



Les photorésistances : technologie, propriétés et applications

Les photorésistances sont des composants connus depuis longtemps. De technologie peu complexe, de comportement également simple à comprendre, il semblerait qu'il ne reste que peu à dire à leur sujet...

Pourtant, l'article qu'on va lire montrera que, loin d'être devenu un composant « démodé », la photorésistance mérite quelque attention, ne serait-ce qu'en raison de la diversité des applications auxquelles elle permet de satisfaire, à l'aide de circuits souvent fort simples et donc de coût modique.

Quelques rappels

Exposés à la lumière, certains semi-conducteurs voient leur résistance varier dans des proportions appréciables ; cet effet est susceptible d'être exploité. La variation de ce paramètre est mise à profit dans la photorésistance, composant doué de propriétés électriques très différentes des autres cellules photoélectriques que sont les phototransistors ou les photodiodes. Le phénomène de variation de résistance, simple à assimiler, rend l'utilisation des photorésistances particulièrement aisée et simplifiera, dans de nombreux cas, la conception de produits basés sur l'optoélectronique.

Contrairement aux photodiodes et phototransistors, les photorésistances se comportent comme des résistances pures du fait de leur absence de jonction. Cette particularité les rend très utiles pour travailler directement sur une tension alternative, qu'il s'agisse du secteur, d'un signal audio-fréquence ou autre.

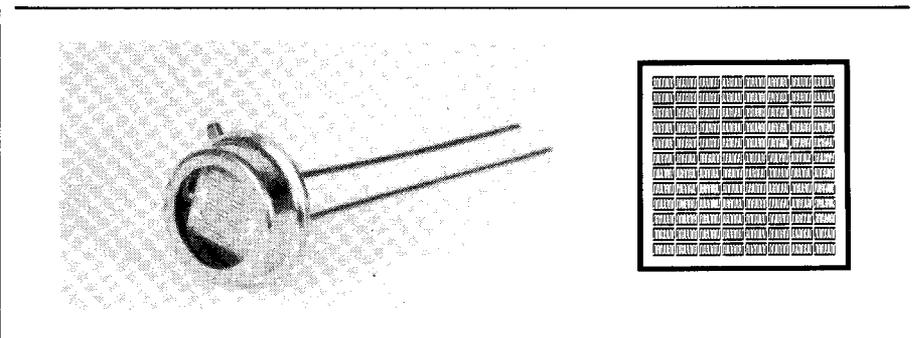


Fig. 1a. - Pour fabriquer une photorésistance telle celle représentée à gauche, on part d'une plaquette d'alumine, découpée au laser, sur laquelle on dépose du CdS ; après passage au four à 500 °C, un masque (à droite) est utilisé pour l'évaporation sous vide des électrodes en indium.

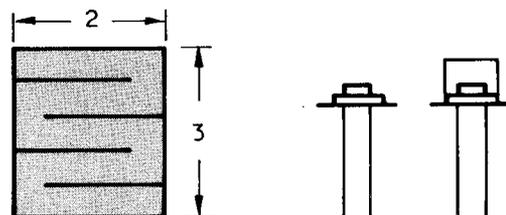


Fig. 1b. - De gauche à droite : élément séparé ; collage de l'élément entre les fils de l'embase et liaison à l'époxy ; soudure électrique du capot métallique à fenêtre en verre.

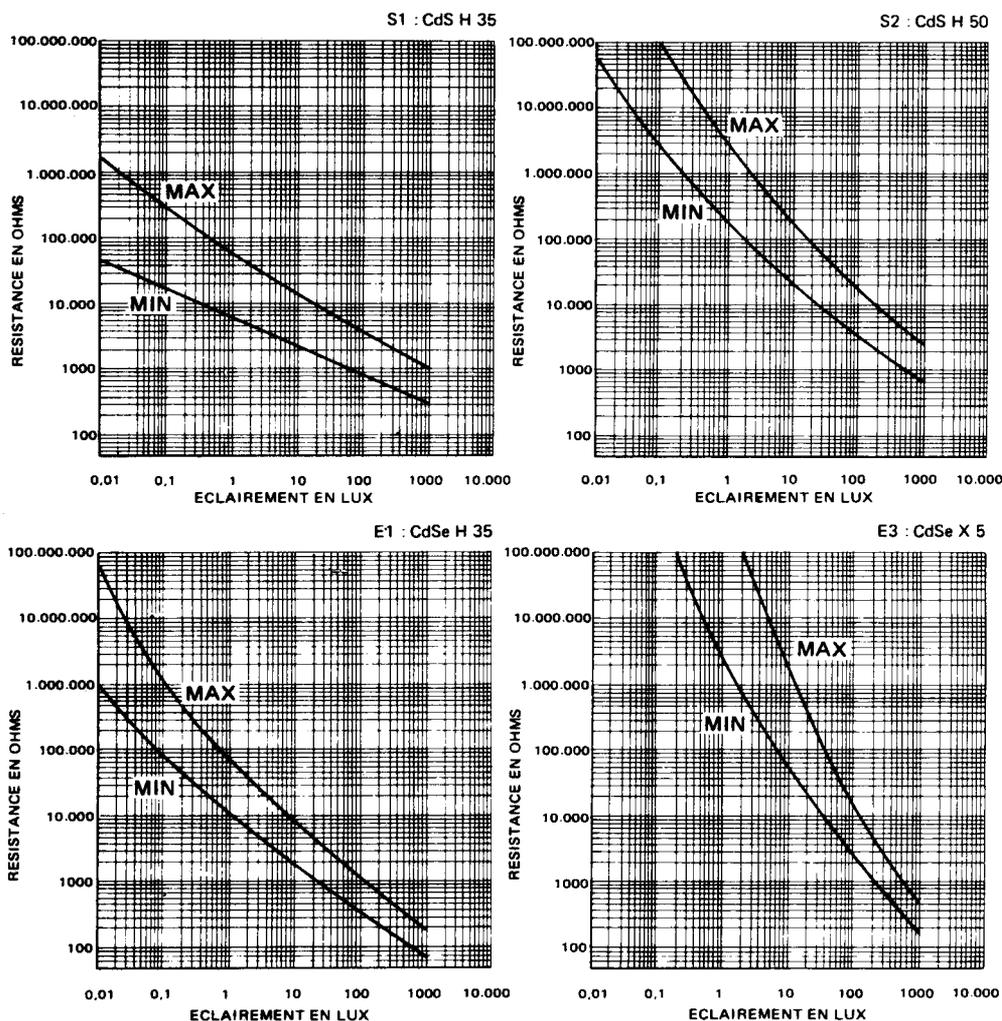


Fig. 2 à 5. - (De gauche à droite et de haut en bas).

Principes de fabrication

Deux principaux procédés de fabrication des photorésistances sont utilisés aujourd'hui. Le premier consiste à fritter, à haute température, une poudre composée de sulfure de cadmium et de chlorures de cadmium et de cuivre. Le second procédé (utilisé par *Segor*) exploite un brevet du CNET datant de 1951.

Le principe de base consiste à évaporer, sous vide, du sulfure ou du séléniure de cadmium sur des plaquettes d'alumine préalablement prédécoupées au laser ou directement en forme dans le cas de pastilles circulaires ou de forme complexe.

Le matériau de base n'a alors qu'une activité photoélectrique réduite, et ne peut, de ce fait, être exploité. Il subit alors un traitement

thermochimique qui lui donne ses caractéristiques électriques. Le matériau est maintenant fortement photoconducteur, il reste à exploiter sa photoconductivité par l'intermédiaire d'électrodes.

Ces électrodes sont constituées par évaporation, sous vide, d'indium, au travers d'un masque. Ce dernier va déterminer la valeur de la résistance. La photorésistance, après test, est alors montée dans un boîtier réalisé suivant une technologie qui dépendra de son utilisation finale et qui interviendra dans son prix de revient.

Par exemple, la pastille, issue du découpage de la plaquette, est collée sur une embase métallique ; les contacts entre les fils de sortie et les électrodes d'indium sont réalisés par résine époxy conductrice. L'embase est alors coiffée d'un capot à fenêtre de verre qui lui est soudé électriquement (fig. 1). La technique

de fabrication utilisée pour les photorésistances permet de réaliser de très grandes surfaces, par exemple 10 cm × 10 cm. Les évaporations sous vide se font au travers de masques découpés chimiquement ; un procédé de fabrication économique et, surtout, d'une grande souplesse pour des applications spéciales de versions sur mesure.

Caractéristiques

Comme tous les composants électriques, les photorésistances se caractérisent par des spécifications principales comme la sensibilité ou la résistance, ou secondaires comme leur comportement en température ou leur temps de réponse. Des caractéristiques qui doivent être prises en compte lors de l'optimisation de l'étude d'application, mais que l'on peut négliger dans bon nombre de cas.

Sensibilité photoélectrique

Tout d'abord, il convient de préciser que les photorésistances sont conçues à partir de deux matériaux, sulfure et séléniure de cadmium, traités par des activateurs jouant sur leurs paramètres photorésistifs.

Le CdS, d'une couleur marron, donne naissance à des cellules de pente moyenne, tandis que le CdSe, noir, présente une pente nettement plus importante. Les figures 2 à 5 donnent quatre types de réponses photoélectriques obtenues à partir de variantes des activations, avec les courbes de sensibilité : variation de la résistance en fonction de l'éclairement. Etant donné que la valeur nominale de la photorésistance,

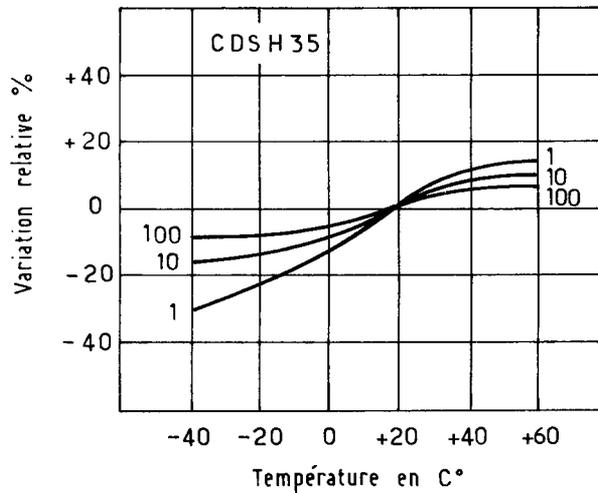


Fig. 8

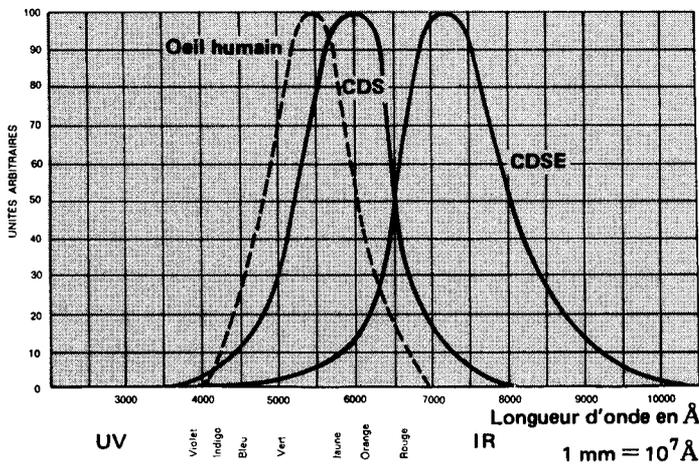


Fig. 6. - Sensibilité spectrale.

	t_e (ms)	t_o (ms)
CdS H 35	20	400
CdS H 35 A G	20	80
CdSe H 35	5	20
CdSe X 5	1	2

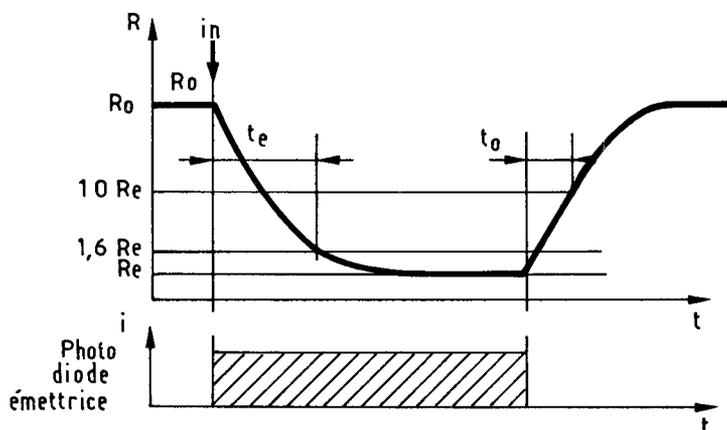


Fig. 7.

exprimée à 100 lux, dépend de sa géométrie, il conviendra, pour chacun des modèles, de traduire les courbes de sensibilité qui sont celles de cellules de résistance moyenne.

On remarquera également que la plage de travail des photorésistances s'étale de 4 à 6 décades pour l'éclairement, la variation de résistance dépendant de la pente du matériau.

Sensibilité spectrale

Il y a deux réponses différentes pour le CdS et le CdSe, la figure 6 montre que le sulfure de cadmium a sa courbe de sensibilité centrée à proximité de la courbe de sensibilité spectrale de l'œil tandis que le séléniure de cadmium est décalé vers l'infrarouge proche et peut être utilisé dans le visible avec, bien sûr, une sensibilité réduite.

Pour une utilisation avec illumination par diode électroluminescente, le choix de la couleur déterminera la variation de résistance.

Une extension de la réponse spectrale dans l'ultraviolet est possible grâce au dépôt d'une couche fluorescente sur la fenêtre en quartz du capot. Cette couche fluorescente transforme le rayonnement UV en un rayonnement « visible » pour la photorésistance. Le choix du matériau fluorescent adapte la cellule à la longueur d'onde de l'ultraviolet : court (2536 Å) ou long (3500 Å.).

La sensibilité du CdS l'adapte tout à fait à des commandes de compensation de la lumière ambiante comme un allumage automatique de l'éclairage public, un réglage automatique de luminosité d'afficheur, la détection de couleurs...

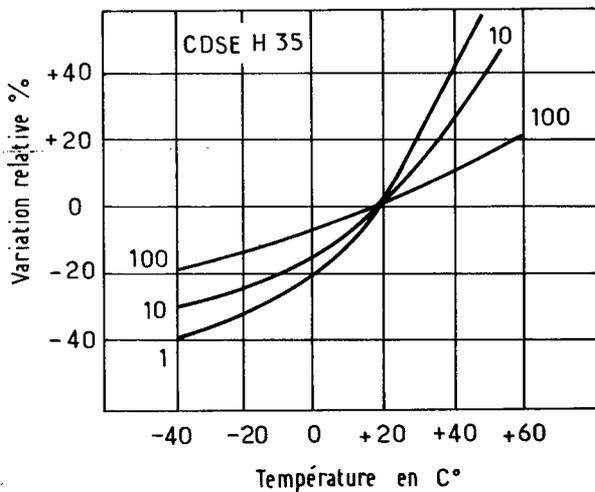


Fig. 9.

Temps de réponse

Il convient tout d'abord de définir ce temps de réponse. La photorésistance, par rapport aux photodiodes et phototransistors, présente un temps de réponse relativement favorable à l'élimination de réponses parasites lors d'applications en commutation statique.

Deux temps de réponse sont définis, l'un à l'éclairement et l'autre au retour à l'obscurité.

Le temps à l'éclairement se définit comme le temps mis par la résistance à passer de la résistance à l'obscurité (R_0) à 1,6 fois la résistance à l'éclairement.

Le temps de retour se définit comme étant celui nécessaire pour passer de la résistance à l'éclairement à 10 fois cette valeur initiale.

La figure 7 illustre cette définition.

Ce temps de réponse n'est pas constant, il change avec la valeur de

l'éclairement ; ainsi, le temps de réponse d'un CdS H 35 sera de 350 ms à 1 lux et de 15 ms à 1 000 lux tandis que le temps de retour sera de 5 000 ms à 1 lux et de 150 ms à 1 000 lux.

Ce matériau, à faible pente et haute stabilité, est le plus lent ; de l'autre côté de la gamme, le CdSe X 5 présente un temps de réponse à l'éclairement de 15 ms à 1 lux et de 0,3 ms à 1 000 lux ; le temps de réponse à l'obscurité varie de 15 ms à 1 lux à 2 ms à 1 000 lux.

Donc, les différents matériaux se caractérisent par un temps de réponse asymétrique, une particularité à connaître pour bien exploiter le composant.

Comportement thermique

Les figures 8 et 9 montrent le comportement thermique des matériaux CdS H 35 et CdSe H 35. Les trois courbes de chaque graphique montrent que le coefficient de température varie avec l'éclairement : il devient négatif à l'obscurité. Autre constatation : plus la pente de la cellule est importante et plus son coefficient de température l'est aussi. Une cellule, lente et à faible pente, réalisée à partir de CdS H 35 présentera une meilleure stabilité thermique

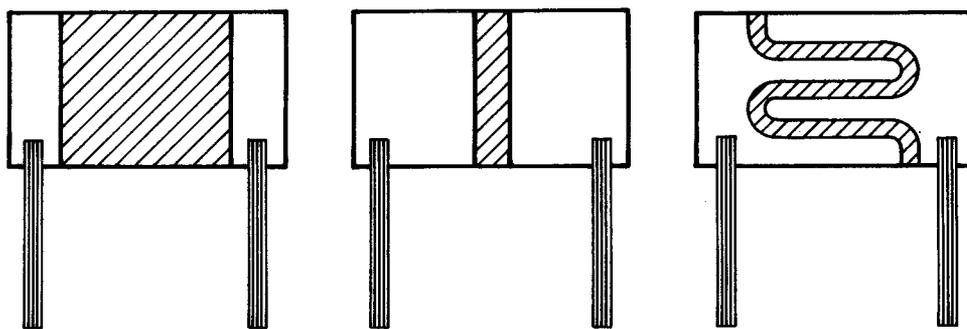


Fig. 10.

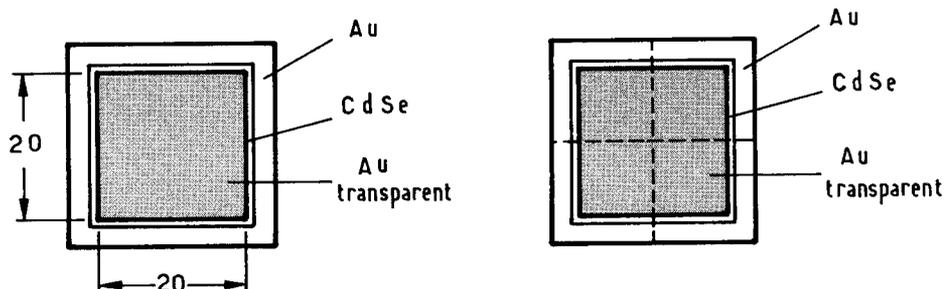


Fig. 11 (à gauche) et 12 (à droite).

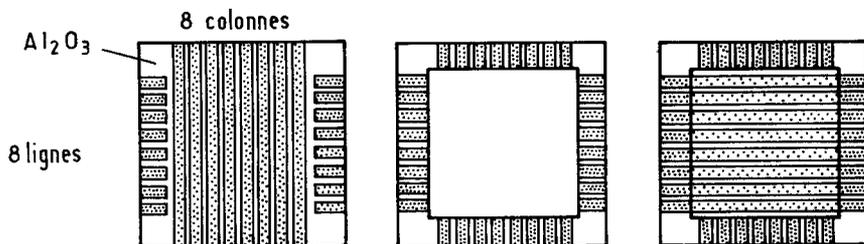


Fig. 13. - De gauche à droite : électrode inférieure MoAu ; couche de CdSe ; Au transparent déposé sur le GdSe et les lignes avec séparations.

qu'une autre réalisée en CdSe H 35 ou X 5. Ce paramètre thermique sera à prendre en compte lors des études.

Par ailleurs, la température maximale de fonctionnement des cellules dépend de l'encapsulation ; avec un montage verre/métal, la température de fonctionnement atteindra $125^\circ C$ alors qu'elle sera limitée à $70^\circ C$ pour un encapsulage plastique ou époxy.

Stabilité

Les cellules photorésistantes évoluent au cours des premiers mois de leur vie. La variation de la valeur sera, pour une CdS H 35, de 5 % à 1 000 lux et de 20 % à 0,1 lux au bout de plusieurs mois de fonctionnement. La variation est une augmentation de la résistance et de la pente de la courbe $R = f(E)$.

On prévoira donc, lors de l'étude, un coefficient de sécurité pour l'éclairage comme pour l'obscurité.

Il est également possible d'effectuer une compensation pour travailler à résistance moyenne et température constante, par le biais d'une régulation de lumière et de température.

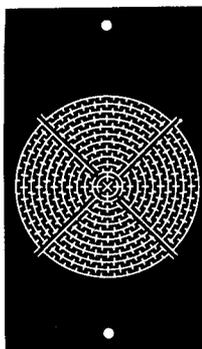


Fig. 14. - Structure multiple.

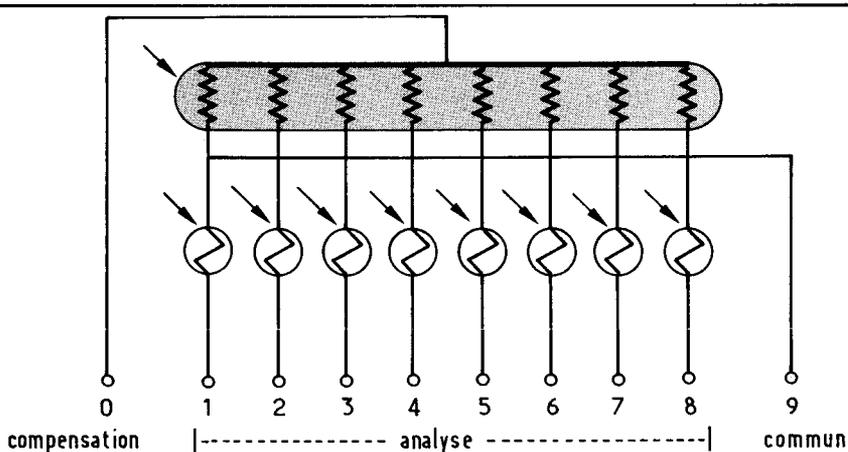


Fig. 15. - Configuration pour reconnaissance des formes.

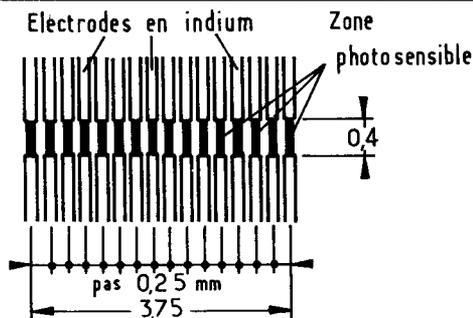


Fig. 16. - Disposition en 16 éléments (échelle 10 environ).

La facilité de réalisation de modèles différentiels ou doubles permet de compenser le vieillissement naturel sans électronique complexe ; l'évolution des deux éléments étant alors parallèle.

Dissipation

La puissance admissible dépend de la surface de la photorésistance. Elle sera aussi fonction de son mode de montage dans le boîtier, un boîtier métallique dissipant davantage d'énergie que son homologue plastique.

Sans radiateur, on admet une puissance de 5 mW/mm^2 en régime per-

manent, la puissance instantanée, en impulsions de 12 ms, pouvant atteindre 10 W/mm^2 .

Le fonctionnement doit être tel que la température de la pastille se situe entre $-55^\circ C$ et $+125^\circ C$, l'indium des électrodes diffusant à $140^\circ C$ et fondant vers $150^\circ C$.

Humidité

L'humidité peut s'infiltrer dans une cellule non protégée, elle réduira la résistance d'obscurité et augmentera la résistance à l'éclairage.

Bien entendu, les éléments actifs sont protégés par vernis acrylique

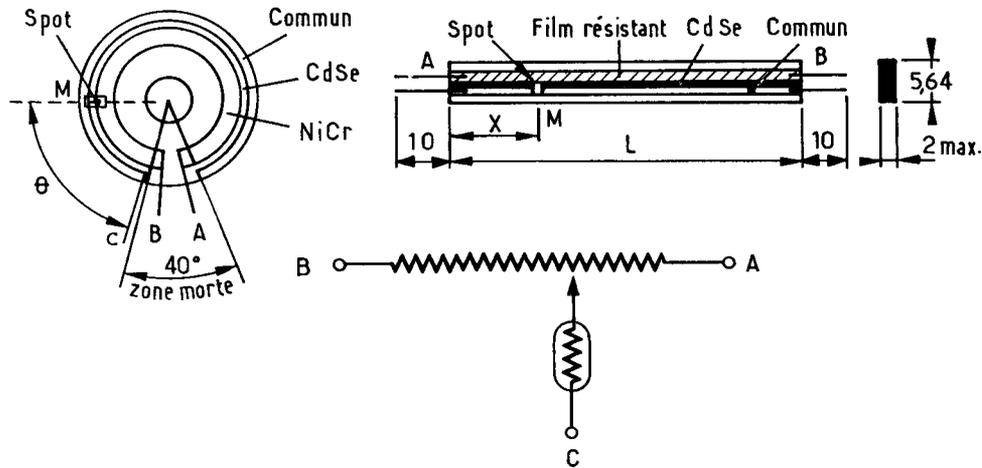


Fig. 17. - Structure d'un capteur angulaire (à gauche) ; d'un capteur rectiligne (à droite) et équivalence électrique.

ou silicone avec, en outre, un enrobage dans une résine époxy ou polyester. La meilleure solution reste l'encapsulation verre-métal avec soude électrique.

Géométrie

La zone photosensible est constituée d'un ruban de largeur et de longueur données. Ce ruban est placé entre deux électrodes. Plus la

largeur du ruban est faible, plus la valeur de la photorésistance est basse et réciproquement ; plus la longueur est importante et plus la résistance est basse. Là aussi, la réciprocité joue. On aura donc parfois intérêt à obtenir la distance inter-électrodes la plus faible possible, cette distance étant toutefois limitée par le procédé de déposition sous vide des électrodes (fig. 10).

Par ailleurs, plus le ruban est faible, moins grande est sa tenue en tension. Une photorésistance prévue pour travailler sous haute tension devra donc bénéficier d'un large ruban, ce qui conduira à une valeur ohmique élevée. Bien sûr, l'augmentation de longueur du ruban est possible mais elle augmente la taille du composant.

L'adoption d'une structure d'électrodes en peigne aux dents entrelacées conduit à une baisse de la valeur ohmique. Les cellules photorésistantes usuelles ont, pour les versions standard, une tenue allant de 30 V à 800 V.

Pour des applications spéciales, la tenue en tension peut être portée à plusieurs milliers de volts. L'un des modèles utilisés pour des intensificateurs d'image supporte une tension de 10 kV avec, bien sûr, une résistance interne élevée corollaire de cette haute tension.

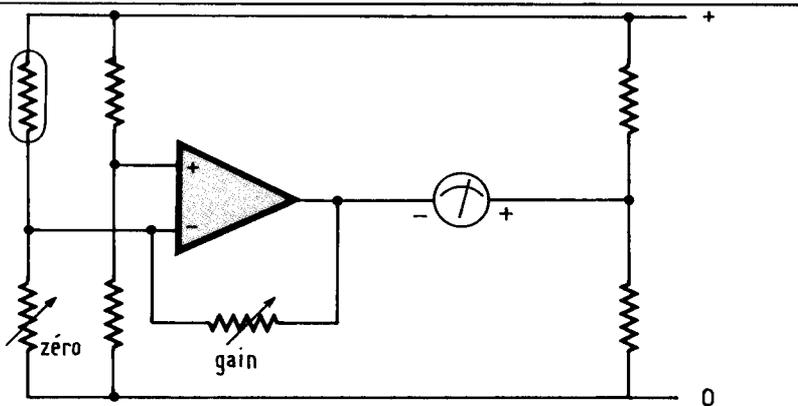


Fig. 18. - Mesure d'intensité lumineuse.

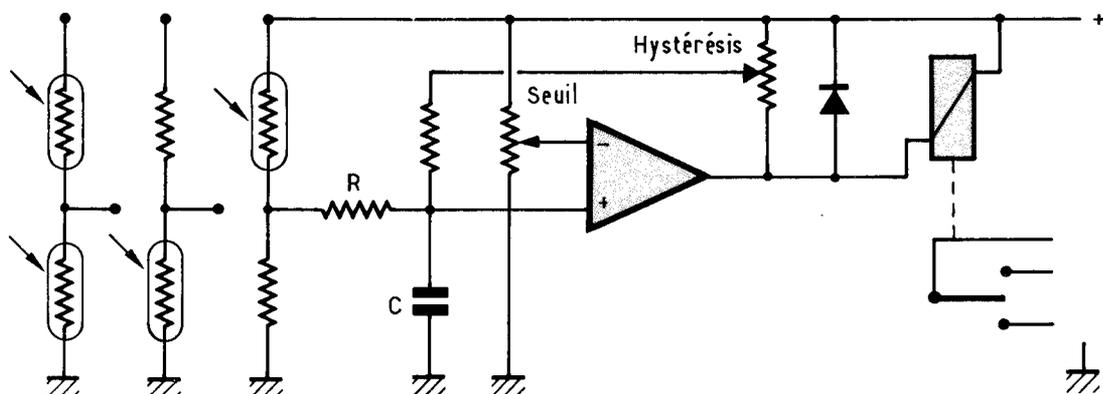


Fig. 19. - Commande photoélectrique.

Photorésistances en technologie Planar

Les photorésistances classiques sont réalisées avec une structure coplanaire. Les électrodes sont opaques et placées l'une en face de l'autre.

Dans un nouveau procédé, la première couche déposée sur le substrat est une couche conductrice métallique sur laquelle on dépose la couche photosensible activée par thermodiffusion. Sur cette couche, on dépose ensuite une seconde couche métallique assez fine pour être transparente.

Cette technique de fabrication a permis de réaliser divers modèles de photorésistances présentant une surface sensible nettement plus importante que celle des modèles classiques et, surtout, sans zones d'ombre telles celles créées par la superposition des électrodes sur le matériau photosensible.

La **figure 11** présente un capteur simple de grande surface et la **figure 12** une version dérivée, à 4 quadrants.

Plus intéressante est la confection de matrices que l'on obtient de la façon suivante : dépôts d'électrodes par évaporation sous vide, gravure chimique, puis dépôt de CdSe suivi du dopage.

La **figure 13** donne le processus de fabrication dans lequel la découpe finale s'effectue au diamant avec contrôle de la profondeur de découpe.

Cette technique de fabrication permet de détecter la position de points avec une précision de $50 \mu\text{m}$.

Les cellules peuvent travailler à l'échelle 1 sans optique et la dimension maximale du capteur n'est limitée que par la taille du substrat et des machines. Elle peut atteindre $210 \times 297 \text{ mm}$, par exemple.

Ces cellules sont encore à un stade expérimental. Le procédé de réalisation a été vérifié. Des investissements en matériel et en personnel sont à faire pour aboutir à une commercialisation.

Ces techniques nouvelles ont donné lieu – notamment dans le cas de la société *Segor* – à un marché d'étude, portant sur les matrices photosensibles, conclu avec l'ANVAR.

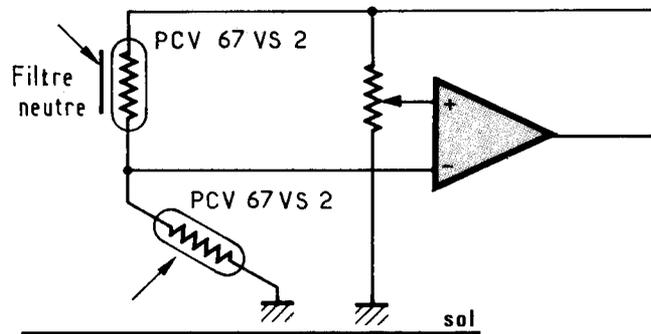


Fig. 20. – Lecture de repère compensée en éclairage ambiant.

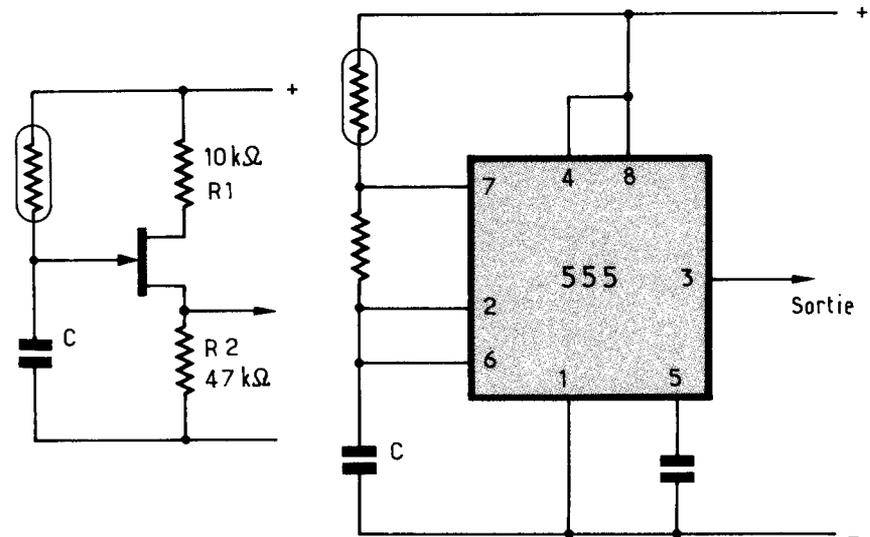


Fig. 21 et 22. – Convertisseurs lumière/fréquence.

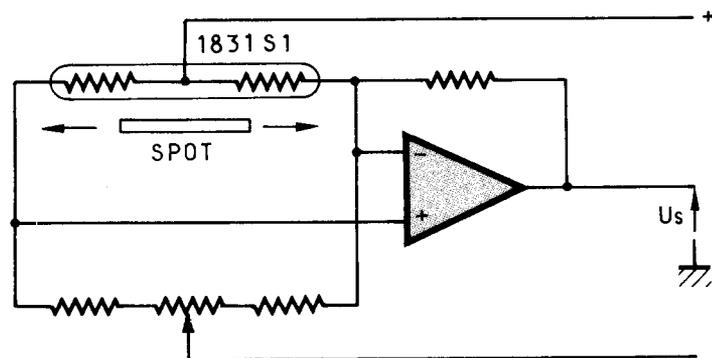


Fig. 23. – Détecteur de position.

Applications des photorésistances

Les photorésistances classiques

Elles sont réalisées sous diverses présentations répondant à des besoins généraux ou particuliers.

La taille de la pastille sera souvent un critère déterminant, notamment pour des applications demandant une miniaturisation poussée du photocapteur.

La technique de fabrication permet d'aller du plus petit au plus grand : à titre d'exemple le modèle le plus petit de la gamme *Segor* fait seulement 2 mm de diamètre, les

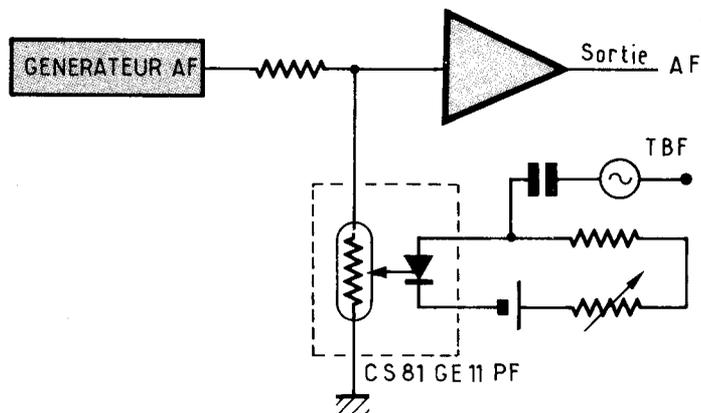


Fig. 24. - Circuit de trémolo et expression.

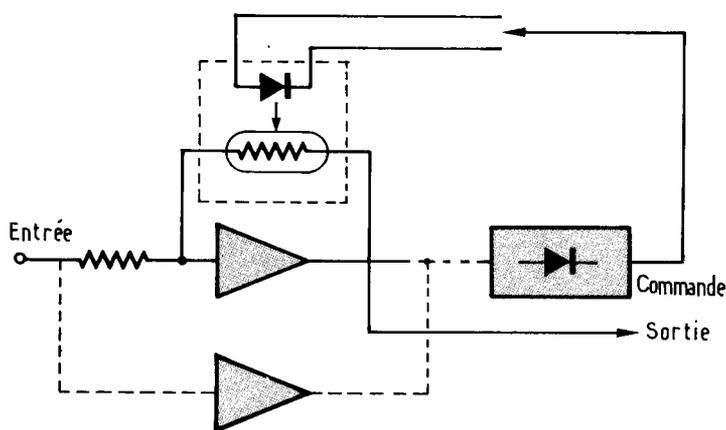


Fig. 25. - Circuit de type CAG, limiteur-compresseur.

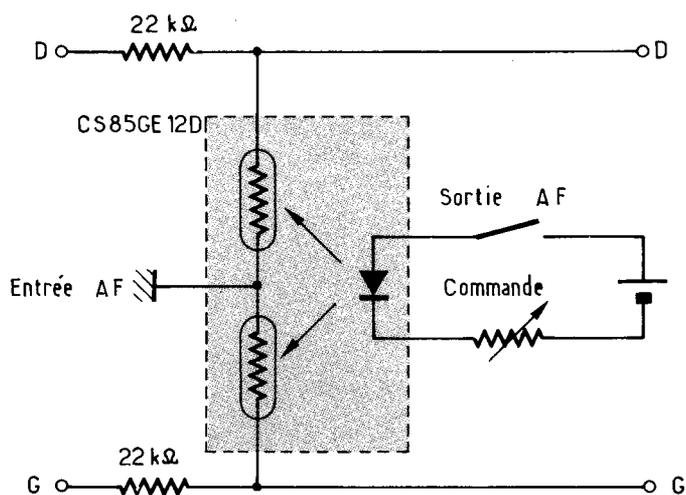


Fig. 26. - Atténuateur ou interrupteur 2 voies.

pastilles rondes, les plus grandes, ayant un diamètre de 18 à 20 mm. Des éléments de grande longueur, plus de 150 mm, peuvent également être réalisés, par exemple pour des détections de position.

La pastille photorésistante sera alors installée dans un boîtier métal-

lique rempli d'un gaz inerte et soudé, ou bien simplement vernie ou enrobée dans une résine améliorant sa tenue à l'humidité.

Bien sûr, toute une gamme de cellules peut être réalisée avec une même géométrie externe : électrodes linéaires ou en peigne, matériau

CdS ou CdSe dans les différentes variantes.

Elles peuvent aussi être fournies en « puces » pour le montage en composants de surface (C.M.S.).

Photorésistances spéciales

La technique de fabrication offre une grande souplesse de réalisation. La confection de photorésistances annulaires de fort diamètre ne pose aucun problème. La division de la zone photosensible en deux parties conduit à l'obtention de modèles différentiels. Les deux parties, ayant subi le même traitement thermo-chimique, bénéficient donc des mêmes propriétés photoélectriques. Ces photorésistances différentielles seront utilisées pour la détection de spot dans des systèmes d'asservissement, par exemple, ou encore l'un des éléments peut recevoir un éclairage fixe et, travaillant à la même température que l'autre, assurer sa compensation en température.

Les deux éléments peuvent être séparés ou dotés d'une électrode unique.

Il existe, depuis relativement peu de temps, une photorésistance double dont les deux éléments sont interdigités et bénéficient d'une électrode commune. Là encore, le même traitement thermo-chimique sert pour appairer les deux éléments, l'entrelacement des éléments leur assure le même éclairage.

Ce type de photocapteur est particulièrement adapté aux commandes de gain en stéréophonie où l'on a besoin d'un gain variable identique sur les deux voies ou dans des systèmes de mesure et de positionnement.

Plus de 4 éléments, c'est aussi possible. Il a ainsi été réalisé, pour un procédé de tir laser, une photorésistance multiple à 21 éléments permettant de repérer la position d'un rayon laser sur la cible et d'afficher le résultat (fig. 14).

La photorésistance se prête également à la réalisation de barrettes susceptibles d'être exploitées pour une reconnaissance de forme ou un suivi de pistes.

Deux capteurs standard figurent au catalogue Segor :

- l'un de 1 à 8 éléments plus 1 de compensation, vis-à-vis de la lumière ambiante sans système de commande automatique de gain,

destiné à une reconnaissance de forme sommaire (fig. 15).

- un second à 16 photorésistances organisées en ligne au pas de $250 \mu\text{m}$, chacune des cellules étant indépendante des autres (fig. 16).

Toute autre disposition d'éléments peut être réalisée. Les substrats se percent et se découpent au laser et diverses photorésistances peuvent être réunies sur un même substrat à condition toutefois d'être réalisées dans un même matériau ou de subir le même traitement thermochimique. Rien ne s'oppose à ce que l'on dépose du CdS et du CdSe sur un même substrat.

Photopotentiomètres

Le photopotentiomètre est une application récente de la photorésistance.

La réalisation du photopotentiomètre consiste à couler, sur un substrat d'alumine, une couche photosensible de CdSe. Une fois cette couche activée, on dépose une piste résistante (NiCr) et une piste conductrice (indium).

L'ensemble est placé dans le noir et un spot éclaire un point de la piste.

Le schéma équivalent est donné à la figure 17. La valeur de la résistance de contact demande le pré-

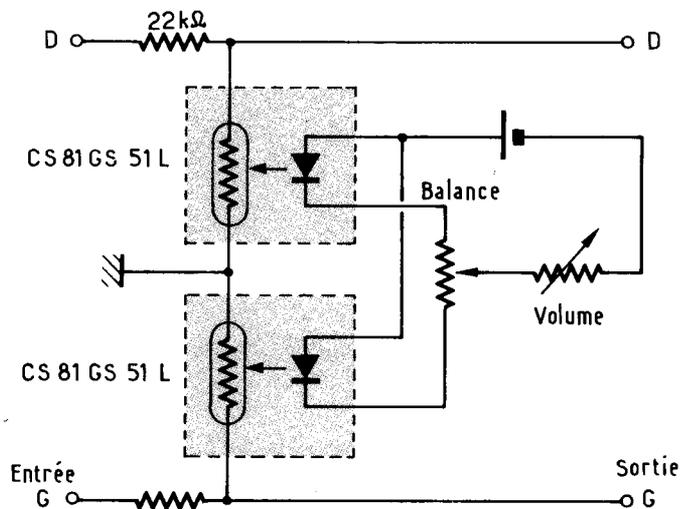


Fig. 27. - Commande de volume et de balance.

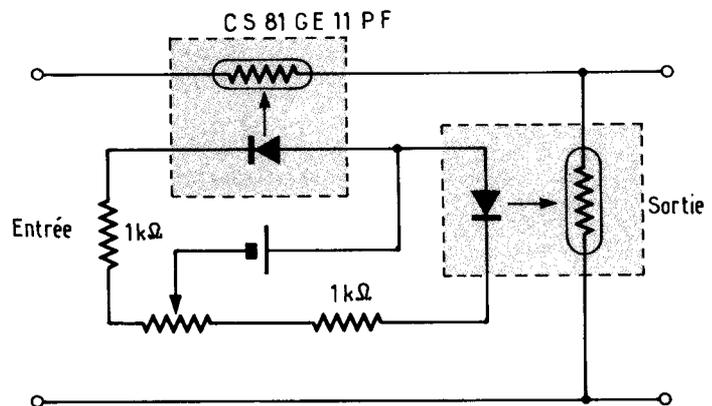


Fig. 28. - Atténuateur à commande linéaire.

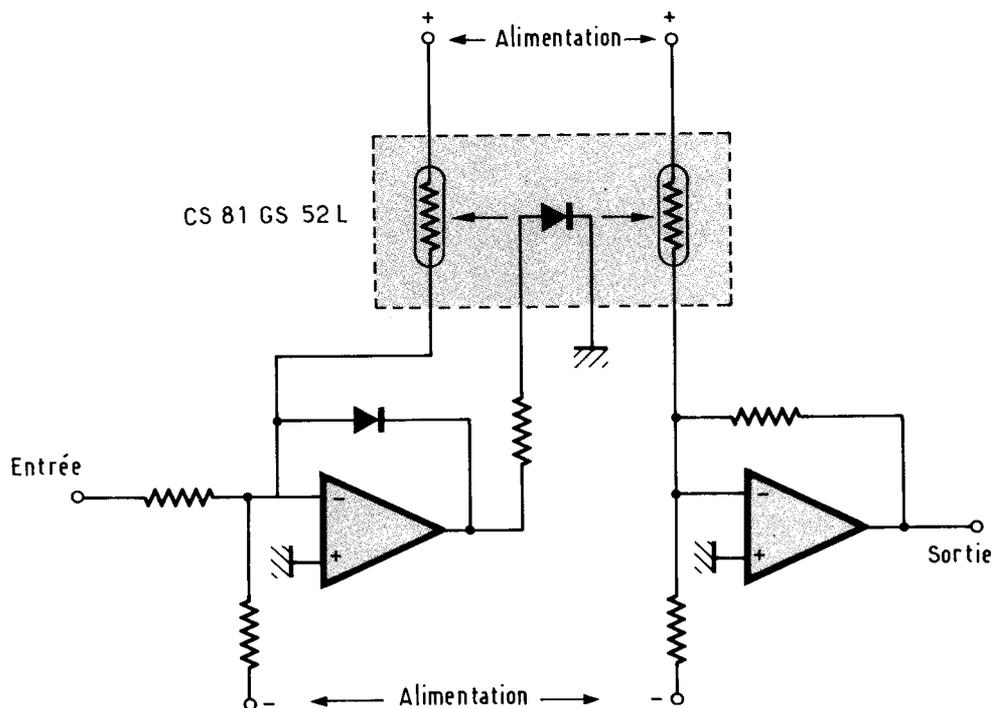


Fig. 29. - Commande linéaire compensée en température.

vement de la tension par un système à très haute impédance d'entrée. L'intérêt de ce potentiomètre est l'absence totale de frottement, d'usure, de crachement, l'insensibilité aux perturbations électriques et aux vibrations et, surtout, la possibi-

lité de travailler en ambiance dangereuse ou dans un liquide.

Ce type de potentiomètre est particulièrement adapté à la transmission de données comme, par exemple, la position de l'aiguille d'un instrument de mesure.

Photocoupleurs

Le principe de base est le même que celui des photocoupleurs à phototransistors. Ils utilisent une ou plusieurs photorésistances placées, au choix, devant une LED (faible tension), une lampe à incandescence (tension moyenne) ou un néon. Cette dernière source permettant une attaque directe par la tension secteur.

La photorésistance du photocouleur peut être traversée par un courant alternatif et peut travailler avec des tensions très faibles, de l'ordre de quelques microvolts, ce qu'un phototransistor ne supporte pas. La photorésistance peut, par ailleurs, accepter des tensions de plusieurs centaines de volts.

Le photocouleur à photorésistance est réalisé dans un boîtier opaque dont la géométrie détermine l'isolement entre l'émetteur et le récepteur, qui peut atteindre 100 kV pour un boîtier de 40 mm de longueur installé dans un liquide diélectrique.

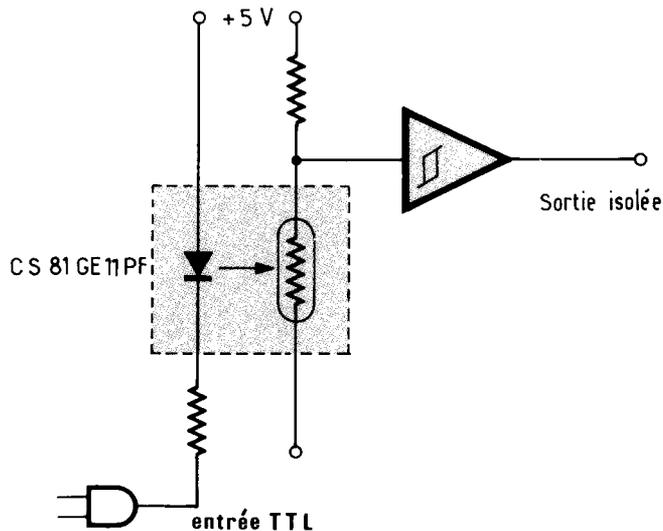


Fig. 30. - Interface TTL isolé.

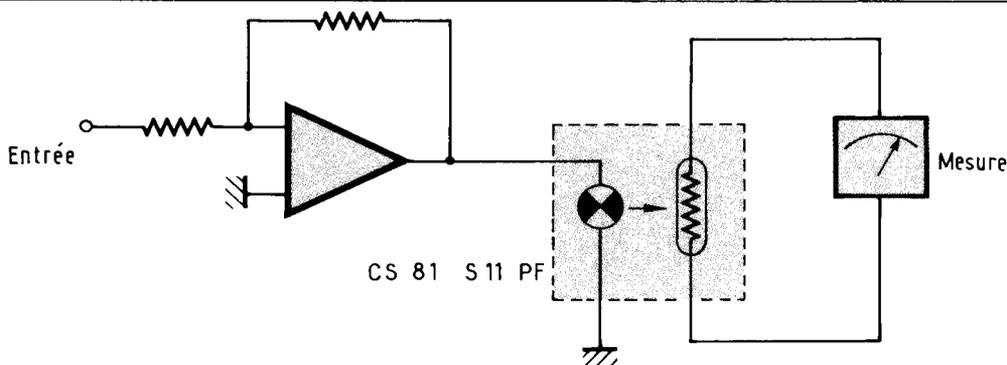


Fig. 31. - Mesure de valeur efficace vraie.

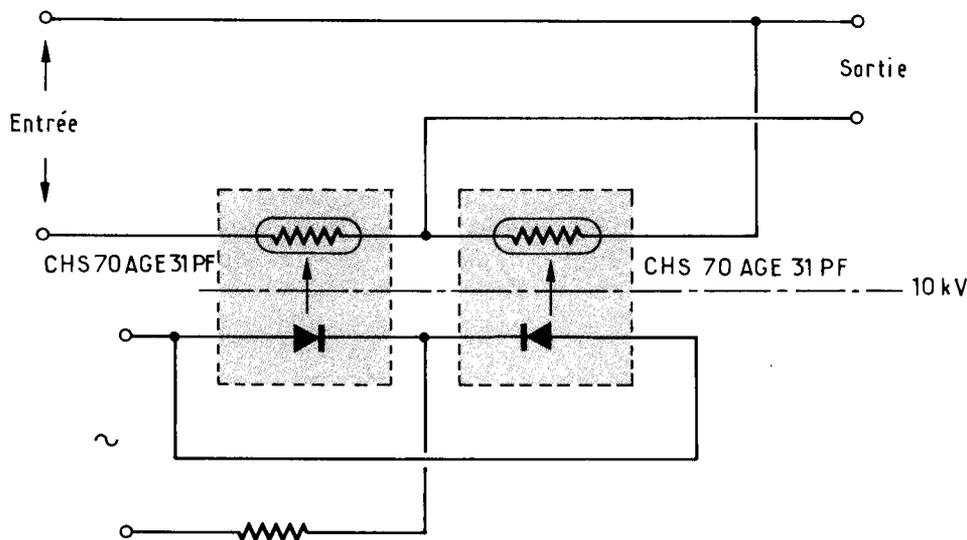


Fig. 32. - Chopper à photorésistance.

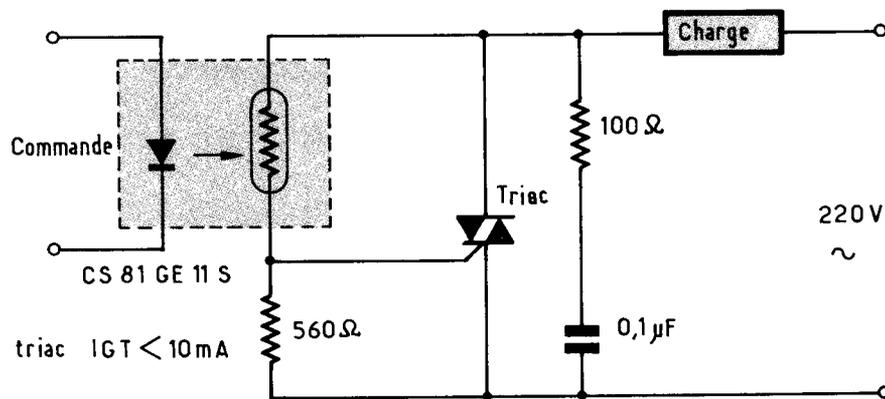


Fig. 33. – Relais statique à triac.

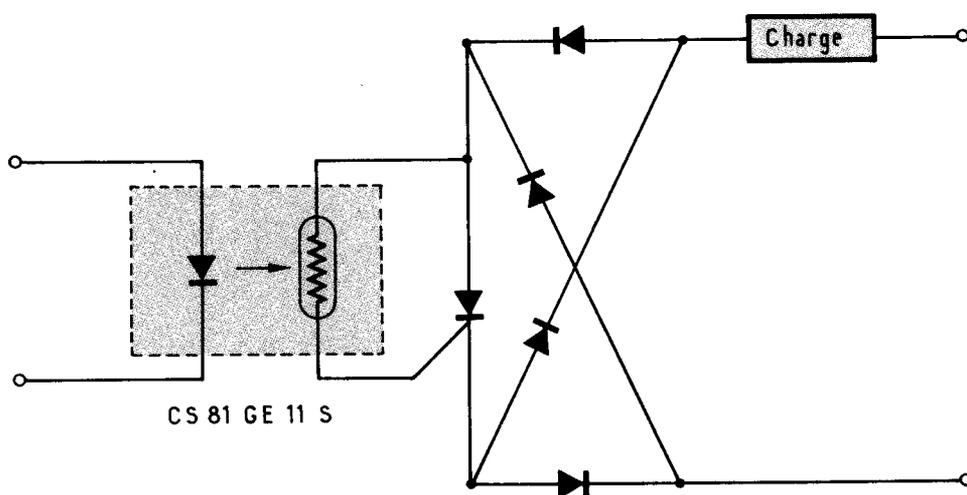


Fig. 34. – Relais statique à thyristor.

Schémathèque de base

On a réuni ici toute une série d'applications des photorésistances et des photocoupleurs adaptée à des cas généraux. Le principe de base consiste à faire varier l'intensité lumineuse frappant la surface photosensible et déclenchant une variation de résistance.

Dans deux séries d'applications, nous avons une ou plusieurs photorésistances avec une distance plus ou moins grande de la source lumineuse : soleil, pour une mesure ambiante – LED ou lampe pour le photocoupleur. Dans le cas du photocoupleur, un signal électrique déclenche la mesure tandis que dans celui de la photorésistance, c'est un événement physique : rotation de la Terre (pour une commande d'éclairage automatique), passage d'un volet (pour une fin de course), etc.

● Mesure de lumière

Nous avons ici un montage en pont avec deux réglages, un pour le gain et l'autre pour le zéro. Lorsque la luminosité augmente, la tension de sortie diminue et l'aiguille dévie vers la droite. Une commutation de gamme peut être prévue, un filtre atténuateur neutre étant placé devant la photorésistance pour les hautes luminosités. Le matériau choisi pour la cellule sera du CdS H 35, le plus stable (fig. 18).

● Commande photoélectrique

Il s'agit là (fig. 19) du schéma de base : la sortie se fait en tout ou rien, par tension ou par relais. Le circuit RC, placé à l'entrée du montage, permet de ralentir la transmission de la tension de commande pour filtrer les variations rapides de lumière. Une réinjection de la tension de sortie, sur l'entrée non inver-

seuse de l'amplificateur opérationnel, permet de créer un hystérésis. La commande peut être due à l'éclaircissement ou à l'obscurcissement de la cellule. Autre possibilité : un montage différentiel pour détecter les contrastes.

● Lecture de repères en ambiante

La lecture d'un repère peut être interprétée diversement par un système photoélectrique lorsque la luminosité ambiante varie. Un « noir » fortement éclairé équivaut à un « blanc » en lumière atténuée. Le schéma proposé (fig. 20) compare la réflexion sur le sol où sont disposés des repères à la luminosité ambiante captée par l'intermédiaire d'une cellule équipée d'un filtre atténuateur et diffusant (filtre blanc translucide). La détection sera possible quelle que soit la luminosité ambiante.

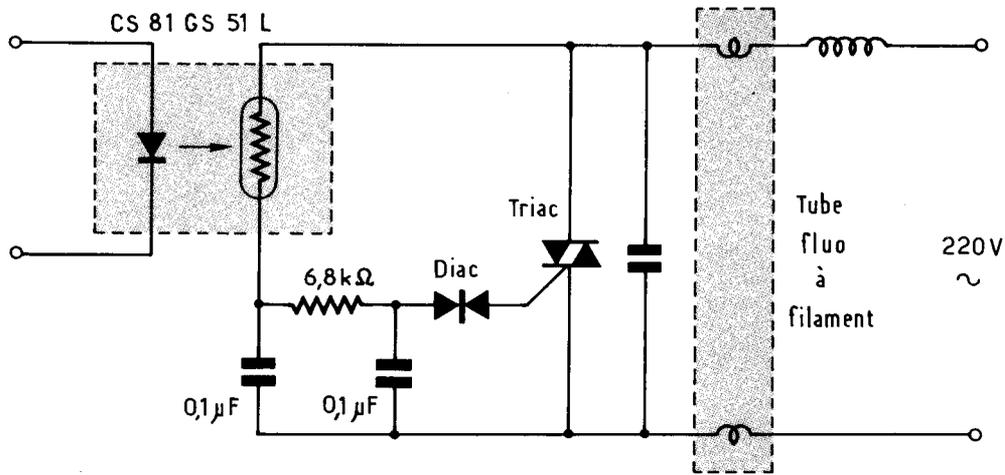


Fig. 35. - Commande de tube fluorescent.

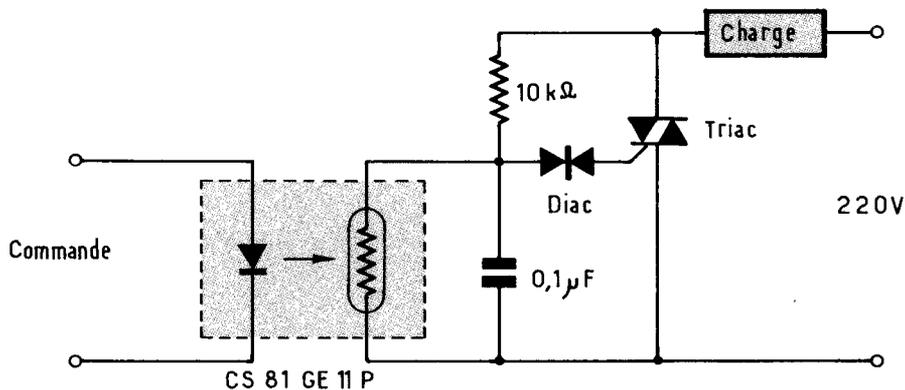


Fig. 36. - Interrupteur à triac.

● Convertisseur lumière/fréquence

Cinq composants pour ce convertisseur (fig. 21) qui délivre des impulsions à une fréquence qui dépend de l'éclairage et de la valeur de C. Les oscillations sont générées par un transistor unijonction monté suivant le schéma classique de l'oscillateur à relaxation.

● Convertisseur lumière/fréquence à « 555 »

Cette variante du montage précédent utilise un timer 555 associé à quelques composants dans la configuration de l'oscillateur astable (fig. 22).

● Détecteur de position de spot

L'amplificateur opérationnel est ici associé à une photorésistance différentielle éclairée par un spot. Un potentiomètre permet d'ajuster le zéro. La tension de sortie sera exploitée directement ou transmise à un circuit d'asservissement suiveur de spot (fig. 23).

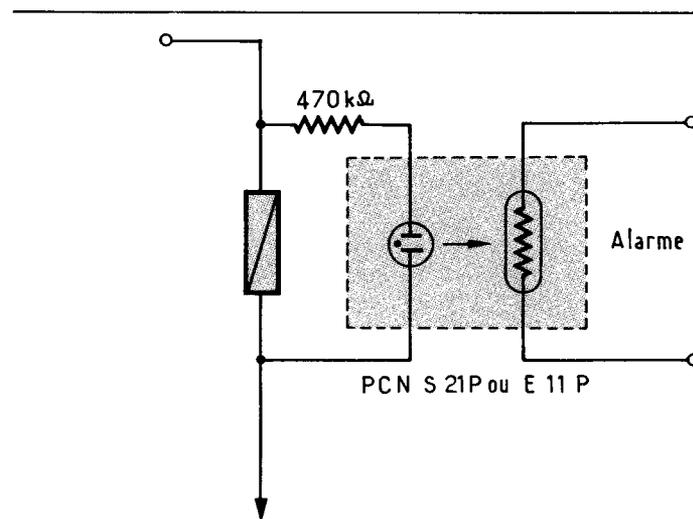


Fig. 37. - Détection de coupure de fusible.

● Circuit de trémolo et d'expression

On exploite ici (fig. 24) les caractéristiques linéaires et bidirectionnelles des photorésistances. Le photocoupleur reçoit deux tensions

superposées, une tension TBF et une tension continue qui est contrôlée par une pédale. La tension alternative est constante ou variable. L'atténuateur ainsi constitué module la tension de sortie en amplitude.

● **Circuit de commande de gain automatique**

Cette application (fig. 25) est très utilisée en audio où l'on apprécie sa facilité de mise en œuvre. La valeur de la photorésistance joue sur le gain de l'amplificateur ; le détecteur de sortie commande la LED et constitue, avec le photocoupleur, une boucle de contre-réaction. Suivant la configuration et la réponse, en temps et en amplitude, du redresseur, on obtiendra une fonction de CAG, de limiteur ou de compresseur : pour travailler en porte de bruit (« noise gate »), on ajoute le circuit en pointillé ; ainsi le réglage du gain ne s'effectuera plus en boucle fermée.

● **Atténuateur ou interrupteur à deux voies**

Cet atténuateur double a la particularité d'utiliser un photocoupleur à résistance double dont les deux éléments sont appairés par fabrication. Le montage peut travailler en atténuateur ou en interrupteur, la commutation est parfaitement silencieuse et le retour au gain unité s'effectue en douceur. Un circuit intéressant pour couper automatiquement la musique d'ambiance à l'apparition d'un message prioritaire ou de sécurité (fig. 26).

● **Commande de volume et de balance**

Cette variante de la figure précédente utilise deux photocoupleurs séparés dont on fait varier simultanément le courant de commande pour ajuster le volume et, en opposition, pour la balance. Notons la séparation totale des masses du circuit de commande et audio (fig. 27).

● **Atténuateur à commande linéaire**

Sur cet atténuateur, les deux photorésistances varient en sens inverse, formule limitant la variation d'impédance de l'atténuateur et permettant, en outre, de linéariser la commande. Ici encore, l'adoption d'un photocoupleur permet une variation de l'atténuation sans bruit et une séparation complète des masses. Le système de commande des diodes peut être remplacé par un dispositif numérique (fig. 28).

● **Commande linéaire compensée en température**

Ce circuit (fig. 29) est destiné à transmettre une information continue avec isolement et compensation des photorésistances. Ces dernières sont appairées et installées dans le même boîtier. La tension de sortie est identique à celle d'entrée sauf,

bien sûr, si les composants sont dimensionnés pour respecter un coefficient de transfert.

● **Interface TTL isolé**

Cet interface, entre un circuit TTL et un autre, qui peut être d'une autre technologie, permet d'isoler deux circuits sans point commun. Ce montage pourra être adopté en milieu industriel où l'on tolère un temps de réaction moyen mais où l'on exige une bonne protection vis-à-vis des parasites. Le choix d'un photocoupleur à réponse lente sera particulièrement apprécié (fig. 30).

● **Mesure de valeur efficace vraie**

La photorésistance permet de convertir une intensité lumineuse en résistance électrique. Si l'on utilise une ampoule pour éclairer la photorésistance, on aura une relation entre la valeur efficace vraie de la tension d'alimentation et la valeur ohmique de la résistance (fig. 31).

● **Chopper à photorésistance**

Les deux photorésistances au CdSe (réponse rapide) constituent un atténuateur. Les deux diodes, alimentées par une tension alternative, montées tête-bêche, s'autoprotègent. Ce circuit permet de traiter des tensions continues extrêmement

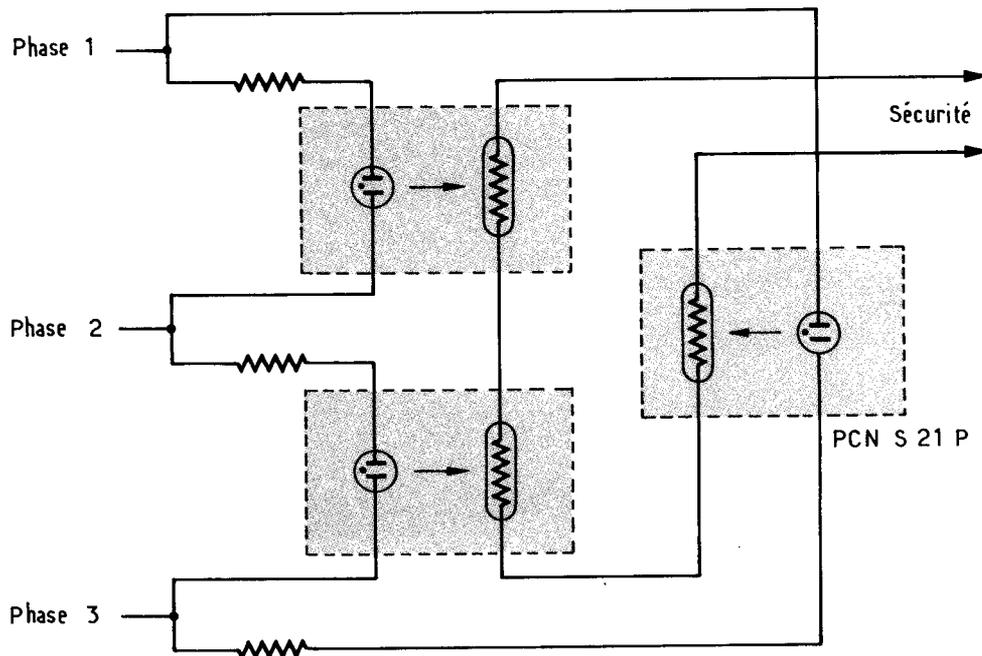


Fig. 38. - Détection de coupure de phase.

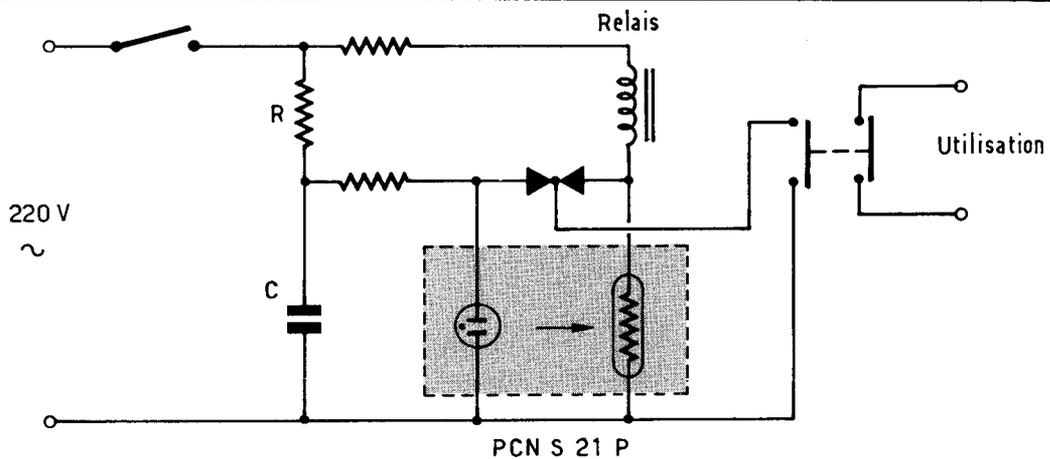


Fig. 39. - Temporisation à photocoupleur néon.

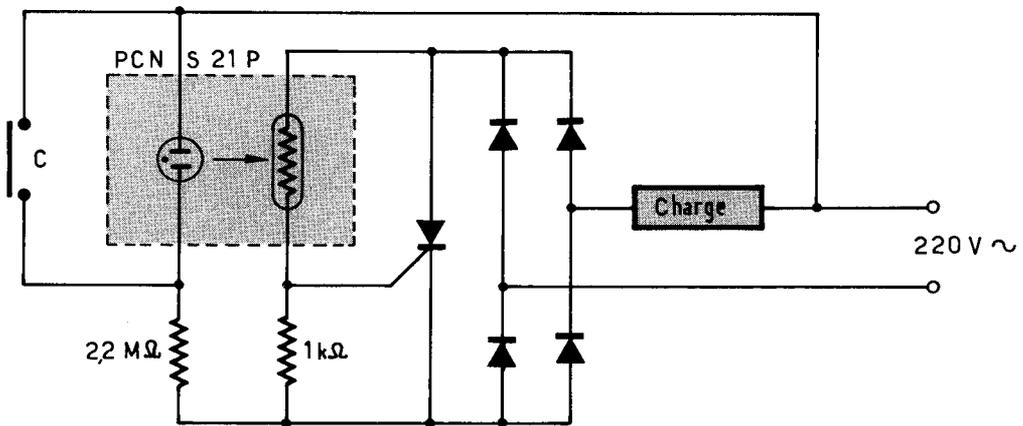


Fig. 40. - Commande par contact à résistance élevée.

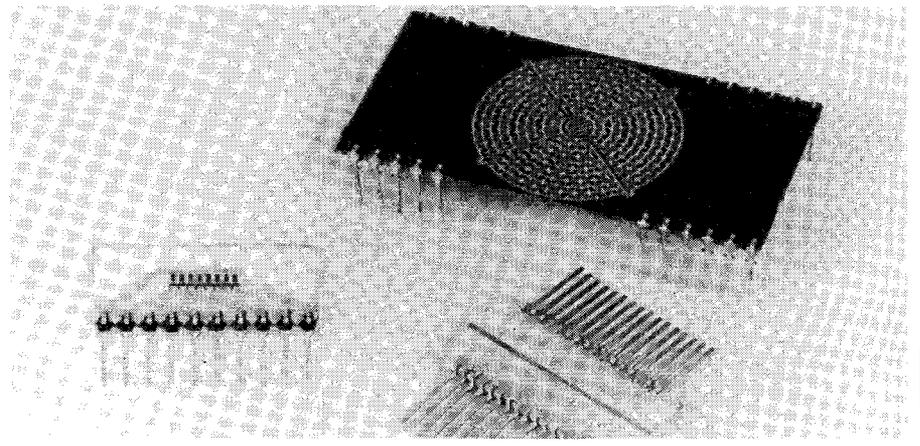
faibles. On utilisera un photocoupleur à forte tension d'isolement et faible capacité parasite, entre la photorésistance et la diode. Ce schéma peut également être réalisé à partir de photocoupleurs à néon (fig. 32).

● Relais statique à triac

Certains photocoupleurs admettent une tension élevée. Ce montage (fig. 33) permet de commander la conduction d'un triac à partir d'une tension continue, par exemple, pour détecter une sonnerie de téléphone. Le triac sera un modèle sensible : $I_{gt} < 10 \text{ mA}$.

● Relais statique à thyristor

Les thyristors sont, en général, plus sensibles que les triacs. Si le courant de commande doit être faible, la solution thyristor est préférable au triac. La technique est identique à la précédente, le thyristor doit cependant être précédé d'un pont pour disposer des deux alternances aux bornes de la charge (fig. 34).



Photorésistances multiples.

● Commande de tube fluorescent

Le schéma est celui d'un gradateur dont on fait varier l'angle de passage du courant pour moduler l'éclairage du tube fluorescent.

En alimentant la diode électroluminescente, l'espace ionisé du tube fluorescent est shunté par le triac (fig. 35).

● Interrupteur à triac

La charge est alimentée en permanence (fig. 36). Lorsque le photocoupleur est alimenté, le condensateur est shunté et la gâchette du triac ne reçoit plus de signal, la charge est alors coupée. Ce montage fonctionne en opposition de phase par rapport à celui de la figure 33.

● **Détection de coupure de fusible**

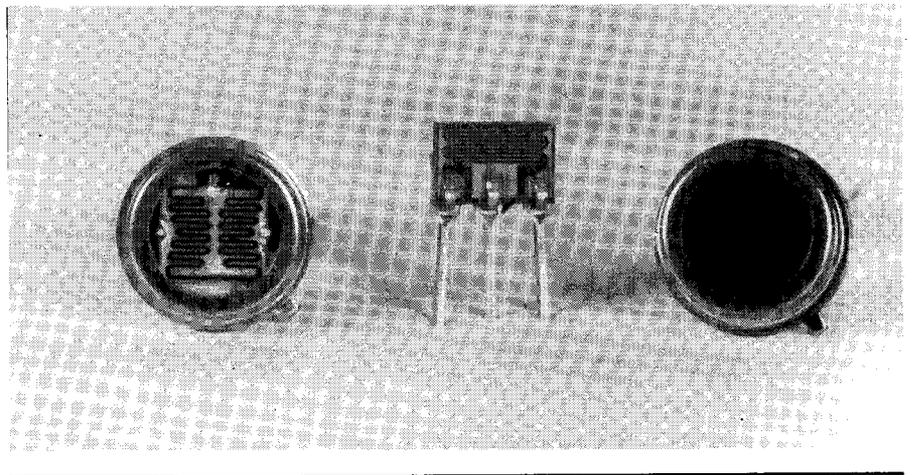
Ce montage (fig. 37) permet de détecter la coupure d'un fusible et de commander un circuit d'alarme. Le photocoupleur utilisé associe un tube néon et une photorésistance. Le tube néon est alimenté directement par le secteur au travers de la résistance de protection traditionnelle. Le circuit d'alarme est séparé galvaniquement du secteur.

● **Sécurité en triphasé**

Ce montage (fig. 38) utilise trois photocoupleurs au néon. Les trois photorésistances sont câblées en série ; si l'un des néons s'éteint, la résistance totale augmente fortement (fonction OU). Si une des phases n'est plus alimentée, la résistance augmentera et pourra commander un dispositif de sécurité.

● **Temporisateur à photocoupleur au néon**

Le condensateur *C* est chargé par une tension continue au travers de la résistance *R*. Lorsque la tension d'amorçage est atteinte, le néon s'al-



Photorésistances différentielles.

lume, la résistance série empêchant le fonctionnement en relaxateur du montage. Le relais colle et s'auto-alimente par un de ses contacts. Ce contact permet, par ailleurs, la décharge de *C* pour le cycle suivant (fig. 39).

● **Commande par contact à haute résistance**

Le principe est celui du relais statique. On utilise ici un photocoupleur

au néon permettant de travailler directement avec la tension du secteur. Le contact peut être à forte résistance, le travail sous haute tension et faible courant assurant une bonne fiabilité de manœuvre. Le thyristor sera un modèle à faible courant de commande (< 10 mA) (fig. 40).

Etude Segor Optoélectronique
(par E. Lemery)

175

Résolution : 10 μ V, 10 nA, 10 m Ω
Mode relatif, dB, calibration.
Mémoire 100 mesures.

Option :
Sortie IEEE +Batterie...



0,03%
20 000 pts
5 fonctions...
3.790 F.H.T. franco

KEITHLEY

Tel.:(1) 60.11.51.55