

Le redressement en classe de Quatrième

par R. MOREAU,
Bordeaux.

L'objectif est de réaliser la transformation du courant alternatif délivré par le secteur, en courant continu nécessaire à une charge, comme le montre la fig. 1.

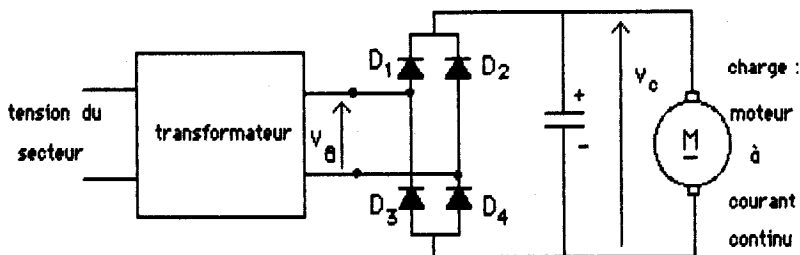


Fig. 1

Les élèves doivent avant tout retirer de cette leçon la connaissance qualitative suivante : l'énergie électrique est une forme particulièrement adaptable de l'énergie et l'on dispose d'appareils, de sous-ensembles, ou de composants (ici le transformateur, le pont de diodes et le condensateur) pour transformer l'énergie qui nous est distribuée par E.D.F. et l'adapter aux besoins des particuliers ou de l'industrie.

Ceci dit, on peut se proposer d'atteindre d'autres objectifs, et ce montage se prête bien à la mise en œuvre d'une méthode expérimentale pour analyser le fonctionnement du pont de diodes.

L'étude peut, bien entendu, être menée à l'oscilloscope en comparant la forme des tensions avant le pont (v_a) et après (v_c) ; sans le condensateur et avec lui, etc.

Mais l'utilisation de l'oscilloscope suppose que ceux qui l'observent ont une notion assez précise de la représentation graphique de la variation d'une grandeur en fonction du temps ; or

cette notion mathématique n'est acquise, pour la plupart des élèves, qu'en classe de Seconde.

Si l'on désire exploiter pédagogiquement le montage de manière à ce qu'une bonne proportion d'enfants en tire profit, il est bon, après avoir analysé sa fonction globale, de le reprendre en remplaçant d'une part le transformateur par un générateur fournissant une tension alternative de très basse fréquence, et d'autre part le pont de diodes au Silicium par 4 diodes électroluminescentes (à l'Arséniure de Gallium).

La tension $v_a(t)$ fournie par le générateur T.B.F. (fig. 2), doit avoir une amplitude voisine d'une dizaine de volts (il n'est pas

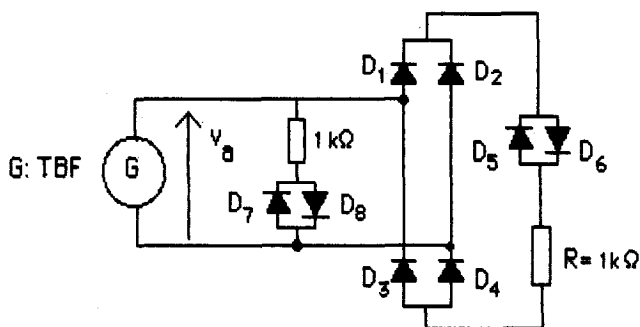


Fig. 2

nécessaire qu'elle soit sinusoïdale : une tension « triangulaire », souvent plus facile à générer convient également). Il faut également que le générateur puisse fournir un courant d'intensité au moins égale à une dizaine de milliampères de manière à ce que les diodes soient assez lumineuses lorsqu'elles conduisent.

Si l'on ne dispose pas d'un générateur de fonctions convenable, on pourra en réaliser un, à très faible coût, en suivant le schéma fourni en annexe : le montage proposé est construit autour de trois amplificateurs opérationnels pouvant faire partie d'un circuit intégré unique ; avec quelques résistances et deux transistors, il permet de réaliser un tel générateur pour une cinquantaine de francs (on peut l'alimenter avec des piles — ou des accumulateurs — si les deux tensions symétriques d'alimentation ont une valeur absolue de 13,5 V, ou un peu plus).

La très basse fréquence (0,5 Hz par exemple) permet de suivre les phénomènes « en temps réel ».

Les diodes électroluminescentes ne peuvent remplacer les diodes de redressement dans les montages industriels, car elles ne peuvent conduire que de faibles courants (d'intensité inférieure à 33 mA environ) et leur tension de service est trop importante (environ 1,6 V pour une D.E.L. rouge ; 1,8 V pour une jaune ; 2,0 V pour une verte) ; mais, en classe, elles offrent l'immense avantage de permettre de connaître les durées pendant lesquelles elles conduisent.

Avec le montage de la fig. 2, par exemple, on constate que lorsque la tension v_a est positive (D_8 conduit), le courant dans la charge emprunte le trajet jalonné par D_1 , D_6 et D_4 . (Il ne revient pas par D_3 car dans la maille D_1 , D_6 , R , D_3 , qui ne contient pas de générateur, le courant ne peut se refermer). Lorsque v_a est négative (D_7 conduit), c'est le trajet jalonné par D_2 , D_6 et D_3 qui est suivi par le courant.

On constate aussi qu'avec une charge résistante comme la résistance R qui est utilisée sur le montage de la fig. 2, la diode D_6 cesse d'éclairer deux fois par période : le courant dans la charge n'est pas lissé.

Les modifications apportées par l'adjonction au montage d'un condensateur de capacité C , comme le représente la fig. 3, sont bien mises en évidence, là encore, par l'utilisation de diodes électroluminescentes et l'emploi de signaux de très basse fréquence (attention, il s'agit d'un condensateur électrochimique dont la polarité est imposée).

Si la constante de temps RC est nettement supérieure à la période T de la tension v_a , on constate tout d'abord que la luminosité de la diode D_6 ne varie pratiquement plus : le courant dans la charge, comme la tension à ses bornes sont donc rendus moins fluctuants, mais, en revanche, les durées de conduction des diodes du pont sont raccourcies, il en est de même de celles des diodes D_9 et D_{10} .

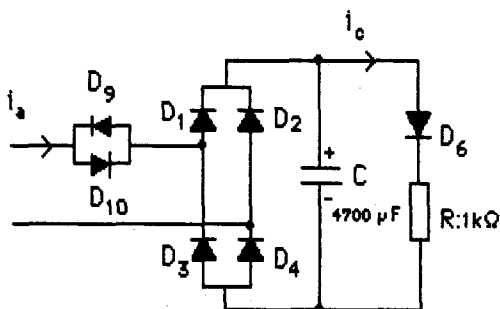


Fig. 3

De plus, ces six dernières diodes, lorsqu'elles conduisent, éclairent beaucoup plus, le courant maximal qui les traverse est donc beaucoup plus important que précédemment.

On comprend alors que le condensateur, s'il a un effet bénéfique pour la charge R, impose aux diodes de travailler dans des conditions plus difficiles : elles doivent permettre le passage de quantités d'électricité plus importantes pendant des durées notablement réduites.

On en déduit :

- 1) qu'un pont de diodes, s'il doit travailler en présence d'un condensateur de filtrage, doit être surdimensionné par rapport à l'intensité moyenne qui doit traverser la charge (si l'intensité i_c du courant moyen dans la charge doit être de 1 A environ, il faut prendre des diodes pouvant supporter des courants d'intensité maximale 2,5 A par exemple) ;
- 2) que le courant dans le secondaire du transformateur, dont la forme est rendue sensible par la présence des diodes D_9 et D_{10} , est lui aussi très haché : le transformateur lui aussi travaille dans de mauvaises conditions.

Ces remarques expliquent que cette forme de « filtrage » du courant (par condensateur en parallèle avec le pont) n'est utilisée que pour des courants de charge limités à quelques ampères ; au-delà, au lieu de procéder de cette manière, on place une bobine en série avec le pont redresseur. Là encore l'observation expérimentale et la discussion des observations permettent de découvrir les paramètres physiques importants qui justifient les choix technologiques et notamment la valeur de l'inductance à utiliser (mais ceci dépasse largement le programme de la classe de Quatrième).

Notons, mais à l'usage des seuls professeurs, que les observations que l'on peut effectuer grâce aux diodes électroluminescentes, peuvent être corroborées par une étude menée à l'oscilloscope.

Lorsqu'un pont de diodes débite dans une résistance (fig. 4), chacune des diodes conduit pendant une demi-période $T/2$ de la tension alternative redressée (soit 10 ms quand on utilise la tension du secteur à 50 Hz).

Quand, en revanche, on place un condensateur chimique de capacité C suffisante en parallèle avec la charge (et donc en parallèle avec le pont), on peut observer que pendant une durée $T/2$, la tension aux bornes du condensateur croît puis décroît. Elle croît quand la valeur absolue de la tension alternative est supérieure à elle, et cela correspond à une phase de conduc-

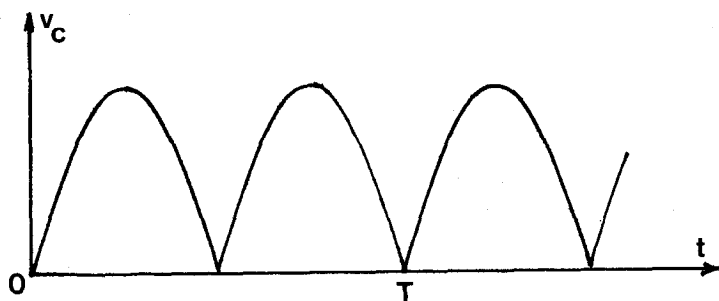


Fig. 4

tion des diodes D_{10} , D_1 et D_4 par exemple. Elle commence à décroître quand la valeur absolue de la tension alternative commence elle-même à décroître ; mais, très vite, celle-ci décroît trop rapidement pour que la tension du condensateur puisse suivre : alors aucune diode ne conduit plus et le condensateur se décharge seul, à son propre rythme, celui d'une exponentielle décroissante de constante de temps $\tau = RC$ (fig. 5). Les durées de conduction de chaque diode du pont sont donc nettement inférieures à $T/2$.

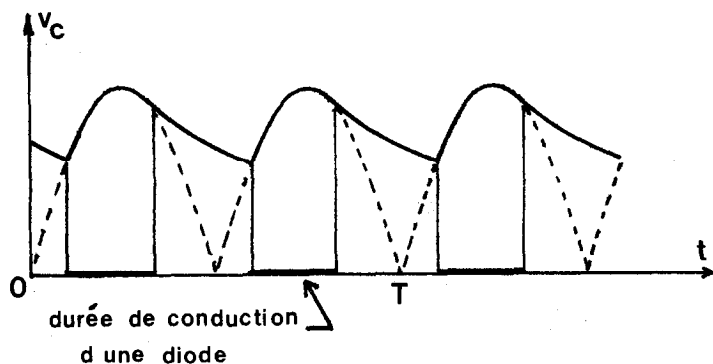


Fig. 5

ANNEXE

GENERATEUR DE SIGNAUX TRIANGULAIRES DE TRES BASSE FREQUENCE

Performances.

La fréquence des signaux est réglable entre 0,25 Hz et 50 Hz et ceci grâce au potentiomètre P_1 .

Leur amplitude est réglable (par le potentiomètre P_2) entre 0 et 12 V environ lorsque l'ensemble est alimenté avec les tensions symétriques + 15 V, - 15 V.

L'impédance de sortie est voisine de 50 Ω (elle est imposée par la résistance de 47 Ω placée avant la sortie S), c'est-à-dire que si l'alimentation est elle-même capable de le fournir, le générateur peut débiter un courant d'intensité maximale 240 mA = 12 V/50 Ω .

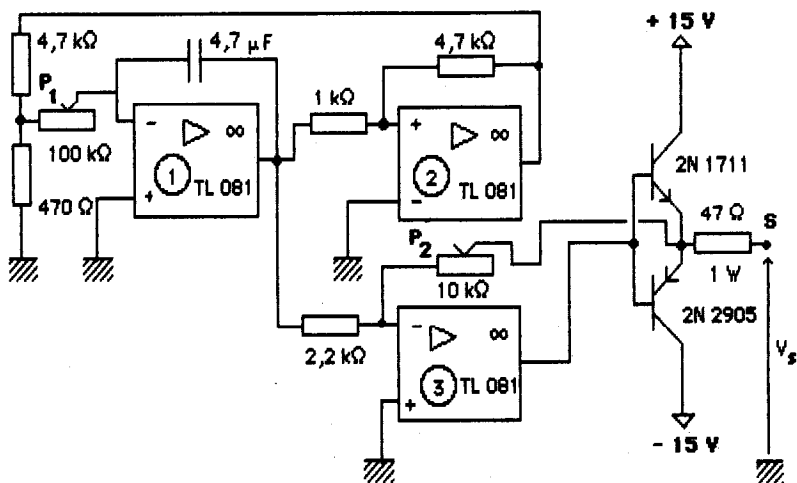


Fig. 6

Principe.

L'intégrateur construit autour de l'amplificateur opérationnel n° 1 (A.O. 1) transforme les signaux carrés symétriques fournis par A.O. 2 en signaux triangulaires alternatifs d'amplitude constante. Cette amplitude vaut $V_{sat}/4,7$.

Elle est fixée par le comparateur à hystérésis construit autour de A.O. 2 (le facteur 4,7 est égal au rapport des deux résistances

qui entourent A.O. 2). Les signaux triangulaires sont amplifiés en tension par l'amplificateur inverseur (A.O. 3) dont le coefficient d'amplification est réglable par P_2 .

Le montage push-pull à transistors complémentaires permet lui, de porter l'intensité de sortie de 20 à 240 mA (20 mA est approximativement l'intensité maximale que peut fournir un amplificateur opérationnel courant).

Remarques.

Les trois amplificateurs opérationnels (TL 081) qui interviennent dans ce montage peuvent, si on le désire, faire partie du même circuit intégré (TL 084 par exemple) ; celui-ci en contient 4, comme le montre la fig. 7 qui représente son brochage.

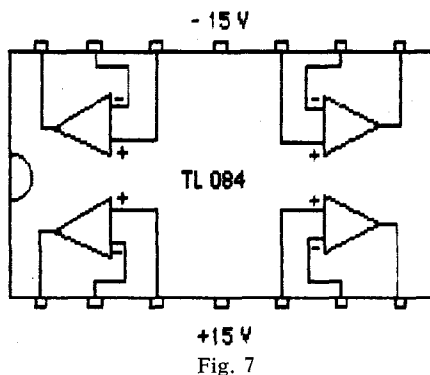


Fig. 7

Chacun des 4 amplificateurs opérationnels a des performances comparables à celles d'un circuit TL 081.

Le générateur que nous venons de décrire peut fonctionner avec des piles, mais il vaut mieux l'alimenter à partir du secteur grâce à une petite alimentation stabilisée (+ 15 V, - 15 V ; 250 mA). L'ensemble (alimentation stabilisée et générateur, montés dans le même boîtier) est disponible dans le commerce pour un prix inférieur à 300 F, chez ELECTROME, Zone Industrielle Alfred-Daney, 33000 Bordeaux. L'alimentation stabilisée peut alors être utilisée indépendamment du générateur.

Un tel générateur permet de rendre très claires de nombreuses propriétés du courant alternatif ; citons rapidement quelques expériences qu'il rend possibles :

- 1) En branchant en série une lampe à incandescence convenable et un ampèremètre à zéro central à la sortie de ce générateur, on rend par exemple évident le fait que la lampe

éclairer deux fois par période ; l'ampèremètre à zéro central peut être remplacé par un petit moteur à courant continu qui, lui, change de sens de rotation à chaque alternance.

- 2) L'ensemble constitué par le générateur TBF et le pont de diodes électroluminescentes permet de suivre le régime transitoire de la charge du condensateur que l'on place en parallèle sur le pont : il suffit de prendre un condensateur de $10\,000\ \mu\text{F}$ (10 V), de placer une résistance de $100\ \Omega$ en série avec ce condensateur, pour limiter le courant de charge et protéger les diodes, et de brancher un voltmètre aux bornes de C. On voit ainsi la tension aux bornes du condensateur s'élever à chaque alternance (les diodes marquent le rythme de la charge). Lorsqu'il est chargé, les diodes ne conduisent pratiquement plus (seule la charge qui s'écoule dans le voltmètre doit être remplacée).
- 3) Le rôle régulateur du condensateur électrochimique associé au pont redresseur peut encore être mis en évidence par un petit moteur de balladeur (walkman), absorbant à vide un courant d'intensité inférieure à 30 mA.

Il faut, pour cela, porter la fréquence de la tension fournie par le générateur TBF à 4 ou 5 Hz. Sans le condensateur, la rotation du petit moteur est hachée ; après le branchement du condensateur ($C = 10\,000\ \mu\text{F}$), on entend parfaitement qu'elle est devenue régulière, comme l'intensité du courant qui le traverse. Pour les professeurs, il est facile de constater qu'en 100 ms, durée approximative de la décharge du condensateur lorsque la fréquence de la tension alimentant le pont redresseur est de 4 Hz, la tension d'un condensateur de $10\,000\ \mu\text{F}$ qui fournit un courant de 30 mA ne chute que de 0,3 V).
