

CHAPITRE I : INTRODUCTION

I.1 Notions de modulation et de démodulation

Le message en communications se présente sous diverses formes : la voix, la musique, la photographie ou film, une séquence de lettres ou de chiffres, une onde électrique, etc.

Si nous émettons un message électrique amplifié au moyen d'une antenne, la portée des antennes propres à ces fréquences atteindrait 1500m pour 100Hz et 15Km pour 10KHz. Ceci revient à dire que les possibilités de rayonnement sont extrêmement réduites et les signaux de basses fréquences (BF) se perdent dans l'air à cause de la nature électromagnétique (EM) du milieu. De plus, si deux stations émettent en même temps en fréquences audio, il ne serait pas possible de distinguer l'une de l'autre dans les récepteurs ; et on ne pourrait donc pas transmettre plus d'un message à la fois. Nous devons donc recourir à un autre moyen : introduire un message électrique de basse fréquence dans un autre de haute fréquence ; c'est le principe de modulation. Dans le domaine de la radiodiffusion, et de la télévision, chaque station émettrice choisit une haute fréquence qui lui est propre, celle-ci étant dite fréquence de porteuse. L'onde générée par cette fréquence est appelée onde porteuse. Celle-ci est modifiée par le message électrique basse fréquence (BF) encore appelé onde modulante ou enveloppe.

La modulation est obtenue par la technique suivante: Introduire le message dans une porteuse Radio fréquence (RF) ; c'est la modulation directe. Cette technique de modulation est utilisée aussi bien en AM qu'en FM ou en PM. Le choix d'un de ces différents types de modulation dépend de plusieurs critères: la nature du message (message analogique ou digital), la nature du canal de propagation (câbles, milieu EM, fibres optiques, etc..), etc.... En modulation directe de type AM par exemple, l'information se trouve dans l'enveloppe et peut facilement être récupérée par une démodulation par détection de crête.

La démodulation est le processus inverse de la modulation. Elle consiste à reconstituer le signal modulant de basse fréquence à partir du signal modulé. En démodulation AM par exemple, il s'agira d'obtenir un signal reproduisant l'enveloppe du signal modulé. Par contre en FM il s'agira de convertir dans un premier temps le signal FM en AM et de détecter ensuite son enveloppe ou d'utiliser une boucle à verrouillage de phase.

I.2 Différents types de modulation

Les différents types de modulation peuvent être classés suivant plusieurs critères :

a)-*La modulation continue ou entretenue*: Dans ce cas, l'onde modulée est émise sans aucune interruption, contrairement à la modulation par impulsion,

b)- *La modulation analogique* : Ici, l'un des paramètres de l'onde porteuse est proportionnel à celui de l'onde modulante et

c)- *La modulation codée* : Dans ce cas, le message est traduit selon un langage symbolique. La relation de celui-ci avec le message modulant n'est pas une relation proportionnelle.

Ces trois critères permettent de définir les différents types de modulations suivants : la modulation analogique continue, la modulation analogique par impulsion et la modulation par impulsions codées. Seul Le premier type de modulation est considéré dans le cadre de ce projet à cause de son efficacité et de sa flexibilité pour une exploitation en module de travaux pratiques au sein du département de Génie électrique de l'ULPGL.

En modulation analogique continue, une porteuse sinusoïdale peut être caractérisée par son amplitude, sa fréquence et sa phase. Elle peut donc être modulée de plusieurs façons : modification de son amplitude, de sa fréquence ou de sa phase par le message modulant.

En modulation d'amplitude (AM), l'amplitude de la porteuse varie proportionnellement au message modulant. En modulation de fréquence (FM), la

fréquence de la porteuse varie proportionnellement au message modulant, l'amplitude de l'onde modulée restant inchangée. En modulation de phase (PM), la phase de la porteuse varie proportionnellement au message modulant. Cependant, l'image temporelle d'un signal modulé PM n'est pas aussi explicite que les précédents, ce qui justifie le fait que ce type de modulation ne soit pas considéré dans le cadre de cette thématique.

La modulation d'amplitude fut très utilisée dès les débuts des transmissions radio. En effet une information modulée en AM est écoutable bien que la qualité ne soit pas très bonne à cause des parasites transportés durant la transmission. Cette technique AM module l'amplitude (càd la puissance du signal porteur) avec le signal audio fréquence (AF), celui-ci pouvant être la parole ou la musique. On fait varier l'amplitude de l'onde porteuse selon la tension de modulation recueillie par le microphone, puis on l'amplifie.

La modulation de fréquence est une technique très récente et utilisée de façon commerciale. Elle consiste à faire varier la fréquence d'une onde porteuse de part et d'autres d'une fréquence centrale de base. Un récepteur utilisant ce type de modulation est peu sensible aux parasites qui eux, sont modulés en amplitude et permet par conséquent une réception des sons de bonne qualité (haute fidélité) :

I.3 Objectifs du Projet

Ce projet contribue à l'enrichissement (en matériel expérimental) du laboratoire du Génie électrique de l'ULPGL. Certains modules d'expérimentation (pour des travaux pratiques) sont conçus et réalisés en vu d'une exploitation au sein du laboratoire de Génie électrique de l'ULPGL pour illustrer ou démontrer expérimentalement les processus de modulation et de démodulation en télécommunications.

L'intérêt de la modulation est de favoriser la transmission simultanée de plusieurs messages sur des fréquences plus aptes à être propagées. Certains types de modulations seront moins sensibles que d'autres aux bruits. La comparaison entre divers modes de modulation se fait généralement en examinant leurs immunités relatives aux bruits.

L'intérêt de la modulation est indéniable pour des transmissions d'informations en milieu EM (canal de transmission); ainsi s'impose la nécessité de l'introduire ou mieux,

l'envelopper dans une RF. De plus une transmission sans modulation de l'information subira à coup sûr l'effet d'addition des signaux AF issus d'autres stations émettrices, dégradant ainsi à la réception la qualité de l'information transmise.

Notre contribution à l'équipement du laboratoire d'électronique du génie électrique de l'ULPGL consiste à concevoir et réaliser des circuits électroniques de modulation et de démodulation. Ces circuits seront implantés sur des cartes électroniques pour en faire des kits qui seront par la suite mis à la disposition des générations futures d'étudiants du génie électrique de l'ULPGL. Ces kits électroniques seront utilisés pour l'expérimentation (démonstration concrète) des phénomènes de modulation et de démodulation analogique.

L'étape de la conception consiste en la proposition des circuits électroniques de modulation et de démodulation et la dérivation (établissement analytique) des conditions et limites de leur fonctionnement. Il s'agit ici d'établir l'expression analytique du signal modulé en fonction des caractéristiques d'entrées des circuits, celles-ci dépendant des caractéristiques de l'onde porteuse et de l'enveloppe. Les relations analytiques obtenues nous permettront de dresser un cahier de charges qui sera respecté lors de la réalisation. Il sera entre autre défini la polarisation statique de chacun des circuits, la bande passante de ces circuits, les limites du gain (limites imposées par la polarisation statique), etc...

La réalisation des circuits se fera à l'aide du logiciel de CAO PSpice. Les réponses en sorties de ces circuits seront présentées en vue de confirmer les capacités de modulation et de démodulation des circuits. Les modulateurs conçus et réalisés utilisent les transistors bipolaires (BJT) et les transistors à effets de champs. Ces structures sont complémentaires. Cette complémentarité sera démontrée en discutant les avantages et les inconvénients d'une structure par rapport à une autre.

CHAPITRE II. GENERALITES SUR LA MODULATION ET LA DEMODULATION AM

II.1. Modulation

Parmi les techniques de modulations analogiques, la modulation d'amplitude est la plus classique. Cette technique est caractérisée par sa simplicité de mise en oeuvre et sa flexibilité. On l'exploite fréquemment pour les transmissions hertziennes (stations radiophoniques grandes ondes par exemple)¹.

II.1.1 Description domaine temporel d'un signal sinusoïdal AM

Un signal $s(t)$ (courant ou tension) modulé en amplitude est un signal constitué par une porteuse sinusoïdale de fréquence f_p dont l'amplitude A_p est modifiée suivant une loi linéaire par le signal informatif $u(t)$. Si nous prenons le cas d'un signal modulant sinusoïdal, l'expression de $s(t)$ est donc :

$$s(t) = A_p \cdot \cos(\omega_p t) + k \cdot A_m \cdot \cos(\omega_m t) \cdot \cos(\omega_p t) \quad (\text{II-1a})$$

Où k est le facteur de proportionnalité du modulateur. k est parfois appelé sensibilité du modulateur. La module de k dépend des grandeurs de A_m et A_p , soit :

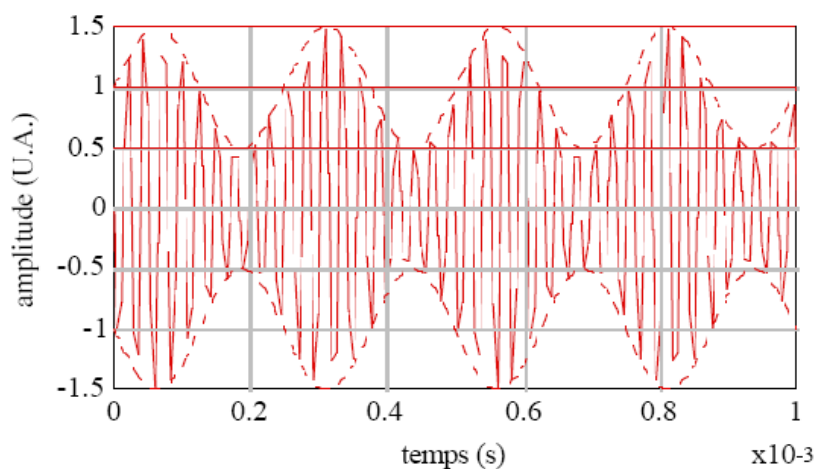
$$s(t) = A_p \left(1 + \frac{k \cdot A_m}{A_p} \cdot \cos(\omega_m t) \right) \cdot \cos(\omega_p t) = A_p \cdot (1 + m \cdot \cos(\omega_m t)) \cdot \cos(\omega_p t) \quad (\text{II-1b})$$

Dans le cas général l'expression d'un signal modulé en amplitude est :

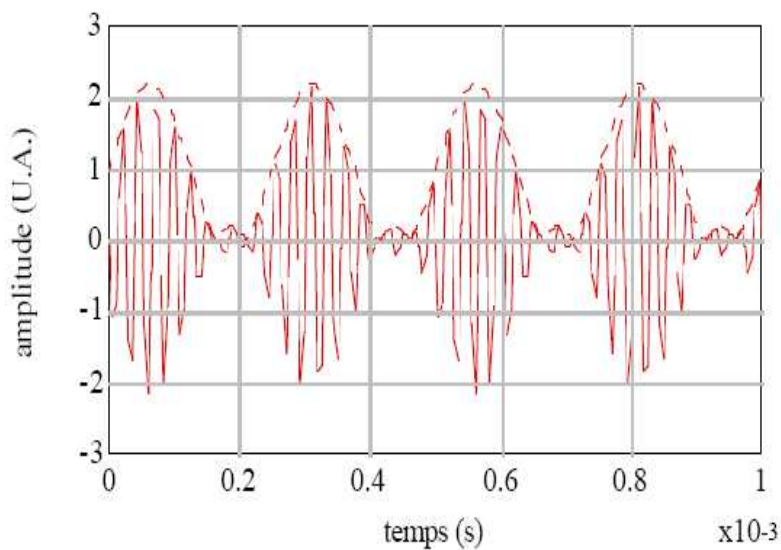
$$s(t) = A_p \cdot (1 + m \cdot u(t)) \cdot \cos(\omega_p t) \quad (\text{II-1c})$$

où m est un paramètre essentiel appelé taux de modulation. Il est d'usage d'exprimer m en pourcentage. La représentation temporelle de $s(t)$ est illustrée par la figure 1.

¹ • A. DUPRET, A. FISHER, Cours de télécommunication, IUT de Villetaneuse, Département de Génie Télécom et Réseaux, GTR 2^{ème} année, 2001



signal sinusoïdal modulé en amplitude. La porteuse est à $f_p=162$ kHz, l'amplitude $A_p=1$ (U.A.) et le taux de modulation est $m=50\%$. Le signal modulant $u(t)$ est à une fréquence de 4 kHz.



signal sinusoïdal modulé en amplitude. La porteuse est à $f_p=162$ kHz, l'amplitude $A_p=1$ (U.A.) et le taux de modulation est $m=120\%$. Le signal modulant $u(t)$ est à une fréquence de 4 kHz.

La courbe en pointillés est appelée l'enveloppe de $s(t)$. Dans le cas où m est inférieur à 1 ($m < 100\%$), l'enveloppe de $s(t)$ est identique à $u(t)$. m est défini par le rapport entre l'excursion en amplitude et l'amplitude en l'absence de

signal informatif ($u(t) \neq 0$) : $m = \frac{\Delta S}{2.A_p}$ ou encore : $m = \frac{S_{Max} - S_{Min}}{S_{Max} + S_{Min}}$

II.1.2 Description en domaine fréquentiel d'un signal sinusoïdal AM

Le signal modulé $s(t)$ prend la forme :

$$s(t) = A_p \cdot (1 + m \cdot u(t)) \cdot \cos(\omega_p t) \quad (\text{II-2a})$$

Si nous envisageons le signal utile sous la forme $u(t) = \cos(\omega_m t)$ peut s'écrire :

$$s(t) = A_p \cdot (1 + m \cdot \cos(\omega_m t)) \cdot \cos(\omega_p t) \quad (\text{II-2b})$$

soit :

$$s(t) = A_p \cdot \cos(\omega_p t) + m \cdot A_p \cdot \cos(\omega_m t) \cdot \cos(\omega_p t) \quad (\text{II-2c})$$

$$s(t) = A_p \cdot \left(\cos(\omega_p t) + \frac{m}{2} \left(\cos((\omega_p + \omega_m)t) + \cos((\omega_p - \omega_m)t) \right) \right)$$

Le spectre du signal est donc composé de 3 raies. La première est la raie centrale d'amplitude A_p et de fréquence f_p . Les deux autres sont des raies latérales d'amplitude

$\frac{m}{2} A_p$ et de fréquences $f_p - f_m$ (appelée bande latérale inférieure ou, dans la littérature anglo-saxonne Lower Side Band : LSB) et $f_p + f_m$ (appelée bande latérale supérieure ou Upper Side Band : USB). La bande passante requise pour transmettre le signal $u(t)$ en préservant son intégrité est appelée bande de fréquence B et vaut :

$$B_{pAM} = Df = 2 f_m. \quad (\text{II-3})$$

La représentation spectrale du signal modulé $s(t)$ est illustrée à la figure 2. Cette représentation est obtenue en calculant le module de la transformée de Fourier de $s(t)$ noté $|S(\omega)|$.

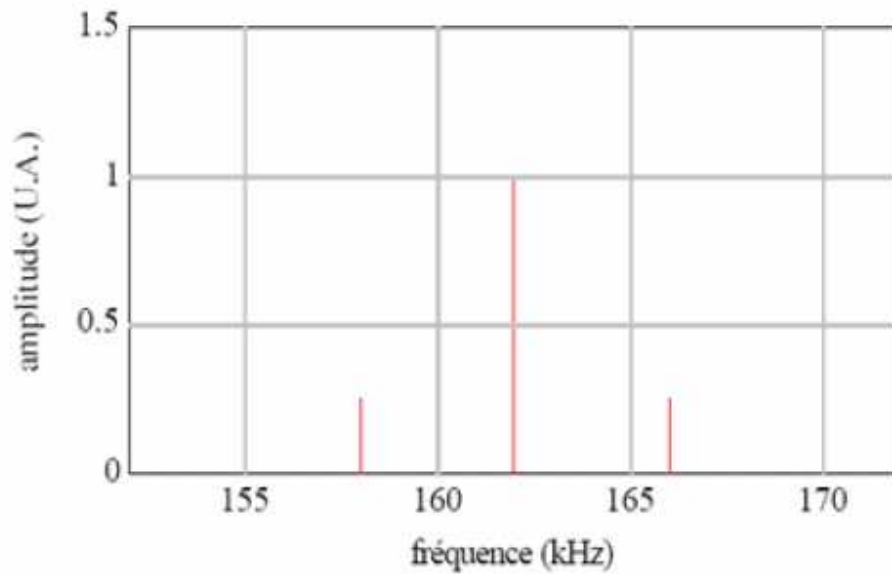


Fig. 2: Spectres de fréquence du signal modulé $s(t)$

II.2. Démodulation

La démodulation est l'opération qui consiste à recouvrir ou reconstituer, au niveau du récepteur, le signal utile $u(t)$ à partir du signal $s(t)$. Dans le cas de la modulation d'amplitude, 2 techniques peuvent être utilisées :

a)-Démodulation par détection d'enveloppe

b)-Démodulation par détection synchrone

Nos investigations dans le cadre de ce projet seront restreintes à la première Technique.

Lorsque le taux de modulation m est inférieure à l'unité, l'enveloppe de $s(t)$ est identique au signal modulant $u(t)$. Le procédé le plus simple consiste à extraire l'enveloppe de $s(t)$. Le détecteur de crêtes est le dispositif électronique le plus approprié pour le recouvrement de l'information utile (signal modulant $u(t)$). Le schéma de principe du détecteur de crêtes est présenté à la figure 3 .

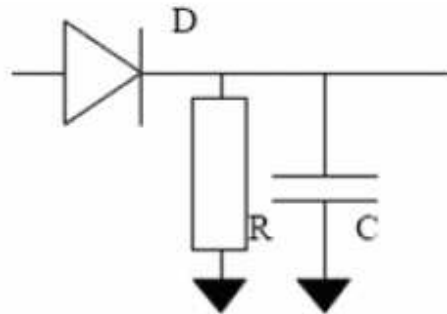


Fig. 3: Schéma de principe d'un détecteur de crêtes

Le principe de fonctionnement du module de la figure 3 peut s'expliquer comme suit : lorsque la diode est passante, le condensateur est chargé à la tension du signal d'entrée. Dès que le signal d'entrée décroît la diode se bloque, car la tension aux bornes du condensateur devient supérieure à la tension du signal d'entrée, le condensateur ne pouvant se décharger que "lentement" dans la résistance. Tant que la diode est bloquée, le condensateur se décharge lentement dans la résistance. Ce type de démodulation n'est efficace que pour des taux de modulation (m) inférieurs à l'unité. En régime de surmodulation (taux de modulation supérieurs à l'unité) une perte de l'information utile est inévitable pour des intervalles de temps séparant les ventres successifs du signal modulé.

CHAPITRE III : CONCEPTION DU MODULATEUR

III.1. Modulateur utilisant le multiplieur AD633JN

La modulation s'obtient pratiquement en effectuant le produit du message modulant par l'onde porteuse. Ainsi, nous envisageons d'utiliser les multiplieurs analogiques quatre quadrants AD633JN pour effectuer ce produit. Ces multiplieurs intégrés, tout comme leur homologues MC1595 rendent actuellement cette solution (modulation par multiplication des signaux) attrayante. La figure 4 présente la structure du modulateur que nous proposons. Il est conçu à base du AD633JN et d'un circuit à amplificateur opérationnel qui effectue l'addition entre :

a)- *le produit du signal HF avec le signal BF*

et

b)- *le signal HF.*

Cette configuration permet d'obtenir la forme classique du signal modulé en amplitude.

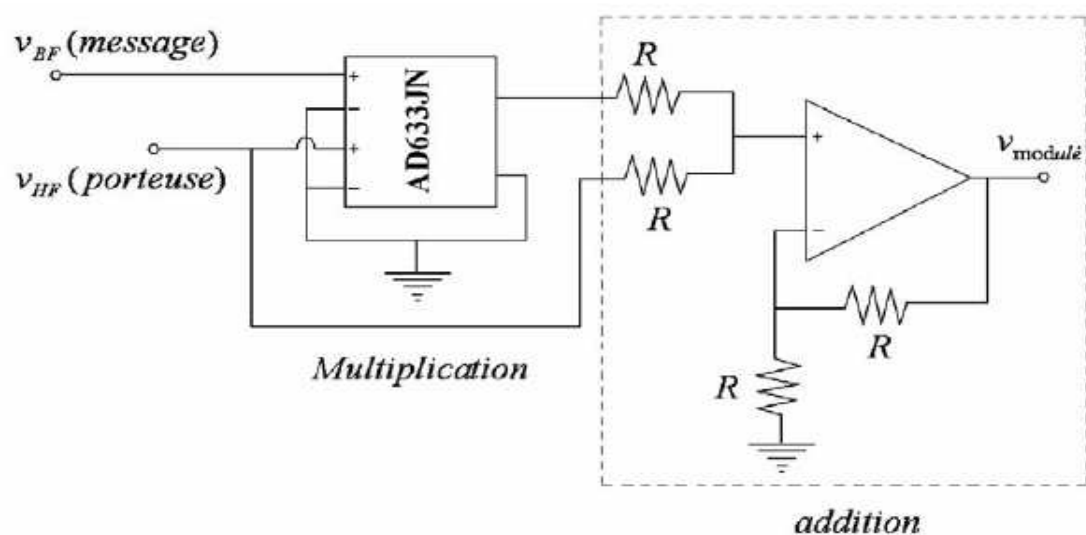


Fig. 4 : Modulateur utilisant le circuit intégré AD633JN

:

Bien que nous ayons à notre disposition des amplificateurs opérationnels susceptibles de fonctionner aux HF, les circuits intégrés multiplieurs AD633JN ou MC1595 sont limités par leur propre bande passante qui ne peut accepter les fréquences supérieures à 100 Mhz. Pourtant, il s'agit dans le cadre de ce projet de la généralisation du phénomène de modulation, les fréquences des signaux générés pouvant s'étendre dans une large gamme fréquentielle.

III.2 Modulateur utilisant le transistor BJT

Pour résoudre ce problème de fréquence, nous proposons la solution suivante qui peut être exploitée à toute fréquence : la technique de modification du gain d'un amplificateur à BJT. En effet si l'on fait varier l'impédance d'entrée du transistor h_{11} au rythme du signal modulant, le signal de sortie d'un amplificateur recevant à son entrée la porteuse HF sera modulée en amplitude. Ce constat permet de proposer la structure électronique suivant de notre modulateur (Fig. 5). La sortie modulée est régie par :

G_{HF} (Tension porteuse: 0,1V d'amplitude et de fréquence $\geq 159\text{KH}$) ;

$C_{L_1} = C_D = 100\mu F$;

$R_B = 50\text{K}\Omega$;

G_{BF} (Tension modulante: 0.01V d'amplitude et de fréquence $\leq 20\text{KH}$) ;

$C_a = 1000\text{pF}$;

$R_c = 500\Omega$;

$L_0 = 1000\mu H$;

$V_{CC} = +3\text{V}$;

$C_E = 1,592\mu F$.

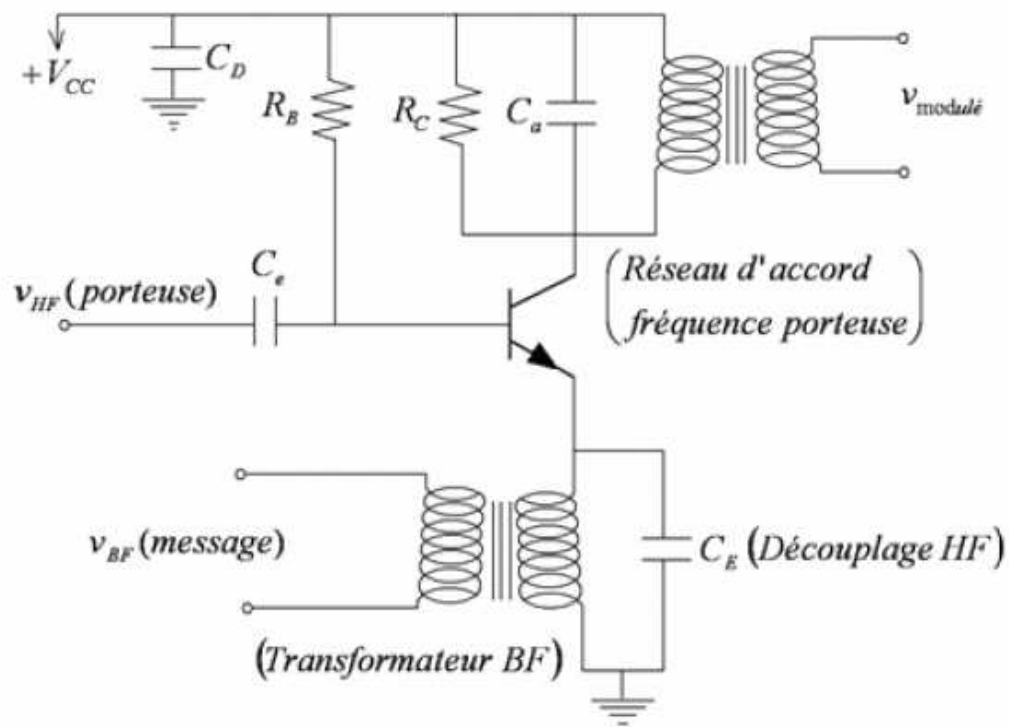


Fig. 5 : Proposition d'une structure électronique de modulateur susceptible de concilier les signaux HF

Le principe de fonctionnement du circuit électronique de la figure peut se résumer comme suit :

A. Rôle de chaque composant électronique :

Le transistor BJT : Le modulateur à BJT de la figure 5 est, parmi tant d'autres, une variante de la méthode de modulation par produit. Rappelons qu'une méthode utilisant le multiplieur AD633JN a été présentée précédemment et qui présente l'inconvénient d'être limité aux fréquences très élevées : $f > 100\text{MHz}$. Rappelons également que le multiplieur (mélangeur) de la figure 5 présente une non linéarité non négligeable surtout lorsqu'il fonctionne en régime de saturation. Pour ce transistor nous avons d'abord un régime statique pour la polarisation avec une tension de polarisation V_{CC} ainsi que les résistances R_B et R_C . Notons que dans ce régime la tension v_{BF} (message ou signal modulant) interviendra. Nous avons aussi le régime dynamique constitué essentiellement de la HF. Dans ce cas le transistor est utilisé comme amplificateur à émetteur commun et

permet d'effectuer le produit des deux signaux (HF et BF).

Les résistances R_B et R_C : Ces résistances servent surtout pour la polarisation du transistor. Elles doivent être judicieusement choisies, ceci de manière à avoir le point de fonctionnement permanent dans la zone linéaire des caractéristiques de sortie.

Les capacités :

- C_E (Découplage HF) : Ce condensateur permet de court-circuiter le transformateur BF. Dans ce cas si w_{HF} est la pulsation de la porteuse, on doit respecter cette condition :

$$Z_{C_E} = \frac{1}{w_{HF} C_E} \rightarrow 0 \quad (\text{III-1})$$

Dans ce cas le transistor se comporte comme un amplificateur HF à émetteur commun comme souligné ci haut.

- C_D (Découplage) : Il relie en dynamique le point V_{CC} à la masse. Ainsi, la condition d'un bon découplage peut être formulée comme suit :

$$Z_{C_D} = \frac{1}{w_{HF} C_D} \rightarrow 0 \quad (\text{III-2})$$

- C_e (Liaison) : En régime statique il constitue un interrupteur ouvert, il n'y a pas de risque qu'un courant passe par ce chemin, ce qui déplacerait ainsi le point de fonctionnement du transistor. En régime dynamique HF en supposant la liaison parfaite on a un interrupteur fermé.

$$Z_{C_e} = \frac{1}{w_{HF} C_e} \rightarrow 0 \quad (\text{III-3})$$

- C_a : Condensateur du réseau du filtre passe bande qui constitue un réseau d'accord avec une inductance. Ce filtre est accordé à la fréquence de la porteuse.

Le réseau d'accord:

Les composants électroniques sont en général non linéaires. Ils présentent des distorsions harmoniques et d'inter modulations. Ces distorsions créent beaucoup des fréquences parasites. Pour surmonter cette inconvénient, un filtre passe bande qui constitue un réseau d'accord doit être accordé à la fréquence du signal modulé (principe de sélectivité) afin de filtrer tous ces signaux parasites et laisser passer une seule fréquence qui est celle du signal modulé. Sous cette condition, la fréquence centrale du filtre sélectif passe bande prend la forme :

$$\omega_0 = \omega_{HF} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (\text{III-4})$$

Notons aussi que la résistance R_C doit être judicieusement choisie pour limiter la largeur de la bande passante dont l'expression analytique a été établie comme suit :

$$BP = \frac{R_C}{L} \quad (\text{III-5})$$

En pratique, il est fréquent que la charge extérieure soit branchée à une prise intermédiaire de la bobine d'inductance qui joue ainsi le rôle d'autotransformateur. On obtient aussi le même résultat pour un transformateur, tel est le cas que nous considérons.

Le transformateur BF :

Dans ce cas il assure deux fonctions. La première fonction est celle d'accordabilité (fonctionnement en réseau d'accord). La seconde est celle d'isolateur galvanique des signaux. Le primaire et le secondaire présentent les mêmes nombres des spires et des conducteurs des mêmes longueurs et diamètres. Le rapport de transformation est de $m=1$. C'est un transformateur de séparation qui sépare électriquement le signal de sortie (signal modulé) et le circuit du modulateur. Rappelons qu'en général l'isolation des signaux élimine toute forme de perturbation lorsque le signal en question est véhiculé du capteur/transmetteur vers le système d'acquisition. Les problèmes les plus fréquents sont ²:

² PR electronics, Isolation de signaux pour l'industrie de process,

- Adaptation du signal
- Elimination des boucles de masse
- Mise à échelle des valeurs de processus
- Séparation de potentiel
- Séparation galvanique
- Filtration du bruit

B. Fonctionnement du montage

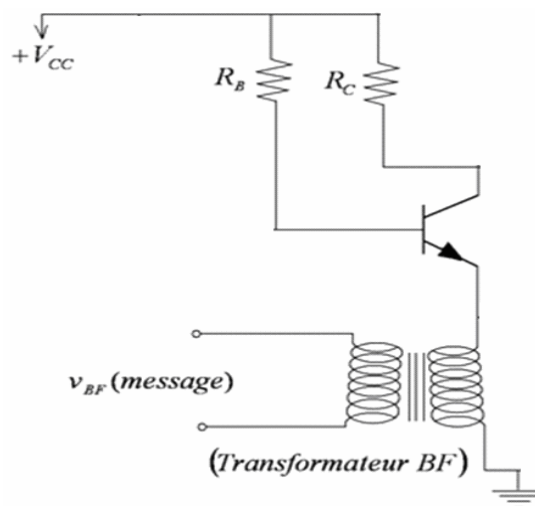
Le gain d'un amplificateur à transistor est inversement proportionnel à paramètre h_{11} . En effet, nos investigations analytiques nous permettent d'établir les relations suivantes :

$$V_0 = h_{11} I_B \quad (\text{III.6a})$$

$$h_{11} = \frac{V_0}{I_B} \quad (\text{III.6b})$$

Calcul de I_B

En régime statique, le schéma de la figure 5 est réduit à :



La loi des mailles s'exprime comme suit :

$$V_{CC} - V_{R_B} - V_{BE} - v_{BF} = 0 \quad (\text{III-7a})$$

Loi d'Ohm permet de transformer la relation (III-7) sous la forme :

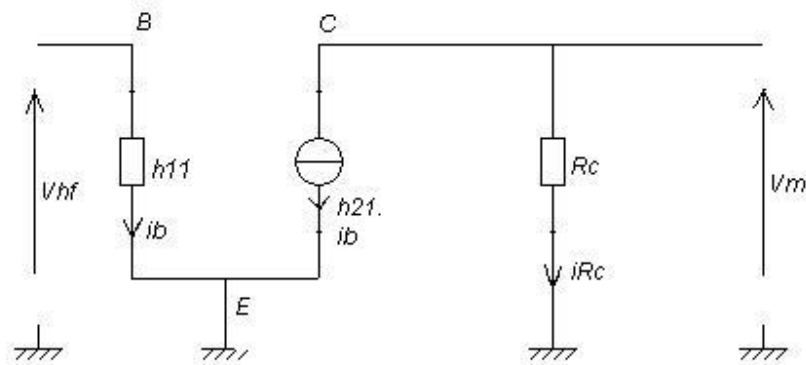
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - v_{BF}}{R_B} \quad (\text{III-7b})$$

Une combinaison des relations (III-6) et (III-7) nous permet d'établir la relation suivante :

$$h_{11} = \frac{V_0}{I_B} = \frac{V_0 R_B}{V_{CC} - V_{BE} - v_{BF}} \quad (\text{III-8})$$

Calcul du gain G et de $v_{\text{modulé}}$ ³

En régime dynamique, le schéma équivalent du circuit de la figure 5 se réduit à :



Loi des nœuds (au point c) nous permet d'écrire :

$$i_{R_C} + \beta i_B = 0 \quad (\beta = h_{21}) \quad (\text{III-9})$$

Loi d'Ohm nous permet d'établir les relations suivantes :

$$i_B = \frac{v_{HF}}{h_{11}} \quad (\text{III.10a})$$

$$i_{R_C} = \frac{v_{\text{modulé}}}{R_C} \quad (\text{III-10b})$$

³ J.C. CHEDJOU, Cours de complément d'électronique, inédit, ULPGL, Goma, G3 GE, 2006-2007.

Les expressions (III-9) et (III-10) permettent d'établir la relation suivante :

$$Gain = \frac{v_{modulé}}{v_{HF}} = -\beta \frac{R_C}{h_{11}} \quad (III.11)$$

L'exploitation de la relation (III-8) permet d'établir l'expression analytique suivante du signal modulé :

$$v_{modulé} = \frac{-\beta R (V_{CC} - V_{BE} - v_{BF})}{V_0 R_B} v_{HF} \quad (III-12)$$

La relation (III-12) permet de définir une forme analytique pour chacune des grandeurs suivantes :

$$A_p = Max \left[\frac{-\beta R (V_{CC} - V_{BE})}{V_0 R_B} v_{HF} \right] \quad (III-$$

13) Et

$$A_{BL} = Max \left[\frac{-\beta R}{V_0 R_B} v_{BF} \cdot v_{HF} \right]. \quad (III-14)$$

A_p est l'amplitude de la raie porteuse et A_{BL} est l'amplitude des bandes latérales. Ces quantités $Max[x]$ sont obtenues par la transformée de Fourier appliquée au terme x . Le signal $v_{modulé}$ recueilli au secondaire du transformateur est donc une porteuse modulée en amplitude par le signal BF.

Le signal modulé suivant a été obtenu à l'aide du logiciel de CAO (conception assistée par ordinateur) PSpice:

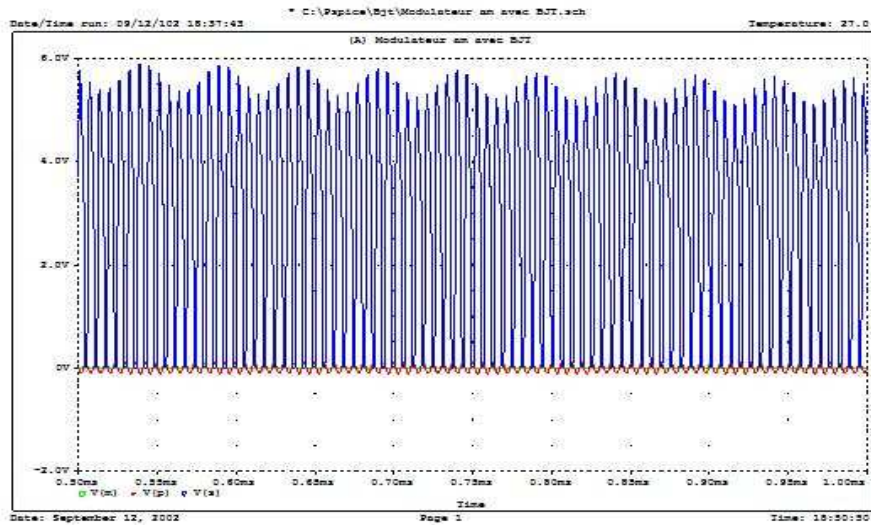


Fig. 6: Résultat de simulation sous logiciel PSpice du modulateur à BJT de la figure 5

- En bleu le signal modulé
- En vert le message
- En rouge la porteuse

Le choix de la modulation AM s'explique par le fait qu'en pratique il est très difficile de moduler en fréquence une porteuse existante, le procédé le plus simple étant d'agir sur la fréquence d'un oscillateur contrôlé en tension (VCO). Notons cependant qu'il existe sur le marché des modulateurs intégrés FM mais donc les caractéristiques sont limitées en amplitude et en fréquence par rapport à la nature des signaux à concilier dans cette thématique de recherche.

III.3. Modulateur utilisant le transistor JFET

Le montage de la figure 7 est la structure électronique d'un modulateur à transistor à effet de champ (JFET). Le circuit de cette figure utilise les valeurs suivantes des composants :

G_{HF} (Tension porteuse : 0,1V d'amplitude et de fréquence $\geq 200\text{KH}$) ;

$C_{L1} = C_D$;

$R_E = 1\text{K}\Omega$;

G_{BF} (Tension modulante : 1,5V d'amplitude et de fréquence $\leq 10\text{KH}$) ;

$C_0 = 1000\text{pF}$;

$R_0 = 10.000\Omega$;

$L_0 = 1000\mu\text{H}$;

$V_{CC} = +15\text{V}$;

$C_{L1} = C_{L2} = 100\mu\text{F}$.

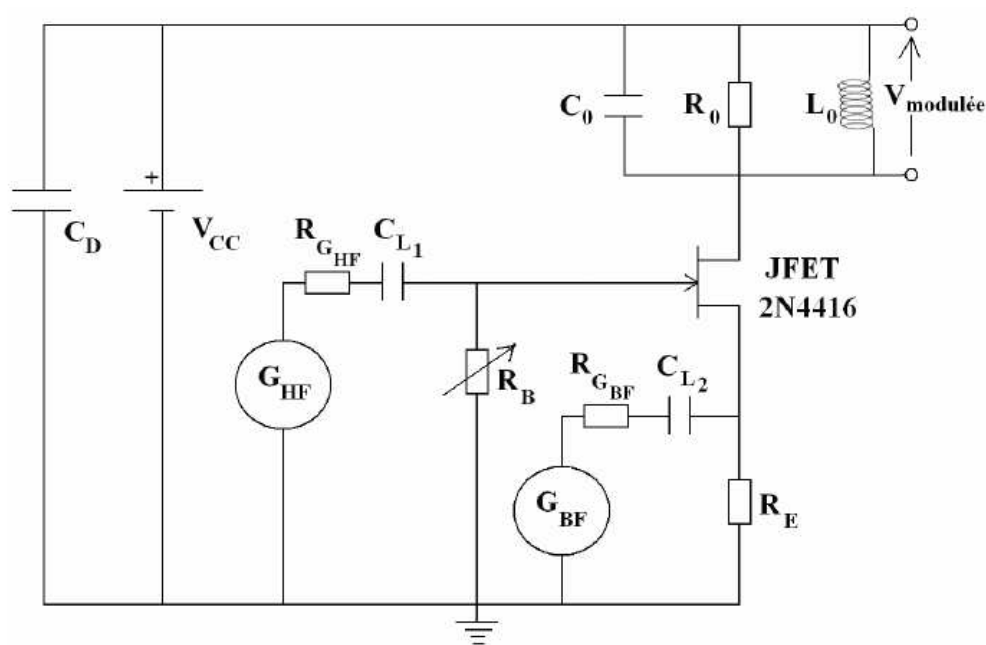


Fig. 7 : Modulateur à transistor à effet de champ (JFET)

Fonctionnement :**A. Rôle de chaque composant électronique :**

Le transistor JFET : Son fonctionnement en modulateur est favorisé par la non linéarité du second ordre qui le caractérise. Le circuit de la figure 7 est aussi une variante de la modulation par produit.

Idem que précédemment (cas de la figure 5), nous avons un régime statique pour la polarisation du transistor et un régime dynamique composé des signaux variables (porteuse et signal modulant).

Les résistances R_0 et R_E : Ces résistances servent à la polarisation du transistor JFET. Elles doivent être convenablement choisies pour une bonne polarisation.

La résistance R_B : Etant une résistance variable (potentiomètre), sa variation permet d'ajuster le taux de modulation.

Les condensateurs C_{L_1} et C_{L_2} : Ils sont des condensateurs de liaison respectant la condition suivante :

$$Z_{C_L} = \frac{1}{\omega C_L} \rightarrow 0 \quad (\text{III-15a})$$

Le condensateur C_D : Ce condensateur assure le découplage de l'alimentation V_{CC} afin d'éviter les fréquences parasites issues de cette alimentation :

$$Z_{C_D} = \frac{1}{\omega C_D} \rightarrow 0 \quad (\text{III-15b})$$

Le réseau d'accord : Etant donné qu'on utilise la propriété de la non linéarité du JFET, nous devons utiliser un filtre passe bande accordé à la fréquence du signal modulé qui est le signal qu'on veut obtenir.

Les générateurs de fréquence G_{HF} et G_{BF} : Ils permettent d'obtenir la haute et la basse fréquence respectivement.

B. Fonctionnement du montage

Considérons le transistor JFET comme étant un système non linéaire. Le signal modulé provient d'un terme produit. Ce terme est obtenu par introduction simultanée du signal de la porteuse et signal modulant à l'entrée d'un système non linéaire : Si la non linéarité peut être exprimée par un développement en série⁴ :

$$v_2 = \sum_n a_n v_1^n \quad (\text{III-16a})$$

La non linéarité étant du second ordre on a :

$$v_2 = a_1 v_1 + a_2 v_1^2 \quad (\text{III-16b})$$

Où

$$v_1 = A \cdot \cos \Omega t + B \cdot \cos \omega t \quad (\text{III-16c})$$

$$A \cdot \cos \omega t = v_{BF} \quad (\text{III-16d})$$

$$B \cdot \cos \Omega t = v_{HF} \quad (\text{III-16e})$$

Les relations précédentes nous permettent d'écrire

$$v_2 = a_1 (A \cdot \cos \Omega t + B \cdot \cos \omega t) + a_2 (A \cdot \cos \Omega t + B \cdot \cos \omega t)^2 \quad (\text{III-17})$$

Le terme du second ordre du développement donne le signal cherché :

⁴ J. AUVRAY, systèmes électroniques : Electronique des télécommunications, Université Pierre et Marie Curie, IST SETI, 200-2001

$$a_2(A \cos \Omega t + B \cos \omega t)^2 = a_2 \left[\frac{A^2}{2}(1 + \cos 2\Omega t) + \frac{B^2}{2}(1 + \cos 2\omega t) + AB[\cos(\Omega + \omega)t + \cos(\Omega - \omega)t] \right] \quad (\text{III-18})$$

La profondeur de modulation accessible reste faible et les termes d'ordre supérieurs donnent des termes parasites dont certains ne sont pas éliminés par filtrage et sont par conséquent des sources de distorsion.

Ce type de modulation (par non linéarité) est illustré par le synoptique de la figure 8.

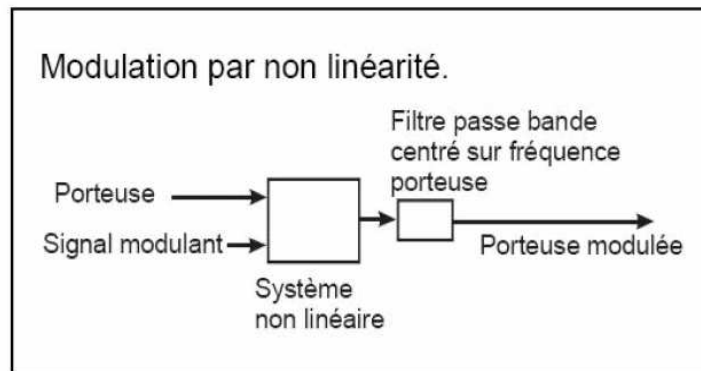


Fig. 8: Synoptique d'un modulateur non linéaire

Le signal modulé a la forme suivante :

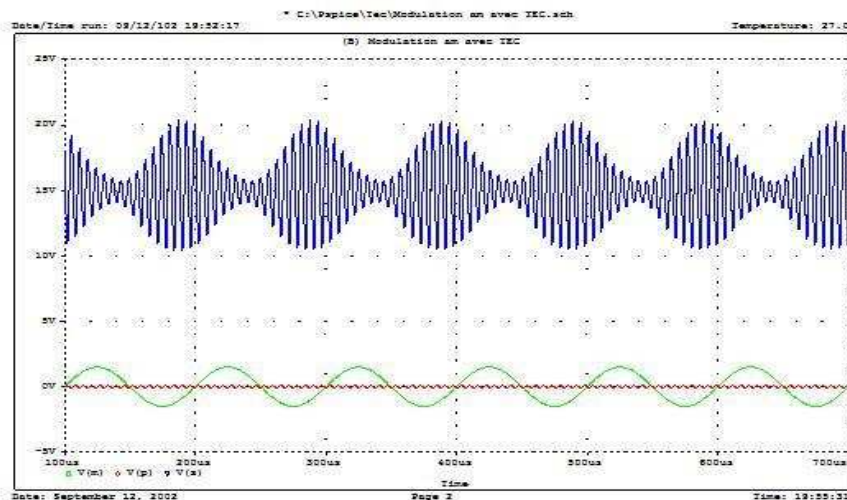


Fig. 9: Résultat de simulation sous logiciel PSpice du modulateur à TEC de la figure 7
(R. Quelconque)

En rouge la porteuse ;

En vert le signal modulant (message) ;

En bleu le signal modulé.

Signalons que potentiomètre R_B permet d'ajuster le signal modulé. Les différents cas ci-dessous sont présentés en guise d'illustration :

Cas-1 : $R_B = 1m\Omega$

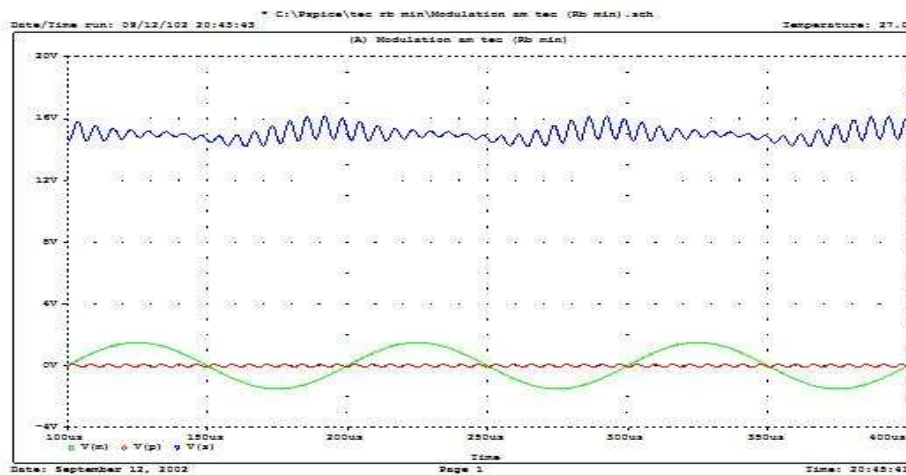


Fig. 9b: Signal modulé ($R_B = 1m\Omega$)

Cas-2 : $R_B = 10^{14} \Omega$ (circuit ouvert)

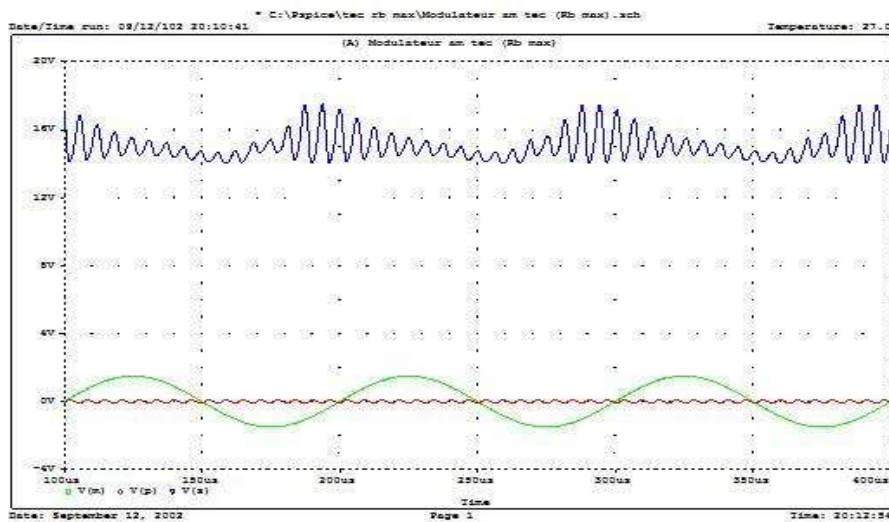


Fig. 9c: Signal modulé ($R_B = 10^{14} \Omega$)

Signalons que ces 2 structures de modulateur utilisent le même principe. En fait, c'est sur base de leur non linéarité que l'on a pu réaliser ces modulateurs.

Comme nous l'avons signalé précédemment, la profondeur de modulation accessible reste faible pour la structure utilisant le JFET et, certains termes parasites qui ne sont pas éliminés par filtrage deviennent vecteurs de distorsions.

Pour la structure avec BJT la modulation d'amplitude est fortement non linéaire et la profondeur de modulateur reste faible. Le calcul effectué par rapport à ce modulateur est approché et le résultat réel est assez différent des conclusions du calcul.

Cette différence entre valeurs expérimentales et théoriques est logique. Elle est due à la non linéarité des composants électroniques et aussi au fait que les filtres ne sont pas parfaits. Ces filtres laissent passer des parasites qui sont sources des distorsions.

CHAPITRE IV : CONCEPTION DU DEMODULATEUR

La démodulation comme nous l'avons signaler ci haut consiste à reconstituer le signal modulant AF à partir du signal modulé. Pour une démodulation AM il s'agit d'obtenir un signal reproduisant l'enveloppe du signal modulé. En FM la démodulation consiste à convertir dans un premier temps le signal FM en signal AM et de détecter ensuite son enveloppe ou d'utiliser une boucle à verrouillage de phase. La figure 10 est la structure électronique du démodulateur AM.

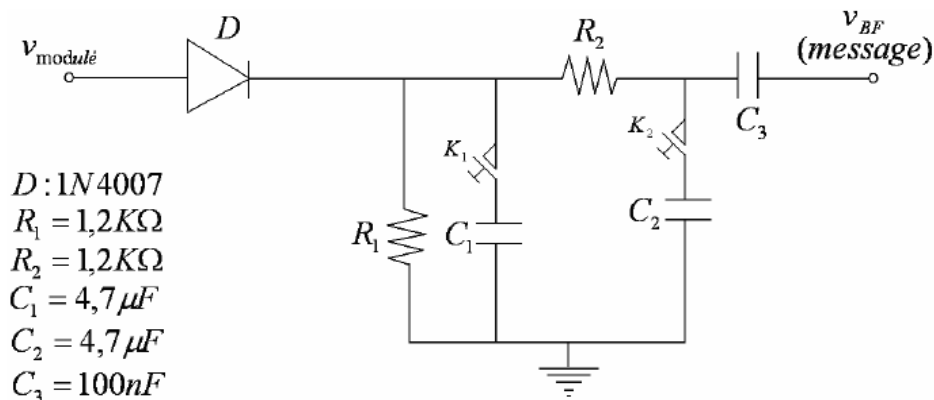


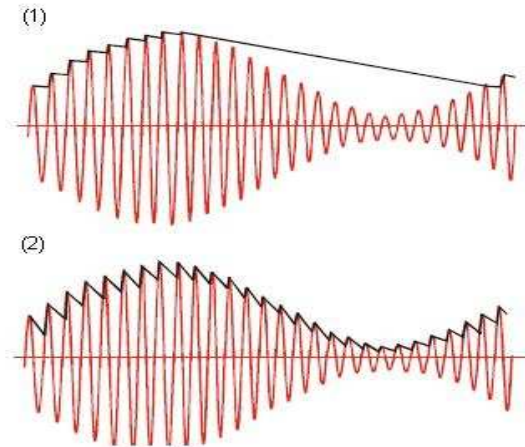
Fig. 10: Circuit d'un démodulateur AM (détecteur de crêtes)

Le signal à l'entrée du détecteur (signal modulé) subit divers traitements :

- a)- *le redressement de l'onde modulée AM*. La diode 1N4007 assure cette fonction.
- b)- *l'élimination de la porteuse*. Le filtre (R_1, C_1) assure cette fonction lorsque l'interrupteur K_1 est fermé. A ce niveau s'impose une contrainte pratique. En effet, la constante de temps $\tau_1 = R_1 \cdot C_1$ doit être très faible devant la période de la BF. Par contre pour filtrer le signal HF, la constante de temps $(\tau_1 = R_1 \cdot C_1)$ doit être très grand par rapport à la fréquence de la HF.

La figure ci-dessous montre ce qui se produit lorsque on a une constante de temps $\tau_1 = R_1 \cdot C_1$ très grande:

Détection par diode .



- (1) Constante de temps grande
 (2) Constante de temps correcte

c)- élimination de la composante continue. Le condensateur C_3 permet d'éliminer la composante continue. La subsistance d'une onde HF appelée résidus HF est généralement éliminée par l'inertie d'un filtre passe-bas supplémentaire (R_2, C_2) dont la constante de temps τ_2 se comporte de la même manière que τ_1 vis-à-vis des périodes de la BF et de la HF. Notons cependant que la tension en sortie du détecteur est bien amortie par rapport à l'amplitude du message initial. Ainsi, un amplificateur en sortie du détecteur est nécessaire pour reconstituer l'amplitude du message initial.

Notons aussi que la détection ne peut s'effectuer que si l'amplitude du signal d'entrée est supérieure à un seuil de diode c'est à dire 500 mV au minimum pour du silicium. Pour fonctionner à faible niveau il faut utiliser une diode au germanium dont le seuil est beaucoup plus faible (0,1 à 0,15V) ou une diode à pointe.

Le signal de sortie comporte une composante BF qui est le signal cherché dès que le composant, ici une diode, est non linéaire. Tout dipôle non linéaire convient bien que le rendement de détection soit plus faible.

Conclusion

Ce projet a considéré les concepts de modulation et de démodulation en communication. Les notions de modulation et de démodulation ont été présentées. Nous avons présenté la technique de modulation directe. Différentes structures électroniques de modulateurs ont été conçues et réalisées. Les avantages et les inconvénients de chacune de ces structures vis-à-vis de l'autre ont été discutés. Nous avons par la suite expliqué pourquoi le choix des types de modulation (AM, FM ou PM) dépendait aussi bien de la nature du message modulant que du type de canal de transmission. Les avantages et les limites de chacun des types de modulations ont été présentés. La motivation du choix de cette thématique a été clairement présentée en vue de clarifier l'objectif de ce projet de recherche. Les modulateurs et démodulateurs analogiques appropriés à ce projet ont été conçus. Leurs principes de fonctionnement ont été présentés et les difficultés de réalisation de tels circuits ont été mentionnées.

Annexes

```

**** 08/19/108 15:13:05 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****

* C:\Pspice\Bjt\Modulateur am avec BJT.sch

****          CIRCUIT DESCRIPTION

*****
*****

* Schematics Version 8.0 - July 1997
* Tue Aug 19 15:13:05 2008

** Analysis setup **
.tran 20ns 1000us 500us 1n

* From [SCHEMATICS NETLIST] section of msim.ini:
.lib nom.lib

.INC "Modulateur am avec BJT.net"

**** INCLUDING "Modulateur am avec BJT.net" ****
* Schematics Netlist *

Q_Q1          s $N_0001 m QbreakN
C_Cd          0 $N_0002 100u
C_C1          p $N_0001 100u
L_L           s $N_0002 1m
C_C           s $N_0002 1n
R_R2         $N_0001 $N_0002 50K
R_Rc         s $N_0002 500
V_V1         p 0 DC 0 AC 0.1
+SIN 0 0.1 159k 0 0 0
C_C3         0 m 1.592u
V_V3         $N_0002 0 3
V_V2         m 0 DC 0 AC 0.01
+SIN 0 0.01 20k 0 0 0

**** RESUMING "Modulateur am avec BJT.cir" ****
.INC "Modulateur am avec BJT.als"

**** INCLUDING "Modulateur am avec BJT.als" ****
* Schematics Aliases *

.ALIASES
Q_Q1          Q1(c=s b=$N_0001 e=m )
C_Cd          Cd(1=0 2=$N_0002 )
C_C1          C1(1=p 2=$N_0001 )

```

```

L_L          L(1=s 2=$N_0002 )
C_C          C(1=s 2=$N_0002 )
R_R2        R2(1=$N_0001 2=$N_0002 )
R_Rc        Rc(1=s 2=$N_0002 )
V_V1        V1(+p -=0 )
C_C3        C3(1=0 2=m )
V_V3        V3(+=$N_0002 -=0 )
V_V2        V2(+m -=0 )
-           _(s=s)
-           _(m=m)
-           _(p=p)
.ENDALIASES

```

```

**** RESUMING "Modulateur am avec BJT.cir" ****
.probe

```

```
.END
```

```

**** 08/19/108 15:13:05 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****

```

```
* C:\Pspice\Bjt\Modulateur am avec BJT.sch
```

```
****          BJT MODEL PARAMETERS
```

```

*****
*****

```

```

          QbreakN
          NPN
IS      100.000000E-18
BF      100
NF      1
BR      1
NR      1

```

```

**** 08/19/108 15:13:05 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****

```

```
* C:\Pspice\Bjt\Modulateur am avec BJT.sch
```

```
****          INITIAL TRANSIENT SOLUTION          TEMPERATURE = 27.000 DEG C
```

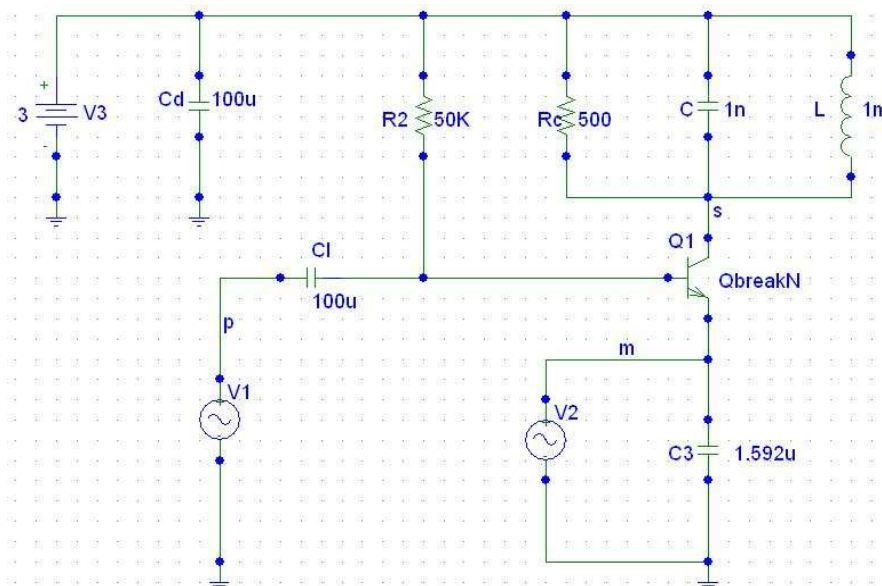

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE
(m)	0.0000	(p)	0.0000	(s)	3.0000	(\$N_0001)
	.8124					
(\$N_0002)	3.0000					

VOLTAGE SOURCE NAME	CURRENTS CURRENT
V_V1	0.000E+00
V_V3	-4.419E-03
V_V2	4.419E-03

TOTAL POWER DISSIPATION 1.33E-02 WATTS

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME 168.97



```
**** 08/19/108 15:16:22 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****
```

```
* C:\Pspice\Tec\Modulation am avec TEC.sch
```

```
****          CIRCUIT DESCRIPTION
```

```
*****
*****
```

```
* Schematics Version 8.0 - July 1997
* Tue Aug 19 15:16:19 2008
```

```
** Analysis setup **
.tran 20ns 700u 100u 1n
```

```
* From [SCHEMATICS NETLIST] section of msim.ini:
.lib nom.lib
```

```
.INC "Modulation am avec TEC.net"
```

```
**** INCLUDING "Modulation am avec TEC.net" ****
* Schematics Netlist *
```

```
R_R3          0 $N_0001  1k
R_R2          0 $N_0002 {1k*0.5+.001}
V_V1          m 0 DC 0 AC 1.5
+SIN 0 1.5 10k 0 0 0
V_V2          p 0 DC 0 AC 100m
+SIN 0 100m 159k 0 0 0
R_R1          s $N_0003  10k
V_V3          $N_0003 0 15v
C_C4          0 $N_0003  100u
C_C2          p $N_0002  100u
C_C3          m $N_0001  10u
L_L1          s $N_0003  1m
C_C1          $N_0003 s  1n
J_J1          s $N_0002 $N_0001 J2N3819
```

```
**** RESUMING "Modulation am avec TEC.cir" ****
.INC "Modulation am avec TEC.als"
```

```
**** INCLUDING "Modulation am avec TEC.als" ****
```

* Schematics Aliases *

```
.ALIASES
R_R3      R3(1=0 2=$N_0001 )
R_R2      R2(1=0 2=$N_0002 )
V_V1      V1(+=m -=0 )
V_V2      V2(+=p -=0 )
R_R1      R1(1=s 2=$N_0003 )
V_V3      V3(+= $N_0003 -=0 )
C_C4      C4(1=0 2=$N_0003 )
C_C2      C2(1=p 2=$N_0002 )
C_C3      C3(1=m 2=$N_0001 )
L_L1      L1(1=s 2=$N_0003 )
C_C1      C1(1=$N_0003 2=s )
J_J1      J1(d=s g=$N_0002 s=$N_0001 )
_         _(m=m)
_         _(p=p)
_         _(s=s)
.ENDALIASES
```

```
**** RESUMING "Modulation am avec TEC.cir" ****
.probe
```

```
.END
```

```
**** 08/19/108 15:16:22 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****
```

```
* C:\Pspice\Tec\Modulation am avec TEC.sch
```

```
**** Junction FET MODEL PARAMETERS
```

```
*****
*****
```

```

          J2N3819
          NJF
          VTO -3
          BETA 1.304000E-03
          LAMBDA 2.250000E-03
          IS 33.570000E-15
          ISR 322.400000E-15
          ALPHA 311.700000E-06
          VK 243.6
          RD 1
          RS 1
          CGD 1.600000E-12
          CGS 2.414000E-12
```

```

M      .3622
VTOTC -2.500000E-03
BETATCE  -.5
KF      9.882000E-18

```

```

**** 08/19/108 15:16:22 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****

```

```

* C:\Pspice\Tec\Modulation am avec TEC.sch

```

```

****      INITIAL TRANSIENT SOLUTION      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

```

```

*****
*****

```

```

NODE   VOLTAGE   NODE   VOLTAGE   NODE   VOLTAGE   NODE
VOLTAGE
(      m)   0.0000 (      p)   0.0000 (      s)   15.0000 ($N_0001)
1.8305
($N_0002) 713.9E-12                ($N_0003) 15.0000

```

```

VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME          CURRENT

```

```

V_V1          0.000E+00
V_V2          0.000E+00
V_V3         -1.831E-03

```

```

TOTAL POWER DISSIPATION 2.75E-02 WATTS

```

```

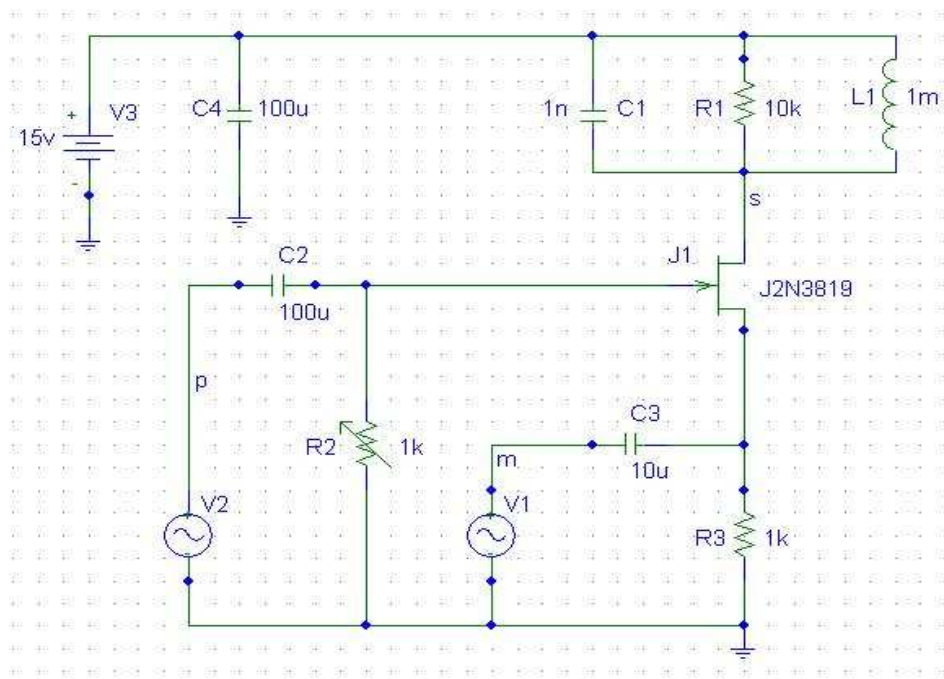
JOB CONCLUDED

```

```

TOTAL JOB TIME          137.17

```



```
**** 08/19/108 15:28:04 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****
```

```
* C:\Pspice\tec rb min\Modulation am tec (Rb min).sch
```

```
****          CIRCUIT DESCRIPTION
```

```
*****
*****
```

```
* Schematics Version 8.0 - July 1997
* Tue Aug 19 15:28:03 2008
```

```
** Analysis setup **
.tran 20ns 400u 100u 1n
```

```
* From [SCHEMATICS NETLIST] section of msim.ini:
.lib nom.lib
```

```
.INC "Modulation am tec (Rb min).net"
```

```
**** INCLUDING "Modulation am tec (Rb min).net" ****
* Schematics Netlist *
```

```
R_R3          0 $N_0001  1k
V_V1          m 0 DC 0 AC 1.5
+SIN 0 1.5 10k 0 0 0
V_V2          p 0 DC 0 AC 100m
+SIN 0 100m 159k 0 0 0
R_R1          s $N_0002  10k
V_V3          $N_0002 0 15v
C_C4          0 $N_0002  100u
C_C2          p $N_0003  100u
C_C3          m $N_0001  10u
L_L1          s $N_0002  1m
C_C1          $N_0002 s  1n
J_J1          s $N_0003 $N_0001 J2N3819
R_R2          0 $N_0003  {1m*0.5+.001}
```

```
**** RESUMING "Modulation am tec (Rb min).cir" ****
.INC "Modulation am tec (Rb min).als"
```

```
**** INCLUDING "Modulation am tec (Rb min).als" ****
* Schematics Aliases *
```

```
.ALIASES
R_R3          R3(1=0 2=$N_0001 )
V_V1          V1(+=m -=0 )
V_V2          V2(+=p -=0 )
R_R1          R1(1=s 2=$N_0002 )
V_V3          V3(+= $N_0002 -=0 )
C_C4          C4(1=0 2=$N_0002 )
C_C2          C2(1=p 2=$N_0003 )
C_C3          C3(1=m 2=$N_0001 )
L_L1          L1(1=s 2=$N_0002 )
C_C1          C1(1=$N_0002 2=s )
J_J1          J1(d=s g=$N_0003 s=$N_0001 )
R_R2          R2(1=0 2=$N_0003 )
_             _(m=m)
_             _(p=p)
_             _(s=s)
.ENDALIASES
```

```
**** RESUMING "Modulation am tec (Rb min).cir" ****
.probe
```

```
.END
```

```
**** 08/19/108 15:28:04 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****
```

```
* C:\Pspice\tec rb min\Modulation am tec (Rb min).sch
```

```
**** Junction FET MODEL PARAMETERS
```

```
*****
*****
```

```

          J2N3819
          NJF
          VTO -3
          BETA 1.304000E-03
          LAMBDA 2.250000E-03
          IS 33.570000E-15
          ISR 322.400000E-15
          ALPHA 311.700000E-06
          VK 243.6
          RD 1
          RS 1
          CGD 1.600000E-12
```

```

CGS      2.414000E-12
M        .3622
VTOTC   -2.500000E-03
BETATCE -.5
KF       9.882000E-18

```

```

**** 08/19/108 15:28:04 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****

```

```

* C:\Pspice\tec rb min\Modulation am tec (Rb min).sch

```

```

****      INITIAL TRANSIENT SOLUTION          TEMPERATURE = 27.000 DEG C

```

```

*****
*****

```

```

NODE      VOLTAGE      NODE      VOLTAGE      NODE      VOLTAGE      NODE
VOLTAGE
(      m)      0.0000 (      p)      0.0000 (      s)      15.0000 ($N_0001)
1.8305
($N_0002)      15.0000          ($N_0003) 2.142E-15

```

```

VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME          CURRENT

```

```

V_V1          0.000E+00
V_V2          0.000E+00
V_V3          -1.831E-03

```

```

TOTAL POWER DISSIPATION 2.75E-02 WATTS

```

```

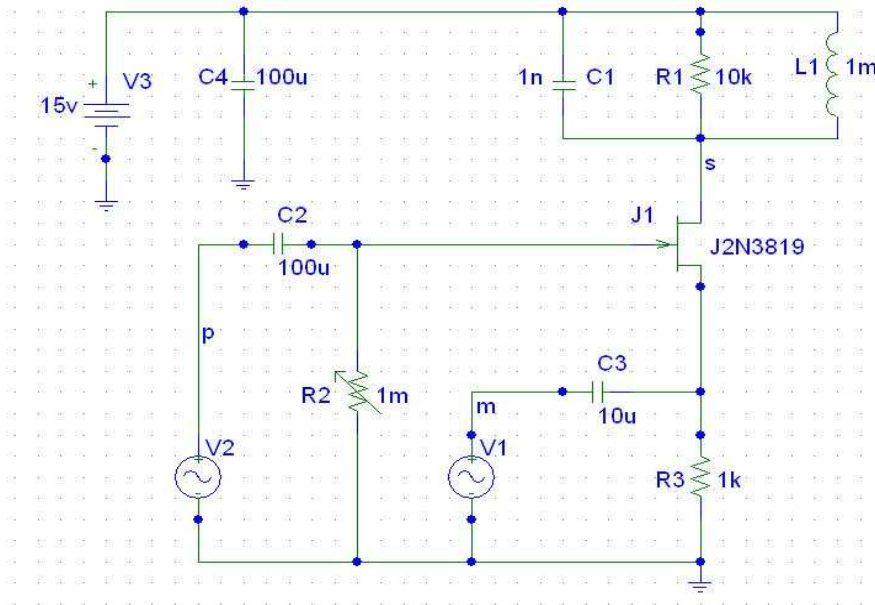
JOB CONCLUDED

```

```

TOTAL JOB TIME          88.92

```



```
**** 08/19/108 15:25:27 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****
```

```
* C:\Pspice\tec rb max\Modulateur am tec (Rb max).sch
```

```
****          CIRCUIT DESCRIPTION
```

```
*****
*****
```

```
* Schematics Version 8.0 - July 1997
* Tue Aug 19 15:25:25 2008
```

```
** Analysis setup **
.tran 20ns 400u 100u 1n
```

```
* From [SCHEMATICS NETLIST] section of msim.ini:
.lib nom.lib
```

```
.INC "Modulateur am tec (Rb max).net"
```

```
**** INCLUDING "Modulateur am tec (Rb max).net" ****
* Schematics Netlist *
```

```
R_R3          0 $N_0001  1k
V_V1          m 0 DC 0 AC 1.5
+SIN 0 1.5 10k 0 0 0
V_V2          p 0 DC 0 AC 100m
+SIN 0 100m 159k 0 0 0
R_R1          s $N_0002  10k
V_V3          $N_0002 0 15v
C_C4          0 $N_0002  100u
C_C2          p $N_0003  100u
C_C3          m $N_0001  10u
L_L1          s $N_0002  1m
C_C1          $N_0002 s  1n
J_J1          s $N_0003 $N_0001 J2N3819
R_R2          0 $N_0003 {100000000000000*0.5+.001}
```

```
**** RESUMING "Modulateur am tec (Rb max).cir" ****
.INC "Modulateur am tec (Rb max).als"
```

```
**** INCLUDING "Modulateur am tec (Rb max).als" ****
* Schematics Aliases *
```

```
.ALIASES
R_R3          R3(1=0 2=$N_0001 )
V_V1          V1(+=m -=0 )
V_V2          V2(+=p -=0 )
R_R1          R1(1=s 2=$N_0002 )
V_V3          V3(+= $N_0002 -=0 )
C_C4          C4(1=0 2=$N_0002 )
C_C2          C2(1=p 2=$N_0003 )
C_C3          C3(1=m 2=$N_0001 )
L_L1          L1(1=s 2=$N_0002 )
C_C1          C1(1=$N_0002 2=s )
J_J1          J1(d=s g=$N_0003 s=$N_0001 )
R_R2          R2(1=0 2=$N_0003 )
-            _(m=m)
-            _(p=p)
-            _(s=s)
.ENDALIASES
```

```
**** RESUMING "Modulateur am tec (Rb max).cir" ****
.probe
```

```
.END
```

```
**** 08/19/108 15:25:27 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****
```

```
* C:\Pspice\tec rb max\Modulateur am tec (Rb max).sch
```

```
**** Junction FET MODEL PARAMETERS
```

```
*****
*****
```

```

J2N3819
NJF
VTO      -3
BETA     1.304000E-03
LAMBDA   2.250000E-03
IS       33.570000E-15
ISR      322.400000E-15
ALPHA    311.700000E-06
VK       243.6
RD       1
```

```

      RS      1
      CGD     1.600000E-12
      CGS     2.414000E-12
      M       .3622
      VTOTC   -2.500000E-03
      BETATCE -.5
      KF      9.882000E-18

```

```

**** 08/19/108 15:25:27 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997)
*****

```

```

* C:\Pspice\tec rb max\Modulateur am tec (Rb max).sch

```

```

****      INITIAL TRANSIENT SOLUTION      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

```

```

*****
*****

```

```

      NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE      NODE
      VOLTAGE
(      m)   0.0000 (      p)   0.0000 (      s)   15.0000 ($N_0001)
12.0380
($N_0002)  15.0000                ($N_0003)  12.0800

```

```

      VOLTAGE SOURCE CURRENTS
      NAME          CURRENT
      V_V1          0.000E+00
      V_V2          0.000E+00
      V_V3          -1.204E-02

```

```

TOTAL POWER DISSIPATION 1.81E-01 WATTS

```

```

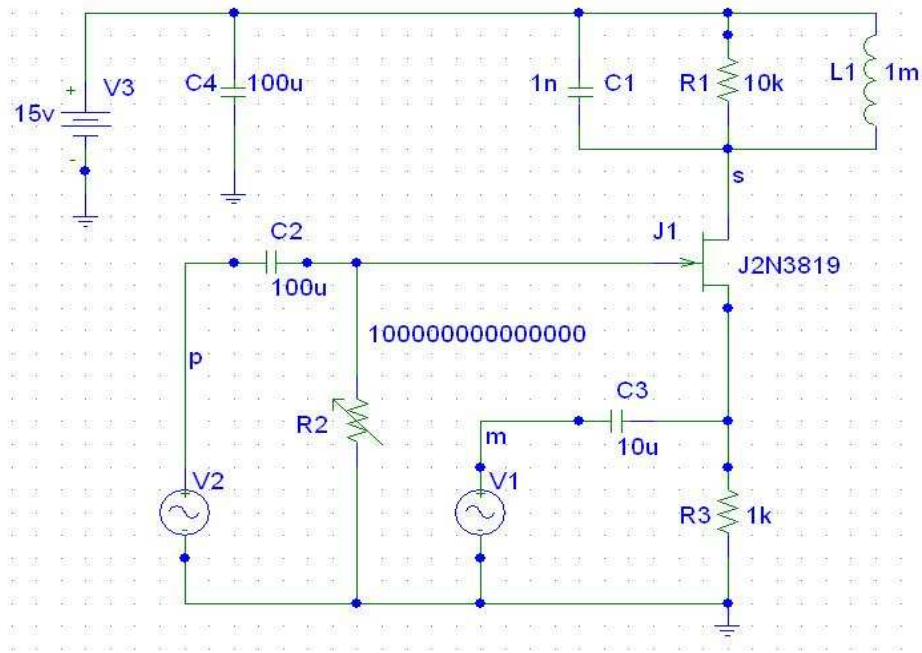
      JOB CONCLUDED

```

```

      TOTAL JOB TIME      94.31

```



BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

A. Ouvrages généraux.

1. J.D. CHATELAIN et R. DESSOULAVY, Traité d'électricité : Electronique (volume VIII), EPFL, LAUSANNE, Presses polytechniques romandes, 1985.

B. Notes de cours

1. J.C. CHEDJOU, Cours de complément d'électronique, inédit, ULPGL, Goma, G3 GE, 2006-2007.

2. J.C. CHEDJOU, Cours des télécommunications, inédit, ULPGL, Goma, G3 GE, 2006-2007

C. Webographie

1. A. DUPRET, A. FISHER, Cours de télécommunication, IUT de Villetaneuse, Département de Génie Télécom et Réseaux, GTR 2^{ème} année, 2001.
LIEN : <http://www-gtr.iutv.univ-paris13.fr/Cours/Mat/Telecoms2/coursdetelecom.pdf>

2. J. AUVRAY, systèmes électroniques : Electronique tes télécommunications, Université Pierre et Marie Curie, IST SETI, 200-2001
LIEN: http://mirror.sweon.net/madchat/coding/electro/CSE018_Modulation_AM.pdf

3. PR electronics, Isolation de signaux pour l'industrie de process,
LIEN : http://www.prelectronics.fr/filer/Signalisation_folder_FR.pdf

TABLE DES MATIERES

EPIGRAPHE.....	I
DEDICACE.....	II
REMERCIEMENTS.....	III
CHAPITRE I : INTRODUCTION.....	1
I.1 Notions de modulation et de démodulation.....	1
I.2 Différents types de modulation.....	2
I.3 Objectifs du Projet.....	3
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA MODULATION ET LA DEMODULATION AM.....	5
II.1. Modulation.....	5
II.1.1 Description domaine temporel d'un signal sinusoïdal.....	5
II.1.2 Description en domaine fréquentiel d'un signal sinusoïdal AM.....	7
II.2. Démodulation.....	8
CHAPITRE III : CONCEPTION DU MODULATEUR.....	10
III.1. Modulateur utilisant le multiplieur AD633JN.....	10
III.2 Modulateur utilisant le transistor BJT.....	11
A. Rôle de chaque composant électronique.....	12
B. Fonctionnement du montage.....	15
III.3. Modulateur utilisant le transistor JFET.....	19
Fonctionnement.....	20
A. Rôle de chaque composant électronique.....	20
B. Fonctionnement du montage.....	21

CHAPITRE IV : CONCEPTION DU DEMODULATEUR.....	25
Conclusion.....	27
Annexes.....	28
Bibliographie et Webographie.....	45
Table des matières.....	46