

# Source de courant à fort débit :

## REALISATION - APPLICATIONS

par René ALLARD,

Lycée H. Bergson, 49000 Angers.

### 1. INTRODUCTION.

Nous manipulons fréquemment des sources de tension pratiquement parfaites, les alimentations stabilisées, mais nous utilisons rarement des sources de courant au laboratoire. La vérification expérimentale du comportement de certains circuits et la réalisation de quelques expériences d'électromagnétisme requièrent une source de courant. Celle que nous avons conçue peut débiter un courant de forme quelconque, continu, triangulaire, ... avec une intensité importante, pouvant dépasser 1 A. Quelques exemples d'utilisation de cette source de courant seront données après la description de sa réalisation.

### 2. SOURCE DE COURANT A FORT DEBIT

Elle est réalisée à partir d'un amplificateur opérationnel de puissance, TCA 365, fabriqué par Siemens.

#### 2.1 Caractéristiques du TCA 365

Conçu pour la commande des moteurs électriques, cet ampli op. permet également la réalisation d'amplificateurs de puissance, de tensions continues ou variables, capables de débiter une intensité supérieure à 1A.

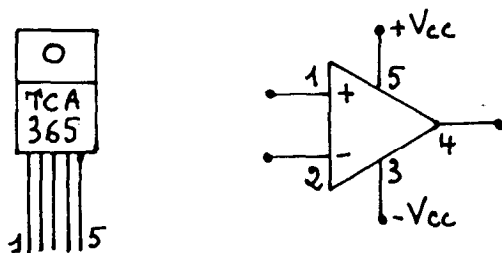


Fig. 1

Alimentation symétrique max.  $\pm 18$  V.

Puissance maximale à la sortie : 15 W.

Intensité maximale à la sortie : 3 A.

Pente maximale du signal de sortie :  $4 \text{ V} \cdot \mu\text{s}^{-1}$

(pour un 741 :  $0,5 \text{ V} \cdot \mu\text{s}^{-1}$ ).

Taux de réjection de mode commun : 80 dB.

Tension de décalage à l'entrée inférieure à 10 mV.

Courant de décalage à l'entrée inférieur à 200 mA.

Impédance d'entrée :  $5 \text{ M}\Omega$ .

Impédance de sortie très faible.

## 2.2 Le circuit électrique - Fig. 2

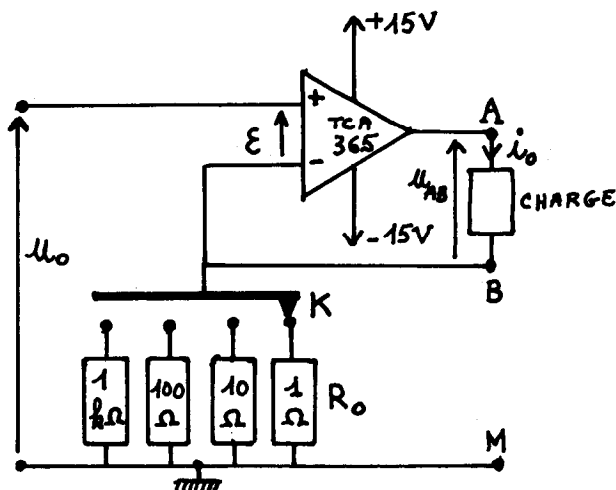


Fig. 2

L'A.O. est supposé parfait et utilisé en régime linéaire ; la tension d'entrée  $\epsilon$  et les courants d'entrée,  $i^+$  et  $i^-$ , sont pratiquement nuls. La charge, de bornes A et B, et une des résistances  $R_0$  sont alors parcourues par le même courant d'intensité  $i_0$ . Une tension  $u_0$  est appliquée entre l'entrée (+) de l'A.O. et la masse ; on a  $u = R_0 i_0$  ou

$$i_0 = \frac{u_0}{R_0}$$

Ce montage permet donc de transformer une source de tension  $u_0$  en une source de courant pratiquement parfaite,  $i_0$  étant le courant électromoteur.

### 2.3 Utilisation

Cette source de courant pouvant fournir une puissance de 10 W à la charge, l'A.O. devra être monté sur un dissipateur thermique.

L'expérience montre qu'il y a des risques d'oscillations de l'A.O. pour certaines caractéristiques de la charge ou pour certaines valeurs de  $R_O$  ; par conséquent il faudra toujours contrôler la tension  $u_{AB}$ , aux bornes de la charge, à l'oscilloscope, pour s'assurer de la stabilité du montage et de la non-saturation de l'A.O. Les 4 valeurs qui peuvent être données à  $R_O$ , grâce au sélecteur K, sont voisines de 1  $\Omega$ , 10  $\Omega$ , 100  $\Omega$  ou 1 k $\Omega$  ; elles devront être connues avec une précision suffisante car elles interviennent dans le calcul de  $i_O$ .

*Performances* de la source avec une charge purement résistive de 10  $\Omega$  : Prenons  $R_O = 1 \Omega$  et  $u_O = 1$  V crête à crête ; la tension  $u_{AB}$  reproduit fidèlement les variations de  $u_O$ , à un facteur près, jusqu'à des fréquences de 30 kHz pour les signaux triangulaires et 10 kHz pour les signaux carrés.

### 2.4. Visualisation simultanée de $u_O$ et $u_{AB}$

La charge n'ayant pas de borne au potentiel de la masse, il est généralement nécessaire pour visualiser  $u_{AB}$ , d'utiliser un amplificateur de différence (Fig. 3).  $u_{AB} = v_A - v_B$  ;  $u_s = u_{AB}$ . La visualisation simultanée de  $u_{AB}$  et  $u_O$  permet d'étudier la réponse du dipôle (A,B) en fonction de l'excitation par un courant

$$i_O = \frac{u_O}{R_O}.$$

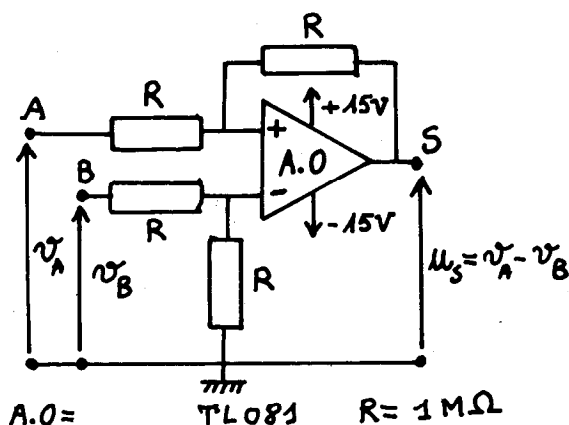


Fig. 3

### 2.5 Remarque

Un autre schéma de source de courant, avec charge à la masse, est proposé en annexe.

## 3. SOURCES DE TENSION - SOURCES DE COURANT

Nous pouvons mettre en évidence les différences de comportement de ces deux types de sources d'énergie électrique en les branchant à des associations en série ou en parallèle d'ampoules identiques (3,5 V - 300 mA). L'observation de la lumière émise par ces ampoules nous renseigne immédiatement sur le sens de variation de l'intensité du courant dans chacune d'elles, dans une expérience de cours. Considérons par exemple l'association en série. Fig. 4 et 5.

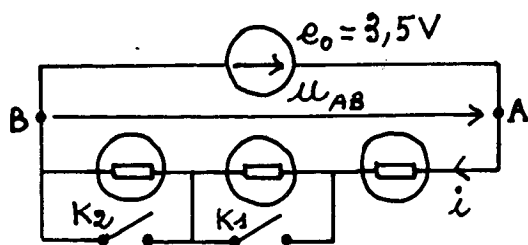


Fig. 4

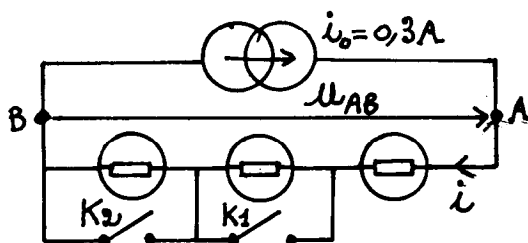


Fig. 5

### 3.1 La source de tension (Fig. 4)

impose au circuit une tension constante  $u_{AB} = e_0$ . Lorsque le nombre d'ampoules alimentées croît, la puissance lumineuse émise par chacune d'elles diminue ; l'intensité  $i$  décroît.

### 3.2 La source de courant (Fig. 5)

impose au circuit une intensité constante  $i = i_0$ . Lorsque le nombre d'ampoules alimentées croît, la puissance lumineuse émise par chacune d'elles reste constante ; la tension  $u_{AB}$  croît.

#### 4. EXPERIENCES AVEC DES DIODES

On se propose d'étudier la tension  $u_{AB}$  aux bornes d'une diode en fonction de l'intensité du courant qui la traverse. La source de courant est commandée par une tension  $u_O$ , triangulaire, alternative, de fréquence  $N = 200$  Hz.

##### 4.1 Diode Zener (Fig. 6)

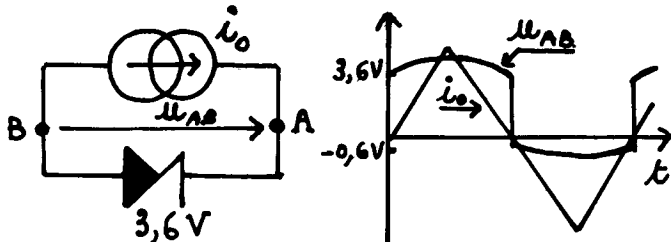


Fig. 6

Source de courant :  $R_O = 100 \Omega$   $i_O = 60$  mA crête à crête.

L'oscillogramme montre que  $u_{AB}$  croît légèrement lorsque  $i_O$  augmente, en valeur absolue, mais que sa valeur reste voisine de 3,6 V ou -0,6 V.

##### 4.2 Diode de redressement (Fig. 7)

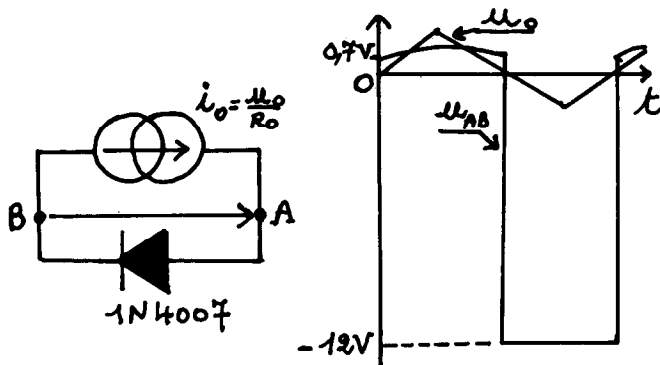


Fig. 7

Source de courant :  $R_O = 1 \Omega$   $u_O = 1$  V crête à crête.

Lorsque  $u_O$  est positif la diode laisse passer le courant et  $u_{AB}$  est voisin de 0,7 V. Lorsque  $u_O$  est négatif, la diode s'oppose au passage du courant  $i_O$  ; tout se passe comme si aucun dipôle n'était branché entre A et B ; l'ampli op. est saturé et  $u_{AB} = -12$  V.

## 4.3 Diode et résistance en parallèle (Fig. 8)

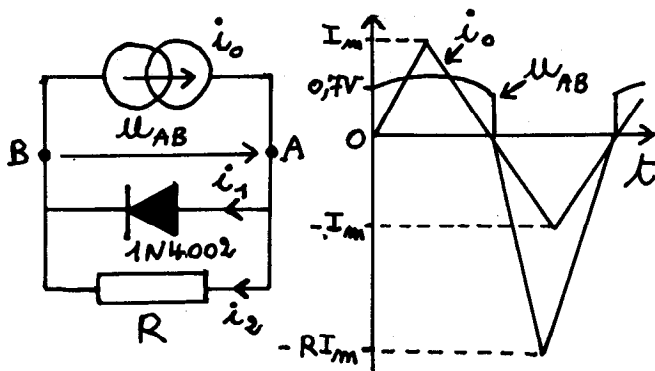


Fig. 8

Source de courant :  $R_0 = 10 \Omega$   $i_o = 1 \text{ A}$  crête à crête.

On prend  $R = 10 \Omega$ .

Quand la diode conduit le courant, elle impose une tension  $u_{AB}$  pratiquement constante (0,7 V) aux bornes du circuit ;

$$i_2 \approx \frac{0,7}{R} ; \quad i_1 = i_o - i_2.$$

Quand la diode est bloquée, le courant  $i_o$  débité par la source passe intégralement dans la résistance  $R$  ;  $i_1 = 0$  ;  $i_2 = i_o$  ;  $u_{AB} = Ri_o$ . Notons que le produit  $RI_m$  doit être inférieur à 12 V environ pour que  $u_{AB}$  ne soit pas écrêtée lorsque  $i_o$  est négatif.

## 5. CHARGE ET DECHARGE D'UN CONDENSATEUR PAR UN COURANT CONSTANT.

Des charges et des décharges alternées peuvent être obtenues en commandant la source de courant par une tension alternative, en créneaux.

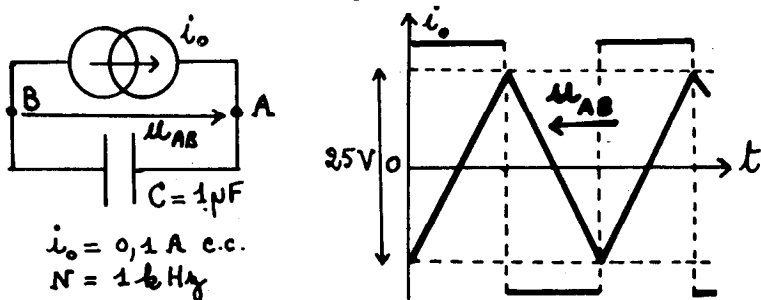


Fig. 9

Au cours d'une demi-période de  $i_0$ , la tension  $u_{AB}$  aux bornes du condensateur varie de

$$\Delta u_{AB} = \frac{i_0 T}{2C} ;$$

$$\Delta u_{AB} = \frac{5 \times 10^{-2} \times 1}{2 \times 10^3 \times 10^{-6}} = 25 \text{ V.}$$

Ce montage permet d'obtenir des signaux triangulaires à partir de signaux rectangulaires.

## 6. REPONSE EN TENSION D'UN CIRCUIT INDUCTIF excité par un courant en créneaux.

Un circuit (Fig. 10), formé d'une bobine d'inductance  $L = 8 \text{ mH}$ , de résistance  $r = 5 \Omega$  est monté en parallèle avec une résistance  $R$ . La source de courant délivre un courant en créneaux, de fréquence  $N = 200 \text{ Hz}$ .

Source de courant :  $R_0 = 10 \Omega$  ;  $u_0 = 0,1 \text{ V}$  crête à crête.

Visualisons les tensions  $u_0 = R_0 i_0$  et  $u_{AB}$ .

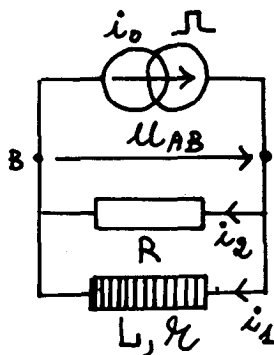


Fig. 10

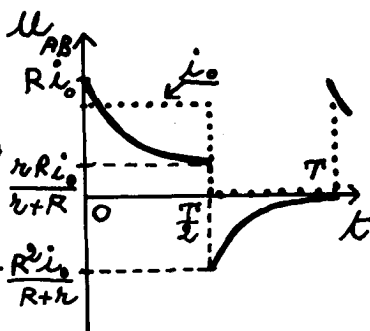


Fig. 11

### 6.1 Influence de $R$ sur $u_{AB}$ .

Les oscillogrammes de la figure 12 montrent que  $u_{AB}$  décroît et croît d'autant plus rapidement que  $R$  est grand.

## 6.2 Interprétation des résultats

Etablissons les expressions de  $i_1$  et  $u_{AB}$  (Fig. 11) en fonction du temps ; la période  $T$  de la source de courant est suffisamment grande

$$(T = \frac{1}{200} = 5.10^{-3} \text{ s})$$

pour que la décroissance et la croissance de  $u_{AB}$  puissent être observées séparément. On a les relations :

$$i_1 + i_2 = i_0 ; \quad u_{AB} = L \frac{di_1}{dt} + ri_1 = Ri_2$$

On en déduit l'équation différentielle, valable pour

$$t \in [0, \frac{T}{2}] : \quad L \frac{di_1}{dt} + (r + R) i_1 = Ri_0.$$

Sachant que l'intensité du courant dans une bobine inductive ne subit pas de discontinuité, on établit facilement l'expression de  $i_1$  :

$$i_1 = \frac{Ri_0}{R + r} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad \text{avec : } \tau = \frac{L}{R + r}$$

$\tau$  est la constante de temps du circuit.

L'expression de  $u_{AB}$  est :  $u_{AB} = R (i_0 - i_1)$

$$u_{AB} = \frac{Ri_0}{R + r} \left( r + R e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

La figure 11 représente le graphe de  $u_{AB}$ .

Pour  $t = 0$  :  $u_{AB} = Ri_0$ . Pour  $t = \frac{T}{2}$ ,  $u_{AB}$  a pratiquement atteint la limite correspondant à  $t$  infini parce que  $\frac{T}{2}$  est beaucoup plus grand que  $\tau$  :

$$u_{AB} = \frac{r Ri_0}{R + r}$$

De même on peut établir les équations de  $i_1$  et de  $u_{AB}$  pendant la phase de croissance de  $u_{AB}$ , entre les instants  $\frac{T}{2}$  et  $T$  :

$$i_0 = 0 ; \quad i_1 + i_2 = 0 ; \quad L \frac{di_1}{dt} + (r + R) i_1 = 0.$$

On en déduit :

$$i_1 = \frac{R i_0}{R + r} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad u_{AB} = \frac{-R_2 i_0}{R + r} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Les deux expressions de  $u_{AB}$  et la formule de la constante de temps permettent d'interpréter les oscillogrammes pour différentes valeurs de  $R$  (Fig. 12).

L'étude de  $u_{AB}$  en fonction de la fréquence, à  $R$  constant, est également intéressante.

### 6.3 Comment rendre négligeable l'influence de $R$ sur la réponse du circuit ?

Nous aurions souhaité obtenir la réponse de la bobine seule, à l'excitation par le courant  $i_0$  ; mais la tendance aux oscillations de la source de courant, lorsqu'elle alimente une charge inductive, nous oblige à brancher une résistance  $R$  en parallèle avec la bobine.

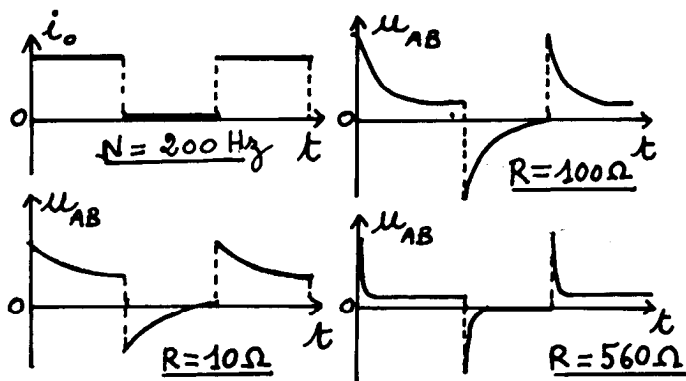


Fig. 12

### a) Choix de la période T

de la source de courant pour que l'intensité  $i_1$  dans la bobine puisse être assimilée à celle de la source  $i_0$ .

Tout d'abord la limite de  $i_1$ , pour  $t$  infini, lorsque le circuit a été soumis à un échelon de courant  $i_0$ , doit être constante quelle que soit  $R$  :

$$\frac{R i_0}{R + r} = i_0.$$

Cette condition implique que  $R$  soit très grand devant  $r$ . On peut prendre  $R \geq 100 r$  ; cependant le rapport  $\frac{R}{r}$  ne doit pas être trop grand, sinon les oscillations parasites réapparaissent. L'expression approchée de  $i_1$  est donc :

$$i_1 = i_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Pour que  $i_1$  soit très peu différent de  $i_0$  il faut aussi que la constante de temps  $\tau$  soit très petite par rapport à la période  $T$  de la source de courant ; l'expérience montre qu'il suffit de prendre  $T \geq 100 \tau$ .

*En résumé*, si  $R \geq 100 r$  et  $T \geq 100 \tau$  tout se passe pratiquement comme si la résistance  $R$  n'existait pas.

### b) Résultats expérimentaux

Observons l'oscillogramme de la Fig. 12 obtenu avec  $R = 560 \Omega$  et un courant  $i_0$  de fréquence  $N = 200$  Hz.

Les deux conditions sur  $R$  et  $T$  sont remplies :

$$\frac{R}{r} = 112 \quad \frac{T}{\tau} = \frac{5 \times 10^{-3}}{1,4 \times 10^{-5}} \approx 360.$$

L'oscillogramme constitue pratiquement la réponse de la bobine ; seules les valeurs maximale et minimale de  $u_{AB}$  ne sont pas correctes ; théoriquement elles devraient être infinies

$$(L \frac{di}{dt} \rightarrow \pm \infty)$$

lorsque  $i$  change brusquement de valeur, mais pratiquement elles se trouvent limitées respectivement à  $R i_0$  et

$$- \frac{R^2 i_0}{R + r} \quad \begin{array}{l} \text{à cause de la présence de } R, \text{ ou à la valeur de } \pm 12 \text{ V} \\ \text{à cause du phénomène de saturation de l'A.O.} \end{array}$$

## 7. DETERMINATION DE LA CONSTANCE DE TEMPS D'UNE BOBINE

### 7.1 Excitation d'une bobine par un courant triangulaire.

Cette expérience va permettre de déterminer directement sur l'oscillogramme la constante de temps  $\frac{L}{r}$  d'une bobine et la f.é.m. d'auto-induction.

Réalisons le montage de la figure 13, la résistance  $R$  ayant pour rôle d'empêcher les oscillations parasites de s'établir.

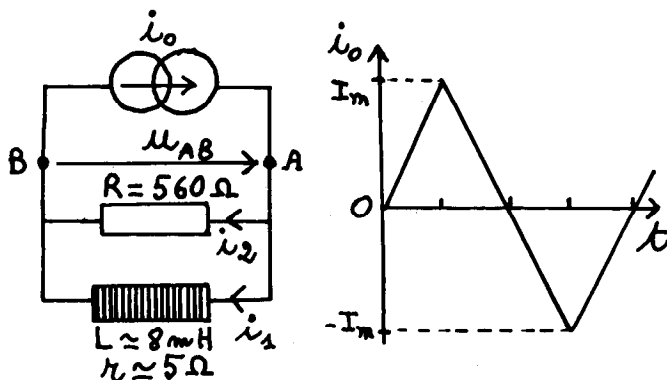


Fig. 13

La source de courant est commandée par une tension triangulaire  $u_0$ , parfaitement alternative, d'amplitude 0,5 V. Prenons  $R_0 = 1 \Omega$ , l'amplitude de  $i_0$  est alors 0,5 A.

Caractéristiques du circuit :

$$\tau = \frac{L}{r + R} = \frac{8 \times 10^{-3}}{565} = 1,4 \times 10^{-5} \text{ s} ;$$

$$\frac{1}{\tau} = 7,1 \times 10^4 \text{ Hz.}$$

Les valeurs numériques de  $\tau$  et  $\frac{R}{r}$  permettent de confondre  $i_1$  et  $i_0$  pour des fréquences inférieures à  $\frac{1}{100\tau} = 710 \text{ Hz}$ . Les oscillogrammes obtenus à des fréquences de 100 Hz et 200 Hz sont reproduits sur les Fig. 14 et 15 ; les échelles pour  $u_0$  et  $u_{AB}$  sont différentes.

### 7.2 Lecture de la constante de temps sur l'oscillogramme.

Lorsque la fréquence de  $i_0$  est suffisamment basse, la Fig. 14 montre que les segments  $M'_1 M_2$ ,  $M'_2 M_3$ , ... ont un point commun avec l'axe des temps.

Faisons le calcul correspondant à cette figure.

$t \in [0, t_1]$  :  $i$  est de la forme  $i = at$  ;  $u_{AB} = rat + La$

$t \in [t_1, t_2]$  :  $i = -a(t - \frac{T}{2})$  ;  $u_{AB} = -ra(t - \frac{T}{2}) - La$

$u_{AB}$  s'annule pour la première fois à l'instant  $\frac{T}{2} - \frac{L}{r}$  (point  $P_1$ ) et  $u_0$  à l'instant  $\frac{T}{2}$  (point  $Q_1$ ).

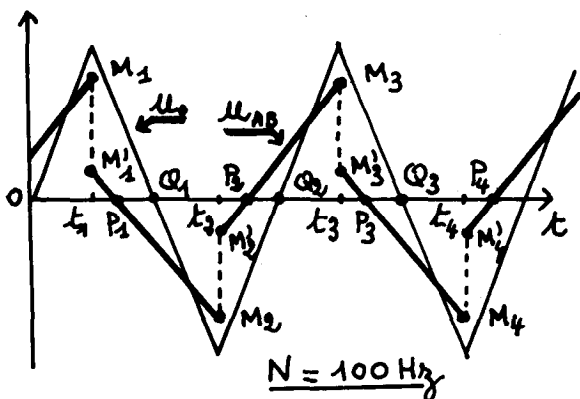


Fig. 14

On constate que la constante de temps  $\tau = \frac{L}{r}$  est représentée par le segment  $P_1 Q_1$ .

$t \in [t_2, t_3]$  :  $i = a(t - T)$  ;  $u_{AB} = ra(t - T) + La$ .

$u_{AB}$  s'annule pour la seconde fois à l'instant  $T - \frac{L}{r}$  et  $u_0$  à l'instant  $T$ . On constate que le segment  $P_2 Q_2$  représente également la constante de temps  $\tau$ .

*En résumé*, la détermination de la constante de temps de la bobine revient à mesurer un des segments PQ sur l'oscillogramme.

Pour que la mesure soit correcte il faut s'assurer qu'en l'absence de tensions appliquées sur les deux voies de l'oscillographe (entrées DC), les deux traces du spot sont confondues.

En choisissant la fréquence de  $i_0$  de manière à obtenir des segments PQ les plus grands possibles, on peut obtenir la valeur de  $\tau$  avec une précision meilleure que 5%.

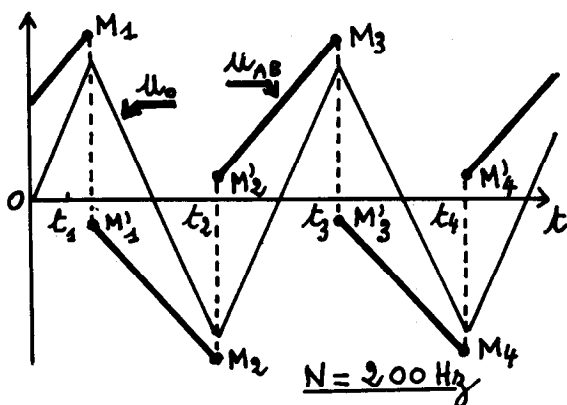


Fig. 15

Le calcul de l'inductance est possible après avoir mesuré la résistance de la bobine :  $L = \tau r$ .

### 7.3 Bobine à constante de temps élevée

Pour que la constante de temps soit mesurable, il faut que la tension  $u_{AB}$  s'annule périodiquement comme dans le cas de la Fig. 14. Aussi il est parfois nécessaire d'abaisser la constante de temps  $\tau'$  du circuit en montant une résistance  $R_1$  en série avec la bobine ( $L, r$ ).

$$\tau' = \frac{L}{r + R_1} \quad \tau = \frac{L}{r}$$

La mesure de  $\tau'$  permet de calculer  $\tau$  :

$$\tau = \tau' \left( 1 + \frac{R_1}{r} \right)$$

*Exemple* : self miniature TOKO marquée 1H.

$$r = 250 \, \Omega \quad \tau \approx 4 \times 10^{-3} \, s$$

Prenons  $R_1 = 1 \, k\Omega$  et  $R = 220 \, k\Omega$ .

Source de courant :  $R_0 = 1 \, k\Omega$  ;  $N = 300 \, Hz$  ;  $u_0 = 3 \, V$  crête à crête.  
On mesure  $\tau' \approx 7,2 \times 10^{-4} \, s$ . On calcule

$$\tau = 7,2 \times 10^{-4} (1 + 4) = 3,6 \times 10^{-3} \, s$$

On calcule  $L = \tau r = 0,90 \, H$ .

#### 7.4 Construction point par point de la réponse de la bobine

Elle peut être faite facilement par des élèves de Terminale, parce qu'elle ne nécessite pas la résolution d'une équation différentielle. Il faut représenter successivement les courbes  $i_0$ ,  $ri_0$ ,  $L \frac{di_0}{dt}$  et  $u_{AB} = ri_0 + L \frac{di_0}{dt}$ .

#### 8. VERIFICATION DE LA FORMULE $e = -L \frac{di}{dt}$

##### 8.1 Montage

Celui de la Fig. 13

##### 8.2 Lecture de la f.é.m. d'auto-induction sur l'oscillogramme.

La f.é.m. d'auto-induction,  $e = -L \frac{di}{dt}$  est égale à  $-La$  lorsque  $i_0$  croît régulièrement et à  $+La$  lorsque  $i_0$  décroît régulièrement ; ainsi lorsque  $\frac{di}{dt}$  change de signe,  $u_{AB}$  subit une discontinuité égale à  $2La$  en valeur absolue, soit le double de  $|e|$ .

Sur l'oscillogramme de la Fig. 14 ou 15, on a donc :

$$M'_1 M_1 = M_2 M'_2 = M'_3 M^3 = \dots = 2 |e|$$

On peut ainsi lire directement la valeur de la f.é.m. sur l'oscillogramme.

##### 8.3 Vérifions que $e$ est proportionnelle à $\frac{di}{dt}$

$i_0$  est de la forme :  $i_0 = \pm at + b$ ,  $b$  est une constante qui dépend de l'intervalle de temps considéré.

$I_m$  étant l'amplitude de  $i_0$ , la variation de  $i_0$ , pendant un quart de période est égale à  $I_m$  en valeur absolue ;

$$\left| \frac{di_0}{dt} \right| = a = \frac{4 I_m}{T} = 4 I_m N$$

$$M'_1 M_1 = M_2 M'_2 = 2 |e| = 8 L I_m N$$

La vérification de la proportionnalité entre  $|e|$  et  $\left| \frac{di}{dt} \right|$  revient donc à constater sur l'oscillogramme que les variations discontinues de  $u_{AB} - M'_1 M_1, M_2 M'_2, \dots$  sont proportionnelles à  $N$ .

Le tableau de la Fig. 16 montre que les résultats sont très bons ;  $u_0$  a été choisie de manière à obtenir  $M'_1 M_1 = 2 \text{ V}$  pour  $N = 100 \text{ Hz}$ .

| $N(H_2)$ | 100 | 200 | 300  | 400 | 500  |
|----------|-----|-----|------|-----|------|
| $ e $    | 2V  | 4V  | 6,1V | 8V  | 9,8V |

Fig. 16

Avec des bobines du commerce, d'inductances 2 mH, 4 mH, 8 mH on vérifie aisément que  $e$  est proportionnelle à  $L$ , lorsqu'on fixe la valeur de

$$\frac{di_0}{dt}$$

#### 8.4 Autre méthode de détermination de $\frac{L}{r}$

Les ordonnées de  $M'_1$  et  $M_2$  (Fig. 14 et 15) sont respectivement  $(ra \frac{T}{4} - La)$  et  $(-ra \frac{T}{4} - La)$ ;  $a = 4 I_m N$ .

La différence de ces ordonnées est :  $(M'_1 M_2) \gamma = ra \frac{T}{2} = 2 r I_m$

Calculons le rapport :

D'où :

$$\frac{M'_1 M_1}{(M'_1 M_2) \gamma} = \frac{8 L I_m N}{2 r I_m} = 4 \frac{L}{r} N \quad \frac{L}{r} = \frac{1}{4 N} \times \frac{M'_1 M_1}{((M'_1 M_2) \gamma)}$$

Cette méthode est plus complexe que la précédente parce qu'elle nécessite la valeur de  $N$  et la mesure de 2 segments.

## 9. DUALITE CIRCUIT RLC SERIE — CIRCUIT RLC PARALLELE

Nous voulons montrer que la réponse en intensité d'un circuit RLC série, excité par un générateur de tension, a la même forme que la réponse en tension d'un circuit RLC parallèle excité par un générateur de courant.

### 9.1 Equations différentielles des circuits RLC série ou parallèle

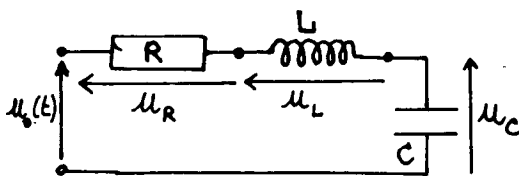


Fig. 17

a) **Circuit série** (Fig. 17)

$$u_R + u_L + u_C = u_O(t); \quad u_R = R i; \quad u_L = L \dot{i}; \quad u_C = \frac{q}{C}$$

Par dérivation par rapport au temps de la relation entre les tensions on obtient :

$$\ddot{i} + \frac{R}{L} \dot{i} + \frac{1}{LC} i = \frac{1}{L} \dot{u}_O(t) \quad (1)$$

b) **Circuit parallèle** (Fig. 18)

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_O(t); \quad G = \frac{1}{R}; \quad i_1 = G u(t); \quad i_2 = C \dot{u}(t);$$

$$L \dot{i}_3 = u(t).$$

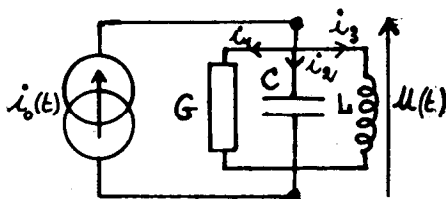


Fig. 18

Après la dérivation de la relation entre les intensités, par rapport au temps, on obtient :

$$\ddot{u} + \frac{G}{C} \dot{u} + \frac{u}{LC} = \frac{1}{C} \dot{i}_O(t) \quad (2)$$

Les équations différentielles (1) et (2) ont exactement la même forme à condition d'établir les correspondances suivantes :

|                       |   |                       |
|-----------------------|---|-----------------------|
| tension               | ↔ | intensité             |
| générateur de tension | ↔ | générateur de courant |
| résistance            | ↔ | conductance           |
| inductance            | ↔ | capacité              |
| court-circuit         | ↔ | circuit ouvert        |

Faisons quelques expériences qui mettent en évidence la dualité des circuits RLC série — RLC parallèle.

### 9.2 Circuits RL série — RC parallèle

★ Circuit RL série :  $u_0(t)$  est imposé : on observe  $i(t)$ .

★ Circuit RC parallèle :  $i_0(t)$  est imposé ; on observe  $u(t)$ .

Les constantes de temps  $\tau_1$  et  $\tau_2$  de ces 2 circuits sont égales :

$$\tau_1 = \frac{L_1}{R_1} = 8 \times 10^{-4} \text{ s} \quad = R_2 C_2 = 8 \times 10^{-4} \text{ s}.$$

Lorsque les 2 circuits sont excités à la même fréquence  $N = 150 \text{ Hz}$ , on constate que  $i(t)$  et  $u(t)$  ont la même forme. Les courbes  $i(t)$  et  $u(t)$  ont toujours la même forme quelle que soit  $N$ .

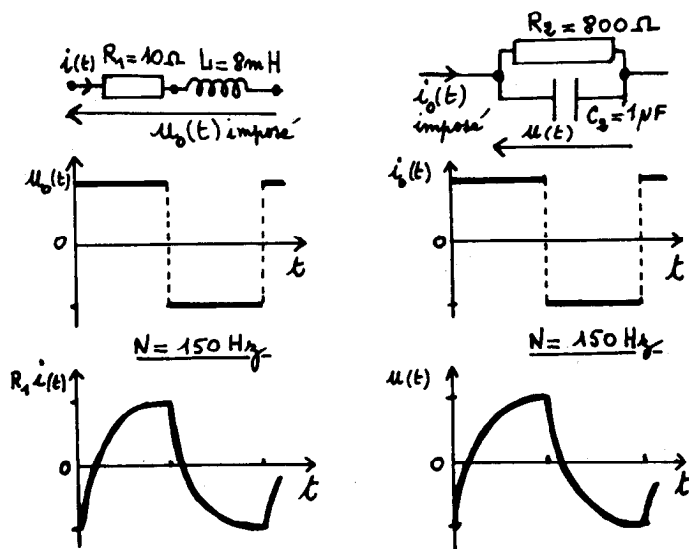


Fig. 19

### 9.3 Circuits RC série - RL parallèle

★ Circuit RC série :  $u_0(t)$  est imposé : on observe  $i(t)$ .

★ Circuit RL parallèle :  $i_0(t)$  est imposé ; on observe  $u(t)$ .

Les constantes de temps  $\tau_1$  et  $\tau_2$  de ces 2 circuits sont égales :

$$\tau_1 = R_1 C_1 = 8 \times 10^{-5} \text{ s} \quad \tau_2 = < \frac{L_2}{R_2} = 8 \times 10^{-5} \text{ s}.$$

Lorsque les circuits sont excités à la même fréquence  $N = 1 \text{ kHz}$ , on constate que  $i(t)$  et  $u(t)$  ont la même forme. Les courbes  $i(t)$  et  $u(t)$  sont toujours de même nature quelle que soit  $N$ .

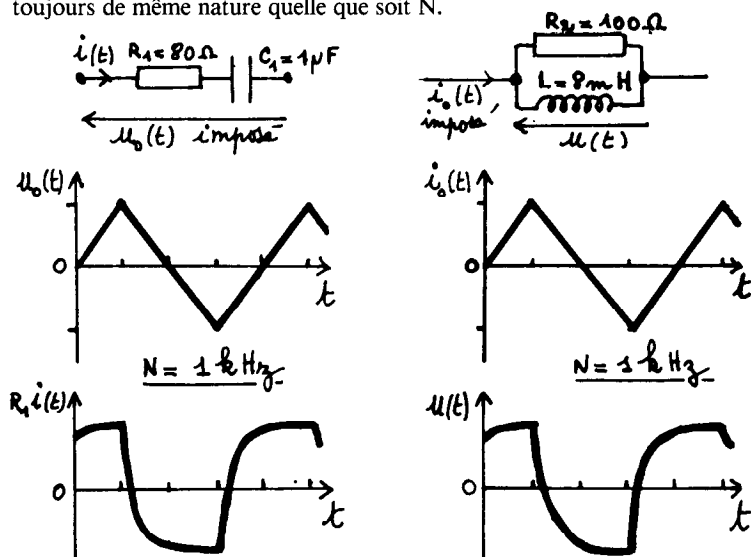


Fig. 20

De même, on pourrait comparer le comportement d'un circuit RLC série, excité par une source de tension, et le comportement d'un circuit RC parallèle excité par une source de courant.

## 10. REPONSE EN TENSION D'UN CIRCUIT RLC EXCITE PAR UNE SOURCE DE COURANT SINUSOIDAL

### 10.1 Etude qualitative

Soit le montage de la Fig. 21 ;  $L_0$  et  $L_1$  sont 2 ampoules identiques (6 V — 100 mA).

Source de courant :  $R_0 = 10 \Omega$  ; la tension de commande  $u_0$ , sinusoïdale, est réglée de manière à obtenir une valeur efficace de 80 mA pour  $i_0$ .

Le dipôle étudié, de bornes A et B, comprend une bobine ( $L, r$ ), une capacité  $C$  et une ampoule  $L_1$ .

Faisons varier la fréquence  $N$  de  $i_0$  entre 100 Hz et 10 kHz ; nous constatons que la puissance lumineuse de  $L_0$  est constante mais que celle de  $L_1$  varie et passe par un minimum pour  $N_0 \approx 5,54 \text{ kHz}$ .

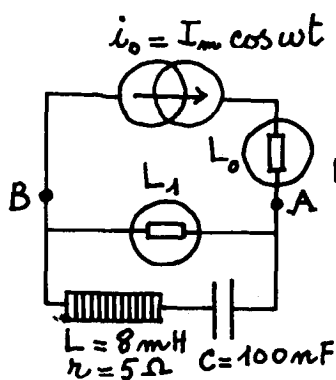


Fig. 21

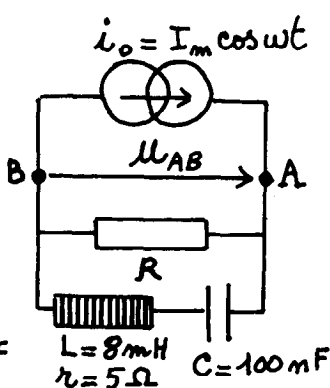


Fig. 22

### Interprétation

L'ampoule  $L_0$  montre que la valeur efficace de  $i_0$  est constante (source de courant) quelle que soit la fréquence. Lorsque la puissance lumineuse de  $L_1$  est minimale nous pouvons affirmer que la valeur efficace de  $u_{AB}$  est également minimale.

### 10.2 Etude quantitative

#### a) Résultats expérimentaux

Montage : Fig. 22  $R = 100 \Omega$

La mesure de  $u_{AB}$  pour différentes valeurs de  $N$  permet de construire la courbe de réponse du circuit (Fig. 24).

| $R = 100 \Omega$ |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $N(kHz)$         | 0,1  | 2    | 2,5  | 3    | 3,5  | 4    | 4,5  | 5    |
| $U_{AB}(V)$      | 3,28 | 3,83 | 3,82 | 3,76 | 3,64 | 3,40 | 2,87 | 1,68 |
| $N(kHz)$         | 5,54 | 6    | 6,5  | 7    | 8    | 9    | 10   |      |
| $U_{AB}(V)$      | 0,36 | 1,48 | 2,55 | 3,11 | 3,63 | 3,85 | 3,96 |      |

Fig. 23

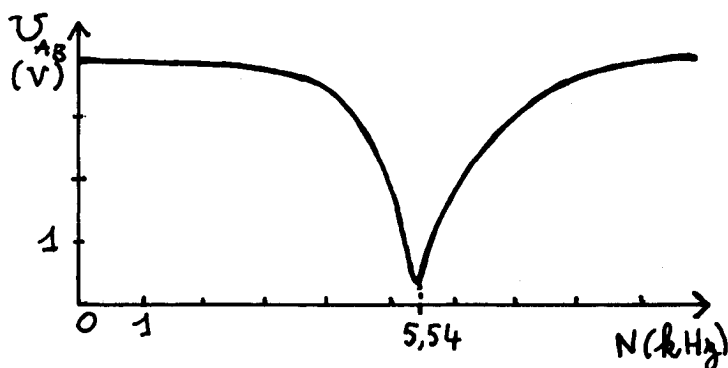


Fig. 24

Ce circuit constitue un filtre réjeteur lorsqu'il est alimenté par une source de courant.

Cette étude pourrait être complétée par celle de l'influence de  $R$  sur la courbe de réponse.

### b) Théorie

Posons  $i_0 = I_m \cos \omega t$  et  $u_{AB} = v_m \cos (\omega t + \varphi)$ . Négligeons la résistance  $r$  de la bobine. La tension complexe  $\bar{u}_{AB}$  exprimée en fonction de l'intensité complexe  $i_0$  est :

$$\bar{u}_{AB} = \frac{R i_0 (1 - LC\omega^2)}{1 - LC\omega^2 + jRC\omega}$$

Posons :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad Q_0 = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{RC\omega_0} \quad \text{et } x = \frac{\omega}{\omega_0}$$

$$U_m^2 = \bar{u}_{AB} \cdot \bar{u}_{AB}^*$$

$$U_m^2 = \frac{R^2 I_m^2 (1 - x^2)^2}{(1 - x^2)^2 + \frac{x^2}{Q_0^2}}$$

Pour étudier  $U_m$  en fonction de  $x$ , posons  $X = x^2$  et

$$y = \frac{U_m^2}{R^2 I_m^2} ; \quad y = \frac{(X - 1)^2}{(X - 1)^2 + \frac{X}{Q_0^2}}$$

$$\frac{dy}{dX} = \frac{(X - 1)(2X^2 - X + 1)}{Q_0 \left[ (X - 1)^2 + \frac{X}{Q_0^2} \right]^2}$$

$\frac{dy}{dx}$  s'annule pour  $X = 1$  ; la valeur minimale de  $y$  est 0.

$U_m$  passe donc par un minimum à la fréquence

$$N_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

ce minimum est égal à 0 si la résistance de la bobine est négligeable.

Avec  $L = 8$  mH et  $C = 100$  nF, on obtient  $N_0 = 5,63$  kHz, valeur proche de celle trouvée expérimentalement, 5,54 kHz.

## 11. CONCLUSION

De conception très simple, cette source de courant permet de réaliser de nouvelles expériences d'électricité et de montrer que l'étude d'un circuit ne conduit pas aux mêmes résultats selon qu'il est alimenté par une source de courant ou par une source de tension.

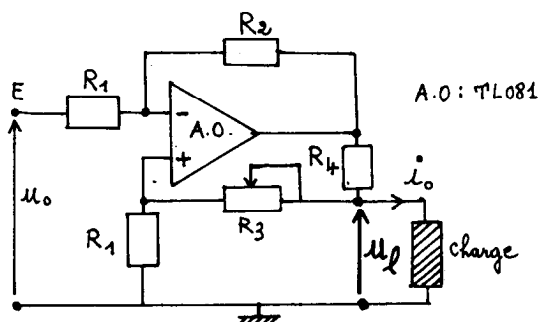
## 12. RENSEIGNEMENTS COMPLEMENTAIRES

Le composant TCA 365 et sa notice technique peuvent être obtenus chez EREL Boutique, 11 bis rue Chaligny 75012 Paris.  
Prix approximatif : 42 F.

Le TCA 365 peut être remplacé par le TDB 0791 de Thomson Efcis (mêmes caractéristiques).

ANNEXE**SOURCE DE COURANT AVEC CHARGE  
ACCROCHEE A LA MASSE**

Nous proposons un autre schéma de source de courant qui permet d'alimenter une charge dont l'une des bornes est reliée à la masse.



Pour que la charge soit alimentée à courant constant il faut que  $R_3 + R_4 = R_2$  ; le courant électromoteur  $i_0$  est :

$$i_0 = -\frac{u_0}{R_4} \times \frac{R_2}{R_1}$$

Ce montage ne permet pas de changer facilement le facteur de conversion tension  $u_0 \rightarrow$  courant  $i_0$  car, si l'on modifie  $R_4$ , il faut retoucher à  $R_3$  pour conserver  $R_3 + R_4 = R_2$  ; en revanche il évite d'avoir recours à un ampli de différence pour visualiser  $u_1$ .

On peut prendre :  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  ;  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$  ;  $R_4 = 10 \Omega$  ;

$R_3$  : ajustable 10 tours de  $1 \text{ k}\Omega$ .

*Réglage :*

La charge est un condensateur de quelques microfarads.

La tension  $u_0$  est une tension carrée, alternative, de fréquence  $1 \text{ kHz}$ . On règle  $R_3$  pour avoir des dents de scie parfaites aux bornes du condensateur ; remarquons qu'il faut  $i_0 = \pm 0,4 \text{ A}$  pour faire varier la tension aux bornes d'un condensateur de  $10 \mu\text{F}$  de  $20 \text{ V}$  en  $0,5 \text{ ms}$ .