

Es07A: PID

Gruppo 1.AC

Matteo Rossi, Bernardo Tomelleri

14 febbraio 2022

Misura componenti dei circuiti

Resistenze [Ω]	R	σR	Capacità [nF]	C	σC
R_1	992	8	C_1	212	9
R_2	992	8			
R_4	991	8			
R_5	9.96 k	0.08 k			
R_6	99.9 k	0.8 k			
R_7	9.96 k	0.08 k			
R_8	104.6 k	8 k			
R_9	103.0 k	0.8 k			
R_{10}	100.6 k	8 k			
R_{11}	1.911	8			

Tabella 1: Valori di resistenza e capacità misurate per i componenti dei circuiti studiati.

Resistenze [Ω]	R	σR	Capacità [nF]	C	σC
R_1	996	8	C_1	207	9
R_2	994	8			
R_4	999	8			
R_5	9.95 k	0.08 k			
R_6	99.1 k	0.8 k			
R_7	9.96 k	0.08 k			
R_8	99.6 k	0.8 k			
R_{10}	99.8 k	0.8 k			
Pot_{R_9}	103.4 k	0.8 k			
$Pot_{R_{11}}$	1.99 k	0.08 k			

Tabella 2: Valori di resistenza e capacità misurate per i componenti dei circuiti studiati.

Riportiamo per completezza anche i valori delle tensioni di alimentazione continue per l'op-amp misurate con il multimetro

$$V_{CC} = 4.99 \pm 0.03V$$

$$V_{EE} = -4.99 \pm 0.03V$$

Nota sul metodo di fit

Per determinare i parametri ottimali e le rispettive covarianze si è implementato in `Python` un algoritmo di fit basato sui minimi quadrati mediante la funzione `curve_fit` della libreria `SciPy`.

1 Generatore di Noise

Il primo passo per la costruzione del circuito P.I.D. è la realizzazione del circuito di lettura. Nel nostro caso abbiamo realizzato un sistema di rilevazione di intensità luminosa costituito da due circuiti identici che emettono luce grazie a due LED bianchi (uno per il disturbo e l'altro di controllo) e da un partitore di tensione dato dalla serie di una resistenza R_3 e una fotoresistenza R_4 .

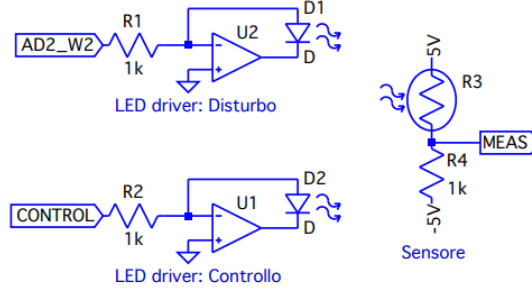


Figura 1: Schema dei circuiti di emissione e rilevazione di intensità luminosa.

1.a Analisi del funzionamento del circuito

La fotoresistenza è una resistenza variabile in funzione dell'intensità luminosa che incide su di essa. In particolare sappiamo che il valore di resistenza R_4 e intensità della luce incidente sulla superficie della fotoresistenza sono inversamente proporzionali.

Dalla formula del partitore di tensione sappiamo che il valore dell'uscita MEAS dev'essere pari a

$$V_{MEAS} = (V_{CC} - V_{EE}) \frac{R_4}{R_4 + R_3} + V_{EE} \quad (1)$$

Ci aspettiamo allora che aumentando la luce (quindi nel nostro caso pilotando l'ingresso del LED driver di disturbo con una rampa), il valore di V_{MEAS} andrà ad aumentare sempre entro l'intervallo di tensioni (V_{EE} , V_{CC}).

Riportiamo una serie di misure di V_{MEAS} al variare del valore della tensione continua generata all'ingresso W2. Come ci aspettavamo il valore di V_{meas} cresce all'aumentare dell'intensità della luce incidente sulla fotoresistenza,

$V_{gen}[V]$	$V_{meas}[V]$
-4.2 ± 0.3 m	-4.99 ± 0.05
995 ± 7 m	-2.11 ± 0.02
1.99 ± 0.02	-1.01 ± 0.08
2.98 ± 0.04	-359 ± 3 m
3.98 ± 0.04	42.1 ± 0.7 m
4.98 ± 0.05	335 ± 3 m

Tabella 3: Misure di V_{MEAS} in funzione della tensione in ingresso nel LED driver di disturbo

cioè aumentando la tensione in ingresso V_{gen} .

2 Amplificatore del Noise rispetto al Set

Si è costruito un amplificatore differenziale con guadagno ≈ 10 a partire dalle resistenze R_5 , R_6 e R_7 , R_8 secondo lo schema in figura. Lo scopo del circuito in figura è quello di amplificare la differenza tra i segnali V_{SET} e V_{MEAS}

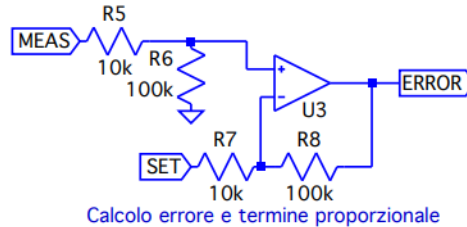


Figura 2: Schema circuitale dell'amplificatore differenziale realizzato

di un fattore 10. Si è quindi misurato il guadagno per entrambi gli ingressi dell'OpAmp, inviando un segnale a uno e collegando l'altro a massa. Ci si aspetta che nel caso in cui SET sia collegato al segnale in ingresso, l'uscita dev'essere invertita, mentre nel caso opposto MEAS e ERROR devono essere in fase.

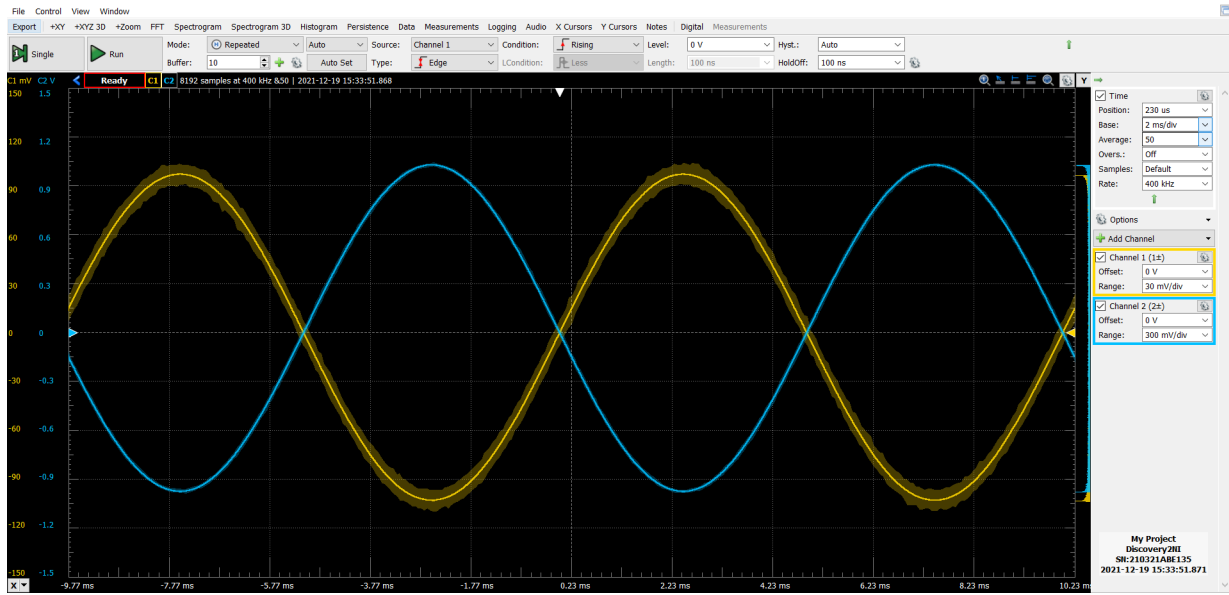


Figura 3: Acquisizione presa dall'oscilloscopio dell'andamento nel tempo dei segnali in ingresso $V_{SET}(t)$ (CH1) e uscita $V_{ERROR}(t)$ (CH2) dall'amplificatore differenziale con MEAS collegato a massa.

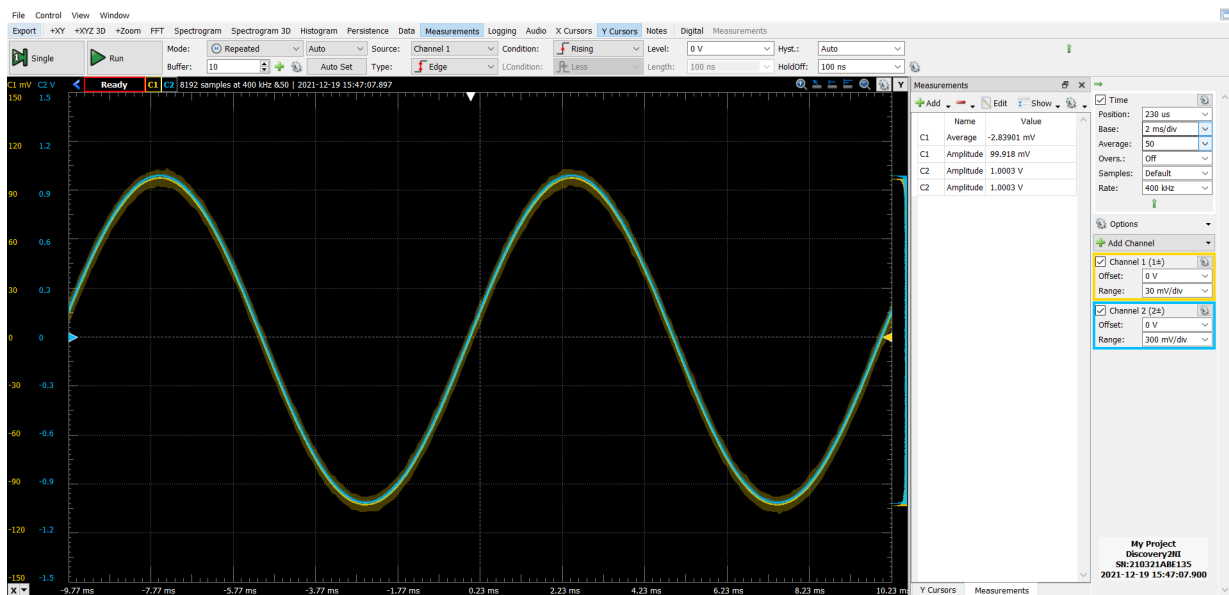


Figura 4: Acquisizione presa dall'oscilloscopio dell'andamento nel tempo dei segnali in ingresso $V_{MEAS}(t)$ (CH1) e uscita $V_{ERROR}(t)$ (CH2) dall'amplificatore differenziale con SET collegato a massa.

Abbiamo quindi misurato il guadagno per i due ingressi dell'OpAmp definito come $A = \frac{V_{\text{ERROR}}}{V_{\text{in}}}$, da cui risulta

$$A_{\text{SET}} = -10.01 \pm 0.14$$

$$A_{\text{MEAS}} = 10.01 \pm 0.14$$

Per l'ingresso invertente SET e non-invertente MEAS rispettivamente, questi risultano compatibili con i valori di guadagno attesi per l'amplificatore differenziale:

$$A_{\text{SET}} = -\frac{R_8}{R_7} = -10.00 \pm 0.11$$

$$A_{\text{MEAS}} = \frac{R_6}{R_5} = 9.96 \pm 0.11$$

Per controllare la tensione di riferimento si è poi costruito un circuito che permettesse di variare V_{SET} nello stesso intervallo (V_{EE}, V_{CC}) attraverso l'uso di un potenziometro da $R_{11} = 2k \Omega$. Per verifica del buon

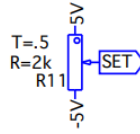


Figura 5: Schema del circuito per la configurazione della tensione di riferimento.

funzionamento del circuito amplificatore di differenza tra i 2 segnali in ingresso, sappiamo che nel caso in cui MEAS e SET siano uguali allora la differenza dev'essere nulla, ovvero sia in uscita dev'essere $V_{\text{ERROR}} = 0$. Difatti, collegando i terminali differenziali del canale 1 dell'oscilloscopio per misurare il segnale $V_{\text{MEAS}}(t)$ rispetto al segnale $V_{\text{SET}}(t)$ (per registrare la loro differenza) e il canale 2 per misurare $V_{\text{ERROR}}(t)$ all'uscita rispetto a massa troviamo che entrambi sono costanti e compatibili con 0 V come ci si aspettava.

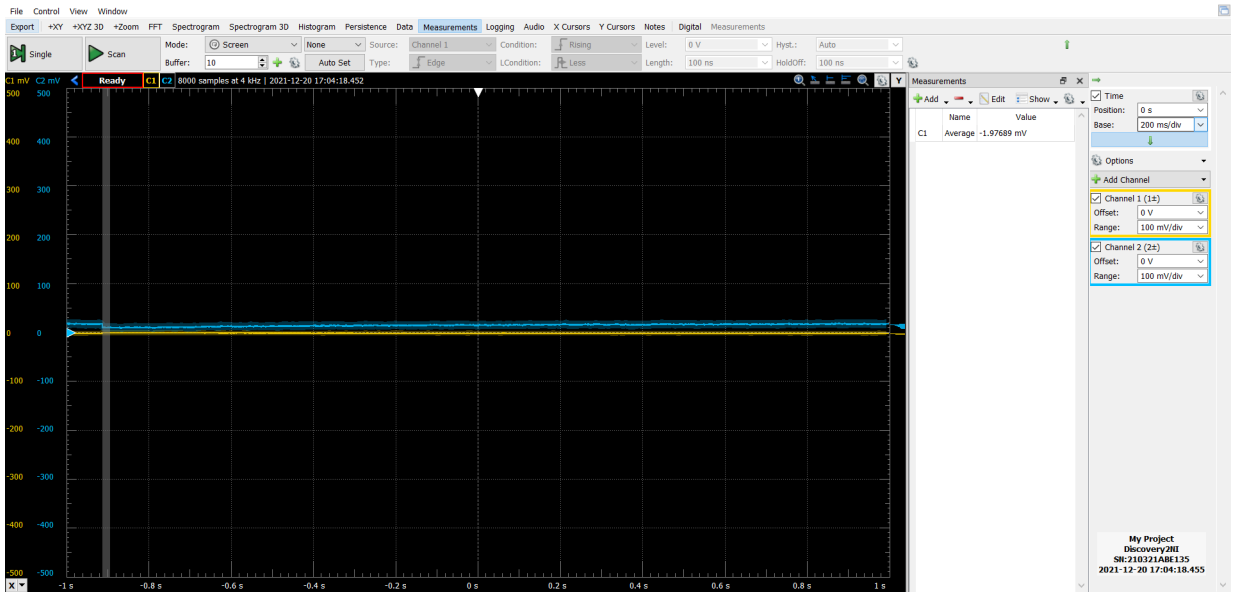


Figura 6: segnali nella condizione in cui il valore di set e meas sono uguali, nel canale uno si misura il valore di meas rispetto a set, nel canale due invece error rispetto a massa.

3 Controllo integrale

Successivamente si è montato il circuito di controllo integrale, un semplice circuito integratore, utilizzando la resistenza data dal potenziometro e una capacità C_1 , utilizzando lo schema in figura

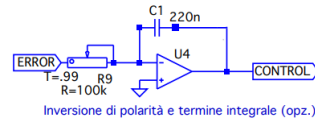


Figura 7: schema circuitale del controllore ad azione integrale.

quindi abbiamo collegato l'uscita control al driver per la luce di controllo e l'uscita del circuito di generazione errore all'entrata del circuito di controllo integrale. Arrivati a questo punto è bastato spegnere il generatore di luce di disturbo e cambiare la posizione del potenziometro per permettere la led di controllo di accendersi. Si nota subito come la risposta del led di controllo sia fortemente influenzata dalla quantità di luce che arriva alla fotoresistenza; si consiglia infatti di spostare il circuito distante da eventuali sorgenti di disturbo casuali, come per esempio persone che camminano in prossimità della fotoresistenza. Dopodiché si è provato a verificare la risposta del led di controllo ad un intervento esterno di riduzione della luce, abbiamo quindi posizionato delle buste di plastica semitrasparenti tra il diodo e la fotoresistenza: di conseguenza il led ha aumentato l'intensità luminosa.

3.a Risposta ad un'onda quadra

Si è quindi passati alla verifica della risposta ad una luce di disturbo, in questo caso pilotata da un'onda quadra compresa tra 0 e 150 mV. Per cominciare si deve fissare il valore di riferimento set: per farlo è bastato scegliere un'intensità luminosa casuale, per esempio quella che meas viene a registrare quando uno dei 2 driver led è pilotato con una tensione di 1 Volt, e utilizzare il potenziometro R11 per far combaciare i valori in meas e set. A questo punto abbiamo inviato al led driver di disturbo un'onda quadra tra 0 e 150 mV con frequenza pari a 1 Hz. Osservando il valore di control e meas ci rendiamo conto di quello che fa effettivamente il circuito, ovvero cerca di mantenere il valore di meas costante nel tempo.

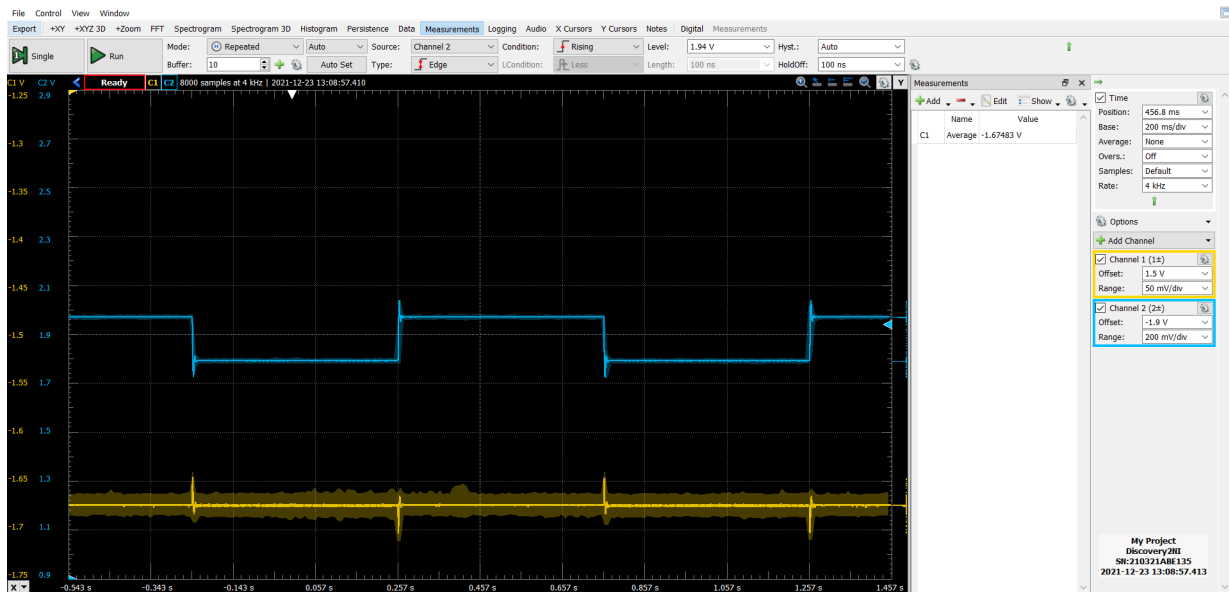


Figura 8: grafico degli andamenti di control (rispetto a massa) in blu e di meas (sempre rispetto a massa) in giallo

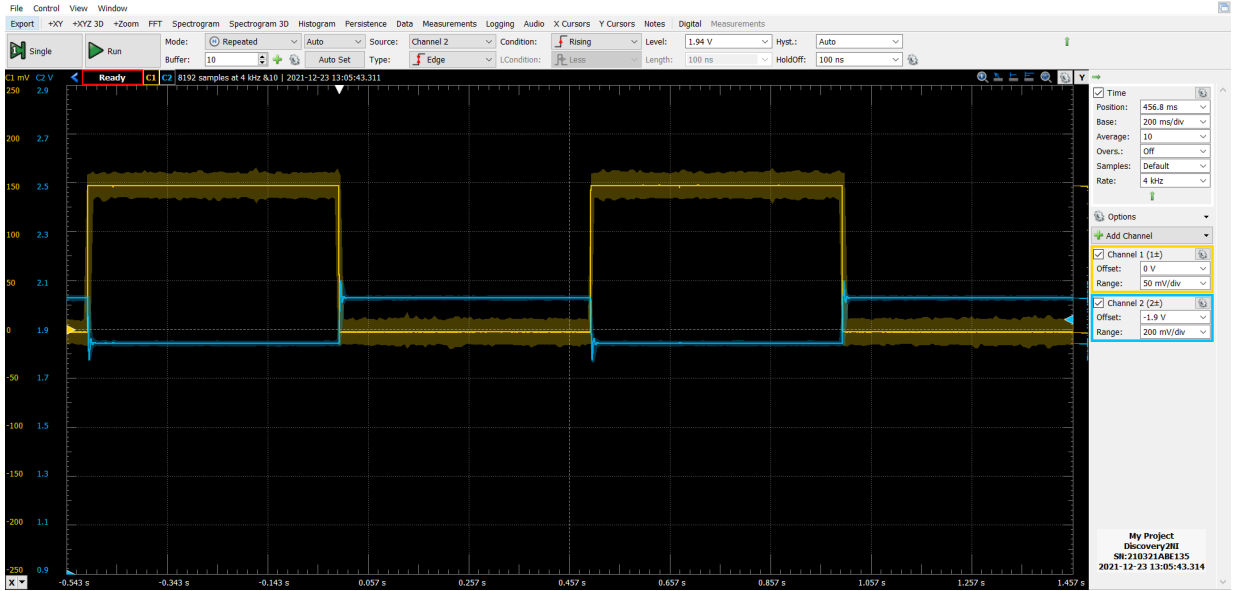


Figura 9: grafico del segnale control in blu e dell'onda pilota del led di disturbo in giallo

Successivamente abbiamo misurato il canale error rispetto a massa per varie posizioni del potenziometro. In generale il segnale del canale error ha un andamento simile per ogni posizione, cambiano soltanto i tempi in cui il segnale torna ad essere 0.

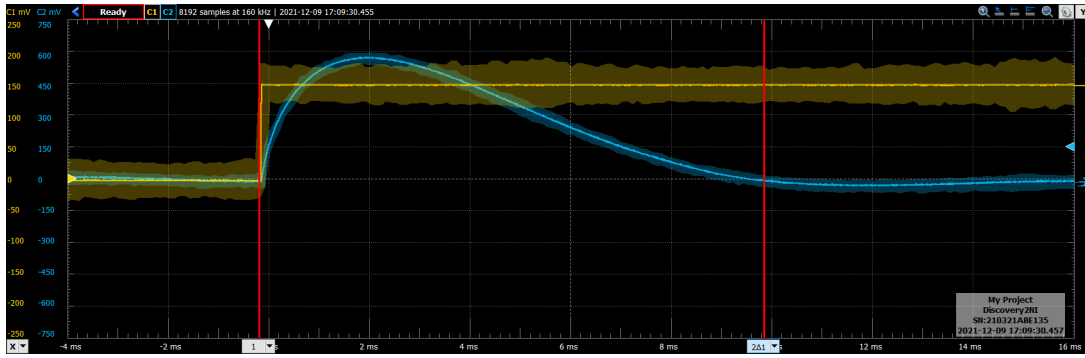


Figura 10: Andamento del segnale error in blu, rispetto al segnale pilota del led di disturbo

Tramite cursori si è poi preso il tempo con cui il segnale oscilla e lo abbiamo paragonato al tempo caratteristico del circuito integratore definito come $\tau = R_9 C_1$.

<i>ResistenzaEq.</i>	<i>TempoC.misurato</i>	<i>TempoC.Atteso</i>
$103.4 \pm 0.8 \text{ k } \Omega$	$20.7 \pm 0.3 \text{ ms}$	$21.4 \pm 0.9 \text{ ms}$
$92.8 \pm 0.8 \text{ k } \Omega$	$19.0 \pm 0.2 \text{ ms}$	$19.2 \pm 0.8 \text{ ms}$
$67.7 \pm 0.6 \text{ k } \Omega$	$15.3 \pm 0.2 \text{ ms}$	$14.0 \pm 0.6 \text{ ms}$
$41.5 \pm 0.4 \text{ k } \Omega$	$10.2 \pm 0.1 \text{ ms}$	$8.6 \pm 0.3 \text{ ms}$
$25.5 \pm 0.3 \text{ k } \Omega$	$7.78 \pm 0.05 \text{ ms}$	$5.3 \pm 0.2 \text{ ms}$
$7.34 \pm 0.06 \text{ k } \Omega$	$3.24 \pm 0.05 \text{ ms}$	$1.52 \pm 0.06 \text{ ms}$

Tabella 4: Misura dei tempi caratteristici delle oscillazioni del segnale di errore

Nonostante le prime 2 o 3 misure risultino compatibili tra di loro, le altre si distaccano anche di molto dall'andamento previsto; si è notato inoltre come il tempo caratteristico misurato dipendesse anche dal valore di Set, parametro che non era presente nell'equazione di riferimento.

3.b Risposta ad una rampa

Riportando il valore della resistenza equivalente al potenziometro a $100 \text{ k } \Omega$ si è pilotato il driver led di disturbo con un'onda triangolare tra 0 e 150 mV a 10 Hz e nelle condizioni in cui il duty cycle fosse 10 % e 90 %

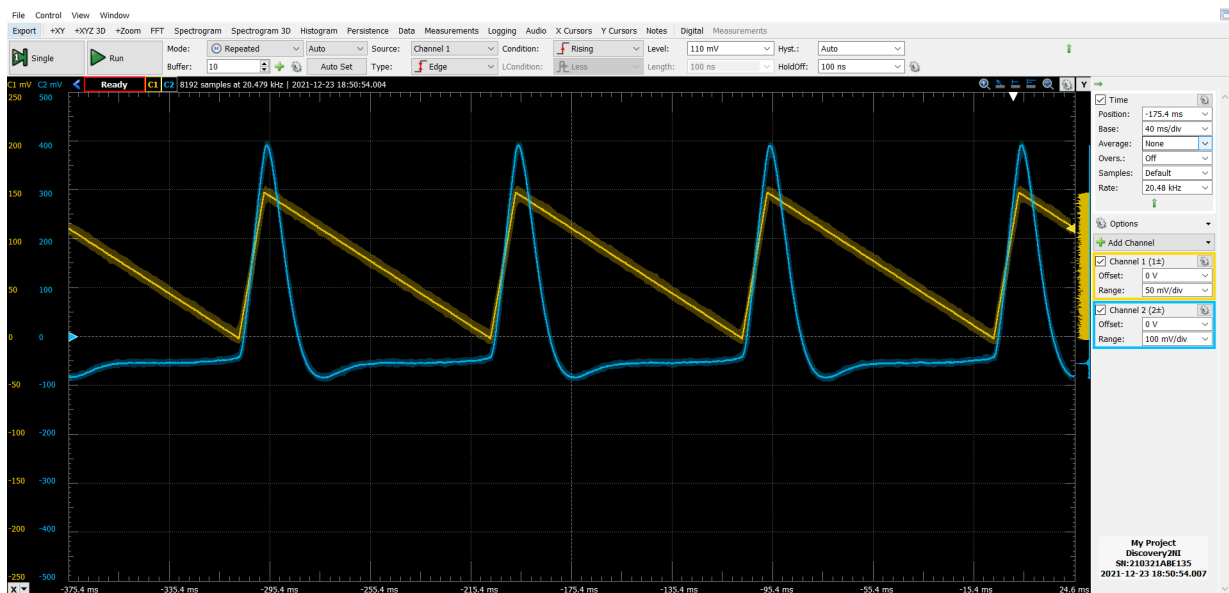


Figura 11: grafico degli andamenti di error (rispetto a massa) in blu e del segnale in ingresso al led di disturbo (sempre rispetto a massa) in giallo pilotato con l'onda triangolare sopracitata con duty cycle 10 %

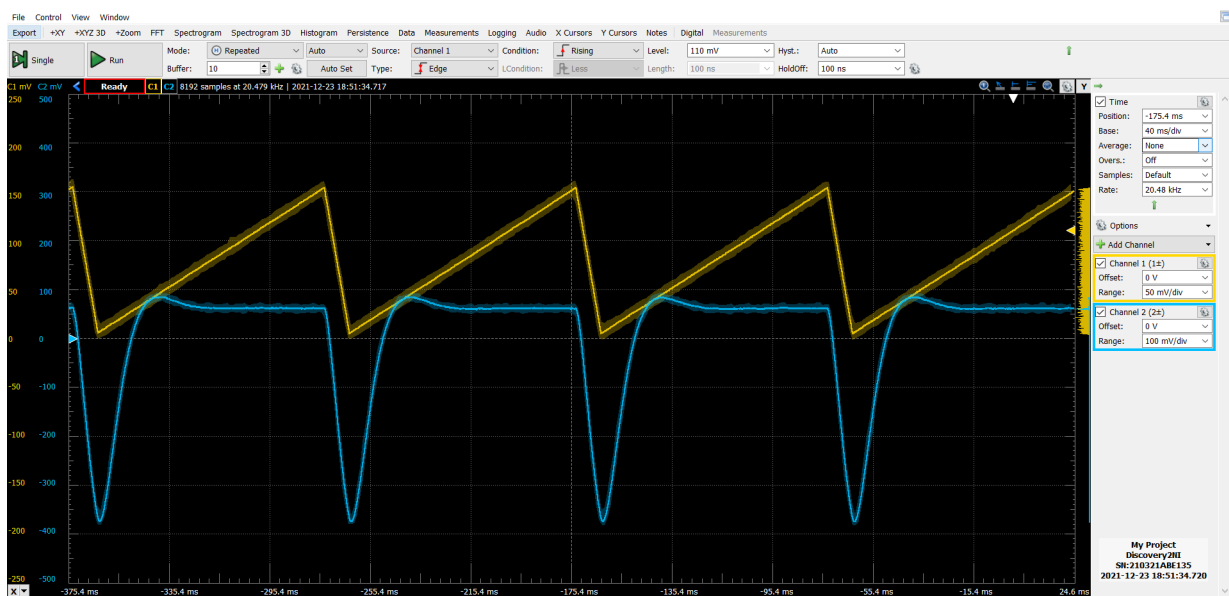


Figura 12: grafico degli andamenti di error (rispetto a massa) in blu e del segnale in ingresso al led di disturbo (sempre rispetto a massa) in giallo pilotato con l'onda triangolare sopracitata con duty cycle 90 %

In questo caso il circuito di amplificazione dell'errore si comporta quasi come un derivatore: in fin dei conti è quello che ci si aspetta, dato che il controllo deve integrare il segnale di errore, per poter bilanciare il cambiamento di luce, c'è bisogno che anche l'uscita del controllo sia un'onda triangolare simmetrica a quella con cui pilotiamo il led di disturbo. Inoltre dato che il circuito integratore agisce in un tempo non trascurabile di fronte a dei cambiamenti, il segnale di errore non potrà mai essere nullo, infatti se lo fosse il controllore non produrrebbe alcun cambiamento, cosa che può sussistere solo nel caso in cui si abbia una luce di disturbo costante nel tempo.

3.c Risposta in frequenza

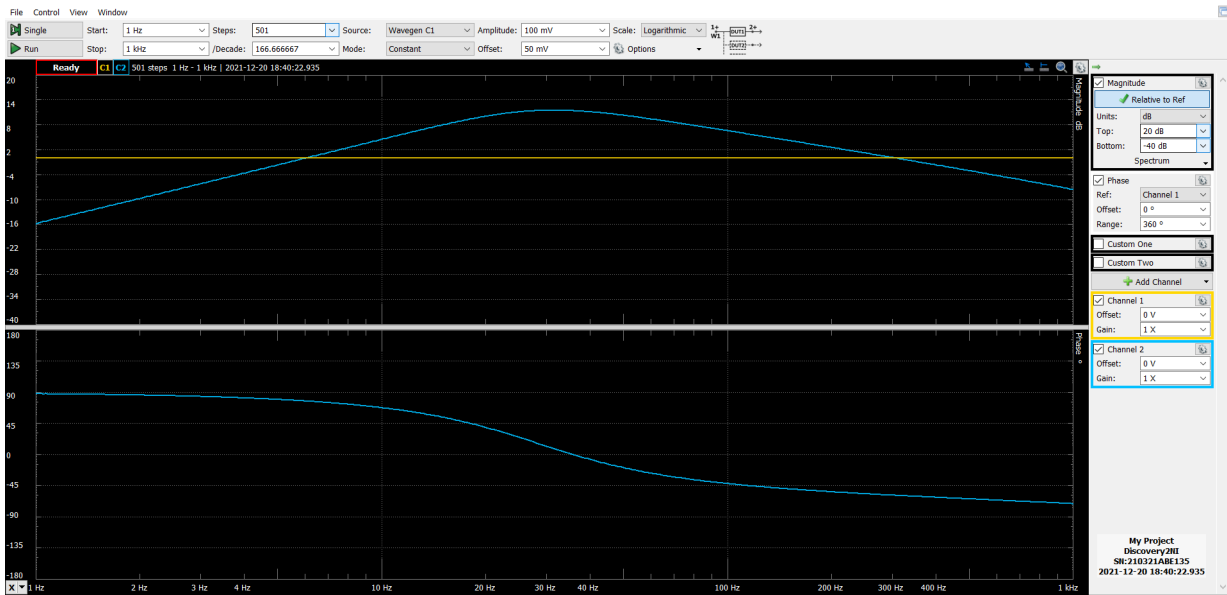


Figura 13: scan di network della funzione di trasferimento tra il generatore di disturbo e error con $R_g = 103.4 \pm 0.8k \Omega$

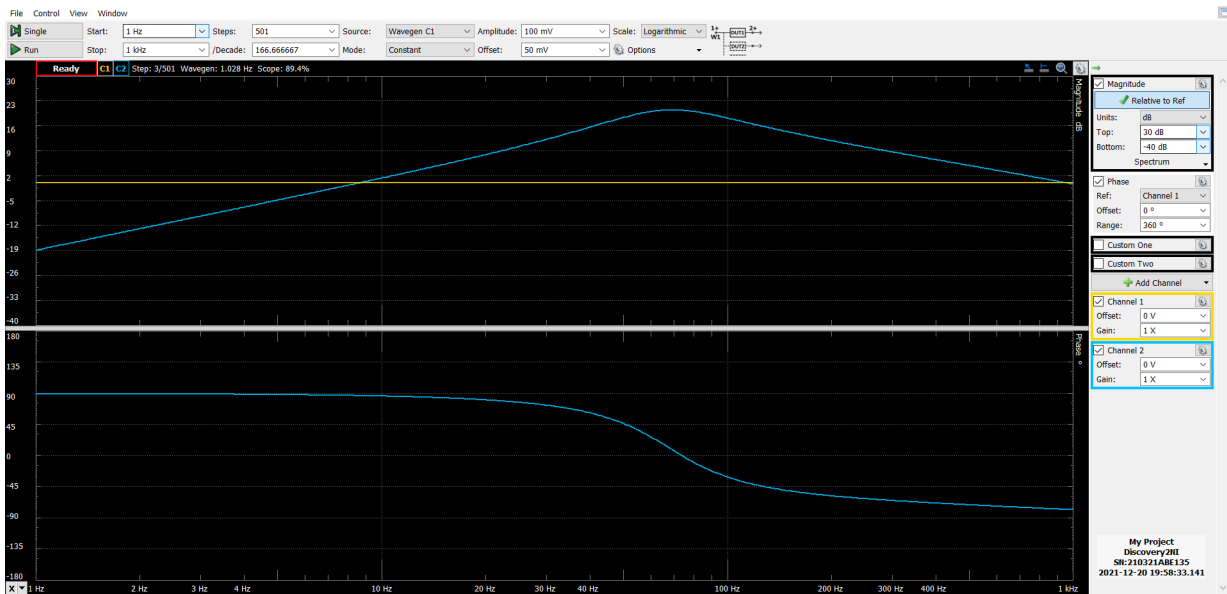


Figura 14: scan di network della funzione di trasferimento tra il generatore di disturbo e error con $R_g = 76.1 \pm 0.6k \Omega$

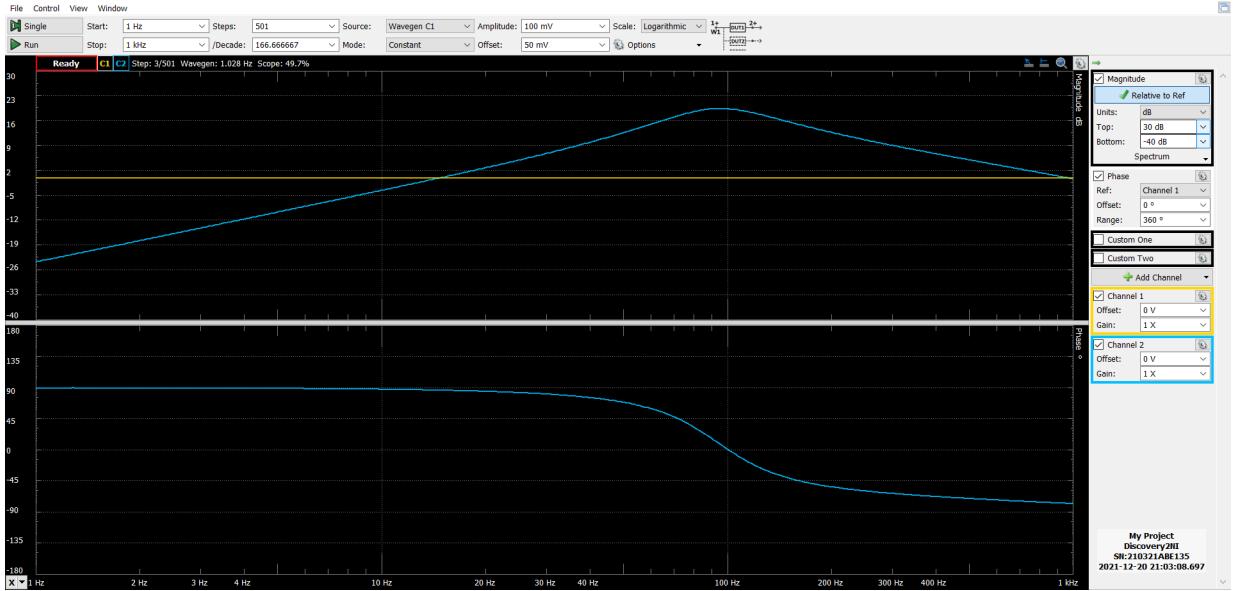


Figura 15: scan di network della funzione di trasferimento tra il generatore di disturbo e error con $R_9 = 43.9 \pm 0.4k \Omega$

4 Controllo proporzionale

Infine si è montato il circuito di controllo proporzionale al posto di quello integrale, scambiando il condensatore C_1 con una resistenza da $100k \Omega$, secondo lo schema in figura.

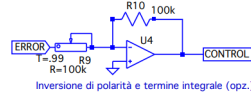


Figura 16: schema circuitale del controllore ad azione proporzionale.

4.a Risposta ad un'onda quadra

Come precedentemente fatto, dopo aver variato il potenziometro R_9 fino alla resistenza equivalente da $100k \Omega$, abbiamo pilotato il driver led di disturbo con un'onda quadra tra 0 e 150 mV di 1Hz. Abbiamo quindi verificato la nuova situazione controllando i segnali prodotti da error, control e meas.

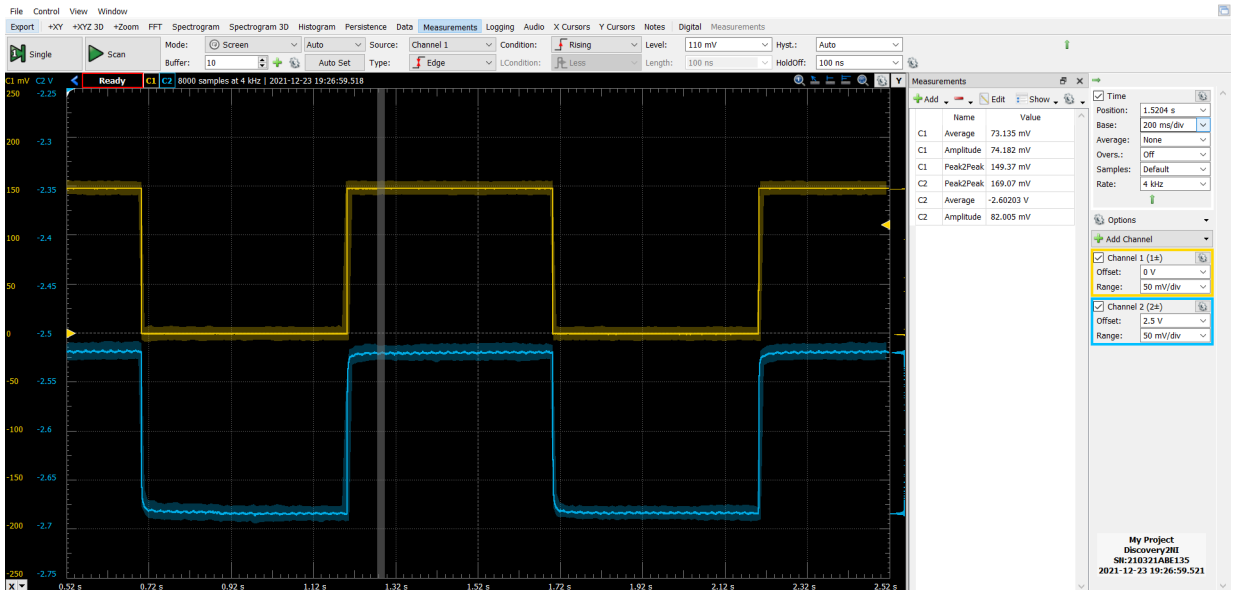


Figura 17: grafico dei segnali error in blu e dell'onda pilota di disturbo in giallo.

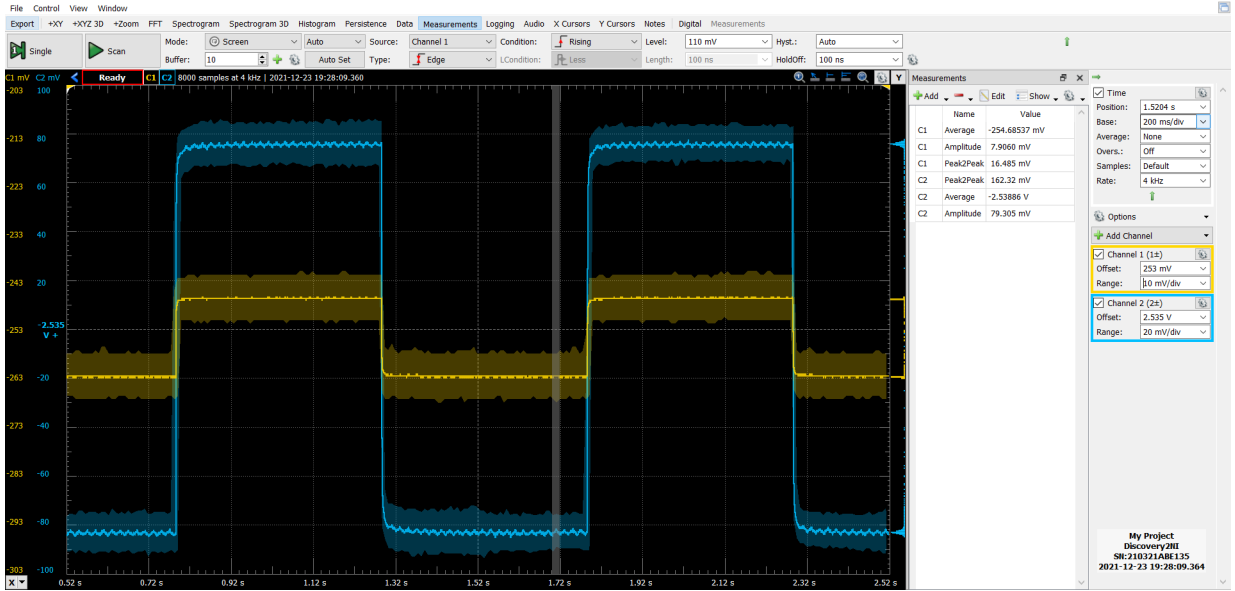


Figura 18: grafico dei segnali error in blu e di meas rispetto a set in giallo.

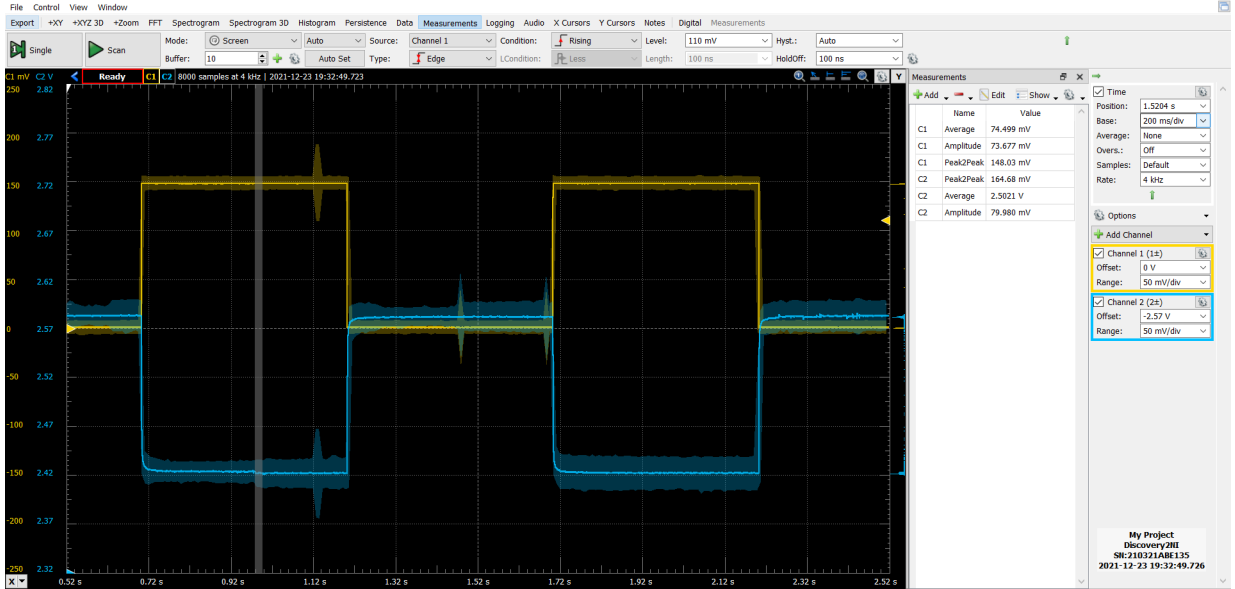


Figura 19: grafico dei segnali control in blu e dell'onda pilota di disturbo in giallo.

Come ci si aspettava il controllo proporzionale non mantiene meas invariato, dato che il circuito completo non è altro che una cascata di amplificatori, di cui il primo differenziale di guadagno ≈ 10 , e il secondo invertente di guadagno pari a $\frac{R_{10}}{R_9}$

Conclusioni e commenti finali

Dichiarazione

I firmatari di questa relazione dichiarano che il contenuto della relazione è originale, con misure effettuate dai membri del gruppo, e che tutti i firmatari hanno contribuito alla elaborazione della relazione stessa.