

par Gilbert Gastebois

1. Modulation.

1.1. Théorie de la modulation

Porteuse : $U_p(t) = U_p \cos(2\pi f_p t)$

Modulante $U_s(t) = U_s \cos(2\pi f_s t) + U_0$ (U_0 est le décalage de tension ou offset)

Porteuse modulée $U(t) = k U_s(t) U_p(t)$

Le multiplieur fait le produit des deux tensions : $U(t) = k U_s(t) U_p(t)$

(k est un coefficient multiplicateur : ex : $k = 0,1$)

$$U(t) = k(U_s \cos(2\pi f_s t) + U_0) U_p \cos(2\pi f_p t)$$

$$U(t) = kU_0 U_p \cos(2\pi f_p t) + kU_s U_p \cos(2\pi f_s t) \cos(2\pi f_p t)$$

$$U(t) = kU_0 U_p (\cos(2\pi f_p t) + U_s / U_0 \cos(2\pi f_s t) \cos(2\pi f_p t))$$

$$U(t) = kU_0 U_p (1 + U_s / U_0 \cos(2\pi f_s t)) \cos(2\pi f_p t)$$

$$U(t) = A (1 + m \cos(2\pi f_s t)) \cos(2\pi f_p t) \quad \text{avec } A = kU_0 U_p \quad \text{et } m = U_s / U_0$$

A est l'amplitude moyenne et m est le taux de modulation

1.2. Qualité de la modulation

Pour que la tension de crête reste positive, il faut que $U_s < U_0$ et donc que

$m < 1$ on a alors une bonne modulation

Si $U_s > U_0$ et donc **$m > 1$ on a surmodulation**

1.3. Spectre de la porteuse modulée

$$U(t) = A (1 + m \cos(2\pi f_s t)) \cos(2\pi f_p t) =$$

$$A \cos(2\pi f_p t) + mA \cos(2\pi f_s t) \cos(2\pi f_p t) \cos(2\pi f_s t) \cos(2\pi f_p t) =$$

$$1/2 (\cos(2\pi f_p t + 2\pi f_s t) + \cos(2\pi f_p t - 2\pi f_s t)) =$$

$$1/2 (\cos(2\pi(f_p + f_s)t) + \cos(2\pi(f_p - f_s)t))$$

$$\text{donc } U(t) = A \cos(2\pi f_p t) + mA/2 \cos(2\pi(f_p + f_s)t) + mA/2 \cos(2\pi(f_p - f_s)t)$$

donc $U(t)$ est la somme de trois tensions :

- Une tension de fréquence f_p et d'amplitude A
- Une tension de fréquence $f_p - f_s$ et d'amplitude $mA/2$
- Une tension de fréquence $f_p + f_s$ et d'amplitude $mA/2$

2. Démodulation.

2.1. Redressement

La diode bloque le courant si la tension à ses bornes est inférieure à U_d

(U_d de l'ordre de 0,2 V pour une diode à faible seuil)

La tension à la sortie de la diode est donc soit égale à $U - U_d$ (alternance positive) ou nulle (alternance négative) donc seule l'alternance positive est transmise.

2.2. Détection de crête

Alternance négative : Le condensateur C se décharge dans la résistance R. Décharge exponentielle de constante de temps $\tau = RC$.

Alternance positive : Le condensateur C se recharge et la tension est égale à la tension de sortie de la diode

Pour que la détection soit efficace, il faut $\tau \gg 1/f_p$ et $\tau \ll 1/f_s$. Si τ est trop faible, le reste de dent de scie de crête est trop grande et si τ est trop fort, la crête n'est pas suivie fidèlement. (En pratique τ doit être de l'ordre de $10/f_p$)

2.3. Suppression du décalage

On ajoute un filtre passe-haut :

$$U = 1/(jC\omega) i + Ri \quad \text{et} \quad U_s = Ri \quad (\omega = 2\pi f \quad \text{et} \quad j = -1^{1/2})$$

$$i = U/(R + 1/(jC\omega)) \quad \text{et} \quad \text{donc} \quad U_s = R/(R + 1/(jC\omega)) U$$

$$\text{donc} \quad U_s = R/(R^2 + 1/(C\omega)^2)^{1/2} U = U/(1 + 1/(RC\omega)^2)^{1/2}$$

Si $\omega \ll 1/RC$, U_s est très faible et si $\omega = 0$, $U_s = 0$ et si $\omega \gg 1/RC$, $U_s = U$

La tension de décalage, tension continue ($\omega = 0$) est donc supprimée.

Pour que la tension modulante soit intégralement transmise, il faut $RC \gg 1/\omega_s$

(RC de l'ordre de 0,05 s)

2.4. Lissage

On ajoute un filtre passe-bas :

$$U = i/(jC\omega) + Ri \quad \text{et} \quad U_s = i/(jC\omega) \quad (\omega = 2\pi f)$$

$$i = U/(R + 1/(jC\omega)) \quad \text{et} \quad \text{donc} \quad U_s = U/(jC\omega(R + 1/(jC\omega)))$$

$$\text{donc} \quad U_s = U/((RC\omega)^2 + 1)^{1/2}$$

Si $\omega \gg 1/RC$, U_s est très faible et si $\omega \ll 1/RC$, $U_s = U$

Pour que la tension modulante de fréquence f_s soit intégralement transmise et que

l'oscillation restante de fréquence f_p soit supprimée, il faut $RC \ll 1/\omega_s$ et

$RC \gg 1/\omega_p$ (RC de l'ordre de 10^{-5} s)