



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE
TESI DI LAUREA TRIENNALE

SVILUPPO DI UN ALIMENTATORE
PER IL PILOTAGGIO DI UNA
LAMPADA FLASH DI UN LASER

RELATORE: Prof. Simone Buso

LAUREANDO: *Alberto Gozzo*

Padova, 18 Febbraio 2010

A zia Stefi

Indice

Sommario	1
1 Introduzione	3
2 Azienda Orotig	5
2.1 Profilo aziendale	5
3 Saldatura Laser	7
3.1 Tecnica di saldatura	7
3.2 La saldatrice	12
4 Strumentazione Microchip	15
4.1 La famiglia dsPIC per SMPS	15
4.2 dsPIC utilizzati	16
4.3 Software e debugger	18
4.3.1 MPLAB IDE	18
4.3.2 ICD 2	18
5 Sviluppo progetto	21
5.1 Precarica	22
5.1.1 Passaggi per zero	22
5.1.2 Trasformatore impulsivo e SCR	23
5.1.3 PWM	25
5.1.4 Precarica nel Main	27
5.1.5 Autorun	33
5.2 Boost	35
5.2.1 Schema circuitale	35
5.2.2 Utilizzo su scheda	38
6 Miglioramenti futuri	41

Sommario

OGGETTO: Tirocinio presso azienda Orotig di Castelnuovo del Garda.

PROGETTO: Sviluppo di un alimentatore CCPS (Capacitor Charge Power Supply) per il pilotaggio della lampada Flash di un laser in un'unica scheda controllati da un DSC (Digital Signal Controller).

L'obiettivo del progetto è stato quello di realizzare un'unica scheda per il "pompaggio" della lampada Flash di un LASER Nd YAG che integrasse lo stadio di carica dei condensatori di energia (CCPS) con quello del pilotaggio della lampada Flash. Il controllo di entrambi gli stadi è totalmente digitale e utilizza i nuovi dsPIC della famiglia GS per SMPS di Microchip. Tale scheda si doveva interfacciare con il micro di supervisione del LASER mediante I/O standard, interfaccia UART (RS232 o RS485). La scheda sperimentale era stata già realizzata ma prevedeva l'uso dei dsPIC di generazione precedente ed inoltre il Firmware di gestione era stato solo abbozzato. Gli obiettivi concreti dello stage sono stati quelli di "rispolverare" il progetto studiando l'integrazione di un dsPIC di nuova generazione, procedere al collaudo e contestualmente allo sviluppo del Firmware (in C) per il controllo dei vari stadi.

Capitolo 1

Introduzione

Con Elettronica di Potenza si intende quella branca tecnologica che si occupa del controllo, del condizionamento e della conversione statica dell'energia elettrica dalla sua forma originale alla forma desiderata. Il termine statico viene usato in contrapposizione ai sistemi rotanti di conversione che utilizzano motori elettrici. I convertitori di potenza si trovano dovunque è necessario convertire o modificare una grandezza elettrica sia essa corrente, tensione o frequenza, mentre le potenze in gioco possono variare da pochi milliWatt (in un cellulare) a diverse centinaia di megaWatt (pensiamo ai sistemi ad alta tensione continua per la trazione ferroviaria). La differenza principale rispetto all'elettronica classica è che, mentre questa utilizza correnti e tensioni elettriche per portare "Informazione", l'elettronica di potenza le utilizza per portare "Energia". Per questa ragione nel primo caso il metro di misura è la qualità e la quantità di informazione elaborata mentre nel secondo è l'efficienza.

La tecnica PWM è quindi fondamentale per realizzare una conversione dell'energia in modo efficiente. Non solo, ma racchiude in sé le potenzialità del digital power, una vera e propria rivoluzione digitale per l'elettronica di potenza.

Se prendiamo in esame lo schema a blocchi di un classico controllore PWM di tipo analogico ci accorgeremo che esso possiede già un cuore digitale costituito da un Flip-Flop e due porte NOR.

Un alimentatore switching analogico rappresenta una tecnologia matura e assai affidabile, con riferimento a figura 1.1. Pochi componenti esterni aggiunti allo schema a blocchi consentono di realizzare un semplice controllore analogico mentre un controllore PWM digitale rappresenterebbe solo una piccola porzione di alimentatore switching. Qual è allora il vantaggio di introdurre il controllo digitale in un sistema elettronico di potenza?

Analizzando la situazione nel dettaglio, i vantaggi principali sono:

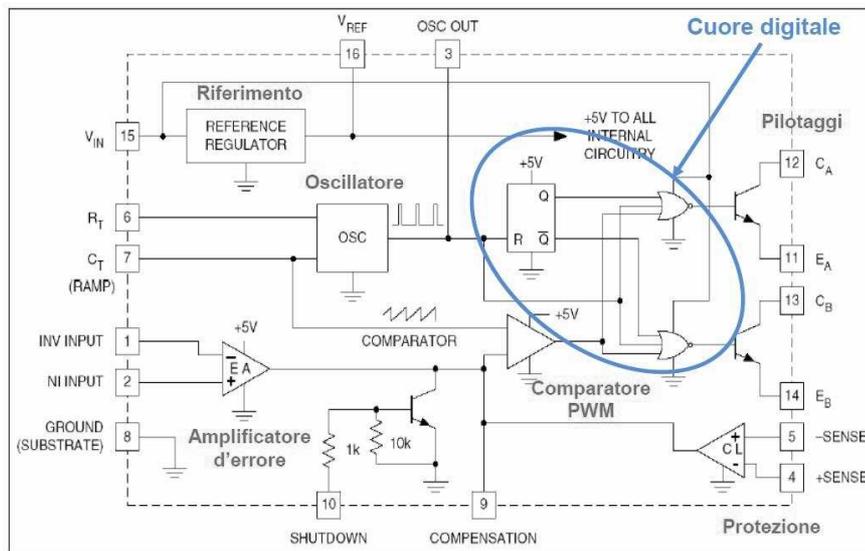


Figura 1.1: Pwm analogica.

1. Flessibilità: è possibile cambiare le caratteristiche dell'alimentatore senza cambiare i componenti, semplicemente riprogrammandolo.
2. Realizzare funzioni complesse e critiche come controlli multipli (multi-phase control), distribuzione e gestione dei carichi (load sharing e hot-swap), gestione dell'alimentazione (start-up e in-rush) senza aggiungere circuiti complessi e costosi.
3. Efficienza: è possibile mettere a punto algoritmi per ottimizzare l'efficienza in funzione del carico e dell'alimentazione.
4. Affidabilità: è possibile mettere a punto algoritmi di messa a punto automatica (auto-tuning) che compensino le tolleranze dei componenti e le loro variazioni nel tempo, effettuare diagnostica e supervisione in linea etc..
5. Interfacce di sistema: comunicare con il sistema ospitante o con altri sistemi è più semplice grazie alle numerose periferiche di comunicazione che si possono facilmente integrare nel controllore
6. Riduzione costi e dimensioni: grazie ai vantaggi sopra elencati è possibile realizzare sistemi altrimenti realizzabili solo con circuiti complessi e numerosi componenti.

Capitolo 2

Azienda Orotig

2.1 Profilo aziendale

Fondata nei primi anni 90, la Orotig Srl di Castelnuovo del Garda (Verona) ha ideato ed elaborato una tecnologia particolarmente efficace e competitiva per realizzare protesi in titanio. Grazie alla tecnologia Titec® by Orotig e grazie al servizio di assistenza e formazione Orotig Srl, l'utilizzo del titanio in odontoiatria è diventato più accessibile e più competitivo tanto in Italia quanto nel resto d'Europa.

L'esperienza acquisita nel campo odontotecnico l'ha portata a sviluppare prodotti per nuovi settori quali l'ortodonzia, con la serie di prodotti LASER a diodi 808 e Pocket Laser. Inoltre le ha permesso di implementare una tecnologia personale per la lavorazione del titanio e dei metalli nobili per il mercato della oreficeria.

La Orotig Srl ha predisposto al proprio interno un centro di formazione altamente specializzato grazie al quale l'odontotecnico che sceglie di lavorare il titanio può trovare il massimo supporto tecnico e formativo.

Orotig è stata fondata con lo scopo di realizzare le tecnologie adatte all'utilizzo dell'unico metallo attualmente ritenuto compatibile con l'organismo umano: il titanio. E' considerato un materiale relativamente nuovo visto che è solo nel 1795 che il Rutilio viene riconosciuto da Klaproth come ossido di tale elemento. Di data recente è la preparazione del titanio metallico puro con peso specifico di $4,5 \text{ kg/dm}^3$ e punto di fusione a circa 1700°C . Leghe di titanio sono usate in aeronautica, per usi missilistici e spaziali, nell'industria chimica e nella fabbricazione di protesi utili alla deambulazione. In medicina il titanio è utilizzato da parecchi anni per le sue eccellenti caratteristiche e specialmente in campo odontoiatrico si apprezzano:

- Biocompatibilità
- Leggerezza
- Resistenza alla corrosione
- Sapore neutro
- Basso peso specifico
- Sufficente rigidità
- Bassa conduzione di calore
- Neutralità galvanica nel cavo orale
- Trasparenza ai Raggi X

L'uso del titanio in odontoiatria è stato finora fortemente limitato dalla sua estrema reattività, che si manifesta soprattutto durante la "lavorazione a caldo".

Alla difficoltà di ottenere fusioni compatte, prive di porosità, si aggiunge quindi quella di evitare qualsiasi inquinamento che comprometterebbe irrimediabilmente le sue eccezionali caratteristiche.



Capitolo 3

Saldatura Laser

3.1 Tecnica di saldatura

Laser è l'acronimo inglese di Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, ovvero Amplificazione di Luce tramite Emissione Stimolata di Radiazione. Questa sigla indica un dispositivo in grado di emettere un fascio di luce coerente e monocromatica e, con alcune eccezioni, concentrata in un raggio rettilineo estremamente collimato. Inoltre la luminosità (brillanza) delle sorgenti laser è elevatissima a paragone di quella delle sorgenti luminose tradizionali.

Queste tre proprietà (coerenza, monocromaticità e alta brillantezza) sono alla base del vasto ventaglio di applicazioni che i dispositivi laser hanno avuto e continuano ad avere nei campi più disparati: l'elevatissima brillantezza, data dal concentrare una grande potenza in un'area molto piccola, permette ai laser il taglio, l'incisione e la saldatura di metalli; la monocromaticità e coerenza li rende ottimi strumenti per la misura di distanze, spostamenti e velocità anche piccolissimi, dell'ordine del millesimo di millimetro; sempre la monocromaticità li rende adatti a trasportare informazioni nelle fibre ottiche anche per distanze lunghissime.

Uno degli obiettivi da raggiungere durante la costruzione di protesi dentali è quello di ottenere una perfetta passivazione della travata, quindi trattare la superficie di sostegno con sostanze chimiche al fine di renderla meno aggredibile da agenti chimici. Questa esigenza viene evidenziata in modo particolare durante la preparazione di lavori su impianti, dovuta alla situazione di anchilosi cioè l'impossibilità del dente a compiere dei micromovimenti all'interno del proprio alveolo, a causa della perdita dell'elemento che fa da articolazione tra osso e radice: il legamento parodontale. La moderna tecnologia ha permesso di mettere a punto nuove macchine che ci offrono molti vantaggi in termini di produzione

e controllo dei manufatti. Una di queste tecniche è senz'altro il laser che viene usato per la saldatura autogena delle trave in metallo.

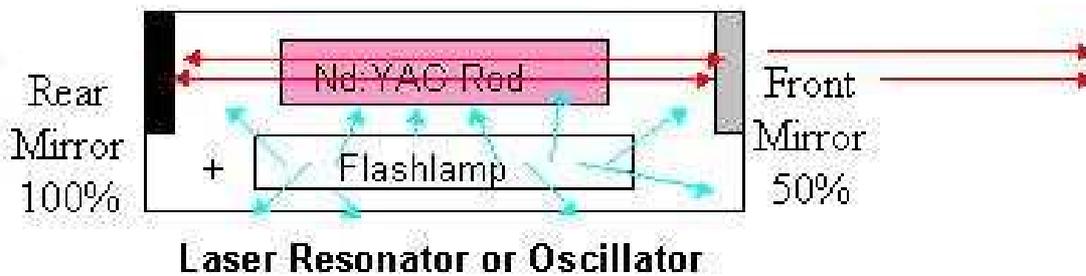


Figura 3.1: Struttura Laser.

Un dispositivo laser ha sempre come elementi di base :

Una sorgente di energia (sistema di pompaggio) utile per provocare l'eccitazione degli atomi del materiale attivo. Può essere costituita da una lampada, da diodi, da sistemi elettrici, ecc;

Un mezzo attivo il cui scopo è quello di fornire gli elettroni che devono essere investiti dall'energia della sorgente per generare la radiazione laser (es. stato solido Nd: Yag he sfrutta come mezzo laser attivo un cristallo di ittrio e alluminio drogato con neodimio);

Una cavità ottica detta *Risonatore* che presenta alle sue estremità due specchi tra i quali rimbalzano i fotoni che investono gli elettroni. Di tutti i fotoni emessi spontaneamente l'unico che non verrà assorbito dalle pareti sarà quello che si propaga ortogonalmente ai due specchi. Questo continuerà a riflettersi e quindi a moltiplicarsi all'interno del mezzo attivo. Il fascio così generato è composto da fotoni identici a quello di partenza e quindi monocromatico e coerente. All'interno del risonatore (Figura 3.1) un singolo fotone, emesso spontaneamente nella giusta direzione, provoca una cascata di fotoni a lui identici. Uno specchio del risonatore è semiriflettente: in questo modo una percentuale della radiazione che si accumula all'interno della cavità può uscire dall'apparecchio. Questo raggio sarà intenso, direzionato, coerente e monocromatico.

Un sistema ottico, protetto da un filtro, permette di controllare il lavoro che stiamo eseguendo. La densità d'energia che il laser può concentrare è dell'ordine degli 800-1.000 kW/cm^2 . Per avere un raffronto si può affermare che i raggi del sole, se focalizzati con la stessa lente, arrivano ad un'intensità d'energia di 0,5 kW/cm^2 . Si può quindi intuire quanto un laser possa riscaldare e fondere una piccola superficie di metallo realizzando quindi saldature con basso apporto ter-

mico ed estremamente precise. Le saldature avvengono, infatti, con l'utilizzo di un microscopio a parecchi ingrandimenti e usualmente corredato di un puntatore a croce. Quando il puntatore collima con il punto da saldare, il fascio laser focalizzato verrà attivato dalla pressione sul comando a pedale. I principali vantaggi offerti da questo sistema innovativo di saldatura rispetto a quelli utilizzati fino a ora (es. la tradizionale saldo/brasatura), possono essere così riassunti:

- altissima precisione;
- limitato apporto termico nella zona da saldare con ridotte microtensioni controllabili (tecnica conservativa anche in caso di riparazione);
- possibilità di saldare con o senza metallo d'apporto;
- protezione della saldatura con gas inerti (argon, elio, ecc.) nel caso di metalli reattivi (Cr, Co, Mb, Ni, Ti, ecc.) limitata alla zona da saldare;
- possibilità di saldare qualsiasi metallo dentale;
- rapidità di esecuzione in quanto si può operare anche sul modello maestro.

Il laser è dotato di comandi che permettono di effettuare regolazioni in accordo con le specifiche. I tre principali parametri lavorativi sono:

- potenza del fascio laser [kW];
- diametro dello spot [mm];
- durata dell'impulso laser [ms]

Questi parametri, unitamente alla possibilità di intervenire sull'erogazione di un gas protettivo e sul picco di potenza dell'impulso, ovvero sulla raffigurazione grafica, al fine di provvedere a delle soste di raffreddamento dello stesso impulso, permettono di unire qualsiasi lega dentale ottimizzando il risultato e rendendolo privo di crepe o di ossidazioni, ottenendo una saldatura più omogenea.

Bisogna ricordare anche gli svantaggi derivante dall'uso di tali apparecchiature:

- le attrezzature laser hanno un costo notevole (fino a 10 volte superiore rispetto alle fonditrici ad arco);
- il diametro dello spot è elevato (100-1000 μm);

- possibile vaporizzazione della superficie nel caso in cui i parametri d'impulso siano errati.

E' importante che questa macchina venga utilizzata da un operatore specializzato con una buona conoscenza delle nozioni metallurgiche. Il livello di penetrazione del raggio laser dipende dalla composizione della lega che si vuole saldare e dai diversi comportamenti degli elementi che la compongono. Sta all'operatore ed alla sua esperienza variare i parametri della saldatrice tenendo presente i fattori che influenzano la saldatura: la conducibilità termica della lega, la composizione chimica, l'ossidabilità, l'aspetto superficiale, la forma e l'inclinazione della superficie da saldare rispetto al raggio laser e la qualità delle fusioni da saldare.

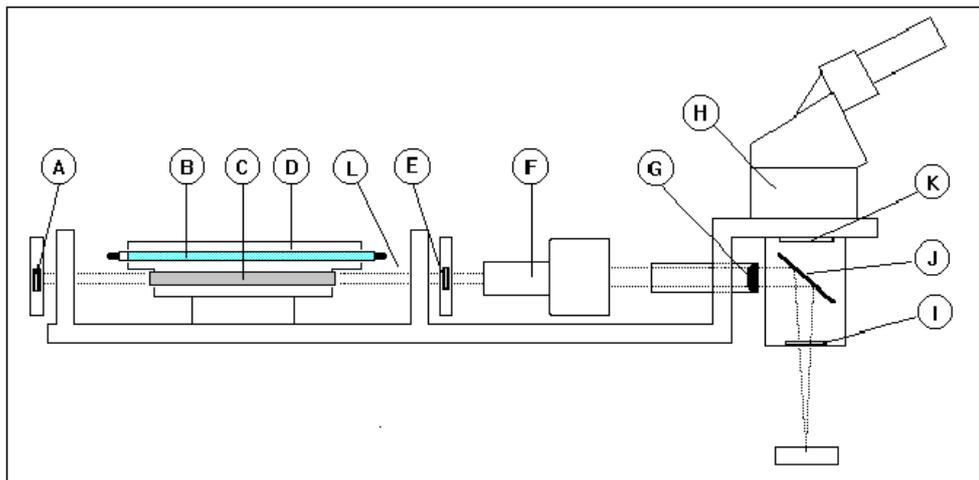


Figura 3.2: Parti principali che contraddistinguono un Saldatore Laser.

Ref	Componente	Ref	Componente
A	Specchio posteriore	G	Focale
B	Lampada Flash Xeno	H	Corpo stereomicroscopio
C	Cristallo YAG LASER	I	Vetro/foglio di protezione
D	Camera riflettente	J	Specchio riflettente a 45°
E	Specchio frontale	K	Obiettivo stereomicroscopio
F	Obiettivo	L	Fascio laser

Tabella 3.1: Riferimenti.

Altri parametri o accorgimenti, non sempre regolabili sullo strumento, sono la frequenza di ripetizione dello sparo, il salvataggio permanente in celle di memoria dei dati di lavoro, procedure di lavoro preimpostate, ecc.

Esempio di riparazione/aggiunta tramite saldatura laser di materiale in ambito odontotecnico con l'utilizzo di immagini esplicative dei momenti principali della lavorazione.



Figura 3.3: Case.

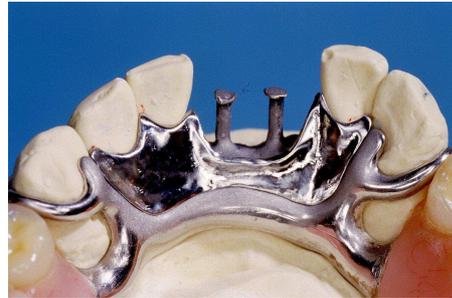


Figura 3.4: Posizionato sullo stampo il pezzo da aggiungere.



Figura 3.5: Aggiunta del materiale originale.



Figura 3.6: Sabbiato, pulito e lavoro terminato.

3.2 La saldatrice

Schema a blocchi che illustra il principio di funzionamento di un Laser di medie dimensioni prodotto in azienda e descrizione visiva (vista frontale e posteriore) di un Laser assemblato.

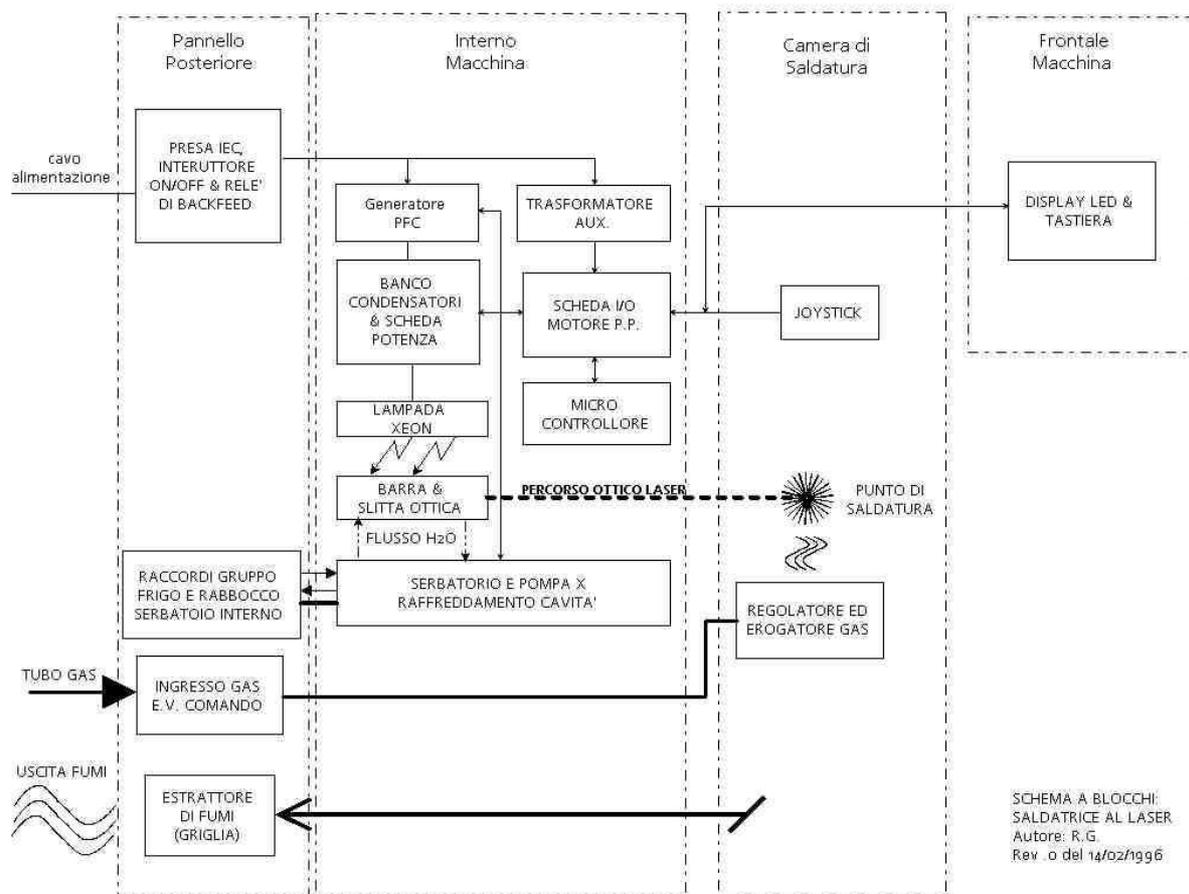


Figura 3.7: Principio di funzionamento (Schema a blocchi).

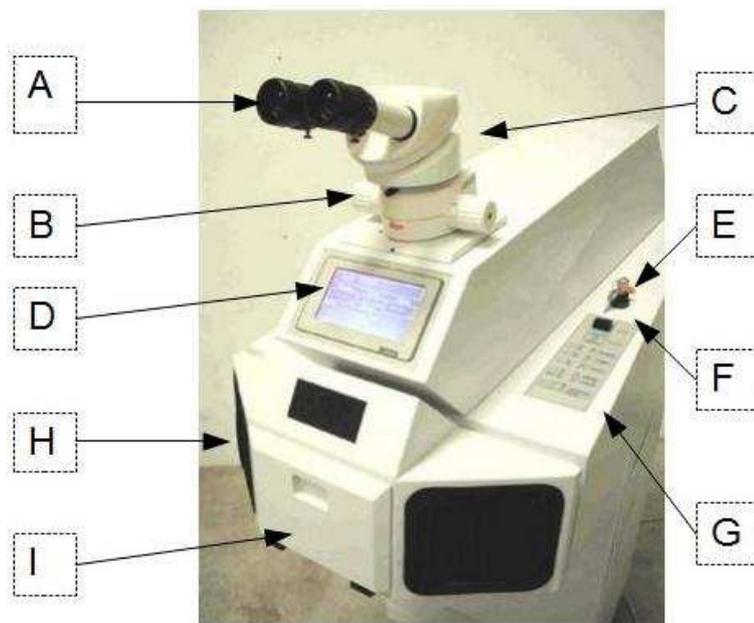


Figura 3.8: Vista frontale versione verticale.

- A** Stereomicroscopio
- B** Corpo Zoom
- C** Adattatore angolare
- D** Display grafico
- E** Led indicazione LASER ON
- F** Chiave abilitazione START macchina
- G** Tastiera
- H** Entrata mani (Camera di saldatura)
- I** Portello per manufatti di grosse dimensioni

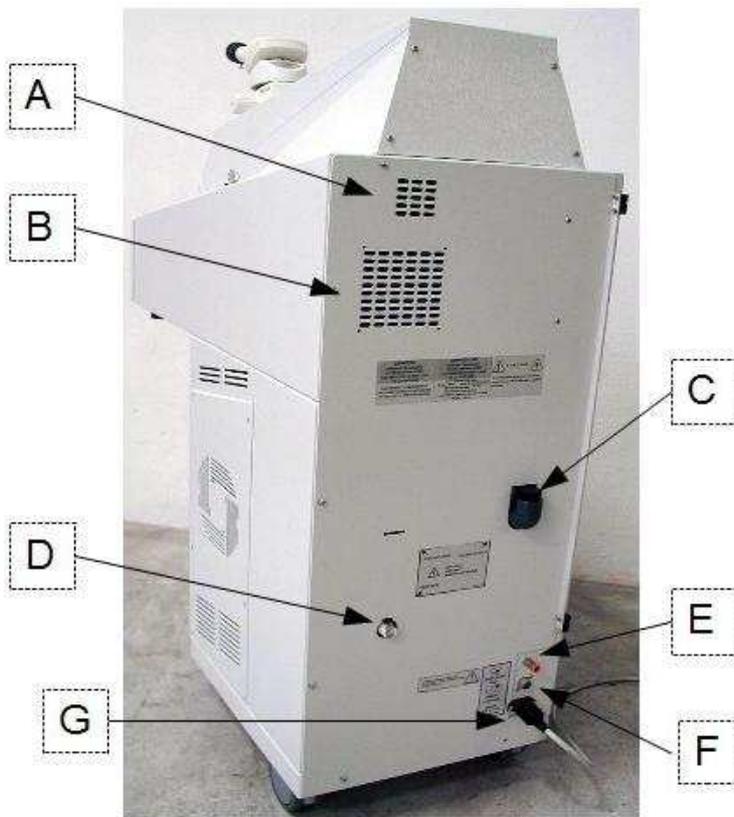


Figura 3.9: Vista posteriore versione verticale.

- A Presa di aerazione per camera di saldatura con ventola rimuovi fumi
- B Prese di aerazione per gruppo elettronico con ventola
- C Rabbocco liquido di raffreddamento
- D Raccordo per il controllo del livello del liquido
- E Raccordo ingresso gas di protezione
- F Presa per connessione pedale di comando
- G Cavo di alimentazione

Capitolo 4

Strumentazione Microchip

4.1 La famiglia dsPIC per SMPS

Le nuove possibilità offerte dal settore del Digital Power non sono sfuggite ai principali costruttori di microcontrollori che accanto ai DSP e DSC general purpose hanno cominciato ad offrire macchine specifiche per il settore dello Switching Mode Power Supply. Microchip Technology, forte dell'esperienza acquisita con la famiglia dsPIC30F20XX, presenta la nuova famiglia dsPIC33 GS che offre una serie di periferiche e funzionalità molto interessanti per lo sviluppo di alimentatori switching a controllo digitale.

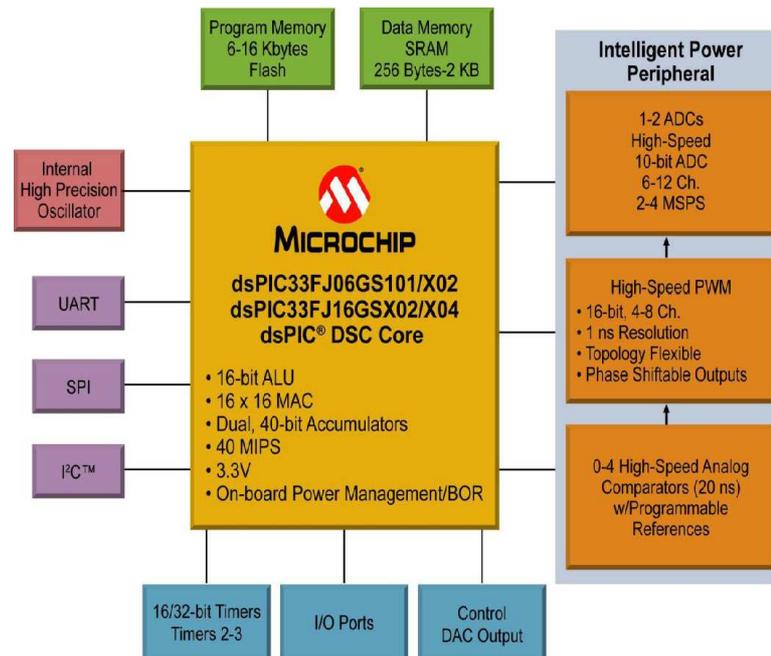


Figura 4.1: Famiglia dsPIC Microchip.

La famiglia GS nasce con ben 7 componenti, in contenitori che vanno da 18 fino a 44 pin (il più piccolo in dimensioni 6x6 mm). Rispetto alla generazione precedente vengono dimezzati i costi e raddoppiate le prestazioni (40 Mips a 3,3 V mentre i convertitori AD a 10 bit possono arrivare a 4 kilosamples/second). La risoluzione della PWM è pari a 1 ns mentre la 16-bit ALU è supportata da una 16 x 16 bit MAC, da 16 kbytes di flash e 2 kbytes di SRAM dati che consentono un fetch veloce delle istruzioni per poter chiudere l'anello di controllo in tempi ridotti e operare a frequenze di commutazione fino a 500 kHz. Infine, è stato aggiunto un convertitore DA per impostare delle soglie.

4.2 dsPIC utilizzati

Parametri	dsPIC33FJ16GS502	dsPIC30F2020
Architecture	16-bit	16-bit
CPU speed(MIPS)	40	30
Memory type	Flash	/
Program Memory(KB)	16	12
RAM bytes	2048	512
Operating voltage range(V)	3 to 3.6	3 to 5.5
I/O Pins	21	/
Pin count	28	/
Internal Oscillator	7.37 MHz, 32 kHz	
Comparators	4	/
Capture/Compare/PWM peripherals	2/2	2

Tabella 4.1: Comparazione dsPic utilizzati nel progetto.

Confronto tra il dsPIC33FJ16GS502 (nuova generazione) e il dsPIC30F2020.

Nella tabella 4.1 ci accorgiamo quanto siano simili in realtà i due dsPIC e che sostanzialmente ci sono delle innovazioni tecnologiche normali per una famiglia di dispositivi temporalmente successivi come l'aumento di memoria RAM, la memoria programmabile dall'utente e la velocità della CPU. In particolare però possiamo notare la presenza di due moduli comparatori PWM, assenti nel vecchio microcontrollore che, ai fini del nostro progetto, risulteranno indispensabili. Inoltre l'alimentazione richiesta dal micro è stata ridotta, migliorando il risparmio energetico della scheda e della componentistica utilizzata.

Nota a margine: nonostante il salto evolutivo anche il nuovo 502 non ha grande capacità di memoria che risulta essere ancor meno in relazione al fatto

che il codice è stato scritto in linguaggio C invece che in Assembly data la doppia possibilità di programmazione.

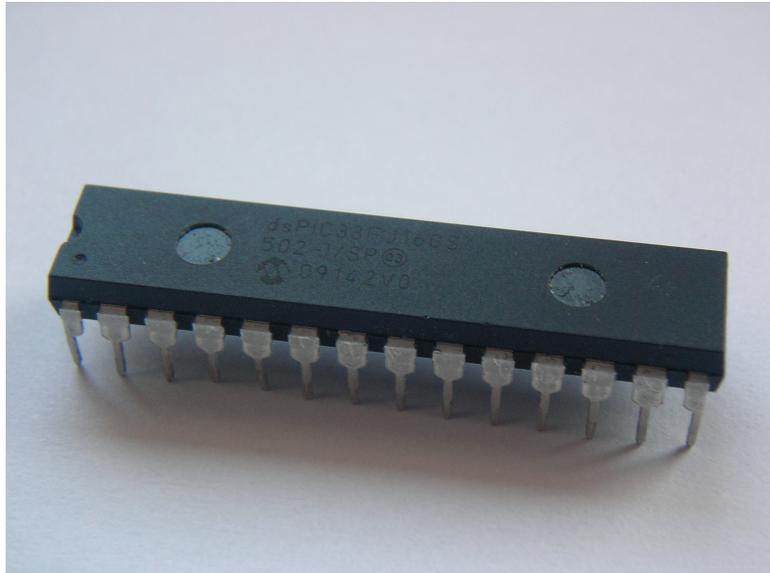


Figura 4.2: dsPIC33FJ16GS502.

4.3 Software e debugger

4.3.1 MPLAB IDE

Microchip MPLAB IDE è una suite per PC che serve a sviluppare applicazioni per microcontrollori Microchip. Questo programma è un Integrated Development Environment (IDE) in quanto fornisce un singolo ambiente integrato per sviluppare codice per microcontrollori embedded.

Ciò che caratterizza i sistemi embedded è il fatto che essi combinano le potenzialità di un semplice microprocessore con alcuni circuiti, chiamati periferici, integrati nello stesso chip. Questo porta ad avere un microcontrollore che ha bisogno di pochi componenti esterni aggiuntivi per funzionare.

Scrivere un'applicazione per questi sistemi necessita di un idoneo ambiente di sviluppo. MPLAB IDE è l'ambiente fornito da Microchip. Esso permette di seguire tutte le fasi di sviluppo dell'applicazione. Contiene: un editor per la stesura del codice, un project manager per gestire i file sorgente e le impostazioni, un compilatore per convertire il codice sorgente in linguaggio macchina e un dispositivo per la simulazione e la gestione di un programmatore hardware che trasferisce il codice macchina al microcontrollore (in azienda è stato utilizzato Microchip MPLAB ICD 2).

Per il lavoro svolto, per la semplicità di utilizzo oltre alla necessità di lavorare file scritti in linguaggio di programmazione C a vantaggio della chiarezza e semplicità di modifica rispetto ad Assembly, i pc aziendali hanno installate le librerie MPLAB C33 Compiler Libraries.

4.3.2 ICD 2

Il Microchip MPLAB ICD 2 riunisce le caratteristiche di un In-Circuit Debugger (ICD) a basso costo e di un In-Circuit Serial Programmer (ICSP) nello stesso dispositivo. Esso è studiato per funzionare da supporto nelle fasi di valutazione, debug e programmazione dei dispositivi in un ambiente di laboratorio. Esso fornisce diverse funzionalità come l'esecuzione del codice in tempo reale e passo-passo, il monitoraggio e la modifica di variabili e registri, il debug direttamente nel circuito di prova, il monitoraggio della tensione di alimentazione del circuito, led di diagnostica, un'interfaccia utente con Microchip MPLAB IDE e una connessione RS-232 o USB per il collegamento con il pc.

Questo dispositivo permette di programmare il Microchip dsPIC33FJ16GS502 attraverso l'interfaccia RJ-11 a 6 fili senza dover togliere il controllore dalla sche-

da. Questo porta ad un notevole risparmio di tempo e ad una maggiore maneggevolezza del dispositivo. Il non dover rimuovere il controllore previene eventuali danneggiamenti causati dallo spostare e maneggiare il PIC da una scheda ad un'altra. La configurazione del Microchip MPLAB ICD 2 è piuttosto semplice e Microchip MPLAB IDE consente di scegliere il dispositivo che si desidera utilizzare per il debug del circuito e per la programmazione. I menù Debugger e Programmer consentono di scegliere il device che desideriamo utilizzare per svolgere queste funzioni. Dopo una breve configurazione guidata, il dispositivo è già operativo e pronto all'uso. Il pulsante Reset and Connect to ICD permette al PC di ristabilire la comunicazione con ICD nel caso in cui si voglia ripristinare lo stato del dispositivo. Nella stessa barra degli strumenti, i pulsanti dedicati al programmatore permettono di avviare la programmazione del dispositivo, che deve essere preventivamente collegato al Microchip MPLAB ICD 2 tramite il cavo RJ-11. Una finestra di dialogo mostra l'avanzamento della programmazione e riporta il risultato della stessa, se essa è andata a buon fine oppure gli eventuali errori riscontrati.

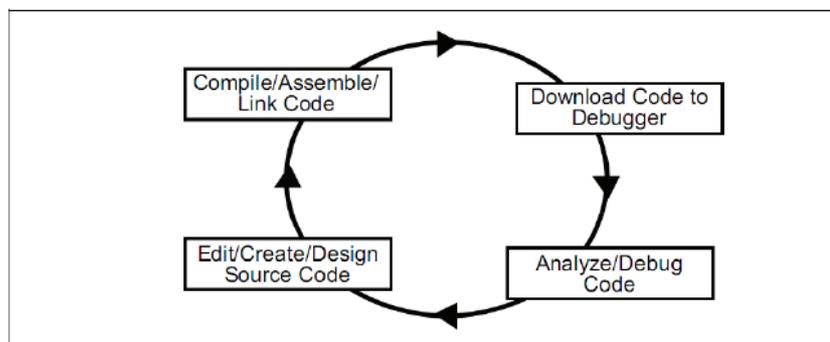


Figura 4.3: Ciclo di sviluppo di un progetto.

Capitolo 5

Sviluppo progetto

Una volta realizzato un prototipo della scheda si è provveduto a scrivere il firmware di gestione del “pompaggio”. L’obiettivo finale del lavoro era, data la tensione di rete, portare i condensatori, utili nella fase di sparo, a circa 600 V in maniera veloce, semplice e soprattutto sicura.

Il lavoro è stato diviso in tre parti:

- **Pre carica**, di cui mi sono occupato personalmente durante tutto il periodo di tirocinio;
- **Boost**, di cui si è occupato l’Ing. Cosentino;
- **Main e supervisione attività**, affidati all’Ing. Segalla.

Una volta realizzati i primi due contenitori si è provveduto a farli interagire in un unico programma che comprendesse anche gestione errori globali e controllo di tutti i Timer e parametri in gioco.

5.1 Precarica

5.1.1 Passaggi per zero

La prima fase del progetto consiste nella lettura della tensione di rete. Per ragioni commerciali le saldatrici sono wide-range, quindi devono funzionare a 110-230 V e a 50-60 Hz, poichè le macchine vengono vendute in tutto il mondo. I primi test sono stati condotti con un trasformatore d'isolamento a 24 V in modo da lavorare in sicurezza, contestualmente ad un lavoro di ridimensionamento dei partitori di tensione e di messa a punto della scheda. Una volta raddrizzata e cimata la

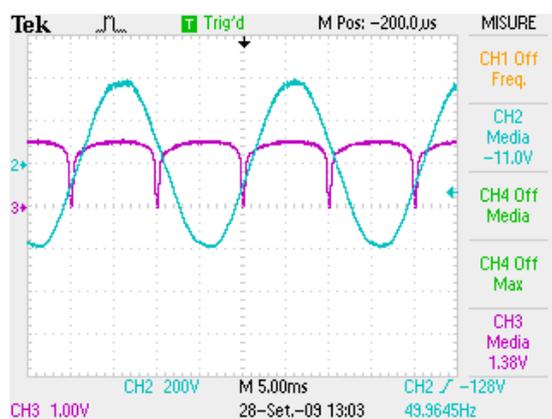


Figura 5.1: Forma d'onda del segnale SYNCRO (canale 3) del dsPIC e della tensione di rete (canale 2). In ascissa c'è la scala dei tempi (5 ms/div) e in ordinata quella delle tensioni (200 V/div).

forma d'onda, per rendere il fronte di salita il più ripido possibile, ci interessavano sapere i passaggi per lo zero (PP0) in relazione al segnale SYNCRO proveniente dal dsPIC. Con l'utilizzo dell'oscilloscopio e dell'ICD 2 è stato prima costruito un timer a 10 μ s come tempo di riferimento e poi si è provveduto a valutare ciascun PP0 temporalmente. Una volta trovata la forma d'onda utile è stato creato un array per poter memorizzare i passaggi in un secondo. Dopo 10 s è stata fatta la media e di conseguenza valutato il range e le relative tolleranze. I valori trovati sono in tabella 5.1 con una tolleranza del $\pm 2\%$.

Freq.di rete	Tempo ciascun PP0	PP0 in 1s
50	10 ms	100
60	12 ms	83

Tabella 5.1: Passaggi per lo zero.

5.1.2 Trasformatore impulsivo e SCR

Una volta compiuti i controlli preliminari di forma e andamento dei passaggi per lo zero è stata impiegata la parte hardware relativa all'utilizzo del trasformatore di impulsi. Brevemente viene spiegato il circuito equivalente.

- **Rapporto di trasformazione n :** Rapporto tra il numero di spire dell'avvolgimento primario ed il numero di spire dell'avvolgimento secondario.
- **Induttanza L_p :** Valore nominale dell'Induttanza dell'avvolgimento primario.
- **Capacità di accoppiamento C_k :** Capacità di accoppiamento tra avvolgimento primario e secondario. E' tanto maggiore quanto migliore è l'accoppiamento elettrico tra l'avvolgimento primario e secondario.
- **Resistenza degli avvolgimenti R_p, R_s :** Componente resistiva misurata con ponte RLC ai capi dell'avvolgimento primario (R_p) e secondario (R_s).

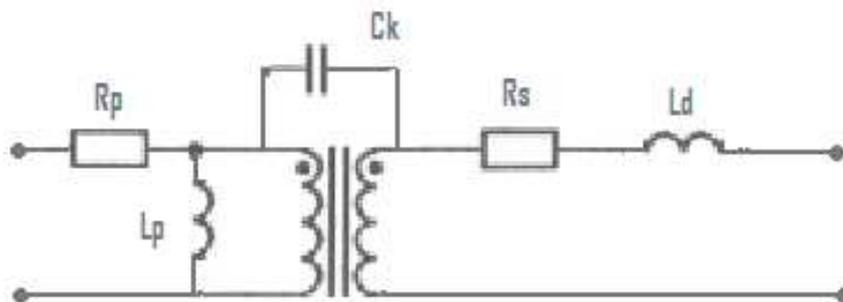


Figura 5.2: Circuito equivalente del trasformatore di impulsi

Un' interessante applicazione del trasformatore di impulsi è il comando degli SCR. Ecco il circuito di accensione per SCR (Figura 5.3) utilizzato per la scheda di potenza.

La resistenza R_2 ed il condensatore C_1 aumentano l'immunità ai disturbi del circuito di pilotaggio e prevengono il fenomeno delle false accensioni. La resistenza R_1 limita la corrente di gate. D_2 e D_3 consentono una smagnetizzazione rapida del trasformatore. D_1 blocca la corrente di gate durante la smagnetizzazione.

Due importanti differenze fra il transistor, anch'esso dotato di tre terminali, ed il diodo SCR:

1. La corrente che passa nel circuito di collettore di un transistor è proporzionale alla corrente di base; la corrente in un diodo SCR non può assumere valori intermedi (o tutta o niente).

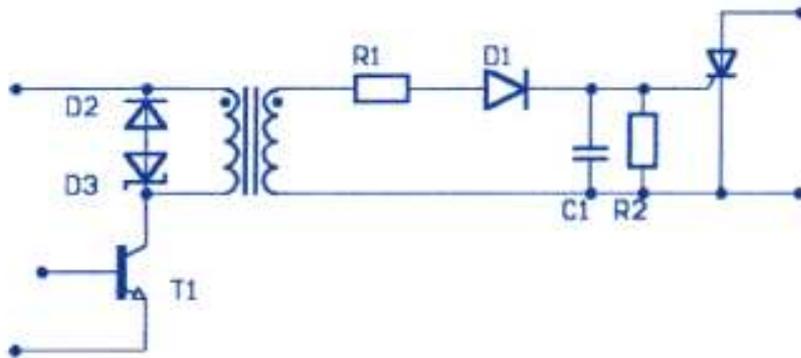


Figura 5.3: Circuito di accensione SCR

2. Se nel transistor rimuoviamo la tensione di base, il transistor non conduce più; il diodo SCR, una volta portato in conduzione, non è più comandabile dall'elettrodo di controllo: continua a condurre anche rimuovendo la tensione dal GATE.

Per semplicità ragioniamo su una frequenza a 50 Hz. Ogni 10 ms possiamo suddividere ogni passaggio per zero in 1000 segmenti poichè il contatore batte un tempo di $10\ \mu\text{s}$. L'SCR, una volta chiuso, può essere aperto solamente al PP0 successivo e quindi per tutto il tempo di chiusura conduce corrente.

L'idea allora è stata parzializzare la carica chiudendo l'SCR pochi istanti prima del passaggio per lo zero e variare man mano la quantità di PWM, e quindi di corrente, erogata grazie ad un decremento costante, permettendo ai condensatori di caricarsi in maniera graduale.

Come illustrato in figura 5.4 la parte colorata indica l'accensione degli SCR e il loro conseguente spegnimento al passaggio per lo zero successivo. Si può notare inoltre il graduale spostamento dell'estremo inferiore fino a che non si arriva all'apertura completa e, nel nostro caso, il bloccaggio del duty-cycle della PWM al 50%.

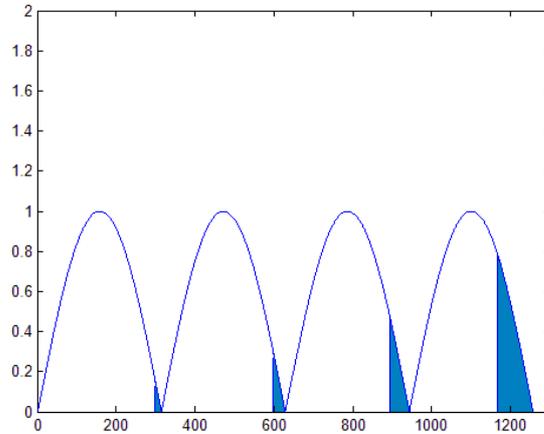


Figura 5.4: Regolazione apertura della PWM in relazione a ciascun PP0. Sinusoide raddrizzata, in ascissa la scala è in gradi.

5.1.3 PWM

La modulazione dell'ampiezza degli impulsi (PWM) si realizza mantenendo costante la frequenza di switching f_s e variando la durata del periodo di accensione t_{on} (Figura 5.5).

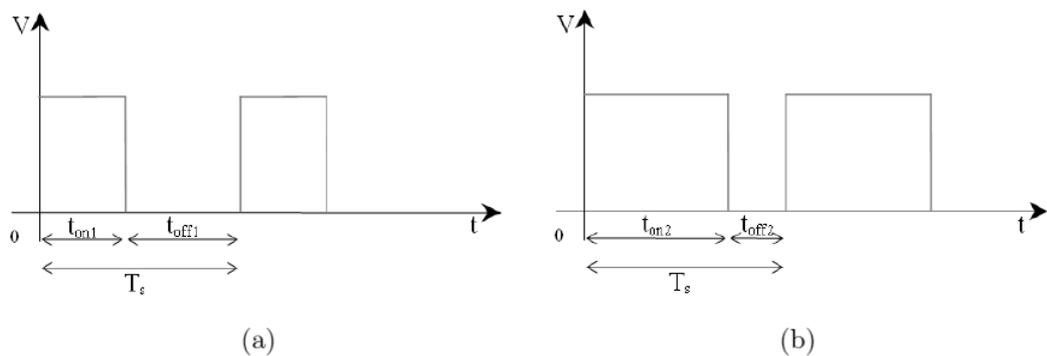


Figura 5.5: Pulse with modulation PWM.

L'implementazione fisica più comune di un modulatore PWM consiste in un comparatore che esegue un confronto fra un'onda, detta portante, di periodo T_s pari a quello di commutazione del tasto dei convertitori (generalmente un dente di sega o un onda triangolare), e la tensione di riferimento, detta modulante. L'uscita del comparatore commuta a livello alto quando l'ampiezza dell'onda triangolare è minore della tensione di riferimento. Variando la modulante V_c fra

zero ed il valore di picco della portante (V_s), il duty cycle dell'onda quadra varia fra 0 ed 1 linearmente con V_c .

$$\delta = \frac{V_c}{V_s} \quad (5.1)$$

Nella pratica esistono due modi per generare segnali PWM:

- il primo (emulazione PWM software) consiste nello scrivere il codice che generi un'onda quadra di frequenza e duty cycle assegnati su un certo piedino di uscita;
- il secondo (PWM hardware) consiste nell'utilizzare delle periferiche apposite dei PIC, i moduli CCP (Capture Compare PWM), per generare l'onda.

Appare evidente come il secondo metodo sia il migliore, visto che con il primo la generazione dell'onda quadra può essere difficile e comunque toglie preziosi cicli di clock al resto dell'applicazione. Il dsPIC mette a disposizione due moduli PWM: tali moduli si appoggiano al Timer 1 e al Timer 2 e non sono quindi vincolati ad avere la stessa frequenza. Il duty cycle può essere variato indipendentemente andando a scrivere in appositi registri.

5.1.4 Precarica nel Main

Tratteremo ora due parti di programma:

- Isr
- Main

Nell'Isr è stato definito un clock a periodo $10\ \mu\text{s}$ nel Timer 2. Come visto nel paragrafo 5.1.1 dobbiamo attendere circa 1000 (830 a 60 Hz) conteggi prima di avere il successivo PP0. Andiamo quindi a posizionarci nell'Interrupt INT1 e andiamo a valutare quando abbiamo due passaggi per zero consecutivi. La scelta di valutare due passaggi invece che uno solo è stata dettata da una maggiore precisione nel conteggio. Il valore della variabile *count* trovato viene posto in un array e dopo 10 passaggi fatta la media e diviso per due. Questo è *periodo_m* che ci permette di avere il valore esatto del nostro PP0 ed essere sicuri che non ci siano interferenze nè malfunzionamenti nella rete. Allora la variabile *n_sample* viene azzerata e la dimensione dell'array rimane costante. Anche *count* viene azzerato e quindi la prima parte relativa al conteggio termina. Una volta definito il limite superiore del PP0 andiamo a trattare la chiusura dell'SCR. Definiamo una piccola porzione della tensione raddrizzata, $100\ \mu\text{s}$ in cui agire sugli SCR e dare impulsi di PWM. Questa fase di carica dei condensatori serve principalmente a valutare se ci sono dei cortocircuiti. *Count_Fail* è un contatore che valuta se la tensione sui condensatori è maggiore del valore precedente acquisito tramite un ADC a 8 bit. Al termine di una serie di tentativi, in caso di cortocircuito, il programma propaga un'errore che viene poi gestito nell'apposita Interrupt e il duty cycle della PWM viene posto a zero.

Ora si passa alla precarica vera e propria. Finchè il buffer dell'ADC non legge un valore di tensione vicino al 45% della massima carica nei condensatori avviene una graduale chiusura degli Scr via via più ampia con PWM al 50% del duty cycle. Sono state imposte due soglie di carica in cui *decrem* sposta sempre più a sinistra il limite inferiore prima di 30 e poi di $50\ \mu\text{s}$. Una volta raggiunto il valore target la precarica si arresta e lascia al Boost il compito di innalzare a 600 V la tensione sui condensatori.

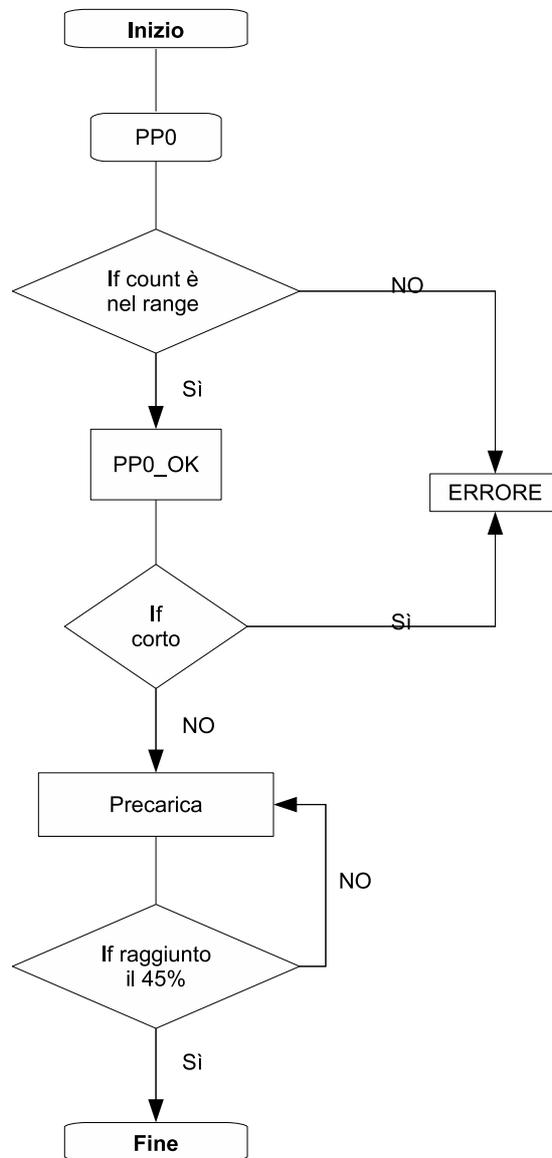


Figura 5.6: Schema a blocchi del funzionamento dell'Isr.

Nel Main la situazione è un po' più complessa. Troviamo infatti la parte di gestione degli errori e la suddivisione di tutto il lavoro di Precarica in maniera modulare visualizzabile direttamente dal calcolatore tramite porta seriale.

Ogni procedura è suddivisa in CASE concatenati l'un l'altro, in cui ogni variabile deve essere attentamente valutata e testata affinché non ci siano incongruenze evidenti tra comparti diversi ma anche "zone d'ombra", punti in cui il programma potrebbe entrare e ciclare in sequenze non volute dal programmatore. Cominciamo la nostra analisi dal CCPSstate CCPS_INIT. Qui vengono azzerate le variabili

count e *periodo_m* perchè indispensabili nella fase rilevamento del PP0 che ci permettono di passare in CCPS_STANDBY.

Come prima cosa andiamo ad agire su un flag, precisamente *flag_PP0*, e lo andiamo a settare a zero. In questo modo *n_sample*, la variabile che gestisce le posizioni dell'array, viene incrementata ed è possibile quindi far la media dei passaggi per zero. Andiamo a chiudere il relè solo se Errorstate == ERR_NO altrimenti non avvengono operazioni sulla scheda. A comando RELAY = 1, avviene il *CheckPP0* in cui *periodo_m* determina se è avvenuto in modo corretto e nel range imposto. Se è stato così, *PP0_OK* ha valore 1 e viene salvato il valor medio del PP0 che verrà poi usato nella fase successiva. Oltre a questo, se viene anche portato il comando di ENABLE = 0 si passa a CCPS_PRECARICA.

In questa fase:

- gli SCR sono aperti, il led che segnala "micro in attività" pulsa;
- se non ci sono errori, il dsPIC chiude il relè di backfeed;
- verifica la presenza della tensione d'ingresso e il suo valore (individuare un range per 110 Vac e 230 Vac);
- calcola il tempo che intercorre fra due PP0 e verifica che sia compatibile con i 50 Hz (100 Hz) o i 60 Hz (120 Hz);
- verifica la tensione sui condensatori: deve essere 0 o prossima a 0;
- *flag_PP0* viene portato a 1 perchè interrompa il calcolo del periodo;
- attende che la precarica venga abilitata (ENABLE = 0);
- se ENABLE == 0 allora CCPSstate = CCPS_PRECARICA_START.

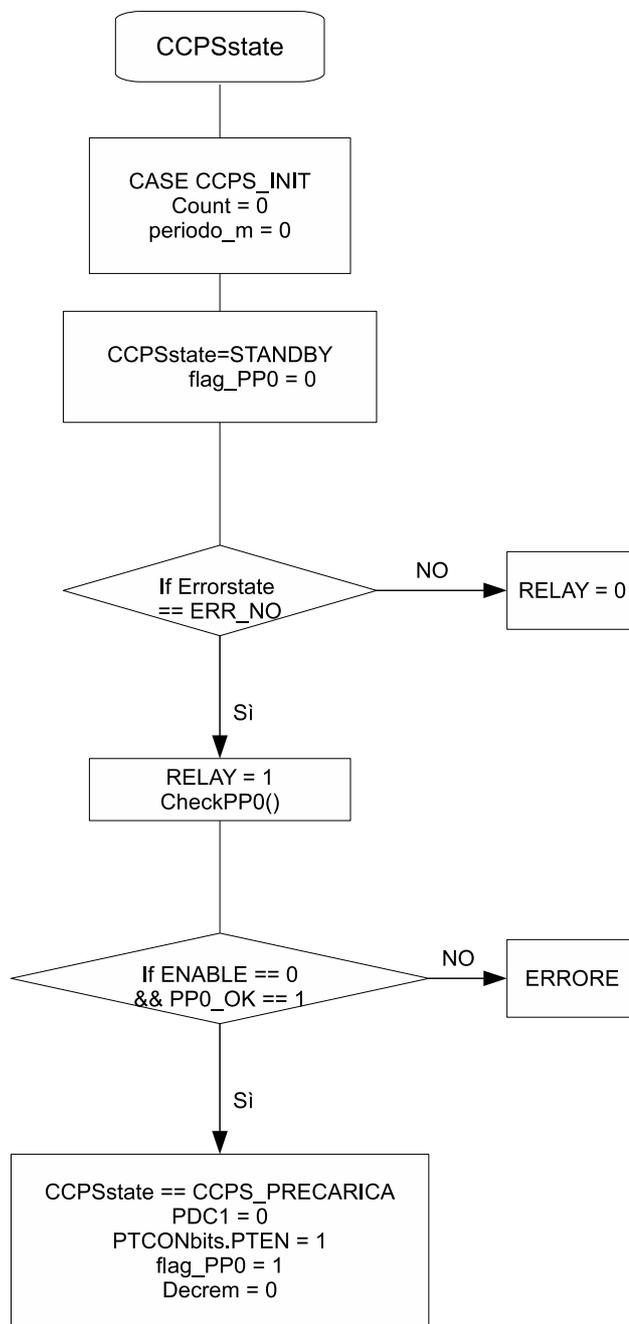


Figura 5.7: Diagramma di flusso del Main - parte 1 -

Siamo dunque in `CCPS_PRECARICA_START`. Ora, se `ENABLE == 1`, torniamo allo stato `CCPS_STANDBY` con conseguente azzeramento di alcune variabili relative a duty cycle, PWM e il comparatore di tensione sui condensatori. Partita la Precarica, dobbiamo attendere il raggiungimento della soglia di tensione imposta. Ci sono due diversi decrementi espressi dalla variabile *decrem* nel programma in C per velocizzare la fase di carica negli istanti finali.

Se *flag_PP0* viene portato a 2 la precarica termina e passiamo infine nel case `CCPS_READY`. In questa fase infatti il flag chiude la PWM al 50% del duty cycle, la cosiddetta parzializzazione della carica viene terminata e gli SCR vengono chiusi per tutta la durata della semionda. La carica sui condensatori è stata portata al livello target senza inconvenienti o guasti. I timer vengono azzerati per eventuali utilizzi da parte di programmi o applicativi futuri (vedi Paragrafo 5.1.5).

L'eventuale scarica e ripristino delle funzioni e delle variabili avviene se `ENABLE == 1` ricominciando dal CASE `CCPS_STANDBY`.

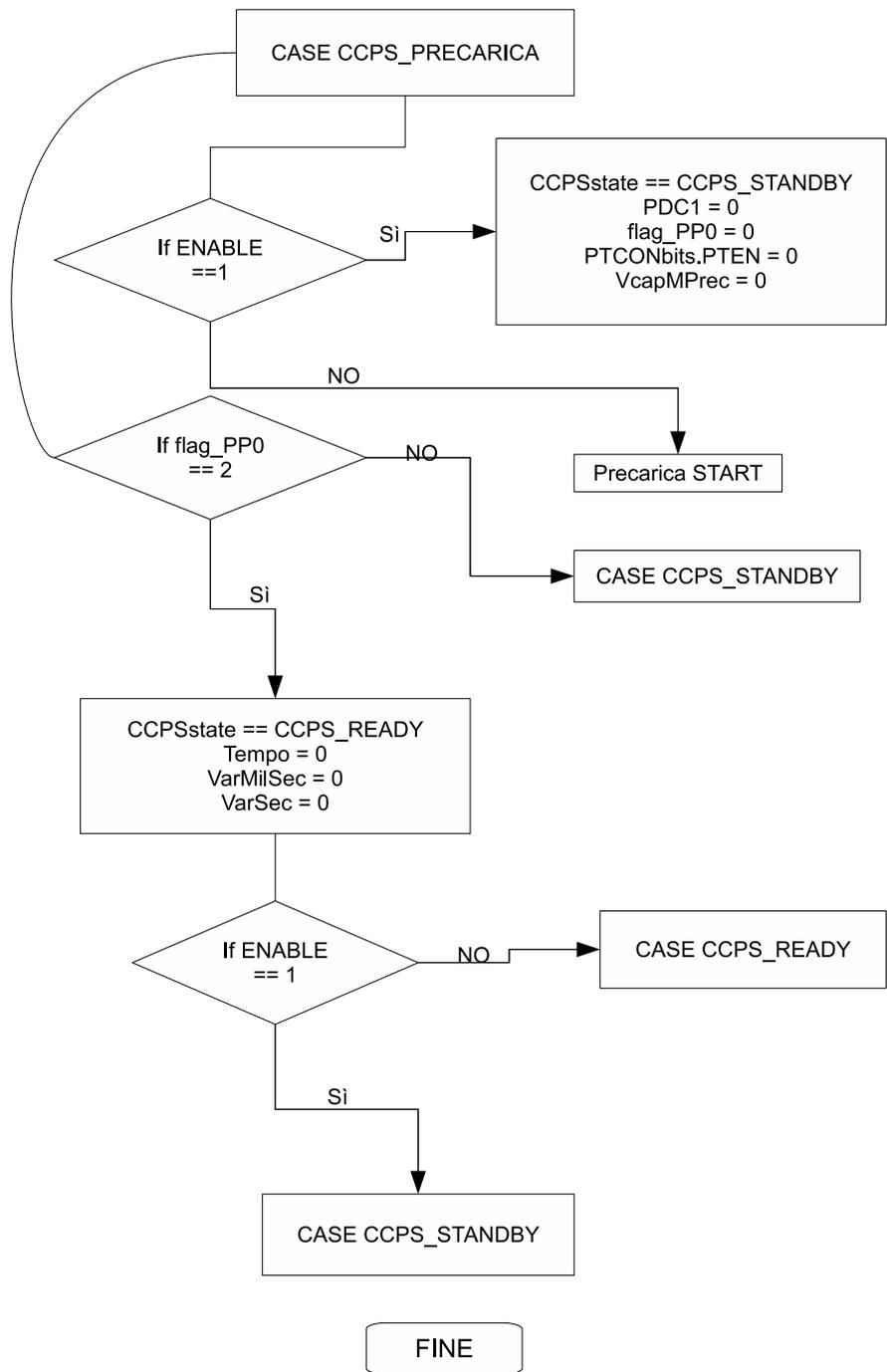


Figura 5.8: Diagramma di flusso del Main - parte2 -

5.1.5 Autorun

Per poter testare al meglio il programma di Precarica si è provveduto a creare un auto-tester funzionante per parecchi minuti e, sempre tramite presa UART e led di segnalazione, di facile intervento in caso di errore.

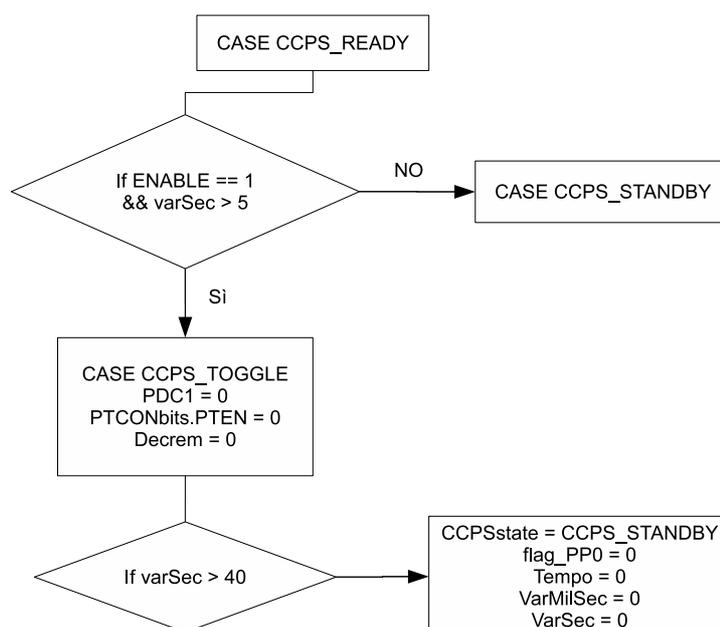


Figura 5.9: Modifica del diagramma di flusso del Main.

Come possiamo vedere da figura 5.9 è stato modificato il CASE CCPS_READY. Infatti, una volta caricati i condensatori alla soglia prevista e atteso 5 s, avviene la fase di scarica. Per accorciare i tempi, sulla scheda sono stati montati due resistori di potenza da 12 k Ω . Ci troviamo quindi nel CASE CCPS_TOGGLE dove $PDC1 = 0$, $PTCONbits.PTEN = 0$ e $decrem = 0$. Quindi il duty cycle è posto a zero, il modulo PWM è disabilitato e gli SCR vengono tenuti aperti. Dopo 40 s, tempo ricavato in maniera empirica in seguito a varie prove, possiamo considerare la scarica completata e quindi ripassare dalla fase CCPS_STANDBY e ripartire con la Precarica.

Dalla forma d'onda acquisita dall'oscilloscopio LeCroy© possiamo vedere i cicli di carico in un intervallo di circa 40 minuti, 57 cicli per la precisione. Ogni quadratino della griglia orizzontale corrisponde a 0,2 s, mentre è stata usata una scala di 20 V/div relativi alla griglia verticale. Come valori massimi e minimi

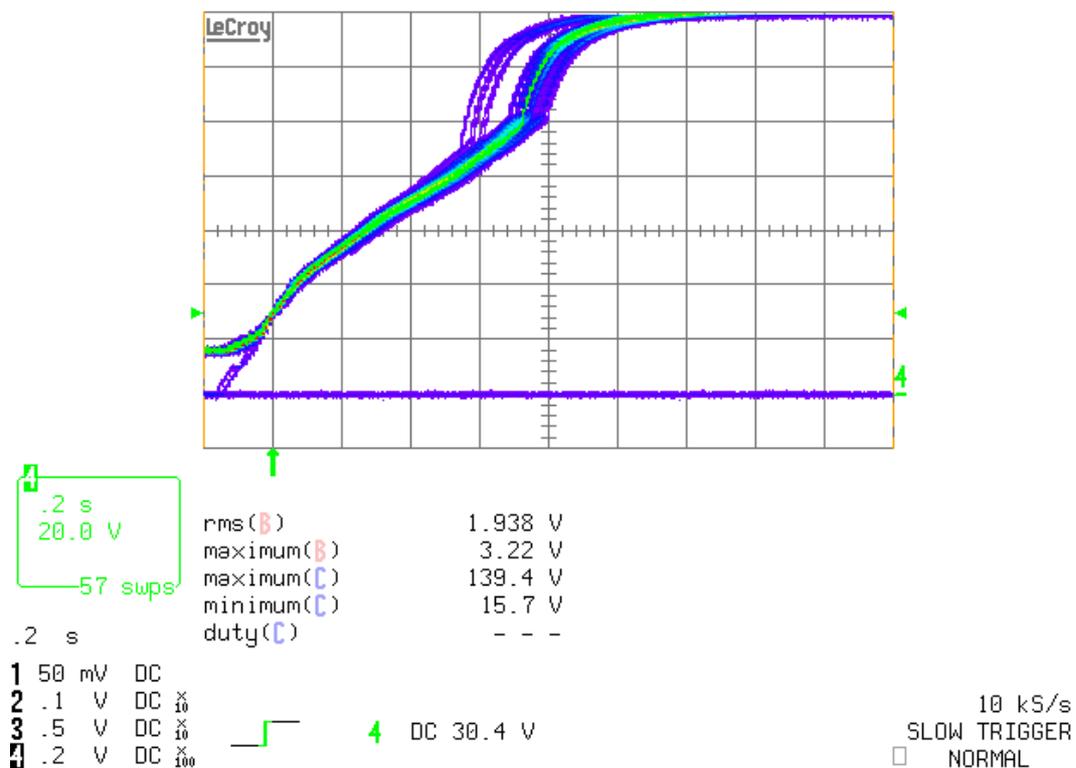


Figura 5.10: Autorun. Si possono vedere i vari cicli di carica in relazione al tempo e voltaggio raggiunto a operazione completata. La scala orizzontale 0,2 s/div mentre quella verticale è 20 V/div.

abbiamo rispettivamente 139 V e 15 V quindi corrispondenti ad una tensione di rete di 110 V.

5.2 Boost

5.2.1 Schema circuitale

Un convertitore boost (o convertitore step-up) è un convertitore DC-DC con una tensione di uscita maggiore dell'ingresso. È una classe di alimentatori a commutazione contenenti almeno due interruttori a semiconduttore (un diodo e un transistor) e almeno un elemento accumulatore di energia. Filtri composti da combinazioni di induttori e capacità sono spesso aggiunti ad un convertitore boost per migliorarne le caratteristiche.

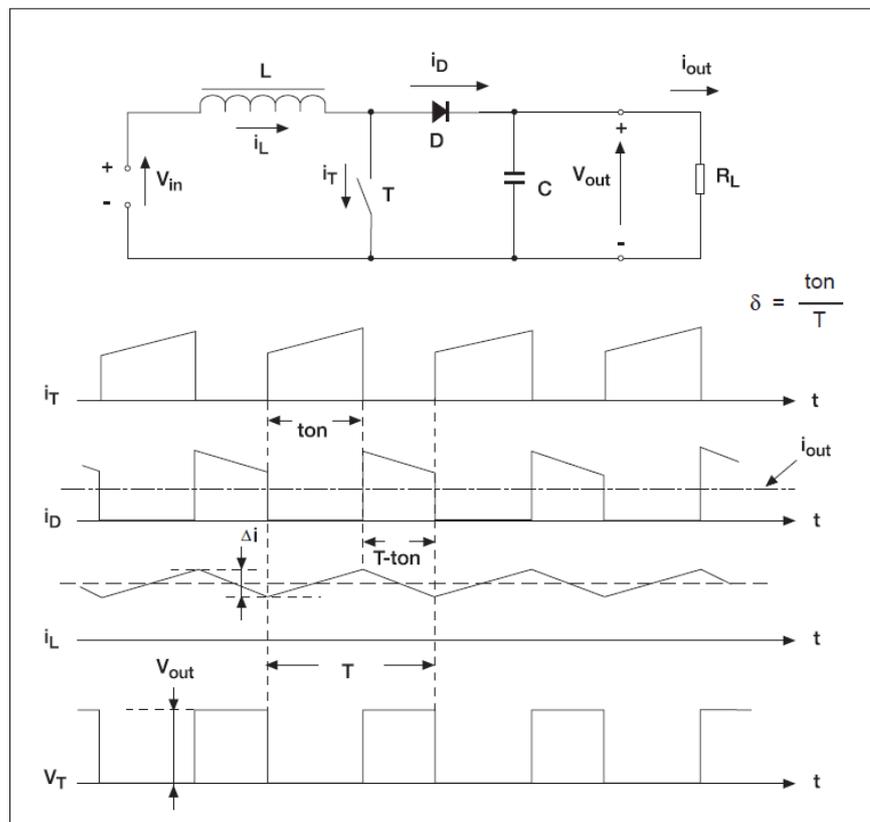


Figura 5.11: Funzionamento di un convertitore Boost.

Il principio base di funzionamento di un convertitore boost consiste in due stati distinti:

- nello stato *on*, l'interruttore T è chiuso, provocando un aumento di corrente nell'induttore;
- nello stato *off*, l'interruttore è aperto e l'unico percorso offerto alla corrente dell'induttore è attraverso il diodo D , la capacità C e il carico (R_L).

Ciò provoca il trasferimento dell'energia accumulata durante lo stato *on* nell'induttanza.

Quando un convertitore boost opera in modo continuo, la corrente che passa attraverso l'induttore (i_L) non scende mai a zero. La figura 5.11 mostra le forme d'onda tipiche di corrente e tensione in un convertitore operante in questa modalità. La tensione di uscita può essere calcolata nel modo seguente, nel caso di un convertitore ideale (cioè usando componenti con un comportamento ideale) operante in condizioni stazionarie. Durante lo stato di funzionamento acceso (*on*), il commutatore T è chiuso e la tensione d'ingresso (V_{in}) appare ai capi dell'induttore. Questo provoca un cambiamento nella corrente (i_L) che scorre attraverso l'induttore durante il periodo di tempo (t). Questo funzionamento viene descritto dalla formula:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{V_{in}}{L} \quad (5.2)$$

$$\Delta i_{L_{on}} = \int_0^{\delta T} \frac{V_{in}}{L} dt = \frac{V_{in} \delta T}{L} \quad (5.3)$$

dove $\delta = \frac{t_{on}}{T}$ è il duty cycle. Esso rappresenta il rapporto tra la durata del segnale alto ed il periodo totale del segnale. Il risultato del rapporto è sempre un numero compreso tra 0 e 1. Spesso il duty cycle è indicato sotto forma di percentuale ($\delta\%$). In particolare, se $\delta = 0,5$ ($\delta = 50\%$) significa che per metà del periodo totale il segnale è alto, per l'altra metà è basso: siamo quindi in presenza di un'onda quadra.

Durante lo stato di spento (*off*), l'interruttore è aperto, perciò la corrente dell'induttore fluisce attraverso il carico. Se consideriamo la caduta di tensione attraverso il diodo idealmente uguale a zero, e una capacità abbastanza grande da mantenere la sua tensione costante, l'evoluzione di i_L è:

$$V_{in} - V_{out} = L \frac{di_L}{dt} \quad (5.4)$$

$$\Delta i_{L_{off}} = \int_0^{(1-\delta)T} di_L = \int_0^{(1-\delta)T} \frac{V_{in} - V_{out}}{L} dt = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} (1 - \delta)T \quad (5.5)$$

Ricordo che stiamo lavorando in condizioni stabili per cui l'ammontare dell'energia accumulata in ogni suo componente deve essere la stessa all'inizio e alla fine del ciclo di commutazione. In particolare, l'energia immagazzinata nell'induttore è data da:

$$E = \frac{1}{2} L i_L^2 \quad (5.6)$$

Perciò, è ovvio che la corrente dell'induttore deve essere la stessa all'inizio e alla fine del ciclo di commutazione. Inoltre, sostituendo $\Delta i_{L_{on}}$ e $\Delta i_{L_{off}}$ si ottiene:

$$\Delta i_{L_{on}} + \Delta i_{L_{off}} = \frac{V_{in}\delta T}{L} + \frac{(V_{in} - V_{out})(1 - \delta)}{L} = 0 \quad (5.7)$$

Questo può essere riscritto come:

$$\frac{V_{in}}{V_{out}} = \frac{1}{1 - \delta} \quad (5.8)$$

Dall'espressione precedente si può vedere come la tensione di uscita sia sempre maggiore rispetto a quella di ingresso e che essa cresca con δ teoricamente all'infinito quando δ raggiunge il valore di 1.

5.2.2 Utilizzo su scheda

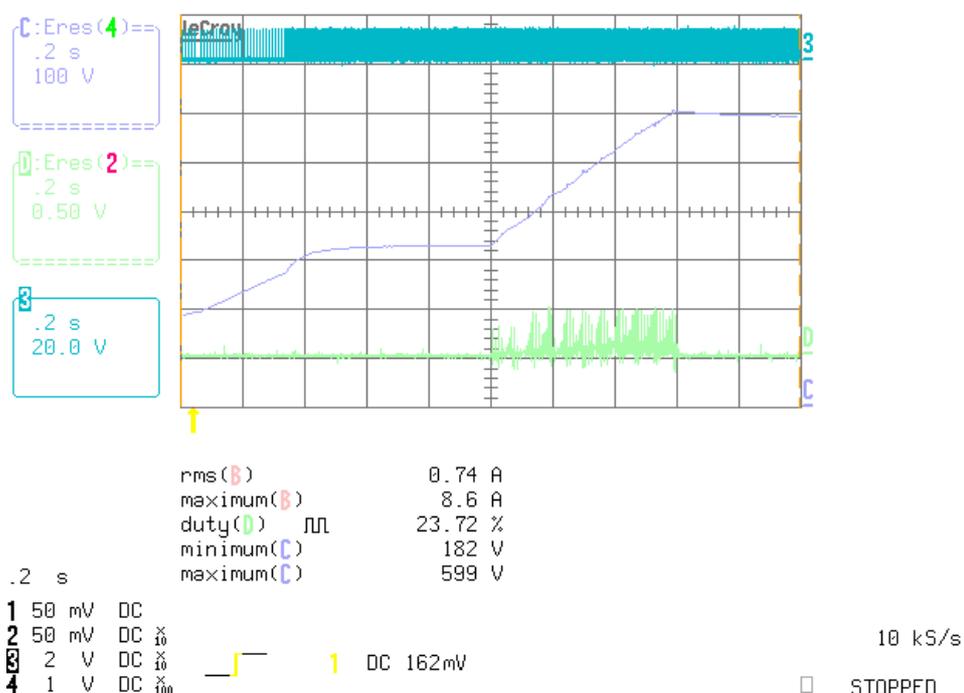


Figura 5.12: Misura tramite oscilloscopio. Asse orizzontale tempi 0.2 s/div. Canale C carica del condensatore, canale D sonda di corrente, canale 3 variazione PWM.

La figura ci mostra la carica completa dei condensatori. In un tempo di 1 s la precarica raggiunge la soglia dei 325 V (a 230 Vac) all'uscita del ponte SCR e poi sempre in 1 s il boost fa raggiungere il target di 600 V. La linea frastagliata (canale 3) di color verde chiaro indica il passaggio di corrente nel momento in cui si accende il boost.

Poiché non è presente un correttore di fattore di potenza attiva (PFC attivo) in ingresso, lo stesso Boost deve assolvere a questa funzione, quindi deve far sì che la corrente di rete non risulti troppo distorta, in modo che siano rispettate le direttive di compatibilità elettromagnetica (norme EMI).

Per concludere, ecco il banchetto di prova finale al termine dei due mesi di tirocinio. In figura 5.13 si vede la scheda del laser, in particolare si può notare il microcontrollore, mentre in figura 5.14 vediamo il banchetto vero e proprio con l'alimentatore, la pompa dell'acqua per il raffreddamento della lampada e i condensatori.

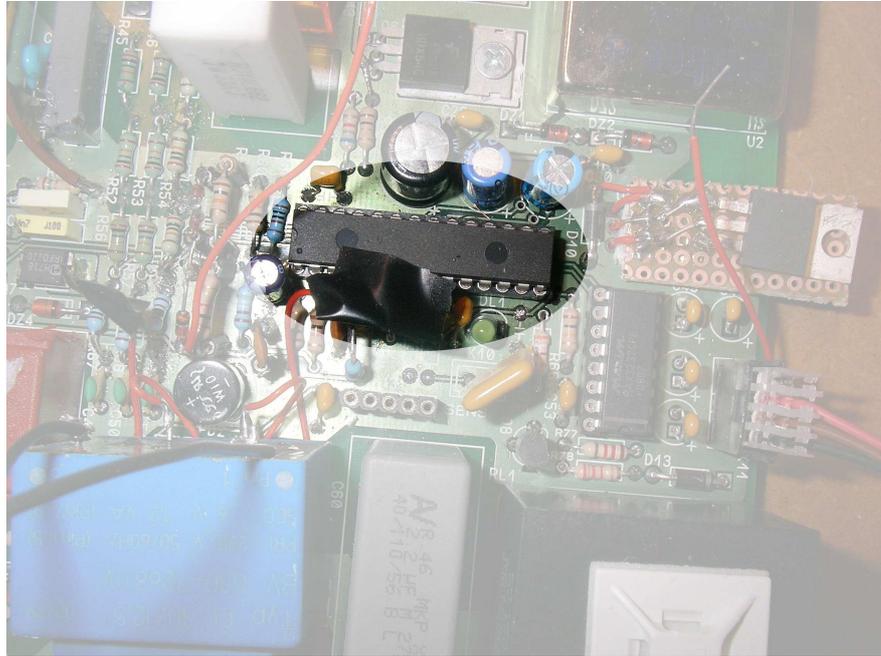


Figura 5.13: Particolare della scheda. Si vede il dsPIC montato.

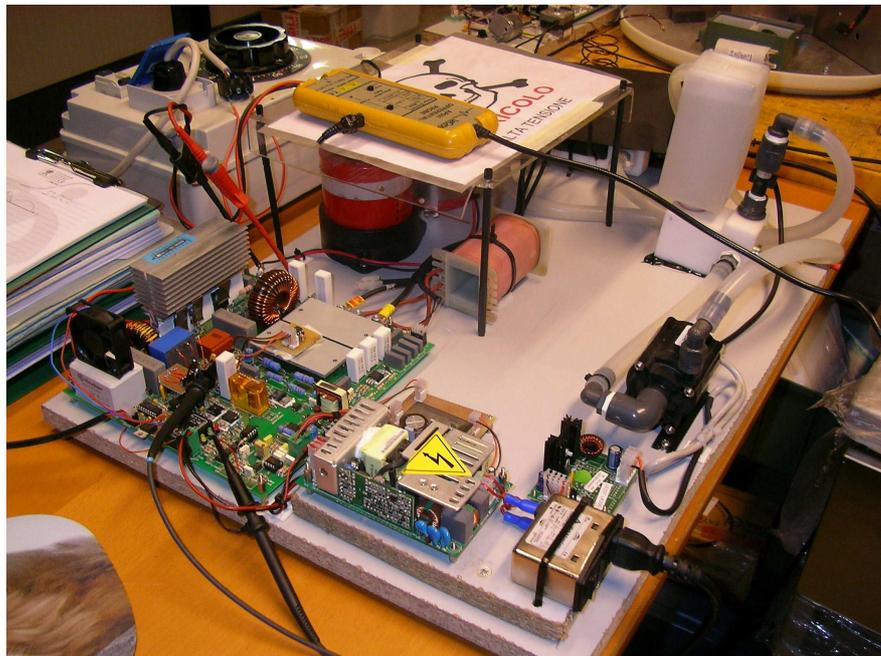


Figura 5.14: Banchetto di collaudo prototipo scheda.

Capitolo 6

Miglioramenti futuri

Il Controller Area Network, noto anche come CAN-bus, è uno standard seriale per bus di campo (principalmente in ambiente automotive), di tipo multicast, per collegare diverse unità di controllo elettronico (ECU). Il CAN è stato espressamente progettato per funzionare senza problemi anche in ambienti fortemente disturbati dalla presenza di onde elettromagnetiche. Sebbene inizialmente applicata in ambito automotive, come bus per autoveicoli, attualmente è usata in molte applicazioni industriali di tipo embedded, dove è richiesto un alto livello di immunità ai disturbi.

Il CAN trasmette dati secondo un modello basato su bit dominanti e recessivi, in cui i bit dominanti sono gli 0 logici ed i bit recessivi sono gli 1 logici. Se un nodo trasmette un bit dominante ed un altro nodo un bit recessivo, allora il bit dominante prevale fra i due (realizzando una combinazione AND logico). Con questa tecnica, quando viene trasmesso un bit recessivo e contemporaneamente un altro dispositivo trasmette un bit dominante, si ha una collisione e solo il bit dominante è visibile in rete (tutte le altre collisioni sono invisibili).

Un altro possibile miglioramento è l'introduzione di un nuovo microcontrollore, il modello dsPIC33FJ16GS504 sempre di Microchip©.

Parametri	Modello 502	Modello 504
Architecture	16-bit	16-bit
I/O Pins	21	35
Pin count	28	44

Tabella 6.1: Comparazione dsPic utilizzati nel progetto.
Confronto tra il dsPIC33FJ16GS502 e il dsPIC33FJ16GS504.

Fondamentalmente è identico al modello 502 (in tabella 6.1 sono stati omessi i dati identici) ma possiamo utilizzare 44 pins al posto di 28. A livello pratico consentirebbe al progettista di avere maggior libertà di progetto e di mappatura dei pin poichè ora tutti i piedini sono già stati utilizzati. Unico inconveniente è il formato che richiede una nuova disposizione hardware dei componenti della scheda.

Bibliografia

- [1] Gene Heftman, *PWM: from a single chip to a giant industry*, Power Electronics Technology.
- [2] Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic, *Fundamentals of Power electronics*, University of Colorado, Boulder.
- [3] R.C.Jaeger, T. N. Blalock, *Microelettronica Elettronica Analogica*, McGraw-Hill.
- [4] Materiale fornito dall'azienda Orotig.
- [5] <http://www.microchip.com/smcs>

Ringraziamenti

Al termine di questi primi anni patavini vorrei ringraziare le persone che hanno maggiormente condiviso con me gioie e dolori universitari.

Ringrazio il professor Buso per la disponibilità e la franchezza dimostrati nei ricevimenti per la stesura della tesi.

Ringrazio la ditta OROTIG e i suoi titolari per avermi dato una possibilità importante di lavoro e apprendimento, Gabriel e Raf per la professionalità e pazienza e tutti i dipendenti per avermi sopportato nei due mesi trascorsi assieme.

Ringrazio la mia famiglia per l'infinita fiducia nei miei confronti, nonna Carla per la nostra pausa caffè delle 5 e la mia seconda famiglia acquisita, i Pap, per avermi trattato sempre come un figlio.

Ringrazio Ire perchè, adesso possiamo dirlo a tutti, metà laurea è sua. Se non mi avesse spronato nello studio forse non sarei qui ora con un titolo di ingegnere in mano.

Concludo salutando il Circolo delle Viziose, la Prima Linea (bibliotecaria), la squadra di biomedica più Francis e tutte quelle persone che in un modo o nell'altro hanno contribuito ad arricchire il mio bagaglio personale.