

Bloc3

## BLOC 3 / TRANSMISSION PAR LA LUMIÈRE

### Mission 1 - Emettre une information lumineuse

En se basant sur une **LED IR** de type SFH415.

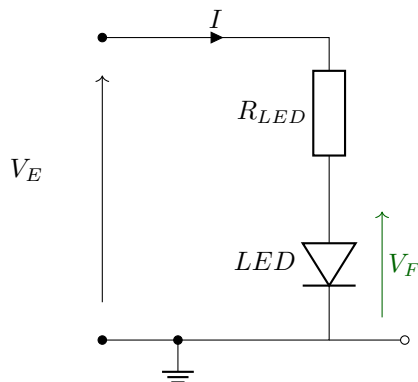
Proposer un montage émetteur permettant d'obtenir un flux lumineux sinusoïdal sans risque pour la LED, et donner les paramètres des différentes sources utilisées et des autres éléments du montage.

Il faut dans un premier temps s'intéresser aux données fournies par le constructeur pour savoir comment utiliser dans les meilleures conditions cette LED.

Il faut en particulier regarder les point suivants :

- Courant maximal direct :
- Tension inverse maximale ( $V_R$ ) : 5 V
- Tension directe ( $V_F$ ) : 1.3 V @ 100 mA

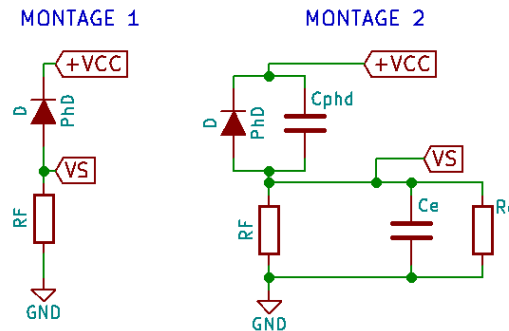
On pourra utiliser le montage suivant pour piloter la LED :



## Mission 2 - Transmettre une information par la lumière

En se basant sur une **LED IR** de type SFH415 et une **photodiode** de type SFH229, on souhaite réaliser un système de transmission d'information par la lumière.

On se propose dans un premier temps d'utiliser le montage « simple » de photodétection.



A quoi correspondent les deux montages proposés ?

Donner la fonction de transfert du montage en fonction du flux lumineux reçu.

Quelle est alors la limite en fréquence d'un tel montage ? Peut-on transmettre des données binaires ?

On peut tout d'abord s'intéresser aux caractéristiques principales d'une photodiode :

- tension inverse maximale / Reverse Voltage (p.2)
- puissance maximale admissible / Total Power Dissipation (p.2)
- courant photonique pour un éclairage particulier / Photocurrent (p.2)
- intervalle de longueurs d'ondes utilisable / Spectral range of sensibility (p.2)
- sensibilité spectrale / Spectral Sensibility (p.2)
- demi-angle / Half Angle (p.2)
- temps de réponse / Rise and Fall Time (p.3)
- tension direct / Forward Voltage (p.3)
- capacité parasite / Capacitance (p.3)

On peut également s'intéresser aux graphiques suivants : Relative Spectral Sensibility (p.4), Dark Current (p.4), Capacitance (p.5) et Directionnal Characteristics (p.5)

### Montage 1

Ce montage correspond au schéma de câblage d'une photodiode. La photodiode va imposer un courant proportionnel au flux lumineux reçu dans ce montage ( $\Phi_e$ ). La résistance  $R_F$  va alors servir à convertir ce courant (relativement faible) en une tension visualisable sur un oscilloscope par exemple.

Par application de la loi d'Ohms, le courant qui sort de la photodiode passe par la résistance  $R_F$ . On a donc :  $V_S(t) = R_F \cdot I_{phd}(t)$ .

De plus,  $I_{phd}(t) = k \cdot \Phi_e(t)$ , on a donc :

$$V_S(t) = k \cdot R_F \cdot \Phi_e(t)$$

### Montage 2

Ce second montage correspond à la modélisation plus complète des éléments du montage 1.

On s'aperçoit expérimentalement que le système précédent n'a pas une amplitude constante quelque que soit la fréquence du signal lumineux émis.

Le phénomène observé peut s'expliquer par le fait que les éléments de mesure par exemple peuvent être modélisés par une impédance d'entrée ( $R_e$ ) en parallèle avec une capacité ( $C_e$ ). D'une manière équivalente, on peut modéliser une photodiode (polarisée pour fonctionner en photodétecteur) comme une source de courant en parallèle avec une capacité ( $C_{PHD}$ ).

### Etude du montage 2

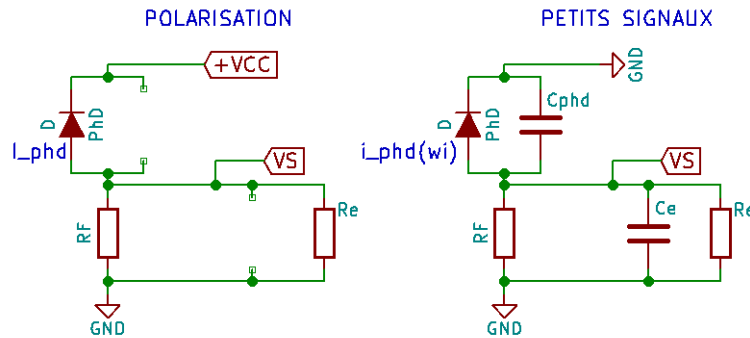
On supposera dans la suite de ce problème que le système est linéaire et que le flux lumineux reçu est une combinaison d'un flux constant et d'une somme de flux sinusoïdaux, pouvant s'écrire :

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

On peut décomposer le signal  $\phi_{lum}(t)$  en  $N + 1$  sources indépendantes :  $\Phi_{ambient}$  source continue et  $N$  sources de fréquence  $f_i$ .

Comme le système est linéaire, on peut alors appliquer le théorème de superposition. On peut alors sommer les causes de chacune des sources indépendantes.

On peut alors réaliser l'étude en polarisation indépendamment de l'étude en petits signaux, en s'intéressant aux 2 montages suivants :



#### Cas continu

Dans le cas de l'étude en continu (polarisation), on obtient :  $V_{Scont} = (R_F // R_e) \cdot I_{phd} = (R_F // R_e) \cdot k \cdot \Phi_{ambient}$

#### Cas « petits signaux »

L'ensemble des éléments sont en parallèle. On obtient donc la relation suivante :  $V_S(f_i) = k \cdot \phi_i \cdot (R_e // R_F // C_{phd} // C_e)$ .

En appelant  $Y = 1/(R_e // R_F // C_{phd} // C_e)$ , on obtient  $V_S(f_i) = k \cdot \phi_i / Y$  avec :

$$Y = \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_e} + j \cdot (C_{phd} + C_e) \cdot \omega_i$$

$$Y = \frac{R_e + R_F}{R_F \cdot R_e} \cdot (1 + j \cdot \omega_i \cdot (C_{phd} + C_e) \cdot \frac{R_F \cdot R_e}{R_e + R_F})$$

On obtient alors :

$$\frac{V_S(f_i)}{\phi_i} = k \cdot \frac{R_F \cdot R_e}{R_e + R_F} \cdot \frac{1}{(1 + j \cdot \omega_i \cdot (C_{phd} + C_e) \cdot \frac{R_F \cdot R_e}{R_e + R_F})}$$

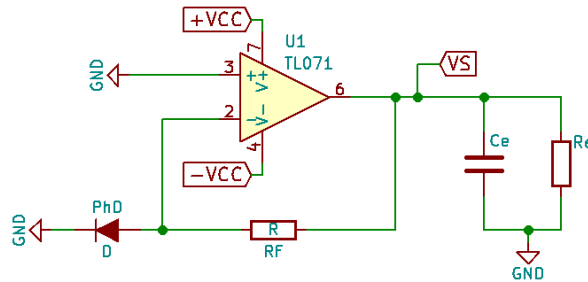
On retrouve alors le comportement d'un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure est

$$\omega_0 = \frac{R_e + R_F}{R_F \cdot R_e \cdot (C_{phd} + C_e)}$$

### Mission 3 - Transmettre une information par la lumière - transimpédance

En se basant sur une **LED IR** de type SFH415 et une **photodiode** de type SFH229, on souhaite réaliser un système de transmission d'information par la lumière.

On se propose dans un premier temps d'utiliser le montage de photodétection de type transimpédance.



Donner la fonction de transfert du montage en fonction du flux lumineux reçu.

Quelle est alors la limite en fréquence d'un tel montage? Peut-on transmettre des données binaires?

On se basant sur les hypothèses habituelles pour un amplificateur intégré, on se trouve dans le cas d'un fonctionnement linéaire ( $V^+ = V^-$ ) et on pourra supposer les courants d'entrée négligeables. On obtient alors que :

$$V_S = -R_F \cdot I_{PHD}$$

Même en modélisant le système de mesure par une capacité  $C_e$  et une résistance  $R_e$  en parallèle, on s'aperçoit que ces éléments n'interviennent plus dans le calcul de la fonction de transfert. Le courant fourni à ces éléments ne provient pas de la photodiode (contrairement au montage 1) mais provient de l'ALI (et de son alimentation).

Expérimentalement, cependant, on retrouve un phénomène passe-bas, inexpliqué par les relations obtenues précédemment (voir thème 2 de TP).

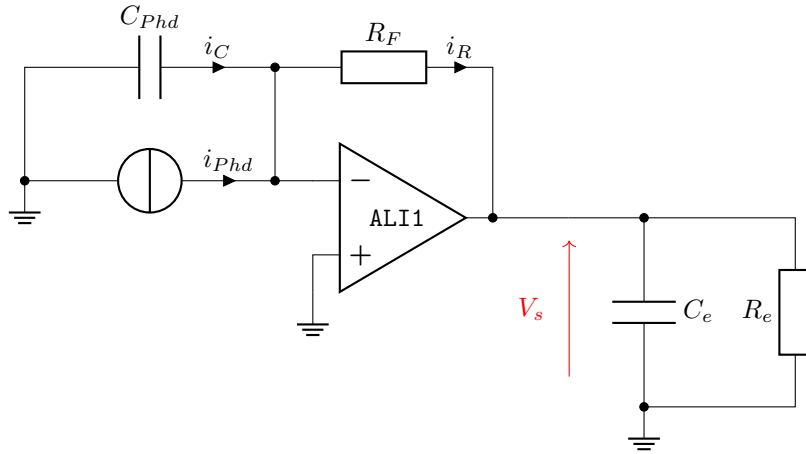
### Mission 4 - Modéliser le montage transimpédance

Dans l'exemple précédent, nous avons supposé l'amplificateur linéaire idéal.

On prendra le modèle suivant pour l'amplificateur linéaire :

$$V_S = \frac{A_0}{1 + j \cdot \frac{\omega}{\omega_0}} \cdot (V^+ - V^-)$$

Calculer la fonction de transfert  $T(j \cdot \omega) = V_S / i_{PHD}$  du montage suivant :



Si on s'intéresse à présent au modèle un peu plus réaliste d'un ALI, on peut alors calculer la fonction de transfert du montage précédent de manière à interpréter les résultats expérimentaux obtenus.

On a  $V^+ = 0$ .

**Calcul de  $V^-$**

Loi des noeuds :  $i_{PHD} + i_C = i_R$  (on supposera  $i^- = 0$ ).

**Calcul de  $i_R$**

Loi des mailles :  $V^- - R_F \cdot i_R - V_S = 0$

Ainsi : 
$$i_R = \frac{V^- - V_S}{R_F}$$

**Calcul de  $i_C$**

On posera  $Z_C = \frac{1}{C_{PHD} \cdot \omega}$

Loi des mailles :  $V^- + Z_C \cdot i_C = 0$

Ainsi : 
$$i_C = \frac{-V^-}{Z_C}$$

**Calcul de  $V^-$**

$$i_{PHD} + \frac{-V^-}{Z_C} = \frac{V^- - V_S}{R_F}$$

Ainsi :  $i_{PHD} = V^- \cdot (1/R_F + 1/Z_C) - V_S/R_F$

On obtient alors :

$$V^- = \frac{1}{1 + j \cdot R_F \cdot C_{PHD} \cdot \omega} \cdot (R_F \cdot i_{PHD} + V_S)$$

**Calcul de  $V_S$**

On a  $V_S = A(j\omega) \cdot (V^+ - V^-)$ .

On obtient alors :

$$V_S = -A(j\omega) \cdot \frac{V_S + R_F \cdot i_{PHD}}{1 + jR_F C_{PHD} \omega}$$

On obtient ainsi la fonction de transfert suivante :

$$\frac{V_S}{i_{PHD}} = \frac{-A(j\omega) \cdot R_F}{1 + A(j\omega) + jR_F C_{PHD} \omega}$$

**Calcul complet**

En remplaçant  $A(j\omega)$  par  $\frac{A_0}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}}$ , on obtient alors la fonction de transfert suivante :

$$\boxed{\frac{V_S}{i_{PHD}}} = \frac{-A_0 \cdot R_F}{(1 + jR_F C_{PHD} \omega) \cdot (1 + j\omega/\omega_0) + A_0}$$

Ce système correspond alors à un filtre passe-bas du second ordre. Selon les valeurs de  $R_F$ ,  $C_{PHD}$ ,  $A_0$  et  $\omega_0$ , il peut y avoir une résonance (voir Thème 2 de TP).

### Mission 5 - Détecter un obstacle

On souhaite détecter un obstacle à une certaines distances. Proposer une solution basée sur une LED IR et un photodétecteur.

Principe des capteurs TOF - Time of Flight

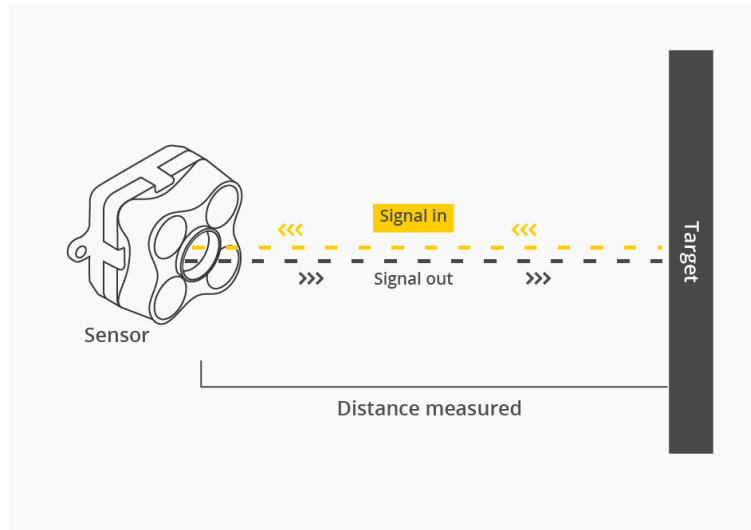


Image de <https://www.terabee.com/time-of-flight-principle/>

### Mission 6 - Transporter plusieurs informations par la lumière

On souhaite rendre plus spécifique une communication par la lumière, et pourquoi pas transporter plusieurs informations différentes sur un même canal lumineux.

Proposer une solution.

Deux grandes méthodes sont possibles :

- Modulation électrique du signal
  - Chaque information est multipliée par une porteuse spécifique connue (électriquement)
  - La source lumineuse est alors modulées en amplitude par la somme de tous les signaux précédents
  - La démodulation se fait par une multiplication par les porteuses (connues) et un filtrage passe-bas
  - Voir *ONIP Bloc 3*
- Porteuse optique
  - On module des sources lumineuses ayant des longueurs d'ondes différentes (souvent infrarouge pour les télécommunications) avec le signal portant l'information
  - On mélange ces « couleurs » sur une fibre
  - On démodule en filtrant chacune des « couleurs » pour récupérer l'information utile

Il est également possible de mélanger ces différentes méthodes, ainsi que d'utiliser d'autres propriétés physiques (polarisation par exemple) pour augmenter la quantité d'informations binaires que l'on peut transporter sur un même signal lumineux.

Modulations : PSK, QPSK, PAM4...

**GaAs-IR-Lumineszenzdioden**  
**GaAs Infrared Emitters**  
**Lead (Pb) Free Product - RoHS Compliant**

**SFH 415**



**Wesentliche Merkmale**

- GaAs-LED mit sehr hohem Wirkungsgrad
- Hohe Zuverlässigkeit
- UL Version erhältlich
- Gute spektrale Anpassung an Si-Fotoempfänger
- SFH 415: Gehäusegleich mit SFH 300, SFH 203

**Anwendungen**

- IR-Fernsteuerung von Fernseh- und Rundfunkgeräten, Videorecordern, Lichtdimmern
- Gerätefernsteuerungen für Gleich- und Wechsellichtbetrieb
- Rauchmelder
- Sensorik
- Diskrete Lichtschranken

**Features**

- Very highly efficient GaAs-LED
- High reliability
- UL version available
- Spectral match with silicon photodetectors
- SFH 415: Same package as SFH 300, SFH 203

**Applications**

- IR remote control of hi-fi and TV-sets, video tape recorders, dimmers
- Remote control for steady and varying intensity
- Smoke detectors
- Sensor technology
- Discrete interrupters

Typ Type	Bestellnummer Ordering Code	Strahlstärkegruppierung <sup>1)</sup> ( $I_F = 100 \text{ mA}$ , $t_p = 20 \text{ ms}$ ) Radiant Intensity Grouping <sup>1)</sup> $I_e$ (mW/sr)
SFH 415	Q62702-P0296	> 25
SFH 415-U	Q62702-P1137	> 40

<sup>1)</sup> gemessen bei einem Raumwinkel  $\Omega = 0.01 \text{ sr}$  / measured at a solid angle of  $\Omega = 0.01 \text{ sr}$



**Grenzwerte ( $T_A = 25\text{ °C}$ )****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	$V_R$	5	V
Durchlassstrom Forward current	$I_F$	100	mA
Stoßstrom, $t_p = 10\text{ }\mu\text{s}$ , $D = 0$ Surge current	$I_{FSM}$	3	A
Verlustleistung Power dissipation	$P_{tot}$	165	mW
Wärmewiderstand Thermal resistance	$R_{thJA}$	450	K/W

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

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Wellenlänge der Strahlung Wavelength at peak emission $I_F = 100\text{ mA}$ , $t_p = 20\text{ ms}$	$\lambda_{peak}$	950	nm
Spektrale Bandbreite bei 50% von $I_{max}$ Spectral bandwidth at 50% of $I_{max}$ $I_F = 100\text{ mA}$	$\Delta\lambda$	55	nm
Abstrahlwinkel Half angle SFH 415	$\varphi$	$\pm 17$	Grad
Aktive Chipfläche Active chip area	$A$	0.09	mm <sup>2</sup>
Abmessungen der aktiven Chipfläche Dimensions of the active chip area	$L \times B$ $L \times W$	$0.3 \times 0.3$	mm <sup>2</sup>
Abstand Chipoberfläche bis Linsenscheitel Distance chip front to lens top	$H$	4.2 ... 4.8	mm

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

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Schaltzeiten, $I_e$ von 10% auf 90% und von 90% auf 10%, bei $I_F = 100\text{ mA}$ , $R_L = 50\ \Omega$ Switching times, $I_e$ from 10% to 90% and from 90% to 10%, $I_F = 100\text{ mA}$ , $R_L = 50\ \Omega$	$t_r, t_f$	0.5	$\mu\text{s}$
Kapazität Capacitance $V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$	$C_o$	25	$\text{pF}$
Durchlassspannung Forward voltage $I_F = 100\text{ mA}$ , $t_p = 20\text{ ms}$ $I_F = 1\text{ A}$ , $t_p = 100\ \mu\text{s}$	$V_F$ $V_F$	1.3 ( $\leq 1.5$ ) 2.3 ( $\leq 2.8$ )	V V
Sperrstrom Reverse current $V_R = 5\text{ V}$	$I_R$	0.01 ( $\leq 1$ )	$\mu\text{A}$
Gesamtstrahlungsfluss Total radiant flux $I_F = 100\text{ mA}$ , $t_p = 20\text{ ms}$	$\Phi_e$	22	mW
Temperaturkoeffizient von $I_e$ bzw. $\Phi_e$ , $I_F = 100\text{ mA}$ Temperature coefficient of $I_e$ or $\Phi_e$ , $I_F = 100\text{ mA}$	$TC_I$	- 0.5	%/K
Temperaturkoeffizient von $V_F$ , $I_F = 100\text{ mA}$ Temperature coefficient of $V_F$ , $I_F = 100\text{ mA}$	$TC_V$	- 2	mV/K
Temperaturkoeffizient von $\lambda$ , $I_F = 100\text{ mA}$ Temperature coefficient of $\lambda$ , $I_F = 100\text{ mA}$	$TC_\lambda$	+ 0.3	nm/K

# 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

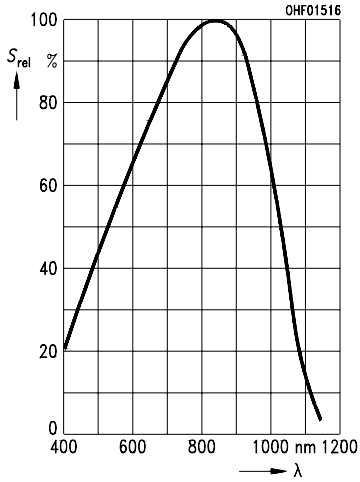
**Kennwerte ( $T_A = 25\text{ °C}$ )**  
**Characteristics**

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 ( $\geq 18$ )	–	$\mu\text{A}$
	$I_P$	–	20 ( $\geq 10.8$ )	$\mu\text{A}$
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	$\lambda_{S\text{ max}}$	860	900	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit $S = 10\%$ von $S_{\text{max}}$ Spectral range of sensitivity $S = 10\%$ of $S_{\text{max}}$	$\lambda$	380 ... 1100	730 ... 1100	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche Radiant sensitive area	$A$	0.3	0.3	$\text{mm}^2$
Abmessung der bestrahlungsempfindlichen Fläche Dimensions of radiant sensitive area	$L \times B$ $L \times W$	$0.56 \times 0.56$	$0.56 \times 0.56$	$\text{mm} \times \text{mm}$
Halbwinkel Half angle	$\varphi$	$\pm 17$	$\pm 17$	Grad deg.
Dunkelstrom, $V_R = 10\text{ V}$ Dark current	$I_R$	50 ( $\leq 5000$ )	50 ( $\leq 5000$ )	$\mu\text{A}$
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

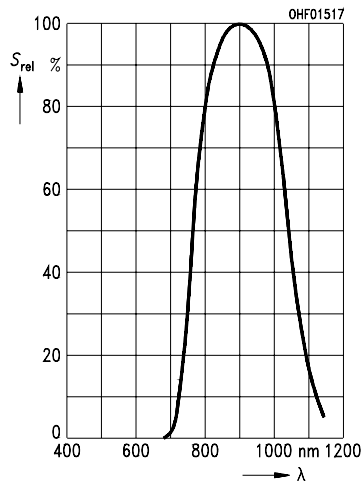
**Kennwerte ( $T_A = 25\text{ °C}$ )**  
**Characteristics (cont'd)**

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, $T = 2856\text{ K}$ $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2$ , $\lambda = 950\text{ nm}$	$V_O$	450 ( $\geq 400$ )	–	mV
	$V_O$	–	420 ( $\geq 370$ )	mV
Kurzschlußstrom Short-circuit current $E_V = 1000\text{ lx}$ , Normlicht/standard light A, $T = 2856\text{ K}$ $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2$ , $\lambda = 950\text{ nm}$	$I_{SC}$	27	–	$\mu\text{A}$
	$I_{SC}$	–	9	$\mu\text{A}$
Anstiegs- und Abfallzeit des Fotostromes Rise and fall time of the photocurrent $R_L = 50\ \Omega$ ; $V_R = 10\text{ V}$ ; $\lambda = 850\text{ nm}$ ; $I_p = 800\ \mu\text{A}$	$t_r, t_f$	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 $V_R = 10\text{ V}$ , $\lambda = 850\text{ nm}$	$NEP$	$6.5 \times 10^{-15}$	$6.5 \times 10^{-15}$	$\frac{\text{W}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
Nachweisgrenze, $V_R = 10\text{ V}$ , $\lambda = 850\text{ nm}$ Detection limit	$D^*$	$8.4 \times 10^{12}$	$8.4 \times 10^{12}$	$\frac{\text{cm} \times \sqrt{\text{Hz}}}{\text{W}}$

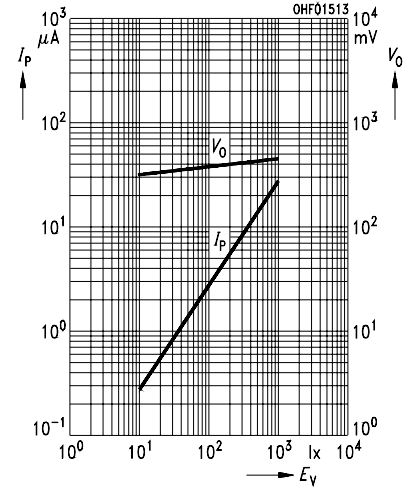
**Relative Spectral Sensitivity**  
 $S_{rel} = f(\lambda)$   
**SFH 229**



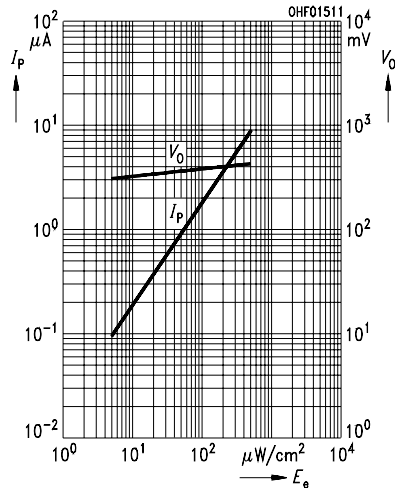
**Relative Spectral Sensitivity**  
 $S_{rel} = f(\lambda)$   
**SFH 229 FA**



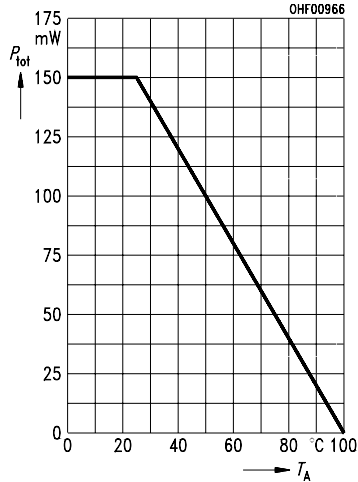
**Photocurrent  $I_P = f(E_v)$ ,  $V_R = 5\text{ V}$**   
**Open-Circuit Voltage  $V_O = f(E_v)$**   
**SFH 229**



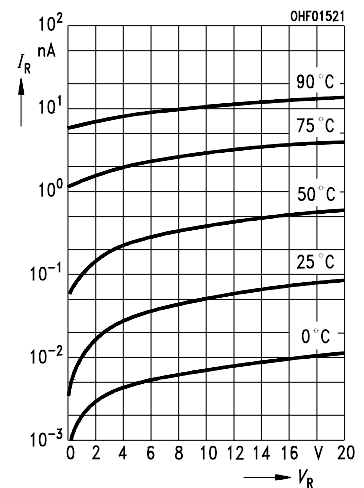
**Photocurrent  $I_P = f(E_e)$ ,  $V_R = 5\text{ V}$**   
**Open-Circuit Voltage  $V_O = f(E_e)$**   
**SFH 229 FA**



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

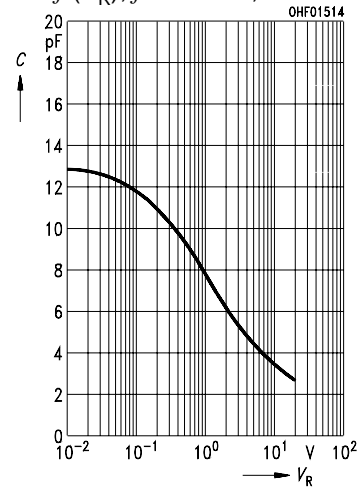


**Dark Current**  
 $I_R = f(V_R), E = 0$



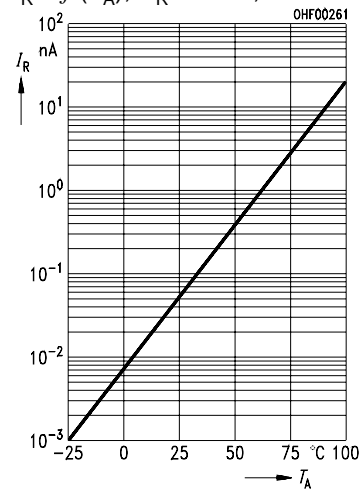
**Capacitance**

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



**Dark Current**

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



**Directional Characteristics**

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

