# Étude d'un circuit « doubleur de fréquence » .

## 1. Présentation.

Un « doubleur » de fréquence est un montage qui à partir d'une tension d'entrée sinusoïdale de fréquence $F_e$ génère une tension de sortie sinusoïdale dont la fréquence $F_s$ est exactement le double de la fréquence d'entrée $F_e$ .

**Exemple d'application :**

Ce type de fonction existe dans les émetteurs et récepteurs stéréophoniques ou l'on a besoin de générer un signal sinusoïdal de fréquence 38kHz à partir d'une composante sinusoïdale de fréquence 19kHz.

Dans ce TP nous allons essayer de réaliser un montage qui génère un signal sinusoïdal de fréquence $F_s$ = 2kHz à partir d'un signal sinusoïdal de fréquence $F_e$ = 1kHz.
Cette fonction sera réalisée en associant un quadripôle non linéaire avec un filtre sélectif.

**Schéma proposé :**

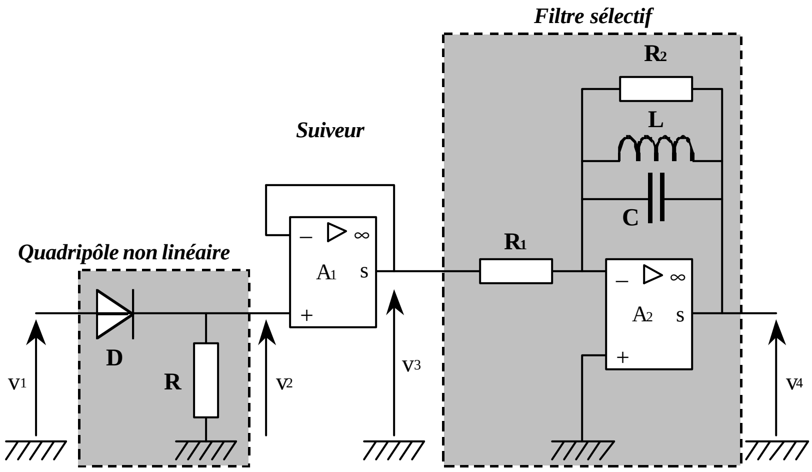


**Figure 1**

## 2. Étude du quadripôle non linéaire seul.

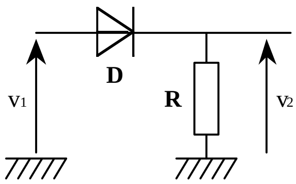


**Figure 2.**

$R = 10\,k\Omega$ , D : diode 1N4148

On appliquera en entrée du montage une tension $v_1$ sinusoïdale de valeur crête 8V et de fréquence $F_e$ = 1kHz.

**2.1.** Qu'est-ce qui permet d'affirmer que ce quadripôle est un quadripôle non linéaire ?

**2.2.** Tracer le spectre de $v_1$ sur le document réponse.

### Étude expérimentale.

**2.3.** Relever sur un même graphique les oscillogrammes des signaux $v_1$ et $v_2$ .

**2.4.** Mesurer $\hat{V}_2$ la valeur crête de la tension $v_2$ .

**2.5.** Mesurer $\langle v_2 \rangle$ la valeur moyenne de $v_2$ .

**2.6.** Mesurer $V_2$ la valeur efficace de $v_2$ .

**Exploitation des résultats.**

**2.7.** A partir des formules de décomposition données en annexe, calculer la valeur crête des harmoniques de $v_2$ (Tableau 1) , puis représenter le spectre de la tension $v_2$ sur le document réponse.

**2.8.** Que vaut la composante continue de $v_2$ ? Comparer cette valeur avec sa valeur expérimentale.

**2.9.** Comparer les spectres de $v_1$ et de $v_2$. Conclusion : quelle est la propriété essentielle d'un quadripôle non linéaire ?

**2.10.** Comment peut on s'assurer qu'un quadripôle est bien linéaire ?

## 3. Calcul des éléments du filtre sélectif.

*Le filtre sélectif à pour fonction d'amplifier l'harmonique de fréquence 2kHz qui nous intéresse et d'atténuer les autres.*

**Hypothèses.**

- On considérera que l'amplificateur opérationnel est parfait.
- L'étude sera faite en régime sinusoïdal de pulsation $\omega = 2\pi f$ avec l'aide de la notation complexe.

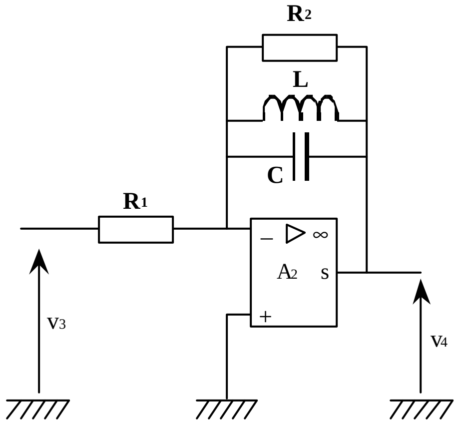


**Figure 3**

**Remarque :** on appellera $\underline{Y}_2$ l'admittance du groupement $R_2$ , L et C en parallèle.

**3.1.** Démontrer que la fonction de transfert du filtre $\underline{T} = \dfrac{\underline{V}_4}{\underline{V}_3}$ vaut :

$$\underline{T} = \frac{-1}{R_1 . \underline{Y}_2}$$

**3.2.** Exprimer $\underline{Y}_2$ en fonction de $R_2$ , L , C et $\omega$.

**3.3.** Mettre la fonction de transfert sous la forme suivante :

$$\underline{T} = \frac{T_0}{1 + jB} \quad \text{( B est réel et dépend de } \omega \text{).}$$

On rappelle que la fonction de transfert normalisée d'un filtre passe-bande du 2$^{ème}$ ordre a la forme suivante :

$$\underline{T} = \frac{T_0}{1 + j\ Q(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})} = \frac{T_0}{1 + j(Q\frac{\omega}{\omega_0} - Q\frac{\omega_0}{\omega})}$$

**3.4.** Démontrer en identifiant les différents termes que l'on a :

$$T_0 = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$Q = R_2 C \omega_0$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{(en déduire l'expression littérale de } f_0 \text{)}$$

On prendra pour l'inductance L une bobine sans noyau, dans ce cas on a $L \approx 0{,}1H$ (dans ce domaine de fréquence on peut négliger sa résistance interne).

**3.5.** Calculer C pour que le filtre ait une fréquence centrale $f_0$ = 2kHz.

On souhaite avoir une bande passante $\Delta f$ = 200Hz.

**3.6.** Calculer le facteur de qualité Q qui permet d'avoir cette bande passante , en déduire la valeur de la résistance $R_2$ correspondante.

**3.7.** Calculer $R_1$ (on prendra une valeur normalisée de la série E12) pour avoir une amplification à la résonance $T_0 \approx -1,25$.

**3.8.** Donner une valeur approchée des fréquences de coupure $f_B$ et $f_H$ du filtre si on le considère comme très sélectif.

## 4. Étude expérimentale du filtre sélectif seul.

On appliquera en entrée du filtre un signal $v_3$ sinusoïdal de valeur crête 1V et de fréquence variable.

**4.1.** Régler la fréquence du signal d'entrée à 2kHz. Ajuster la capacité C à partir de la valeur calculée pour que la résonance du filtre ait lieu à cette fréquence. Relever C' sa valeur.

**4.2.** Mesurer $T_0$ l'amplification en tension du filtre à la résonance.

**4.3.** Relever expérimentalement la courbe du module de la fonction de transfert T en fonction de la fréquence f sur le document réponse.

## 5. Étude théorique de l'ensemble.

On applique en entrée de l'ensemble le signal suivant :

$v_1(t) = 8.\sin(2\pi.F_e.t)$ $F_e = 1kHz$

**5.1.** Donner la relation liant $v_3$ à $v_2$ . A quoi sert le montage suiveur ?

**5.2.** Calculer la valeur crête de chacun des harmoniques du signal de sortie $v_4$ à partir du spectre de $v_2$ et du graphique T (f) (Tableau 1).

**5.3.** Tracer sur le document réponse le spectre de $v_4$ .

**5.4.** Quel est l'harmonique dont l'amplitude est la plus élevée? Quel est sa valeur crête ainsi que sa fréquence ?

**5.5.** Conclusion : donner l'expression de $v_4$ (t) si le filtre est considéré comme parfaitement efficace.

## 6. Étude expérimentale de l'ensemble.

Réaliser le montage Figure 1 en appliquant en entrée le signal suivant:

$v_1(t) = 8.\sin(2\pi.F_e.t)$ $F_e = 1kHz.$

**6.1.** Relever sur un même graphique $v_1$ (t) et $v_4$ (t) (l'oscilloscope sera synchronisé sur $v_1$ (t) ).

**6.2.** La tension $v_4$ est-elle parfaitement sinusoïdale ? Expliquer la distorsion observée. Comment peut-on réduire cette distorsion ?

**Tableau 1 : décomposition harmonique des tensions.**

| Fréquence des harmoniques (Hz) | 0 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Valeurs crête des harmoniques de $v_2$ (V) | | | | | | | |
| Module de la fonction de transfert du filtre | | | | | | | |
| Valeurs crête des harmoniques de $v_4$ (V) | | | | | | | |

**Annexe : Décomposition harmonique d'un signal redressé simple alternance.**

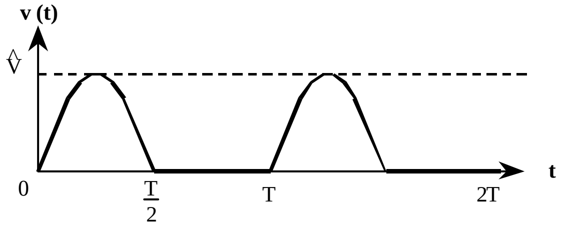


**Figure 4**

La décomposition harmonique du signal redressé simple alternance représenté Figure 4 donne :

$$v(t) = \hat{V}\left[\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2}\sin(2\pi.F.t) - \frac{2}{\pi(2^2-1)}\cos(2\pi.2F.t) - \frac{2}{\pi(4^2-1)}\cos(2\pi.4F.t) - \frac{2}{\pi(6^2-1)}\cos(2\pi.6F.t) - \ldots\right]$$

$F = \frac{1}{T}$ : fréquence de v (t).