

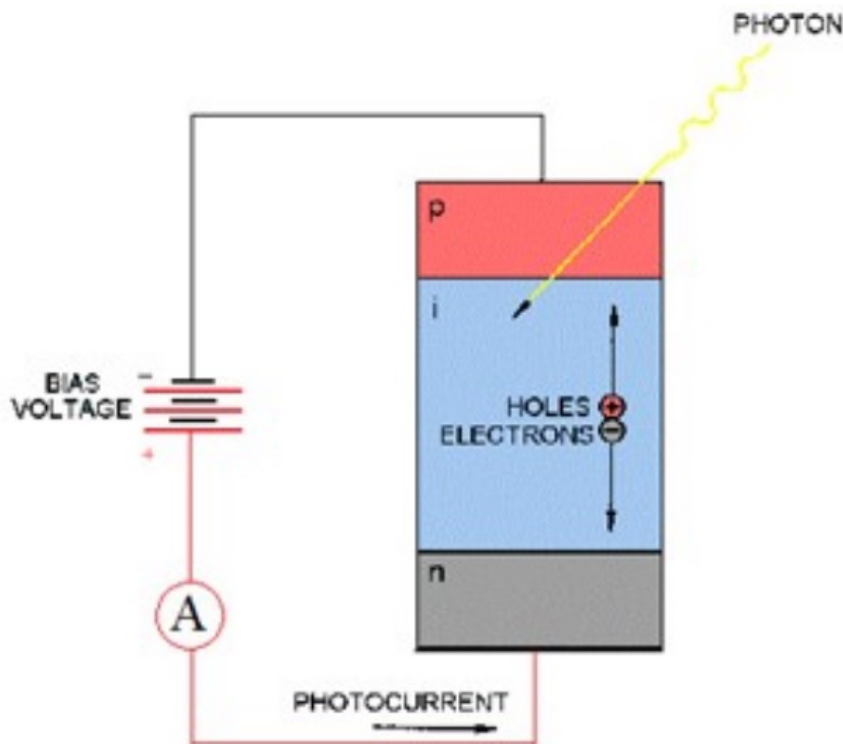
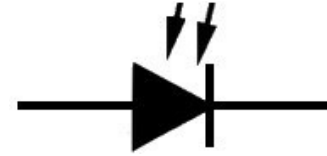
Laboratorio di Elettronica e Tecniche di Acquisizione Dati 2022-2023

Fotodiodo

(cfr. http://www-3.unipv.it/lde/didattica_elettronica/photodiode.pdf)

Fotodiode

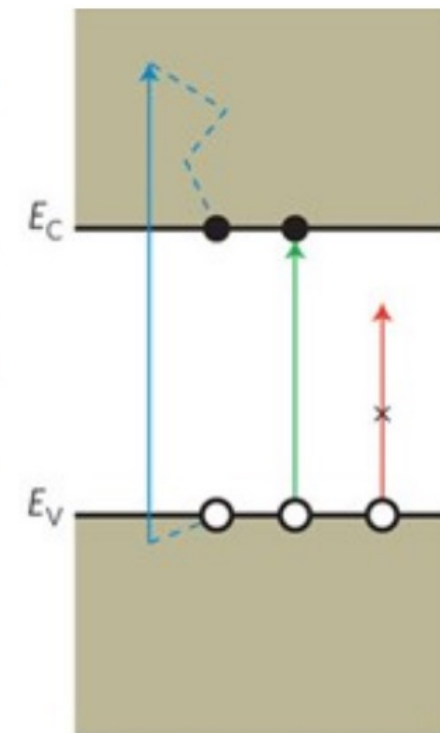
- Fotodiode: trasduttore da segnale ottico a segnale elettrico (“fotorivelatore”)
- Diode a semiconduttore operato con polarizzazione inversa. Quando un fotone con energia $E=h\nu > E_{\text{gap}}$ incide nella zona svuotata, può convertire in una coppia elettrone-lacune che contribuisce a una corrente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



Banda Conduzione



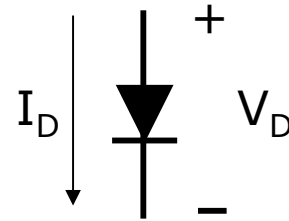
Banda Valenza



Fotodiodi

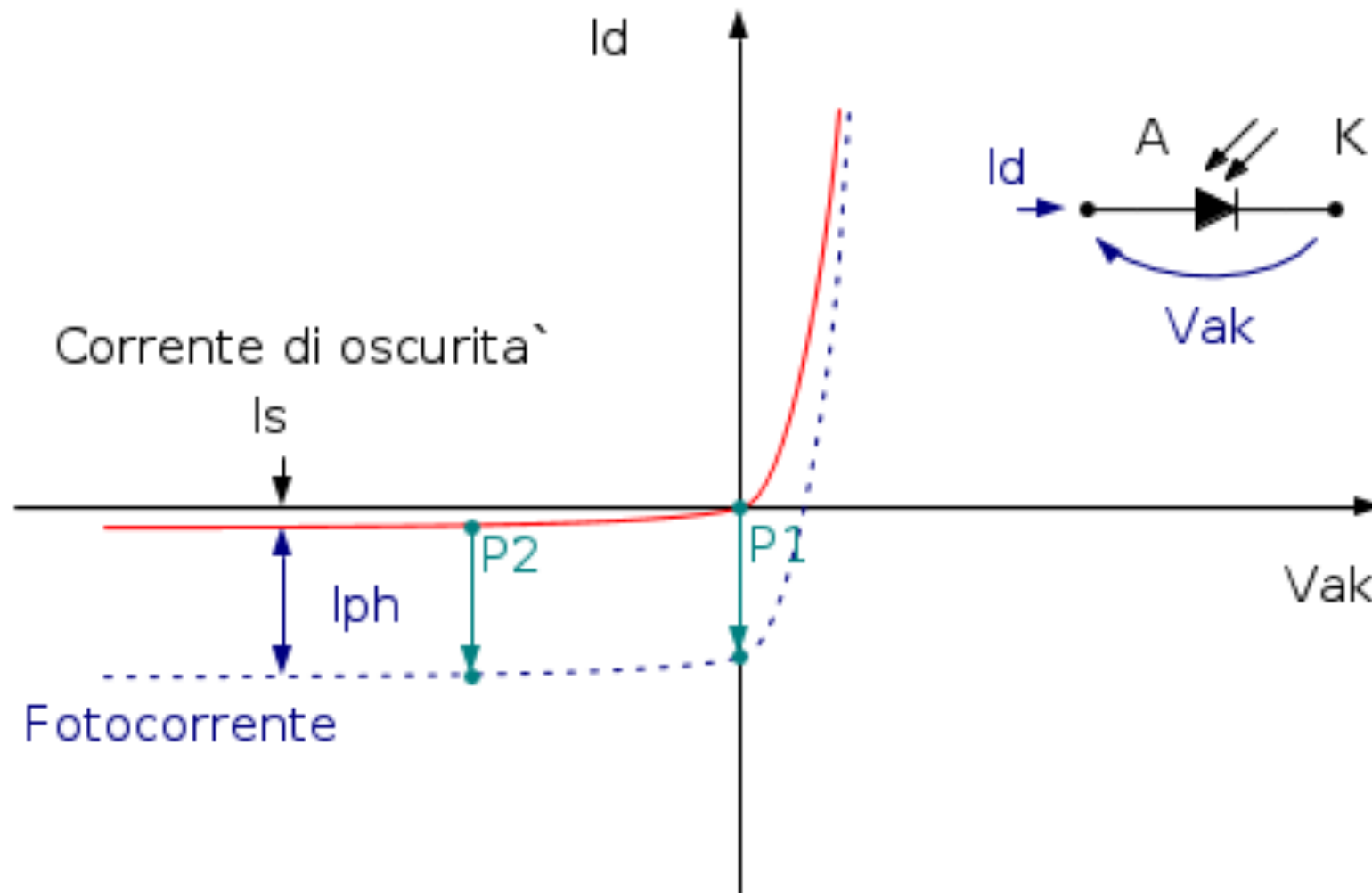
- I fotodiodi sono dispositivi a semiconduttore con struttura PN (o PIN), impiegati come trasduttori di potenza luminosa
- L'energia trasportata dalla radiazione elettromagnetica, assorbita nella regione di svuotamento o nella regione intrinseca, determina la generazione di coppie elettrone/lacuna, che 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:

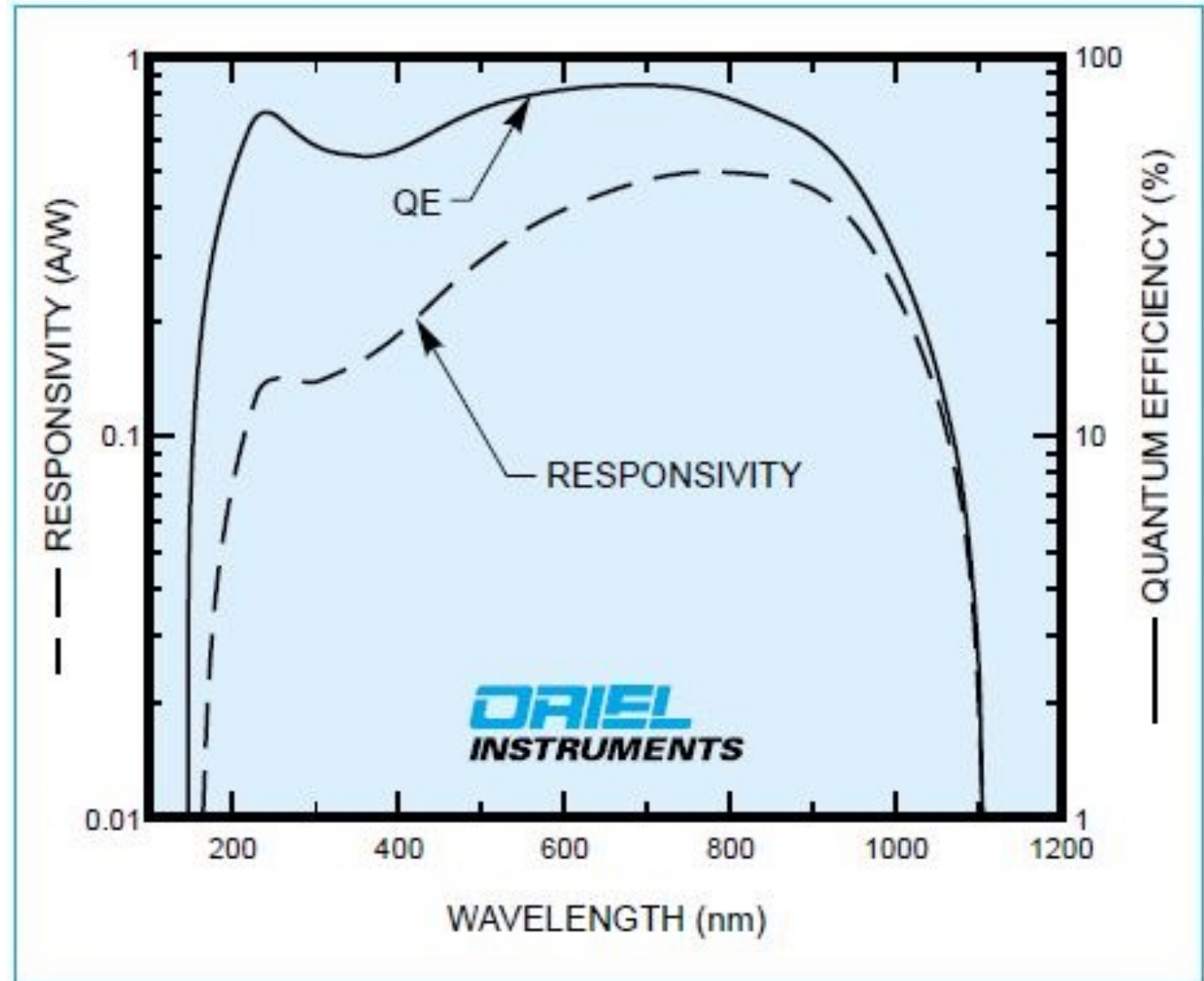
$$I_{ph} = S \cdot P = \frac{\eta e}{h\nu} P, \quad \frac{P}{h\nu} = \# \text{ fotoni al sec.}$$

- dove S è la sensibilità spettrale, η 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 ν 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 della energia dei quanti di luce.



Applicazioni

Settore	Impiego o dispositivo
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

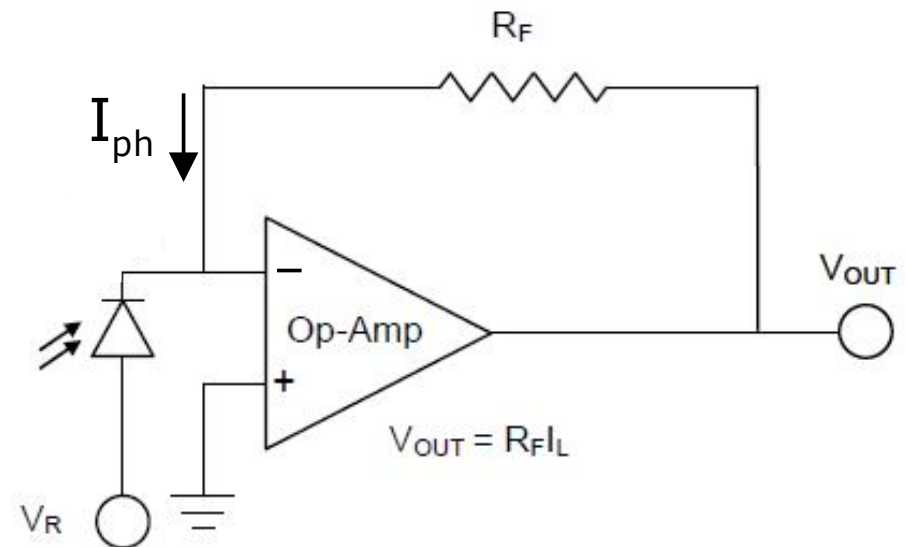
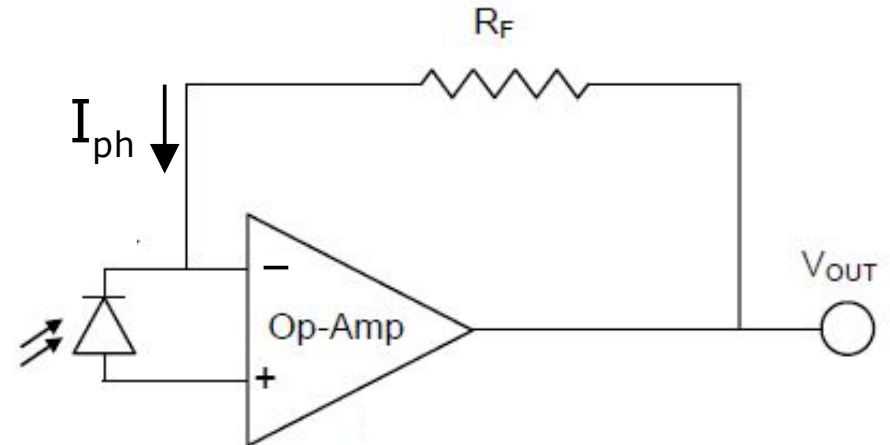
Modalità operative

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

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

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

$$I_D = -I_{ph}$$



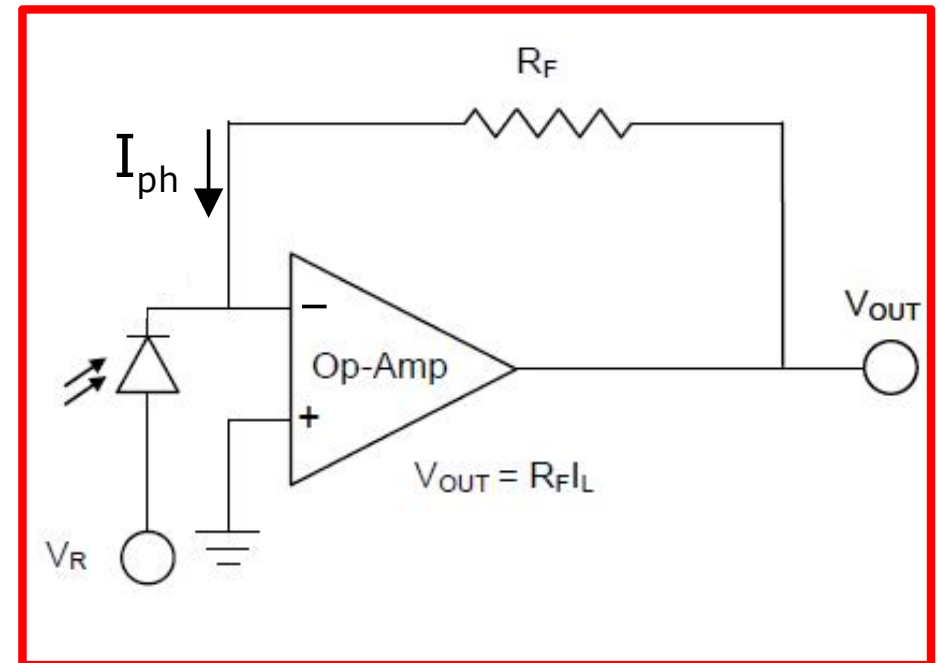
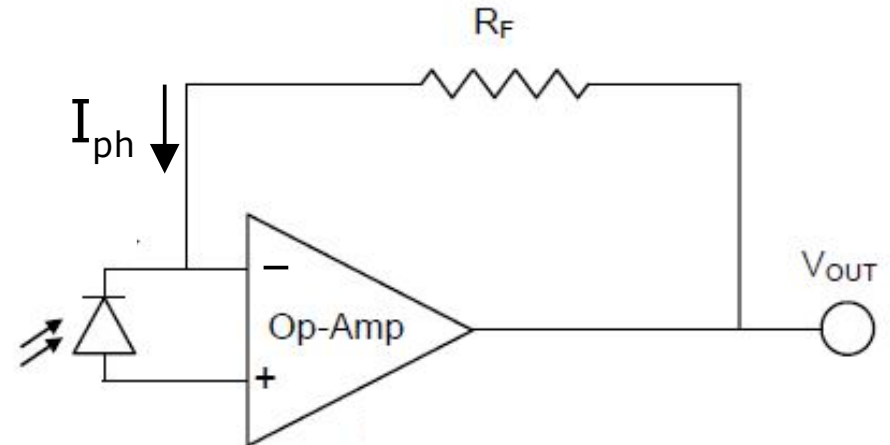
Modalità operative

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

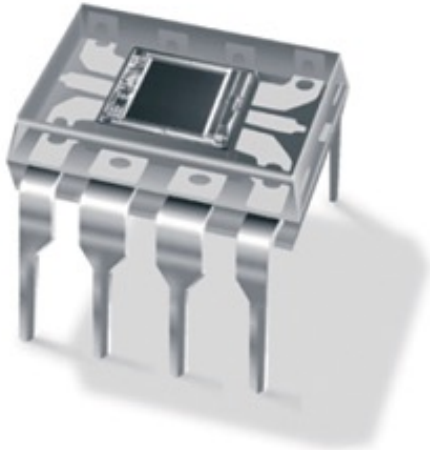
$$V_D = V_T \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right)$$

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

$$I_D = -I_{ph}$$



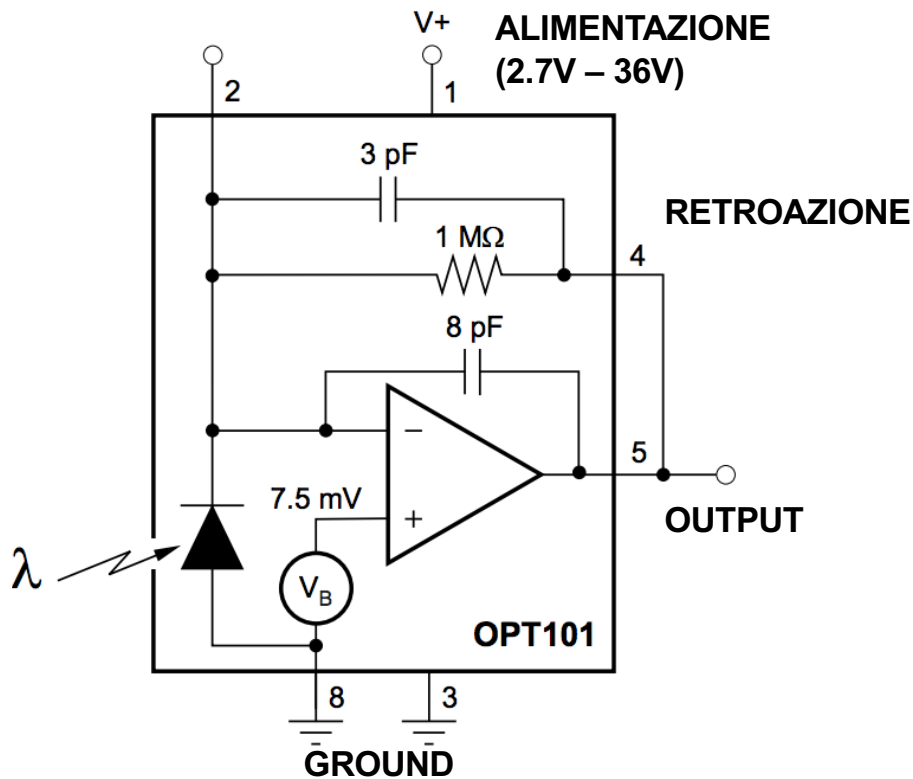
OPT101



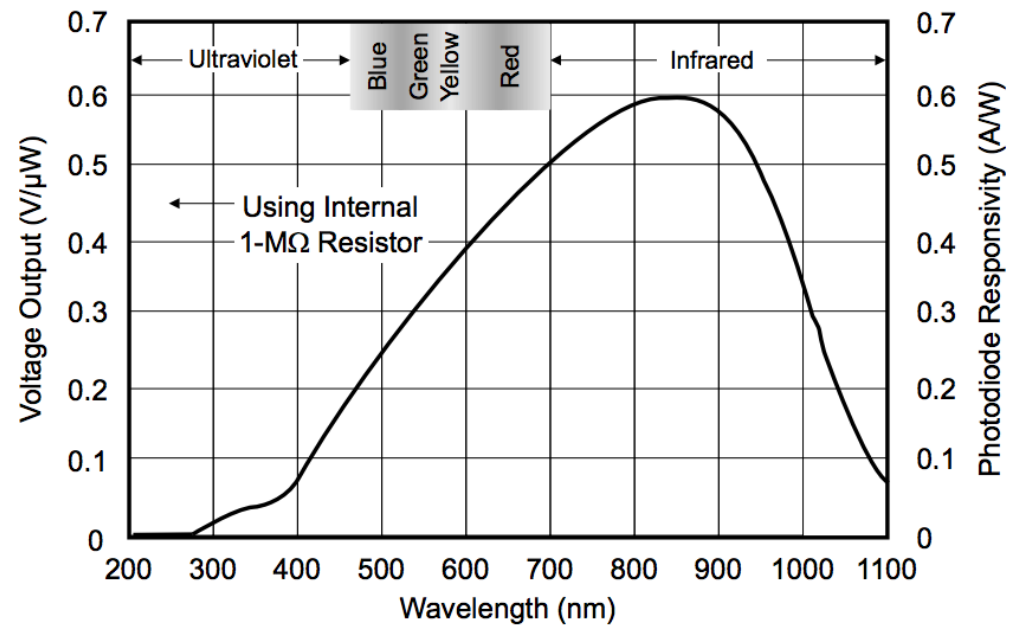
Fotodiode con amplificatore transimpedenza on-chip

(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 Ω Feedback Resistor
- High Responsivity: 0.45 A/W (650 nm)
- Bandwidth: 14 kHz at R_F = 1 M Ω
- Low Quiescent Current: 120 μ 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 μ 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⁽¹⁾

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



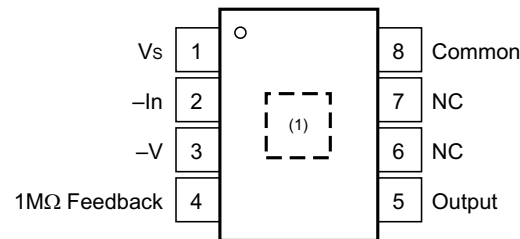
OPT101

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	1MΩ 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 Ω feedback resistor, and $R_L = 10\text{ k}\Omega$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
RESPONSIVITY					
Photodiode current			0.45		A/W
Voltage output			0.45		V/ μW
Voltage output vs temperature			100		ppm/ $^\circ\text{C}$
Unit-to-unit variation			$\pm 5\%$		
Nonlinearity ⁽¹⁾	Full-scale (FS) output = 24 V		± 0.01		% of FS
Photodiode area	0.090 in \times 0.090 in		0.008		in ²
	2.29 mm \times 2.29 mm		5.2		mm ²
DARK ERRORS, RTO⁽²⁾					
Offset voltage, output		5	7.5	10	mV
Offset voltage vs temperature			± 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	$f_B = 0.1\text{ Hz to }20\text{ kHz}$, $V_S = 15\text{ V}$, $V_{\text{PIN3}} = -15\text{ V}$		300		μVrms
TRANSIMPEDANCE GAIN					
Resistor			1		M Ω
Tolerance			$\pm 0.5\%$	$\pm 2\%$	
Tolerance vs temperature			± 50		ppm/ $^\circ\text{C}$
FREQUENCY RESPONSE					
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		μs
Settling time	to 0.05%, $V_{\text{OUT}} = 10\text{-V step}$		160		μs
	to 0.1%, $V_{\text{OUT}} = 10\text{-V step}$		80		μs
	to 1%, $V_{\text{OUT}} = 10\text{-V step}$		70		μs
Overload recovery	100%, return to linear operation		50		μs
OUTPUT					
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
POWER SUPPLY					
Quiescent current	Dark, $V_{\text{PIN3}} = 0\text{ V}$		120		μA
	$R_L = \infty$, $V_{\text{OUT}} = 10\text{ V}$		220		μA

(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 V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Photodiode area	0.090 in × 0.090 in		0.008		in ²
	2.29 mm × 2.29 mm		5.2		mm ²
Current responsivity	$\lambda = 650\text{ nm}$		0.45		A/W
			865		($\mu\text{A/W}$)/cm ²
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⁽¹⁾

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
INPUT					
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 Ω pF
	Common-mode		250 35		G Ω pF
Common-mode input voltage range	Linear operation		0 to $(V_S - 1)$		V
Common-mode rejection			90		dB
OPEN-LOOP GAIN					
Open-loop voltage gain			90		dB
FREQUENCY RESPONSE					
Gain bandwidth product ⁽²⁾			2		MHz
Slew rate			1		V/ μs
Settling time	0.05%		8.0		μs
	0.1%		7.7		μs
	1%		5.8		μs
OUTPUT					
Voltage output, high		$(V_S) - 1.3$	$(V_S) - 1.15$		V
Short-circuit current	$V_S = 36\text{ V}$		15		mA
POWER SUPPLY					
Quiescent current	Dark, $V_{\text{PIN3}} = 0\text{ V}$		120		μA
	$R_L = \infty$, $V_{\text{OUT}} = 10\text{ V}$		220		μA

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

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