

Misurazioni su relè

Alimentazione a tensione variabile

Con le prove effettuate comandando il relè con impulsi ad onda quadra a frequenza elevata, si visto che oltre qualche decina di Hz l'ancora rimane agganciata o sganciata in quanto non ce la fa a seguire le oscillazioni.

Il relè può essere alimentato anche con una tensione variabile non impulsiva.

In questo modo, con la tensione che varia assumendo diversi valori fra 0 e la V_{cc} ¹, il relè ha solo due posizioni come risposta: o è agganciato o è sganciato.

Messa in questi termini il relè è un ADC (Convertitore Analogico Digitale) a un bit:

- se la tensione è al di sopra di un dato valore di soglia V_a l'ancora si aggancia e il relè è on;
- se la tensione scende al di sotto di un dato valore V_s di soglia, l'ancora si sgancia e il relè è off;
- è sempre $V_a > V_s$.

Esperimenti con tensioni variabili

Per cercare i valori della tensioni di soglia di aggancio e di sgancio V_a e V_s , si deve alimentare il relè con tensioni variabili lentamente.

Un primo metodo ovvio è quello di disporre di un alimentatore stabilizzato a tensione regolabile:

- si aumenta lentamente la tensione ai morsetti fino a quando si vede il relè agganciarsi e si annota la V_a , tensione di aggancio;
- successivamente si diminuisce lentamente la tensione ai morsetti fino a osservare lo sganciamento dell'ancora e si annota la V_s di sgancio.

Non disponendo di un alimentatore stabilizzato, in queste prove la tensione variabile viene ottenuta utilizzando le uscite PWM di Arduino.

¹ V_{cc} è la tensione di alimentazione del circuito che produce il PWM.

PWM con Arduino

Grazie alla tecnica **PWM** la tensione media viene controllata numericamente.

Alcune uscite della scheda sono predisposte per fornire tensioni cosiddette analogiche che in realtà sono impulsi con duty cycle (rapporto di intermittenza) variabile.

Si predispone la porta per l'uscita PWM e si invia un numero variabile da 0 a 255 per avere una tensione media V_{av} proporzionale a tale numero:

$$V_{av} = V_{cc} * \frac{num}{255}$$

dove V_{cc} è la tensione di alimentazione di 5 V usata per Arduino.

Gli impulsi delle uscite hanno una frequenza di 490 Hz o 980 Hz a seconda del pin usato.

Con Arduino sono possibili due diversi approcci:

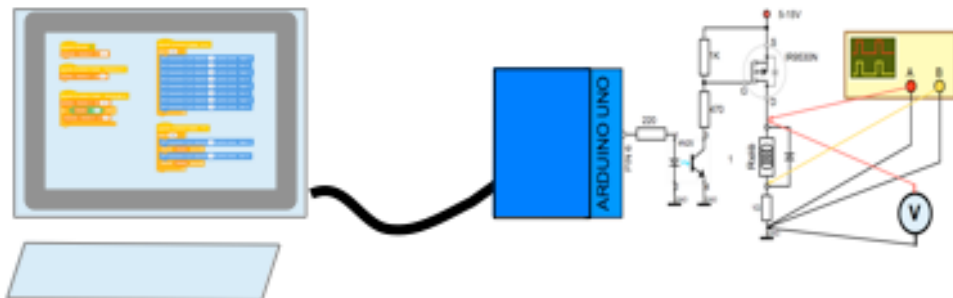
- utilizzare un'applicazione capace di pilotare la scheda arduino in modalità "live" come si fa con "Scratch for Arduino" oppure con "mBlock";
- programmare Arduino tramite il suo IDE.

Con comando di Arduino tramite mBlock

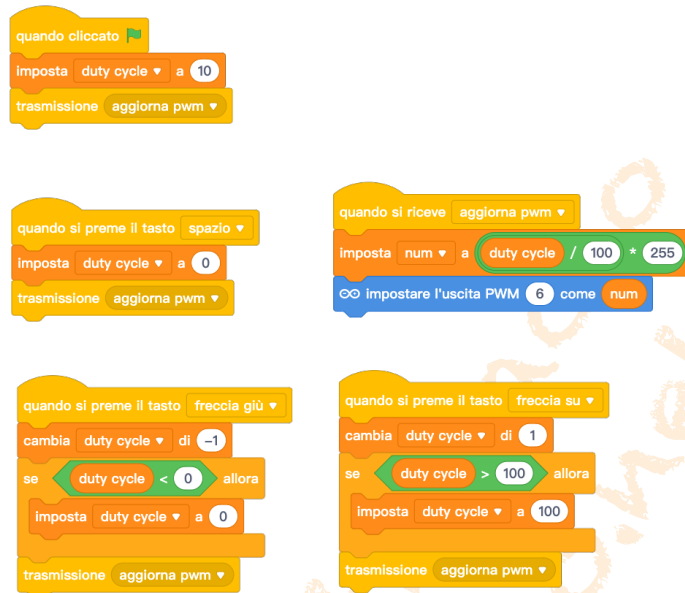
Lo schema usato utilizza un programma per pilotare Arduino da PC utilizzando "Snap for Arduino" o "mBlock".

Con questa modalità non è necessario saper programmare Arduino per svolgere la prova.

Con questo schema



e questo codice di mBlock:

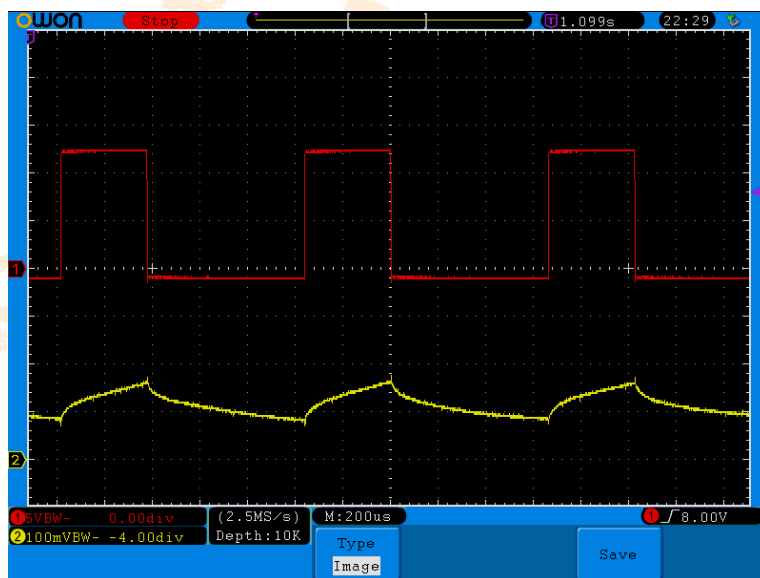


si può indagare sul comportamento del relè alimentato con impulsi ad alta frequenza.

L'oscillatore PWM del pin 6 di Arduino produce una sequenza di impulsi digitali alla frequenza di 980 Hz modulati in durata.

Data l'alta frequenza, l'ancora del relè non riesce ad inseguire gli impulsi di comando e tende a stare sempre aperta o sempre chiusa in base al valore medio della tensione.

Dall'oscillogramma ricavato:



si nota che la corrente (linea gialla) ha un'oscillazione contenuta fra due estremi senza mai essere né nulla né Vcc.

Il carico induttivo, costituito dalla bobina del relè, ha l'effetto di filtrare la corrente smorzandone le oscillazioni.

La forza che l'elettromagnete esercita sull'ancora mobile dipende dal valore medio della corrente la quale è comunque debolmente variabile (si sente anche un ronzio) e l'aggancio o lo sgancio si verificano nonostante queste oscillazioni.

La regolazione tramite PWM permette di osservare i valori di soglia cercati ma ci sono problemi sulla loro validità.

Si è visto che le brevi interruzioni necessarie per la comunicazione tra PC e Arduino compromettono l'accuratezza della misurazione della corrente di aggancio e di sgancio a causa di un'incertezza marcata nella lettura dei valori.

La facilità nel condurre questo tipo di prova rende comunque interessante il tentativo dato che si misurano valori V_a e V_s decisamente diversi e comunque rispettosi della condizione di stabilità che è $V_a > V_s$.

Per ottenere misure valide dei valori di tensione di eccitazione e diseccitazione del relè è dunque necessario programmare Arduino.

Con codice compilato

Per ovviare alle interruzioni di funzionamento dovute alle comunicazioni fra PC e Arduino, è opportuno scrivere il codice utilizzando il suo IDE per compilare e caricare il codice direttamente sulla scheda.

Per misurare la corrente di aggancio e di sgancio si progetta il codice in modo che la tensione sul pin 6 cresca gradualmente aumentando come una rampa di un'onda a forma triangolare e decresca gradualmente con lo stesso andamento.

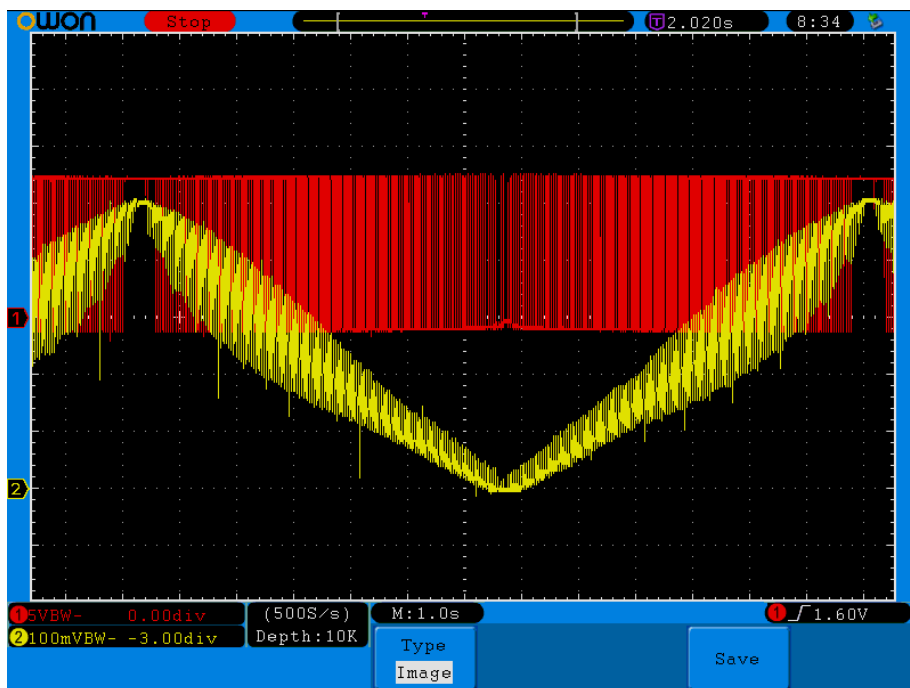
Quando la tensione sarà sufficiente per l'aggancio del relè si vedrà l'accensione del LED rosso collegato al contatto N.A. e si misurerà la tensione V_a di aggancio con un voltmetro.

Al diminuire della tensione ad un certo punto il relè verrà diseccitato e verrà misurata la relativa tensione V_s di sgancio.

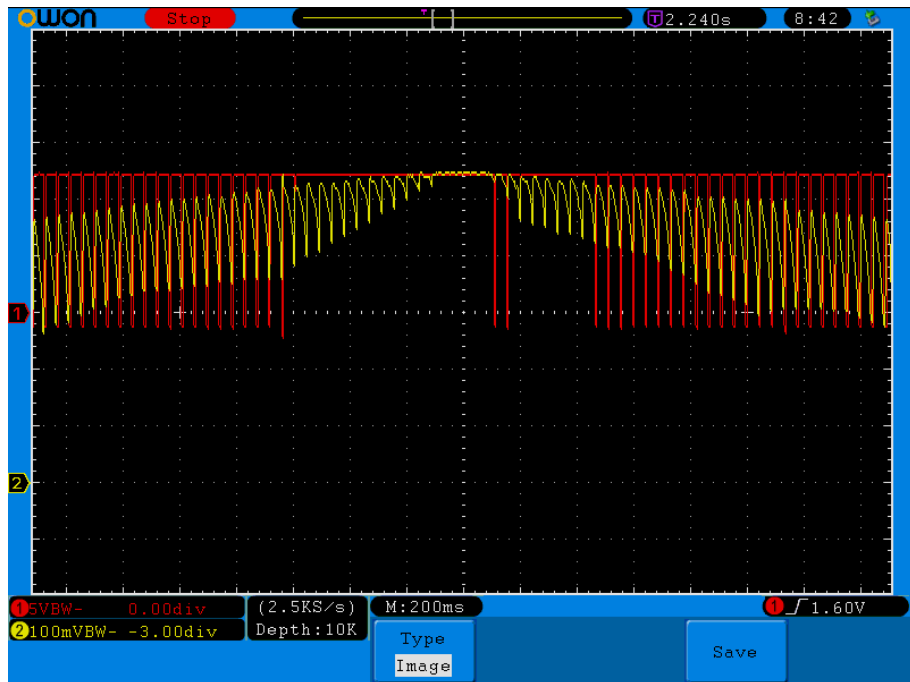
Le rampe vengono costruite aumentando di 1 il valore del PWM da 0 a 255 ad ogni ciclo di ripetizione del calcolo; al termine si ripete il ciclo 255 volte diminuendo di 1 il valore del PWM per poi ripetere.

Tramite il monitor si può anche tenere sotto controllo il valore del duty cycle.

Di seguito un'immagine con il PWM della tensione (rosso) e le rampe della corrente (giallo):



Di seguito un dettaglio per cogliere l'andamento della corrente in ciascun impulso.



Dopo aver preso atto che l'eccitazione e la diseccitazione si manifestano fra 2,5 V e 5 V, il codice è stato corretto per fare oscillare la tensione per mezzo del PWM solo fra i valori che servono.

Questo accorgimento ha permesso di allungare il periodo di oscillazione senza perdere tempo intorno a valori troppo lontani da quello cercati cercati.

Il codice comprende anche delle istruzioni Serial.print per consentire la visualizzazione del duty cycle sul monitor.

```
/*
oscillatore pwm a onda triangolare per relè
oscillazione di tensione media fra duty = 50 e duty =110
con Vb=12,9V
per tensioni fra 2,56V: e 5,6V e T= 14,6s
*/

const int uscita = 6;
int ritardo=10;//permette un controllo sulla durata della rampa in assenza di
Serial.print
float duty=50;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(uscita, OUTPUT);
  analogWrite(uscita, duty);
}

void loop()
{
  // rampa crescente
  for(int i=0; i<300;i++)
  {
    duty=duty+0.2;
    delay (ritardo);
    // 300 volte un incremento di 0,2 porta a 110/255 il duty cycle

    Serial.print("i = ");//se è attivo si osserva il procedere della rampa
    Serial.print(i);//se inattivo si ha la massima frequenza di rampa
    Serial.print("; duty = ");
    Serial.println(duty);

    analogWrite (uscita,duty);
  }
  // rampa decrescente
  for(int i=0; i<300;i++)
  {
    duty=duty-0.2;

    delay (ritardo);

    Serial.print("i = ");
    Serial.print(i);
    Serial.print("; duty = ");
    Serial.println(duty);

    analogWrite (uscita,duty);
  }
}
```

È stato così possibile determinare i valori di soglia:

- tensione di eccitazione $V_a = 4,34$ V;
- tensione di diseccitazione $V_s = 2,75$ V.

Con DAC

La prova con il PWM non lascia ancora convinti in quanto si ha a che fare con una tensione di alimentazione del relè che non è propriamente crescente o decrescente a causa della presenza degli impulsi.

per migliorare l'apparato di misura si cambia schema di alimentazione: invece di utilizzare il PWM direttamente sul relè, si fa in modo di filtrare la tensione in modo che il relè venga alimentato da una tensione variabile continuativamente, per quanto possibile.

La cellula filtro è di tipo RC che deve avere una costante di tempo almeno dieci volte maggiore di quella dell'oscillatore.

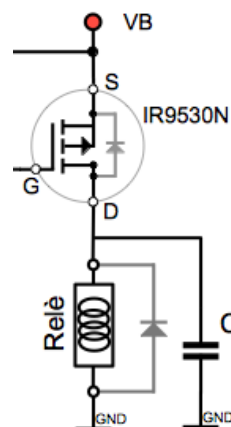
Una prima ipotesi consiste nell'applicare una capacità direttamente in parallelo al relè.

Dato che il PWM ha un periodo di circa 1 ms, la costante di tempo deve essere di 10 ms.

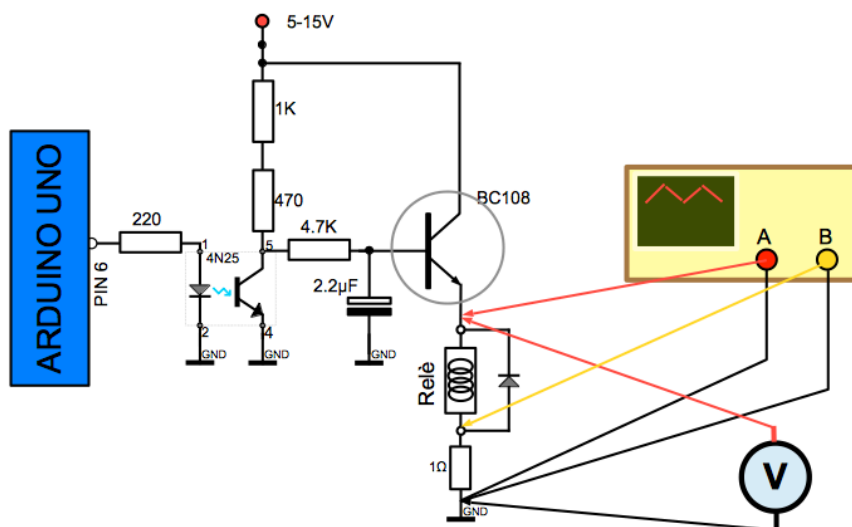
Uno schema possibile sembrerebbe questo disegnato alla destra.

Applicare la capacità direttamente sul relè significa avere una Req del circuito RC pari a 0 quando il MOSFET è on e pari a 250 Ω (la resistenza della bobina misurata con un ohmmetro) quando il MOSFET è off.

All'accensione la capacità si caricherebbe quindi in tempi rapidissimi con stress per il MOSFET (la capacità è praticamente un corto circuito verso massa) senza possibilità di costruire una rampa di salita mentre la rampa di scarica diverrebbe impossibile per mancanza di tempo, infatti, appena iniziata la scarica, dopo nemmeno un millisecondo la capacità verrebbe ricaricata al massimo dall'impulso successivo.



Per realizzare un pilotaggio a rampa di tensione è stato utilizzato un altro circuito che utilizza un transistor NPN in configurazione “collettore comune”:



Il transistor funziona in configurazione a “collettore comune o “inseguitore di emettitore” (emitter follower); la tensione dell’emettitore segue, a meno di una differenza minima pressoché costante, la tensione della base.

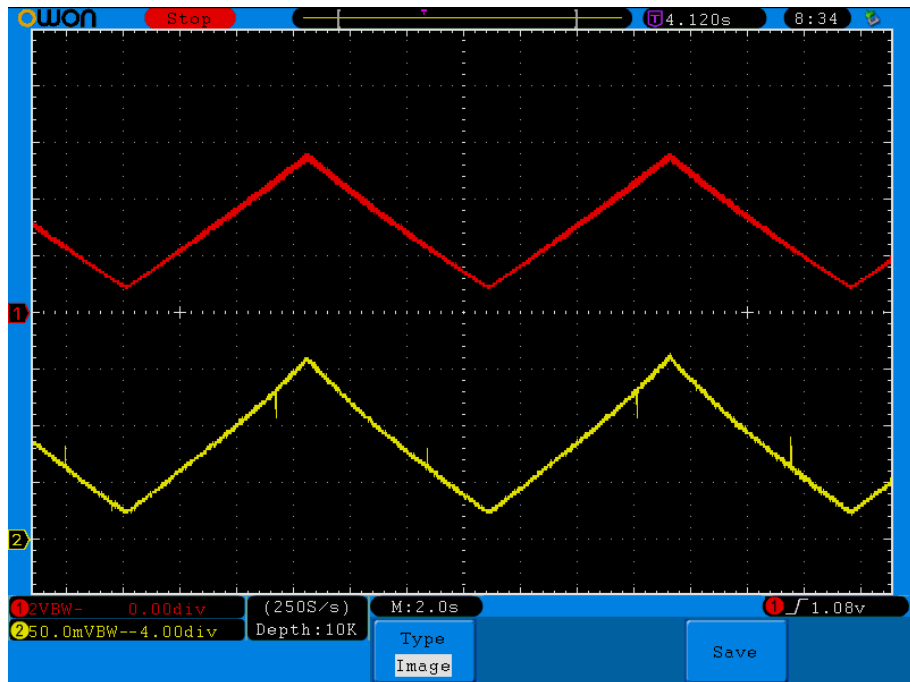
Sulla base c’è del transistor c’è una tensione che è il valore medio della tensione impulsiva del PWM grazie ad un circuito RC che fa da filtro.

Sul relè non si presentano impulsi ma brevi tratti di rampa con tensione quasi costante da un impulso all’altro.

Si è trattato di scegliere i valori di R e di C per assicurare che il relè raggiunga le tensioni di aggancio di sgancio e di avere una costante di tempo di almeno 10 ms.

Grazie alla presenza della capacità, sulla base del transistori e, di conseguenza sull’emettitore. non ci sono discontinuità di tensione.

La tensione (rosso) e la corrente (giallo) della bobina sono rilevate con questo oscillogramma:



La tensione segue una rampa di periodo $T = 12,8$ s.

Gli stanti di commutazione si riconoscono dai picchi i disturbo sulla corrente del relè.

La misurazione delle tensioni di soglia ha dato questi valori:

- $V_a = 4,45$ V;
- $V_s = 2,73$ V.

I valori sono confrontabili con quelli ricavati dalla misura in PWM.

Il filtro RC

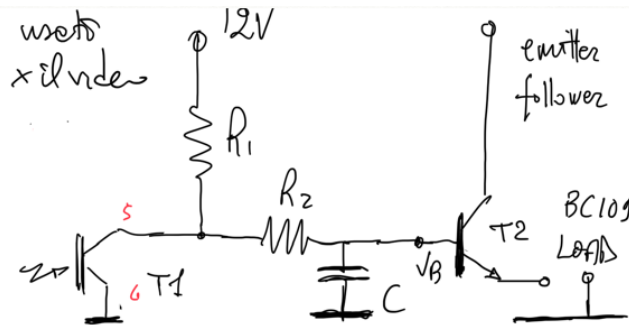
Per filtrare la componente a onda quadra a 1 kHz in modo che sull'uscita del convertitore appaia il valore medio della tensione generata dal PWM, è stato necessario usare un filtro RC con banda passante inferiore 100 Hz.

Detto in altro modo, significa quanto progettare il filtro :

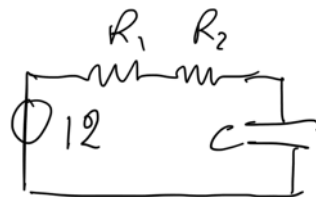
- la durata massima di un impulso PWM sul pin 6 è di 1 ms;
- un filtro accettabile deve avere una costante di tempo almeno 5 volte la massima durata dell'impulso per cui $\tau \Rightarrow 10$ ms;
- con il transistor pilota on, la tensione di base del BC109 deve essere sicuramente superiore alla tensione di soglia V_a di aggancio;

- con il transistor pilota off, la tensione di base del BC109 deve essere sicuramente inferiore alla tensione V_s di sgancio.

I calcoli (fatti a mano) che seguono illustrano i calcoli di progetto:



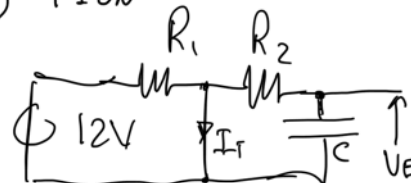
① T_1 OFF



$$V_{B\infty} = 12V$$

$$\tau_{OFF} = (R_1 + R_2) \cdot C$$

② T_1 ON



$$V_B = 0 \div 12$$

$$V_B = 0$$

$$\tau_{ON} = R_2 C$$

$$\text{dove } I_T < 10 \text{ mA}$$

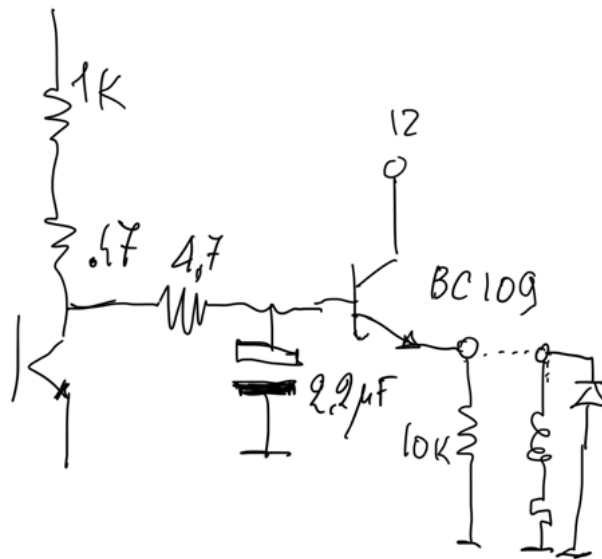
$$\tau_{PWM} \approx 1 \text{ ms} \Rightarrow \tau_{RC} \geq 10 \text{ ms}$$

Si recupera il circuito già
usato con MOSFET ($R_1 = 14,7 \text{ k}$)
usando un $2,2 \text{ k}$ per R_2

$$C_F = \frac{\tau}{R_1 + R_2} = \frac{0,01}{1470 + 2200} = 2,7 \mu\text{F}$$

$$C_N = \frac{\tau}{R_2} = \frac{0,01}{2200} = 4,5 \mu\text{F}$$

Disponendo di un condensatore da $2,2 \mu\text{F}$ il valore di R_2 sembra insufficiente per cui si
inserisce una $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$ così che lo schema diventa:



$$\text{Con } C = 2.2 \mu\text{F}$$

$$R_2 = \frac{\tau}{C} = \frac{0.01}{2.2 \cdot 10^{-6}} = 4500 \Rightarrow 4.7K$$

$$I_c \leq 50 \mu\text{A}$$

$$I_B = \frac{50}{20} = 250 \mu\text{A}$$

Il circuito è stato montato con questi parametri e funziona come atteso.