

Nous avons vu dans le chapitre précédent comment émettre un signal modulé en amplitude. La réception radio consiste à capter ce signal, le démoduler afin de récupérer le signal informatif et le transformer en signal sonore.

On se propose, pour simplifier l'étude, d'utiliser un signal informatif sinusoïdal de fréquence f .

1. Réception du signal modulé en amplitude : le circuit d'accord

Pour filtrer le signal modulé en amplitude, il faut un circuit électrique capable de sélectionner une bande de fréquences comprise entre $F - f$ et $F + f$, avec F la fréquence de la porteuse et f la fréquence du signal modulant.

La sélection se fait sur un poste radio en tournant le bouton de recherche de station. On intervient alors sur le circuit d'accord constitué d'une bobine et d'un condensateur associés en parallèle en modifiant soit l'inductance de la bobine, soit la capacité du condensateur [Doc. 1].

Au § 1, page 106, on a observé que l'amplitude de la tension aux bornes du dipôle (L, C) passe par un maximum U_{Cmax} pour une fréquence égale à la fréquence propre F_0 du dipôle (L, C) parallèle [Doc. 2], soit :

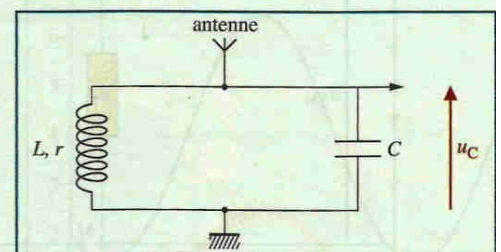
$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

On détermine graphiquement les deux fréquences f_1 et f_2 pour lesquelles la tension aux bornes du dipôle (L, C) est égale à $\frac{U_{Cmax}}{\sqrt{2}}$.

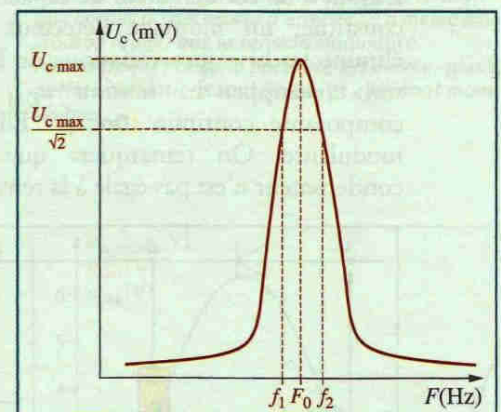
Pour toutes les fréquences comprises entre f_1 et f_2 , la tension U_C est supérieure à $\frac{U_{Cmax}}{\sqrt{2}}$.

Cela correspond aux fréquences des signaux convenablement sélectionnés par le dipôle (L, C).

La plage de fréquence $\Delta f = f_2 - f_1$ est appelée bande passante à -3 dB du dipôle (L, C). Le dipôle (L, C) est utilisé comme filtre passe-bande pour la tension.



Doc. 1 Schéma du circuit d'accord d'un récepteur radio. La tension u_C aux bornes du condensateur est modulée en amplitude.



Doc. 2 Courbe de réponse en tension d'un dipôle (L, C) soumis à une tension sinusoïdale de fréquence F .

Pour une bonne réception du signal modulé en amplitude d'une radio :

- un dipôle (L, C) servant de circuit d'accord doit être relié à l'antenne de réception de la radio ;
- la fréquence propre F_0 du circuit d'accord utilisé en filtre passe-bande doit être égale à la fréquence F de la porteuse ;
- la bande passante Δf du circuit d'accord doit encadrer le spectre en fréquence $[F - f, F + f]$ du signal modulé en amplitude, sans être trop large, afin de ne pas capter le spectre en fréquence des stations voisines.

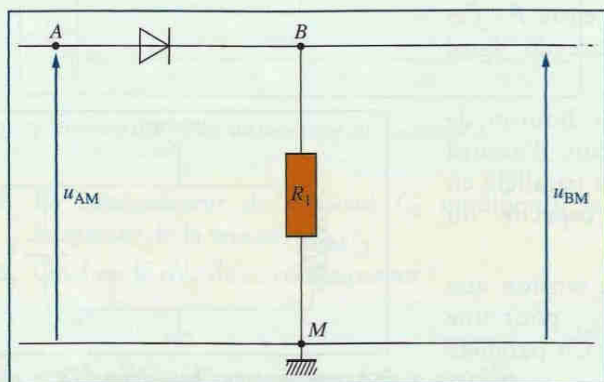
2. La démodulation

Le circuit d'accord permet de sélectionner le signal modulé en amplitude. Le signal informatif ou modulant est contenu dans les enveloppes supérieure et inférieure du signal modulé en amplitude [Doc. 3].

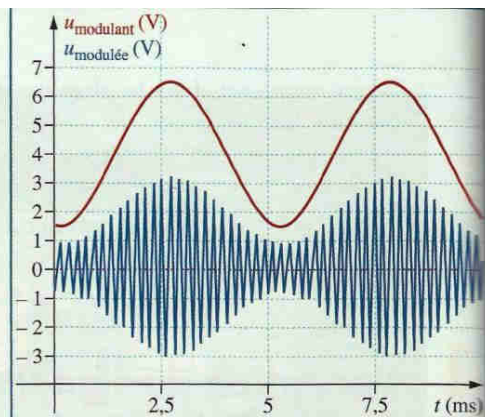
La démodulation va permettre d'isoler ce signal informatif.

2.1 Le montage redresseur

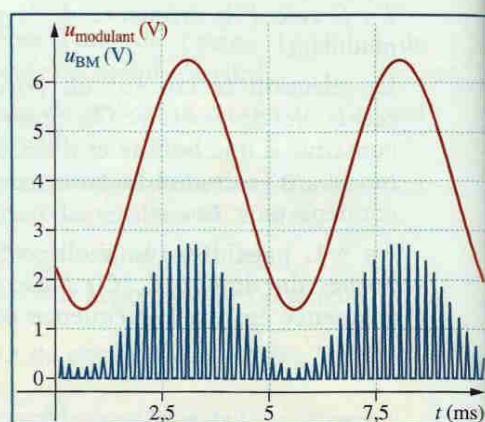
La diode associée au conducteur ohmique de résistance R_1 [Doc. 4] ne laisse passer le courant que dans un sens (de A vers B). Cela élimine les valeurs négatives de la tension modulée en amplitude u_{AM} [Doc. 5]. La tension modulée u_{BM} est dite redressée.



Doc. 4 Montage redresseur. La tension modulée u_c aux bornes du condensateur du circuit d'accord est appliquée entre A et M : $u_c = u_{AM}$.



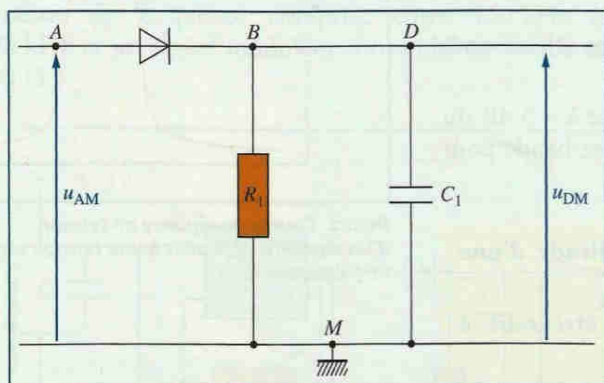
Doc. 3 Signal modulé en amplitude (en bleu) et signal informatif (en rouge). La porteuse a une fréquence F beaucoup plus grande que la fréquence f du signal informatif.



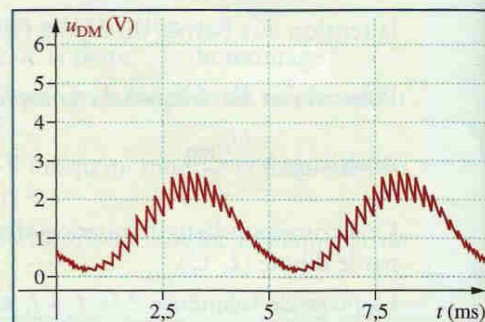
Doc. 5 Tension u_{BM} modulée en amplitude après redressement.

2.2 Le montage détecteur d'enveloppe

L'ajout d'un condensateur de capacité C_1 au montage précédent permet de constituer un montage détecteur d'enveloppe [Doc. 6]. Ce montage élimine les brusques variations de la tension redressée et permet d'isoler son enveloppe. La tension u_{DM} obtenue est dite démodulée avec composante continue [Doc. 7]. Elle a la même allure que la tension modulante. On remarquera que la tension u_{DM} obtenue avec le condensateur n'est pas égale à la tension u_{BM} obtenue sans le condensateur.



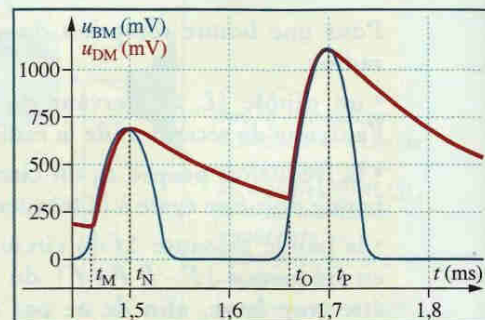
Doc. 6 Pour détecter l'enveloppe, on associe au montage redresseur le condensateur C_1 .



Doc. 7 Tension u_{DM} à la sortie du détecteur d'enveloppe.

Comment se comporte le dipôle $R_1 C_1$ lorsqu'il est soumis à la tension modulée en amplitude redressée ?

À la date t_M [Doc. 8] le condensateur est soumis à la tension modulée redressée u_{BM} de valeur supérieure à la tension à ses bornes u_{DM} . Le condensateur se charge de façon quasi instantanée.



Doc. 8 Tension modulée redressée u_{BM} et tension u_{DM} à la sortie d'un montage détecteur de crête.

La tension u_{DM} suit l'évolution du signal modulé jusqu'à la date t_N .

Au-delà de la date t_N , la tension modulée redressée u_{BM} est inférieure à u_{DM} . La diode est bloquée, le condensateur se décharge à travers le conducteur ohmique de résistance R_1 jusqu'à la date t_O .

Lors de la décharge, le dipôle $R_1 C_1$ a une constante de temps $\tau_1 = R_1 C_1$. Afin que la décharge ne soit pas trop rapide, τ_1 doit être nettement supérieure à la période T de la porteuse, $T \ll \tau_1$.

À la date t_O , la tension modulée redressée u_{BM} devient supérieure à u_{DM} . Le condensateur se charge à nouveau instantanément en suivant l'évolution de la tension modulée jusqu'à la date t_P .

Nous venons de voir que la décharge du condensateur à travers R_1 doit être lente par rapport à la période T de la porteuse. Il faut, en revanche, qu'elle soit suffisamment rapide par rapport à la période T_{mod} du signal modulant. On peut le noter par $\tau_1 < T_{modulant}$ [Doc. 9].

Dans le cas contraire, la tension u_{DM} à la sortie de détecteur d'enveloppe n'a plus l'allure du signal modulant.

Le dipôle $R_1 C_1$ du montage détecteur d'enveloppe doit avoir une constante de temps τ_1 telle que :

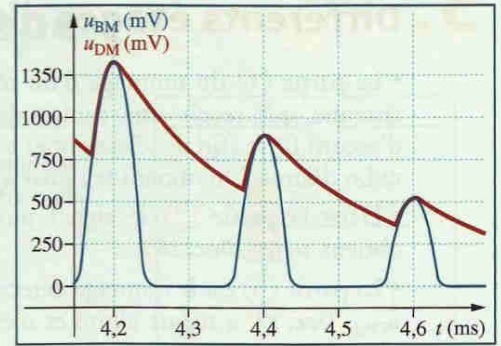
$$T_{porteuse} \ll \tau_1 < T_{modulant}.$$

Et donc :

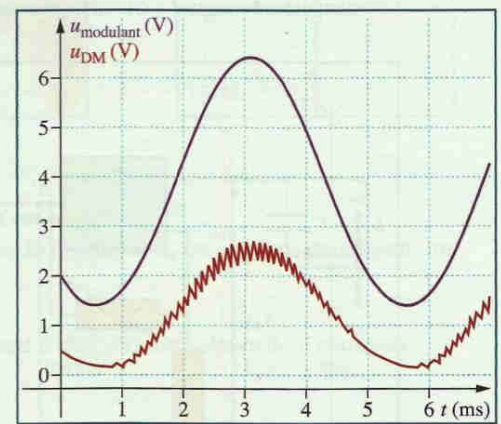
$$f < \frac{1}{\tau_1} \ll F$$

avec f la fréquence du signal informatif ou modulant et F celle de la porteuse.

Les conditions ci-dessus étant respectées, la tension u_{DM} à la sortie du montage détecteur d'enveloppe aura une allure d'autant plus proche de celle du signal informatif (u modulant) que la fréquence F de la porteuse sera élevée [Doc. 10].



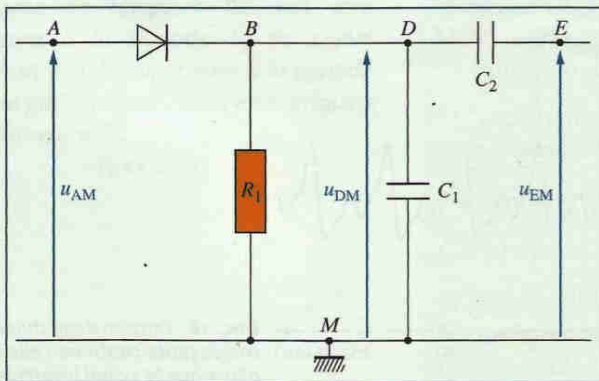
Doc. 9 Le condensateur se décharge suffisamment vite. L'allure de la courbe de la tension u_{DM} se rapproche de celle de l'enveloppe du signal modulant.



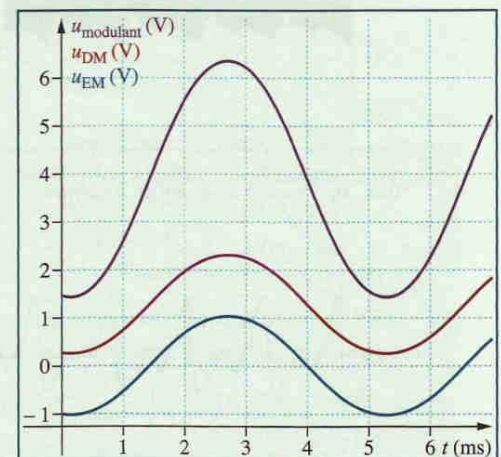
Doc. 10 Aux petites oscillations près, la tension aux bornes du détecteur d'enveloppe a même allure (courbe rouge) que la tension modulante. Plus la fréquence de la porteuse est élevée, plus les petites oscillations sont lissées et elles sont moins visibles.

2.3 Élimination de la composante continue

La tension u_{DM} a la même allure et la même fréquence que celles du signal informatif. Cette tension a une composante continue que l'on élimine en ajoutant un condensateur de capacité C_2 à la sortie du montage détecteur d'enveloppe [Doc. 11]. La tension u_{EM} est symétrique par rapport à l'axe des abscisses [Doc. 12].



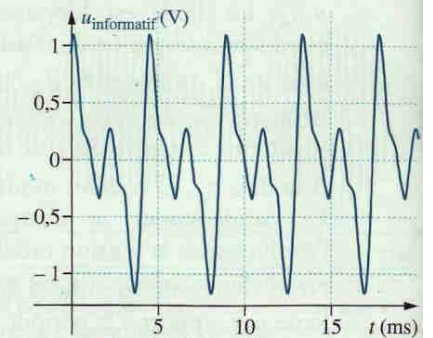
Doc. 11 Montage permettant de récupérer le signal informatif sans composante continue.



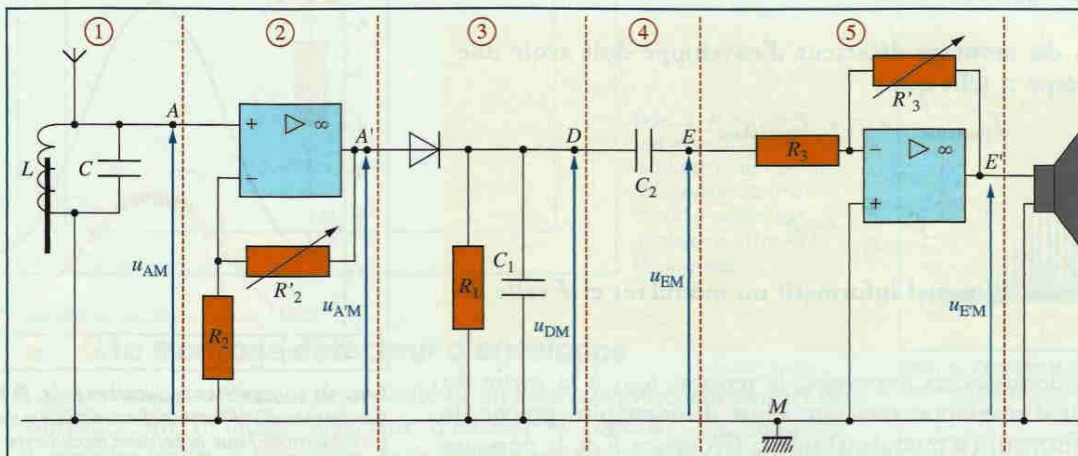
Doc. 12 $u_{modulant}$: signal informatif ; u_{DM} : signal à la sortie du montage détecteur d'enveloppe. Les petites oscillations du document 10 ne sont pas visibles, car la fréquence de la porteuse est élevée ; u_{EM} : signal sans composante continue.

3. Différents étages d'un récepteur radio

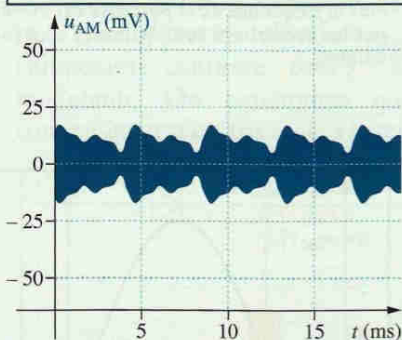
- La partie ① du montage d'un récepteur radio [Doc. 14] comporte une antenne qui reçoit une multitude d'ondes hertziennes que le circuit, d'accord filtre afin de sélectionner le signal modulé en amplitude de l'onde radio désirée. On obtient le signal u_{AM} [Doc. 15].
- Dans la partie ② le signal modulé en amplitude est amplifié. On obtient $u_{A'M}$ [Doc. 16].
- La partie ③ est le montage détecteur d'enveloppe. À sa sortie, la tension u_{DM} [Doc. 17] a même allure et même fréquence que le signal informatif [Doc. 13].
- Le condensateur de la partie ④ enlève la composante continue de la tension u_{DM} ; on obtient u_{EM} [Doc. 18].
- La tension u_{EM} est trop faible pour alimenter le haut-parleur. La partie ⑤ amplifie le signal; on obtient $u_{E'M}$ qui alimente le haut-parleur.



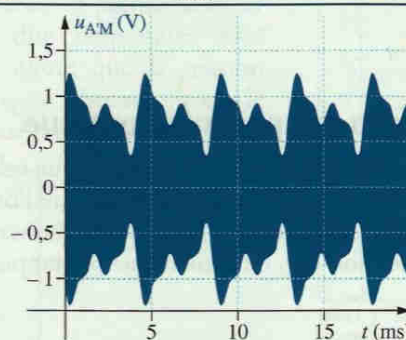
Doc. 13 Signal informatif.



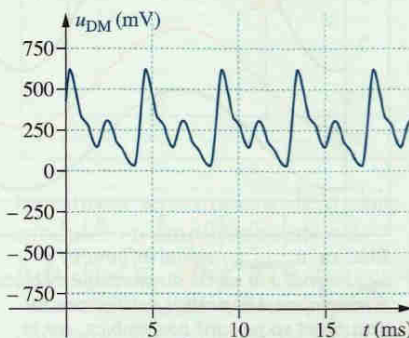
Doc. 14 Schéma de montage d'un récepteur radio.



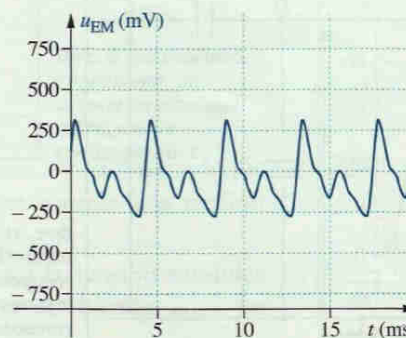
Doc. 15 Tension modulée en amplitude.



Doc. 16 Tension modulée amplifiée.



Doc. 17 Tension démodulée avec composante continue.



Doc. 18 Tension démodulée sans composante continue : elle a même allure que le signal informatif.

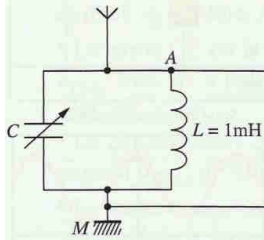
Exercices Spé Physique 11 : La démodulation d'amplitude et le récepteur radio

S'autoévaluer

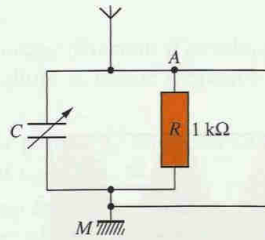
1. QCM : Circuit d'accord

On souhaite détecter le signal radio correspondant à France Inter dont la fréquence de la porteuse est égale à 162 kHz.

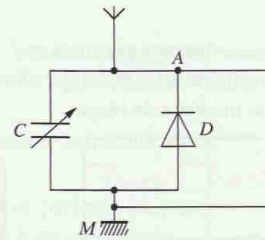
1. Quel devra être le montage utilisé ?



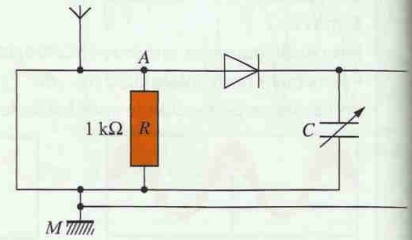
Montage A



Montage B



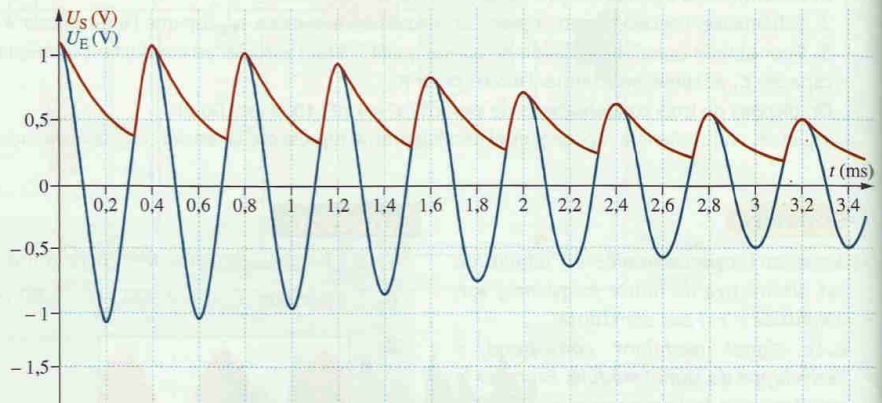
Montage C



Montage D

2. QCM : Qualité de démodulation

Une tension modulée en amplitude par un signal sinusoïdal est appliquée à l'entrée d'un montage démodulateur. On obtient les courbes représentées ci-contre en visualisant simultanément la tension d'entrée (courbe bleue) et la tension de sortie (courbe rouge) du montage démodulateur. La démodulation n'est pas bonne. Choisir ci-dessous l'explication satisfaisante.



- a. La diode du montage démodulateur ne fonctionne pas.
- b. La constante de temps $\tau = RC$ est trop faible par rapport à la période du signal de la porteuse.
- c. La constante de temps $\tau = RC$ est trop grande par rapport à la période du signal de la porteuse.

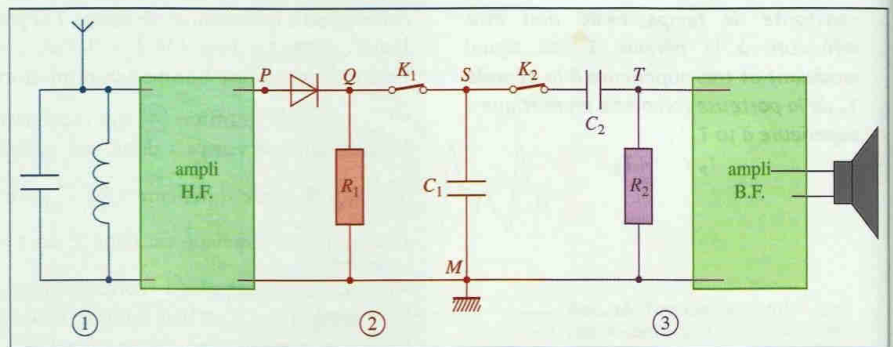
3. QCM : Récepteur radio

Le schéma ci-contre correspond à un récepteur radio à modulation d'amplitude.

Trois portions de circuit ont été numérotées de 1 à 3.

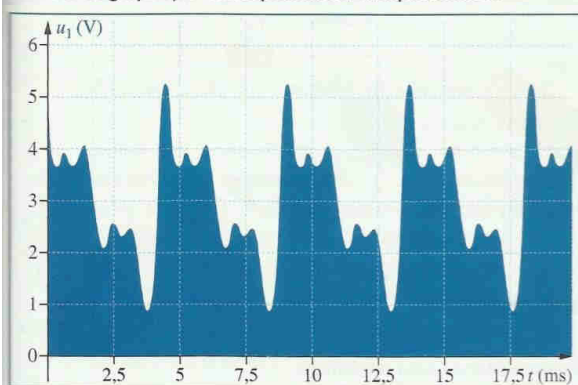
1. Parmi la liste ci-dessous, quels sont les noms correspondant à chaque portion de circuit ?

- a. portion permettant de supprimer la composante continue ;
- b. détecteur d'enveloppe ;
- c. circuit d'accord ;
- d. circuit multiplieur.

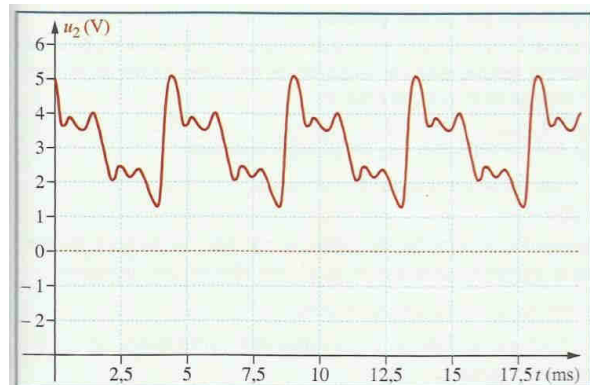


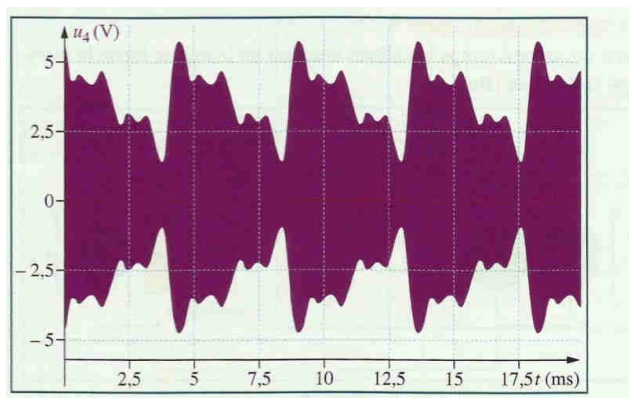
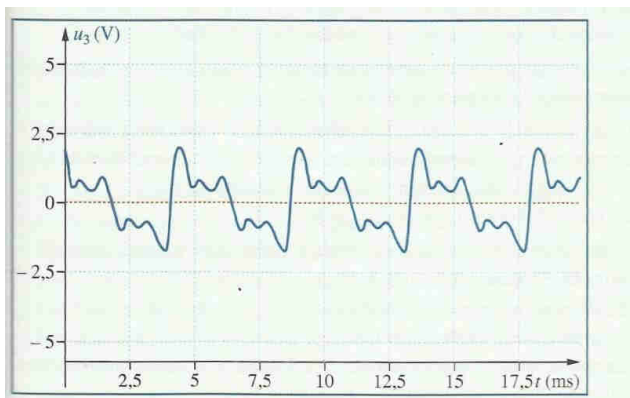
2. Pour comprendre le rôle joué par chaque portion de circuit on observe successivement les tensions à l'aide d'un ordinateur muni d'un système d'acquisition :
- * U_{PM} , K_1 et K_2 étant ouverts ;
 - * U_{QM} , K_1 et K_2 étant ouverts ;
 - * U_{SM} , K_1 étant fermé et K_2 étant ouvert ;
 - * U_{TM} , K_1 et K_2 étant fermés.

Associer le graphique correspondant à chaque tension.



3. Pour chaque graphique indiquer s'il s'agit :
- a. de la tension modulée ;
 - b. de la tension démodulée sans composante continue ;
 - c. de la tension redressée ;
 - d. de la tension démodulée avec une composante continue.





Utiliser les acquis

6. Réception de l'onde modulée

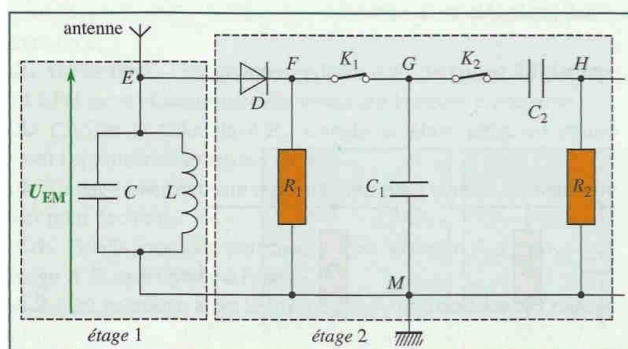
D'après Bac, Antilles 2003

Pour capter une onde électromagnétique modulée, on utilise le dispositif représenté ci-dessous [Doc. 1] où on considère que la diode D est idéale. C'est un récepteur d'ondes hertziennes, qui constitue une chaîne électronique dont on va étudier certains étages.

1. L'étage 1 est un circuit constitué par une association « condensateur-bobine » en parallèle.

a. Quel est le rôle du dipôle (L , C) parallèle utilisé ici comme filtre passe-bande pour la tension ?

b. La théorie montre que l'amplitude de la tension u_{EM} est maximale pour une fréquence de l'onde captée f_0 telle que $4\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot L \cdot C = 1$.



Doc. 1

Sachant que la valeur de la capacité C est 0,47 nF, déterminer la valeur à donner à l'inductance L de la bobine pour capter France Inter grandes ondes (fréquence de la station : 162 kHz).

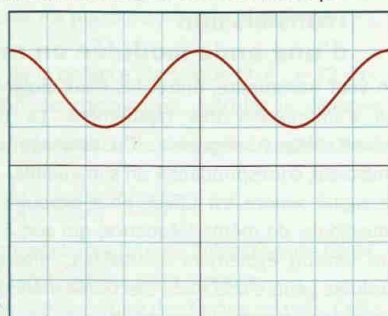
La réception de l'onde émise sera alors optimale.

2. Après réception du signal modulé, il faut le démoduler.

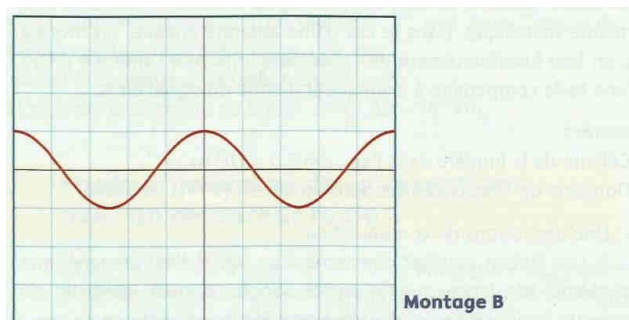
Cette démodulation est réalisée par l'étage 2.

Pour comprendre les rôles de chaque partie de ce stage, on relie successivement l'entrée d'un oscilloscope aux bornes E , G et H du montage ci-dessus.

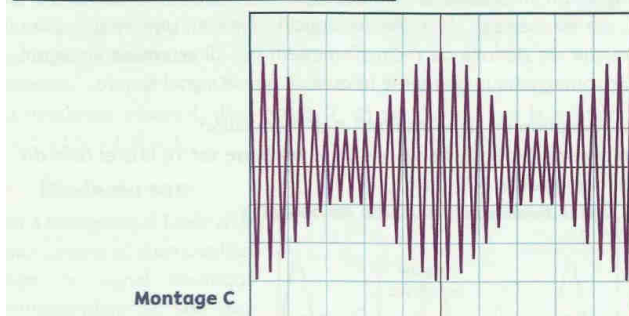
On visualise successivement les trois tensions u_{EM} , u_{GM} et u_{HM} sur l'écran, M étant la masse du circuit. Les oscillogrammes des trois tensions sont obtenus en utilisant le mode DC de l'oscilloscope.



Montage A



Montage B



Montage C

En l'absence de signal appliqué aux voies, les traces obtenues sur l'écran coïncident avec la ligne horizontale médiane.

a. Les deux interrupteurs K_1 et K_2 étant ouverts, identifier u_{EM} en indiquant l'oscillogramme A, B ou C correspondant. Justifier.

b. K_1 étant fermé et K_2 étant ouvert, identifier u_{GM} en indiquant l'oscillogramme correspondant.

Quel est le rôle de l'ensemble diode D et circuit R_1C_1 parallèle ?

c. Les deux interrupteurs K_1 et K_2 étant fermés, identifier u_{HM} en indiquant l'oscillogramme correspondant.

Quel est le rôle du dipôle R_2C_2 série utilisé ici comme filtre passe-haut ?

d. On souhaite obtenir une démodulation de bonne qualité en choisissant la valeur de la capacité C_1 adaptée. La constante de temps R_1C_1 doit alors satisfaire aux conditions suivantes :

• $R_1C_1 < T_s$ avec T_s période du signal modulant ;

• $R_1C_1 > 10T_p$ avec T_p période de la porteuse.

La période T_s du signal sonore à transporter est égale à 100 μs , et la période de la porteuse est $T_p = 6,25 \mu s$. Le conducteur ohmique a une résistance $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$.

Déterminer, dans la liste suivante, la valeur de la capacité C_1 permettant d'obtenir la meilleure démodulation possible.

Valeurs des capacités disponibles : 200 pF, 7 nF, 22 nF et 220 nF.