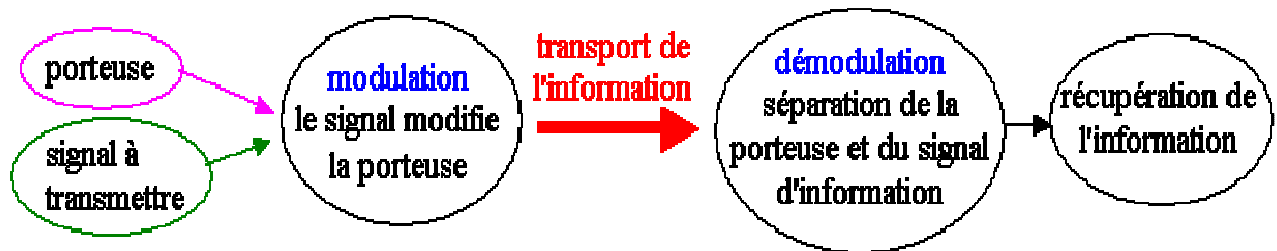


Chap 07 - Ondes électromagnétiques

I) Transmission d'une information :

On peut transmettre un signal sonore par un faisceau lumineux. On le capte par un microphone qui le transforme en signal électrique qui est transporté par un faisceau lumineux dans une fibre optique. Un haut-parleur restitue le signal sonore à partir du signal électrique reçu.

Le faisceau lumineux est la porteuse, support qui transporte le signal électrique, celui-ci modifie le faisceau. Le signal module la porteuse lors de la transmission.



La porteuse est un signal sinusoïdale de haute fréquence alors que le signal électrique transmis est de basse fréquence.

Exemple : Signal transmis par une télécommande infrarouge d'une télévision :

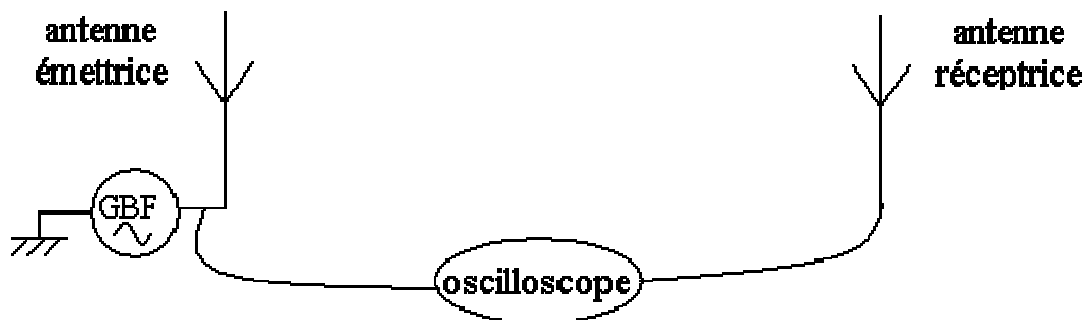
On capte ce signal grâce à un récepteur à IR branché sur un oscilloscope.

L'amplitude de l'onde porteuse est grande ou nulle. La porteuse est modulée en amplitude par codage binaire utilisé en informatique (0 ou 1).

II) Les ondes électromagnétiques :

1) Emission-réception :

On peut émettre une information par une onde électromagnétique. Une antenne émettrice (fil électrique) envoie de l'énergie et une antenne réceptrice en reçoit une partie. Il y a transport d'énergie sans transport de matière.



Assadi said

La forme et la fréquence du signal émis et du signal reçu sont identiques.

L'onde électromagnétique reçue par l'antenne engendre un signal électrique de même fréquence.

2) Caractéristiques :

Les ondes électromagnétiques se propagent en ligne droite dans un milieu homogène et isolant, y compris le vide. Leur vitesse de propagation dans le vide, appelée célérité vaut : $c = 3,0.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

La célérité dans l'air est voisine de celle du vide. Dans un câble coaxial , elle vaut $\approx 2,0.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Elles sont caractérisées par leur fréquence f .

$$c = \lambda / T = \lambda \cdot f \quad (\lambda : \text{longueur d'onde en m ; } T : \text{période en s et } f : \text{fréquence en Hz})$$

3) Utilisation :

Les ondes électromagnétiques permettent la transmission d'une information très rapidement

$$(c = 3,0.10^8 \text{ m.s}^{-1})$$

Cependant plus la fréquence de l'onde est élevée, plus elle peut se transmettre à grande distance.

Les messages radio peuvent être transmis avec des ondes hertziennes de basses, moyennes et hautes fréquences. Les transmissions satellite se font dans les très hautes fréquences.

III) Modulation d'une tension sinusoïdale :

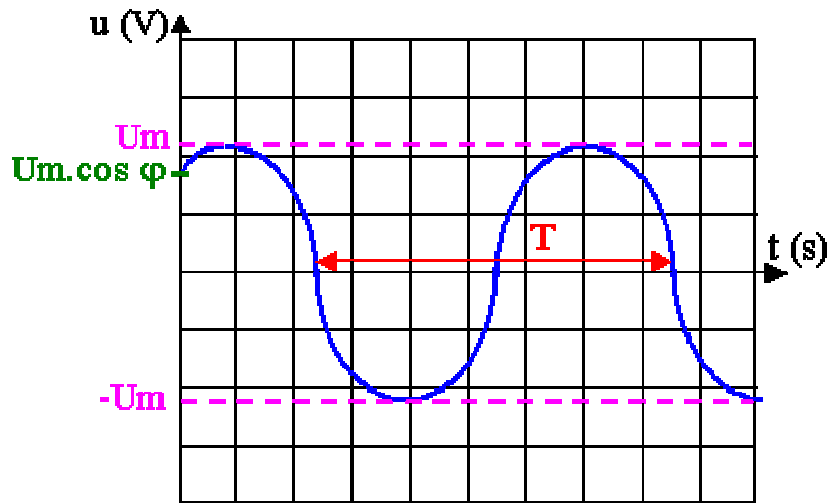
1) Transmission d'un signal :

Un microphone capte une information sonore et la transforme en signal électrique basse fréquence BF.

Une radio ne peut émettre un signal BF à cause de différents problèmes :

- les informations de différentes radios se mélangeraient et seraient incompréhensibles,
- la dimension de l'antenne doit être de l'ordre de grandeur de la moitié de la longueur d'onde, ce qui donnerait une taille gigantesque à l'antenne,
- le signal BF est amorti avec la distance, ce n'est pas le cas des signaux haute fréquence.

Pour transmettre un signal BF, on module une onde porteuse haute fréquence avec ce signal.



2) Tension sinusoïdale :

$$u(t) = U_m \cdot \cos(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

U_m : amplitude en volts (V)

f : fréquence en hertz (Hz)

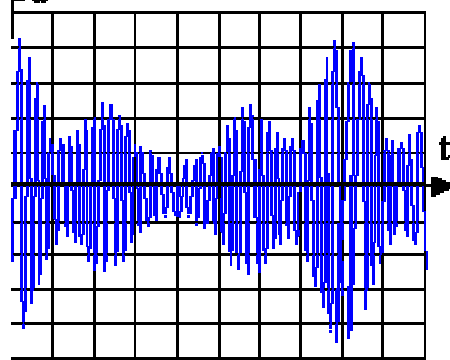
t : temps en seconde (s)

φ : phase à l'origine en radian (rad)

$$f = 1 / T$$

$$u(t) = U_m \cdot \cos(2\pi t / T + \varphi)$$

Modulation d'amplitude



3) Paramètres modulés

On peut moduler une onde porteuse,

$u(t) = U_m \cdot \cos(2\pi f \cdot t + \varphi)$ en modifiant une des caractéristiques : amplitude U_m , fréquence f ou phase à l'origine φ .

a) Modulation d'amplitude :

Dans ce cas, l'amplitude U_m varie en fonction du signal modulant.

$$u(t) = U_m(t) \cdot \cos(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

f et φ sont des constantes caractéristiques de la porteuse.

b) Modulation de fréquence :

Ici, la fréquence varie en fonction du signal modulant

$$u(t) = U_m \cdot \cos(2\pi f(t) \cdot t + \varphi)$$

U_m et φ sont des constantes caractéristiques de la porteuse.

c) Modulation de phase

La phase φ varie en fonction du signal modulant.

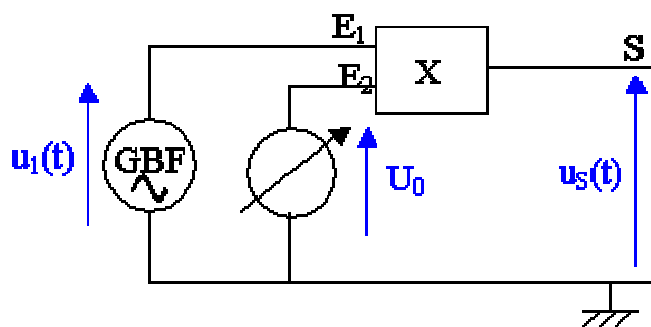
f et U_m sont des constantes caractéristiques de la porteuse.

Chap 08 - Modulation d'amplitude

I) Moduler en amplitude :

Pour obtenir une tension $u(t) = U_m(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$, on utilise un multiplieur à 2 entrées E_1 et E_2

1) Multiplieur :

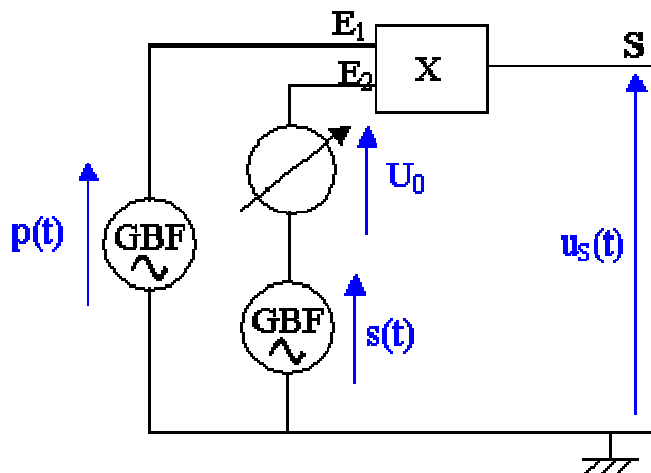


$u_1(t)$ est une tension sinusoïdale d'amplitude U_{1m} et de fréquence f_1

U_0 est une tension constante réglable

$u_s(t)$ est aussi une tension sinusoïdale de même fréquence f_1 que $u_1(t)$ et d'amplitude $k \cdot U_{1m} \cdot U_0$ avec k constante du multiplieur.

Plus généralement, $u_s(t) = k \cdot u_1(t) \cdot u_2(t)$ avec k : coefficient de multiplication du multiplieur.



2) Modulation d'amplitude :

Tension porteuse : $p(t) = P_m \cdot \cos(2 \pi f_p \cdot t)$

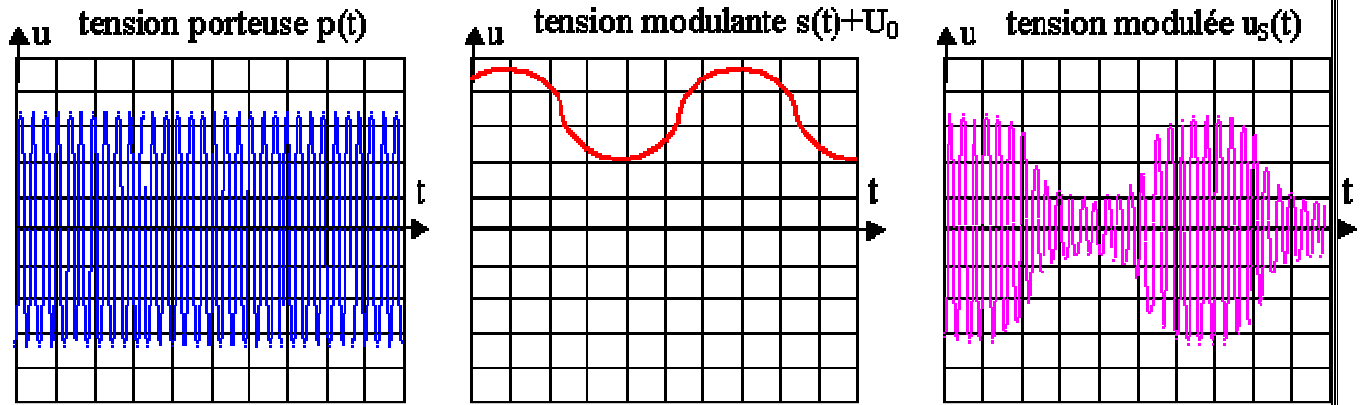
Tension modulante : $s(t) = S_m \cdot \cos(2 \pi f_s \cdot t)$

La tension U_0 est obtenue avec la fonction offset (tension de décalage) du GBF.

Un des GBF doit être à masse flottante pour éviter les problèmes de masses.

On prend $f_p > 10 f_m$ et $U_0 > S_m$

$$u_s(t) = k \cdot (U_0 + s(t)) \cdot p(t)$$



La tension de sortie est modulée en amplitude.

La tension basse fréquence $s(t)$ module l'amplitude de la tension haute fréquence $p(t)$, appelée porteuse.

$$u_s(t) = U_m(t) \cdot \cos(2 \pi f_p \cdot t) = k \cdot (U_0 + s(t)) \cdot P_m \cdot \cos(2 \pi f_p \cdot t)$$

$$\Rightarrow U_m(t) = k \cdot P_m \cdot (U_0 + s(t))$$

On peut exprimer $U_m(t)$ sous la forme : $a \cdot s(t) + b$ avec $a = k \cdot P_m$ et $b = k \cdot P_m \cdot U_0$

$U_m(t)$ est donc une fonction affine de la tension modulante $s(t)$.

En exprimant $U_m(t)$ sous la forme $A \cdot (m \cdot \cos(2 \pi f_s \cdot t) + 1)$, m est le taux de modulation .

$$A = k \cdot P_m \cdot U_0 \text{ et } A \cdot m = k \cdot P_m \cdot S_m \Rightarrow m = S_m / U_0$$

$$\text{Calcul du taux de modulation } m : U_{m_{\max}} = A \cdot (m + 1) \quad ; \quad U_{m_{\min}} = A \cdot (-m + 1)$$

$$m = (U_{m_{\max}} - U_{m_{\min}}) / (U_{m_{\max}} + U_{m_{\min}})$$

3) Qualité de la modulation :

Avec le montage précédent, on fait varier U_0 , puis S_m .

Si on diminue U_0 ou si on augmente S_m , on constate que la courbe qui suit les maxima positifs de la tension modulée $u_s(t)$ ne reproduit plus les variations de la tension modulante $m(t)$.

En mode XY, si $U_0 > S_m$, la modulation est de bonne qualité, le signal est en forme de trapèze ; par contre, si $U_0 < S_m$, la modulation est de mauvaise qualité, on n'a pas la forme de trapèze.

Pour obtenir une modulation de qualité, il faut que le taux de modulation soit inférieur à 1, $m < 1$ (ou $U_0 > S_m$) (sinon il y a surmodulation) et que la fréquence f_p de la porteuse soit largement supérieure à celle de la tension modulante f_s .

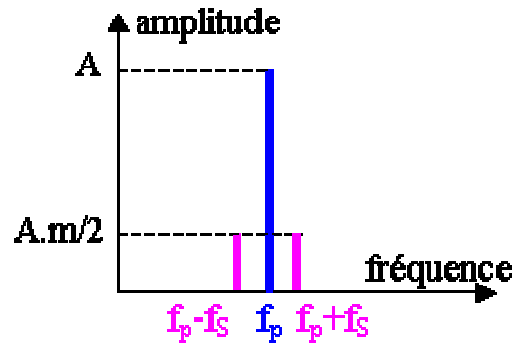
4) Spectre en fréquence de la tension modulée :

$$u_S(t) = k \cdot [U_0 + S_m \cdot \cos(2 \pi f_S \cdot t)] \cdot P_m \cdot \cos(2 \pi f_p \cdot t) = A \cdot [m \cdot \cos(2 \pi f_S \cdot t) + 1] \cdot \cos(2 \pi f_p \cdot t)$$

$$u_S(t) = A \cdot m \cdot \cos(2 \pi f_S \cdot t) \cdot \cos(2 \pi f_p \cdot t) + A \cdot \cos(2 \pi f_p \cdot t)$$

Mathématique : $\cos a \cdot \cos b = \frac{1}{2} [\cos(a+b) + \cos(a-b)]$ et $\cos(a-b) = \cos(b-a)$

$$u_S(t) = A \cdot m/2 \cdot \cos(2 \pi (f_S + f_p) \cdot t) + A \cdot m/2 \cdot \cos(2 \pi (f_p - f_S) \cdot t) + A \cdot \cos(2 \pi f_p \cdot t)$$



$u_S(t)$ est donc la somme de 3 tensions sinusoïdales de fréquences $f_p + f_S$, $f_p - f_S$ et f_p .

On peut réaliser un spectre en fréquence :

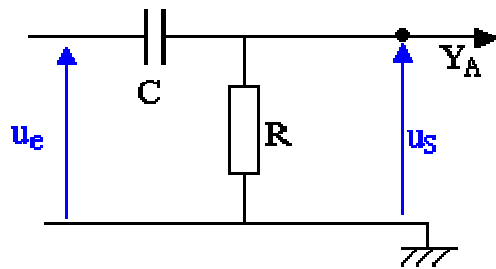
L'information est dans les raies latérales d'amplitude $A \cdot m/2$.

Chap 09 - Démodulation d'amplitude

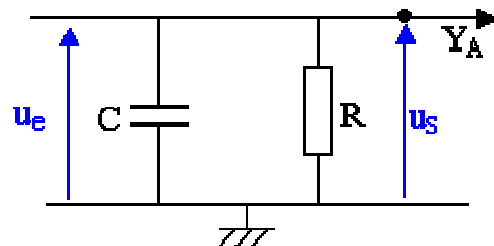
I) Principe :

Cela consiste à récupérer le signal transmis modulant "caché" dans la tension modulée.

II) Etude d'un dipôle RC :



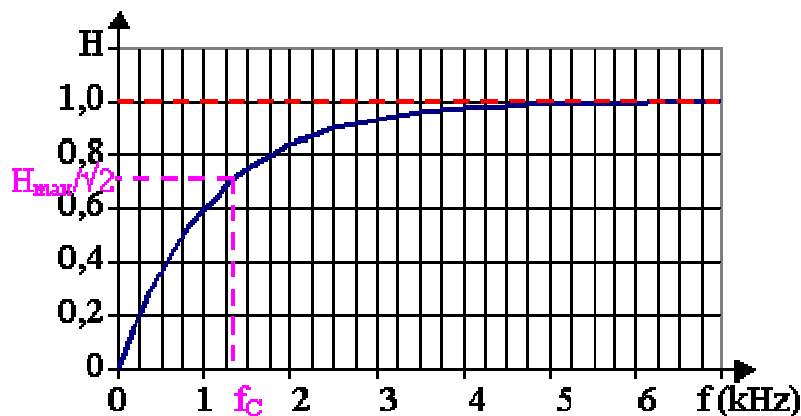
association RC série



association RC parallèle

On applique à chaque montage RC, une tension u_e sinusoïdale d'amplitude constante $U_{e m}$ et on observe la tension de sortie u_s lorsqu'on fait varier la fréquence f de u_e .

Pour l'association RC série, l'amplitude $U_{s m}$ de la tension de sortie u_s est petite pour les basses fréquences contrairement à celle des hautes fréquences.



$$H = U_{s m} / U_{e m} .$$

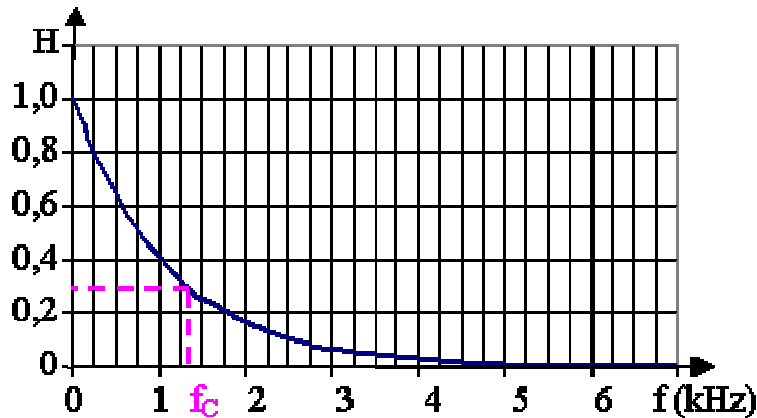
Le rapport H varie avec la fréquence

f_c est la fréquence de coupure, elle correspond à $H_{\max} / \sqrt{2}$

Les tensions sinusoïdales de fréquence inférieure à f_c sont très affaiblies.

Pour l'association RC parallèle, l'amplitude $U_{s m}$ de la tension de sortie u_s est petite pour les hautes fréquences.

Assadi said



Le rapport H varie avec la fréquence

Les tensions sinusoïdales de fréquence supérieure à f_c sont très affaiblies.

Ces associations RC jouent un rôle de filtre de tension selon la fréquence.

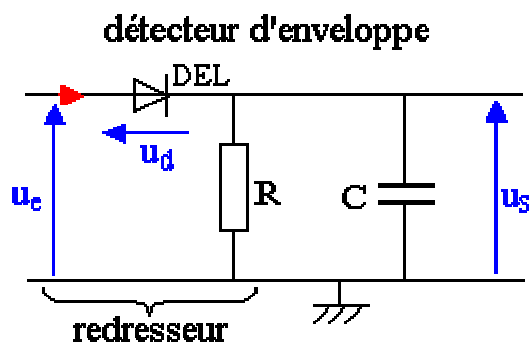
On appelle filtre passe-haut, un montage qui laisse passer les tensions hautes fréquences et coupe les tensions basses fréquences. L'association RC série est un filtre passe-haut.

On appelle filtre passe-bas, un montage qui laisse passer les tensions basses fréquences et coupe les tensions hautes fréquences. L'association RC parallèle est un filtre passe-bas.

II) Détection d'enveloppe :

L'enveloppe est la partie supérieure de la tension modulée en amplitude.

1) Montage :



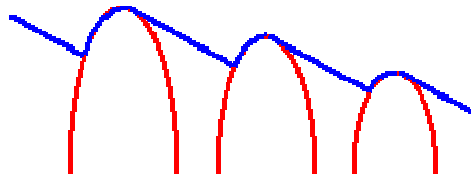
Une diode est un dipôle qui laisse passer le courant dans le sens de la flèche ($u_d = 0$ V) et bloque le passage du courant dans le sens inverse.

L'association d'une diode et d'un dipôle RC parallèle constitue un détecteur d'enveloppe. C'est un quadripôle

Observations : La tension u_s obtenue est l'enveloppe de la tension modulée en amplitude.

2) Interprétation :

La première partie est un montage redresseur. La diode ne laisse passer le courant que dans un seul sens. Cela élimine la partie négative de la tension. En y ajoutant un condensateur C, on élimine les variations rapides de la tension dues à la porteuse.



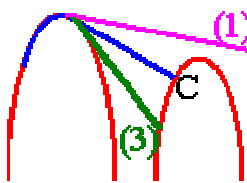
avec une constante de temps

Le condensateur initialement déchargé se charge tant que u_e croît jusqu'au maximum, avec une constante de temps τ_C quasi nulle. Lorsque u_e décroît, $u_C > u_e$, la diode est bloquée, le condensateur se décharge dans la résistance

$\tau_D = R.C$ grande par rapport à la période T_P de la porteuse (si R et C sont bien choisis).

Lorsque u_e atteint de nouveau u_C , la diode est à nouveau passante et le condensateur se charge.

3) Qualité du détecteur :



(1) Plus le point C est proche du sommet de la crête, meilleur est le détecteur.

La courbe obtenue suit mieux l'enveloppe de la tension modulée.

Si le condensateur se décharge trop lentement (1) (τ_D trop grande), la courbe ne suit plus l'enveloppe et le condensateur se charge quelques crêtes plus loin.

Si le condensateur se décharge trop vite (3) (τ_D trop petite), la courbe est trop dentelée.

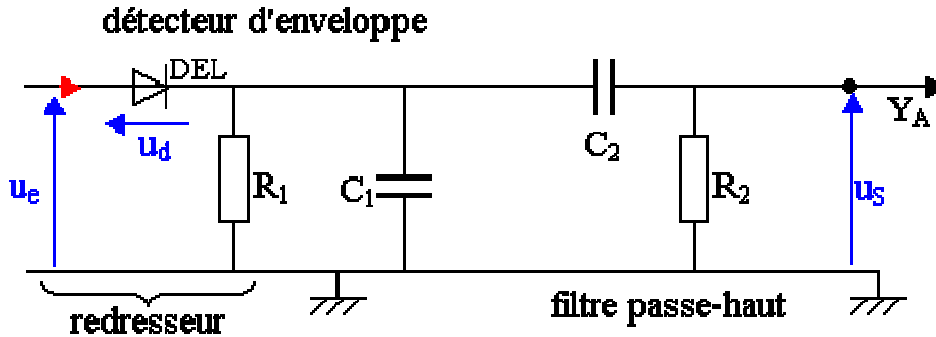
Pour obtenir une démodulation de qualité, il faut que la constante de temps τ du dipôle RC soit très supérieure à la période T_P de la porteuse, en restant inférieure à la période T_S du signal modulant.

$$T_P \ll \tau < T_S \quad \text{ou} \quad f_S < 1/\tau_D \ll F_P$$

A la sortie du détecteur d'enveloppe, la tension a encore une composante continue due à la tension de décalage utilisée lors de la modulation, qu'il faut supprimer

III) Démodulation complète :

On utilise un filtre passe-haut :

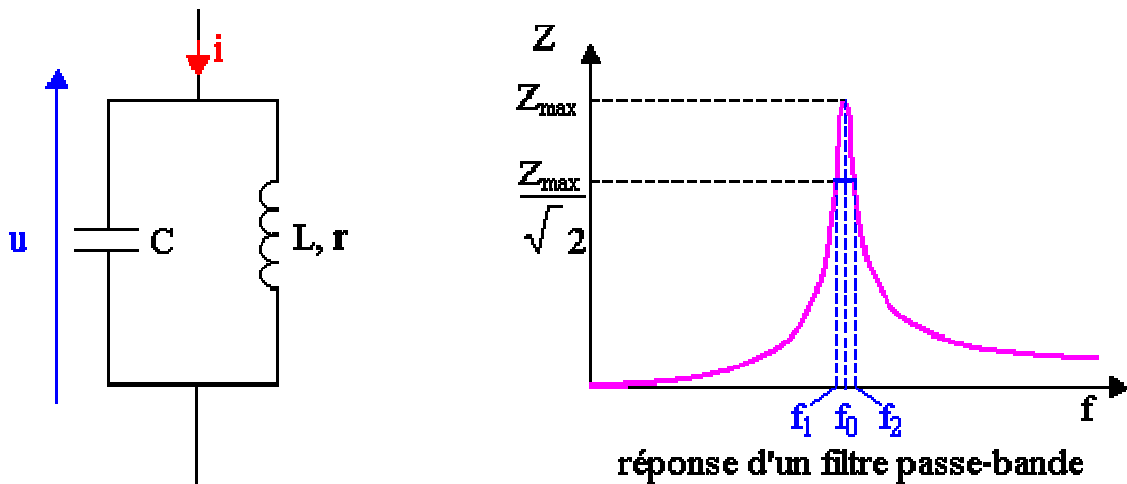


Le condensateur C_2 élimine la composante continue de la tension.

Chap 10 - Réception radio

I) Circuit d'accord:

1) Filtre passe-bande LC, dipôle LC parallèle :



Lorsqu'un dipôle LC parallèle est soumis à une tension sinusoïdale u d'amplitude U_{max} , il est parcouru par un courant sinusoïdale i d'amplitude I_{max} .

Le rapport $Z = U_{max}/I_{max}$ appelé impédance, varie avec la fréquence en passant par un maximum pour une fréquence

Assadi said

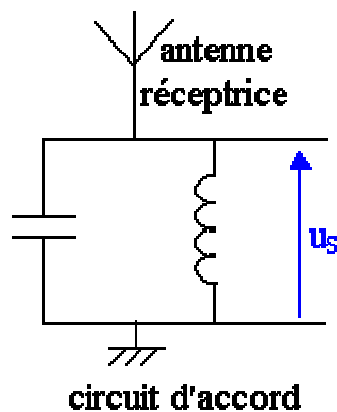
$$f_0 = 1 / [2\pi \sqrt{L.C}] .$$

Le fréquences f_1 et f_2 pour lesquelles $Z = Z_{\max} / \sqrt{2}$, définissent un intervalle de fréquence appelé bande passante.

Si on soumet une tension sinusoïdale d'amplitude constante et de fréquence réglable au dipôle LC, l'intensité dans le circuit est minimale si la fréquence f est égale à la fréquence propre f_0 du circuit.

Inversement, si l'amplitude de l'intensité est constante, la tension est maximale si $f = f_0$.

2) Réception de l'onde et circuit d'accord :



On relie l'antenne réceptrice à ce filtre passe-bande LC pour capter l'onde. Les électrons libres de l'antenne oscillent au rythme de l'onde captée, un courant sinusoïdale se forme.

L'antenne est un générateur de courant.

La tension sinusoïdale créée u_s a une amplitude d'autant plus grande que sa fréquence est proche de la fréquence propre f_0 du filtre LC.

On règle la fréquence f_0 soit en modifiant l'inductance L de la bobine par déplacement d'un bâton de ferrite à l'intérieur de la bobine, soit en modifiant la capacité C , pour qu'elle soit égale à la fréquence de la porteuse de la station choisie.

Ce dipôle LC permet de sélectionner une station radio en s'accordant sur la fréquence de station.

Le filtre LC doit être sélectif (faible largeur de la bande passante) pour éviter d'entendre les émetteurs de fréquence voisine. Cependant la bande passante doit être plus large que le spectre de la tension modulée (10 kHz environ).

II) Récepteur radio à modulation d'amplitude :

A la sortie du circuit d'accord (antenne + filtre passe-bande), la tension est insuffisante, on utilise donc un amplificateur haute fréquence. Ensuite, la démodulation est réalisée avec le détecteur d'enveloppe; un filtre passe-haut élimine la composante continue de la tension démodulée.

Pour envoyer le signal récupéré aux haut-parleurs, on utilise un amplificateur basse fréquence.

Schéma du récepteur radio :

