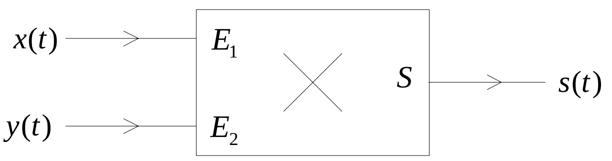
- PROBLEME D' ELECTRONIQUE 2 -

• ENONCE :

« Quelques applications d'un circuit multiplieur »

Introduction : on donne ci-dessous le schéma fonctionnel d'un circuit multiplieur



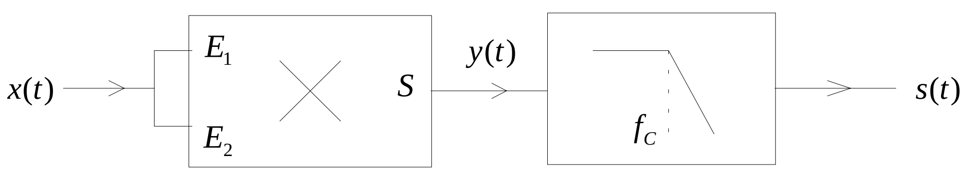
Pour un opérateur multiplieur **sans défaut**, la relation entrée/sortie est donnée par:

$$\boxed{s(t) = k \times x(t) \times y(t)}$$

Rq : pour les applications numériques, on prendra $\boxed{k = 0{,}1\ V^{-1}}$

I. Détection quadratique

• On envisage la multiplication d'un signal par lui-même, puis le filtrage par un filtre passe-bas de fréquence de coupure « correctement » choisie :



filtre passe-bas

1.1) Montrer que le montage précédent permet d'accéder au carré de la « valeur efficace vraie » du signal $x(t)$, soit : $\boxed{X_{eff}^2 = \left\langle x^2(t) \right\rangle_t = \frac{1}{T} \times \int_0^T x^2(t)dt}$

Rq : cette notion est à relier à celle de « puissance moyenne d'un signal » $P_{moy} = K \left\langle x^2(t) \right\rangle_t$ (ex : effet Joule, où $P_J(t) = Ri^2(t)$; vecteur de Poynting pour une OPPM dans le vide : $\left|\vec{\Pi}\right| = \frac{E^2}{\mu_0 c}$)

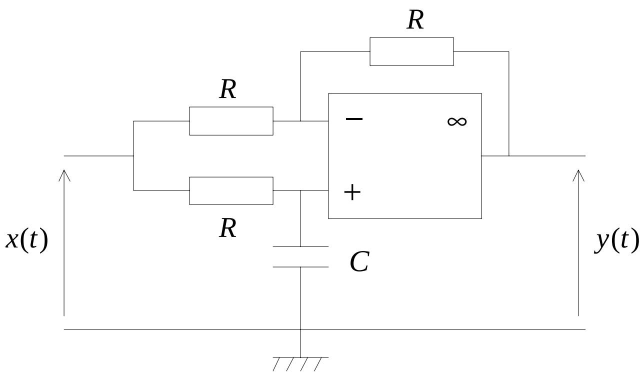
1.2) On s'intéresse au cas suivant :

$x(t) = a\cos(\omega t)$, avec $a = 5\ V$ et $f = \frac{\omega}{2\pi} = 1KHz$; le filtre passe-bas est un simple circuit RC

$\Rightarrow$ proposer des valeurs pour R et C, en justifiant les choix retenus.

II. Mesure d'impédances par détection synchrone

2.1) Circuit déphaseur

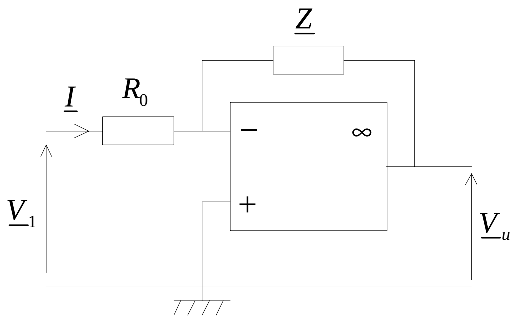


L' AO est idéal et fonctionne en régime linéaire

a) Déterminer la fonction de transfert du montage

b) Pour quelle valeur de $RC\omega$ a-t-on un déphasage de $\varphi = -\pi/2$?

2.2) Convertisseur courant-tension



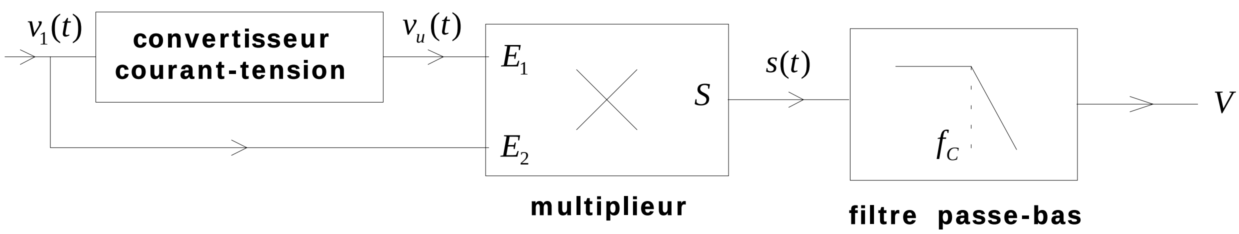
$\underline{Z} = R + jX$ est une impédance à déterminer (voir paragraphes suivants).

L'A.O est parfait et fonctionne en régime linéaire.

R_0 est une résistance **connue** .

Question : que représentent les tensions $\underline{V}_1$ et $\underline{V}_u$?

2.3) Détection de la partie réelle R



• Soit : $v_1(t) = V_1 \cos(\omega t)$, avec V_1 **connue**.

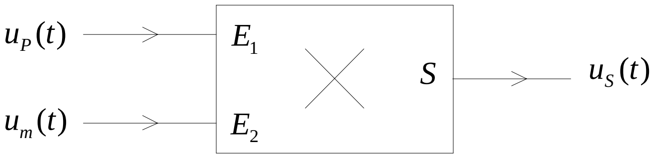
• En supposant le filtrage **parfait**, exprimer V en fonction de k, V_1, R et R_0 ; en déduire que la mesure de V permet d'accéder à celle de R, partie réelle de l'impédance $\underline{Z}$ inconnue.

2.4) Détection de la partie imaginaire X

En utilisant le circuit déphaseur de la question 3.1), proposer une modification à apporter au montage précédent permettant la mesure de X , partie imaginaire de l'impédance $\underline{Z}$.

III. Modulation d'amplitude

• On reprend le circuit multiplieur avec les notations suivantes :



$$u_m(t) = U_0 + A_m \cos(\omega_m t)$$
$$u_P(t) = A_P \cos(\omega_P t)\ , \ \text{avec}\ \ \omega_P \gg \omega_m$$
$$m = \frac{A_m}{U_0}$$

• $u_m(t)$ est appelé « **signal modulant** », $u_P(t)$ est le « **signal porteur** » ou « **porteuse** », et m est le « **taux de modulation** ».

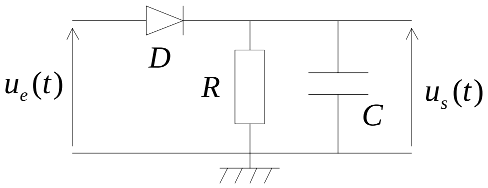
3.1) Déterminer les trois pulsations (ou les trois fréquences) que comporte le signal modulé $u_S(t)$; quelle est l'importance relative de l'amplitude de ces trois composantes ?

3.2) Représenter sommairement $u_S(t)$ (on pourra prendre $\omega_P \simeq 10\times\omega_m$) dans 2 cas : $m \prec 1$, puis $m \succ 1$. Dans ce dernier cas, la partie positive de « l'enveloppe » de $u_S(t)$ est-elle égale à la composante alternative de $u_m(t)$, soit $\widetilde{u_m}(t) = A_m \cos(\omega_m t)$?

IV. Démodulation d'amplitude

4.1) Détecteur de crête (ou d'enveloppe)

• On considère le circuit suivant :



D est une diode, considérée comme **idéale** (tension de seuil nulle et résistance interne nulle).
On choisit la constante de temps τ telle que:

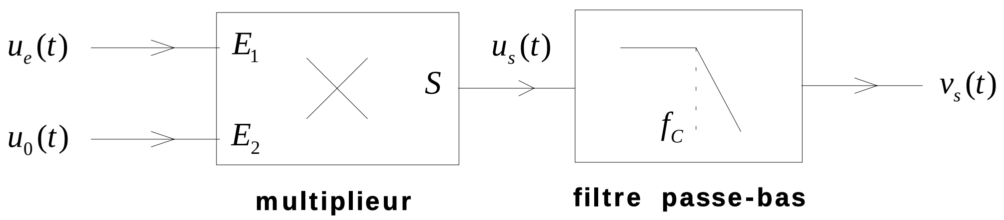
$$T_p = \frac{1}{f_p} \ll \tau = RC \ll T_m = \frac{1}{f_m} \quad (\text{avec: } f_m = \frac{\omega_m}{2\pi})$$

• $u_e(t) = k\times u_m(t)\times u_p(t)$ est le signal **modulé** du paragraphe précédent.

• <u>Question</u> : montrer, sans développements calculatoires, que la tension $u_s(t)$ est pratiquement égale à $\widetilde{u_m}(t) = A_m \cos(\omega_m t)$, d'autant mieux que la condition $\omega_p \gg \omega_m$ est réalisée ; cette démodulation par détection d'enveloppe fonctionne-t-elle pour $m \succ 1$?

4.2) Détection synchrone

• On utilise un deuxième circuit multiplieur, au niveau du démodulateur, selon le schéma suivant :



- $u_e(t) = k \times u_m(t) \times u_p(t)$ est le signal **modulé** du paragraphe IV.

  $u_0(t) = U_0 \cos(\omega_p t)$ est une tension délivrée par un « **oscillateur local** » (au niveau du démodulateur) de **même fréquence** f_p que la **porteuse**.

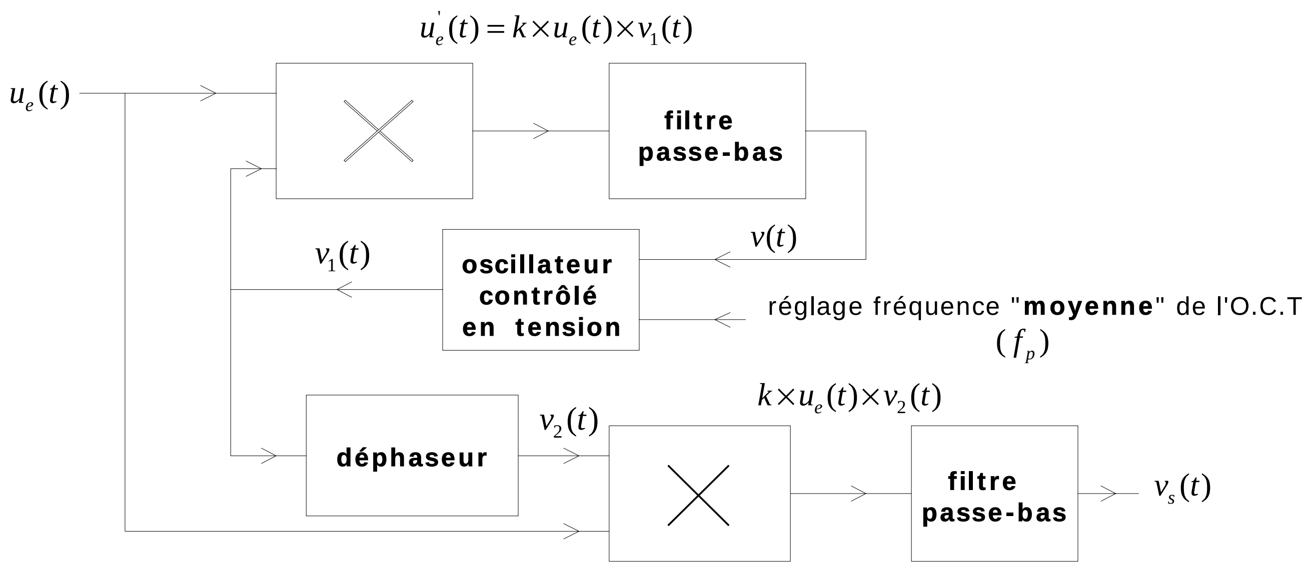
  a) Déterminer les cinq composantes du signal $u_s(t)$: une composante continue, « l'information » basse fréquence (B.F) f_m, trois composantes de haute fréquence (H.F).

  b) Comment choisir la fréquence de coupure $f_C = \dfrac{1}{2\pi RC}$ du filtre pour que la tension $v_s(t)$ ne conserve que l'information B.F ? (cette composante sera superposée à la composante continue, que l'on pourra elle-même filtrer très facilement, par exemple grâce à un condensateur placé en série).

  c) Ce type de détection fonctionne-t-il pour $m \succ 1$? Quel en est l'intérêt ? Pourquoi parle-t-on de détection synchrone ?

V. Boucle à verrouillage de phase

- En pratique, « l'oscillateur local » (au niveau du poste de réception) ne peut être rigoureusement synchrone avec la porteuse (générée par l'émetteur radio), à cause des fluctuations de fréquence ou de phase de cet oscillateur local ou même de la porteuse : les deux oscillateurs présentent alors un déphasage instantané $\varphi(t)$ évoluant **lentement** au cours du temps.
- Pour remédier au problème occasionné par ce déphasage, on réalise un **système bouclé** (en anglais : « Phase Lock Loop » ou « P.L.L » comme on peut le voir sur certains récepteurs radio) :



- Le signal à démoduler est toujours de la forme : $\boxed{u_e(t) = U_e \times [1 + m\cos(2\pi f_m t)] \times \cos(2\pi f_p t)}$

où f_m est la fréquence du signal modulant (« l'information ») et f_p la fréquence de la porteuse.