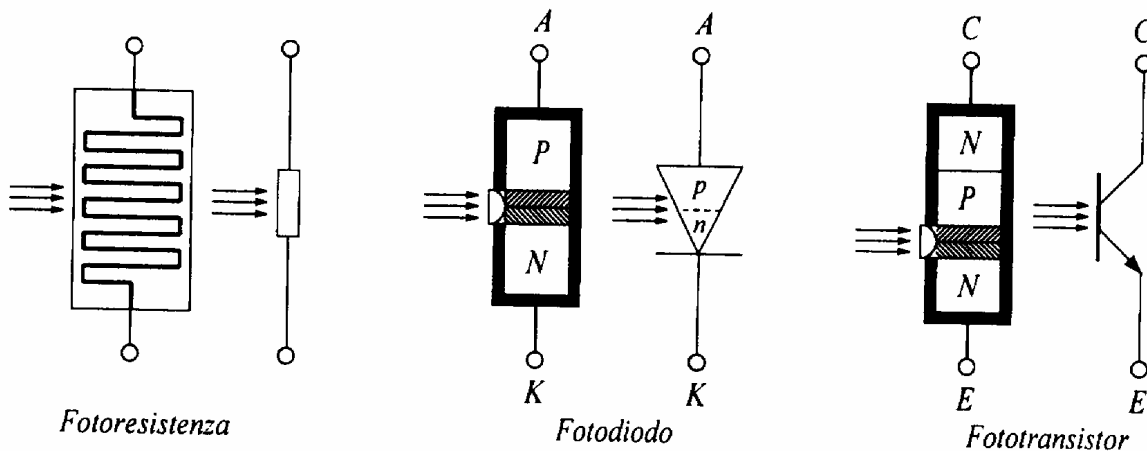


Trasduttori fotoelettrici

Le radiazioni luminose aventi lunghezza d'onda compresa nello spettro della luce visibile modificano le proprietà elettriche di alcune sostanze. Ad esempio nelle fotoresistenze riportate a sinistra la radiazione luminosa incidente varia la conducibilità elettrica mentre nei fotodiodi (al centro in figura) e fototransistor la radiazione luminosa incidente sulla giunzione p-n genera un'intensità di corrente.



FOTORESISTORE NORP-12

I fotoresistori sono costituiti da materiali semiconduttori drogati (solfuro di cadmio o di Pb). Quando la superficie viene esposta alla luce l'energia raggiante assorbita provoca la rottura dei legami covalenti creando cariche libere ossia coppie elettrone-lacuna con aumento della conducibilità e diminuzione conseguente della resistenza del fotoresistore.

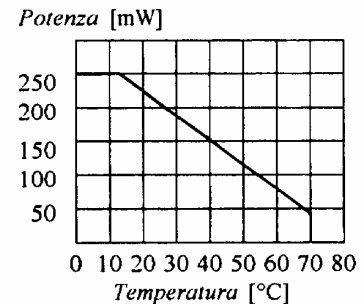
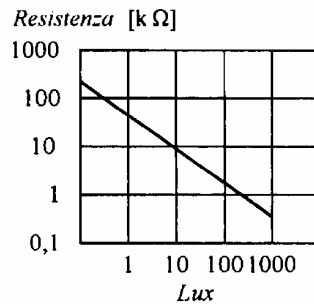
La variazione della resistenza con l'illuminamento segue la seguente legge

$$R = A \cdot E^{-\alpha}$$

- dove A è una costante dimensionale che dipende dalla forma geometrica della superficie esposta alla luce.
- E è l'illuminamento (flusso luminoso incidente sulla superficie unitaria).
- α è una costante adimensionale minore di 1 che dipende dalle tecnologie usate per la costruzione del circuito.

La caratteristica resistenza/illuminamento del trasduttore presenta un'accentuata non linearità ed una pendenza negativa.

Fig. 5.2 –
Caratteristica
resistenza/illuminamento del sensore NORP-12 [RS 651-507].



Per linearizzare la caratteristica resistenza-illuminamento e per renderla crescente con l'illuminamento e per convertire le variazioni di resistenza in una variazione di tensione si possono seguire gli stessi criteri di progettazione utilizzati per gli NTC.

Riportiamo in tabella seguente le caratteristiche elettriche della fotoresistenza.

Caratteristiche elettriche	Valori	Unità misura
Resistenza di oscurità (min.)	1	MΩ
Resistenza di cella a 10 lux	9	kΩ
Resistenza di cella a 1000 lux	400	Ω
Tensione max di picco (AC e DC)	320	V
Corrente max	75	mA
Potenza max (a 25 °C - vedi fig. 5.2)	250	mW
Range di temperatura	- 60 ÷ 75	°C
Capacità di oscurità (tipica)	3,6	pF
Reazione spettrale di picco	0,53	μm

Il circuito seguente realizza la conversione resistenza-tensione. Più precisamente possiamo affermare che:

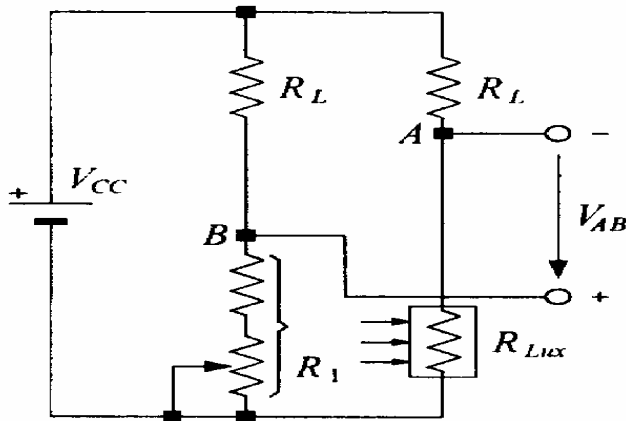
→ la linearizzazione della caratteristica con la resistenza R_L è calcolabile con la formula

$$R_L = \frac{R_{Lmed} (R_{Lmin} + R_{Lmax}) - 2 \cdot R_{Lmin} \cdot R_{Lmax}}{R_{Lmin} + R_{Lmax} - 2 \cdot R_{Lmed}}$$

→ L'equilibrio del ponte si determina con la scelta della resistenza R_1

→ una caratteristica crescente del trasduttore.

→ una uscita in tensione V_{AB} crescente linearmente con l'illuminamento.



Progetto

Si progetti un circuito di condizionamento per il fotoresistore NORP-12 in modo da avere una tensione in uscita variabile linearmente da -5V a 5V quando l'illuminamento varia nell'intervallo [10lux : 1000lux].

Soluzione:

Descriviamo mediante una tabella i valori di resistenza del fotoresistore ai vari illuminamenti.

Lux[lx]	10	100	1000
R [Ω]	9000	3000	400

$$L_{min}=10 \text{ lux} \quad R_{Lmin}=9000\Omega$$

$$L_{max}=1000\text{lux} \quad R_{Lmax}=400\Omega$$

da cui in corrispondenza di $L_{MEDI0} = \frac{L_{MAX} + L_{MIN}}{2} = \frac{10+1000}{2} = 505lux$ si ha come si nota dal

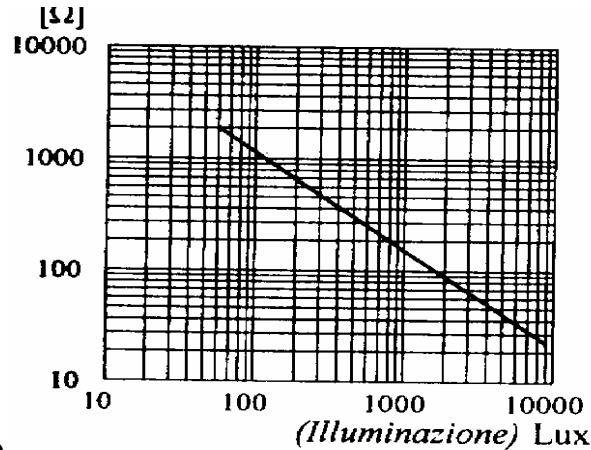


grafico che $R_{Lmedio}=300\Omega$

Utilizzando la relazione $R_L = \frac{R_{Lmed}(R_{Lmin} + R_{Lmax}) - 2 \cdot R_{Lmin} \cdot R_{Lmax}}{R_{Lmin} + R_{Lmax} - 2 \cdot R_{Lmed}}$ si ricava per sostituzione che

$R_L=305\Omega$ (Val. comm.: 330 Ω).

Il circuito di condizionamento, comprensivo di resistenza di linearizzazione R_L , è riportato in figura seguente.

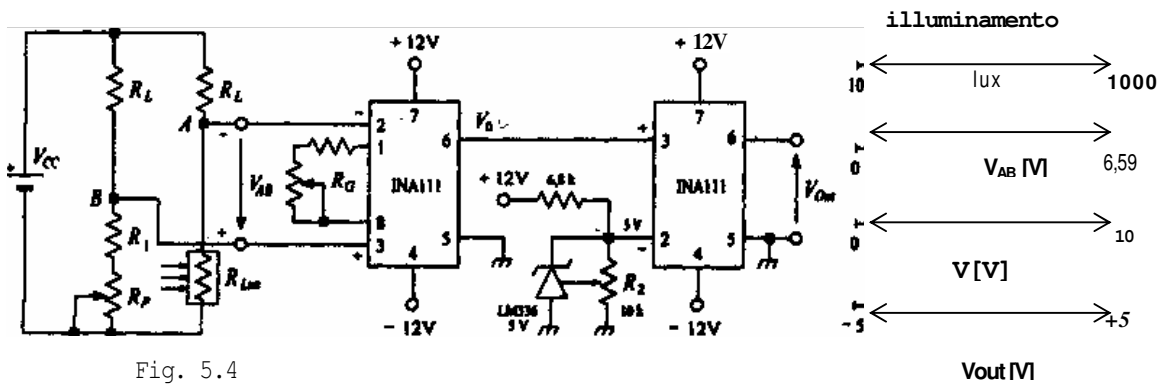


Fig. 5.4

Nel dimensionare i componenti si suppone che nella condizione di funzionamento più gravosa, corrispondente ad un illuminamento di 1000 lx ($R_{LUX} = 400 \Omega$), il fotoresistore sia attraversato da un'intensità di corrente minore di 75 mA. Con i componenti scelti ed una tensione di alimentazione $V_{cc} = 12 V$, si ha un'intensità di corrente minore di 75 mA.

$$I(R_{lux} = 400\Omega) = \frac{V_{cc}}{R_{LUX} + R_L} = \frac{12}{730} = 16,4mA$$

La resistenza di bilanciamento ($R_1 + R_p$), dimensionata per l'illuminamento di 10 lux, è tenendo conto della condizione di equilibrio del ponte: $(R_1 + R_p) \cdot R_L = R_{lux} \cdot R_L \Rightarrow R_1 + R_p = R_{lux} = 9K\Omega$ (valore comm. 8,2K Ω +1K Ω trimmer)

Dopo aver regolato il trimmer R_p per l'offset si calcola la tensione V_{BA} per il massimo illuminamento 1000lux.

$$V_{BA} = \left(\frac{R_1 + R_p}{R_1 + R_p + R_L} - \frac{R_{LUX}}{R_{LUX} + R_L} \right) V_{cc} = \left(\frac{9000}{9000 + 330} - \frac{400}{330 + 400} \right) \cdot 12 = 5,00V$$

Si conclude che la tensione vale 0V in corrispondenza di 10lux e 5V in corrispondenza di 1000lux. Poiché il range d'uscita richiesto è compreso tra - 5 V e + 5 V, si fissa la tensione V_o (pin 6 del primo amplificatore per strumentazione INA111) uguale a 10 V. Il guadagno G dell'amplificatore per strumentazione e la resistenza R_G devono assumere i seguenti

valori: $G_1 = \frac{V_o}{V_{BA}(1000lux)} = \frac{10}{5} = 2$. Se ricordiamo che il guadagno, in un

amplificatore per strumentazione vale $G = 1 + \frac{2 \cdot R}{R_G} \Rightarrow R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1}$ con $R = 25K\Omega$

per cui $R_G = \frac{50 \cdot 10^3}{2 - 1} = 50K\Omega$ (valore comm. 47K Ω + trimmer 5K Ω)

Il diodo di riferimento LM336-5 V genera la tensione di riferimento $V_{ref}=5V$ applicata all'ingresso invertente del secondo amplificatore per strumentazione il quale trasla la caratteristica precedentemente ottenuta ($V_0 = 0 V$;+ 10 V) in modo da realizzare il range della tensione d'uscita V_{out} richiesto dal progetto.

Infatti con $R_G \rightarrow \infty$ si ha che $V_{out} = \left(1 + \frac{2R}{R_G}\right) \cdot (V_3 - V_2) \rightarrow V_3 - V_2$ Se faccio in modo

da imporre su $V_2=5V$ fisse in qualunque condizioni di illuminamento la

tensione che dipende dall'illuminamento è solo $V_3=V_0$. In particolare $V_0=0V$ quando $E=10\text{lux}$ per cui $V_{\text{out}}(10\text{lux})=-V_3=-5V$ e quando $E=1000\text{lux}$ si ha $V_3=V_0=10V$ per cui $V_{\text{out}}=10-5=5V$.

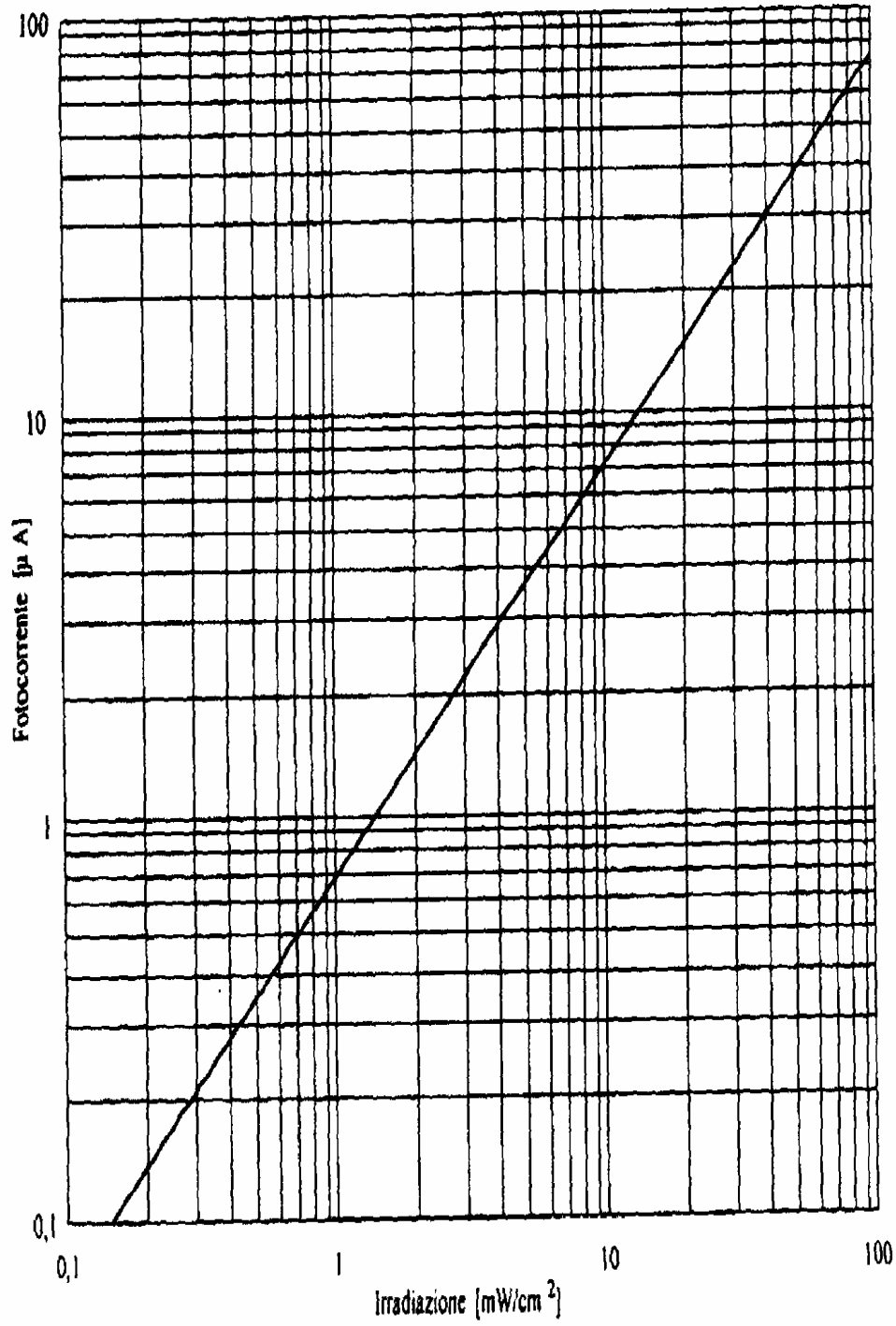
Per generare una tensione fissa di 5V sul pin 2 del secondo amplificatore per strumentazione utilizzo un diodo zener LM336 e si dimensionano opportunamente le resistenze del partitore.

Il fotodiode

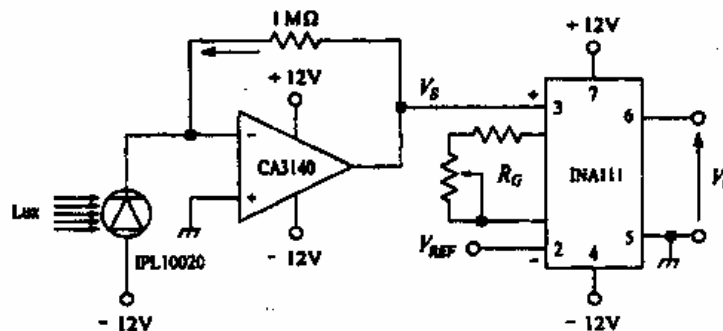
Struttura e caratteristiche

Se la giunzione p-n di un fotodiode, polarizzata inversamente, è sottoposta a radiazioni luminose, all'interno della zona di svuotamento si genera una fotocorrente a causa della ricombinazione delle coppie lacune-elettroni.

La caratteristica *corrente/illuminamento* di un fotodiode è quasi lineare e la risposta spettrale dipende dal tipo di materiale impiegato per la costruzione e dalla percentuale di materiale drogante. La sensibilità è bassa (qualche decina di nA/lx). Nella figura seguente è riportata la caratteristica del fotodiode IPL10Q20 [RS 305-462]. Le caratteristiche elettriche sono riportate nella tabella 5.3.



Risposta spettrale	350 - 1100	nm
	750	nm
	1,4	nA
Tensione inversa	- 80	V
Corrente diretta max	100	mA
Corrente nominale	0,001 + 1	mA
Potenza max (25 °C)	200	mW



Utilizzo

Nella figura 5.6 è riportato lo schema di un circuito di utilizzazione del fotodiode IPL10020. L'amplificatore operazionale che funge da convertitore corrente-tensione, ad elevata impedenza d'ingresso, converte la fotocorrente in tensione. L'amplificatore per strumentazione realizza l'offset ed il fattore di scala. Si lascia allo studente studioso il dimensionamento della tensione di riferimento V_{REF} e della R_G (nello schema elettrico è riportata come somma di due resistenze per la taratura) in funzione delle specifiche di progetto.

Il fototransistor

Struttura e caratteristiche

Il fototransistor è un sensore di luminosità che sfrutta il principio di funzionamento del fotodiode.

L'intensità di corrente, generata dalla giunzione base emettitore, è amplificata e la sensibilità può raggiungere valori di qualche $\mu\text{A}/\text{lx}$.

Utilizzo

Per aumentare la sensibilità si utilizza la connessione Darlington. I fototransistor trovano largo impiego nei fotoaccoppiatori e negli encoder incrementali ed assoluti. Nella tabella 5.4 sono riportate le caratteristiche del fototransistor della Honeywell [SDP8405] a raggi infrarossi.

Tensione max	30	V
Corrente max	24	mA
Fotocorrente	12	mA
Corrente di buio	100	nA
Corrente diretta max	100	mA
Tempo di salita t_r	15	μs
Tempo di caduta t_f	15	μs
	0,4	V
Potenza dissipata	70	mW
	-40 + + 100	$^{\circ}\text{C}$

