

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN

INGEGNERIA ELETTRONICA

(CLASSE DELLE LAUREE IN INGEGNERIA DELL' INFORMAZIONE N.9)

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA

ELABORATO DI LAUREA

REALIZZAZIONE DI UNA "BOARD" MULTIFUNZIONE

PER LA DIDATTICA SPERIMENTALE SUI CIRCUITI

RELATORE

CH.MO PROF. ING.

MASSIMILIANO DE MAGISTRIS

CANDIDATO

PAOLO CALIENDO

MATR. 528/1344

CORRELATORI

ING. MASSIMO ATTANASIO

ING. MARCO COLANDREA

ANNO ACCADEMICO 2007/2008

*Ai miei cari genitori
e ai miei nonni che hanno sempre creduto in me
e che avrebbero tanto voluto vedermi laureato.*

Ringraziamenti

Desidero ringraziare profondamente il Prof. Massimiliano de Magistris, relatore di questa tesi, per la grande professionalità, disponibilità e cordialità manifestata nei miei confronti.

Ringrazio l'ing Massimo Attanasio per la simpatia e il grande supporto tecnico offertomi nel laboratorio di elettrotecnica e l'ing. Marco Colandrea per i consigli e le informazioni che mi ha fornito per la buona riuscita di questo elaborato.

Grazie alla mia famiglia, a mio padre, a mia madre e a mio fratello per avermi sempre sostenuto e aiutato a superare i momenti di difficoltà e per avermi sempre dato la forza di andare avanti durante il lungo cammino della laurea.

Ringrazio dal profondo del cuore la mia ragazza Giudy che in quest'ultimo anno forse è stata quella che ha dovuto sopportare maggiormente le mie preoccupazioni, insicurezze e difficoltà; mi ha sempre dato fiducia e sostenuto con grande amore e se oggi sono arrivato fin qui lo devo molto anche a lei.

Infine grazie agli amici e ai parenti e a tutti quelli che mi vogliono bene.

INDICE

INTRODUZIONE	1
Capitolo 1 – LA DIDATTICA SPERIMENTALE PER I CIRCUITI	3
1.1 La didattica sperimentale in laboratorio, in aula e da remoto	3
1.2 Un “set” minimo di esperimenti	6
1.3 Una “Board” di circuiti lineari	7
1.3.1 Circuiti dinamici lineari del primo ordine: carica/scarica del condensatore	8
1.3.2 Circuiti del primo ordine con forzamento sinusoidale.....	12
1.3.3 Circuiti dinamici lineari del secondo ordine: risposta al gradino	14
1.3.4 Circuito risonante	16
Capitolo 2 – REALIZZAZIONE HARDWARE DELLA “BOARD” DI CIRCUITI LINEARI	23
2.1 Progetto del circuito	23
2.2 Descrizione dei circuiti integrati utilizzati	25
2.2.1 Il modulo UM245R.....	26
2.2.2 Il Port Expander MCP23S17	28
2.2.3 Il Transistor Array ULN2003AN	30
2.2.4 Il relè MT2-C93432	32
2.3 Realizzazione fisica del circuito: il layout	35
2.4 Testing dei relè.....	40

Capitolo 3 – SOFTWARE DI CONTROLLO ED ACQUISIZIONE PER IL LABORATORIO DI CIRCUITI	42
3.1 Introduzione a LabView.....	42
3.1.1 Cos'è LabView	42
3.1.2 Utilizzo principale di LabView.....	44
3.1.3 Virtual Instrument (VI)	45
3.1.4 Sub-VI.....	46
3.2 Descrizione del software di controllo per il laboratorio di circuiti	47
3.2.1 Software di controllo: le diverse versioni	48
3.2.2 Versione del software per l'utilizzo in aula o in laboratorio	48
3.2.3 Versione del software per l'utilizzo da remoto	57
3.3 Sub-VI per il controllo della “board” di circuiti lineari	61
CONCLUSIONI	69
BIBLIOGRAFIA	70

INTRODUZIONE

Questo elaborato di laurea fa parte di un progetto avviato da qualche anno presso il laboratorio di Circuiti e Diagnostica Elettrica e Magnetica del dipartimento di Ingegneria Elettrica, volto a sviluppare la sperimentazione didattica sui circuiti, cui hanno partecipato diversi studenti con tirocini e tesi di laurea. Tale progetto nasce dall'esigenza di offrire agli studenti la possibilità di eseguire a distanza esperimenti su alcuni circuiti dopo averli affrontati in teoria e con dimostrazioni in aula, senza la necessità di recarsi effettivamente in laboratorio e tutto ciò con costi di realizzazione davvero minimi.

I circuiti che sono stati realizzati nei precedenti elaborati sono: una scheda base che integra un generatore di segnale, un circuito di acquisizione ed un circuito di switch che controlla un multiplexer a relè mediante il quale è possibile selezionare i vari esperimenti. Gli esperimenti attualmente sono: un circuito caotico di Chua e un circuito a risonanza non lineare (RLD). Tutti questi circuiti possono essere controllati tramite internet mediante interfaccia grafica, realizzata in ambiente Labview, che ne consente una facile remotizzazione.

Nel corso di questa tesi, in particolare, è stato realizzato un nuovo esperimento che prevede su un unico pcb una "board" di circuiti lineari che, opportunamente controllata via software, mediante programmi realizzati in Labview, è in grado di commutare in circuiti lineari del primo ordine e del secondo ordine. Su queste due tipologie di circuiti possono essere esaminate alcune dinamiche interessanti dal punto di vista didattico come ad esempio la carica/scarica dei bipoli dinamici per quanto riguarda i circuiti del primo ordine e, come essa varia al variare della costante di tempo; viene esaminata la risposta in regime sinusoidale per i circuiti del secondo ordine e, come varia la condizione di risonanza al variare dei parametri del circuito. La transizione tra le possibili configurazioni di circuiti della board è realizzata mediante una serie di switch a relè ed alcuni circuiti integrati che ne consentono il controllo tramite USB.

Il lavoro è suddiviso come segue: nel primo capitolo si è fatta una panoramica generale sulla didattica sperimentale per i circuiti e sono state analizzate dal punto di vista teorico le dinamiche dei circuiti realizzati. Nel secondo capitolo viene descritta nel dettaglio la realizzazione hardware del circuito in esame; in particolare viene mostrato come è stato progettato il circuito: il layout, la descrizione degli integrati utilizzati e come essi sono stati collegati.

Infine, nel terzo capitolo, vengono presentate le diverse interfacce grafiche, realizzate mediante il software di sviluppo Labview, che consentono di controllare mediante pc, in laboratorio e da remoto i circuiti realizzati.

Capitolo 1

LA DIDATTICA SPERIMENTALE PER I CIRCUITI

1.1 La didattica sperimentale in laboratorio, in aula e da remoto.

Le attività didattiche sperimentali previste in un qualunque corso di circuiti avvengono tipicamente nei laboratori. Esse oltre a comportare dei costi legati alla strumentazione, molto spesso, possono indurre a difficoltà di natura pratica. Infatti, la dimensione dei laboratori, generalmente, permette di accogliere soltanto un numero limitato di studenti non consentendo quindi di usufruire a pieno ed in condizioni ottimali delle ore di laboratorio previste.

Per tentare di dar risposta ad alcuni dei problemi citati è stato sviluppato un progetto presso il laboratorio di Circuiti e Diagnostica Elettrica e Magnetica del dipartimento di Ingegneria Elettrica, cui hanno partecipato diversi studenti con tirocini e tesi di laurea. Tale progetto nasce dall'idea di realizzare in maniera "artigianale" alcuni circuiti specificamente destinati alla didattica, da interfacciare e controllare, mediante il calcolatore, sia localmente in laboratorio che soprattutto da remoto mediante una semplice connessione ad internet, ottimizzando così l'utilizzo delle risorse di laboratorio. In questo modo il docente può utilizzare in aula uno strumento didattico molto utile per dimostrazioni pratiche sui circuiti, senza la necessità di dover spostare ogni volta gli strumenti del laboratorio, e, allo stesso tempo, lo studente ha una valida alternativa al laboratorio per acquisire esperienze pratiche sui circuiti comodamente da casa e a qualsiasi ora. E' stato predisposto così un vero e proprio set di esperimenti

con i circuiti costituito da un sistema hardware/software che sostituisce gli strumenti abitualmente utilizzati in un laboratorio di circuiti come generatori di segnali e oscilloscopi con strumenti realizzati mediante apparati di dimensioni, peso, e costi, nettamente inferiori rispetto agli strumenti convenzionali.

Vediamo ora nel dettaglio come è strutturato il laboratorio remoto di circuiti considerando il seguente schema:



Figura 1.1: Struttura del laboratorio remoto di circuiti

L'utente collegandosi al sito web del Dipartimento di Ingegneria Elettrica ha la possibilità di interagire con gli esperimenti mediante l'interfaccia grafica, realizzata in ambiente di sviluppo Labview 7.1, che fa da tramite tra l'utente e un pc server del laboratorio al quale sono fisicamente connessi gli esperimenti; questo server è dotato di una scheda di acquisizione veloce PCI-5102 prodotta dalla National Instruments [2] che serve ad acquisire per ciascun esperimento, opportunamente selezionato da un circuito di switch, i segnali che vengono campionati e forniti al calcolatore il quale poi, successivamente, li elabora mediante programmi LabView sfruttando i drivers appositamente forniti con la scheda, e mostra così i risultati sotto forma di dati e diagrammi.

I circuiti per la didattica sperimentale che sono stati così realizzati nei precedenti elaborati di laurea sono: un generatore di segnale in grado di generare forme d'onda sinusoidali, triangolari e quadre in un range di ampiezza di $100\text{mV} \div 10\text{V}$ e di frequenza $0,5 \div 2\text{Mhz}$ con offset $-10\text{V} \div +10\text{V}$, una scheda di acquisizione che inizialmente veniva utilizzata per fornire 8 uscite per il circuito di Chua e, un circuito di switch che pilota un multiplexer a relè mediante il quale è possibile selezionare i vari esperimenti realizzati per la didattica sperimentale.

Tutto è stato realizzato praticamente a costo zero grazie a campioni gratuiti e al materiale già presente in laboratorio. Questi circuiti sono stati poi, successivamente, messi insieme e riasssemblati su un unico pcb in modo tale da realizzare una “scheda base” multifunzione (Figura 1.2) che opportunamente pilotata da computer mediante interfaccia USB¹ e, mediante programmi realizzati in LabView, è in grado di realizzare diversi esperimenti e funzioni.

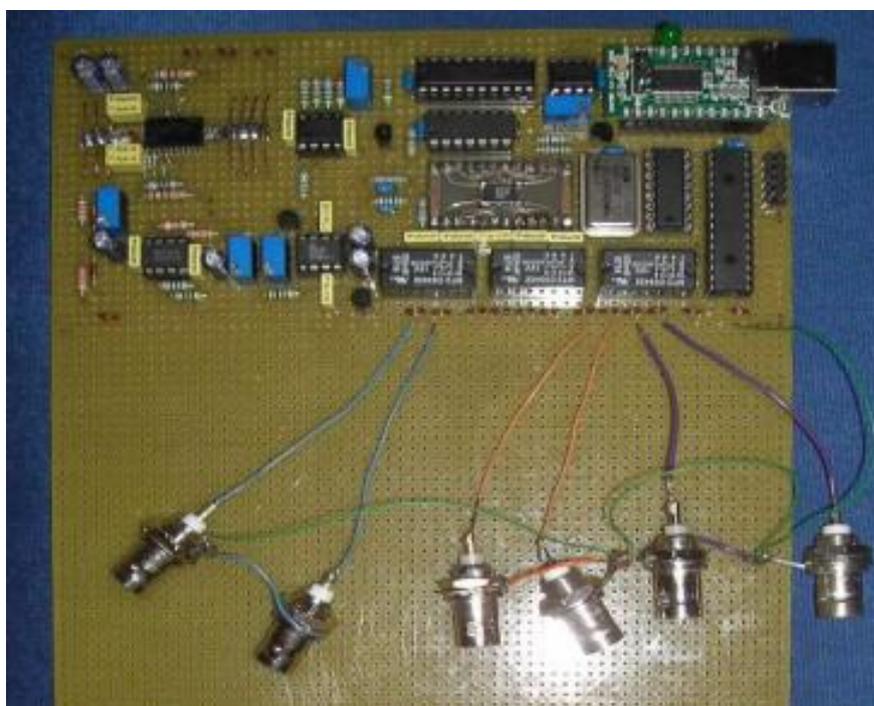


Figura 1.2: “Scheda base” multifunzione

Attualmente gli esperimenti che sono stati realizzati sono due circuiti non lineari: un circuito caotico di Chua e un circuito a risonanza non lineare (RLD). A questi due esperimenti si aggiunge ora la “board” multifunzione di circuiti lineari oggetto di questa tesi che sarà ampiamente descritta in seguito.

¹ L'Universal Serial Bus (USB) è uno standard di comunicazione seriale che consente di collegare diverse periferiche ad un computer. È stato progettato per consentire a più periferiche di essere connesse usando una sola interfaccia standardizzata ed un solo tipo di connettore, e per migliorare la funzionalità plug-and-play consentendo di collegare/scollegare i dispositivi senza dover riavviare il computer.

1.2 Un “set” minimo di esperimenti.

I circuiti più appropriati per la didattica sperimentale sui circuiti devono avere le seguenti caratteristiche:

- essere piccoli, in modo da poter essere facilmente trasportabili;
- essere semplici, la complessità circuitale è in generale portatrice di problemi di realizzazione e di stabilità di funzionamento;
- essere robusti, in modo che non alterino il loro comportamento al variare di parametri esterni come temperatura o tensione di alimentazione, garantendo sempre il successo delle dimostrazioni;
- non devono richiedere tensioni di alimentazione elevate, in modo da non essere potenzialmente pericolosi e da richiedere alimentatori semplici;
- non devono funzionare a frequenze elevate, per garantire l’usabilità con strumentazione semplice e di prestazioni non eccessive;
- devono essere facilmente controllabili, nel senso che sia facile variare i parametri per mostrarne le diverse modalità di funzionamento ed illustrarne gli aspetti peculiari;
- devono poter mostrare il più ampio spettro di dinamiche possibile con pochi parametri, sia per quanto riguarda i circuiti lineari che quelli non lineari, eventualmente con dinamiche complesse.

Per soddisfare tutte queste esigenze, come anticipato in precedenza, sono stati realizzati alcuni circuiti lineari e non lineari per i quali è interessante verificare sperimentalmente le dinamiche studiate in teoria. In particolare per quanto riguarda la classe dei circuiti lineari è stato realizzato un circuito (serie) multifunzione in grado di commutare mediante switch a relè in circuiti del primo ordine (RC/RL) o del secondo ordine (RLC). E’ interessante analizzare per queste due tipologie di circuiti la risposta in regime sinusoidale, valutare la carica/scarica dei bipoli dinamici (condensatore/induttore) in presenza di forzamento periodico (onda quadra) nel caso

di circuiti del primo ordine, osservare cosa succede variando la costante di tempo aumentando o diminuendo il valore della resistenza serie e/o variando il valore del condensatore/induttore e, osservare, nel caso di circuito del secondo ordine RLC come varia la condizione di risonanza al variare dei parametri del circuito. La realizzazione hardware di questo circuito è descritta nel dettaglio nel secondo capitolo.

Per quanto riguarda invece la classe di circuiti non lineari, sono stati realizzati due classici circuiti a dinamica complessa: il circuito RLD e il circuito di Chua. Essi permettono in modo semplice di fare esperimenti con il caos deterministico [3].

1.3 Una “Board” di circuiti lineari.

Come accennato precedentemente è stata realizzata per il laboratorio didattico di circuiti una “board” multifunzione di circuiti lineari con lo scopo di mostrare per le varie tipologie di circuiti, ottenibili mediante una serie di switch a relè, alcune dinamiche interessanti.

Consideriamo ora lo schema elettrico del circuito realizzato:

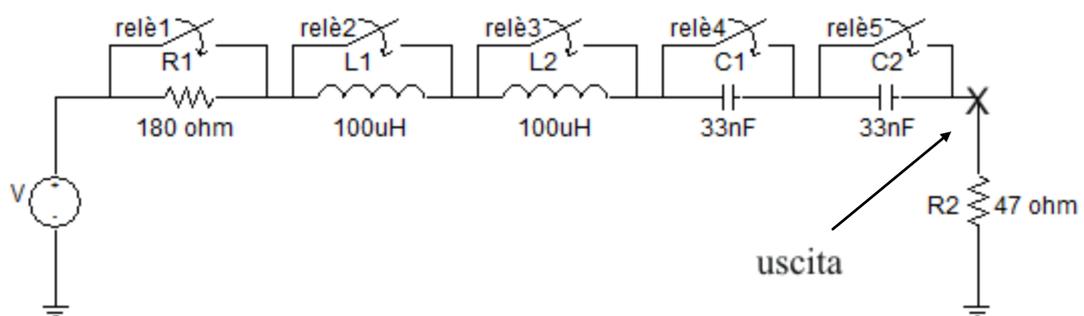


Figura 1.3: Circuito lineare multifunzione

Esso come si può osservare è un circuito lineare serie costituito da:

- 2 resistori: il primo da 180Ω e il secondo da 47Ω per una resistenza serie complessiva di 227Ω ; il resistore R1 può essere cortocircuitato mediante un primo relè in modo tale da variare la resistenza serie, con effetti sui diversi parametri della dinamica. E' importante osservare che il resistore R2 in

corrispondenza dell'uscita (punto X sulla figura) consente di ottenere una trasduzione da corrente a tensione.

- 2 induttori da $100\mu\text{H}$ per un valore induttivo complessivo di $200\mu\text{H}$; ogni induttore può essere cortocircuitato mediante i relè 2 e 3 in modo tale da variare il valore induttivo complessivo ed eventualmente escludere del tutto gli induttori.
- 2 condensatori da 33nF per un valore capacitivo complessivo di 16nF ; ciascuno può essere cortocircuitato mediante i relè 4 e 5 in modo tale da variare il valore capacitivo complessivo ed eventualmente escludere del tutto i condensatori.
- 5 switch a relè per realizzare le diverse possibili combinazioni di elementi nel circuito.

Pilotando opportunamente i 5 relè è possibile "switchare" dunque tra circuiti del primo ordine RC/RL e circuiti del secondo ordine RLC osservando così come variano le dinamiche dei circuiti al variare dei parametri.

L'aspetto implementativo della board in esame sarà analizzato ed approfondito nel Capitolo 2.

Ora vedremo invece, nei paragrafi seguenti, quali sono le possibili configurazioni di circuiti che si possono ottenere e quali sono gli esperimenti che si possono fare.

1.3.1 Circuiti dinamici lineari del primo ordine: carica/scarica del condensatore.

E' bene ricordare che quando un circuito contiene bipoli descritti da equazioni caratteristiche di tipo differenziale, come il condensatore o l'induttore, viene detto dinamico. I circuiti che hanno un solo elemento dinamico, un induttore o un condensatore, prendono il nome di circuiti dinamici del primo ordine. Ritornando dunque al circuito dinamico di Figura 1.3 è possibile ottenere, configurando opportunamente i relè, due circuiti del primo ordine: il circuito RC e il circuito RL.

Vediamo prima di tutto come ottenere il circuito RC:

Facendo commutare i relè 2-3 gli induttori L1 e L2 vanno in parallelo con un corto e quindi si ottiene il circuito RC di Figura 1.4:

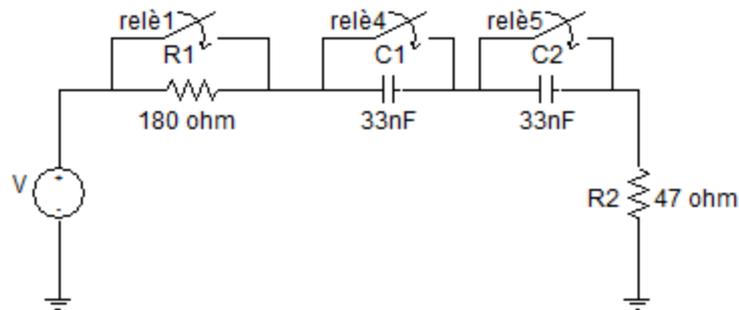


Figura 1.4: Circuito RC

Grazie alla presenza del relè 1 possiamo scegliere il valore della resistenza equivalente che può variare da 227Ω (relè1 off) a 47Ω (relè1 on).

Analogamente commutando il relè 4 o 5 possiamo escludere uno dei due condensatori. La presenza dei relè, dunque, ci consente di variare la costante di tempo del circuito; tale variazione può essere apprezzabile come vedremo tra poco analizzando la carica/scarica del condensatore, nel caso di circuito RC, o, dell'induttore, nel caso di circuito RL.

Per ottenere invece il circuito RL abilitando i relè 4 e 5 (Figura1.3) otteniamo il seguente circuito:

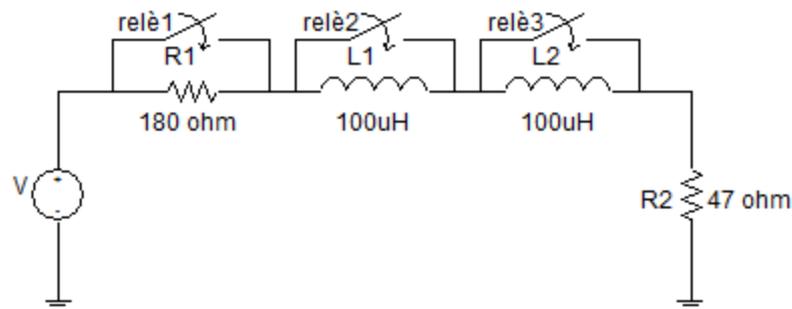


Figura 1.5: Circuito RL

Anche in questo caso i relè ci consentono di variare la costante di tempo del circuito.

Prima di analizzare però nel dettaglio la carica/scarica dei bipoli dinamici è importante ricordare cos'è la costante di tempo: consideriamo l'evoluzione libera, ad esempio, del circuito RC di Figura 1.4, essa è descritta dall'equazione differenziale omogenea²:

$$RC \frac{dv}{dt} + v = 0 \quad 1.1$$

dove v è la tensione sul condensatore, R è la resistenza equivalente e , analogamente, C è la capacità equivalente.

Dall'equazione 1.1 si ottiene la soluzione effettiva del circuito che è:

$$v(t) = V_0 \exp(-t / \tau)$$

dove τ è la *costante di tempo* del circuito che nel caso di circuito RC è:

$$\tau = RC \text{ [sec]}$$

ed è una misura del tempo di risposta caratteristico del circuito. In pratica è il tempo richiesto per caricare il condensatore, attraverso il resistore, al 63,2 % della sua capacità di carica totale; oppure per scaricarlo al 36,8 % della sua differenza di potenziale (in volts).

Per il circuito RL, invece, la costante di tempo è $\tau = R / L$.

Fatta questa premessa è utile per questi circuiti del primo ordine valutare, appunto, la carica e la scarica del condensatore/induttore mostrando la loro evoluzione dinamica al variare della costante di tempo.

In particolare la carica ci permette di analizzare l'evoluzione forzata in cui le grandezze di stato del circuito all'istante iniziale sono tutte nulle e, quindi, l'energia immagazzinata nei bipoli dinamici è uguale a zero. In evoluzione forzata le intensità di corrente del circuito vengono prodotte solo attraverso l'azione dei generatori.

Invece la scarica ci permette di analizzare l'evoluzione libera che si ha quando un circuito dinamico è privo di generatori o i generatori che contiene sono tutti spenti. In un circuito in evoluzione libera le grandezze di stato dello stesso all'istante iniziale sono diverse da zero, quindi è l'energia immagazzinata all'istante iniziale nei bipoli dinamici che produce la dinamica del circuito .

² “omogenea” significa che il termine noto è uguale a 0.

Vediamo quindi come avviene il processo di carica/scarica nel caso di circuito RC: consideriamo la condizione in cui i 3 relè di Figura 1.4 sono disattivati ottenendo così il seguente circuito:

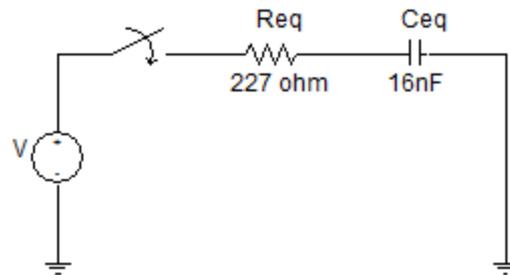


Figura 1.6: Circuito per la carica/scarica del condensatore

con $C_{eq} = 16nF$, $R_{eq} = 227\Omega$. Supponiamo che il segnale in ingresso erogato dal nostro generatore è un impulso ampio 10V. L'esperimento consiste nel far caricare la capacità quando l'impulso è attivo e quindi calcolare il suo tempo di "carica", ed infine vedere la scarica del condensatore quando l'impulso è andato a zero verificando il tempo di scarica. I risultati sono riportati in Figura 1.7:

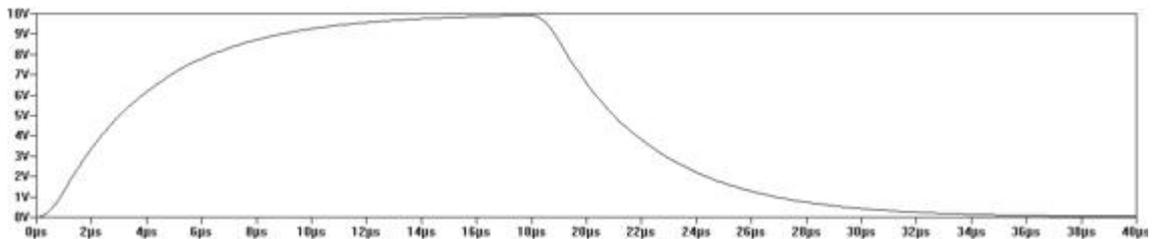


Figura 1.7: Carica e scarica del condensatore con $\tau = 18\mu s$

Il tutto è avvenuto in circa $36 \mu s$ ed il tempo di carica – scarica è avvenuto in $18 \mu s$.

L'impulso rettangolare viene prodotto con il nostro generatore prelevando un'onda quadra ampia 10V e il cui semiperiodo è maggiore della durata della carica/scarica del circuito.

Se invece proviamo a cambiare la costante di tempo modificando il valore della resistenza serie attivando il relè1 abbiamo i seguenti risultati:

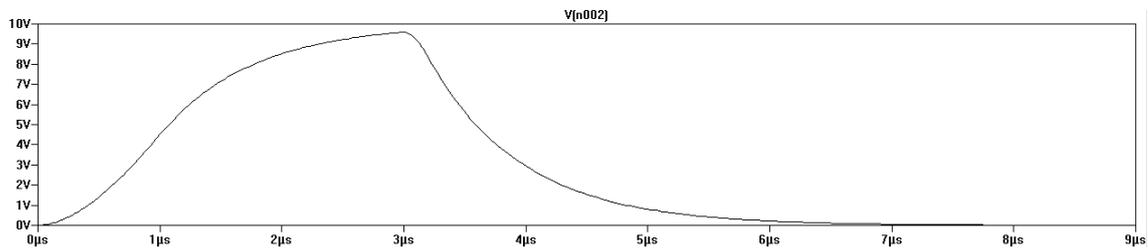


Figura 1.8: Carica e scarica del condensatore con $\tau = 3,7\mu\text{s}$

In questo caso abbiamo una $C_{\text{eq}}=16\text{nF}$ e una $R_{\text{eq}}=47\Omega$ con una costante di tempo $\tau=3,7\mu\text{s}$. Come si può osservare in questo caso il transitorio si esaurisce in $7,5\mu\text{s}$, ovvero con un tempo inferiore di circa $1/5$ rispetto a prima. Una prova simile può essere fatta modificando al posto della R_{eq} il valore di C_{eq} mediante il relè 4 o 5.

Discorso analogo può essere fatto considerando il circuito RL valutando il tempo di carica/scarica dell'induttore.

1.3.2 Circuiti del primo ordine con forzamento sinusoidale

Consideriamo il circuito RC di Figura 1.4. Sappiamo che l'evoluzione forzata del circuito è descritta dall'equazione differenziale non omogenea :

$$RC \frac{dv}{dt} + v = e(t)$$

dove R e C rappresentano rispettivamente la R_{eq} e C_{eq} del circuito e v è la tensione sul generatore.

Vogliamo determinare ora la soluzione di tale equazione differenziale nel caso in cui il generatore e(t) è un generatore sinusoidale con pulsazione ω ($\omega = 2\pi f$ dove f è la frequenza), ampiezza massima E e fase iniziale ϕ ,

$$e(t) = E \cos(\omega t + \phi)$$

La soluzione effettiva del circuito, in questo caso, è allora:

$$v(t) = (V_0 - V \cos \alpha) e^{-t/\tau} + \frac{E}{\sqrt{(\omega\tau)^2 + 1}} \cos[\omega t + \phi - \arctg(\omega\tau)]$$

Il termine transitorio dipende dalla condizione iniziale, mentre quello di regime non è dipendente dalla condizione iniziale.

Vale la pena osservare che, qualunque sia la condizione iniziale si ha che:

$$v(t) \rightarrow \frac{E}{\sqrt{(\omega\tau)^2 + 1}} \cos[\omega t + \varphi - \text{arctg}(\omega\tau)] \text{ per } t \rightarrow \infty$$

Il primo termine dell'espressione è il termine transitorio e tende esponenzialmente a zero, qualunque sia il valore iniziale della tensione, con la costante di tempo τ . Dopo che il termine transitorio si è estinto, la soluzione del circuito è sinusoidale nel tempo, con la stessa pulsazione del generatore. Per tale ragione alla soluzione particolare $v(t)$ con $t \rightarrow \infty$ si dà il nome di soluzione di regime sinusoidale.

In Figura 1.9 viene riportato il grafico della tensione $v(t)$ in evoluzione forzata (in funzione del tempo), per $E = 2V$, $f = 500\text{kHz}$, $\varphi = 0$, $R = 227\Omega$ e $C = 33\text{nF}$;

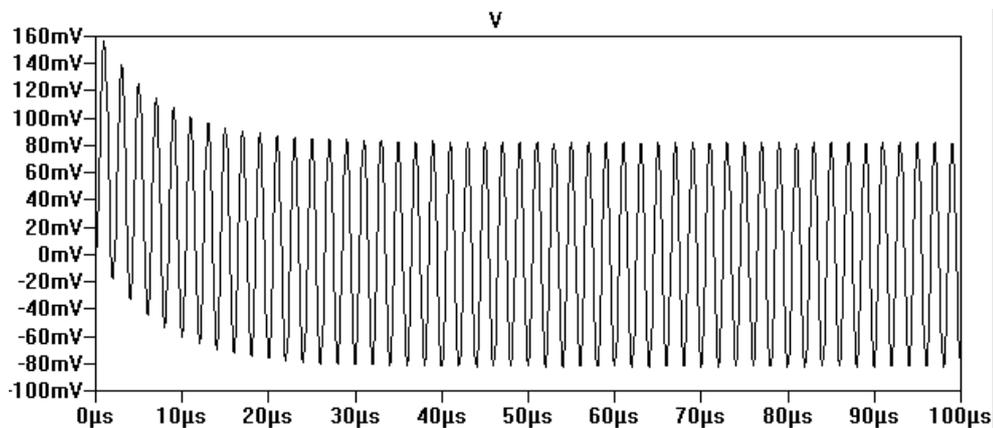


Figura 1.9: Evoluzione forzata della tensione sul condensatore

la costante di tempo è $\tau = 7,5\mu\text{s}$, l'ampiezza massima della soluzione sinusoidale di regime è $V = 2/\sqrt{2}V = 1,414V$ e $\varphi = \pi/4$. Il periodo del regime sinusoidale è

$$T = \frac{1}{f} = 2\mu\text{s} [4].$$

1.3.3 Circuiti dinamici lineari del secondo ordine: risposta al gradino.

Nei paragrafi precedenti sono stati presi in considerazione circuiti contenenti un solo elemento dinamico (condensatore o induttore). Tali circuiti abbiamo detto essere del primo ordine perché del primo ordine sono le equazioni differenziali che li descrivono.

Ora consideriamo invece circuiti contenenti due elementi dinamici. Questi circuiti sono detti del secondo ordine perché le loro risposte sono descritte da equazioni differenziali che contengono derivate seconde. Un tipico esempio di circuito del secondo ordine è il circuito RLC, nel quale sono presenti tre tipi di elementi passivi.

Consideriamo di nuovo il nostro circuito RLC serie di Figura 1.3 di cui riportiamo lo schema elettrico (Figura 1.10).

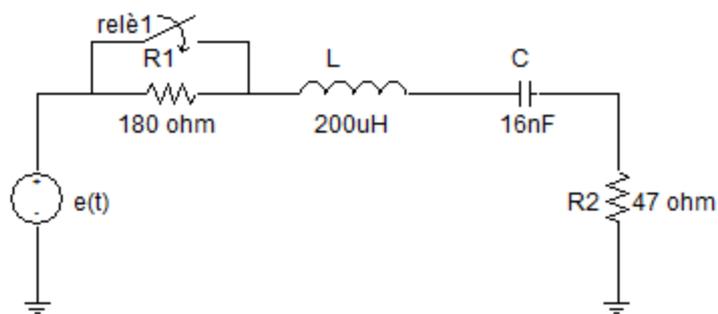


Figura 1.10: Circuito RLC serie.

Dove L e C sono rispettivamente la L_{eq} , e C_{eq}

Come visto nel paragrafo 1.3.2 possiamo valutare la carica/scarica dei bipoli dinamici applicando un impulso in ingresso al circuito. Applicando la LKT al circuito e ricordando che le equazioni differenziali caratteristiche dei bipoli dinamici sono:

$$C \frac{dv}{dt} = i,$$

$$L \frac{di}{dt} = v_L$$

si ottiene l'equazione caratteristica per la tensione del condensatore:

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dv}{dt} + \frac{1}{LC} v = \frac{e(t)}{LC}. \quad (1.2)$$

La soluzione dell'equazione 1.2 ha due componenti: risposta forzata $v_f(t)$ e la risposta naturale $v_n(t)$:

$$v(t) = v_n(t) + v_f(t)$$

La risposta forzata è il valore di regime di $v(t)$, la risposta naturale è la soluzione ottenuta ponendo nella 1.2 $e(t)=0$; l'omogenea associata è:

$$\lambda^2 + \frac{R}{L} \lambda + \frac{1}{LC} = 0$$

a seconda degli autovalori ottenuti possiamo avere due casi fondamentali.

Per autovalori reali e distinti, ovvero considerando la $R_{eq}=47\Omega$ (attivando il relè1), applicando un impulso ampio 5V si ha la **risposta sottosmorzata** di Figura 1.11

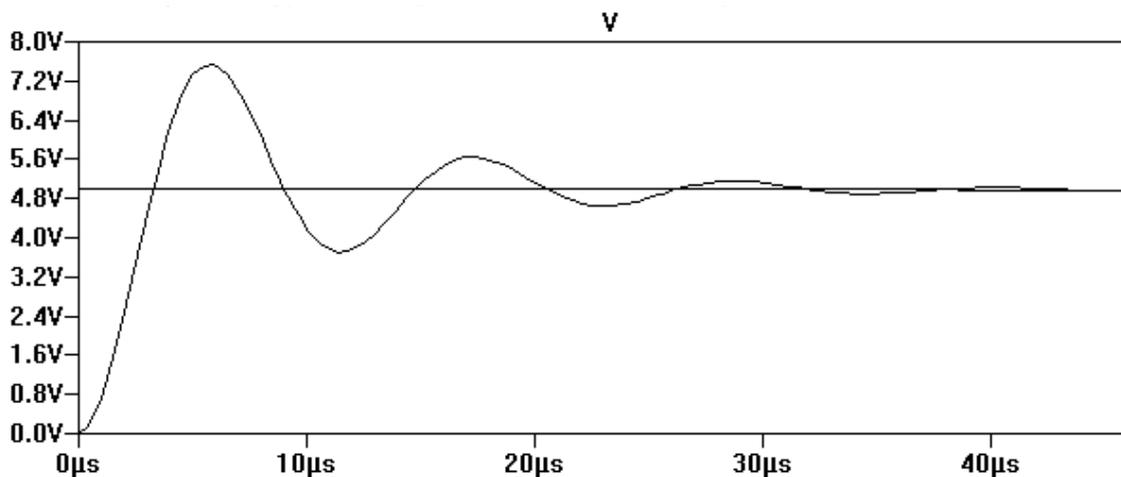


Figura 1.11: Risposta sottosmorzata

Come si può osservare la tensione V_c segue l'impulso e lentamente arriva a regime.

Per autovalori complessi e coniugati, $R_{eq}=227\Omega$ (relè1 off) si ha la **risposta sovrasmorzata** (Figura 1.12).

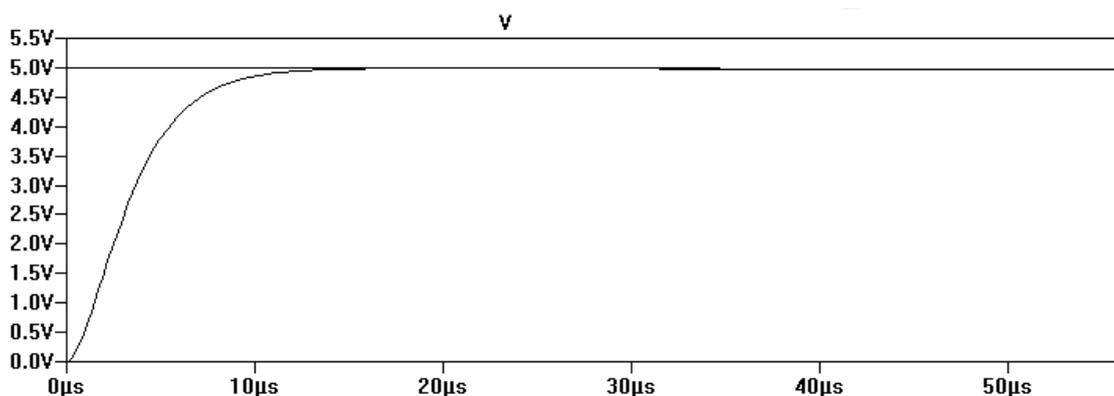


Figura 1.12: Risposta sovrasmorzata

E' importante osservare che questi circuiti RLC sono utili per almeno due motivi: anzitutto essi sono comunemente impiegati in apparecchiature di misura, nei circuiti di comunicazione (filtri passa-banda, oscillatori, sincronizzatori,etc..), nei circuiti convertitori, e così via; inoltre essi rappresentano un importante esempio del fenomeno fisico della risonanza che affronteremo nel dettaglio nel paragrafo seguente.

1.3.4 Circuito risonante

Consideriamo un circuito lineare alimentato da un generatore (di tensione o di corrente) sinusoidale. In generale, la corrente erogata dal generatore e la tensione ai capi del generatore stesso non sono in fase tra loro.

Può tuttavia capitare, che per particolari valori di frequenza del generatore, o per particolari valori degli elementi reattivi che costituiscono il circuito stesso, si verifichi che la corrente erogata dal generatore e la tensione ai suoi capi risultino in fase.

Questa particolare condizione è detta *risonanza*; quando essa non si verifica diremo che il circuito si trova fuori risonanza.

Se indichiamo con $Z = R+jX$ l'impedenza della rete vista ai capi del generatore, e se ricordiamo che lo sfasamento tra tensione e corrente, φ , risulta essere dato da:

$$\varphi = \arctan \frac{X}{R}$$

possiamo dire che un circuito si trova in condizione di risonanza quando la parte immaginaria X dell'impedenza è nulla.

Deduciamo subito che un rete elettrica passiva, per poter essere in condizione di risonanza, deve essere composta sia da induttori che da condensatori, in modo tale che gli sfasamenti di segno opposto si compensino per particolari valori della frequenza del generatore, dando luogo a sfasamento nullo.

Quindi un circuito in regime sinusoidale, comunque complesso, nel quale siano presenti resistenze, induttanze e capacità può andare in risonanza quando rispetto al generatore che lo alimenta si comporta come un circuito puramente ohmico.

Per meglio comprendere il fenomeno possiamo distinguere due casi distinti, noti come circuito risonante *serie* e circuito risonante *parallelo*, così chiamati in base al modo con cui sono collegati tra di loro gli elementi capacitivi ed induttivi.

Noi consideriamo il caso del circuito RLC risonante serie che è quello che a noi interessa (Figura 1.11), e determiniamo la condizione di risonanza scrivendo l'equazione di Kirchhoff per le tensioni:

$$V = RI + j\omega LI + \frac{I}{j\omega C}$$

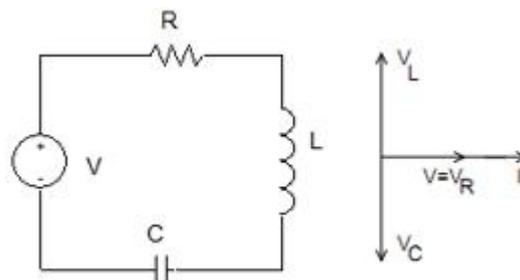


Figura 1.11: Circuito risonante serie

Affinché la corrente risulti in fase con la tensione, occorre e basta che la parte immaginaria dell'impedenza sia nulla, ciò si ha se e solo se:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Da quest'ultima relazione è possibile ricavare la *pulsazione di risonanza*:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \text{ rad/s}$$

La rete elettrica in esame possiede allora una ed una sola *frequenza di risonanza*, ottenibile immediatamente dalla pulsazione di risonanza:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \text{ Hz} \quad (1.5)$$

In queste condizioni, la corrente nel circuito dipende esclusivamente dalla tensione V e dalla resistenza R :

$$I = \frac{V}{R}$$

Questo è altresì il valore massimo assunto dalla corrente. Per convincersi di ciò è possibile determinare il modulo dell'impedenza Z in funzione della pulsazione ω :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

ed osservare che esso presenta un minimo per $\omega = \omega_r$. Ciò è chiaramente rappresentato in Figura 1.12, ove viene anche riportato l'andamento del modulo della corrente I in funzione della pulsazione ω .

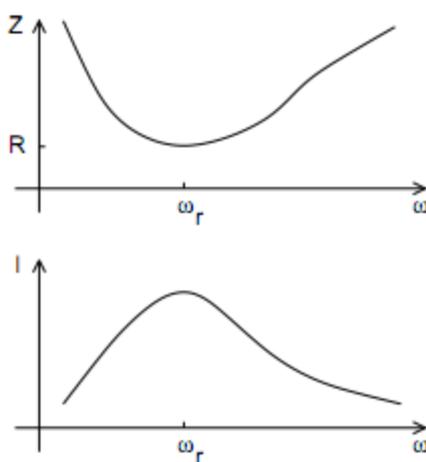


Figura 1.12: Andamento dei moduli dell'impedenza e della corrente in funzione della pulsazione ω

Nel caso in cui il circuito si trovi fuori risonanza si distinguono due casi:

- (1) $\omega < \omega_r$: in questo caso la reattanza capacitiva è maggiore della reattanza induttiva e la rete viene vista dal generatore come un carico ohmico-capacitivo e quindi la corrente risulterà in anticipo sulla tensione V.
- (2) $\omega > \omega_r$: la reattanza induttiva prevale su quella capacitiva e quindi la corrente risulterà in ritardo sulla tensione V.

E' utile introdurre un parametro che indica quanto i fenomeni reattivi siano influenti rispetto ai fenomeni dissipativi della rete elettrica: a tal scopo è possibile introdurre il cosiddetto *fattore di qualità* o *di merito* Q_r :

$$Q_r = \frac{\omega_r L}{R} = \frac{1}{\omega_r CR}$$

Questo parametro che è adimensionale può essere maggiore o minore di uno, a seconda dei parametri del circuito. Esso può essere considerato come la capacità di immagazzinare energia di un circuito in rapporto alla dissipazione di energia.

Come si vede in figura, tanto più grande è il valore di Q, tanto più selettivo³ è il circuito ma tanto minore è la larghezza di banda.

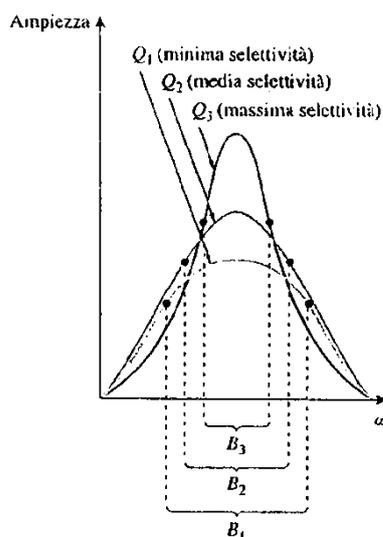


Figura 1.13: Fattore di qualità

³ Per *selettività* di un circuito risonante intendiamo la sua capacità di comportarsi in modo differente al variare della frequenza della tensione o della corrente applicata.

In modo sostanzialmente analogo a quello sin qui sviluppato per il circuito RLC serie è possibile studiare la risonanza per il circuito RLC parallelo.

Esaminiamo ora la condizione di risonanza per il nostro circuito di Figura 1.3: considerando i relè a riposo avevamo $R_{eq} = 227\Omega$, $L_{eq} = 200\mu\text{H}$ e $C_{eq} = 16\text{nF}$; dall'equazione 1.5 sappiamo che:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{L_{eq} \cdot C_{eq}}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{200 \cdot 10^{-6} \cdot 16 \cdot 10^{-9}}} = 88,970\text{kHz}$$

Il nostro circuito risuona dunque ad una frequenza di 88,970 kHz e, in questo caso, se gli applichiamo in ingresso una forma d'onda sinusoidale di frequenza f_r e ampiezza 2V e andiamo a verificare l'andamento della tensione in ingresso e della corrente in uscita abbiamo la situazione di Figura 1.14.

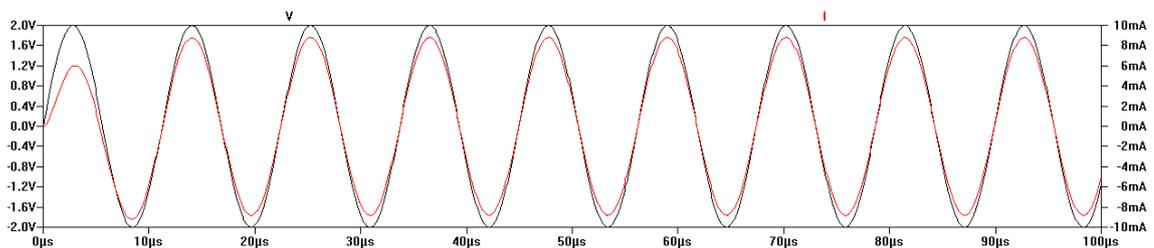


Figura 1.14: Andamento di tensione e corrente per $f_r=88\text{kHz}$

Come si può osservare, tensione e corrente sono perfettamente in fase tra loro e, quindi, il circuito in questo caso si comporta come un circuito puramente resistivo.

Ora se proviamo a scendere sotto la frequenza di risonanza, applicando ad esempio in ingresso al circuito, un segnale sinusoidale con frequenza $f=20\text{kHz}$ e ampiezza 2V si ha la situazione di figura 1.15:

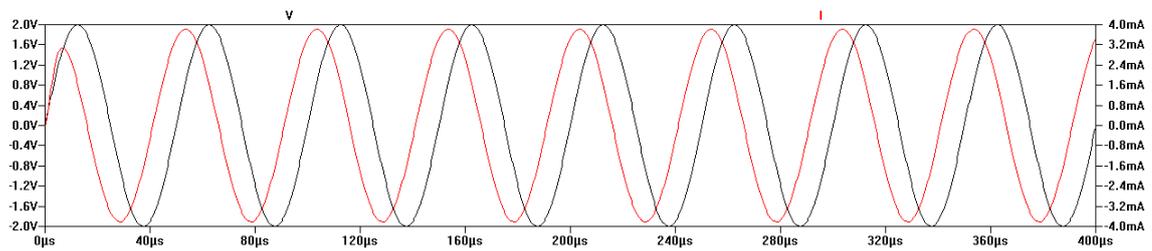


Figura 1.15: Andamento di tensione e corrente per $f=20\text{kHz}$

In questo caso la corrente (linea rossa), come si può vedere, è in anticipo sulla tensione e prevale quindi la componente capacitiva.

Infine, considerando una frequenza del segnale generato più grande $f=200\text{kHz}$ si ha che la corrente è in ritardo sulla tensione (Figura 1.16) e il circuito si comporta come un carico ohmico induttivo.

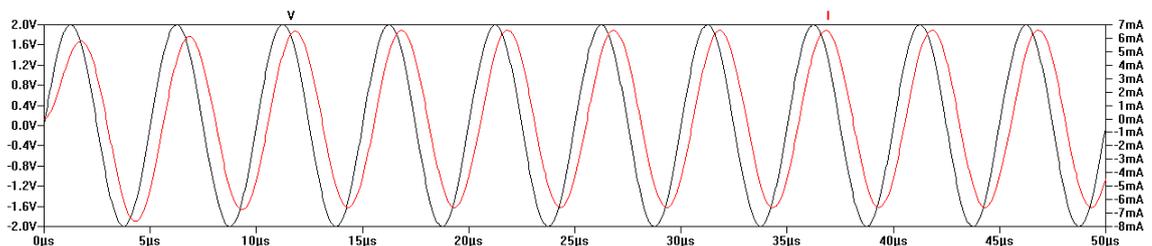


Figura 1.16: Andamento di tensione e corrente per $f=200\text{kHz}$

Proviamo ora a variare il fattore di qualità attivando il relè di Figura 1.3 e cambiamo così il valore della resistenza serie che diventa $R_{eq}=47\Omega$, mantenendo L e C invariati e impostando sempre la frequenza di risonanza di 88kHz in ingresso al circuito si ottiene il diagramma di Figura 1.17:

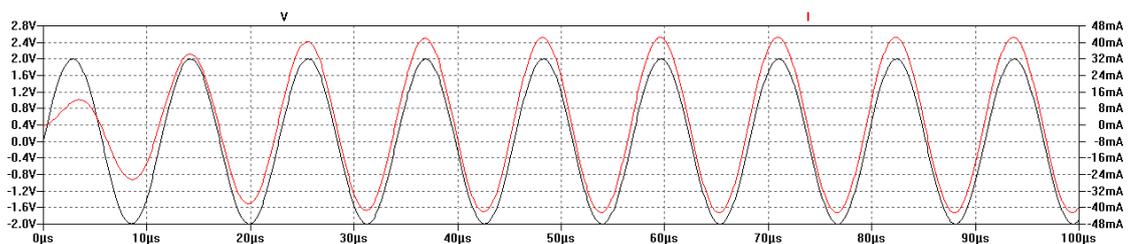


Figura 1.17

Osservando la Figura 1.17 e confrontandola con la 1.14 si nota che i segnali chiaramente sono sempre in fase ma è cambiata l'ampiezza e il transitorio dura di meno.

Ora poiché il nostro circuito prevede la possibilità di variare, mediante i relè, non solo la resistenza serie ma anche la capacità serie e/o l'induttanza serie con ragionamenti analoghi è possibile, eventualmente, ottenere condizioni di risonanza diverse da quella appena descritta.[5]

Capitolo 2

REALIZZAZIONE HARDWARE DELLA “BOARD” DI CIRCUITI LINEARI.

In questo capitolo descriviamo la realizzazione dal punto di vista hardware della “board” di circuiti lineari. Vedremo come si interfaccia con la scheda base, analizzeremo i componenti utilizzati e gli integrati che ne consentono il controllo mediante il circuito di switch. Verrà illustrato poi, successivamente, il layout del circuito, realizzato mediante il software CIRCAD, utilizzato per la realizzazione fisica del circuito.

2.1 Progetto del circuito.

Come descritto nel capitolo precedente il circuito realizzato per questo elaborato di tesi è un circuito lineare multifunzione di cui riportiamo di nuovo per comodità lo schema elettrico:

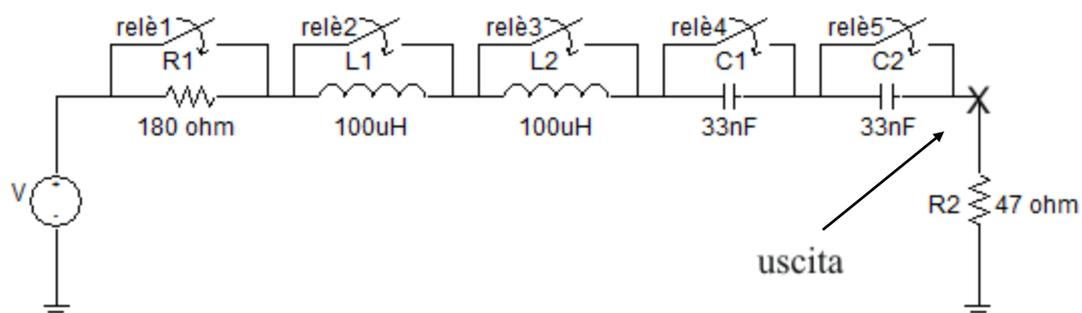


Figura 2.1

Per la realizzazione hardware di questo circuito sono stati utilizzati i seguenti componenti:

- 2 resistori
- 2 induttori
- 2 condensatori
- 5 relè (MT2-C93432): sono gli integrati che consentono di inserire o eliminare elementi nel circuito
- 1 Transistor Array (ULN2003AN): è il driver integrato che consente di pilotare i relè.

E' bene ricordare che questo circuito viene collegato alla scheda base di cui si è detto nel Capitolo 1; tale scheda consente di selezionare l'esperimento desiderato e di pilotare gli integrati utilizzati nella "board" in esame secondo il seguente schema a blocchi:

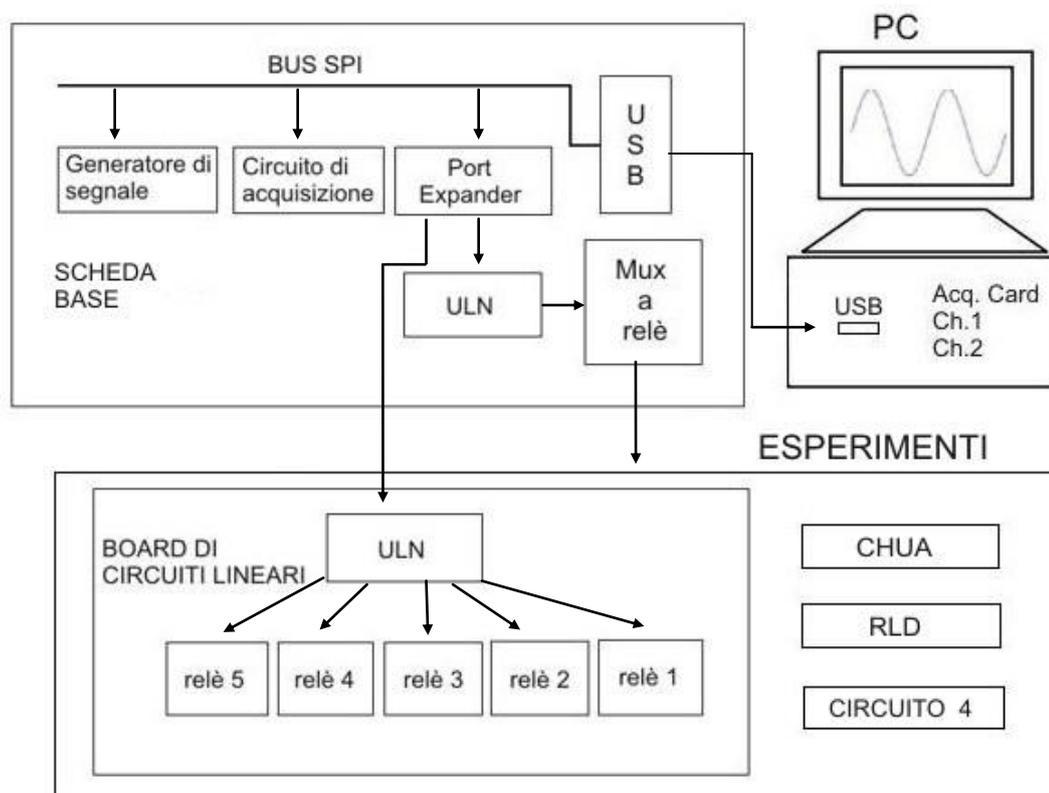


Figura 2.2: Controllo della "board" di circuiti lineari mediante la scheda base

Come si può osservare dallo schema di Figura 2.2 la scheda base, come detto in precedenza, è costituita da un blocco relativo al generatore di segnale, uno relativo al circuito di acquisizione e un blocco relativo al circuito di switch che pilota un doppio multiplexer (4:1) a relè mediante il quale è possibile selezionare uno tra quattro esperimenti che possono essere collegati. Il circuito di switch, come si può notare, è costituito dall'integrato Port Expander (MCP23S17) che pilota un Transistor Array (ULN2003AN) il quale controlla i 3 relè che formano il multiplexer 4:1; è importante notare che il Port Expander pilota anche l'ULN2003AN della board di circuiti lineari per il controllo dei 5 relè.

Il tutto viene controllato mediante l'integrato con interfaccia USB che si occupa dell'invio dei comandi dal PC verso i vari blocchi dello schema, tramite BUS SPI che è una semplice interfaccia che permette la comunicazione tra controllori e circuiti integrati periferici o l'interconnessione fra due o più controllori.

Ora prima di vedere come i vari componenti della "board" sono stati assemblati per la realizzazione fisica del circuito è importante esaminare, come vedremo tra poco, quali sono e come funzionano gli integrati utilizzati. E' doveroso però analizzare prima di tutto gli integrati esterni alla board quali : il Port Expander (MCP23S17) e l'integrato USB (UM245R) della scheda base.

2.2 Descrizione dei circuiti integrati utilizzati.

Un circuito integrato, in sigla IC (acronimo del corrispondente termine inglese Integrated Circuit), anche chiamato chip, è un componente elettronico al cui interno è inserito un circuito elettronico (costituito da poche unità a molte decine di milioni di componenti elettronici elementari come transistor, diodi, condensatori e resistori) su un substrato di materiale semiconduttore (in genere silicio ma a volte anche arseniuro di gallio o altro) e chiamato die. Il costo di fabbricazione di un circuito integrato varia pochissimo (o rimane costante) al crescere della sua complessità, per cui è molto più economico sviluppare circuiti complessi, composti di una serie di stadi interni interconnessi fra loro e con l'esterno, che accentrino tutte le funzioni necessarie ad una

specifica apparecchiatura. Per questo, l'industria microelettronica offre relativamente pochi tipi di IC generici ma decine di migliaia di IC specializzati, ognuno progettato per uno scopo specifico.

I circuiti integrati si dividono principalmente in due grandi categorie: analogici e digitali. Quelli analogici sono concepiti per elaborare segnali analogici (cioè che possono variare con continuità nel tempo in modo arbitrario); quelli digitali sono creati per trattare con segnali digitali binari, che possono assumere soltanto due valori "legittimi" diversi. Un esempio di IC analogico generico è l'amplificatore operazionale, mentre esempi di IC digitali sono le porte logiche, i multiplexer e i contatori [6].

Nei paragrafi seguenti vengono riportati gli integrati utilizzati e come sono stati collegati.

2.2.1 Il modulo UM245R

Il dispositivo UM245R, prodotto dalla FTDI, ha come funzione principale, quella di permettere la trasmissione dei dati tra PC e gli altri circuiti integrati. Esso, inoltre, non necessita di alcuna alimentazione esterna, è infatti alimentato tramite la porta USB grazie alla quale può ricevere una tensione di alimentazione di 5V.



Figura 2.3: Modulo USB UM245R

L'UM245R è dotato di 24pin come mostrato in Figura 2.4.

Per i collegamenti sono stati utilizzati solo 10 pin, in particolare:

- DB0, DB1, ..., DB7 = generico bit di input/output
- GND = massa
- VCC = tensione di alimentazione (+5V)

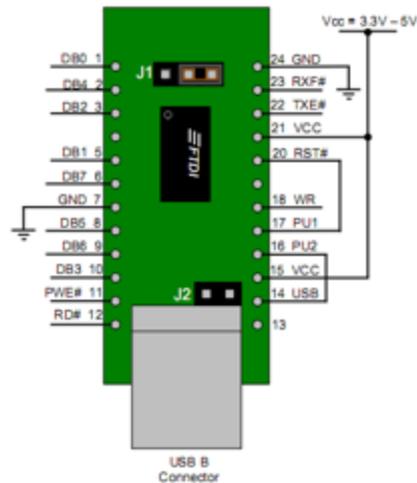


Figura 2.4: Piedinatura del modulo UM245R

I generici bit di input/output sono stati configurati come segue:

- DB0 = MOSI;
- DB1 = SCLK;
- DB2 = SS;
- DB3 = SS;
- DB4 = SS;
- DB5 = SS;
- DB6 = SS;
- DB7 = MISO[7].

2.2.2 Il Port Expander MCP23S17



Figura 2.5: MCP23S17

L'integrato MCP23S17, prodotto dalla Microchip, è un Port Expander bidirezionale a 16-bit I/O, con interfaccia seriale (SPI).

Questi 16-bit sono divisi in due gruppi da 8-bit associati rispettivamente a due registri corrispondenti a due porte: PORT-A e PORT-B, in modo tale da poter configurare l'integrato in modalità 8-bit o 16-bit, dei quali, inoltre, è possibile configurare singolarmente i bit come ingressi oppure uscite [b].

Grazie al protocollo SPI, il Master (UM245R) ha la possibilità di estendere i suoi 8-bit i/o ai 16-bit i/o del Port Expander, favorendo in tal modo il pilotaggio di un maggior numero di Slave.

Il Port Expander MCP23S17 è dotato di 28 pin come mostrato in Figura 2.6:

- GPB0, ..., GPB7 = pin I/O bidirezionali
- VDD = tensione di alimentazione
- VSS = massa
- CS = chip select
- SCK = clock
- SI = dati in ingresso seriali
- SO = dati in uscita seriali
- A0, A1, A2 = pin di indirizzo hardware
- RESET = reset hardware
- INTB = interruzione dati in uscita per il PORT-B

- INTA = interruzione dati in uscita per il PORT-A
- GPA0, ..., GPA7 = pin I/O bidirezionali

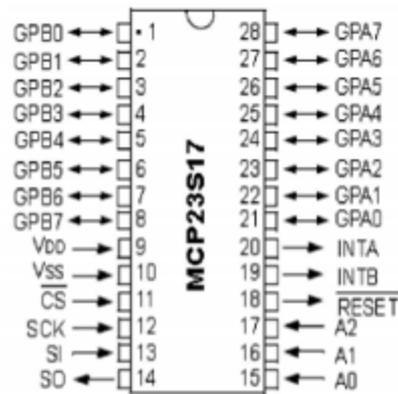


Figura 2.6

Come detto in precedenza questo integrato è stato collegato a due Transistor Array ULN2003AN; ora, in particolare, vediamo come sono stati collegati i pin all'ULN della board di circuiti lineari:

- GPB3 → 1B (ULN2003A)
- GPB4 → 2B (ULN2003A)
- GPB5 → 3B (ULN2003A)
- GPB6 → 4B (ULN2003A)
- GPB7 → 5B (ULN2003A)
- VDD → 5V ed ad un condensatore di 100nF che effettua il filtraggio dei disturbi.
- VSS → 0V
- CS → DB2
- SCK → DB1
- SI → DB0

Come si può notare siamo partiti dal pin GPB3 dato che i pin GPB0,...GPB2 erano già stati utilizzati per il circuito di switch.

2.2.3 Il Transistor Array ULN2003AN

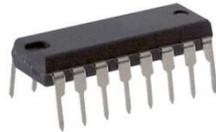


Figura 2.7: ULN2003AN

Il transistor Array ULN2003AN consente di avere in uscita una tensione e una corrente elevata (rispetto agli standard delle porte logiche) grazie all'utilizzo di un array di transistori Darlington, per questo motivo viene definito vettore di transistori Darlington ad alta-tensione ed ad alta-corrente. Esso è costituito da sette coppie NPN Darlington, che assicurano uscite ad alta-tensione tramite l'utilizzo di diodi di ricircolo con catodo-comune per commutare il carico induttivo [9].

Poiché include i driver dei relè e consente di trasformare le uscite digitali del Port Expander (asociate a 0V e 5V) in uscite (ovvero tensioni e correnti) compatibili per i relè, è stato utilizzato nella realizzazione del Circuito per il pilotaggio dei cinque relè necessari per switchare tra circuiti del primo ordine e del secondo ordine.

Questo integrato, inoltre, consente di semplificare il circuito rispetto a componenti discreti, ovvero senza il suo utilizzo sarebbero stati inseriti, per ogni singolo relè, due resistenze, un transistor e un diodo; per cui si è ottenuto un risparmio nello spazio e nei costi.

Esso è dotato di 16 pin come mostrato di seguito in Figura 2.8:

- 1B,.....7B = ingressi;
- E = massa;
- COM = comune di diodi;
- 1C,.....7C = uscite;

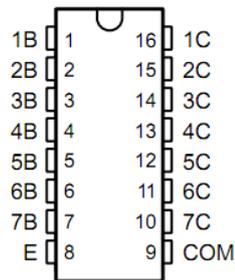


Figura 2.8: Vista dall'alto piedinatura integrato ULN2003AN

Di seguito sono riportati i pin che sono stati collegati:

- 1B → GPB3
- 2B → GPB4
- 3B → GPB5
- 4B → GPB6
- 5B → GPB7
- E → 0V
- COM → 12V, in quanto questo pin è collegato, tipicamente alla tensione di alimentazione dei carichi controllati, quindi è stato collegato ad una tensione esterna di 12V che viene fornita ai relè.
- 1C → Pin 1 del relè 1 (MT2-C93432)
- 2C → Pin 1 del relè 2 (MT2-C93432)
- 3C → Pin 1 del relè 3 (MT2-C93432)
- 4C → Pin 1 del relè 4 (MT2-C93432)
- 5C → Pin 1 del relè 5 (MT2-C93432)

Dove si ricorda che i pin GPB3,.....,GPB7 sono i pin relativi al lato B del Port Expander (MCP23S17) del circuito di switch.

2.2.4 Il relè MT2-C93432

Il relè è un dispositivo atto ad effettuare, mediante opportuni segnali di comando, operazioni di connessione, interruzione e commutazione fra circuiti elettrici. Esistono in commercio svariati tipi di relè con caratteristiche differenti a seconda della casa costruttrice ed al tipo di applicazione, tra cui: elettronici, elettromagnetici, a induzione, a semiconduttore e termici. Il relè elettromagnetico è il più diffuso ed è costituito da uno o più contatti elettrici che vengono azionati per mezzo di un elettromagnete quando la bobina dello stesso viene percorsa da una corrente.

Esso può azionare un circuito sia se è a riposo, non attraversato da corrente (in quel caso tale circuito va collegato ai terminali centrale e di sinistra del relè in Figura 2.9), sia se è attivo, attraversato da corrente (in questo caso il circuito va collegato ai terminali centrale e di destra).

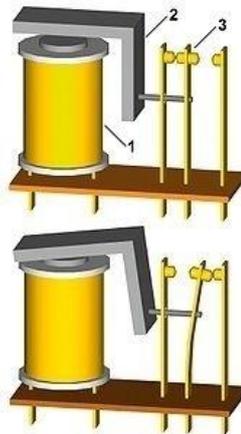


Figura 2.9: Schema funzionamento relè. Legenda: 1) Bobina 2) Ancora 3) Contatto mobile

Nella realizzazione del circuito sono stati inseriti cinque relè MT2-C93432 (Figura 2.10) collegati ai vari componenti del circuito per switchare tra le possibili configurazioni.



Figura 2.10: MT2-C93432

Il relè MT2-C93432 è dotato di 8 pin esterni [10] come mostrato in Figura 2.11, in particolare:

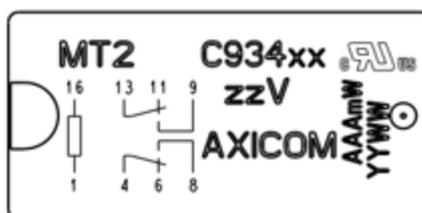


Figura 2.11

- Pin1, Pin16 = terminale della bobina
- Pin4, Pin8 = COM (terminale comune del deviatore)
- Pin6, Pin11 = NC (normalmente chiuso)
- Pin 8, Pin9 = NA (normalmente aperto)

Facendo riferimento allo schema di Figura 2.2 avevamo la seguente situazione:

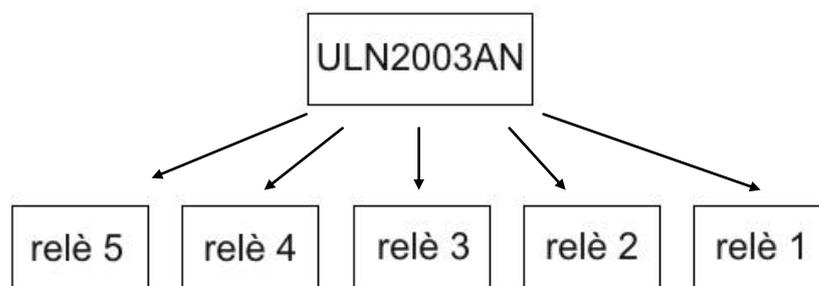


Figura 2.12

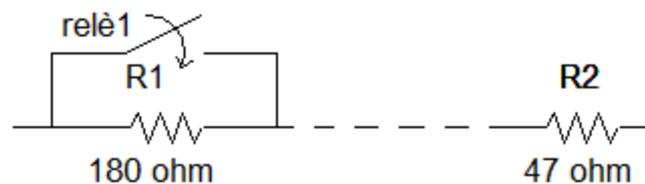
I relè sono stati collegati al Transistor Array ULN2003AN come segue:

- Pin 1 relè 1 → 1C
- Pin 1 relè 2 → 2C
- Pin 1 relè 3 → 3C
- Pin 1 relè 4 → 4C
- Pin 1 relè 5 → 5C
- Pin 16 di tutti e 5 i relè → 9 COM (12V)

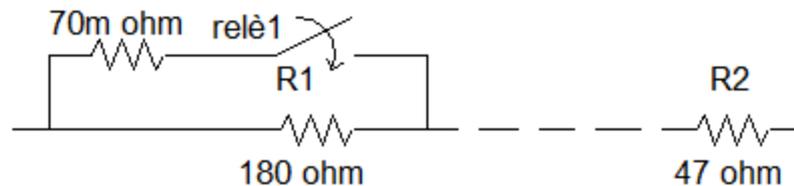
I cinque relè sono stati collegati poi ai bipoli presenti nel circuito mediante i pin 13/9 – 4/8.

Ogni relè come si vede in Figura 2.11 offre la possibilità di poter collegare, eventualmente, due bipoli contemporaneamente: lo switch avviene, dunque, mediante l'apertura/chiusura contemporanea dei pin 13-11 e 4-6 creando un corto in parallelo ai bipoli collegati.

E' importante notare che questi relè hanno una resistenza di contatto massima di $70\text{m}\Omega$ che varia a seconda della temperatura alla quale il dispositivo si trova ad operare. Quindi nel caso del circuito in esame ad esempio considerando il primo relè del circuito avevamo la seguente situazione:



Supponendo di operare ad una temperatura ambiente di 23°C il relè 1 diventa:



Come si può facilmente osservare all'attivazione del relè la $R_{eq}=47.07\Omega$, e quindi la resistenza di contatto del relè altera la costante di tempo del circuito anche se, in questo caso, è decisamente trascurabile. Discorso analogo si può fare per gli altri relè del circuito.

2.3 Realizzazione fisica del circuito: il layout.

Prima di procedere fisicamente alla realizzazione pratica del circuito si è deciso di progettare il layout mediante un apposito software. Dopo un'attenta analisi dei circuiti integrati da assemblare, è stata definita la logica per disporli su di una basetta millefori. Per tale scopo è stato adoperato un software dedicato a queste problematiche: il CIRCAD[11], scritto interamente in Assembler da Hardware Design Engineers.

CIRCAD è estremamente veloce e si distingue per potenza e prestazioni rispetto ad ogni altro pacchetto CAD PCB (Printed Circuit Board) sul mercato. Schematici, netlist, circuiti stampati, stampa, disponibili a comando senza inutili complicazioni così da fondere la genialità dell'operatore con la velocità e precisione del programma. CIRCAD ha funzioni che lo rendono capace del "reverse engineering", è cioè in grado di ricavare schematici partendo da immagini di schede PCB importate da scanner. CIRCAD dunque presenta numerose funzioni ma in questo caso lo si è utilizzato esclusivamente per realizzare il layout del Circuito. La velocità d'uso di CIRCAD aumenta con l'uso della tastiera. Se da una parte la tastiera fa evitare di spostare il mouse, magari perdendo un punto di riferimento nel monitor, dall'altra in alcune situazioni è impossibile muovere il mouse per accedere ai menù quindi bisogna utilizzare per forza la tastiera. Le combinazioni sono sempre di due tasti e si imparano velocemente con un minimo sforzo di memoria. CIRCAD produce diversi tipi di file, i principali sono: *.PCB i circuiti stampati, *.SCH gli schemi, *.LIB le librerie. Per il layout del Circuito si è creato un file PCB: avviato il programma, dal menu principale basta cliccare su File, New, Graphics File, PCB, Size A (un foglio per disegnare un circuito stampato grande come un A4), Confirm.

Lo spostamento all'interno del foglio è una operazione eseguita continuamente. Serve un click in un punto qualunque (quando non ci sono comandi attivi) con il tasto sinistro per zoom-in e con il destro per zoom-out. Tenendo premuto il tasto sinistro e muovendo il mouse è possibile trascinare il foglio. Quando c'è un comando attivo avvicinando il cursore al bordo dello schermo, il foglio si sposterà automaticamente dalla parte opposta. Lo zoom si può anche ottenere con il movimento della rotella del

mouse. Se si perde l'orientamento all'interno del disegno, per riconquistare la precedente situazione, si può usare ZX (Zoom Window) che riporta il posizionamento del foglio in modo tale che il disegno appaia interamente all'interno del monitor con la dimensione massima. Con il comando PC (Place Component) appare una finestra (Figura 2.13) dove è possibile selezionare i componenti che si vogliono inserire nel layout.

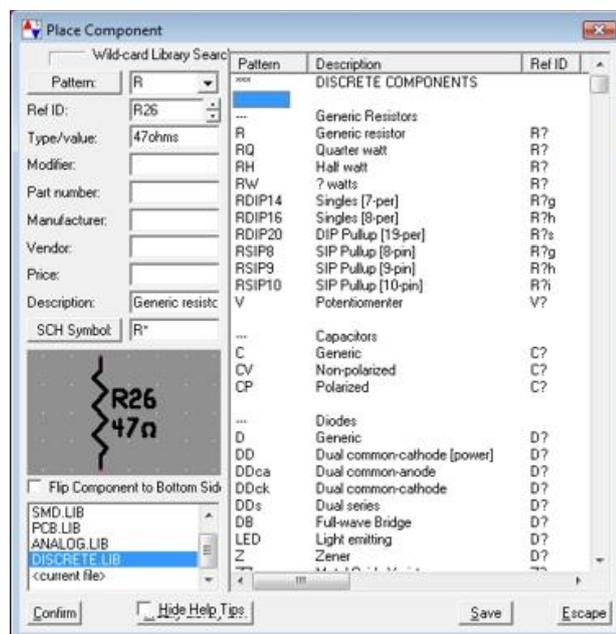


Figura 2.13

Il primo componente ad essere inserito è stato il Transistor Array ULN2003AN dato che svolge il ruolo di Master poiché da esso partono molti collegamenti e proprio per questo si è deciso di posizionarlo al centro della basetta millefori. Successivamente è stato inserito, partendo dall'estrema destra della basetta, il resistore da 180Ω seguito dagli altri bipoli, per finire poi all'estrema sinistra inserendo il resistore da 47Ω; questo perché da essi partono i collegamenti verso i connettori BNC. Infine sono stati aggiunti i cinque relè (MT2-C93432) collegati parallelamente ai rispettivi bipoli.

Per consentire poi il collegamento tra l'ULN2003AN del circuito in esame e il Port Expander MCP23S17 della scheda base è stato utilizzato un connettore a 10 pin (con

apposito filo) su entrambe le schede; i pin di questo connettore sono stati utilizzati anche per garantire la massa comune tra i due circuiti e per prelevare dalla scheda base i +12V necessari all'ULN2003AN, consentendo così l'utilizzo di un unico alimentatore per entrambi i circuiti.

Con l'aiuto del mouse o con semplici comandi da tastiera è possibile spostare, modificare e cancellare i componenti o, meglio ancora, è possibile creare un nuovo componente inserendolo in una libreria già esistente o in una nuova libreria.

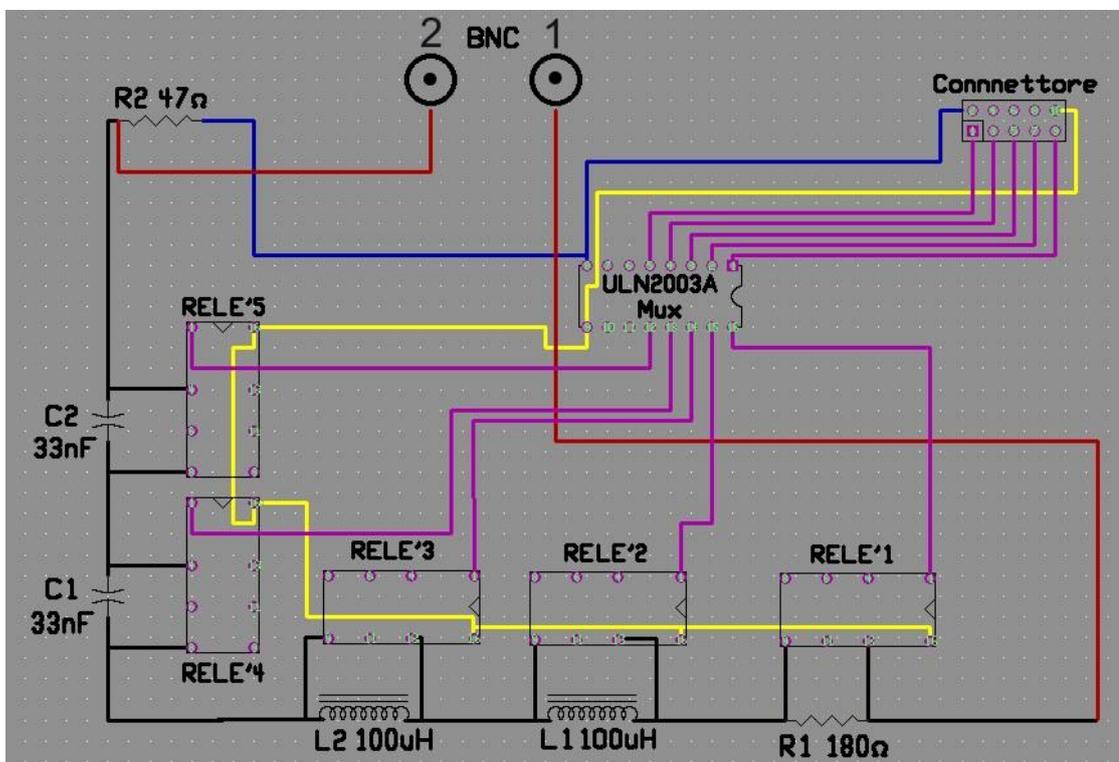


Figura 2.14: Layout della board di circuiti lineari

Da tutte queste operazioni si è ottenuto un layout di 6.300" x 4.000", che corrisponde al reale ingombro fisico del circuito realizzato, ovvero 16cm x 10cm.

Come si può osservare in Figura 2.14 per i vari collegamenti sono stati utilizzati colori diversi a seconda della funzione specifica; a tale scopo sono stati utilizzati i *layers*, chiamati anche livelli. Per comprendere a fondo la funzione, occorre paragonarli a fogli di carta lucida su ciascuno dei quali si disegna con un colore diverso: il disegno

completo risulterà dalla sovrapposizione di questi fogli. Ogni layer, quindi, è dedicato ad uno scopo ben preciso: un layer può contenere le piazzole, un altro le scritte, un altro i collegamenti tra i vari componenti, etc..

Digitando SL (Setup Layer) appare una finestra (Figura 2.15) grazie alla quale è possibile configurare i layers secondo necessità.

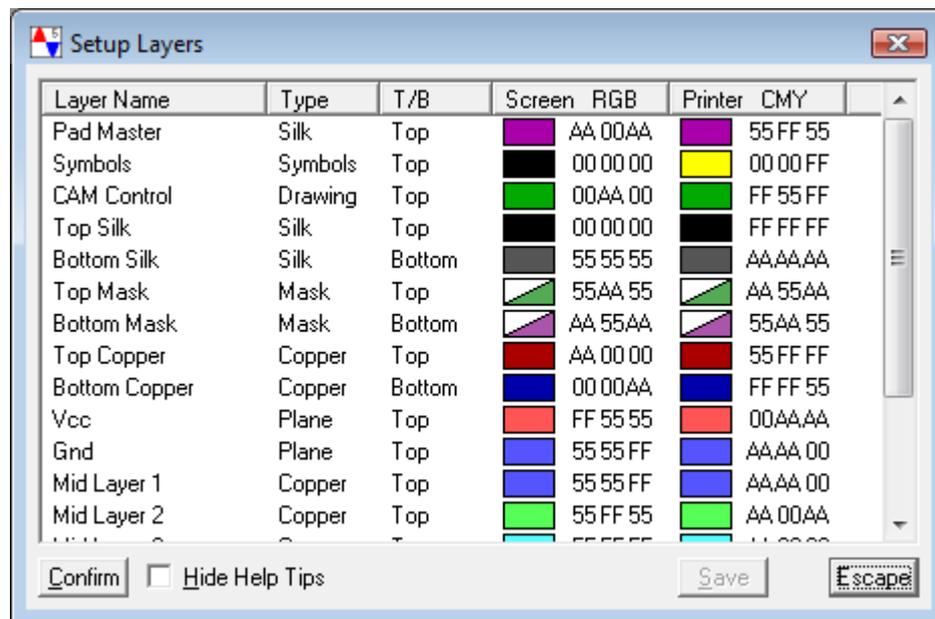


Figura 2.15

Con il comando PL (Place Line) si possono tracciare le piste. Nel layout in oggetto sono stati utilizzati i seguenti layers:

- Layer blu per la massa
- Layer giallo per l'alimentazione di +12V
- Layer viola per collegare l'ULN2003AN ai relè e al Port Expander MCP23S17 mediante l'apposito connettore
- Layer rosso per l'ingresso e l'uscita collegati rispettivamente ai BNC 1 e 2
- Layer nero per collegare i 7 bipoli

Prestiamo attenzione al fatto che le piste non sono state realizzate sul lato componenti ma sul lato rame della basetta millefori; quindi le piste visibili nel layout in Figura 2.14, sono quelle che potremmo osservare se la basetta fosse trasparente.

Definito così il layout ed avendo a disposizione la basetta millefori, il filo di rame coperto per i collegamenti, saldatore, stagno e tutti gli IC descritti in precedenza incluse resistenze, condensatori e induttori, è stato realizzato fisicamente il circuito come mostrato in figura:

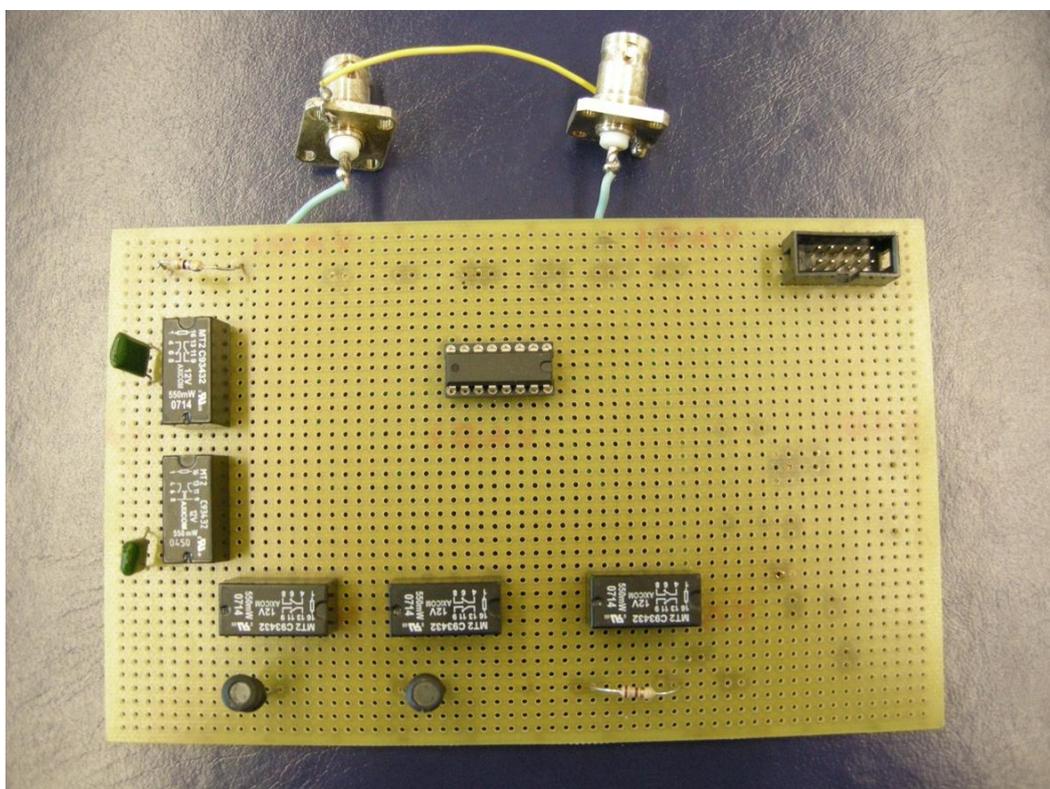


Figura 2.16: “board” di circuiti lineari realizzata su basetta millefori

2.4 Testing dei relè.

Una volta realizzato fisicamente il circuito, per verificare il corretto funzionamento dei relè è stato utilizzato un programma, realizzato mediante l’ambiente di sviluppo LabView, che consente di testare contemporaneamente sia il PortExpander della scheda base che i relè della board in esame essendo questi connessi tra loro.

Vediamo come: collegato il circuito alla scheda base come in Figura 2.17 avviamo il programma VI (“TestMCP23S17.vi”).

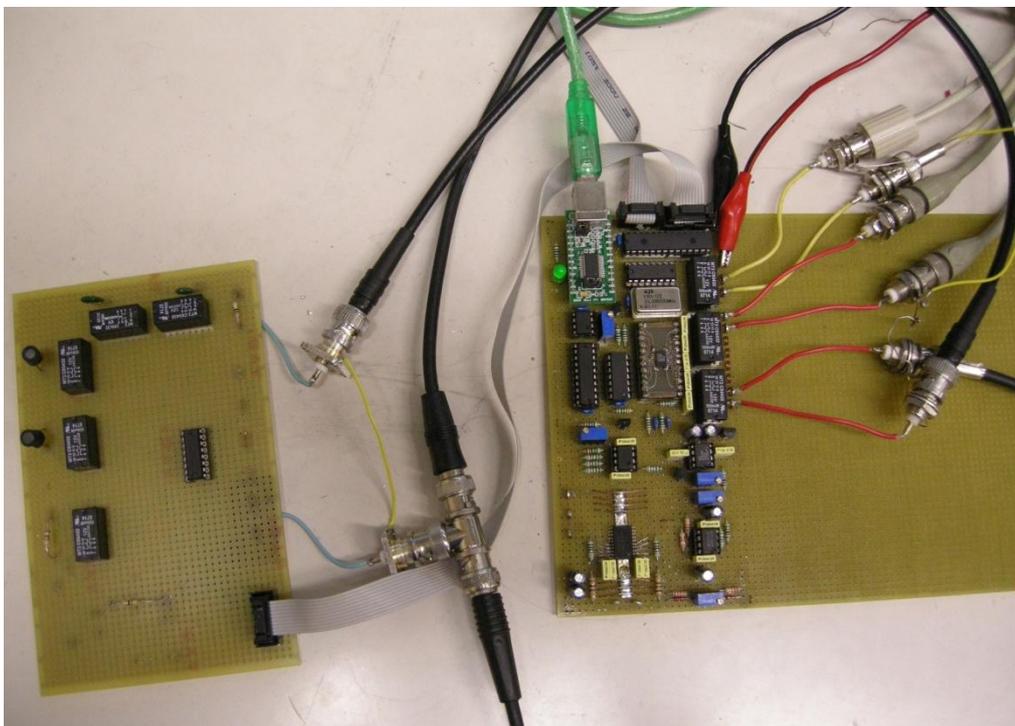


Figura 2.17: Board collegata alla scheda base

Esso presenta l’interfaccia grafica di Figura 2.18 che consente di inviare un byte sulla porta A e/o B dell’integrato MCP23S17: basta scrivere un certo byte e verificare le uscite dei dispositivi; ad esempio, per testare il relè1 della board basta scrivere in “dato porta B” (dato che il nostro ULN2003AN è collegato al lato B del Port Expander) il seguente byte “00001000” e cliccare su “Run”, se i collegamenti sono stati realizzati correttamente sentiremo commutare il relè.

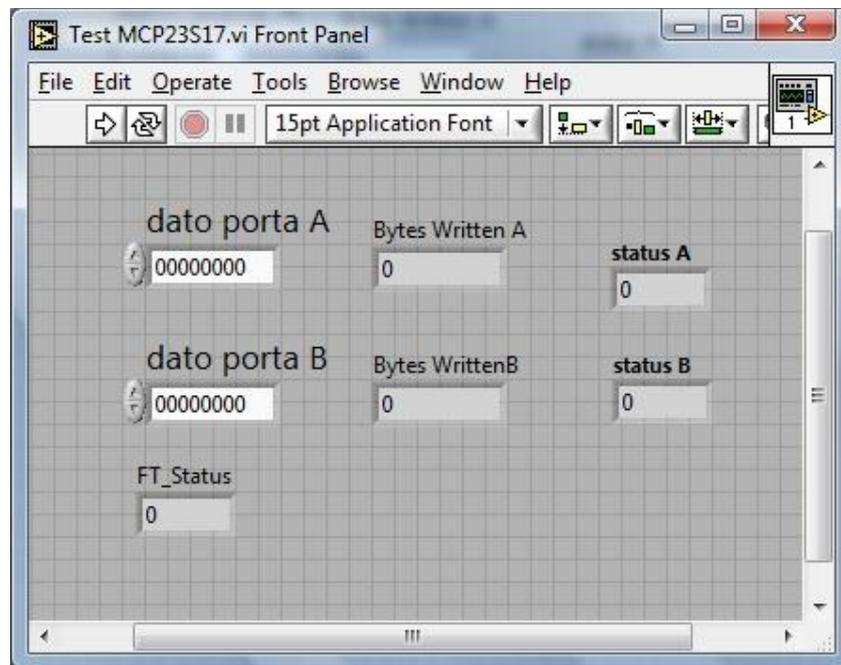


Figura 2.18: Pannello frontale TestMCP23S17.vi

Di seguito è riportato il diagramma a blocchi del VI :

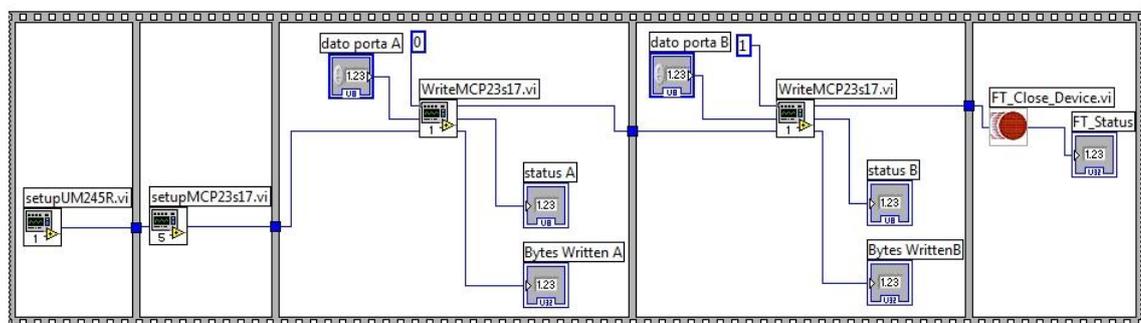


Figura 2.19: block diagram “TestMCP23S17”

- “SetupUM245R.vi” inizializza il modulo USB;
- “SetupMCP245R.vi” inizializza l’integrato MCP23S17 per eseguire la scrittura sulla porta A e/o B;
- “WriteMCP23S17.vi” scrive sulla porta A se riceve in ingresso il bit “0”, sulla porta B e riceve il bit “1”;
- FT_Close_Device.vi termina la comunicazione col il dispositivo.

Capitolo 3

SOFTWARE DI CONTROLLO ED ACQUISIZIONE PER IL LABORATORIO DI CIRCUITI.

In questo capitolo viene presentato il programma di controllo necessario al funzionamento dell'hardware del "Laboratorio remoto di circuiti". Verranno inizialmente descritte le caratteristiche fondamentali dell'ambiente di sviluppo LabView utilizzato e, in seguito, il software di controllo realizzato per la didattica sperimentale, con particolare attenzione alla parte relativa al controllo della "board" di circuiti lineari.

3.1 Introduzione a LabView

3.1.1 Cos'è il LabView ?

LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) è un ambiente di sviluppo per applicazioni principalmente orientate :

- all'acquisizione di dati e alla gestione di strumentazione elettronica;
- all'analisi ed elaborazione dei segnali.

Il suo contributo specifico allo sviluppo lo si deve al vasto numero di schede di acquisizione e sistemi di misura, dalle quali è usato come principale software attraverso cui interagiscono e vengono programmate.

LabView fornisce un ambiente di programmazione di tipo grafico ad oggetti denominato “G-Language”, il quale consente di realizzare programmi in forma di diagrammi a blocchi, in quanto utilizza icone invece di linee di testo per creare applicazioni.

LabView conserva comunque molte similitudini con gli ambienti di programmazione tradizionali: presenta tutti i tipi di dati e gli operatori predefiniti di uso comune, permette di generare nuovi tipi di dati combinando tra loro i tipi di dati elementari e di controllare l'esecuzione dei programmi ricorrendo a strutture di controllo di flusso come ad esempio cicli e costrutti per l'esecuzione condizionale di codice. Questo ambiente di sviluppo software presenta anche delle peculiarità che lo differenziano notevolmente dai linguaggi procedurali più comunemente noti. La prima differenza sostanziale è l'ambiente di sviluppo grafico, sia dell'interfaccia utente sia dell'algoritmo di elaborazione; altra differenza importante è che un programma LabView non esegue il flusso delle istruzioni, ma bensì, segue il flusso di dati. Infatti i programmi scritti in LabView tendono ad essere di tipo data-driven, nel senso che si tende ad enfatizzare come i dati si muovono tra i diversi blocchi operativi più che la sequenza delle istruzioni da eseguire. Mette inoltre a disposizione del programmatore una serie di librerie di funzioni che possono essere richiamate ed utilizzate all'interno dei programmi: le librerie comprendono funzioni di uso comune (funzioni aritmetiche e statistiche, funzioni per la manipolazione di stringhe, etc..) ed inoltre funzioni specializzate per l'acquisizione e l'elaborazione dei segnali, il controllo di strumentazione numerica via interfaccia IEEE-488 o VXI, la trasmissione di dati mediante l'uso di porte speciali oppure mediante il protocollo di comunicazione TCP/IP. E' possibile inoltre definire nuove funzioni ed arricchire le librerie in dotazione con LabView.

Infine il programma consente di effettuare il debug delle applicazioni create in linguaggio G attraverso opportune modalità di esecuzione dei programmi, come ad esempio il modo “highlight execution” o “single step” e per mezzo di oggetti che consentono in run-time la modifica di variabili di programma.

LabView presenta alcuni vantaggi rispetto ad un linguaggio di programmazione tradizionale:

- E' di facile apprendimento, in quanto presenta una modalità di programmazione a blocchi, di tipo visuale ed intuitivo;
- Permette di dare al codice una struttura modulare che consente di suddividere programmi complessi in sottoprogrammi più semplici che possono essere riutilizzati;
- Consente di raccogliere i VI in librerie, ovvero in un insieme di sub-vi utilizzabili da altri VI e velocemente inseribili nel codice sorgente dal programmatore;
- Fornisce un considerevole insieme di librerie per lo sviluppo di applicativi, tra le quali si trovano funzioni di tipo matematico e statistico, controllo di dispositivi per mezzo di alcuni tipi di interfaccia, comunicazione tra calcolatori, ecc.

3.1.2 Utilizzo principale di LabView

LabView è stato pensato principalmente per il controllo di schede di espansione connesse direttamente al bus di un calcolatore o di strumentazione connessa al calcolatore stesso attraverso opportune interfacce come il bus IEEE 488, RS-232, strumenti VXI o ancora attraverso Internet mediante il protocollo TCP/IP.

L' ambiente di sviluppo consente di costruire programmi i quali prendono il nome di **strumenti virtuali** (Virtual Instrument, **VI**).

Un Virtual Instrument permette l' interazione tra calcolatore e strumentazione fornendo contemporaneamente all' utente un opportuno pannello frontale grafico per il dialogo con il VI stesso. In questo modo l' utente interagisce con un nuovo dispositivo (Instrument), costituito da calcolatore, interfacce, strumenti e programma il quale presenta una realtà (Virtual) diversa dai singoli oggetti fisici che compongono

il sistema stesso. Tale fatto spiega il nome di Virtual Instrument dato ad un programma LabView[12].

3.1.3 Virtual Instrument (VI)

Si ricorda che i programmi che si possono realizzare utilizzando il linguaggio grafico LabView sono chiamati **Virtual Instrument (VI)**, dove il termine “strumenti” è dovuto al fatto che durante l’ esecuzione i programmi sviluppati presentano agli utilizzatori una interfaccia analoga a quella di uno strumento di misura, mentre il termine “virtuali” è dovuto al fatto che l’ interazione avviene con un programma in esecuzione e non con un dispositivo fisico dedicato. L’ utilizzatore può modificare il valore di alcune grandezze agendo su opportune manopole o interruttori visualizzati dal programma e può osservare il risultato delle elaborazioni condotte internamente al VI su display grafici molto simili a quelli che si trovano sulla strumentazione numerica.

Un VI è composto da tre parti fondamentali:

- Pannello frontale (Front Panel);
- Diagramma a blocchi funzionale (Block diagram);
- Icona/connettore (Icon/connector).

Il **Front Panel** (pannello frontale) è la finestra che rappresenta l’ interfaccia tra il programma e l’ utilizzatore: il nome deriva dal fatto che può essere strutturato in modo tale da ricordare il pannello frontale dotato di display, indicatori, manopole, tasti, ecc.. Nel pannello frontale vengono allocati i *controllori* gli *indicatori* dello strumento virtuale. Il *controllore* è una variabile di ingresso, che può essere modificata agendo sul pannello frontale, tramite la *tools palette*: è un pannello che mette a disposizione una serie di strumenti che consentono di modificare il valore di un controllore o di selezionare il testo interno; consente di selezionare, posizionare,

ridimensionare oggetti; consente di editare il testo e di creare etichette; consente di collegare i terminali dei nodi

(ossia controllori con VI, indicatori con VI, ecc.) presenti nel block diagram; apre il menù di pop-up di un oggetto; ecc. Per *indicatore* si intende una variabile di uscita il cui

valore può essere modificato dal programma e non dall'utente.

E' possibile agire con un front panel mediante tastiera o mouse, introducendo valori numerici o stringhe di caratteri, modificare lo stato di elementi grafici, come ad esempio

manopole, bottoni e così via.

Il **Block Diagram** (diagramma a blocchi funzionale) contiene il codice nella forma di diagramma a blocchi ed è costituito da: *Nodi*, sono degli elementi di elaborazione; *Collegamenti*, uniscono i nodi e permettono lo scambio di informazioni. Le informazioni passano da un nodo all'altro del pannello frontale per mezzo dei connettori, che li uniscono. Pur presentandosi in forma grafica diversa, il diagramma a blocchi presenta possibilità di programmazione analoghe a quelle offerte da un comune linguaggio di programmazione del tipo text-based. La coppia **Icon/connector** (icona/connettore) è il terzo elemento fondamentale di un programma LabView e consente di trasformare un programma in un oggetto come verrà meglio chiarito nel paragrafo successivo. L' icona è un simbolo grafico di piccole dimensioni, che rappresenta sinteticamente il VI stesso: essa è normalmente visibile in alto a destra della finestra front panel e della finestra block diagram. Il connettore consente di associare, nell' ambito del pannello frontale alle aree dell' icona, i controllori e indicatori che caratterizzano il funzionamento del VI [12].

3.1.4 Sub-VI

Un **Sub-VI** è un VI, utilizzato all' interno di un altro VI come sottoprogramma. Qualunque VI, una volta creato, può essere utilizzato come sub-VI all' interno di un altro VI di più alto livello. Di conseguenza un Sub-VI è analogo ad una subroutine in

un linguaggio di programmazione di tipo text-based. Come avviene in altri linguaggi con le subroutine, non c'è alcun limite al numero di Sub-VI inseribili all'interno di un programma in linguaggio G. E' inoltre possibile chiamare un Sub-VI dall'interno di un altro Sub-VI.

Quando un Sub-VI, viene inserito all'interno di un VI, presenta l'icona ad esso associata nel block diagram che lo contiene.

Quando impiegato come SubVI, un VI normalmente non mostra a video il proprio pannello frontale, ma si limita a ricevere i dati di ingresso per mezzo dei collegamenti tra il sub-VI stesso ed il resto del programma che lo contiene ad elaborarli e a fornire le eventuali uscite[12].

3.2 Descrizione del software di controllo per il laboratorio di circuiti.

La volontà di mettere assieme l'hardware a disposizione, per creare un laboratorio remoto ed in aula di circuiti, necessitava di un software in grado di controllare, attraverso un'unica interfaccia grafica, l'intero complesso di apparati di cui è costituito.

Per soddisfare questa esigenza è stato realizzato, in ambiente di sviluppo LabView 7.1, il software necessario a rendere operativi tutti i circuiti del laboratorio didattico; esso è il risultato di uno sviluppo portato avanti nel tempo grazie anche al contributo di laureandi degli anni passati.

Di seguito verrà descritto prima di tutto l'interfaccia relativa al controllo della scheda base mediante la quale è possibile:

- selezionare l'esperimento che si desidera eseguire tra quelli attualmente disponibili: la "board" di circuiti lineari, il circuito di Chua e il circuito RLD;
- utilizzare il generatore di segnali integrato.

Successivamente verranno presentati i sottoprogrammi relativi agli esperimenti selezionati con particolare attenzione a quello relativo alla "board" di circuiti lineari in oggetto.

3.2.1 Software di controllo: le diverse versioni.

Il software di controllo del circuito è stato realizzato in due versioni a seconda che lo si voglia utilizzare da remoto oppure in laboratorio/aula, questo sia per questioni interne al software, che verranno approfondite più avanti, sia per una questione di funzioni da mettere a disposizione dei “diversi utenti”. Alcune funzioni infatti, come ad esempio il controllo del generatore di segnali, possono risultare superflui per un utilizzo da remoto e non ha senso implementarle in una versione “remota” del software. Al contrario per un utilizzo in laboratorio, o in aula, l’utente può avere la necessità di utilizzare tutte le funzionalità implementate nel circuito e, quindi, verrà fornito un software più completo, in grado altresì di realizzarle.

Sia per la versione in laboratorio/aula che per quella in remoto, sono previste due versioni del software a seconda se si vuole utilizzare il generatore integrato della scheda base oppure il generatore HP-33120A[15] del laboratorio. Questo perché quando è stato avviato il progetto sulla didattica sperimentale non era ancora stata realizzata la scheda base e, quindi, gli esperimenti venivano pilotati mediante il generatore HP; si è deciso quindi di mantenere la vecchia versione del software dando così la possibilità all’utente, eventualmente, di scegliere quale generatore utilizzare.

Ora per entrambe le versioni (in laboratorio/aula o da remoto) analizzeremo le caratteristiche principali indipendentemente dal generatore che si vuole utilizzare dato che queste sono praticamente identiche, quello che cambia è solo il sub-VI relativo al controllo del rispettivo generatore.

3.2.2 Versione del software per l’utilizzo in aula o in laboratorio.

Questa versione è stata pensata per l’utilizzo specifico in aula o in laboratorio, essa infatti mette a disposizione dell’utente, tutte le funzionalità implementate dall’hardware a nostra disposizione, ovvero: controllo della board di circuiti lineari, del circuito di Chua, del circuito RLD e del generatore di segnali.

Il programma principale che dà accesso ai vari esperimenti e funzioni si chiama Mainprogram.vi, esso presenta varie finestre di dialogo strutturate “ad albero”, cioè su

più livelli, che guidano l'utente alla scelta dell'attività desiderata; tale struttura è mostrata in Figura 3.1

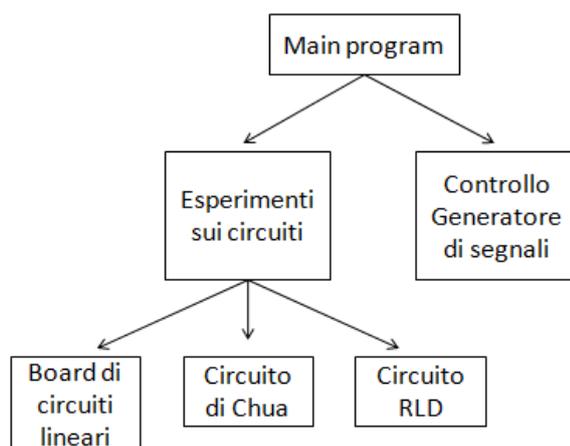


Figura 3.1: Schema ad albero "Mainprogram.vi".

L'interfaccia del programma "Mainprogram.vi", realizzata in ambiente LabView, è mostrata in Figura 3.2:



Figura 3.2: Pannello Frontale "Mainprogram.vi"

- Il pulsante "Esperimenti sui circuiti", indirizza l'utente verso una maschera, sotto forma di finestra pop-up, che permette di scegliere uno tra gli esperimenti a disposizione della didattica sperimentale.



Figura 3.3: Maschera selezione esperimenti

- Il pulsante “*Controllo Generatore di segnali*”, indirizza invece l’utente verso l’interfaccia che consente di controllare il generatore di segnali della scheda base. E’ possibile selezionare: frequenza, ampiezza, offset ed impostare una forma d’onda tra sinusoidale, quadra e triangolare.

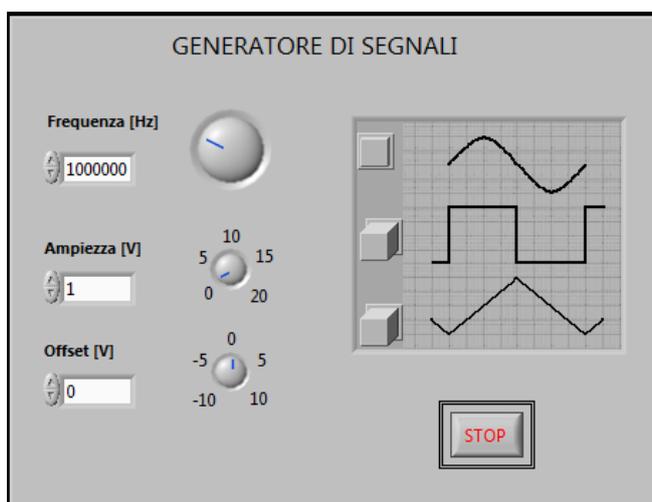


Figura 3.4: Maschera controllo generatore di segnali

- Il pulsante “*STOP*” termina l’esecuzione del programma.

Tornando al programma principale, “Mainprogram.vi”, c’è da dire che esso oltre a gestire l’avvio degli esperimenti, esegue anche le inizializzazioni necessarie al

corretto funzionamento degli apparati a nostra disposizione; in figura ne viene mostrato il diagramma a blocchi:

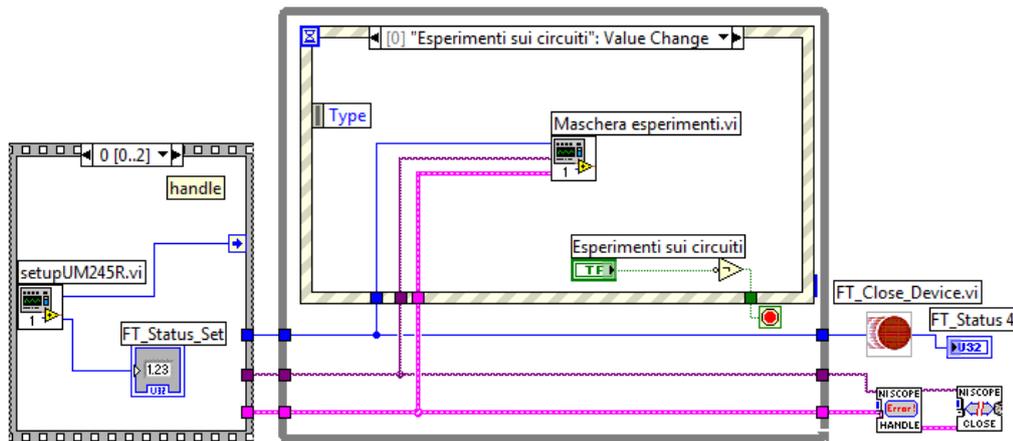


Figura 3.5: Diagramma a blocchi “mainprogram.vi”

Procedendo da sinistra verso destra, abbiamo un primo blocco di codice costituito da una stacked sequence structure⁴ all'interno della quale sono stati inseriti nell'ordine i sub-VI per l'inizializzazione del modulo UM245R, dell'integrato MCP23S17 e della scheda d'acquisizione veloce PCI-5102. L'ordine di inizializzazione, deve necessariamente prevedere in testa quella del modulo UM245R poiché questo integrato, fungendo da master, deve poter pilotare tutti gli altri dispositivi slave.

L'inizializzazione del modulo UM245R è realizzata attraverso il sub-VI “setupUM245R.vi” che apre la comunicazione con il modulo USB e ritorna il valore del puntatore Handle, un indicatore che mostra una sorta di “indirizzo” identificativo del dispositivo collegato e che sarà usato per accessi successivi; ritorna inoltre il parametro FT_STATUS, un indicatore che fornisce lo stato del dispositivo[13]

Concatenato a questo sub-VI c'è il sottoprogramma “setupMCP23S17.vi”: esso riceve in ingresso l'handle e consente sia di settare i pin dell'integrato (come input oppure come output), sia di configurarne i registri interni; nel nostro caso per controllare il multiplexer che seleziona gli esperimenti, pilotare i relè della board di circuiti lineare

⁴ La stacked sequence structure è una struttura che permette la sequenzializzazione dei sub-diagrammi contenuti in essa, o per meglio dire delle funzioni presenti al suo interno.

e, pilotare il circuito di Chua è necessario impostare i pin della porta A e quelli della porta B del Port Expander, come pin di uscita.

Infine la stacked sequence structure presenta un terzo frame, in cui è stato inserito il sub-VI di inizializzazione della scheda PCI-5102, fornito con la scheda stessa.

Passiamo ora a descrivere il codice che realizza l'interfaccia del menu principale, mostrato in figura 3.5.

L'interfaccia utente è stata realizzata mediante una event structure. Con questa struttura, l'applicazione attende che un evento si verifichi sul pannello frontale avvalendosi della funzionalità del sistema operativo per essere informato quando l'utente ad esempio modifica un valore, sposta il mouse o chiude l'applicazione, in modo da riservare la CPU per altri programmi in esecuzione sul computer.

Quando LabVIEW esegue l'event structure, si pone il VI in attesa fino a quando si verifica uno degli eventi preconfigurati; quando un evento di interesse si verifica, la struttura ad eventi automaticamente si sveglia ed esegue i sub-VI associati a tale evento.

Nel nostro caso, è stata realizzata una event structure con tre frames, di cui due sono associate ai pulsanti "Esperimenti sui circuiti" e "Controllo generatore", la terza, al pulsante "stop". I dati risultanti dalle inizializzazioni, vengono passati all'interno della event structure e attraversano anche un ciclo while per garantire la sequenzialità delle operazioni.

Il **primo frame** viene eseguito quando l'utente preme il pulsante "Esperimenti sui circuiti"; in questo caso, viene mandato in esecuzione il sub-VI "Maschera esperimenti.vi" e mostrata all'utente l'interfaccia di Figura 3.3, con la quale è possibile selezionare uno tra gli esperimenti proposti e accedervi.

Del tutto analogo è il **secondo frame**, che viene eseguito invece quando l'utente preme il pulsante "Controllo Generatore di segnali"; in questo caso, viene mandato in esecuzione il sub-VI "Generatore.vi" e mostrata all'utente l'interfaccia di Figura 3.4.

Il **terzo frame** viene eseguito quando si preme il pulsante "STOP", il quale è stato connesso direttamente al nodo di terminazione del ciclo while; in tal caso il

programma “esce” dal ciclo while, e chiude la comunicazione con la scheda di acquisizione veloce PCI-5102 e con il modulo usb UM245R.

E’ da osservare che il software consente di eseguire un’attività, terminarla, e subito dopo eseguirne un’altra, senza dover necessariamente terminare il programma principale: ciò significa che le inizializzazioni vengono eseguite solo una volta (all’avvio del mainprogram); allo stesso modo il rilascio delle risorse avviene solo al termine del mainprogram. Questo accorgimento oltre ad essere corretto da un punto di vista teorico, è efficace anche da un punto di vista delle prestazioni, perché riduce i tempi di esecuzione del programma.

Passiamo ora a descrivere il diagramma a blocchi del sotto-programma “Esperimenti sui circuiti.vi”, posto all’interno di “Mainprogram.vi” e il cui pannello frontale è già stato mostrato in Figura 3.3.

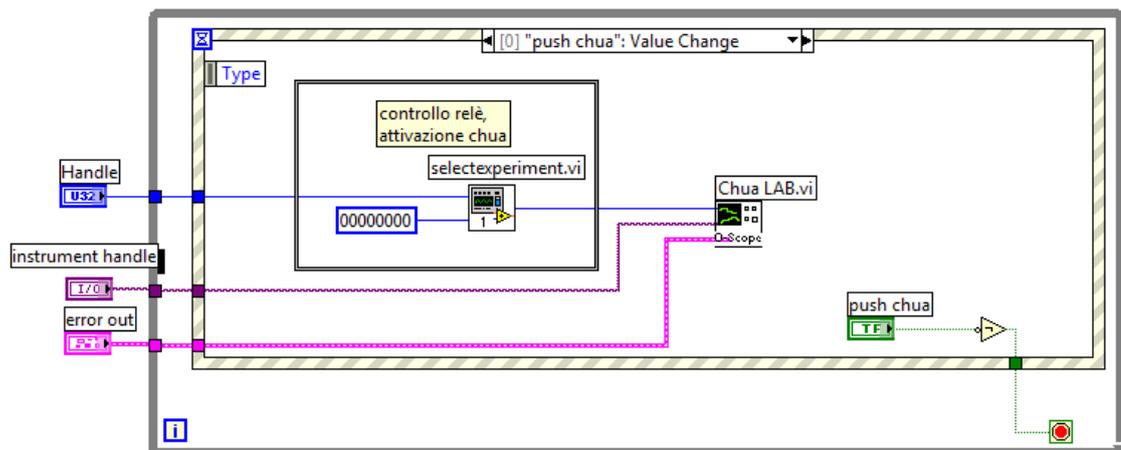


Figura 3.6: Diagramma a blocchi di “Esperimenti sui circuiti.vi”

Il sub-VI riceve dal programma principale, i parametri ottenuti con le inizializzazioni, in modo da poterli passare ai VI che ne necessitano.

Anche per questo VI è stata adottata una event structure composta da cinque frame di cui quattro per la scelta degli esperimenti ed uno per tornare al menu principale (Mainprogram.vi).

Il *primo frame* viene eseguito quando l’utente sceglie l’esperimento di Chua, cioè quando viene premuto il pulsante “Circuito di Chua”. Il sub-VI selectexperiment

riceve in ingresso l'handle ed il byte "00000000"; in questo modo, viene pilotato il multiplexer a relè per mettere in connessione il circuito di Chua con i canali d'ingresso analogici della scheda d'acquisizione PCI-5102. Terminata questa prima fase di "selezione dell'esperimento", viene richiamato il sub-VI "Chua LAB.vi"⁵ e viene visualizzato il relativo pannello frontale mostrato in Figura 3.7. Questo programma consente di interagire col circuito di Chua, di modificare il valore della resistenza variabile, attraverso gli appositi comandi e di osservare i risultati su un grafico X-Y che mostra i valori delle tensioni sui due condensatori del circuito.

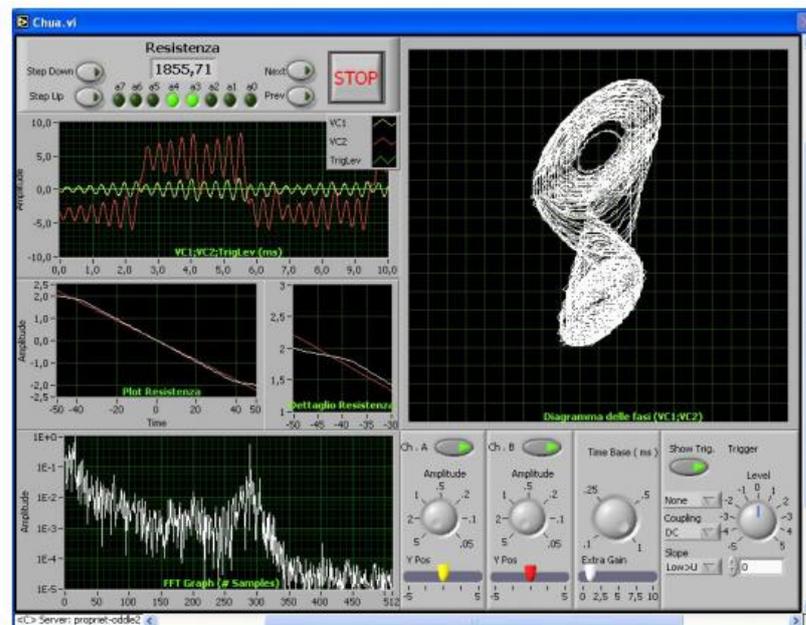


Figura 3.7: Pannello Frontale di "Chua LAB.vi"

Il *secondo frame* della event structure, è mostrato in Figura 3.8, ed è del tutto analogo al primo: viene eseguito quando l'utente preme il pulsante "Circuito RLD" e attraverso il sub-VI "selectexperiment.vi" consente di collegare fisicamente il circuito RLD alla scheda di acquisizione PCI-5102, per poterne acquisire le tensioni.

⁵ Per indicare che si tratta della versione "da laboratorio" e distinguerla da quella "remota".

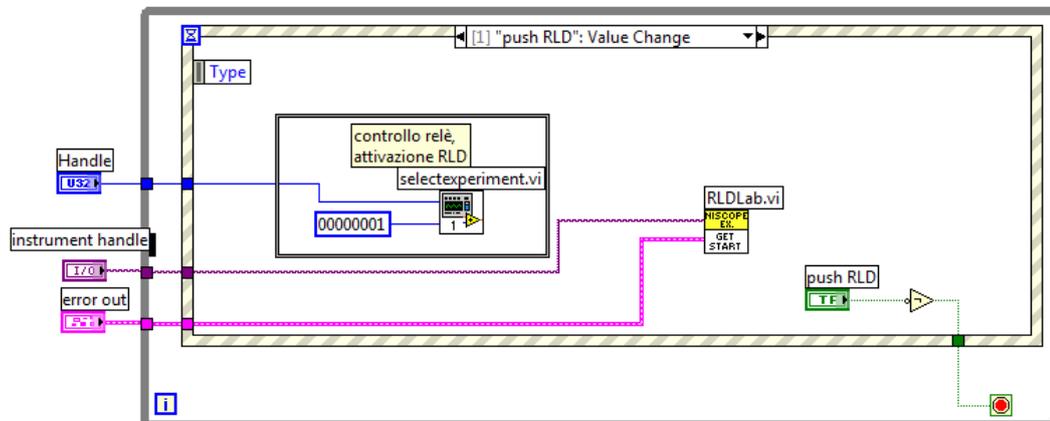


Figura 3.8: Secondo frame di “Esperimenti sui circuiti.vi” per la selezione del circuito RLD

Il sub-VI “RLD LAB” riceve come ingressi l’handle e le inizializzazioni della scheda d’acquisizione; quando viene richiamato, si apre il relativo pannello frontale di Figura 3.9 che realizza l’interfaccia di un oscilloscopio.

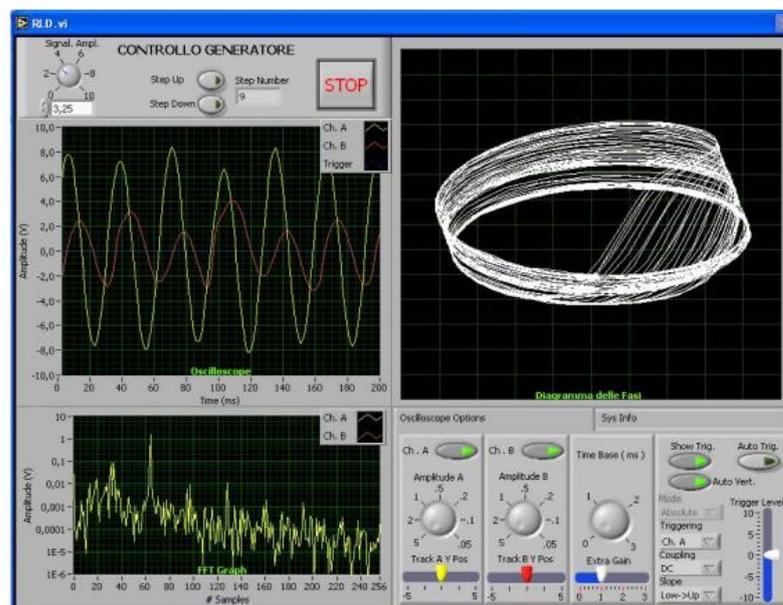


Figura 3.9: Pannello frontale di “RLD Lab.vi”

Il *terzo frame* della event structure, è mostrato in Figura 3.10 e, come gli altri, viene eseguito quando l’utente preme il pulsante “ Board di circuiti lineari” e attraverso il sub-VI “selectexperiment.vi” consente di collegare fisicamente la board di circuiti lineari.

Successivamente viene avviato il subVI “boardLAB.vi” che, come vedremo in dettaglio nel paragrafo 3.3, avvia il pannello frontale per il controllo della board in oggetto.

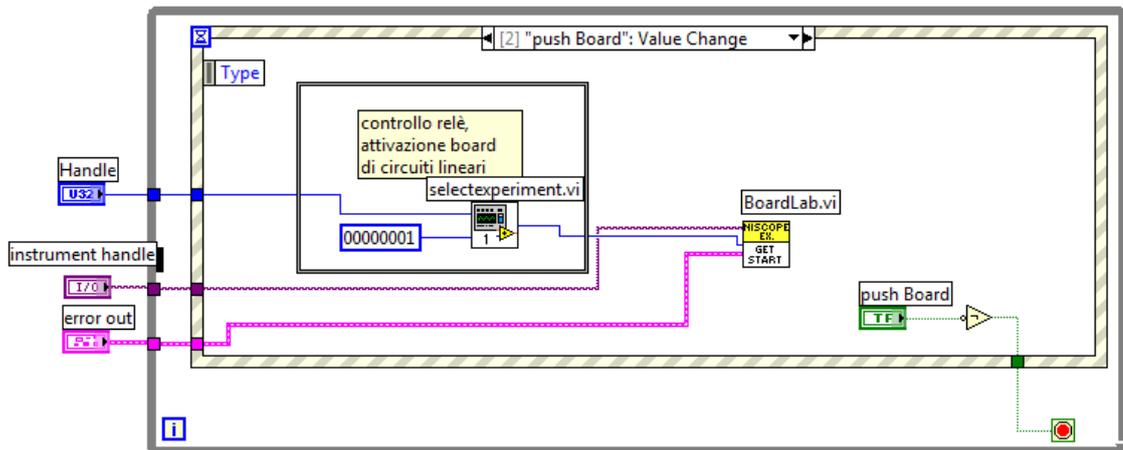


Figura 3.10: Terzo frame di “Esperimenti sui circuiti.vi” per la selezione della board.

Il *quarto frame* è stato predisposto per includere un eventuale altro esperimento futuro; per adesso viene mostrato un semplice messaggio informativo.

Infine, il *quinto frame* viene eseguito quando si preme il pulsante “Torna al menu principale”, il quale è stato connesso direttamente al nodo di terminazione del ciclo while; ciò consente di chiudere la finestra e di ritornare al menu principale.

3.2.3 Versione del software per l'utilizzo da remoto.

Per l'utilizzo da remoto è stato realizzato un software dedicato, molto simile a quello appena descritto, denominato "mainprogramREMOTO.vi": a differenza del precedente, è stata realizzata un'interfaccia su 2 livelli con la possibilità di selezionare solo gli esperimenti d'interesse didattico, ovvero il circuito di Chua, l'RLD e la board di circuiti lineari; anche in questo caso è stato predisposto un link per un eventuale esperimento futuro. Il pannello frontale del programma è mostrato in figura 3.11; l'interfaccia risulta estremamente semplice, allo scopo di consentire a qualsiasi utente di accedere agli esperimenti senza dover necessariamente conoscere il software di programmazione LabView. Esso infatti non richiede né l'avvio, né l'arresto da parte dell'utente, giacché queste operazioni vengono preventivamente eseguite dal laboratorio di circuiti, ove il software è installato. Per ottenere questa semplificazione, è stato reso invisibile il tasto stop, poiché l'interruzione del programma non ne consentirebbe più il riavvio, se non da parte dell'amministratore.

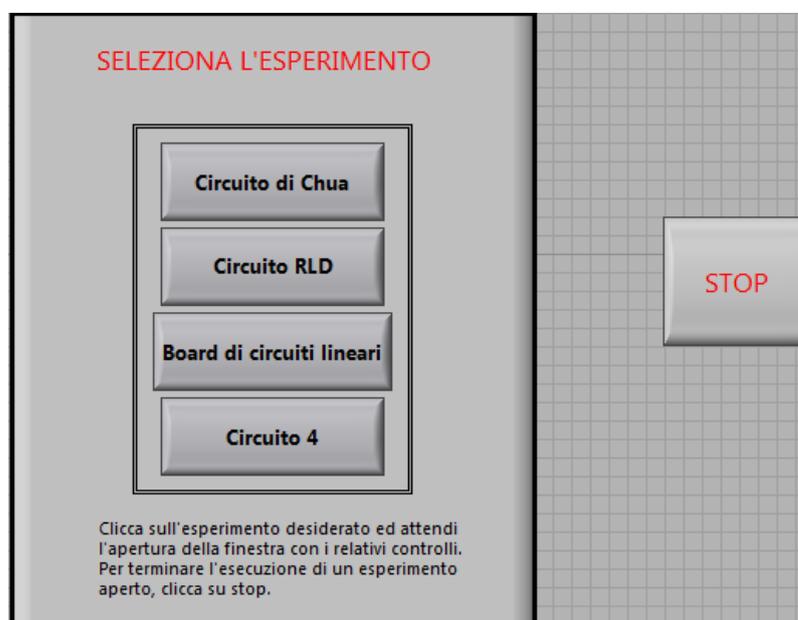


Figura 3.11: Pannello frontale di "mainprogramRemoto.vi" visualizzato sul PC server

A questo punto l'utente che tramite internet accede al "laboratorio remoto di circuiti", deve semplicemente preoccuparsi di selezionare l'esperimento desiderato; fatto ciò, a seconda della scelta eseguita, vedrà apparire il pannello frontale dell'esperimento selezionato così come mostrato nel paragrafo precedente per il circuito di Chua (Figura 3.7) e per l'RLD (Figura 3.9), mentre per la board di circuiti lineari, come detto in precedenza, sarà descritto nel paragrafo successivo. Il pulsante "Circuito 4" richiama invece un messaggio informativo per tornare al menù principale e, in futuro, potrà essere sostituito da un quarto esperimento. Il diagramma a blocchi che esegue queste operazioni è praticamente identico a quello per la versione "da laboratorio" (Figura 3.6).

Tuttavia la grossa differenza rispetto alla versione "da laboratorio", si trova all'interno dei sub-VI "Chua Remoto.vi", "RLD Remoto.vi" e "Board Remoto.vi"; la necessità di introdurre delle varianti, nasce da un malfunzionamento del software che può verificarsi proprio con l'utilizzo da remoto: quando un utente accede al laboratorio remoto di circuiti, visualizza in una finestra del browser web il programma principale "mainprogramREMOTO.vi" in versione "da remoto", così come mostrato in figura 3.11; l'utente selezionando uno tra gli esperimenti proposti vedrà apparire una finestra pop-up con i controlli e gli indicatori dell'esperimento scelto; a questo punto, se l'utente

dovesse chiudere incautamente il browser web che sta eseguendo "mainprogramREMOTO.vi", anche la finestra pop-up verrebbe chiusa; tuttavia sul computer server del laboratorio ove è installato il software, il programma rimarrebbe in esecuzione, provocando un grave disagio agli utenti che in seguito volessero usufruire degli esperimenti.

Per risolvere questo malfunzionamento del programma, è stato quindi inserito all'interno dei programmi "Chua Remoto.vi", "RLD Remoto.vi" e "Board Remoto.vi" un blocco di codice che effettua ricorsivamente un controllo per verificare se l'utente è connesso effettivamente al laboratorio remoto oppure no; nel momento in cui l'utente dovesse risultare disconnesso, l'esperimento in esecuzione termina

automaticamente, consentendo a chiunque altro desideri utilizzare gli esperimenti, di farlo senza problemi.

Questa cosa fornisce autonomia e robustezza al laboratorio remoto di circuiti, riducendo

al minimo l'intervento umano dal lato server.

Il codice che effettua questo controllo, come già accennato, è stato inserito all'interno dei VI per il controllo dei tre esperimenti. Esso è rappresentato in Figura 3.12 in cui però, la restante parte del codice dell'esperimento, presente nel ciclo while, è stata schematizzata per semplicità con un rettangolo.

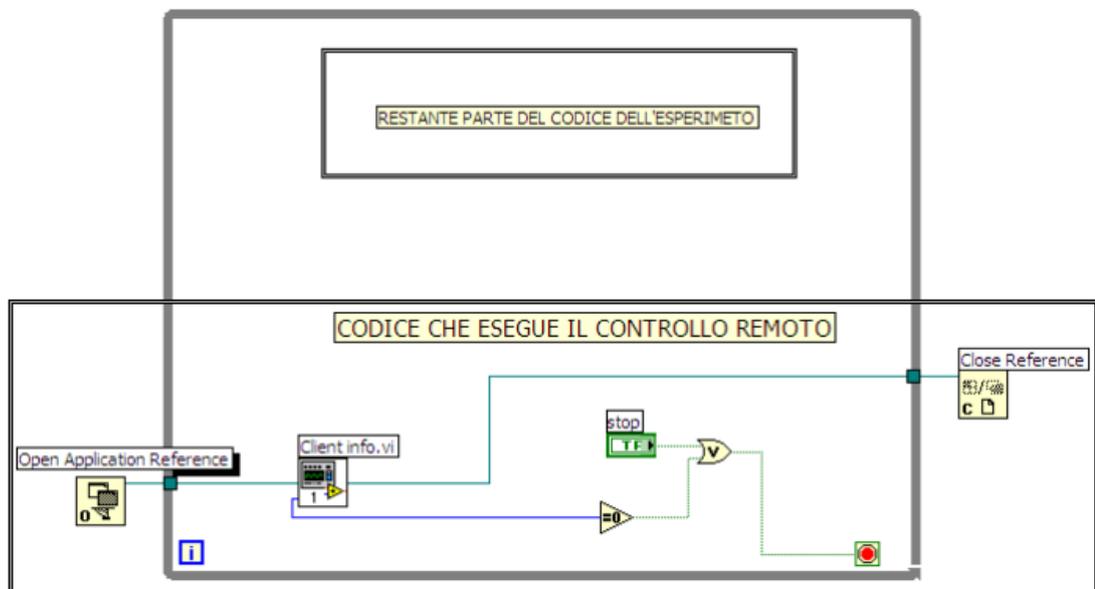


Figura 3.12: Codice all'interno dei VI degli esperimenti che esegue il controllo remoto.

Il sub-VI “Client info.vi” ritorna un array di clusters contenenti informazioni sui clients⁶, che da remoto sono connessi agli esperimenti proposti. Tra le informazioni che si possono ottenere, vi sono::

⁶ Nel nostro caso, trattandosi di un laboratorio remoto “monoutente”, l'utente connesso sarà soltanto uno.

- il nome del PC remoto;
- il numero di porta attualmente utilizzato dal computer client.
- Il tempo trascorso dall'inizio della connessione;
- Lo stato di connessione al server (se è 0, l'utente è disconnesso).

Sfruttando proprio il valore della variabile “status”, è stato possibile far terminare l'esecuzione dell'esperimento, quando l'utente chiude inaspettatamente la finestra del browser web [14].

3.3 Sub-VI per il controllo della “board” di circuiti lineari.

Esaminiamo ora il subVI che realizza l’interfaccia grafica per il controllo della board di circuiti lineari in oggetto che, come descritto nel paragrafo precedente, viene avviato quando l’utente dal menù principale clicca sul pulsante “Board di circuiti lineari”. Il subVI “Maschera esperimenti.vi”, esaminato in precedenza, passa in ingresso al subVI “boardLAB.vi” (nella versione da laboratorio/aula) o “boardRemoto.vi” (nella versione da remoto) i controllori “error in” e “instrumental handle” ottenuti con l’inizializzazione della scheda d’acquisizione e l’handle del modulo UM245R.

A questo punto si apre il pannello frontale di Figura 3.13.

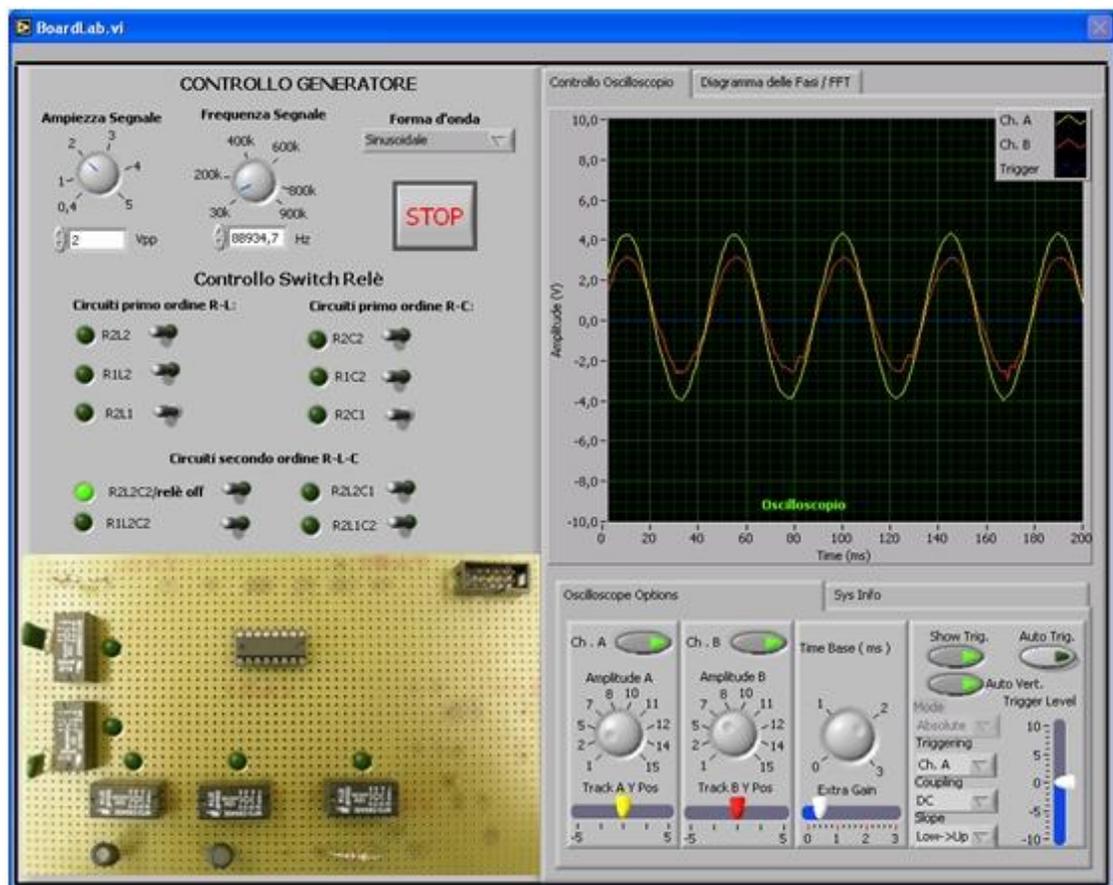


Figura 3.13: Pannello frontale per il controllo della board di circuiti lineari.

Questo programma è stato realizzato partendo dalla versione per il circuito RLD ed è stato modificato per adattarlo alle nostre esigenze; esso è costituito, come si può osservare, da tre parti fondamentali: una relativa al controllo del generatore dove è situato anche il pulsante “STOP” per terminare l’esecuzione del programma e tornare al menù precedente, un’altra relativa al controllo dei relè per switchare tra le possibili configurazioni di circuiti e, una che realizza l’interfaccia di un “oscilloscopio virtuale”, molto simile a quella di un oscilloscopio tradizionale.

Per quanto riguarda il *controllo del generatore*, come si può osservare, l’utente può selezionare la forma d’onda del segnale che può essere sinusoidale o quadra e può regolare l’ampiezza e la frequenza del segnale mediante gli appositi controllori.

In Figura 3.14 è mostrata una sezione del diagramma a blocchi del subVI in cui è possibile notare il blocco di codice che effettua l’inizializzazione del generatore mediante il subVI “SigGen Setup.vi” e poi gli altri subVI che consentono di modificare ampiezza, frequenza e forma d’onda.

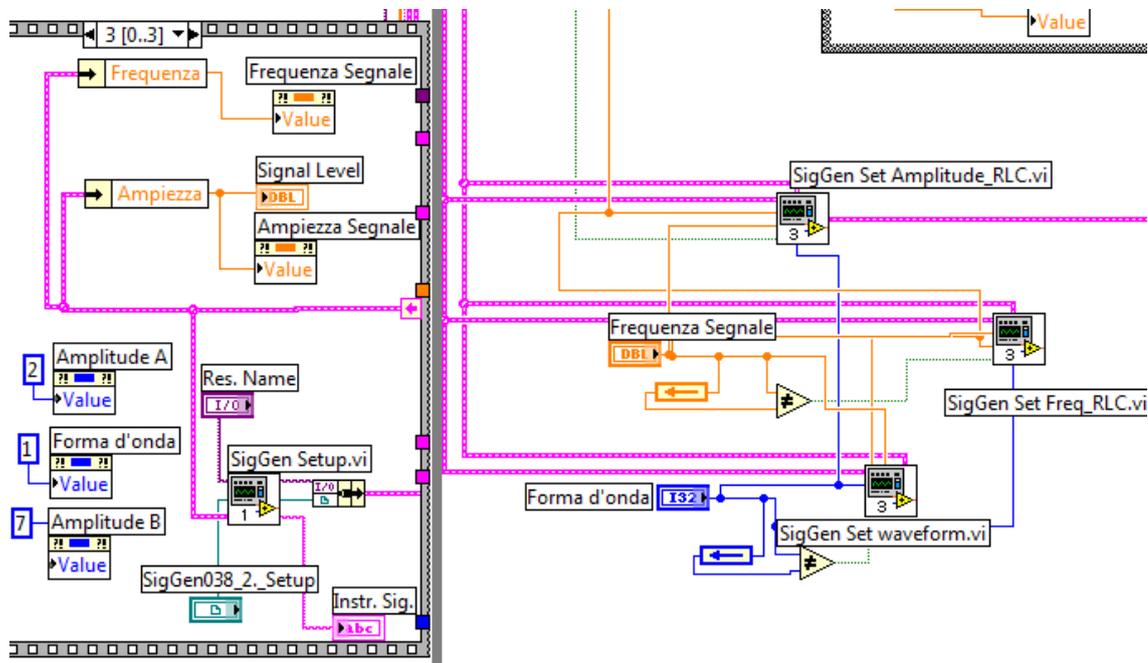


Figura 3.14: Diagramma a blocchi board.vi

Il sub-VI “SigGen Setup.vi” riceve in ingresso prima di tutto l’handle del generatore, se viene utilizzato l’HP33120A o, l’handle dell’integrato UM245R, se viene utilizzato il generatore integrato nella scheda base e poi riceve un cluster con i valori predefiniti⁷ di ampiezza, frequenza, offset e forma d’onda da impostare nel generatore di segnali appena viene lanciato il programma; in uscita, a seconda della versione utilizzata, ritorna l’handle dell’HP o del modulo USB per consentire le operazioni successive di modifica dei parametri. terminate le inizializzazioni del generatore e della scheda di acquisizione 5102, il programma attende che l’utente modifichi, mediante uno dei controllori disposti sul pannello frontale, l’ampiezza, la frequenza e la forma d’onda del segnale in ingresso al circuito; quando si verifica la variazione di uno di essi, viene eseguito, rispettivamente, il sub-VI “SigGenSetAmplitude_RLC.vi”, “SigGenSetFreq_RLC.vi” o “SigGenSetwaveform.vi” per impostare ampiezza, frequenza e forma d’onda del segnale in uscita al generatore.

Sulla destra del pannello frontale, invece, possiamo vedere i controlli che generalmente si trovano sul pannello di un *oscilloscopio* convenzionale: vi sono due schede, realizzate mediante i “Containers” di LabView, “Controllo Oscilloscopio” e “Diagramma delle Fasi/FFT” che consentono, appunto, di passare dalla schermata con i vari controllori e il diagramma temporale (Figura 3.13) alla schermata con il diagramma delle fasi e dell’FFT (Figura 3.15).

⁷ Tali valori sono stati scritti nel file di configurazione “setupGen.ini”, al quale il software accede in fase di inizializzazione

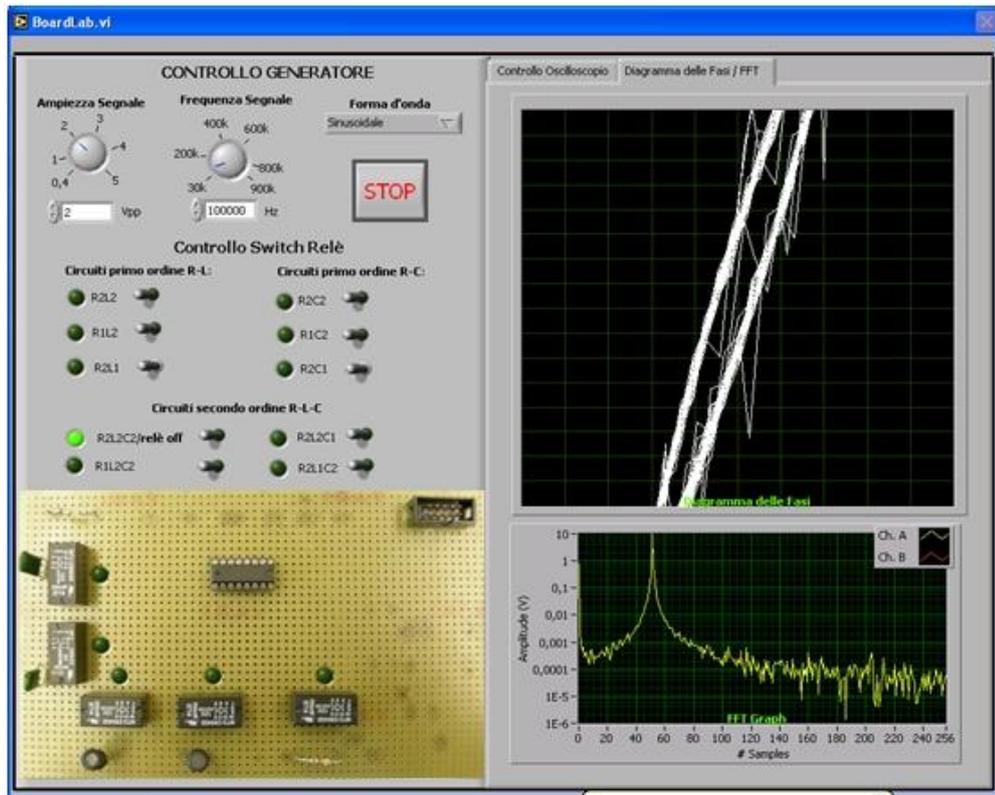


Figura 3.15

Tornando ad esaminare il pannello frontale di Figura 3.13 analizziamo la parte relativa ai controlli dell'oscilloscopio (Figura 3.16):

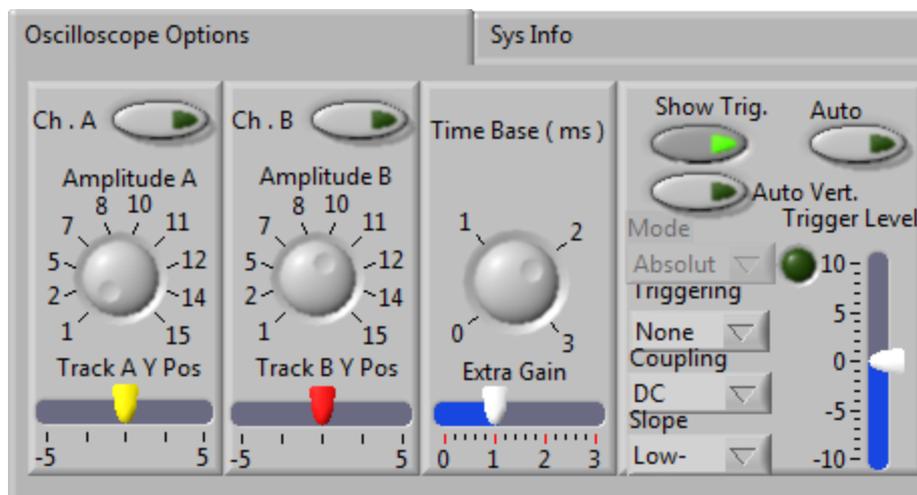


Figura 3.16: Controlli oscilloscopio

Vi sono i 2 pulsanti che consentono di attivare i canali Ch.A e Ch.B con le rispettive manopole per regolare l'ampiezza verticale; la manopola per regolare la base dei tempi (che indirettamente fissa la frequenza di campionamento) e, il blocco relativo alla configurazione del sistema di trigger. Anche in questo caso vi è una scheda (Sys Info) dove è possibile configurare i parametri avanzati dell'oscilloscopio e visualizzare quelli attualmente utilizzati.

Vediamo ora il blocco relativo al controllo dei relè della board (Figura 3.17); come si può osservare esso è molto intuitivo: vi sono una serie di interruttori che consentono di commutare tra diverse combinazioni di circuiti del primo ordine e del secondo ordine; ad ogni combinazione corrisponde l'apertura/chiusura dei rispettivi relè facilmente individuata da un led (sovrapposto alla foto del circuito) che si illumina all'occorrenza.

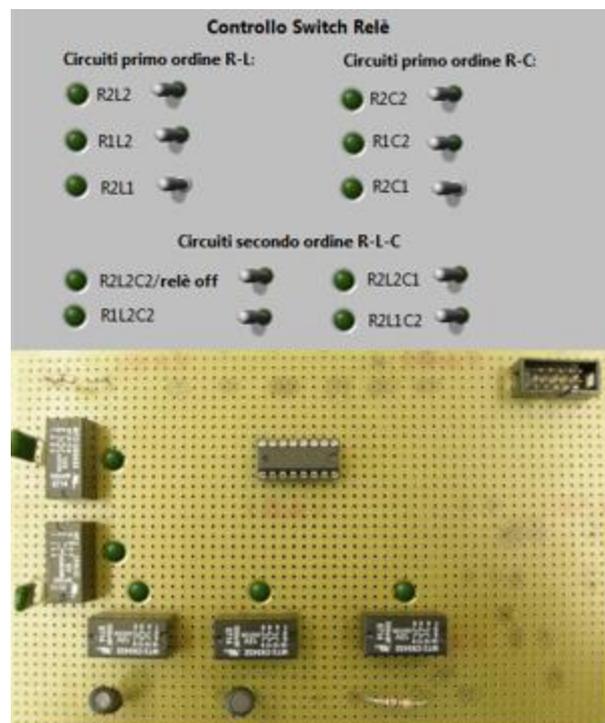


Figura 3.17: Pannello per il controllo dei relè

In particolare, per i circuiti del primo ordine, sono state previste 3 combinazioni di circuiti RL (R2L2-R1L2-R2L1) e 3 combinazioni di circuiti RC (R2C2-R1C2-R2C1).

E' stata utilizzata la seguente convenzione: il numero alla destra di ogni lettera indica il numero di bipoli abilitati quindi, ad esempio, cliccando sull'interruttore R1L2 si ottiene il circuito RL con $R_{eq} = 47\Omega$ e $L_{eq} = 200\mu H$ ovvero con una sola resistenza (R1) e due induttori (L2) collegati; come si può osservare in Figura 3.18 si sono illuminati i led in corrispondenza dei tre relè che commutano in questa configurazione.

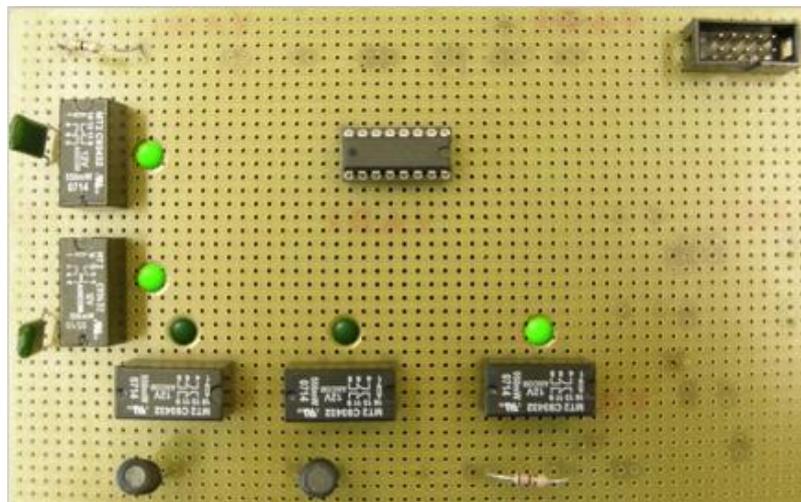


Figura 3.18: R1L2

Per quanto riguarda invece i circuiti del secondo ordine sono state previste 4 configurazioni : R2L2C2 (che è la configurazione di default in cui i 5 relè non sono attivi), R1L2C1, R2L2C1 e R2L1C2.

Esaminiamo ora una sezione del diagramma a blocchi del subVI che realizza il controllo dei relè (Figura 3.19).

Per ogni interruttore è stata utilizzata una struttura “case” all’interno del ciclo while generale del diagramma a blocchi del subVI; in Figura 3.19 è riportata la struttura dell’interruttore che realizza la configurazione R1L2.

La struttura case funziona in questo modo: fino a quando il valore dell’interruttore booleano rimane su “True” , ovvero fino a quando l’interruttore rimane premuto, viene eseguito il codice all’interno della struttura “True” e, in questo caso, viene inviato il seguente byte al PortExpander “11001001” che abilita i relè corrispondenti e vengono accesi/spenti i rispettivi led; quando poi il pulsante viene premuto

nuovamente viene eseguita la struttura “False” che scrive la stringa di byte all’interno di un indicatore numerico non visibile all’utente.

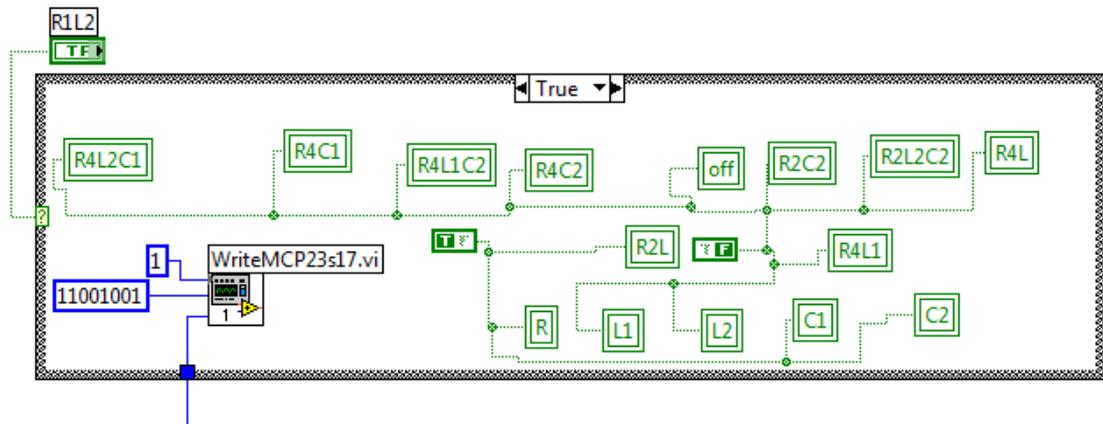


Figura 3.19: Sezione di codice del diagramma a blocchi che realizza la configurazione R1L2.

All’inizio però ci si è resi conto che questa soluzione comportava un problema: quando l’utente premeva un interruttore era costretto a premerlo nuovamente per riportarlo su “false” prima di selezionare una nuova configurazione altrimenti cliccando su un altro interruttore, il programma inviava più stringe di byte contemporaneamente all’MCP23S17. Così si è deciso di risolvere questo problema cambiando la “meccanica” dell’interruttore facendo in modo che quando l’interruttore viene premuto viene eseguito il codice all’interno della struttura true e, in automatico, l’interruttore ritorna su off; si è aggiunto poi vicino ad ogni interruttore un led per indicare la configurazione attualmente utilizzata.

Ora che abbiamo presentato il VI in tutte le sue funzioni vediamo alcuni esempi pratici; nella Figura 3.13 vista in precedenza, come si può osservare, il circuito sta operando ad una frequenza di 88kHz che, come esaminato nel Capitolo 1 (paragrafo 1.3.4), è proprio la frequenza di risonanza per la configurazione R2L2C2.

Provando a cambiare la frequenza spostandoci al di sopra e al di sotto della frequenza di risonanza si ottengono i due casi rispettivamente di Figura 3.20 e 3.21:

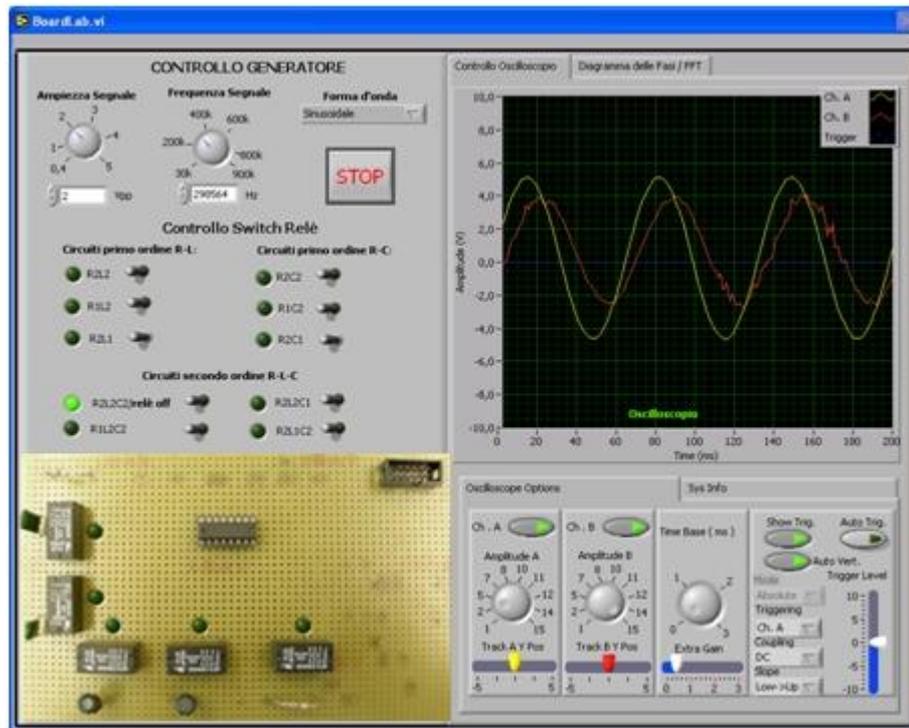


Figura 3.20: Per $f \approx 300\text{kHz}$ il circuito si comporta come un carico ohmico induttivo.

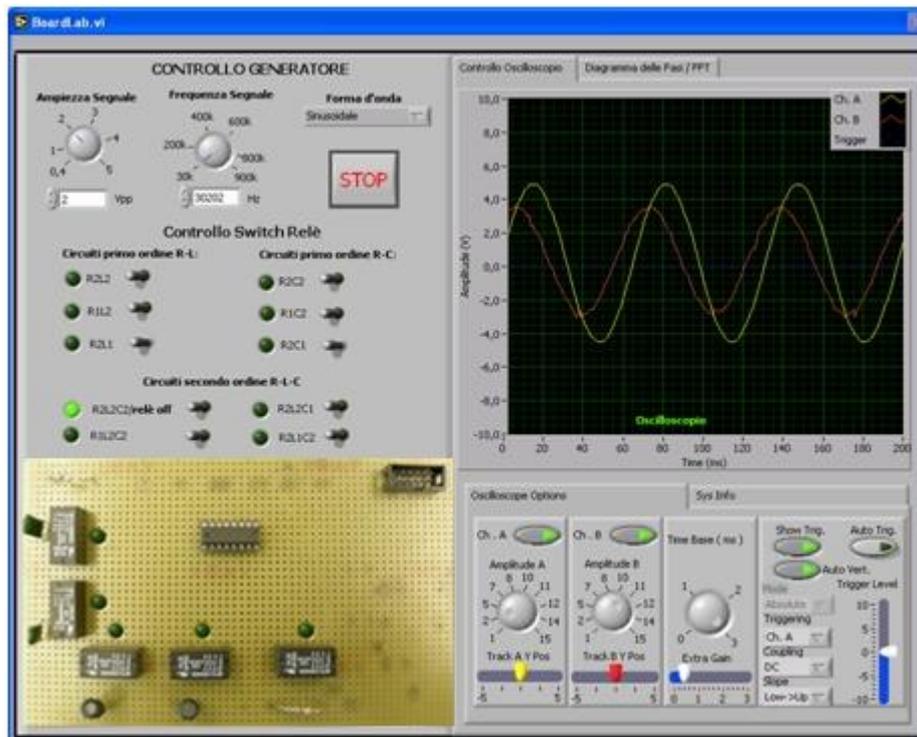


Figura 3.21: Per $f=30\text{kHz}$ prevale la componente capacitiva.

CONCLUSIONI

La “board” di circuiti lineari realizzata in questa tesi ha preso spunto dalla necessità didattica di mostrare, con esperimenti in aula o comodamente da remoto, alcune dinamiche interessanti sui circuiti lineari ampliando così il set di esperimenti disponibili per il laboratorio “remoto” di circuiti.

L’obiettivo che ci eravamo prefissati era quello di realizzare un circuito multifunzione in grado di interfacciarsi con il calcolatore mediante la scheda base; ciò è stato possibile grazie all’utilizzo dei relè e di altri integrati. La scelta in fase di progettazione dei componenti che sono stati utilizzati, infatti, è stata dettata dalle nostre esigenze di realizzazione cui hanno pienamente assolto e cioè, dalle dinamiche che volevamo osservare per questi tipi di circuiti, dal costo e dall’interfacciabilità.

Come è stato messo in evidenza precedentemente la board è stata realizzata praticamente a costo zero utilizzando alcuni componenti forniti gratuitamente da società produttrici e utilizzando materiale già presente in laboratorio.

In conclusione possiamo dire che sebbene ci siano alcuni problemi di rumore legati agli effetti parassiti delle connessioni elettriche, che comunque non alterano una valutazione qualitativa delle dinamiche interessate, la board di circuiti lineari così realizzata ha soddisfatto tutte le nostre necessità.

Il laboratorio di circuiti tuttavia rimane un progetto in costante sviluppo, è infatti previsto il riassetto di tutto l’hardware per la didattica sperimentale realizzato fino ad ora (scheda base ed esperimenti) su un’unica scheda autoalimentata e chiusa all’interno di un box in modo tale da ridurre ulteriormente le dimensioni, a tutto vantaggio della portabilità; c’è anche l’idea di realizzare su un’unica scheda portabile in aula la board di circuiti lineari con un generatore di segnali.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. de Magistris, G. Miano, Fondamenti di circuiti per l'ingegneria, Springer Verlag Italia, 2007;
- [2] www.ni.com;
- [3] L. O. Chua, C.A. DESOER, E.S. KUH, Circuiti Lineari e Non Lineari, Jackson, 1991;
- [4] M. de Magistris, Appunti del corso di Teoria dei Circuiti: Comportamento Asintotico di Circuiti non Lineari, www.elettrotecnica.unina.it;
- [5] Charles K. Alexander, Matthew N.O. Sadiku, Circuiti elettrici, McGraw-Hill 2001;
- [6] Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith, Circuiti per la microelettronica, EdiSes 2006;
- [7] V. Di Fiore. "Realizzazione e testing di hardware per la didattica sperimentale sui circuiti", Tesi di laurea - Università degli Studi di Napoli Federico II, 2008;
- [8] Microchip Technology, MCP23S17 Datasheet, 2007;
- [9] Texas Instruments, ULN2003AN Datasheet, 2003;
- [10] Tyco Electronics Axicom, MT2C93432 Datasheet, 2004;
- [11] www.holophase.com;
- [12] Bertocco. "Introduzione a Labview ", Università di Padova Facoltà di Ingegneria;
- [13] G.Mirra. "Realizzazione di una scheda di input/output analogica/digitale per il laboratorio "remoto" di circuiti", Tesi di laurea - Università degli Studi di Napoli Federico II, 2007;
- [14] D.Improta. "Realizzazione del software per il controllo di esperimenti didattici sui circuiti", Tesi di laurea - Università degli Studi di Napoli Federico II, 2008;
- [15] www.agilent.com.