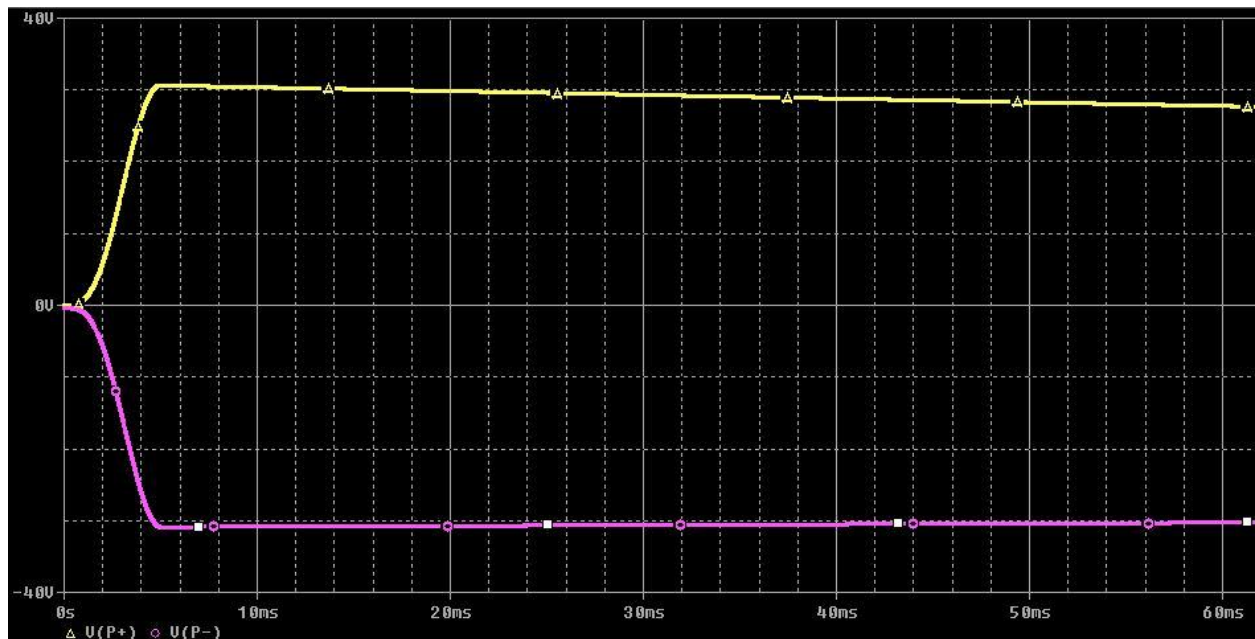
La tension d'entrée **V_e** ,



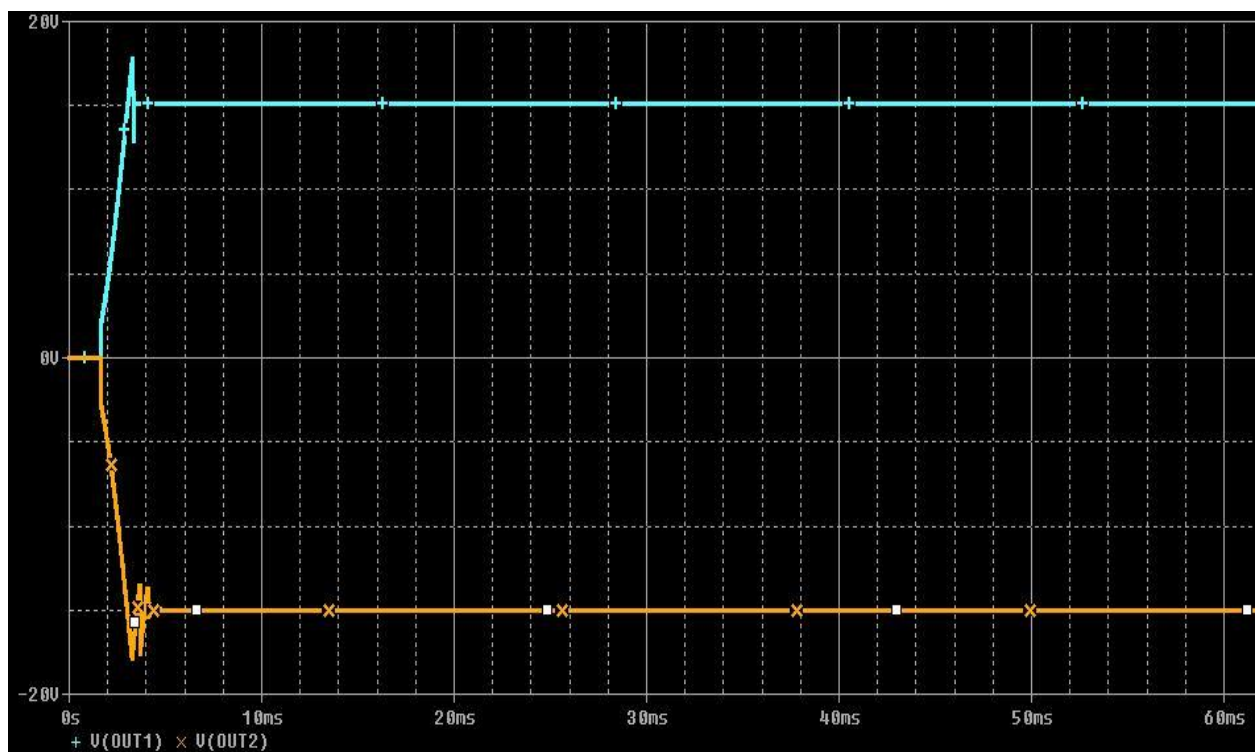
Les tensions V_A et V_B ,



Les tensions V_{P+} et V_{P-} ,



Les tensions de sortie V_{OUT1} et V_{OUT2} ,



➤ **Les valeurs de V_{OUT1} et V_{OUT2} en régime permanent :**

En régime permanent on obtient les valeurs suivantes,

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2
	X Values	22.466m	19.795m
CURSOR 2	V(OUT1)	15.114	15.114
CURSOR 1	V(OUT2)	-15.003	-15.003

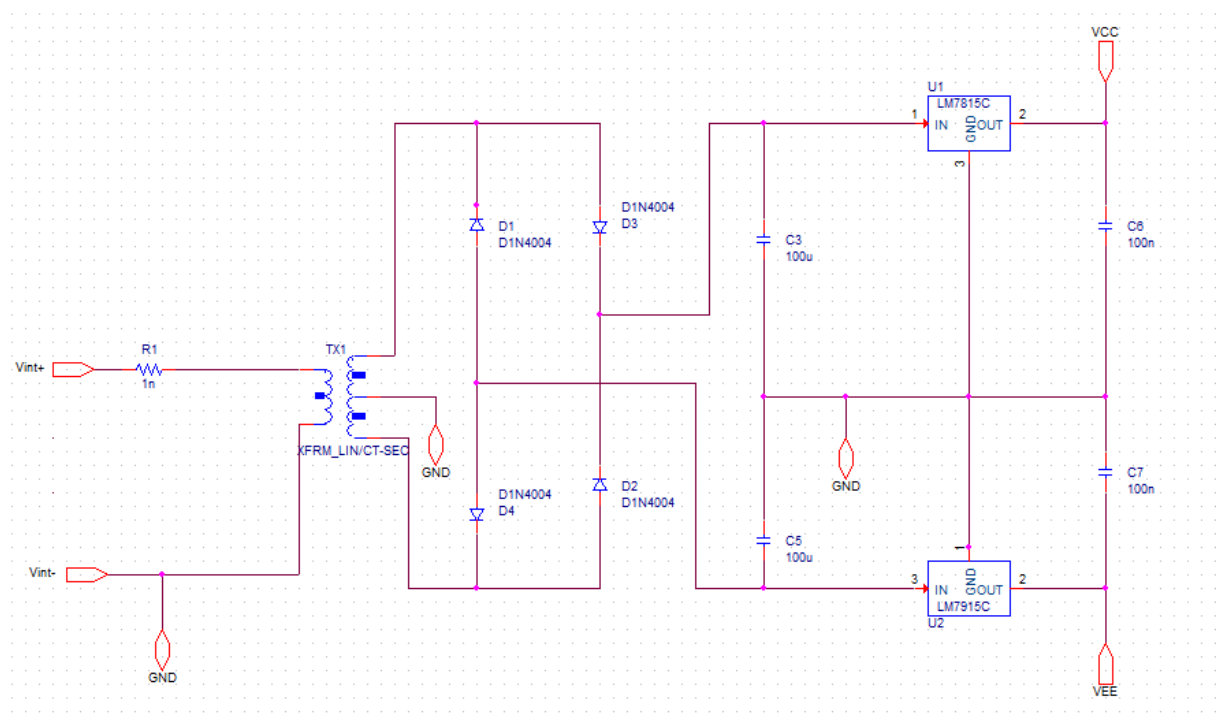
- $V_{OUT1}=15.114V$
- $V_{OUT2}=-15.003V$

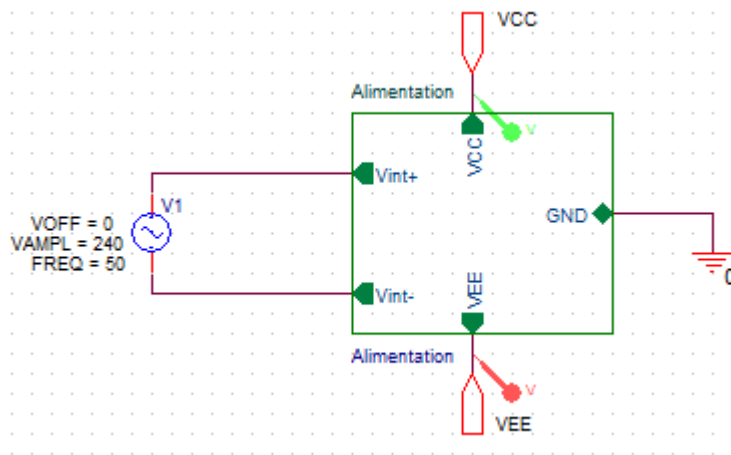
➤ Interprétations :

Le rôle de ce montage est bien la transformation de tension de secteur (sinusoïdal) à une tension continue, Stable, Symétrique (15V,-15V) qu'on peut l'utiliser pour alimenter les autres blocs, Ce qui 'est bien vérifiée par l'étude théorique.

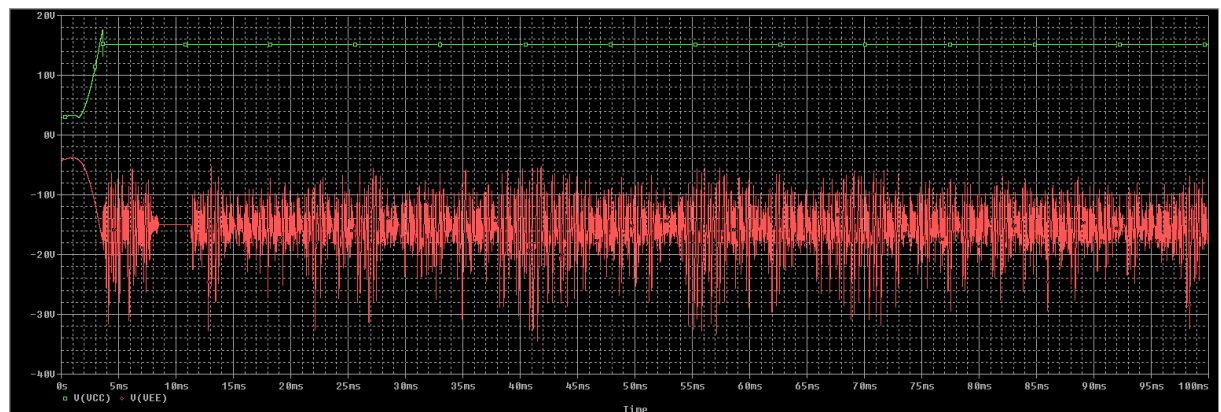
-Le bloc hiérarchique :

On met le montage suivant dans le bloc hiérarchique ensuite on teste son bon fonctionnement :



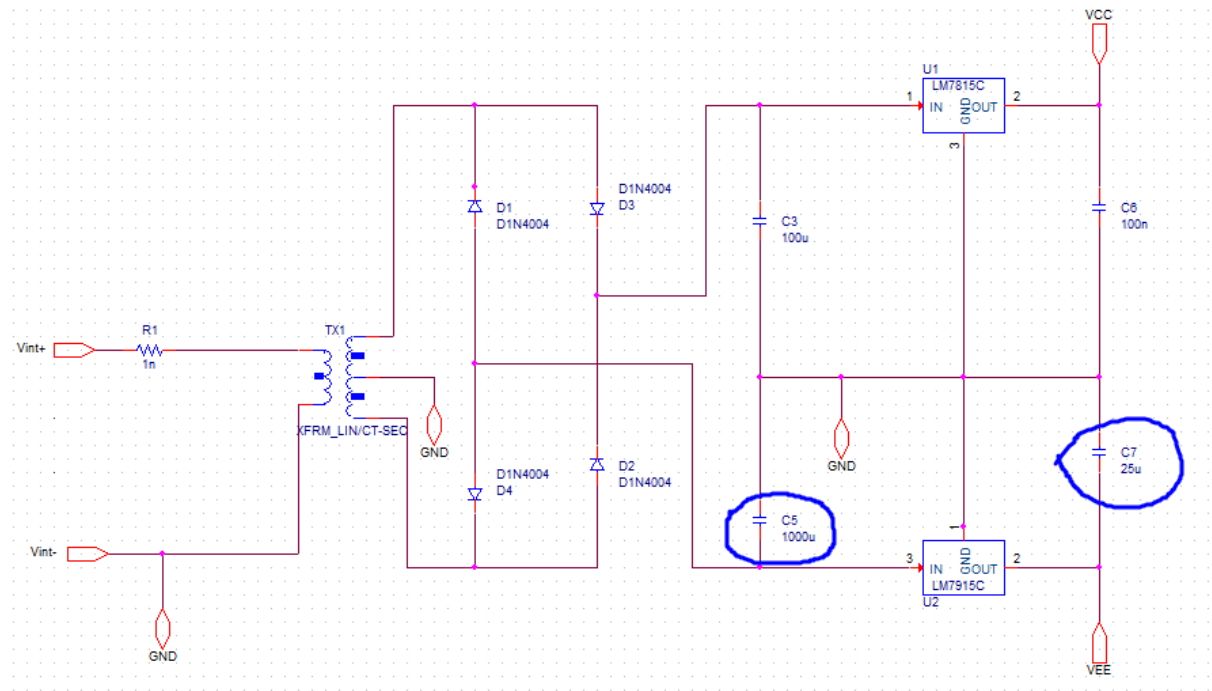


Avec les mêmes valeurs en haut en lance une simulation transitoire , on a donc ;

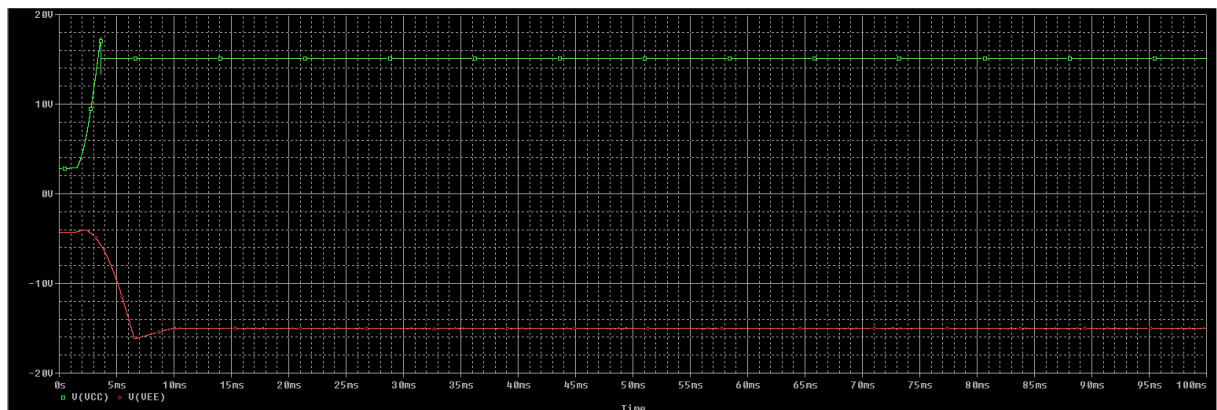


→on constate que une déformation pour la tension de sortie -15V

Ainsi on a d'augmenté la valeur de la capacité C7 de 100n à 25u



On lance la simulation on a donc les courbes suivantes :



→on remarque qu'il y a un peu décalage entre les deux courbes pour le régime transitoire, mais il n'y a pas de différent pour le régime permanent les courbes sont.

B. Oscillateur Basse Fréquence :

- **Les éléments du montage :**

- L'oscillateur électrique est constitué, d'un amplificateur non inverseur bâti autour d'un amplificateur opérationnel muni des résistances R_1 et R_2 assurant une

réaction négative ; et d'un réseau déphaseur (*le pont de WIEN*) constitué par la mise en série, d'un dipôle série R_3, C_1 , et d'un dipôle parallèle R_4, C_2 .

- On fait l'hypothèse que l'amplificateur opérationnel est quasiment idéal, il n'absorbe aucun courant sur ses entrées différentielles, son gain différentiel est "très grand"...

- **Principe de fonctionnement :**

- Le réseau déphaseur soumis au potentiel de sortie $V_s(t)$ de l'amplificateur non inverseur, alimente sous le potentiel $V_r(t)$ l'entrée de ce même amplificateur ; on dit alors que l'on a affaire à un système bouclé.

- Pour une fréquence F_n caractéristique du réseau déphaseur, le potentiel $V_r(t)$ est en phase avec le potentiel $v_s(t)$.

- Dans ces conditions, le potentiel $v_r(t)$, image du potentiel $v_s(t)$, est amplifié par l'amplificateur non inverseur, qui pour un réglage convenable des résistances R_1 et R_2 compense l'atténuation apportée par le réseau déphaseur.

- Ainsi peut-on (ici) créer et entretenir des oscillations électriques dont on maîtrise a priori la fréquence.

Etude théorique :

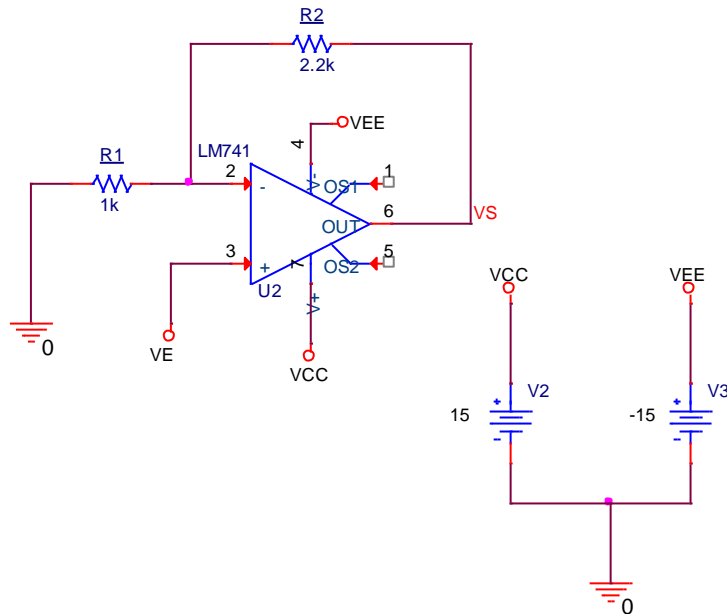
Analyse du fonctionnement du montage dans l'hypothèse du régime linéaire, analyse en régime harmonique.

- **. Hypothèses.**

- On se place dans le cadre du fonctionnement décrit au *paragraphe 1.3.*
 - On retient donc l'hypothèse du régime harmonique et on suppose que le système fonctionne en régime linéaire.

- On suppose également que l'amplificateur opérationnel a un comportement quasiment idéal.

- **Étude de l'amplificateur non inverseur.**

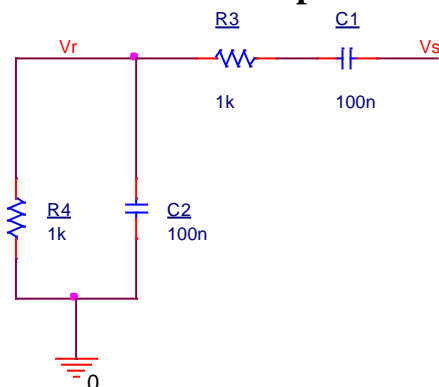


- On suppose ici que l'amplificateur est soumis à un signal d'entrée $v_e(t)$ (qui après bouclage s'identifiera à $v_r(t)$).
- Compte tenu des hypothèses du **paragraphe 2.1.**, on peut écrire :

$$\underline{V_s} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \underline{V_e}$$

où $\underline{V_s}$ et $\underline{V_e}$ sont les représentants complexes des potentiels $v_s(t)$ et $v_e(t)$, qui sont donc ***a priori***, des fonctions sinusoïdales du temps.

- Étude du réseau déphaseur :**



- Ce réseau déphaseur constitue ce que l'on appelle un ***pont de WIEN***.
- On peut écrire :

$$\underline{V_r} = \frac{j \frac{f}{f_n} \cdot \underline{V_s}}{1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2 + j3 \frac{f}{f_n}}$$

avec $f_n = 1 / (2 \times R_4 \times C_2)$

- **Condition d'entretien des oscillations.**

- Des oscillations électriques à la fréquence F_n peuvent apparaître au sein du circuit bouclé, à condition que l'amplificateur ait un gain égal (ici) au minimum à trois, pour compenser l'atténuation apportée par le réseau déphaseur.

- On doit alors vérifier

$$: 3 \leq \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \Rightarrow 2R_1 \leq R_2.$$

- Nous venons de retrouver les conditions dites de **BARKHAUSEN**.

- **Remarque :**
 - Sur la base des résultats précédents, on câble la structure et l'on obtient bien les oscillations prévues ; cependant nous ne sommes pas maîtres de l'amplitude des oscillations, et on observe même que le signal de sortie est quelque peu écrêté à la valeur des potentiels de saturation $\pm V_{sat}$ de l'amplificateur opérationnel.

- La fréquence d'oscillation est proche de 1 kHz.

- L'approche intuitive précédente, décrit de manière imparfaite le fonctionnement du montage ; ainsi sommes-nous incapables de prédire l'amplitude des oscillations $V_s(t)$ et $V_r(t)$.

- Aussi dans les paragraphes qui suivent, allons-nous prendre en compte une non linéarité qui apparaît lors du fonctionnement du montage et qui permet de décrire de manière intelligible son fonctionnement.

La partie pratique :

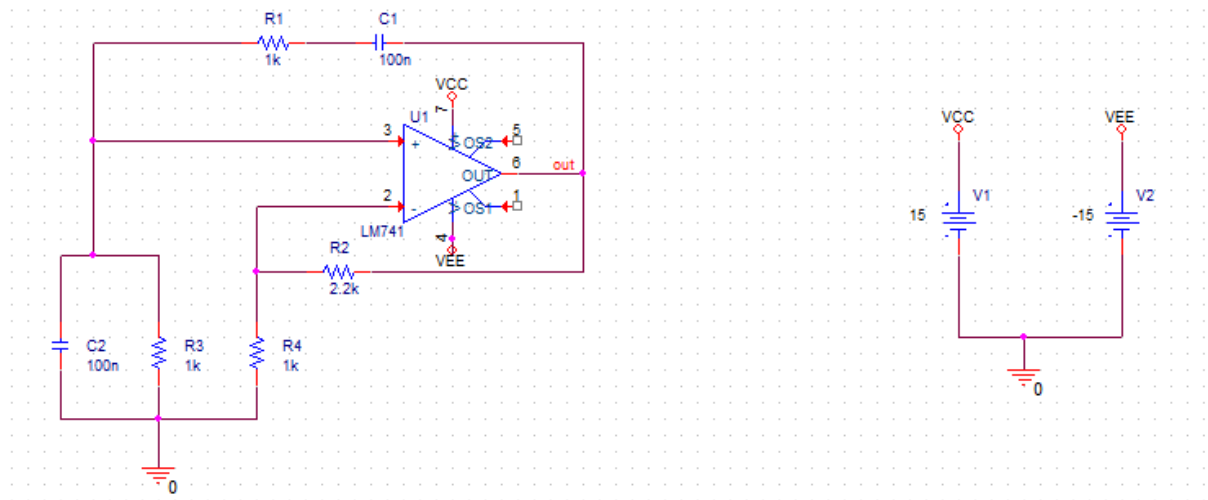
➤ Pour réaliser des oscillations en basse fréquence, nous avons utilisé un oscillateur à pont de Wien, qui constitué de :

- Trois résistances R_1 , R_3 et R_4 de $1K\Omega$, et une résistance R_2 de $2.2K\Omega$.

- Deux condensateurs de $100nF$,

- Un Amplificateur Opérationnel LM741.

- Le montage est ;

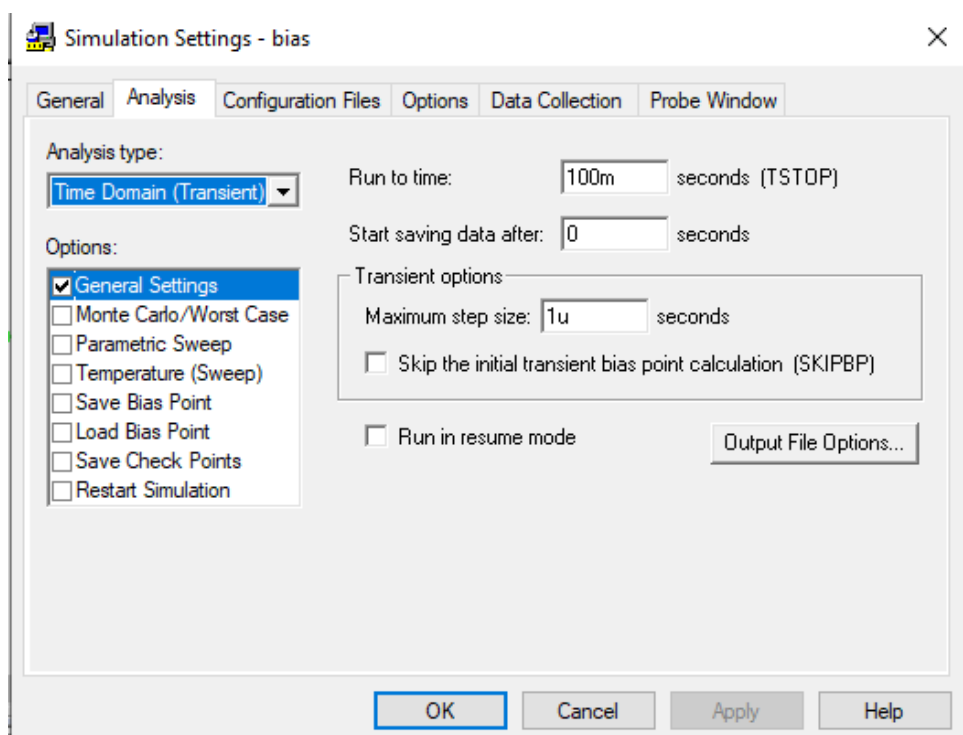


Où les capacités contiennent quelque charge donc on initialise Ic de la capacité C2 avec une valeur très faible 0.1pF

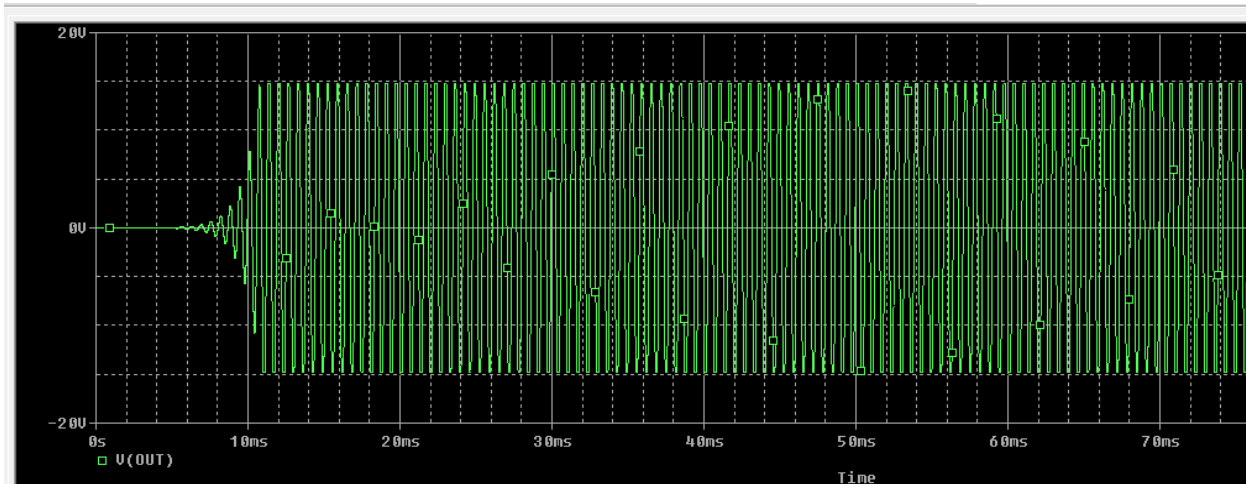
New Property... Apply Display... Delete Property Pivot Filter by: < Current properties > Help							
		CURRENT	Designator	DIST	Graphic	IC	ID
1	SCHEMATIC1 : Oscilla	CIMAX		FLAT	C.Normal	0.1P	

- on trace maintenant la tension Vout:

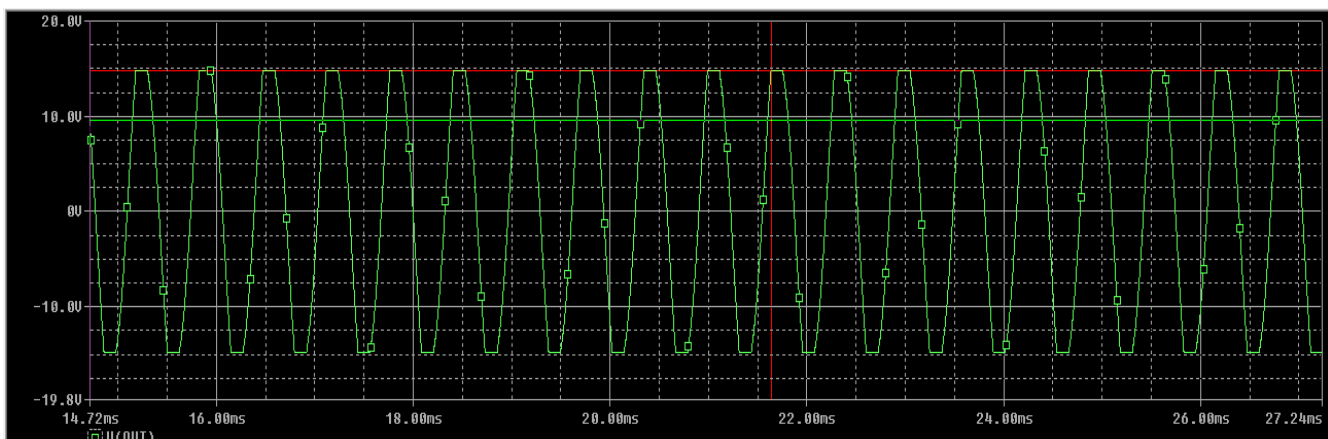
Mais tout d'abord on doit utiliser l'analyse temporelle comme ci-dessous:



En fin on obtient la figure suivant:



- on trouve les valeurs de l'amplitude et la fréquence et de signal en utilisant les curseurs:



En fin on trouve les valeurs suivant:

$$V_{out(MAX)} = 18,809V$$

$$T(\text{la période}) = 0,65ms$$

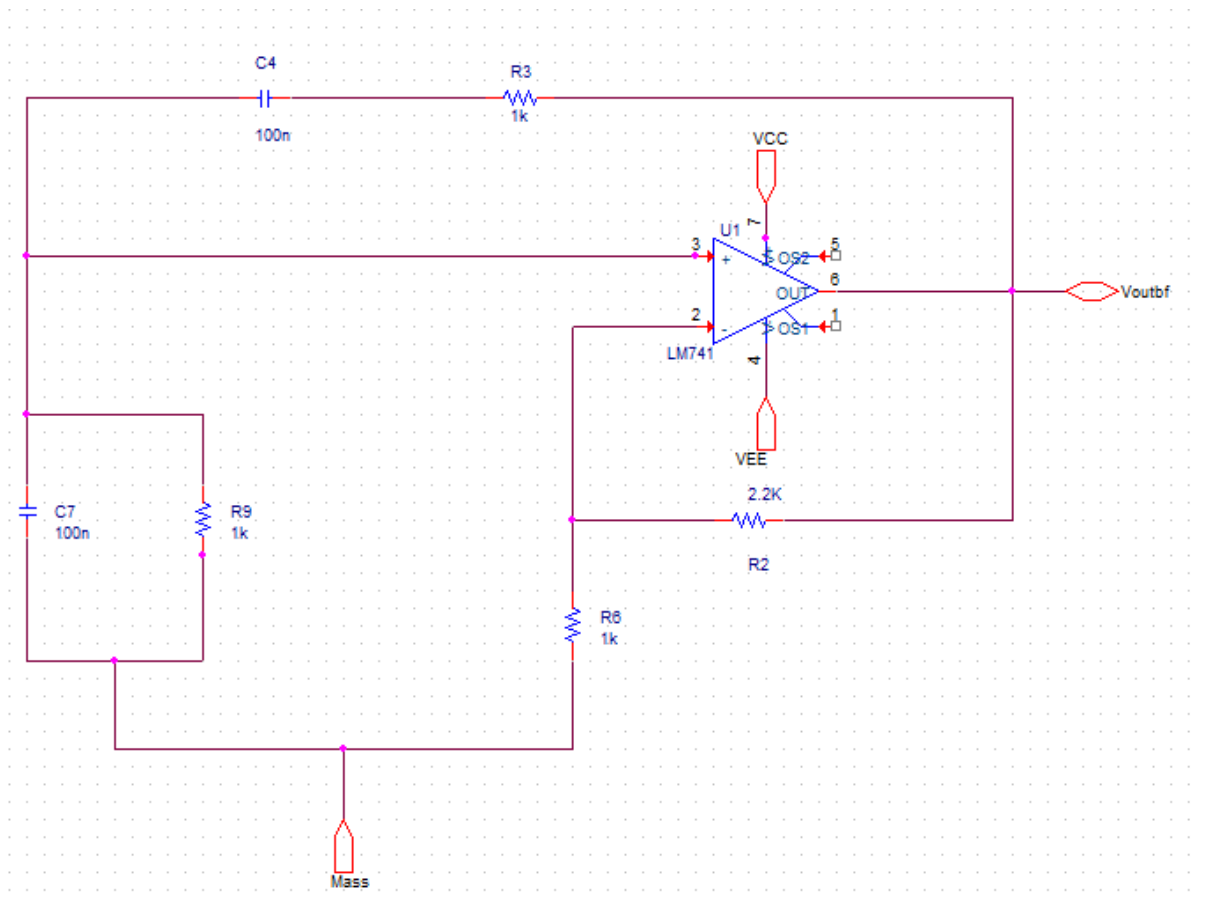
$$f(\text{la fréquence}) = 1538,46Hz$$

- L'interprétation :

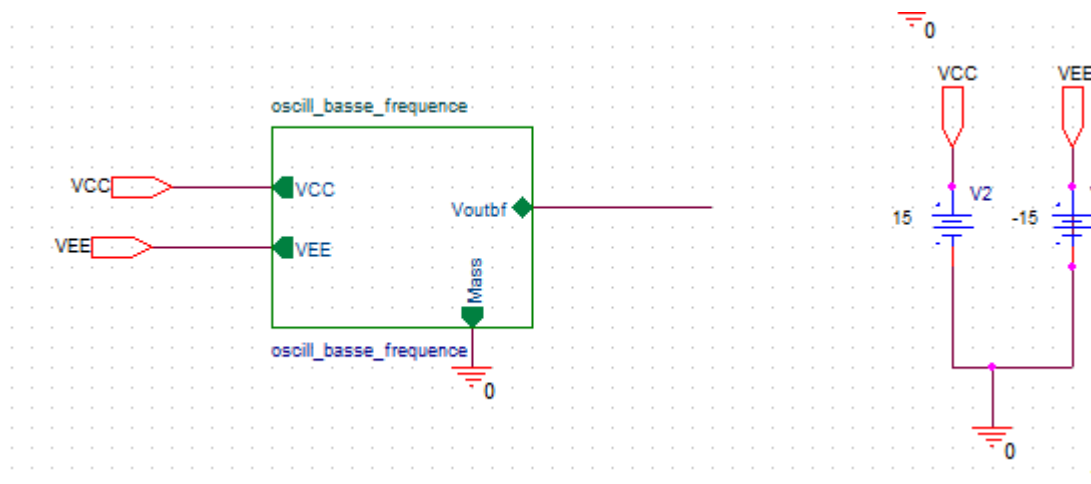
Ce montage nous permet d'obtenir un signal oscillant de basse fréquence en utilisant juste l'alimentation de l'amplificateur opérationnel sans avoir besoin d'un signal d'entrée donc le rôle de ce montage est de simuler le signal modulant.

-Le bloc hiérarchique :

On modifie le montage au suivant:



Ensuite on le met dans le bloc hiérarchique comme est en bas :



→ On a testé le bloc et il marche bien.

C)-Oscillateur Haute Fréquence :

-Partie théorique :

- Principe :

Les oscillateurs H.F comportent toujours un circuit oscillant accordé sur la fréquence d'oscillation. Si ce circuit possède un facteur de qualité suffisamment grand, le signal de sortie est une sinusoïde pure.

On utilise pour cette partie de projet un Oscillateur COLPITTS

Dans l'oscillateur de Hartley, les bobines L1 et L2 et le condensateur C seront remplacées,

Respectivement, par deux condensateurs C1 et C2 et une bobine L dans le cas de COLPITS

Le circuit de réaction est un filtre dont la fonction de transfert complexe devient réelle à la

Pulsation ω_{os} correspondant à la fréquence d'oscillation.

La condition d'oscillation de BARKAUSEN nous donne :

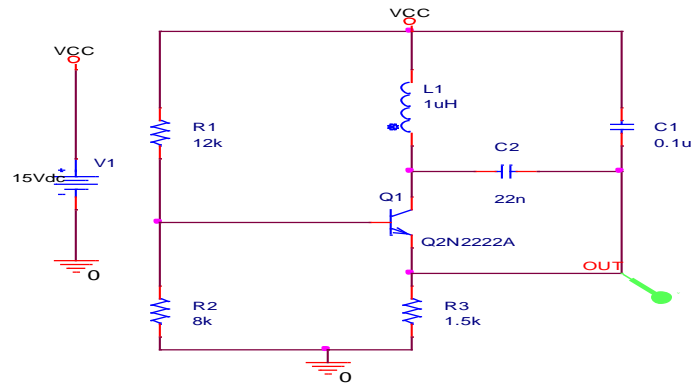
$$f_{os} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{avec} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{et} \quad \beta \geq \frac{C_1}{C_2}$$

-Partie pratique :

➤ Le montage de l'oscillateur haute fréquence est composé de :

- Un Transistor Bipolaire : 2N2222A,
- Une Inductance $1\mu H$,

- Sept Résistances (1x12k Ω , 1x8k Ω , 1x1.5k Ω , 1x9k Ω , 1x10k Ω et 2x1k Ω),
- Quatre condensateurs (1x0.1 μ F et 3x22nF).
- Réalisation de montage suivant :

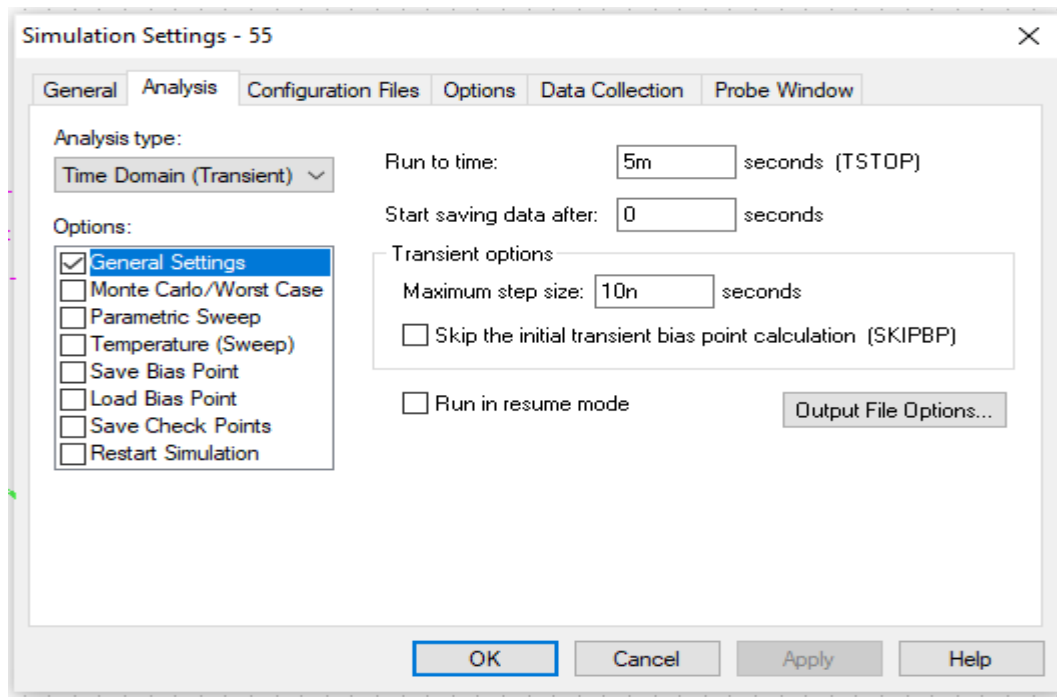


On va initialiser Ic par une valeur très faible (**0.1p**) pour C1, C2 et L1,

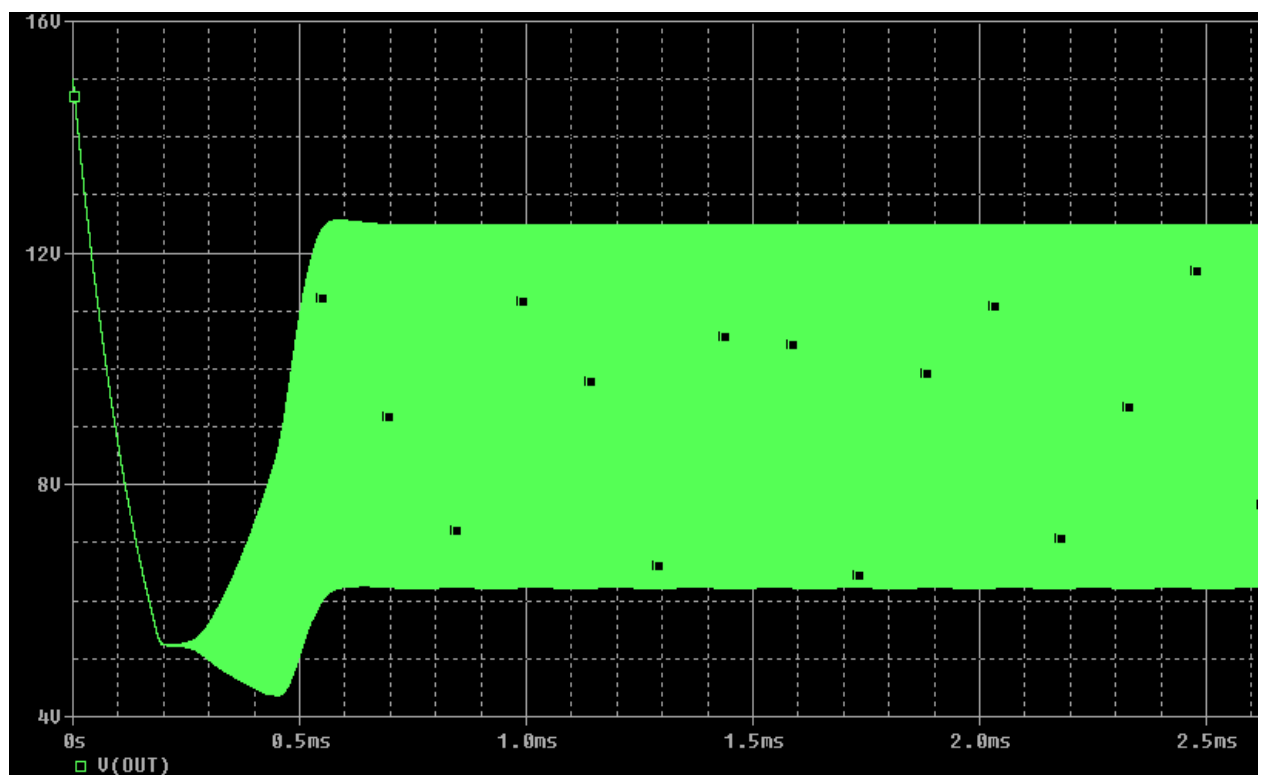
		BiasValue Power	Color	CURRENT	Designator	DIELECTRIC	DIST	Graphic	IC
1	Oscillateur HF : PAGE		Default	CIMAX			FLAT	C.Normal	0.1p
2	Oscillateur HF : PAGE		Default	CIMAX			FLAT	C.Normal	0.1p
3	Oscillateur HF : PAGE	-1.600e-18W	Default	LMAX		DSMAX	FLAT	L.Normal	0.1p

- **Tracage de la tension de sortie :**

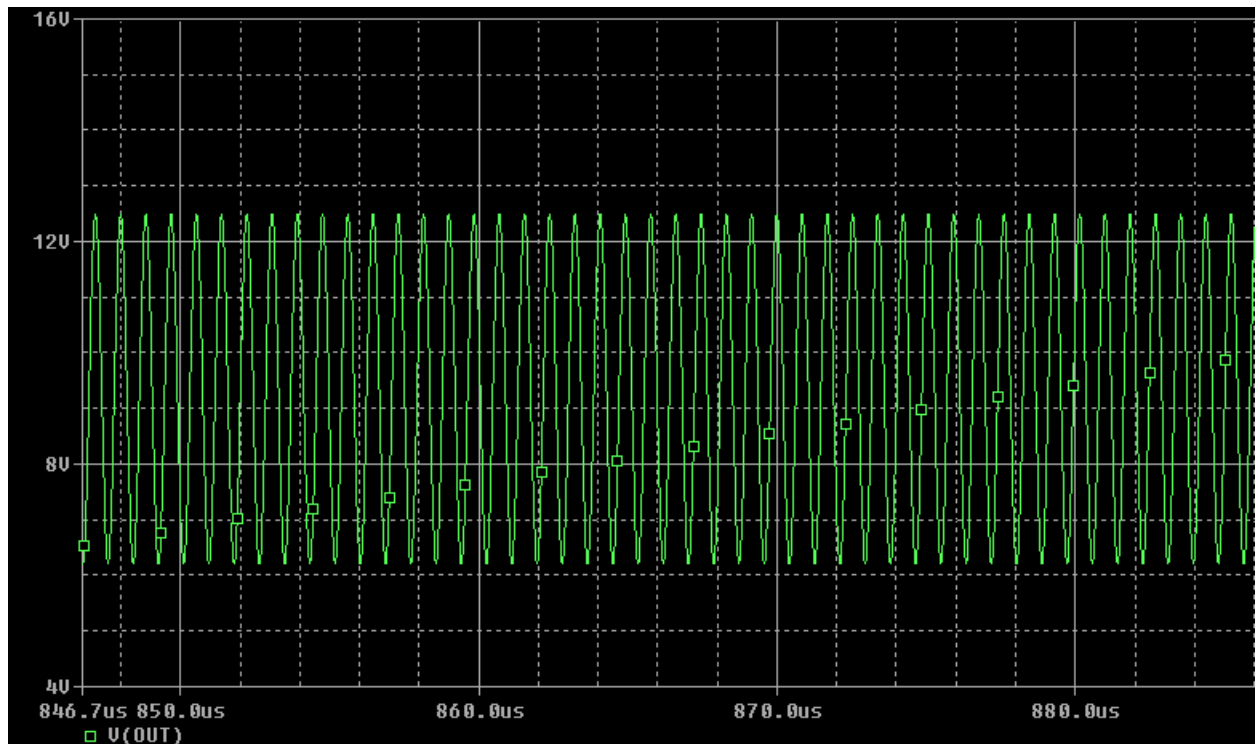
Pour simuler le circuit on va utiliser l'analyse temporelle et prendre les paramètres suivants :



On obtient la courbe suivante,

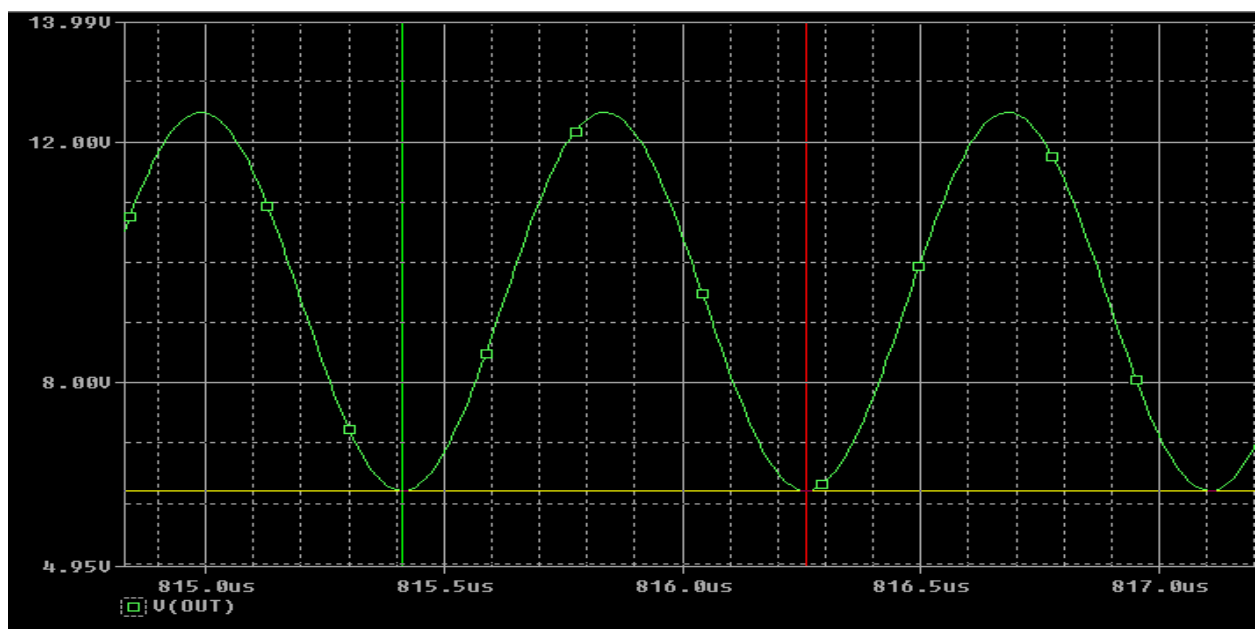


On fait un zoom pour que le signal sera plus clair,



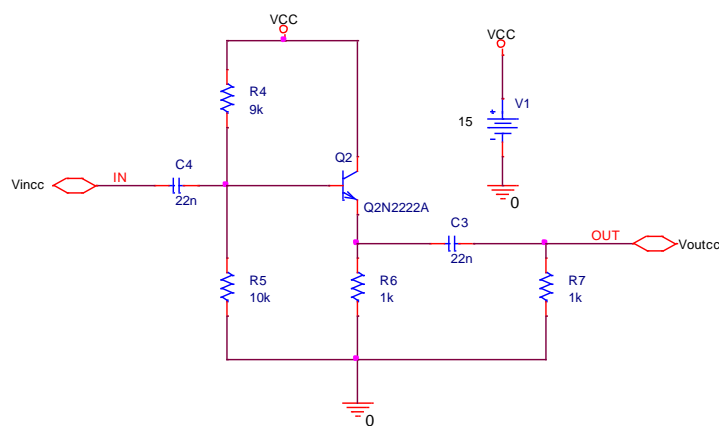
- **Les paramètres caractéristiques de signal de sortie :**

On fait un zoom sur notre courbe pour faciliter l'extraction des différentes caractéristiques du signal de sortie,



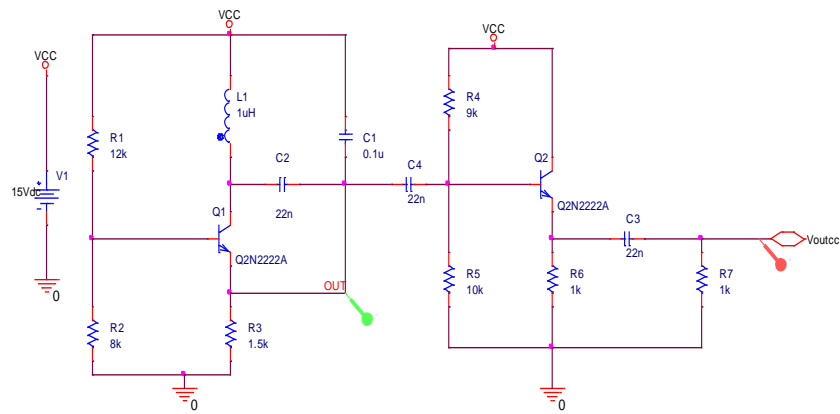
	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
		X Values	816.259u	815.412u	847.000n
	CURSOR 1,2	V(OUT)	6.2080	6.2086	-600.000u

- La période est : $T=816.259\mu s-815.412\mu s=0.847\mu s$
 - La fréquence de signal est : $f=1/T=1180637.544\text{Hz}=1.180637\text{MHz}$
 - L'amplitude est : $A=V_{càc}/2=6.2814/2=3.1407\text{V}$
- On Connecte la sortie de l'oscillateur avec l'entrée du montage Collecteur Commun où Le montage collecteur commun est :

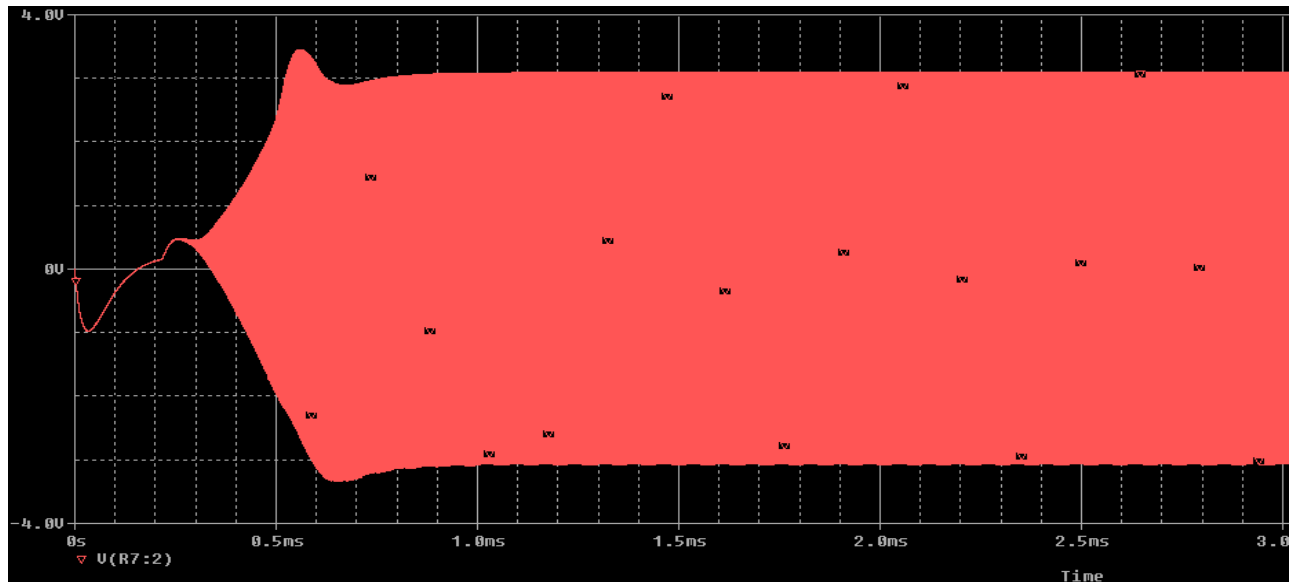


→Ce montage généralement fonctionne comme un adaptateur de tension avec un gain inférieur ou égale à 1.

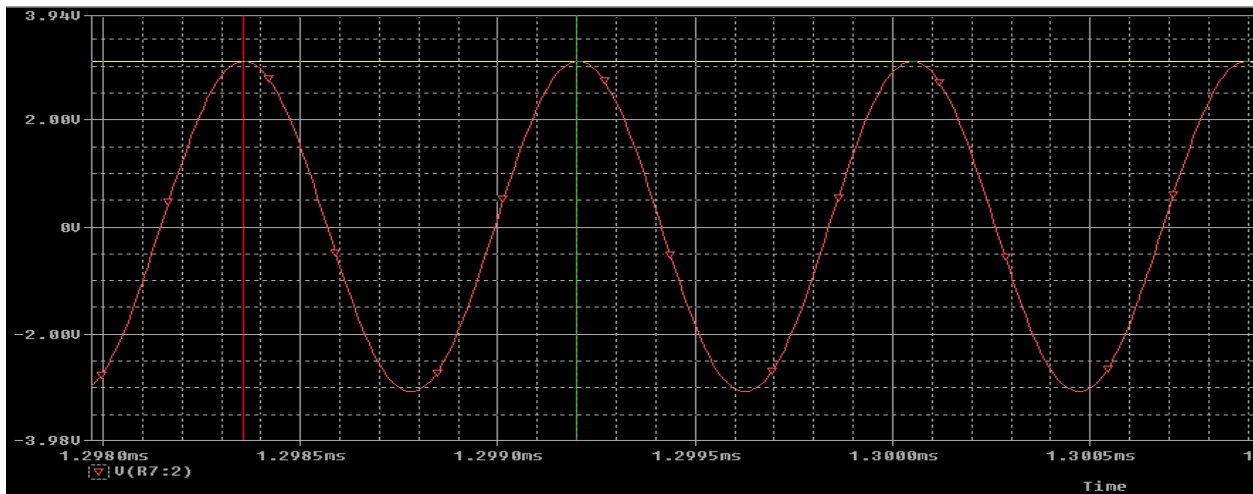
La mise en liaison des deux montages,



- La visualisation de signal à la sortie du montage collecteur commun est :



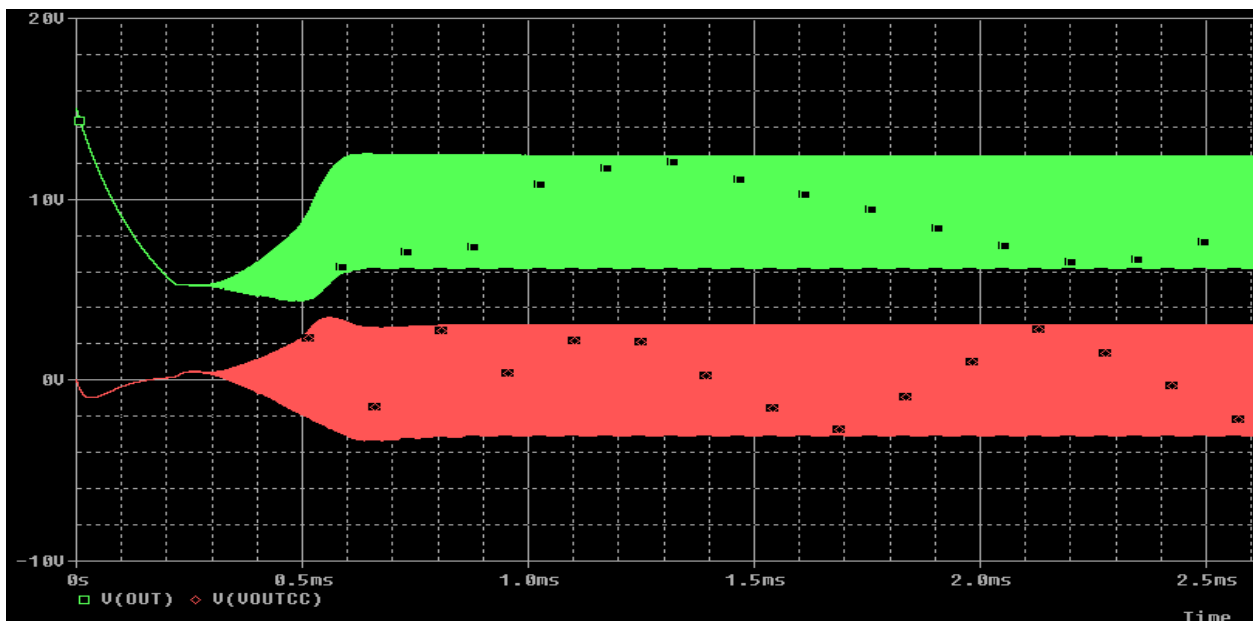
On va faire un zoom sur la partie stable de notre courbe pour bien l'observer ;



	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
		X Values	1.2984m	1.2992m	-800.000n
	CURSOR 1,2	V(R7:2)	3.0923	3.0913	1.0000m

- La période est : $T = 1.2992\text{ms} - 1.2984\text{ms} = 0.8\mu\text{s}$
- La fréquence de signal est : $f = 1/T = 1250000\text{Hz} = 1.25\text{GHz}$
- L'amplitude de signal : $A = V_{\text{max}} = 3.0923\text{V}$

• Interprétations :



Régime transitoire [0ms, 0.6ms] :

Pour la courbe à la sortie de l'oscillateur HF on voit qu'il décroît d'une valeur très grande et puis il se stabilise.

Pour la courbe à la sortie de collecteur commun on' a des variations plus stables que la courbe HF.

Régime permanent [0.6ms, t] :

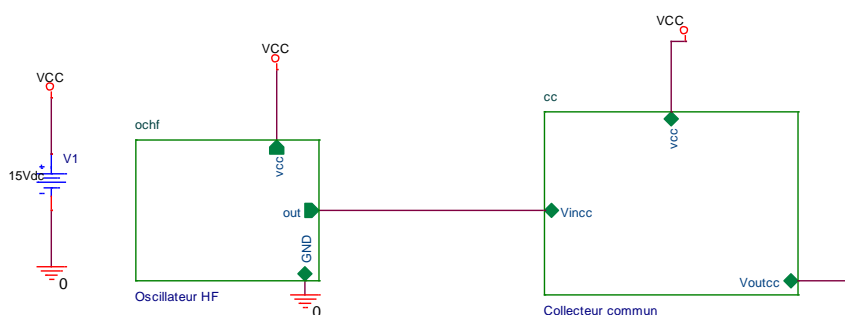
Pour la courbe à la sortie de l'oscillateur HF on observe que c'est une courbe centralisée sur une valeur qui est inférieure ou égale à **10V**.

Pour la courbe à la sortie de collecteur commun on constate que c'est une courbe centralisée sur **0V**

→Alors le montage collecteur commun nous a permet d'éliminer la partie continue du signal de sortie de l'oscillateur HF et puis le centraliser le autour de 0V, Le montage collecteur commun a bien fait leur rôle comme un adaptateur de tension.

-Le bloc hiérarchique :

Les mêmes des étapes que les circuits précédentes on réalise les blocs hiérarchiques des deux montages comme les suivants :



→on a testé ces deux montages et ils fonctionnent bien.

D)Modulateur AM :

➤ Pour concevoir ce bloc, nous avons besoin des composants suivants :

- Deux Condensateurs 100nF,
- Un multiplieur AD633J.

Le circuit multiplieur AD633J est un circuit qui réalise la fonction suivante :

$$W = (X1 - X2) \bullet (Y1 - Y2) / 10 + Z$$

Le circuit de principe est présenté par la figure 5

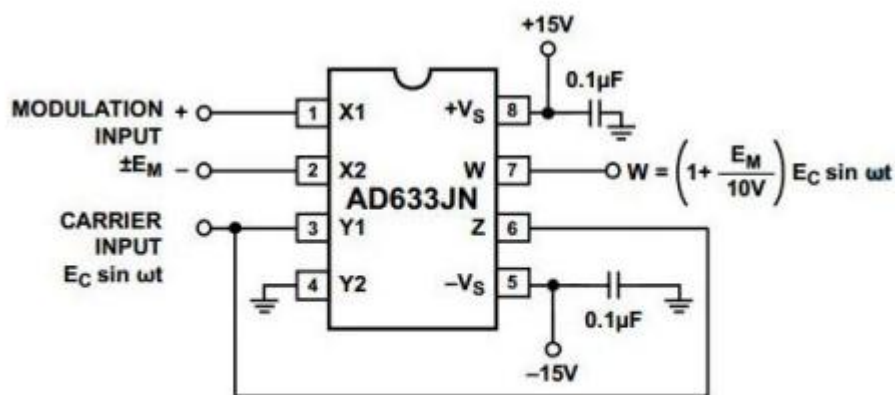


Figure 5: modulateur linéaire.

➤ Simulation :

1. Multiplieur AD633

sur support

1. Description

Ce boîtier comporte un circuit multiplieur type AD633 monté avec douilles banane de sécurité permettant de l'intégrer

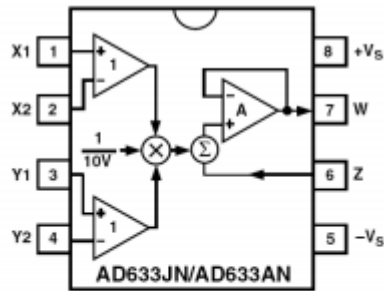
À un montage. Un schéma normalisé sérigraphie permet de décrire explicitement les entrées et les sorties. Il permet

Notamment de réaliser l'étude de la modulation d'amplitude.

2. Utilisation

Le support du multiplieur AD633 reprend à l'identique la nomenclature de ses documentations constructeur du

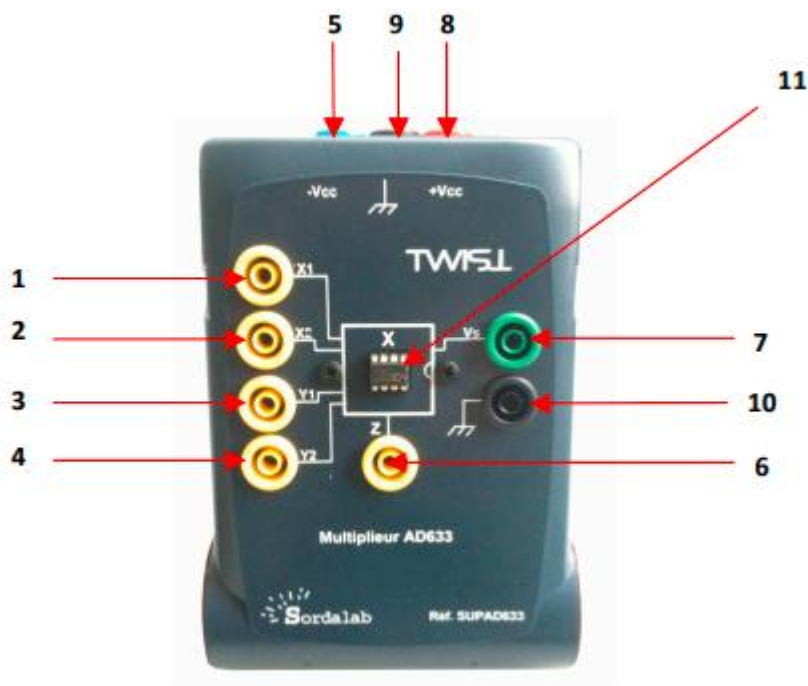
composant nu comme indiqué ci-dessous : entrées X1, X2, Y1, Y2, sortie W, décalage Z, alimentation +/-Vs.



$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10} + Z$$

Le multiplieur donne en sortie : W

Sur la photo ci-dessous, les douilles banane ont été numérotées à l'identique au schéma de brochage ci-dessus afin de permettre leur identification. Les bornes 9 et 10 seront reliées à la masse de l'alimentation. Le composant en 11 est externe au boîtier pour faciliter son remplacement.

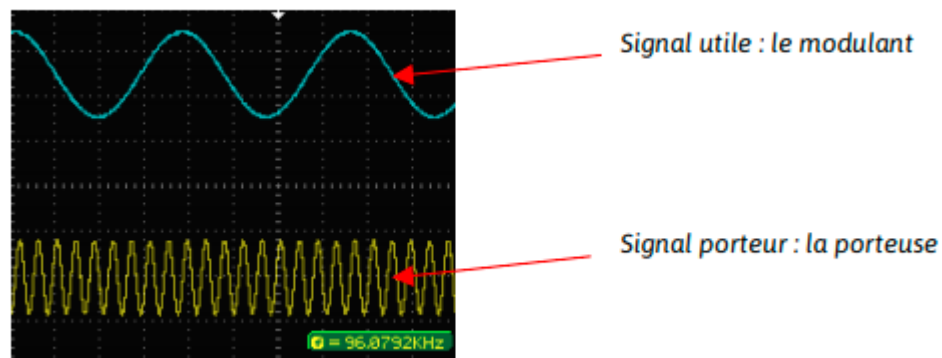


1. Caractéristiques techniques

- Alimentation : $\pm 8V < \pm V_{cc} < \pm 18V$
- Tensions en entrée : $-10V < X, Y < +10V$
- Fréquence : 10 Hz à 5 MHz
- Température de stockage : $-65^\circ C$ à $150^\circ C$
- Température de fonctionnement $0^\circ C$ à $70^\circ C$

Rappels théoriques et principe de la modulation d'amplitude a.

- Principe de la modulation On utilise la modulation d'amplitude pour transporter une information utile entre un émetteur et un récepteur. On traduit par exemple en courant électrique des fréquences sonores (les fréquences sonores audibles par l'homme sont comprises entre 16 Hz et 20 kHz) en un signal électrique de même fréquence, dit signal modulant et noté $U_m(t)$. On utilise ensuite ce signal $U_m(t)$ pour moduler en amplitude un autre signal sinusoïdal de fréquence et d'amplitude fixes dit porteuse et noté $U_p(t)$. La fréquence de la porteuse est choisi en fonction du canal de communication choisi : hertzien, filaire, optique, etc. Le dispositif qui permet de réaliser cette modulation est appelé le modulateur. Dans le cas présent, il s'agit d'un composant électronique : le multiplieur AD633. Celui-ci permet de multiplier le signal modulant et la porteuse pour obtenir un signal dit modulé. L'opération inverse permettant d'extraire le signal utile du signal modulé est appelé la démodulation. Cette opération n'étant pas la fonction du multiplieur AD633, elle ne sera pas exposée ici.



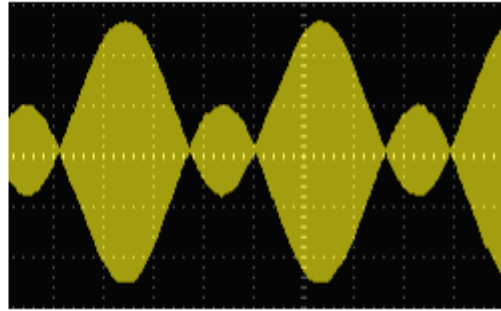
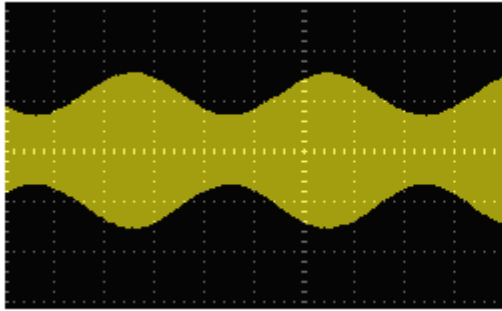
- b. Le modulateur d'amplitude : le multiplieur AD633 Le multiplieur AD633 multiplie les tensions qui lui sont données en entrée. Il peut recevoir jusqu'à 5 tensions différentes en entrée : X_1 , X_2 , Y_1 , Y_2 , Z . La tension W en sortie est fonction de ces 5 tensions et est donnée par la relation suivante :

$$W = \frac{(X_1 - X_2) \times (Y_1 - Y_2)}{10} + Z$$

Dans le cas présent, nous nous restreindrons au cas de figure où les bornes X_2 , Y_2 et Z sont reliées à la masse (valeurs nulles) ; la relation se simplifie et devient alors

$$W = \frac{X_1 \times Y_1}{10}$$

- Remarque : Le dénominateur 10 correspond au facteur multiplicateur k du multiplieur. Dans le cas de l'AD633, $k=10$.
- c. Phénomène de sur-modulation et composante continue Pour obtenir une bonne modulation, il faut ajouter au signal à transmettre une composante continue U_0 . Dans le cas contraire on est confronté à des phénomènes de sur-modulation qui ne permettent pas de récupérer l'intégralité du signal utile lors de la démodulation. Les 2 captures d'écran ci-dessous permettent d'illustrer ce phénomène dit de sur-modulation : à gauche un signal modulé correct avec composante continue et à droite un signal modulé obtenu sans composante continu. Dans le premier cas, l'enveloppe du signal permet de retrouver le signal utile alors que dans le second cas, elle ne le permet pas.



5. 5. Protocole opératoire

a. Matériel nécessaire :

- 1 générateur de fonction pour générer le signal modulant $U_m(t)$
- 1 générateur de fonction pour générer le signal de la porteuse $U_p(t)$
- 4 cordons BNC/banane
- Alimentation symétrique $\pm 15V$
- Oscilloscope numérique 2 voies

b. Mise en œuvre :

- Alimenter l'appareil en $\pm 15V$: douilles 8, 5 et 9
- Régler le signal modulant sur le générateur de fonctions et visualiser sa trace à l'oscilloscope à l'aide d'un

Cordon BNC banane (couplage DC pour visualiser la composante continue). On prendra par exemple un signal

Sinusoïdal de 1 kHz à laquelle on ajoute une composante continue U_0 à l'aide du bouton OFFSET du Générateur.

- Régler le signal de la porteuse sur le second générateur de fonctions et visualiser sa trace à l'oscilloscope à

L'aide d'un cordon BNC/banane (couplage AC). On prendra par exemple une tension sinusoïdale de 100 kHz et

On s'assurera que le bouton OFFSET du générateur est bien désactivé (pas de composante continue).

- Connecter le générateur de fonction délivrant le signal modulant $U_m(t) + U_0$ aux entrées X1 et X2 à l'aide d'un

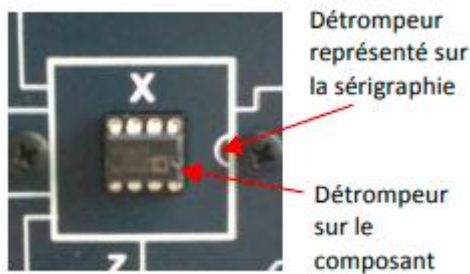
Cordon BNC/banane : fiche rouge sur X1 et borne noire sur X2.

- Connecter le générateur de fonction délivrant le signal porteur $U_p(t)$ aux entrées Y1 et Y2 à l'aide d'un cordon

BNC/banane : fiche rouge sur Y1 et borne noire sur Y2

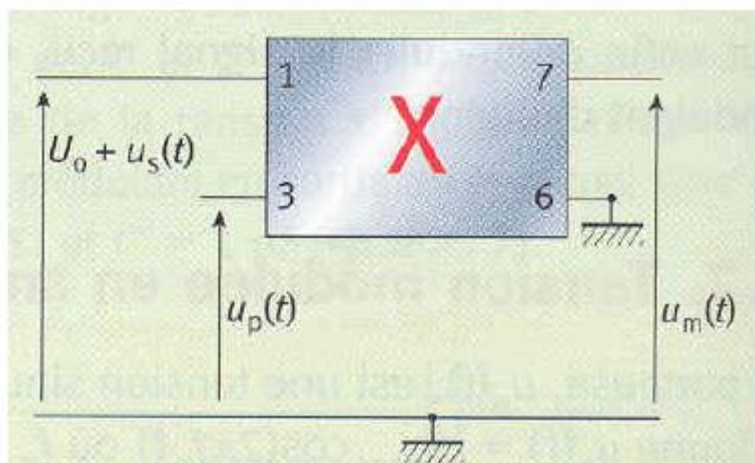
- Visualiser le signal modulé W en sortie.

6. Précaution d'utilisation et remplacement Toujours alimenter le multiplieur avant d'injecter les signaux de la porteuse et du modulant, sans quoi le circuit imprimé AD633 pourrait être détérioré. Dans le cas où le signal modulé obtenu est incohérent, il se peut que ceci soit dû à une détérioration du multiplieur AD633. Dans ce cas, remplacer le composant. Le circuit imprimé est monté sur un support de circuit imprimé monté en surface du boîtier. Il suffit de prendre le composant entre 2 doigts et de tirer dessus. Remplacer ensuite le composant par un nouveau en prenant soin de bien positionner le repère du composant du même côté que celui représenté sur la sérigraphie



-La partie théorique :

Soit le montage suivant :



Le montage multiplieur de tension

Avec :

- ✓ $u_s(t)$: est le **signal modulante** (signal en base fréquence) sinusoïdale de fréquence f_s où $u_s(t) = (U_s)_{\text{Max}} \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t)$.

- ✓ $u_p(t)$: La **porteuse** est une tension sinusoïdale $u_p(t)$ de fréquence f_p (signal en haute fréquence)
où : $u_p(t) = (U_p)_{\text{Max}} \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$
- ✓ $u_m(t)$: est Le **signal modulé** (signal en basse fréquence).
- ✓ U_0 : tension de décalage (tension continu) qui est indispensable pour éviter la **surmodulation**.

→ **Moduler l'amplitude** d'un signal consiste alors à **ajouter une composante continue** (ici U_0) au signal modulant $u_s(t)$ à transmettre, puis de **multiplier** la tension résultante **par la tension $u_p(t)$ de la porteuse**.

Donc la tension de sortie est :

$u_m(t) = k[(u_s(t) + U_0) \cdot u_p(t)]$ où k est le coefficient du multiplieur.

$$= k(U_p)_{\text{Max}} [(U_s)_{\text{Max}} \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t) + U_0] \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$$

$$= k(U_p)_{\text{Max}} U_0 [1 + (U_s)_{\text{Max}}/U_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t)] \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$$

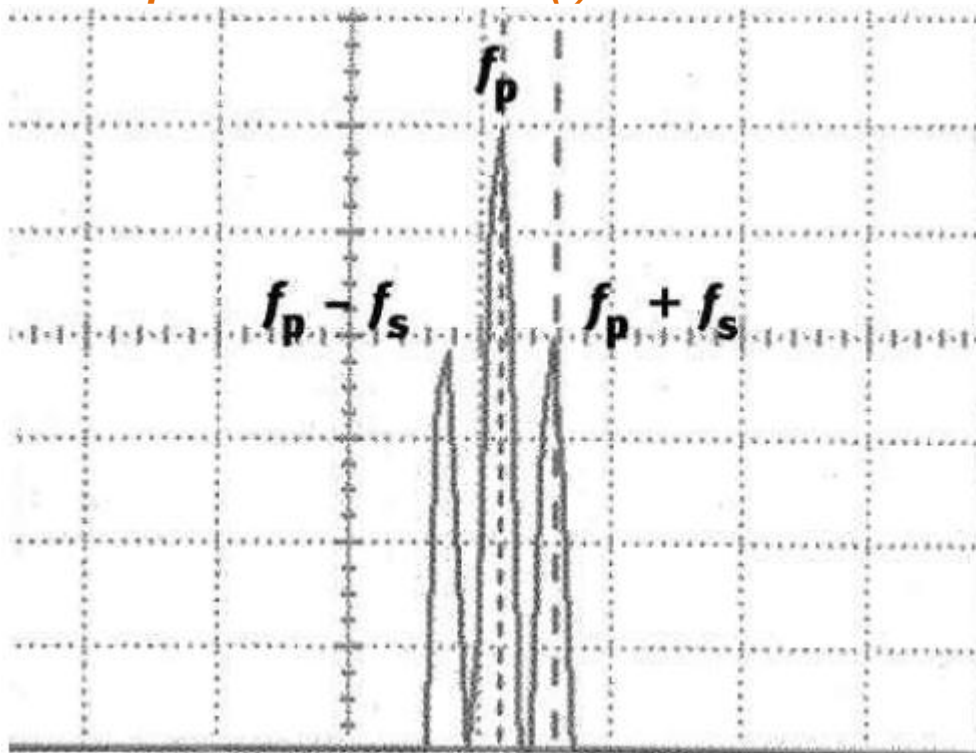
$u_m(t) = U_0 \cdot [m \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t) + 1] \cdot u_p(t)$ où m est $(U_s)_{\text{Max}}/U_0$.

Une étude mathématique permettrait de montrer que le produit $m \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$ peut s'écrire : $m \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t) = m/2 \cdot \cos(2\pi \cdot (f_p + f_s) \cdot t) + m/2 \cdot \cos(2\pi \cdot (f_p - f_s) \cdot t)$

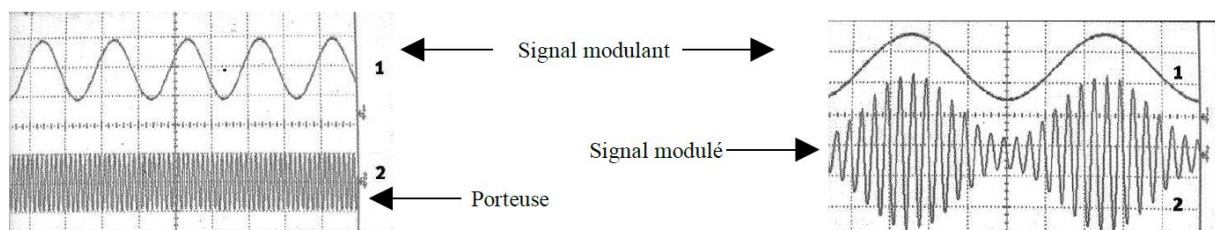
• La tension du signal modulé peut alors s'écrire :

$$u_m(t) = k \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t) + (km)/2 \cdot \cos(2\pi \cdot (f_p + f_s) \cdot t) + (km)/2 \cdot \cos(2\pi \cdot (f_p - f_s) \cdot t)$$

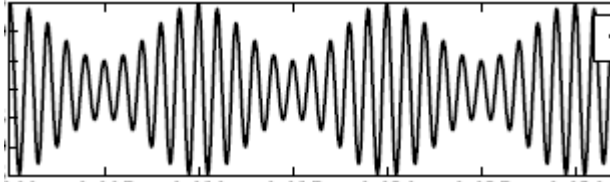
• **la représentation de $U_m(t)$ est :**



Ainsi :

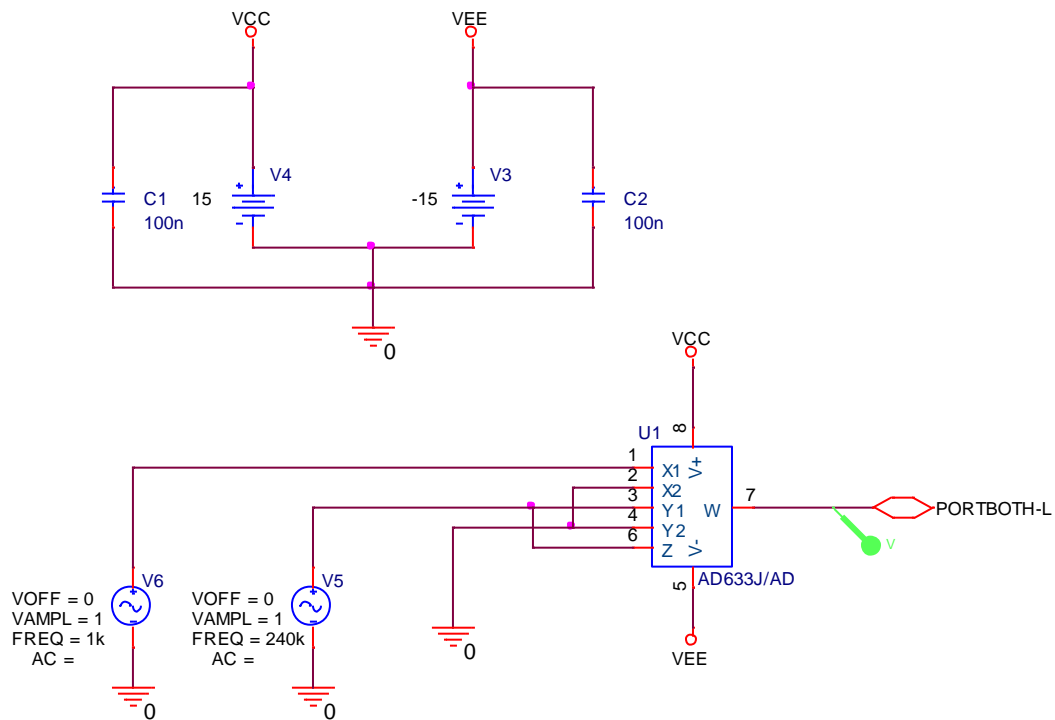


Donc $U_m(t)$ sera :



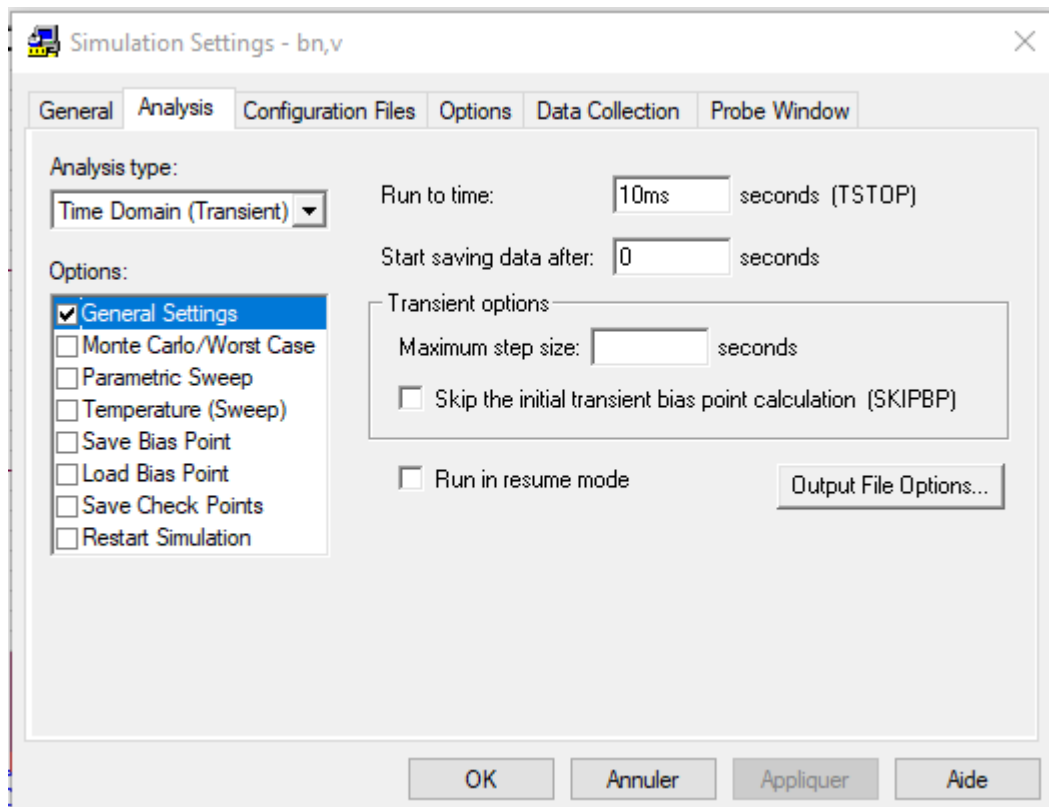
-La partie pratique :

- On trace le montage suivant:

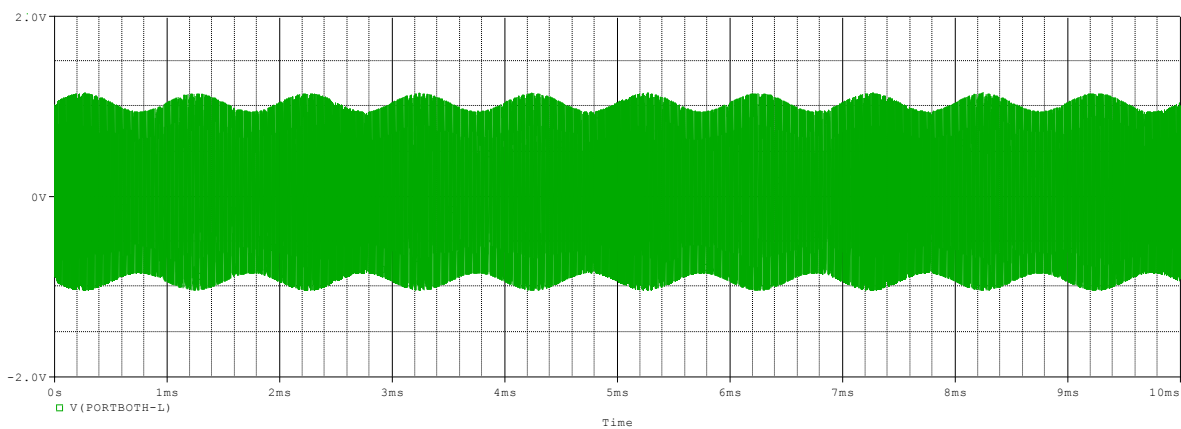


- Le traçage de tension de sortie :

On test le circuit de la figure 6. En analyse transitoire :



Donc on a la courbe :



→ le résultat pratique est conforme à la théorie.

- Taux de modulation m

Le taux de modulation, noté m est caractéristique du modulateur. Il représente l'amplitude du signal modulé par rapport à l'amplitude de la porteuse

$$m = \frac{A - B}{A + B}$$

A : L'amplitude maximale de signal modulé $A = 1.23333 \text{ V}$

B : L'amplitude minimale de signal modulé $B = 0.898 \text{ V}$

D'où : $m=0.15732$

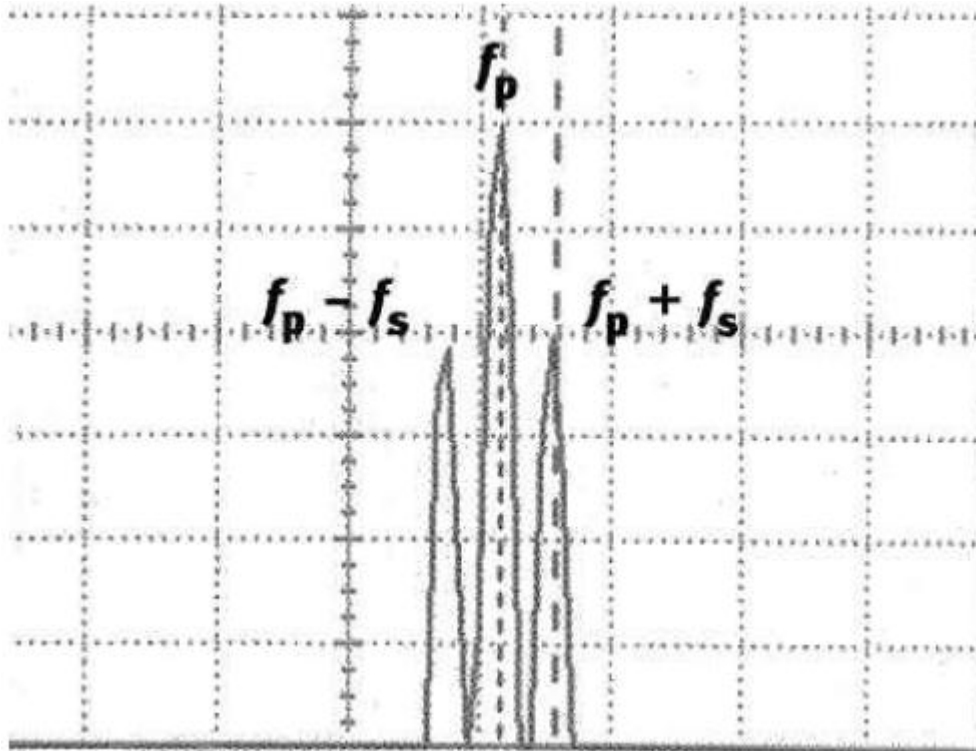
→ $m < 1$: Ainsi la modulation est de bonne qualité.

- **Interprétations :**

- on a les deux tensions : modulante et porteuse sont des tensions sinusoïdales, de fréquences respectives f_s et f_p .

Alors la tension modulée est la somme de trois tensions sinusoïdales de fréquences f_p , $f_p - f_s$ et $f_p + f_s$.

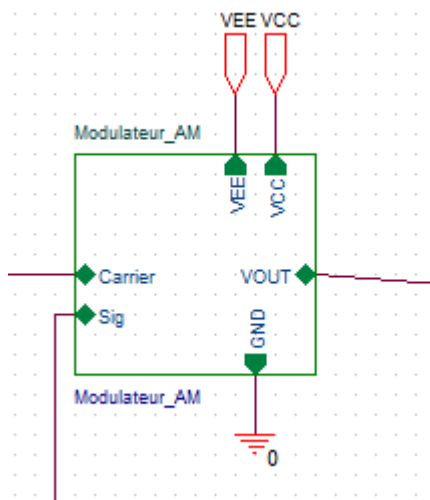
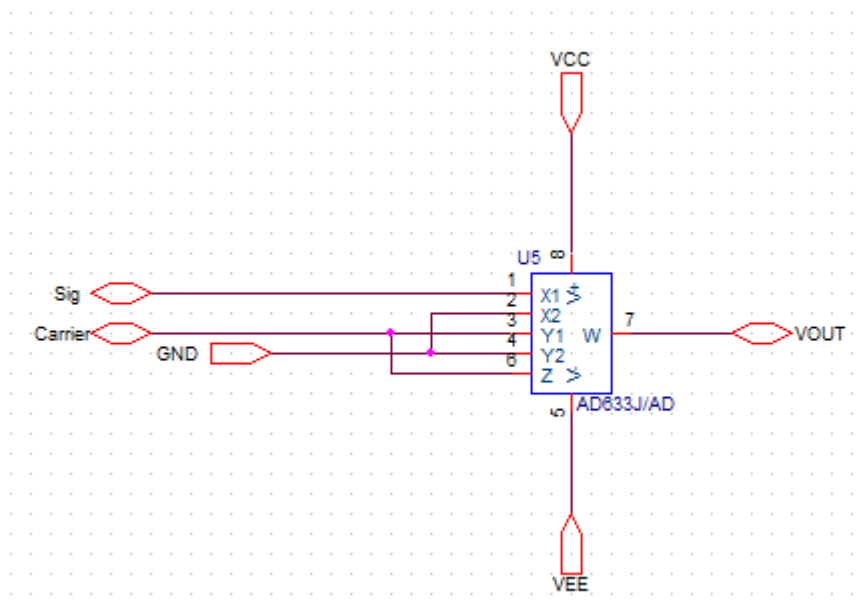
Donc la même chose que dans la figure en haut la tension de sortie est de la forme :



D'où le résultat obtenu.

-Le bloc hiérarchique :

On utilise le montage suivant :



→ On a testé le bloc et il marche bien.

E. Démodulateur AM :

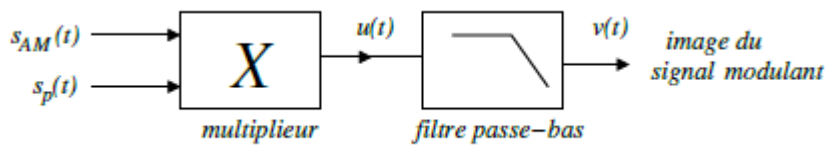
La démodulation est l'opération inverse de la modulation. Il s'agit à partir de la porteuse modulée en amplitude de reconstituer le signal basse fréquence modulant.

Le spectre du signal modulé étant différent du spectre modulant, il est nécessaire de disposer d'un élément non-linéaire dans le montage pour récupérer le signal modulant.

→ Deux techniques permettent de réaliser cette opération : la démodulation synchrone et la démodulation d'enveloppe.

E.1. Circuit 1: la démodulation synchrone ;

La structure d'une démodulation synchrone est représentée ci-dessous :



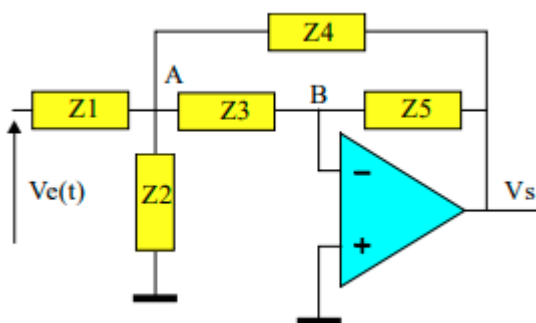
→ S'intéressons d'abord au circuit filtre passe-bas.

E.1.1) Filtre passe bas :

-La partie théorique :

-la Structure utilisé dans ce filtre c'est La structure de RAUCH, La structure de RAUCH est un montage électronique utilisant 5 dipôles d'admittance Y1 à Y5 (résistances ou condensateurs) autour d'un A.L.I. :

Les filtres actifs à structure de RAUCH du second ordre ont la structure suivante :



◇ Si un dipôle est une résistance R son admittance est $Y=1/R$.

◇ Si un dipôle est un condensateur C son admittance complexe est $Y=jC\omega$.

Les impédances Z1 à Z5 sont des résistances ou des condensateurs. L'amplificateur est supposé idéal. La réaction introduite par Z5 étant négative, l'amplificateur fonctionne en régime linéaire et $V_B = V_+ = V_- = 0$.

Comme le courant d'entrée de la borne inverseuse est nul, on a

$$V_A = -\frac{Z_3}{Z_5} V_S.$$

L'application du théorème de Millman en A donne par :

$$V_A = \frac{\frac{V_E}{Z_1} + \frac{V_S}{Z_4}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_4}}$$

En introduisant dans cette relation la valeur de V_A exprimée en fonction de V_S , on tire l'expression de la fonction de transfert du montage :

$$H = \frac{-1}{\frac{Z_3}{Z_5} + \frac{Z_1}{Z_5} + \frac{Z_1}{Z_4} + \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_5} + \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_4 \cdot Z_5}}$$

-D'où l'expression de gain complexe du ce filtre d'ordre deux comme suite :

$$H = \frac{-1}{\frac{R_1}{R_3} + 2z \frac{j\omega}{\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

Avec : la pulsation de coupure à -3dB

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_4 C_1 C_2}};$$

AN : la fréquence de coupure à -3dB est donc : $F_0 = 4109.36296 \text{ Hz}$

Et le coefficient d'amortissement est par expression générale :

$$z = C_2 \frac{R_1 R_4 + R_4^2 + R_1 R_3}{2 R_4 \sqrt{R_1 R_4 C_1 C_2}}$$

AN : $z = 0.40881$

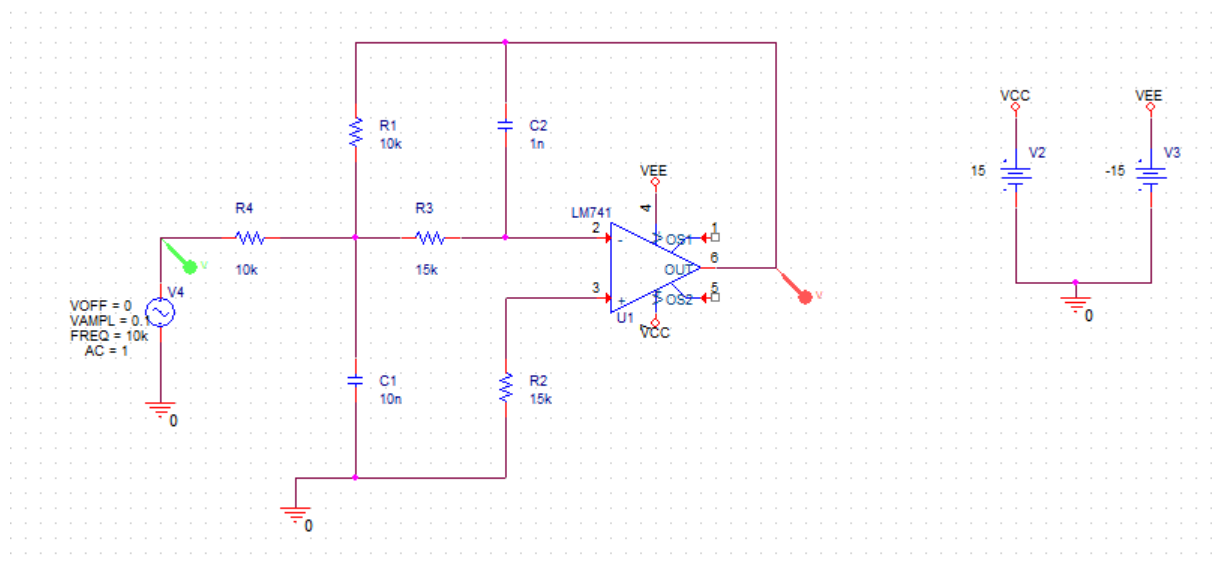
On donc l'expression du facteur de qualité : $Q = 1/2z$ AN : $Q = 1.223$.

On déduire donc les valeurs respectivement de pulsation de coupure et de coefficient d'amortissement pour $R_1=R_2=R_3=R_4=R$.

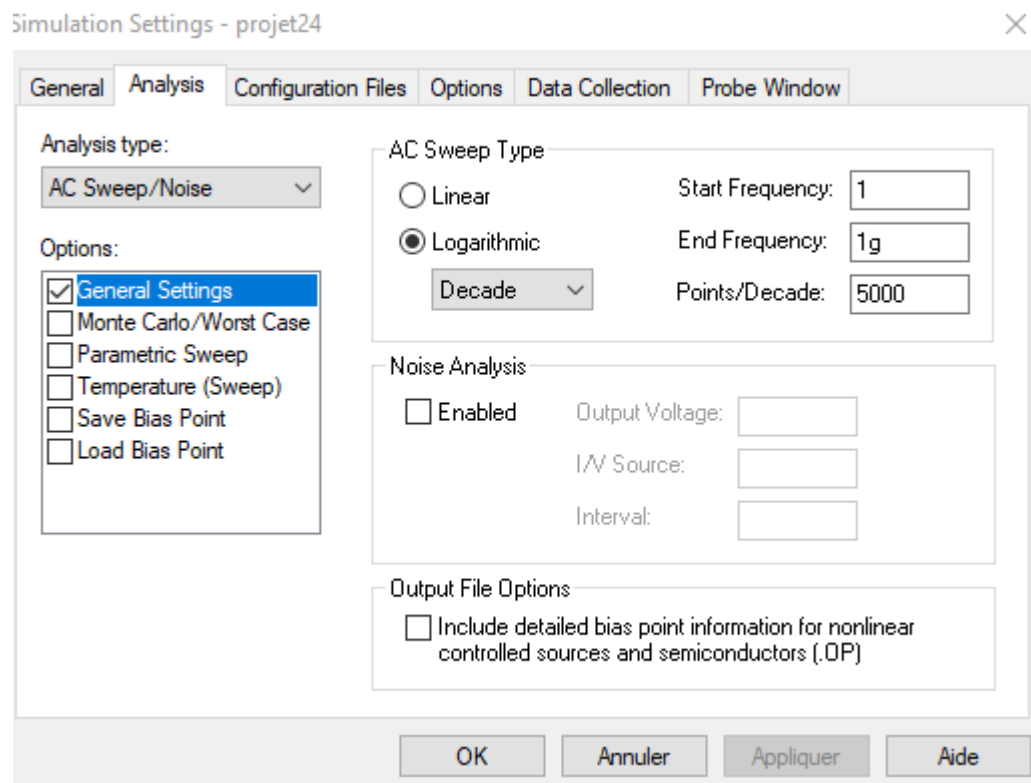
$$\omega_0 = \frac{1}{R\sqrt{C_1 C_2}} \quad z = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

-La partie pratique :

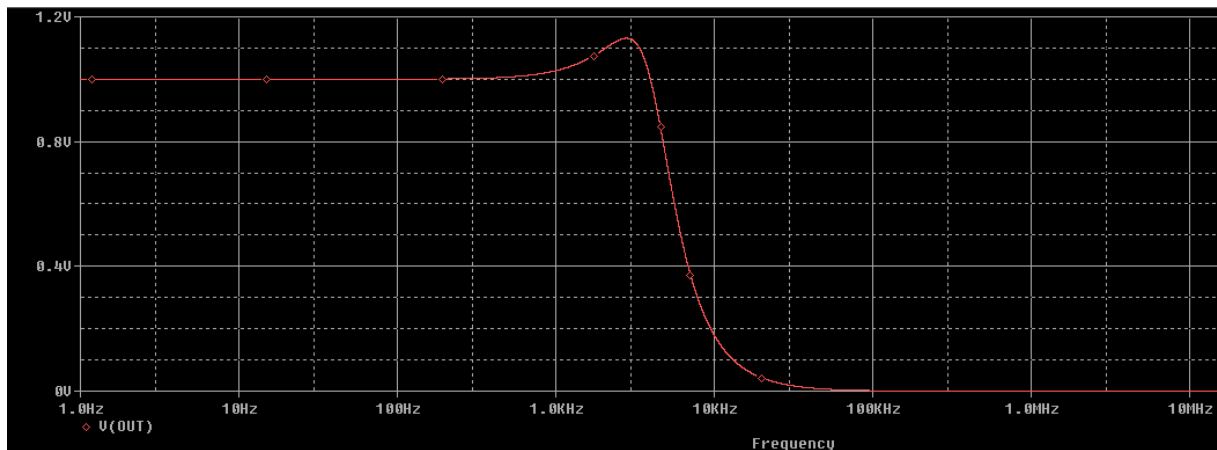
- On trace le montage en bas :



- On lance une analyse AC à l'aide des valeurs suivantes:

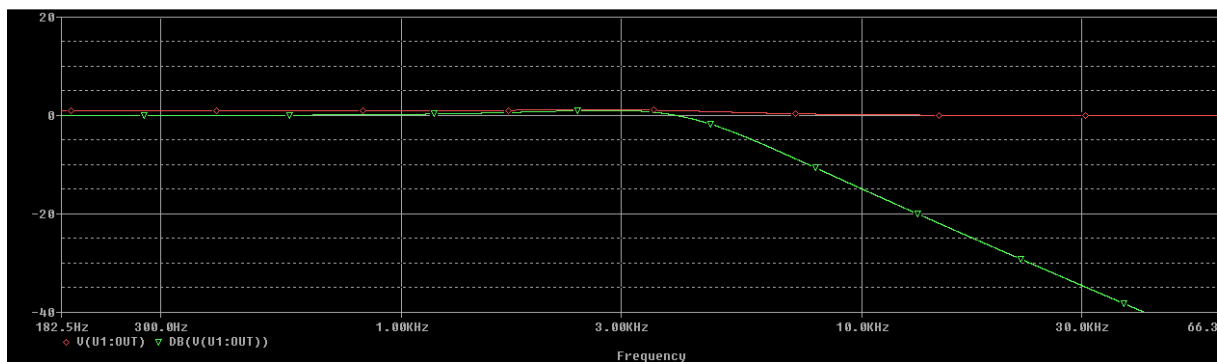


Alors on a :



→ On remarque dans la simulation une montée due à un phénomène de sur-oscillation et sur le montage on a un effet selfique et la descente due à la capacité C2 .

→ Pour déterminer la fréquence de coupure : on trace la courbe suivante :



Ainsi : $G = -3\text{dB}$ et $F_c = 4.755\text{kHz}$

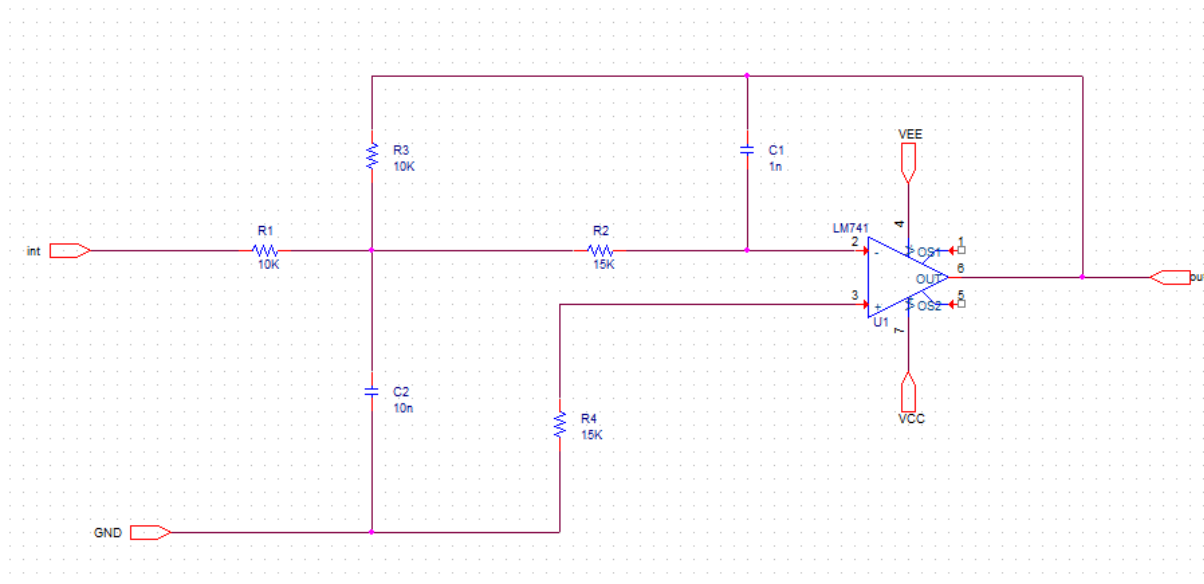
→ Graphiquement on trouve F_o fréquence de coupure est : $F_o = 4.7446\text{ kHz}$ ce qui valide la résultat théorique.

• Interprétations :

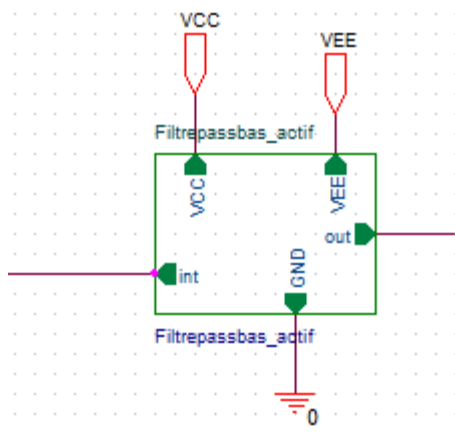
il s'agit donc d'un filtre passe-bas à structure de RAUCH *L'étude est ici faite en régime harmonique en considérant les impédances complexes des différents composants. La boucle de contre-réaction induit un fonctionnement linéaire de l'amplificateur opérationnel ($V_+ = V_-$).* Nommé structure de **RAUCH**, ce montage est utilisé pour réaliser des filtres actifs du second ordre. On se propose ici d'en étudier le fonctionnement dans le cas général où chaque composant externe est représenté par son admittance complexe (inverse de l'impédance). La structure de RAUCH utilise une **contre-réaction négative**.

-Le bloc hiérarchique :

A l'aide du montage ;



Le bloc hiérarchique est ;

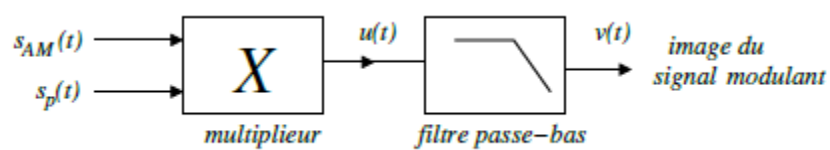


→le bloc fonctionne très bien.

E.1.2) Démodulateur AM 1 :

-La partie théorique :

On a déjà vu que ce type de démodulateur est constitué de la forme suivante :

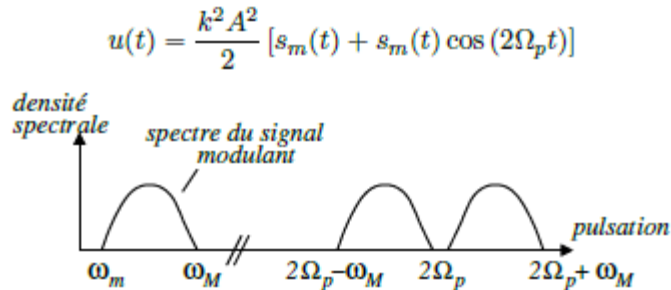


✓ Première étape :

Après réception du signal modulé en amplitude : $s_{AM}(t) = kA s_m(t) \cos(p t)$, on le multiplie par la porteuse : $s_p(t) = A \cos(p t)$ pour obtenir le signal $u(t)$:

$$u(t) = k s_{AM}(t) \cdot s_p(t) = K^2 A^2 s_m(t) \cos^2(p t)$$

→ Pour obtenir le spectre en fréquence de ce signal, on linéarise le cosinus carré :



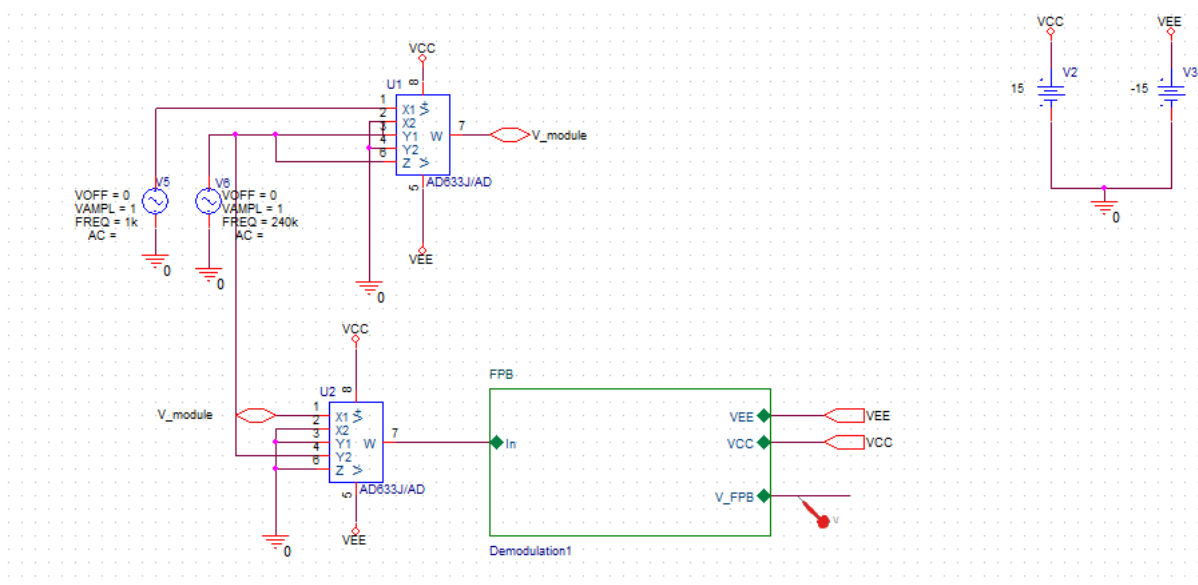
✓ Seconde étape : filtrage

On interpose alors un filtre passe-bas pour éliminer le signal haute fréquence tout en préservant le signal basse fréquence. En appelant ω_c la pulsation de coupure du filtre, cela impose :

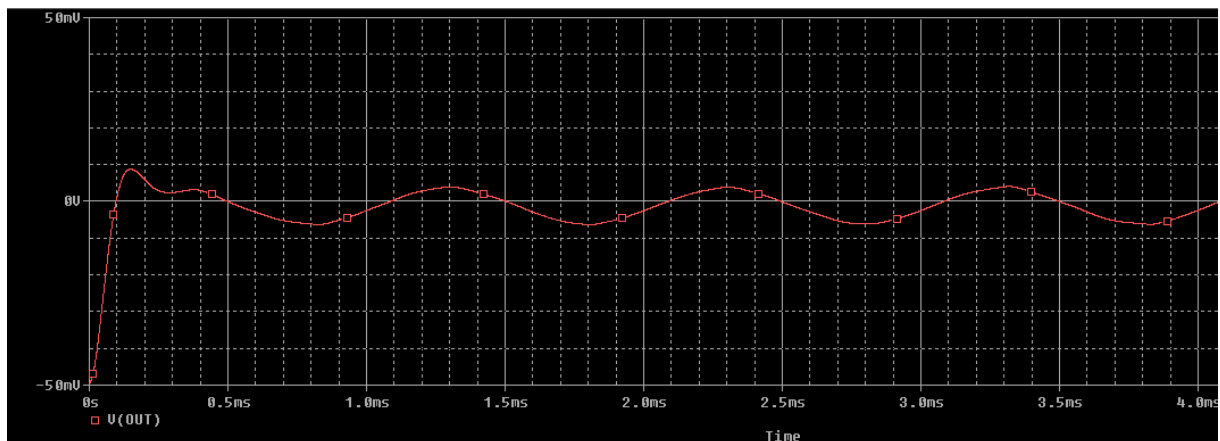
$$\omega_M \ll \omega_c \ll \Omega_p$$

-La partie pratique :

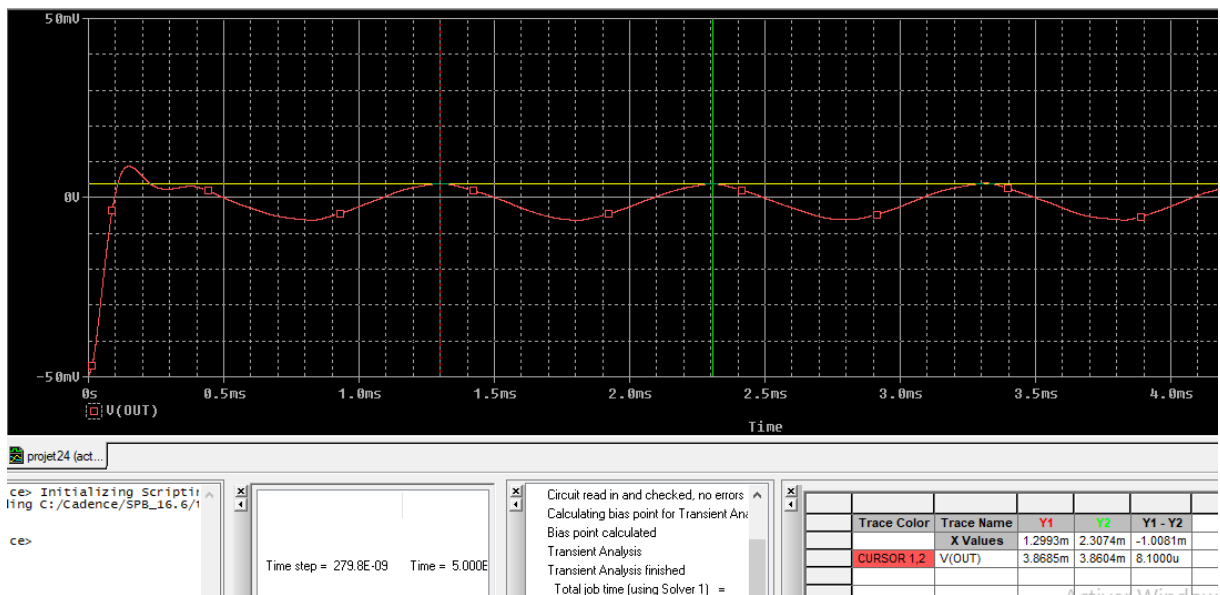
- On trace le circuit suivant:



- On trace la tension : V_{OUT}



On a passé d'un signal modulé qui est une enveloppe de plusieurs signaux de hautes fréquences à un signal sinusoïdal

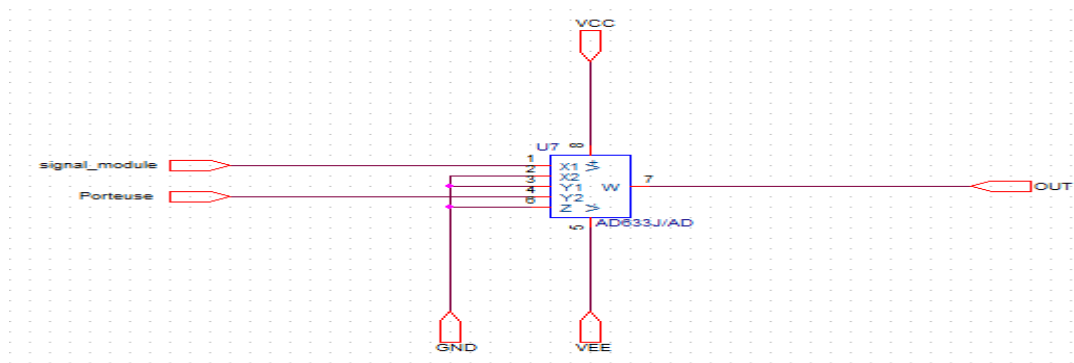


La période $T=1\text{ms}$ donc $F=1\text{KHz}$

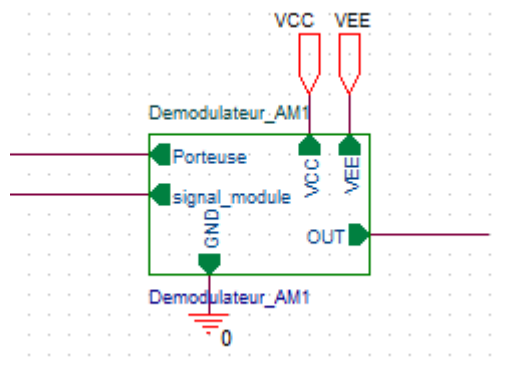
- **Commentaire:**
Il s'agit d'un inconvénient est ce que l'amplitude du signal a diminué car l'amplitude du signal d'entrée égale à 1V alors que l'amplitude du signal de sortie est faible, égale à 4mV .
- **Interprétations:**

-Le bloc hiérarchique :

On utilise ce montage :



Donc le bloc hiérarchique est :

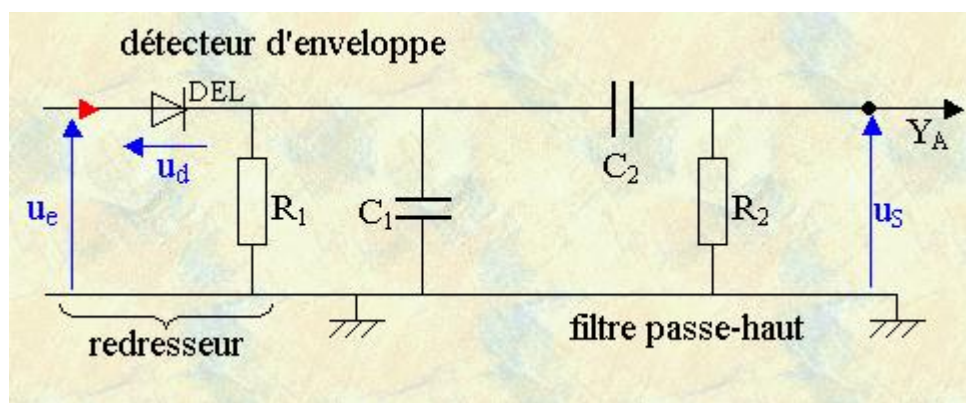


→ on a le testé et il marche bien.

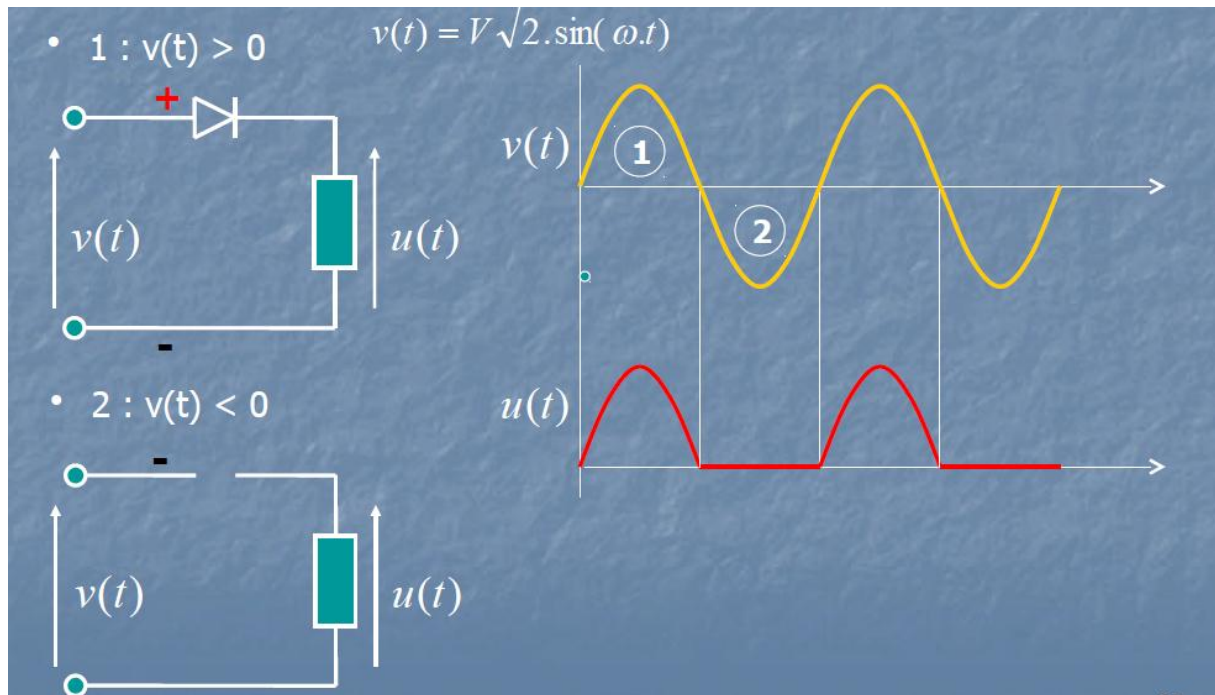
E.2. Circuit 2 : Démodulateur AM 2 (Détecteur de crête avec filtre RC passe bas).

-Partie théorique :

Soit le circuit suivant :

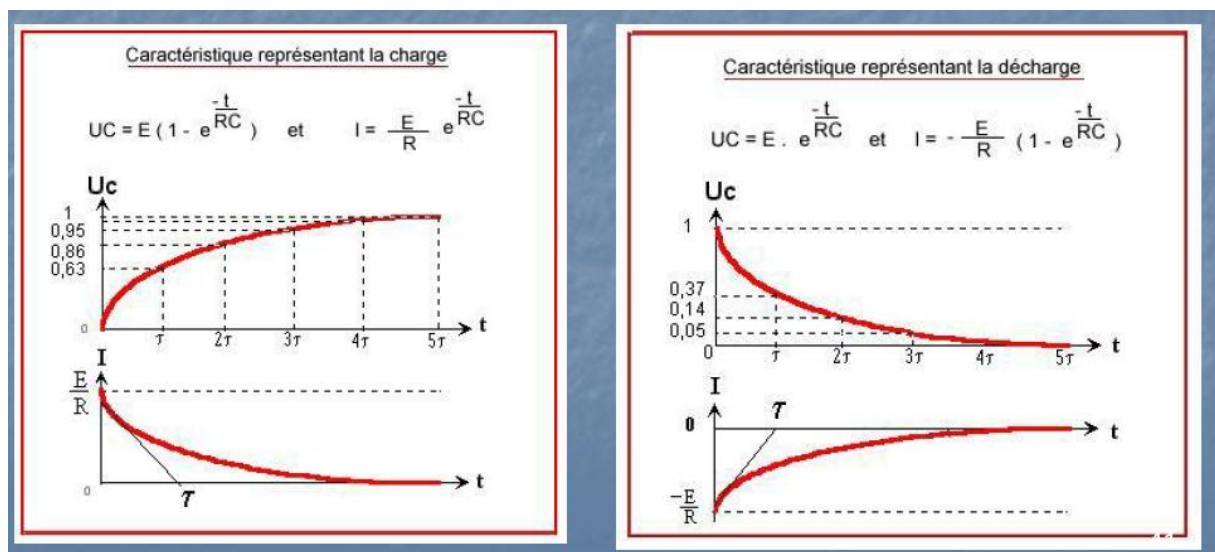


- **Le redresseur mono alternance :** ce signal ça fonctionne comme le suivant ;



- **Filtrage:**

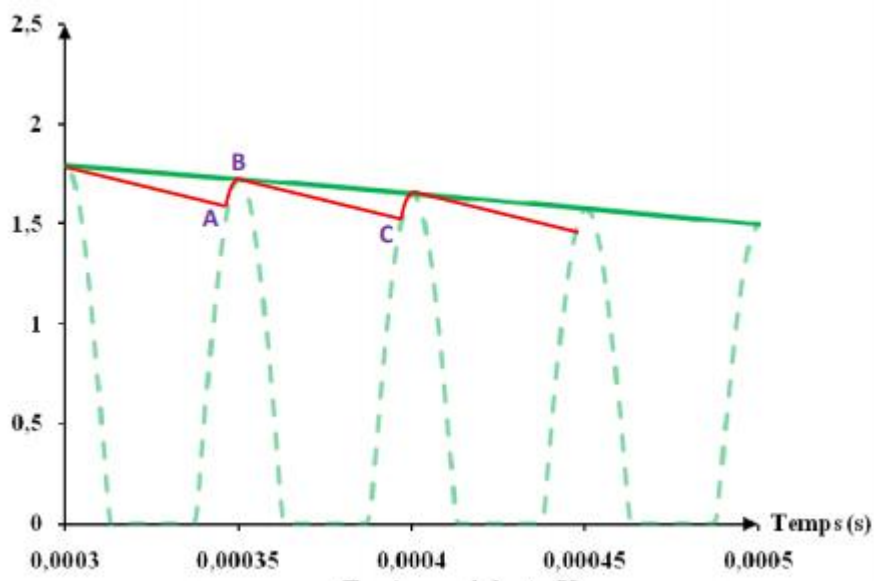
A l'aide de circuit RC on fait le filtrage au signal redressé tel que ;



→ Pour choisir la capacité on utilise la formelle suivante :

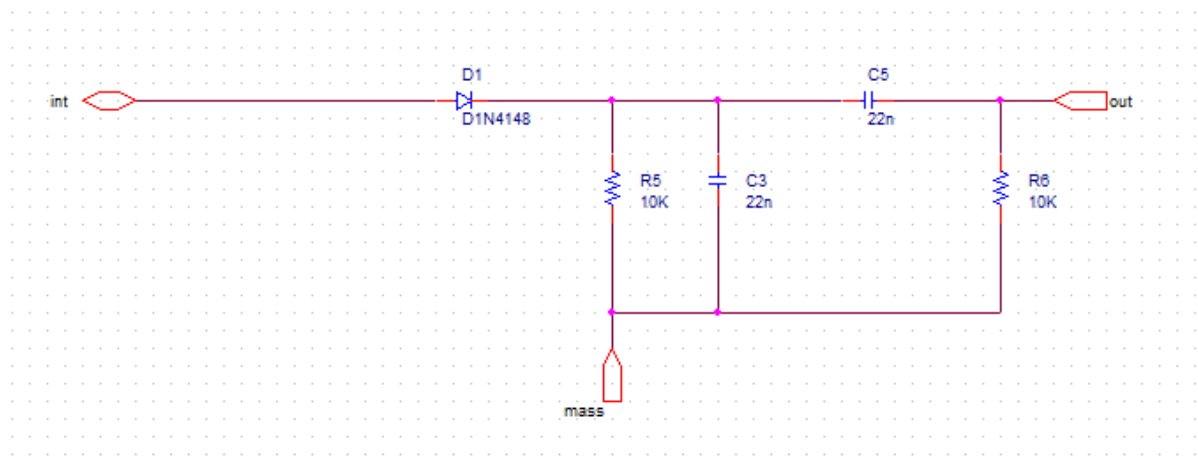
$$I = C \frac{\Delta u}{\Delta t} \Rightarrow C = I \frac{\Delta t}{\Delta u}$$

D'où le signal est ;

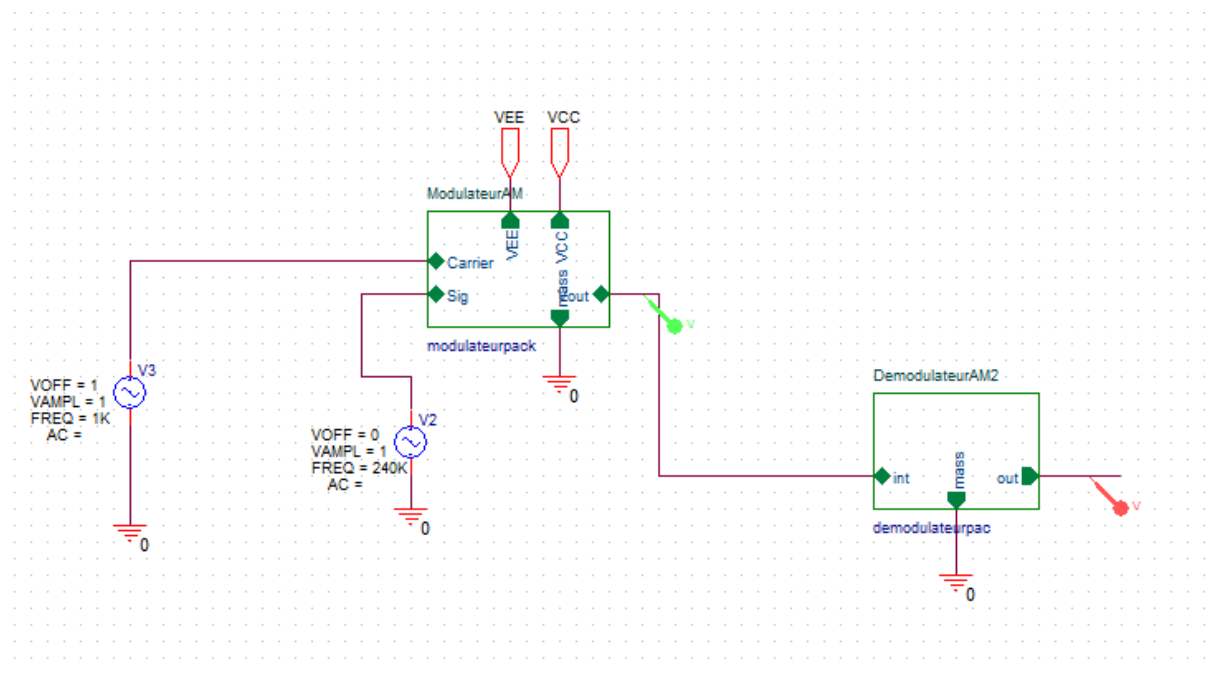


-Partie théorique :

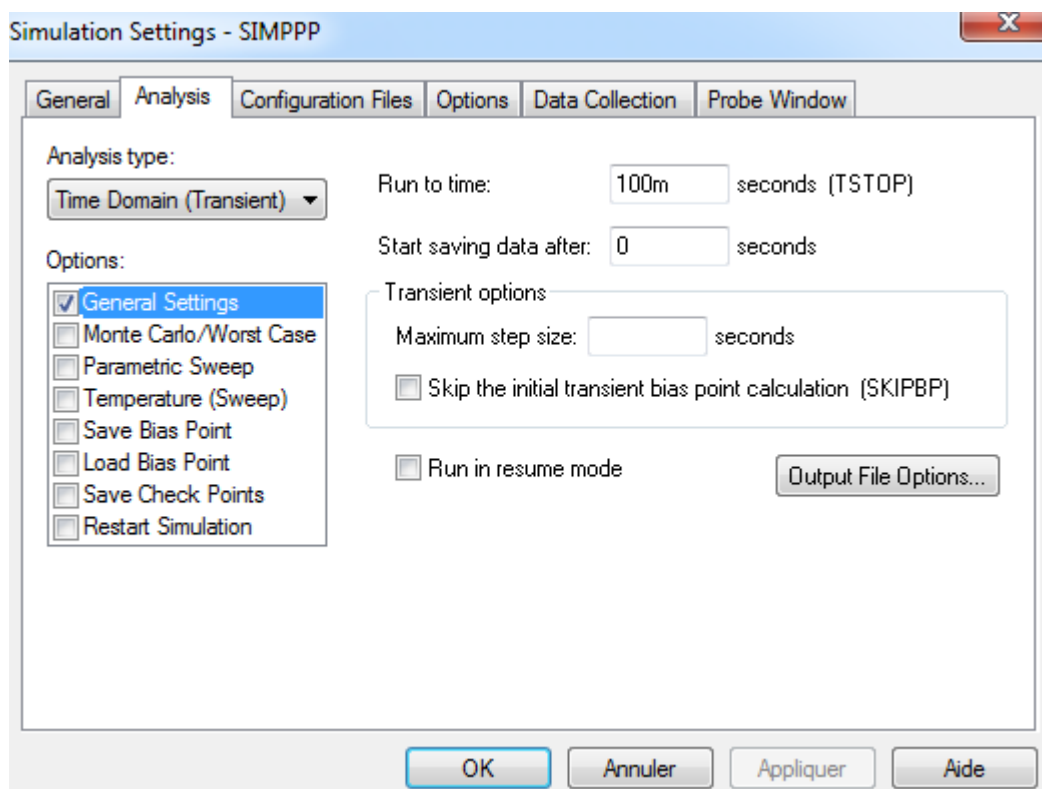
On a le schème :



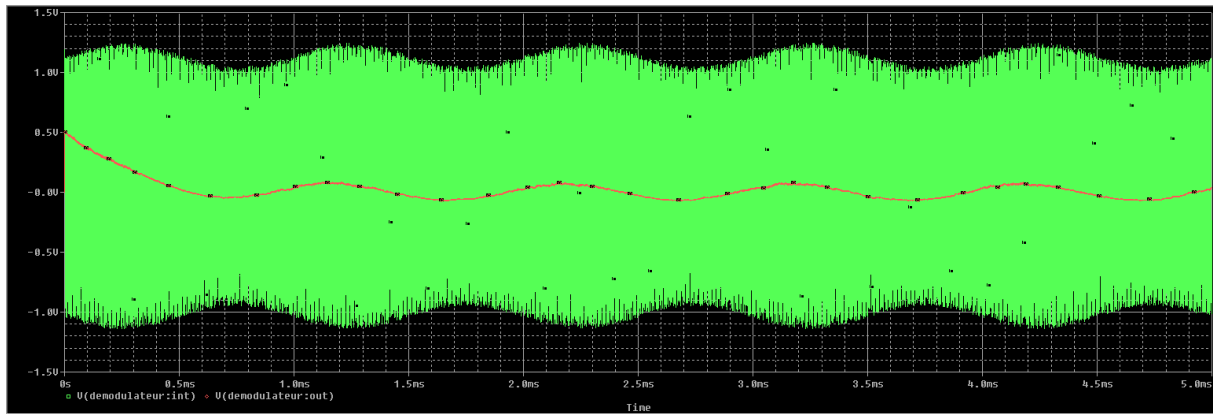
On le met dans le bloc hiérarchique, puis on le relie avec le montage modulateur AM :



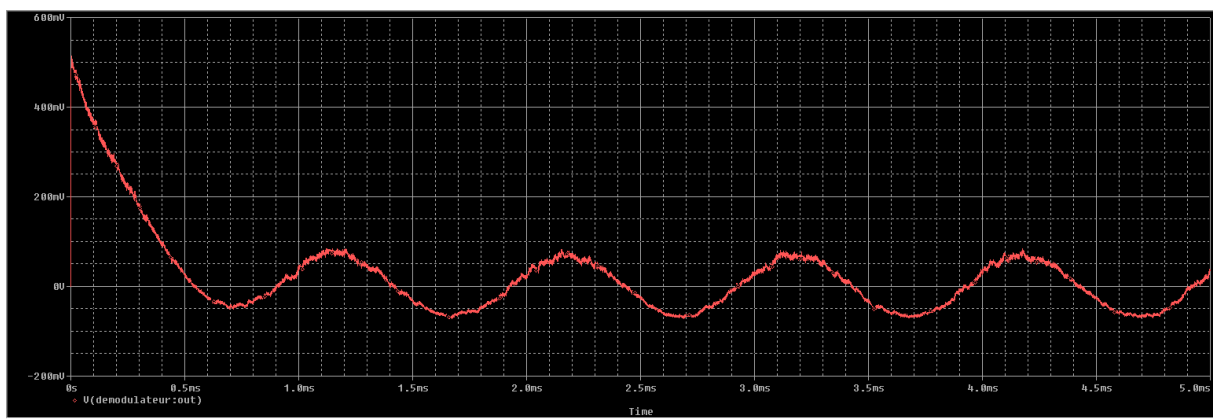
- on lance une simulation transitoire à l'aide des valeurs suivantes :



Alors on a les courbes suivantes:



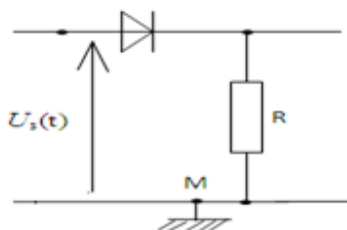
Où la tension de démodulateur AM2 est :



- **Commentaire :**
 → On remarque que l'amplitude de signal de sortie est diminué par rapport à celui de l'entrée.
 → on remarque aussi l'absence de l'enveloppe.
- **Interprétations :**
 On justifie les résultats comme le suivant :

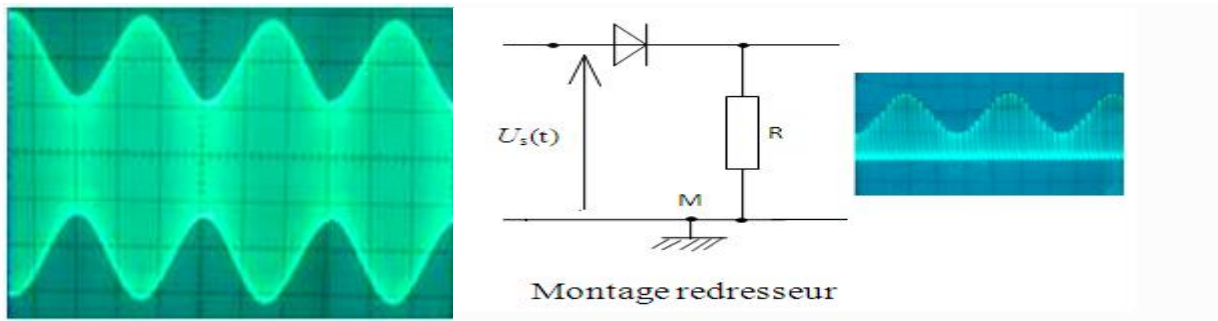
Première étape : la détection d'enveloppe ;

✓ la suppression des alternances négatives

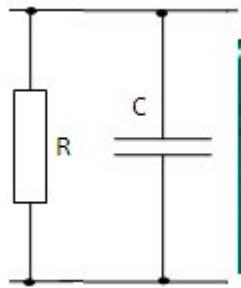


Montage redresseur

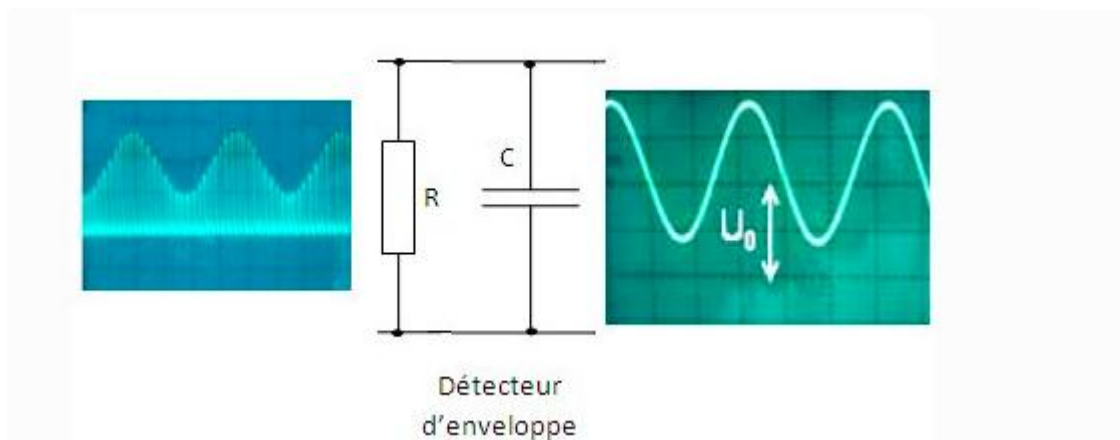
La diode dans ce montage sert à bloquer les alternances négatives.
 Alors la tension recueillie aux bornes du conducteur ohmique est une tension modulée redressée, comme illustre la figure en bas ;



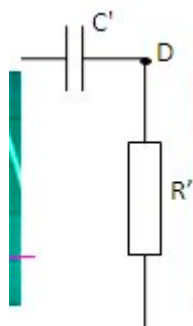
✓ la suppression de la porteuse;



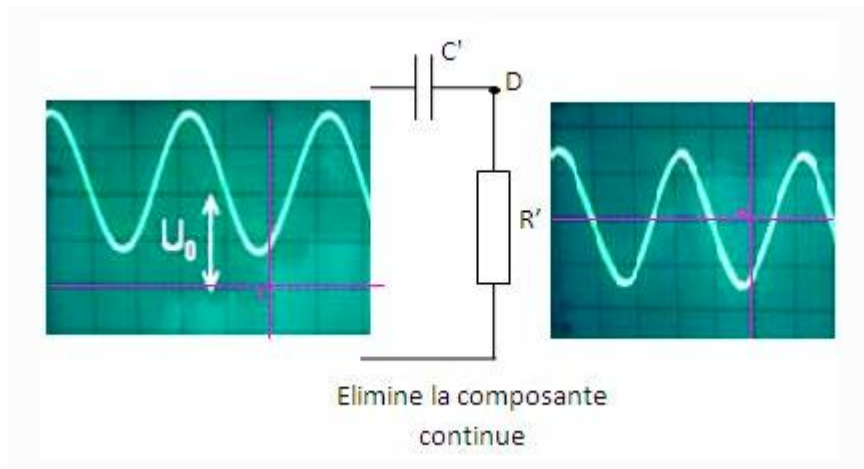
L'insertion d'un condensateur en dérivation aux bornes du conducteur ohmique du montage redresseur. Donc on a construit un filtre passe bas qui va supprimer des tensions de haute fréquence et ne garder que les basses fréquences c'est-à-dire les fréquences du signal modulant :



Deuxième étape : la suppression de la composante continue



On a appliqué en sortie un filtre RC en série, Ainsi on a construiser un **filtre passe – haut**, qui ne laissant passer que les composantes aux fréquences élevées et arrêtant celles aux basses fréquences et continues.



→ D'où les résultats obtenues.

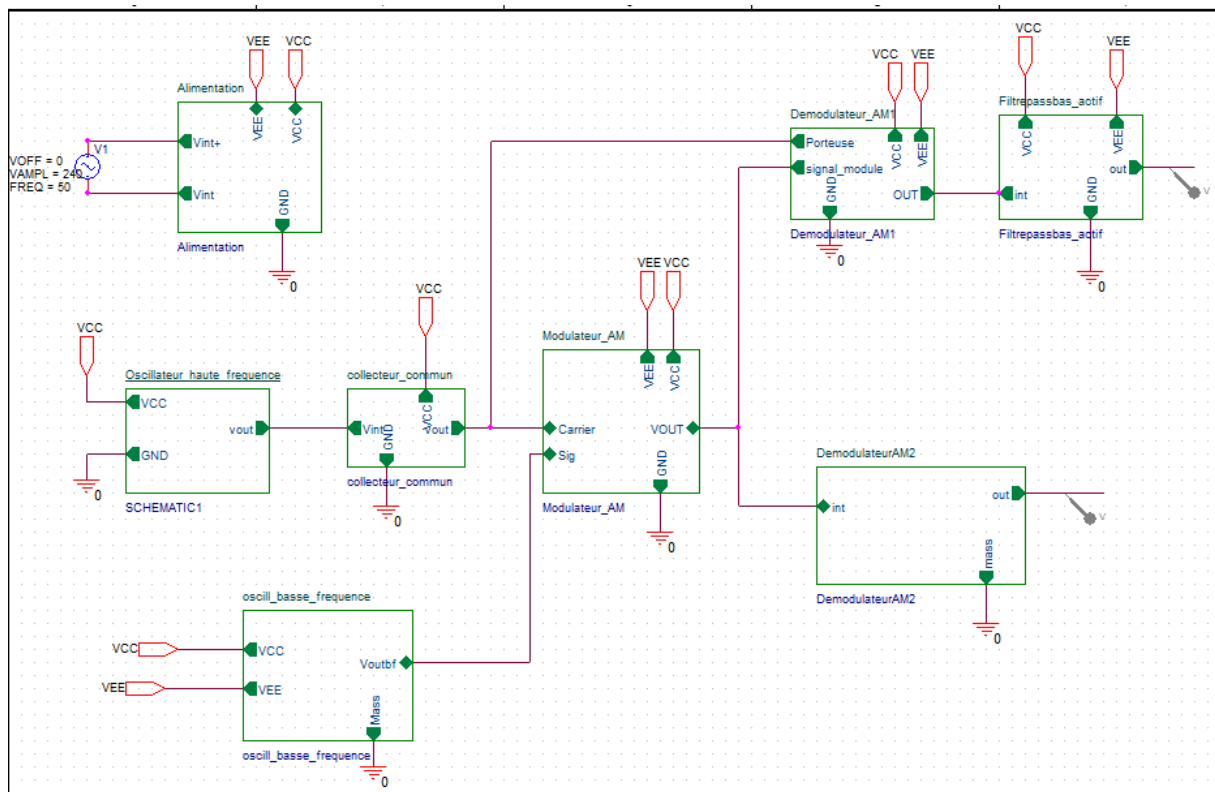
➤ Conclusion :

Démodulateur AM 2 (Détecteur de crête avec filtre RC passe bas) a des limites qui sont :

- Il ne peut être utilisé si le taux de modulation est supérieur à 1, car dans ce cas, le signal démodulé ne correspond plus au message.
- il nécessite un signal modulé avec porteuse pour qu'il puisse fonctionner. Contrairement à la démodulation synchrone qui permet une meilleure restitution du message avec ou sans porteuse.

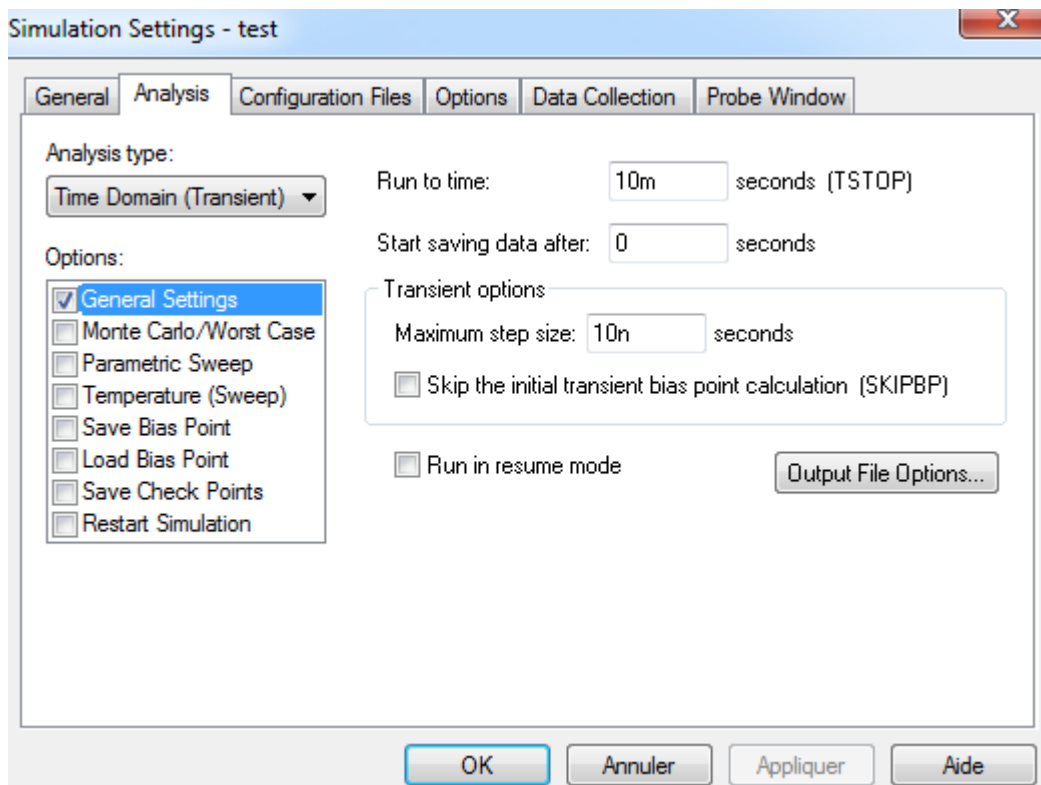
F) Circuit global :

On regroupe les blocs hiérarchiques dans un seul schéma comme le montre la figure suivante :

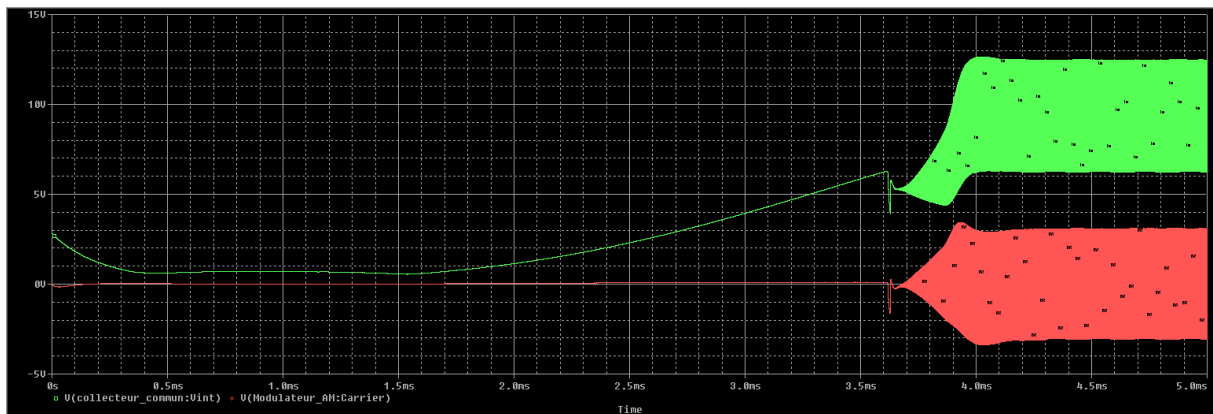


• on lance une simulation transitoire de chaque bloc pour tester ses bons fonctionnements :

- ✓ Pour Oscillateur Haute Fréquence, circuit Collecteur Commun : à l'aide des valeurs suivantes ;

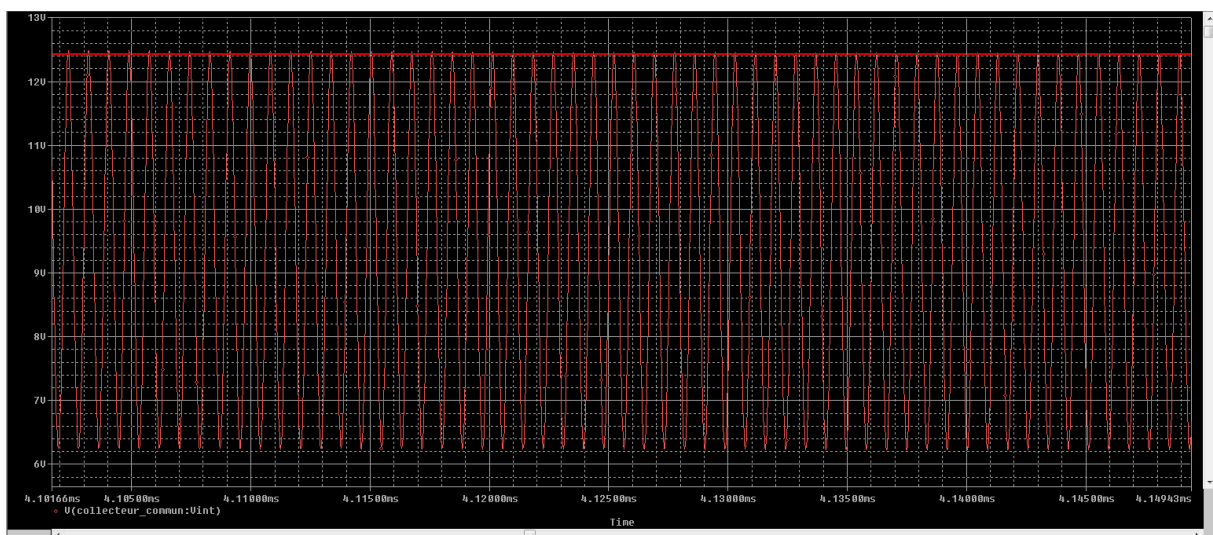


On trouve ;



→ On remarque que le bloc fonctionne bien sauf qu'il prend un temps un peu grand dans le régime transitoire.

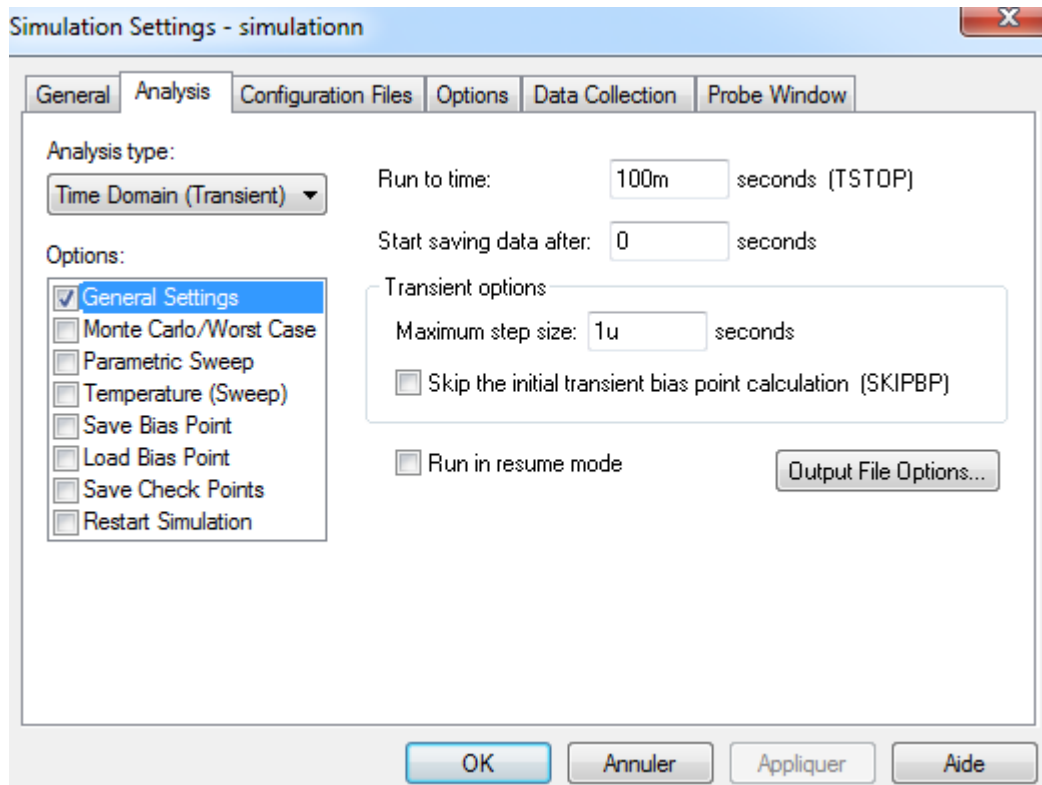
On zoome sur une partie :



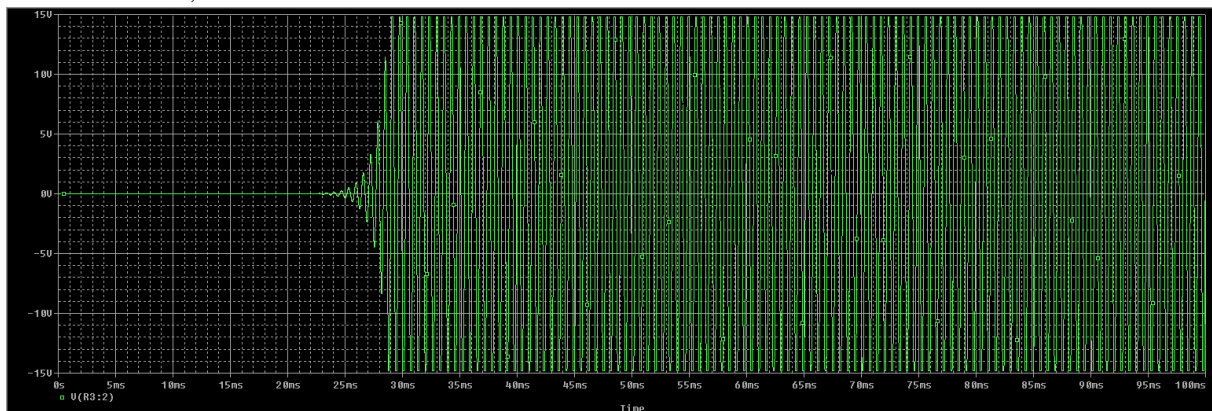
	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2		Y1(Cursor1) - Y2(Cursor2)		51.000m
		X Values	4.1075m	4.1083m	-800.000n		Y1 - Y1(Cursor1)	Y2 - Y2(Cursor2)	Max Y
	CURSOR 1,2	V(collecteur_commun:Vint)	12.440	12.389	51.000m		0.000	0.000	12.440

Donc $T=800n$

✓ **Oscillateur Basse Fréquence** : à l'aide des valeurs suivantes ;

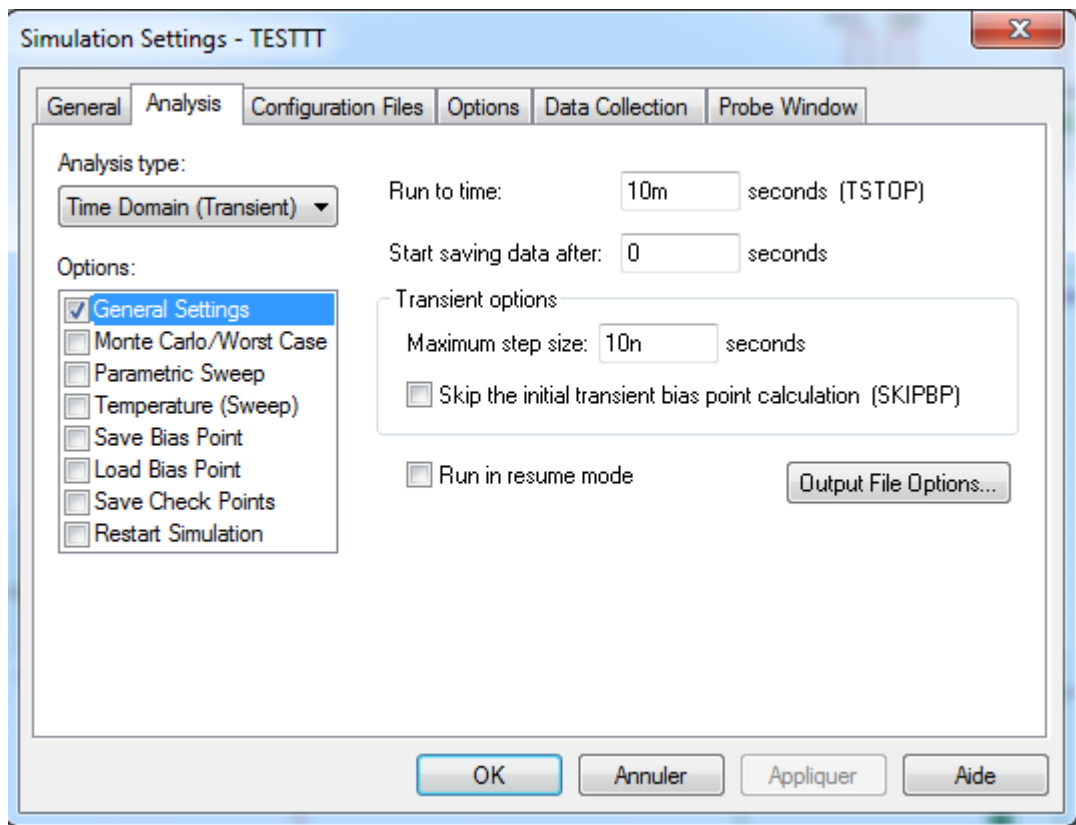


Alors ;

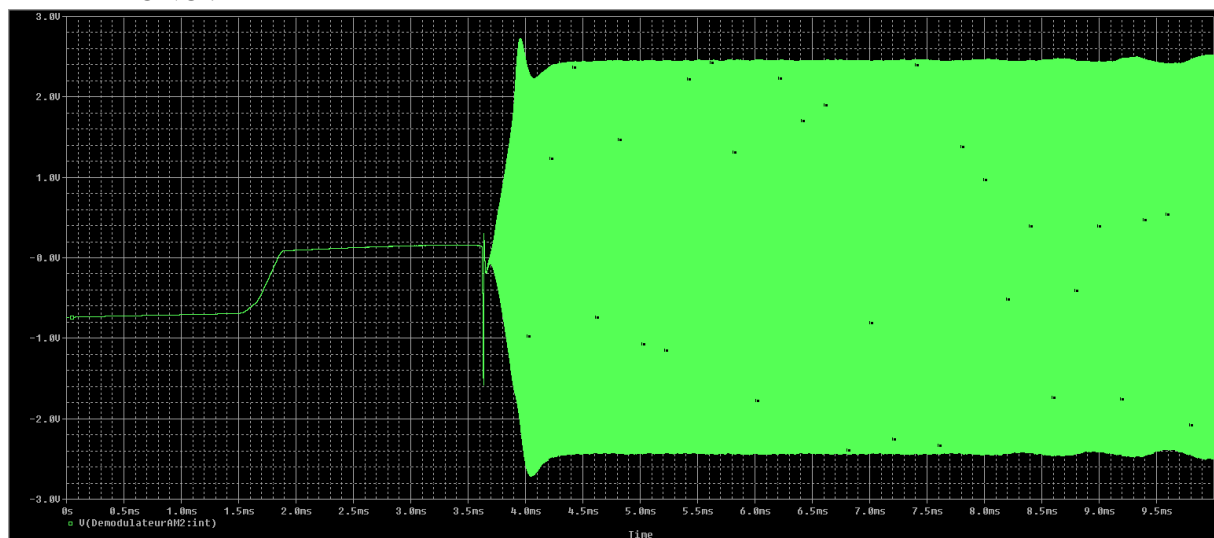


→ Il marche très bien.

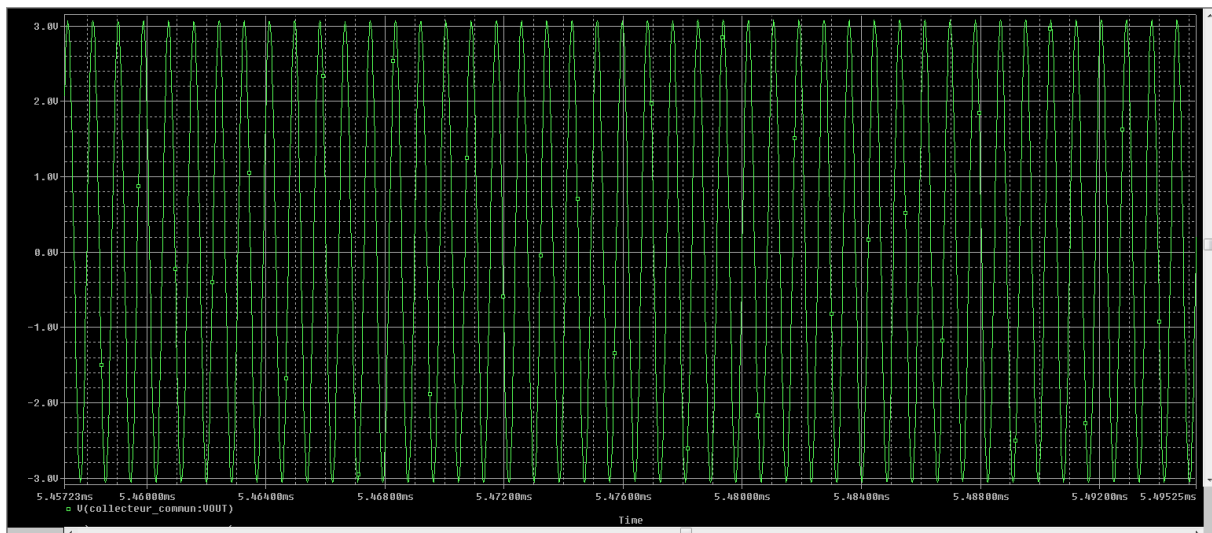
✓ **Modulateur AM** : on utilise les paramètres suivants ;



DONC :



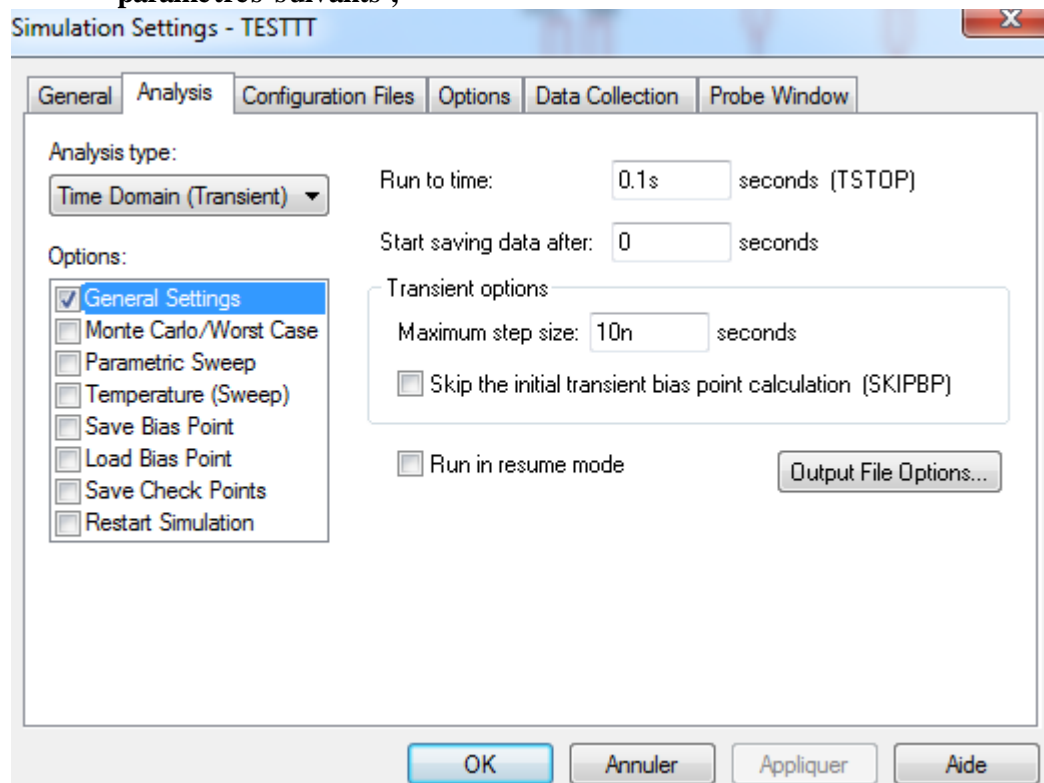
On fait zoomer sur une partie :



	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2		Y1(Cursor1) - Y2(Cursor2)		-1.2000
		X Values	4.3259m	4.3268m	-900.000n		Y1 - Y1(Cursor1)	Y2 - Y2(Cursor2)	Max
	CURSOR 1,2	V(collecteur_commun:VOUT)	3.0472	3.0484	-1.2000m		0.000	0.000	3.0484

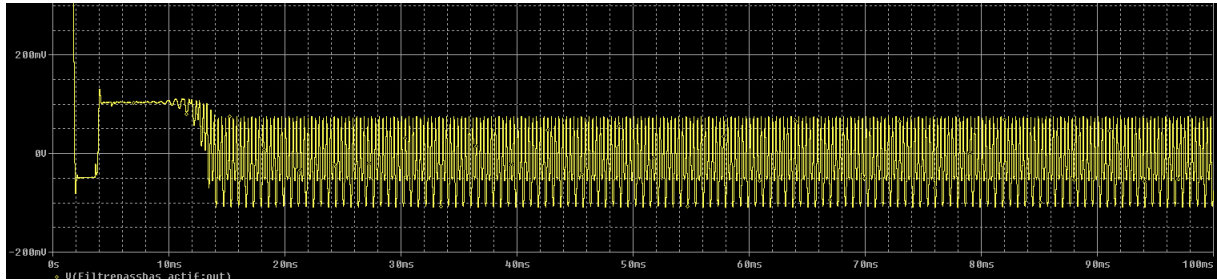
Donc : $T_p = 11.3\mu s$

- ✓ **Pour les deux sorties Démodulateur AM 1 et Démodulateur AM 2: on utilise les paramètres suivants ;**

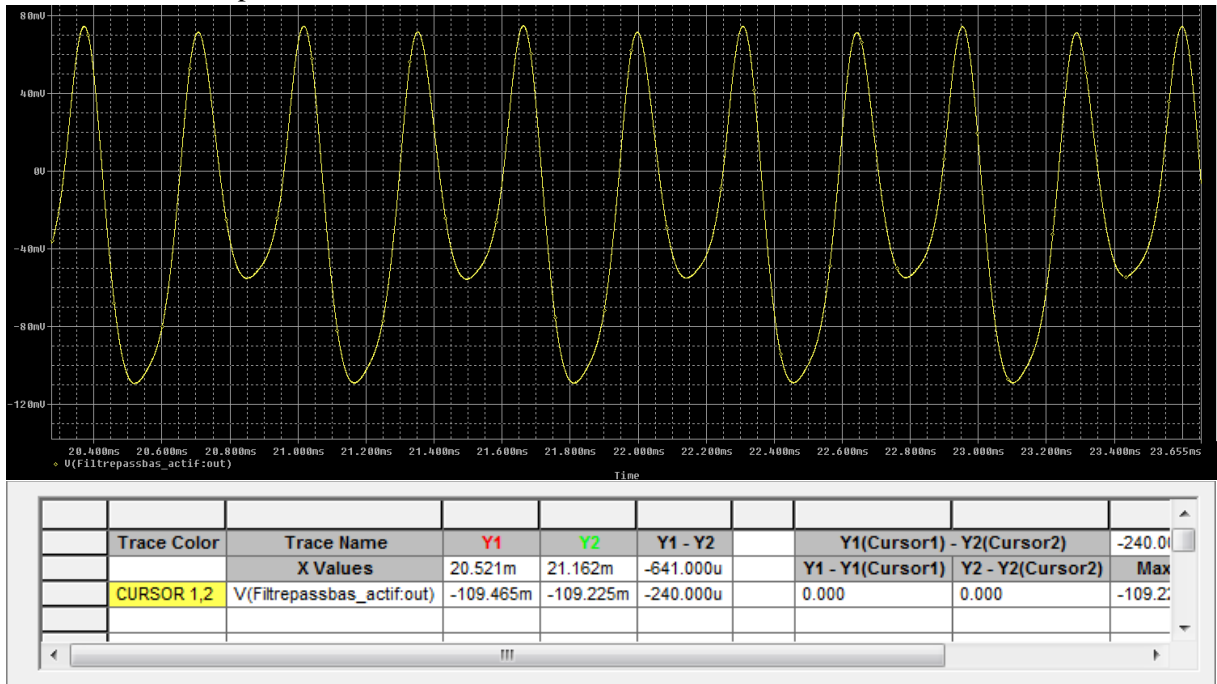


Ainsi on a les courbes suivantes ;

○ Démodulateur AM 1 :



On zoome sur une partie :

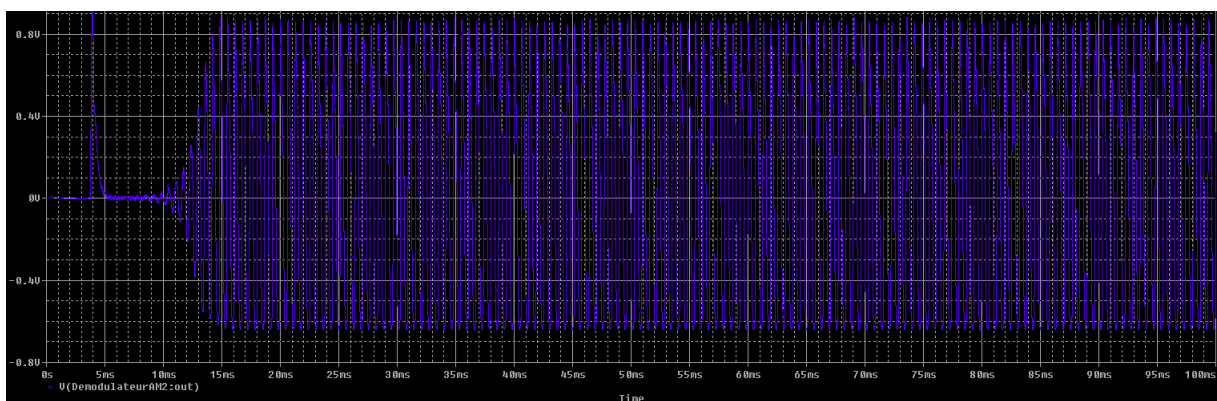


Donc : $T=641\mu s$

Alors $f=1/T=1.56KHz$

→ Ainsi la fréquence de signal en sortie est égale à la fréquence de l'oscillateur basse fréquence.

○ Démodulateur AM 2 :



On zoome sur une partie :

- Ainsi ce signal a une fréquence égale à celle de l'oscillateur basse fréquence.

• **Après la date t_1** , la tension à l'entrée du circuit de démodulation $u_m(t)$ décroît :

- la diode ne laisse pas passer le courant ;
- la tension aux bornes du condensateur étant supérieure à $u_m(t)$, celui-ci se décharge dans le conducteur ohmique et la tension $u(t)$ diminue jusqu'à atteindre une valeur égale à celle de la tension à l'entrée du circuit de démodulation $u_m(t)$: ceci se produit à la date t_2 .

• **Après la date t_2** , la tension à l'entrée du circuit de démodulation $u_m(t)$ croît :

- la diode laisse passer le courant ;
- le condensateur se recharge et la tension à ses bornes augmente jusqu'à atteindre une nouvelle valeur maximale.

→ Ainsi la durée de la décharge a une influence notable sur la forme du signal recueilli en sortie du montage « Détecteur de crête ».

○ concernant la décharge :

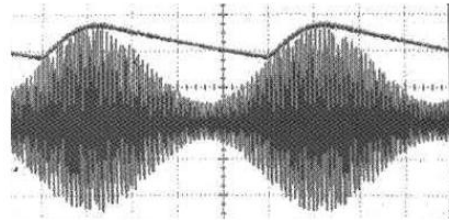
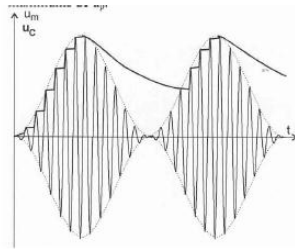
- plus la décharge est rapide, plus ce signal $u'(t)$ ressemblera au signal modulé redressé ;
- plus la décharge est lente, plus ce signal $u'(t)$ ressemblera à l'enveloppe du signal modulant.

○ concernant la charge :

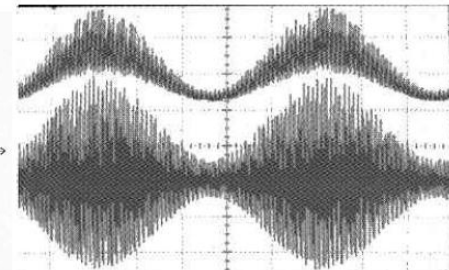
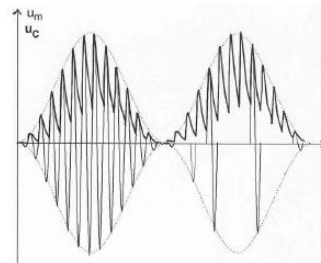
- plus la charge est rapide, plus ce signal $u'(t)$ ressemblera à l'enveloppe du signal modulant ;
- plus la charge est lente, plus ce signal $u'(t)$ ressemblera au signal modulé redressé.

○ *Illustrations :*

$\tau \approx T_s :$
La montée en charge est correcte
La décharge est trop lente.



$\tau \approx T_p :$
La montée en charge comme la
décharge sont trop rapides.



$T_s \gg \tau \gg T_p :$
La montée en charge comme la
décharge sont bonnes.

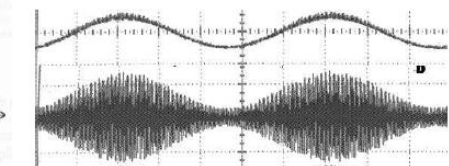
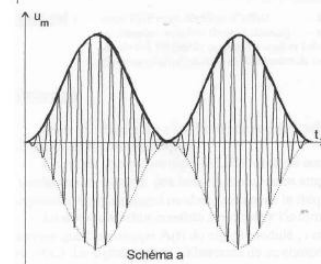


Schéma a

- Conclusion :

- Pour que la montée en tension ne soit ni trop lente, ni trop rapide, il faut que :

$$\tau \ll T_s \quad (\text{au-moins } \tau < \frac{T_s}{10})$$

- Pour que la chute en tension soit rapide, il faut que :

$$\tau \gg T_p \quad (\text{au-moins } \tau > 10.T_p)$$

- Pour retrouver une enveloppe de porteuse fidèle au signal modulant originel, il faut donc que :

$$\frac{T_s}{10} > \tau > 10.T_p \quad \text{soit} \quad T_s > 100.T_p \quad \text{soit} \quad f_p > 100.f_s$$