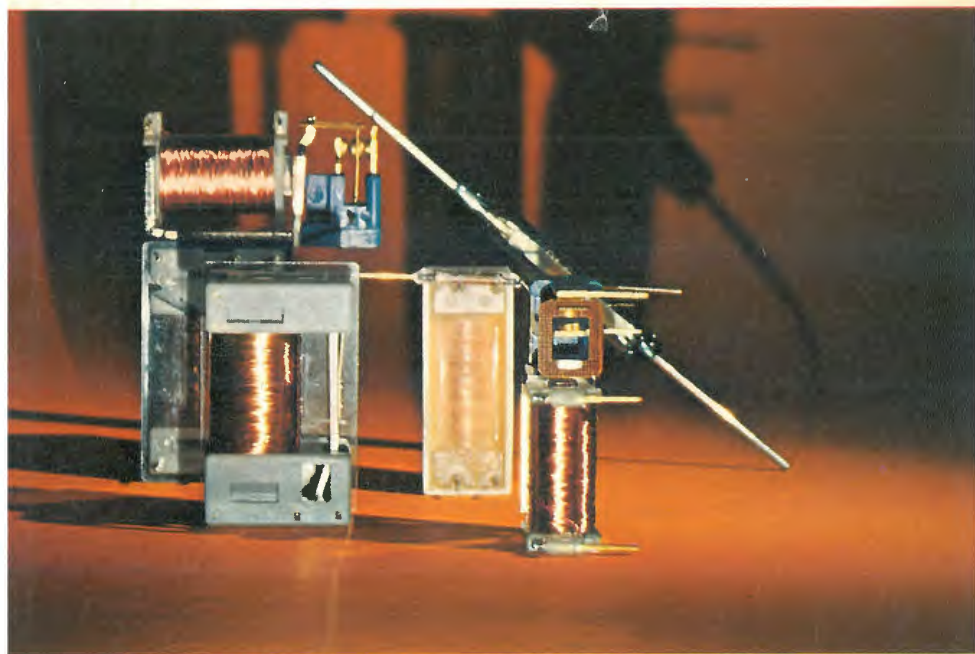


**biblioteca
tascabile
elettronica**

27

ernst löchner

**come si lavora
con i relè**



franco muzzio & c. editore

**la teoria e le applicazioni pratiche
nei circuiti elettronici**

biblioteca tascabile elettronica

coordinata da Mauro Boscarol

27

franco muzzio & c. editore

Ernst Löchner

come si lavora con i relé

Funzionamento e
utilizzazioni nei
circuiti elettronici

Con 64 figure nel testo
e 12 foto su 4 tavole

franco muzzio & c. editore

Copertina di Edgar Dambacher da una foto di Uwe Höch
64 figure nel testo di Hans-Hermann Kropf e dell'autore
12 foto dell'autore su 4 tavole

traduzione di Antonio Valle

ISBN 88-7021-100-3

© 1979 franco muzzio & c. editore

Via Bonporti, 36 - 35100 Padova

Titolo originale dell'opera: « Relais für den Hobbyelektroniker »

© 1978 Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart

Finito di stampare nel giugno 1979 da Offset Invicta Padova

Tutti i diritti sono riservati

Come si lavora con i relé

1. Introduzione alla tecnica dei relé	9
1.1 Cos'è un relé?	9
1.2 Confronto fra relé e interruttore elettronico	10
1.3 Alcune proprietà dei magneti	11
1.4 Unità fisiche	13
1.5 Terminologia della tecnica dei relé	14
1.6 Funzionamento del relé	15
2. Tipi costruttivi e criteri di scelta	18
2.1 Il relé tondo	18
2.2 Il relé tondo piccolo	19
2.3 Relé piccoli e relé per schede	19
2.4 Il relé piatto	20
2.5 Relé ad ancoretta rotante	21
2.6 Relé bistabili	21
2.7 Relé polarizzati	22
2.8 Relé reed	23
2.9 Esecuzioni speciali	24
3. Il contatto elettrico	25
3.1 Pacchi molle	26
3.2 Il contatto elettrico	27
3.3 Protezione pratica dei contatti	31
3.4 Materiali dei contatti	32
3.5 Circuiti per la protezione dei contatti	34
4. Circuiti tipici con relé	37
4.1 Alimentazione semplificata	37
4.2 Alimentatore stabilizzato con relé	39
4.3 Comando di relé con transistor	41

4.4	Comando di relé con operazionale	43
4.5	Ritardo all'eccitazione.....	45
4.6	Comando di relé con integrato di potenza	48
5.	Circuiti digitali con relé	51
5.1	Circuito flip-flop	51
5.2	Logica del relé.....	53
5.3	Lampeggiatori e datori di impulsi	54
5.4	Il multivibratore	56
5.5	Relé per tensione alternata	58
5.6	Relé a frequenza fonica	59
6.	Circuiti pratici	61
6.1	Relé elettronico con ritenuta	61
6.2	Relé ad impulsi sensibile	64
6.3	Relé ad impulso di corrente.....	66
6.4	Interruttore crepuscolare.....	70
6.5	Relé tattile.....	73
6.6	Termostato per acquario	74
6.7	Interruttore acustico	78
6.8	Il relé Hall	85
6.9	Umidostato	88
7.	Interruttori elettronici	91
7.1	Relé e interruttori elettronici	92
7.2	L'interruttore FET (a effetto di campo)	93
7.3	Interruttore FET con adattatore di impedenza	94
7.4	Interruttori integrati J-F	95
7.5	Altri interruttori integrati	98
7.6	Amplificatori operazionali programmabili.....	99
7.7	Interruttori elettronici di potenza	100
	Indice analitico	103

Presentazione

Caro lettore,

ecco per lei un nuovo volumetto della serie *biblioteca tascabile elettronica* dedicata all'elettronica dilettevole. Veramente il titolo non ha molto a che fare con l'elettronica in quanto il relé, come dispositivo elettromeccanico, non è un componente elettronico.

Ma i tempi sono cambiati. I relé vengono sempre costruiti e hanno anche applicazioni sempre più vaste; essi però si sono adattati alla tecnica elettronica. Sono divenuti più piccoli, non hanno molti contatti e sono perciò anche di costo modesto. Ci sono certamente molte varianti costruttive; esse però non sono più caratterizzate soprattutto da diverse combinazioni di contatti, ma piuttosto dalla forma, dalla grandezza, dalla tensione di eccitazione e dal materiale dei contatti. La scelta viene quindi resa più agevole.

Un numero minore di contatti significa però anche che oggi dei circuiti elettronici sostituiscono complesse combinazioni interlacciate di relé. Questi servono ormai solo da interruttori e hanno perso la fisionomia dell'elemento logico. A questa realtà aderisce quanto viene esposto in questa pubblicazione.

Le combinazioni tradizionali di relé, una volta consuete nella tecnica delle telecomunicazioni, sono pressoché scomparse: al loro posto vengono impiegati circuiti elettronici di comando. Proprio dall'associazione di relé e di circuiti elettronici si viene sviluppando una serie di applicazioni che sono per l'appassionato seducenti suggerimenti per la realizzazione di idee personali. La raccolta di schemi qui illustrata comprende progetti di utilità pratica per la casa e per gli hobbies, che il mercato difficilmente offre. Naturalmente si è anche pensato a presentare delle conoscenze fondamentali della tecnica dei relé, al fine di fornire degli orientamenti circa la scelta e l'impiego dei diversi tipi. Infatti esistono

spesso dei preconcetti sui relé, basati su supposte incertezze di contatto. Ciò è ingiusto, come il lettore presto noterà nella lettura di quanto segue. I relé sono certamente paragonabili ai componenti elettronici: occorre solo conoscerli un po' meglio, al fine di evitare delusioni.

Spesso anche il tecnico consumato fa errori, come l'Autore ebbe a riscontrare nella sua attività presso l'industria. È quindi giustificato ritenere che è possibile impiegare correttamente i relé, cosa che si prefigge questo volumetto con i suoi consigli.

Con la speranza che esso aiuti il lettore ad approfondire le sue conoscenze nella tecnica circuitale e aumenti il suo interesse per l'elettronica, auguro successo e molte soddisfazioni a chi vorrà mettere in pratica i miei modesti suggerimenti.

L'Autore

1. Introduzione alla tecnica dei relé

A suo tempo, quando i relé assieme alle valvole erano praticamente gli unici elementi attivi, molti circuiti, per i quali oggi è ovvio ricorrere all'elettronica, venivano realizzati con relé. Pensiamo ad esempio ai primi calcolatori che erano basati su relé. Oggi tuttavia ci sono ancora molte applicazioni, nelle quali si dà preferenza al relé anziché a circuiti elettronici. Vediamo un poco le ragioni di questa scelta.

1.1 Cos'è un relé?

Il vocabolo è originariamente francese (relayer = dare il cambio). Al tempo delle diligenze una stazione di relé era una locanda, dove era possibile cambiare i cavalli stanchi con altri freschi. Così il vocabolo entrò nella terminologia della tecnica telegrafica, per designare un dispositivo capace di convertire i deboli segnali in arrivo da notevole distanza in segnali più forti; l'avvolgimento, eccitato da una debole corrente, provocava la chiusura di un contatto percorso da corrente molto più elevata. Praticamente si può definire il relé un amplificatore di impulsi.

Per questa ragione il vocabolo ha avuto una notevole diffusione nell'elettrotecnica e nell'elettronica. Come relé passano interruttori azionati meccanicamente, come i pressostati, gli interruttori a galleggiante, i termometri a contatto, o anche dispositivi come i thyatron o i relé per commutazione. Noi ci limiteremo però ai relé elettromagnetici, che possono essere considerati come interruttori telecomandati.

1.2 Confronto fra relé e interruttore elettronico

Il relé ha tre caratteristiche peculiari. La prima consiste nella possibilità di commutare, secondo il numero di contatti impiegati, fino a 12 circuiti elettrici separati con un solo relé. Anche se i relé di nostro interesse (i minirelé in genere) non hanno tanti contatti, il tipo con quattro scambi è già in vantaggio rispetto ad un interruttore elettronico se si pensa allo spazio (e al tempo) occorrente per realizzare un circuito con stesse prestazioni, organizzato con 4 transistor e le loro resistenze associate.

Altro vantaggio del relé: il rapporto fra la resistenza fra due contatti, misurata nelle due condizioni di relé a riposo e relé eccitato. La resistenza di isolamento può variare fra $10^9 \Omega$ (con isolamento in cartone bachelizzato) e $10^{12} \Omega$ (isolamento ceramico). La resistenza di contatto va da $1 \text{ m}\Omega$ (contatti in oro) a 3Ω (contatti in tungsteno). Pertanto il rapporto fra i due valori è compreso fra 10^9 e 10^{15} ; la corrente che può passare in un contatto chiuso è cioè enormemente maggiore di quella che scorre attraverso l'isolamento, quanto i contatti sono aperti. In un transistor a effetto di campo il rapporto può salire anche a 10^{10} . Però i transistor hanno la deprecabile virtù di amplificare anche le indesiderate correnti residue, cosa che i relé non fanno con le correnti dovute a perdite nell'isolamento.

Dalle proprietà dei contatti si può risalire ad altre proprietà tipiche dei relé. Nella tecnica delle misure un interruttore ideale dovrebbe avere una resistenza di contatto pressoché nulla. In pratica un relé reed, con contatti placcati oro, è una soluzione semplice e senza problemi. Un circuito elettronico invece, nel quale in uscita compaia la stessa tensione applicata all'entrata, è già una faccenda piuttosto complicata, ad esempio un amplificatore operazionale. Il lato più simpatico del relé è certamente la semplicità, con la quale esso può essere impiegato. Si prende il catalogo del costruttore, si va a cercare in una colonna la tensione di eccitazione, in un'altra colonna il tipo di contatti che occorre; si rileva la codifica per ordinarlo e il gioco è fatto. Provate un poco a scegliere un

transistor adatto, definire il punto di lavoro e magari disporre una compensazione per la temperatura! E senza parlare poi della fragilità dei semiconduttori: se la stabilizzazione di tensione fa i capricci e i semiconduttori vengono sovralimentati, tutto il circuito è già da buttar via. I transistori a effetto di campo poi sopportano male anche saldatori con massa insufficiente o anche il contatto con tessuti sintetici, che con il movimento accumulano cariche elettrostatiche.

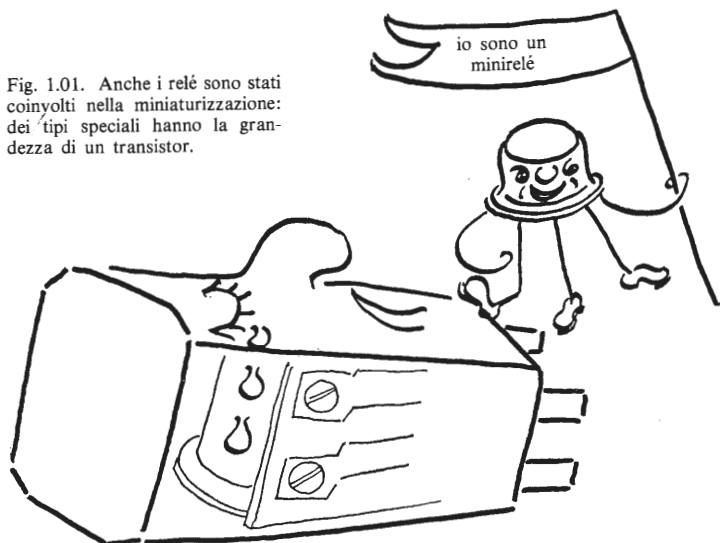
A causa delle sue qualità, cui si è già accennato, il relé ha potuto quindi difendere fino ad oggi le sue posizioni. Non si devono naturalmente tacere alcuni lati negativi. Per primo occorre considerare l'inerzia di un relé, che per eccitarsi richiede alcuni millisecondi. Proprio per questa inerzia il relé non è di aiuto per realizzare protezioni di circuiti transistorizzati. Altro difetto è il rimbalzo dei contatti. Anziché fornire un impulso isolato, il relé ne fornisce una serie: questo impedisce di utilizzarlo nella tecnica digitale, a meno che non si ricorra a particolari esecuzioni (ad es. contatti bagnati in mercurio) o a circuiti logici che neutralizzano il rimbalzo.

Per ultimo consideriamo la durata dei contatti. In media essa è di circa $10^5 \div 10^6$ interventi. La vita meccanica del relé dipende dal tipo: quello ad ancoretta sopporta circa 10^5 , quello reed circa 10^8 operazioni. Si può parlare anche di dimensioni: però il relé ha seguito anche lui le tendenze della miniaturizzazione. A parità di potenza commutata non è detto che il relé sia più voluminoso di un circuito a transistor. Anzi, si sono già visti relé grandi come un transistor, anche se ovviamente non si tratta di tipi di corrente impiego.

1.3 Alcune proprietà dei magneti

Non c'è via di uscita: per capire la documentazione tecnica dei relé occorre dapprima fare conoscenza con le più importanti grandezze magnetiche e le unità di misura relative. Ricorderemo, per tranquillità del lettore, solo quelle strettamente necessarie.

Fig. 1.01. Anche i relé sono stati coinvolti nella miniaturizzazione: dei tipi speciali hanno la grandezza di un transistor.



Senza andare nel campo della fisica dell'atomo, accontentiamoci dapprima della constatazione che un magnete a ferro di cavallo attira pezzetti di ferro.

Sono magnetizzabili il ferro, il cobalto, il nichel, il manganese e alcuni loro composti o leghe. L'acciaio, come quello delle calamite

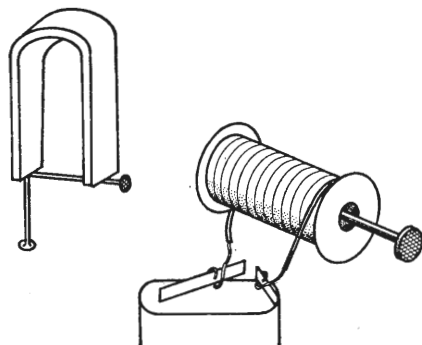


Fig. 1.02. Pezzi di acciaio o ferro dolce possono essere magnetizzati con una calamita o con una bobina percorsa da corrente continua.

a ferro di cavallo, una volta magnetizzato conserva il magnetismo. Perciò si parla di magneti permanenti. Il ferro dolce invece, cessata la magnetizzazione, torna nello stato primitivo; il ferro dolce si può magnetizzare accostandolo a una calamita oppure mediante una bobina percorsa da corrente elettrica. Una bobina, se la corrente è continua (unidirezionale), produce un campo magnetico analogo a quello di una calamita (Fig. 1.02).

1.4 Unità fisiche

Per afferrare il funzionamento di un relé è importante sapere che un magnete permanente o un elettromagnete presentano un polo magnetico Nord e Sud. Un pezzo di ferro non magnetizzato viene attratto in ugual maniera da un polo o dall'altro. Se si avvicina un chiodo a una calamite, esso viene attirato con la stessa forza anche se lo si presenta girato di 180 gradi. Le cose sono diverse, se si avvicinano due calamite. Poli di tipo contrario si attraggono (con una forza doppia di quella con cui attraggono un pezzo di ferro); se si cerca di avvicinare poli dello stesso tipo si noterà che essi si respingono.

La forza sviluppata da un magnete dipende da diverse circostanze. Un grosso magnete a ferro di cavallo ha maggior forza di uno piccolo, un elettromagnete attrae proporzionalmente al numero delle spire del suo avvolgimento e all'intensità della corrente circolante. Il prodotto del numero di spire e della corrente che determina la forza di attrazione, viene indicato con il simbolo Θ e con il termine « eccitazione ». Moltiplicando corrente e spire, si ottiene l'unità Asp. (amperspira). Si tratta di un'unità un poco arbitraria, in quanto sp (numero delle spire) è solo un fattore numerico; si dovrebbe a rigore impiegare solo la grandezza A (corrente). Questo però può portare a equivoci con la misura tradizionale di corrente, per cui nella documentazione tecnica si è rimasti alla grandezza Asp.

Per il progetto di circuiti con relé e per la scelta delle caratte-

ristiche delle bobine basta conoscere l'entità dell'eccitazione richiesta, in quanto tutte le altre grandezze magnetiche dipendono dalla configurazione costruttiva di ogni tipo di relé e quindi sono state fissate dalla fabbrica. Non dobbiamo quindi preoccuparcene, per cui ne accenneremo solo brevemente.

Il flusso magnetico viene indicato con il simbolo Φ , si misura in Wb (Weber) oppure $V \cdot s$ (Volt secondo); non è più ammessa l'unità M (Maxwell). La corrispondenza è

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s} = 1 \text{ W s} / \text{A} = 10^8 \text{ M}$$

La densità del flusso magnetico si indica con B, si misura in T (Tesla); una volta si usava il G (Gauss) ma ora è fuori legge.

$$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2 = 10^4 \text{ G.}$$

Ha una certa importanza ancora il campo magnetico H, misurato in A/m mentre l'unità Oe (Oersted) non viene più impiegata. Si tenga presente che

$$1 \text{ A/m} = 4 \pi 10^{-3} \text{ Oe.}$$

1.5 Terminologia della tecnica dei relé

L'*eccitazione di intervento* è quella che provoca l'attrazione dell'ancoretta o comunque il passaggio dallo stato di riposo allo stato di lavoro. Essa è data dal prodotto della corrente di eccitazione per il numero delle spire.

L'*eccitazione di esercizio* è quella presente in condizione di lavoro. È per ragioni di sicurezza maggiore dell'eccitazione d'intervento; il suo valore deve essere limitato in funzione del calore dissipabile. L'*eccitazione di rilascio* corrisponde al valore più alto al quale l'ancoretta torna in condizioni di riposo.

L'*eccitazione di ritenuta* è quella per cui si ha con sicurezza il permanere in condizione di lavoro.

La *corrente a vuoto* è il valore massimo di corrente per il quale con sicurezza non si ha ancora l'intervento.

La *potenza di eccitazione* è il prodotto della resistenza della bobina per il quadrato della corrente di eccitazione.

Il *carico termico massimo* rappresenta il limite di potenza di esercizio, che l'avvolgimento della bobina sopporta per un tempo indefinito, compatibilmente con il calore dissipato e la temperatura dell'ambiente. Il carico termico è ovviamente maggiore della potenza di intervento e della potenza di esercizio.

Il *campo di tensione* è definito dai limiti minimo e massimo della tensione applicabile alla bobina. Esso dipende dalla potenza di intervento (per il minimo) e dal carico termico massimo (per il massimo). Il campo di tensione viene indicato quasi sempre nei prospetti tecnici e quindi non c'è bisogno di fare calcoli ulteriori.

La *resistenza dell'avvolgimento* vale per la temperatura di 20 °C; si tollera in genere uno scarto del $\pm 10\%$.

L'*induttanza* risulta dal prodotto di una costante (talvolta indicata nella documentazione) per il quadrato del numero delle spire. Essa è maggiore quando il relé è eccitato di quando esso è in stato di riposo. Nel relé Siemens Tipo N essa è ad es. indicata in $9 \times 10^{-8} N^2H$ (ancoretta in riposo) e $17 \times 10^{-8} N^2H$ (ancoretta attratta). N^2 è il quadrato del numero di spire e H l'induttanza (in Henry).

Il *contatto elettrico* è un processo fisico che caratterizza la situazione in cui viene consentito il passaggio di una corrente elettrica fra due o più pastiglie (o puntine). In pratica queste sono realizzate in ribattini di metallo nobile (argento), rame, tungsteno e loro leghe.

1.6 Funzionamento del relé

Vengono allestiti moltissimi tipi di relé, con caratteristiche differenti, che qui sarebbe impossibile descrivere singolarmente. Ci

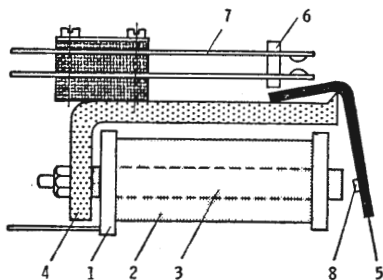


Fig. 1.03. Rappresentazione semplificata del relé tondo classico (nel testo i riferimenti numerici).

limiteremo perciò a esaminare il classico relé tondo.

Dalla Fig. 1.03 si può rilevare che questo relé si compone di alcuni pezzi in ferro, di una bobina, del pacco molle e di un traferro in aria. Sul rocchetto 1 è avvolta la bobina 2; all'interno del rocchetto è il nucleo 3. Il circuito magnetico viene completato dal giogo 4, all'estremo del quale è imperniata l'ancoretta 5.

Allorché la corrente circola nell'avvolgimento il relé viene eccitato, l'ancoretta viene attratta; questa con un nasello, un pernetto o un distanziatore opportunamente configurato spinge la molla (o le molle) di contatto. Al cessare dell'eccitazione la molla riporta l'ancoretta nella posizione di riposo. Il circuito magnetico viene realizzato in ferro dolce, che in mancanza di eccitazione si smagnetizza quasi completamente. Ad evitare che il modesto magnetismo residuo trattenga l'ancoretta, questa viene munita di una puntina 8 di materiale amagnetico (ottone o materiale plastico).

Il traferro in verità rappresenta un ostacolo per il circuito magnetico, però permette un corretto movimento dell'ancoretta. Il traferro si compone dello spessore di aria fra nucleo e ancoretta, più lo spessore della puntina antimagnetica. Nella corsa dell'ancoretta si può distinguere fra un primo tratto libero di circa 0,1 mm, poi un secondo tratto, nel quale vengono fesse le molle dei contatti. Avviene poi l'appoggio delle pastiglie mobili contro quelle fisse, anch'esse fissate su molle. Qui inizia un ultimo tratto di corsa, nel quale le pastiglie vengono compromesse fra di loro, al fine di assi-

curare un buon contatto. Il semplice appoggio infatti potrebbe causare contatti incerti.

Un diagramma che rappresenta la forza occorrente all'ancoretta in funzione della corsa è caratterizzato quindi da due ginocchi: il primo dove inizia lo sforzo sulle molle mobili, il secondo dove inizia la pressione su quelle fisse. Il secondo ginocchio è quello che determina l'intensità di eccitazione occorrente per il corretto funzionamento. È da notare che per l'ultimo tratto, anche se lo sforzo richiesto è maggiore, la forza magnetica cresce notevolmente per la riduzione del traferro.

La configurazione dei pacchi molle e delle pastiglie di contatto fa parte di una tecnica particolare, che riprenderemo più avanti.

2. Tipi costruttivi e criteri di scelta

Nella panoramica riassuntiva che segue verranno considerati solo quei tipi di relé che possono interessare il tecnico dilettante. Essi non solo devono essere di costo accessibile — infatti il prezzo di un relé può oscillare nel rapporto da 1 a 100 — ma essere anche facilmente reperibili come pezzi singoli. Proprio per quest'ultimo requisito occorre escludere il relé piatto (che viene costruito certamente in grandi quantità, ma solo quale componente degli impianti telefonici).

2.1 Il relé tondo

Il principio costruttivo del relé tondo è stato illustrato nel capitolo precedente, per cui ne esamineremo solo le esecuzioni più diffuse. Nella foto 1 della tavola 1 è rappresentato un grosso relé tondo con 15 molle di contatto. Esso può avere fino a tre gruppi di 6 molle ciascuno. Dalla fotografia si vede che la molla all'estremo è foggata a forchetta ed ha due puntine, al fine di assicurare maggior sicurezza di contatto. Questo tipo di relé apre molte possibilità al dilettante ed è reperibile anche in piccole quantità.

I singoli pacchi molle — contrariamente a quanto succede per altri relé, specialmente per i relé piatti — possono essere se necessario scambiati con altri di tipo diverso, secondo le necessità. Il relé tondo è fabbricato con tolleranze abbastanza rigorose, a differenza dei relé più piccoli.

Lo svantaggio dei normali relé tondi sta nella necessità di montarli in modo meccanicamente corretto; essi non si prestano al montaggio su circuiti stampati. Hanno inoltre un sensibile ingombro e richiedono una corrente di eccitazione elevata, per cui devono

essere comandati da transistor di potenza. Per circuiti con comando elettronico quindi sono più interessanti i relé miniaturizzati.

2.2 Il relé tondo piccolo

Questo tipo è costruttivamente molto simile a quello tondo normale. Però richiede una minor potenza di eccitazione e i suoi reofori sono tutti ordinati su un piano comune. Sono disponibili modelli con pagliette a saldare oppure con terminali per circuito stampato; anche esecuzioni per alimentazione in alternata, con un raddrizzatore incorporato. Il costo del piccolo relé tondo è circa un terzo di quello analogo normale e può portare fino a 2×12 molle di contatto. In foto 2 della tavola 1 è raffigurato un relé del genere, in cui le molle vengono mosse da un pettine. Questo tipo di piccolo relé caratterizzato dal pettine fa un po' gruppo a sè e viene offerto da quasi tutti i costruttori. Bisogna comunque tener presente che più aumenta il numero delle molle e più piccole sono le dimensioni del relé, più la pressione sui contatti diminuisce, a scapito della sicurezza di esercizio.

La foto 3 della tavola 1 rappresenta un panorama delle diverse esecuzioni di relé piccolo. Alcune sono innestabili, altre hanno terminali per circuito stampato, altre hanno pagliette a saldare. L'azionamento avviene con pettine oppure con un pernetto.

2.3 Relé piccoli e relé per schede

Non è sempre possibile classificare nettamente in categorie i piccoli relé, perché a volte essi hanno contemporaneamente caratteristiche tipiche dell'uno o dell'altro gruppo. Sono state foggiate molte designazioni (relé a pettine, relé piatti, relé per schede, relé per circuito stampato, ecc.) anche se effettivamente si tratta solo di piccoli relé tondi. Alcuni ad esempio hanno un nucleo a sezione

quadrata (caratteristico dei relé piatti) ma contemporaneamente un'ancoretta mobile (tipica dei relé tondi). Si deve anche tener presente che a volte essi sono muniti di una custodia protettiva anti-polvere opaca, per cui non si riesce nemmeno a capire come sono fatti internamente.

Per l'impiego in associazione con circuiti elettronici hanno particolare importanza i relé per schede e i relé per circuito stampato, con terminali disposti su un piano e a distanze modulari. Essi si possono montare molto bene, tanto in posizione verticale, quanto in assetto coricato, sulle lastre dei circuiti stampati, grazie alle dimensioni limitate. Questi tipi hanno in genere solo uno o due pacchi molle (con un contatto di scambio ciascuno) e quindi possibilità modeste. Nelle foto 10 e 11 della tavola 4 sono illustrate alcune applicazioni.

2.4 Il relé piatto

Fino all'apparire della soluzione elettronica, il relé piatto era il relé più importante della tecnica delle telecomunicazioni. A causa dei notevoli quantitativi occorrenti esso veniva prodotto in modo razionale; per questa ragione esso è completamente diverso dal relé tondo. Quest'ultimo impiega pezzi torniti (nucleo, rocchetto bobina); il relé piatto impiega pezzi tranciati. Nella foto 5 della tavola 2 è riconoscibile la lunga ancoretta mobile, che contemporaneamente sostituisce il giogo. Il nucleo non è cilindrico, ha invece sezione rettangolare e all'estremità destra è piegato, onde offrire all'ancoretta un centro di rotazione. L'estremo anteriore ha un prolungamento che costituisce uno dei poli magnetici. L'avvolgimento è ovale. Il relé può avere tre pacchi molle, con fino a sei molle ciascuno. A causa delle numerose varianti dei pacchi molle e delle bobine di eccitazione esso non è quasi mai disponibile da magazzino. Esso è piuttosto lento per via della notevole massa dell'ancoretta; i suoi tempi caratteristici sono quindi più lunghi di

un relé tondo. Anche se prodotto con operazioni di tranciatura esso è sempre caro rispetto ai componenti di tipo elettronico.

2.5 Relé ad ancoretta rotante

Tutti i tipi finora esaminati possono essere raggruppati come relé ad ancoretta oscillante. Diversi sono quelli ad ancoretta rotante, che hanno alcuni svantaggi. L'ancoretta oscillante ha il difetto di avere funzionamenti dipendenti dall'assetto; quindi richiede diversa potenza di eccitazione, secondo le modalità di montaggio. Anche in presenza di urti o vibrazioni, l'ancoretta oscillante è facilmente influenzata da forze di accelerazione.

Il relé ad ancoretta rotante è stato realizzato per l'impiego sui veicoli, perché le accelerazioni non agiscono sull'ancoretta e non avvengono quindi contatti indesiderati. Nella foto 6 della tavola 2 è illustrato un tipo con terminali per circuito stampato. Le pastiglie di contatto sono dimensionate per basse tensioni e alte correnti, come in genere viene richiesto dagli autoveicoli.

2.6 Relé bistabili

Come succede nell'elettronica, anche per i relé occorre spesso che dopo un impulso di eccitazione, il relé rimanga nella posizione assunta. In questo caso si ha una memorizzazione dell'impulso, per un tempo indeterminato. Solo applicando un successivo impulso il relé ritorna nella posizione primitiva: esso si comporta come un flip-flop. Un flip-flop con semiconduttori richiede due transistor; il circuito equivalente, realizzato con relé, ne richiederebbe due. Però è possibile attrezzare un relé con un dispositivo meccanico, in modo che un solo relé abbia due posizioni stabili. Un'esecuzione del genere, con ritenuta meccanica, fu dapprima realizzata modificando un relé piatto o tondo. Ora si tende ad

abbandonare la ritenuta meccanica, ricorrendo alla ritenuta elettronica.

Relé ad impulso, con ritenuta, vengono comunque costituiti ancora per impiego in impianti civili (circuiti luce con comando a pulsanti); un esempio viene illustrato alla foto 7 della tavola 3, in esecuzione per incasso a muro.

2.7 Relé polarizzati

I relé di cui si è trattato finora possono essere compresi, anche se realizzati costruttivamente in varie forme, nella grande categoria dei relé non polarizzati, per i quali non ha importanza in quale senso scorre la corrente di eccitazione. È pertanto possibile invertire la polarità del circuito di alimentazione.

Ci si può però facilmente immaginare cosa succede se ad esempio il nucleo di materiale è magnetizzato: l'ancoretta, in stato di riposo viene attirata. È allora possibile realizzare un relé in cui i contatti si chiudono in mancanza di eccitazione, oppure sono aperti e chiudono con eccitazione, oppure ancora senza eccitazione assumono una posizione intermedia.

In assenza di eccitazione non viene effettuato alcun contatto; secondo il senso della corrente di eccitazione l'ancoretta viene attratta da una parte o dall'altra e viene chiuso il rispettivo contatto. In un certo senso un relé fa la funzione di due relé. Tuttavia non è questo il motivo dell'impiego di relé polarizzati: è invece interessante la straordinaria sensibilità di questi relé, nei quali la corrente di eccitazione è dello stesso ordine di grandezza della corrente di base in un transistor. È ovvio che il loro allestimento richiede un'alta precisione e pertanto influisce sul prezzo. Questa categoria di relé aveva un tempo vasta diffusione negli impianti telegrafici.

2.8 Relé reed

Nel capitolo che segue ci occuperemo più diffusamente dei contatti elettrici. Bisogna comunque tener presente che i contatti sono il punto debole di un relé. Si è così cercato di correre ai ripari racchiudendo il relé in una custodia a chiusura ermetica. Non fu un grande successo: infatti i materiali termoplastici, impiegati per isolare le lamelle o per i piolini di spinta, contengono dei plastificanti che col tempo liberano dei gas.

Dopo questi parziali insuccessi si è passati ad un principio costruttivo radicalmente diverso: le molle di contatto vengono racchiuse in un bulbo di vetro riempito di gas inerte, che le protegge quindi dall'atmosfera esterna. Questo principio costruttivo viene chiamato « contatto reed » (reed in inglese è lamella vibrante di una canna d'organo). Restava il problema di come muovere le molle, che è stato risolto adottando materiali magnetizzabili e disponendole affiancate a breve distanza fra loro. Con un campo magnetico di sufficiente intensità le molle si attraggono e si toccano. Nel punto di contatto esse sono placcate con metallo nobile. Esistono anche bulbi con tre molle (contatto di scambio) che però creano

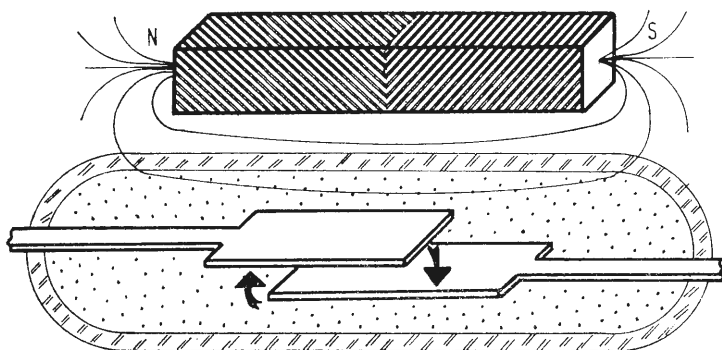


Fig. 2.01. Il contatto reed è costituito da due linguette di materiale magnetizzabile, racchiuse in un bulbo di vetro, che in presenza di flusso magnetico si attraggono.

qualche difficoltà, oltre ad avere considerevole ingombro. L'esecuzione più diffusa è quindi quella con un solo contatto in chiusura. È possibile, con un avvolgimento comune, azionare contemporaneamente più contatti. Questi relé reed hanno piccolo ingombro, come mostra la foto 8 della tavola 3.

2.9 Esecuzioni speciali

Quando l'elettronica era ancora alle prime armi, si è ricorsi per le esigenze funzionali più disparate ad un vasto campionario di esecuzioni speciali. Nel *relé contatore* ad esempio l'ancoretta spinge una ruota dentata, solidale con un tamburello a numeri; ad ogni eccitazione il tamburello ruota di un passo. Così vengono realizzati contatori decadici con qualsivoglia numero di cifre. *Esistono relé con contatti nel vuoto*, con azionamento dall'esterno; poiché l'apertura avviene in assenza di gas ionizzabile, non si possono formare scintille. Nel caso di interruzione di circuiti con carattere induttivo, si sviluppano allora tensioni molto elevate, che richiedono opportuni dispositivi limitatori.

I *relé per alternata* vengono corredati di un raddrizzatore e quindi possono essere eccitati con tensione alternata.

I *relé a bobina mobile* hanno una sensibilità elevatissima e richiedono quindi una potenza di eccitazione molto bassa. La Siemens ha realizzato un piccolo *relé a contatti obbligati*, per esigenze degli impianti di segnalamento. In questo relé non è possibile che un contatto rimanga « incollato », situazione pericolosa se ai contatti sono collegate delle lampade semaforiche, ad es.: verde contemporaneo per sensi non compatibili. Per il comando di macchine vengono offerti relé robusti e con contatti per forti correnti, da innestare in uno zoccolo provvisto di morsetti. E qui potremmo ancora continuare a lungo.

3. Il contatto elettrico

Dapprima una storiellina. Una nota ditta allestì una volta un complesso di comando per una taglierina di una rilegatoria. Fra l'altro era prevista una fotocellula, che doveva impedire la discesa della lama quando qualcuno stava ancora sistemando carta o libri sul piano di lavoro. Un giorno l'operaio sentì venire dal pannello un rumorino che per esperienza sapeva precedere di poco la discesa della lama. Terrorizzato fece un salto indietro, ma la macchina fu più svelta: il poveretto non fu ghigliottinato, ma ci rimise però le punte di alcune dita. L'inchiesta che seguì dimostrò che alcuni contatti dei relé si erano « incollati ». Chi era il colpevole? Era causa di forza maggiore, era una deplorabile coincidenza, oppure il fornitore aveva fornito materiale inefficiente? Nulla di tutto questo: la colpa era del progettista, che aveva scelto un tipo inadatto di relé. Spesso i relé vengono considerati poco affidabili; però di solito il relé non è il colpevole. Lo è invece l'utilizzatore, che spesso non sa scegliere fra gli innumerevoli tipi disponibili sul mercato. I casi nei quali il relé a dispetto di ogni competente e prudente scelta fa cilecca non sono più numerosi di quelli che capitano nel caso di circuiti interamente elettronici.

Tocca al lettore scegliere marca, tipo, caratteristiche di avvolgimento della bobina. La scelta deve basarsi sulle modalità di impiego, sulla configurazione del circuito di eccitazione, su considerazioni di ingombro, di difficoltà ambientali (atmosfera corrosiva) e — non ultimo — sul costo.

Vorremmo però dare al lettore, almeno per quanto riguarda il delicato problema della scelta dei contatti, qualche concreto suggerimento, affinché possa essere adottato in ogni caso il tipo più adatto.

3.1 Pacchi molle

Al lettore è già noto che un relé può azionare uno o più contatti elettrici; per ogni contatto occorrono almeno due molle con le relative puntine. L'insieme delle molle, ad esempio le tre molle di un contatto di scambio, vengono designate secondo le norme DIN 41020 come « pacchi molle ». Naturalmente quando occorre azionare contemporaneamente più contatti, i singoli pacchi molle vengono montati uno sopra l'altro. In un relé possono essere montate più combinazioni di contatti, che allora vengono disposte affiancate.

All'estremo di ogni molla si trova la puntina (o la coppia di puntine) che è sufficiente, la corrente elettrica passa da un contatto all'altro. Il problema consiste nel garantire che il passaggio avvenga con sufficiente certezza.

Quando ancora l'elettronica era di limitato impiego, fiorirono le più impensabili versioni di relé, nelle quali al gruppo di contatti erano affidate complesse funzioni (ad esempio, l'uno doveva aprire o chiudere prima dell'altro, ecc.). Il numero limitato di molle praticamente azionabili favoriva la diversificazione. Non erano affatto rare le combinazioni di sei o più molle. Oggi ci si limita a poche esecuzioni normalizzate, di costo modesto, e per compiti particolari ci si rimette ad un circuito elettronico ausiliario. Una descrizione dei tipi di pacchi molle si limita quindi a pochi esempi.

I pacchi molle in fondo sono raggruppabili in due tipi: con contatto di lavoro (in chiusura) e di riposo (in apertura). In Fig. 3.01 sono rappresentati i due tipi, con la cifra di codice che li contraddistingue.

Poiché nella documentazione tecnica vengono spesso indicate solo le cifre di codice, dobbiamo conoscere anche altre versioni di pacchi molle. Un tipo particolare è siglato 32; in esso la cifra 1 è sostituita dalla cifra 3, contrariamente alla designazione 12, impiegata per un normale contatto di scambio. Nel tipo 32 uno dei contatti chiude, prima che l'altro si apra, cosicché si ottiene una com-

Simbolo	Disposizione delle molle	Codice	Funzione	Simbolo	Disposizione delle molle	Codice	Funzione
		1	Contatto di lavoro			11	Doppio contatto di lavoro
		2	Contatto di riposo			32	Scambio trascinato
		21	Scambio			21+1	Scambio e lavoro

Fig. 3.01. Le forme tipiche di molle di contatto e alcune loro combinazioni.

mutazione senza che il circuito venga interrotto. Quando più pacchi molle sono riuniti in una combinazione unica, le singole sigle vengono separate da un trattino. Se anziché un trattino viene indicato un +, si vuol specificare che i due pacchi molle vengono azionati successivamente nello stesso ordine in cui essi vengono citati.

Non continuiamo nella descrizione dei pacchi molle in quanto i relé nella stragrande maggioranza vengono offerti con le combinazioni più semplici.

3.2 Il contatto elettrico

Quanto avviene sulla superficie dei contatti, dal punto di vista fisico e chimico, è talmente complicato che esso ha già portato alla formazione di una scienza a parte. Cercheremo di riassumere brevemente quanto la ricerca è riuscita a scoprire, magari ricorrendo a drastiche semplificazioni.

Normalmente ciò che viene definito come resistenza di contatto in realtà comprende tre resistenze parziali. Dapprima avremo la resistenza delle molle, poi la resistenza del passaggio dalla molla

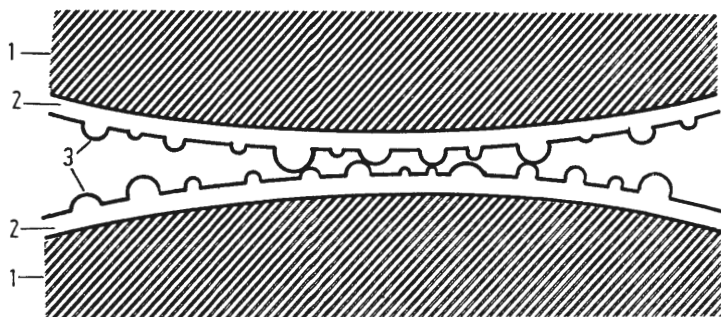


Fig. 3.02. Sulla superficie della puntina di contatto il metallo (1) è coperto da uno strato di materiale estraneo (2); la superficie inoltre non è liscia, ma presenta protuberanze irregolari (3) sulle quali le puntine si toccano.

alla puntina di contatto, e per ultimo le resistenze sulle superfici di contatto. Su queste verte il presente capitolo.

La puntina di contatto è rivestita da un sottilissimo strato (di ossido) che in casi favorevoli è dello spessore di una molecola, in genere però è molto più spesso. La superficie della puntina poi non è perfettamente liscia, ma presenta delle rugosità. Come mostra la Fig. 3.02 le due puntine si toccano quindi non su tutta la superficie, ma solo in alcuni punti.

La forza con cui i contatti si toccano, specialmente nei piccoli relé, è piuttosto limitata (circa 0,1 N). Poiché essa viene concentrata solo su pochi punti, di limitatissima superficie, la pressione specifica assume valori elevati, che consentono una deformazione del metallo. In questi punti viene schiacciato lo strato di ossidi, se esso non è troppo spesso (Fig. 3.03). L'argento è uno dei metalli che più facilmente vengono deformati.

La rugosità e la deformabilità del metallo nel punto di contatto non garantiscono da soli una buona conduzione. Questa dipende in modo diretto dallo stato di materiale estraneo presente sulla superficie. Esso può essere di natura fisica (deposito di polvere, assorbimento di molecole di gas o vapori) e di natura chimica (ossidi, solfuri, polimeri); la formazione avviene nello stato di riposo

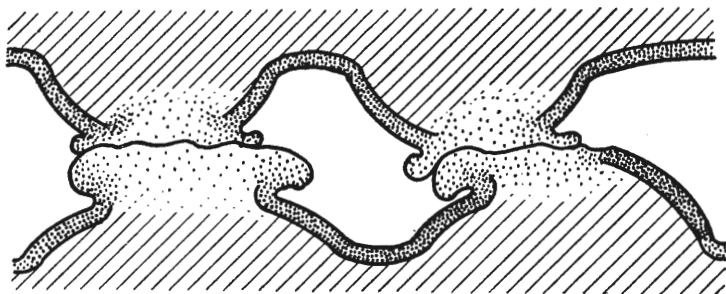


Fig. 3.03. Il contatto avviene solo in pochi punti sporgenti, dove si produce uno scorrimento del metallo e dove il materiale estraneo viene schiacciato.

come durante il funzionamento. È molto difficile prevedere il comportamento di un determinato metallo, dato che per la formazione dello strato estraneo ha luogo in diversissime condizioni di temperatura e cioè dalla temperatura ambiente alla temperatura dell'arco. Ai fini dell'utilizzazione pratica del relé è ad ogni modo importante tener conto che fino ad oggi non si è trovato un materiale che assicuri in ogni condizione un buon contatto elettrico. La resistenza causata dallo strato superficiale impedisce, se lo spessore è sensibile, il passaggio della corrente. In genere però non si ha un'interruzione assoluta; una piccola frazione di corrente riesce a passare. Si hanno allora dei fenomeni analoghi a quelli riscontrati nei semiconduttori. La corrente, anche se molto bassa, promuove un effetto di conduzione analogo a quello riscontrato nei « coherer » (i rilevatori di segnali radio usati ai primordi delle comunicazioni senza fili). Questo effetto è più o meno marcato secondo la tensione in gioco, secondo il tipo di strato superficiale e il suo spessore, secondo l'invecchiamento.

Un rimedio pratico, anche se porta ad una maggiore usura dei contatti, è quello illustrato in Fig. 3.04. Lo strisciare di una puntina sull'altra, magari per una frazione di millimetro solamente, provvede ad eliminare lo strato di materiale estraneo.

La pressione richiesta dei contatti dipende dal materiale. L'espe-

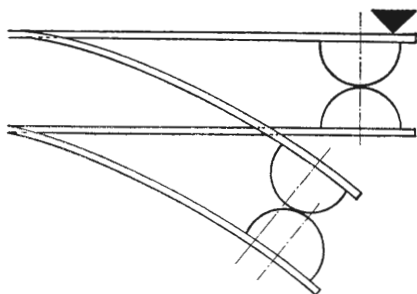


Fig. 3.04. Durante il funzionamento le puntine non si spostano parallelamente, ma scorrono in modo da eliminare lo strato superficiale estraneo.

rienza indica, per un leggero strisciare, i seguenti valori minimi:

oro (in aria senza polvere)	0,01 N (\sim 1 p)
argento	0,15 N (\sim 15 p)
tungsteno	0,7 N (\sim 70 p)

Per i contatti in argento, con correnti di maggiore intensità la pressione viene aumentata di:

0,05 ÷ 0,1 N per ampere (frequenti interventi)
0,1 ÷ 0,15 N per ampere (rari interventi).

Un inconveniente piuttosto diffuso è l'incollamento dei contatti. Le scintille, che si sviluppano specialmente con carico induttivo e che sono in realtà dei minuscoli archi, provocano la saldatura delle puntine.

Con un carico capacitivo si verificano invece dei riscaldamenti al momento della chiusura dei contatti. La forza occorrente per distaccare dei contatti « incollati » è in genere maggiore della forza di richiamo delle molle. Occorre aggiungere che il materiale dei contatti raggiunge quasi sempre la temperatura di fusione a causa delle rugosità microscopiche, anche se si adottano accorgimenti per smorzare le scintille.

Lasciando da parte il caso poco comune di carico capacitivo, l'arco si sviluppa principalmente all'apertura. Le puntine si possono incollare soltanto alla chiusura; mentre è noto che l'arco, una volta innescato, può non spegnersi fino alla successiva chiusura dei contatti. Ciò porta sempre ad una notevole usura: talvolta

la scintilla non si nota neppure, ma si ha solo una scarica fredda, invisibile.

3.3 Protezione pratica dei contatti

Dopo la lettura del capitolo precedente ci si potrà meravigliare che, con tutte le difficoltà cui si è accennato, i contatti di un relé funzionino poi a dovere. Per fortuna la cosa non è così grave. Ecco alcuni consigli pratici per evitare disturbi.

1. Per ogni impiego scegliere il materiale di contatto più adatto, valendosi dei suggerimenti del capitolo che segue.
2. Applicare ad ogni contatto la tensione per cui esso è stato selezionato: in nessun caso essa deve essere maggiore del valore consentito, come non deve essere molto più bassa. Un contatto previsto per la tensione di rete non verrà quindi impiegato su un circuito microfonico e inversamente.
3. La corrente e la potenza (prodotto corrente \times tensione) da interrompere non devono superare i valori indicati nella documentazione; è meglio se sono anche notevolmente inferiori.
4. Dovendo interrompere correnti e tensioni molto piccole, è consigliabile ricorrere ad un contatto « eccitato ». Un circuito adatto è descritto in un prossimo capitolo.
5. I contatti si incollano di preferenza alla chiusura, per le extracorrenti di carica e scarica di condensatori. Questi vanno collegati non direttamente, ma tramite una resistenza di protezione in modo che in un primo momento la corrente venga limitata al calore massimo prescritto.
6. Con forti correnti è opportuno disporre due contatti in parallelo, con forti tensioni due contatti in serie.
7. Per poter soffocare con sicurezza un eventuale arco, non superare mai un carico di 250 mA per contatto, anche se le tabelle dei dati tecnici ammettono un carico maggiore.
8. Nei circuiti comprendenti delle induttanze, prevedere oppor-

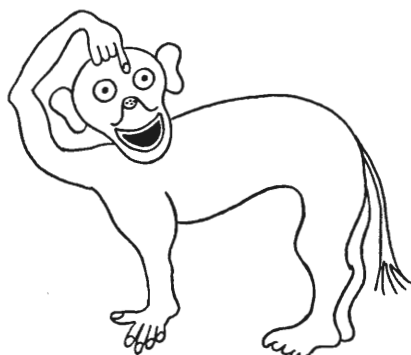


Fig. 3.05. Primo dovere dell'utilizzatore: riflettere!

tuni dispositivi di smorzamento delle scintille e degli archi (esempi nei capitoli che seguono).

9. Diffidare dai piccoli relé, che spesso non hanno forza sufficiente per premere sullo strato superficiale dei contatti. La forza minima ad esempio per puntine in argento è di 0,15 N. Ben pochi dei relé offerti sul mercato riescono a raggiungere questo valore.
10. Sui punti critici del circuito occorre prevedere relé con contatti di particolare affidabilità, ad esempio quelli in atmosfera inerte (relé reed) o quelli a bagno di mercurio (relé della Clare).

A chiusura dei dieci comandamenti citati una calda raccomandazione a chi utilizza i relé: ragionarci un po' sopra, al fine di risolvere i problemi di contatti già in fase di progetto.

3.4 Materiali dei contatti

I maggiori responsabili di difettoso funzionamento dei relé sono sempre i contatti. Anziché mettere in bilancio già in partenza eventuali disturbi, occorre operare una serie scelta del tipo di contatto più adatto per ogni singolo impiego. Oggi i relé vengono pro-

dotti in genere in esecuzioni normalizzate e quindi, specialmente per le modeste quantità che occorrono all'hobbista, non c'è una gran scelta. Nell'esposizione che segue terremo quindi conto solo di quei materiali che secondo i prospetti sono disponibili.

L'argento è uno dei materiali preferiti. Ammette correnti da 10 mA fino a 5A, con tensioni da 12 a 500 V. I difetti sono: poca resistenza allo scintillamento, forte migrazione del materiale, tende a incollarsi, resiste poco all'atmosfera inquinata da zolfo (presente quasi ovunque); non è consigliabile per tensioni e correnti molto basse. Argento duro (lega argento/rame 9:1): resiste meglio dell'argento agli archi, però è attaccabile chimicamente.

Le leghe di argento/palladio (in vari rapporti) resistono alla corrosione da zolfo meglio dell'argento, presentano minor consumo da scintillamento; sono più costose dell'argento, interessano quindi solo per alti carichi.

Le leghe argento/cadmio sono meno sensibili alla corrosione da scintilla e hanno minor tendenza all'incollamento. Spesso il cadmio è incorporato sotto forma di ossido di cadmio, migliorando così le caratteristiche. Da preferire solo per alte correnti e forti tensioni.

L'oro puro è il più nobile dei metalli e non si ossida superficialmente, per cui bastano pressioni di contatto da 0,01 N. Gli svantaggi riguardano il costo, la bassa resistenza meccanica, la facilità a incollarsi.

Le leghe oro/nichel, in vari rapporti, sono meno soggette a migrazione del materiale rispetto all'oro; esse richiedono modesta pressione sui contatti (fino a solo 0,01 N), possono essere usate con bassissime tensioni e correnti (da 1 mV a 60 V, 10 μ A a 10 mA). I loro punti deboli sono la facilità all'incollamento, la poca resistenza agli archi, l'alto costo; è controindicato l'impiego con forti correnti e tensioni.

Il tungsteno resiste bene all'erosione e agli archi, per cui sopporta forti correnti. Richiede però una notevole pressione (oltre 0,7 N), ha elevata resistenza di contatto, è sensibile agli agenti chimici, non si presta per basse correnti.

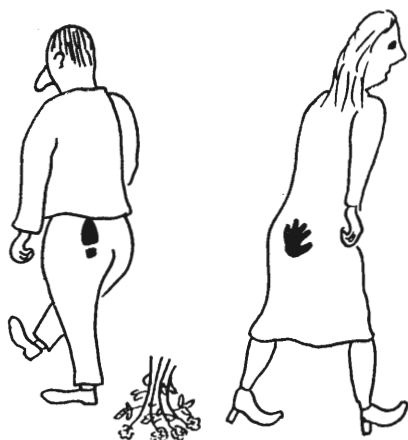


Fig. 3.06. Anche i relé hanno talvolta difetti di contatto.

Il rodio è uno dei metalli più costosi (più del platino) ma anche oltremodo insensibile agli agenti chimici. Ha tuttavia un'elevata resistenza di contatto.

3.5 Circuiti per la protezione dei contatti

È possibile proteggere i contatti in due modi diversi: o con un intervento sugli stessi contatti oppure facendo in modo che elementi del circuito con comportamento reattivo (induttanze o capacità) non possano produrre punte di tensione o di corrente. Entrambi i metodi hanno vantaggi e svantaggi.

Il primo criterio di protezione è illustrato con qualche esempio in Fig. 3.07. I due schemi a sinistra mostrano collegamenti in serie o in parallelo, come già visto nel cap. 3.3. Il circuito a destra indica un contatto « eccitato », utile quando si opera su tensioni molto basse e non si dispone di relé con contatti adatti. Un sistema molto diffuso si avvale di uno smorzamento a resistenza-capacità, che viene collegato direttamente alle molle dei contatti, finché si

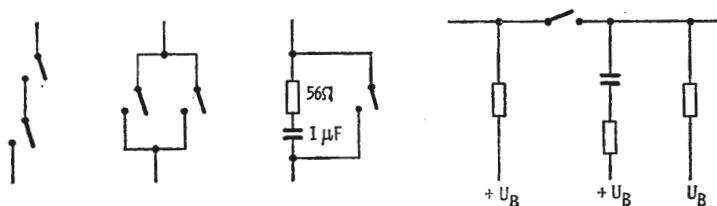


Fig. 3.07. Circuiti di protezione dei contatti (da sinistra a destra): con tensioni elevate si possono collegare due contatti in serie, con correnti elevate in parallelo; il rimedio più comune allo scintillamento è uno smorzatore con R e C; eccitando un contatto con la corrente di carica di un condensatore si apre la strada a deboli tensioni.

tratta di relé abbastanza grandi. Il proporzionamento di R e C dipende dall'induttanza presente nel circuito da interrompere e dalla frequenza di intervento. I valori di 50 ohm e 1 μF sono quindi dati a titolo puramente indicativo. Alcune ditte propongono la combinazione RC in contenitore sigillato (ad es. la Ericsson svedese). In Fig. 3.08 è illustrata la protezione per circuiti a carattere capacitivo. In questo caso non si fa altro che introdurre in circuito una resistenza di protezione allo scopo di limitare ai valori massimi di tabella le punte di corrente. Per le normali tensioni di esercizio e per relé piccoli dovrebbe bastare una resistenza di 56 \div 100 ohm.

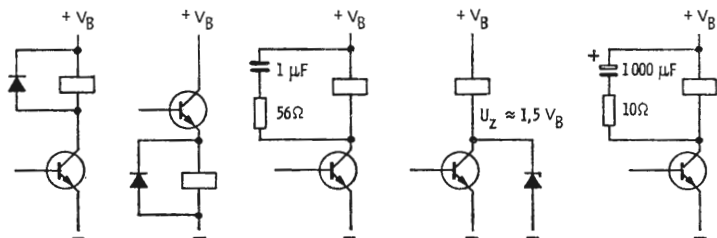


Fig. 3.08. Circuiti di protezione dei transistor (da sinistra a destra): picchi di tensione dovuti al carico induttivo vengono assorbiti da un diodo, tanto se il relé è disposto sull'emettitore quanto sul collettore; il tempo di rilascio, quando un gruppo RC è disposto in parallelo alla bobina, può risultare più breve che nel caso del diodo; punte di tensione possono essere evitate con un diodo Zener; i condensatori di elevata capacità richiedono una resistenza in serie onde limitare la corrente di carica.

Nella Fig. 3.08 si è supposto che delle induttanze vengano comandate da transistor. Gli esempi sono anche valevoli se si mette un contatto al posto del transistor, dato che i semiconduttori temono più dei contatti le sovratensioni.

I dispositivi di protezione dei due circuiti di sinistra, di normale impiego in elettronica, comprendono un diodo collegato in parallelo all'induttanza (avvolgimento di un relé) con polarità invertita. Normalmente quindi il diodo non conduce; quando per apertura del circuito si forma una punta di tensione, questa — avendo polarità invertita — si scarica attraverso il diodo.

4. Circuiti tipici con relé

Gli esempi che seguono sono da considerarsi come moduli costruttivi e non sono quindi dei circuiti completi. Per dare comunque al lettore la possibilità di progettare o modificare da solo montaggi elettronici con relé, presentiamo alcuni esempi pratici. Una parte di essi ricompare in un successivo capitolo.

4.1 Alimentazione semplificata

Poiché i relé (anche nelle esecuzioni più piccole per montaggio su circuiti stampati) lavorano con corrente abbastanza elevate (da 40 a 100 mA), si ricorre all'alimentazione da rete. Il trasformatore non dev'essere molto ingombrante (da 1,5 a 2,5 VA) e quindi un tipo con terminali per circuito stampato va benissimo. Per non gonfiare inutilmente le descrizioni dei montaggi di questo e dei capitoli che seguono, presentiamo subito un alimentatore a relé e transistor pilota come modulo standardizzato. Il circuito di Fig. 4.01 lavora a 12 V.

I pochi componenti saranno fissati su un circuito stampato, di cui diamo il tracciato in Fig. 4.02; la disposizione è riportata in Fig.

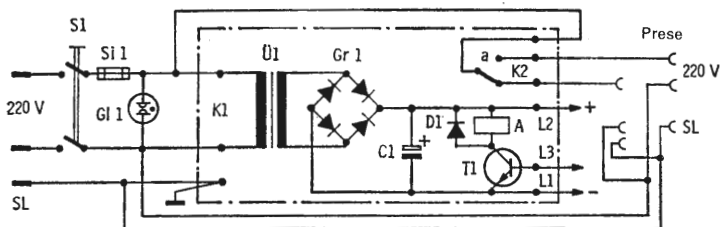
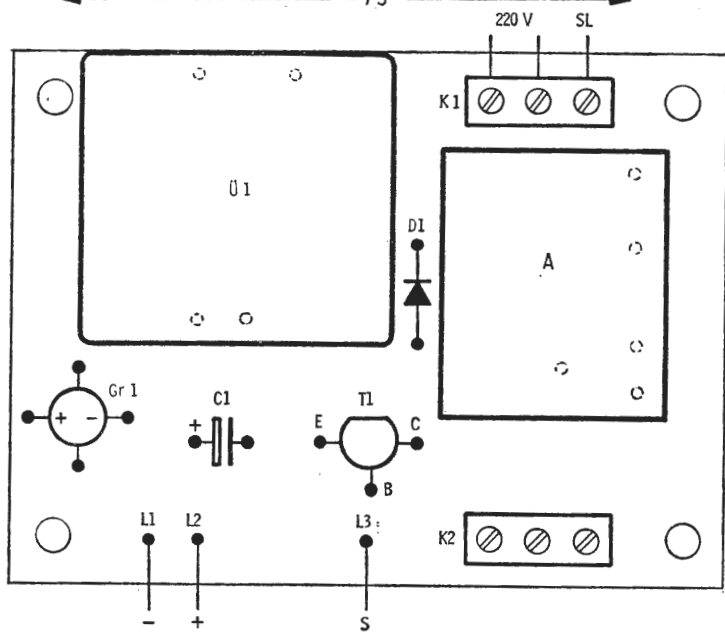
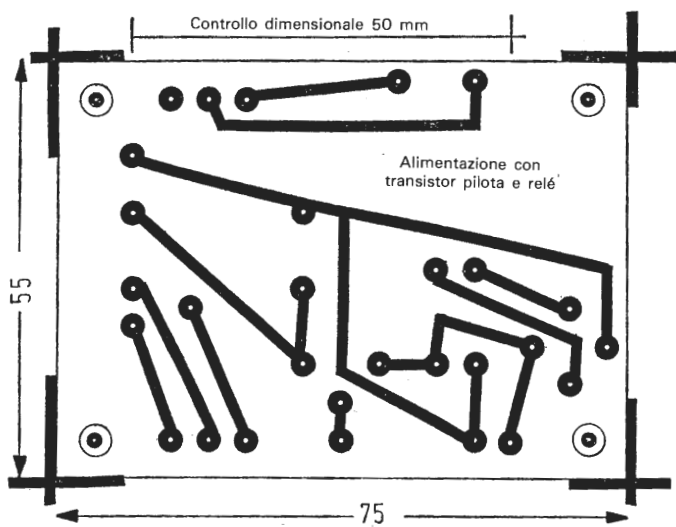


Fig. 4.01. Modulo con circuito di alimentazione, relé e transistor pilota.



Elenco dei componenti del modulo a Fig. 4.01

A	Relé per circuito stampato Siemens (tipo V 23027-A0002-A101)
C1	Condensatore elettrolitico 220 μ F/40 V
D1	Diodo al silicio, tipo corrente
Gr1	Ponte raddrizzatore B40C800
K1, K2	Morsetti tripolari per c.s.
L1-L3	Ancoraggi a saldare
T1	Transistor NPN BC 107 (o BC 184 e simili)
U1	Trasformatore di alimentazione per c.s. primario 220 V, secondario 12 V 2,5 VA

4.03. A tavola 4, in Fig. 10, è la fotografia del complesso montato. Faremo notare che il transistor può pilotare dei relé richiedenti fino a 100 mA di eccitazione, purché la tensione scatti decisamente. Se essa invece aumenta solo con lentezza e il transistor va in conduzione a poco a poco, allora questo corre pericolo di sovraccarico. Verso la metà della salita esso avrà una corrente di circa 50 mA e caduta (fra emettitore e collettore) di circa 6 V: il che significa 300 mW dissipati. È già troppo per un transistor di impiego generico. Chi non fosse molto sicuro circa il comportamento del circuito pilota farà bene a ricorrere ad un transistor di bassa potenza, ad esempio il 2 N 1613.

4.2 Alimentatore stabilizzato con relé

Gli alimentatori sprovvisti di stabilizzazione sono soggetti a variazioni di tensione erogata non tanto a causa di fluttuazioni della rete, quanto a causa del carico. Un relé effettivamente costituisce, per un trasformatore della grandezza indicata nel precedente capitolo, un notevole carico. La tensione erogata avrà un sensibile sbalzo fra le due condizioni di lavoro (relé eccitato e diseccitato), col rischio di disturbare il regolare funzionamento dei circuiti elettronici associati. Si è pertanto modificato il circuito precedente, aggiungendo un piccolo circuito stabilizzatore; esso viene ripor-

Fig. 4.02. Circuito stampato per il modulo di Fig. 4.01 (sopra).

Fig. 4.03. Disposizione dei componenti per il circuito stampato di Fig. 4.02 (sotto).

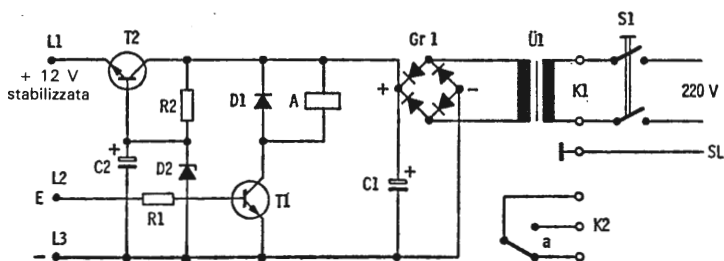


Fig. 4.04. Modulo con alimentatore stabilizzato, transistor pilota e relé.

Elenco dei componenti del modulo a Fig. 4.04

A	Relé per c.s., bobina 12 V, 1 contatto di scambio
C1	Elettrolitico 470 μ F/40 V
C2	Elettrolitico 100 μ F/16 V
D1	Diode al silicio 1N4154 o simile
D2	Diode Zener 12 V
Gr1	Ponte raddrizzatore B40C800
K1, K2	Morsetti tripolare per c.s.
L1-L3	Terminali a saldare
R1	Resistenza 560 Ω
R2	Resistenza 5,6 k Ω
S1	Interruttore bipolare
T2	Transistor di potenza NPN 2N1613
T1	Transistor NPN BC 107 (o BC 184 e simili)
U1	Trasformatore di alimentazione per c.s. primario 220 V, second. 12 V 2,5 VA
	Cavetto di alimentazione con spina
	Passacavo in gomma con blocco antistrappo
	Circuito stampato 80 x 100 mm

tato in Fig. 4.04. La stabilizzazione comprende la resistenza R2, il diodo Zener D2, che pilota la base del transistor T2. Il condensatore C2 provvede ad un ulteriore filtraggio.

Nel tracciato del circuito stampato a Fig. 4.05 l'entrata del segnale è stata configurata come una striscia al bordo, per poter affiancare la basetta ad altra basetta con i circuiti elettronici. Nel piano di montaggio della Fig. 4.06 si noterà qualche cambiamento: tutti i morsetti di rete e dei contatti del relé sono stati spostati su un lato. La messa a terra SL non è collegata; eventualmente essa può essere fissata alla custodia, se questa è metallica. Si noterà anche che è stato lasciato spazio per un eventuale

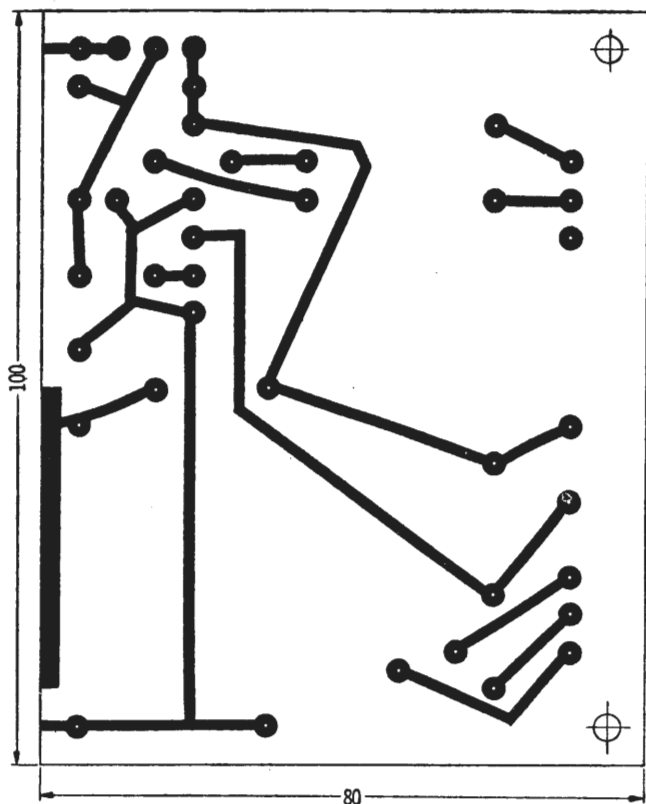


Fig. 4.05. Circuito stampato per il modulo di Fig. 4.04.

secondo relé (il relé Siemens per circuiti stampati è stato sostituito da uno della BRT).

4.3 Comando di relé con transistor

È già stato ricordato che un relé non va pilotato con una corrente in lento aumento, ma con un brusco gradino. Questa condizione

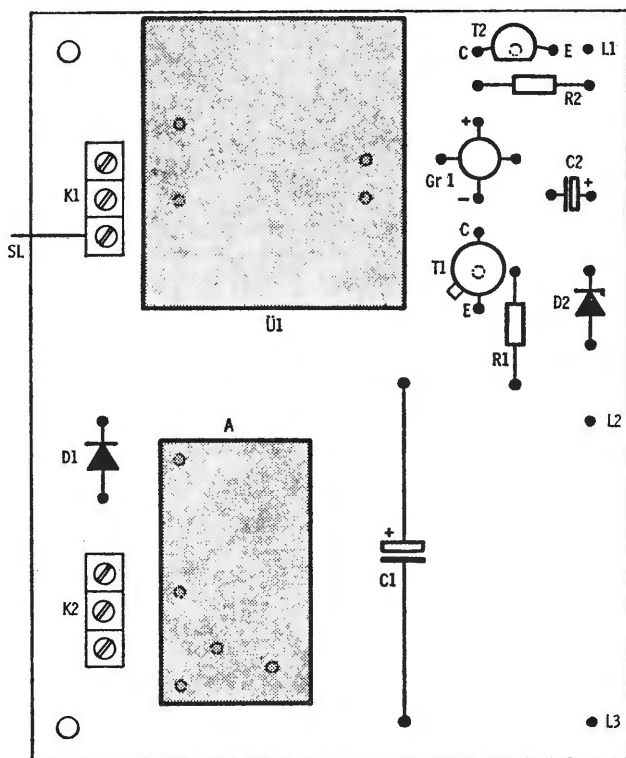


Fig. 4.06. Disposizione dei componenti per il circuito stampato di Fig. 4.05.

richiede che il circuito pilota debba avere una buona amplificazione, in modo che anche per modeste variazioni della tensione pilota il relé scatti decisamente. Un circuito di questo tipo, con tre transistori è riportato in Fig. 4.07.

Il potenziometro semifisso R6 serve a fissare il punto d'intervento. Se infatti si portasse a massa il negativo della tensione pilota, per ottenere lo scatto questa dovrebbe raggiungere la soglia di conduzione di T1. Sui diodi D1 e D2 si forma una tensione positiva, di cui si utilizza una parte con R6. Così è possibile determinare con

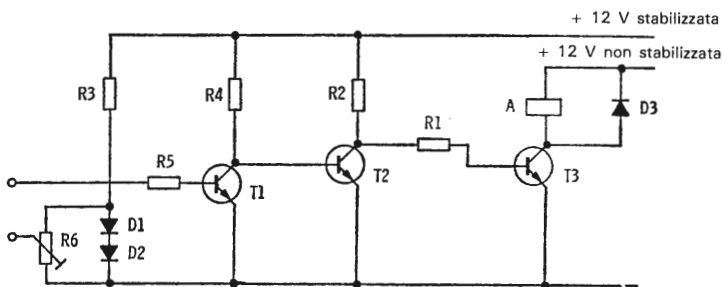


Fig. 4.07. Circuito di comando relé con transistori.

Elenco dei componenti del circuito di comando relé con transistori

A	Relé per c.s., bobina 12 V
D1-D3	Diodi al silicio 1N4154 o simili
R1	Resistenza 560 Ω
R2, R3	Resistenze 5,6 k Ω 0,25 W, 5%
R4, R5	Resistenze 150 k Ω
R6	Potenzimetro semifisso 100 k
T1, T2	Transistori NPN BC 107 (o BC 184 e simili)
T3	Transistor di potenza 2N1603 o simile

precisione il punto di lavoro; basta allora una variazione di circa 10 mV per ottenere l'intervento. Il transistor T3, che alimenta il relé, richiede una corrente di base di 1 ÷ 2 mA; se non prevedessimo T2 come separatore, la caduta in R4 sarebbe eccessiva.

4.4 Comando di relé con operazionale

Un amplificatore operazionale è particolarmente adatto a fornire un segnale a fronte ripido per il comando del relé; a causa dell'alto guadagno a vuoto, che nel tipo 741 C raggiunge quasi 20 000, viene evitato un lento aumento della corrente di eccitazione e quindi un malsicuro contatto. L'amplificatore operazionale lavora senza controreazione; la sua entrata 2 è a massa, mentre l'entrata 3 riceve il segnale di entrata. Poiché un operazionale non può essere pilotato fino al valore della tensione di alimentazione e

d'altra parte anche la sua uscita non può raggiungerlo, avremo una zona d'insensibilità. Bisogna allora polarizzare l'entrata di riferimento, collegandola, come indica la Fig. 4.08 a un partitore ($R5 + R6$).

È anche possibile alimentare con tensioni simmetriche; una negativa e una positiva. In tal caso si forma uno zero reale.

Ma in genere la cosa non è necessaria; il condensatore C1 disaccoppia le due tensioni onde evitare l'innesco di oscillazioni. Gli operazionali di solito sono in grado di erogare solo pochi milliampere, insufficienti per eccitare relé. Occorre quindi prevedere un transistor supplementare. Poiché l'emettitore di quest'ultimo è collegato al negativo e l'operazionale non può arrivare in uscita ad una tensione così bassa, il transistor sarebbe sempre in conduzione. Per questa ragione un diodo Zener provvede ad abbassare la tensione applicata al terminale 6 dell'operazionale. Il transistor condurrà quando la tensione di uscita dell'operazionale sarà superiore alla tensione di soglia del diodo Zener.

Il diodo D1 assorbe le extratensioni che si producono alla diseccitazione del relé. Una particolarità del circuito riguarda la

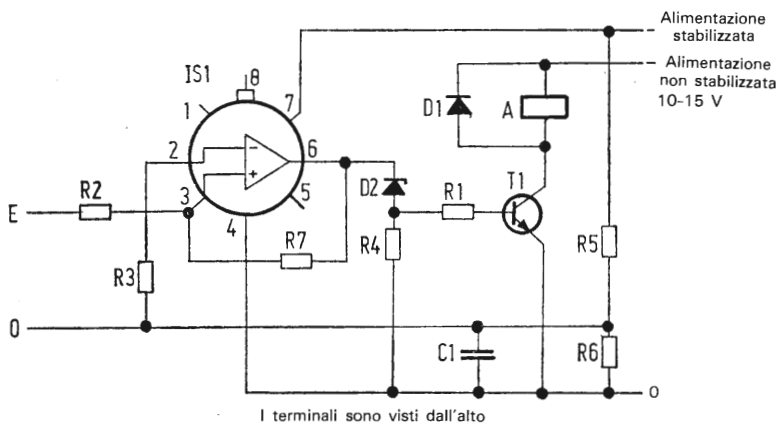


Fig. 4.08. Comando di relé con amplificatore operazionale

Elenco dei componenti del comando di relé con amplificatore operazionale

A	Relé per c.s., bobina 12 V
C1	Condensatore 0,1 μ F
D1	Diodo al silicio, tipo corrente
D2	Diodo Zener 5,1 V
IS1	Amplificatore integrato 741C in contenitore TO-99
R1	Resistenza 560 Ω
R2-R6	Resistenze 5,6 k Ω 0,25 W, 5%
R7	Resistenza 4,7 M Ω
T1	Transistor BC 107 (o BC 184 e simili)

resistenza R7, collegata tra uscita e l'entrata 3. Essa contribuisce alla stabilità. Per quanto l'integrato, a causa del forte coefficiente di amplificatore, abbia bisogno di un solo millivolt per passare alla saturazione, può succedere che il punto di intervento venga sorpassato molto lentamente, come succede quando una fotocellula viene oscurata piano piano. In questo caso l'operazione, avvicinandosi al punto d'intervento, potrebbe oscillare e provocare uno sfarfallamento del relé. Le due resistenze R2 e R7 introducono una leggera isteresi; l'operazionale non è più così sensibile e richiede, per passare dalla conduzione all'interdizione, una maggiore tensione. Così come sono dimensionate le resistenze, il loro rapporto è di circa 1:1000 (5,6 k Ω contro 4,7 M Ω); una parte su mille della tensione di uscita – circa 10 mV – viene riciclata all'ingresso. Un operazionale quindi commuta quando la tensione di ingresso è superiore a 10 mV.

4.5 Ritardo all'eccitazione

Spesso viene richiesto che un relé non reagisca immediatamente all'impulso applicato, ma dopo un certo tempo. In questo modo è ad es. possibile evitare falsi interventi quando la rete è afflitta da tensioni disturbatrici.

Nello schema di Fig. 4.09 sono compresi un operazionale, con comportamento bistabile, seguito da un transistor commutatore. Tra l'uscita 6 dell'operazionale e la base del transistor è inserito un filtro RC. Quando l'integrato viene condotto in saturazione, il

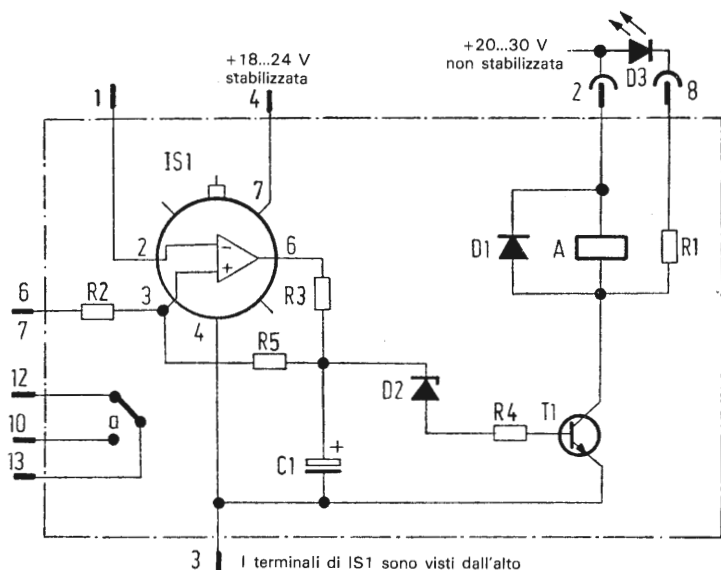


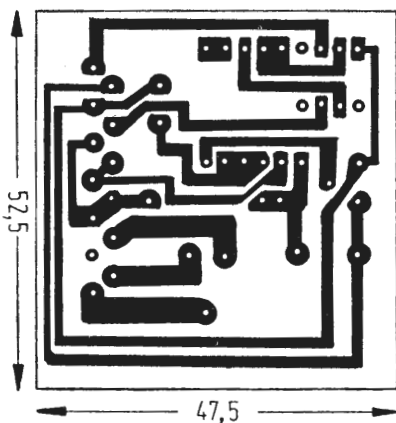
Fig. 4.09. Circuito ritardato.

Elenco dei componenti del circuito ritardato

A	Relé per c.s., bobina 24 V (Siemens V23027-A0006-A101)
C1	Elettrolitico 47 μ F/40 V
D1	Diodo al silicio, tipo corrente
D2	Diodo Zener 12 V
D3	LED, tipo corrente
IS1	Amplificatore integrato 741C in contenitore TO-99 o MP-48
R1	Resistenza 2,2 k Ω
R2	Resistenza 5,6 k Ω 0,25 W, 5%
R3, R4	Resistenze 15 k Ω
R5	Resistenza 4,7 M Ω
T1	Transistor NPN BC 107 (o BC 184 e simili)

condensatore C1 viene lentamente caricato attraverso R3. Quando la tensione sul condensatore supera la tensione di soglia del diodo Zener D2, il transistor passa in conduzione. In parallelo al transistor, un diodo LED segnala il funzionamento del circuito. Contrariamente alle altre realizzazioni descritte in questo libro, questa volta abbiamo scelto un'esecuzione piú professionale. Tutti i componenti sono raggruppati in modo compatto su una scheda

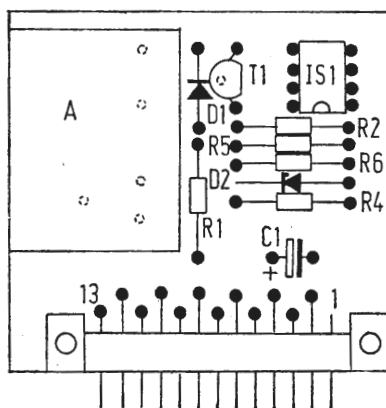
Fig. 4.10. Circuito stampato del modulo di Fig. 4.09.



con connettore a 13 poli: come si fa normalmente nelle apparecchiature industriali.

Il circuito è progettato per un'alimentazione a circa 24 V e può essere facilmente modificato per altre tensioni. Mentre nello schema è stato rappresentato un integrato in custodia metallica, nel piano topografico di Fig. 4.11 è stata prevista la versione DIP-in-line.

Fig. 4.11. Disposizione dei componenti sul c.s. di Fig. 4.10.



In Fig. 4.10 è il disegno del circuito stampato. Esso si presta a entrambe le versioni. Se il condensatore C1 è di 47 μF , il ritardo ottenibile è di 1 secondo circa.

4.6 Comando di relé con integrato di potenza

Esistono in commercio degli integrati comprendenti uno stadio di potenza, capace di comandare un relé. In Fig. 4.12 è riportato un circuito con un integrato di potenza che ha due entrate ausiliarie: al terminale 5 è collegata un'entrata di programmazione, con la quale è possibile bloccare l'amplificatore, al terminale 8 è collegato il collettore del transistor di uscita, al terminale 6 l'emettitore. Si può quindi utilizzare il transistor di uscita sia in circuito di collettore comune sia in circuito di emettitore comune.

Elenco componenti relé con integrato di potenza

A	Relé per c.s., bobina 12 V
C1	Condensatore 0,1 μF
D1	Diodo al silicio, tipo corrente
IS1	Amplificatore integrato CA3094T
R1-R4	Resistenze 5,6 k Ω
R5	Resistenza 150 k Ω
R6	Resistenza 4,7 M Ω

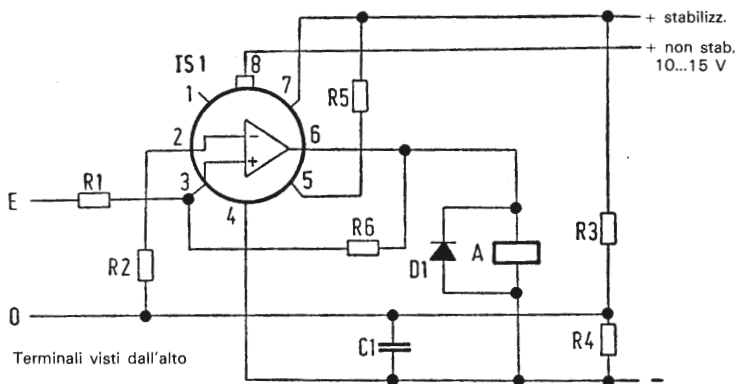


Fig. 4.12. Comando di relé con operazionale di potenza.

Tavola 1

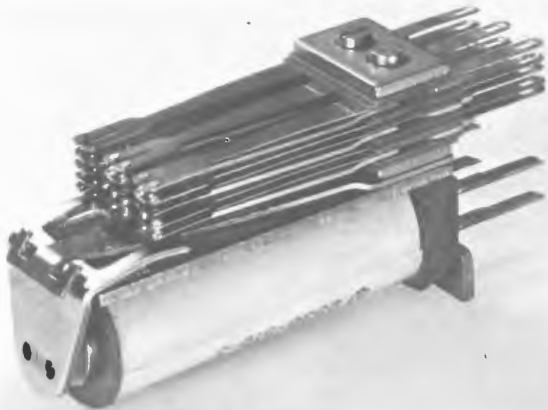
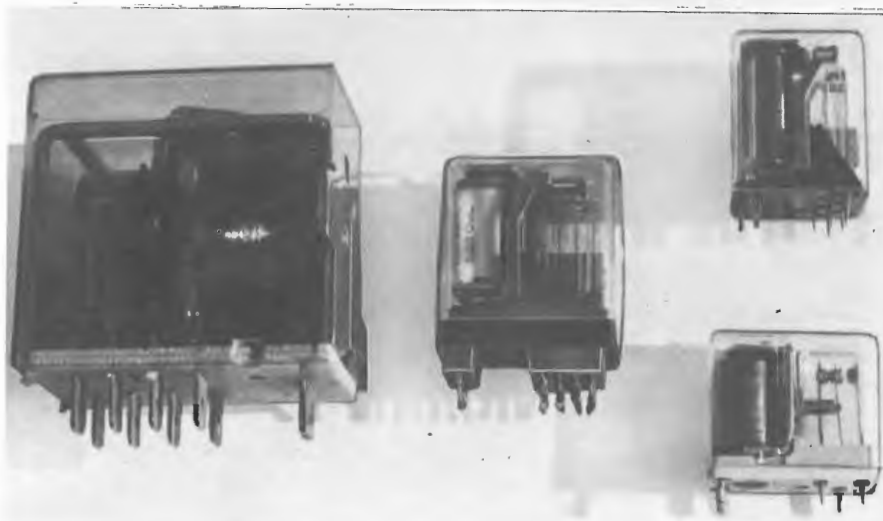


Foto 1. Relé tondo telefonico con 15 molle di contatto.



Foto 2. Piccolo relé a pettine (Zettler AZ 431).

Foto 3. Piccoli relé tondi in diverse esecuzioni, con azionamento a pettine o a piolino.



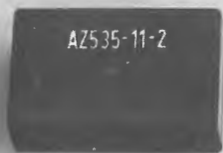


Tavola 2

Foto 4. Relé per circuito stampato: sopra: Zettler AZ 535; sotto: Badischer Telefonbau BRT 320.

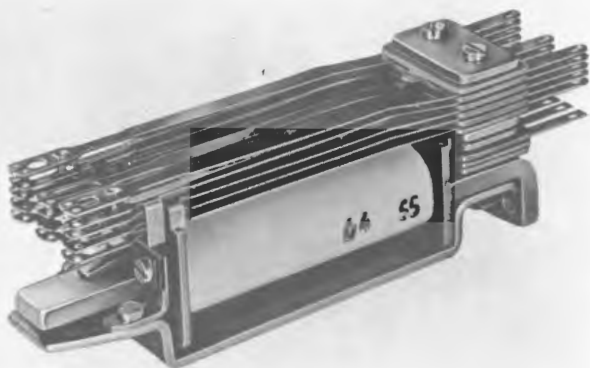


Foto 5. Relé piatto (Lorenz).

Foto 6. Relé ad ancorotta rotante per impiego su veicoli (Bosch).



5. Circuiti digitali con relé

La tecnica digitale lavora con impulsi, mentre la tecnica analogica lavora con segnali che variano in modo progressivo. Un relé deve essere invece con un segnale di forma rettangolare, per cui esso non ha nulla a che fare con circuiti analogici.

Vedremo tuttavia che ci sono anche circuiti con relé, nei quali il segnale viene dapprima trattato in modo analogico, per poi sfociare, da un certo punto, in un comportamento a scatto. Gli esempi di circuiti digitali che seguono utilizzano invece per l'elaborazione del segnale la tecnica digitale.

5.1 Circuito flip-flop

Nella tecnica digitale i circuiti bistabili hanno una larga applicazione e possono essere realizzati con relé in diversi modi. Un tempo si prendevano 2 o 3 relé, magari con più avvolgimenti e diversi contatti. A causa della fabbricazione in serie, esecuzioni del genere sono quasi introvabili, a parte il loro rispettabile costo. Pertanto preferiamo realizzare elettronicamente lo stadio bistabile e a questo semplicemente anettere un relé.

Lo schema di Fig. 5.01 rappresenta il circuito classico di uno stadio bistabile con resistenze in croce. È noto che stadi bistabili possono essere realizzati, con due soli transistor, solo da quando sono entrati nell'impiego corrente i semiconduttori al silicio. Con quelli al germanio la cosa era un po' più complessa. Purtroppo, affinché il circuito funzioni, le tensioni devono muoversi entro limiti precisi e quindi non c'è molta libertà nel dimensionamento dei componenti. È per questa ragione che il relé non è stato inserito come carico nel circuito di collettore, ma viene eccitato con

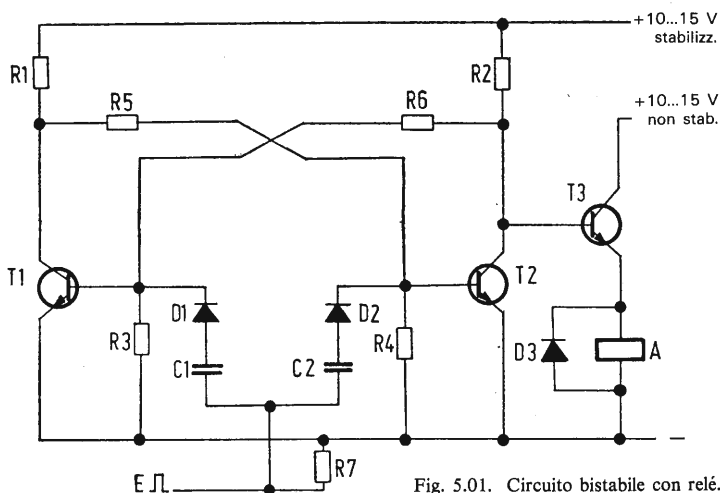


Fig. 5.01. Circuito bistabile con relé.

Elenco componenti circuito bistabile

A	Relé per c.s., bobina 12 V
C1, C2	Condensatori 470 pF
D1-D3	Diodi al silicio, tipo corrente
R1, R2	Resistenze 5,6 k Ω
R3, R4	Resistenze 15 k Ω 0,25 W, 5%
R5, R6	Resistenze 56 k Ω
R7	Resistenza 159 k Ω
T1-T3	Transistori BC 107 (o BC 184 e simili)

un transistor ausiliario. Il circuito ha ingresso comune per i due transistor e reagisce a rapidi impulsi, grazie ai due condensatori. Supposto che conduca T1, il collettore di T1 si trova a tensione prossima allo zero, cosicché T2 è interdetto. Quando all'entrata E viene applicato un impulso positivo, questo tramite C2 e D2 viene trasmesso alla base di T2, che va in conduzione.

Allora la tensione al collettore cade quasi a zero, e T1 viene interdetto. Ovviamente anche T1 riceve tramite C1 e D1 lo stesso impulso e quindi potrebbe restare in conduzione; però C1 si scarica, tramite R6, per effetto della caduta a zero della tensione al collettore di T2. Quando l'impulso di entrata scompare, C1 e C2 si scaricano su R7.

5.2 Logica del relé

Il titolo un po' sorprendente di questo capitoletto non vuole significare che i relé funzionano secondo una certa logica, ma solamente che con essi è possibile realizzare dei circuiti logici. I circuiti logici integrati hanno lo svantaggio di non essere visivamente controllabili; perciò volendo fare degli esperimenti, sono più interessanti i circuiti realizzati con relé.

In Fig. 5.02 è rappresentato un circuito OR. In riposo la base del transistor si trova a potenziale zero, perché i diodi non conducono. Il relé è allora diseccitato. Se si applica una tensione positiva all'entrata E1, oppure all'entrata E2, oppure a entrambe, la caduta sulla resistenza da $56\text{ k}\Omega$ provoca conduzione del transistor e quindi il relé viene eccitato.

Il circuito a destra della Fig. 5.02 si comporta in modo inverso. In riposo una corrente passa attraverso i diodi e il transistor PNP conduce. Applicando tensione positiva ad una delle entrate non succede nulla: il rispettivo diodo non conduce, mentre continua a condurre l'altro. Se invece applichiamo tensione positiva a entrambe le entrate, i diodi non conducono più, la caduta sulla resistenza alla base va a zero, il transistor va in interdizione. Effettivamente il relé è eccitato in condizione di riposo; si diseccita quando sono positive entrambe le entrate. Perciò non si tratta qui

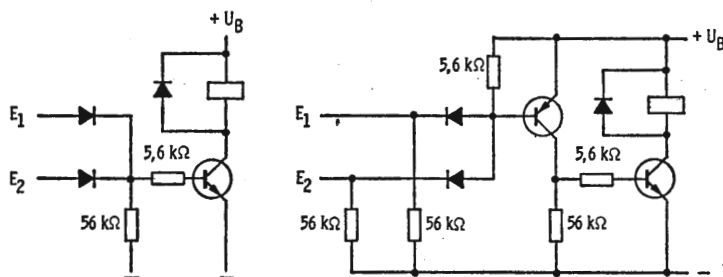


Fig. 5.02. Esempio di circuiti logici con relé: a sinistra un circuito OR, a destra un circuito NAND.

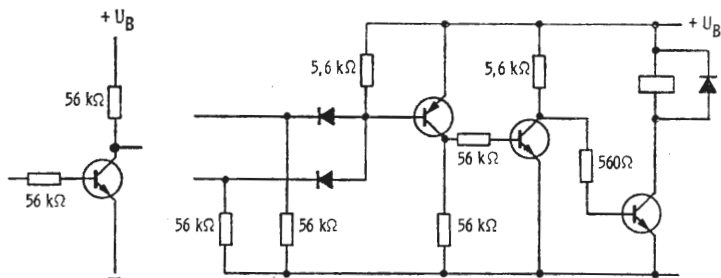


Fig. 5.03. La combinazione di un invertitore (a sinistra) e del circuito NAND di Fig. 5.02 dà un circuito AND (a destra).

di un circuito AND, ma di un NAND (Not AND). A rigore si può fare a meno del secondo transistor (transistor di potenza) se si ha a disposizione un relé con bobina ad alta resistenza; in questo caso esso viene inserito sul circuito di collettore, al posto della resistenza.

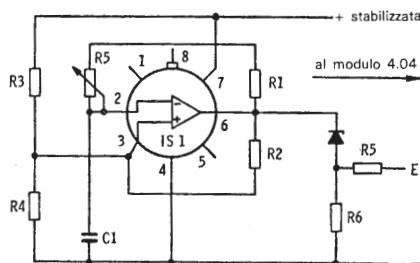
Questo transistor può essere di tipo universale con custodia di plastica; esso si riscalda appena, anche con prolungato funzionamento.

Per convertire un circuito NAND in un circuito AND occorre un invertitore come indicato a sinistra in Fig. 5.03. Anche gli invertitori sono circuiti di frequente impiego; essi non fanno altro che capovolgere di 180° il segnale. Con un invertitore e un circuito NAND si ottiene un AND, come illustra a destra la Fig. 5.03. Analogamente con un circuito OR e un invertitore si ottiene un circuito NOR. Esistono anche molti altri tipi di circuiti con funzioni logiche, come la OR-esclusiva, quella di parità, quella di antivalenza, ecc.

5.3 Lampeggiatori e datori di impulsi

Un multivibratore, un generatore cioè di segnali rettangolari, può essere facilmente realizzato con un operazionale, come mostra il

Fig. 5.04. Con un amplificatore operazionale ed un relé si può realizzare un lampeggiatore molto versatile.



Elenco componenti del lampeggiatore

C1	Condensatore 1 μ F
D1	Diode Zener 2,7 V
IS 1	Amplificatore integrato 741C o simile
R1, R2	Resistenze 560 Ω
R3-R5	Resistenze 5,6 k Ω 0,3 W, 5%
R6	Resistenza 10 k Ω
R7	Potenzimetro 1 M Ω lineare

circuito di Fig. 5.04. Viene sfruttata allo scopo la carica e la scarica del condensatore C1.

Interessante nel circuito è il fatto che l'amplificatore lavora con controeazione (tramite R1 e R5) e con una reazione (tramite R2). Le tre resistenze e il condensatore definiscono la frequenza di ripetizione degli impulsi.

Si potrebbe pensare che sia necessario agire su entrambi gli accoppiamenti, per ottenere lo stesso rapporto impulso/pausa al variare della frequenza. Fortunatamente non è così. A rigore il rapporto varia leggermente; però non tanto da richiedere un secondo potenziometro, nel caso di applicazioni di modesta importanza, come un lampeggiatore. L'uscita del circuito va collegata a un alimentatore con circuito di relé amplificato come già visto in Fig. 4.04. Ai contatti del relé può essere allacciato un fanale con la batteria (per es. un fanale da camping).

Supponiamo che il condensatore sia scarico. L'entrata 2 dell'operazionale è allora più negativa dell'entrata 3, per cui l'uscita 6 è fortemente positiva.

Quando il condensatore si carica, ad un certo momento la tensione sull'entrata 2 risulta più positiva rispetto a quella sull'entrata 3, per cui la tensione di uscita cade. Il condensatore quindi si ricarica tramite R1 e R5.

L'operazionale ha una forte amplificazione. Se il condensatore si scarica di un solo millivolt, l'uscita diventa immediatamente positiva. Ciò viene però contrastato dalla resistenza di controreazione R2, che trasferisce una parte della tensione di uscita all'entrata 3. Pertanto quest'ultima diventa più negativa, di quanto non lo consenta il partitore R3 e R4. Il condensatore deve quindi scaricarsi notevolmente, affinché l'entrata 2 risulti più negativa dell'entrata 3 e quindi la tensione di uscita tenda a salire di nuovo. Così come i componenti sono dimensionati si ottengono impulsi di durata variabile fra circa 10 ms e 12 secondi.

Il livello degli impulsi ovviamente varia; ciò non ha però importanza in quanto il transistor che pilota il relé funziona da amplificatore di tensione.

5.4 Il multivibratore

In un circuito bistabile, mediante la sostituzione di due resistenze con due condensatori, si può ottenere una ripetizione di impulsi: il circuito quindi non viene sollecitato dall'esterno, ma oscilla.

Un circuito astabile, che spesso viene designato col termine di multivibratore, richiede pochi componenti. Un circuito così semplice però ha alcuni difetti, per cui si ricorre all'impiego di particolari circuiti integrati (timer) quando il problema è più impegnativo. Questi integrati vengono compresi dai costruttori fra i dispositivi lineari; però siccome nel caso presente producono impulsi rettangolari, quali quelli richiesti dalla tecnica digitale, li collocheremo tranquillamente nei dispositivi digitali. I timer infatti, con circuito leggermente diverso, vengono impiegati come oscillatori monostabili di alta precisione, con i quali si possono ottenere tempi da alcuni microsecondi a diversi secondi.

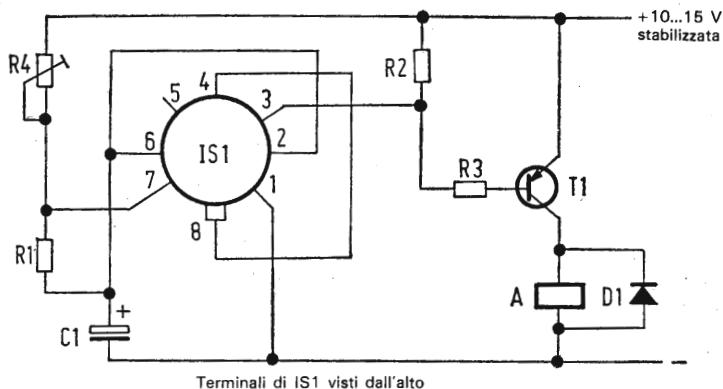


Fig. 5.05. Datore di impulsi con integrato, di ottima stabilità.

Elenco componenti del datore di impulsi

A	Relé per c.s., bobina 12 V
C1	Condensatore (si veda il testo per il valore)
R1	Resistenza 1 k Ω
R2, R3	Resistenze 5,6 k Ω 0,25 W, 5%
D1	Diode al silicio, tipo corrente
IS1	Temporizzatore integrato 555 C in contenitore TO-99 o MP-48
R4	Potenzimetro semifisso (v. testo)
T1	Transistor PNP BC 177)o simile

Lo schema di Fig. 5.05 non dice in verità gran che: trattandosi qui di un circuito integrato, non c'è altro da fare che seguire le indicazioni del prospetto del fabbricante. Nel circuito c'è da rilevare che anche il relé deve essere alimentato con tensione stabilizzata, perché la tensione sulla base di T1, quando l'integrato è in riposo, deve arrivare a livello dell'emettitore, affinché il transistor non vada in conduzione.

Il condensatore C1 viene caricato tramite R4 e si scarica su R1. Con rapporto 1:1 dei tempi attivo e di riposo le resistenze devono avere uguale valore. La frequenza di ripetizione degli impulsi dipende dal valore di C e dalla somma di R1 e R4. Quando il rapporto impulso/pausa è diverso da 1, si può inserire una resistenza

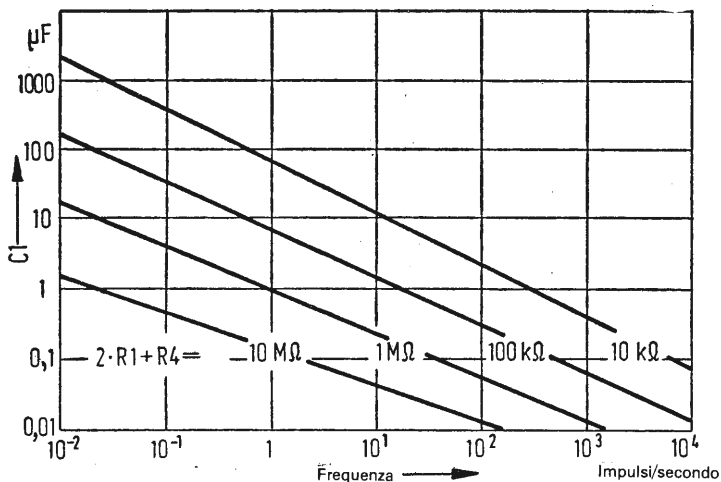


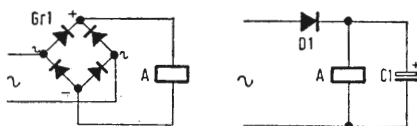
Fig. 5.06. Frequenza del datore di impulsi di Fig. 5.05, in funzione di R_1 , R_4 e C_1 .

fissa, per R_1 — come previsto nel circuito di Fig. 5.05 — e variare R_4 . La frequenza può essere rilevata dal diagramma di Fig. 5.06. Chi volesse maggiormente dedicarsi a questo interessante integrato può trovare nel prospetto del produttore ulteriori esempi di impiego. Dobbiamo ancora precisare che il diagramma riguarda ovviamente il solo integrato, dato che non esiste relé capace di dare 1 000 impulsi al secondo. Solo in casi eccezionali si può arrivare a 100 impulsi/secondo.

5.5 Relé per tensione alternata

I relé non polarizzati, e cioè quelli ad ancoretta, a bobina mobile, a rotazione e simili possono essere alimentati con tensione di polarità indifferente, quindi anche con tensione alternata. Tuttavia, quando l'alternanza passa dallo zero, avviene un'interruzione della magnetizzazione, per cui il relé vibra. A suo tempo, con i relé

Fig. 5.07. Relé ritardati possono essere alimentati con tensione alternata previo raddrizzamento (a sinistra); relé rapidi richiedono un condensatore di livellamento (a destra).



più grandi, si è introdotto uno sfasamento di parte del flusso magnetico a mezzo di una spira in corto circuito (un anello o un tubo) di rame. I relé odierni però richiedono altre misure.

In Fig. 5.07 (a sinistra) un ponte raddrizzatore provvede a raddrizzare la tensione alternata. Anche qui avviene un'interruzione nell'eccitazione, però essa non viene avvertita in quanto non si ha una inversione di flusso. Tuttavia piccoli relé con bassa inerzia possono ancora vibrare; occorre allora collegare in parallelo, come indicato in Fig. 5.07 a destra, un condensatore di livellamento di alcuni microfarad. Il condensatore consente di utilizzare una sola semionda, con un diodo, rinunciando ad un raddrizzatore a ponte.

5.6 Relé a frequenza fonica

Avviene spesso che si desideri eccitare un relé non con tensione alternata dalla rete o con tensione continua, ma con tensione a frequenza elevata. Occorre in questo caso un circuito raddrizzatore di caratteristiche adatte. Specialmente quando l'ampiezza del segnale disponibile risulta molto ridotta si può ricorrere ad un amplificatore operazionale che contemporaneamente raddrizza e amplifica. In Fig. 5.08 è indicato un circuito del genere; si tratta di un raddrizzatore a una semionda. La tensione alternata viene applicata all'ingresso invertitore dell'integrato IS 1. Nella semionda positiva l'uscita 6 diviene negativa, il diodo D1 quindi va in conduzione; esso rappresenta praticamente un cortocircuito (ai suoi capi rimane la tensione di soglia). Durante la semionda negativa l'uscita dell'integrato diventa positiva: D1 non conduce più e conduce invece D2. Fra quest'ultimo e l'ingresso è disposta

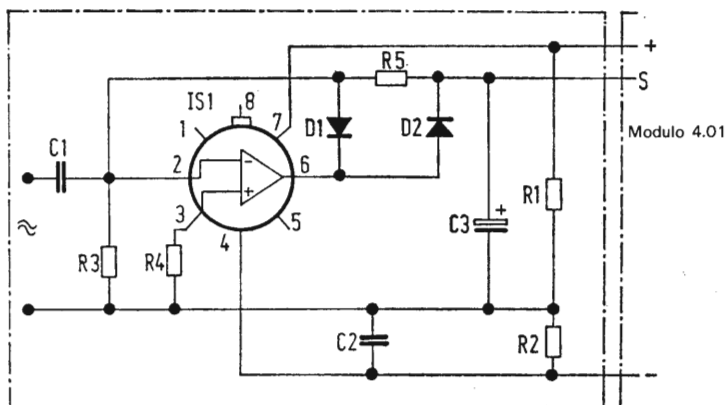


Fig. 5.08. È possibile eccitare un relé con frequenze acustiche e alte mediante un amplificatore operazionale che provvede anche al raddrizzamento.

Elenco componenti per relé a frequenza elevata

C1, C2	Condensatore 0,47 μ F	
C3	Elettrolitico 220 μ F/25 V	
D1, D2	Diodi al silicio, tipo corrente	
IS1	Amplificatore integrato 741C	
R1, R2	Resistenze 5,6 k Ω	
R3, R4	Resistenze 15 k Ω	0,25 W, 5%
R5	Resistenza 150 k Ω	

la resistenza di controreazione R5; la tensione di uscita è di ampiezza molto maggiore di quella di entrata, proporzionalmente al rapporto dei valori di R5 e R3. La semionda viene pertanto amplificata. Con i valori di R5 e R3 indicati nello schema si ottiene una amplificazione di 10. Il condensatore C3 viene caricato alla tensione di cresta della tensione alternata. Quando la tensione sull'uscita 6 dell'integrato si abbassa o addirittura diventa negativa, C3 non può scaricarsi attraverso D2, e R5 ha un valore molto alto. Sul condensatore rimane quindi la tensione di cresta, che sul terminale S è disponibile per comandare un transistor commutatore.

6. Circuiti pratici

I circuiti finora esaminati servivano per chiarire il comportamento di schemi di impiego di relé; però, anche se adatti a montaggi sperimentali, essi non rappresentano ciò che interessa particolarmente lo studioso, e cioè montaggi completi e facilmente riproducibili.

Per una parte degli schemi che seguono è stato progettato un circuito stampato con diverse modalità di impiego, adatto per realizzare le varianti costruttive che più interessano. In Fig. 6.01 è riportato il tracciato delle connessioni. I circuiti e i piani di assemblaggio seguono nei prossimi capitoli. Non compaiono in essi la parte alimentazione e il relé, che vengono montati su un'unità

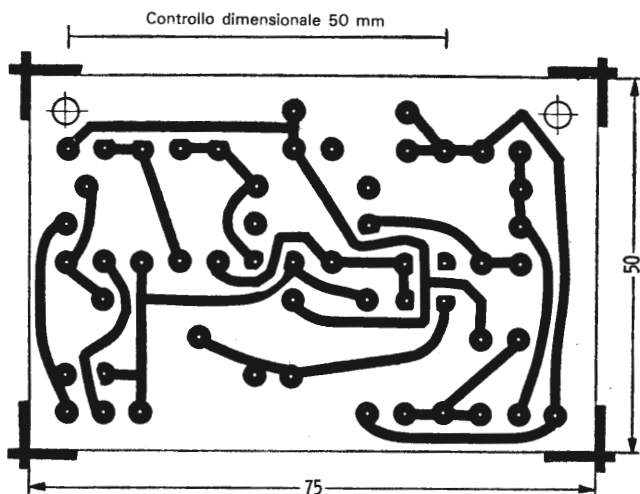


Fig. 6.01. Circuito stampato del modulo pilota universale.

separata. Di essa le Figg. 4.01, 4.02 e 4.03 danno circuito e disposizione dei componenti.

6.1 Relé elettronico con ritenuta

I cataloghi dei fabbricanti di relé diventano di anno in anno sempre meno ricchi: i relé vengono sempre più spesso sostituiti con circuiti elettronici e la fabbricazione di tipi speciali diventa meno conveniente.

Oggi vengono offerti solo tipi standardizzati. Se occorrono comportamenti particolari, si ricorre a circuiti elettronici ausiliari, onde ottenere ritardi all'attrazione o al rilascio, per eccitare e pilotare con segnale in alternata, per avere maggiore sensibilità, per memorizzare, ecc.

Un tipo di relé che un tempo si usava spesso era quello a ritenuta, che veniva eccitato con un impulso di breve durata e rimaneva in posizione finché non veniva diseccitato da un impulso di polarità opposta. Il relé quindi « si ricordava » del comando ricevuto. Il

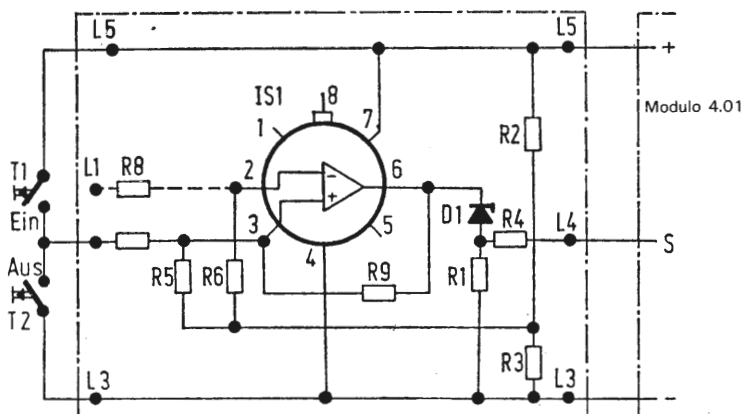


Fig. 6.02. Circuito con memorizzazione, eccitato con impulso positivo e diseccitato con impulso negativo.

Elenco componenti relé memorizzato

D1	Diodo Zener 5,1 V
IS1	Amplificatore integrato 741C
L1-L5	Terminali a saldare
R1-R4	Resistenze 5,6 k Ω
R5-R8	Resistenze 56 k Ω 0,25 W, 5%
R9	Resistenza 560 k Ω
T1, T2	Pulsanti con contatti dorati
	Circuito stampato 50 x 75 mm
	Modulo alimentaz. + relé (4.01)

circuito che qui ora esaminiamo funziona in modo analogo, in quanto un amplificatore operazionale memorizza l'impulso di eccitazione. Nella Fig. 6.02 è illustrato il circuito. L'operazionale lavora, senza controeazione, come amplificatore differenziale; la sua uscita qui passa in modo brusco e netto dal valore minimo al valore massimo e inversamente. A causa dell'elevatissimo fattore di amplificazione (circa 20 000) un segnale inferiore al millivolt basta per pilotarlo completamente; valori intermedi del segnale di uscita non si possono quindi in pratica verificare. Può comunque succedere che con tensioni esattamente uguali sulle due entrate l'amplificatore non riesca a restare in una condizione precisa e entri quindi in oscillazione. Per questa ragione è prevista una resistenza R9 che introduce una certa isteresi. Secondo il dimensionamento di R7 e R9 l'operazionale reagisce con minore o maggiore sensibilità alle piccole variazioni del segnale di entrata e l'uscita ne guadagna in stabilità.

È possibile giocare su questa controeazione e fare in modo che da pochi millivolt la variazione necessaria, per fare scattare l'uscita da una condizione all'altra, salga a qualche volt. Se applichiamo ad una delle entrate (nella figura, l'entrata 3) un impulso positivo o negativo, l'uscita dell'amplificatore scatta da uno stato all'altro. Dato che l'uscita dell'amplificatore non può raggiungere il valore della tensione di alimentazione, per cui in condizione di « basso » sul terminale 6 sono ancora presenti 1,8 ÷ 2 V, il transistor che comanda relé rimarrebbe sempre in conduzione (e il relé rimarrebbe eccitato). Viene disposto quindi in serie un diodo zener D1, che sopprime circa 5 V. Il transistor montato sulla scheda del relé

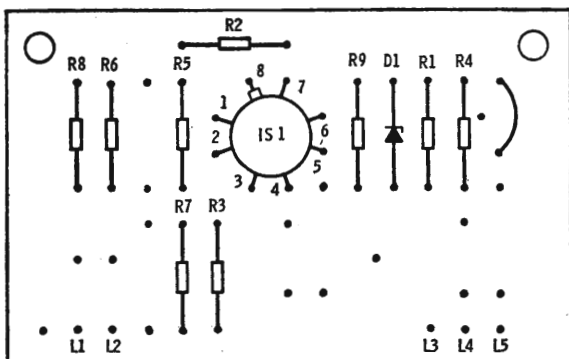


Fig. 6.03. Disposizione dei componenti del circuito di Fig. 6.02 sulla basetta di Fig. 6.01.

e dell'alimentazione (Fig. 4.01) va perciò in conduzione quando sull'uscita dell'operazionale la tensione è di almeno 6 V. Per il comando del circuito occorrono due pulsanti; la disposizione ha il pregio di consentire due nette condizioni di lavoro. Ai pulsanti vanno portati il positivo ed il negativo della tensione di alimentazione. Il funzionamento si ottiene anche collegando i due pulsanti al negativo; il pulsante « ON » va collegato a R7, il pulsante « OFF » alla resistenza R8, indicata sullo schema a tratteggio. I componenti vengono montati sul circuito stampato di Fig. 6.01, la loro disposizione è riportata in Fig. 6.03.

6.2 Relé ad impulsi sensibile

Il relé a ritenuta di Fig. 6.02 era specialmente adatto per il comando con contatti ad azionamento manuale. Esso funziona in modo assolutamente sicuro in quanto non è per nulla sensibile a disturbi o punte provenienti dalla rete.

Per il comando a mezzo di circuiti elettronici viene richiesta una maggiore sensibilità. Si ottiene questa diminuendo la controeazio-

ne, e cioè riducendo l'isteresi. In pratica va aumentato il valore di R9; al termine dell'impulso di eccitazione esso conserva la condizione di funzionamento. L'ampiezza dell'impulso può scendere a circa 100 mV; con impulsi positivi il relé viene eccitato, con impulsi negativi si diseccita.

A causa della maggiore sensibilità esso tende ad avvertire le punte della tensione di rete; occorre perciò stabilizzare la tensione di alimentazione. A questo provvedono il transistor T1 e il diodo zener D2. I componenti vengono montati sulla stessa basetta di Fig. 6.01 e sono disposti come mostra la Fig. 6.05.

Elenco dei componenti del circuito di Fig. 6.04

D1	Diodo Zener 5,1 V
D2	Diodo Zener 12 V
IS1	Amplificatore integrato 741C
L1-L5	Terminali a saldare
R1-R6	Resistenze 5,6 k Ω
R7, R6	Resistenze 56 k Ω
T1	Transistor BC 107 (o simile)
	Circuito stampato 50 x 75 mm
	Modulo alimentaz. + relé (4.01)

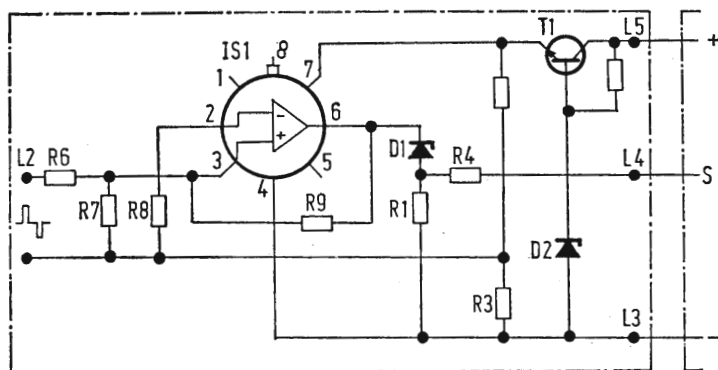


Fig. 6.04. Relé con memorizzazione, ad alta sensibilità (± 100 mV).

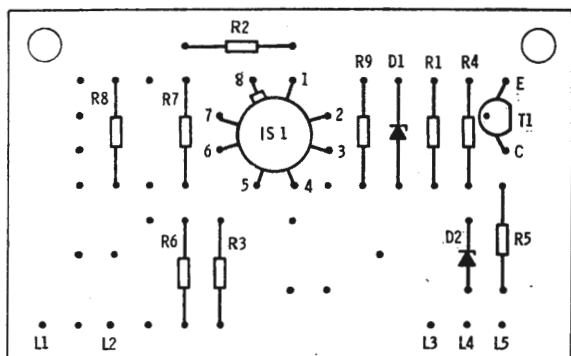


Fig. 6.05. Disposizione dei componenti del circuito di Fig. 6.04.

6.3 Relé ad impulso di corrente

Un tipo di relé con impiego assai diffuso è il relé ad impulso di corrente, di largo impiego negli impianti di illuminazione. Se occorre comandare una lampada da due punti diversi, vengono installati due deviatori. Se però il comando avviene da più punti, occorre installare degli invertitori, che sono più soggetti a guasti. Si preferisce allora passare all'impiego dei relé a impulso di corrente. Sono azionati da pulsanti, ad ogni impulso cambiano posizione e la mantengono fino all'impulso successivo (vedi anche il cap. 2.6).

Il circuito del relé elettronico a impulso di corrente è riportato nella Fig. 6.06 di pag. 69. Al contrario dei relé finora esaminati, esso si comporta con un flip-flop: l'ampiezza e la durata degli impulsi non influiscono sul funzionamento; gli impulsi hanno sempre la stessa polarità (nei circuiti già visti gli impulsi erano di due polarità diverse oppure dovevano essere applicati a due entrate diverse) e vengono applicati ad un ingresso unico. Ciò si ottiene con il condensatore C1, di cui un'armatura è collegata tramite R5 allo zero virtuale, mentre l'altra armatura è collegata tramite R7 all'uscita 6 dell'amplificatore integrato. Vediamo cosa

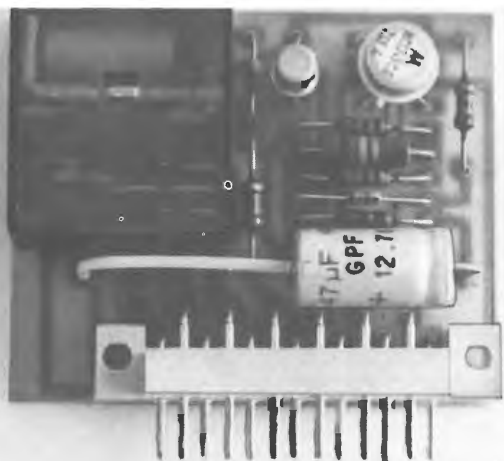


Foto 10. Modulo con relé a intervento ritardato.



Foto 11. L'interruttore acustico montato.



Foto 12. Vista frontale dell'interruttore acustico, montato in una custodia TEK0.

Tavola 3

Foto 7. Relé ad impulso per installazioni civili (Eltako).



Foto 8. Contatti reed con un contatto di lavoro (a destra e in centro) con contatto di scambio (a sinistra in alto); relé reed con un contatto di lavoro (a sinistra in basso) e due lavori (più a destra).



Foto 9. Modulo di alimentazione e relé.



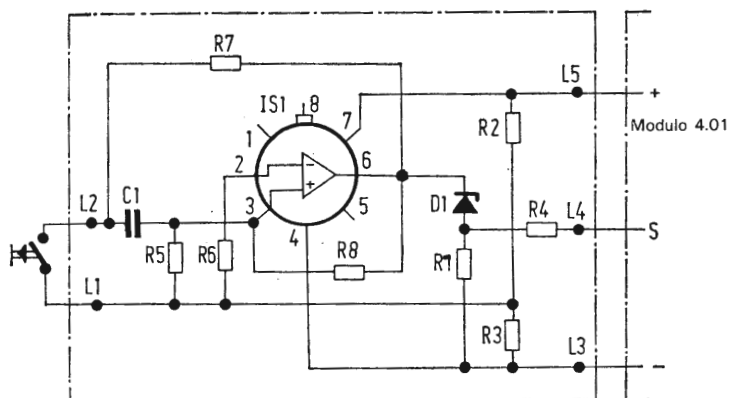


Fig. 6.06. Ancora un esempio di circuito bistabile che utilizza un amplificatore integrato al posto di transistori.

Elenco componenti circuito bistabile

C1	Condensatore 0,68 μ F
D1	Diodo Zener 5,1 V
IS1	Amplificatore integrato 741C
L1-L5	Terminali a saldare
R1-R4	Resistenze 5,6 k Ω
R5, R6	Resistenze 56 k Ω 0,25 W, 5%
R7, R8	Resistenze 560 k Ω
	Modulo alimentaz. + relé (4.01)

succede: supponiamo che l'uscita sia quasi a potenziale positivo massimo. C1 viene allora caricato con tensione positiva. Se il pulsante collega L1 a L2, il condensatore C1 cerca di scaricarsi attraverso R5. La corrente di scarica produce una caduta di tensione su R5, che porta il potenziale dell'ingresso 3 verso valori negativi. L'uscita allora cade verso il massimo negativo ed il condensatore viene caricato negativamente tramite R7.

Al prossimo impulso il condensatore si scarica in senso inverso e il circuito ritorna nelle condizioni iniziali. Anche questa volta i componenti possono essere montati sulla basetta di Fig. 6.01; essi andranno disposti come illustra la Fig. 6.07.

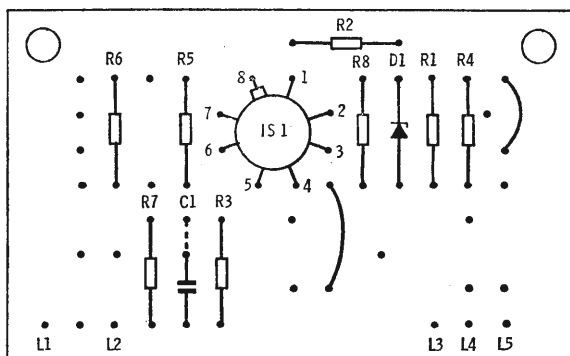


Fig. 6.07. Disposizione dei componenti del circuito di Fig. 6.06.

6.4 Interruttore crepuscolare

Sulla basetta che abbiamo finora utilizzato non è difficile montare un'interruttore crepuscolare, in modo da utilizzare agevolmente i relé elettronici già descritti. Come sonda viene impiegato un fototransistor, di tipo comune. Ovviamente la sua sensibilità deve essere compresa nella parte dello spettro emessa dalla sorgente luminosa. Se vogliamo realizzare un interruttore crepuscolare il fototransistor deve essere adatto per lo spettro visibile.

Nel circuito di Fig. 6.08 è compreso un potenziometro semifisso R 10, che permette di regolare la soglia di intervento secondo le condizioni di luce.

Infatti il fototransistor fornisce una corrente, di valore proporzionale all'illuminazione, che provoca in R7 e R10 una corrispondente caduta di tensione. Il punto d'intervento viene raggiunto quando questa tensione è circa metà della tensione di alimentazione, e cioè quando l'entrata 3 dell'integrato si trova allo stesso livello dell'entrata 2, che si trova tramite R8 allo zero virtuale. L'isteresi introdotta dalla resistenza di controreazione R9 sposta il punto di intervento leggermente verso l'alto o verso il basso. Ciò tuttavia non sarebbe sufficiente ad evitare falsi interventi dovuti a

disturbi occasionali, come un'ombra in movimento o la luce dei fari di una macchina. Per questa ragione l'isteresi è stata leggermente ridotta; si è cercato per contro di ritardare l'eccitazione o il rilascio del relé aumentando la capacità di C1. Per ottenere una buona costanza di funzionamento, si è provveduto a stabilizzare con T1 e D2 l'alimentazione.

La disposizione dei componenti dell'interruttore crepuscolare sul circuito stampato è riportato in Fig. 6.09. I terminali in alcuni tipi

Elenco componenti dell'interruttore crepuscolare

C1	Elettrolitico 10 μ F/40 V
D1	Diodo Znzer 5,1 V
D2	Diodo Zener 12 V
IS1	Amplificatore integrato 741C
L1-L4	Terminali a saldare
R1-R6	Resistenze 5,6 k Ω
R7, R8	Resistenze 56 k Ω 0,25 W, 5%
R9	Resistenza 1,5 M Ω
R10	Potenziometro semifisso 1 M Ω
T1	Transistor NPN BC 107 (o simile)
T2	Fototransistor con sensibilità per luce diurna
	Circuito stampato 50 \times 75 mm
	Modulo alimentaz. + relé (4.01)

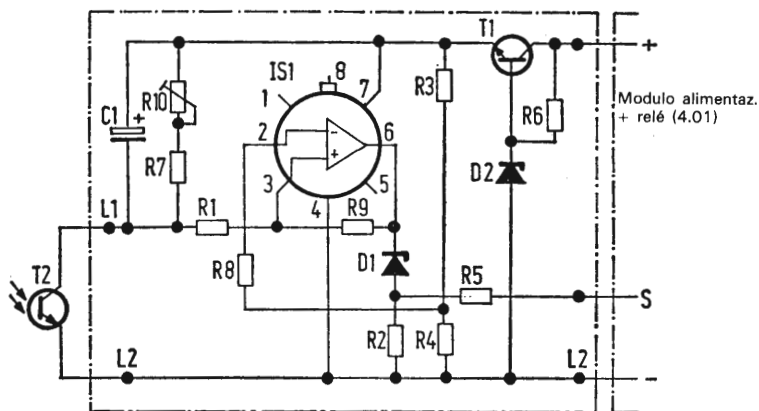


Fig. 6.08. Interruttore crepuscolare con fototransistor come iniziatore.

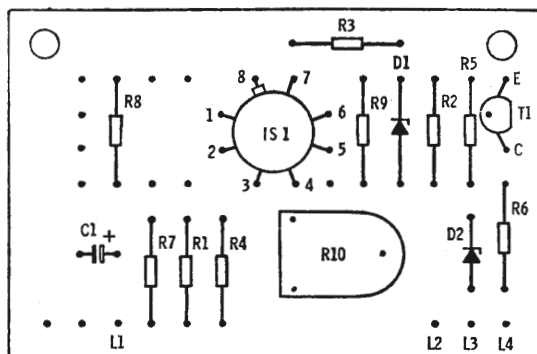


Fig. 6.09. Disposizione dei componenti del circuito di Fig. 6.08.

correnti di fototransistor sono indicati nella Fig. 6.10. Se i contatti del relé vengono interposti fra la rete e delle lampade, il montaggio sarà in grado di comandare automaticamente l'illuminazione ad es. del cortile o del giardino. Anche la serranda del box può essere automatizzata, utilizzando i fari della macchina o il cono di luce di una pila. E si può magari comandare dalla poltrona l'illuminazione della camera, con una lampadina tascabile.

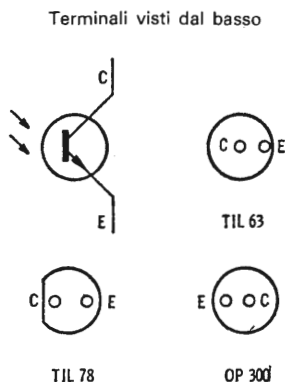


Fig. 6.10. Disposizione dei terminali di alcuni tipi correnti di fototransistor (vista dalla parte dei terminali).

6.5 Relé tattile

Il relé a impulso di corrente veniva azionato da un pulsante. Ma l'elettronica ci permette di realizzare anche relé azionati dal solo appoggio di un dito. Occorre solo predisporre un ingresso di elevata sensibilità, che può essere costituito da un amplificatore operazionale con entrata a effetto di campo (FET), come mostra la Fig. 6.11.

Il circuito integrato IS 1 non è però in grado di comandare direttamente un relé a impulsi di corrente. Occorrono infatti per quest'ultimo degli impulsi, mentre sull'uscita dell'integrato IS 1 è disponibile invece un segnale ai due livelli estremi, massimo positivo e massimo negativo. Bisogna quindi interporre il transistor T1. Quando questo è in interdizione non influisce sui potenziali presenti su C1. Se il transistor va in conduzione, la tensione al collettore scende quasi a livello dello zero virtuale.

Contrariamente ai montaggi precedenti, questa volta il negativo dell'alimentazione va collegato per varie ragioni al neutro della rete alternata. Affinché i due poli del sensore vengano collegati in modo sicuro dal contatto del dito, la loro configurazione verrà possibilmente

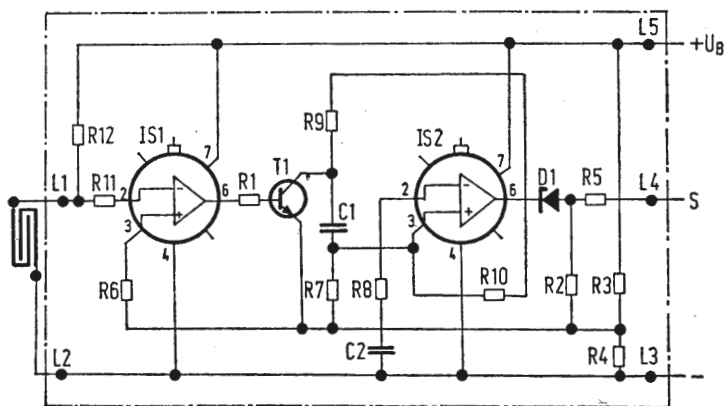


Fig. 6.11. Relé elettronico a sensore con ritenuta.

Elenco dei componenti del relé a sensore

C1	Condensatori 0,68 μ F
D1	Diodo Zener 5,1 V
IS1	Amplificatore integrato 741C
IS2	Amplificatore integrato CA 3130
L1-L4	Terminali a saldare
R1-R5	Resistenze 5,6 k Ω
R6-R8	Resistenze 56 k Ω
R9, R10	Resistenze 560 k Ω 0,25 W, 5%
R11	Resistenza 2,7 M Ω
R12	Resistenza 10 M Ω
T1	Transistor NPN BC 107 (o simile)
	Modulo alimentaz. + relé (4.01)

eseguita a meandro. Quando per il sensore si ricorre ad un circuito stampato è necessario provvedere ad una protezione del rame contro la corrosione; ciò può essere fatto con una doratura superficiale. Presso i dettaglianti di materiali elettronici si trovano i prodotti chimici per la doratura.

I componenti di questo circuito non possono essere fissati sulla basetta finora adoperata; si utilizzerà quindi una scheda per montaggi sperimentali, reperibile in commercio già forata e pronta per le saldature.

6.6 Termostato per acquario

Lo schema di Fig. 6.12 si compone di due circuiti con diversa funzione: un ponte di resistenze e un amplificatore operazionale colle-

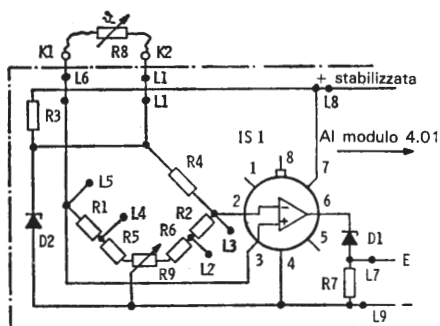


Fig. 6.12. Termostato per liquidi, con campo 0...100 °C.

Elenco dei componenti per termostato

D1	Diodo Zener 2,7 V	
D2	Diodo Zener 6,8 V	
IS1	Amplificatore integrato 741C in contenitore TO 99 (TBA 221)	
K1, K2	Boccale isolate	
L1-L9	Terminali a saldare	
R1, R2	Resistenze 560 Ω	
R3	Resistenza 1,5 k Ω	
R4	Resistenza (v. testo)	0,25 W, 5%
R5, R6	Resistenze 5,6 k Ω	
R7	Resistenza 10 k Ω	
R8	Termistore 3,3 k Ω (Philips 232263421332)	
R9	Potenziometro semifisso 10 giri 1 k Ω	
	Circuito stampato 45 \times 100 mm	

gato come comparatore di tensione. Uno dei rami del ponte è costituito da una sonda termometrica e cioè da una resistenza con elevato coefficiente (negativo) di temperatura. La sua resistenza nominale è di 3,3 k Ω a 25 $^{\circ}$ C.

I circuiti a ponte hanno una buona stabilità intrinseca. Variazione della tensione di alimentazione (applicata in L1 e sul cursore del potenziometro R9) non influiscono sulla tensione presente sulla diagonale del ponte, che è poi il segnale disponibile agli ingressi dell'operazionale: questo però se i rami del ponte sono di ugual resistenza. Nel nostro caso ciò è molto improbabile, perché non è detto che la sonda abbia la stessa resistenza di R4. Si può tuttavia portare il ponte in equilibrio, quando la sonda si trova alla temperatura desiderata, correggendo la posizione del potenziometro R9. La precisione del circuito è però sia pure leggermente influenzata dalla tensione di alimentazione. Così è stata prevista un'ulteriore stabilizzazione con il diodo zener D2.

L'amplificatore operazionale lavora senza controreazione e quindi la sua uscita assume due valori netti: massimo positivo o massimo negativo. Tramite lo zener D1, la cui funzione è già stata descritta al precedente cap. 4.4, il segnale è applicato al transistor che comanda il relé.

Il circuito è previsto per un collegamento diretto con il modulo relé + alimentazione della Fig. 4.04.

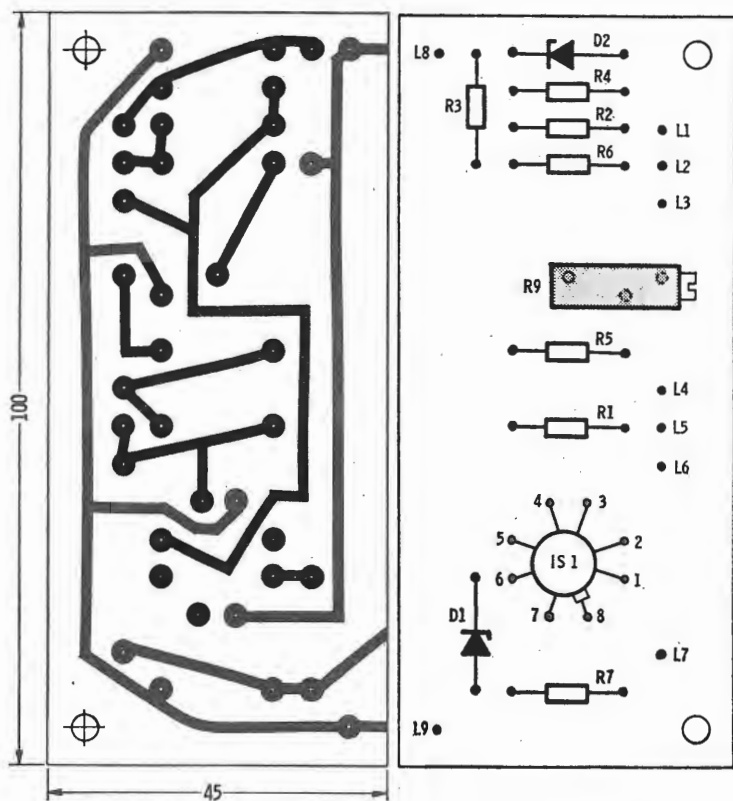


Fig. 6.13. Circuito stampato del termostato di Fig. 6.12 (a sinistra).

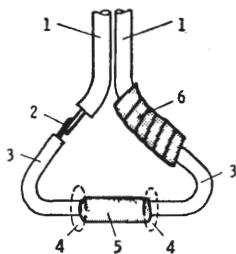
Fig. 6.14. Disposizione componenti del termostato (a destra).

Il montaggio può essere fatto su una basetta, di cui la Fig. 6.13 dà il tracciato e la Fig. 6.14 la disposizione dei componenti.

Il tracciato combina con quello della Fig. 4.04: eventualmente si possono affiancare i due disegni e realizzare un circuito stampato solo.

La sonda va collegata ai terminali K1 e K2 con un cavetto flessibile e va immersa nell'acquario. Quasi tutti i liquidi sono più o

Fig. 6.15. Sonda termometrica: 1. cavetto flessibile; 2. terminale del termistore; 3. tubetto isolante; 4. perla di collante sintetico; 5. corpo del termistore; 6. nastro adesivo impermeabile.



meno conduttori e quindi la loro resistenza si troverebbe inserita in parallelo a quella della sonda. Dobbiamo perciò isolare quest'ultima, in modo che i fili della resistenza NTC non vengano a contatto con l'acqua. Questi terminali vanno ricoperti con una guainetta isolante; dove essi entrano nel corpo della resistenza si applicherà una goccia di collante sintetico (UHU). Dove i terminali sono saldati al cavetto si isolerà con nastro autoadesivo. Fatto questo, la sonda avrà l'aspetto di Fig. 6.15, nella quale la saldatura di sinistra è rappresentata ancora priva di nastatura. Affinché la temperatura dell'acqua venga mantenuta al valore desiderato, è necessario che il ponte (a quella temperatura) sia equilibrato; non appena la temperatura varia, deve intervenire il circuito. Allora R_4 deve avere lo stesso valore che la sonda presenta alla temperatura voluta. Riportiamo nella Fig. 6.16 la curva caratteristica della sonda. R_4 va scelta di valore approssimativamente uguale al valore ricavato dalla curva.

Accade però che in commercio siano disponibili solo resistenze con una scala di valori normalizzati; è quindi improbabile che il valore richiesto da R_4 sia uno di essi. SI sceglierà quindi il valore più vicino e con R_9 si porterà in equilibrio il ponte. Per facilitare la regolazione, è stato scelto per R_9 un valore piuttosto basso: può succedere quindi che a fine corsa non sia stato raggiunto l'equilibrio. Nel circuito sono perciò previste due resistenze, R_1 e R_2 , che possono essere all'occorrenza cortocircuitate con un ponticello fra L_4 e L_5 oppure fra L_2 e L_3 . La regolazione va fatta con acqua alla temperatura desiderata; R_9 va regolato in modo che il

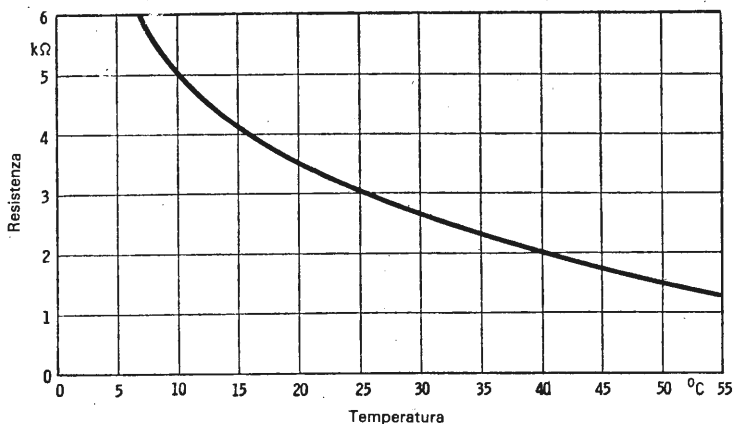


Fig. 6.16. Curva caratteristica del termistore impiegato nel termostato.

circuito commuti esattamente in quel punto. Non è importante che il relé si ecciti o si rilasci, in quanto l'isteresi è minore di $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Poiché i potenziometri a dieci giri sono costosi, si è preferito adottare per R9 un trimmer a dieci giri, di maggior convenienza. Se si vuole però comandare dall'esterno la temperatura, si può saldare sul pernetto una prolunga, sul cui estremo verrà montata una manopolina.

6.7 Interruttore acustico

Il montaggio di un interruttore acustico, che ora viene proposto, offre molte possibilità di impiego. Può ad esempio accendere o spegnere la luce con una battuta di mani, sovervegliare il sonno dell'ultimo nato, segnalando rumori anormali; può pilotare luci psichedeliche in sincronismo con il ritmo della musica e perfino servire per un giochetto di società: chi non vuole essere visto baciare la partner può, con una sonora battuta di mani, far spegnere per breve tempo le luci.

Il montaggio di Fig. 6.17, onde poter compiere le funzioni previste, è composto di diversi elementi costruttivi. L'integrato IS 1 è un amplificatore di segnale, IS 2 è un monostabile con compiti di temporizzatore, un circuito bistabile integrato serve come memoria. Tutti questi gruppi funzionali sono fissati su un circuito stampato, accoppiabile al modulo relé-alimentazione di Fig. 4.01. Il segnale proveniente dal microfono viene portato ad un amplificatore integrato operativo che lavora come comparatore, quindi senza controreazione. Viene così sfruttato completamente il coefficiente di amplificazione (circa 20 000). Se la tensione di entrata è di ampiezza sufficiente, il segnale sul terminale di uscita si porta alternativamente al massimo positivo e al mas-

Elenco dei componenti del relé acustico

A	Relé per c.s., bobina 12 V (Siemens V23027-A0002-A101)	
C1	Condensatore 10 nF	
C2	Condensatore 0,1 μ F	
C3	Elettrolitico 220 μ F/16 V	
C4	Elettrolitico 220 μ F/35 V	
D1	Diodo al germanio, tipo corrente	
D2	Diodo Zener 5,6 V	
D3	Diodo al silicio, tipo corrente	
Gr1	Ponte raddrizzatore B40C800	
IS1	Amplificatore integrato 741C (TBA 221)	
IS2	Temporizzatore integrato NE 555	
IS3	JK-Flip-Flop SN 7472 (FLJ 111)	
K1, K2	Morsettiere tripolari per c.s.	
L1-L14	Terminali a saldare per c.s.	
Mi1	Capsula microfonica 6 V	
R1	Resistenza 560 Ω	
R2-R4	Resistenze 5,6 k Ω	
R5	Resistenza 2,7 k Ω	0,25 W, 5%
R6-R8	Resistenze 5,6 k Ω	
R9	Resistenza 10 k Ω	
R10	Potenziometro a grafite 10 k Ω	
R11	Potenziometro a grafite 100 k Ω	
S1	Commutatore unipolare a levetta, con contatti dorati	
T1, T2	Transistori NPN BC 107 (o simili)	
	Circuito stampato 50 x 70 mm	
	Circuito stampato 55 x 75 mm	
GL1	Lampadina spia neon 220 V	
S2	Interruttore bipolare a levetta	
Si1	Portafusibile con fusibile rapido 0,125 A	
	Cavetto alimentazione con spina	
	Passacavo gomma con blocco	

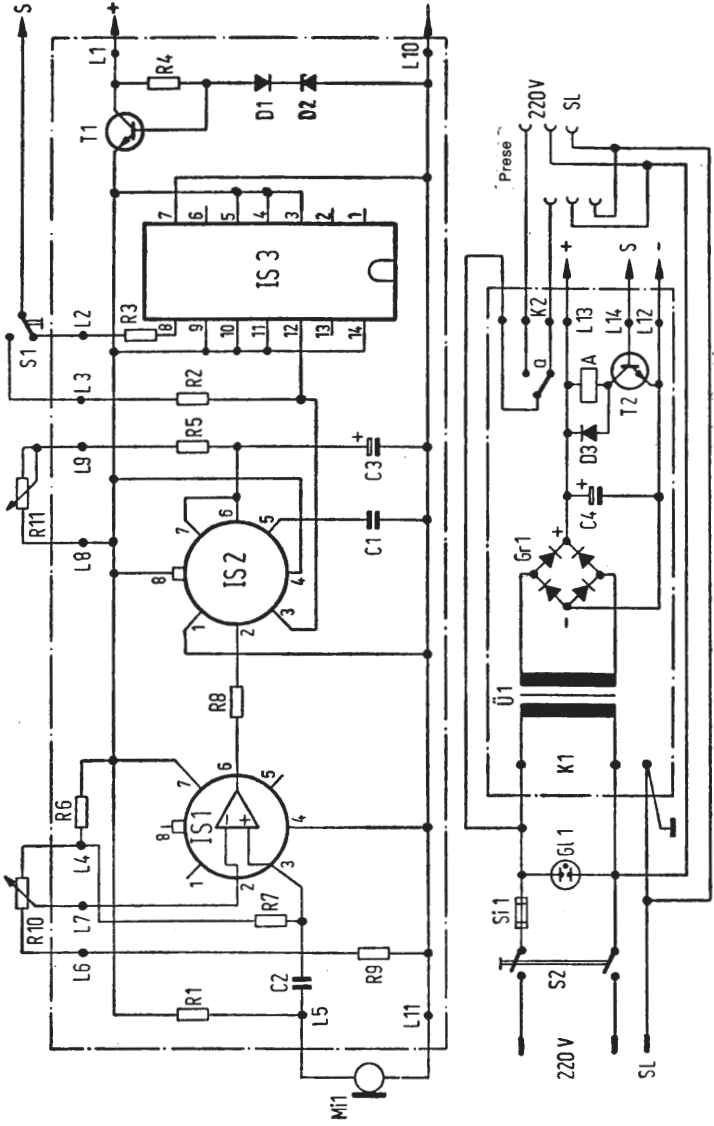


Fig. 6.17. Circuito completo del relé acustico (modulo pilota e modulo alimentazione e relé).

simo negativo. Si ottengono così impulsi rettangolari in sincronismo con le semionde del segnale.

Il primo impulso commuta un integrato monostabile, che assorbe molti impulsi successivi di breve durata in un lungo solo impulso. Questo, tramite un transistor, pilota il relé, i cui contatti sono in serie alla tensione di rete.

Con un commutatore a levetta si può inserire un circuito integrato bistabile. Mentre nel caso dianzi descritto il circuito monostabile — e quindi il relé — ritornavano nella condizione di partenza dopo un certo tempo (regolabile fra 1 e 40 secondi) con l'aggiunta dell'integrato bistabile succede che al primo rumore captato dal microfono il relé interviene e ritorna nella condizione primitiva solo al successivo rumore.

Il microfono a capsula di carbone Mi 1 dà, di tutti i microfoni, la tensione più alta. Esso riesce a pilotare completamente l'amplificatore operazionale IS 1 con tensioni bassissime (dell'ordine dei millivolt); il circuito quindi è molto sensibile e reagisce al batter di mani ad una distanza di 6-8 m. Gli impulsi disponibili sull'uscita 6 vengono portati all'entrata 2 del temporizzatore IS 2, collegato come circuito monostabile. Se esso viene eccitato da un impulso, la sua uscita 3 scatta da zero al massimo positivo. Il tempo durante il quale l'uscita rimane positiva viene regolato fra 1 e 40 secondi agendo su R 11.

L'uscita del temporizzatore è collegata all'entrata 12 del bistabile IS 3, che ad ogni impulso inverte la sua condizione. Con l'interruttore S1 è possibile collegare la base del transistor, montato sul modulo relé, al circuito monostabile o al bistabile. Nel primo caso il relé viene eccitato per un certo tempo, per poi ricadere. Se il transistor viene collegato al bistabile, ad ogni rumore il relé si porta in condizione inversa e ci rimane fino all'arrivo di un nuovo rumore.

In questo tipo di operazione lo stadio monostabile ha il compito di

raggruppare in un solo lungo impulso i molti brevi impulsi provocati da un rumore anche di corta durata. Se così non si facesse, ad ogni singolo impulso della serie il circuito bistabile continuerebbe ad invertire il suo stato e quindi si comporterebbe in modo incontrollato.

Il trasformatore U1 fornisce 12 V, che è anche la tensione di funzionamento del relé per circuito stampato A. Il tipo scelto ha piccolo ingombro, in modo da richiedere una basetta di dimensioni limitate. I contatti, dimensionati per una corrente di 5 A, sono adatti per tensioni continue o alternate, per cui si possono collegare allarmi o dispositivi con batterie o dalla rete.

La tensione di 12 V non è però adatta al circuito integrato IS 3, che richiede una tensione fra 4,7 e 5,5 V. È prevista quindi una stabilizzazione che dà circa 5 V. I diodi Zener sono reperibili in valori con intervalli piuttosto sensibili, per cui occorre prevedere in serie allo zener un diodo al germanio, onde ottenere una tensione appena superiore a 5 V.

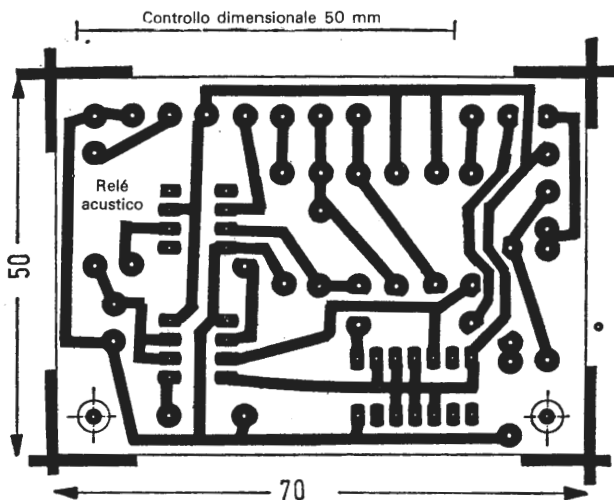


Fig. 6.18. Circuito stampato del relé acustico.

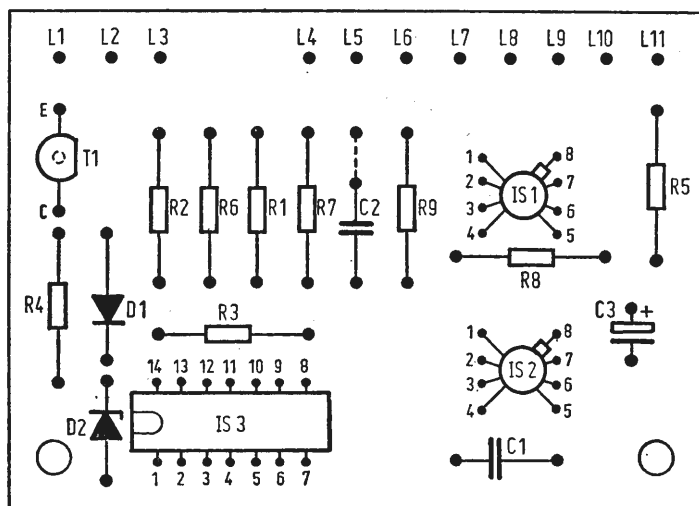


Fig. 6.19. Disposizione dei componenti del relé di Fig. 6.18 (sezione pilota).

In Fig. 6.18 è riportato il disegno di allestimento del circuito stampato. I componenti vengono sistemati come indica la Fig. 6.19. Poiché nell'elenco del materiale e nello schema i componenti sono numerati progressivamente, il modulo di alimentazione e del relé di Fig. 4.02 assume la forma riportata in Fig. 6.20.

Le dimensioni della basetta, grazie all'impiego di circuiti integrati, sono veramente molto ridotte, come si può notare dalla foto 11 della tavola 4.

L'ingombro della custodia dipende in primo luogo dalle prese, che servono per collegare gli avvisatori di allarme, quando questi sono alimentati a tensione di rete. Abbiamo previsto una presa doppia, che viene incassata nella piastra posteriore della custodia TEKO P/4; questa si presenta molto bene, è allestita in materiale termoplastico blu facilmente lavorabile ed ha un frontale in alluminio. I due circuiti stampati saranno fissati alle pareti laterali.

Avendo a disposizione un microfono ricavato da una cornetta telefonica (opportunamente segata), il montaggio potrà avvenire

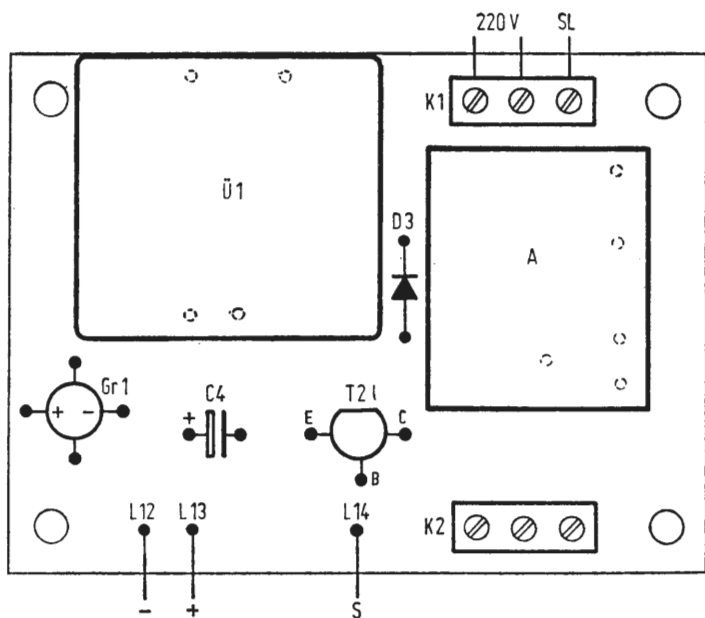


Fig. 6.20. Disposizione dei componenti del relé di Fig. 6.18 (alimentazione e relé).

come mostra la foto 12 della tavola 4. Si può anche praticare sul pannello frontale un gruppo di fori, dietro i quali il microfono va montato con una staffina di lamierino.

Il montaggio del microfono presenta dei problemi, perché lo scatto del relé può essere avvertito dalla capsula microfonica, la quale tramite l'amplificatore agisce sul relé. Si ingenera così un indesiderato accoppiamento che provoca un martellare continuo del relé. Occorrerà provvedere, in questo caso, a diminuire la sensibilità agendo su R10 e poi a isolare acusticamente la capsula, in modo da proteggerla dal rumore prodotto dall'ancoretta del relé. È ovvio che la capsula va montata il più lontano possibile dal relé.

R10 controlla la sensibilità del circuito. Nella posizione di massima (a destra) può avvenire che l'amplificatore operativo intervenga, il che si avverte dallo scatto del relé. Si dovrà perciò

ridurre leggermente la sensibilità, finché il relé si diseccita. In questa condizione si ottiene la sensibilità ottima.

Il tempo di commutazione del circuito monostabile viene regolato con R11. Utilizzando il montaggio con il funzionamento monostabile, anche il relé scatterà nello stesso tempo. Passando al funzionamento bistabile, il circuito monostabile viene sempre utilizzato per trasformare in impulso unico una serie di impulsi. Pertanto il funzionamento viene ad essere dipendente dal ritardo interrotto dal circuito monostabile. Allora R11 va portato nella posizione di minimo (a sinistra). In questa condizione il ritardo è di circa 1 secondo.

6.8 Il relé Hall

In una piastrina di materiale semiconduttore, immersa in un campo magnetico e nella quale scorre una corrente perpendicolarmente al flusso magnetico, si sviluppa una differenza di tensione che — dal nome dello scopritore — si chiama tensione per effetto Hall. Questa tensione può servire alla misura di campi magnetici; inoltre in particolare configurazione, i generatori Hall vengono impiegati per ottenere il prodotto di due grandezze elettriche. I correnti tipi di generatori Hall forniscono una tensione proporzionale all'intensità del campo magnetico.

Contrariamente al generatore Hall, l'interruttore che sfrutta lo stesso effetto è collegato ad un amplificatore integrato a scatto (trigger), che fornisce un segnale quando viene superato un determinato valore di campo magnetico. Questo praticamente significa che in uscita il segnale cade quasi a zero oppure sale quasi fino alla tensione di alimentazione; non si verificano condizioni intermedie.

Fra il punto di intervento e quello di rilascio si verifica una piccola isteresi. Avvicinando all'interruttore Hall un piccolo magnete, ad una certa distanza si ottiene lo scatto. Occorre allontanare leggermente il magnete perché si ritorni allo stato di riposo.

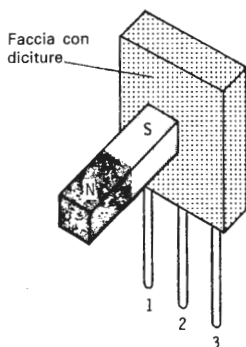


Fig. 6.21. L'interruttore a effetto Hall reagisce all'avvicinarsi di un magnete.

Noi utilizziamo l'interruttore Hall tipo ULN-3006 (marca Sprague), che si presenta come un transistor in plastica con tre terminali. Per ottenere l'intervento si avvicina alla faccia con la stampigliatura un piccolo magnete, come illustra la Fig. 6.21.

Se si adopera un magnetino Alnico di $6,3 \times 6,3 \times 25,5$ mm, comunemente adoperato per eccitare i contatti reed, l'intervento si ottiene a circa 5 mm di distanza. Con magneti più grossi e più potenti la distanza critica è ovviamente maggiore. Mentre per eccitare bulbi reed il magnete viene disposto parallelamente, con gli interruttori Hall va avvicinato frontalmente. L'uscita dell'interruttore Hall è di circa 50 mA. Essa è sufficiente solo per relé molto sensibili, come i relé reed. In questo caso il circuito (Fig. 6.22, a sinistra) si compone di tre soli elementi. La tensione di alimentazione non deve superare 20 V.

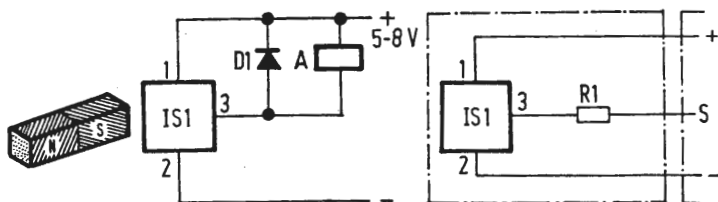


Fig. 6.22. L'interruttore a effetto Hall fornisce un segnale di 50 mA e può eccitare direttamente un relé sensibile (ad es. relé reed, a sinistra); per un relé normale è necessario interporre un transistor amplificatore (a destra).

Componenti dell'interruttore di prossimità con relé reed

A	Relé reed, bobina 6 V, resistenza superiore a 120
B1	Diode al silicio, tipo corrente
IS1	Interruttore Hall integrato ULM-3006

Componenti dell'interruttore di prossimità con transistor

IS1	Interruttore Hall integrato ULN-3006
R1	Resistenza 2,7 k Ω /0,25 W, 5%
	Modulo alimentazione stabilizzata con relé (4.04)

Chi vuole impiegare un comune relé deve ricorrere ad un transistor intermedio: l'uscita S va collegata alla basetta relé/alimentazione di Fig. 4.04.

L'interruttore Hall può essere utilizzato ad esempio con interruttore di prossimità o essere inserito in impianti antifurto, per sorveglianza di finestre o porte. Con un relé intermedio si possono azionare campanelli, suonerie, cicaline. Non ci sono problemi, perché il relé può controllare anche forti correnti (Fig. 6.23 a destra). Un'altra possibile variante, senza uso di relé, è data in Fig. 6.23 a sinistra: l'interruttore Hall alimenta un avvisatore elettronico. Questo può essere collegato direttamente, in quanto assorbe una corrente molto bassa. Il circuito completo si riduce a due soli componenti. Non bisogna però credere che una soluzione così semplice sia particolarmente conveniente. Questi avvisatori sono costituiti da un multivibratore ed un altoparlante, per cui il loro prezzo è sempre sensibile.

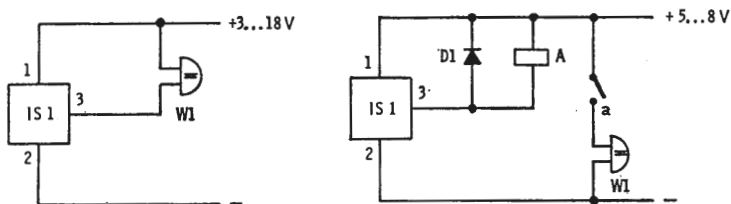


Fig. 6.23. Con un interruttore integrato ad effetto Hall e un avvisatore elettronico si realizza già un impianto di allarme (a sinistra); volendo utilizzare un normale campanello, occorre interporre un relé sensibile (a destra).

Elenco componenti impianto di allarme

A	Relé reed, bobina 6 V, resistenza maggiore di 120 Ω
D1	Interruttore integrato a effetto Hall ULN-3006
W1	Campanello o cicalino 4-8 V

Elenco componenti impianto semplice

IS1	Interruttore integrato effetto Hall ULN-3006
W1	Avvisatore elettronico (ad es. SNP-428)

6.9 Umidostato

Passato Natale, comincia il tempo delle vacanze bianche e ritorna quindi il problema di chi si prenderà cura degli animali domestici e delle piante. Il canarino può magari essere affidato a conoscenti; le piante invece sono piuttosto scomode da trasportare. Ma l'elettronica può qui dare una mano.

L'umidostato della Fig. 6.24 si compone solo di un amplificatore a tre stadi con il suo alimentatore. La base del transistor T1 è collegata ad un partitore formato dal potenziometro semifisso R5 e dalla resistenza che presenta la terra del vaso. Quando la resistenza compresa fra le due strisce metalliche infisse nel terreno è bassa, il transistor PNP T1 conduce. La caduta su R4 provoca la conduzione di T2, per cui T3 non conduce e il relé rimane diseccitato.

Man mano che il terreno si asciuga, la resistenza fra le sonde aumenta e T1 conduce sempre meno. Le condizioni del circuito si invertono e il relé viene eccitato. I suoi contatti mettono in azione una pompetta (de tipo per il lavaggio del parabrezza oppure quella di una lavatrice fuori uso). Quando il terreno è sufficientemente umido, il relé torna in posizione di riposo. Il punto di intervento per una determinata umidità viene regolato con R5. Il valore del potenziometro va scelto — secondo la resistenza del terreno — tra 5 e 25 kOhm. Si può anche prendere un valore intermedio, ad es. 10 kOhm, finché il circuito agisce all'umidità voluta.

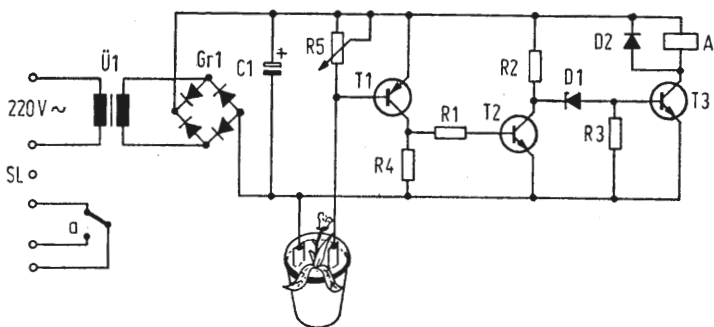


Fig. 6.24. Umidostato per floricoltura.

Elenco componenti per umidostato

A	Relé miniatura 12 V con contatti per tensione di rete
C1	Elettrolitico 220 μ F/40 V
D1	Diodo Zener 3,9 V
D2	Diodo al silicio tipo corrente
Gr1	Ponte raddrizzatore B40C800
R1-R3	Resistenze 5,6 k Ω 0,25 W, 5%
R4	Resistenza 150 k Ω
R5	Potenziometro semifisso (valore nel testo)
T1	Transistor PNP BC 177 (o simile)
T2	Transistor NPN BC 107 (o simile)
T3	Transistor di potenza NPN 2N1613 (o simile)
U1	Trasformatore di alimentazione prim. 220 V/sec. 12 V, 2,5 VA
	Cavetto di alimentazione con spina
	Fermo antistrappo

Il montaggio del circuito può essere fatto su una basetta, proteggendo però da contatti accidentali la parte collegata con la pericolosa tensione di rete. Anche il cavetto di alimentazione va bloccato con un cavallotto antistrappo.

Detto fra noi: spesso non c'è bisogno dell'elettronica. Durante le vacanze estive molti lasciano le piante all'aperto, sperando che ci pensi qualche acquazzone. Se le piante sono poche, c'è un altro sistema, non elettronico. Si prende un secchio d'acqua, lo si copre e lo si collega con un grosso cordone di lana al vaso, infilando sotto terra l'estremo. Grazie alla capillarità l'acqua migra dal lato

bagnato al lato asciutto, molto lentamente ma tuttavia sempre meno lentamente di quanto essa evapori dal terreno.

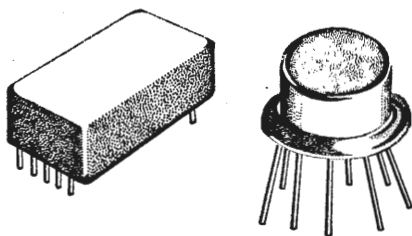
Questo trucco in verità sminuisce un po' la convenienza di una soluzione elettronica. Però l'autore, visto che avete acquistato il volumetto, è fiducioso che l'elettronica verrà ancora preferita ai semplici ma antiquati sistemi.

7. Interruttori elettronici

All'inizio è stato detto che un relé è generalmente un interruttore elettromeccanico comandabile a distanza. Per questo volume è stato scelto come tema il relé; non si deve però credere che ogni volta che si deve aprire o chiudere un circuito si debba ricorrere obbligatoriamente a un relé. Talvolta lo si può fare con mezzi elettronici. Per questa ragione non perderemo di vista l'argomento principale se chiudiamo con un capitolo sugli interruttori elettronici; dispositivi, capaci di intervenire su circuiti elettrici senza bisogno di relé.

Questa tendenza è sempre più avvertibile, in quanto oggi tutto (o quasi) è realizzabile con mezzi elettronici. Quindi anche un interruttore elettromeccanico può essere sostituito da un analogo elemento elettronico. La difficoltà consiste solo nel fatto che nessuno ha idee perfettamente chiare su quello che è un interruttore elettronico e quali caratteristiche esso deve avere. Pertanto — e qui salta fuori la vera difficoltà — non c'è una soluzione universale, che vada bene per la maggioranza dei casi concreti (cosa che succede del resto anche con i relé). Un problema tipico dei relé — la scelta del materiale dei contatti — viene aggirato; però altri problemi affiorano, per cui l'interruttore elettronico deve essere concepito in

Fig. 7.01. I relé e i relé elettronici sono paragonabili solo da alcuni punti di vista.



funzione dell'impiego previsto. Per questa ragione vengono proposte le più svariate soluzioni.

Da quando sono apparsi relé in dimensioni simili a quelle dei transistor non è più stato possibile affermare che i relé avevano perduto la gara alla miniaturizzazione. Se però si continua ad adoperare correntemente tipi più ingombranti è perché al relé vengono richieste prestazioni maggiori di quanto si faccia con l'interruttore elettronico. Se ad esempio un interruttore ad effetto di campo (FET) è utilizzabile nel campo dei milliampere, per correnti dell'ordine degli ampere e per tensioni di rete si sceglie un relé. Non ci si deve meravigliare se il suo ingombro è maggiore. Se passiamo ai transistor di potenza e ai diodi controllati, magari con dissipatore, le due soluzioni (elettromeccanica ed elettronica) dal punto di vista dell'ingombro sono più o meno allo stesso livello. Non disprezziamo troppo il relé quindi!

7.1 Relé e interruttori elettronici

Discutendo delle caratteristiche dell'interruttore elettronico si può forse perdere l'aspetto generale del problema; pertanto presentiamo in forma tabellare le più evidenti caratteristiche.

Parametro	Relé ad ancoretta	Relé reed	Interruttore elettronico
Tensione massima	$\pm 100 \dots 600$ V (12 kV) *	$\pm 100 \dots 450$ V (27,5 kV) *	$\pm 2 \dots 20$ V
Tensione minima	alcuni μ V	alcuni mV	alcuni mV
Corrente massima	0,5...20 A	0,5...3 A	mA...A
Carico minimo	alcuni ohm	alcuni ohm	alcuni ohm
Resistenza di contatto	1 ohm	1 ohm	10...150 ohm

* Fra parentesi: contatti sotto vuoto.

Parametro	Relé ad ancoretta	Relé reed	Interruttore elettronico
Resistenza di isolamento (corrente di fuga)	$10^9 \dots 10^{12}$ ohm	$10^9 \dots 10^{12}$ ohm	0,1...1 nA
Tensioni alternate	si	si	secondo il tipo
Rimbalzi alla chiusura	secondo il tipo **	secondo il tipo **	esente
Potenza minima di eccitazione	0,001...3 VA	0,01...0,2 VA	$10^{-8} \dots 10^{-9}$ VA
Ritardo allo intervento	2...50 ms	1...2 ms	0,1...1 us

** Esenti se con contatti a mercurio.

7.2 L'interruttore FET (a effetto di campo)

Il transistor a effetto di campo ha una caratteristica lineare entro un tratto molto limitato (Fig. 7.02). In questo tratto le distorsioni

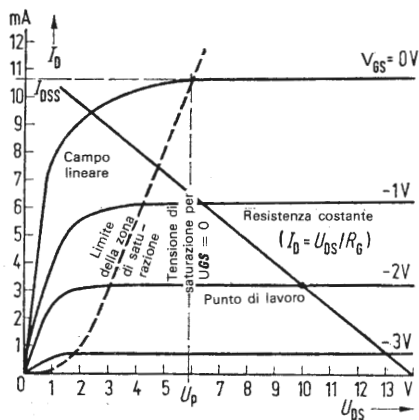


Fig. 7.02. Curve caratteristiche di un transistor a effetto di campo (FET) in prossimità dello zero onde porre in risalto il campo lineare.

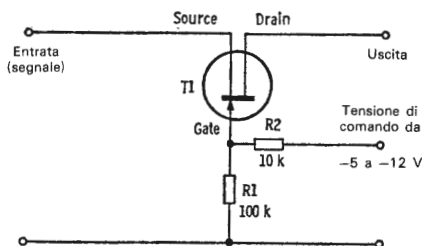


Fig. 7.03. Interruttore analogico con un FET a canale N.

sono ridotte e quindi si presta bene per una trasmissione di segnali. Il circuito di impiego è, come indica la Fig. 7.03, veramente semplice. Occorre però chiarire che il transistor FET a canale n è conduttivo, se Gate e Source hanno circa ugual potenziale. Per interdire completamente l'uscita, occorre applicare al Gate una tensione negativa. Secondo le tabelle del costruttore essa deve essere di -3 V almeno; è consigliabile quindi scegliere un valore fra -5 e -10 V .

7.3 Interruttore FET con adattatore di impedenza

La tensione di uscita di un interruttore FET diminuisce sensibilmente quando la resistenza di carico è inferiore ai $50\text{ k}\Omega$ (dipende dal tipo). Come è già stato accennato, una resistenza di carico troppo piccola introduce delle distorsioni, perché la resistenza di

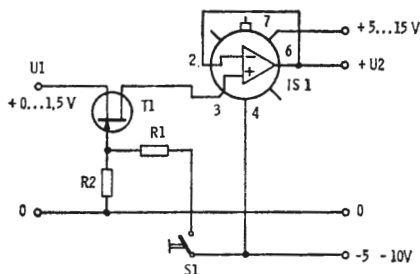


Fig. 7.04. Per diminuire l'influenza della sensibile resistenza interna, si può accoppiare a un FET un amplificatore operazionale, che funge da adattatore di impedenza.

Elenco componenti dell'interruttore FET con adattatore di impedenza

IS1	Amplificatore integrato 741C
R1	Resistenza 10 k Ω
R2	Resistenza 100 k Ω
S1	Contatto di comando (anche elettronico)
T1	Transistor FET a canale N BC264 e simili

conduzione dipende dalla tensione. Per queste ragioni, nella maggioranza dei casi occorre far seguire al FET un adattatore di impedenza. Il tipo di piú facile impiego per il non professionista è senz'altro un amplificatore operazionale con guadagno 1.

La Fig. 7.04 mostra l'interruttore provvisto di adattatore. Bisogna comunque tener presente che un operazionale cosí impiegato non è il piú in grado di lavorare a qualche centinaio di kHz, ma al massimo nel campo delle frequenze acustiche.

7.4 Interruttori integrati J-F

L'industria offre anche degli interruttori FET integrati, dei quali è conveniente esaminare le caratteristiche.

La tensione massima commutabile (o trasferibile) dipende dal tipo e varia fra 1 e 2 V. Un esemplare del tipo BC 264, collegato secondo lo schema di Fig. 7.03, è stato in grado di trasferire senza apprezzabili distorsioni un segnale di 0,6 V (valore effettivo) a qualche centinaio di kHz.

La locuzione « senza apprezzabile distorsione » farà invece storcere il naso del patito dell'alta fedeltà: per la qual cosa dobbiamo esaminare un po' piú da vicino questo componente. I fogli dei dati caratteristici portano spesso curve in scala logaritmica, che non si prestano ad una corretta valutazione. Una curva del genere è rappresentata, in scala lineare, nella Fig. 7.05. Si può osservare che la curva $I_D = f(V_{gs})$ del tipo BC 264 D prescelto è assolutamente lineare fino a circa -2,2 V. Nel campo -2,2...0 V la corrente I_D è 0,5...10 mA (nel diagramma il tratto 4...10 mA è stato soppresso). Nel tipo BC 264 A il campo di linearità è 0,5...3 mA, corrispon-

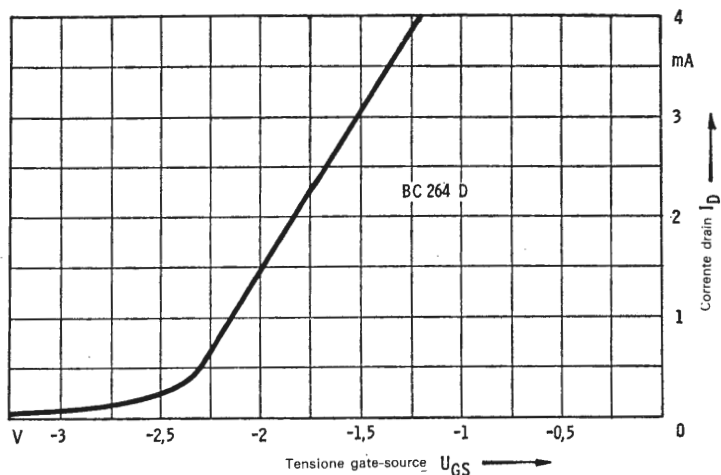


Fig. 7.05. Dipendenza della corrente « drain » dalla tensione fra Gate e Source (il tratto della curva oltre i 0,5 mA può essere impiegato per l'esercizio come interruttore analogico).

dente ad una tensione di gate di $-1,2 \dots 0$ V. In realtà queste curve rappresentano i valori minimi garantiti. Un controllo severo su un FET BC 264 A mise in evidenza un campo lineare fino a $-1,8$ V. Un difetto dell'interruttore FET sta nella sua relativamente alta resistenza interna di circa 100 ohm, il cui valore è inversamente proporzionale alla tensione gate-source secondo la relazione

$$r_{DS} \cong \frac{1}{V_{gs} - V_p}$$

che tende al minimo per $V_{gs} = 0$.

Supponendo V_p a circa 0,5 V, si rileva che la resistenza interna varia sensibilmente col variare dell'ampiezza del segnale, introducendo ovviamente delle distorsioni. La resistenza interna può essere trascurata quando è piccola rispetto alla resistenza di carico.

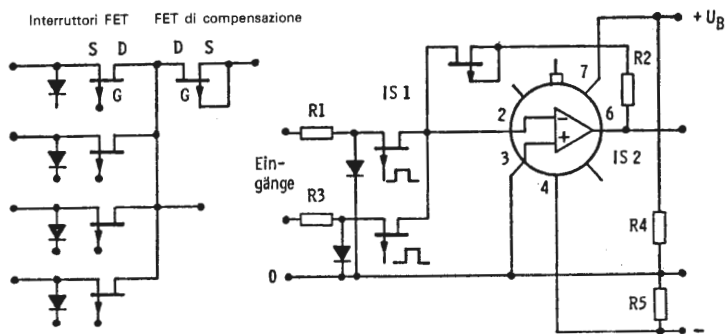


Fig. 7.06. Gli interruttori analogici FET a strato di sbarramento sono spesso a più canali; un elemento FET provvede a compensare l'effetto della resistenza di transito, in combinazione con un operazionale invertitore.

Elenco componenti interruttore analogico

IS1	Interruttore analogico integrato a 4 vie IH5009 (intersil)
IS2	Amplificatore operazionale 741C
R1-R3	Resistenze 10 kΩ, 0,25 W, 1%
R4, R5	Resistenze 10 kΩ, 0,25 W, 10%

Gli interruttori analogici integrati a strato di sbarramento FET sono dotati, secondo il tipo, di uno o più canali, raggruppati in un singolo elemento (Fig. 7.06, a sinistra); pertanto hanno gli stessi dati di funzionamento e sono adatti per comandi multipli.

Specialmente nella trasmissione di valori di misura è importante che il segnale non venga deformato in ampiezza, che cioè un amplificatore operazionale collegato in uscita dia un guadagno esattamente di 1.

Per questa ragione spesso gli interruttori analogici hanno anche un elemento FET di compensazione, collegato in serie alla resistenza di controreazione. Esso bilancia la resistenza offerta dall'interruttore; pertanto il guadagno viene definito esclusivamente dai valori delle resistenze esterne R1 e R2 (Fig. 7.06 a destra).

Se $R_1 = R_2$ (le resistenze debbono essere di adeguata precisione) il guadagno risulta esattamente 1, in quanto

$$V_2 = V_1 \frac{R_2}{R_1} \quad (\text{invertitore})$$

C'è una riserva, che cioè l'operazionale venga utilizzato come invertitore, altrimenti non è possibile ottenere un guadagno unitario perché

$$V_2 = V_1 \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (\text{non invertitore})$$

Il circuito è dimensionato per una tensione di alimentazione fra 6 e 30 V. La resistenza interna dell'interruttore, secondo i dati caratteristici forniti dal costruttore, si aggira sui 100 ohm. Viene assicurata una corretta trasmissione del segnale fino ad un'ampiezza di ± 15 V, anche per piccole tensioni. Il tempo di risposta di un interruttore FET è elevatissima (0,5 μ s), anche se non può essere sfruttata in quanto l'amplificatore operazionale è più lento. Se occorre, bisogna scegliere altri operazionali più rapidi e con maggiore banda passante.

7.5 Altri interruttori integrati

Finora ci siamo occupati degli interruttori analogici come alternative al normale relé. Un interruttore analogico può trasferire un segnale d'entrata, ad esempio una tensione alternata, al terminale di uscita. Spesso però si vorrebbero trasferire segnali senza inversione di polarità o addirittura segnali digitali.

Quest'ultimo caso è evidentemente il più semplice, perché l'ampiezza del segnale non è determinante. Esistono così esecuzioni diverse di integrati, per diversi impieghi; il loro prezzo è variabile di conseguenza. FET multipli e circuiti sono interruttori

analogici integrati che per poter essere pilotati da logiche a transistor hanno un chip pilota in tecnica bipolare e – su un secondo chip – un'uscita MOS monolitica; ne risulta quindi un ibrido. Nei tipi più recenti pilota e interruttore sono integrati sullo stesso chip. Le resistenze interne sono inferiori a quelle dei FET a strato di sbarramento e l'ampiezza massima del segnale da trasferire è ± 10 V, varia però secondo i tipi. Un difetto hanno tuttavia; la resistenza interna dell'interruttore varia in funzione della tensione, cosa di cui il progettista deve tener conto. Alcuni tipi con struttura monolitica ammettono solo segnali positivi.

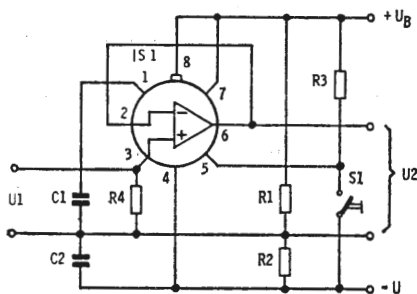
7.6 Amplificatori operazionali programmabili

Gli elettronici non hanno una targhetta, dalla quale si possa verificare quali di quelli entrati si presentino all'uscita. Ci si accontenta di vedere se il segnale in entrata e quello in uscita sono uguali: allora l'interruttore è in ordine.

Elenco componenti dell'amplificatore programmabile

C1	Condensatore 10 nF	
C2	Condensatore 0,1 μ F	
IS1	Amplificatore operazionale CA 3094	
R1, R2	Resistenze 2,7 k Ω	
R3	Resistenza 22 k Ω	0,25 W, 5%
R3	Resistenza 56 k Ω	
S1	Circuito di comando	

Fig. 7.07. Impiego di un operazionale programmabile come interruttore digitale e analogico.



Analogamente si può considerare come interruttore un amplificatore operazionale con guadagno unitario, sul quale sia possibile una programmazione. L'entrata di programmazione ha il compito di bloccare o consentire la trasmissione del segnale fra entrata e uscita. Il circuito relativo viene dato in Fig. 7.07.

L'integrato CA 3094 ha uno stadio di uscita capace di fornire correnti fino a 100 mA. Ciò consente di collegare un carico minimo di 200 ohm.

Il comando dell'integrato avviene a mezzo di S1; se il terminale 5 riceve potenziale positivo, l'integrato conduce. Per « aprire » occorre polarizzare il terminale 5 negativamente.

Il collettore del transistor di uscita è collegato — a differenza dei comuni integrati — al terminale 8. Sul terminale 1 va collegato un condensatore di stabilizzazione. Lo zero virtuale è ottenuto con R1 e R2; la tensione di alimentazione può variare fra 6 e 36 V.

7.7 Interruttori elettronici di potenza

È cosa nota che i triac disinnescano, quando la corrente assorbita dal carico scende al disotto di un valore critico, detto corrente di soglia. Questo succede, lavorando su rete alternata, ogni volta che la tensione passa dal valore zero. Si può quindi mettere insieme un interruttore a triac, che chiude all'impulso di comando e rimane in conduzione, passato l'impulso, fino al passaggio della tensione dallo zero. Il principio è illustrato nella Fig. 7.08. L'impulso va applicato fra catodo e gate, in modo che quest'ultimo sia positivo rispetto al catodo. Il valore della resistenza R2 si ricava dalla formula

$$R2 \leq \frac{IGT}{V_B - V_{GT}}$$

nella quale U_B è la tensione dell'impulso di comando, U_{GT} è la tensione di innesco, I_{GT} è la corrente di soglia. In genere $U_{GT} = 3 \text{ V}$ e

$I_{GT} = 50 \text{ mA}$. Per proteggere il triac da punte di tensione sono previsti R1 e C1.

Per la realizzazione del circuito di Fig. 7.08a ci sono diverse possibilità, ad esempio l'impiego di un integratore eccitatore o di un transistor unigiunzione. Tutti questi circuiti hanno però il difetto di essere collegati ad un polo della tensione di rete.

Ci sono tre modi di aggirare la difficoltà: in Fig. 7.08b viene previsto un trasformatore di accensione con rapporto 1:1 o 2:1, che però — per mantenere il triac in conduzione — richiede una serie continua di impulsi. Infatti il triac va innescato nuovamente ad ogni semionda.

Il circuito di Fig. 7.08c propone un accoppiatore optoelettronico,

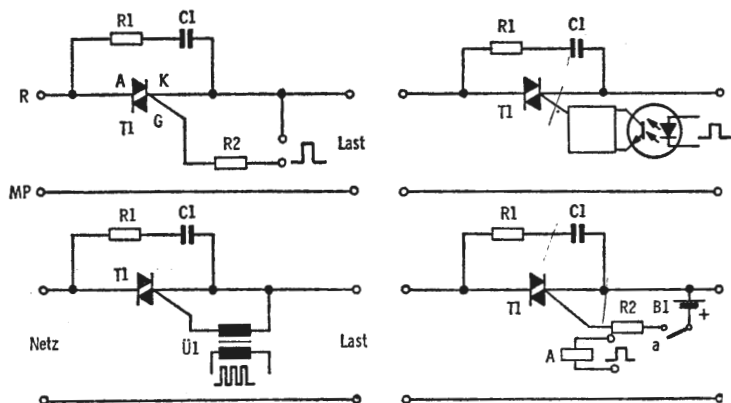


Fig. 7.08. a) Tensione di rete interrotta con un triac pilotato a impulsi (sopra a sinistra); b) pilotaggio del triac con trasformatore di impulsi per isolare galvanicamente il circuito pilota; c) triac pilotato con trasduttore optoelettronico; d) comando mediante relé reed (a destra in basso).

Elenco dei componenti dei circuiti con triac

C1	Condensatore 0,1 μF /250 V (1000 V prova)
R1	Resistenza 56 Ω 0,5 W 10%
R2	Valore secondo testo
T1	Triac per 400 o 600 V (tensione inversa) tipo T2802 D, BS7-04, BS9-04, 2N 6073, TXC 02A50 e simili

onde ottenere una separazione galvanica fra i due circuiti. Il circuito richiede però un'alimentazione a parte per il pilota.

Un pilotaggio quasi-elettronico e una separazione galvanica si hanno interponendo fra circuito pilota e la rete un relé reed, come indica la Fig. 7.08d. In commercio vengono offerti tipi appositamente allestiti per questa applicazione. Il valore di R_2 si ottiene con la formuletta già vista. Per B_1 basta una batteria da 4,5 V, a meno che non si preferisca utilizzare un alimentatore.

Siamo così arrivati alla fine della nostra incursione nel campo dei circuiti di relé elettronici. Certamente ci sono anche molte altre possibilità, che l'appassionato con iniziativa può utilizzare. I circuiti che sono stati qui presentati vogliono essere un buon aiuto per chi progetta e realizza secondo le sue idee personali.

Indice analitico

- Alimentatore stabilizzato 39
- Alimentazione 37
- Amplificatori operazionali programmabili 99
- Asp 13

- Comando di relé
 - con integrato di potenza 48
 - con operazionale 43
 - con transistor 41

- Datori di impulsi 54

- Esecuzioni speciali 24

- Flip-flop 51

- Interruttore/i
 - acustico 78
 - con adattatore d'impedenza 94
 - elettronico 10, 91
 - di potenza 100
 - FET 93
 - J-F 95

- Lampeggiatori 54
- Logica del relé 53

- Magneti 11
- Materiale dei contatti 32
- Multivibratore 56

- Pacchi molle 26
- Protezione dei contatti 31, 34

- Relé 9
 - ad ancoretta rotante 21
 - ad impulsi sensibile 64
 - ad impulso di corrente 66
 - a frequenza fonica
 - bistabili 21
 - elettronico con ritenuta 62
 - Hall 85
 - per schede 19
 - per tensione alternata 58
 - piatto 20
 - polarizzato 22
 - reed 23
 - tattile 73
 - tondo piccolo 19
- Ritardo all'eccitazione 45

- Terminologia 14
- Termostato per acquario 74
- Transistori 11

- Umidostato 88

biblioteca tascabile elettronica

coordinata da Mauro Boscarol

come si lavora con i relè

Le combinazioni tradizionali di relè, una volta consuete nella tecnica dell'elettronica, sono pressoché scomparse: al loro posto vengono impiegati circuiti elettronici di comando. Ma dalla associazione di relè e circuiti elettronici si viene sviluppando una serie di applicazioni che sono per l'appassionato seducenti suggerimenti per la realizzazione di idee personali. Il volume comprende progetti di utilità pratica per la casa e gli hobbies, che il mercato difficilmente offre.

- | | | |
|----|------------------------|--|
| 1 | Hanns-Peter Siebert | L'elettronica e la fotografia (L. 2.400) |
| 2 | Richard Zierl | Come si lavora con i transistori (L. 2.400)
Prima parte: i collegamenti |
| 3 | Heinrich Stöckle | Come si costruisce un circuito elettronico (L. 2.400) |
| 4 | Heinz Richter | La luce in elettronica (L. 2.400) |
| 5 | Richard Zierl | Come si costruisce un ricevitore radio (L. 2.400) |
| 6 | Richard Zierl | Come si lavora con i transistori (L. 2.400)
Seconda parte: l'amplificazione |
| 7 | Helmut Tünker | Strumenti musicali elettronici (L. 2.400) |
| 8 | Heinrich Stöckle | Strumenti di misura e di verifica (L. 3.200) |
| 9 | Heinrich Stöckle | Sistemi d'allarme (L. 2.400) |
| 10 | Hanns-Peter Siebert | Verifiche e misure elettroniche (L. 3.200) |
| 11 | Richard Zierl | Come si costruisce un amplificatore audio (L. 2.400) |
| 12 | Waldemar Baitinger | Come si costruisce un tester (L. 2.400) |
| 13 | Henning Gamlich | Come si lavora con i tiristori (L. 2.400) |
| 14 | Richard Zierl | Come si costruisce un telecomando elettronico (L. 2.400) |
| 15 | Hans Joachim Müller | Come si usa il calcolatore tascabile (L. 2.400) |
| 16 | Karl-Heinz Biebersdorf | Circuiti dell'elettronica digitale (L. 2.400) |
| 17 | Frahm/Kort | Come si costruisce un diffusore acustico (L. 2.400) |
| 18 | Waldemar Baitinger | Come si costruisce un alimentatore (L. 3.200) |
| 19 | Heinrich Stöckle | Come si lavora con i circuiti integrati (L. 2.400) |
| 20 | Heinrich Stöckle | Come si costruisce un termometro elettronico (L. 2.400) |
| 21 | Richard Zierl | Come si costruisce un mixer (L. 2.400) |
| 22 | Richard Zierl | Come si costruisce un ricevitore FM (L. 2.400) |
| 23 | Friedhelm Schiersching | Effetti sonori per il ferromodellismo (L. 2.400) |
| 24 | Heinrich Stöckle | Come si lavora con gli amplificatori operazionali (L. 2.400) |
| 25 | Friedhelm Schiersching | Telecomandi a infrarossi per il ferromodellismo (L. 2.400) |
| 26 | Richard Zierl | Strumenti elettronici per l'audiofilo (L. 2.400) |
| 27 | Ernst Löchner | Come si lavora con i relè (L. 3.200) |