

Schemi per le prove sul relè

Un piccolo **relè** è stato alimentato con una batteria da 12 V tramite un commutatore elettronico in funzione di interruttore.

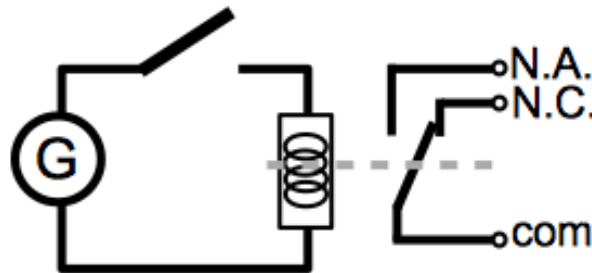
L'utilizzo di un commutatore elettronico ha permesso di osservare il comportamento del relè in situazioni di commutazioni rapide.

Aumentando progressivamente la frequenza delle commutazioni è possibile andare a vedere quale sia il limite di velocità di risposta del relè.

Lo stesso commutatore potrà essere utilizzato per alimentare il relè con tensioni variabili con la tecnica PWM o con un DAC per misurare la tensione di eccitazione e quella di diseccitazione e scoprire l'esistenza (opportuna) dell'isteresi.

Funzionamento del relè

All'origine non c'è corrente nella bobina quindi non c'è campo magnetico i contatti si trovano in una posizione di riposo: un contatto N.C. è normalmente chiuso ed un contatto N.A. è normalmente aperto:



Quando la bobina del relè viene alimentata a 12 V, questa assorbe corrente e produce un campo magnetico che attira l'ancora dell'equipaggio mobile producendo lo scambio dei contatti.

Quando la bobina viene disalimentata l'equipaggio mobile ritorna nella posizione di riposo grazie ad una molla così che i contatti tornano alla loro posizione di riposo.

Scopo delle misurazioni è quello di rilevare, se possibile, la massima frequenza di commutazione del relè.

L'apparecchiatura utilizzata nelle prove comprende:

scheda relè

- un relè da circuito stampato con bobina a 12 V;
- un dispositivo di commutazione basato su MOSFET pilotato da Arduino;
- un oscilloscopio;
- un tester.

Il relè

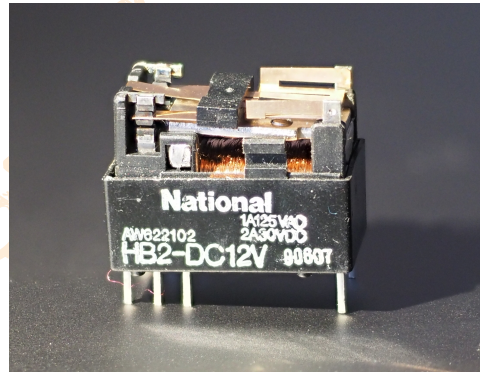
Il **relè** utilizzato è di quelli adatti ad essere inseriti in uno zoccolo da circuito integrato con piedinatura 1/10 di pollice.

Possiede due contatti mobili, entrambi con un NC ed un NA.

La bobina è prevista per una alimentazione di 12 V ed ha una resistenza, misurata col tester, di 250 Ω .

La corrente assorbita calcolata quando è eccitata è di:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{250} = 48 \text{ mA}$$



Il pilotaggio del relè

In queste prove il circuito pilota per il comando del relè viene realizzato tramite MOSFET.

La scheda Arduino permette di produrre commutazioni di durata variabile agendo sui ritardi che si possono inserire nel programma scritto in codice oppure, come è stato fatto in questo esperimento, comandandolo da pc utilizzando programmi di comunicazione fra pc e Arduino come “Scratch for Arduino” oppure “MBlock”.

Grazie all’uso di Arduino è possibile produrre commutazioni di durata variabile in modo che si possa apprezzare il limite di frequenza a cui l’equipaggio mobile del relè è ancora in grado di rispondere.

L’uscita digitale di Arduino produce una tensione digitale di valori 0 e 5 V.

Mentre l’uscita a 0 V assicura lo sgancio dell’ancora del relè, non è certo che la tensione di 5 V ne assicuri l’aggancio visto che il relè è stato costruito per essere alimentato a 12V.

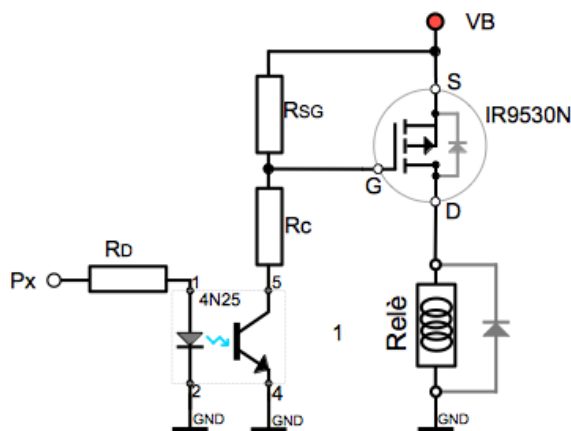
La corrente richiesta dal relè di 48 mA supera di poco la corrente massima che può erogare un singolo pin della scheda Arduino che quindi non è in grado di pilotare il relè in sicurezza.

Per entrambe le ragioni viene montato un circuito che comprende un MOSFET utilizzato in commutazione pilotato dalla scheda Arduino.

Il pin di Arduino (quello scelto è il pin 6) permette di inviare sia comandi digitali che analogici PWM; in questo caso servono comandi digitali-

Uno schema possibile considera l'uso dello shield RGB che utilizza MOSFET N-channel l'utilizzo dei quali rende però difficile le misurazioni di tensione e corrente sul relè con l'oscilloscopio dato che le tensioni in uscita sono "floating" rispetto alla massa dell'apparato di comando.

Per evitare problemi di misurazioni con tensioni "floating" la scelta è caduta sull'utilizzo di un circuito con MOSFET P-channel, secondo il seguente schema.



Il diodo di libera circolazione, disegnato in grigio, può essere inserito o no, a seconda delle misure che si vogliono fare.

La progettazione accurata prevede che il diodo sia inserito per proteggere il MOSFET da tensioni inverse dato che si stanno comandando carichi induttivi.

Verso massa, verrà inserito un resistore R di valore molto basso per poter osservare con l'oscilloscopio, che è un voltmetro, la corrente del relè.

Il MOSFET utilizzato, un IR9530N, prevede per V_{SG} un minimo di 3,2 V ed un massimo di 20 V.

Tra Gate e Source è stata messa una resistenza R_{SG} di 1 k Ω per assicurare la scarica della capacità di gate e per non caricare eccessivamente il transistor di pilotaggio.

Il valore di R_c dipende dalla tensione di alimentazione in quanto si deve assicurare che la V_{SG} sia sufficiente a pilotare in conduzione il MOSFET.

Il valor di R_c dipende dalla tensione di alimentazione V_B del circuito e dalla corrente prevista per il transistor di pilotaggio; si calcola con:

$$R_c \leq \frac{V_B}{I_T} - R_{SG}$$

ponendo $V_{SG} = 3,2V$.

Con una $R_c = 470\Omega$ la V_B può variare da 5 a 12 V senza comportare danni né compromettere la funzionalità del circuito.

Optoisolamento

Per il pilotaggio del MOSFET è stato utilizzato un transistor optoisolato per tenere separati galvanicamente il circuito logico di Arduino dal circuito di potenza del relè o del motore.

La soluzione è stata adottata per impedire che difetti o collegamenti sbagliati sul circuito di potenza vadano ad produrre danni al circuito di comando.

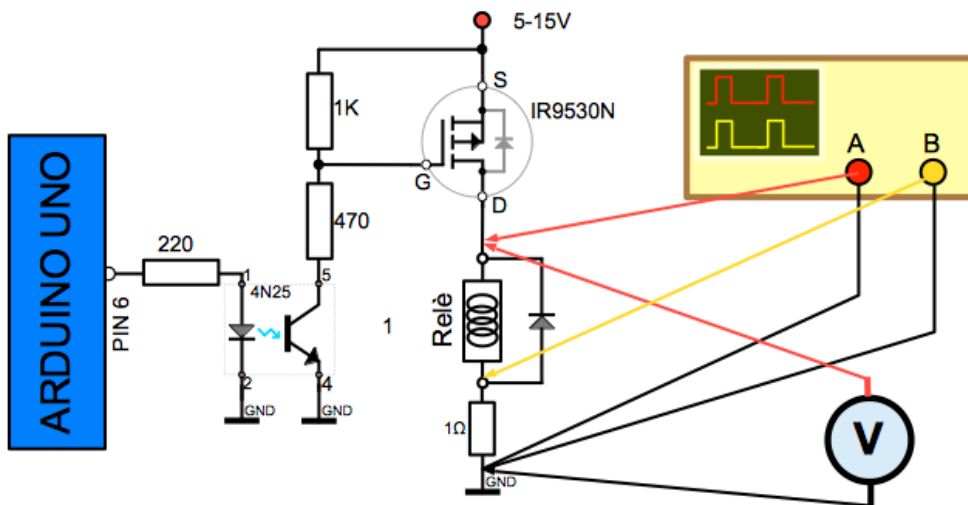
La separazione galvanica, inoltre, permette di utilizzare anche tensioni elevate nel lato di potenza senza compromettere la funzionalità del pilotaggio e senza riportare tensioni pericolose sul lato a bassa tensione-

Questa soluzione, infine, permette di utilizzare al posto della scheda Arduino anche altre schede come, per esempio, la scheda microbit.

Nota. Nelle misurazioni la massa è comune per necessità di misurazione per cui la separazione galvanica non c'è ma resta il vantaggio di non danneggiare la scheda Arduino o Microbit in caso di guasti o false manovre sul lato di potenza.

Schema di misura

Molte misurazioni sono state eseguite con il seguente schema:



La sonda A, rossa, è posizionata per misurare la tensione sul relè.

La sonda B, gialla, è posizionata per misurare la tensione su di una resistenza da 1Ω in serie al relè. Per la legge o Ohm la tensione è proporzionale alla corrente così si può misurare di fatto la corrente¹ che vale istantaneamente:

$$i(t) = \frac{v(t)}{R}$$

In alternativa, la sonda B, gialla, viene usata per misurare la tensione sul contatto N.A. in modo da osservare i tempi di risposta del contatto rispetto al comando di eccitazione.

Il voltmetro misura la tensione ai capi del relè.

Nota. La resistenza in serie in realtà aggiunge al relè la propria caduta di tensione che aggiunge un errore alla misurazione fatta dall'oscilloscopio e dal voltmetro; tale tensione vale circa 50mV da ritenere trascurabile ai fini dello scopo dell'esperimento.

Il comportamento del voltmetro

L'equipaggio mobile del voltmetro ha le caratteristiche di un sistema dinamico del secondo ordine.

Avendo un momento di inerzia, una molla ed uno smorzamento ha una propria frequenza limite oltre la quale non riesce a seguire le oscillazioni.

Nota. È fatto apposta così per permettere all'operatore di eseguire misurazioni a indice fermo.

A basse frequenze di commutazione, l'indice del voltmetro segue abbastanza bene la tensione sul relè; si vedono bene l'effetto dello smorzamento e dell'inerzia che fanno ritardare il suo posizionamento rispetto alla tensione.

Mano a mano che la frequenza cresce l'indice del voltmetro smorza le proprie oscillazioni aggirandosi intorno ad una posizione intermedia fra 0 e 12 V dato che non ce la fa a seguire le oscillazioni della tensione.

Quando la frequenza dell'oscillazione è molto elevata, l'indice si posiziona al valor medio misurando, di fatto, la tensione media.

I LED di monitoraggio

Un LED verde sul pin 6 indica lo stato del comando:

- acceso, quando l'uscita di Arduino è on cioè 5 V;
- spento, quando l'uscita è off cioè 0 V.

¹ Vale solo se il resistore è puramente ohmico.

scheda relè

Un LED rosso sul contatto N.A. del relè consente di riconoscere lo stato del relè:

- LED spento, relè diseccitato
- LED acceso, relè eccitato.

Con comando on-off i due LED si accendono e si spengono insieme.

Conduzione delle prove

La prove sono state effettuate in diverse circostanze:

- cicli di chiusura ed apertura a ritmo lento per studiare le curve delle tensioni e delle correnti;
- cicli di chiusura ed apertura a frequenza variabile per indagare sul comportamento del relè ad alte frequenze di commutazione;
- alimentazione con PWM variabile;
- alimentazione con DAC per produrre una tensione variabile con continuità;

Le ultime due prove vengono utilizzate per per misurare la tensione di eccitazione e di diseccitazione e quindi rilevare l'isteresi del relè.