

Es05A: Applicazioni non-lineari di amplificatori operazionali

Gruppo 1.AC
Matteo Rossi, Bernardo Tomelleri

23 dicembre 2021

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 basato su due circuiti per identici per emissione

di luce (uno per il disturbo e l'altro di controllo) e un partitore di tensione costruito tramite una resistenza e una fotoresistenza.

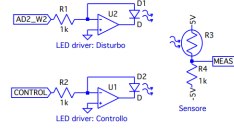


Figura 1: Schema circuitale per emissione e rilevazione intensità luminosa.

1.a Funzionamento

La fotoresistenza è una resistenza variabile, che cambia col valore dell'intensità luminosa che incide su di essa, in particolare sappiamo che resistenza e quantità di luce sono inversamente proporzionali: maggiore sarà la luce incidente sulla superficie, minore sarà la sua resistenza. Sappiamo dalla formula del partitore di tensione che il valore dell'uscita MEAS sarà uguale a

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

Ci aspettiamo quindi che aumentando la luce (per esempio nel nostro caso pilotando l'ingresso del LED driver di disturbo con una rampa), il valore di V_{meas} andrà ad aumentare di conseguenza sempre nell'intervallo prefissato (V_{EE}, V_{CC}). Si è quindi presa una serie di misure di V_{meas} per valori di tensione continua diversi all'entrata AD2W2.

V_{AD2W2} [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: Misura di V_{meas} in funzione della tensione in ingresso nel LED driver di disturbo

Come ci aspettavamo il valore di V_{meas} cresce aumentando la luce incidente, nel nostro caso, aumentando la tensione in ingresso V_{AD2W2} .

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 .

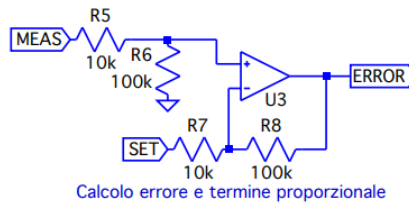


Figura 2: Schema circuitale per l'amplificatore differenziale

Lo scopo del circuito in figura è quello di amplificare la differenza tra i segnali V_{set} e V_{meas} di un fattore 10. Si è quindi provato il guadagno per entrambi gli ingressi, inviando un segnale a uno e mettendo l'altro a massa; ci si aspetta che nel caso in cui set sia collegato al segnale in ingresso, l'uscita deve essere invertita, invece nell'altro caso meas e error devono essere in fase.

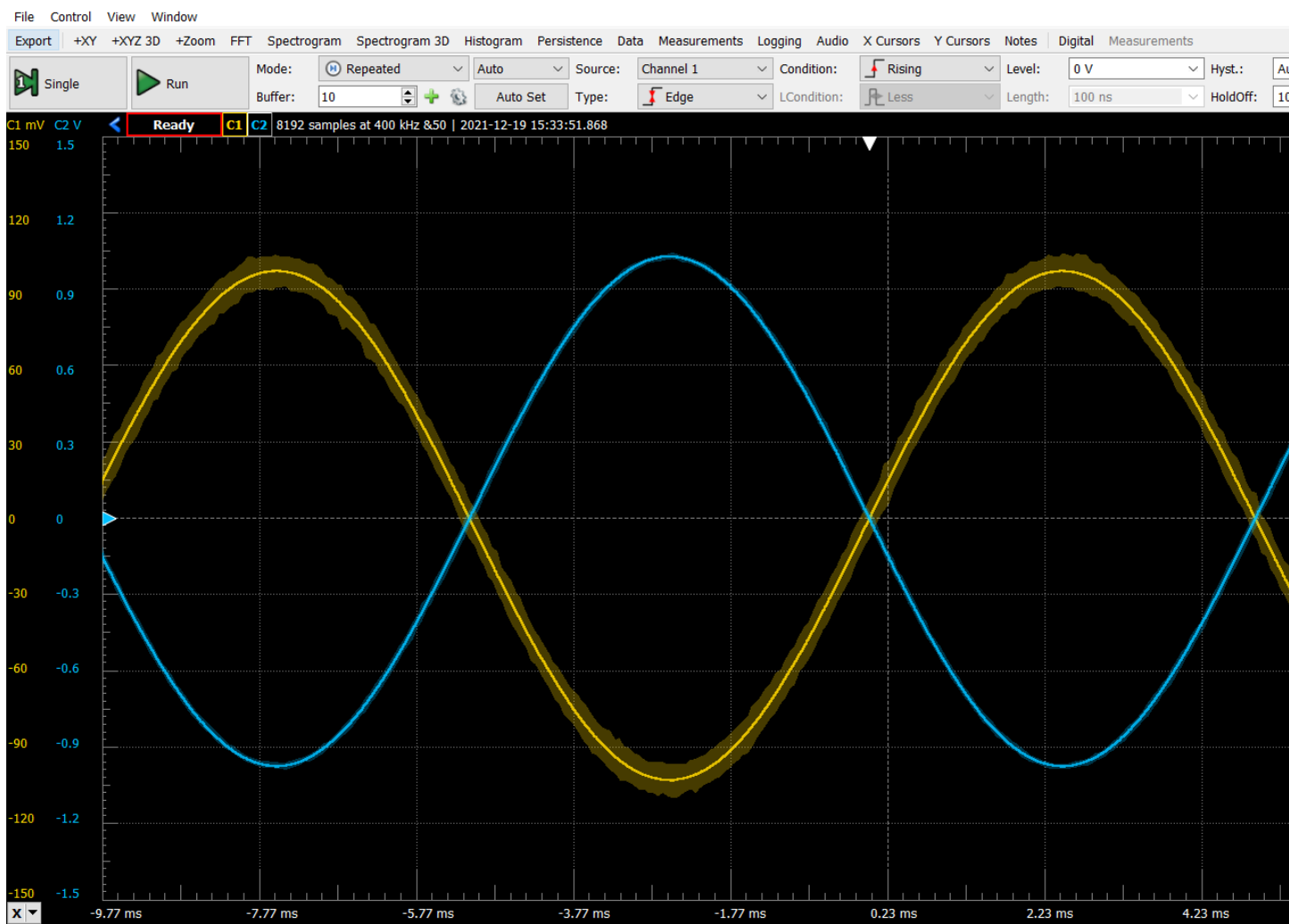


Figura 3: Segnali in ingresso e uscita per l'amplificatore differenziale con meas collegato a massa: in giallo il canale Set, in blu il canale error.

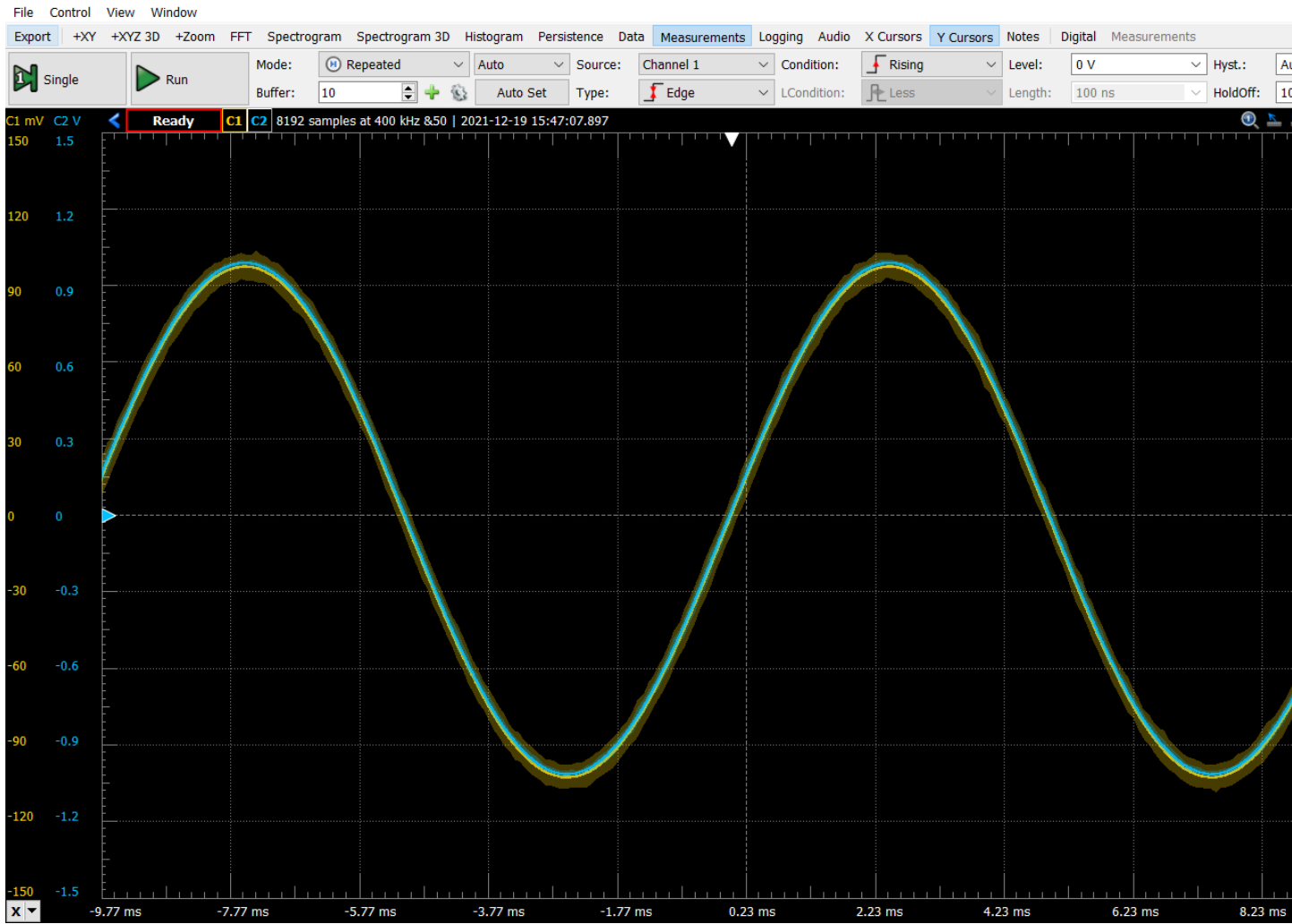


Figura 4: Segnali in ingresso e uscita per l'amplificatore differenziale con set collegato a massa: in giallo il canale Meas, in blu il canale error.

Abbiamo quindi calcolato il guadagno come $A = \frac{V_{error}}{V_{signal}}$, che dà come risultato

$$A = -10.01 \pm 0.14$$

$$A = 10.01 \pm 0.14$$

per set e meas rispettivamente.

Per controllare la tensione di riferimento si è poi costruito un circuito che permettesse di variare V_{set} nel solito intervallo (V_{EE}, V_{CC}), per farlo abbiamo utilizzato un potenziometro da $2k\ \Omega$.

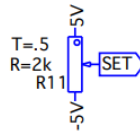


Figura 5: Schema circuitale per la configurazione della tensione del segnale di riferimento

Chiaramente essendo un amplificatore di differenza tra 2 segnali, nel caso in cui meas e set siano uguali \implies la differenza è nulla $\implies V_{error} = 0$. Difatti utilizzando il canale uno per misurare il segnale meas rispetto al segnale set (per registrare la differenza tra i due segnali), e il canale 2 a misurare error rispetto a massa si registra quanto aspettato

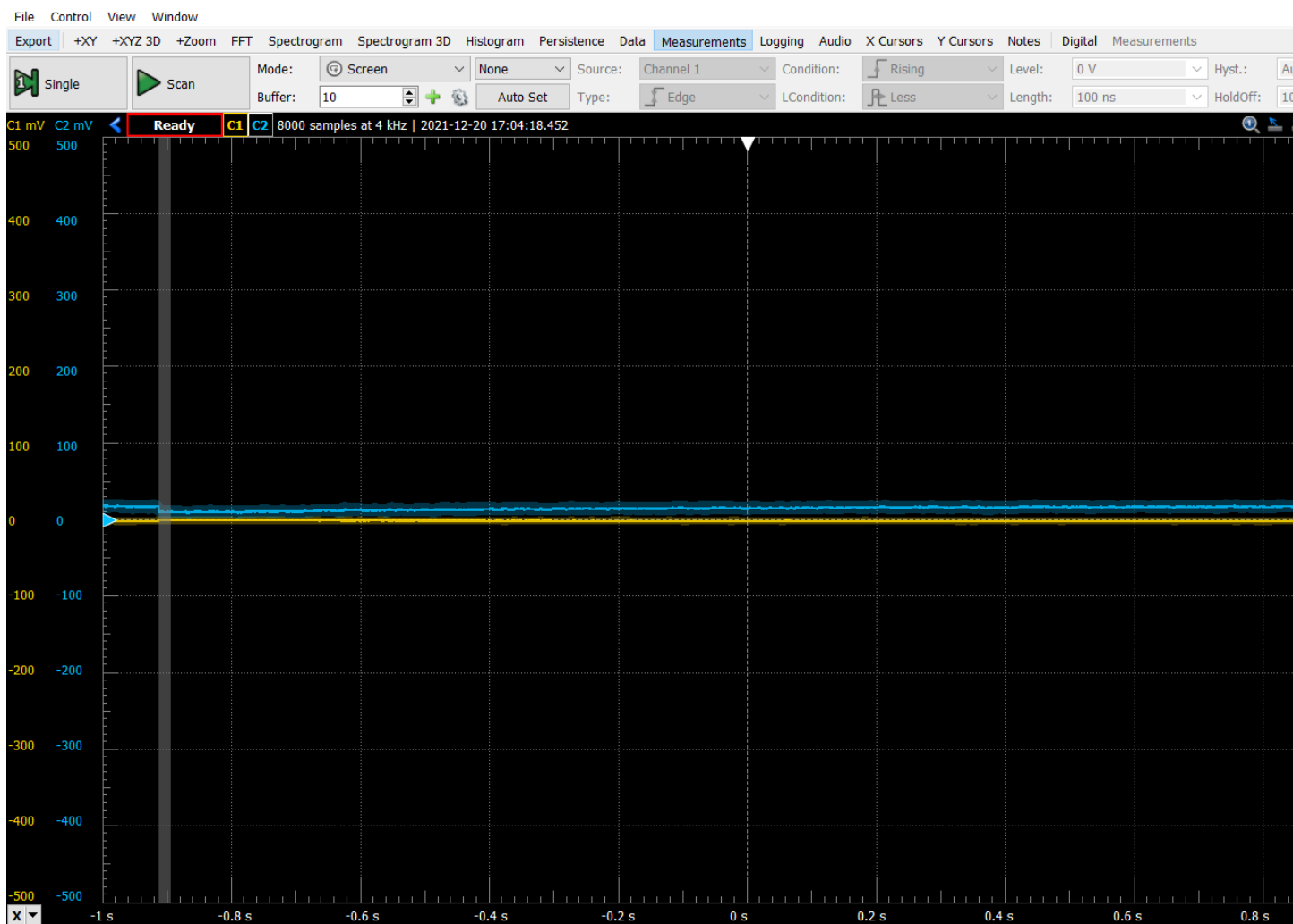


Figura 6: segnali nella condizione in cui il valore di set e meas sono uguali, nel canale uno si misura il valore di meas rispetto a set, nel canale due invece error rispetto a massa.

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

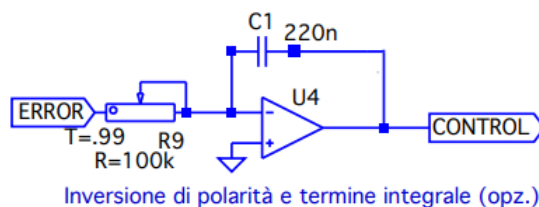


Figura 7: schema circuitale del controllore ad azione integrale.

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.

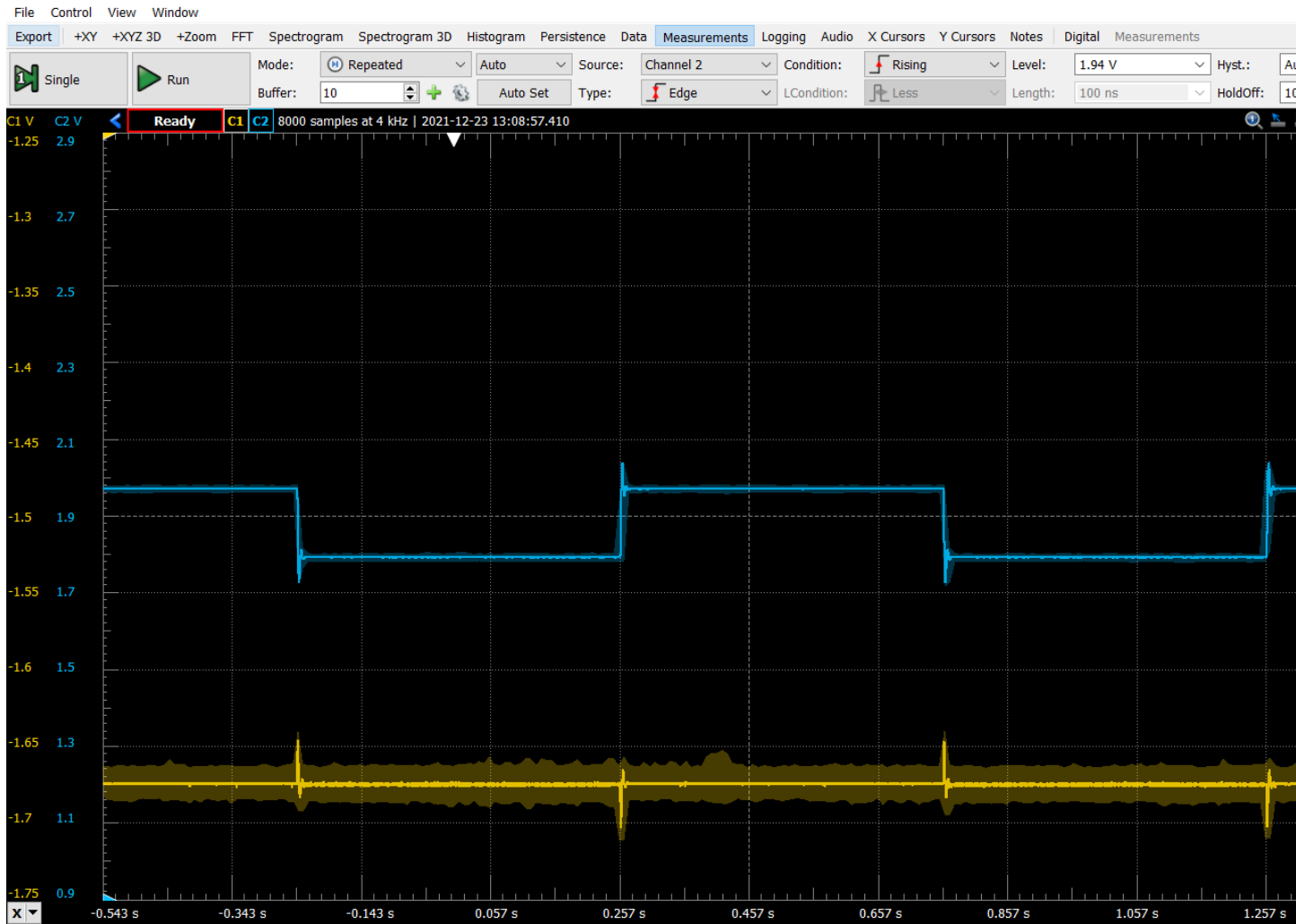


Figura 8: grafico degli andamenti di control (rispetto a massa) in blu e di meas (sempre rispetto a massa) in giallo

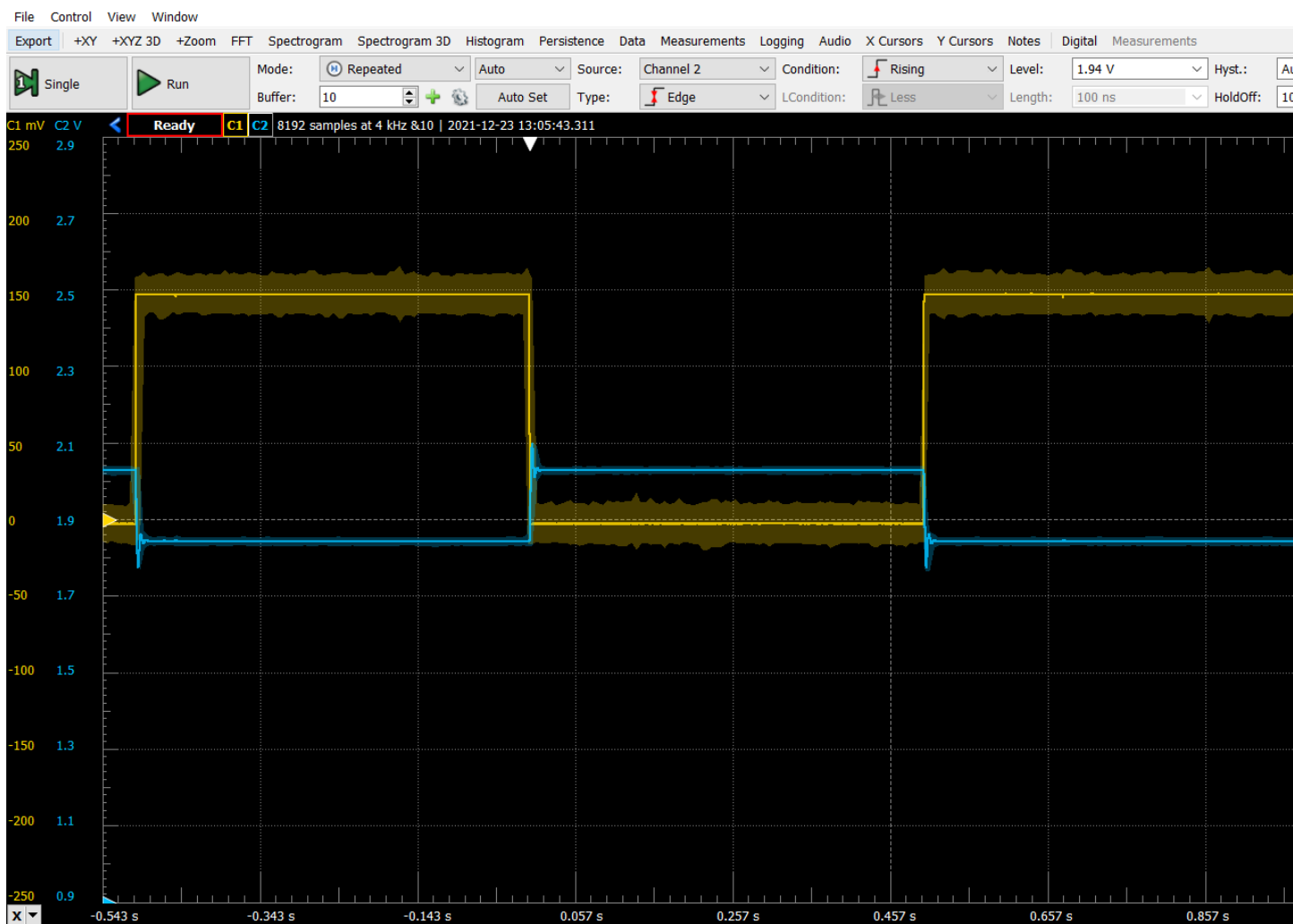


Figura 9: grafico del segnale control in blu e dell'onda pilota del led di disturbo in giallo

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.

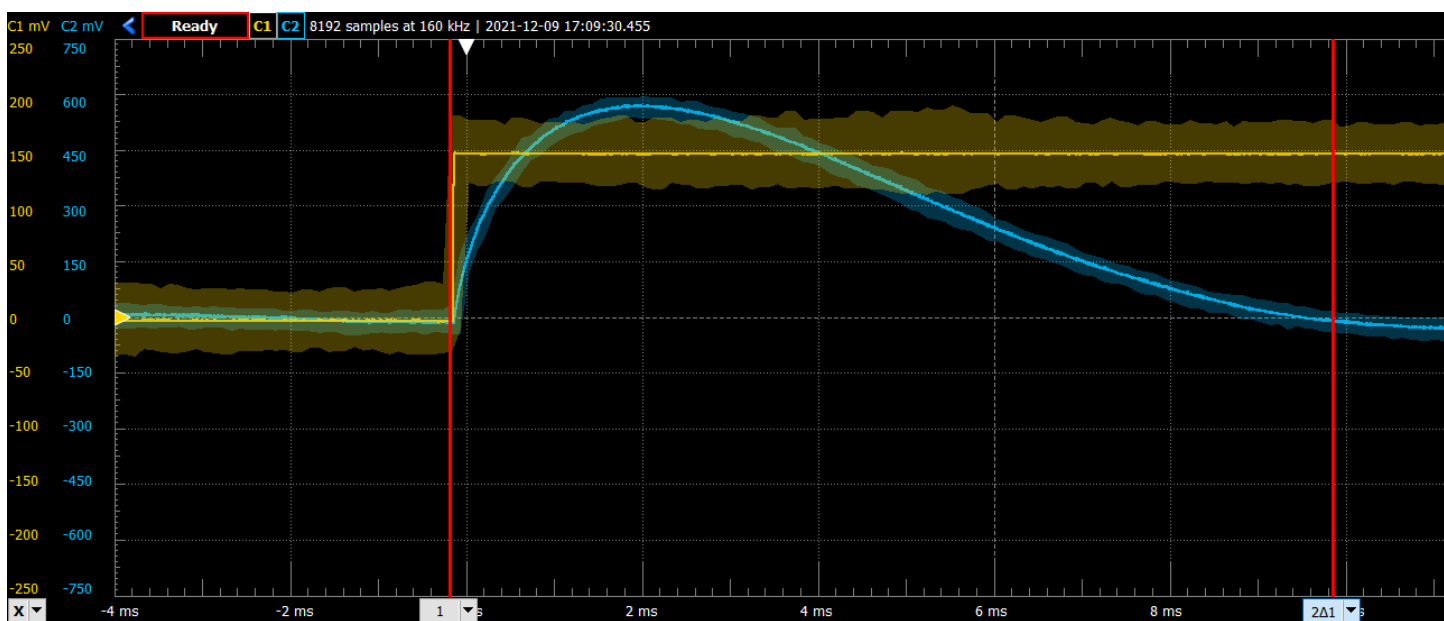


Figura 10: Andamento del segnale error in blu, rispetto al segnale pilota del led di disturbo

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 %

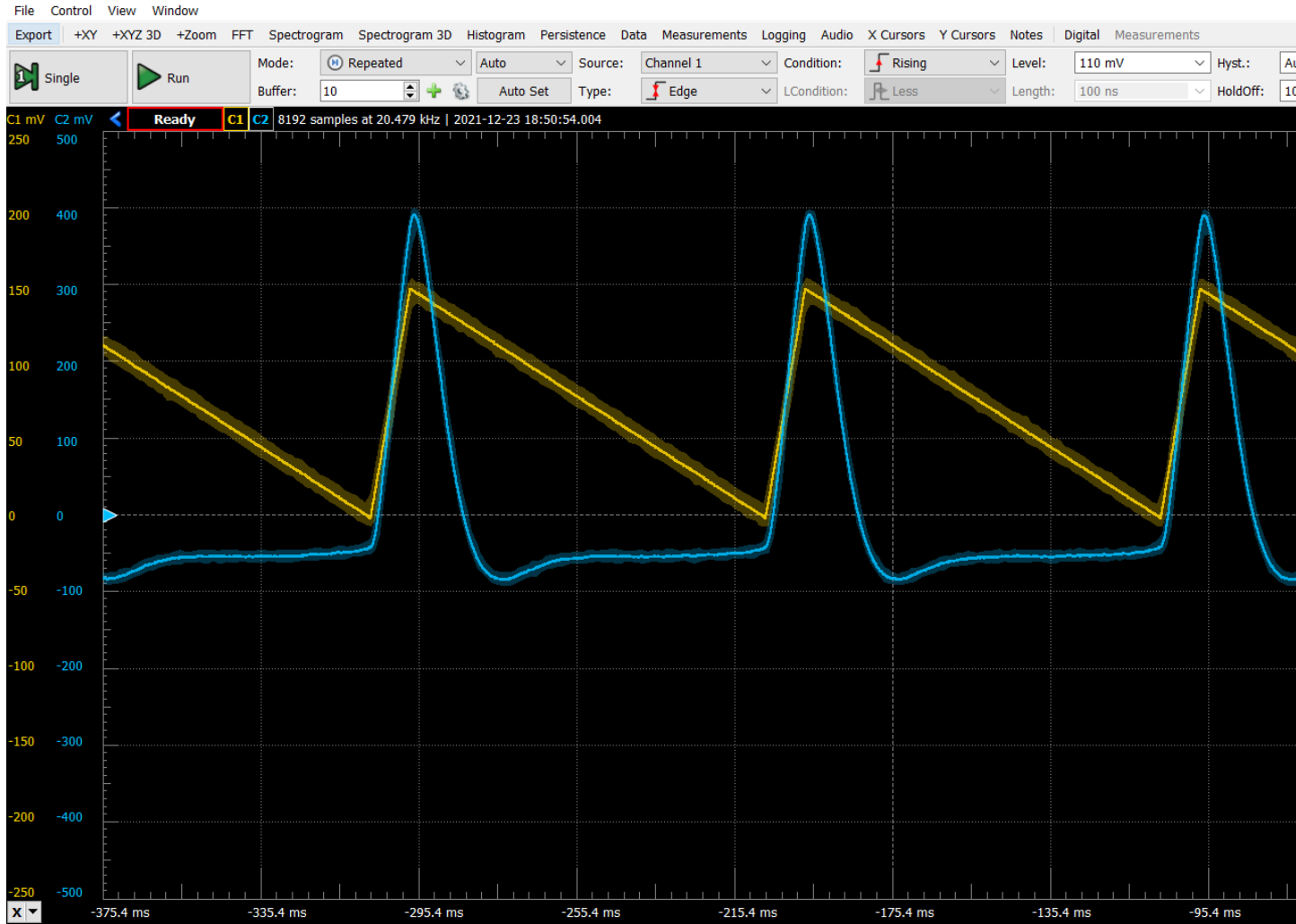


Figura 11: grafico degli andamenti di error (rispetto a massa) in blu e del segnale in ingresso al led di disturbo (sempre rispetto a massa) in giallo pilotato con l'onda triangolare sopracitata con duty cycle 10 %



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

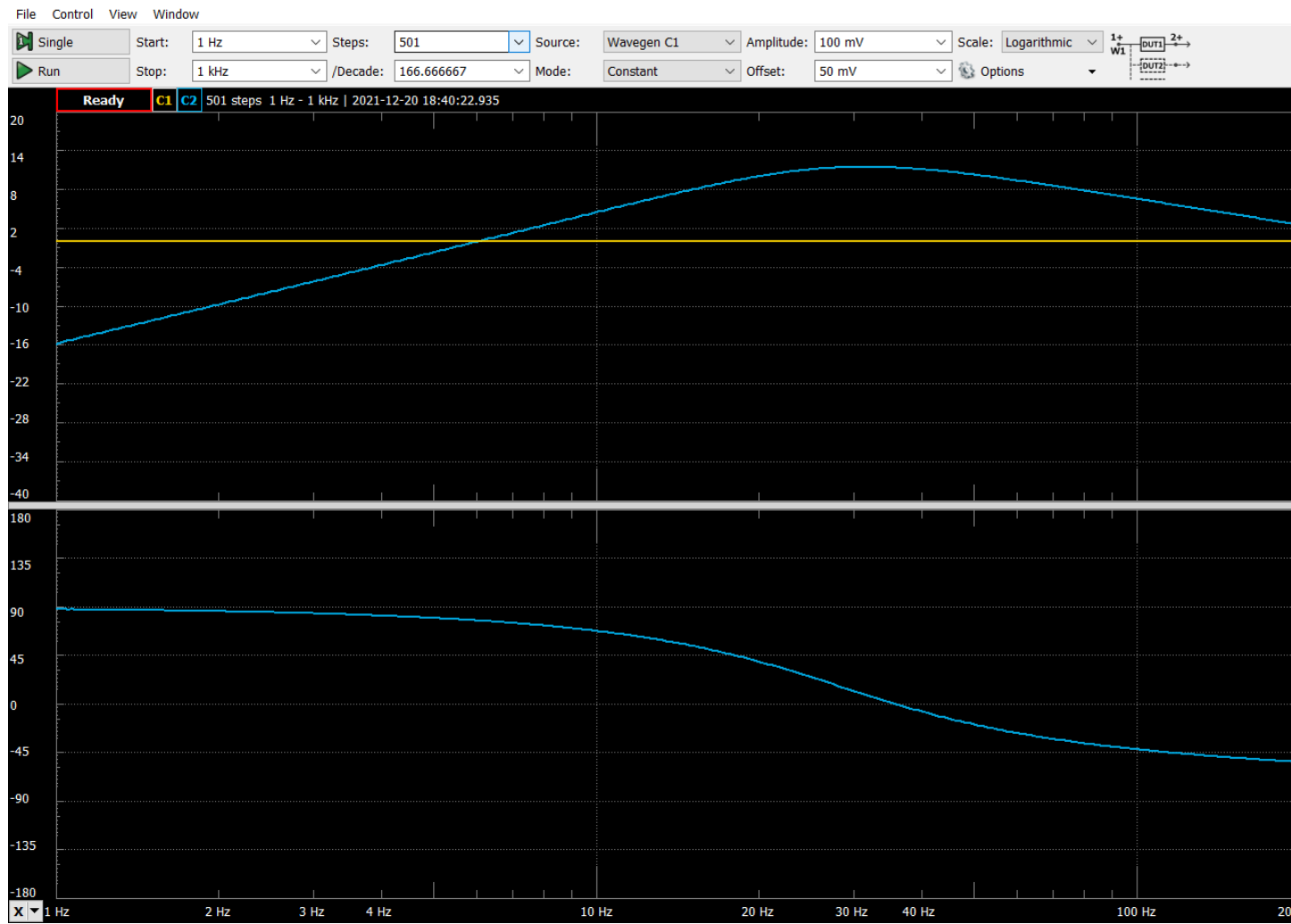


Figura 13: scan di network della funzione di trasferimento tra il generatore di disturbo e error con $R_9 = 103.4 \pm 0.8k \Omega$

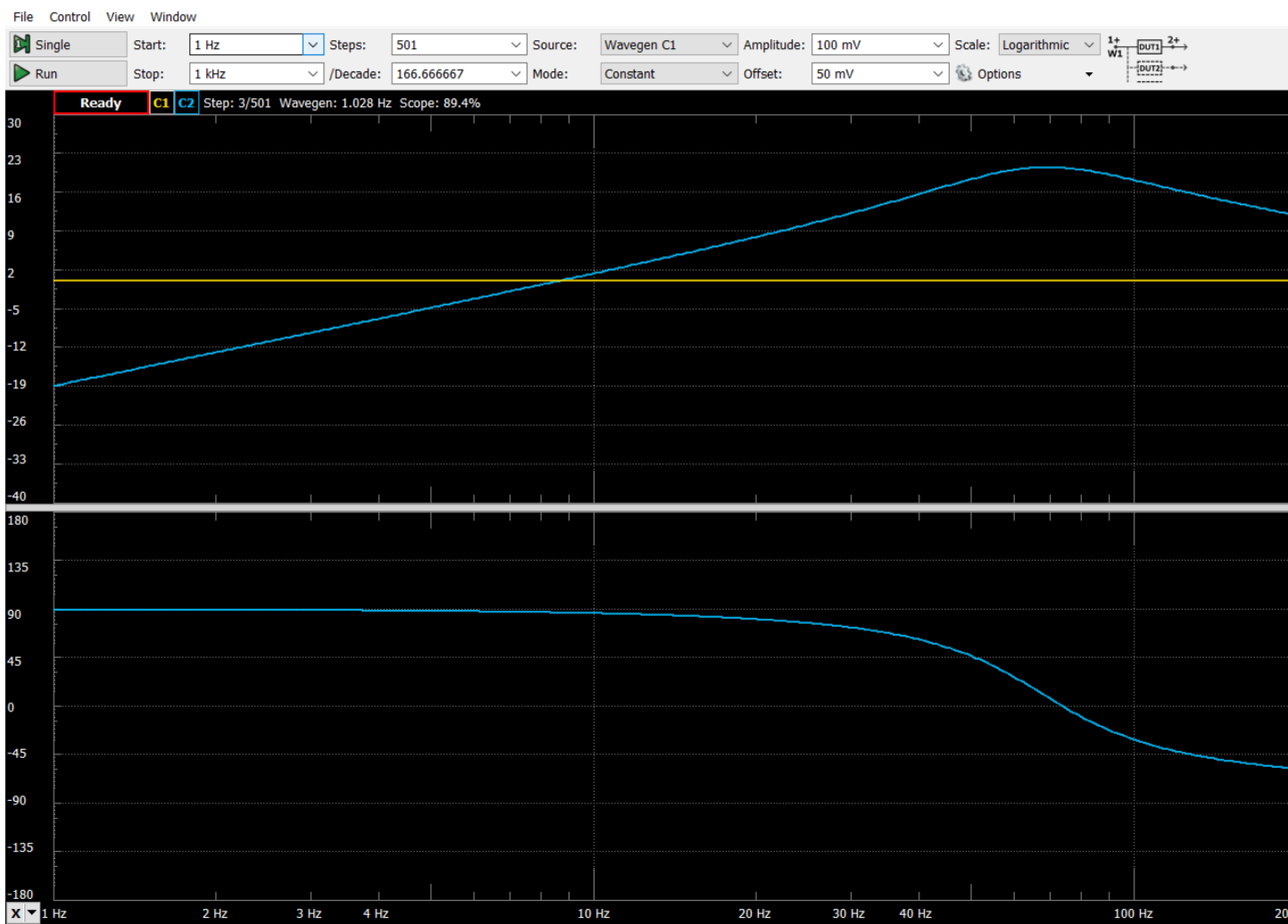


Figura 14: scan di network della funzione di trasferimento tra il generatore di disturbo e error con $R_9 = 76.1 \pm 0.6k \Omega$

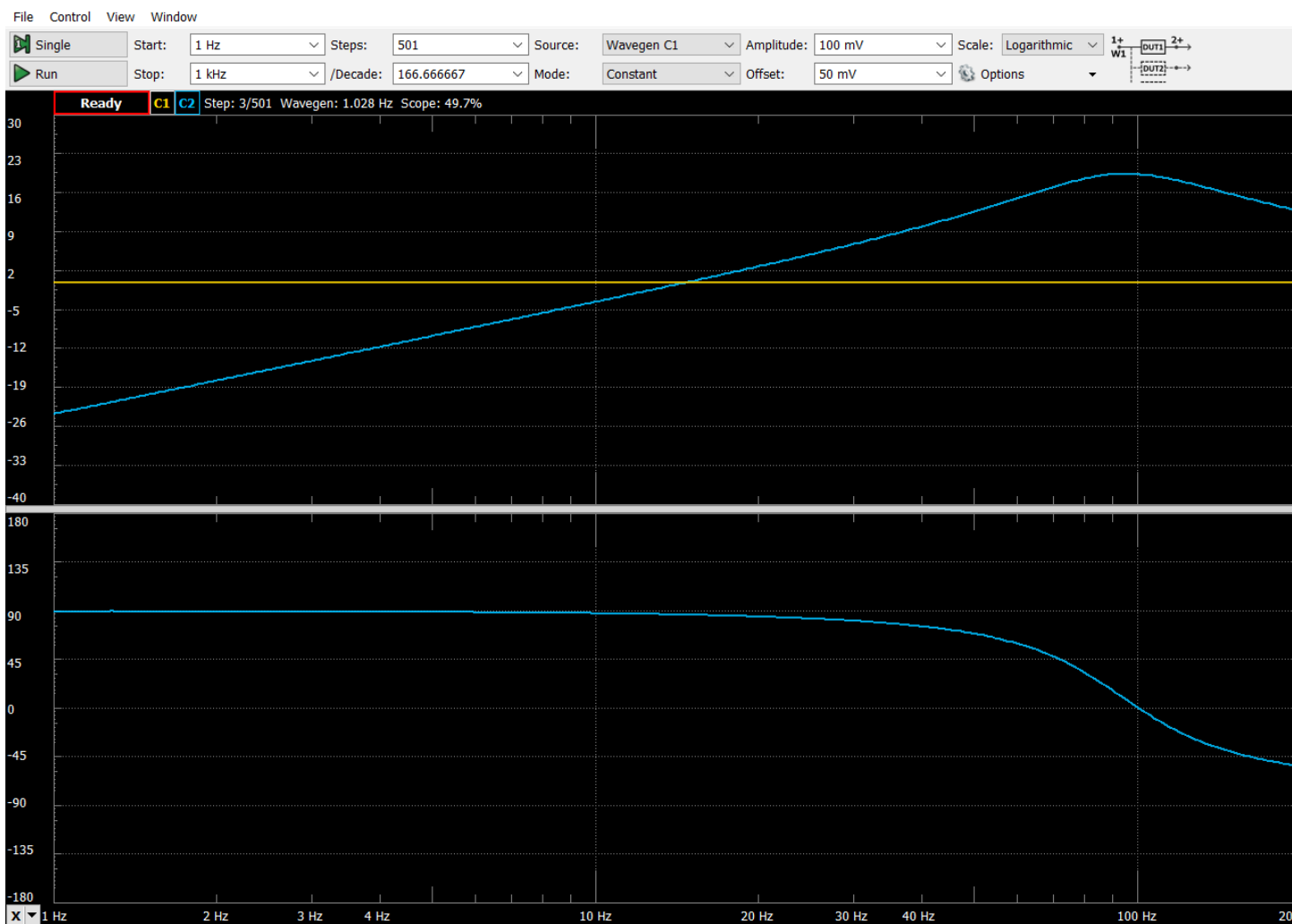


Figura 15: scan di network della funzione di trasferimento tra il generatore di disturbo e error con $R_9 = 43.9 \pm 0.4k \Omega$

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.

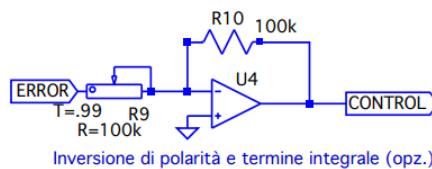


Figura 16: schema circuitale del controllore ad azione proporzionale.

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.

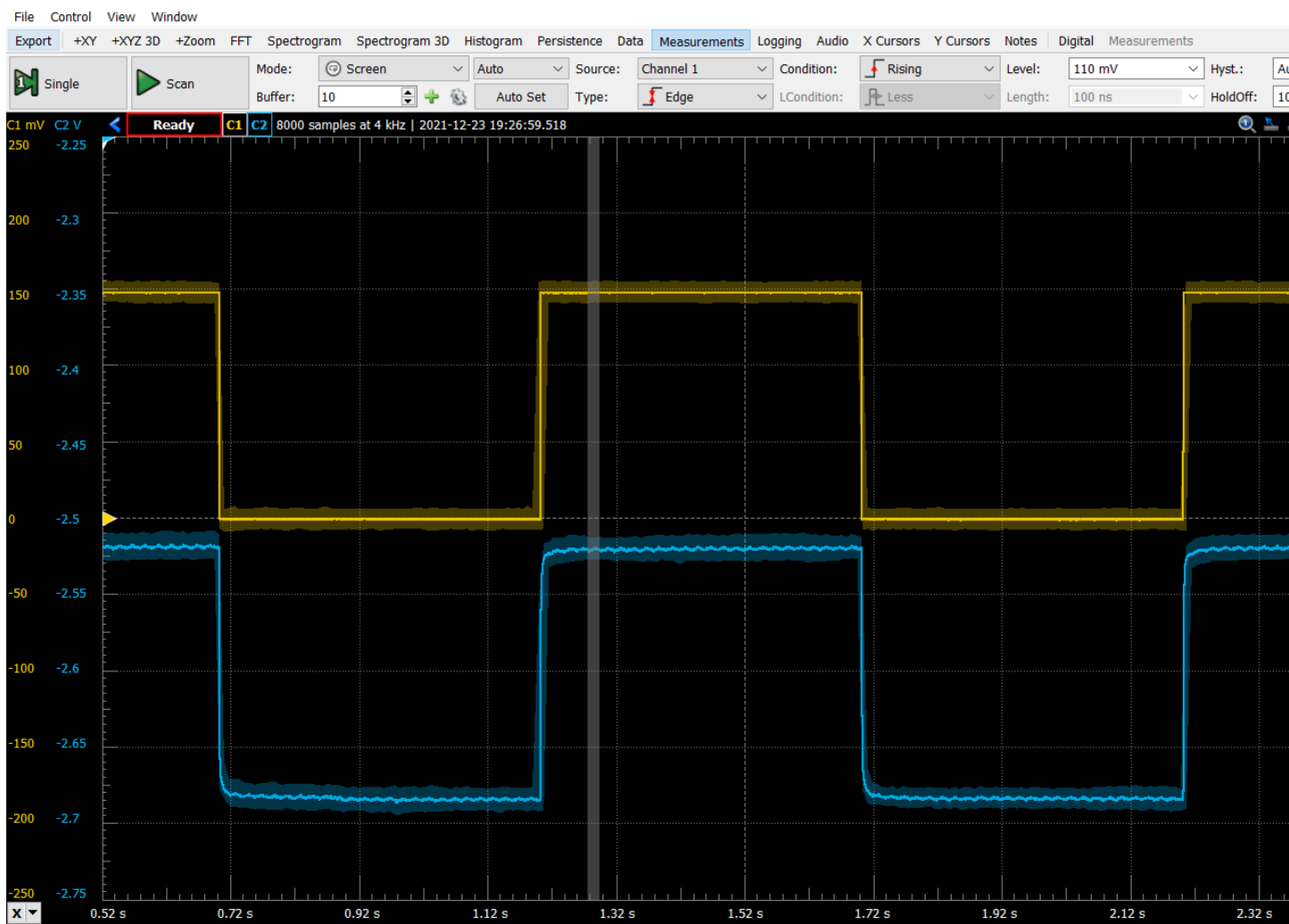


Figura 17: grafico dei segnali error in blu e dell'onda pilota di disturbo in giallo.

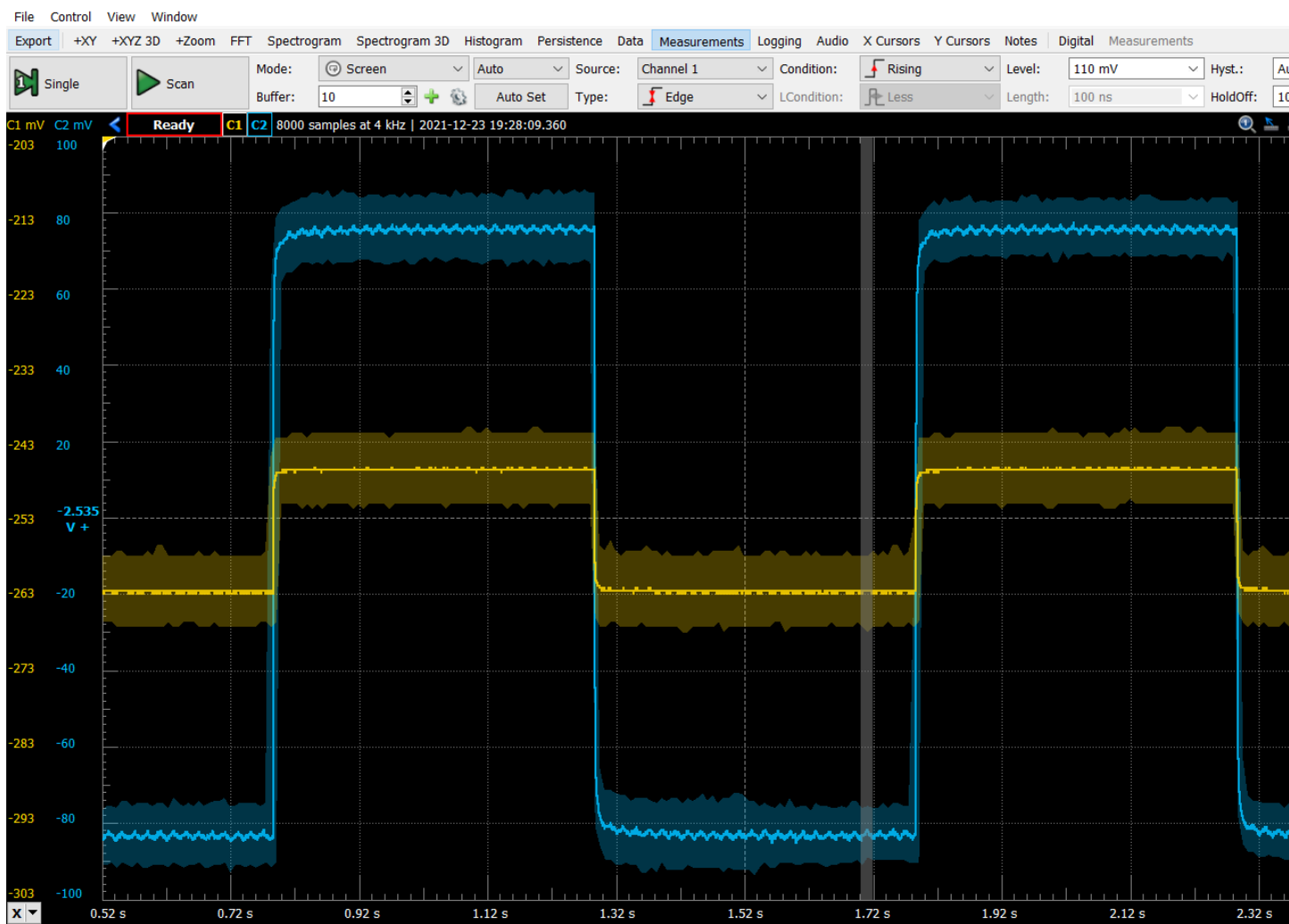


Figura 18: grafico dei segnali error in blu e di meas rispetto a set in giallo.

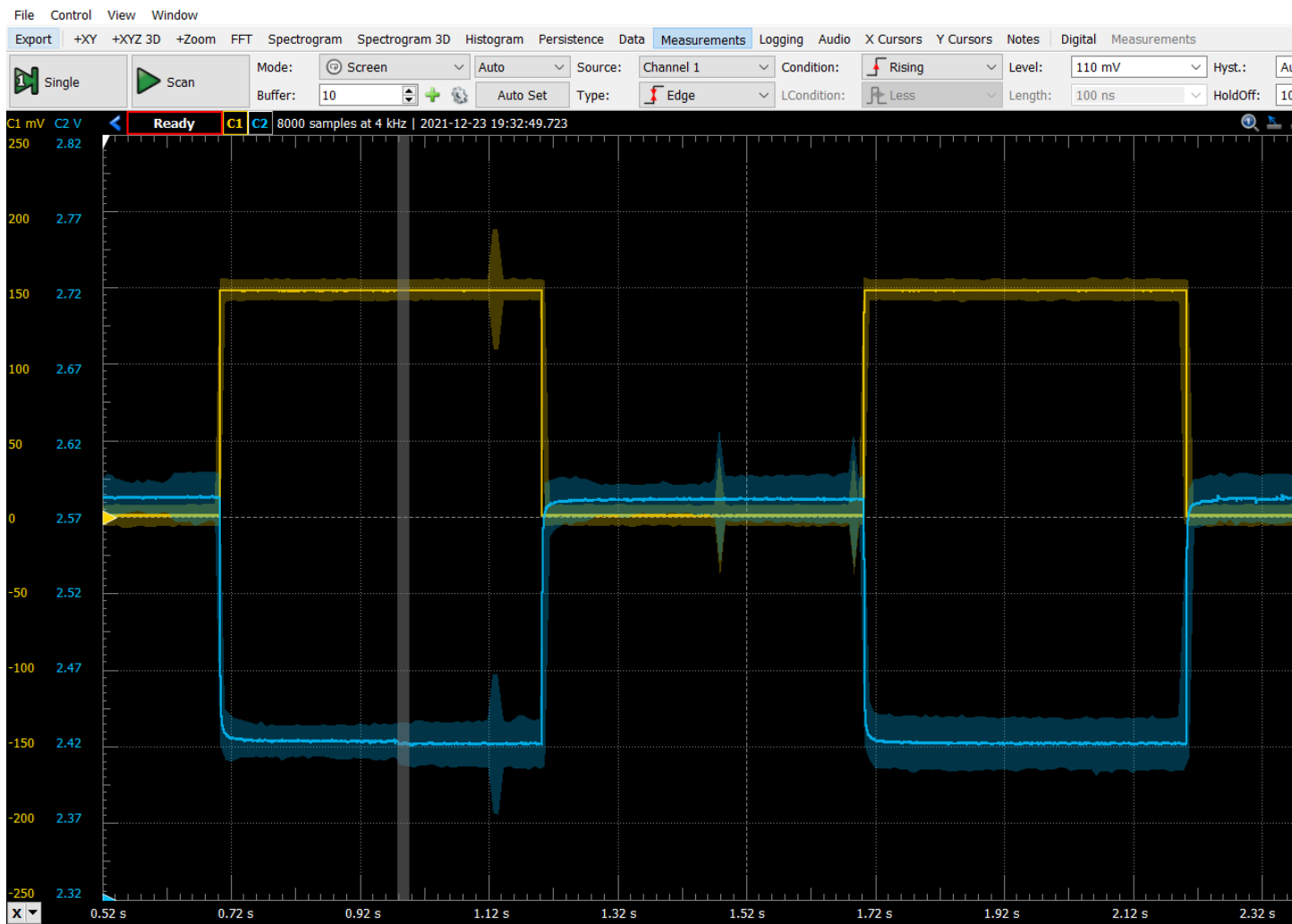


Figura 19: grafico dei segnali control in blu e dell'onda pilota di disturbo in giallo.

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.