

Transmission de l'information par un rayonnement infrarouge modulé en intensité

par R. ALLARD

Lycée H. Bergson, 49000 Angers

Le rayonnement infrarouge est utilisé dans les systèmes de télécommunications par voie optique. Pour illustrer cette application importante des radiations I.R., on peut réaliser un système de transmission de l'information par modulation de l'intensité d'un faisceau I.R. Étant donné la simplicité du procédé de modulation qui a été adopté dans ce montage, les élèves d'une classe de Première peuvent comprendre le rôle des différents maillons d'une chaîne de transmission de l'information.

La structure d'un système de communication est constituée de 3 blocs fonctionnels : l'émetteur, le milieu de propagation (atmosphère, fibre optique,...) et le récepteur.

A - L'ÉMETTEUR

L'émetteur a pour fonction de traduire l'information sous la forme d'une modulation du flux énergétique émis par une diode à infrarouge.

1. LA SOURCE DE RAYONNEMENT I.R. : UNE DIODE ÉLECTROLUMINESCENTE LD271 (Siemens)

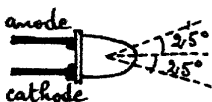


Figure 1 : Diode LD271.

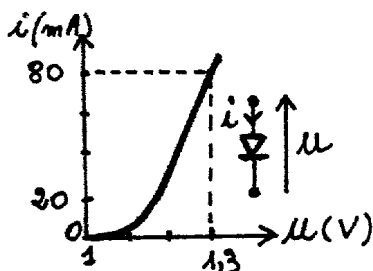


Figure 2

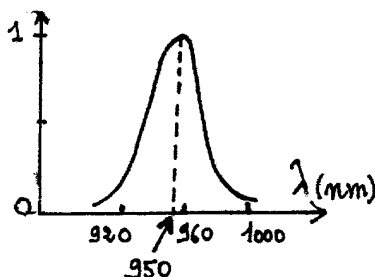


Figure 3 : Intensité relative du rayonnement émis par une diode.

1.1. Caractéristiques électriques de la diode LD271

- intensité maximale du courant en fonctionnement continu : 100 mA,
- courant de choc pendant une durée inférieure à 10 μ s : 2,5 A.

1.2. Caractéristiques optiques

- intensité énergétique maximale : $I_e = 10$ à 15 mW.sr^{-1} ,
- flux énergétique F proportionnel à l'intensité i du courant.

1.3. Éclairement énergétique produit par une diode sur une petite surface S

Le rayonnement est émis dans l'angle solide $\Omega \approx \frac{S}{d^2}$.

Flux énergétique émis : $F \approx I_e \Omega$, (I_e supposé constant).

Éclairement de la surface S : $E = \frac{F}{S}$; $E = \frac{I_e}{d^2}$.

A.N. : $d = 4 \text{ m}$, $I_e = 10 \text{ mW.sr}^{-1}$, $S = 5 \text{ mm}^2$ (c'est la surface du détecteur qui captera le flux F).

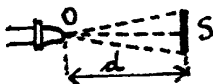


Figure 4

Le calcul donne :

$$E = \frac{I_e}{d^2} \approx 0,62 \text{ mW.m}^{-2} ; F = E \times S = 3,1 \times 10^{-9} \text{ W} .$$

2. LA SOURCE D'INFORMATION

L'information à transmettre est sous la forme d'une tension électrique délivrée par un générateur de fonctions, ou par l'étage de sortie d'un poste de radio (transmission de son), ou par un microphone.

3. TRADUCTION DE L'INFORMATION SOUS LA FORME D'UNE MODULATION DU FLUX ÉNERGÉTIQUE ÉMIS PAR LA DIODE I.R.

3.1. La variation ou modulation du flux énergétique F est obtenue par variation du courant i dans la diode (figure 5)

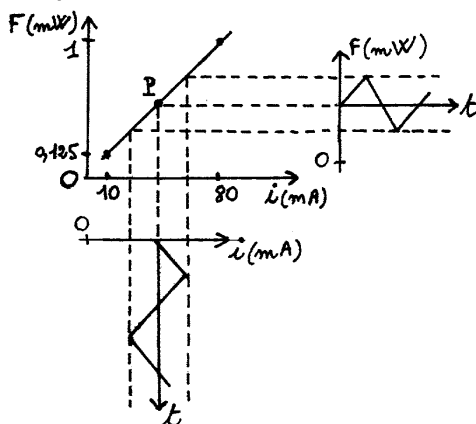


Figure 5

La diode émet un flux qui varie linéairement en fonction de i dans l'intervalle [10 mA, 80 mA].

3.2. Réalisation du générateur de courant destiné à l'alimentation des diodes (figure 6)

L'ampli op (TL081, LF357,...) délivre à sa sortie A une tension $v_A = 7,5 - v_E$; v_E représente l'information à transmettre, et est appliquée sur une entrée de l'ampli op. Une fraction de v_A , réglable à l'aide du potentiomètre P_2 , est appliquée à un montage Darlington. Les diodes émettrices, insérées dans le circuit collecteur du transistor 2N3055, sont alimentées, dans ces conditions, par un générateur de courant ; celui-ci peut débiter une intensité moyenne réglable entre 80 mA et 290 mA (K ouvert) ou entre 160 mA et 580 mA (K fermé), à l'aide du potentiomètre P_2 .

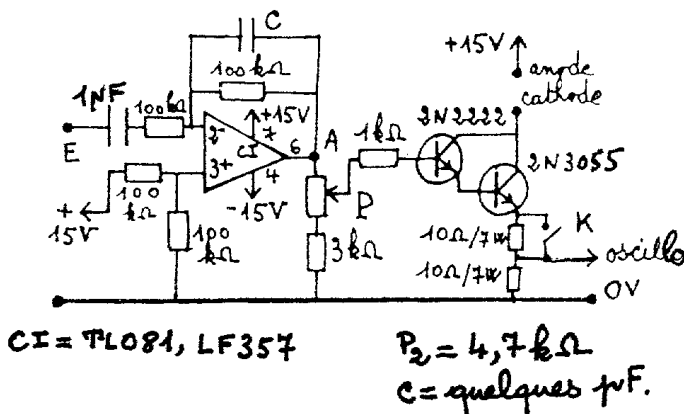


Figure 6

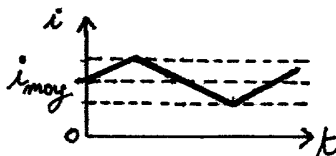


Figure 7 : Intensité du courant dans une diode lorsque l'information à transmettre est représentée par une tension triangulaire.

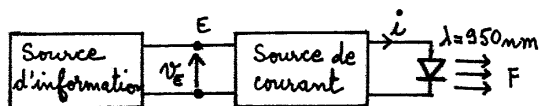


Figure 8 : Le flux énergétique F varie linéairement en fonction de la tension v_E qui est la traduction électrique de l'information à transmettre.

B - LE RÉCEPTEUR

Le récepteur a pour fonction de restituer l'information sous sa forme primitive.

On y rencontre, dans l'ordre inverse, les fonctions réciproques de celles constituant le processus d'émission.

1. LE DÉTECTEUR DE RAYONNEMENT I.R. : UNE PHOTODIODE BP104 (Siemens)

Se présente sous la forme d'une petite plaquette noire dont la surface sensible au rayonnement est $S = 5 \text{ mm}^2$.

2. TRADUCTION D'UNE VARIATION DE FLUX ÉNERGÉTIQUE EN UNE VARIATION DE TENSION ÉLECTRIQUE

2.1. Le dispositif traducteur

Il comprend 3 éléments : une photodiode (PHD) une résistance R et un générateur de f.é.m. E . (figure 9). Une variation δF du flux reçu par (PHD) est traduite en une variation δi_D du courant i_D qui circule dans le circuit. D'après la définition de la sensibilité photoélectrique 6

de la photodiode on a : $\delta i_D = 6 \times \frac{\delta F}{S}$. Une variation δi_D de i_D entraîne

une variation δu_R de u_R telle que : $\delta u_R = R \delta i_D$; $\delta u_R = \sigma R \frac{\delta F}{S}$; ($\sigma = \text{constante}$).

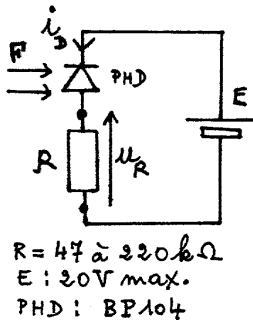


Figure 9

L'information, qui avait été traduite en une variation de flux δF par l'émetteur, est restituée sous forme d'une variation de tension δU_R proportionnelle à δF .

2.2. Ordre de grandeur des variations de u_R

Distance diode émettrice-photodiode : $d = 4 \text{ m}$; $R = 100 \text{ k}\Omega$; $S = \text{mm}^2$; $\sigma \approx 1 \text{ }\mu\text{A par W.m}^{-2}$ (donnée du fabricant).

Considérons une variation $\delta F = 10^{-9} \text{ W}$ (voir calculs de A.1.3.)
 $\Rightarrow \delta u_R = 10^{-6} \times 10^5 \times \frac{10^{-9}}{5 \times 10^{-6}} = 2 \times 10^{-5} \text{ V}$; $\delta u_R = 20 \text{ }\mu\text{V}$; δu_R est très faible.

Comment peut-on augmenter le flux énergétique capté par la photodiode ? Il existe 3 solutions : augmentation du nombre de diodes émettrices (monter 4 à 6 diodes en parallèle, par exemple).

- focalisation du rayonnement sur la photodiode à l'aide d'une lentille,
- association de plusieurs photodiodes en parallèle, lorsqu'on souhaite que la portée de l'émetteur, dans l'atmosphère, soit supérieure à 10 m.

3. AMPLIFICATION DU δu_R

a) Amplificateur de tension

Gain réglable, pouvant atteindre la valeur 1 000 au moins.

b) Amplificateur de puissance.

Pour alimentation d'un haut-parleur

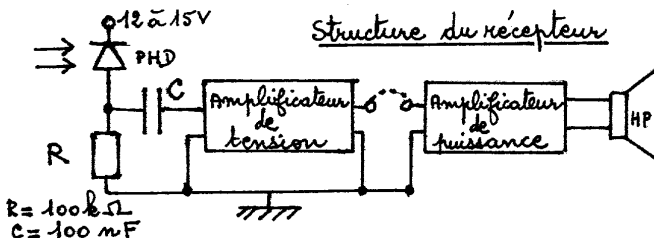


Figure 10

Les fils qui relient la photodiode à l'amplificateur de tension doivent être blindés et courts car ils peuvent capter des signaux électromagnétiques parasites.

C - LE MILIEU DE PROPAGATION

Pour accroître la portée de l'émetteur, qui peut atteindre une dizaine de mètres, et améliorer le rapport signal/bruit, les diodes émettrices ont été équipées de petits réflecteurs.

Dans les expériences, il est intéressant de visualiser la tension modulatrice v_E appliquée à l'émetteur, et la tension obtenue à la sortie de l'ampli de tension du récepteur.

1. ABSORPTION DES RADIATIONS I.R. PAR DIFFÉRENTS MILIEUX

- Le rayonnement est modulé sinusoïdalement à la fréquence de 1 kHz.
- Distance émetteur-récepteur : 1 m environ.
- Observer la variation de la tension à la sortie de l'ampli de tension lorsqu'une substance est placée entre l'émetteur et le récepteur.

- a) **2 liquides incolores** : l'eau et le white spirit. L'eau est beaucoup plus absorbante que le white spirit.
- b) **une diapositive noire** : absorbe le rayonnement visible, mais transmet les radiations I.R.
- c) observer l'effet produit par des **feuilles de plastique coloré** en bleu, vert ou rouge.

2. UTILISATION D'UNE LENTILLE CONVERGENTE POUR FOCALISER LE RAYONNEMENT SUR LA PHOTODIODE

Étudier l'effet produit par la lentille en observant l'amplitude du signal sur un oscillographe branché à la sortie du récepteur.

3. TÉLÉCOMMUNICATION PAR FIBRE OPTIQUE

La tension prélevée aux bornes du haut-parleur d'un poste de radio est utilisée pour moduler l'intensité du rayonnement de l'émetteur d'infrarouge. La diode émettrice et la photodiode réceptrice sont

montées aux deux extrémités d'une fibre optique, à l'aide de connecteurs convenables (Hirschmann, Honeywell...). Caractéristiques de la fibre optique : quelques mètres de longueur ; diamètre : 0,7 mm (2 mm avec la gaine en plastique).

Le son émis par le haut-parleur, branché à la sortie du récepteur d'infrarouge, montre que la transmission est de bonne qualité et qu'il y a peu de signaux parasites.

Ce système de transmission peut transmettre, sans trop les altérer, des signaux carrés jusqu'à une fréquence de quelques kilohertz et des signaux triangulaires jusqu'à une dizaine de kilohertz.

D - CONCLUSION

L'ensemble émetteur-récepteur de rayonnement infrarouge qui vient d'être présenté permet, grâce à l'intensité importante du rayonnement émis par la diode I.R. et à la grande sensibilité du récepteur de réaliser des expériences variées et spectaculaires d'optique géométrique, de télécommunication, d'absorption,... et de familiariser les élèves avec la lumière I.R. qu'ils utilisent dans leur vie quotidienne pour télécommander divers systèmes : téléviseurs, magnétoscopes,...

On peut se procurer facilement les composants pour infrarouge (LD271 et BP104) chez les revendeurs de composants électroniques.

BIBLIOGRAPHIE

B.U.P. n° 565 : Utilisation des photodiodes en photométrie par V. ORSINI et M. CARON.

Éditions Techniques et Scientifiques Françaises (ETSF)

– Initiation aux infrarouges par H. SCHREIBER.

– Montages à capteur photosensibles par J.P. OEHMICHEN.

Documentation Siemens.

Annexe

Réalisation du récepteur de rayonnement infrarouge

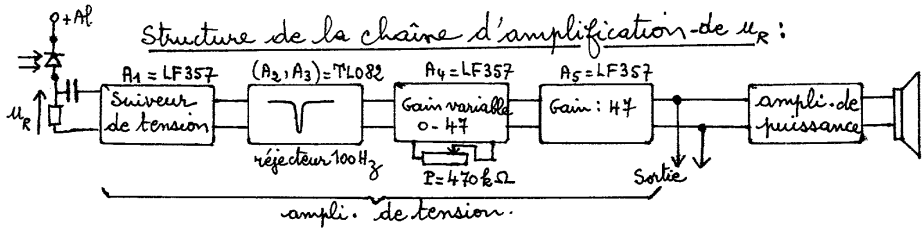


Figure 11

Le récepteur comprend une chaîne amplificatrice de gain élevé - supérieur 1 000 - et un filtre réjecteur qui permet d'atténuer fortement la sensibilité du récepteur aux signaux lumineux parasites, de fréquence 100 Hz, émis par les lampes branchées sur le secteur.

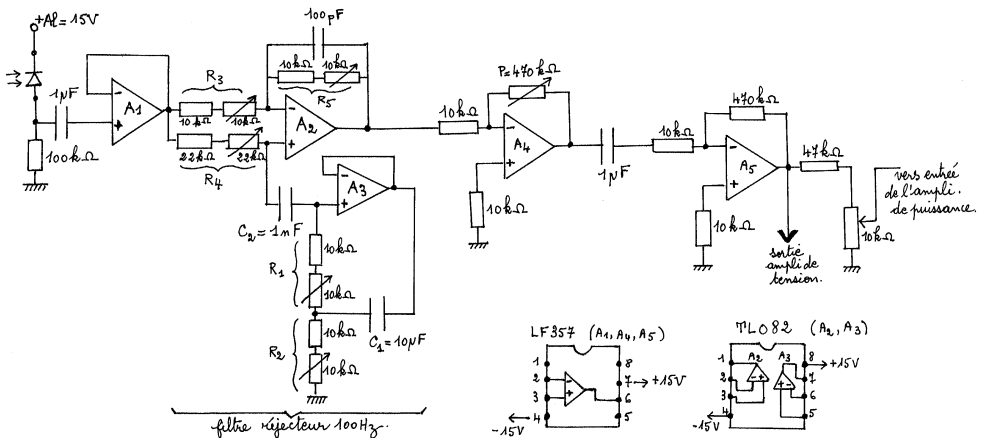


Figure 12 : Schéma du récepteur.

Le filtre réjecteur (figure 12) est construit autour de 2 amplificateurs opérationnels A_2 et A_3 . Les éléments du circuit reliés à l'ampli. A_3 constituent un ensemble équivalent à un circuit RLC série, de fréquence

de résonance $N_0 = \frac{1}{2\pi R \sqrt{C_1 C_2}}$ avec $R = R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = \frac{R_4}{2}$. Le facteur de qualité de ce circuit RLC série, équivalent, étant $Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$.

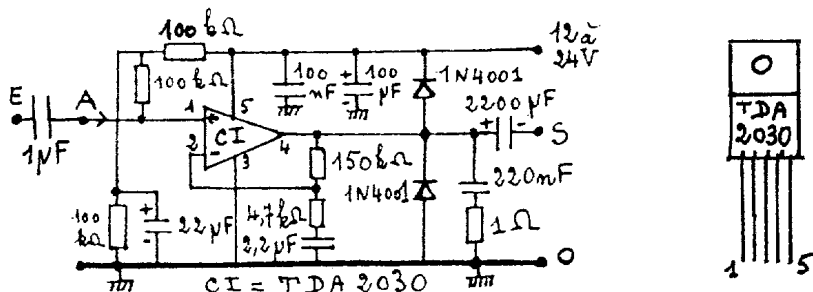


Figure 13

Avec $C_1 = 10 \mu\text{F}$ et $C_2 = 1 \text{ nF}$ il faut choisir $R = 15,9 \text{ k}\Omega$ pour éliminer les signaux de fréquence 100 Hz. $Q = 50$

L'amplificateur de puissance peut-être construit en utilisant un amplificateur opérationnel de puissance (TDA2006, TCA365,...) qui s'utilise en montage inverseur ou non-inverseur comme les C.I. TL081. On peut aussi réaliser un amplificateur avec le C.I. TDA2030 (figure 13). Tous ces C.I., TDA2006, 2030 et TCA365 ont le même brochage.

Les circuits imprimés du récepteur sont montés dans un coffret métallique qui doit être relié à la Terre si le récepteur est alimenté par un générateur de tension $\pm 15 \text{ V}$ branché sur le secteur.

La photodiode est montée dans un coffret d'aluminium ($100 \times 70 \times 42 \text{ mm}$) qui la protège des lumières parasites trop intenses et qui favorise la réjection des signaux électromagnétiques (50 Hz). Ce coffret d'aluminium est relié au coffret du récepteur par un câble blindé.