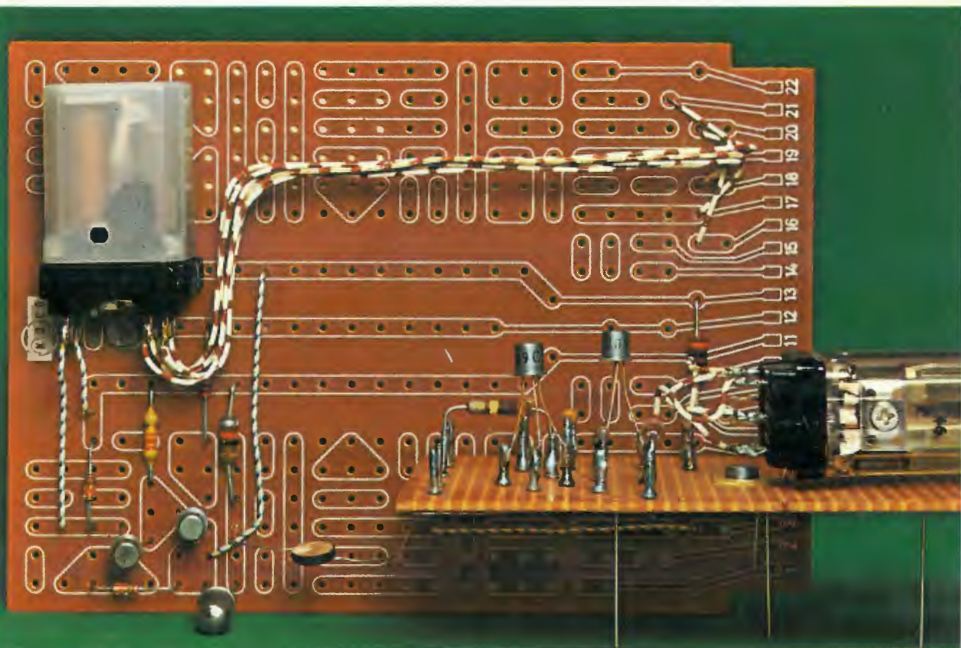


**biblioteca
tascabile
elettronica**

2

richard zierl

come si lavora con i transistori



franco muzzio & c. editore

**prima parte :
i collegamenti**

biblioteca tascabile elettronica

coordinata da Mauro Boscarol

2

franco muzzio & c. editore

Richard Zierl

come si lavora con i transistori

Prima parte:
i collegamenti

2^a edizione riveduta e corretta
Con 36 disegni nel testo
e 8 foto su 4 tavole

franco muzzio & c. editore

Copertina di Edgar Dambacher da una foto di Uwe Höch
36 disegni di Hans-Hermann Kropf
e 8 foto dell'autore

Traduzione di Roberto Chistè

© 1975, 1977 franco muzzio & c. editore

Piazza de Gasperi, 12 35100 Padova

Titolo originale dell'opera: « So arbeitet man mit Transistoren »

© 1973 Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart

Finito di stampare da Industria Grafica Moderna S.p.A. - Verona nel Febbraio 1977

Tutti i diritti sono riservati

Come si lavora con i transistori

Prima parte

1. Piccolo ABC del transistore	7
1.1 Una scoperta ricca di conseguenze	7
1.2 BC 147: non è un codice segreto	8
1.3 Fisica dei semiconduttori	12
1.4 Altre notizie pratiche	14
2. Il transistore come interruttore	16
2.1 Interruttore per lampadine ad incandescenza	16
2.2 Esperimenti con l'interruttore per lampadina	18
2.3 Interruttore per lampada fluorescente	20
2.4 Interruttore a relè	22
2.5 Interruttore a contatto (sensore tattile)	25
3. Interruttori termici	29
3.1 Un termostato per temperature d'ambiente	29
3.2 Montaggio ed uso	31
4. Barriere luminose	36
4.1 Il circuito	37
4.2 Montaggio ed uso	40
5. Il transistore in auto	45
5.1 Progetto di un interruttore ad intermittenza	45
5.2 Montaggio dell'interruttore ad intermittenza	49
6. Dai transistori si può ottenere ancora di più	54
6.1 Il diodo Zener variabile	54
6.2 Un amplificatore per cuffia	56
6.3 Montaggio dell'amplificatore per cuffia	57
7. Raccolta di formule usuali	59

8. Letture	61
9. Guida all'acquisto	63
10. Indice analitico	64

1. Piccolo ABC del transistoro

In questo volumetto impareremo a conoscere un componente elettronico moderno ed usatissimo, il transistoro. A questo scopo ci serviremo di semplici applicazioni che mettono in evidenza le diverse possibilità di collegamento di questo componente semiconduttore.

1.1 Una scoperta ricca di conseguenze

La parola « semiconduttori » indica una classe di sostanze, per esempio il silicio ed il germanio, che conducono la corrente meglio di alcune, dette isolanti (vetro, porcellana) ma peggio di altre, dette conduttori (metalli). Se, mediante esperienze di conducibilità effettuate nelle stesse condizioni, si misura la resistenza di un isolante, un semiconduttore ed un conduttore, si rileva che, posta uguale ad 1 quella del semiconduttore, quella dell'isolante è 10^{12} mentre quella del conduttore è 10^{-7} . L'ordine di grandezza della resistenza del semiconduttore sta dunque tra quella dell'isolante e quella del conduttore: da questa caratteristica il nome « semiconduttore ».

I semiconduttori acquistarono grande importanza in seguito all'invenzione del transistoro ad opera dei ricercatori J. Bardeen, W. Brattain e W. Shockley, della Bell Telephone. Fin dalla sua nascita, nel 1948, questo componente elettronico ebbe prestazioni così promettenti da determinarne svariate applicazioni ed al tempo stesso promuoverne quel suo ulteriore sviluppo tecnologico che segnò un'autentica rivoluzione nel campo dell'elettronica. Già pochi anni dopo la sua scoperta ne fu possibile una produzione intensiva che in breve tempo lo rese in grado di soppiantare in parecchi campi i tubi elettronici, utilizzati da decenni.

Uno dei suoi molteplici vantaggi era ed è l'ingombro minimo: proprio questa caratteristica dava nuovo impulso alla ancor giovane tecnica dei circuiti miniaturizzati. La tecnologia dei circuiti miniaturizzati nacque soprattutto per due motivi. In primo luogo si cominciò a credere nei computer e si cercò, con l'ausilio della miniaturizzazione, di giungere a circuiti di piccole dimensioni. In secondo luogo la sempre più raffinata tecnica missilistica esigeva circuiti elettronici sempre più piccoli.

Dal 1960 il transistor comincia definitivamente a percorrere la sua strada vittoriosa. Dalle radio portatili agli impianti stereofonici, dai televisori ai registratori, dai controlli automatici delle macchine utensili fino alle pompe ad iniezione per la benzina, tutto è costruito coi transistori. Solo con il loro aiuto è possibile mandare astronauti sulla luna, riprendendo immagini televisive con telecamere portatili e diffondendole in tutto il mondo per mezzo dei satelliti. Tutto questo sarebbe impensabile senza la scoperta del transistor.

1.2 BC 147: non è un codice segreto

Lavorando coi transistori, due fatti sono particolarmente importanti: le caratteristiche di un determinato tipo e i suoi possibili collegamenti.

Si esaurirebbe l'argomento avendo a disposizione un catalogo sulle caratteristiche dei transistori (si può trovare dai rivenditori specializzati); tuttavia esso è posseduto da una minima parte degli hobbysti d'elettronica. Lavorando con l'aiuto di un buon progetto si incontreranno difficoltà minori, poiché su di esso sarà indicato lo schema di collegamento dei semiconduttori. Ma proprio per rendere interessante la sperimentazione e la realizzazione di una propria idea, ipotizziamo di non aver a disposizione questi aiuti. Ora, esistono così tanti e diversi tipi di transistori, che non è possibile in questa sede, sia pur in minima parte, presentarli ed esaminarli tutti. Tuttavia, se l'elettronico dilettante viene posto in grado di saper interpretare la sigla che caratterizza ogni transistor,

potrà trarne notevoli vantaggi per il proprio lavoro. Vediamo come.

In Europa tutti i transistori e i diodi portano una indicazione unificata, composta da un gruppo di lettere e cifre. Sui transistori per uso generale ci sono due lettere e tre cifre; gli esemplari ad alte prestazioni (detti professionali) presentano tre lettere e due cifre. In ogni caso le prime due lettere formano il codice, mentre le tre cifre, o la terza lettera con le due cifre, indicano il numero di serie. Le prime due lettere ci possono già dare una serie di interessanti informazioni.

La prima lettera caratterizza il materiale semiconduttore usato:

- A per il germanio
- B per il silicio
- C, D per diversi altri materiali, poco importanti per l'hobbyista
- R per i semiconduttori per fotoconduttori e generatori di Hall.

Con ciò abbiamo ottenuto un'importante informazione. Infatti, come vedremo più avanti, le proprietà di un transistor dipendono in gran misura dal materiale di cui è composto.

La seconda lettera specifica ancor più particolareggiatamente le caratteristiche del semiconduttore. Tale lettera ha questo significato:

- A Diodo (eccettuati i diodi di potenza e diodi Zener)
- B Diodo a capacità variabile
- C Transistore di piccola potenza da usarsi nell'ambito delle frequenze audio
- D Transistore di potenza da usarsi nell'ambito delle frequenze audio
- E Diodo ad effetto tunnel
- F Transistore di piccola potenza per alta frequenza
- L Transistore di potenza per alta frequenza
- P Componenti fotosensibili (per esempio fotoelementi)

- Q Elementi fotoemettitori (per esempio diodi a luminescenza)
- S Transistori per commutazione di piccola potenza
- T Tiristori, fototiristori
- U Transistori per commutazione di potenza
- Y Diodi di potenza
- Z Diodi Zener

I transistori per usi professionali vengono contrassegnati nella stessa maniera: come terza lettera vengono usate Z, Y, X, W e così via. Con ciò abbiamo già un sufficiente bagaglio di conoscenze sulle proprietà dei transistori. Nel seguito impareremo come, partendo da questi dati, si possano ricostruire le possibilità di impiego di un transistor. Prima vediamo però come determinare i terminali di un transistor sconosciuto.

A tal scopo occorre possedere uno strumento per misurare le resistenze, per esempio un tester. Dapprima stabiliremo, per mezzo di una misurazione, le polarità dei due terminali dello strumento. Nella maggior parte dei casi quello nero è negativo e quello rosso positivo. Sul filo nero inseriamo una resistenza da 1 k Ω . Con l'aiuto dei seguenti quattro schemi si è in grado di determinare i terminali della base (B) dell'emettitore (E) e del collettore (C).

Transistori al germanio PNP

		Filo rosso (+)		
		B	C	E
Filo nero (-)	1	B	-	P
		C	G	-
		E	G	G

Transistori al germanio NPN

		Filo rosso (+)		
		B	C	E
Filo nero (-)	2	B	-	G
		C	P	-
		E	P	M

Transistori al silicio PNP

		Filo rosso (+)		
		B	C	E
Filo nero (-)	B	-	P	P
	C	MG	-	MG (1)
	E	MG	MG (2)	-

Transistori al silicio NPN

		Filo rosso (+)		
		B	C	E
Filo nero (-)	B	-	MG	MG
	C	P	-	MG (2)
	E	M	MG (1)	-

Resistenza: P = piccola M = media G = grande

MG = molto grande

(1) = se si tocca la base con un dito umido, la resistenza cala considerevolmente

(2) = se si tocca la base con un dito umido la resistenza non cala

Ancora qualche cenno per la determinazione dei terminali di un transistor. Per alcuni transistori, specialmente quelli di potenza, l'involucro esterno rappresenta uno degli elettrodi. Per determinarlo, colleghiamo un polo dell'Ohmmetro all'involucro del transistor e con l'altro tocchiamo successivamente i piedini del transistor. Se esiste un collegamento interno l'Ohmmetro segnerà una resistenza nulla. In alcuni transistori per alte frequenze, oltre ai tre piedini normali, E, B, C, ne troviamo un quarto collegato con l'involucro del transistor che può quindi essere messo a massa. I collegamenti tra i terminali del transistor e dello strumento di misura dovranno essere fatti con l'uso di puntali. Usando le dita si ottengono effetti indesiderati: specialmente se si cerca il collettore nei transistori al silicio si può toccare con le dita solo la base. Concludiamo dicendo che questo metodo di determinazione dei

terminali di un transistoro ha efficacia solo per transistori normali o « bipolari ».

Per tornare al titolo di questo paragrafo, BC 147 per l'esperto non è un codice segreto, ma la descrizione di un transistoro al silicio di bassa potenza, usato nel campo delle frequenze audio.

1.3 Fisica dei semiconduttori

Per una conoscenza dei transistori è necessario sapere qualcosa sulla fisica dei semiconduttori.

Introducendo in un monocristallo puro di semiconduttore un certo numero di atomi di un elemento pentavalente come l'arsenico, si aumentano gli elettroni liberi presenti nel cristallo semiconduttore: si ottiene così un cristallo semiconduttore con un elevato numero di elettroni mobili (caricati negativamente) e il semiconduttore così preparato si dice « semiconduttore di tipo N ». Se invece si introduce nel monocristallo di partenza un certo numero di atomi di un

elemento trivalente come l'indio, si creano delle cariche elettriche positive libere dette « lacune », ottenendo così un « semiconduttore di tipo P ». Il monocristallo così preparato viene detto « drogato ». Il « drogaggio » è raffigurato in fig. 1.1.

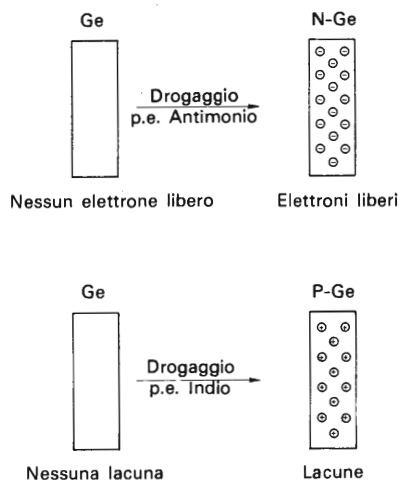


Fig. 1.1. Esempio di « drogaggio » di un cristallo di germanio

Se si prende un cristallo di germanio di tipo P ed un cristallo di germanio di tipo N e si congiungono, le cariche positive della zona P tendono a « diffondere » attraverso la giunzione e a passare alla zona N, mentre le cariche negative della zona N tendono a diffondersi nella zona P. Raggiunta una certa differenza di potenziale (tensione di diffusione) tra le due zone, questo processo termina (fig. 1.2). La tensione ha un valore di 0,3 V per il germanio e 0,7 V per il silicio. Se si applica una tensione esterna (di polarizzazione) negativa alla zona N e positiva alla zona P, non si ha passaggio di corrente fino a che la tensione applicata non raggiunge il valore della tensione di diffusione. Se si inverte la polarità della tensione esterna non si ha passaggio di corrente, poiché nella zona N non viene fornito nessun elettrone, al contrario ne vengono risucchiati; analogamente nella zona P.

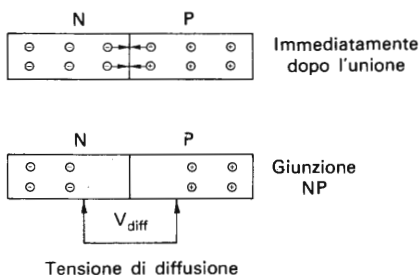


Fig. 1.2. Diffusione di cariche nella giunzione PN

Un transistor è sempre costituito di tre strati di semiconduttore, nella sequenza PNP o NPN. Osserviamo in fig. 1.3 un transistor NPN. L'emettitore consiste di una parte di semiconduttore drogata N. Segue poi una parte più sottile drogata P, la base, ed infine di nuovo una parte drogata N, il collettore. La base sta tra le due zone N ed è facile immaginare che essa è atta a regolare il flusso di corrente tra E e C. Con il terminale della base può essere pilotata la corrente che attraversa il transistor.

In fig. 1.3 sono indicati i segni delle tensioni di polarizzazione applicate ad un transistor NPN. Tra E e C è posta la tensione $V_1 + V_2$ (ambedue i generatori di tensione sono collegati in serie); V_2 è maggiore di V_1 . Tra E e B, una giunzione NP, vi è la tensione V_1 . Come sappiamo questa zona entra in conduzione quando V_1 raggiunge la tensione di diffusione. Inizialmente tra E e

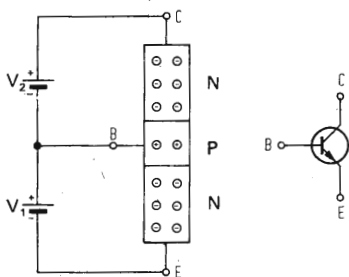


Fig. 1.3. Transistore NPN; polarizzazione e simbolo

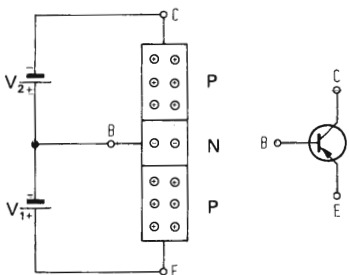


Fig. 1.4. Transistore PNP; polarizzazione e simbolo

C non può esservi alcun passaggio di corrente, poiché la polarità di $V_1 + V_2$ è tale che la conduzione da B a C, una giunzione PN, non avviene. Se V_1 raggiunge la tensione di diffusione, allora alcuni degli elettroni dell'emettitore fluiscono nello strato P della base. Una parte delle cariche verrà catturata, attraverso la giunzione di base, dal polo positivo del generatore V_1 . Però, data la maggior tensione del generatore V_2 , la maggior parte degli elettroni attraversa la zona P e scorre attraverso la giunzione di collettore al polo positivo del generatore V_2 . In conclusione, per mezzo della tensione di base, qui indicata con V_1 , la

corrente del transistore può essere opportunamente regolata.

Lo stesso discorso vale per il transistore PNP. Solo la polarità del generatore di tensione deve essere adattata allo scambio delle zone di conduzione, come mostra la fig. 1.4.

1.4 Altre notizie pratiche

Il lavoro manuale con il transistore richiede particolare attenzione per due ragioni: quanto più i piedini del transistore sono corti, tanto più facile sarà romperli con piccoli movimenti inevitabili: lasciamo quindi i piedini del transistore il più lunghi possibile. Il

secondo punto critico è la saldatura: i semiconduttori infatti, sono molto sensibili alla temperatura. Se, saldandoli, li riscaldiamo troppo, si rovineranno irreparabilmente. Durante la saldatura dovremmo quindi tenere i piedini del transistoro con le pinzette, per poter dissipare il calore. Occorrerà inoltre usare un saldatore con una potenza tra i 15 e i 30 W. La punta del saldatore dovrà essere pulita e ben stagnata, il saldatore collegato a terra e il tempo di saldatura non superiore a 5 secondi. In ogni caso il circuito sarà staccato dall'alimentazione.

Il transistoro deve essere protetto da tensioni troppo elevate e da correnti troppo intense. Nel caso che i dati precisi non siano noti, la tensione di lavoro dovrà essere compresa fra 12 e 20 V; la tensione tra base ed emettitore non potrà superare i 0,3 V per i transistori al germanio e i 0,7 V per quelli al silicio.

Il circuito dovrà essere costruito in modo tale che inizialmente nel transistoro passi una corrente la cui intensità sia la più piccola possibile, elevandola poi a poco a poco. Toccando con un dito l'involucro del transistoro si può sentire se comincia a scaldarsi: in questo caso la corrente dovrà essere abbassata un po' e in tal modo si trova il valore di corrente che può essere sopportato dal transistoro.

Il germanio sopporta temperature fino a 75 °C, il silicio fino a 150 °C. Perciò occorre che l'involucro del transistoro sia mantenuto a bassa temperatura. A causa di questa sensibilità alla temperatura, specialmente i transistori di potenza dovranno essere raffreddati. A questo scopo li si monta su piastre metalliche, generalmente d'alluminio, che, tra i metalli, è il miglior dispersore di calore. C'è anche da dire che nei transistori di potenza l'involucro è direttamente collegato con il collettore. Occorre quindi montare isolata la piastra di raffreddamento o, se ciò non è possibile, il transistoro dovrà essere fissato alla piastra per mezzo di apposite rondelle isolanti. In commercio si trovano transistori a partire da poche centinaia di Lire: si tratta per lo più di transistori di largo uso, di importazione o d'eccedenza. Per i nostri scopi sperimentali dovremo procurarci una manciata di questi transistori; nella costruzione del circuito finale ricorremo invece ai tipi originali.

2. Il transistore come interruttore

In questo capitolo impareremo a conoscere il transistore in una delle sue più importanti applicazioni: come interruttore. A questo scopo iniziamo il nostro lavoro dando una occhiata al semplice modello di transistore della fig. 2.1: qui il transistore ha semplicemente la funzione di interruttore. Solo che questo interruttore non è azionato manualmente, ma con la corrente elettrica. L'intensità di tale corrente la stabiliremo per tentativi. Si dimostra che il rapporto tra la corrente interrotta e inserita dal transistore, e la corrente necessaria per farlo funzionare è maggiore di 100. Ciò spiega il grosso vantaggio di questo interruttore: per interrompere grandi correnti è sufficiente una corrente di polarizzazione molto più piccola.

2.1 Interruttore per lampadine ad incandescenza

Di fronte al problema di accendere e spegnere una lampadina, saremmo tentati di pensare che un normale interruttore possa risolverlo in ogni caso in maniera più che soddisfacente. La qual cosa non è, come mostrano i seguenti ragionamenti.

Come ognuno di noi ha osservato, interrompendo correnti intense, sui contatti dell'interruttore si vedono delle scintille, e perciò localmente esistono altissime temperature. In seguito a ciò hanno luogo diversi processi chimico-fisici a livello di

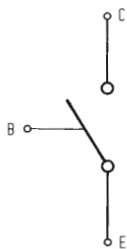


Fig. 2.1. Semplice modello di interruttore a transistor

contatti, che lentamente li rovinano. Un giorno l'interruttore sarà carbonizzato e non più in grado di assolvere il suo compito. Per questa ragione, per gli interruttori sensibili, si dà un limite superiore di corrente, oltre la quale l'interruttore non può funzionare. Esistono interruttori che funzionano fino ad un massimo di 1 mA (per esempio microrelè) e quindi non sono adatti come interruttori per lampadine: questi ultimi richiedono circa 50 mA. Una possibile soluzione è l'uso del transistor come interruttore.

La fig. 2.2 mostra lo schema del circuito. Attraverso la resistenza R1 passa la corrente di polarizzazione di base, che interdice o manda in conduzione il transistor. Attraverso l'emettitore ed il collettore, a transistor non interdetto, passa la corrente di 50 mA necessaria per il funzionamento della lampadina. L'interruttore S interrompe la corrente del generatore da 1,5 V inserito sulla base. Come piano di costruzione adoperiamo una tavoletta. Secondo lo schema della fig. 2.3, scegliamo una tavoletta robusta di legno compensato spesso dai 6 ai 10 millimetri, su cui piantiamo delle puntine da disegno come si vede in figura. Dopo aver stagnato le teste delle puntine da disegno con un saldatore ben caldo, le colleghiamo con un filo elettrico secondo la disposizione della fig. 2.3. Infine dovranno essere saldati i tre componenti R1, T1 e La 1.

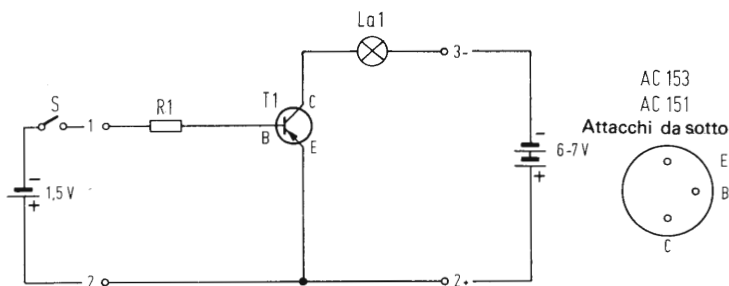


Fig. 2.2. Interruttore per lampada ad incandescenza con transistor al germanio

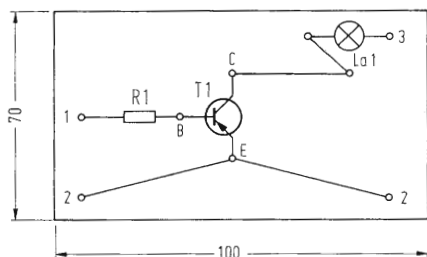


Fig. 2.3. Schema di montaggio su tavoletta dell'interruttore per lampada ad incandescenza

Elenco dei componenti:

- T1 transistore al germanio AC 151, AC 153 o simili
 R1 resistore 1,2 k Ω , 1/20 W
 La 1 lampadina ad incandescenza 6 V, 50 mA con supporto
 tavoletta di compensato 100 x 70 x 10 mm

Nella saldatura del transistore occorre far attenzione a collegarlo correttamente come indicato in fig. 2.2 e saldarlo con le dovute cautele. La foto 1 di tavola 1 mostra il lavoro finito.

2.2 Esperimenti con l'interruttore per lampadina

Innanzitutto determiniamo il fattore di amplificazione dell'interruttore a transistore. A tal scopo diamo a R1 diversi valori, per esempio 10 k Ω , 5 k Ω , 2,5 k Ω e 1,2 k Ω . Tra il polo negativo della batteria da 1,5 V ed il terminale 1 inseriamo uno strumento di misura avente una sensibilità dell'ordine di 1 mA. Per ogni singolo valore della resistenza rileviamo la corrente di base e osserviamo se la lampadina si accende. Quando la lampadina dà una luce sufficientemente intensa, il nostro interruttore a transistore è nella condizione di funzionamento. Sullo strumento di misura rileveremo un valore di circa 0,5 mA. Il rapporto tra corrente di carico e corrente pilota è dunque $50 : 0,5 = 100$. Questo valore è quindi il fattore di amplificazione di corrente del transistore al germanio usato. Data la gran quantità di transistori al germanio presenti in

commercio, tale valore può variare in più o in meno. Teniamo a mente questo numero: in un successivo esperimento lo confronteremo con il corrispondente valore del transistor al silicio. Prima però un'altra esperienza.

Ogni volta che accendiamo una lampadina, la sua vita diminuisce. Sarebbe perciò vantaggioso, specialmente nel caso di lampade costose, riuscire ad accenderle lentamente. Con il nostro interruttore a transistor ciò si può fare facilmente. È noto che un condensatore è in grado di immagazzinare cariche elettriche: quanto maggiore è la capacità tanto più grande il potere di immagazzinamento. Inoltre il condensatore, per caricarsi, richiede un certo tempo. Sfruttiamo queste proprietà.

Se si pone un condensatore elettrolitico tra la base e l'emettitore,

come si vede in fig. 2.4, si possono fare queste constatazioni: dopo la chiusura del circuito di polarizzazione di base la lampadina comincia ad illuminarsi a poco a poco, e soltanto dopo un certo tempo (tempo di ritardo) raggiunge la completa luminosità. Tale tempo di ritardo dipende, tra

l'altro, dalla capacità del condensatore. Con un C1 di $4700 \mu\text{F}/3\text{V}$ si possono ottenere ritardi dell'ordine del secondo. La spiegazione di questo fatto è semplicissima. Dopo aver collegato la batteria da 1,5 V, il condensatore si carica attraverso R1, mentre la tensione alla base cresce lentamente da 0 fino al valore della tensione di soglia.

Appena il valore della tensione di soglia è raggiunto, dopo il tempo di ritardo, la lampadina brilla di piena luce.

Potremmo condurre una serie di ulteriori esperienze con questo circuito: qui di seguito ne descriveremo soltanto una fra le più significative.

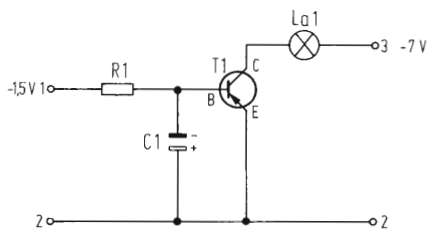


Fig. 2.4. Interruttore a transistor con accensione ritardata

Si cambi il transistore al germanio PNP con uno al silicio NPN, ad esempio il BC 108 B o altri simili, giungendo così al circuito di fig. 2.5. Occorre fare specialmente attenzione all'inversione di polarità dei generatori di tensione. Misurando con l'amperometro la corrente di base per diversi valori di R_1 , fino a che la lampadina brilla, troviamo un valore di circa $160 \mu\text{A}$. L'amplificazione di corrente è quindi ora di $50 : 0,16 = 313$. Il transistore al silicio presenta quindi un'amplificazione circa tre volte maggiore di quello al germanio. Questa proprietà ha importanti conseguenze tecnologiche.

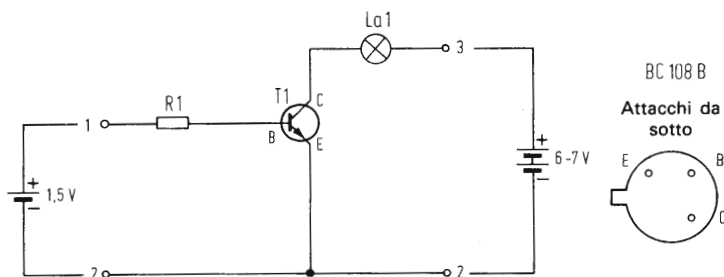


Fig. 2.5. Interruttore a transistore con transistore al silicio

Per finire, una nota circa l'alimentazione di corrente del nostro circuito sperimentale. Tutte le esperienze sono state fatte con batterie collegate in serie per ottenere tensioni più alte. Sarebbe tuttavia più comodo ed economico lavorare con apparecchi collegati direttamente alla tensione di rete. Nella seconda parte di questo piccolo corso pratico sui transistori ne verrà descritto uno particolarmente adatto.

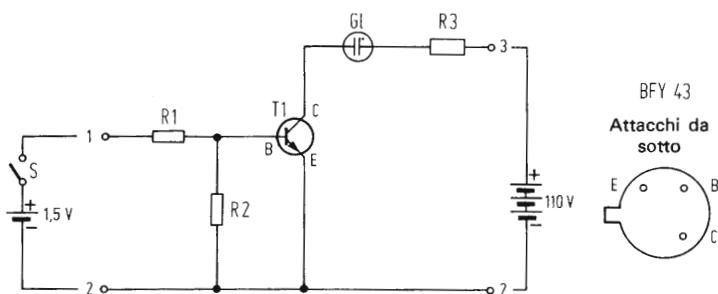
2.3. Interruttore per lampada fluorescente

In questo paragrafo impareremo a conoscere un'altra utilizzazione del transistore come interruttore.

Supponiamo di dover accendere e spegnere una lampada fluorescente. Questo tipo di lampada è molto usato dai costruttori di impianti, poiché consumano poca corrente, circa un mA, ed hanno una lunga durata. Inoltre, contrariamente alle lampadine ad incandescenza, non sviluppano calore. Visto il valore della corrente, per queste lampade potremmo usare normali interruttori. In pratica ciò non è possibile per motivi di sicurezza, poiché il funzionamento di queste lampade richiede una tensione continua tra i 100 e 200 V; quindi sui circuiti usuali non si usano microinterruttori.

Ci viene nuovamente in aiuto l'interruttore a transistor. La fig. 2.6 mostra lo schema del circuito: R1 e R2 sono usati come partitori di tensione. Se ambedue le resistenze, come nel nostro caso, hanno lo stesso valore, allora nel punto di unione, e quindi sulla base del transistor, la tensione è esattamente dimezzata. Se si applica ai morsetti 1 e 2 una tensione di 1,5 V, alla base giunge esattamente la tensione di polarizzazione per un transistor al silicio, cioè 0,7 V. Quindi il transistor è chiuso e la lampada fluorescente è collegata alla tensione di 110 V attraverso la resistenza di protezione R3. L'accensione della lampada viene quindi effettuata agendo manualmente sull'interruttore S che interrompe un circuito alimentato con 1,5 V, il che non implica nessun problema di sicurezza.

Fig. 2.6. Interruttore per lampada fluorescente



Lo schema relativo alla costruzione del circuito è superfluo, poiché si tratta di un impianto simile a quello già costruito. Come generatore da 110 V si possono usare due batterie anodiche da 60 V collegate in serie.

Elenco dei componenti:

R1, R2	resistore 10 k Ω , 1/10 W
R3	resistore 110 k Ω , 1/10 W
T1	transistore al silicio NPN BFY 43, BF 257, BF 258 o simili
G1	lampadina luminescente con accensione a 90 V tavoletta di compensato 100 × 70 × 10 mm

2.4 Interruttore a relè

Siamo giunti ad una conoscenza tale del transistore, che possiamo parlare di una importante realizzazione dell'elettronica moderna, l'interruttore a relè.

Il transistore è un interruttore estremamente sensibile. Per farlo funzionare sono sufficienti frazioni di mA. Ha però degli svantaggi: non può interrompere correnti elettriche arbitrariamente alte ed è piuttosto sensibile a campi elettrici e magnetici molto intensi. Ciò ha portato a distinguere, nei circuiti elettronici, tra circuito di comando (costituito dai transistori) e circuito di potenza (costituito dai relè). In questa maniera si uniscono i vantaggi dei transistori con la facilità di impiego e la scarsa sensibilità ai disturbi dei relè. Impariamo a conoscere ora un circuito fondamentale e di facile funzionamento. Nei seguenti capitoli del libro sarà mostrato come questo circuito abbia molteplici applicazioni, utili anche per il dilettante.

Per far funzionare l'interruttore per lampada con un transistore al silicio occorre circa 160 μ A. Inserendo oltre all'unico transistore interruttore un altro transistore come amplificatore si dovrebbe ottenere una sensibilità da 100 a 200 volte più elevata entrando nel campo delle correnti pilota dell'ordine dei milionesimi di A. Sotto questo punto di vista è stato sviluppato il circuito di fig. 2.7.

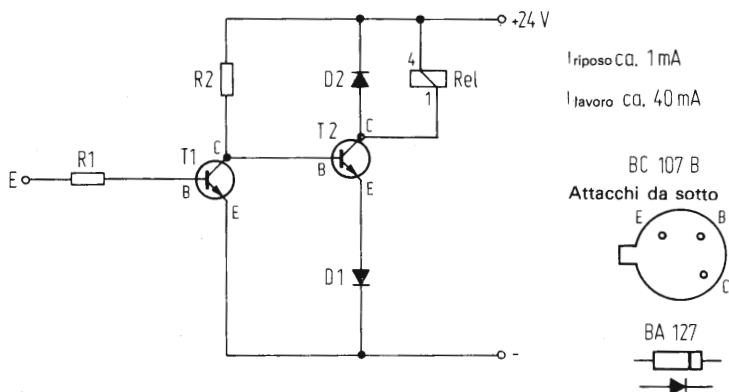


Fig. 2.7. Circuito fondamentale per un interruttore a relè

Attraverso la resistenza R_1 , viene polarizzata la base di T_1 . Chiudendo T_1 su un carico dato da R_2 , la base di T_2 è praticamente collegata al polo negativo del generatore. T_2 perciò è aperto. Se T_1 è aperto la tensione di polarizzazione necessaria giunge a T_2 attraverso R_2 e quindi T_2 è chiuso. Come carico questa volta c'è un relè sul collettore del transistor T_2 . Questo relè mette in funzione delle molle di contatto al quale è collegato l'utilizzatore definitivo o un altro relè. Il relè gioca quindi il ruolo di tramite di passaggio tra elettronica a bassa potenza e circuito di potenza. I diodi D_1 e D_2 hanno ruoli importanti da svolgere. Un diodo rappresenta una giunzione PN che, come sappiamo, può essere attraversata dalla corrente in una sola direzione. Nel verso di questo passaggio di corrente deve essere applicata una certa tensione (0,7 V per diodi al silicio) affinché possa passare una corrente più intensa. La tensione non sale tuttavia proporzionalmente, come succede ad esempio con una resistenza. Si sfrutta questo effetto per proteggere il transistor T_2 da tensioni elevate. Infatti se il transistor interruttore T_2 blocca il relè, questi in breve tempo, induce nel suo avvolgimento una tensione abbastanza alta, fino a 100 V, che potrebbe rovinare il transistor, dato che è collegato direttamente alla bobina del relè mediante il collettore. Il diodo

D2 impedisce danneggiamenti. Esso è installato in modo tale da lavorare nel verso del passaggio della corrente fatta fluire dalla tensione indotta dal relè. Perciò attraverso il diodo passa per breve tempo una corrente intensa, ma la tensione al collettore è limitata ad un valore non pericoloso, circa 1 V. Per questo D2 viene anche chiamato diodo limitatore di tensione.

Per costruire questo interruttore a relè è bene usare una piastra forata di opportune dimensioni. Si può costruire il circuito seguendo direttamente lo schema. Tutti i terminali dei componenti possono venir portati a supporti metallici piantati negli appositi fori della piastra. Dall'altra parte della piastra ogni singolo supporto viene collegato, seguendo lo schema, con del filo elettrico. Il relè è fissato alla piastra con una vite, dalla parte dei componenti, e deve essere adatto a tensione fra i 18e 30 V.

Ci convinceremo dell'estrema sensibilità dell'interruttore relè con questo esperimento. Ci servono due pezzi di lamiera, per esempio due lamine d'ottone $30 \times 30 \times 0,3$ mm, ad ognuna delle quali saldiamo un filo di circa 50 cm di lunghezza. Una delle lamine viene collegata col polo positivo del generatore, l'altra con l'entrata E del nostro apparecchio. Le due lamine giocano il ruolo di « piastre sensibili » di un interruttore a contatto, un particolare tipo di interruttore sempre più usato nei moderni apparecchi televisivi. Poniamo le due piastre su di una superficie isolata, in modo da poterle collegare con due dita di una mano. Producendo in tal modo un contatto, l'interruttore entra in azione: è sufficiente una piccola corrente, non pericolosa per la nostra pelle, per mettere in funzione il dispositivo. Con uno strumento di misura si vede che la corrente necessaria è tra 1 e 3 μ A. Collegando all'uscita del nostro apparecchio un relè che interrompe 10 A otteniamo un'amplificazione in corrente totale di $10 : 0,000001 = 10^7$.

Elenco dei componenti:

R1	resistore 470 k Ω , 1/20 W
R2	resistore 22 k Ω , 1/20 W
T1, T2	transistori al silicio NPN BC 107 B o simili
D1, D2	diodi al silicio BA 127 o simili

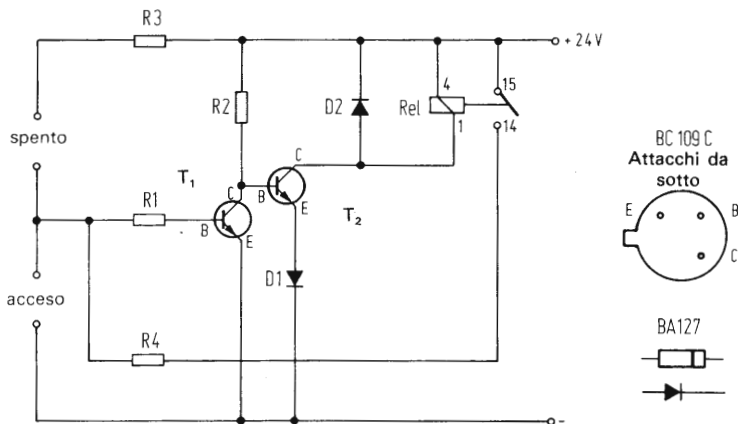
Rel Siemens V 23 154 - D 0720 - B 110 con supporto di montaggio o altro relè simile con resistenza di bobina di 500-900 Ω
 piastra forata 100 \times 70 \times 2 mm

2.5 Interruttore a contatto (sensore tattile)

Esaminiamo da vicino il circuito dell'interruttore a contatto di cui abbiamo parlato alla fine del precedente paragrafo.

Osserviamo in fig. 2.8 lo schema di un interruttore completo, nel quale sia l'accensione che lo spegnimento sono comandati dal contatto delle dita. Non è difficile riconoscere che il circuito sperimentale di partenza è stato ampliato con l'aggiunta di due resistenze R3 e R4 e di un contatto comandato dallo stesso relè interruttore. Il relè è abilitato quando T1 è interdetto (bloccato). In questa condizione il contatto del relè è aperto, e così rimane fino a che dall'esterno non arriva una tensione a polarizzare la base di T1. Toccando i contatti « spento », attraverso la resistenza R3, dal polo positivo del generatore arriva all'ingresso del circuito la corrente di polarizzazione. Il relè perciò è disabilitato. La conseguente chiusura dell'interruttore comandato dal relè stesso ha per

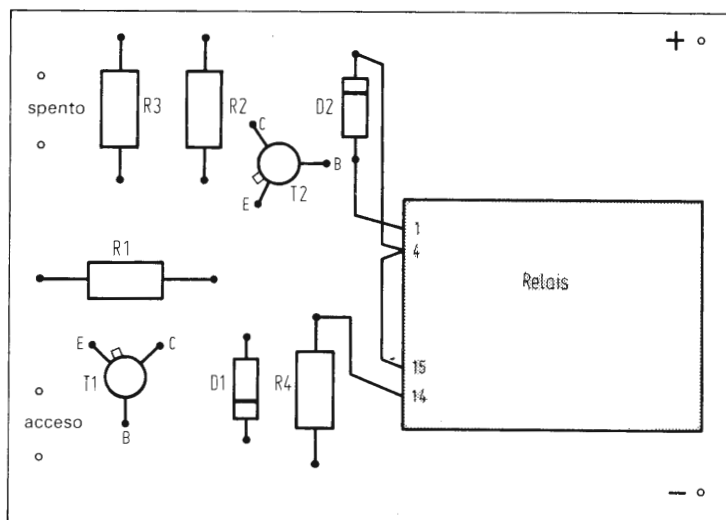
Fig. 2.8. Interruttore a relè con contatto di ritenzione



effetto la polarizzazione, attraverso R4, della base del transistor T1. Come nel caso precedente, questa condizione può essere mantenuta indefinitamente. Toccando ora i contatti « acceso », la corrente di polarizzazione, tramite R4 ed i contatti stessi, giunge al polo negativo del generatore. T1 non essendo più polarizzato viene interdetto, T2 va in conduzione ed il circuito torna nella posizione originaria di « acceso ».

R3 ha la funzione di resistenza di protezione. Se per errore i contatti sensibili « acceso » e « spento » vengono a contatto con un oggetto metallico, ciò porterebbe, in assenza della resistenza R3, ad un cortocircuito. Con la resistenza la corrente di cortocircuito viene ridotta a 0,5 mA. Per un buon funzionamento la resistenza R4 deve essere adattata al fattore di amplificazione di corrente dei transistori usati.

Fig. 2.9. Parte superiore della piastrina



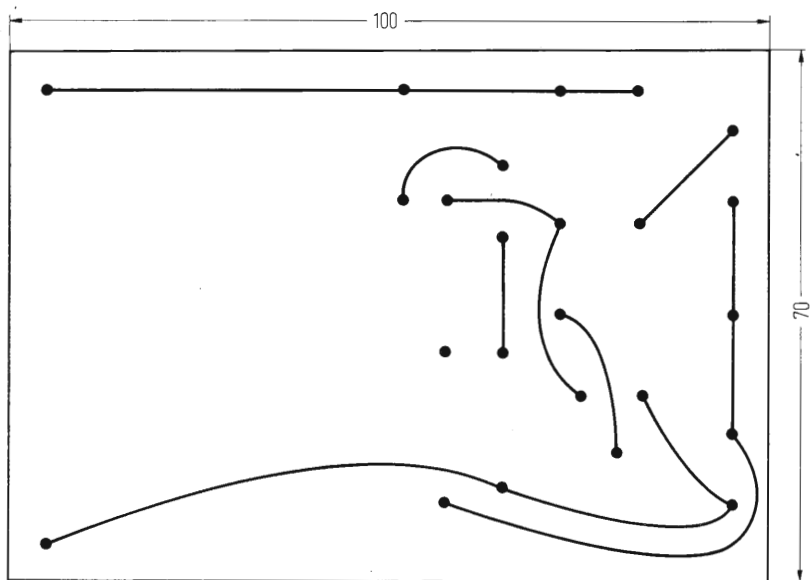


Fig. 2.10. Collegamenti per l'interruttore a relè con contatto di ritenzione

Nella foto 2 di tavola 1 si vede il circuito finito: per la sua realizzazione si è usata una piastra forata delle dimensioni $100 \times 70 \times 2$ mm nella quale i componenti sono stati inseriti seguendo lo schema di fig. 2.9. I collegamenti tra i vari componenti sono stati effettuati seguendo lo schema 2.10. Dopo aver saldato i terminali dei componenti si è montato il relè collegandolo al circuito.

Elenco dei componenti:

R1	resistore $470 \text{ k}\Omega$, $1/20 \text{ W}$
R2	resistore $22 \text{ k}\Omega$, $1/20 \text{ W}$
R3	resistore $47 \text{ k}\Omega$, $1/20 \text{ W}$
R4	resistore $10 \text{ M}\Omega$, $1/20 \text{ W}$

D1, D2 diodi al silicio BA 127 o simili
T1, T2 transistori al silicio NPN BC 107 o simili
Rel vedi la lista precedente

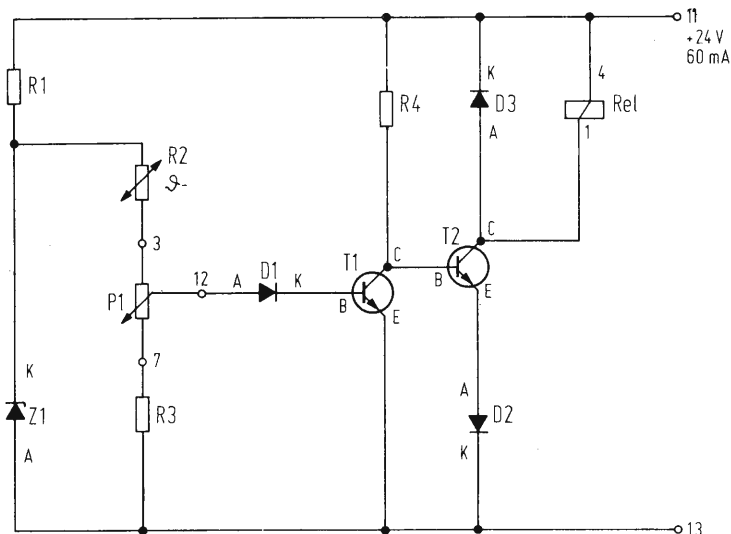
3. Interruttori termici

Gli interruttori termici, in linguaggio tecnico termostati, sono in grado di rivelare se una determinata temperatura viene raggiunta o superata. Essi sono perciò importanti quando in un determinato luogo è necessario mantenere costante una temperatura prestabilita.

3.1 Un termostato per temperature d'ambiente

Il circuito base di questo termostato è ancora l'interruttore a relè.

Fig. 3.1. Circuito di un interruttore termico per temperature tra 10° e 35 °C



La realizzazione di questo nuovo circuito ci offre l'occasione di conoscere altri due componenti della famiglia dei semiconduttori: il diodo Zener Z1 ed il termistore R2. Il diodo Zener è collegato alla tensione di alimentazione attraverso la resistenza R1 e disposto in modo che la giunzione sia polarizzata inversamente. In questo circuito lo Zener ha la funzione di mantenere costante la tensione sui suoi capi, indipendentemente dalle variazioni di tensione a cui il generatore è soggetto. In realtà le fluttuazioni di tensione possono aver luogo solo entro certi limiti. Nel nostro caso, ad esempio, la tensione ai morsetti 11 e 13 può essere compresa fra 20 e 28 V, mentre la tensione attraverso il diodo Zener è quasi esattamente 4,7 V.

Abbiamo quindi una tensione molto stabile, che viene utilizzata dal partitore di tensione formato da R2, P1 e R3. R3 è una resistenza fissa, P1 una resistenza variabile, R2 è un cosiddetto termistore, ossia una resistenza variabile a seconda della temperatura: a temperature maggiori possiede una resistenza minore e perciò conduce meglio la corrente che a basse temperature, da cui il nome di conduttore termico.

La tensione di polarizzazione viene regolata da P1 e giunge attraverso D1 alla base di T1. D1 ha il compito di stabilire con precisione l'istante di commutazione. Un diodo al silicio collegato in diretta inizia a condurre quando la sua tensione di polarizzazione è circa 0,7 V. Questo è esattamente il valore di tensione per cui T1 entra in conduzione. Con ciò è garantito che il termostato commuti ad una ben definita tensione del partitore.

Come è possibile ora il funzionamento in base alla temperatura? Supponiamo che il cursore della resistenza variabile P1 sia in una posizione intermedia e che la tensione risultante in uscita sia inferiore a 1,4 V. T1 allora è aperto, ed il relè è abilitato. Supponiamo che ciò metta in funzione una stufetta elettrica: la temperatura della stanza quindi aumenta. La resistenza in R2 perciò cala sempre più. Se il cursore di P1 è sempre nella stessa posizione, la tensione risultante in uscita aumenta. Se poi la resistenza in R2 cala, fino a che in uscita da P1 si ha una tensione di 1,4 V allora il termostato scatta; il relè si disabilita. La stufetta è disinserita e si

torna nella situazione precedente: l'aria della stanza si raffredda, il valore della resistenza in R2 aumenta, fino a che la tensione da P1 non va sotto gli 1,4 V. Il relè quindi è nuovamente abilitato. Ci accorgiamo che si tratta di un fenomeno ricorrente leggendo questo schema:

tensione a D1 minore di 1,4 V → relè abilitato → accensione stufetta elettrica → la temperatura della stanza aumenta → la resistenza del termistore diminuisce → la tensione di D1 raggiunge 1,4 V → il relè si disabilita → la stufetta si spegne → la temperatura diminuisce → la resistenza nel termistore aumenta → la tensione di D1 diventa minore di 1,4 V → ecc.

Con questo termostato si possono regolare temperature tra i 10° e i 35 °C.

3.2 Montaggio e uso

Per mostrare, in questo libretto, diverse tecniche di montaggio a disposizione di un dilettante, ci serviremo questa volta di un circuito stampato acquistato. Si tratta di una piastrina da laboratorio (per esempio la n. 4 della KACO). La fig. 3.2 dà le necessarie spiegazioni su come devono essere montati gli elementi sulla piastrina. Nella foto 3 di tavola 2 è rappresentato il circuito finito. Per il relè si usi un supporto con vite di fissaggio alla piastrina. I contatti del relè sono saldati alla piastrina in corrispondenza delle tracce da 16 a 21.

Se non si usa il circuito solo a fini sperimentali, ma per esempio all'interno di un apparecchio oppure come termostato montato dentro un involucro, si consiglia l'acquisto di un contenitore entro cui infilare la piastrina.

Ci sono molte possibilità di impiego di un termostato come questo. Se per esempio una stanza da bagno è riscaldata elettricamente, il termostato permette di mantenere indefinitamente una data temperatura prestabilita. A questo scopo il cursore di P1 può essere completato con una scala graduata in gradi Celsius. Con un termometro a mercurio, stabiliamo dapprima la temperatura

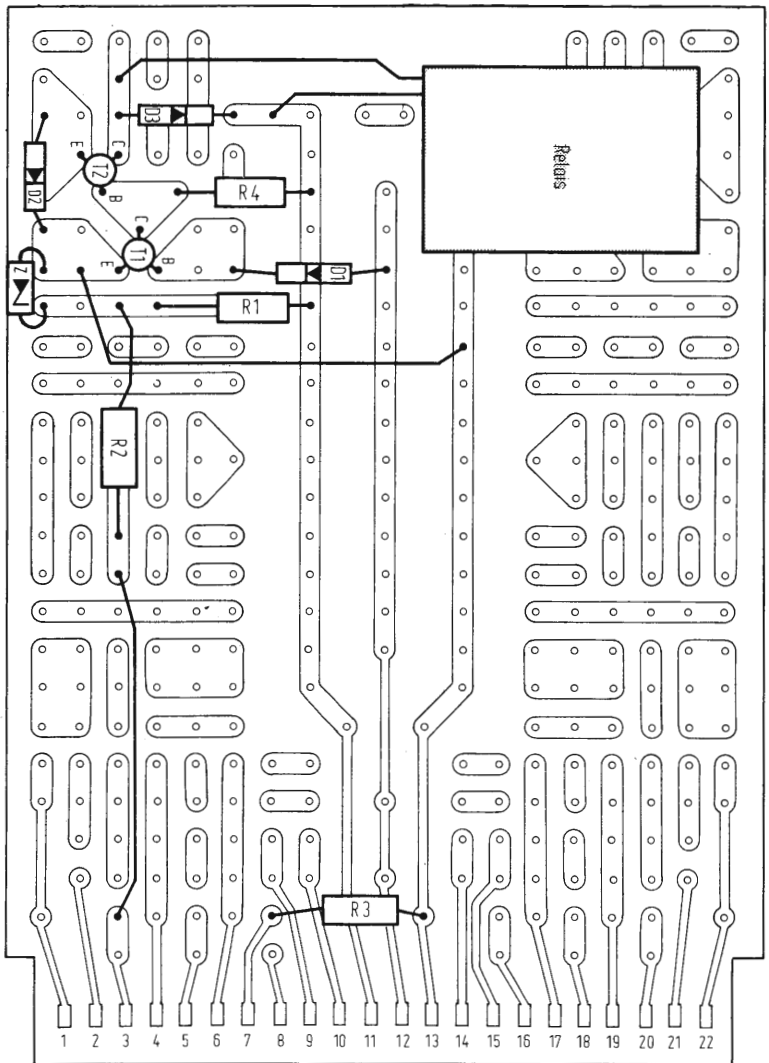


Fig. 3.2. Progetto di montaggio per interruttore termico

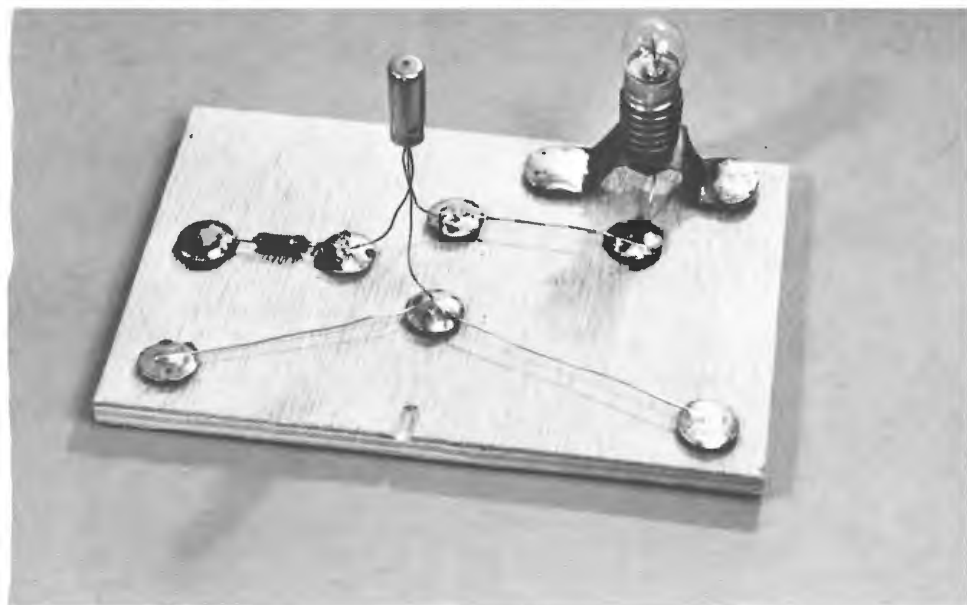
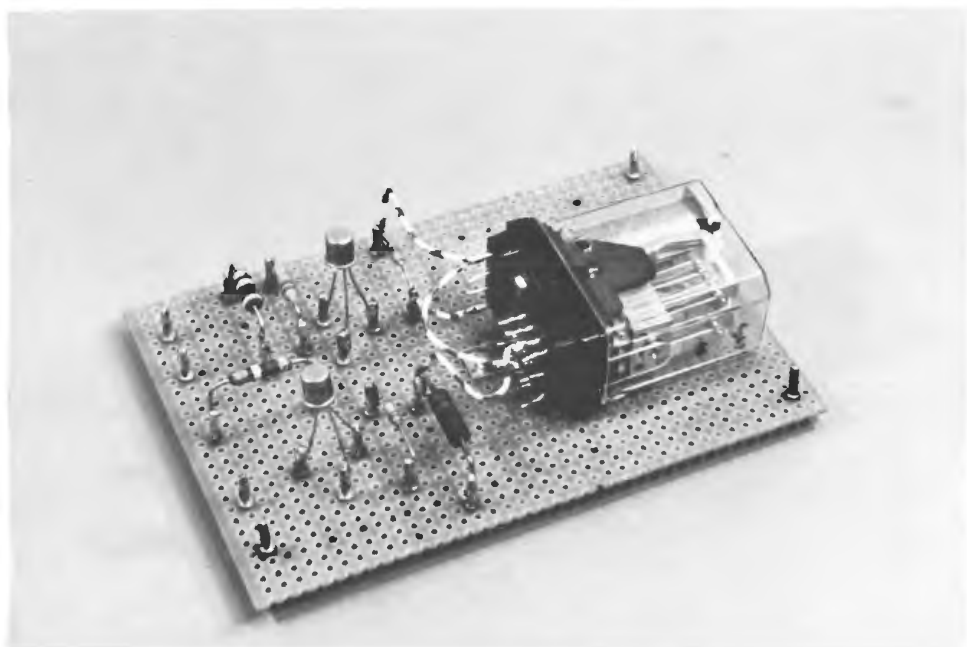


Foto 1. Circuito dell'interruttore per lampadine

Tavola 1

Foto 2. Interruttore a contatto



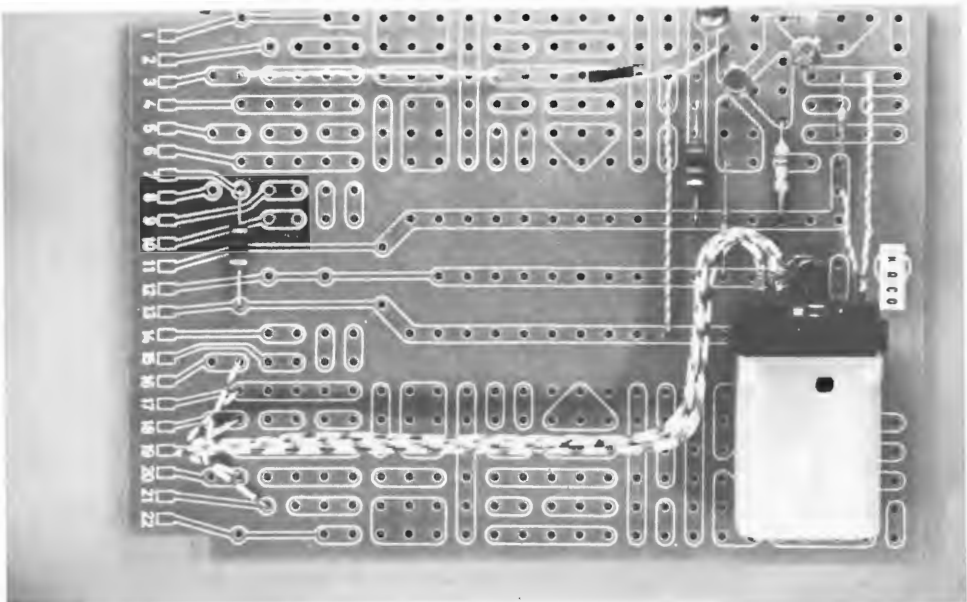
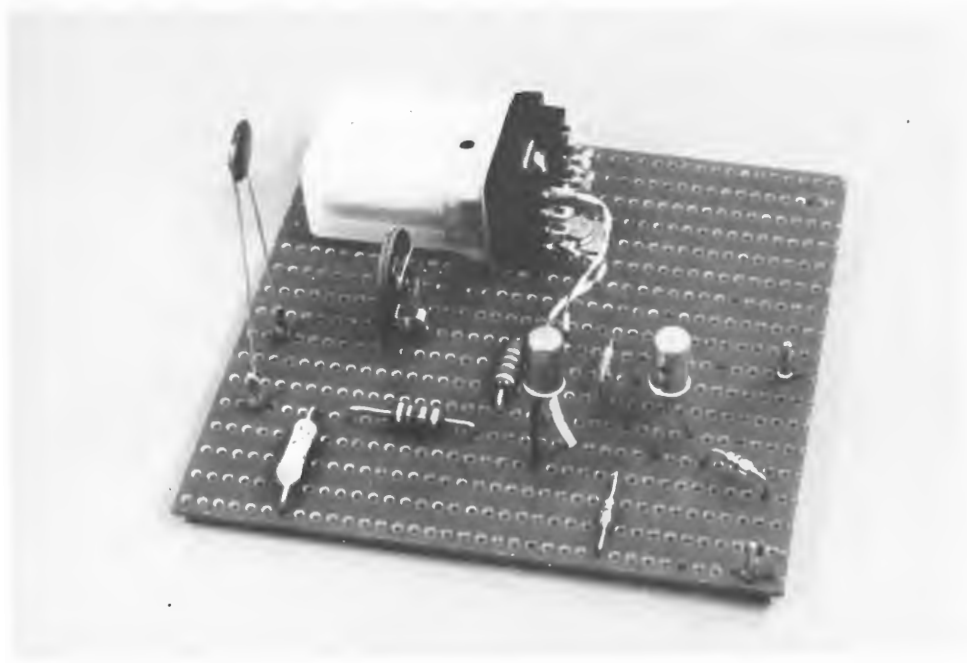


Foto 3. Termostato

Tavola 2

Foto 4. Barriera luminosa (a sinistra il fotoresistore al CdS)



della stanza alla quale il nostro termostato scatta. Poi giriamo un po' il potenziometro (dalla parte dove è collegata R3), la stanza si riscalda di nuovo, rileggiamo la temperatura per la quale il termostato scatta. Così si va avanti finché tutto l'arco delle temperature desiderate è coperto.

Una ulteriore applicazione è il mantenimento a temperatura costante di una certa quantità d'acqua, fino ad un massimo di 10 litri. A questo scopo il termostato blocca un bollitore che riscalda l'acqua. La temperatura viene letta dal termistore che deve essere a contatto termico con l'acqua ma isolato elettricamente. La temperatura viene mantenuta costante a meno di oscillazioni di 2 °C in più o in meno, particolarmente se l'acqua viene un po' agitata. Ulteriori applicazioni sono lasciate all'iniziativa del lettore.

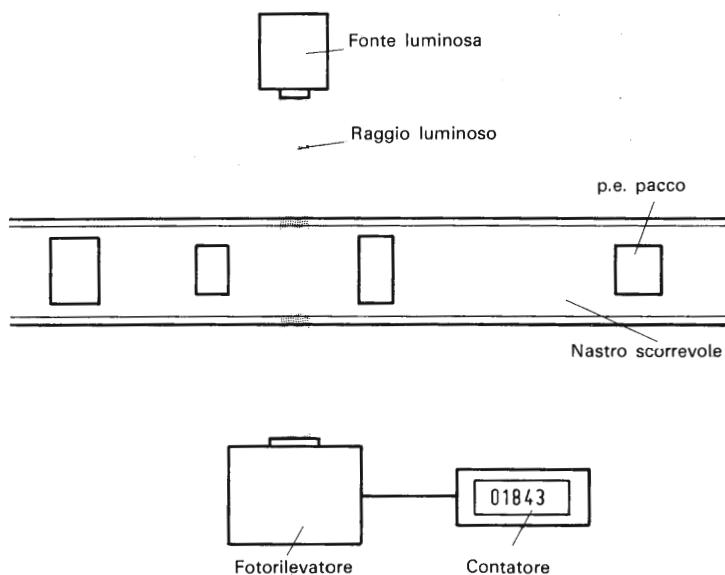
Elenco dei componenti:

R1	resistore 1 k Ω , 1/10 W
R2	resistore termico Siemens K 15, 500 Ω , TK = -4,2%/°C
R3	resistore 39 Ω , 1/10 W
P1	resistore variabile 50 Ω , 1/10 W
R4	resistore 22 k Ω , 1/10 W
D1 - D3	diodi al silicio BA 127 o simili
T1, T2	transistori al silicio NPN BC 107 o simili
Rel	Siemens V 23 154 - C 0721 - B 104 con supporto di montaggio

4. Barriere luminose

Una sorgente di luce genera onde luminose che si propagano in linea retta e cadono su di un rivelatore. Questo componente rileva se giunge o meno un segnale luminoso. L'insieme di questi elementi costituisce una barriera luminosa. Le sue applicazioni, specialmente nel campo dell'elettronica industriale, sono molteplici: dalla regolazione dei cicli produttivi al conteggio dei pezzi su di un nastro trasportatore ecc. Il principio di funzionamento è mostrato in fig. 4.1.

Fig. 4.1. Apparato per il conteggio di oggetti



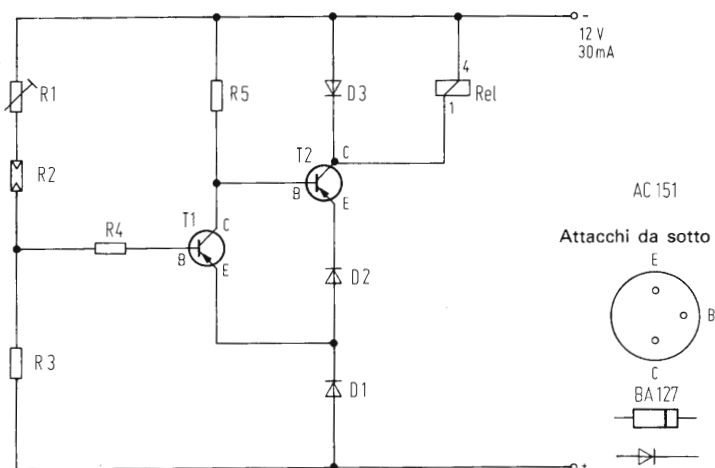


Fig. 4.2. Circuito della barriera luminosa

4.1 Il circuito

Prima di parlare del circuito vero e proprio, facciamo la conoscenza con un nuovo componente semiconduttore: il fotore-sistore. Esso è costituito di solfuro di cadmio (CdS) e varia la sua resistenza in funzione della quantità di luce incidente su di esso. Si tratta quindi, come nel termostato, di una resistenza dipendente da un parametro esterno. Questo tipo di resistenza va quindi posta in un partitore di tensione e la tensione così risultante va portata all'entrata di un interruttore a relè.

Questa volta come interruttore a relè usiamo un circuito con transistori al germanio, affinché non si pensi che possa essere costruito solo con transistori al silicio. La fig. 4.2 ci mostra lo schema completo. Il partitore di tensione è composto da R1 (resistenza variabile), R3, e la fotore-sistenza R2, ed il suo compito corrisponde formalmente a quello dell'analogo partitore già trovato nel termostato. Il fotore-sistore ha una resistenza più elevata (parecchi $M\Omega$) in

condizioni di oscurità. In tal caso la tensione risultante è piccolissima (pochi mV).

Se invece c'è luce, la resistenza diminuisce rapidamente, e può raggiungere, con piena luce solare, un valore di 30Ω . Per mezzo di R1 può essere variata la tensione risultante e quindi la sensibilità del rivelatore.

Per quanto visto nell'interruttore relè, sappiamo che per funzionare ha bisogno di un segnale in entrata che sia della grandezza

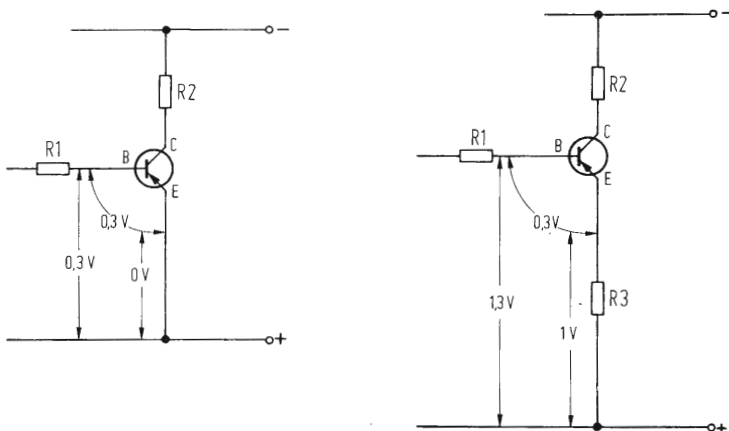


Fig. 4.3. Tensione di polarizzazione di un transistor

della tensione di diffusione. Nel nostro caso questo valore è di circa 1 V (tensione di diffusione di T1 più D1). Se il partitore di tensione fornisce questo valore, allora l'interruttore relè entra in funzione. In precedenza avevamo tralasciato di spiegare lo scopo per cui era stato messo un diodo sull'emettitore del transistor interruttore. Ora vogliamo tornare su questo discorso.

Parlando di tensione di polarizzazione di un transistor pensiamo sempre alla tensione effettiva tra base ed emettitore. La tensione tra base e massa sarà uguale alla tensione di polarizzazione se e solo se l'emettitore sarà collegato a massa. Se sull'emettitore è

inserita una resistenza, la somma della caduta di tensione su R3 e della tensione di polarizzazione cercata ci dà il valore di tensione che esiste tra base e massa. Perciò la tensione di polarizzazione la tensione misurata tra base e massa meno la caduta di tensione su R3. Analoghe sono le relazioni se al posto di una resistenza sull'emettitore c'è un diodo. La fig. 4.4 mostra questa situazione. La tensione di polarizzazione V_1 si calcola ancora facendo $V_3 - V_2$. La tensione V_2 non può diventare arbitrariamente elevata: a questo ci pensa il diodo. V_2 può assumere solo valori fra 0 V e la tensione di diffusione della giunzione PN.

Acquisite queste nozioni, torniamo al circuito di fig. 4.2. Se il transistor T_1 è interdetto (bloccato), T_2 è in conduzione. Poiché la corrente per T_2 passa per D_1 e D_2 (ambedue diodi al silicio), sull'emettitore di T_2 c'è la somma delle

tensioni di diffusione di D_1 e D_2 , 1,4 V. Sull'emettitore di T_1 c'è la tensione di diffusione di D_1 , 0,7 V. Affinché T_1 scatti occorre quindi una tensione tra base e massa di 0,3 V (tensione di polarizzazione per un transistor al germanio) più 0,7 V. Supponiamo che sulla fotoresistenza cada una quantità di luce tale che il partitore di tensione fornisca 1 V. In questo istante T_1 scatta e T_2 si blocca. D_1 viene ora attraversato dalla piccola corrente d'emettitore di T_1 , D_2 non è attraversato da alcuna corrente. In seguito al piccolo afflusso di corrente anche la caduta di tensione attraverso D_1 è diminuita. La fig. 4.5 mostra la caduta di tensione in un diodo al silicio in relazione alla corrente che lo attraversa. Il transistor T_1 non richiederebbe ora una tensione così alta alla base per commu-

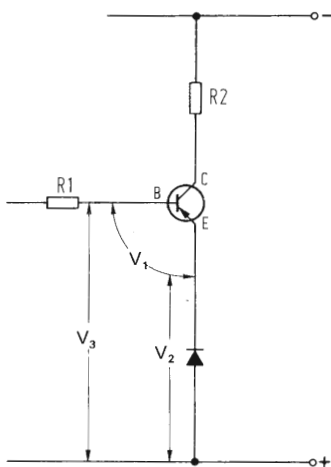


Fig. 4.4. Transistore con diodo all'emettitore

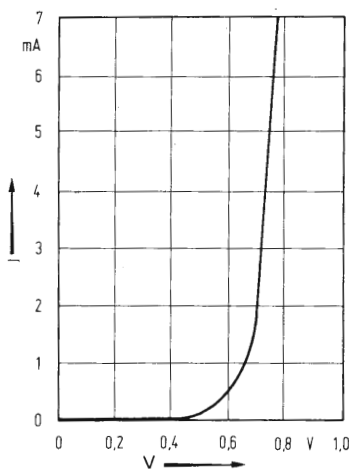


Fig. 4.5. Caduta di tensione attraverso un diodo al silicio in funzione della corrente che lo attraversa

tare. La commutazione sarà quindi rapidissima e certa: il transistor viene anzi incontro a questo processo, richiedendo una tensione minore di quanto in effetti esista.

Per gli stessi motivi la commutazione sarà altrettanto certa nell'altro stato. In questo caso è D2 che gioca il ruolo decisivo. La spiegazione è lasciata al lettore. Per quanto detto sopra non gli sarà difficile imboccare la strada giusta. Il rapido e certo funzionamento dell'interruttore transistor T2 è desiderabile in quanto solo così il relè lavora senza difetti. Se T2 dovesse commutare molto len-

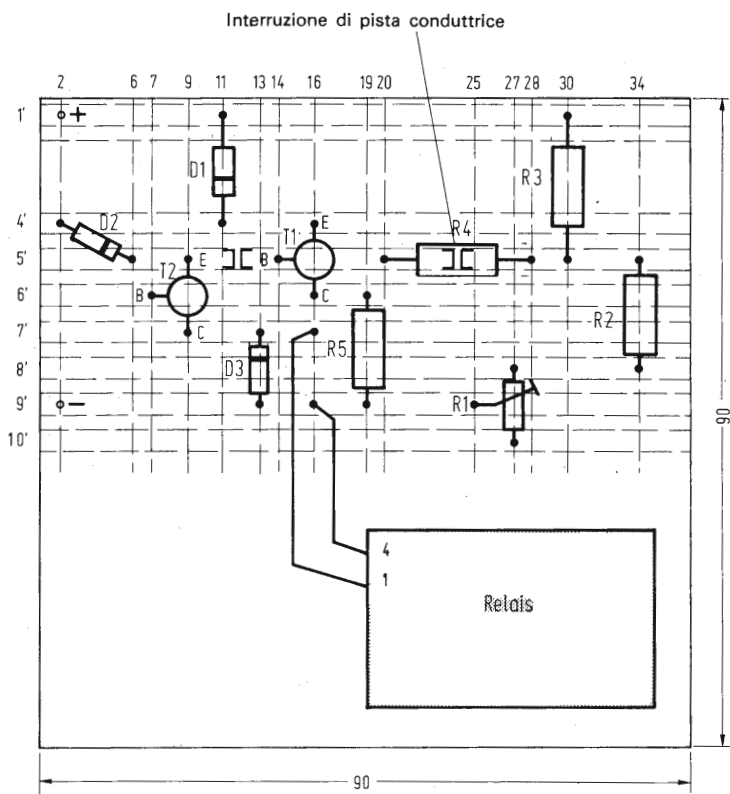
tamente, anche la corrente nella bobina del relè cambierebbe lentamente. Il momento esatto di commutazione dell'interruttore a molla del relè sarebbe perciò più o meno lasciato al caso e non sarebbero da escludere condizioni di funzionamento anormali.

4.2 Montaggio ed uso

Per il montaggio del circuito usiamo una piastrina (per esempio Veroboard M 8) la cui parte inferiore porta delle strisce parallele di rame che possono essere interrotte. Sulla parte superiore sono praticati dei fori ad intervalli di 2,5 mm. Da questa parte verranno infilati i terminali di saldatura dei componenti, mentre su quella inferiore i terminali verranno saldati sulle piste di rame.

La fig. 4.6 dà le spiegazioni necessarie per il montaggio. Il modello finito è visibile nella foto 4 della tavola 2. Si faccia specialmente attenzione all'esatta saldatura dei transistori e dei diodi. Non bisogna assolutamente dimenticare di praticare le due interruzioni sulle piste di rame come si vede in fig. 4.6. Come generatore possono essere usate tre batterie quadrate da 4,5 V. Il consumo di

Fig. 4.6. Montaggio del circuito della barriera luminosa



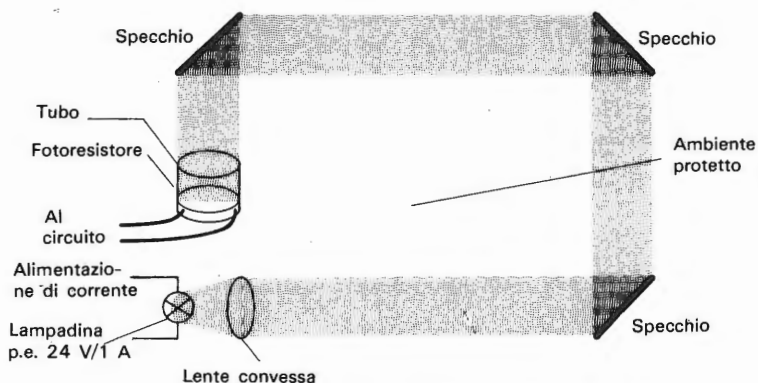


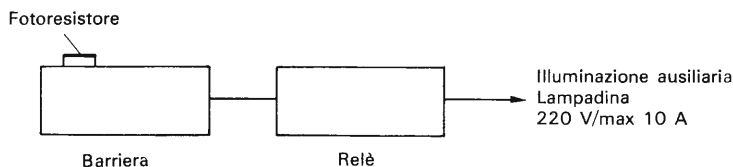
Fig. 4.7. Uso della barriera luminosa per proteggere una stanza

corrente del circuito è di circa 30 mA, il che assicura una lunga durata delle batterie. Naturalmente è possibile usare anche un generatore alimentato a rete e con una uscita di 12 V in corrente continua. La sensibilità è ampiamente regolabile con la resistenza variabile R1. L'apparecchio funziona, in una stanza oscurata, già con la luce di un fiammifero. D'altra parte è possibile ridurre la sensibilità della fotoresistenza al punto che il fotorivelatore scatta soltanto se è illuminato da forti sorgenti luminose (sole, fari di un'auto e simili). Il dilettante può ad esempio usare il fotorivelatore per proteggere una stanza da visitatori indesiderati. La fig. 4.7 ne dà un esempio. In questo caso la fotoresistenza sarà protetta dalle luci esterne con tubo lungo da 5 a 10 centimetri e del diametro di un centimetro, di cartone nero. I raggi di luce devono essere il più possibile paralleli. Aggiustando abilmente gli specchi si può proteggere una stanza di parecchi metri quadrati. Se il montaggio è eseguito a puntino il fotorivelatore rimane completamente invisibile e rappresenta una protezione molto efficace. Con la resistenza R1 si può regolare la sua sensibilità in modo tale che l'impianto lavori senza difetti.

Come ulteriore applicazione proponiamo un discriminatore di luminosità. Supponiamo di voler creare un punto di lavoro (un tavolo per esempio) che abbia un'illuminazione non superiore a 250 Lux. Normalmente è sufficiente la luce del giorno; con tempo molto nuvoloso o con oscurità occorre però una illuminazione supplementare. Questo compito è svolto dal fotorivelatore montato come in fig. 4.8. Si piazza la fotoresistenza nelle vicinanze del posto di lavoro e la si regola nel modo più opportuno, ossia in maniera tale che il relè scatti quando il valore di luce desiderato è appena stato superato.

Per mezzo del relè viene collegata la lampadina ausiliaria. A causa di questa luce supplementare la fotoresistenza deve essere la più piccola possibile, poiché altrimenti l'aumento di luminosità potrebbe far riscattare il relè. La cosa migliore sarebbe quella di proteggere la fotoresistenza con un tubo, in modo tale che solo la luce del giorno possa battere sulla superficie di solfuro di cadmio. Ulteriori esperienze con apparati luce si trovano nei volumi di questa serie: *Heinz Richter - La luce in elettronica* e *Hans-Peter Siebert - L'elettronica e la fotografia*.

Fig. 4.8. Barriera luminosa usata come discriminatore di luminosità



Elenco dei componenti:

- R1 trimmer per circuiti stampati 25 k Ω , 0,1 W
- R2 fotoresistore Valvo LDR 07
- R3 resistore 1 k Ω , 1/10 W

R4, R5 resistore 4,7 k Ω , 1/10 W
D1 - D3 diodi al silicio BA 127 o simili
T1, T2 transistori al germanio AC 151 VI o simili
Rel Relè Siemens V 23 154 - C 0719 - B 104 con supporto di montaggio e
resistenza di bobina 325 Ω

5. Il transistor in auto

Il transistor ha una vasta gamma di applicazioni all'auto. Dal contagiri elettronico all'accensione elettronica fino all'autoradio tutto è costruito con transistori. Qui di seguito facciamo conoscenza con un interruttore intermittente che permette ad un tergicristallo di lavorare ad intervalli regolari, fissati a piacere tra 2 e 30 secondi.

Per l'automobilista un interruttore intermittente rappresenta un utile accessorio. Se pioviggina o c'è nebbia non ha senso far funzionare continuamente il tergicristallo. D'altra parte il parabrezza deve essere pulito ad intervalli regolari dall'acqua e dallo sporco con brevi accensioni del tergicristallo: l'interruttore ad intermittenza ci toglie il fastidio di accenderlo e spegnerlo a mano. Questo automatismo dà quindi un piccolo contributo all'aumento della sicurezza in viaggio, con un circuito molto semplice e con una spesa minima.

5.1 Progetto di un interruttore ad intermittenza

È bene chiarire ciò che pretendiamo dal nostro apparecchio. Esso deve fornire un impulso ad intervalli regolari. L'impulso deve avere una durata tra 0,5 e 0,8 secondi. L'intervallo tra due impulsi deve essere regolabile a piacere fra 2 e 30 secondi. L'impulso sarà provocato dalla chiusura, per mezzo dei contatti di un relè, di un circuito in cui passa una corrente continua massima di 1 A con una tensione di 12 o 6 V, a seconda del tipo di batteria esistente nell'auto, poiché l'alimentazione del circuito avverrà appunto attraverso la batteria dell'auto.

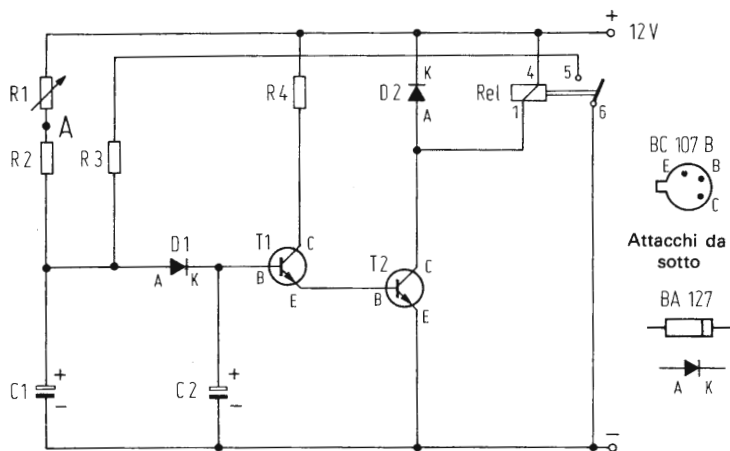


Fig. 5.1. Schema di circuito per un interruttore ad intermittenza.

Già sappiamo come sia possibile, in elettronica, avere una commutazione ritardata per mezzo di condensatori.

All'entrata di un interruttore relè poniamo un condensatore, collegato, tramite una resistenza, ad un generatore di corrente. Il condensatore si carica attraverso la resistenza. Quando la tensione raggiunge il valore necessario a far scattare il relè, questo fornirà l'impulso desiderato. Raggiunta una certa durata d'impulso il condensatore d'entrata viene cortocircuitato, e in tal modo istantaneamente scaricato. Con ciò il cortocircuito si interrompe e il tutto può riprendere daccapo.

Nel nostro circuito, per ottenere l'intervallo tra due impulsi e la durata di un impulso vengono usati rispettivamente due condensatori, C1 e C2. Per chiarirci le idee osserviamo la fig. 5.2 che mostra due diagrammi. Lo schema del circuito si vede in fig. 5.1. Il condensatore C1 è collegato al generatore di corrente attraverso R1 e R2. A seconda del valore scelto per R1, C1 si carica più o meno lentamente. Quando la tensione raggiunge il valore della tensione di diffusione V_1 del diodo D1 anche C2 si carica. Ciò ha luogo

all'istante T_1 . Ora ambedue i condensatori si caricano, fino a che la tensione in C2 non raggiunge il valore della tensione di funzionamento dell'interruttore relè, che stavolta ha un funzionamento un po' diverso. L'emettitore di T1 è collegato direttamente con la base di T2: questa disposizione si chiama circuito Darlington. Inoltre la resistenza d'entrata dell'interruttore relè è molto alta. Il transistor interruttore T2 è poi in conduzione se anche T1 lo è, come si capisce facilmente pensandoci un po'. Quando C2 raggiunge, all'istante T_2 , la necessaria tensione di funzionamento, il relè scatta. Con un contatto comandato da un relè, C1 viene collegato attraverso la resistenza R3 al polo negativo del generatore di corrente. C1 perciò si scaricherà rapidamente e avrà una tensione nulla all'istante T_3 . C2 nel frattempo non si scarica poiché D1 è collegato in inversa: il catodo (zona N) è collegato con il terminale positivo di C2, l'anodo (zona P) tramite R3 con il polo negativo del generatore di corrente. Non si ha pertanto passaggio di corrente attraverso la giunzione NP. C2 si scarica soltanto in seguito al piccolo consumo di corrente del relè. La capacità di questo condensatore determina quindi la durata dell'impulso. Infine la tensione di C2 cade sotto il valore della tensione di funzionamento all'istante T_0' , il relè quindi torna allo stato originario. Il contatto di lavoro è aperto; può iniziare un nuovo ciclo operativo. Durante la ricarica di C1, C2 si scarica in seguito alla caduta di corrente. Dopo aver visto il funzionamento dei singoli componenti, si possono subito riconoscere alcuni punti critici del circuito. Il primo è il condensatore C1. Il suo tempo di carica determina l'intervallo che intercorre tra due impulsi. La carica dipende, oltre che dalle resistenze R1 e R2 anche dalla tensione della batteria. Da notare che tale tensione, viaggiando, è soggetta a oscillazioni, per esempio da 5,5 a 7 V. A causa di ciò varia l'intervallo tra due impulsi. Questo piccolo inconveniente può essere superato se durante la carica C1 dispone di una tensione costante. Si lascia al lettore il compito di trovare un componente adatto da aggiungere al circuito (un diodo Zener). La durata di un impulso è determinata dal tempo di scarica di C2, che dipende dai singoli coefficienti di amplificazione di T1 e T2. Il valore dato a C2 nella lista dei com-

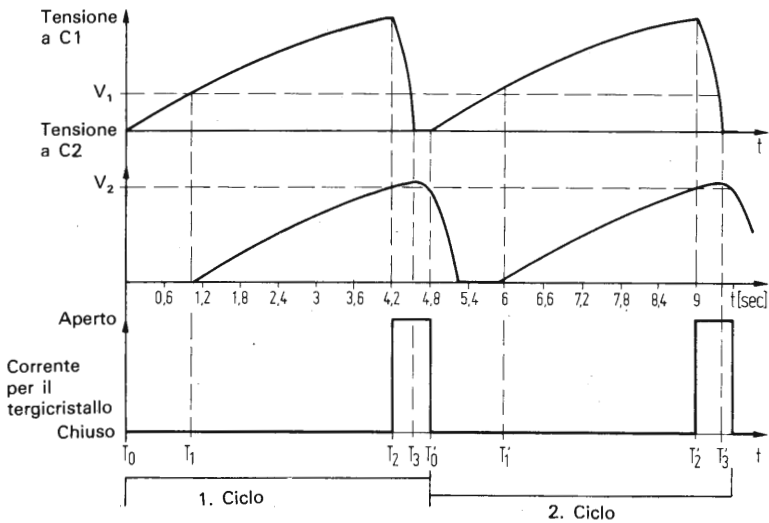
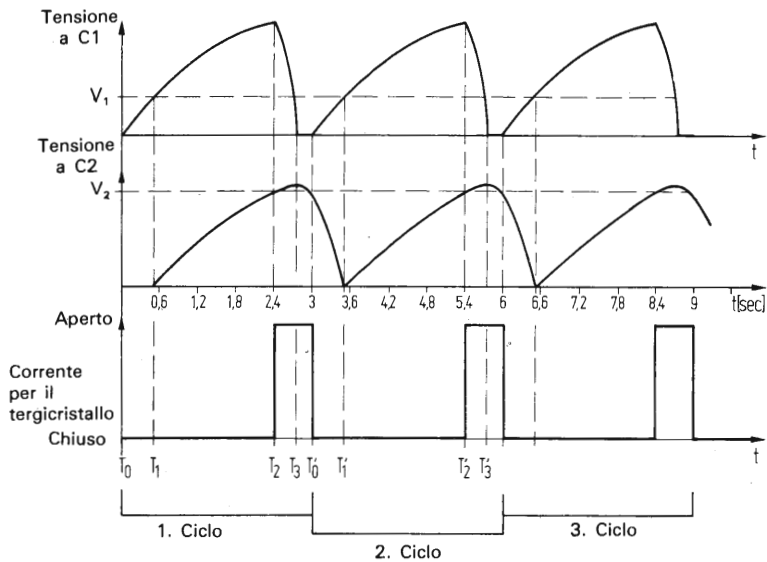


Fig. 5.2. Forme d'onda per due diverse posizioni del potenziometro

ponenti è quindi un'indicazione di massima. Il valore definitivo deve essere adattato all'amplificazione di corrente dei transistori usati.

5.2 Montaggio dell'interruttore ad intermittenza

Per motivi di stabilità meccanica, useremo per il montaggio un circuito stampato. Il modello di fig. 5.3 verrà riportato su di una piastra di resina epossidica ricoperta di rame. Il circuito stampato è prodotto secondo un noto procedimento: chi volesse saperne di più può vedere in: *H. Stockle - Come si costruisce un circuito elettronico*, della stessa serie di questo libro.

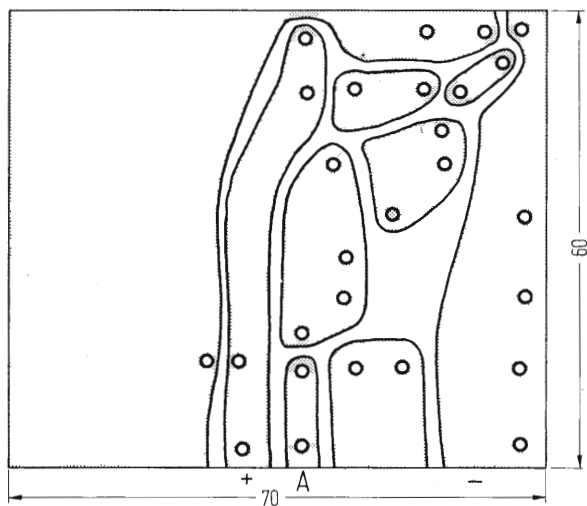


Fig. 5.3. Circuito stampato per interruttore ad intermittenza

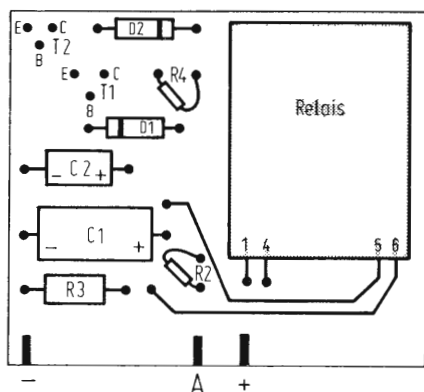
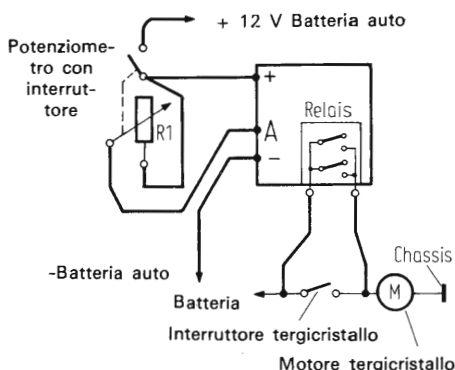


Fig. 5.4. Montaggio dell'interruttore ad intermittenza

Quando l'impianto è stato montato e collaudato, può essere installato in un piccolo involucro metallico, che può venir fissato con due viti sotto il cruscotto. Il passo successivo è quello di collocare il potenziometro sul cruscotto. I collegamenti elettrici del potenziometro, del tergicristallo, dalla batteria e dal circuito richiedono del cordoncino elettrico isolato del diametro di 1 mm.

Fig. 5.5. Istruzioni di montaggio per l'interruttore ad intermittenza



La fig. 5.4 mostra la piastrina dalla parte dei componenti. Il relè viene collegato mediante un supporto, che rende possibile un fissaggio ottimale.

Chi volesse fare qualcosa di speciale per la stabilità elettrica e la sicurezza, può scegliere per C1 e C2, invece dei normali condensatori elettrolitici quelli al tantalio, più cari ma con una resa più alta.

La fig. 5.5 dà le spiegazioni necessarie per la installazione dell'interruttore ad intermittenza. Lo schema dei contatti per il relè a pettine Siemens usato è mostrato in fig. 5.6. L'intermittenza automatica può essere costruita con l'aiuto della lista dei componenti nelle versioni per batteria da 6 e 12 V. Quale polo della batteria sia collegato con il telaio, non ha impor-

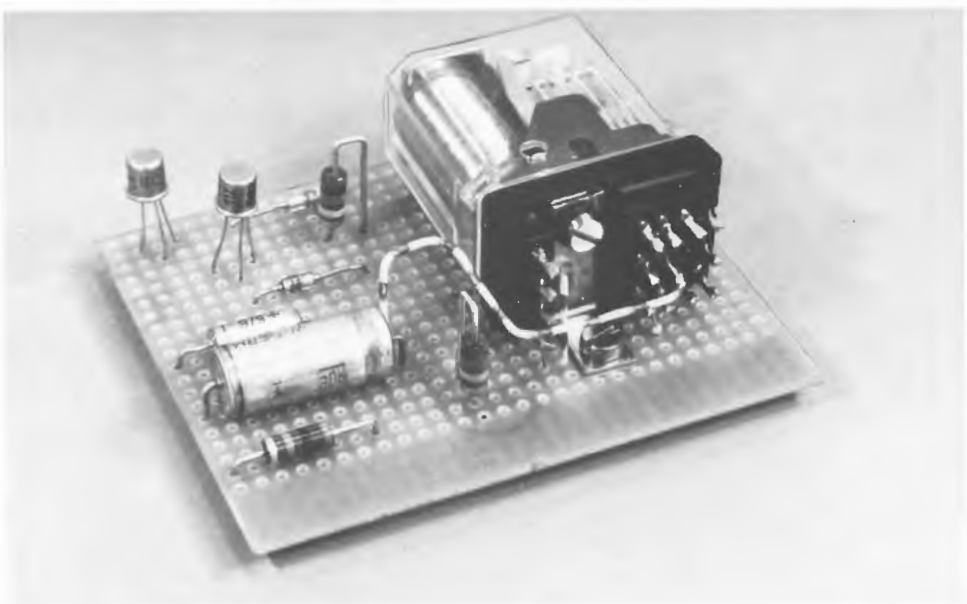
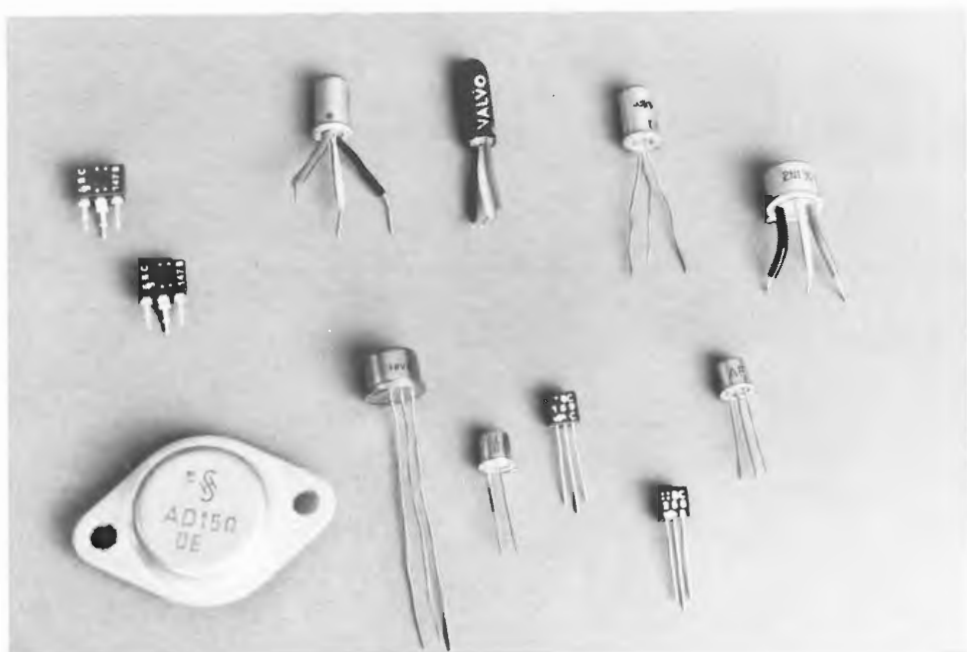


Foto 5. Interruttore ad intermittenza

Tavola 3

Foto 6. Diverse forme di transistori: in alto a sinistra, plastici; in basso a sinistra, di potenza



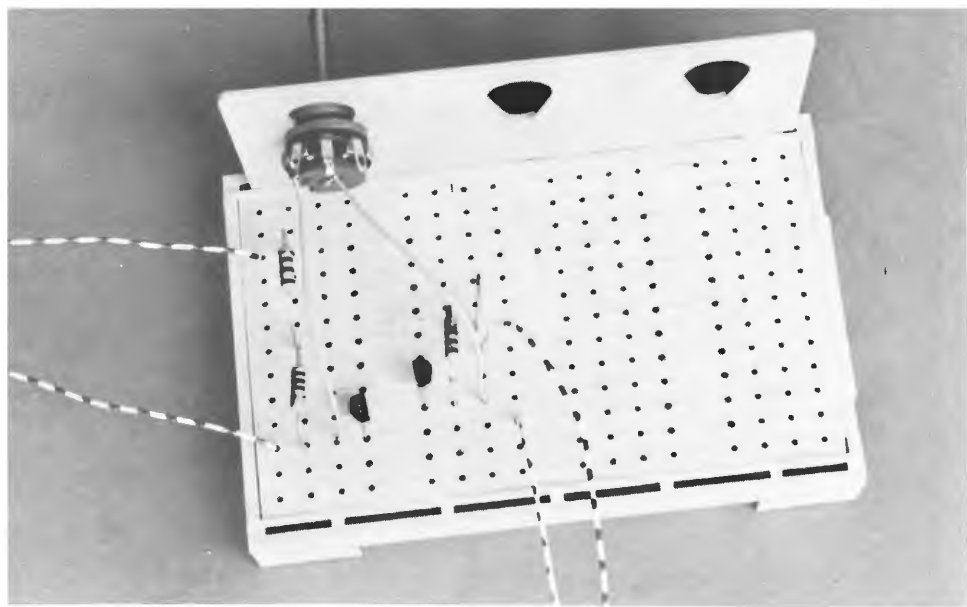
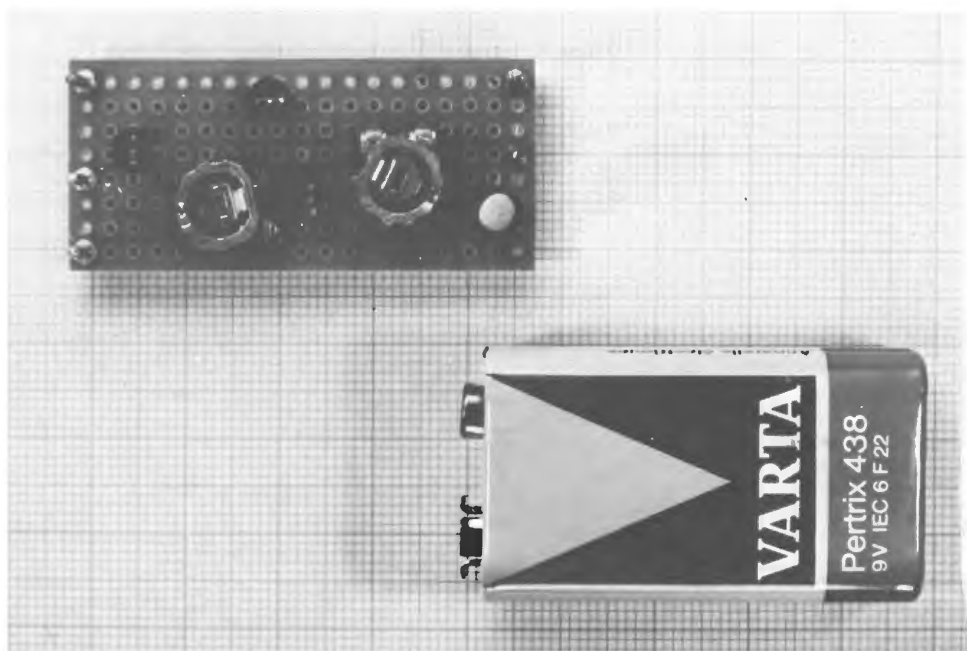


Foto 7. Circuito del diodo Zener variabile

Tavola 4

Foto 8. Amplificatore per cuffia confrontato con una batteria da 9 V.



tanza per il funzionamento del circuito. La foto 5 di tavola 3 mostra il prototipo.

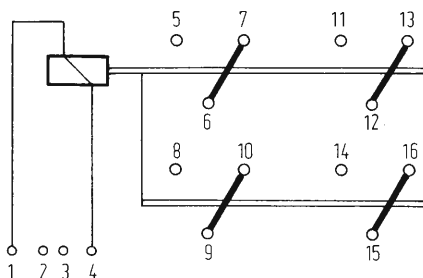


Fig. 5.6. Descrizione dei contatti del relè a camme Siemens N

Elenco dei componenti:

Versione per batterie da 12 Volt

R1 potenziometro con interruttore 1 M Ω , lin, 0,1 W

R2, R4 resistore 82 k Ω , 1/8 W

R3 resistore 47 Ω , 1/8 W

C1 condensatore elettrolitico 100 μ F/6 V

C2 condensatore elettrolitico 4,7 μ F/6 V

D1, D2 diodi al silicio BA 127 o simili

T1, T2 transistori al silicio NPN BC 107 B o simili

Rel Siemens V 23 154 - D 0717 - B 110 con supporto di montaggio e resistenza di bobina 220 Ω

circuito stampato a strisce parallele 60 \times 70 \times 2 mm

Versione per batterie da 6 Volt

R1 potenziometro con interruttore 500 k Ω , lin, 0,1 W

R2, R4 resistori 47 k Ω , 1/8 W

Rel Siemens V 23 154 - D 0712 - B 110 con supporto di montaggio e resistenza di bobina 60 Ω

gli altri componenti come nella versione 12 V

6. Dai transistori si può ottenere ancora di più

In questo volumetto abbiamo conosciuto ed usato il transistor soprattutto in veste di interruttore elettronico. Nella seconda parte di questa introduzione alla tecnica del transistor, verrà presentato in campi di applicazione completamente diversi dal precedente, cioè nella produzione di oscillazioni e nella tecnica dell'amplificazione.

Nei successivi paragrafi anticipiamo alcune idee sulla tecnica di amplificazione.

6.1 Il diodo Zener variabile

L'elettronico desidererebbe spesso poter disporre a piacere di una tensione, di solito piccola, che fosse possibile mantenere costante. Il diodo Zener serve a fornire una tensione costante.

Praticamente esso è un tipo speciale di amplificatore e provvede a mantenere una tensione costante sui morsetti d'uscita. Mediante una resistenza variabile è possibile variare con continuità questa tensione. Il principio di funzionamento è questo: l'amplificatore di corrente continua nel modello esemplificativo opera su di una resistenza variabile, posta parallelamente ai morsetti d'uscita. Secondo la legge di Ohm la tensione attraverso questa resistenza, e quindi sui morsetti d'uscita, è uguale al prodotto della corrente che l'attraversa per il valore della resistenza stessa.

Se la tensione ai morsetti comincia a diminuire, o perché la tensione di alimentazione cala o perché la resistenza di carico diventa più piccola, l'amplificatore aumenta la resistenza variabile, cosicché si raggiunge nuovamente il valore di tensione iniziale.

In fig. 6.1 viene mostrato un circuito che fornisce tensioni stabili da 0,7 a 7 V. Con questo circuito si può per esempio costruire un generatore di tensione continua regolabile, molto utile al dilettante.

A questo scopo occorre un piccolo trasformatore di rete con uscita a 18 V in alternata. La tensione verrà poi raddrizzata e prestabilizzata alla solita maniera con un diodo Zener, per esempio ZF 18. Con questa tensione possiamo alimentare il circuito. Se si ha a disposizione un voltmetro digitale con cui si possono apprezzare variazioni di 1/100 V, si può agire su P 1 in modo da avere una tensione in uscita di 1,000 V costante a meno di oscillazioni dello 0,1%. La fig. 6.2 riporta un progetto di circuito per mezzo del quale è possibile ottenere tensioni maggiori. In esso, variando P 1, è possibile ottenere tensioni in uscita tra 8 e 10 V. Con valori di resistenza diversi è possibile ottenere anche altre tensioni. Il prototipo è visibile nella foto 7 di tavola 4.

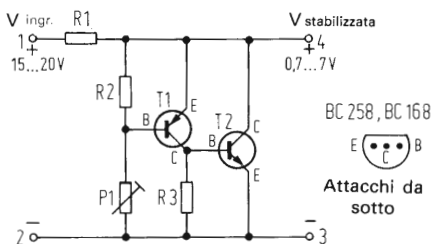


Fig. 6.1. Diodo Zener per piccole tensioni

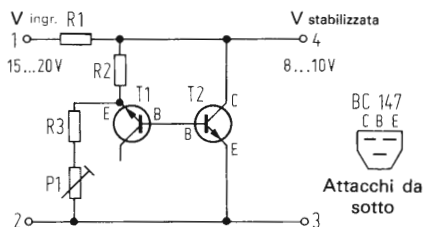


Fig. 6.2. Diodo Zener per tensioni fino a 10 V

Elenco dei componenti per il circuito in fig. 6.1:

R1, R2, R3	resistori 1 k Ω , 1/8 W
P1	trimmer 10 k Ω , lin, 0,1 W
T1	transistore PNP al silicio BC 258 o simili
T2	transistore NPN al silicio BC 168 o simili
	piastra forata 50 × 30 × 2 mm

Elenco dei componenti per il circuito in fig. 6.2:

R1	resistore 1 k Ω , 1/8 W
R2	resistore 470 k Ω , 1/8 W
R3	resistore 2 k Ω , 1/8 W
P1	trimmer 10 k Ω , lin, 0,1 W
T1, T2	transistori al silicio NPN BC 147 o simili il resto come la lista precedente

6.2 Un amplificatore per cuffia

Per finire trattiamo il circuito di un versatile amplificatore per cuffia. La fig. 6.3 mostra il circuito che, come si vede, non è complicato. Per il condensatore C1, che lascia passare solo tensioni

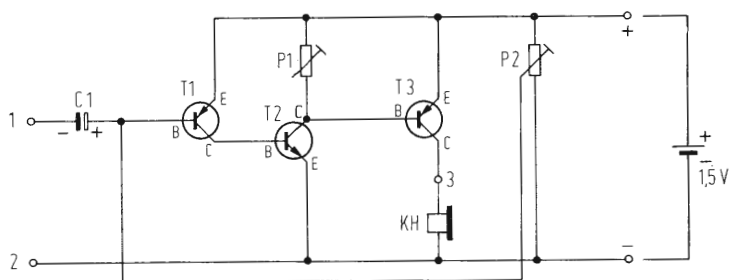
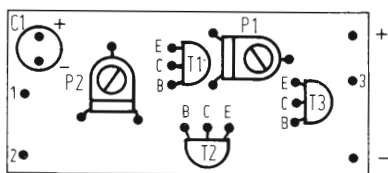


Fig. 6.3. Schema di circuito per l'amplificatore per cuffia

alternate, il segnale giunge alla base di T1, un transistor PNP. La tensione di polarizzazione di base, quasi uguale alla tensione di diffusione, viene ottenuta con P2. Il collettore di T1 è collegato direttamente con la base di T2. Questo tipo di disposizione è detto accoppiamento galvanico. T2 è un transistor NPN, perciò la polarità della tensione va opportunamente adattata ai suoi piedini. P1 rappresenta la resistenza di collettore di T2. La tensione che si origina su P1 giunge alla base di T3, un transistor PNP. Infine il segnale, in corrispondenza della connessione 3, può alimentare una cuffia che lo converte in suono. Come si vede il cir-

Fig. 6.4. Progetto di montaggio per amplificatore per cuffia



cuito è semplicissimo e, d'altra parte, presenta rilevanti vantaggi. Se, invece di trimmer, si usano piccole resistenze fisse, miniaturizzate, il circuito può essere realizzato su una piastrina con una superficie da 1 a 2 cmq. Come sorgente di tensione si usa una batteria da 1,5 V, in modo tale che l'impianto abbia un rumore di fondo piccolo. Usando come sorgente una capsula microfonica di bassa resistenza (da 200 a 2000 Ω) e come carico un piccolo registratore (da 200 a 2000 Ω), l'amplificazione di tensione è di più di 2000 volte. Con un montaggio adatto il circuito può essere completamente adattato come amplificatore ausiliario di ricezione. Il consumo di corrente è di circa 1,4 mA.

6.3 Montaggio dell'amplificatore per cuffia

La fig. 6.4 mostra uno schema di montaggio del circuito. Come base si usa una solita piastrina preforata, mentre i resistori sono del tipo per circuito stampato. In fig. 6.5 sono mostrati i collegamenti sulla parte inferiore della piastrina. Nella foto 8 della tavola 4 si può vedere il circuito finito.

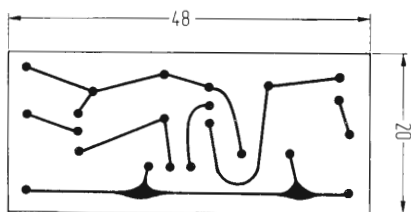


Fig. 6.5. Collegamenti sulla piastrina

Questo volumetto vorrebbe aver dato, a coloro che lo hanno letto, una spinta sufficiente a sperimentare e creare nuovi ed utili circuiti a transistori.

Il lettore interessato troverà una ricca raccolta di circuiti a transistori nella seconda parte di questo piccolo corso pratico.

Elenco dei componenti:

C1	condensatore elettrolitico 4,7 μ F/3 V
P1	trimmer per circuiti stampati 5 k Ω , lin
P2	trimmer per circuiti stampati 200 k Ω , lin
T1, T3	transistori al silicio PNP BC 258 C o simili
T2	transistore al silicio NPN BC 168 C o simili piastrina 50 × 20 × 2 mm

7. Raccolta di formule usuali

Legge di Ohm (per correnti continue)

$$I = \frac{V}{R} \quad I \text{ corrente in Ampere}$$

$$R = \frac{V}{I} \quad R \text{ resistenza in Ohm}$$

Potenza

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R} \quad P \text{ potenza in Watt}$$

Collegamento in serie di resistenze

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Collegamento in parallelo di resistenze

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Collegamento in serie di condensatori

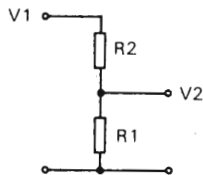
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad C \text{ capacit  in Farad}$$

Collegamento in parallelo di condensatori

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Partitore di tensione

$$V_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_1$$



Reattanza di un condensatore in corrente alternata

$$X_C = \frac{1}{6,28 \cdot f \cdot C}$$

X_C reattanza in Ohm
 f frequenza in Hertz

Unità di misura per la tensione: Volt (V)

$$\begin{array}{ll} 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V} & 1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} \\ 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V} & 1 \text{ MV} = 10^6 \text{ V} \end{array}$$

Unità di misura per la corrente: Ampere (A)

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A} & 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A} \\ 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A} & 1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} \end{array}$$

Unità di misura per la resistenza: Ohm (Ω)

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega \quad 1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

Unità di misura per la capacità: Farad (F)

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F} & 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} \\ 1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F} & 1 \text{ mF} = 10^{-3} \text{ F} \end{array}$$

Unità di misura per la frequenza: Hertz (Hz)

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz} & 1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz} \\ 1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz} & \end{array}$$

Unità di misura per l'induttanza: Henry (H)

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H} & 1 \text{ nH} = 10^{-9} \text{ H} \\ 1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H} & \end{array}$$

Abbreviazioni

Sottomultipli
m = milli (10^{-3})
 μ = micro (10^{-6})
n = nano (10^{-9})
p = pico (10^{-12})

Multipli
k = kilo (10^3)
M = mega (10^6)
G = giga (10^9)

8. Letture

Altri esperimenti con i transistori si possono trovare nei libretti di questa serie

- *H. Richter - La luce in elettronica*
- *H.P. Siebert - L'elettronica e la fotografia*

Per la terminologia si può consultare

- *Handel - Dizionario di elettronica - Zanichelli*

che riporta i significati dei vari termini e i rispettivi corrispondenti in inglese.

Una bibliografia destinata a principianti dovrebbe contenere, più che un elenco di libri, l'indicazione di riviste specializzate. Ne tracciamo un piccolo panorama.

Sperimentare è una rivista dedicata agli hobbysti. Presenta numerosi circuiti facili da realizzare, ed è ricca di informazioni ed articoli divulgativi. Una sua caratteristica è quella di presentare in ogni numero la descrizione di apparecchi e circuiti reperibili anche in scatole di montaggio.

Onda quadra è una rivista d'elettronica generale. Il suo pubblico è molto vasto, andando dai principianti ai professionisti. Presenta numerosi articoli scientifici e divulgativi. Di molti circuiti presentati, la rivista offre i componenti per realizzarli. Offre inoltre alcuni altri prodotti necessari all'hobbysta, come kit per circuiti stampati, piastrine ed altro.

Elettronica pratica è una rivista dedicata agli hobbysti. Presenta numerosi circuiti e di ognuno fornisce i componenti per realizzarlo. Offre inoltre strumenti, attrezzi, kit e penne per circuiti stampati.

Radio elettronica è una rivista d'elettronica generale. Contiene articoli divulgativi e scientifici, oltre a schemi di circuiti e indicazioni sulla reperibilità dei componenti. Talvolta, in collaborazione

con ditte specializzate, mette a disposizione i componenti per la loro realizzazione.

Nuova elettronica si occupa di elettronica a livello hobbystico. Pubblica prevalentemente articoli che tendono a far realizzare al lettore determinati strumenti o apparecchi elettronici, come piccoli calcolatori o simili.

9. Guida all'acquisto

Distinguiamo tre grandi canali per l'acquisto di attrezzatura, strumenti e componenti. Il primo è quello dei negozi specializzati, il secondo è quello delle organizzazioni che effettuano la vendita per corrispondenza, il terzo è la vendita attraverso le riviste.

Di quest'ultimo si veda nelle « Letture »; in ogni caso chi volesse saperne di più si rivolga direttamente ad esse; ricordiamo comunque che le riviste, a parte la strumentazione, l'attrezzatura ed altri prodotti di base (piastrine, kit per circuiti stampati) forniscono solo i componenti dei circuiti che presentano.

Per quanto riguarda invece la vendita per corrispondenza, la maggiore ditta italiana specializzata nel settore è la *Marcucci - Via Bronzetti 37 - Milano*. Scrivendo una cartolina postale a questo indirizzo è possibile ricevere gratuitamente i cataloghi disponibili e contenenti, tra l'altro, tutte le modalità per ricevere, per corrispondenza, i prodotti desiderati.

Altre ditte effettuano la vendita per corrispondenza. Per maggiori informazioni ci si rivolga a questi indirizzi.

GBC Italiana - Cinisello Balsamo - Milano

ACEI - Viale E. Martini, 9 - Milano

KIT SHOP - Corso Vittorio Emanuele, 15 - Milano

ELETTROMECCANICA RICCI - Via Palestro, 93 - Cislago (VA)

LEM - Via Digione, 3 - Milano

MOF.I.F.R. - Via Castellini, 23 - Como

ELETTRONICA CORNO - Via Col di Lana, 8 - Milano

ELETTRONICA AMBROSIANA - Via Cuzzi, 4 - Milano

10. Indice analitico

- Alluminio 15
Amplificazione 18, 54
Amplificatore di cuffia 56
Anodo 47
Auto 45
- Base 10
Barriera luminosa 36
Batterie anodiche 22
Bardeen 7
Brattein 7
- Campi elettrici e magnetici 22
Calore 15
Caratteristiche dei transistori 8
Cariche 12
Circuito Darlington 47
Circuito fondamentale 23
Collettore 10
Computer 8
Condensatore elettrolitico 19
Conduttore 7
Conduttore termico 30
Contatti di un interruttore 16
- Diffusione 13
Diodo 9
Diodo a capacità variabile 9
Diodo ad effetto tunnel 9
Diodo Zener 10, 30
- Discriminatore di luminosità 43
Drogaggio 12
- Elettroni liberi 12
Emettitore 10
- Fattore di amplificazione 18
Fotoelementi 9
Fotoresistore 37
Fotorilevatore 36
- Germanio 7, 9
- Intermittenza automatica 45
Interruttore 16
Interruttore per lampada fluorescente 20
Interruttore per lampada ad incandescenza 16
Interruttore relè 22
Interruttore termico 29
Intervallo tra due impulsi 45
Isolanti 7
- Lacune 12
Lampadina 16
Lettere di specificazione 9
Partitore di tensione 30

Relè 22
Saldatura 15
Sensibilità 15
Semiconduttore 7
Sensibilità alla temperatura 15
Shockley 7
Silicio 7, 9
Solfuro di cadmio 37

Tavoletta 17
Temperatura 15, 30

Tempo di ritardo 19
Tensione di diffusione 13, 38
Tensione di polarizzazione 38
Termistore 30
Termostato 29
Tester 10
Transistore 7
Transistore al germanio 9, 37
Transistore al silicio 9
Transistore di potenza 9
Transistore interruttore 16
Transistore per alte frequenze 9

biblioteca tascabile elettronica

coordinata da Mauro Boscarol

come si lavora con i transistori

prima parte: i collegamenti

In una collana di questo tipo non poteva mancare un piccolo corso pratico di introduzione alla tecnica dei transistori. Esso è infatti presente in due volumetti, il primo dei quali presenta i collegamenti fondamentali di uno stadio a transistori. Come è caratteristica dei libri di questa collana, la trattazione è sempre svolta su di un piano di immediata utilizzazione pratica: le proprietà dei transistori sono spiegate proprio attraverso esperienze dirette che portano tra l'altro alla realizzazione di utili apparecchiature.

- 1 Hanns-Peter Siebert L'elettronica e la fotografia (L. 2.000)
- 2 Richard Zierl Come si lavora con i transistori (L. 2.000)
Prima parte: i collegamenti
- 3 Heinrich Stöckle Come si costruisce un circuito elettronico (L. 2.000)
- 4 Heinz Richter La luce in elettronica (L. 2.000)
- 5 Richard Zierl Come si costruisce un ricevitore radio (L. 2.000)
- 6 Richard Zierl Come si lavora con i transistori (L. 2.000)
Seconda parte: l'amplificazione
- 7 Helmut Tünker Strumenti musicali elettronici (L. 2.000)
- 8 Heinrich Stöckle Strumenti di misura e di verifica (L. 3.200)
- 9 Heinrich Stöckle Sistemi d'allarme (L. 2.000)
- 10 Hanns-Peter Siebert Verifiche e misure elettroniche (L. 3.200)
- 11 Richard Zierl Come si costruisce un amplificatore audio (L. 2.000)
- 12 W. Baitinger Come si costruisce un tester (L. 2.000)