

Bilan énergétique dans un circuit et introduction à l'électronique de puissance : deux montages

par Frédéric NARCY

Lycée Technique, 91200 ATHIS-MONS

On propose ici l'étude expérimentale de deux circuits offrant la même possibilité : faire varier l'intensité lumineuse d'une ampoule. L'un est classique, l'autre utilise l'électronique.

Les manipulations décrites donnent l'occasion d'effectuer des calculs de puissances et de rendement, et de montrer les avantages de l'électronique dans le domaine des puissances élevées.

On pourra adapter l'exploitation des expériences à l'auditoire : dans une classe de première S ou E on insistera plus sur l'aspect calcul des puissances et bilan énergétique, dans une classe de terminale F1, F2 ou F3 cette manipulation constituera plutôt une introduction à l'électronique de puissance en général et au hacheur en particulier. Un des montages utilise un transistor, composant qui n'est pas au programme de première S, mais on verra qu'ici il est inutile de l'introduire et d'en parler aux élèves.

CONTENU DES DIFFÉRENTES PARTIES :

A - La manipulation proposée

Cette partie est une présentation épurée des expériences et de leur exploitation. Elle donne aussi un exemple de ce que peut être la trace écrite conservée par les élèves, sous forme de polycopié ou de notes personnelles.

B - Déroulement de la séquence

C'est un exemple de scénario pour la conduite de l'expérience dans le cas où celle-ci est faite par le professeur devant les élèves.

C - Choix du matériel

Les valeurs des tensions et autres grandeurs intervenant ici ne sont pas impératives et suivant le matériel disponible on sera certainement amené à en adopter d'autres. Cette partie a pour but d'aider à faire un choix cohérent de l'ensemble des composants nécessaires.

D - Remarques

Réponses à quelques «oui, mais...» et autres précisions. Ces questions ne sont pas à évoquer devant les élèves.

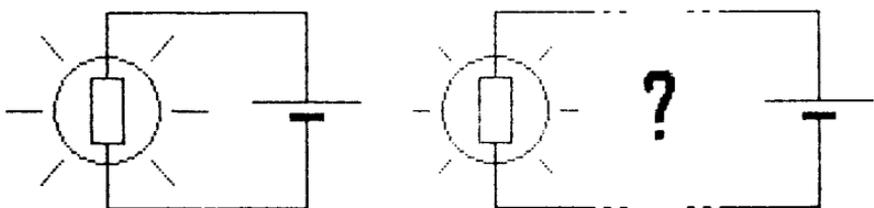
E - Électronique de puissance

Quelques éléments pour parler de l'électronique de puissance et en dégager les points forts, sans rentrer dans les détails et en faisant appel à des systèmes connus des élèves.

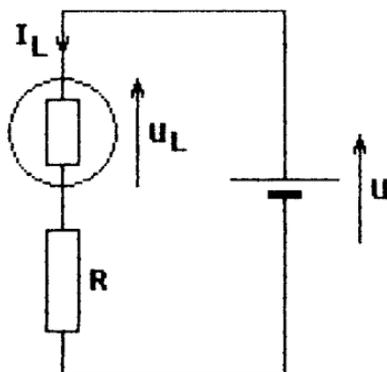
A - La manipulation proposée**1. LE PROBLÈME**

On dispose d'une ampoule à incandescence 12 V — 20 W et d'un générateur de f.é.m. 12 V.

Comment obtenir une intensité lumineuse de l'ampoule plus faible que lorsqu'elle est alimentée directement par le générateur ?

**2. PREMIÈRE SOLUTION**

On place un résistor en série avec l'ampoule.



L'ampoule éclaire plus faiblement, car la tension U_L à ses bornes est inférieure à la tension U aux bornes du générateur.

Calcul du rendement quand R est telle que $U_L = 6 \text{ V}$:

puissance fournie par le générateur : $P_G = U \cdot I_L$

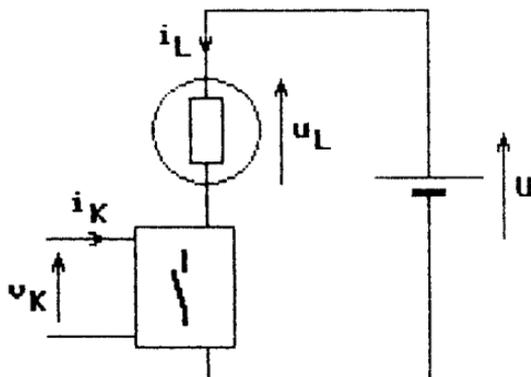
puissance reçue par l'ampoule : $P_L = U_L \cdot I_L$

$$\text{rendement} : \eta = \frac{P_L}{P_G} = \frac{U_L}{U} = 0,5$$

Dans ce cas le rendement est de 50 % : la moitié de l'énergie est perdue.

3. DEUXIÈME SOLUTION

On utilise un interrupteur électronique.



3.1. Essai de l'interrupteur électronique

L'interrupteur électronique est commandé par une tension v_K qui peut prendre deux valeurs :

Si $v_K = 0$: l'ampoule est éteinte, l'interrupteur est ouvert.

On mesure : $i_K = 0$ $i_L = 0$ $u_L = 0$

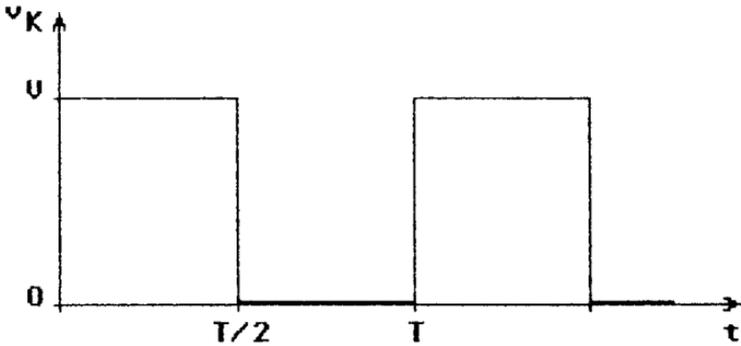
Si $v_K = V$: l'ampoule est allumée, l'interrupteur est fermé. Ici $V = 5 \text{ V}$.

On mesure : $i_K = 2 \text{ mA}$ $i_L = 1,5 \text{ A}$ $u_L = 11 \text{ V}$

Quand l'interrupteur est fermé, la tension U_L n'est pas tout à fait égale à U . On remarque que sa commande exige une intensité très faible devant celle qui peut le traverser.

3.2. Commande de l'interrupteur électronique par une tension carrée

v_K est une tension carrée de fréquence $f = 1/T$ réglable.



Pour une fréquence faible, de l'ordre de 1 Hz, l'ampoule clignote. Pour une fréquence nettement plus élevée, de l'ordre de 100 Hz, il n'y a plus de clignotement et l'aspect de l'ampoule est le même qu'avec le montage utilisant un résistor en série. Ceci est dû à l'inertie thermique du filament. De cette manière, on a aussi résolu le problème.

Calcul du rendement dans ce cas :

Entre $T/2$ et T , tous les courants sont nuls, aucune énergie n'est échangée, le rendement ne dépend donc que du fonctionnement entre 0 et $T/2$:

puissances fournies par les générateurs : $P_G = U \cdot i_L = 12 \cdot 1,5 = 18 \text{ W}$

$$P_K = u_K \cdot i_K = 5 \cdot 0,002 = 0,01 \text{ W}$$

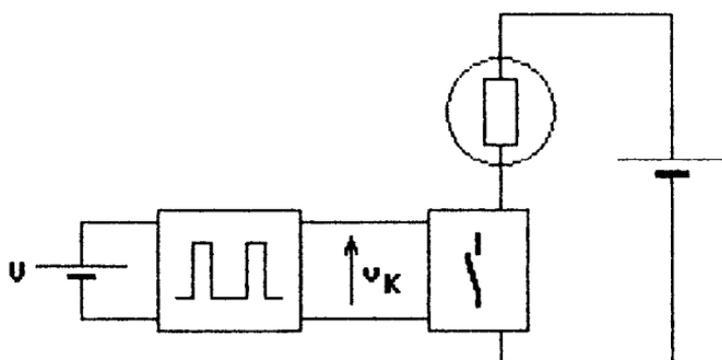
puissance utile reçue par l'ampoule : $P_L = u_L \cdot i_L = 11 \cdot 1,5 = 16,5 \text{ W}$

$$\text{rendement : } \eta = \frac{P_L}{P_G + P_K} = 0,916$$

Le rendement est supérieur à 90 % : les pertes sont faibles devant la puissance totale mise en jeu.

3.3. Obtention d'un éclairage réglable

L'interrupteur électronique est commandé par un circuit délivrant une tension rectangulaire dont on peut faire varier la forme grâce à un potentiomètre (non représenté).



Le coefficient α est réglable entre 0 et 1 (par exemple la tension carrée utilisée au paragraphe précédent est caractérisée par $\alpha = 0,5$). Si $\alpha = 0$ la tension v_K est toujours nulle et l'ampoule est éteinte. Si $\alpha = 1$ la tension v_K est toujours égale à V et l'intensité lumineuse de l'ampoule est maximale.

On obtiendrait le même résultat en remplaçant l'interrupteur électronique et sa commande par un rhéostat, mais alors le rendement serait très mauvais.

B - Déroulement de la séquence

1. LE PROBLÈME

— Présenter l'ampoule et le générateur. Alimenter l'ampoule directement par le générateur pour montrer son intensité lumineuse maximale.

— Poser le problème. On fera remarquer qu'il s'agit d'un problème bien concret puisqu'il existe dans le commerce des variateurs de lumière. Dans les salles de cinéma ces circuits permettent l'extinction et l'allumage progressif de la lumière.

2. PREMIÈRE SOLUTION

— Faire trouver aux élèves la première solution. L'énoncé du problème suggère que l'ampoule ne sera pas alimentée directement par le générateur.

— Quand la réponse est trouvée, présenter le résistor, faire le schéma du circuit et effectuer le montage. Faire constater que l'intensité lumineuse de l'ampoule est plus faible (il n'est pas nécessaire d'utiliser une autre ampoule identique, alimentée directement par le générateur et servant de témoin : le phénomène est bien net). Mesurer la tension aux bornes de l'ampoule et celle aux bornes du générateur.

— Faire le calcul du rendement et faire remarquer que la moitié de l'énergie est perdue. Si le résistor est juste dimensionné, on pourra faire constater à un élève que sa température est élevée.

3. DEUXIÈME SOLUTION

3.1. Essai de l'interrupteur électronique

— Présenter l'interrupteur électronique comme une boîte noire. On indiquera qu'il n'est constitué que de composants électroniques et d'aucune pièce mécanique. Il est inutile d'en donner le schéma et d'expliquer son fonctionnement, on s'attache seulement à la **fonction remplie** (on pourra éventuellement préciser que le composant principal peut être un transistor si les élèves en ont déjà entendu parler). On expliquera que l'interrupteur se commande par une tension et non pas grâce à un bouton ou un levier. Montrer les deux bornes entre lesquelles il «fait interrupteur» et les deux bornes de commande.

— Si un élève estime que ces explications sont incomplètes et qu'il ne pourra pas comprendre la suite car il ne sait pas ce qu'il y a dans cette «boîte noire» on pourra lui faire remarquer qu'il n'est pas nécessaire de connaître le principe de fonctionnement d'un oscillographe, d'une chaîne HI-FI ou d'une calculatrice pour s'en servir correctement. Ne pas s'attarder sur la présentation de l'interrupteur électronique, la manipulation suivante qui montre son fonctionnement vaut mieux qu'un long discours.

— Faire le schéma du circuit de puissance constitué du générateur,

de l'ampoule et de l'interrupteur électronique en série, puis effectuer le montage. L'interrupteur n'étant pas commandé, l'ampoule est éteinte.

— Présenter un générateur continu de f.é.m. égale à V . Relier les bornes de commande de l'interrupteur à ce générateur et faire constater qu'alors l'ampoule est bien allumée. Débrancher et rebrancher plusieurs fois un des fils pour bien montrer que l'état de l'interrupteur est lié à la présence d'une tension entre ses deux bornes de commande.

— Rajouter les ampèremètres pour mesurer i_K et i_L , mettre sous tension, relever les valeurs des intensités et mesurer U_L et U au contrôleur (en ne branchant pas le voltmètre à l'avance, on montre bien la différence entre l'ampèremètre qui fait partie du circuit et le voltmètre qui peut être connecté puis débranché quand le circuit est sous tension).

— Faire remarquer que U_L n'est pas tout à fait égale à U : l'interrupteur n'est pas parfait. Susciter un commentaire de la part des élèves sur les valeurs comparées de i_K et i_L .

3.2. Commande de l'interrupteur électronique par une tension carrée

— Expliquer que l'on va maintenant commander l'interrupteur avec un générateur basse fréquence.

— Visualiser d'abord la tension délivrée par le GBF à l'oscilloscope afin de la régler et montrer qu'elle prend les valeurs V et 0 . Montrer également que la fréquence peut être réglée. Tracer la forme de la courbe $v_K(t)$.

— Relier la sortie du GBF aux bornes de commande de l'interrupteur. Avant d'effectuer ce branchement on aura pris bien soin de ramener la fréquence à une valeur très faible pour qu'au début de la manipulation l'ampoule clignote lentement.

— Augmenter lentement la fréquence de v_K . S'arrêter quand le clignotement est encore visible, mais moins net. Essayer de faire dire aux élèves que si l'ampoule ne s'éteint pas complètement c'est parce que le filament de l'ampoule n'a pas le temps de se refroidir entre deux fermetures de l'interrupteur. Continuer à augmenter la fréquence jusqu'à obtenir une intensité lumineuse constante. Noter la valeur de f . Faire constater que l'on a obtenu le même aspect de l'ampoule qu'avec un résistor en série et que l'on vient donc bien de résoudre le problème d'une autre façon. On fera remarquer que les ampoules alimentées par le secteur ne présentent aucun effet de clignotement bien qu'elles soient soumises à une tension s'annulant cent fois par seconde.

— Si l'expérience est faite devant une classe de terminale F1, F2 ou F3, ou d'une autre section ayant à son programme de l'électronique de puissance, on pourra brancher un voltmètre magnétoélectrique aux bornes de l'ampoule. Lors de l'augmentation de la fréquence on observera le même phénomène pour l'aiguille de l'appareil : au début elle oscillera franchement entre 0 et 11 V, à la fin elle sera immobile et indiquera 5,5 V. On pourra ainsi introduire ou rappeler la notion de valeur moyenne.

— Faire le calcul du rendement avec les élèves en leur faisant trouver qu'elle est la puissance «utile» et qu'elles sont les puissances fournies au circuit. Une expression littérale du rendement n'apporte rien, par contre la comparaison des valeurs numériques des différentes puissances est intéressante : on constate que la puissance dépensée pour la commande de l'interrupteur est très faible devant la puissance utile. Dégager l'intérêt de ce circuit par rapport au précédent en comparant les deux rendements.

— On pourra s'arrêter là pour les manipulations et, soit ne rien ajouter, soit conclure comme indiqué à la fin du paragraphe suivant.

3.3. Obtention d'un éclairage réglable

— Si on continue avec cette partie, on l'enchaînera juste après la comparaison des rendements.

— Rappeler que grâce à l'interrupteur électronique et à sa tension de commande on a bien obtenu une intensité lumineuse plus faible, mais faire remarquer que cette dernière n'est pas réglable. Faire trouver aux élèves quelle propriété doit présenter v_K pour que cela soit possible.

— Présenter le circuit délivrant la tension rectangulaire et montrer le potentiomètre de réglage. Brancher l'alimentation de ce circuit et visualiser sa tension de sortie à l'oscilloscope, montrer comment celle-ci se déforme quand on agit sur le potentiomètre.

— Faire le schéma du circuit complet et effectuer le montage. Observer le fonctionnement et constater que l'on peut régler la luminosité de l'ampoule dans une très large plage.

— On peut très bien arrêter là la manipulation et ne rien ajouter. On peut aussi conclure en expliquant aux élèves que de nombreux systèmes connus d'eux (TGV, variateurs de lumière...) utilisent des interrupteurs électroniques suivant un principe semblable. On peut ainsi être amené à parler du principe et des avantages de l'électronique de puissance. Voir la partie «Électronique de puissance».

C - Choix du matériel

1. L'AMPOULE ÉLECTRIQUE

Une ampoule électrique est caractérisée par sa tension de service ou tension nominale U_N et sa puissance nominale P_N . Pour la détermination des différents composants on aura besoin de son intensité nominale $I_N = P_N / U_N$.

Cette manipulation illustre le principe de fonctionnement de systèmes faisant intervenir des puissances assez élevées : de quelques centaines de watts à plusieurs mégawatts. Aussi on choisira une ampoule consommant une puissance relativement grande par rapport à ce qui est usuellement mis en jeu en travaux pratiques. Plus la puissance de l'ampoule sera élevée, plus l'expérience sera visible dans la classe et plus on aura de chances d'obtenir un rendement proche de 1.

10 W est une valeur minimale. On peut utiliser une ampoule de clignotant d'automobile, mais on peut aussi associer plusieurs ampoules en série ou en parallèle (attention, si on branche en série des ampoules d'intensités nominales différentes, alors certaines sont survoltées et d'autres sousvoltées, même si la tension totale appliquée est la somme des tensions nominales des ampoules).

Bien sûr, on choisira l'ampoule aussi en fonction du générateur et de l'interrupteur électronique dont on pourra disposer.

On trouvera tous les types d'ampoules électriques et leurs culots chez le fournisseur suivant :

ORBITEC

28, rue Fernand Pelloutier - 92110 CLICHY

Tél. : (1) 42.70.80.80 - Minitel : 3614 code ORBIT

2. LE GÉNÉRATEUR

De tension $U = U_N$, il doit pouvoir débiter l'intensité I_N . Si possible, on prendra un générateur de f.é.m. non réglable pour éviter les réponses du genre : «il n'y a qu'à tourner le bouton pour que l'ampoule éclaire moins».

Dans l'exploitation de la manipulation, le problème de la résistance interne éventuelle du générateur ne se pose pas si on a bien mesuré U avec l'ampoule et non à vide.

3. LE RÉSISTOR

Un résistor est caractérisé par deux paramètres : la résistance et la puissance maximale qu'il peut dissiper.

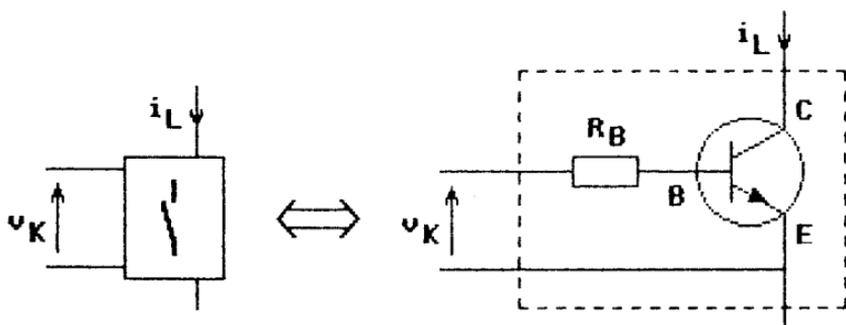
L'ampoule électrique n'étant pas un dipôle linéaire (voir la partie «Remarques» : non linéarité de l'ampoule), on ne peut pas faire de calcul exact de la résistance. On pourra alors mesurer l'intensité traversant l'ampoule quand elle est soumise à $U/2$ et en déduire la résistance et la puissance du résistor que l'on choisira en fonction de ces deux grandeurs. Étant donné la puissance assez importante il s'agira d'un résistor bobiné.

On peut aussi utiliser un rhéostat qui supporte au moins l'intensité nominale de l'ampoule et que l'on règle de manière à obtenir $U/2$ aux bornes de l'ampoule.

Il n'est en fait pas indispensable d'obtenir exactement $U/2$ aux bornes de l'ampoule, l'important est de montrer nettement qu'avec un résistor en série on obtient une luminosité plus faible et un mauvais rendement.

4. L'INTERRUPTEUR ÉLECTRONIQUE

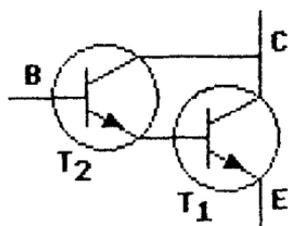
Cet interrupteur est simplement constitué d'un transistor et de son résistor de base.



Le transistor fonctionne en commutation : il est soit bloqué, soit saturé. La puissance qu'il reçoit reste donc faible et un radiateur de petite taille est suffisant.

Les paramètres à prendre en compte sont I_{CO} , la valeur maximale de l'intensité de collecteur, V_{CEO} , la valeur maximale de la tension entre collecteur et émetteur, et β le gain en courant (noté aussi h_{12} ou h_{FE}). Ici on doit avoir : $I_{CO} > I_N$ et $V_{CEO} > U_N$.

On peut utiliser soit un transistor, soit un transistor darlington intégré composé de deux transistors associés comme l'indique la figure ci-dessous et contenus dans un même boîtier à trois pattes. Un darlington se comporte comme un transistor de gain en courant $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$.



Darlington

Brochage des transistors
et darlington intégrés en
boîtier TO 220.



Étant donnée la valeur de I_N , un ampère ou plus, le transistor ou le darlington employé sera un composant de puissance.

L'inconvénient d'un transistor de puissance simple est son faible gain en courant, qui entraîne une intensité i_K assez importante. En conséquence la commande de l'interrupteur électronique par un montage à ampli op. est impossible (pas plus de 10 à 20 mA), et dans le cas de la commande par un GBF il faut tenir compte de la résistance interne de ce dernier (50 ou 600 Ω) dans le calcul de R_B .

Avec un β de l'ordre de 1000, un darlington ne présente pas cet inconvénient. Par contre quand il est saturé, la valeur de V_{CE} est plus élevée que pour un transistor simple, jusqu'à 2 V, et le rendement est moins bon car le rapport U_L / U est plus petit. Cette incidence sur le rendement sera d'autant plus faible que la tension U sera élevée.

On donne ci-dessous les caractéristiques de quelques transistors et darlington qui pourront être utilisés :

	Référence	I_{CO} (A)	V_{CEO} (V)	β
Transistors	TIP 29	1	40	15
	TIP 50	1	400	30
	TIP 31	3	40	10
	TIP 41	6	40	15
Darlingtons	TIP 110, 111, 112	4	60, 80, 100	1 000
	TIP 120, 121, 122	5	60, 80, 100	1 000

Si on prévoit par sécurité un courant de base deux fois plus élevé que celui qui provoque juste la saturation, alors R_B sera calculée grâce à la relation :

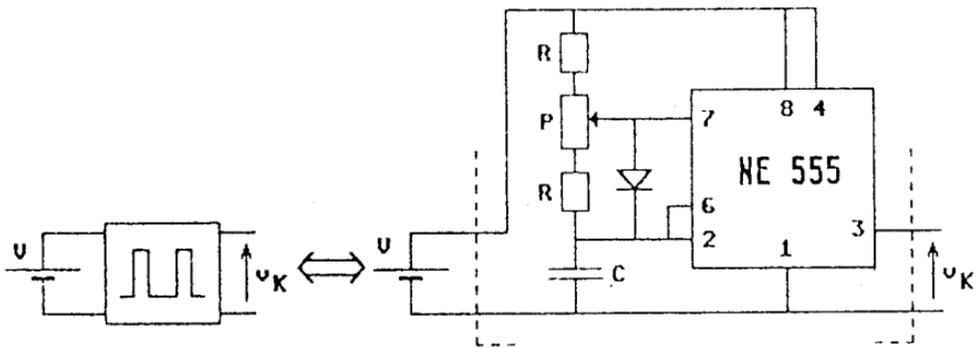
$$R_B = \frac{V - V_{BE}}{2 I_N} \cdot \beta$$

V est la valeur prise par v_K pour «fermer» l'interrupteur électronique, l'intensité $i_B = i_K$ valant alors $2I_N/\beta$. On prendra $V_{BE} = 0,6$ V pour un transistor ou $V_{BE} = 1,2$ V pour un darlington.

5. LE CIRCUIT DE COMMANDE

On appelle rapport cyclique le coefficient α et générateur de tension à rapport cyclique variable le circuit utilisé.

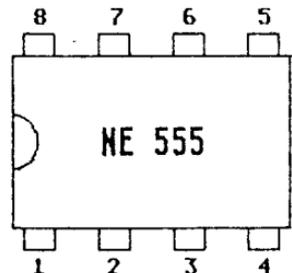
On donne ci-dessous le schéma d'un tel montage qui utilise le circuit intégré NE 555.



La tension d'alimentation V doit être comprise entre 5 V et 15 V. La tension de sortie v_K prend les valeurs V ou 0, sa fréquence est fixe et indépendante de la tension d'alimentation, son rapport cyclique est réglable grâce au potentiomètre. La période de v_K a pour expression $T = (2R + P) \cdot C \cdot \ln 2$. La borne 3 peut débiter ou absorber jusqu'à 250 mA. Les deux résistors ont un rôle de «butée». La borne 5 n'est pas utilisée.

Pour obtenir une fréquence d'environ 300 HZ :
 $P = 47 \text{ k}\Omega - R = 1 \text{ k}\Omega - C = 0,1 \mu\text{F}$

La diode est une 1N 4148 ou une autre diode de signal rapide.

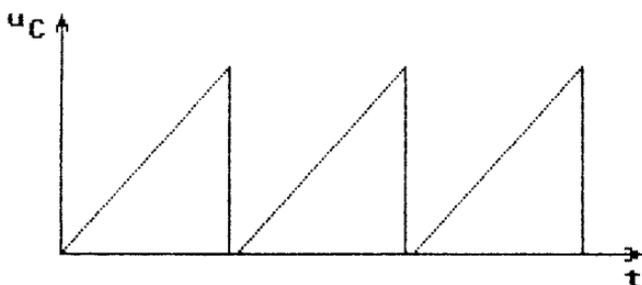
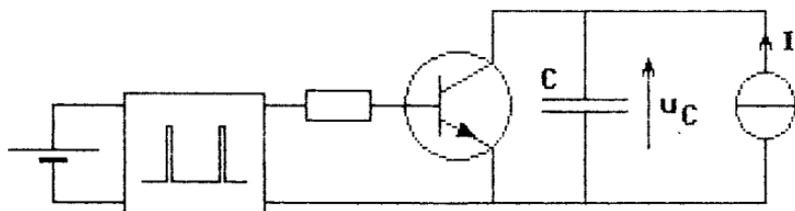


Pour découpler le circuit intégré on placera un condensateur de 10 nF (non représenté) entre les bornes 8 et 1. On pourra aussi en brancher un entre les bornes 5 et 1.

On peut trouver d'autres utilisations à ce circuit :

— En réglant α à 0,5 on obtient une tension carrée qui permet d'étudier la charge et la décharge d'un condensateur ou les oscillations électriques du dipôle RLC en terminales C et E, si on ne dispose pas d'assez de GBF pour chaque groupe d'élèves. Ce circuit présente alors un avantage décisif sur le GBF : comme sa sortie n'est pas reliée à la terre on peut brancher la masse de l'oscilloscope n'importe où et donc visualiser simultanément u_R et u_C .

— En associant ce circuit à un condensateur et à une source de courant et en réglant α à sa valeur minimale on obtient facilement un générateur de tension en dent de scie (charge du condensateur à courant constant et décharge automatique).



Cependant l'utilisation de ce circuit n'est pas très souple. En effet le condensateur est déchargé à intervalles de temps réguliers et non pas quand sa tension atteint une certaine valeur. En conséquence, il faut adapter C et I à la période des impulsions de décharge, sinon u_C risque d'atteindre la tension maximale que peut délivrer la source de courant ce qui entraînerait une déformation de la dent de scie.

— On notera que la tension délivrée par ce circuit ne convient pas comme signal d'entrée de l'intégrateur étudié en premières S et E. Sa valeur moyenne sur une période n'étant pas nulle, on observe une saturation rapide de l'intégrateur.

On pourra trouver tous les composants nécessaires à cette manipulation, sauf l'ampoule à incandescence, auprès du fournisseur suivant :

Société Nouvelle RADIO PRIM

5, rue de l'Aqueduc - 75010 PARIS

Tél. : (1) 46.07.05.15 - Métro : Gare du Nord et Gare de l'Est

Catalogue et tarif sur demande. Commande possible par téléphone.

D - Remarques

1. NON LINÉARITÉ DE L'AMPOULE

Une ampoule électrique ne se comporte pas comme un dipôle linéaire. En effet quand l'intensité augmente, la température du filament s'élève ce qui entraîne une augmentation de sa résistivité. Vue «de l'extérieur» une ampoule est donc caractérisée par une résistance apparente, le rapport U/I , qui augmente avec l'intensité ou la tension (pour une ampoule à filament de carbone, la résistance apparente diminue avec l'intensité ou la tension car la résistivité du carbone est une fonction décroissante de la température).

Cette propriété a deux conséquences pour la manipulation :

D'abord, on ne peut pas calculer à l'avance la résistance du résistor du premier montage. En effet si l'ampoule est traversée par 2 A sous 12 V elle ne sera pas traversée par 1 A sous 6 V. On devra donc utiliser un rhéostat que l'on règlera pour obtenir 6 V aux bornes de l'ampoule. Ce réglage pourra être fait à l'avance et on pourra alors considérer le rhéostat ajusté comme un résistor fixe.

D'autre part dans le montage avec le GBF, l'intensité qui traverse l'ampoule entre 0 et $T/2$ n'est pas la même que lorsque l'interrupteur électronique est commandé par une tension continue de 5 V. En effet dans les deux cas, si la tension aux bornes de l'ampoule est la même, la température du filament est différente puisque l'ampoule n'éclaire pas de la même façon.

Le problème est que l'on suppose implicitement que ces intensités sont égales pour faire le calcul du rendement. La valeur du rendement est donc fausse, mais elle reste de l'ordre de 90 à 95 % et c'est ça qui est important.

Il y aurait plusieurs moyens de mesurer la valeur instantanée de l'intensité entre 0 et $T/2$ quand l'interrupteur est commandé par le GBF, mais cela ferait appel à des notions plus complexes et alourdirait sensiblement l'expérience.

La démarche employée ici serait correcte avec un résistor linéaire à la place de l'ampoule mais la manipulation perdrait tout intérêt.

En conclusion ce problème n'a aucune conséquence notable et on le passera sous silence.

2. INERTIE THERMIQUE OU PERSISTANCE RÉTINIENNE ?

Quand l'ampoule est alimentée par une tension de fréquence élevée sa luminosité est constante dans le temps. Pour expliquer cette propriété on a invoqué l'inertie thermique du filament. Mais un autre phénomène peut intervenir : la persistance des sensations de la rétine qui rend impossible à l'œil humain l'observation «en temps réel» de phénomènes dont la fréquence est supérieure à 10 Hz. Pour cette raison la luminosité de l'ampoule paraîtrait constante même si la température du filament variait dans une large plage.

Comment alors prouver qu'il y a bien inertie thermique ? Il suffit de remarquer qu'une ampoule à incandescence ne donne pas de phénomènes stroboscopique, ce qui indique qu'elle ne s'éteint pas. On peut aussi observer à l'oscillographe le signal délivré par un composant photosensible éclairé par l'ampoule (et dont la réponse est suffisamment rapide). Enfin la couleur orange du filament indique que sa température est plus faible, s'il n'y avait pas du tout d'inertie thermique l'ampoule émettrait une lumière toujours blanche mais qui paraîtrait moins intense.

Ce phénomène d'inertie permet d'obtenir un effet constant dans le temps pour une action périodique, ceci est très fréquent en électronique de puissance. Par exemple, une bobine en série avec un moteur permet d'obtenir une intensité presque continue dans celui-ci même si la tension d'alimentation est rectangulaire, et même si l'intensité n'est pas continue, l'inertie mécanique du rotor rendra la fréquence de rotation constante dans le temps.

3. NOTATIONS

Les grandeurs constantes dans le temps, c'est-à-dire continues, sont notées avec des majuscules et les grandeurs variables dans le temps avec des minuscules.

On fera bien la distinction entre U_N la tension recommandée par le constructeur et U_L la tension effective aux bornes de l'ampoule dans un circuit.

4. ALIMENTATION D'UN MOTEUR À COURANT CONTINU

Attention, le montage à interrupteur électronique, tel qu'on l'a étudié avec l'ampoule, ne permet pas d'alimenter directement un moteur à courant continu. Il faut rajouter une diode de puissance rapide et éventuellement une bobine, on obtient alors un système appelé «hacheur». Cette étape sera franchie dans les classes devant étudier le hacheur. En première S on pourra éventuellement préciser : «un montage fonctionnant sur le même principe permet de faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu avec un excellent rendement».

E - Électronique de puissance

L'électronique de puissance offre de nombreuses possibilités dans le domaine du traitement de l'énergie électrique. On peut par exemple alimenter un moteur à courant continu à partir du secteur EDF et régler sa vitesse, faire fonctionner un appareil nécessitant une tension sinusoïdale 220 V - 50 Hz grâce à une batterie de 12 V, et recharger cette dernière en utilisant un panneau solaire délivrant une tension continue de 2 V, etc... Et toujours avec un rendement proche de 1.

Le principe de ces montages est l'utilisation d'interrupteurs électroniques qui se ferment et s'ouvrent à une fréquence élevée, pouvant aller de 50 Hz à 1 MHz (pas plus de quelques Hz pour un interrupteur mécanique), et supportant des intensités allant jusqu'à plusieurs milliers d'ampères. Un interrupteur électronique est constitué d'un composant de puissance, transistor, thyristor ou triac, commandé par un circuit spécifique.

On pourra parler des variateurs de lumière vendus dans le commerce ou montés d'origine sur certaines lampes halogènes.

Quand on tourne le bouton, la luminosité de la lampe varie, mais ce bouton n'actionne pas un rhéostat en série avec l'ampoule. En effet

un tel rhéostat doit non seulement avoir une résistance appropriée mais doit aussi supporter l'intensité nominale de l'ampoule, ce qui exige des dimensions assez importantes. Ainsi pour une ampoule de 100 W le rhéostat aurait un volume de l'ordre de 1/2 l et une masse d'environ 1 kg, et il s'échaufferait fortement. En revanche un variateur de lumière qui utilise un interrupteur électronique est petit, léger, ne s'échauffe pas et... coûte moins cher que le rhéostat qu'il remplace. Sa tension d'alimentation étant sinusoïdale, il ne fonctionne pas sur le même principe que le montage étudié ici.

Pour donner une idée des valeurs atteintes par les systèmes de grande puissance on peut donner l'exemple du TGV.

Une rame de TGV comprend douze moteurs à courant continu absorbant chacun à pleine puissance une intensité de 530 A sous une tension de 1 270 V. Pour obtenir une vitesse inférieure à la vitesse maximale il faut diminuer la tension aux bornes de moteurs, ce qui est réalisé avec un très bon rendement par un convertisseur électronique.

Si on utilisait des rhéostats pour obtenir ce résultat, ces derniers occuperaient plusieurs wagons qui devraient être équipés de ventilateurs pour dissiper la chaleur dégagée, la convection naturelle étant alors insuffisante. De plus, dans ce cas, l'énergie perdue coûterait beaucoup trop cher. Cette solution constituerait en fait une aberration technologique.

(Pour le TGV Atlantique, il ne s'agit pas de moteurs à courant continu mais de moteurs synchrones alimentés par des courants alternatifs de fréquence variable élaborés là aussi grâce à des interrupteurs électroniques).

En premières S et E, on détermine le rendement d'un régulateur de tension. On trouve une valeur de l'ordre de 30 % ce qui est mauvais. Ceci est dû, non à la qualité du régulateur, mais au principe de son fonctionnement : il crée une chute de tension entre l'entrée et la sortie, il agit donc comme un rhéostat.

On pourra mentionner l'existence d'alimentations qui n'utilisent pas un régulateur mais un interrupteur électronique : ce sont les alimentations à découpage, plus légères, moins encombrantes, et de meilleur rendement que les alimentations classiques qui utilisent la transformation, le redressement, le filtrage et la régulation. On trouve des alimentations à découpage dans les micro-ordinateurs. Leurs inconvénients sont le prix et une tension de sortie de qualité un peu moins bonne que celle d'une alimentation à régulateur.