

LaurTec

Headphone Amplifier

Amplificatore professionale per cuffie



Autore : *Ivo Colleoni*

ID: UP0016-IT

INFORMATIVA

Come prescritto dall'art. 1, comma 1, della legge 21 maggio 2004 n.128, l'autore avvisa di aver assolto, per la seguente opera dell'ingegno, a tutti gli obblighi della legge 22 Aprile del 1941 n. 633, sulla tutela del diritto d'autore.

Tutti i diritti di questa opera sono riservati. Ogni riproduzione ed ogni altra forma di diffusione al pubblico dell'opera, o parte di essa, senza un'autorizzazione scritta dell'autore, rappresenta una violazione della legge che tutela il diritto d'autore, in particolare non ne è consentito un utilizzo per trarne profitto.

La mancata osservanza della legge 22 Aprile del 1941 n. 633 è perseguibile con la reclusione o sanzione pecuniaria, come descritto al Titolo III, Capo III, Sezione II.

A norma dell'art. 70 è comunque consentito, per scopi di critica o discussione, il riassunto e la citazione, accompagnati dalla menzione del titolo dell'opera e dal nome dell'autore.

AVVERTENZE

I progetti presentati non hanno la marcatura CE, quindi non possono essere utilizzati per scopi commerciali nella Comunità Economica Europea.

Chiunque decida di far uso delle nozioni riportate nella seguente opera o decida di realizzare i circuiti proposti, è tenuto pertanto a prestare la massima attenzione in osservanza alle normative in vigore sulla sicurezza.

L'autore declina ogni responsabilità per eventuali danni causati a persone, animali o cose derivante dall'utilizzo diretto o indiretto del materiale, dei dispositivi o del software presentati nella seguente opera.

Si fa inoltre presente che quanto riportato viene fornito così com'è, a solo scopo didattico e formativo, senza garanzia alcuna della sua correttezza.

L'autore ringrazia anticipatamente per la segnalazione di ogni errore.

Tutti i marchi citati in quest'opera sono dei rispettivi proprietari.

Indice

Introduzione	4
Specifiche Tecniche	4
Analisi del progetto	5
Encoder rotativo.....	5
Cenni sui protocolli dei comandi IR e come sono interpretati nel progetto.....	6
Display OLED.....	10
PGA2320.....	11
TPA6120.....	13
Analisi Hardware	13
Protezione e filtro EMI.....	14
Sezione di alimentazione.....	15
Circuito principale.....	17
Sezione di input.....	22
Realizzazione del circuito	23
Lista Componenti	24
Analisi del firmware	27
Sorgenti.....	28
Librerie allegate.....	28
Sviluppo del contenitore	28
Collaudo e messa in funzione	30
Misure di verifica del sistema	32
Utilizzo del sistema	37
Analisi dei costi	41
Analisi Finale	42
Allegati	42
Prossimi aggiornamenti	42
Bibliografia	45
History	46

Introduzione

Il progetto è nato dall'idea di avere un amplificatore per cuffie che permettesse un ascolto il più fedele possibile alla sorgente collegata in ingresso, per questo motivo il segnale audio resta analogico dall'ingresso all'uscita e viene solamente attenuato o amplificato a seconda della necessità. Non sono stati inseriti equalizzatori proprio per distorcere e alterare il meno possibile il segnale originario.

L'amplificatore è stato sviluppato in modo da abbassare i costi di produzione pur selezionando componenti di qualità e poter sostituire o aggiungere altri PCB per aumentarne le funzionalità. In futuro è previsto l'inserimento di un input digitale coassiale o ottico.

Il tutto è stato progettato tenendo anche in considerazione il contenitore scelto per il progetto con disegno e taglio personalizzato del pannello frontale e posteriore, usando il plexiglass ed elementi di supporto realizzati con stampante 3D.

Tutti i file necessari alla realizzazione sono forniti in allegato al progetto.

Specifiche Tecniche

CPU:	PIC18F26K22
Display:	OLED 1.3" 128x64px
Input Utente:	Encoder con switch, 1 switch e IR con registrazione comandi
Audio Input:	3 coppie RCA
Audio Output:	3 coppie RCA
Uscita cuffie:	Jack 6,3 mm
Potenza:	1Wx2 @32Ω
Impedenza Cuffie:	8~600Ω
SNR:	Non misurabile
Crosstalk L/R:	-70dB @1KHz
Alimentazione:	220V AC
Assorbimento:	Stand-by 6.8mA, in funzione 23mA (1.5W, 5.3W)
Dimensioni:	215x228x70mm
Peso:	2168 gr.

Nota

Il sistema presentato contiene sezioni ad alta tensione, prendere le dovute precauzioni in fase di montaggio e collaudo al fine di evitare possibili danni a persone o cose.



Analisi del progetto

Il progetto è stato realizzato su più PCB per ridurre i costi di produzione e allo stesso tempo avere una certa flessibilità in fase di prototipizzazione in caso di malfunzionamenti o modifiche consentendo la sostituzione solamente di una parte del circuito. Inoltre è possibile in questo modo riutilizzare i PCB per altri progetti o prove se necessario. Nei paragrafi seguenti sono trattati alcuni punti teorici sul funzionamento del progetto analizzando nel dettaglio l'hardware adottato.

Encoder rotativo

L'interfaccia utente principale, posta sul pannello frontale, è un encoder rotativo che consente di modificare il volume e spostarsi all'interno dei menu. L'encoder utilizzato è un EC11B prodotto da ALPS e il pinout è mostrato in Figura 1. L'encoder può essere rappresentato come una coppia di interruttori il primo tra i Pin A e C e il secondo tra i Pin B e C. Collegando i Pin A e B a VCC tramite una resistenza di pullup e il Pin C a GND gli "interruttori" vengono aperti o chiusi alla rotazione dell'albero. L'encoder utilizzato ha 2 ulteriori pin che sono i contatti dello switch normalmente aperto che si chiude alla pressione dell'albero.

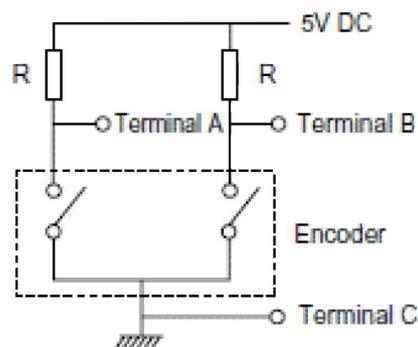


Figura 1: Schema elettrico di un encoder.

Alla rotazione dell'albero, sui Pin A e B, sono prodotte due onde quadre sfasate tra di loro, la relazione tra le 2 onde quadre determina se l'albero è stato girato in senso orario o antiorario, come mostrato in Figura 2. Solitamente gli encoder utilizzati per scopi simili a quelli di questo progetto hanno dei denti (scatti) che identificano l'incremento di rotazione in un senso o nell'altro. Alcuni tipi di encoder hanno numero di denti pari agli impulsi prodotti, ne deriva che, a ogni "scatto" dell'albero viene prodotto un impulso completo sul Pin A e sul Pin B. In questo caso per capire da che lato è stato girato l'encoder basta prendere come riferimento il segnale prodotto sul Pin A e a ogni fronte di salita dello stesso verificare lo stato del segnale B: se è basso l'encoder è stato ruotato in senso orario, se è alto l'encoder è stato girato in senso antiorario.

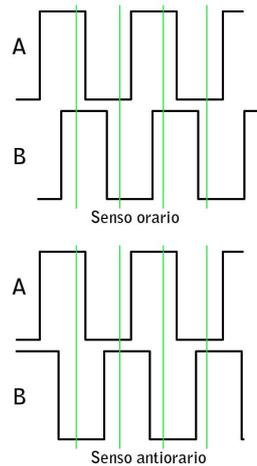


Figura 2: Impulsi in uscita da un encoder.

L'encoder selezionato, ha un numero di denti doppio rispetto al numero di impulsi generati (per la precisione 30 denti e 15 impulsi) come evidenziato dalle linee verdi in Figura 2, che rappresentano i denti. Per questo, ad ogni "scatto" dell'albero viene cambiato lo stato logico dei pin. A ogni fronte di salita o discesa generato sul Pin A bisogna controllare lo stato del segnale generato sul Pin B: se sul fronte di salita il Pin B è basso e sul fronte di discesa il Pin B è alto l'encoder è stato ruotato in senso orario, se sul fronte di salita il Pin B è alto e sul fronte di discesa il Pin B è basso, l'encoder è stato ruotato in senso antiorario.

Per gestire l'encoder quindi si possono sfruttare gli interrupt sui fronti di salita e discesa del segnale sul Pin A e determinare di conseguenza il senso di rotazione. Un'altra soluzione potrebbe essere quella di generare un interrupt ogni determinato periodo e verificare lo stato dell'encoder con una frequenza costante. Nel sistema presentato l'encoder viene gestito in questo secondo modo.

Il Timer 2 genera un interrupt ogni 2.5mS (220Hz) e a ogni interrupt viene verificato se il segnale sul Pin A dell'encoder è cambiato, in tal caso viene controllato il segnale sul Pin B: se è uguale al segnale attuale sul Pin A l'encoder ha fatto uno scatto in senso antiorario, altrimenti ha fatto uno scatto in senso orario. Grazie all'utilizzo di un Timer e alla frequenza di scansione nota è possibile anche determinare la velocità di rotazione dell'encoder calcolando il tempo trascorso tra un cambio di stato e l'altro del segnale sul Pin A. In questo modo si possono introdurre dei fattori di velocità per incrementare più rapidamente il valore attuale associato alla rotazione dell'encoder (per esempio il volume viene incrementato di 1 se l'encoder gira lentamente, di 2 se gira a una velocità maggiore, di 3 se gira a una velocità ancora maggiore e così via).

Cenni sui protocolli dei comandi IR e come sono interpretati nel progetto.

Il sistema può essere utilizzato, oltre che con i comandi disponibili sul pannello frontale, con i più comuni telecomandi IR. Per sviluppare questa parte ho preso spunto dal progetto UP0004-IT Ricevitore IR a 4 Canali ad autoapprendimento di Ferrero Vercelli Renato (fev_ver) scaricabile dal sito LaurTec.it [1], rimando alla lettura di tale documento per la teoria di base del funzionamento dei vari telecomandi a trasmissione con LED infrarossi. Riassumendo, il segnale inviato da un telecomando IR varia a

seconda del protocollo utilizzato e dalla marca dello stesso. I vari protocolli di comunicazione utilizzano tutti un segnale digitale modulato su una portante da 36KHz a 40KHz e possono essere raggruppati in 3 tipologie di base, come mostrato in Figura 4.

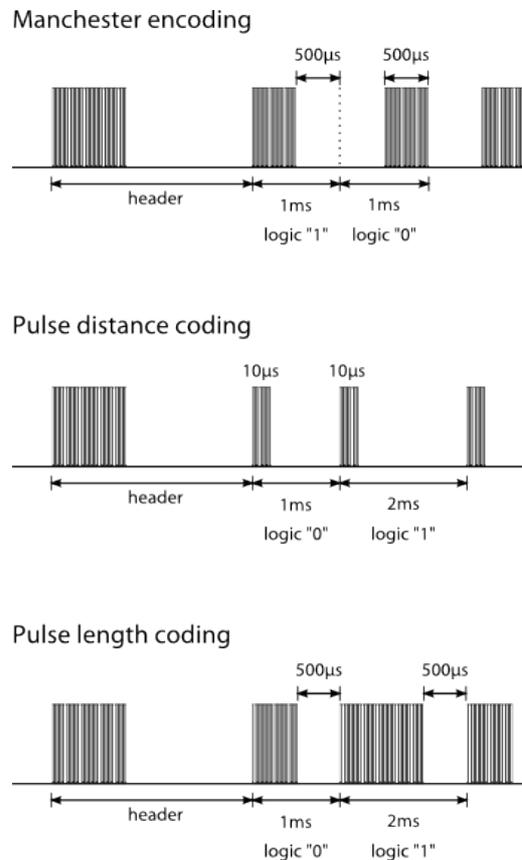


Figura 3: Tipologie di protocollo dei trasmettitori IR.

Tralasciando i segnali "header" di avvio della trasmissione le tre tipologie si differenziano da come "rappresentano" gli stati logici:

- Nel primo caso, denominato "Manchester encoding" un 1 logico è rappresentato da un periodo alto da 500µs e da un periodo basso di pari durata mentre uno 0 logico è rappresentato da un periodo basso da 500µs seguito da un periodo alto di identica durata.
- Nel secondo caso, denominato "Pulse Distance Coding", lo 0 logico e l'1 logico si differenziano a seconda della durata complessiva di periodo, Il trigger di impulsi alti dura sempre 10µs, mentre il tempo basso, varia a seconda che si voglia rappresentare uno 0 o un 1 logico.
- Nel terzo caso, denominato "Pulse Length Coding", la durata del tempo in cui il segnale è basso è sempre di 500µs mentre è il tempo in cui il segnale è alto varia a seconda del segnale che si vuole rappresentare.

Nel progetto presentato non si decodifica il comando specifico inviato dal telecomando e si può quindi semplificare il tutto e trattare il segnale, opportunamente demodulato attraverso il diodo ricevitore TSOP34836, come un treno di impulsi con periodi di segnale

alto e segnale basso di durata variabile. In questo modo tutte le tipologie di base descritte in precedenza possono essere trattate allo stesso modo. In Figura 4 è rappresentato un segnale demodulato in uscita dal ricevitore.

Il ricevitore contiene al suo interno tutta l'elettronica per amplificare il segnale ricevuto e demodulare il segnale, permettendo di filtrare la luce ambientale, che nel caso specifico può essere considerata come un rumore di fondo.

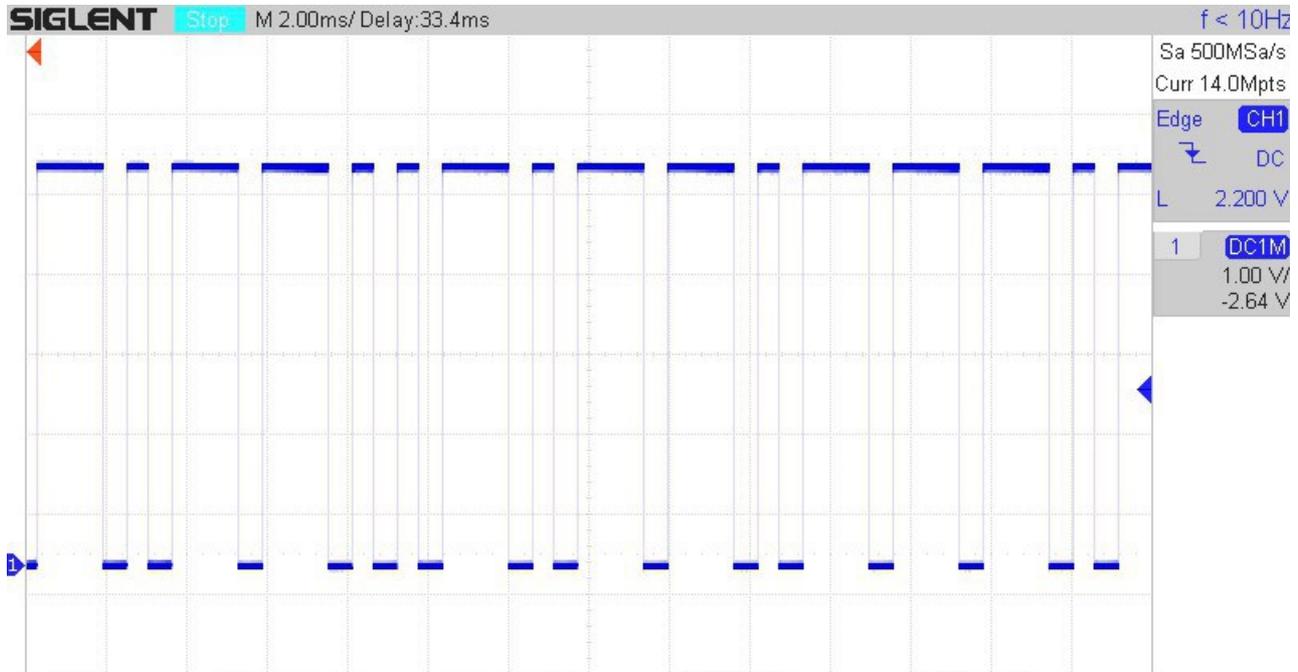


Figura 4: Segnale demodulato in uscita dal ricevitore TSOP34836.

Come si può notare, in questo caso, la durata del periodo con segnale a livello alto varia mentre la durata del periodo con segnale a livello basso è costante. In altri casi, come per esempio nel caso di segnali con codifica Manchester, anche la durata del segnale a livello basso varia.

Oltre alle tre tipologie base di rappresentazione degli stati logici i protocolli di trasmissione variano anche in base al numero di bit inviati e da come si comportano quando un tasto viene mantenuto premuto. Da prove effettuate vengono inviati massimo 44 impulsi a trasmissione. In alcuni casi le trasmissioni sono più lunghe ma sono divise da pause di circa 200ms che consentono di trattare la trasmissione come se fossero 2 trasmissioni distinte.

Analizzando i vari segnali si nota che le durate dei periodi, sia alti sia bassi, variano da 0.5mS a 0.9mS oppure da 1.2mS a 2.2mS. Si può quindi semplificare il segnale ricevuto considerando come stato logico 0 tutti quei periodi di segnale, sia alto sia basso, con durata da 0.5mS a 0.9mS e come stato logico 1 tutti quei periodi di segnale con durata da 1.2mS a 2.2mS.

Per interpretare il segnale decodificato dal diodo ricevitore vengono quindi misurate le durate dei periodi alto e basso e vengono salvate in 88 variabili. Nello specifico, una volta ricevuto il primo impulso viene monitorato lo stato del segnale ogni 50uS e viene incrementato un contatore finché lo stato del segnale rimane invariato, al variare del segnale viene salvato il valore del contatore nella relativa variabile e viene azzerato il contatore per iniziare un nuovo conteggio. Se il segnale non varia per più di 12mS

significa che la trasmissione si è conclusa. Terminata la ricezione vengono analizzate tutte le variabili salvate e vengono modificate in 1 o 0 a seconda della durata misurata come descritto sopra. Le 88 variabili che ora valgono tutte o 0 o 1 e vengono compattate in un array da 11 byte salvando per ogni bit dell'array il valore delle singole variabili come mostrato in Figura 5, in questo modo ogni comando registrato occuperà solo 11 byte di memoria consentendo di salvare anche molti comandi all'interno della memoria EEPROM del microcontrollore.

Byte	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	//				
Durata stato logico (mS)	8,6	4,2	0,6	1,6	0,6	1,6	0,6	0,5	0,6	1,6	0,6	0,6	0,5	1,6	0,6	1,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	1,6	0,6	0,5	0,6	1,6	0,6
Array contatori (1=50uS)	172	84	12	31	11	31	12	10	11	31	11	11	10	32	11	31	11	10	12	10	11	31	11	10	11	31	12		
Array semplificato	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0		

Byte	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Figura 5: Esempio di ricezione e interpretazione del segnale IR ricevuto.

Per aumentare la compatibilità con i vari telecomandi, la funzione di ricezione e interpretazione del segnale ricevuto può funzionare in 4 modalità impostabili tramite apposita opzione:

- **Modo 1:** per tutti i telecomandi che trasmettono fino a un massimo di 44 impulsi a comando e che mantenendo premuto il tasto viene inviato un comando sempre uguale di soli 8 bit (JVC, NEC, SHARP)
- **Modo 2:** per tutti i telecomandi che trasmettono fino a un massimo di 44 impulsi a comando e che mantenendo premuto il tasto viene inviato nuovamente il comando completo (SONY, protocollo SIRC).
- **Modo 3:** come modo 2 ma ogni comando in realtà è formato da 2 comandi da 44 impulsi dove il primo identifica il prodotto specifico mentre il secondo è il comando effettivo. Il primo comando, essendo sempre uguale a ogni tasto premuto, viene scartato (Panasonic).
- **Modo 4:** per tutti i telecomandi che trasmettono fino a un massimo di 44 impulsi a comando e che mantenendo premuto il tasto cambiano il terzo bit trasmesso. In questo metodo vengono scartati il terzo e il quarto periodo misurati (PHILIPS, NEC, protocollo RC5-6).

Display OLED

I display OLED monocromatici da 128x64px o 128x32px sono facilmente reperibili in rete e sono forniti sotto forma di moduli SPI/I2C (impostabili tramite la modifica di alcune resistenze) nei formati 0.96" e 1.3" e in vari colori. I driver utilizzati sono solitamente 2 e tutto sommato simili tra loro salvo alcune eccezioni e sono l'SSD1306 e l'SH1106. Le principali differenze tra i driver e le modalità di comunicazione sono:

- **SSD1306** ha alcune funzioni di scrolling del display, parziale o totale ma non può rileggere i dati scritti sul display.
- **SH1106** può rileggere i dati scritti sul display (solo in modalità I2C) ma non ha le funzioni di scrolling.
- **SPI** nettamente più veloce di I2C ma senza riletture dei dati scritti su display (solo SH1106).

Come si vedrà più avanti, la riletture dei dati scritti sul display è importante per alcune funzioni di disegno e scrittura.

La libreria presentata con il progetto è in grado di gestire entrambi i driver ed entrambe le modalità di comunicazione tramite opportune configurazioni nel file header della libreria. Entrambi i driver hanno 3 modalità di funzionamento che influenzano la modalità di scrittura dei dati sul display e sono:

- Orizzontale
- Verticale
- Pagina

Quest'ultima modalità funziona allo stesso modo dei display monocromatici con driver KS0108B e vista questa uguaglianza la libreria sfrutta questa modalità e condivide in parte le funzioni di scrittura e disegno con la libreria per display KS0108B fatto salvo per la modalità di comunicazione che su questo display è parallela a 8 bit.

In poche parole il display viene diviso in 8 pagine da 8x128px e ogni invio di 1 byte corrisponde agli 8 pixel da scrivere all'interno della pagina alla posizione y precedentemente impostata. Da qui deriva il fatto che se si vuole scrivere un singolo pixel a una posizione PAGINA, X che contiene già altri dati scritti si può fare solo rileggendo il dato scritto alla posizione PAGINA, X aggiungendo il bit in oggetto e riscrivendo l'interno byte. Un altro modo per ovviare al problema sarebbe di mantenere in memoria RAM un'intera immagine di ciò che è scritto sul display, ma questa soluzione si è rilevata particolarmente lenta anche con scrittura via SPI. In Figura 7 sono riportate le connessioni necessarie al funzionamento del display.

- **SCL** (pin3): linea clock del protocollo SPI o I2C.
- **SDI/SDA** (pin 4): linea dati del protocollo SPI o I2C.
- **RES** (pin 5): resetta il driver se impostato a un livello logico basso.
- **DC/SA0** (pin 6): In protocollo SPI definisce se si sta inviando un comando (livello logico basso) o un dato da scrivere sul display (livello logico alto), in protocollo I2C definisce l'indirizzo del dispositivo.
- **CS** (pin 7): abilita il driver alla ricezione di dati e comandi in modalità SPI.

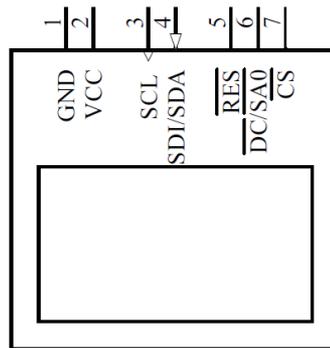


Figura 6: Pinatura del display.

La sequenza di invio dei dati per il protocollo SPI è mostrata in Figura 7. Per il protocollo I2C si seguono i parametri di comunicazione standard 100/400KHz.

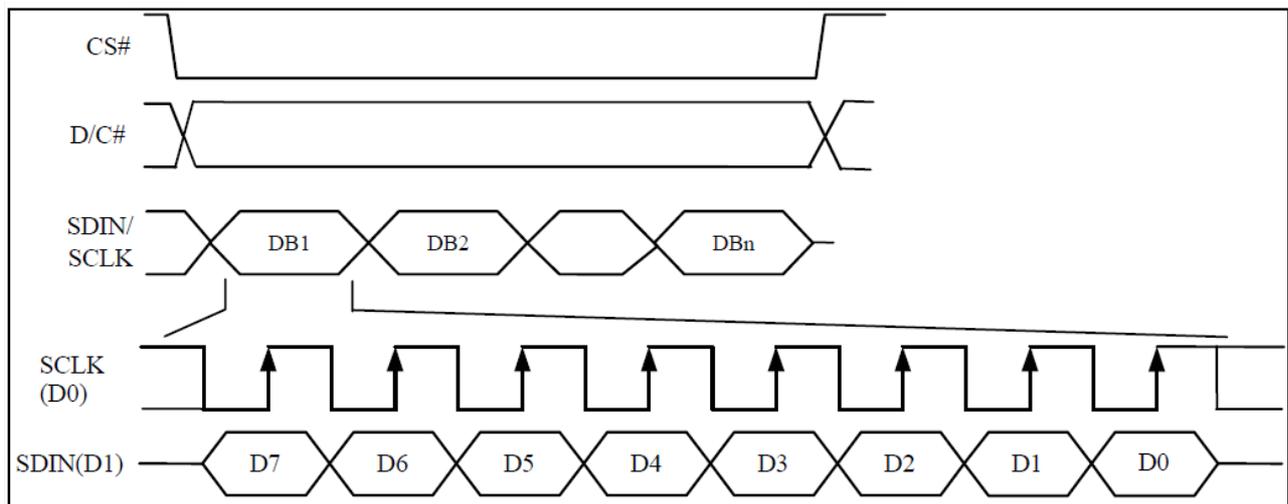


Figura 7: Scrittura dei dati con sul bus SPI.

I comandi interpretati dal driver sono molteplici e servono per impostare il funzionamento del display, per settare il contrasto, per impostare le funzioni di scrolling etc. per una descrizione dettagliata si rimanda alla lettura del data sheet.

PGA2320

L'integrato PGA2320 è un attenuatore/amplificatore controllato in maniera digitale per mezzo del protocollo SPI ed è stato sviluppato appositamente per segnali stereo analogici controllati in maniera indipendente. Le caratteristiche salienti di questo integrato sono:

- Ampio range di attenuazione/guadagno: da -96dB a +31.5dB in step da 0.5dB.
- Distorsione molto bassa: 0.0003% THD+N @ 1KHz.
- Alto range dinamico: 120dB.
- Alimentazione +/- 15V.

Inizialmente la scelta era ricaduta sul più recente PGA2310 che vanta caratteristiche leggermente migliori ma supporta un'alimentazione di soli $\pm 5V$. Anche se i segnali audio in gioco hanno ampiezze solitamente al di sotto di $10V_{pp}$ per ridurre i componenti dal lato alimentazione e per avere un certo margine di distanza dai rail di alimentazione ho selezionato il PGA2320. In Figura 8 è mostrato il pinout del PGA2320.

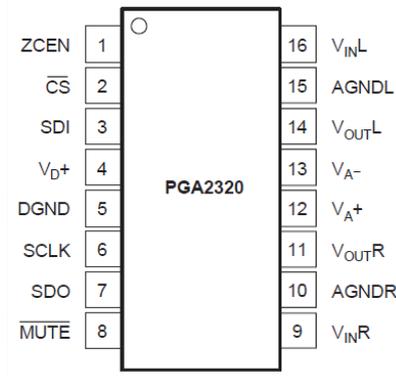


Figura 8: Piedinatura del PGA2320.

- **ZCEN:** Abilita la funzione di zero crossing se impostato a 1, tale funzione applica il volume impostato quando il segnale audio a livello 0 per prevenire eventuali disturbi sul segnale.
- **CS:** se impostato a livello logico basso abilita il PGA2320 alla ricezione dei dati via SPI.
- **SDI:** linea dati del protocollo SPI o I2C.
- **VD+:** +5V sezione digitale.
- **DGND:** GND sezione digitale.
- **SCLK:** linea clock del protocollo SPI o I2C.
- **SDO:** linea dati SPI in uscita per collegamenti in cascata.
- **MUTE:** se impostato a 0 mette il dispositivo in modalità muto (non usato).
- **VIN R/L:** segnali audio in ingresso.
- **AGND R/L:** GND sezione analogica.
- **VOUT R/L:** segnale audio in uscita.
- **VA+:** rail alimentazione positiva sezione analogica.
- **VA-:** rail alimentazione negativa sezione analogica.

Per impostare il volume basta inviare via SPI 2 byte con valori da 0 a 255 dove il primo rappresenta il volume da impostare sul canale destro mentre il secondo è il volume sul canale sinistro. Per convertire il valore impostato da 0 a 255 in dB basta applicare la formula:

$$Gain_{dB} = 31.5 - [0.5 \cdot (255 - N)] \quad N \text{ da } 1 \text{ a } 255$$

Il pin MUTE non è stato utilizzato perché impostando il mute in questo modo si creava un DC offset in uscita particolarmente elevato dovuto alla configurazione interna dell'integrato. Per implementare la funzione mute vengono impostati via software i

volumi a 0. Impostando i volumi dei canali sinistro e destro in maniera diversa è anche possibile impostare un balance del segnale.

Nel sistema in esame i valori di guadagno del PGA2320 impostabile dall'utente sono limitati da -96dB a +6dB che sono più che sufficienti per avere un buon volume di una sorgente con segnale di linea ad alto livello (es. lettori CD).

Si ricorda che 6dB di guadagno corrispondono a un raddoppio di livello del segnale. Limitando il volume massimo si ha la possibilità di utilizzare i restanti 25.5dB di headroom per livellare i segnali in ingresso dalle varie sorgenti; tramite apposito menù è possibile impostare un trim su ogni singolo input per aumentarne, o meglio attenuare di meno, il livello iniziale. In questo modo tutti gli input avranno un volume simile visualizzato sul display anche se il PGA2320 è impostato a un guadagno diverso dato da volume impostato più il livello di trim.

Il volume visualizzato sul display va da -90dB a +12dB per adattare il valore visualizzato all'effettivo guadagno applicato al segnale, come si vedrà di seguito l'amplificatore finale ha un guadagno fisso di 2V/V per cui al volume impostato nel PGA2320 vengono aggiunti, solo in visualizzazione sul display, 6dB.

TPA6120

Lo stadio finale dell'amplificatore è affidato al TPA6120A2, un amplificatore in feedback di corrente studiato appositamente per cuffie con eccellenti caratteristiche audio tra cui:

- Rapporto segnale rumore (SNR) di 128dB(A)
- THD+N 104dB @1KHz 10mW output
- Classe AB
- Impedenza pilotabile da 8Ω a 600Ω
- Alimentazione $\pm 15V$

Il pinout, rappresentato in Figura 9 è molto semplice e si limita ai segnali in ingresso/uscita e alle alimentazioni.

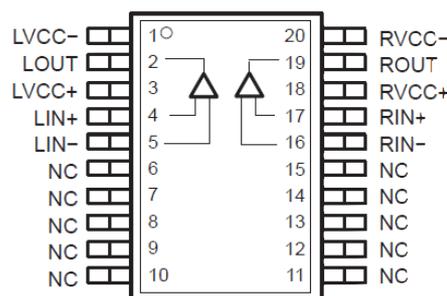


Figura 9: Piedinatura del TPA6120.

Il TPA6120 può essere utilizzato sia in configurazione single ended (invertente e non invertente) che differenziale.

In questo progetto è stato utilizzato in configurazione single ended non invertente con guadagno di 2V/V.

Analisi Hardware

Come detto in precedenza l'hardware è stato diviso in più PCB per ridurre i costi, aumentare l'espandibilità e permettere la sostituzione di singole parti senza dover per forza rifare tutto il circuito. Le varie sezioni sono illustrate nel dettaglio nei prossimi paragrafi.

Protezione e filtro EMI

Il primo circuito, il cui schema è riportato in Figura 10, è dedicato alla protezione del circuito dalle sovratensioni sulla linea elettrica e inserisce dei filtri per limitare i disturbi sul segnale audio. Da notare che a monte dei connettori J1 e J3 è installata una presa VDE con interruttore e fusibile integrato, se non si dovesse fare uso di questa presa è consigliabile installare un fusibile a cavo da 230V 200mA tra la presa di alimentazione e il connettore J1. Il resistore R1 è un varistore che si occupa di limitare eventuali picchi temporanei di tensione in ingresso consentendo solo tensioni inferiori a 275V, limitando la tensione a questo valore il trasformatore può dare in uscita massimo 24VAC che una volta raddrizzata dai diodi del PCB PSU si traducono in una tensione continua massima di 31V garantendo un'adeguata protezione a tutti i circuiti a valle. T1 è un'induttanza di modo comune (common mode choke) e permette di eliminare i disturbi elettromagnetici sulla linea provenienti da altre apparecchiature nelle vicinanze e che si dovessero accoppiare in maniera simmetrica su entrambi i cavi di alimentazione. Seguono i condensatori di soppressione Y2 e X2 tra fase e neutro, tra fase e terra e tra neutro e terra. Ai connettori J2 e J5 rappresentano l'uscita del filtro che si collega al trasformatore. Per questo progetto è stato selezionato un toroidale da 50VA con doppia uscita 18V anche se per un discorso di efficienza sarebbe meglio utilizzare un trasformatore con doppia uscita 18V - 9V.

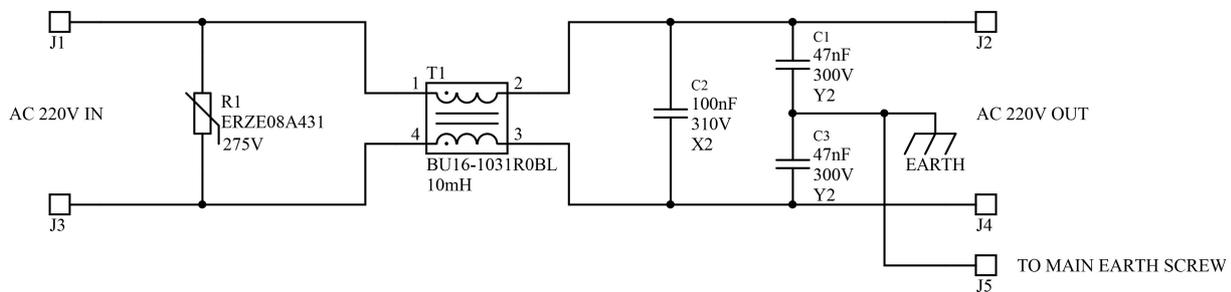


Figura 10: Schema elettrico della protezione e filtro EMI della linea AC.

Sezione di alimentazione

In Figura 11 è riportato lo schema dell'alimentatore e come si può notare è formato da 2 sezioni distinte: la prima si occupa di fornire i 5V per la sezione digitale del circuito mentre la seconda si occupa di fornire l'alimentazione duale per la sezione analogica.

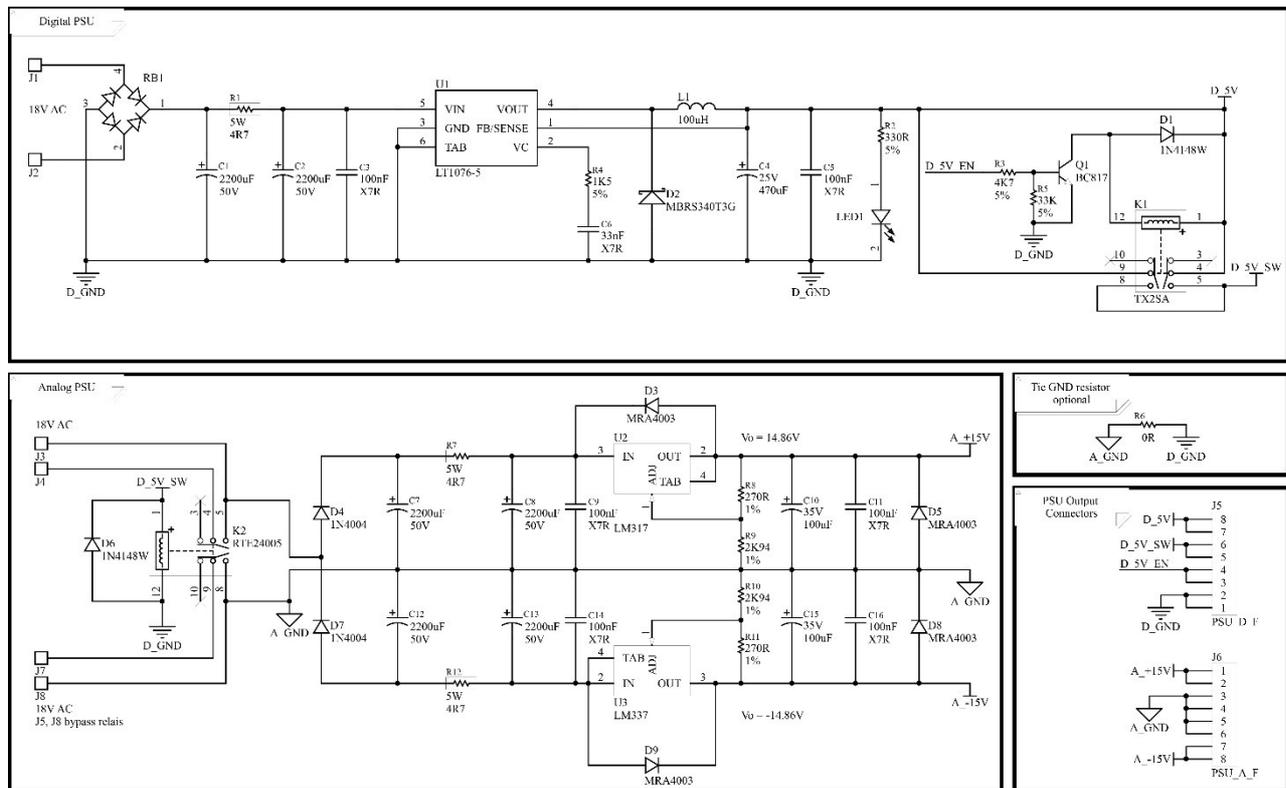


Figura 11: Schema della sezione di alimentazione.

La sezione che fornisce i 5V è realizzata tramite raddrizzatore a doppia semionda e convertitore step down LT1076. I 5V ottenuti sono a loro volta divisi in 2 rail: D_5V e D_5V_SW, il primo fornisce sempre 5V anche quando l'amplificatore è in stand-by e alimenta il PIC e il ricevitore IR, il secondo fornisce i 5V alla sezione digitale che serve solamente quando l'amplificatore è in funzione (display e sezione digitale del PGA2320) e abilita la sezione dell'alimentatore che fornisce l'alimentazione per la sezione analogica. L'abilitazione dell'alimentazione D_5V_SW è comandata da un'uscita dedicata del PIC (D_5V_EN) che abilita il relè K1. Questa soluzione si è resa necessaria per poter accendere l'amplificatore con il telecomando e per non lasciare alimentata la sezione digitale del PGA2320 quando la sezione analogica non è alimentata. In fase di standby il PIC è sempre alimentato ma in modalità sleep e monitora la pressione del tasto encoder o la ricezione di un comando via IR.

Anche la sezione che alimenta la parte analogica del circuito è attivata tramite D_5V_SW solamente quando l'amplificatore è in funzione e viene attivata tramite il relè K2 che collega il secondario del trasformatore al resto del circuito.

Per la sezione che genera la tensione duale è stato utilizzato un raddrizzatore a singola semionda con 2 diodi, il primo entra in conduzione solamente quando l'onda in ingresso è positiva e il secondo quando è negativa, i 2 regolatori lineari LM317 e LM337 permettono

di regolare la tensione positiva e negativa. In Figura 12 si può osservare una simulazione del transiente di avvio di questa sezione, in particolare sono evidenziati i livelli di tensione rilevati dopo i diodi raddrizzatori (D4 e D7 sullo schema, V+ C1 e V- C1 rispettivamente in blu e in viola) e in uscita dopo il secondo condensatore (C8 e C13 sullo schema, V+ Out e V- Out rispettivamente in verde e in giallo).

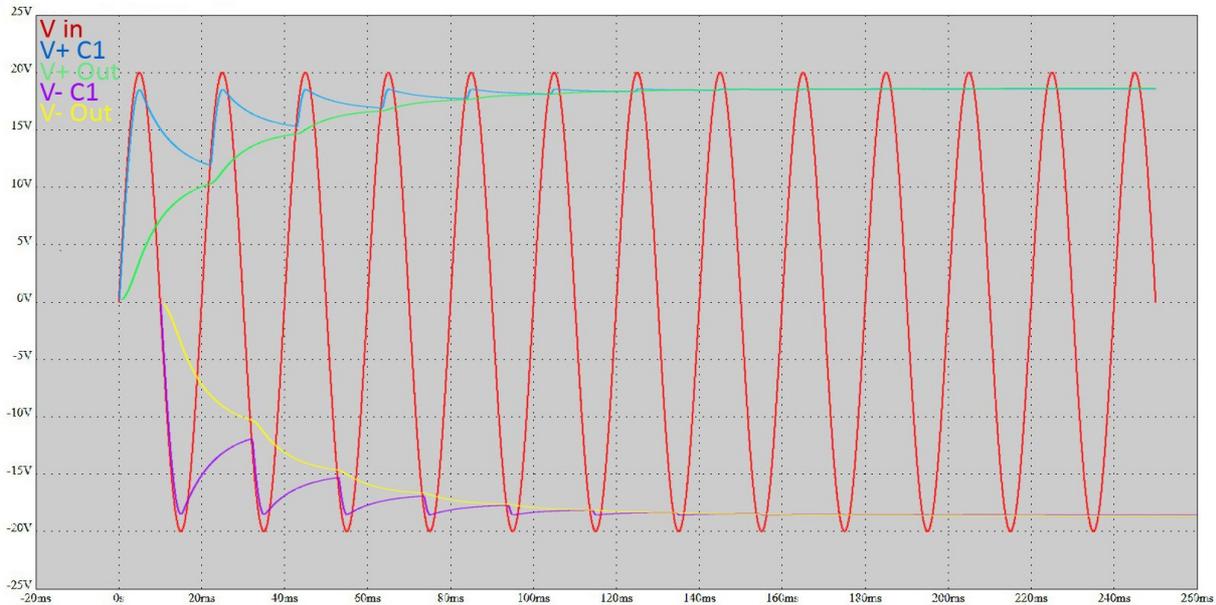


Figura 12: Simulazione stadio di ingresso alimentatore.

Dalla simulazione si può notare come all'avvio i rail hanno un transiente dall'andamento esponenziale, e il voltaggio viene portato in modo graduale alla tensione impostata. Nel paragrafo relativo alle misure, è possibile visualizzare l'andamento reale misurato sul circuito finale. Gli LDO utilizzati per la sezione analogica sono i classici LM317 e LM337 che supportano un ampio range di tensione in ingresso (fino a 40V di differenza tra ingresso e uscita) e un voltaggio in uscita impostabile tramite 2 resistenze (R8/R9, R10/R11). Ovviamente più è alta la differenza tra voltaggio in ingresso e uscita più calore viene generato dall'LDO. Il package scelto per il PCB è un DPAK a 3 pin che può essere saldato direttamente sul PCB. Per questo il calore viene smaltito da sotto il componente stesso e tramite via viene diffuso a un "copper plane" sul lato inferiore del PCB. Per la sezione digitale è stato selezionato un convertitore DC/DC per la maggiore efficienza e per contenere la dispersione di energia in calore. La sezione digitale infatti deve ridurre la tensione da 25V a 5V e con un LDO LM317 utilizzato in un primo prototipo, pur funzionando senza grossi problemi, la dispersione di energia in calore era molto elevata. La resistenza da 0Ω R9 in fine consente di collegare tra loro il piano di massa della sezione digitale e il piano di massa della sezione analogica, se fosse necessario. In questo sistema la resistenza R9 non è installata perché il collegamento tra le 2 masse è sul PCB principale.

La scelta di LDO regolabili e la possibilità di popolare e utilizzare solo una parte del PCB rende questa sezione riutilizzabile per altri progetti o per avere un piccolo alimentatore "d'emergenza" per futuri prototipi.

Circuito principale

La parte principale del sistema è divisa in 2 parti, in Figura 13 è riportato lo schema della parte digitale.

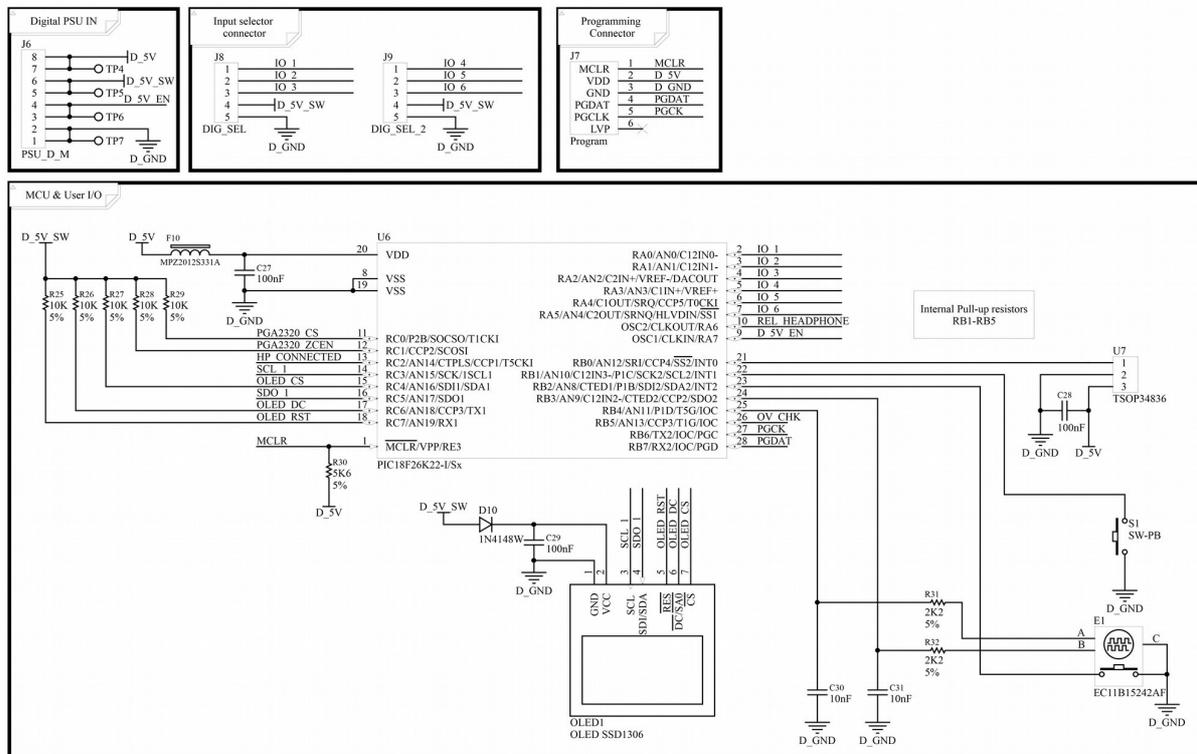


Figura 13: Schema elettrico della parte digitale.

In questa sezione sono presenti tutti i dispositivi digitali di interfaccia utente e gestione dei componenti. Il PIC18F26K22 funziona tramite clock interno a 16MHz e gestisce gli input utente (encoder, switch di selezione ingressi e sensore IR), la selezione dei segnali audio in ingresso, i relay sul segnale audio e il relay sull'alimentatore, il display e il volume con il PGA2320; questi ultimi condividono il bus SPI.

Nel circuito sono presenti alcune resistenze di pullup R25~R29 per mantenere le uscite a livello alto in fase di avvio mentre sulle linee dell'encoder si possono notare 2 filtri RC utilizzati come filtro di debounce hardware. Per limitare i disturbi sull'alimentazione è presente un filtro in ferrite, F10.

Per una questione estetica del pannello frontale, l'encoder non è stato inserito fisicamente sul PCB principale ma è stato sostituito da un connettore a 5 pin in modo da poter installare l'encoder in una posizione più comoda sul pannello. Una descrizione dettagliata degli input e output del microcontrollore è riportata in Tabella 1.

Pin	Nome	Descrizione	Nome Linea	Funzione
1	MCLR		MCLR	
2	RA0	OUTPUT	IO_1	Abilitazione input 1
3	RA1	OUTPUT	IO_2	Abilitazione input 2
4	RA2	OUTPUT	IO_3	Abilitazione input 3
5	RA3	OUTPUT	IO_4	Reset relè input
6	RA4	OUTPUT	IO_5	Abilitazione input 5 (non installato)
7	RA5	OUTPUT	IO_6	Abilitazione input 6 (non installato)
8	VSS		D_GND	
9	RA7	OUTPUT	D_5V_EN	Abilita il relè sull'alimentatore
10	RA6	OUTPUT	REL_HEADPHONE	Abilita l'uscita cuffie
11	RC0	OUTPUT	PGA2320_CS	Abilita il PGA2320 alla ricezione dei dati sul bus SPI
12	RC1	OUTPUT	PGA2320_ZCEN	Abilita o disabilita la funzione zero crossing del PGA2320
13	RC2	INPUT	HP_CONNECTED	Rileva se le cuffie sono connesse
14	RC3	OUTPUT	SCL_1	Clock bus SPI
15	RC4	OUTPUT	OLED_CS	Abilita il display alla ricezione dei dati sul bus SPI
16	RC5	OUTPUT	SDO_1	Linea dati bus SPI
17	RC6	OUTPUT	OLED_DC	Linea DC display
18	RC7	OUTPUT	OLED_RST	Linea RESET display
19	VSS		D_GND	
20	VDD		D_5V	
21	RB0	INPUT	IR_IN	Ingresso dal diodo ricevitore IR
22	RB1	INPUT	SEL_IN_SW	Pulsante di selezione input/exit
23	RB2	INPUT	ENC_SW	Pulsante encoder
24	RB3	INPUT	ENC_A	Linea encoder A
25	RB4	INPUT	ENC_B	Linea encoder B
26	RB5	INPUT	OV_CHK	Controllo di over voltage sull'ingresso
27	RB6	INPUT	PGCK	Linea clock programmazione ICSP
28	RB7	INPUT	PCDAT	Linea dati programmazione ICSP

Tabella 1: Linee I/O del PIC18F26K22.

Lo schema della sezione analogica è riportato in Figura 14 e successive, suddiviso per blocchi funzionali. Lo schema completo è scaricabile negli allegati di supporto al progetto. La prima parte, rappresentata in Figura 14, riceve il segnale dal PCB di selezione ingresso sul connettore IN_A.

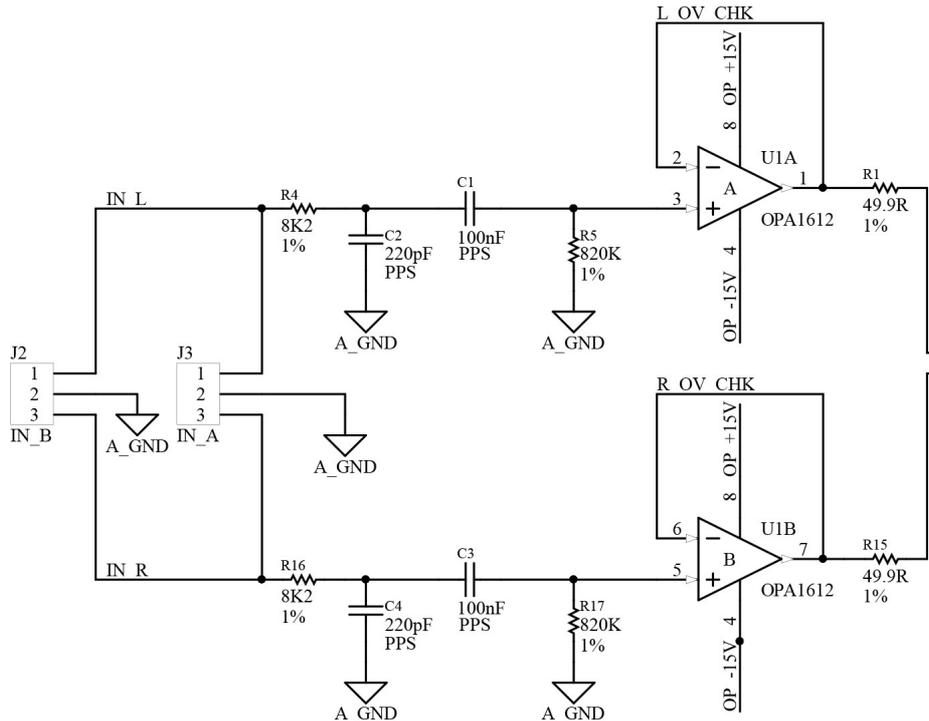


Figura 14: Schema sezione analogica, filtro e buffer.

Il segnale viene filtrato con un filtro passa banda del primo ordine con frequenze impostate a 1.94Hz e 88KHz. Tale filtro permette di pulire il segnale da frequenze basse e alte che non sono udibili e sono principalmente disturbi sul segnale. Dalla simulazione della risposta del filtro, rappresentata in Figura 15, si nota che con i componenti selezionati le frequenze di taglio a -3dB vengono rispettate e il range di frequenze udibili (20Hz~20KHz) non viene alterato. A valle del filtro l'operazionale OPA1612 fa da buffer tra il segnale in ingresso e lo stadio successivo del circuito per adattare l'impedenza della sorgente in ingresso.

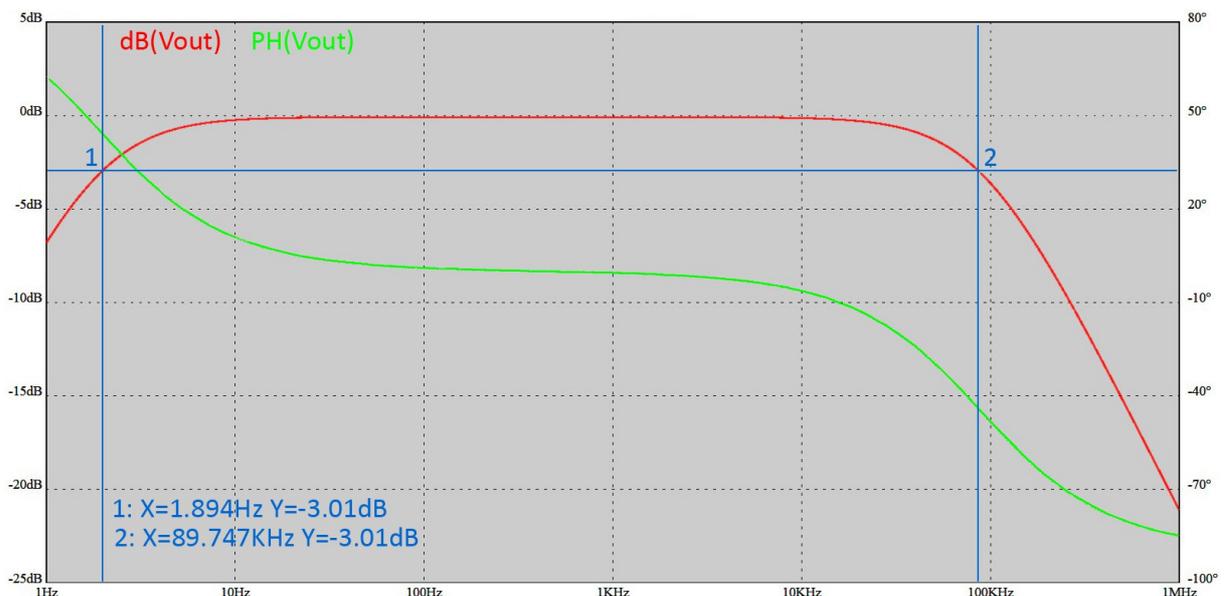


Figura 15: Simulazione della risposta in frequenza del filtro passa banda.

Il segnale passa quindi nel PGA2320 per essere attenuato o amplificato e passa poi allo stadio finale. In Figura 16 si può vedere che l'amplificatore TPA6120A2 è collegato in configurazione non invertente con guadagno 2V/V. Il guadagno è impostato dalle resistenze del circuito di feedback R2/R3 e R6/R7.

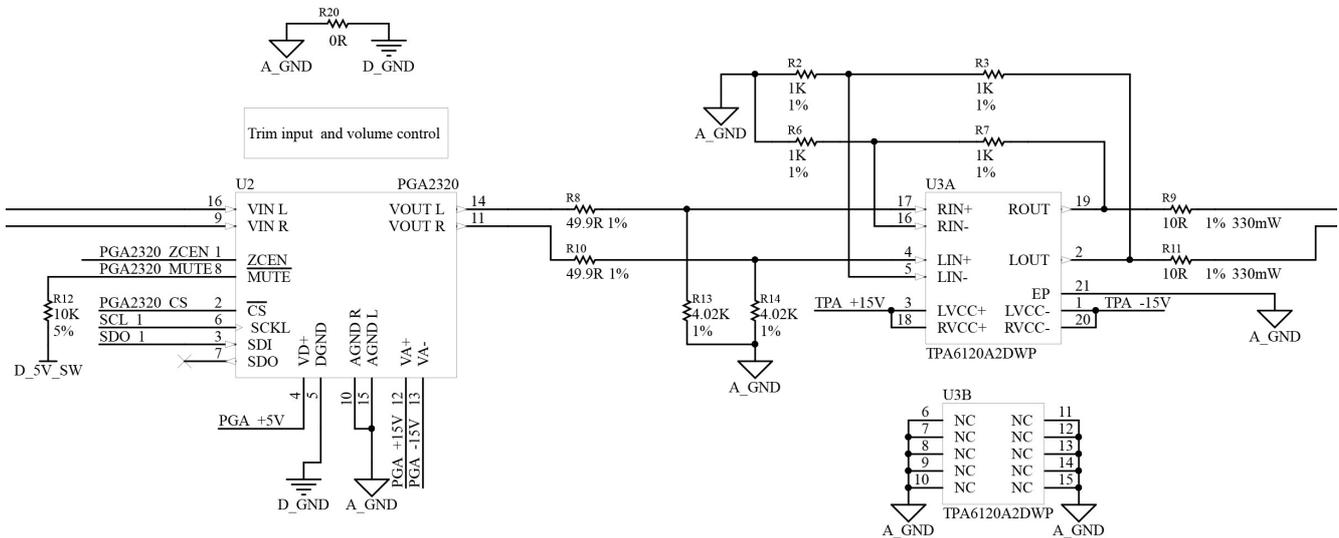


Figura 16: Schema sezione analogica, volume e amplificatore.

Come si può notare il segnale in ingresso sinistro viene mandato al canale destro dell'amplificatore mentre il destro viene amplificato dal canale sinistro; questa inversione del segnale si è resa necessaria per rendere lo sbroglio del PCB il più lineare possibile ma non influisce minimamente sul funzionamento finale del circuito.

Dal data sheet vengono consigliate le resistenze R13 e R14 per limitare l'offset sulle uscite quando non è presente nessun segnale in ingresso. Le resistenze in serie all'uscita R9 e R11 consentono all'amplificatore di funzionare in modo ottimale anche con cuffie a bassa impedenza e lo proteggono quando l'uscita è collegata a massa durante le fasi di avvio.

La resistenza R20 da 0Ω collega la massa della sezione digitale a quella della sezione analogica. Come consigliato nel data sheet del PGA2320 tale collegamento va fatto in un unico punto del circuito e il più vicino possibile al componente stesso per evitare loop di massa (ground loop) che introdurrebbero disturbi sul segnale.

La Figura 17 mostra che il segnale che esce dal TPA6120 va direttamente al jack per le cuffie. Il relay K1 mantiene l'uscita a massa in fase di accensione e spegnimento per attenuare fastidiosi e dannosi click in cuffia. Sul jack cuffie è inoltre presente un contatto per rilevare se le cuffie sono o no connesse, nel caso in cui non ci siano cuffie connesse gli input vengono chiusi.

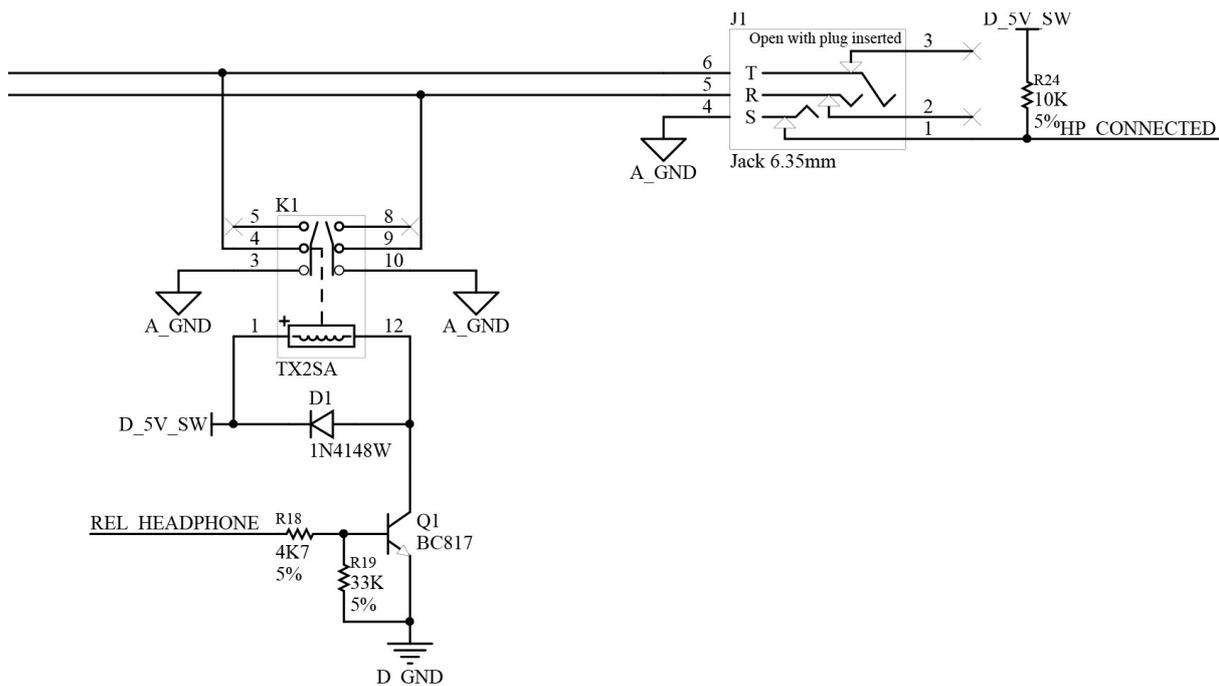


Figura 17: Schema sezione analogica, uscita.

Il circuito di controllo over-voltage (OV) sull'ingresso, mostrato in Figura 18, si occupa di confrontare il segnale in ingresso di entrambi i canali sinistro e destro tramite 4 comparatori.

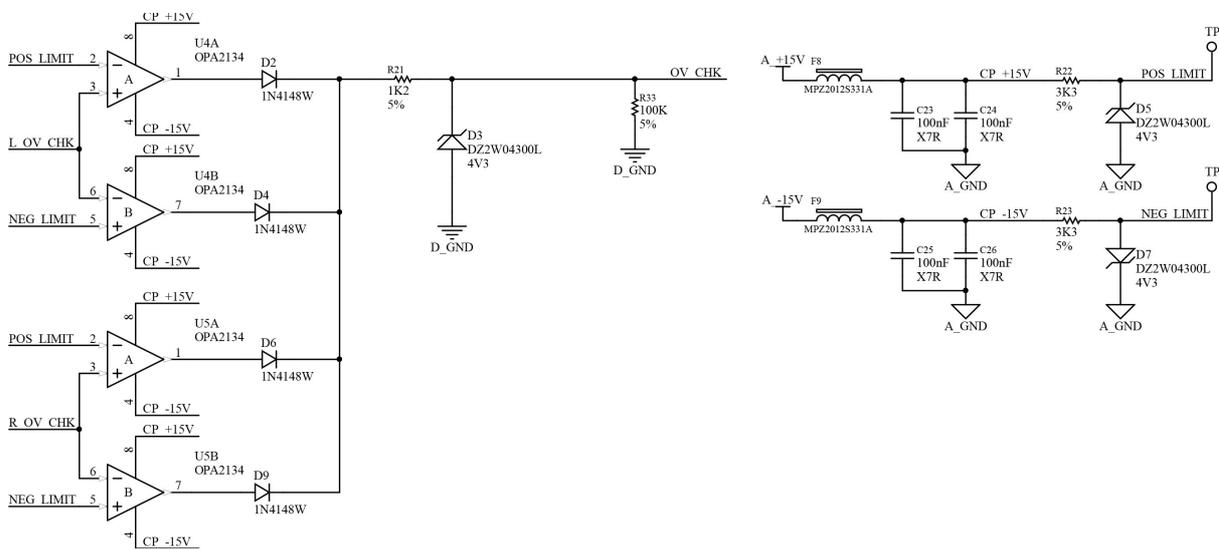


Figura 18: Schema sezione analogica, controllo overvoltage.

Se il segnale su uno dei due canali va sopra o sotto i limiti impostati, l'uscita OV_CHK va a 4V, sufficienti per essere rilevati dal microcontrollore. I valori di riferimento sono ottenuti grazie ai diodi zener D5 e D7 e alle resistenze R22 e R23. Completano la sezione i condensatori di bypass e la ferrite di disaccoppiamento dell'alimentazione. In fine per ogni linea di alimentazione di ogni integrato sono installati i condensatori e i chip di ferrite di disaccoppiamento. I condensatori sono stati selezionati seguendo le linee

guida indicate nel data sheet, in particolare si fa uso di condensatori al tantalio da 10uF ed elettrolitici da 100uF.

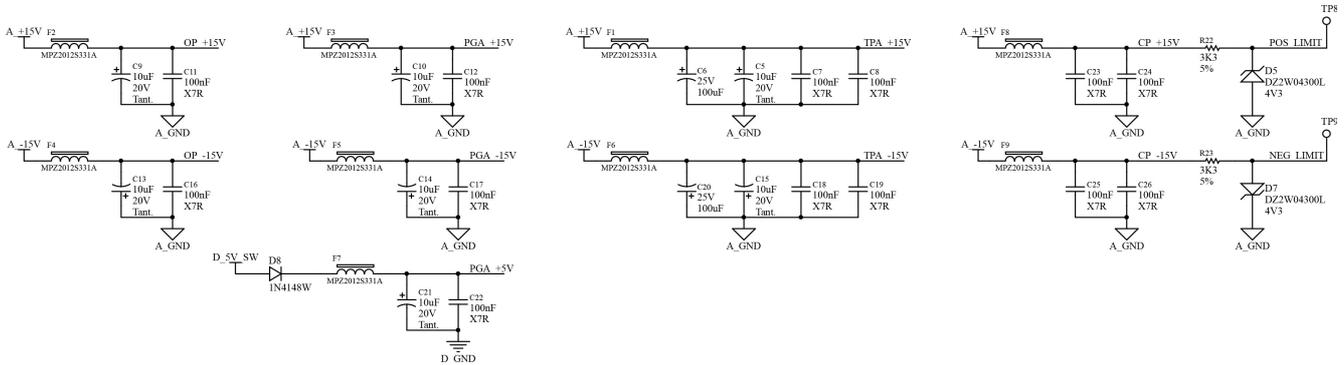


Figura 19: Schema PCB Main, sezione analogica, bypass.

Sezione di input

Il circuito di selezione dell'input è riportato in Figura 20.

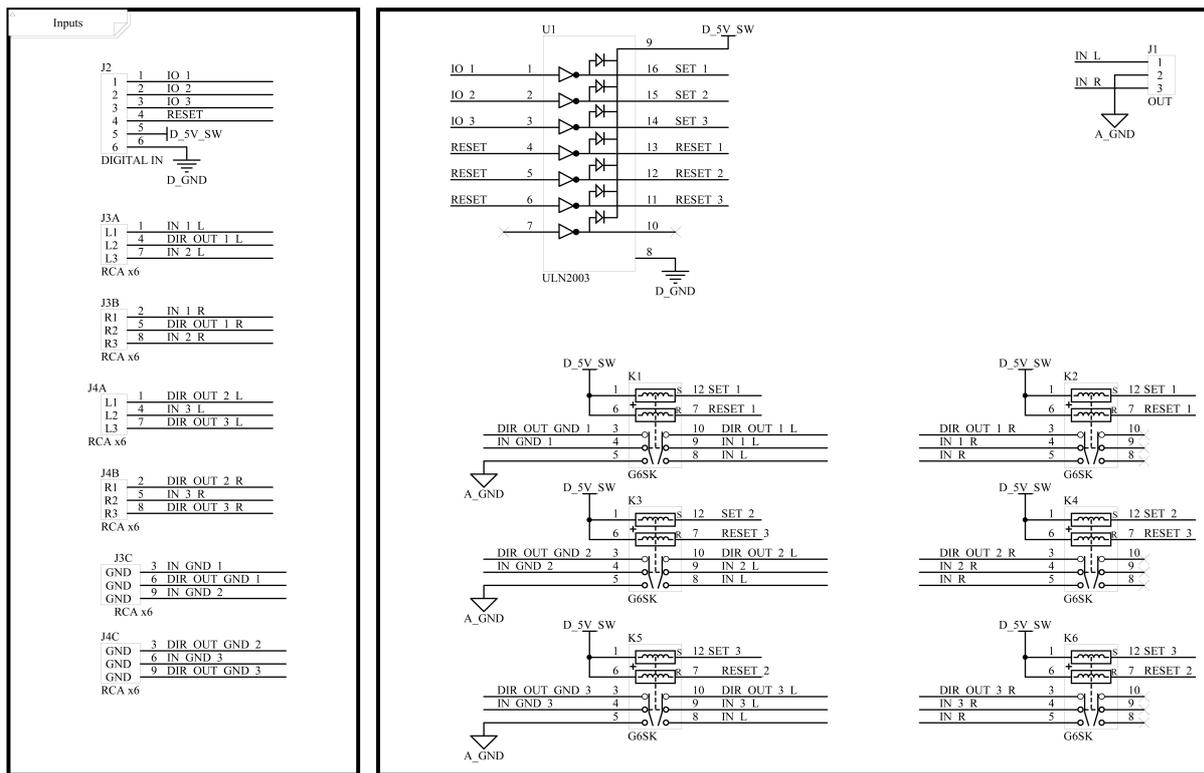


Figura 20: Schema relativo alla sezione di selezione dell'ingresso.

A ogni ingresso sono associati 4 connettori RCA dove 2 sono i connettori di ingresso dei canali sinistro 3 e destro mentre 2 sono le uscite dello stesso segnale. Se l'amplificatore è spento o in stand-by o se l'amplificatore è acceso ma il canale non è selezionato, il segnale presente sugli RCA in ingresso viene rimandato ai rispettivi RCA in uscita. Quando il canale viene selezionato i relè dedicati scollegano gli RCA di uscita e collegano gli RCA di ingresso all'amplificatore.

In questo modo è possibile lasciare l'amplificatore collegato tra sorgente e un eventuale altro amplificatore tradizionale anche quando non viene utilizzato.

Ogni ingresso ha quindi 2 relay dedicati (K1-K2, K3-K4, K5-K6) che vengono pilotati dal microcontrollore tramite il driver ULN2003, scelto unicamente per ridurre il numero di componenti sul PCB. I relay selezionati sono con 2 bobine ad auto ritenuta, mandando un impulso a una delle due bobine il relè viene portato in stato di set o di reset a seconda della bobina eccitata. In questo modo si può mandare solamente un impulso sulla bobina che non rimarrà sotto tensione riducendo i disturbi indotti sul segnale audio. L'unica accortezza da tenere in considerazione utilizzando dei relè di questo tipo è quella di portarli in stato di reset all'avvio in quanto teoricamente si possono trovare in uno qualsiasi dei due stati.

Il driver ULN2003 sostituisce il BJT tradizionalmente utilizzato in questi casi per pilotare dei relay, e va a chiudere il circuito di alimentazione della bobina a massa. Per ogni canale del driver è integrato un diodo di protezione.

Realizzazione del circuito

I circuiti sono stati realizzati su PCB doppia faccia e i componenti utilizzati sono per la maggior parte a montaggio superficiale.

Particolare attenzione è stata posta al layout del PCB principale, con piani di massa separati tra sezione digitale e sezione analogica e collegati tra loro solo in un unico punto. Per ridurre la capacità sull'uscita del TPA6120A2, che potrebbe causare oscillazioni dell'amplificatore in particolari condizioni di funzionamento, il piano di massa sotto i pin di ingresso e uscita è stato rimosso. I PCB principale e PSU si collegano tra loro tramite connettori board to board con ancolo a 90° mentre il PCB Input si collega al PCB principale mediante cavi flat. Il PCB con protezione di linea e gli ingressi dell'alimentatore sono connessi tutti per mezzo di cavi con faston. In Figura 21 sono mostrati i PCB a montaggio ultimato, i dettagli sul PCB, gerber file e montaggio dei componenti, sono riportati nella relativa documentazione del PCB e scaricabili come file separati.

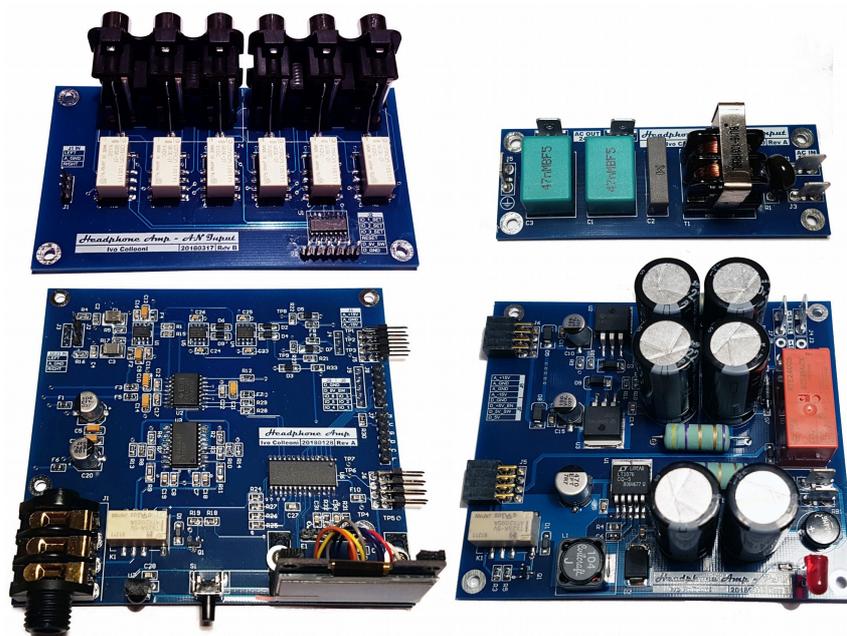


Figura 21: Circuiti completi a montaggio ultimato.

In Figura 22 sono mostrati i modelli 3D delle schede sviluppati durante la fase della progettazione del sistema. In particolare i modelli 3D risultano utili per avere un primo riscontro sul posizionamento dei componenti e problematiche di tipo meccanico, associate agli stessi.

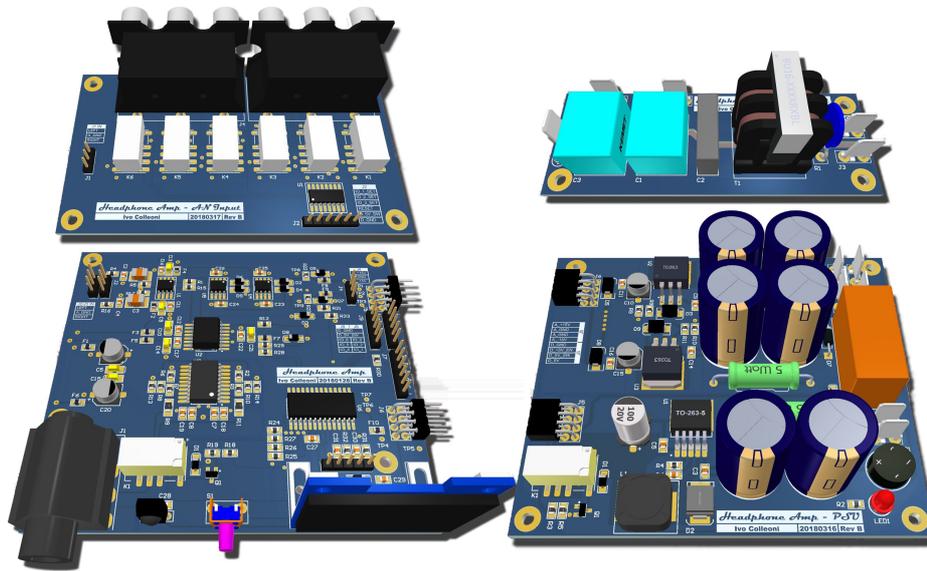


Figura 22: Circuiti completi (modelli 3D).

Lista Componenti

Nelle tabelle seguenti sono elencati i componenti divisi per PCB.

Designator	Q.tà	Valore	Volt	Tipo	Tol.	Footprint	Produttore	P/N produttore
C1, C3	2	47nF	300V	Y2	20%	RADIAL 18x13mm	Kemet	PHE850EH5470MB1 7R17
C2	1	100nF	310V	X2	20%	RADIAL 18x5MM	Kemet	R463I310000M1M
J1, J2, J3, J4, J5	5	Faston					Te Connectivity	63849-1
R1	1	ERZE08A431	275V				Panasonic	ERZE08A431
T1	1	BU16- 1031R0BL				Pin pitch 7mm	Coilcraft	BU16-1031R0BL

Tabella 2: Lista componenti PCB Protezione AC.

Designator	Q.tà	Valore	Volt	Tipo	Tol.	Footprint	Produttore	P/N produttore
J1	1	OUT				2,54mm		
J2	1	DIGITAL IN				2,54mm		
J3, J4	2	RCA x6						JAD0035803668000558
K1, K2, K3, K4, K5, K6	6	GS6K					Omron	GS6K-2F
U1	1	ULN2003				SOIC16	Texas Instruments	ULN2003

Tabella 3: Lista componenti PCB Input.

Designator	Q.tà	Valore	Volt	Tipo	Tol	Footprint	Produttore	P/N produttore
C1, C2, C7, C8, C12, C13	6	2200uF	50V	Electrolytic		RADIAL 16mm	Rubycon	50PX2200MEFC16X31.5
C3, C5, C9, C11, C14, C16	6	100nF	50V	X7R	10%	0805	Multicomp	MCU0805R104KCT
C4	1	470uF	25V	Elect.	20%	SMD 8mm	Panasonic	EEEF1E471AP
C6	1	33nF	50V			0805	Multicomp	MC0805B333K500CT
C10, C15	2	100uF	35V	Elect.	20%	SMD 6mm	Panasonic	EEEFK1V101XP
D1, D6	2	1N4148W				SOD-123	Multicomp	1N4148W
D2	1	MBRS340T3G	40V			DO-214AB	On Semiconductor	MBRS340T3G
D3, D5, D8, D9	4	MRA4003				SMA	On Semiconductor	MRA4003
D4, D7	2	1N4004				DO-41	On Semiconductor	1N4004RLG
J1, J2, J3, J4, J7, J8	6	Faston					Te Connectivity	63849-1
J5	1	PSU_D_F				2,54x2	Samtec	SSW-104-02-G-D-RA
J6	1	PSU_A_F				2,54x2	SAM Samtec TEC	SSW-104-02-G-D-RA
K1	1	TX2SA					Panasonic	TX2SA X
K2	1	RTE24005					Te Connectivity	RTE24005
L1	1	100uH					Coilcraft	MSS1260-104MLD
LED1	1	RED				LED 5mm	Multicomp	703-0100
Q1	1	BC817				SOT23	Multicomp	BC817
R1, R7, R12	3	4R7				0805	Yageo	PNP5WVJT-73-4R7
R2	1	330R			5%	0805	Multicomp	MC01W08055330R
R3	1	1K5			5%	0805	Multicomp	MCMR08X152 JTL
R4	1	4K7			5%	0805	Multicomp	MCWR08X4701FTL
R5	1	33K			5%	0805	Multicomp	MCMR08X333 JTL
R6	1	0R				0805	Multicomp	MCWR12X000 PTL
R8, R11	2	270R			1%	0805	Multicomp	MCWR08X2700FTL
R9, R10	2	2K94			1%	0805	Panasonic	ERJ6ENF2941V
RB1	1	Diode Bridge				0805	Multicomp	W04MG
U1	1	LT1076-5				TO263-5	Linear technology	LT1076CQ-5#PBF
U2	1	LM317				TO263-3	Texas Instruments	LM317K1TR
U3	1	LM337				TO263-3	Texas Instruments	LM337K1TR

Tabella 4: Lista componenti PCB PSU.

Designator	Q.t à	Valore	V	Tipo	Tol.	Package	Produttore	P/N produttore
C1, C3	2	100nF	50	PPS	5%	1913	Panasonic	ECHU1H104GX9
C2, C4	2	220pF	50	PPS	5%	805	Panasonic	ECHU1H221JX5
C30, C31	2	10nF	50V	X7R	10%	805	Multicomp	MCU0805R103KCT
C5, C9, C10, C13, C14, C15, C21	7	10uF	20V	Tantalio	20%	1206	Kemet	T491A106M020AT
C6, C20	2	100uF	25V	Elettrolitico		6mm SMD	Panasonic	EEEFK1E101XP
C7, C8, C11, C12, C16, C17, C18, C19, C22-C29	16	100nF	50V	X7R	10%	805	Multicomp	MCU0805R104KCT
D1, D2, D4, D6, D8, D9, D10	5	1N4148W				SOD-123	Multicomp	1N4148W
D3, D5, D7	3	DZ2W04300L	4,3 V			SOD-123	Panasonic	DZ2W04300L
E1	1	EC11B15242AF				2,54mm	Alps	EC11B15242AF
F1-F10	10	MPZ2012S331A				805	TDK	MPZ2012S331A
J1	1	Jack 6.35mm					Cliff	CL12345
J2	1	IN_B				2,54mm		
J3	1	IN_A				2,54mm		
J4	1	PSU_A_EXT				2,54mm		
J5	1	PSU_A_M				2,54x2	Multicomp	MC34767
J6	1	PSU_D_M				2,54x2	Multicomp	MC34767
J7	1	Program				2,54mm		
J8	1	DIG_SEL				2,54mm		
J9	1	DIG_SEL_2				2,54mm		
K1	1	TX2SA					Panasonic	TX2SA X
OLED1	1	OLED SSD1306				2,54mm		
Q1	1	BC817				SOT-23	Multicomp	BC817
R1, R8, R10, R15	4	49.9R			1%	805	Multicomp	MCWR08X49R9FTL
R12, R24, R25, R26, R27, R28, R29	7	10K			5%	805	Multicomp	MCMR08X103 JTL
R13, R14	2	4.02K			1%	808	Panasonic	ERJP06F4021V
R18	1	4K7			5%	805	Multicomp	MCWR08X4701FTL
R19	1	33K			5%	805	Multicomp	MCMR08X333 JTL
R2, R3, R6, R7	4	1K			1%	805	Multicomp	MCWR08X1001FTL
R20	1	0R				1206	Multicomp	MCWR12X000 PTL
R21	1	1K2			5%	805	Multicomp	MCMR08X122 JTL
R22, R23	2	3K3			5%	805	Multicomp	MCMR08X332 JTL
R30	1	5K6			5%	805	Multicomp	MCMR08X562 JTL
R31, R32	2	2K2			5%	805	Multicomp	MCMR08X222 JTL
R33	1	100K			5%	805	Multicomp	MCMR08X104 JTL
R4, R16	2	8K2			1%	805	Multicomp	MCWR08X8201FTL
R5, R17	2	820K			1%	805	Multicomp	MCWR08X8203FTL
R9, R11	2	10R			1%	1206	Multicomp	MCPWR06FTFO010 0
S1	1	SW-PB					Alps	SKHHLQA010
U1	1	OPA1612				SOIC8	TI	OPA1612AID
U2	1	PGA2320				SOIC16	TI	PGA2320IDW
U3	1	TPA6120A2DW P				HSOP20	TI	TPA6120A2DWPR
U4, U5	2	OPA2134				SOIC8	TI	OPA2134UAE4
U6	1	PIC18F26K22- I/Sx				SOIC28	Microchip	PIC18F26K22-I/SS
U7	1	TSOP34836				TSOP348	Vishay	TSOP34836

Tabella 5: Lista componenti PCB principale.

Analisi del firmware

Il Firmware è stato scritto in C e compilato con XC8 v.1.45. Il progetto allegato è stato creato con MPLAB X (v.4.05), in allegato sono fornite anche tutte le librerie utilizzate dal progetto e sono utilizzabili e personalizzabili anche per altri progetti.

Il ciclo del programma principale, semplificato, è riassunto in Figura 23, per maggiori dettagli si può far riferimento al codice e ai relativi commenti.

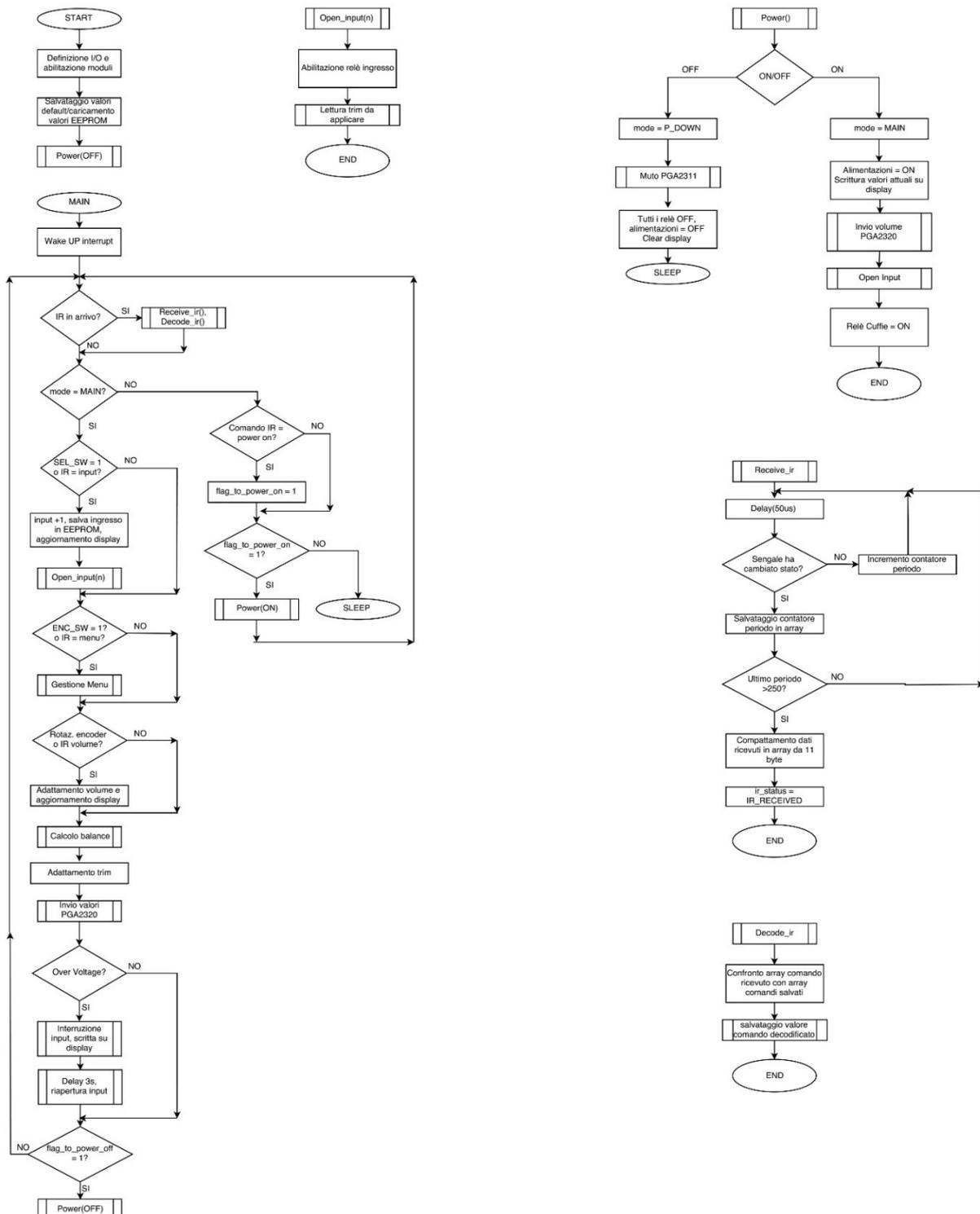


Figura 23: Diagramma di flusso.

Sorgenti

- Main.c: corpo principale del programma.
- Main.h: configurazioni generali.
- Prototipi.h: prototipi di funzioni.

Librerie allegate

- Delay.c: cicli di ritardo.
- EEPROM.c: lettura e scrittura EEPROM interna.
- Manage_input.c: gestione pulsanti e debounce.
- SPI_init.c: gestione protocollo SPI.
- PGA23xx.c: gestione PGA2320.
- OLED_SSD1306.c: gestione OLED.
- GLCD_common_graphics: funzioni di grafica e scrittura condivise

Tutte le librerie sono formate da 3 file: il file xxx.c che contiene il codice delle funzioni, il file xxx.h che contiene i parametri standard di funzionamento, la documentazione e i prototipi delle funzioni e il file xxx_settings.h che contiene i parametri impostabili dall'utente specifici per il progetto.

All'interno del file Main.h si possono personalizzare il numero di input usati, da 1 a 6 tramite la costante IO_USED, e il numero di tipologie di controllo remoto in caso si implementassero nuovi tipi di telecomandi IR. Nel file Graphics.h è possibile personalizzare le posizioni delle scritte sul display.

Sviluppo del contenitore

Durante la fase di progettazione è stata riposta particolare attenzione alla disposizione dei circuiti nel contenitore e al risultato finale che si voleva ottenere.

Partendo dalla scatola selezionata, reperibile in rete con il codice S2207, è stato possibile realizzare un modello 3D del sistema completo e individuare la disposizione e la dimensione ottimale dei vari componenti. In Figura 24 si può vedere il modello 3D del sistema completo e in Figura 25 il risultato finale per un confronto.

Per ottenere un risultato preciso non sono stati utilizzati il pannello frontale e il pannello posteriore della scatola originali ma sono stati realizzati in Plexiglass grazie al servizio online di una ditta italiana di taglio materiali su misura [2]. In particolare il pannello frontale è formato da 2 strati di Plexiglass: il primo esterno trasparente con solamente i fori per il jack delle cuffie, il tasto e l'encoder; il secondo interno nero con l'apertura per il display e il ricevitore IR.

Per fissare i PCB e il trasformatore all'interno del contenitore sono stati realizzati dei piccoli supporti di plastica con una stampante 3D e sono stati incollati all'interno della scatola.

Tutti i file per la realizzazione dei pannelli e dei supporti sono scaricabili con il materiale di supporto al progetto.



Figura 24: *Modello 3D completo.*



Figura 25: *Risultato finale.*

Collaudo e messa in funzione

Il sistema presentato nell'articolo ha delle parti ad alta tensione. Il progetto è pensato come sistema di sviluppo e nel realizzarlo devono essere prese le dovute precauzioni per un sistema ad alta tensione. La mancata osservanza delle norme di sicurezza può rappresentare un pericolo di vita per l'operatore. Qualora non si abbia la dovuta esperienza e qualifica è bene far compiere il montaggio del sistema a tecnici qualificati.

Dopo aver assemblato i PCB è bene lasciarli disconnessi tra loro e controllare che non ci siano cortocircuiti dovuti alla produzione dei PCB o creatisi in fase di saldatura, per far questo basta controllare con un multimetro che tra i seguenti punti non vi sia continuità:

PCB Protezione AC

- Tra J1 e J3
- Tra J2 e J5
- Tra J4 e J5
- Tra J2 e J4

PCB Input

- J2: tra pin 5 e 6

PCB PSU

- J5: tra pin 1,2 e 7,8
- J5: tra pin 1,2 e 5,6
- J6: tra pin 1,2 e 3,4,5,6
- J6: tra pin 7,8 e 3,4,5,6

PCB principale

- Tra TP1 e TP2
- Tra TP2 e TP3
- Tra TP1 e TP3
- Tra TP4 e TP7
- Tra TP6 e TP7

A questo punto collegare solamente la sezione di alimentazione al trasformatore, o se si ha la possibilità collegare una sorgente di corrente alternata a 18V, ai faston J1/J2 e J4/J7; il LED1 dovrebbe accendersi immediatamente. Controllare con un multimetro che tra i pin 1 e 7 del connettore J1 siano presenti 5V.

Creare un collegamento temporaneo tra i pin 7 e 3 del connettore J1 per abilitare completamente l'alimentatore, i relè K1 e K2 vengono eccitati. Controllare che tra i pin 1 e 5 del connettore J1 siano presenti 5V.

Allo stesso modo controllare che tra i pin 1 e 3 e i pin 3 e 7 del connettore J2 siano presenti rispettivamente +15V e -15V.

Completare i collegamenti tra i PCB, programmare il PIC verificare che i valori rilevati corrispondano ai valori di riferimento riportati in Tabella 6.

Pin	Stand-by	ON
TP7 - TP4	5V	5V
TP7 - TP5	0V	5V
TP2 - TP1	0V	+15V
TP2 - TP3	0V	-15V
TP2 - TP8	0V	+3.8V
TP2 - TP9	0V	- 3.4V

Tabella 6: Tensioni di riferimento

Mandare in un ingresso RCA un'onda sinusoidale da 1KHz e ampiezza 5Vpp e impostare il volume a 0.0dB. Inserire un jack cuffie (senza cuffie, solo per bypassare il controllo di connessione cuffie) e verificare sul connettore d'uscita J1 che l'onda sia identica a quella inviata in ingresso quando l'ingresso è selezionato; ripetere l'operazione con tutti gli ingressi.

Verificare che l'onda sia rimandata ai connettori in uscita direct out quando l'ingresso non è selezionato e quando il sistema è spento, portare la sinusoide in ingresso a 8Vpp e verificare che il circuito di protezione interrompa l'ingresso.

E' inoltre possibile leggere un log di debug via UART seguendo i seguenti passi:

- Rimuovere il commento alla riga `#define UART_DEBUG` nel file `main.h`.
- Collegare il PIN 5 e il pin 3 del connettore J7 (rispettivamente PGCLK e GND) al pin RX e al pin GND di un qualsiasi convertitore TTL-USB.
- Impostare il terminale RS232 con baud rate 115200, data bits 8, stop bits 1, parity none.

I dati verranno visualizzati all'avvio dopo la connessione all'alimentazione, ad ogni accensione e spegnimento e ad ogni ricezione IR.

Misure di verifica del sistema

Nel capitolo seguente sono riportate alcune misure rilevate sul sistema ultimato. In Figura 26 è rappresentato il transiente di avvio del rail positivo +15V, in rosso la tensione rilevata ai capi di C7, in blu la tensione misurata ai capi di C8. L'andamento rilevato è in linea con la simulazione riportata in Figura 12.

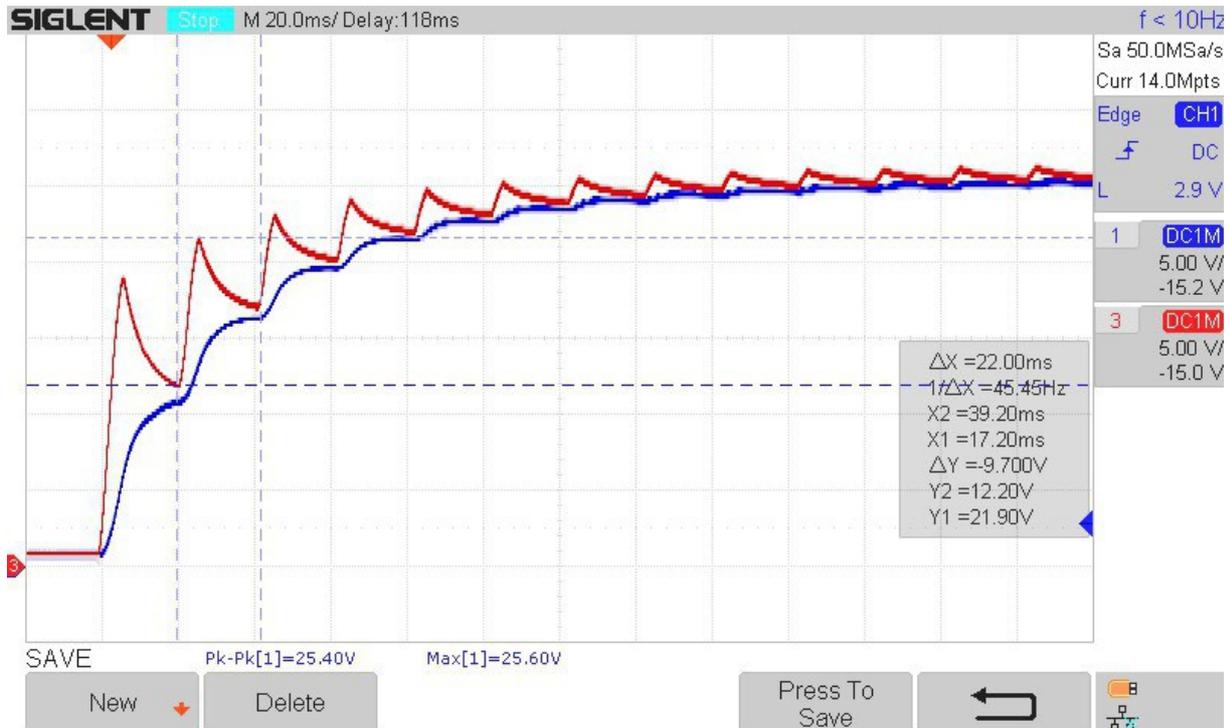


Figura 26: Misura del transiente sulla linea di alimentazione +15V.

Dopo il transiente di avvio rimane un'oscillazione residua (ripple) sotto carico di 176mV ai capi del condensatore C8 come rappresentato in Figura 27.

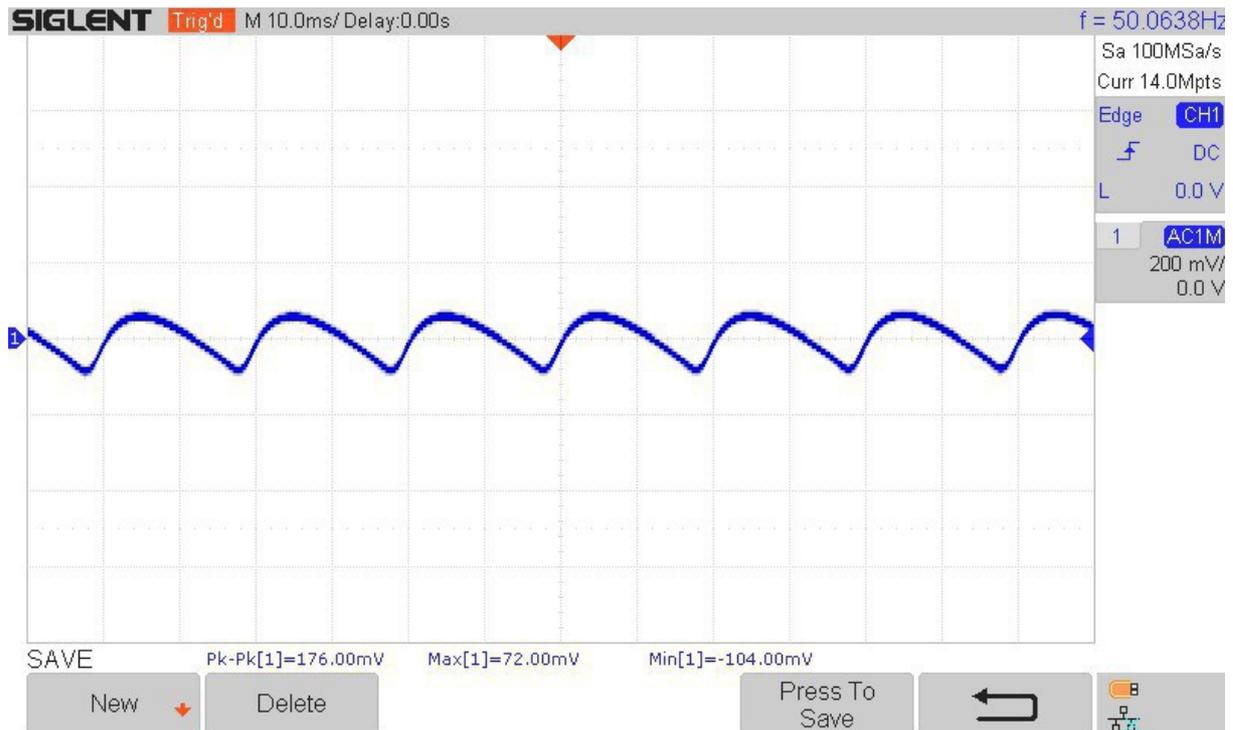


Figura 27: Ripple sulla linea di alimentazione +15V.

Sull'uscita del regolatore di tensione rimane un rumore di soli 7.84mV come mostrato in Figura 28. Valori del tutto simili sono rilevati anche sul rail negativo.

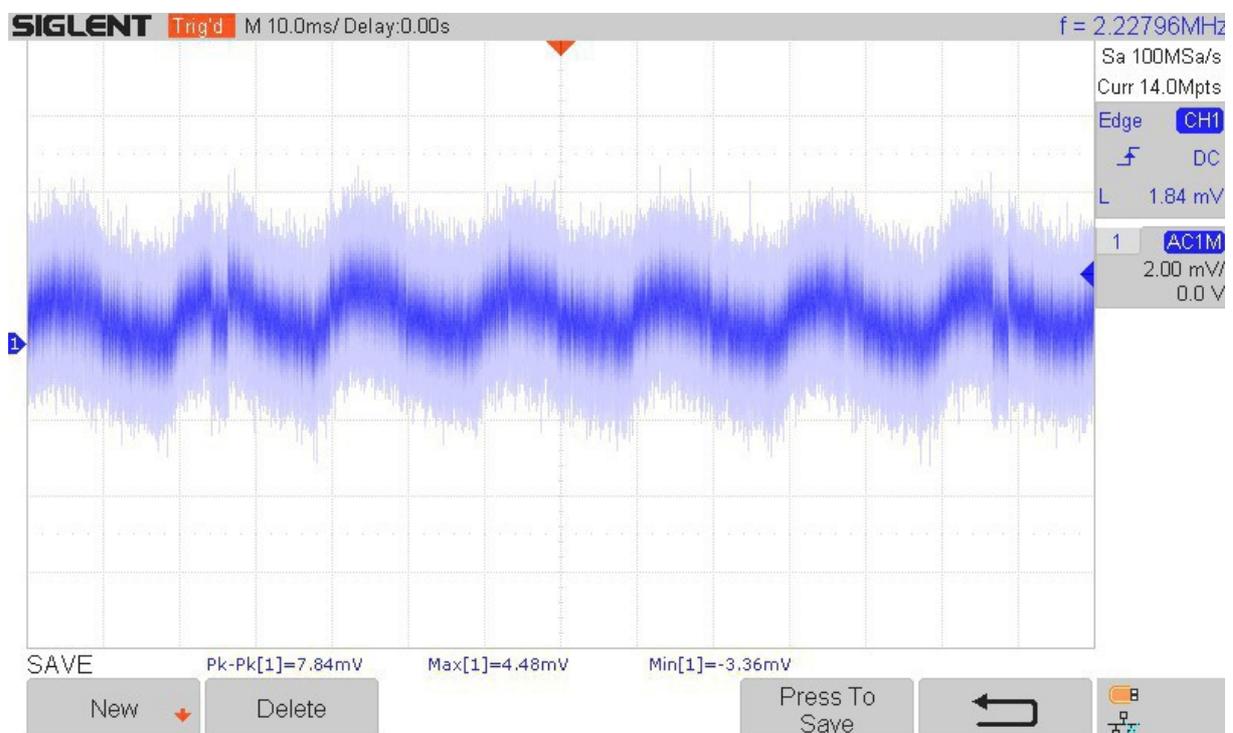


Figura 28: Rumore presente sulla linea di alimentazione +15V.

In Figura 29 è riportata la risposta in frequenza del sistema a vuoto (carico interno 10Ω) e con volume impostato a 0dB mentre in Figura 30 la fase del segnale con le stesse condizioni.

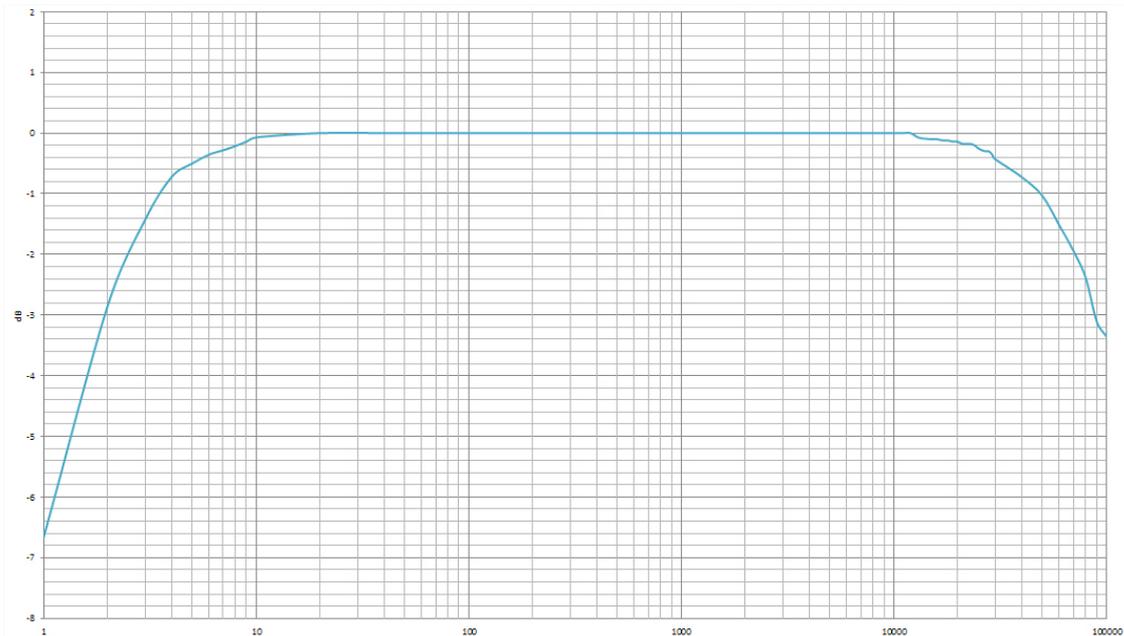


Figura 29: Risposta in frequenza del sistema.

In questa misurazione è stato preso in considerazione un range di frequenze più ampio rispetto alle frequenze udibili per evidenziare la risposta del filtro passa banda. Si nota come la risposta in frequenza e la fase siano in linea con le simulazioni effettuate e riportate in Figura 15. A -3db si trovano le frequenze di taglio impostate di 1.9Hz e 90KHz. Questa misurazione è stata fatta con generatore di funzioni e oscilloscopio con un totale di 60 misurazioni.

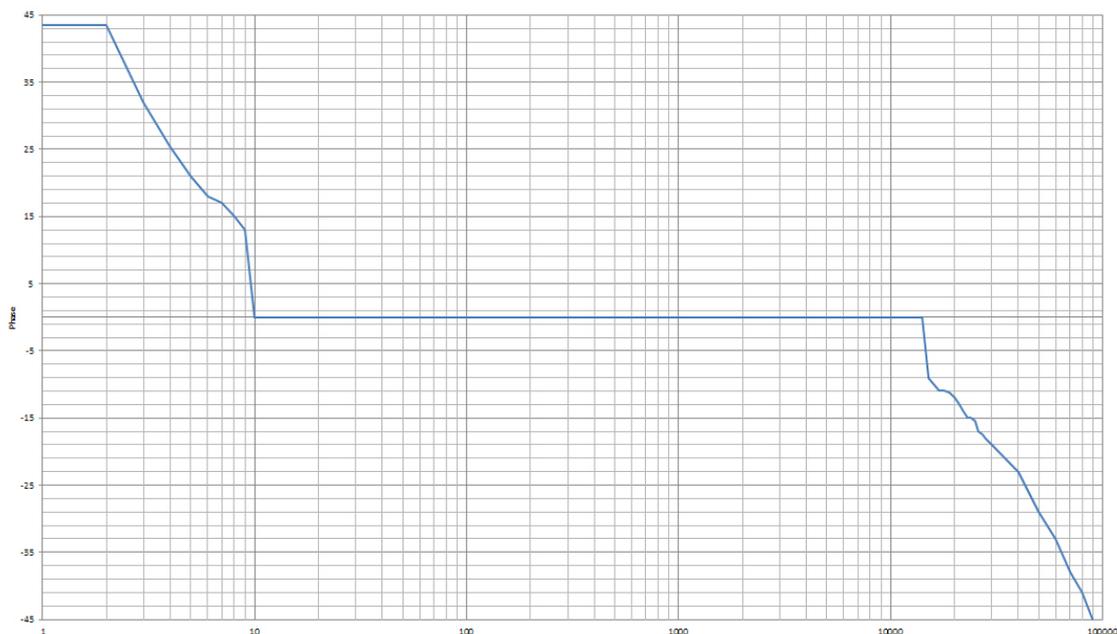


Figura 30: Fase del filtro.

In Figura 31 sono rappresentate la fase del segnale, nella parte superiore, e la risposta in frequenza, nella parte inferiore, prendendo in considerazione le frequenze udibili da 20Hz a 20KHz a vari volumi. Si può notare come la risposta in frequenza sia pressoché lineare da -48dB a +12dB.

Con volume a -60db invece la risposta in frequenza è meno lineare sulle altre frequenze ma non si esclude che tale valore sia derivato dal metodo di misurazione usato che è poco adatto a misurare valori di ampiezza ridotta come nel caso di un segnale audio a -60dB che è nell'ordine dei mV.

Per fare questa misurazione è stato adottato un metodo molto usato in ambiente audio live per misurare le risposte in frequenza e gli allineamenti degli impianti audio. In particolare si fa uso di una scheda audio USB e un software di analisi RTA. Dal software viene generato un segnale di riferimento (tipicamente rumore rosa) e viene mandato all'uscita della scheda audio, questo segnale viene rimandato a 1 ingresso della scheda audio e farà da segnale di riferimento, e all'ingresso del circuito da analizzare (o dell'impianto da testare), l'uscita del circuito (o il segnale acquisito dal un microfono lineare in caso di analisi di impianti audio) viene mandata nel secondo ingresso della scheda audio. Il software confronta i 2 segnali in ingresso (riferimento e segnale processato dal circuito o dall'impianto) e calcola la risposta in frequenza del sistema.

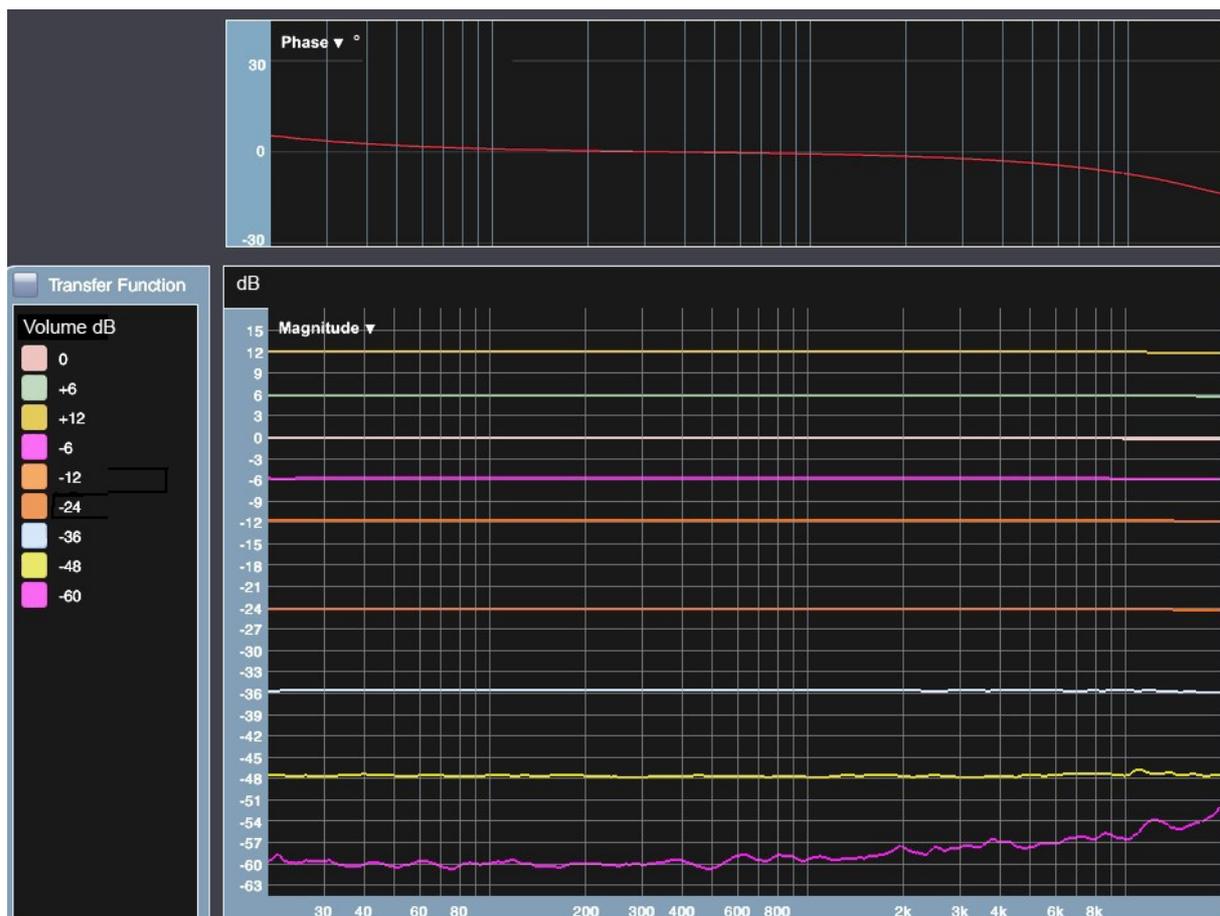


Figura 31: Risposta in frequenza del sistema.

In Figura 32 è riportata la misurazione del livello di crosstalk tra il canale sinistro e il canale destro.

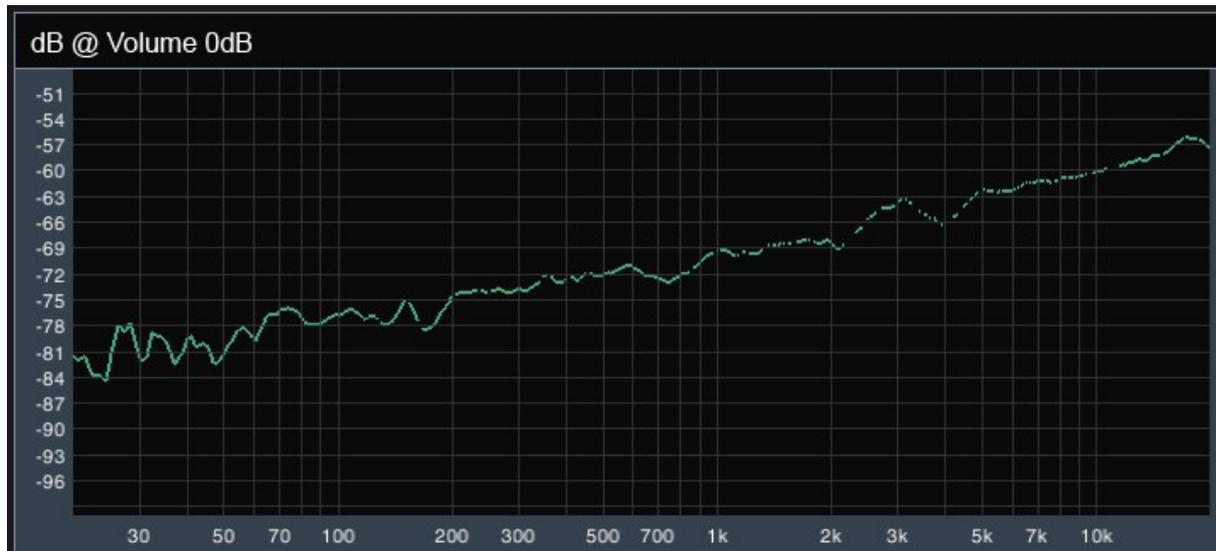


Figura 32: Misura del Crosstalk.

Infine in Figura 33 è riportata la misurazione del tempo di risposta di chiusura dell'ingresso a seguito di un over voltage. Si può notare come appena il segnale, rappresentato dalla linea blu, passa una delle due soglie il comparatore manda la sua uscita a livello alto, linea verde, e i relè di ingresso e uscita vengono disattivati, linea rossa. Il tempo di reazione misurato dal superamento della soglia alla disattivazione dei relè è di soli 5.28uS.

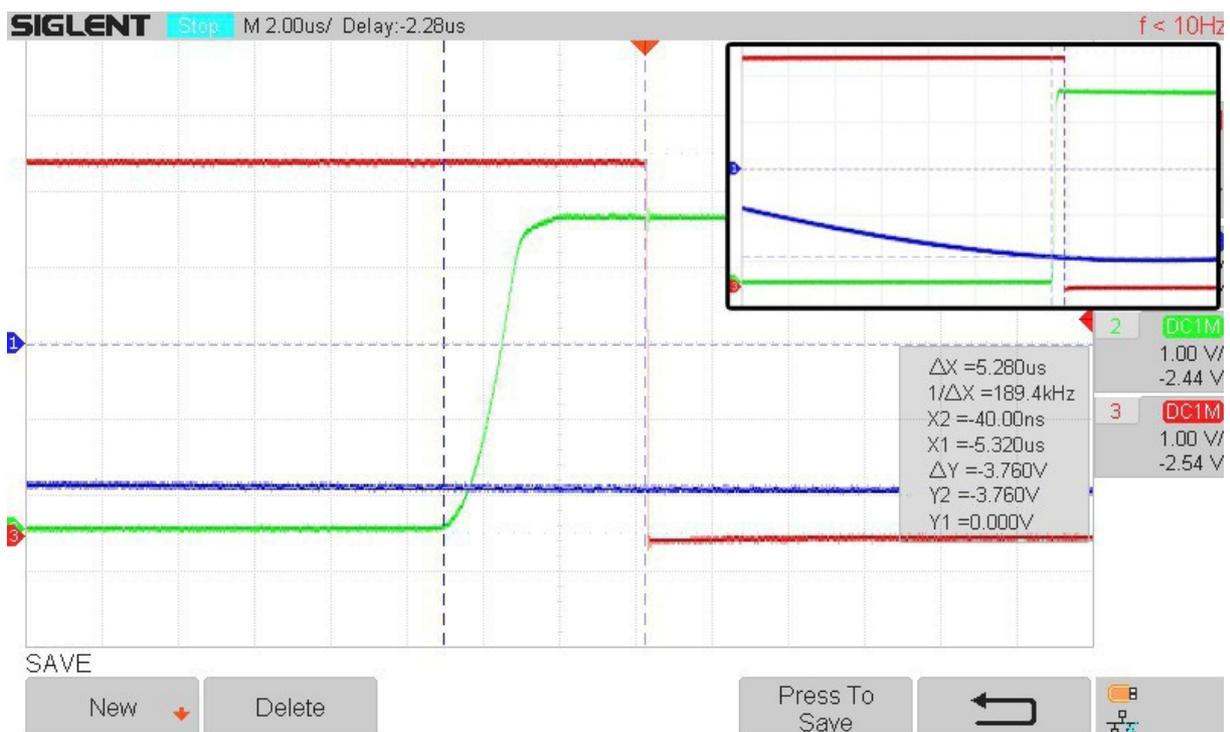


Figura 33: Tempo di risposta overvoltage detect.

Utilizzo del sistema

In Figura 34 sono riportati i principali elementi del sistema.

- a. Uscita cuffie
- b. Ricevitore IR
- c. Pulsante selezione ingresso/esci
- d. Display OLED
- e. Encoder/pulsante menu
- f. LED accensione
- g. Presa AC 220V, fusibile e interruttore
- h. RCA Left
- i. RCA Right
- j. Ingressi (1 a sinistra)
- k. Uscite (1 a sinistra)



Figura 34: *Leggenda elementi.*

Dopo aver collegato il sistema alla presa di corrente e dopo aver acceso l'interruttore principale, se installato, il sistema si avvia e dopo 2 secondi entra in Stand-by e solamente il LED rosso sul pannello frontale rimane acceso.

Attenzione: il livello audio in uscita sulle cuffie varia a seconda dell'impedenza delle cuffie stesse. La potenza erogata dal sistema è molto elevata, partire da un livello basso e incrementare cautamente il volume per prevenire danni alle cuffie e all'udito.

I comandi principali posti sul pannello principale svolgono tutte le funzioni di base:

- Rotazione encoder: regolazione volume, selezione menu.
- Pressione encoder: menu, conferma selezione, modifica valore.
- Tasto selezione input: cambia ingresso, esci/annulla.

Premere l'encoder o il pulsante di selezione ingresso per accendere il sistema. Sul display viene mostrata la schermata principale come rappresentato in Figura 35.



Figura 35: Schermata principale.

Nella parte alta del display viene mostrato:

- L'ingresso selezionato
- La scritta "NO HP" a indicare che le cuffie non sono connesse.
- La scritta "OVER" a indicare che è stato rilevato un voltaggio in eccesso sull'input selezionato.
- La scritta "Mute", quando il volume è al minimo.

Al centro del display viene mostrato il volume attuale. Se le cuffie non sono connesse, o se attiva la modalità mute, viene mostrato il valore -99,9dB. Per cambiare l'ingresso bisogna premere il tasto di selezione input sul pannello frontale. Per modificare il volume ruotare l'encoder mentre per entrare nel menù bisogna premere l'encoder.

Il menù si presenta come in Figura 36, ruotare l'encoder per selezionare la voce desiderata e premere l'encoder per confermare, oppure premere il tasto di selezione input per uscire dal menù. Selezionare la riga Mute per mettere in muto o riabilitare l'audio, selezionare la riga Power OFF per spegnere il sistema.

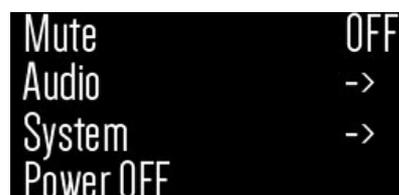


Figura 36: Schermata menu.

Selezionare Audio per entrare nel sotto-menù relativo alle impostazioni audio come mostrato in Figura 37.

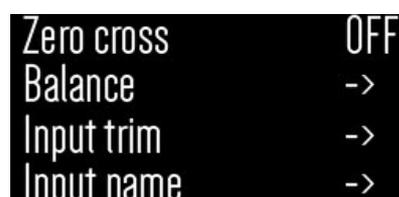


Figura 37: Schermata menu.

Selezionare la riga Zero cross per abilitare o disabilitare la funzione di zero crossing del PGA2320. Con le voci Balance, Input trim e Input name, si possono modificare il bilanciamento del segnale Sinistra/Destra, il livello di trim da applicare a ogni ingresso e il nome da associare a ogni ingresso.

In Figura 38 è rappresentata la finestra di impostazione del bilanciamento. Ruotando l'encoder si può spostare il bilanciamento verso destra o verso sinistra. Una barra e un indicatore di livello mostrano l'impostazione sul display.



Figura 38: Schermata balance.

In Figura 39 è rappresentata la finestra di impostazione del livello di input trim. Selezionare la riga Input e premere l'encoder per selezionare l'input desiderato, selezionare la riga Level, premere l'encoder e successivamente ruotarlo per impostare il livello desiderato. Premere nuovamente l'encoder per salvare il valore, premere il pulsante di selezione input per tornare al valore precedente.



Figura 39: Schermata Input trim.

In Figura 37 è rappresentata la schermata di selezione del nome da associare all'input. Selezionare la riga Input e premere l'encoder per selezionare l'input desiderato, selezionare la riga Name, premere l'encoder e successivamente ruotarlo per impostare il livello desiderato. Premere nuovamente l'encoder per salvare il valore, premere il pulsante di selezione input per tornare al valore precedente.

Selezionare la riga System nel menù principale per entrare nel sotto-menù relativo alle impostazioni di sistema come mostrato in Figura 40.

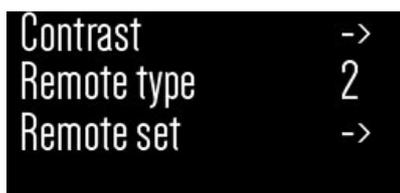


Figura 40: Schermata selezione nome.

Selezionare la riga Contrast e premere l'encoder per impostare il contrasto del display.

Selezionare la riga Remote type e premere l'encoder per cambiare il tipo di telecomando in uso. Selezionare la riga Remote set e premere l'encoder per avviare la procedura guidata di registrazione del telecomando.

Una volta impostato, è possibile svolgere tutte le funzioni descritte in questo paragrafo con il telecomando, se il telecomando non dovesse rispondere correttamente cambiare il valore di Remote type e registrare nuovamente i comandi. Cambiare il valore di Remote type senza registrare nuovamente i comandi potrebbe portare ad anomalie di funzionamento con il telecomando.

Per resettare il sistema ai valori di default, indicati in Tabella 7, spegnere il sistema con l'interruttore posto sul retro, o disconnetterlo dalla presa di corrente, premere e tenere premuto contemporaneamente l'encoder, il tasto di selezione input e accendere il sistema. Una scritta sul display mostrerà l'avvenuto reset dei valori. Il sistema si riavvierà in automatico ed entrerà in sleep.

Parametro	Valore
Balance	C
Trim input 1~3	0,00 dB
Nome input 1	Phono
Nome input 2	CD
Nome input 3	Aux
Volume	-96,0 dB
Zero cross	ON
Contrast	127
Remote type	1
Remote commands	Tutti cancellati

Tabella 7: Valori di default.

Analisi dei costi

Nella Tabella 8 sono riportati i costi dei componenti e dei PCB dell'intero sistema. Da questi sono esclusi eventuali costi di spedizione e materiali vari utilizzati durante lo sviluppo. La lista del materiale completa di codici produttore e codice fornitore è allegata ai file del progetto in formato xls.

Componente	Costo	Negozi
BC817	€ 0,19	Farnell
BU16-2022R0BL	€ 3,09	Farnell
Condensatori non polarizzati	€ 6,89	Farnell
Condensatori polarizzati	€ 24,28	Farnell
Connettori	€ 8,32	Farnell
Diodi	€ 4,99	Farnell
EC11B15242AF	€ 6,95	Farnell
ERZE08A431	€ 0,23	Farnell
Faston PCB	€ 1,19	Farnell
G6SK	€ 24,81	Farnell
Jack 6.35mm	€ 1,99	Farnell
LED	€ 0,30	Farnell
LM317	€ 1,15	Farnell
LM337	€ 1,71	Farnell
LT1076-5	€ 8,54	Farnell
MPZ2012S331A	€ 0,82	Farnell
MSS1260-104MLD	€ 1,51	Farnell
OLED SSD1306	€ 3,66	Ebay
OPA1612	€ 8,83	Farnell
OPA2134	€ 11,15	Farnell
PGA2320	€ 21,64	Farnell
PIC18F26K22-I/Sx	€ 3,27	Farnell
Ponte W04MG	€ 0,47	Farnell
RCA	€ 0,71	Ebay
Resistenze	€ 4,96	Farnell
RTE24005	€ 3,31	Farnell
SW-PB	€ 0,15	Farnell
Toroidale	€ 30,31	Farnell
TPA6120A2DWP	€ 8,27	Farnell
TSOP34836	€ 1,23	Farnell
TX2SA	€ 10,81	Farnell
ULN2003	€ 0,55	Farnell
PCB	€ 4,50	PCBWay
SCATOLA	€ 20,00	Ebay
Pannello frontale e posteriore	€ 10,00	Vectorealism.com
Pannello superiore trasparente	€ 10,00	Vectorealism.com
Totale	€ 250,78	

Tabella 8: Tabella riassuntiva dei costi.

Analisi Finale

Il progetto mi ha dato modo di approfondire alcuni aspetti di elettronica analogica, anche se molto basilari, che negli ultimi tempi ho un po' trascurato. Ho avuto modo inoltre di studiare e imparare a utilizzare alcuni programmi di disegno CAD in 3D che si sono rivelati molto utili. Dopo aver ordinato e prodotto i vari pezzi il tutto è stato assemblato al primo colpo senza nessun problema di dimensioni o collisioni tra i vari componenti. Nonostante il costo elevato del progetto il risultato mi ha reso molto soddisfatto sia dal punto di vista della qualità audio che dal punto di vista estetico del prodotto.

Allegati

- File PDF schemi e PCB
- File Gerber per produzione PCB (sono disponibili PCB su richiesta).
- XLS Bill of material (BOM) dettagliato con codici prodotto e codici fornitore.
- File Hex firmware V 1.0.
- Progetto MPLAB X 4.05, XC8 1.45 e relativi sorgenti
- File SVG per la realizzazione dei pannelli (sono disponibili pannelli su richiesta).
- File STL per la stampa dei supporti in 3D (posso stampare su richiesta).

Prossimi aggiornamenti

I prossimi aggiornamenti prevedono l'inserimento di un ulteriore PCB con funzione di ingresso digitale con connessione coassiale o ottica.

Indice Alfabetico

A			
Alimentazione.....	4, 13	LM317.....	15
ALPS.....	5	LM337.....	15
Assorbimento.....	4	loop di massa.....	20
attenuatore.....	11	LT1076.....	15
B		M	
Balance.....	39	Manchester encoding.....	7
C		MPLAB X.....	27
CAD.....	42	N	
clock interno.....	17	NEC.....	9
codifica Manchester.....	8	O	
common mode choke.....	14	offset sulle uscite.....	20
Contrast.....	39	OLED.....	4, 28, 37
copper plane.....	16	OPA1612.....	19
crosstalk.....	36	oscillazione residua.....	32
Crosstalk L/R.....	4	over voltage.....	36
D		over-voltage.....	21
Display.....	4, 37	P	
display OLED.....	10	Panasonic.....	9
disturbi elettromagnetici.....	14	PGA2310.....	12
DPAK.....	16	PGA2320.....	11 e seg., 15, 20, 28, 39
E		PHILIPS.....	9
EC11B.....	5	PIC18F26K22.....	17
EEPROM.....	9, 28	presa VDE.....	14
EML.....	14	PSU.....	14
encoder.....	5	Pulse Distance Coding.....	7
F		Pulse Length Coding.....	7
File Gerber.....	42	R	
File STL.....	42	RAM.....	10
File SVG.....	42	RC5-6.....	9
G		RCA.....	31
ground loop.....	20	Remote type.....	40
I		Ricevitore IR.....	6
I2C.....	10	ripple.....	32
Impedenza pilotabile.....	13	RTA.....	35
interrupt.....	6	S	
IR.....	15	SH1106.....	10
J		SHARP.....	9
J1.....	14	single ended.....	13
J2.....	14	SIRC.....	9
J3.....	14	sleep.....	15
J5.....	14	SNR.....	4, 13
JVC.....	9	SONY.....	9
K		SPI.....	10
K1.....	20	SSD1306.....	10
KS0108B.....	10	Stand-by.....	37
L		T	
LDO.....	16	telecomando IR.....	6
LED infrarossi.....	6	THD+N.....	13
		Timer.....	6

TPA6120.....	13, 20	varistore.....	14
TPA6120A2.....	13, 20, 23	X	
TSOP34836.....	7	X2.....	14
U		Y	
UART.....	31	Y2.....	14
ULN2003.....	23	Z	
USB.....	35	zero crossing.....	39
V			

Bibliografia

- [1] www.LaurTec.it: sito ufficiale dove scaricare i file di progetto e software descritti nell'articolo.
- [2] www.vectorealism.com: sito per taglio laser materiali su disegni personalizzati.

History

Data	Versione	Autore	Revisione	Descrizione Cambiamento
16.11.18	1.0	Ivo Colleoni	Mauro Laurenti	Versione Originale.