

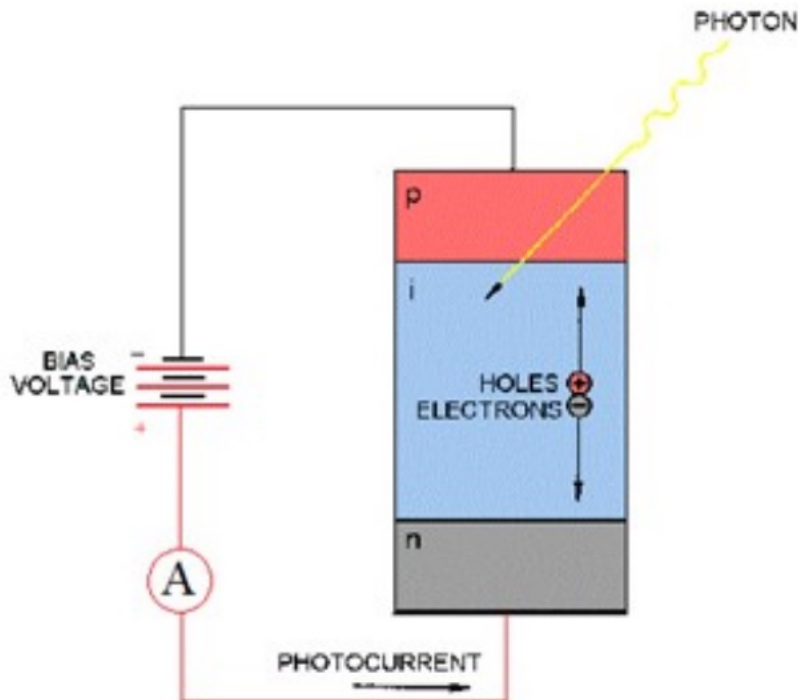
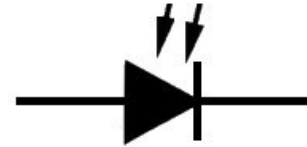
# **Laboratorio di Elettronica e Tecniche di Acquisizione Dati 2023-2024**

## **Fotodiodo**

**(cfr. [http://www-3.unipv.it/lde/didattica\\_elettronica/photodiode.pdf](http://www-3.unipv.it/lde/didattica_elettronica/photodiode.pdf))**

# Fotodiodo

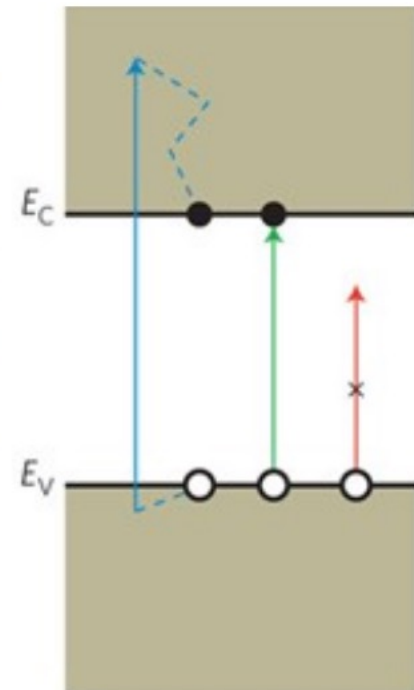
- Fotodiode: trasduttore da segnale ottico a segnale elettrico (“fotorivelatore”)
- Diode a semiconduttore operato con polarizzazione inversa. Quando un fotone con energia  $E = h\nu > E_{\text{gap}}$  incide nella zona svuotata, può convertire in una coppia elettrone-lacune che contribuisce a una corrente di segnale.



Banda Conduzione



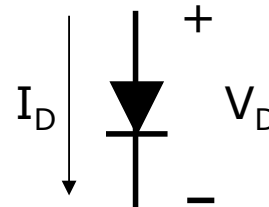
Banda Valenza



# Fotodiodi

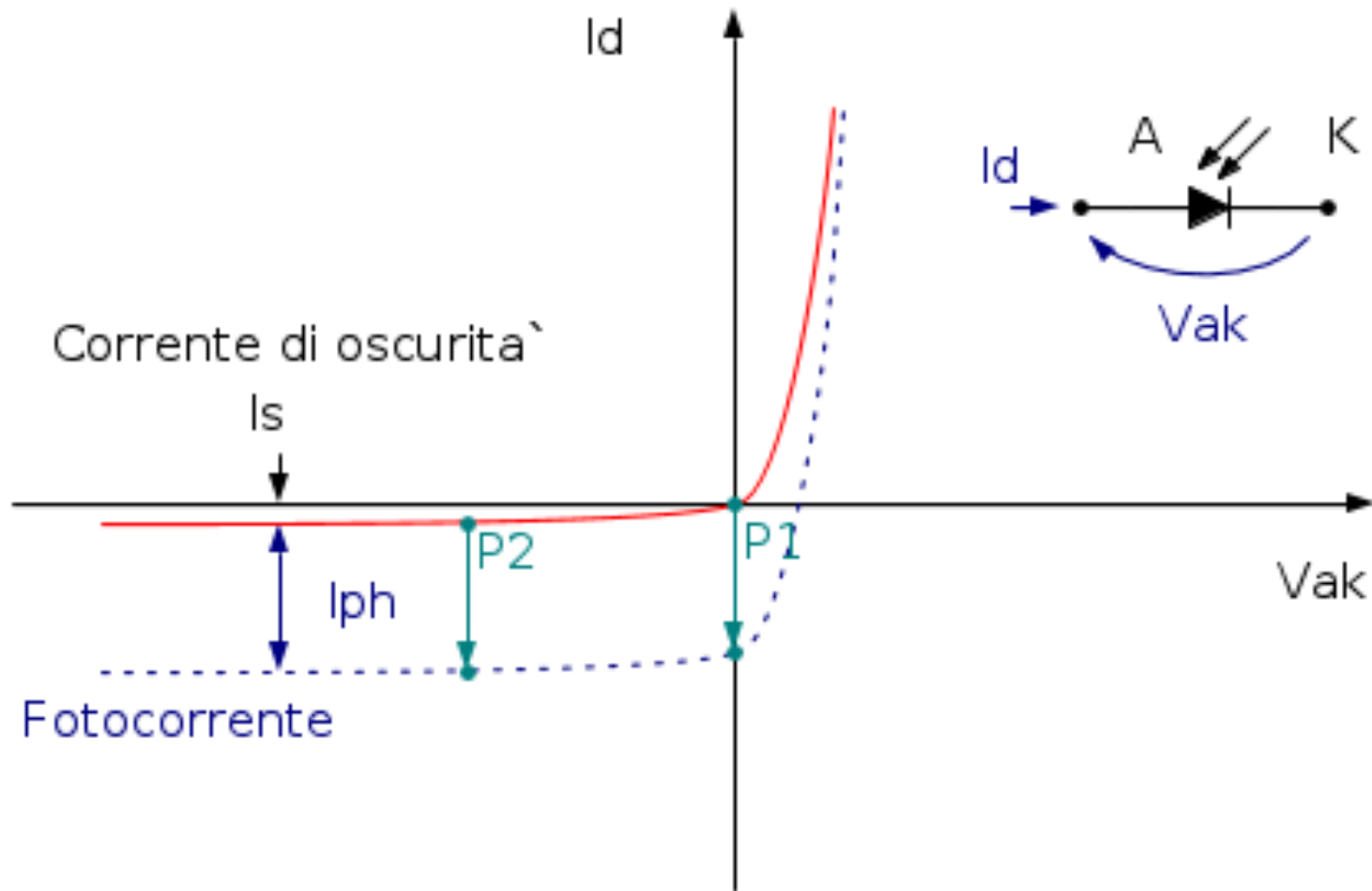
- I fotodiodi sono dispositivi a semiconduttore con struttura PN (o PIN), impiegati come trasduttori di potenza luminosa
- L'energia trasportata dalla radiazione elettromagnetica, assorbita nella regione di svuotamento o nella regione intrinseca, determina la generazione di coppie elettrone/lacuna, che contribuiscono alla formazione di una corrente elettrica.
- La caratteristica tensione corrente di un fotodiode è dunque uguale a quella di un diodo, con l'aggiunta di un termine di corrente fotogenerata  $I_{ph}$ :

$$I_D = I_0 (e^{V_D/V_T} - 1) - I_{ph}$$



dove  $I_0$  è la corrente di leakage del diodo,  $V_D$  la tensione ai capi del dispositivo e  $V_T$  la tensione termica ( $kT/e$ ). Si osservi che, in condizioni di polarizzazione inversa ( $V_D \leq 0$ ), la corrente sarà data da  $I_0$  e  $I_{ph}$ , e, addirittura, per  $V_D = 0$ ,  $I_D = -I_{ph}$ .

# Fotodiodo



# Fotodiodo

- La corrente fotogenerata  $I_{ph}$  risulta proporzionale alla potenza luminosa incidente, ovvero al flusso di fotoni che colpiscono il dispositivo:

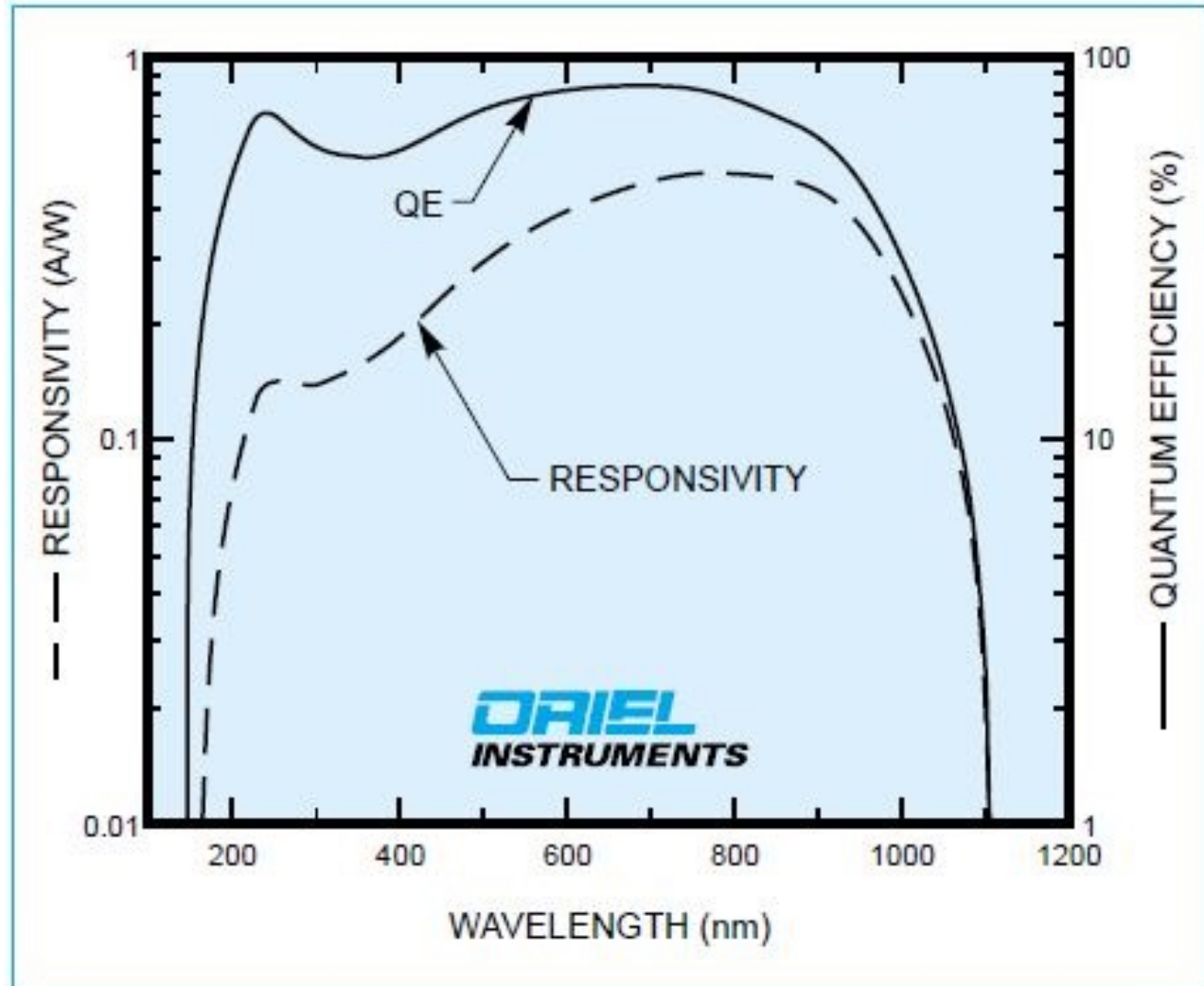
$$I_{ph} = S \cdot P = \frac{\eta e}{h\nu} P, \quad \frac{P}{h\nu} = \# \text{ fotoni al sec.}$$

- dove  $S$  è la sensibilità spettrale,  $\eta$  è l'efficienza quantica,  $e$  è la carica dell'elettrone ( $1.602 \cdot 10^{-19}$  C),  $P$  è la potenza dell'onda elettromagnetica incidente,  $h$  è la costante di Plank ( $6.625 \cdot 10^{-34}$  J·s) e  $\nu$  è la frequenza dell'onda elettromagnetica.
- altri parametri caratteristici di un fotodiodo sono la linearità, la corrente di buio, la sensibilità spettrale, la capacità di giunzione, la tensione di breakdown ed il tempo di risposta

# Fotodiodo

- Efficienza quantica: probabilità di creazione di una coppia e-h per fotone incidente
- Responsività: corrente generata per potenza luminosa incidente (A/W).

Entrambe sono funzione della lunghezza d'onda della luce incidente, ovvero dell' energia dei quanti di luce.



# Applicazioni

<b>Settore</b>	<b>Impiego o dispositivo</b>
Fotocamere	Misuratori di intensità luminosa, controllo automatico dell'otturatore, auto-focus, controllo del flash
Strumentazione medica	Scanner per TAC – rivelazione di raggi X, analisi biologiche (e.g. sul sangue), ossimetria
Dispositivi di sicurezza	Rivelatori di fumo e di fiamma, apparati a raggi X per ispezioni di aeromobili, rivelatori di intrusione
Automotive	Headlight dimmer, rivelatore di luce solare (per regolazione della climatizzazione)
Comunicazioni	Convertitori opto-elettronici, controllo ottico remoto
Industria	Lettori di codici a barre, encoder, sensori di posizione, misura della densità del toner nelle fotocopiatrici

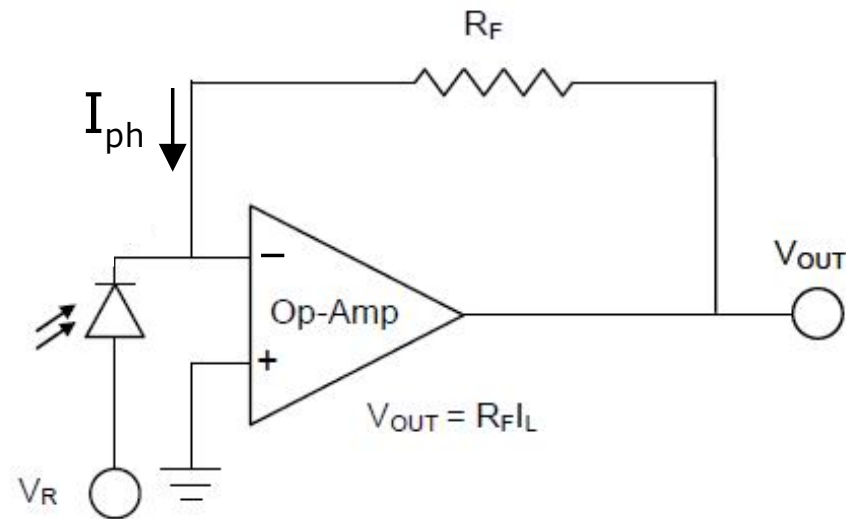
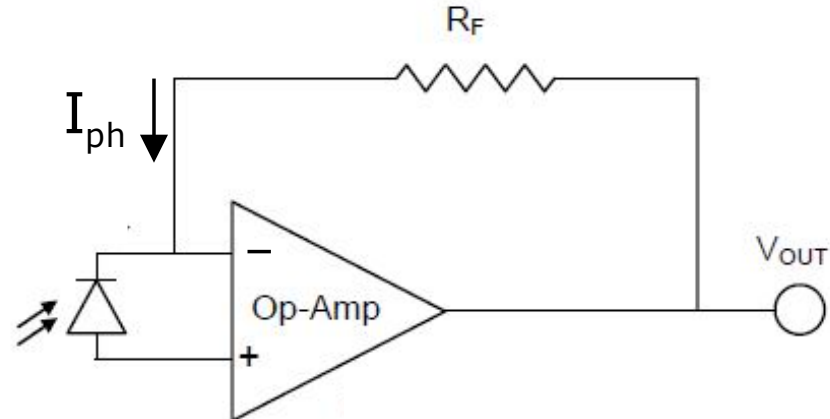
# Modalità operative

- **Modalità fotovoltaica:** il fotodiiodo opera in assenza di tensioni di polarizzazione ed è in grado di erogare potenza elettrica. In particolare per  $I_D=0$ , il fotodiiodo si comporta come un generatore di tensione:

$$V_D = V_T \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right)$$

- **Modalità fotoconduttiva:** il fotodiiodo opera in condizioni di polarizzazione inversa o nulla,  $V_D \leq 0$  e si comporta come un generatore di corrente. In particolare se  $V_D=0$ :

$$I_D = -I_{ph}$$





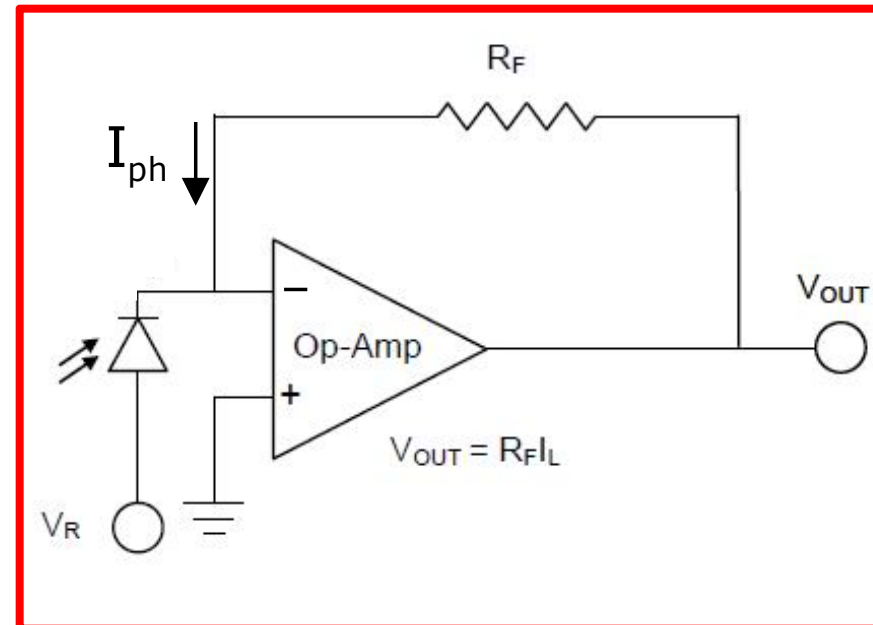
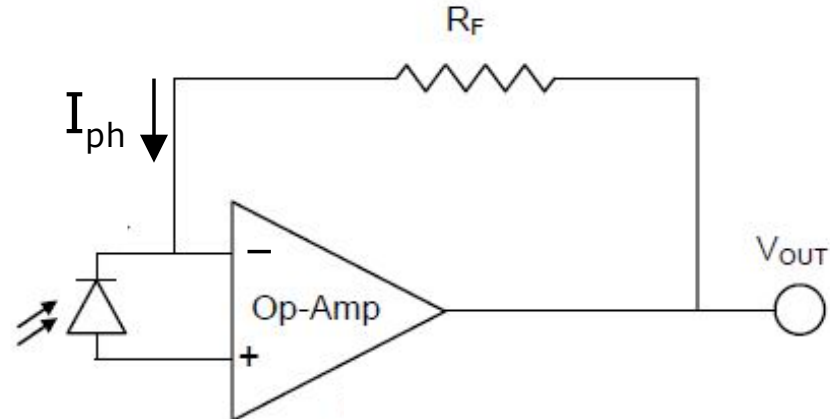
# Modalità operative

- **Modalità fotovoltaica:** il fotodiiodo opera in assenza di tensioni di polarizzazione ed è in grado di erogare potenza elettrica. In particolare per  $I_D=0$ , il fotodiiodo si comporta come un generatore di tensione:

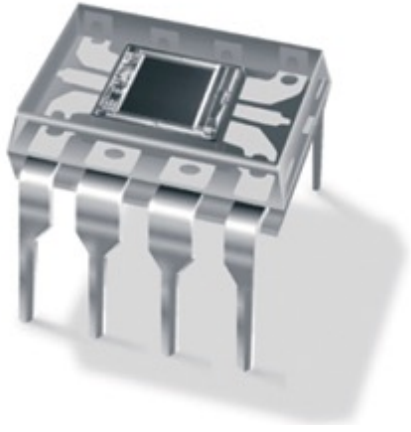
$$V_D = V_T \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right)$$

- **Modalità fotoconduttiva:** il fotodiiodo opera in condizioni di polarizzazione inversa o nulla,  $V_D \leq 0$  e si comporta come un generatore di corrente. In particolare se  $V_D=0$ :

$$I_D = -I_{ph}$$



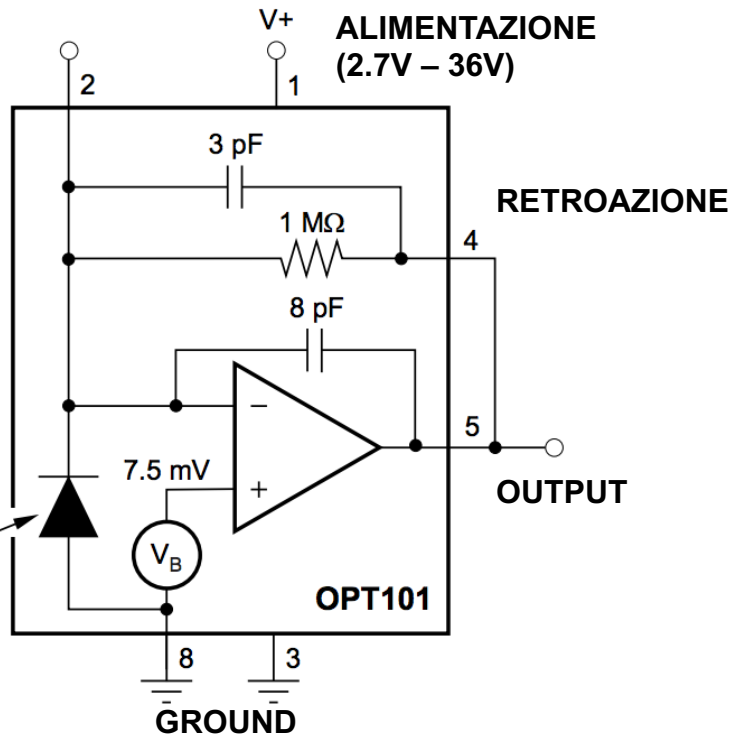
# OPT101



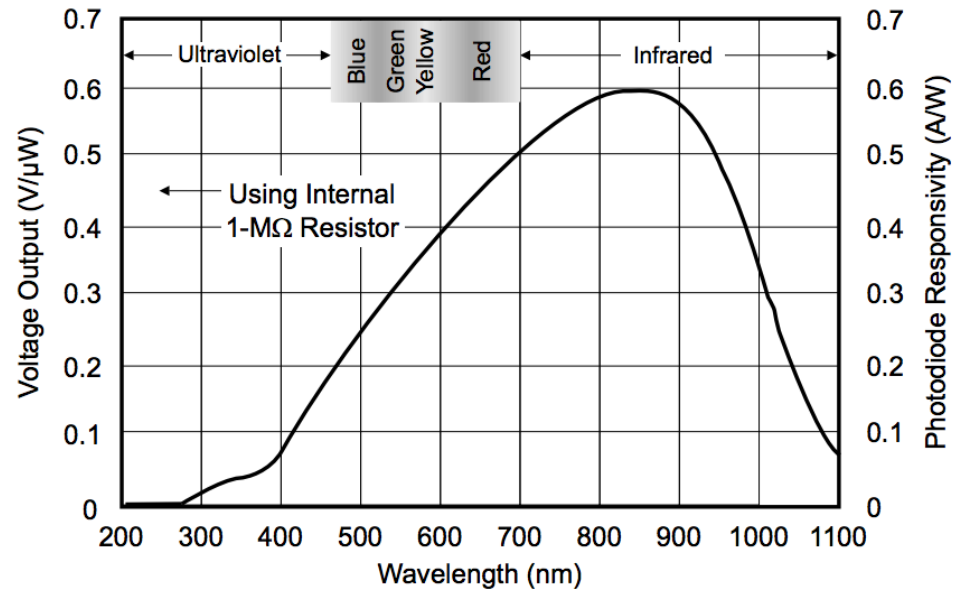
Fotodiode con amplificatore transimpedenza on-chip

(integra un op-amp con feedback negativo che trasforma il segnale in corrente in segnale in tensione)

**Block Diagram**



**Spectral Responsivity**



# OPT101



OPT101

SBBS002B – JANUARY 1994 – REVISED JUNE 2015

## OPT101 Monolithic Photodiode and Single-Supply Transimpedance Amplifier

### 1 Features

- Single Supply: 2.7 to 36 V
- Photodiode Size: 0.090 inch × 0.090 inch (2.29 mm × 2.29 mm)
- Internal 1-M $\Omega$  Feedback Resistor
- High Responsivity: 0.45 A/W (650 nm)
- Bandwidth: 14 kHz at R<sub>F</sub> = 1 M $\Omega$
- Low Quiescent Current: 120  $\mu$ A
- Packages: Clear Plastic 8-pin PDIP and J-Lead SOP

### 2 Applications

- Medical Instrumentation
- Laboratory Instrumentation
- Position and Proximity Sensors
- Photographic Analyzers
- Barcode Scanners
- Smoke Detectors
- Currency Changers

### 3 Description

The OPT101 is a monolithic photodiode with on-chip transimpedance amplifier. The integrated combination of photodiode and transimpedance amplifier on a single chip eliminates the problems commonly encountered in discrete designs, such as leakage current errors, noise pick-up, and gain peaking as a result of stray capacitance. Output voltage increases linearly with light intensity. The amplifier is designed for single or dual power-supply operation.

The 0.09 inch × 0.09 inch (2.29 mm × 2.29 mm) photodiode operates in the photoconductive mode for excellent linearity and low dark current.

The OPT101 operates from 2.7 V to 36 V supplies and quiescent current is only 120  $\mu$ A. This device is available in clear plastic 8-pin PDIP, and J-lead SOP for surface mounting. The temperature range is 0°C to 70°C.

#### Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
OPT101	PDIP (8)	9.53 mm × 6.52 mm
	SOP (8)	9.52 mm × 6.52 mm

(1) For all available packages, see the package option addendum at the end of the data sheet.

# OPT101



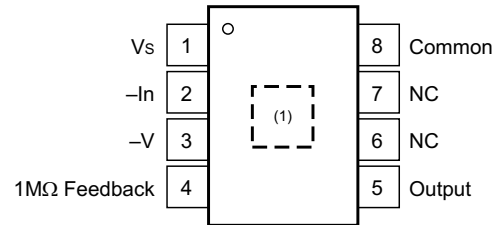
OPT101

www.ti.com

SBBS002B – JANUARY 1994 – REVISED JUNE 2015

## 5 Pin Configuration and Functions

DTL and NTC Packages  
8-pin SOP and 8-pin PDIP  
Top View



(1) Photodiode location.

### Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NO.	NAME		
1	$V_S$	Power	Power supply of device. Apply 2.7 V to 36 V relative to $-V$ pin.
2	$-In$	Input	Negative input of op amp and the cathode of the photodiode. Either do not connect, or apply additional op amp feedback.
3	$-V$	Power	Most negative power supply. Connect to ground or a negative voltage that meets the recommended operating conditions.
4	$1M\Omega$ Feedback	Input	Connection to internal feedback network. Typically connect to Output, pin 5.
5	Output	Output	Output of device.
6	NC	—	Do not connect
7	NC	—	Do not connect
8	Common	Input	Anode of the photodiode. Typically, connect to ground.

# OPT101

## 6.5 Electrical Characteristics

At  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = 2.7\text{ V}$  to  $36\text{ V}$ ,  $\lambda = 650\text{ nm}$ , internal 1-M $\Omega$  feedback resistor, and  $R_L = 10\text{ k}\Omega$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
<b>RESPONSIVITY</b>					
Photodiode current			0.45		A/W
Voltage output			0.45		V/ $\mu\text{W}$
Voltage output vs temperature			100		ppm/ $^\circ\text{C}$
Unit-to-unit variation			$\pm 5\%$		
Nonlinearity <sup>(1)</sup>	Full-scale (FS) output = 24 V		$\pm 0.01$		% of FS
Photodiode area	0.090 in $\times$ 0.090 in		0.008		in <sup>2</sup>
	2.29 mm $\times$ 2.29 mm		5.2		mm <sup>2</sup>
<b>DARK ERRORS, RTO<sup>(2)</sup></b>					
Offset voltage, output		5	7.5	10	mV
Offset voltage vs temperature			$\pm 10$		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Offset voltage vs power supply	$V_S = 2.7\text{ V}$ to $36\text{ V}$		10	100	$\mu\text{V}/\text{V}$
Voltage noise, dark	$f_B = 0.1\text{ Hz}$ to $20\text{ kHz}$ , $V_S = 15\text{ V}$ , $V_{\text{PIN}3} = -15\text{ V}$		300		$\mu\text{V}_{\text{rms}}$
<b>TRANSIMPEDANCE GAIN</b>					
Resistor			1		M $\Omega$
Tolerance			$\pm 0.5\%$	$\pm 2\%$	
Tolerance vs temperature			$\pm 50$		ppm/ $^\circ\text{C}$
<b>FREQUENCY RESPONSE</b>					
Bandwidth	$V_{\text{OUT}} = 10\text{ V}_{\text{PP}}$		14		kHz
Rise and fall time	10% to 90%, $V_{\text{OUT}} = 10\text{-V}$ step		28		$\mu\text{s}$
Settling time	to 0.05%, $V_{\text{OUT}} = 10\text{-V}$ step		160		$\mu\text{s}$
	to 0.1%, $V_{\text{OUT}} = 10\text{-V}$ step		80		$\mu\text{s}$
	to 1%, $V_{\text{OUT}} = 10\text{-V}$ step		70		$\mu\text{s}$
Overload recovery	100%, return to linear operation		50		$\mu\text{s}$
<b>OUTPUT</b>					
Voltage output, high		$(V_S) - 1.3$		$(V_S) - 1.15$	V
Capacitive load, stable operation			10		nF
Short-circuit current	$V_S = 36\text{ V}$		15		mA
<b>POWER SUPPLY</b>					
Quiescent current	Dark, $V_{\text{PIN}3} = 0\text{ V}$		120		$\mu\text{A}$
	$R_L = \infty$ , $V_{\text{OUT}} = 10\text{ V}$		220		$\mu\text{A}$

(1) Deviation in percent of full scale from best-fit straight line.

(2) Referred to output. Includes all error sources.

# OPT101

## 6.6 Electrical Characteristics: Photodiode

At  $T_A = 25^\circ\text{C}$  and  $V_S = 2.7\text{ V}$  to  $36\text{ V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Photodiode area	0.090 in × 0.090 in		0.008		in <sup>2</sup>
	2.29 mm × 2.29 mm		5.2		mm <sup>2</sup>
Current responsivity	$\lambda = 650\text{ nm}$		0.45		A/W
			865		( $\mu\text{A/W}$ )/cm <sup>2</sup>
Dark current	$V_{\text{DIODE}} = 7.5\text{ mV}$		2.5		pA
Dark current vs temperature	$V_{\text{DIODE}} = 7.5\text{ mV}$		Doubles every 7°C		—
Capacitance			1200		pF

## 6.7 Electrical Characteristics: Op Amp<sup>(1)</sup>

At  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = 2.7\text{ V}$  to  $36\text{ V}$ ,  $\lambda = 650\text{ nm}$ , internal 1-M $\Omega$  feedback resistor, and  $R_L = 10\text{ k}\Omega$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
<b>INPUT</b>					
Offset voltage			±0.5		mV
vs temperature			±2.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs power supply			10		$\mu\text{V/V}$
Input bias current	(–) input		165		pA
vs temperature	(–) input		Doubles every 10°C		—
Input impedance	Differential		400    5		M $\Omega$    pF
	Common-mode		250    35		G $\Omega$    pF
Common-mode input voltage range	Linear operation		0 to ( $V_S - 1$ )		V
Common-mode rejection			90		dB
<b>OPEN-LOOP GAIN</b>					
Open-loop voltage gain			90		dB
<b>FREQUENCY RESPONSE</b>					
Gain bandwidth product <sup>(2)</sup>			2		MHz
Slew rate			1		V/ $\mu\text{s}$
Settling time	0.05%		8.0		$\mu\text{s}$
	0.1%		7.7		$\mu\text{s}$
	1%		5.8		$\mu\text{s}$
<b>OUTPUT</b>					
Voltage output, high			$(V_S) - 1.3$ $(V_S) - 1.15$		V
Short-circuit current	$V_S = 36\text{ V}$		15		mA
<b>POWER SUPPLY</b>					
Quiescent current	Dark, $V_{\text{PIN3}} = 0\text{ V}$		120		$\mu\text{A}$
	$R_L = \infty$ , $V_{\text{OUT}} = 10\text{ V}$		220		$\mu\text{A}$

(1) Op amp specifications provided for information and comparison only.

(2) Stable gains  $\geq 10\text{ V/V}$ .