

## Visualisation de la tension, de l'intensité, de la puissance instantanée dans un circuit RLC

par Josette LE MOAL

### 1. BUT DE LA MANIPULATION

Soit un circuit RLC série, alimenté sous une tension sinusoïdale, en utilisant un multiplieur et un commutateur électronique, nous nous proposons de visualiser, au cours d'une séance de Travaux Pratiques, sur l'écran d'un seul oscillographe, les variations de la tension, de l'intensité et de la puissance instantanées, en particulier à la résonance, de vérifier la relation :

$p = UI \cos \varphi + UI \cdot \cos (2 \omega t + \varphi)$  et de déterminer la puissance moyenne

$$\mathcal{P} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = UI \cos \varphi.$$

### 2. MONTAGE (figure 1)

Le circuit comprend en série : le générateur basse fréquence (GBF) (a), le dipôle RLC (b), un détecteur de courant (c) et branchés en dérivation un multiplieur (d) et un commutateur électronique (e). Nous allons détailler les différents modules.

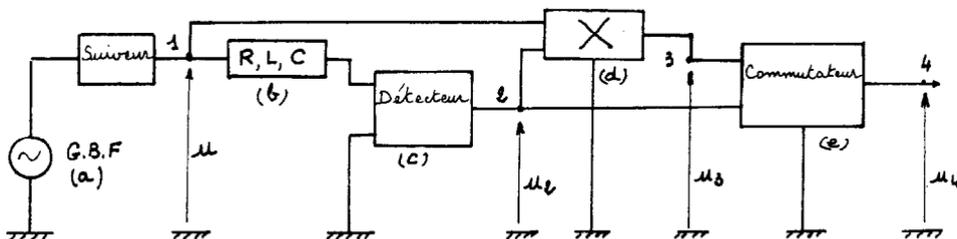


Figure 1

### 2.1. Module (a) : alimentation

Par suite de son impédance interne, le générateur B.F. ne délivre pas une tension efficace constante en particulier à la résonance si la résistance  $R$  du circuit RLC est faible.

On utilisera donc un montage suiveur à A.O.

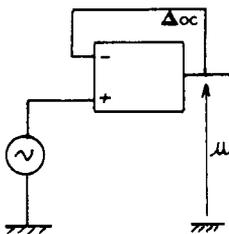


Figure 2

En prenant  $\hat{U} = 2 \text{ V}$  et  $R \geq 150 \ \Omega$  l'intensité maximale du courant sera de l'ordre de 13 mA (l'A.O. ne peut débiter plus de 20 mA).

### 2.2. Module (b) : dipôle R.L.C.

Le choix des composants permet de passer par la résonance en faisant varier la fréquence sans changer de gamme et d'obtenir une acuité satisfaisante.

$$\begin{array}{llll}
 R = 140 \ \Omega & L = 48 \text{ mH} & r_b = 8 \ \Omega & c = 0,1 \ \mu\text{F} \\
 f_0 = 2,3 \text{ KHz} & Q = 4,7 & \text{Bande passante} = 0,5 \text{ kHz} & 
 \end{array}$$

### 2.3. Module (c) : détecteur de courant

En général, pour obtenir l'image de  $i$ , on place en série avec le dipôle RLC un résistor  $r$  de faible valeur ; mais alors, le dipôle RLC n'est plus alimenté sous la tension  $u$  mais  $u' = u - r i$ .

On peut supprimer cette chute de tension en réalisant le montage de la Figure 4 grâce à un double A.O. (TL 082). Les entrées + et - des A.O. sont au même potentiel en régime linéaire.

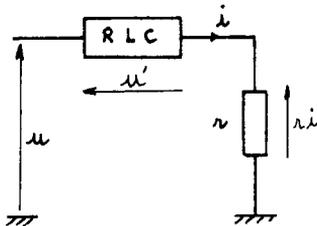


Figure 3

Le circuit RLC est bien alimenté sous la tension  $u$ , et la tension  $u_2$  est l'image du courant  $i$  qui le traverse.

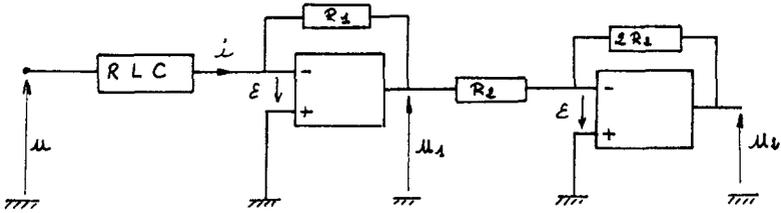


Figure 4

Les amplificateurs étant idéaux, on retrouve aisément les relations :

$$u_1 = -R_1 i \quad ; \quad u_2 = -u_1 \times \frac{2R_2}{R_2} = -2 u_1 \text{ ou encore } u_2 = 2 R_1 i$$

Avec  $R_1 = 500 \Omega$  et  $R_2 = 10 \text{ k} \Omega$ , on obtient  $u_2 = 1000 i$ .

2.4. **Module (d) : multiplieur**

Le multiplieur choisi est un circuit intégré ne demandant aucun réglage préalable et qui réalise le produit des deux tensions  $u_1$  et  $u_2$  tel que :

$$u_3 = \frac{u_1 \cdot u_2}{10}$$

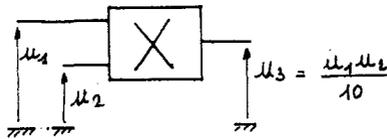


Figure 5

Dans le cas de la figure 1, cette relation se traduit par :

$$u_3 = \frac{u \cdot u_2}{10} = \frac{u \times 1000 i}{10} = 100 u i \quad \text{ou} \quad \boxed{u_3 = 100 p}$$

L'annex 1, donne le brochage du multiplieur AD 534 JD.

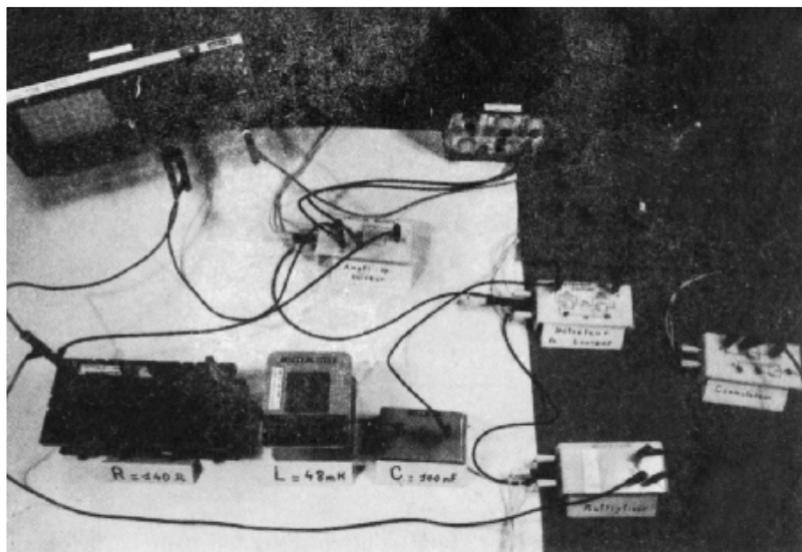
### 2.5. Module (e) : commutateur électronique

C'est un circuit intégré constituant un quadruple commutateur bilatéral commandé par un multivibrateur astable, à portes logiques (ce qui permet de montrer une application de ce montage). Ce circuit permet de visualiser sur la voie B de l'oscillographe, alternativement la tension  $u_2$  (c'est-à-dire le courant  $i$ ) et la tension  $u_3$  (c'est-à-dire la puissance  $p$ ).

L'annexe 2 indique le principe du montage du commutateur.

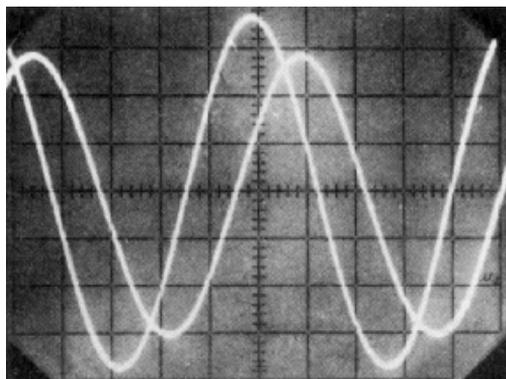
## 3. MANIPULATION

### 3.1. Détermination de la puissance moyenne à l'aide des oscillogrammes $u(t)$ et $i(t)$



Photographie du montage global.

La voie A de l'oscillographe est en 1 et la voie B en 2, on visualise  $u(t)$  et  $u_2(t)$  ou  $1000 i$ .



voie A : 0,5 V/div  
 voie B : 1 V/div  
 base de temps : 0,1 ms/div  
 $T = 5,5 \times 0,1 = 0,55 \text{ ms}$   
 $f = \frac{1}{T} = 1818 \text{ Hz}$

Oscillogrammes  $u(t)$  et  $u_2(t)$ .

$$U_{\max} = 3,8 \times 0,5 = 1,9 \text{ V}$$

$$U_{2 \max} = 2,9 \times 1 = 2,9 \text{ V} \quad \text{d'où } I_{\max} = 2,9 \text{ mA}$$

$$\text{décalage } \theta = 1 \times 0,1 = 0,1 \text{ ms} \quad \text{soit } \varphi = \frac{2\pi\theta}{T} = 1,14 \text{ rd.}$$

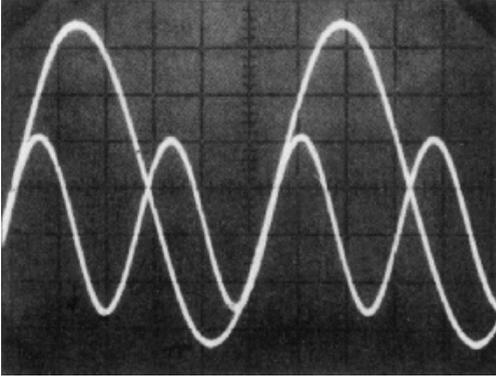
$$\mathcal{P} = \frac{U_{\max} \cdot I_{\max}}{2} \cos \varphi = \frac{1,9 \times 2,9 \cdot 10^{-3}}{2} \times 0,417 = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ W} \text{ ou } 1,15 \text{ mW}$$

**Remarque :** Pour lire le déphasage  $\varphi$ , une méthode rapide consiste à décaler la base temps pour qu'une demi-période de  $u$  (c'est-à-dire une phase de  $180^\circ$ ) corresponde à 9 divisions sur l'écran ; 1 division correspond alors à  $20^\circ$ , et si  $u_2$  (donc  $i$ ) a un décalage de  $n$  divisions avec  $u$ , la phase de  $i$  par rapport à  $u$  sera :  $\varphi = 20 \times n$ .

### 3.2. Visualisation de $p(t)$ et autre détermination de $\mathcal{P}$

La voie A de l'oscilloscope est toujours en 1 et la voie B en 3. On visualise simultanément  $u(t)$ , et  $u_{3(t)}$  c'est-à-dire  $100 p(t)$ .

Les oscillogrammes obtenus ont été réalisés à la fréquence  $f \approx 1850 \text{ Hz}$  et à celle de la résonance  $f_0 = 2300 \text{ Hz}$ .

3.2.1. Fréquence  $\approx 1850$  Hz

voie A : 0,5 V/div

voie B : 0,2 V/div

base de temps : 0,1  
ms/div

$T = 5,4 \times 0,1 = 0,54$  ms

$f = 1850$  Hz

On peut vérifier que :

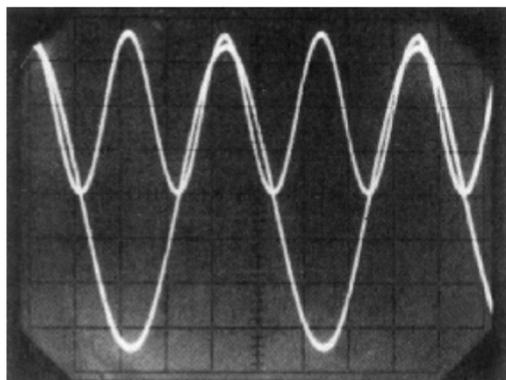
$p(t)$  est une sinusoïde de fréquence  $2f$ . Cette puissance instantanée  $p = UI \cos \varphi + UI \cos (2\omega t + \varphi)$ , s'annule pour  $u_{(t)} = 0$  et  $i_{(t)} = 0$  ; elle peut être positive ou négative et elle varie autour de la valeur moyenne  $\mathcal{P} = UI \cos \varphi$ .

La détermination de  $\mathcal{P}$  s'obtient :

– en faisant la demi-somme des ordonnées maximales :  $\left(\frac{2,5 - 1,2}{2}\right)$  que l'on multiplie par la sensibilité verticale de (0,2 V/div) et que l'on divise par 100

$$\mathcal{P} = \left(\frac{2,5 - 1,2}{2}\right) \times 0,2 \times 1 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ W soit } \mathcal{P} = 1,3 \text{ mW}$$

– en passant de la position  $\approx$  à la position  $\sim$ , on évalue le décalage vertical d'une crête, ce qui permet d'obtenir le même résultat pour  $\mathcal{P}$ .

3.2.2. Cas de résonance :  $f_0 = 2300$  Hz

voie A : 0,5 V/div

voie B : 0,5 V/div

base de temps :

 $T_0 = 4,2 \times 0,1 = 0,42$  ms $f_0 = 2380$  Hz

$$f_{0\text{calculée}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 2300 \text{ Hz}$$

La détermination de  $\mathcal{P}$  s'effectue comme précédemment :

$$\mathcal{P} = \left( \frac{3,6 - 0}{2} \right) 0,5 \times \frac{1}{100} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ W} \text{ . soit } \mathcal{P} = 9 \text{ mW}$$

Cette valeur peut être comparée à :

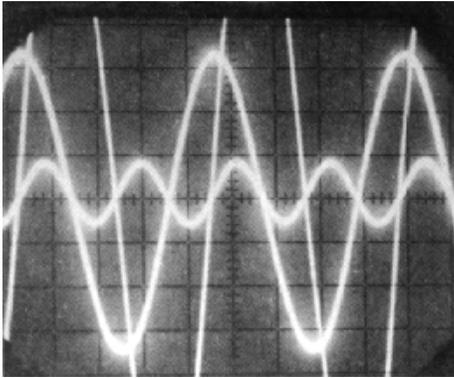
$$\mathcal{P} = \frac{U^2}{R} = \frac{\hat{U}^2}{2R} = \frac{(3,25 \times 0,5)^2}{2 \times 148} = 8,9 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 8,9 \text{ mW}$$

3.3. Visualisation de  $u(t)$ ,  $i(t)$ ,  $p(t)$ 

On laisse toujours la voie A en 1 et la voie B en 4 ; on visualisera simultanément  $u(t)$ ,  $i(t)$  et  $p(t)$  à l'aide du commutateur électronique.

Les oscillogrammes obtenus ont été réalisés pour  $f = 4760$  Hz et pour  $f_0 = 2380$  Hz.

On notera que l'intensité  $i$  n'est vue que partiellement (les crêtes dépassent les limites de l'écran).



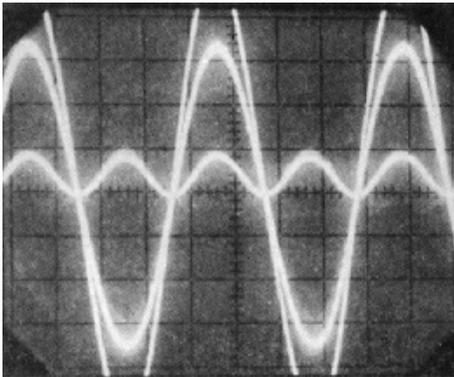
voie A : 0,5 V/div  
 voie B : 2 V/div  
 base de temps : 50 μs/div  
 $T = 4,2 \times 50 = 210 \mu\text{s}$   
 $f \approx 4760 \text{ Hz}$

Oscillogrammes de  $u(t)$ ,  $i(t)$ ,  $p(t)$  à la fréquence  $f = 4760 \text{ Hz}$ .

$$U_{\max} = 3,3 \times 0,5 = 1,65 \text{ V}$$

$$100 \mathcal{P} = \frac{0,8 - 0,6}{2} \times 2 = 0,2 \text{ W}$$

$$\mathcal{P} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 2 \text{ mW}$$



voie A : 0,5 V/div  
 voie B : 2 V/div  
 base de temps : 0,1 ms/div  
 $T = 4,2 \times 0,1 = 0,42 \text{ ms}$   
 $f = 2380 \text{ Hz}$

Oscillogrammes de  $u(t)$ ,  $i(t)$ ,  $p(t)$  à la résonance.

$$U_{\max} = 3,4 \times 0,5 = 1,7 \text{ V}$$

$$100 \mathcal{P} = \frac{0,9}{2} \times 2 = 0,9 \text{ W} \quad \mathcal{P} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ W} \quad \text{ou} \quad \mathcal{P} = 9 \text{ mW}$$

## Annexe 1

---

### LE MULTIPLIEUR

Le brochage du multiplieur AD 534 JD est précisé par la figure 6. Il s'utilise sans réglage préalable. Le composant se procure chez Analog Devices (426 F.).

Il existe d'autres multiplieurs de coût moins élevé mais qui nécessitent 4 potentiomètres de réglage, tel le AD 533 (89 F.).

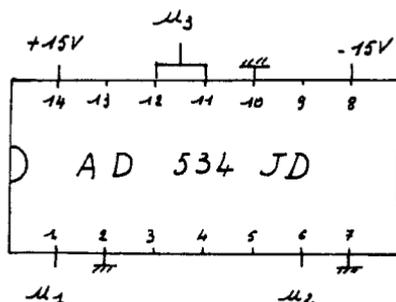


Figure 6

## Annexe 2

---

Le commutateur CMOS 4016 a été choisi pour son prix très bas (3 F.). Le circuit intégré AD 7510 DI qui a ses entrées protégées contre les surtensions jusqu'à 40 V coûte 89 F.

Le commutateur CMOS 4016 est un quadruple commutateur analogique alimenté en + 15 V, équivalent à quatre relais électroniques.

Le principe de fonctionnement est simple : l'interrupteur  $K_1$  est

fermé si on applique un potentiel  $+V_{CC}$  à la borne de commande  $C_1$  ; il s'ouvre si la commande est placée au niveau 0.

Dans le cas de notre montage, il suffit de commander deux interrupteurs par des signaux rectangulaires issus d'un multivibrateur astable et qui sont périodiquement au niveau 0 puis au niveau 1 et ceci avec la période  $T \approx 2,2 RC$ . D'où l'état des interrupteurs  $K_1$  et  $K_2$ .

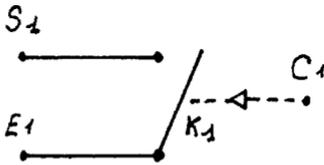


Figure 7

$C_1$	$C_2$	$K_1$	$K_2$
0	1	ouvert	fermé
1	0	fermé	ouvert

Figure 8

Les tensions  $u_2$  et  $u_3$ , donc  $i(t)$  et  $p(t)$ , sont reliées aux entrées  $E_1$  et  $E_2$  ; la sortie du commutateur étant  $S$ , la tension  $u_4$  sera périodiquement  $u_2$  et  $u_3$ .

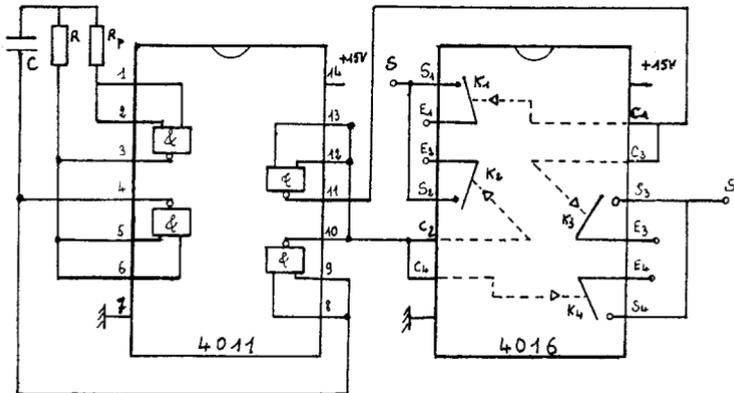


Figure 9

### Remarques :

1 -  $C = 0,1 \mu F$  ;  $R = 10 k\Omega$  ;  $R_p = 47 k\Omega$ . Il est souhaitable de régler la fréquence du multivibrateur afin d'obtenir des oscillogrammes nets. Prendre alors  $R = 4,7 k\Omega + 1$  potentiomètre de  $47 k\Omega$ .

2 - Ce commutateur permet de visualiser 4 courbes en utilisant en plus les entrées  $E_3$  et  $E_4$  et la sortie  $S'$ .