Générateur à résistance négative 33011

NOTICE

Retrouvez l'ensemble de nos gammes sur : www.pierron.fr

PIERRON
ÉQUIPEMENT PÉDAGOGIQUE SCIENTIFIQUE

PIERRON - ASCO & CELDA • CS 80609 • 57206 SARREGUEMINES Cedex • France
Tél. : 03 87 95 14 77 • **Fax :** 03 87 98 45 91
E-mail : education-france@pierron.fr

1 - Introduction

Ce dispositif constitue un générateur **AB** dont la tension $\mathbf{U_{AB}}$ à ses bornes est proportionnelle à l'intensité du courant $\mathbf{I_{AB}}$ qui circule dans le circuit. Ce coefficient de proportionnalité **R-** étant négatif, on appelle souvent ce dipôle, par abus de langage, « Résistance Négative », en faisant un parallèle avec la loi d'Ohm. Ce que l'on vérifie par la mesure directe de sa résistance et/ou le tracé de sa caractéristique : $U_{AB} = f(I_{AB})$.

C'est en fait un générateur qui fournit une puissance électrique $\mathbf{P_{AB}}$ au circuit extérieur telle que :

$$\mathbf{P_{AB} = R\text{-}.I_{AB}^{\,2} < 0}.$$

D'où son appellation plus rigoureuse de « **Générateur à Résistance Négative** ».
En plaçant ce dispositif dans un circuit électrique oscillant du type (R, L, C), on montre clairement comment on peut passer d'un régime d'oscillations électriques pseudo-sinusoïdales car amorties, à un régime d'oscillations électriques sinusoïdales (donc non amorties) car auto-entretenues.
En faisant le bilan énergétique du circuit, on explique alors aisément le rôle de ce générateur qui permet d'obtenir des oscillations auto-entretenues : il apporte de l'énergie au circuit pour compenser les pertes d'énergie par effet Joule dues à la résistance du circuit.

Ce générateur est composé d'un boîtier compact, prêt à l'emploi. Il suffit de le connecter à une alimentation symétrique (+15 / 0 / -15 V). Un potentiomètre permet de modifier le coefficient **R-** de la « résistance négative » de 0 à -100 Ω pour avoir des oscillations auto-entretenues dans un circuit R, L, C.

Dans un premier temps, l'expérimentation met en évidence ce qui caractérise ce type de générateur : sa « résistance négative ». Pour cela, on mesure directement sa résistance à l'ohmmètre ou/et on réalise et exploite le tracé de sa caractéristique $\mathbf{U_{AB} = f(I_{AB})}$ point par point.

Dans un deuxième temps, en le plaçant dans un circuit électrique oscillant du type (R, L, C), on montre expérimentalement aisément comment on passe d'un régime d'oscillations électriques pseudo-sinusoïdales amorties à un régime d'oscillations électriques sinusoïdales car auto-entretenues.

2 - Contenu de l'emballage

- Un générateur à résistance négative
- Une notice

Caractéristiques

- Alimentation : +15 / 0 / -15 V
- Coefficient R- réglable de 0 à 100 Ω
- Raccordement sur douilles double puits Ø 4 mm
- Boîter en ABS
- Dimensions : 130 x 80 x 36 mm
- Masse : 185 g

Description

(1) : Bornes (x3) pour alimentation symétrique (+15 / 0 / -15 V)
(2) : Réglage de la tension de décalage (zéro d'offset)
(3) : Potentiomètre de réglage de R-
(4) : Bornes du générateur AB (x2)

Remarques pratiques importantes

1. Réglage du zéro

Le dispositif est immédiatement prêt à l'emploi.

Cependant, il convient de vérifier le zéro d'offset :

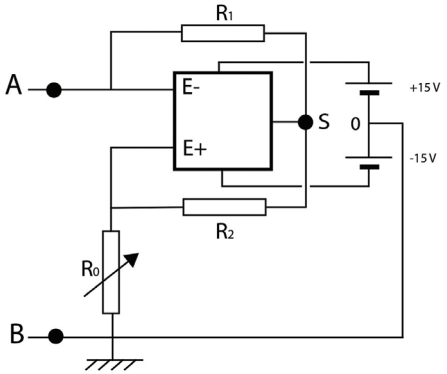
- Connecter une alimentation symétrique (+15 / 0 / -15 V) aux trois bornes *(1)* « **ALIMENTATION** » du boîtier, prévues à cet effet, en respectant bien les polarités.
- Connecter un voltmètre aux bornes **A** et **B** *(4)*, du boîtier.

On doit alors mesurer une tension $\mathbf{U_{AB}}$ nulle.

Sinon, faire le réglage de la tension de décalage à 0 V en agissant délicatement en *(2)*, à l'aide d'un petit tournevis, sur la vis du potentiomètre situé à l'intérieur du boîtier.

2. Montage du générateur à résistance négative

Le schéma du circuit électrique du générateur **AB** à résistance négative est représenté ci-contre.



Dans ces conditions, **il est important de constater que la borne B est reliée à la masse de l'alimentation symétrique qui, selon le type d'alimentation utilisée, peut elle-même être reliée à la Terre.**

Par suite, dans le cas d'utilisation d'autres appareils (générateur à courant continu, GBF, oscilloscope…) ayant une Terre, il faut veiller à ce qu'il n'y ait pas de conflit de masse ; ce qui amènerait à court-circuiter la partie du circuit concernée.

Caractéristiques :

$R_1 = 100\ \Omega$ $R_2 = 10\ k\Omega$ $0 \leq R_0 \leq 10\ k\Omega$

Dans ces conditions, on a :

$$R- = - R_0.R_1/R_2$$

soit une résistance négative de valeur comprise entre 0 et -100 Ω

Expérimentation

1. Mesure directe de la résistance du générateur AB à résistance négative

1.1. Matériel

- ❏ Générateur AB avec réglage de l'offset à 0 V

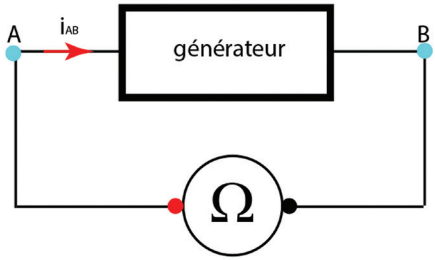
Matériels non fournis :

- ❏ Alimentation symétrique (+15 / 0 / -15 V), réf. 01985.10
- ❏ Ohmmètre numérique (à générateur de courant), réf. 40106.10
- ❏ Fils de connexion

1.2. Objectif

Il s'agit de mesurer directement la résistance du dipôle **AB** et de montrer qu'elle a une valeur négative ; ce qui justifie le nom donné, par abus de langage, à ce type de générateur.

1.3. Expérimentation



- Placer le générateur **AB** sur un plan de travail.
- Connecter l'alimentation symétrique en respectant bien les polarités et la mettre en fonction.
- Connecter l'ohmmètre aux bornes **A** et **B** du dipôle et mesurer la valeur de la résistance négative $\mathbf{R_{AB}}$ pour diverses positions du potentiomètre de réglage *(3)*.
- Refaire les mesures $\mathbf{R_{BA}}$ en inversant les connexions de l'ohmmètre.
- En déduire le domaine d'utilisation de la résistance négative.

Résultat

On mesure une « résistance » comprise entre 0 et -100 Ω.

Pour une position donnée du potentiomètre *(3)*, la mesure de la résistance ne dépend pas du sens de branchement de l'ohmmètre.

La présence du signe « - », indiqué par l'ohmmètre numérique, provient du fait que celui-ci se comporte comme un générateur de courant. Il détermine en fait la tension $\mathbf{U_{AB}}$ aux bornes du générateur et l'intensité $\mathbf{I_{AB}}$ du courant pour en déduire la valeur **R-** de la résistance.

On a ainsi :

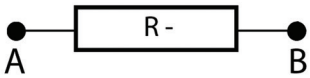
$$U_{AB} = R\text{-}.I_{AB}$$

avec $\mathbf{U_{AB}} < 0$ et $\mathbf{I_{AB}} > 0$, d'où : $\mathbf{R\text{-}} < 0$

Pour une position donnée du potentiomètre *(3)*, la valeur de la résistance négative peut ne pas être tout à fait identique selon le branchement de l'ohmmètre. Cet écart s'atténue en agissant sur la tension de décalage *(2)*.

Note : le générateur à résistance négative est un dispositif électronique comprenant divers composants (résistances, amplificateur opérationnel, alimentation symétrique). Il n'a pas de symbole normalisé.

Par suite, la totalité du dispositif sera représenté simplement par un rectangle avec **R-**, suggérant le terme de générateur à résistance négative. **B** est la borne reliée à la masse de l'alimentation symétrique (0 V).



2. Caractéristique $U_{AB} = f(I_{AB})$ du générateur AB à résistance négative

2.1. Matériel

- ❑ Générateur AB avec : R- = -100 Ω mesurée à l'ohmmètre (ajustée si nécessaire en réglant l'offset)

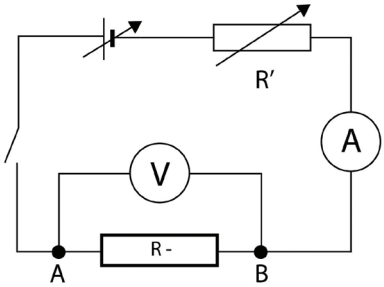
Matériels non fournis :

- ❑ Alimentation symétrique (+15 / 0 / -15 V), réf. 01985.10
- ❑ Ampèremètre, réf. 40106.10
- ❑ Voltmètre, réf. 40106.10
- ❑ Rhéostat **R'** (0 - 10 kΩ) ou Boîte de résistances à tourelles 10 kΩ, réf. 00846.10
- ❑ Générateur de tension continu réglable 0 - 12 V, ref. 01983.10
- ❑ Interrupteur, réf. 04162.10
- ❑ Fils de connexion

2.2. Objectifs

Il s'agit de tracer la caractéristique du générateur **AB**, $\mathbf{U_{AB} = f(I_{AB})}$, point par point, et de déterminer son équation à partir du graphique.

2.3. Expérimentation et exploitation



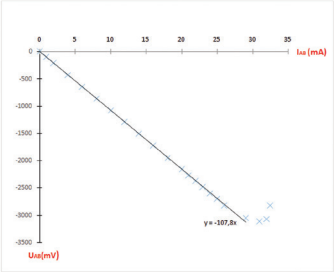
- Réaliser le montage ci-contre. Éventuellement prendre en compte la remarque pratique « Description » *§ 2*.
- Choisir initialement une tension de 12 V délivrée par le générateur et une résistance de 10 kΩ.
- Affiner éventuellement la tension de décalage *(2)* de façon à avoir pour $\mathbf{I_{AB}}$ = 0 mA, une tension $\mathbf{U_{AB}}$ = 0 V.
- Pour diverses valeurs de $\mathbf{I_{AB}}$, mesurer la tension $\mathbf{U_{AB}}$: pour cela faire varier la résistance **R'** et la tension du générateur **G** de façon à ce que l'intensité du courant $\mathbf{I_{AB}}$ évolue régulièrement de 0 à 25 mA, si possible de 1 mA en 1 mA.
- Sous forme d'un tableau, relever la tension $\mathbf{U_{AB}}$ correspondant à chaque valeur de $\mathbf{I_{AB}}$.
- Tracer la caractéristique $\mathbf{U_{AB} = f(I_{AB})}$.
- Déterminer son équation.
- Conclure sur la nature du dipôle **AB**.

Illustration

On constate que :

- la tension décroît au fur et à mesure qu'on augmente la valeur de l'intensité du courant jusqu'à environ 31 mA ;
- l'intensité tend vers une valeur constante à partir de 32 mA alors que la tension augmente (en valeur algébrique). On a atteint alors la limite en intensité de l'amplificateur opérationnel : **saturation**.

I_{AB} (mA)	U_{AB} (mV)
0	0
1	-106
2	-214
4	-428
6	-644
8	-860
10	-1077
12	-1295
14	-1511
16	-1728
18	-1951
20	-2160
21	-2270
22	-2380
23	-2490
24	-2600
25	-2710
26	-2830
29	-3050
31	-3120
32	-3070
32,5	-2830



En dehors de la saturation, la caractéristique est une droite qui passe par l'origine (0,0). Son équation modélisée est : $U_{AB} = -108.I_{AB}$

On retrouve une équation qui rappelle la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique mais avec un **R** < 0. D'où le nom de « résistance négative » donné à ce générateur, par abus de langage.

Aux incertitudes de mesure près, la valeur de la pente (ou coefficient directeur) correspond à la valeur de la « résistance négative » mesurée directement à l'ohmmètre.

3. Oscillations auto-entretenues

3.1. Matériel

- ❏ Générateur **AB** avec **R-** = 0 Ω

Matériels non fournis :

- ❏ Alimentation symétrique (+15 / 0 / -15 V), réf. 01985.10
- ❏ Oscilloscope, réf. 15587.10
- ❏ Condensateur (0,1 µF), réf. 08072.10
- ❏ Bobine (1 100 spires ; 40 mH ; r = 10 Ω), réf. 08887.10
- ❏ GBF de tension créneau **+E / -E** (+1 V / -1 V) de 100 Hz, réf. 04729.10
- ❏ Ohmmètre, réf. 40106.10

3.2. Objectifs

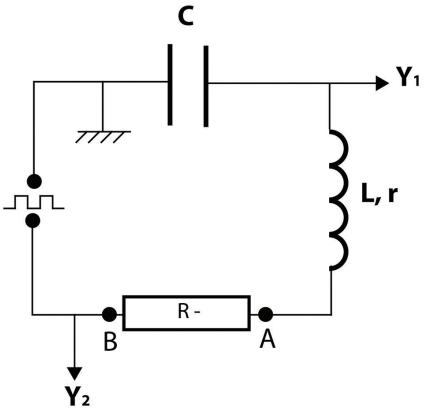
Dans un circuit (R, L, C) alimenté par un générateur de tension créneau symétrique, il s'agit de montrer que :

- il se produit des oscillations pseudo-sinusoïdales qui correspondent à la charge à **+E** et à **-E**, oscillante du condensateur (**C**) dans la bobine (**r**, **L**) ;
- l'amortissement des oscillations résulte des pertes par effet Joule dues notamment à la

résistance **r** de la bobine d'induction ;

- il est possible de passer d'un régime d'oscillations électriques sinusoïdales amorties à celui d'oscillations électriques parfaitement sinusoïdales car auto-entretenues grâce à l'apport d'énergie du générateur à « résistance négative ».

3.3. Expérimentation



- Réaliser le montage ci-contre (cas d'une alimentation symétrique +15 / 0 / -15 V, non reliée à la Terre : au besoin prendre en compte la remarque pratique « Description » *§ 2.*).
- Observer à l'oscilloscope la nature des oscillations électriques obtenues aux bornes du condensateur.
- Augmenter progressivement la « résistance négative » du générateur **AB** à l'aide du potentiomètre *(3)* et observer l'évolution de la nature des oscillations jusqu'à obtenir des oscillations sinusoïdales non amorties.
- Débrancher du secteur le GBF et observer le résultat.
- Il peut être nécessaire d'affiner le réglage pour conserver les oscillations.
- Hors circuit, mesurer la « résistance négative » du générateur **AB**.
- Interpréter l'expérience à partir des échanges énergétiques qui se produisent dans le circuit électrique.

Résultat

On observe des oscillations pseudo-sinusoïdales : amortissement dû notamment aux pertes d'énergie par effet Joule de la résistance **r** de la bobine.

Le générateur **AB** à résistance négative, convenablement réglé, apporte l'énergie suffisante pour compenser l'énergie dissipée par tout le circuit. Les oscillations ne sont plus alors amorties : oscillations sinusoïdales car auto-entretenues.

En débranchant le GBF, les oscillations demeurent sinusoïdales. À noter que le circuit n'est pas en réalité ouvert mais se referme alors sur la résistance interne du GBF. Ce qui justifie que la valeur de la résistance négative mesurée soit supérieure à celle de la résistance **r** de la bobine.

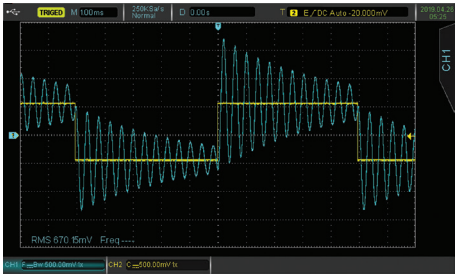
Illustration

Oscillogramme 1 :

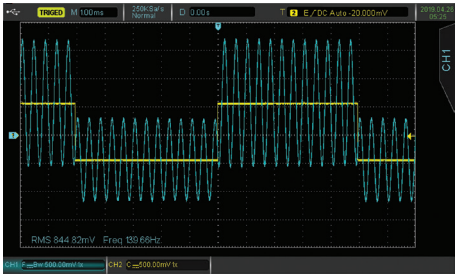
Lorsque la résistance négative est nulle, on observe le phénomène de charge du condensateur sous la tension **+E** et **-E** : il s'agit d'oscillations pseudo-sinusoïdales car amorties par suite des pertes par effet Joule dans le circuit.

Oscillogramme 2 :

Lorsqu'on augmente progressivement la résistance négative, on observe que l'on passe progressivement d'oscillations pseudo-sinusoïdales à des oscillations sinusoïdales lorsque la valeur de la résistance **R-** devient suffisante.



Oscillogramme 1



Oscillogramme 2

4. Oscillateur R, L, C

4.1. Matériel

- ❏ Générateur AB avec **R-** = 0 Ω

Matériels non fournis :

- ❏ Alimentation symétrique (+15 / 0 / -15 V), réf. 01985.10
- ❏ Oscilloscope, réf. 15587.10
- ❏ Condensateur (0,1 µF), réf. 08072.10
- ❏ Bobine (1 100 spires ; 40 mH ; r = 10 Ω), réf. 08887.10

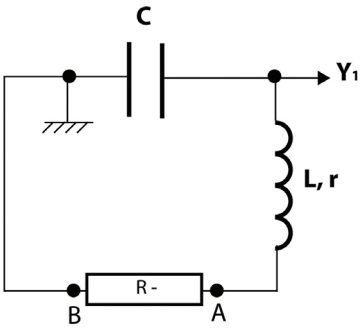
4.2. Objectif

Dans un circuit (R, L, C), il s'agit de montrer que le seul générateur à résistance négative permet de produire des oscillations électriques spontanées dans le circuit : oscillations électriques sinusoïdales auto-entretenues.

4.3. Expérimentation

- Réaliser le montage ci-contre avec la résistance négative initialement nulle où l'on visualise à l'oscilloscope la tension aux bornes du condensateur.
- Faire croître progressivement la valeur de la résistance négative jusqu'à la production spontanée d'oscillations électriques sinusoïdales dans le circuit.
- Déterminer la valeur de la période propre des oscillations T_0 et vérifier la relation :

$$T_0 = 2.\pi \sqrt{(L.C)}$$



Remarque pratique importante

Le déclenchement des oscillations se produit pour une valeur de **R-** supérieure à la résistance du circuit. Il convient alors d'ajuster cette valeur en diminuant **R-** pour arriver au seuil de déclenchement.

- Si **R-** devient trop petit, les oscillations disparaissent.
- Si **R-** est trop grand, on peut observer des déformations de l'allure des oscillations qui ne sont plus alors proprement sinusoïdales.

Répéter au besoin le mode opératoire pour être le plus proche de la valeur limite.

Remarque théorique

Initialement, l'intensité du courant dans le circuit est nulle. Or le générateur **AB** à résistance négative ne produit de l'énergie qu'en présence de courant ($P_{AB} = R\text{-}.I_{AB}^2$). Son déclenchement résulte en fait de l'existence de courants microscopiques dus à l'agitation désordonnée des électrons du circuit.

Illustration

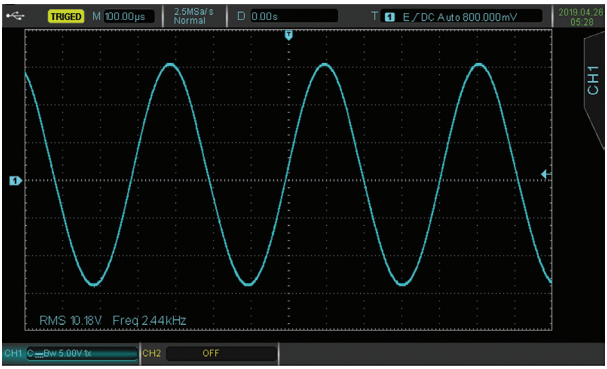
La fréquence des oscillations a pour valeur expérimentale : 2,44 kHz soit une période :

$$T_{exp} = 4{,}10.10^{-4}\ s$$

On trouve théoriquement :

$$T_0 = 2.\pi.\sqrt{(40.10^{-3}.0{,}1.10^{-6})} = 3{,}97.10^{-4}\ s$$

D'où un écart relatif de près de 3 % par rapport à la valeur théorique.


TRIGED
M 100.00μs
2.5MSa/s
Normal
D 0.00s
T 1 E / DC Auto 800.000mV
2019.04.26
05:28
CH1
RMS 10.18V Freq 2.44kHz
CH1 Bw 5.00V/x
CH2
OFF

1 - Entretien

Aucun entretien particulier n'est nécessaire au fonctionnement de votre appareil.
Toutes les opérations de maintenance ou de réparation doivent être réalisées par PIERRON - ASCO & CELDA. En cas de problème, n'hésitez pas à contacter le Service Clients.

2 - Garantie

Les matériels livrés par PIERRON - ASCO & CELDA sont garantis, à compter de leur livraison, contre tous défauts ou vices cachés du matériel vendu. Cette garantie est valable pour une durée de 2 ans après livraison et se limite à la réparation ou au remplacement du matériel défectueux. La garantie ne pourra être accordée en cas d'avarie résultant d'une utilisation incorrecte du matériel.
Sont exclus de cette garantie : la verrerie de laboratoire, les lampes, fusibles, tubes à vide, produits, pièces d'usure, matériel informatique et multimédia.
Certains matériels peuvent avoir une garantie inférieure à 2 ans, dans ce cas, la garantie spécifique est indiquée sur le catalogue ou document publicitaire.
Le retour de matériel sous garantie doit avoir notre accord écrit.
Vices apparents : nous ne pourrons admettre de réclamation qui ne nous serait pas parvenue dans un délai de quinze jours après livraison au maximum. À l'export, ce délai est porté à un mois.
La garantie ne s'appliquera pas lorsqu'une réparation ou intervention par une personne extérieure à notre Société aura été constatée.

ÉQUIPEMENT PÉDAGOGIQUE SCIENTIFIQUE

PIERRON - ASCO & CELDA
CS 80609 • 57206 SARREGUEMINES Cedex • France
Tél. : 03 87 95 14 77
Fax : 03 87 98 45 91
E-mail : education-france@pierron.fr