

Utilisation d'un convertisseur courant-tension : étude des intensités et tracés de caractéristiques

Jean-Marie DONNINI, Roger PAYAN et Pierrette RENUCCI
Labo Agrégation-Capes de Physique
Université de Provence - Centre St-Charles - Case 10
3, place Victor Hugo - 13331 Marseille Cedex 3

Un convertisseur courant-tension, facilement réalisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel, est d'un emploi commode lorsqu'il s'agit d'étudier l'intensité d'un courant dans un circuit électrique. Sa présence dans le circuit ne perturbe pas celui-ci et résoud bien souvent les courts-circuits provoqués par les masses des générateurs et des oscilloscopes lorsque ces masses sont effectivement reliées à la terre, ce qui devrait toujours être le cas.

Nous présentons dans une première partie le convertisseur et son fonctionnement, et nous indiquons ensuite quelques applications.

1. LE CONVERTISSEUR COURANT-TENSION

1.1. Généralités

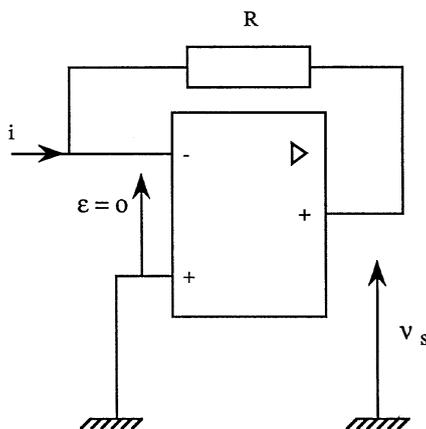


Figure 1

Une première analyse peut être faite en considérant l'A.O comme parfait ; ainsi que l'indique le montage figure 1. On peut alors écrire :

$$v_+ - v_- = 0 \quad v_+ = 0 \quad v_- - v_s = R \cdot i$$

soit :
$$v_s = - R \cdot i \quad (1)$$

La relation (1) montre bien que la tension de sortie est proportionnelle au courant d'entrée : il y a bien conversion d'un courant en tension ; (notons d'autre part que $(v^+ - v^-) = 0$ le convertisseur n'introduit pas de perturbation dans la branche où on veut mesurer le courant).

Nous allons maintenant préciser un peu plus les choses de façon à mieux caractériser le montage (rapport de conversion, impédance d'entrée et de sortie et bande passante).

1.2. La modélisation du convertisseur

Sur la figure 2 qui représente le montage du convertisseur, on reconnaît le schéma du modèle linéaire de l'A.O. :

- Z_d est l'impédance d'entrée différentielle (des centaines de milliers de mégohms),
- Z_s est l'impédance de sortie (de l'ordre de grandeur de la dizaine d'ohms),
- μ est le gain en tension en boucle ouverte.

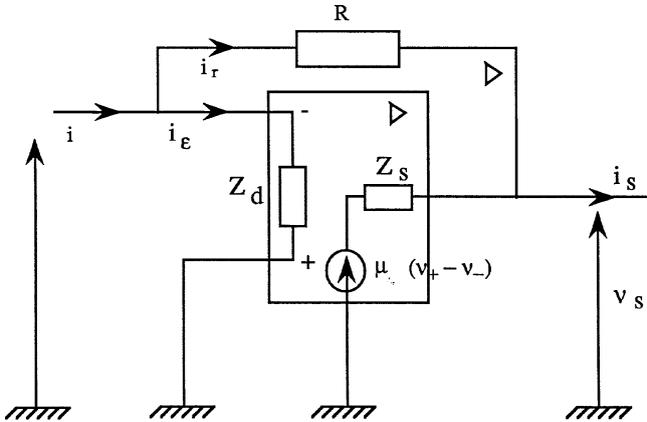


Figure 2

On peut rendre compte du comportement fréquentiel de l'A.O. en boucle ouverte en prenant :

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + j \frac{f}{f_c}}$$

où μ_0 est le gain dans la bande passante (il est de l'ordre de 10^5 pour le TL 081) et f_c est la fréquence de coupure (une dizaine de Hz) de ce modèle de filtre passe-bas (voir par exemple [1] et [2]).

La boucle de rétroaction, constituée par la résistance R, réalise une rétroaction parallèle de tension. En utilisant les résultats généraux de la théorie de la rétroaction ou bien, de façon plus élémentaire en analysant directement le circuit représenté figure 2 on peut déterminer les paramètres fondamentaux du circuit bouclé (le convertisseur). Si on tient compte du fait que Z_d/R et μ_0 sont bien supérieurs à l'unité on obtient :

- Bande passante B.P. : 0 à $f'_c = \mu_0 f_c$ (elle est donc égale au produit gain-bande passante de l'A.O.),
- Z'_e (impédance d'entrée dans B.P.) : $Z'_e = R/\mu_0 \approx 0$,
- Z'_s (impédance de sortie dans B.P.) : $Z'_s = Z_s/\mu_0 \approx 0$,
- Rapport de conversion dans B.P. : $v_s/i = -R$.

On note en particulier que l'impédance d'entrée est quasiment nulle et fait donc du convertisseur un ampèremètre parfait de ce point de vue.

1.3. Considérations pratiques

Pour les applications envisagées plus bas, le choix de l'A.O. importe assez peu ; nous utilisons un circuit TL 082 qui comporte deux A.O. dans le même boîtier, ce qui permet de réaliser deux convertisseurs ou bien un convertisseur et un suiveur ; la résistance R qui assure la rétroaction est comprise entre le kohm et la centaine de kohm suivant la valeur du courant à convertir.

Les limitations du fonctionnement linéaire sont directement liées à celles de l'A.O. Il s'agit essentiellement de la saturation, de la limitation du courant de sortie mais aussi du défaut lié au slew-rate (temps de montée de la tension de sortie) de l'A.O. [2].

Tout d'abord en effet, la tension de sortie du convertisseur, qui est celle de l'A.O., doit être inférieure à la **tension de saturation** V_{sat} . On doit donc impérativement choisir la résistance R de façon que :

$$R * i_{\text{maximum}} < V_{\text{sat}} \quad (\text{Condition 1})$$

Indépendamment de cela, **le courant de sortie de l'A.O. est limité** à une valeur maximale i_m (de l'ordre 20 mA) ; or ainsi qu'on peut le voir sur le montage du convertisseur si la sortie est ouverte, tout le courant d'entrée se retrouve comme courant de sortie de l'A.O. puisque l'entrée inverseuse admet une intensité nulle ; tout cela signifie qu'on ne pourra convertir que des courants inférieurs à une vingtaine de mA.

On doit donc satisfaire une deuxième condition de fonctionnement linéaire :

$$i < 20 \text{ mA} \quad (\text{Condition 2})$$

Outre les conditions 1 et 2 peuvent bien sûr intervenir les restrictions habituelles liées au comportement fréquentiel vers la «haute» fréquence. La limitation liée à la bande passante est peu restrictive puisque celle-ci est de l'ordre du megahertz ; par contre c'est le slew-rate (limitation maximale de la valeur de dv_s/dt) qui intervient et rend «triangulaires» les signaux sinusoïdaux (il faut alors diminuer leurs amplitudes) [2].

2. LES EXEMPLES D'APPLICATIONS

2.1. Caractéristiques d'un dipôle

Dans le montage «habituel» permettant le tracé des caractéristiques d'un dipôle à l'oscilloscope, on obtient un signal proportionnel à l'intensité qui parcourt celui-ci en prenant la tension aux bornes d'une résistance connue ; un tel montage provoque toujours le court-circuit de l'un des éléments si, comme il se doit, les masses du générateur basse fréquence ainsi que celle de l'oscilloscope sont reliées à la terre (cf. par exemple figure 3a). L'utilisation du convertisseur apporte sa solution à ce problème ; comme on le note figure 3b. **Précaution** : l'intensité ne doit pas dépasser 20 mA.

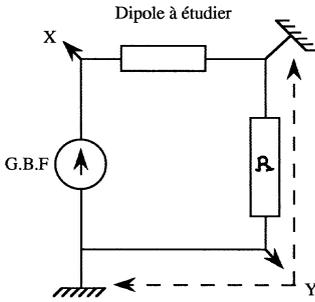


Figure 3a

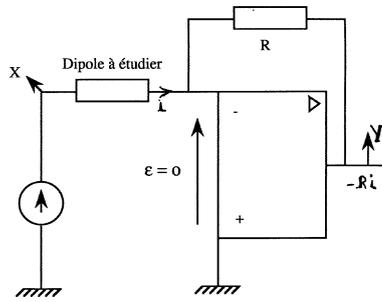


Figure 3b

2.2. Étude de la résonance ou des régimes transitoires d'un circuit rLC

Le montage est identique au précédent à cela près que le dipôle est maintenant le circuit rLC à étudier ; le montage est alors alimenté par l'intermédiaire d'un A.O.-suiveur ce qui supprime la résistance interne du générateur basse fréquence et puisque le convertisseur n'introduit aucune résistance supplémentaire dans le circuit (son impédance d'entrée est nulle), la seule résistance qui intervient dans l'amortissement du circuit rLC est la résistance de celui-ci; le facteur de qualité $Q = (L\omega_0)/r$ que l'on mesure est effectivement celui du circuit sans qu'aucune résistance extérieure ne vienne perturber celui-ci.

2.3. Caractéristiques de transistors

Nous utilisons un ou deux convertisseurs (figure 4) dans les montages destinés à tracer les caractéristiques aussi bien de transistors bipolaires qu'à effet de champ ; on réalise un montage unique qui permet, en ayant une masse unique, qui est celle de la table traçante ou de l'oscilloscope, d'obtenir toutes les caractéristiques d'entrée, de sortie et de transfert.

Dans l'exemple de la figure 4 :

- V_1 en fonction de V_4 donne $I_b = f(V_{BE})$,
- V_2 en fonction de V_1 donne $I_c = f(I_b)$,
- V_2 en fonction de V_3 donne $I_c = f(V_{CE})$.

Les transistors de puissance sont bien sûr exclus de ce type de montage à cause de la limitation en courant de l'A.O. utilisé.

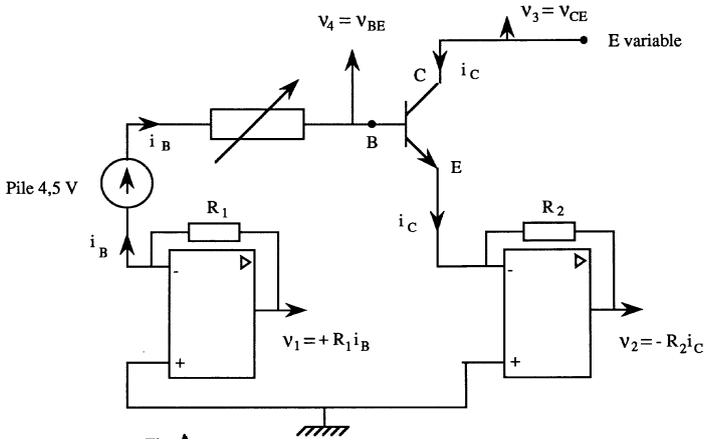


Figure 4

Mises à part ces applications, rappelons que le convertisseur courant-tension associé à une photodiode constitue un détecteur linéaire de flux lumineux ; il permet en effet de mesurer l'intensité du courant de court-circuit d'une photodiode, grandeur qui est proportionnelle au flux lumineux [3].

3. CONCLUSION

Ainsi que nous pouvons le constater sur les quelques exemples présentés ci-dessus, le convertisseur courant-tension fournit une «sonde d'intensité» parfaite puisqu'il n'apporte aucune résistance supplémentaire dans la branche où il se trouve ; il présente cependant l'inconvénient de ne pas permettre (sous la forme que nous avons présentée), la mesure de courants supérieurs à une vingtaine de mA (l'utilisation d'A.O. de puissance par exemple le TCA365 H permet alors de lever cette difficulté [4]). Nous en conseillons souvent l'emploi à nos étudiants de CAPES ou d'AGRÉGATION qui maintenant l'utilisent sans réticence.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BERTIN FAROUX : Électromagnétisme - Tome 3, Dunod.
- [2] R. DAMAYE : L'Amplificateur Opérationnel - Éditions Radio.
- [3] R. ALLARD : Appareil photographique - B.U.P. n° 725, p. 833.
- [4] R. ALLARD : Source de courant à fort débit - B.U.P. n° 771, p. 201.