

isolation galvanique

utilisation d'optocoupleurs à phototransistor

Eleazar Falco (Würth Elektronik eiSos)

Les optocoupleurs transmettent des signaux électriques par voie optique à travers une barrière d'isolation transparente afin d'isoler galvaniquement deux parties de circuit l'une de l'autre. Quels sont les aspects qui jouent un rôle important dans leur utilisation et quelles sont leurs limites ?

Un optocoupleur est un composant capable de transmettre un signal électrique par couplage optique entre deux circuits isolés galvaniquement. Contrairement aux transformateurs ou aux condensateurs, qui ne peuvent transmettre que des signaux alternatifs à travers leur barrière d'isolation, les optocoupleurs transmettent aussi bien des signaux continus que des signaux alternatifs. C'est pourquoi ils sont très appréciés pour de nombreuses applications telles que les alimentations isolées et les interfaces de communication.

Pour concevoir une application opérationnelle, robuste et fiable avec des optocoupleurs, il est essentiel de comprendre, non seulement les principaux paramètres et les éléments parasites du composant, mais aussi l'influence d'autres facteurs tels que la température ou le point de fonctionnement. Dans ce contexte, les facteurs les plus importants sont le ratio de transfert de courant (CTR) et la capacité parasite de sortie de l'optocoupleur, qui limitent la plage de fréquences de fonctionnement et la puissance de commutation. Cet article couvre les bases du fonctionnement de la famille WL-OCPT [1] d'optocoupleurs à sortie à phototransistor de Würth Elektronik, y compris la spécification de ses paramètres pour un point de fonctionnement donné et les points importants à prendre en considération lors de la conception.

Structure et fonctionnement

Un optocoupleur à phototransistor se compose d'un émetteur de lumière infrarouge (LED IR, arsénure de gallium (GaAs)) et d'un détecteur de lumière (phototransistor), tous deux couplés optiquement et généralement encapsulés dans un boîtier à 4 broches. Ce composant est disponible dans une variété de tailles et de méthodes de soudage pour répondre aux différentes exigences d'espace et d'isolation des diverses applications. La série WL-OCPT est basée sur une structure coplanaire à double moulage composée d'un cadre métallique en alliage de cuivre et d'une coupole en époxy transparent assurant la liaison optique entre la LED IR et le phototran-

sistor (**figure 1**). Une telle structure associe une barrière d'isolation mécaniquement robuste à des valeurs de tension d'isolation très élevées (par exemple, 5 kV) pour une petite taille compacte.

Le principe de fonctionnement de l'optocoupleur : une conversion du courant en lumière a lieu dans l'émetteur lorsque la LED IR émet un rayonnement infrarouge (c'est-à-dire des photons) d'une intensité proportionnelle au courant qui la traverse. Ces photons traversent le milieu optique et, après réflexion sur la surface intérieure de la coupole, atteignent la zone base-collecteur sensible à la lumière du phototransistor. C'est là qu'a lieu la reconversion de l'énergie lumineuse en courant : les électrons de valence du phototransistor « absorbent » l'énergie du photon et « sautent » dans la bande de conduction, générant un courant entre le collecteur et l'émetteur - comme dans un transistor bipolaire NPN classique. Le rapport entre le courant de collecteur du phototransistor (I_C) et le courant de la LED IR (I_F) est le paramètre le plus important de l'optocoupleur : le ratio de transfert du courant continu (CTR). Le symbole électrique d'un optocoupleur à phototransistor est illustré à la **figure 2**.

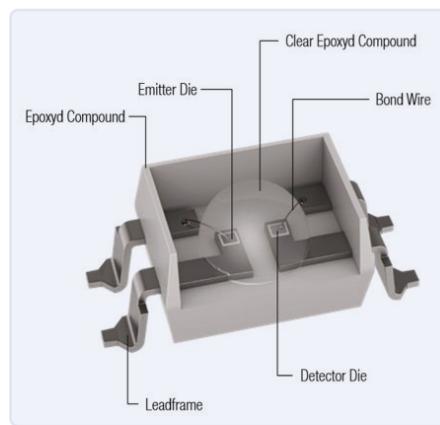


Figure 1. Structure typique d'un optocoupleur de la famille WL-OCPT.

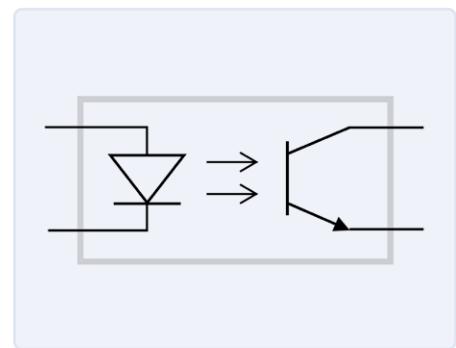


Figure 2. Symbole électrique d'un optocoupleur à phototransistor.

Tableau 1. Exemple de tri d'optocoupleurs basé sur le CTR (WL-OCPT séries 816/817).

Groupes de CTR : WL-OCPT séries 816 et 817

Conditions de test $I_F = 5 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5 \text{ V}$, $T = 25^\circ\text{C}$

Group	Min.	Max.	Unit
aucun	50	600	%
A	80	160	%
B	130	260	%
C	200	400	%
D	300	600	%

Ratio de transfert du courant continu (CTR)

Le CTR est le paramètre de gain de courant de l'optocoupleur, exprimé comme le rapport entre le courant du collecteur (I_C) et le courant de la LED (I_F) dans l'**équation 1**:

$$CTR = \frac{I_C}{I_F}$$

Il convient de noter que l'équation 1 est valable lorsque le phototransistor est polarisé dans sa zone de fonctionnement active. Par analogie, le CTR correspond au paramètre statique h_{FE} ou β (béta) d'un transistor bipolaire, tandis que le courant de la LED correspondrait à son courant de base. En termes fonctionnels, l'optocoupleur peut donc être considéré comme un transistor bipolaire NPN à « base isolée ». Il convient également de noter que le CTR est généralement exprimé en pourcentage (%) (**équation 2**) :

$$CTR(\%) = \frac{I_C}{I_F} \cdot 100$$

Les tolérances importantes et les variations de la valeur CTR causées par divers facteurs constituent l'un des principaux défis de la conception d'un optocoupleur.

Tolérance de production CTR et tri des composants

Les limitations auxquelles se heurtent les procédés de fabrication des semi-conducteurs font qu'il est difficile de produire des composants de caractéristiques et de valeurs de paramètres identiques. Les diodes électroluminescentes IR sont produites sur des galettes

de substrat GaAs, où il est difficile d'obtenir un dopage des semi-conducteurs et une épaisseur de couche totalement uniformes. Il en résulte des taux de conversion courant-lumière différents pour chaque LED sur la galette (c'est-à-dire que l'énergie lumineuse émise par chaque LED pour un courant donné est différente). Il en va de même avec les phototransistors, qui manifestent une différence de sensibilité à la lumière (c'est-à-dire que leurs courants de collecteur sont différents à énergie lumineuse reçue identique). Ces deux facteurs affectent directement la dispersion du CTR en production, mais ils ne sont pas les seuls. Par exemple, les variations de transparence et de réflectance de la coupole en époxy qui relie optiquement la LED et le phototransistor contribuent également à la dispersion du CTR.

Comme une trop grande dispersion du CTR poserait problème à beaucoup d'applications, le CTR de chaque optocoupleur est mesuré en production à un point précis de fonctionnement en courant continu, la valeur mesurée servant à ranger le composant dans un groupe de CTR. Chaque groupe garantit une valeur CTR minimale et maximale dans des conditions de test spécifiées et est indiqué par une lettre supplémentaire, comme le montre le **tableau 1** pour la série WL-OCPT 816/817. Bien que cela réduise la plage de tolérance initiale à prendre en compte dans la conception, le CTR dépend également des conditions de fonctionnement telles que la tension de polarisation en courant continu et la température, conditions qui doivent également être prises en compte.

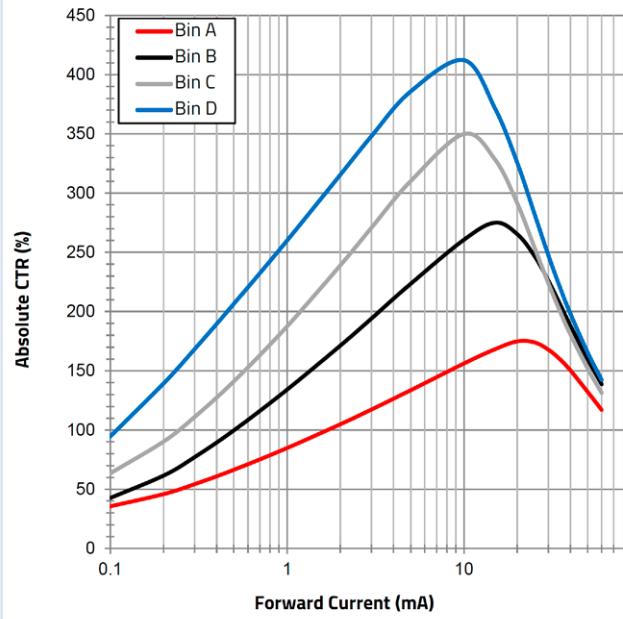


Figure 3. CTR absolu en fonction de I_F (pour $V_{CE} = 5 \text{ V}$, $T = 25^\circ\text{C}$; WL-OCPT 817).

Variation du CTR due au courant de la LED

La plage de CTR à l'intérieur d'un groupe n'est valable que pour un courant de LED (I_F) et une tension collecteur-émetteur (V_{CE}) donnés. Pour la série WL OCPT, ces valeurs sont respectivement de 5 mA et 5 V. Pour un courant de LED différent, le domaine de CTR résultant sera différent, comme le montre la **figure 3** sur laquelle le CTR absolu est représenté en fonction du courant de LED d'un échantillon de chaque groupe (pour $V_{CE} = 5 \text{ V}$). On peut voir que le CTR augmente avec le courant de la LED jusqu'à un certain point, au-delà duquel le comportement s'inverse, c'est-à-dire qu'une nouvelle augmentation du courant de la LED entraîne une diminution du CTR. Ceci est dû à l'efficacité non linéaire de la conversion courant-lumière de la LED combinée à la variation du gain du phototransistor. Pour $I_F = 5 \text{ mA}$, le CTR de chaque composant se situe dans la plage du groupe correspondant, comme prévu. Lorsque le phototransistor entre dans la zone de saturation, la valeur du CTR et la courbe caractéristique changent également, comme le montre la **figure 4** pour $V_{CE} = 0,4 \text{ V}$: le CTR est plus faible et la courbe caractéristique culmine à un courant de LED plus faible. Il est à noter que les courbes caractéristiques des figures 3 et 4 ne correspondent qu'à un échantillon unique de chaque groupe. La fiche technique de la série WL-OCPT présente aussi les courbes caractéristiques du CTR normalisées à la valeur mesurée pour $I_F = 5 \text{ mA}$. Pour un courant de LED inférieur à 10 mA et avec un phototransistor fonctionnant dans la zone

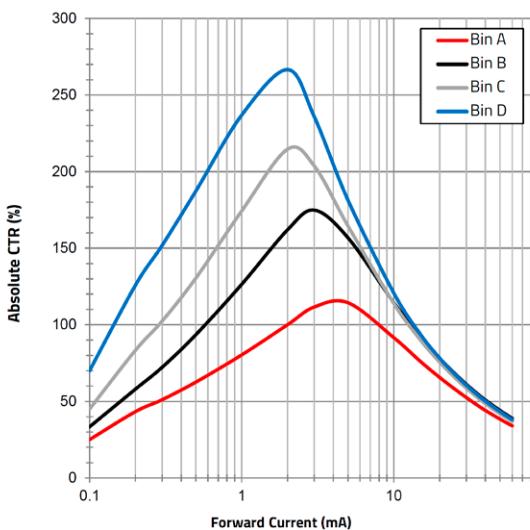


Figure 4. CTR absolu en fonction de I_F (pour $V_{CE} = 0.4$ V, $T = 25$ °C).

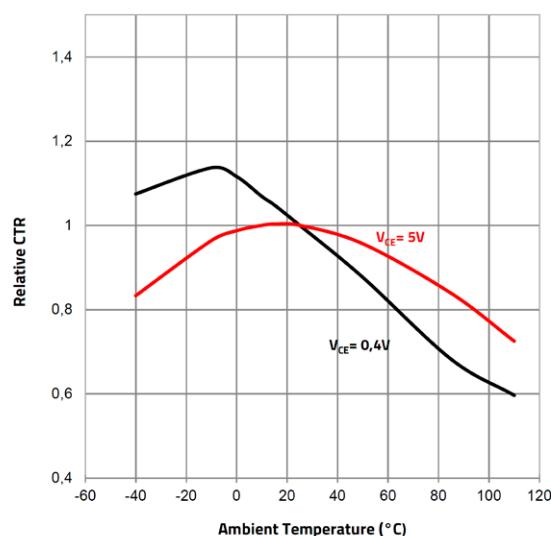


Figure 5. CTR en fonction de la température (pour $I_F = 5$ mA).

active ($V_{CE} = 5$ V), toutes les caractéristiques normalisées sont très proches, quel que soit le groupe [2]. Étant donné que la caractéristique CTR relative d'un groupe dans cette gamme ne dépend pratiquement pas de la valeur absolue du CTR, pour tout composant du groupe, cette valeur peut être estimée à l'aide de l'**équation 3** :

$$CTR_{IF} \approx CTR_{rel(IF)} \cdot CTR_{5mA}$$

Au-delà de 10 mA, les courbes caractéristiques relatives présentent un écart plus important par rapport à la valeur absolue du CTR, de sorte que l'équation 3 est moins précise dans cette plage. Lorsque le phototransistor fonctionne à saturation, l'empilement des courbes caractéristiques est dans une certaine mesure inversé, et l'équation 3 n'est précise qu'au-dessus de 5 mA environ [2].

Variation du CTR en fonction de la température

La température de fonctionnement du composant affecte à la fois l'efficacité de l'émission de la LED et le gain lumière-courant du phototransistor, et à cet égard affecte le CTR de l'optocoupleur de manière non linéaire – ainsi que le montrent les courbes caractéristiques de la **figure 5**. Ces courbes sont valables pour tous les groupes et pour un courant de LED d'environ 5 mA. C'est la température de l'environnement opérationnel qui est prise en compte ici, à laquelle la température de jonction du composant est directement proportionnelle.

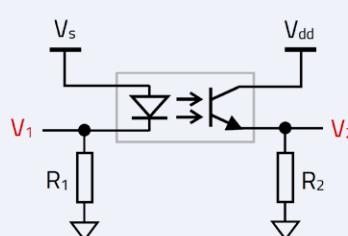


Figure 6. Circuit recommandé pour la mesure du CTR.

Mesure du CTR

La mesure du CTR pour les conditions de polarisation en courant continu spécifiques à une application est simple si les courants sont mesurés sur la base de l'**Équation 1**. Ceci est également vrai pour la configuration recommandée représentée sur la **figure 6**, où seuls des capteurs de tension sont utilisés. Une configuration de collecteur typique est utilisée ici. La résistance de sortie R_2 ainsi que la tension de polarisation V_{dd} sont prises égales aux valeurs du circuit final de l'application utilisant l'optocoupleur, et la résistance de LED R_1 est égale à R_2 . Ensuite, on augmente la tension d'entrée continue (V_s) jusqu'à ce que la tension collecteur-émetteur (V_{CE}) atteigne la valeur cible. Le CTR pour ce point de fonctionnement en courant continu est donné par l'**équation 4** :

$$CTR = \frac{V_2}{V_1}$$

Autres paramètres

La note d'application ANO007 [2] offre des informations beaucoup plus détaillées sur les optocoupleurs, mais qui sortent du cadre de cet article. On y trouve en particulier :

- un exemple d'estimation de la plage de CTR ainsi que du CTR en courant alternatif et petits signaux.
- l'estimation de la réponse en fréquence et de la largeur de bande avec des valeurs mesurées.
- le temps de commutation et ses fluctuations
- la tension de polarisation en courant continu de l'optocoupleur
- une modélisation SPICE

230546-04



À propos de l'auteur

Eleazar Falco est titulaire d'un diplôme d'ingénieur électricien de l'Université de Elche en Espagne. En 2014, il a rejoint Dyson, en Grande Bretagne, où il a travaillé sur le développement de l'électronique d'appareils électro-ménagers, en particulier l'alimentation et la commande de moteurs. Depuis 2018, il est ingénieur d'application chez Würth Elektronik, en Allemagne, où il s'occupe d'alimentations à découpage.

LIENS

- [1] Optocoupleur à phototransistor WL-OCPT de Würth Elektronik : <https://tinyurl.com/weoptocouplers>
- [2] Falco, Eleazar : comprendre les optocoupleurs à phototransistors. Note d'application ANO007 de Würth Elektronik : <http://www.we-online.com/ANO007>