

Réception de sources de lumière modulées

par Bernard FAGOT

Laboratoire d'Étude des Méthodes Modernes d'Enseignement
et Daniel CHATAIN

Laboratoire de Physique des Solides

Université Paul Sabatier (Toulouse III)
118, route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

On trouve dans notre environnement immédiat et quotidien un grand nombre de sources de lumière modulées en intensité que l'on peut observer facilement à l'oscilloscope en utilisant un détecteur photosensible.

Il est important de noter que «modulée en intensité» signifie seulement «dont l'intensité varie au cours du temps au rythme d'un signal modulant». Il n'est pas fait a priori référence à une modulation d'amplitude ou de fréquence.

Enfin le signal modulant peut être porteur d'informations «utiles» (exemple de la télécommande 2.5) ou simplement signature d'une solution technique utilisée (exemples de la fréquence de multiplexage 2.3 ou de l'alimentation 50 Hz 2.1 et 2.2 etc.).

1. MONTAGE RÉCEPTEUR

Nous utilisons un phototransistor BPX95 - de type npn - sensible au visible et à l'infrarouge. Il se présente dans un boîtier résine transparent, de diamètre 5 mm, comme une LED. Le collecteur est repéré par la connexion la plus courte et un méplat sur le boîtier. Nous le polarisons avec une pile de 4,5 V (en pensant à un montage portatif), en série avec une résistance ajustable R de 1000 Ω (figure 1).

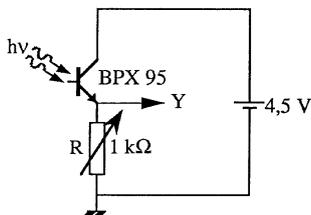


Figure 1

Nous observons à l'oscilloscope la tension recueillie aux bornes de R, qui varie dans le même sens que l'éclairement. On peut augmenter cette résistance série pour les faibles éclaircissements. On ne gagne rien par contre lorsque les éclaircissements sont importants car le transistor se sature (figure 2).

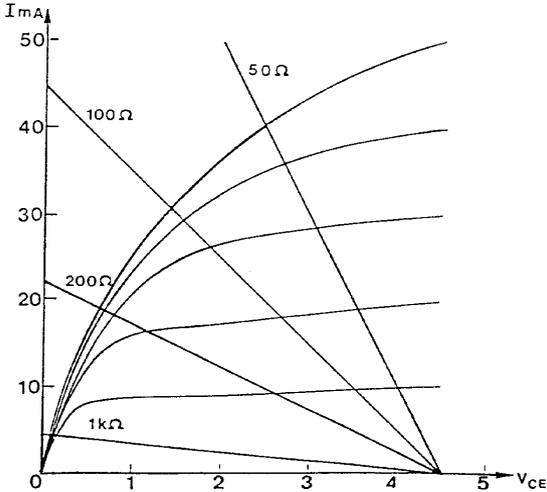


Figure 2

On se trouve dans des conditions favorables de détection lorsque la tension moyenne aux bornes de R est de l'ordre de 1,5 à 2 Volts.

2. OBSERVATION DE SOURCES MODULÉES

2.1. Tube fluorescent

La décharge dans le gaz qui provoque l'émission de lumière est presque interrompue chaque fois que la tension d'alimentation du tube passe par 0. En plaçant le phototransistor près d'un tube, on observe une modulation très importante à 100 Hz de la lumière émise.

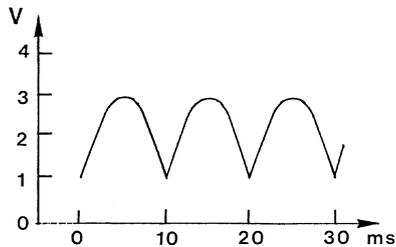


Figure 3

On peut détecter cette modulation dans une pièce éclairée par des tubes fluorescents sur une feuille de papier blanc qui réfléchit cette lumière : le signal a une périodicité de 100 Hz mais présente une forme plus complexe si interviennent plusieurs tubes alimentés sur des phases différentes.

2.2. Lampe à incandescence

La puissance instantanée dissipée dans une lampe alimentée par le secteur est périodique, de fréquence double. En effet :

$$p(t) = R i^2(t) = R I_m^2 \cos^2 \omega t = \frac{R I_m^2}{2} (1 + \cos 2 \omega t)$$

Il en résulte une modulation à 100 Hz de la température du filament. On peut détecter la modulation à 100 Hz de la lumière émise superposée à une tension continue en réglant la valeur de R et la distance à la lampe pour ne pas saturer le phototransistor.

2.3. Affichage à LED

Affichage à LED d'un multimètre (Metrix 727) ou du fréquence-mètre d'un générateur B.F.

Pour diminuer la consommation électrique de l'affichage, un dispositif de multiplexage, à la fréquence de 500 Hz, assure une alimentation temporaire successive de chacun des chiffres.

En plaçant le phototransistor contre l'afficheur, on reçoit la lumière émise par un segment qui s'allume pendant un quart de la période, soit 0,5 ms chaque 2 ms. Tous les segments d'un même chiffre s'allument en même temps. Par contre, les chiffres sont alimentés les uns après les autres : on peut le voir en reculant le phototransistor pour capter simultanément la lumière émise par deux chiffres voisins.

2.4. Balayage d'un oscilloscope

On place le phototransistor contre l'écran d'un premier oscilloscope, sur la trace horizontale du faisceau électronique (entrée verticale à la masse). On observe sur un deuxième oscilloscope des impulsions qui traduisent le passage du spot à la fréquence du balayage.

Si on se place en position TEST-COMPOSANT, le balayage est sinusoïdal à la fréquence de 50 Hz : le signal détecté a la fréquence de 100 Hz parce qu'on enregistre l'aller et le retour du spot.

On peut aussi utiliser le même oscilloscope comme générateur de balayage et comme appareil d'observation. On voit alors sur l'écran un pic situé en face du phototransistor, qui se déplace avec celui-ci.

On verra plus loin qu'on peut observer de même les balayages du spot électronique sur l'écran d'un téléviseur.

2.5. Télécommande d'un téléviseur

(Les dispositifs de modulation sont variés : les résultats présentés ont été obtenus avec une télécommande VISA IR 178).

Lorsqu'on appuie sur une touche de commande, une LED émet un faisceau de rayons infrarouges qui transporte le message codé. L'enregistrement des signaux reçus permet d'analyser et de reconstituer le principe du codage. Les résultats présentés ont été obtenus avec un oscilloscope HAMEG 205-3, une interface H079 et une imprimante EPSON.

Un message complet occupe 85 ms. Il se répète aussi longtemps qu'on appuie sur la touche. A l'échelle 10 ms / carreau, il apparaît comme une suite d'impulsions de même amplitude qui peuvent se succéder avec des intervalles minimum de 3,5 ms. C'est la présence ou l'absence des impulsions qui constitue le message que nous codons : présence 1, absence 0 (figure 4a).

Avec un balayage plus rapide, on voit que chacune des impulsions est elle-même modulée. La figure 4b à 0,5 ms / carreau, montre deux impulsions consécutives. La figure 4c, à 50 μ s / carreau, donne le détail d'une impulsion et permet de préciser les caractéristiques de sa modulation : c'est un signal rectangulaire, de rapport cyclique 2/3, et de fréquence 36 kHz environ.

Chaque message peut être lu sous forme logique :

| | | |
|-----------|--------------|--------------|
| ARRÊT | 110011001100 | 111111111101 |
| SON + | " " | 111111010101 |
| LUMIÈRE + | " " | 111111110101 |
| COULEUR + | " " | 111101011101 |
| etc. | | |

On remarque que les douze premiers intervalles sont communs. La spécificité de la fonction est marquée par les douze derniers intervalles. Cela réserve encore un nombre de combinaisons important !

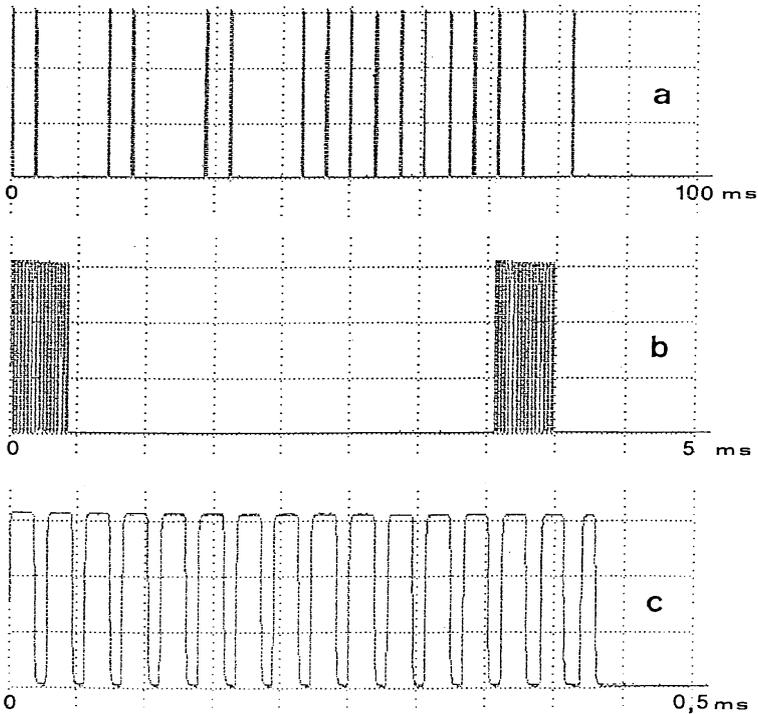


Figure 4

3. MONTAGE RÉCEPTEUR AVEC HAUT-PARLEUR

La plupart des modulations détectées se situent dans le domaine des audio-fréquences - d'où l'idée d'écouter ces « lumières qui parlent » -, et rien n'empêchera de faire aussi des « lumières qui chantent ».

Nous proposons le montage le plus simple possible (figure 5) : on amplifie avec un transistor le courant transmis par le phototransistor. Le haut-parleur d'impédance 16Ω (ϕ 6,5 cm) est placé dans le circuit collecteur.

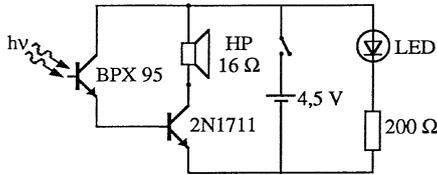


Figure 5

Le tout peut être monté dans un boîtier MMP-20P pour pouvoir être déplacé facilement. Il vaut mieux alors ajouter un interrupteur et un indicateur à LED de mise en marche. On peut aussi prévoir deux bornes 4 mm, placées aux bornes du H.P. qui permettront d'observer à l'oscilloscope un signal relié aux variations du signal lumineux.

Avec ce dispositif ultra simple, on entend très bien les ronronnements à 100 Hz du tube fluorescent ou de la trace Test Composant de l'oscilloscope, le multiplexage à 500 Hz des afficheurs à LED avec en plus les tops de répétition de la mesure 2,5 fois par seconde, les rafales de la télécommande de télévision, la base de temps de l'oscilloscope dont on fait varier la fréquence, mais aussi toute modulation plus mélodieuse.

Mais pourquoi limiter ses ambitions ? On peut aussi utiliser l'association oscilloscope-récepteur de lumière modulée comme récepteur radio et écouter les émissions locales.

On prend comme capteur un circuit bobine-condensateur variable, que l'on peut accorder aux alentours du MHz (ondes moyennes, modulation d'amplitude). On applique la tension recueillie sur la voie Y de l'oscilloscope utilisé en XY, ce qui donne une trace verticale contenant la modulation B.F. On cale le boîtier devant l'écran de l'oscilloscope, on amène la trace en face du phototransistor, le réglage de luminosité de l'oscilloscope devient réglage de volume du récepteur radio, et l'on écoute...

4. AMÉLIORATION DU MONTAGE RÉCEPTEUR

Le montage de la figure 6 permet d'améliorer la détection par l'emploi d'un amplificateur de puissance, mais surtout par un dispositif d'amplification sélective du signal de modulation. Correctement réglé et orienté, il permet d'entendre la modulation d'une télécommande infrarouge jusqu'à une dizaine de mètres.

La fonction **détection** est assurée par le phototransistor placé en série avec un ajustable de $10\text{ k}\Omega$ à variation logarithmique qui permet de s'adapter à des niveaux d'éclairage très variables. Malgré cela la haute sensibilité du phototransistor peut conduire ce composant à la saturation, surtout si la lumière parasite ambiante est importante.

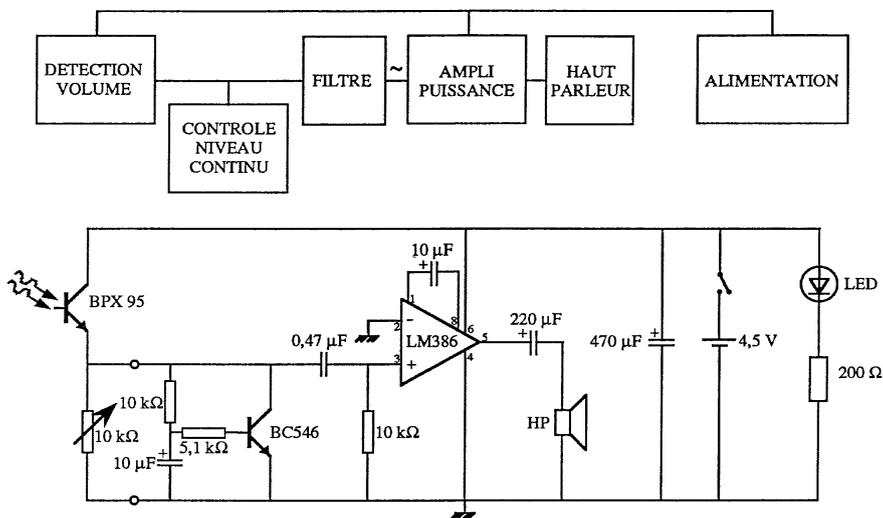


Figure 6

Pour l'éviter nous avons prévu un dispositif de **contrôle automatique de la tension** moyenne aux bornes de l'ajustable : cette fonction est remplie par le transistor BC 546 qui fonctionne entre collecteur et émetteur comme une source de courant commandée par le courant de base. En parallèle avec l'ajustable, il dérive une partie du courant continu moyen généré par le phototransistor lorsqu'il est trop vivement éclairé, et empêche ainsi sa saturation. Le contrôle automatique de niveau ainsi réalisé est temporisé par un condensateur de $10\text{ }\mu\text{F}$ qui agit surtout sur la composante continue moyenne lentement variable mais n'a que peu d'influence sur l'amplitude de la modulation basse fréquence.

Le **filtre RC** passe-haut qui fait suite élimine la composante continue : seule la modulation BF est présente à l'entrée de l'**amplificateur de puissance** LM386. C'est un circuit intégré de présentation analogue à celle d'un amplificateur opérationnel, alimenté par une

source de tension unique (4 à 12 V). Sa sortie est connectée à une charge de basse impédance, un haut-parleur de 16Ω ou 8Ω , à travers un condensateur de liaison de forte capacité qui élimine la composante continue de sortie (la moitié de la tension d'alimentation). Le gain en tension BF est fixé à vingt par construction, mais on peut le régler à deux cents en plaçant entre les broches 1 et 8 un condensateur de $10 \mu\text{F}$. Nous l'avons représenté sur le schéma mais seuls des essais préalables montrent si un gain aussi important est nécessaire.

On peut reprendre avec ce montage les observations précédemment décrites, avec beaucoup plus de sensibilité et de possibilités de réglage. On entend aussi la modulation à 100 Hz d'une lampe à incandescence alimentée par le secteur alternatif, mais on peut aller jusqu'à faire émettre un signal audible à une lampe de poche...

5. MODULATION D'INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE

Nous proposons quelques manipulations et dispositifs permettant d'introduire le plus simplement possible la modulation de la lumière par des signaux du domaine audio-fréquence.

Il est dès à présent important de noter que les montages envisagés figures 7 à 10 jouent le rôle de **transducteur** d'un signal électrique en un signal lumineux.

Une propriété fondamentale des Diodes Électro-Luminescentes LED est que l'intensité lumineuse émise est normalement proportionnelle à l'intensité du courant électrique parcourant la jonction de la diode. Les variations seront donc synchrones. C'est parce que le signal électrique sera par exemple caractérisé par une fréquence f que le signal lumineux verra son intensité modulée à la même fréquence f (bien sûr, si on est dans la bande passante de la diode).

La source de lumière est une LED rouge haute luminosité de diamètre cinq millimètres. La tension à ses bornes est inférieure à 2 V lorsqu'elle est parcourue par un courant de 20 mA, le pinceau de lumière émise est relativement étroit, la réponse en fréquence est suffisante.

Deux types de montage peuvent être utilisés suivant la nature, logique ou analogique, du signal de modulation.

5.1. Modulation en tout ou rien par un signal logique

Dans le montage de la figure 7, on emploie un générateur BF en série avec une résistance ajustable de 500Ω . Le générateur est utilisé sur sa sortie TTL, ou on décale le 0 pour obtenir des signaux variant entre 0 et 4,5 V. Un milliampèremètre continu permet de mesurer le courant moyen et on peut observer à l'oscilloscope le signal délivré et la tension aux bornes de la résistance.

A très basse fréquence l'œil peut suivre l'allumage et l'extinction de la LED ; lorsque la fréquence augmente on décèle un papillotement, puis on a l'impression d'une émission continue. Par contre en plaçant face à la LED l'un des boîtiers récepteurs de lumière modulée précédemment construits, on peut entendre le son correspondant à la fréquence du signal carré.

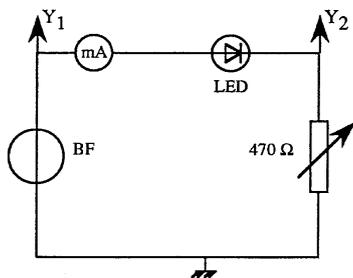


Figure 7

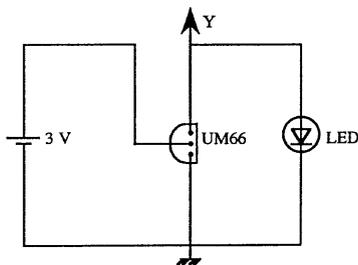


Figure 8

On rend plus amusante la manipulation avec le montage de la figure 8 dans lequel le générateur BF est remplacé par un circuit intégré UM 66. C'est un générateur de mélodie programmé : alimenté en 3 V, il délivre un signal carré dont la fréquence varie au rythme de la mélodie.

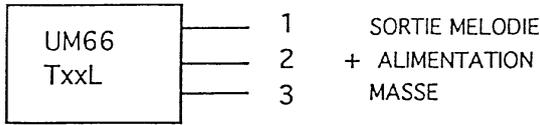


Figure 9 : Boîtier T092 - Les deux chiffres xx repèrent la mélodie.

Ce composant peut faire l'objet d'études complémentaires : c'est un générateur de tension particulier.

- *Comment tracer sa caractéristique ? Que mesure-t-on ? Avec quels appareils ?*
- *Quel est son schéma équivalent ? Peut-on définir une résistance interne ? Dans quel domaine de fonctionnement ?*
- *Quelle puissance consomme-t-il ? Comment varie-t-elle en fonction de la tension d'alimentation ?*
- *Comment entendre la mélodie ? Avec quel écouteur ? Quel haut-parleur ?*

Pour obtenir plus de puissance, on peut ajouter un transistor fonctionnant en commutation suivant le montage de la figure 10. En disposant ce montage dans un boîtier MMP-20P, on dispose d'une source de lumière modulée autonome.

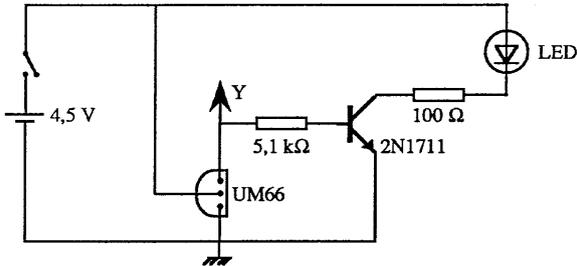


Figure 10

5.2. Modulation d'intensité par un signal analogique

Il faut utiliser la LED dans un domaine où sa caractéristique est linéaire, en appliquant la modulation autour d'un point de repos, $I = 10 \text{ mA}$ par exemple.

Le montage de démonstration est encore celui de la figure 7, mais on règle de manière différente le générateur BF :

- on ajuste d'abord la composante continue pour fixer le point de repos, la LED émet de la lumière en continu,
- on augmente ensuite le niveau du signal sinusoïdal qui vient se superposer à cette composante continue ; la LED émet alors de la lumière modulée.

On retrouve aux bornes de la résistance le signal alternatif de modulation superposé à une constante continue.

Le montage de la figure 11 permet d'utiliser des signaux variés et peut-être plus intéressants.

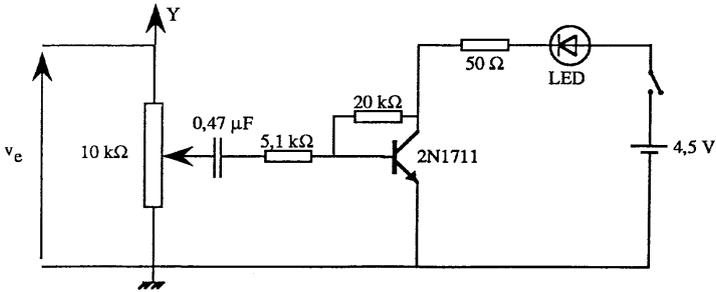


Figure 11

La résistance de $20\text{ k}\Omega$ entre le collecteur et la base du transistor 2N1711 (ou équivalent) fixe le courant de repos au voisinage de 10 mA .

Le signal de modulation est appliqué sur la base du transistor à travers une résistance de $5,1\text{ k}\Omega$ et un condensateur de $0,47\text{ }\mu\text{F}$ qui isole de la polarisation continue. Le potentiomètre de $10\text{ k}\Omega$ procure un réglage de niveau.

Ce signal peut provenir de sources diverses :

- sortie auxiliaire d'un récepteur radio ou d'un baladeur,
- sortie audio d'un téléviseur ou d'un magnétoscope prélevée sur la prise Péritel,
- microphone,

– signal radio détecté par un circuit d'accord LC provenant d'un émetteur local à modulation d'amplitude, ondes moyennes, ou d'un émetteur construit dans la classe à partir d'un circuit multiplieur.

Le montage fonctionne très bien avec un signal d'entrée de quelques centaines de millivolts ; une modulation d'une dizaine de millivolts est encore audible avec le récepteur le plus sensible.

* N.D.L.R. :

1 - consulter aussi : ALLARD, B.U.P. n° 747, p. 1245,

2 - il serait intéressant d'envisager une étude de la propagation guidée (par fibre optique),

3 - des manipulations complémentaires très attrayantes mais plus coûteuses peuvent être réalisées avec des diodes laser à alimentation modulable.