

Galvanische isolatie

fototransistor-optocouplers succesvol gebruiken

Eleazar Falco (Würth Elektronik eiSos)

Optocouplers geven elektrische signalen optisch door via een isolatiebarrière zodat twee delen van een schakeling galvanisch van elkaar geïsoleerd kunnen worden. Welke aspecten spelen een belangrijke rol bij het gebruik ervan en wat zijn hun beperkingen?

Een optocoupler is een component die een elektrisch signaal kan overbrengen door optische koppeling van twee galvanisch van elkaar geïsoleerde (deel)schakelingen. In tegenstelling tot transformatoren of condensatoren, die alleen AC-signalen over de isolatiebarrière kunnen sturen, sturen optocouplers zowel DC- als AC-signalen door. Dit maakt ze erg populair voor talloze toepassingen zoals geïsoleerde voedingen en communicatie-interfaces.

Om een werkende, robuuste en betrouwbare toepassing met optocouplers te ontwerpen, is het essentieel om niet alleen de belangrijkste parameters en parasitaire elementen van de component te begrijpen, maar ook de variaties en afhankelijkheid van andere factoren zoals temperatuur of werkpunt. In deze context zijn de belangrijkste factoren de **current transfer ratio** (CTR) en de parasitaire uitgangscapaciteit van de optocoupler, die het werkfrequentiebereik en het schakelvermogen beperken. Dit artikel behandelt de basisprincipes van de werking van de WL-OCPT-familie van optocouplers [1] met fototransistor-uitgang van Würth Elektronik, inclusief de karakterisering van de parameters voor een gegeven bedrijfsconditie en belangrijke ontwerpoverwegingen.

Opbouw en werking

Een optocoupler met fototransistor bestaat uit een infrarood-lichtzender (IR-LED, galliumarsenide (GaAs)) en een lichtdetector (fototransistor), beide optisch gekoppeld en

meestal ingekapseld in een 4-pins behuizing. Deze component wordt geleverd in verschillende bouwgroottes en soldeervarianten om te voldoen aan de verschillende footprint- en isolatievereisten van de beoogde toepassingen. De WL-OCPT-serie is gebaseerd op een coplanaire dual-cast structuur met een metalen frame van een koperlegering en een heldere epoxy dome die als optisch medium tussen de IR-LED en de fototransistor dienst doet (**figuur 1**). Deze opbouw zorgt voor een mechanisch robuuste isolatiebarrière bij zeer hoge spanningsniveaus (bijvoorbeeld 5 kV) met behoud van een compact formaat.

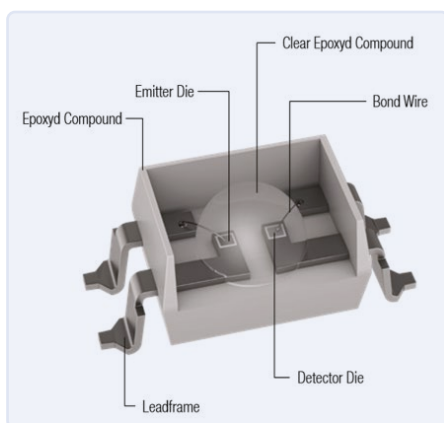
Het werkingsprincipe van de optocoupler: in de zender wordt stroom in omgezet omdat de IR-LED infrarode straling (dat wil zeggen fotonen) uitzendt met een intensiteit die

evenredig is met de stroom die er doorheen loopt. Deze fotonen passeren het optische medium en bereiken na reflectie tegen het binnenoppervlak van de dome het lichtgevoelige basis/collector-junctie van de fototransistor. Hier wordt de lichtenergie in stroom omgezet: de valentie-elektronen van de fototransistor 'absorberen' de fotonen-energie en 'springen' naar de geleidingsband, waardoor een stroom wordt opgewekt tussen de collector en de emitter – vergelijkbaar met een conventionele bipolaire NPN-transistor. De verhouding tussen de collectorstroom van de fototransistor (I_C) en de stroom van de IR-LED (I_F) is de belangrijkste parameter van de optocoupler: de DC-overdrachtsverhouding (current transfer ratio, CTR). Het elektrische symbool van een optocoupler met fototransistor is getekend in **figuur 2**.

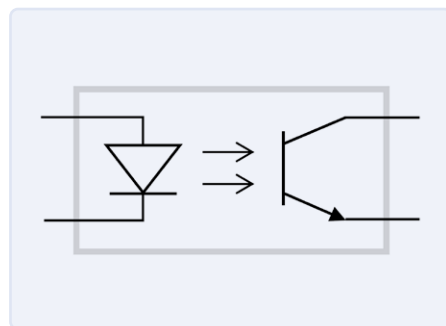
Direct Current Transfer Ratio (CTR)

CTR is de stroomversterkingsparameter van de optocoupler, uitgedrukt als de verhouding van collectorstroom (I_C) tot LED-stroom (I_F) in **vergelijking 1**:

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



Figuur 1. Typische opbouw van een optocoupler uit de WL-OCPT-familie.



Figuur 2. Het elektrische schemasymbool van een fototransistor-optocoupler.

Tabel 1. CTR-binning: WL-OCPT-serie 816 en 817

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

Bin	Min.	Max.	Eenheid
geen	50	600	%
A	80	160	%
B	130	260	%
C	200	400	%
D	300	600	%

Merk op dat vergelijking 1 geldig is wanneer de fototransistor is ingesteld in zijn actieve werkgebied. Naar analogie komt de CTR overeen met de statische h_{FE} of β -parameter (bèta) van een bipolaire transistor, terwijl de LED-stroom zou overeenkomen met diens basisstroom. In functionele termen kan de optocoupler daarom worden gezien als een bipolaire NPN-transistor met geïsoleerde basis. Ook moet worden opgemerkt dat de CTR meestal wordt uitgedrukt als een percentage (%) (**vergelijking 2**):

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

Een van de grootste uitdagingen bij het ontwerpen van optocouplers zijn de door verschillende factoren veroorzaakte grote toleranties en variaties in de CTR-waarde.

CTR-fabricagetolerantie en 'binning'

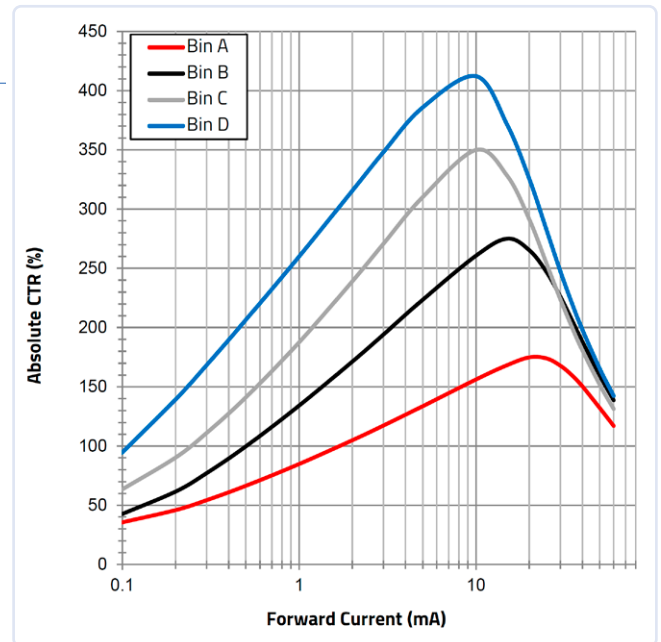
De beperkingen van halfgeleider-productieprocessen maken het moeilijk om componenten te produceren met identieke kenmerken en parameterwaarden. IR-LED's worden gemaakt op GaAs-substraatwafers, waardoor het lastig is een volledig uniforme halfgeleider-dotering en laagdikte te realiseren. Dit resulteert in verschillen in het rendement van de stroom-naar-licht omzetting voor elke LED op de wafer (dat wil zeggen dat de lichtenergie die door elke LED wordt uitgestraald bij een bepaald stroomniveau verschillend is). Gelijksortige beperkingen gelden voor de fototransistor, wat resulteert in verschillende

lichtgevoeligheid (dat wil zeggen dat ze bij een bepaalde lichtenergie verschillende collectorstromen produceren). Deze twee factoren hebben een directe invloed op de CTR-toelantie bij de fabricage, maar er is meer. Variaties in de transmissie- en reflectieparameters van de heldere epoxy-dome die de LED en fototransistor optisch koppelt, dragen bijvoorbeeld ook bij aan de toename van de CTR-fabricagetolerantie van de optocoupler.

Omdat een te grote tolerantie onpraktisch is voor de meeste ontwerpen, wordt de CTR van elke optocoupler tijdens de productie gemeten bij een gespecificeerd DC-werkpunt en wordt de component geclassificeerd op basis van de gemeten waarde als onderdeel van een 'binning'-proces. Elke 'bin' garandeert een minimale en maximale CTR-waarde onder de gespecificeerde testomstandigheden en wordt aangeduid met een extra letter, zoals in **tabel 1** voor de WL-OCPT 816/817-serie. Hoewel dit het initiële tolerantiebereik verkleint waarmee in het ontwerp rekening moet worden gehouden, is de CTR ook afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden zoals DC-instelspanning en de temperatuur, en met deze factoren moet ook rekening worden gehouden.

Door de LED-stroom veroorzaakte variatie van de CTR

Het CTR-bereik binnen een bin is alleen geldig voor een bepaalde LED-stroom (I_F) en collector/emitter-spanning (V_{CE}). Voor de WL-OCPT-serie zijn deze respectievelijk 5 mA en 5 V. Voor een andere LED-stroom zou



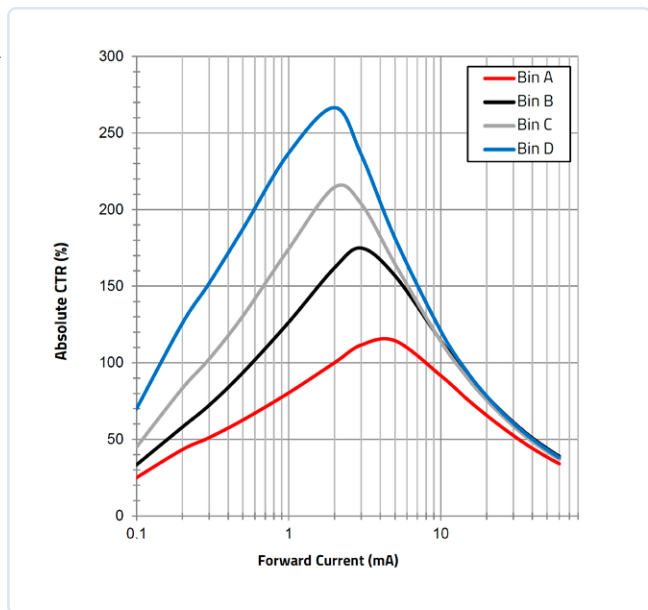
Figuur 3. Absolute CTR als functie van I_F (bij $V_{CE} = 5 \text{ V}$, $T = 25^\circ \text{C}$; WL-OCPT 817).

het resulterende CTR-bereik anders zijn, zoals te zien is in **figuur 3**: hier is de absolute CTR uitgezet als functie van de LED-stroom van een exemplaar uit elke bin (voor $V_{CE} = 5 \text{ V}$). Hieruit blijkt hoe de CTR tot een bepaald punt toeneemt met de LED-stroom, waarboven het gedrag omkeert, dat wil zeggen dat een verdere toename van de LED-stroom een afname van de CTR veroorzaakt. Dit komt door het niet-lineaire rendement van de stroom/licht-omzetting van de LED in combinatie met de variatie in fototransistor-versterking. Voor $I_F = 5 \text{ mA}$ ligt de CTR van elke optocoupler binnen het bereik van de betreffende bin.

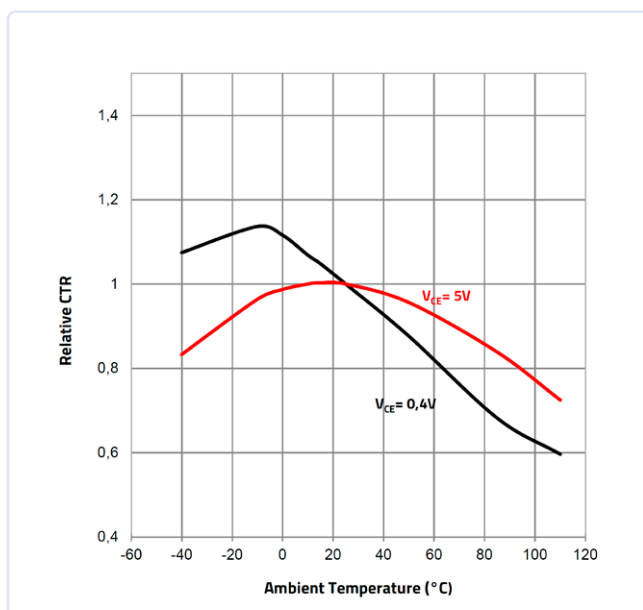
Wanneer de fototransistor in het verzadigingsgebied komt, veranderen ook de CTR-waarde en de karakteristiek, zoals getoond in **figuur 4** voor $V_{CE} = 0.4 \text{ V}$: de CTR is lager en de karakteristiek piekt bij een lagere LED-stroom.

Merk op dat de karakteristieken in **figuur 3** en **4** overeenkomen met slechts één monster uit elke bin. Karakteristieken voor de relatieve CTR zijn ook te vinden in de datasheet van de WL-OCPT-serie, waar de CTR genormaliseerd is naar de waarde gemeten voor $I_F = 5 \text{ mA}$. Voor een LED-stroom van minder dan 10 mA en met de fototransistor ingesteld in het actieve gebied ($V_{CE} = 5 \text{ V}$), liggen alle genormaliseerde karakteristieken zeer dicht bij elkaar, ongeacht de bin [2]. Aangezien de relatieve CTR-karakteristiek van een bin in dit bereik praktisch niet verandert met de absolute CTR-waarde, kan de absolute CTR van elke component binnen de bin geschat worden met **vergelijking 3**:

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



Figuur 4. Absolute CTR als functie van I_F (bij $V_{CE} = 0,4$ V, $T = 25$ °C).



Figuur 5. CTR als functie van de temperatuur (bij $I_F = 5$ mA).

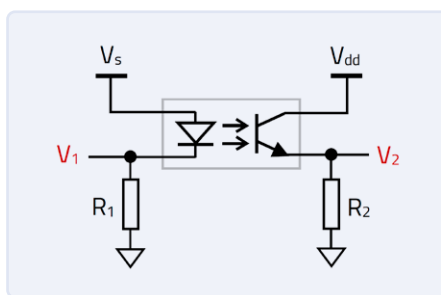
Opgemerkt moet worden dat boven 10 mA de relatieve karakteristieken een grotere afwijking vertonen van de absolute CTR-waarde, dus vergelijking 3 is in dat bereik minder nauwkeurig. Wanneer de fototransistor in verzadiging is, zijn de karakteristieken van de curve tot op zekere hoogte omgekeerd en is vergelijking 3 alleen nauwkeurig boven ongeveer 5 mA [2].

Temperatuurafhankelijke variatie van de CTR

De bedrijfstemperatuur van de optocoupler beïnvloedt zowel de efficiëntie van de LED-emissie als de lichtstroomversterking van de fototransistor, en beïnvloedt in dit opzicht de CTR van de optocoupler op een niet-lineaire manier – de karakteristieken voor de relatieve CTR in **figuur 5** laten dit zien. Beide karakteristieken zijn geldig voor alle bins en voor een LED-stroom lager dan ongeveer 5 mA. Merk op dat hier rekening wordt gehouden met de temperatuur van de omgeving waar de optocoupler wordt gebruikt en waarmee de junctietemperatuur van de optocoupler recht evenredig is.

Meting van de CTR

Het meten van de CTR voor de specifieke DC-instellingen van de toepassing is eenvoudig als de stromen gemeten worden op



Figuur 6. Aanbevolen opstelling voor CTR-meting.

basis van vergelijking 1. Dit geldt ook voor de aanbevolen opstelling in **figuur 6**, waar alleen spanningsmetingen worden uitgevoerd. Hier wordt een typische collectorconfiguratie gebruikt. Zowel de uitgangsweerstand R_2 als de instelspanning V_{dd} worden ingesteld zoals in de uiteindelijke schakeling waarin de optocoupler wordt gebruikt, en voor de LED-weerstand R_1 wordt dezelfde waarde gekozen als voor R_2 . Vervolgens wordt de DC-ingangsspanning (V_s) verhoogd totdat de collector/emitter-spanning (V_{CE}) de doelwaarde bereikt. De CTR voor deze DC-instelling wordt gegeven door **vergelijking 4**:

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

Andere parameters in detail

Application note ANO007 [2] biedt nog veel meer gedetailleerde informatie over optocouplers, die buiten het bestek van dit artikel zou vallen. Dat betreft in het bijzonder:

- > een voorbeeld voor het schatten van het CTR-bereik en de AC/kleinsignaal-CTR;
- > een beschouwing van de frequentierespons en bandbreedte, met meetwaarden;
- > schakeltijden en de variaties daarvan;
- > de DC-instelspanning van de optocoupler;
- > SPICE-modellering

230546-03



Over de auteur

Eleazar Falco heeft een diploma in Electrical Engineering van de Universiteit van Elche in Spanje. In 2014 trad hij in dienst bij Dyson in het Verenigd Koninkrijk, waar hij werkte aan de ontwikkeling van elektronica-hardware voor huishoudelijke apparaten, met de nadruk op offline voeding en motorbesturing. Sinds 2018 is hij Applications Engineer voor schakelende voedingen bij Würth Elektronik in Duitsland.

WEBLINKS

- [1] WL-OCPT fototransistor-optocoupler van Würth Elektronik: <https://tinyurl.com/weoptocouplers>
- [2] Falco, Eleazar: Understanding Phototransistor Optocouplers. Application Note ANO007 van Würth Elektronik: <http://www.we-online.com/ANO007>