

TD7

---

## TD 7 / DÉTECTER DES PHOTONS

---

### Objectifs pédagogiques

A la fin de cette thématique, les étudiant·e·s seront capables de :

- décrire le fonctionnement d'une photodiode
- lister et comparer les performances des différents systèmes de photodétection (incluant un système d'acquisition ou de visualisation)
- modéliser la chaîne d'acquisition de photons à l'aide d'une photodiode

### Activités pédagogiques

- Lectures (hors temps présentiel - en ligne)
  - ▷ Fiche résumé : Diodes / LED / Photodiodes
  - ▷ Fiche résumé : Photodétection
- Séance de **TD7**
- Séances de **TP1** et **TP2** (module TP CéTI)

### Ressources Complémentaires

- Cours sur les diodes - Henri Benisty (2012)
- Exercices supplémentaires proposés sur eCampus (avec correction)

TD7

## TD 7 / DÉTECTER DES PHOTONS

### Exercice 1 - Photodiode et système de détection

#### Notions abordées

- ▷ paramètres importants d'une photodiode

On se propose d'étudier la documentation technique de la photodiode SFH donnée en annexe.

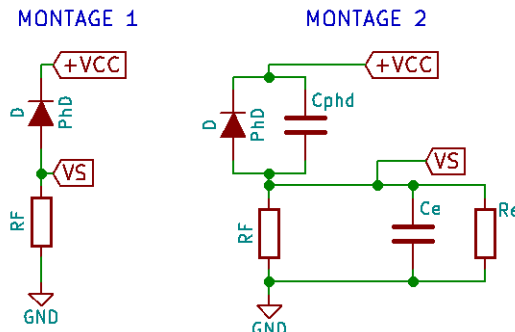
Précisez quels sont les paramètres importants à prendre en considération pour le choix et l'utilisation d'une photodiode.

### Exercice 2 - Photodiode et système de détection

#### Notions abordées

- ▷ modèle de la photodiode
- ▷ système de photodétection

On se propose d'étudier successivement ces deux montages :



1. Calculer la tension  $V_S$  en fonction du courant résultant de la photodiode, qu'on notera  $I_{phd}$  pour le montage 1.
2. calculer la tension  $V_S$  en fonction du flux lumineux reçu, noté  $\Phi_e$ , si on note  $k$  la sensibilité (en A/W) de la photodiode pour le montage 1.
3. A quoi peut correspondre l'impédance composée de  $R_e$  et  $C_e$  dans le montage 2 ?
4. A quoi correspond la capacité  $C_{phd}$  dans le montage 2 ?

### Exercice 3 - Modèle « petits signaux » du système de photodétection

#### Notions abordées

- ▷ étude en régime harmonique
- ▷ modélisation et limitation d'un système de photodétection « simple » (sans ALI)

On supposera dans la suite de ce problème que le système est linéaire et que le flux lumineux reçu est une combinaison d'un flux constant et d'une somme de flux sinusoïdaux, pouvant s'écrire :

$$\phi_{lum}(t) = \Phi_{ambient} + \sum_{i=1}^N \phi_i \cdot \sin(\omega_i \cdot t)$$

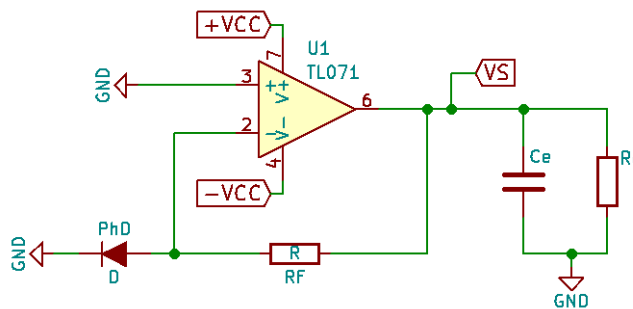
1. Montrer que par application du théorème de superposition, on peut décomposer l'étude de ce montage en 2 études distinctes, dont on donnera les schémas équivalents : (a) une étude en continu et (b) une étude en petits signaux.
2. Calculer  $V_{Scont}$  correspondant à l'étude en continu du système, en fonction de  $\Phi_{ambient}$  et des différents éléments du montage.
3. Calculer  $V_S(f_i)$  correspondant à l'étude en petits signaux pour une fréquence particulière  $f_i$ , en fonction de  $\phi_i$  et des éléments du montage.
4. Quel type de comportement obtient-on ? De quoi dépend-il ?

#### Exercice 4 - Montage transimpédance

##### Notions abordées

- ▷ fonction de transfert d'un montage transimpédance
- ▷ avantages et limitations d'un montage transimpédance

On considère le montage récepteur à photodiode suivant. L'amplificateur linéaire intégré (ALI) est alimenté en  $\pm 15\text{ V}$ . On note  $\Phi_{lum}(t)$  le flux lumineux reçu par la photodiode et  $k$  sa sensibilité.



1. Donner le modèle petits signaux du montage.
2. Exprimer la tension de sortie  $V_S(f_i)$  en fonction de  $\phi_i$  et des éléments du montage.

# Silizium-PIN-Fotodiode mit sehr kurzer Schaltzeit

## Silicon PIN Photodiode with Very Short Switching Time

### Lead (Pb) Free Product - RoHS Compliant

#### SFH 229 SFH 229 FA



SFH 229



SFH 229 FA

#### Wesentliche Merkmale

- Speziell geeignet für Anwendungen im Bereich von 380 nm bis 1100 nm (SFH 229) und bei 880 nm (SFH 229 FA)
- Kurze Schaltzeit (typ. 10 ns)
- 3 mm-Plastikbauform im LED-Gehäuse
- Auch gegurtet lieferbar

#### Anwendungen

- Lichtschranken für Gleich- und Wechselbetrieb
- Industrieelektronik
- „Messen/Steuern/Regeln“

#### Features

- Especially suitable for applications from 380 nm to 1100 nm (SFH 229) and of 880 nm (SFH 229 FA)
- Short switching time (typ. 10 ns)
- 3 mm LED plastic package
- Also available on tape and reel

#### Applications

- Photointerrupters
- Industrial electronics
- For control and drive circuits

Typ Type	Bestellnummer Ordering Code
SFH 229	Q62702P0215
SFH 229 FA	Q62702P0216

**Grenzwerte**  
**Maximum Ratings**

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	- 40 ... + 100	°C
Sperrspannung Reverse voltage	$V_R$	20	V
Verlustleistung Total power dissipation	$P_{tot}$	150	mW

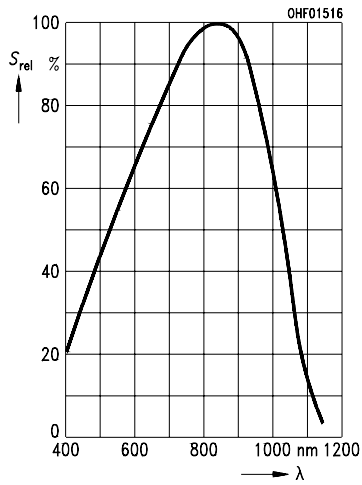
**Kennwerte ( $T_A = 25\text{ °C}$ )**  
**Characteristics**

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value		Einheit Unit
		SFH 229	SFH 229 FA	
Fotostrom Photocurrent $V_R = 5\text{ V}$ , Normlicht/standard light A, $T = 2856\text{ K}$ , $E_V = 1000\text{ lx}$ $V_R = 5\text{ V}$ , $\lambda = 950\text{ nm}$ , $E_e = 1\text{ mW/cm}^2$	$I_P$	28 ( $\geq 18$ )	–	A
	$I_P$	–	20 ( $\geq 10.8$ )	A
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	$\lambda_{S\max}$	860	900	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit $S = 10\%$ von $S_{\max}$ Spectral range of sensitivity $S = 10\%$ of $S_{\max}$	$\lambda$	380 ... 1100	730 ... 1100	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche Radiant sensitive area	A	0.3	0.3	mm <sup>2</sup>
Abmessung der bestrahlungsempfindlichen Fläche Dimensions of radiant sensitive area	$L$ $B$ $L$ $W$	0.56 0.56	0.56 0.56	mm mm
Halbwinkel Half angle	$\varphi$	$\pm 17$	$\pm 17$	Grad deg.
Dunkelstrom, $V_R = 10\text{ V}$ Dark current	$I_R$	50 ( $\leq 5000$ )	50 ( $\leq 5000$ )	pA
Spektrale Fotoempfindlichkeit, $\lambda = 850\text{ nm}$ Spectral sensitivity	$S_\lambda$	0.62	0.60	A/W
Quantenausbeute, $\lambda = 850\text{ nm}$ Quantum yield	$\eta$	0.90	0.88	<u>Electrons</u> Photon

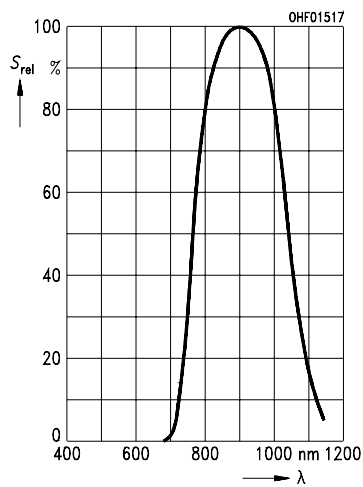
**Kennwerte** ( $T_A = 25\text{ °C}$ )  
**Characteristics** (cont'd)

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value		Einheit Unit
		SFH 229	SFH 229 FA	
Leerlaufspannung Open-circuit voltage $E_v = 1000\text{ lx}$ , Normlicht/standard light A, $T = 2856\text{ K}$ $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2$ , $\lambda = 950\text{ nm}$	$V_O$ $V_O$	450 ( $\geq 400$ ) –	– 420 ( $\geq 370$ )	mV mV
Kurzschlußstrom Short-circuit current $E_v = 1000\text{ lx}$ , Normlicht/standard light A, $T = 2856\text{ K}$ $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2$ , $\lambda = 950\text{ nm}$	$I_{SC}$ $I_{SC}$	27 –	– 9	A A
Anstiegs- und Abfallzeit des Fotostromes Rise and fall time of the photocurrent $R_L = 50\ \Omega$ ; $V_R = 10\text{ V}$ ; $\lambda = 850\text{ nm}$ ; $I_p = 800\ \text{A}$	$t_r, t_f$	10	10	ns
Durchlaßspannung, $I_F = 100\text{ mA}$ , $E = 0$ Forward voltage	$V_F$	1.3	1.3	V
Kapazität, $V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ , $E = 0$ Capacitance	$C_0$	13	13	pF
Temperaturkoeffizient von $V_O$ Temperature coefficient of $V_O$	$TC_V$	– 2.6	– 2.6	mV/K
Temperaturkoeffizient von $I_{SC}$ Temperature coefficient of $I_{SC}$ Normlicht/standard light A $\lambda = 950\text{ nm}$	$TC_I$	0.18 –	– 0.2	%/K
Rauschäquivalente Strahlungsleistung Noise equivalent power $V_R = 10\text{ V}$ , $\lambda = 850\text{ nm}$	$NEP$	$6.5 \cdot 10^{-15}$	$6.5 \cdot 10^{-15}$	$\frac{W}{\sqrt{Hz}}$
Nachweisgrenze, $V_R = 10\text{ V}$ , $\lambda = 850\text{ nm}$ Detection limit	$D^*$	$8.4 \cdot 10^{12}$	$8.4 \cdot 10^{12}$	$\frac{cm \cdot \sqrt{Hz}}{W}$

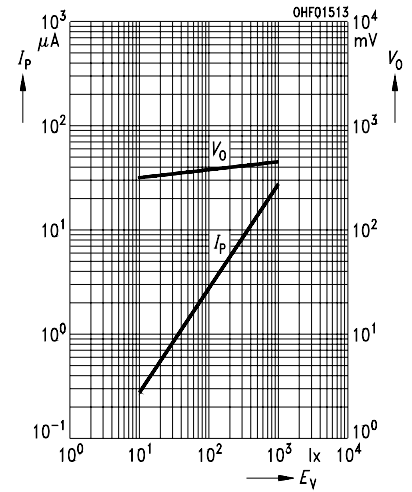
**Relative Spectral Sensitivity**  
 $S_{rel} = f(\lambda)$   
**SFH 229**



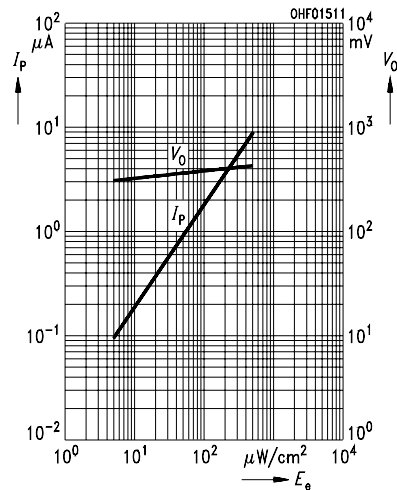
**Relative Spectral Sensitivity**  
 $S_{rel} = f(\lambda)$   
**SFH 229 FA**



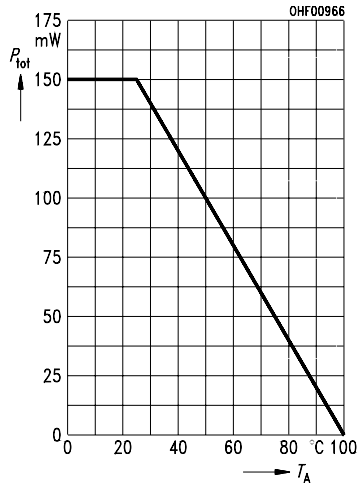
**Photocurrent  $I_P = f(E_v)$ ,  $V_R = 5\text{ V}$**   
**Open-Circuit Voltage  $V_O = f(E_v)$**   
**SFH 229**



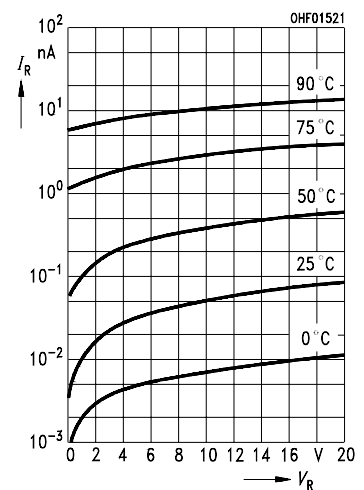
**Photocurrent  $I_P = f(E_e)$ ,  $V_R = 5\text{ V}$**   
**Open-Circuit Voltage  $V_O = f(E_e)$**   
**SFH 229 FA**



**Total Power Dissipation**  
 $P_{tot} = f(T_A)$

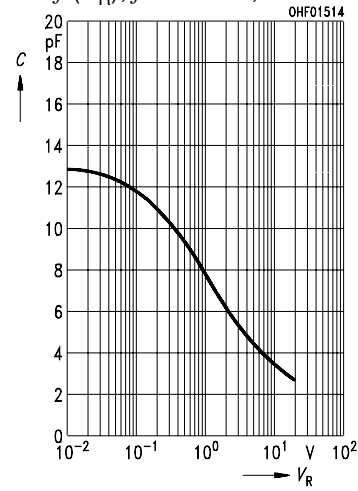


**Dark Current**  
 $I_R = f(V_R), E = 0$



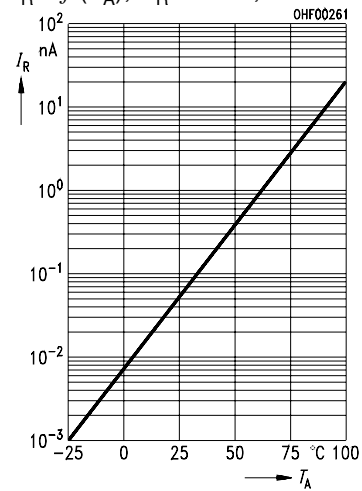
**Capacitance**

$C = f(V_R), f = 1 \text{ MHz}, E = 0$



**Dark Current**

$I_R = f(T_A), V_R = 10 \text{ V}, E = 0$



**Directional Characteristics**

$S_{rel} = f(\varphi)$

