

Initiation à la pratique de l'électronique

L'OPTOELECTRONIQUE

DE plus en plus le moindre circuit électronique comporte un composant opto-électronique. Mais devant la diversité des modèles proposés, il est parfois difficile de faire un choix et d'utiliser ensuite le composant en question. La première chose est de comprendre les renseignements donnés dans le catalogue du constructeur.

Nous avons déjà parlé dans cette série d'articles des diodes électroluminescentes (nos 1662 et 1666) et des afficheurs 7 segments (nos 1672).

Aujourd'hui nous insistons surtout sur les capteurs de lumière, et montrons comment les utiliser. Quelques expériences sont proposées afin de mieux connaître leurs possibilités d'utilisation.

Dans une deuxième partie que nous publierons le mois prochain, nous donnerons de nombreux schémas d'application facilement réalisables.

Le domaine de l'optoélectronique est extrêmement vaste. L'optoélectronique ne concerne pas seulement les diodes électro-luminescentes ou les afficheurs 7 segments, mais également bien d'autres composants comme les diodes laser, les cellules solaires, les fibres optiques, les

cristaux liquides, pour n'en citer que quelques-uns.

Nous nous limiterons à deux catégories de composants opto-électroniques : **les capteurs de lumière** et **les diodes émettrices de lumière**. Du point de vue de l'application de ces composants, on peut diviser les circuits en deux catégories : Ceux dans lesquels la variation de lumière est progressive, comme par exemple pour une mesure d'éclairage, telle que dans les cellules photo-électriques utilisées en photographie, ou encore dans un système de commande progressive d'éclairage. L'autre secteur d'applications est celui en « tout ou rien », dans lequel le circuit se déclenche pour un certain niveau de lumière.

Comprendre d'abord les caractéristiques

Mais avant d'utiliser ces composants il est nécessaire d'avoir quelques notions sur ce qu'est la lumière afin de savoir ce que signifient les caractéristiques données par le constructeur. Il faut savoir que la lumière est due à la vibration d'un champ électromagnétique, et qu'elle est donc de même nature que les ondes de la radio et de la

télévision, et que la seule différence entre les deux est la fréquence qui est beaucoup plus élevée pour la lumière. Pour cette raison on utilise les mêmes unités (de puissance, de fréquence, de longueur d'onde) qu'en radio pour caractériser une lumière colorée.

Il faut également savoir que si un récepteur-radio ne reçoit que les signaux pour lequel il a été conçu, l'œil ne perçoit aussi qu'une certaine gamme de sensations lumineuses colorées. En allant de la longueur d'onde la plus basse à la longueur d'onde la plus élevée, cette gamme passe par le violet, dont la longueur d'onde est de 400 nanomètres (soit 400 nm, ou 400×10^{-9} mètre). La longueur d'onde, comme pour les télécommunications, a pour symbole la lettre grecque λ (lambda). En remontant des valeurs les plus basses aux valeurs les plus élevées, nous avons le bleu (470 nm), le vert (535 nm), le jaune, l'orange et le rouge (610 nm). On sait que l'œil est plus sensible au vert qu'aux autres couleurs. Autrement dit, la bande passante de notre œil va de 400 à 610 nm, soit du violet au rouge, avec un maximum à 536 nm (le vert). On sait également que la lumière blanche résulte de la superposition de toutes ces valeurs colorées.

De chaque côté de cette bande, se placent l'ultra-violet (380 nm) et l'infra-rouge (780 nm), rayonnements invisibles à l'œil. Beaucoup de composants électroniques sont sensibles à l'infra-rouge, ce qui est un avantage si on veut déclencher une cellule photo-électrique dans l'obscurité à l'aide d'un rayonnement invisible à l'œil (tableau I).

Tableau I	
LUMIERE VISIBLE	
	$\lambda \approx$
VIOLET	380 à 400 nm
BLEU	470 nm
VERT	535 nm
JAUNE	590 nm
ORANGE	600 nm
ROUGE	610 à 780 nm
LUMIERE « INVISIBLE »	
	$\lambda \approx$
ULTRA-VIOLET	100 à 380 nm
INFRA-ROUGE	780 à 1 nm

Les unités

En ouvrant un catalogue de composants optoélectroniques, on y remarque d'autres unités que le nanomètre, aussi faut-il savoir ce que sont le lux, le candela, le lumen...

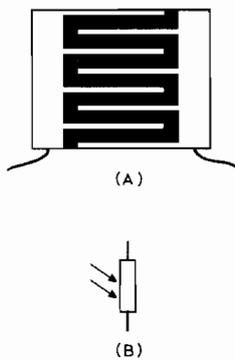


Fig. 1. — Représentation physique (A) et symbolique (B) d'une photo-résistance.

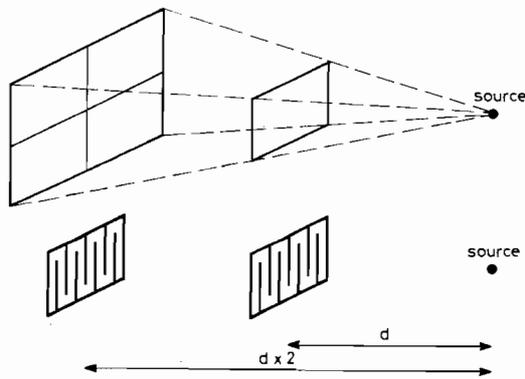


Fig. 2. — En multipliant par 2 la distance source-captteur, la quantité de lumière reçue est divisée par 4.

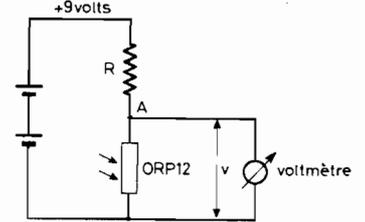


Fig. 3. — Pont diviseur avec photorésistance.

Mais commençons par le commencement, c'est-à-dire par la source de lumière. L'unité normalisée d'une intensité lumineuse est la candela (en abréviation : Cd). Une ampoule électrique d'éclairage de 100 W poursuit une intensité lumineuse d'environ 100 candélas, tandis qu'une diode électroluminescente ne donne qu'une intensité que de quelques milli-candélas (mcd), tout au plus quelques dizaines de mcd pour certains types.

Cette lumière, exprimée en candélas, est émise dans toutes les directions. Si nous ne considérons qu'une partie de cette lumière, vue dans un angle solide, on parle alors de flux lumineux. Celui-ci est égal au produit de l'intensité lumineuse par l'angle solide considéré. Plus l'angle d'ouverture est important, plus le flux lumineux est élevé. Son unité normalisée est le lumen (lm). C'est cette unité qui devrait être utilisée pour exprimer la lumière émise par une source ponctuelle directionnelle.

Une source de lumière, au lieu d'être ponctuelle peut se présenter sous la forme d'un panneau de grande surface. Il s'agit alors de **luminance**, souvent appelée à tort « brillance », dont l'unité est le **candela par mètre-carré**.

Passons maintenant du côté de l'objet éclairé. L'**éclairage** de cet objet est exprimé en **lumen par mètre-carré**. Les photographes utilisent souvent le « phot » pour exprimer un éclairage, un phot (ph)

étant égal à 1 lm/cm². Un lumen par m² est égal à 1 lux (lx). Bien que le lux soit une unité prohibée, il est toujours très largement employé dans les catalogues des constructeurs. On dit par exemple que la sensibilité d'un détecteur opto est de 50 nanoampères par lux, ce qui est moins long que de dire 50 nanoampères par lumen par mètre-carré.

La gamme d'éclairage peut aller du dixième de lux (éclairage la nuit pas seulement la pleine lune) jusqu'à presque 100 000 lux (éclairage d'une plage à midi en plein été). L'éclairage moyen d'un logement est de l'ordre de 500 lux (voir tableau II).

Munis de ces renseignements, essayons maintenant d'utiliser quelques composants optoélectroniques, en

commençant par les capteurs de lumière, appelés également détecteurs, ou récepteurs. Leur fonction est de transformer la lumière en courant électrique. Nous parlerons de 3 types de capteurs : les photo-résistances, les photo-diodes et les photo-transistors.

Les photo-résistances

Les photorésistances sont tout bonnement des résistances dont la valeur ohmique change suivant l'éclairage. Elles ne se présentent pas comme les résistances habituelles utilisées dans les circuits, mais elles ont plutôt une forme aplatie afin de présenter une surface la plus

grande possible et capter ainsi davantage de lumière. La partie résistive, à base de sulfure de cadmium, a la forme d'un crêneau (fig. 1).

Elle est représentée symboliquement par une résistance vers laquelle se dirigent deux flèches. Dans l'obscurité cette résistance a une valeur qui peut atteindre plusieurs centaines de kilohms, voire plusieurs mégohms.

La photorésistance utilisée pour nos manipulations est du type LDR03, appelée aussi ORP12. Sa résistance dans l'obscurité est de 10 MΩ. Sa gamme de sensibilité va du vert au rouge. Ce composant ne peut pas être utilisé avec une lumière uniquement bleue ou violette. Ceci sous-entend que cette résistance est non seulement variable sous l'effet d'un changement d'éclairage, mais aussi pour une variation de λ.

Expériences avec un ohmmètre

La première expérience est simplement de mesurer la résistance à l'aide d'un ohmmètre. Le constructeur dit que pour un éclairage de 1 000 lux la valeur de la résistance doit se trouver entre 75 et 300ohms, ce qui est une tolérance vraiment très grande. La valeur de 1 000 lux correspond à un éclairage très confortable. Dans un local normalement

TABLEAU II

SOURCES DE LUMIERE	
Intensité lumineuse exprimée en candelas	
Lampe d'éclairage 100 W	100 cd *
Bougie **	1 cd
Diode électro-luminescente	0,3 à 10 mcd
Afficheur 7 segments	— id —
* Ne pas croire que 1 watt est égal à 1 candela	
** « Candela » vient du latin et signifie « bougie »	
RECEPTEURS DE LUMIERE	
Luminance exprimée en lux	
Place méridionale en été, à midi	100 000 lux
Local éclairé	500 à 1 000 lux
Rue bien éclairée	50 lux
Seuil de lisibilité de caractères imprimés	1 lux
Pleine lune	0,3 lux

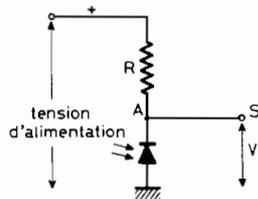


Fig. 4. — Pont diviseur avec photodiode. La photodiode doit être polarisée en inverse.

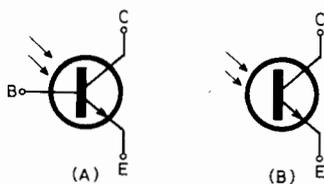


Fig. 5. — Représentation symbolique d'un phototransistor avec et sans connexion de base.

éclairé on trouve une résistance pouvant aller d'une centaine d'ohms (la photo-résistance étant proche de l'ampoule) à quelques milliers d'ohms. On constate que, sans varier la distance entre la source de lumière et la photorésistance, le maximum de sensibilité est obtenu lorsque la lumière frappe perpendiculairement la résistance (valeur ohmique plus faible).

Deuxième constatation : plus nous éloignons la photorésistance de l'ampoule, plus sa résistance augmente. Si nous multiplions par 2 la distance source-résistance, la valeur ohmique augmente dans un rapport 4 ; en effet la quantité de lumière reçue par la résistance est 4 fois moins grande comme le laisse comprendre la figure 2.

Troisièmement, si nous masquons la résistance en l'enfermant dans une boîte opaque, sa résistance atteint sa valeur maximale. Celle-ci est toutefois mesurable, elle est d'environ $10\text{ M}\Omega$ pour la résistance que nous avons testée.

Expérience avec une source de tension et un voltmètre

La photorésistance est branchée dans un pont diviseur alimenté par deux piles de 4,5 V en série.

Tel que le schéma est montré sur la figure 3, la tension positive mesurée par le voltmètre sera d'autant plus faible que la lumière incidente

sur l'ORP12 sera plus élevée. Si on désire une augmentation de tension pour une élévation de lumière, il suffit d'inverser la résistance R et l'ORP12. De même il n'y a aucun problème si on souhaite une variation de tension négative, il suffit d'inverser la tension d'alimentation. En effet, la polarité de la tension n'a aucune influence sur le fonctionnement de ce type de composant, ce qui n'est pas le cas pour les photodiodes.

Le voltmètre peut être remplacé par un oscilloscope. Il est intéressant alors d'orienter la cellule vers un tube fluorescent. La tension au point A de montage n'est pas une tension continue pure, mais elle est mélangée à une tension alternative de 50 Hz. De cela on déduit qu'une photorésistance peut être utilisée en capteur pour la télécommande.

Les photodiodes

On sait que lorsqu'une diode jonction est bloquée par une tension inverse, cette diode est quand même traversée par un courant appelé « courant de fuite », et que ce courant parasite dépend beaucoup de la température qui libère des électrons, donc des porteurs de courant. La lumière a sur la jonction le même effet que la température ; et c'est en fait pour cette raison que les transistors sont encapsulés dans un boîtier opaque. Mais cet inconvénient se transforme en avantage si on veut avoir des dispositifs sensibles à la lumière.

Les photodiodes sont donc pourvues d'une fenêtre, souvent avec lentille, à travers laquelle le rayon lumineux peut frapper la jonction, et libérer des électrons. Les électrons libérés sont attirés par la polarité positive de la source d'alimentation, d'où apparition d'un courant électrique dans le circuit extérieur. Plus la lumière reçue est intense, plus le courant sera élevé. Si aucune lumière ne frappe la photodiode, un courant de fuite circule quand même à travers la diode. Il est appelé « courant d'obscurité ».

En remplaçant la photorésistance de la figure 3 par une photodiode, on a le schéma de la figure 4. La photodiode est symbolisée par une diode et deux flèches pointées vers elle. Retenons que la photodiode doit être polarisée en inverse et que si nous changeons la polarité de l'alimentation, le branchement de la diode devra être inversé.

Les phototransistors

Souvent les variations de lumière à détecter ou à mesurer entraînent une variation de courant insuffisante dans la photorésistance ou dans la photodiode. Ces variations de courant doivent alors être amplifiées. Un amplificateur peut naturellement être ajouté, mais il est plus pratique de remplacer la photodiode ou la photorésistance par un phototransistor dans lequel la lumière est appliquée sur la jonction base-collecteur, polarisée naturellement en inverse. Le courant I_{cbo} augmente, et puisqu'il traverse la jonction base-émetteur, il est multiplié par le gain de courant β de ce phototransistor.

Un phototransistor est schématisé par un transistor et deux flèches pointées vers lui. Les modèles peuvent être avec ou sans connexion de base (fig. 5).

Les circuits

La variation lumineuse étant traduite en variation électrique, il faut maintenant recueillir celle-ci pour pouvoir l'utiliser dans une commande quelconque (relais, moteur, voyant lumineux...). Un amplificateur est alors nécessaire entre le capteur optoélectronique et l'utilisation.

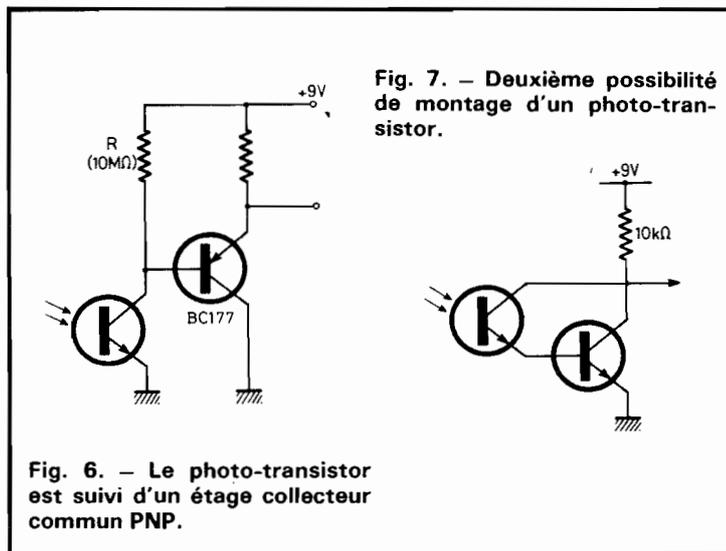


Fig. 6. — Le photo-transistor est suivi d'un étage collecteur commun PNP.

Fig. 7. — Deuxième possibilité de montage d'un phototransistor.

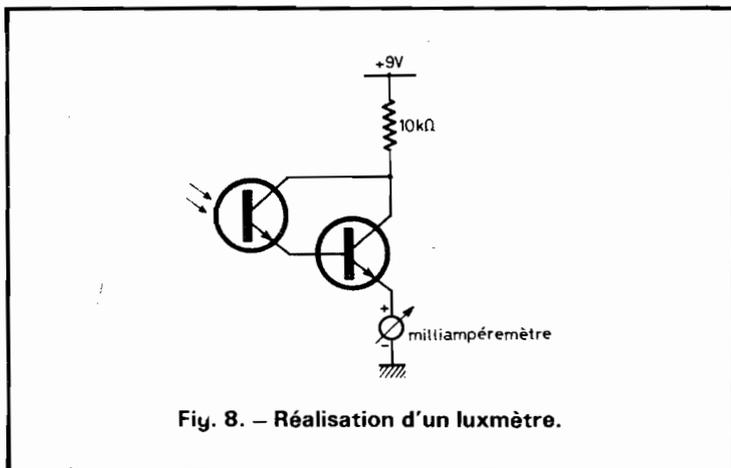


Fig. 8. — Réalisation d'un luxmètre.

Le pont représenté sur le schéma (fig. 4) peut servir pour la polarisation d'un transistor d'adaptation. Il suffit que la variation de tension en A passe d'une valeur inférieure à une valeur supérieure à V_{be} pour que le transistor passe de l'état bloqué à l'état passant.

La résistance R à placer en série avec un phototransistor doit être assez élevée (plusieurs Mégohms). Il sera bon que cet ensemble soit suivi d'un étage collecteur commun afin de présenter une impédance élevée et ne pas trop court-circuiter le capteur (fig. 6).

Une autre façon de brancher le composant photosensible est de l'insérer entre base et collecteur d'un transistor, comme représenté sur la figure 7. Ce montage fonctionne très bien en tout ou rien. En insérant dans le même montage un galvanomètre on réalise un luxmètre (fig. 8). L'appareil de mesure placé dans le circuit émetteur est un multimètre commuté en milliampèremètre sur la gamme 1,5 mA.

L'utilisation des composants optoélectroniques infra-rouges ne posent pas de problème, sauf que ce rayonnement est invisible à l'œil, et que le contrôle du bon fonctionnement ne se fait qu'à l'aide d'appareils de mesure. Les conseils donnés précédemment restent valables pour ces composants. Une barrière « lumineuse » invisible pourra se réaliser avec une source infrarouge du type CQY99 qui se présente phy-

siquement comme une diode électroluminescente courante. Quand à son circuit, il se compose uniquement d'une résistance de protection en série, tout comme les autres LED.

Quant au détecteur infrarouge, on peut utiliser un capteur du type BPW34 qui est une photodiode aussi bien sensible aux rayonnements visibles qu'aux infra-rouges.

Les cellules photo-voltaïques

Dans les dispositifs que nous venons de décrire, la lumière commande un courant venant d'une source de tension. Il y a certaines applications où le fait d'être obligé d'utiliser une source est un inconvénient. Heureusement il existe les cellules photo-voltaïques dans lesquelles la lumière fournit la tension. Les électrons libérés passent à travers la jonction et créent une tension continue. La grandeur du courant est proportionnelle à l'éclairement et peut être utilisée pour la mesurer.

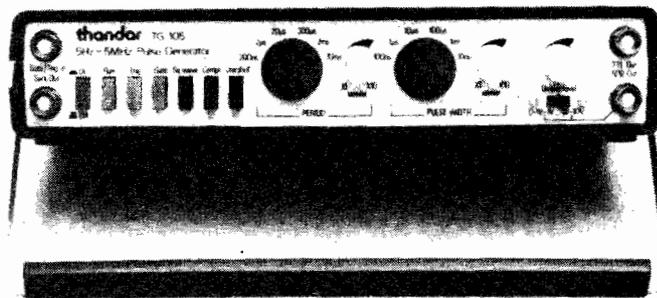
C'est avec de telles diodes qu'il est possible d'obtenir une énergie solaire.

Les cellules photo-voltaïques sont schématisées par une pile électrique vers laquelle pointent deux flèches.

J.-B. P.

Bloc-notes

GENERATEUR D'IMPULSIONS THANDAR TG105



Caractéristiques

Gamme de fréquence : 5 Hz à 5 MHz en six décades
Réglage fin (200 ns à 200 ms)
Largeur d'impulsions : 100 ns à 100 ms en six décades
Réglage fin

Modes de fonctionnement :
Cycle libre
Déclenchement porte
Déclenchement par signal de synchronisation ext.
Inversion de polarité
Indexation pour fonctionner en rapport cyclique constant
Déclenchement coup unique (synchro ou porte)

Entrée synchro/porte : $> 2,4 V$
 $< 20 V$ crête

Sorties :
Sortie principale : 5 V max. sur

50 Ω temps montée et descente typ. 10 ns
Sortie TTL : 20 standards TTL
Sortie synchro : 10 standards TTL
Alimentations : 110/220 V 9 VA
Dimensions : 255 x 150 x 50 mm
Masse : 1 200 g

Le Générateur d'Impulsions TG 105 répond particulièrement aux besoins de la maintenance et a été conçu pour permettre une utilisation simple (initiation électronique dans les écoles).

Sa taille et son poids en font un instrument facile à intégrer dans un mini laboratoire sans pour cela sacrifier aux performances.

GENERATEUR DE FONCTIONS THANDAR TG100

Caractéristiques

Forme d'ondes :
Continu : décalage continu seul offset $\pm 5 V$
Sinus : distorsion typique 1 %
Triangle : linéarité typique 0,1 %
Carré : tm, td. 150 ns sur 600 Ω
Rapport cyclique constant : $\pm 2 \%$
Fréquence :
1 Hz à 100 kHz en 5 décades avec réglage fin. 0,01 Hz à 100 kHz (en vobulation ext.)
Amplitude :
0,1 V à 10 V crête crête à vide
Atténuateur 40 dB fixe

Réponse en amplitude : $\pm 0,5$ dB de 1 Hz à 100 kHz
Sortie : TTL - 20 standards TTL - charges
Commande de fréquence ext. : Rapport f max dans une gamme 300 : 1 par une tension de 7,5 V c à c - Linéarité $< 5 \%$ - Impédance 39 k Ω
Alimentation : 115, 230 V
Consommation 9 VA
Encombrement : 255 x 150 x 50 mm
Masse : 1 200 g