

Università degli Studi di Firenze

Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica e
dell'automazione



Anno Accademico 2012/2013

Elaborato di Macchine e Azionamenti Elettrici:

Azionamento con dsPIC

PROFESSORE:

Francesco Grasso

CANDIDATI:

Elia Mazzuoli

Marco Montagni

Anno Accademico 2012/2013

Indice

Indice 2

Indice delle figure	6
Introduzione	8
1 - Evaluation Board TMS320C24x	10
1.1 - Caratteristiche	10
1.2 - Test T.I. board	11
1.2.1 - Preparazione preliminare	11
1.2.2 - Installazione degli strumenti di programmazione.....	12
1.2.3 - Tentativi di installazione.....	14
2 - Alcuni cenni sugli azionamenti.....	16
2.1 - Cenni tecnologici.....	16
2.2 - Applicazioni	17
2.2.1 - Tipologie di ponti H per tipologia di motori.....	17
2.2.2 - Tipi di retroazioni per il controllo.....	20
3 - Azionamento con dsPIC.....	21
3.1 - Specifiche	21
3.1.1 - Utilizzo.....	21

3.1.2 - Modularità.....	22
3.1.3 - Costo	22
3.1.4 - Software e firmware.....	23
3.1.5 - Interfacce.....	24
3.1.6 - Sensori.....	24
3.1.7 - Tensioni, correnti e frequenze massime.....	24
3.2 - Schema funzionale.....	26
4 - Scelte circuitali.....	27
4.1 - La scheda inverter.....	27
4.1.1 - Il driver di potenza	27
4.1.2 - Il sensore di corrente.....	29
4.1.3 - Il sensore di tensione.....	30
4.2 - La scheda di controllo	31
4.2.1 - L'alimentazione	31
4.2.2 - Il dsPIC	32
4.2.3 - La seriale	32
4.2.4 - I/O disponibili	33
4.2.5 - Encoder	33
4.2.6 - Sensori di posizione	33
4.3 - Alimentazione di potenza	34

4.4 -	Periferiche aggiuntive.....	34
4.4.1 -	SD Card.....	34
4.4.2 -	Scheda MiWi	34
4.4.3 -	Scheda Bluetooth	35
5 -	Layout.....	36
5.1 -	Disegno del controllo	36
5.2 -	Disegno dell'inverter	37
5.3 -	Disegno dell'alimentazione	40
6 -	Realizzazione.....	41
6.1 -	Vista del misuratore di tensione	41
6.2 -	Vista del misuratore di corrente	42
6.3 -	Vista della scheda inverter.....	42
6.4 -	Assieme	44
6.5 -	Il software per la progettazione	44
6.6 -	La produzione delle schede	45
6.7 -	Il costo del progetto	45
7 -	Software e firmware	48
7.1 -	Configurazione porta seriale lato PC.....	48
7.2 -	Configurazione porta seriale lato firmware	49
7.3 -	Configurazione porta seriale lato software.....	50

Conclusioni 52

BIBLIOGRAFIA 53

Indice delle figure

Figura 1 Evaluation Board TMS320C24x.....	10
Figura 2 Connessioni scheda di valutazione	12
Figura 3 EMU24XWM	14
Figura 4 Ponte H	18
Figura 5 Ponte H trifase	19
Figura 6 Schema funzionale dell'azionamento	26
Figura 7 Configurazione driver di potenza.....	28
Figura 8 Misuratore di corrente.....	29
Figura 9 Sensore di tensione.	30
Figura 10 Regolatore 3,3Volt.....	31
Figura 11 Scheda MiWi	34
Figura 12 Scheda Bluetooth.....	35
Figura 13 Visto TOP e BOTTOM della scheda di controllo.....	36
Figura 14 Layout stadio di potenza.	37
Figura 15 Larghezza delle piste per pcb da 32um di spessore.	38
Figura 16 Vista TOP e BOTTOM della scheda inverter.	39
Figura 17 Vista TOP e BUTTOM della scheda di alimentazione	40
Figura 18 Anteprima misuratore di tensione.	41
Figura 19 Anteprima misuratore di corrente.	42
Figura 20 Inverter lato TOP.	43

Figura 21 Inverter lato BOTTOM.....	43
Figura 22 Vista finale del prototipo.	44
Figura 23 Porta seriale emulata.	48
Figura 24 Plot dei campioni provenienti dal DSP.	51

Introduzione

Questo elaborato propone un azionamento adattabile ad una vasta gamma di tipologie di motori commerciali e completamente programmabile.

Inizialmente pensato sulla piattaforma Texas TMS320C24x Evaluation Board utilizzata per l'implementazione di un azionamento probabilmente guasta è stata scelta la progettazione di una nuova scheda centrata sul dsp dsPIC512MC24X e con una ampia varietà di acquisizione ed I/O tale da renderla facilmente adattabile a varie configurazioni di controllo e motori di vario tipo.

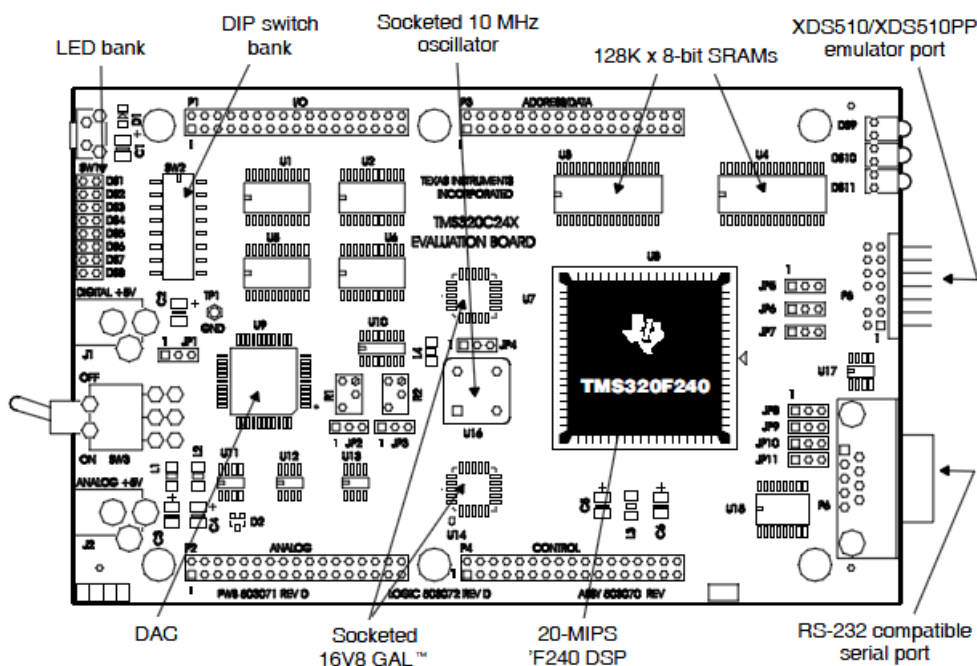
1 - Evaluation Board TMS320C24x

In principio era stato concordato di effettuare l'implementazione di un controllo vettoriale V/Hz costante utilizzando la scheda della Texas Instrument.

Tale scheda ha delle caratteristiche di tutto rilievo se comparate con le schede di valutazione prodotte negli stessi anni, ma che comparata con i dispositivi attuali frutto dell'evoluzione tecnologica recente, risulta solo nella media ed anche il compilatore utilizza un Tools antiquato rispetto agli strumenti proposti per la programmazione attuale.

1.1 - Caratteristiche

La scheda ha attualmente un costo di \$795,00 e non risulta più disponibile (1).



di I/O gestite dal DSP TMS320F240 ottimizzate per il controllo digitale del motore e applicazioni di conversione di potenza.

Elabora 20 MIPS ovvero 20 milioni di istruzioni al secondo con un tempo medio di ciclo di istruzioni di 50ns. Tale DSP dialoga con una SRAM da 128K a 8 bit (molto più capiente nei microcontrollori moderni). Per quanto riguarda gli I/O: gestisce 12 canali PWM; una interfaccia in quadratura per encoder; un convertitore esterno DAC con 4 canali a 12 bit; un banco di 8 interruttori smd e 6 jump per attivare o disattivare alcune funzioni della scheda stessa; una porta seriale RS232 e un bus per la programmazione del DSP con un debugger.

E' possibile accedere ad ogni periferica tramite i pin-head presenti sulla scheda. Molte di queste caratteristiche, sono attualmente integrate in una vasta gamma di DSP (anche a basso costo) e sviluppati per applicazioni automotive o di driver/azionamento per motori.

Il pacchetto di valutazione comprende anche un alimentatore, ed un debugger con il relativo software.

1.2 - Test T.I. board

In questo paragrafo sono descritte le prove fatte sulla scheda di valutazione Texas Instrument per il dialogo con il pc. Ogni procedura è stata tratta dal datasheet della scheda (2).

1.2.1 - Preparazione preliminare

Le indicazioni per eseguire l'accensione della scheda sono molto dettagliate.

Nel pacchetto di valutazione sono presenti floppy disk per il programma di comunicazione e programmazione, un alimentatore a 5V, il programmatore e il relativo cavo di comunicazione con la scheda. Le connessioni sono indicate nella figura 2.

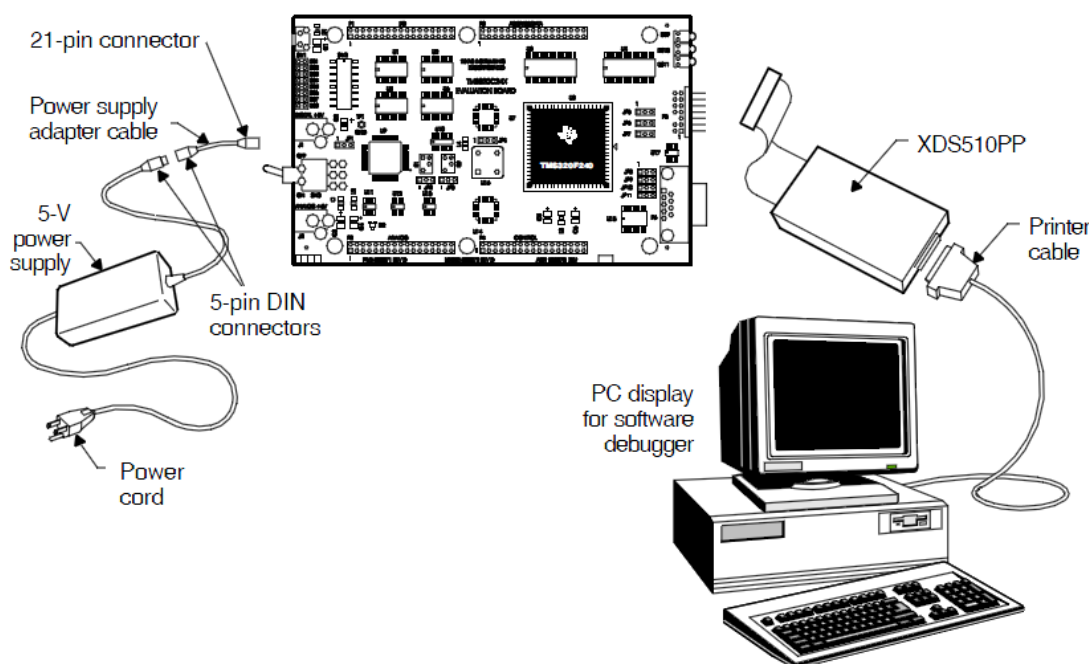


Figura 2 Connessioni scheda di valutazione

Nel documento (2) è inoltre presente la procedura per l'accensione sotto riportata per comodità (che in ogni test è stata rigorosamente seguita):

1. Spegnere il calcolatore.
2. Connettere il programmatore XDS510PP ad una porta parallela del calcolatore tramite il classico cavo della stampante.
3. Assicurandosi di aver posizionato l'interruttore J1 di alimentazione su OFF, connetterlo all'alimentatore tramite il cavo 5-pin DIN.
4. Accendere il pc e la scheda.

1.2.2 - Installazione degli strumenti di programmazione

Gli strumenti per la programmazione sono contenuti in floppy disk e la procedura è presente nello stesso manuale (2) e si riferisce al sistema operativo DOS. Inoltre in una nota, è chiarito che per eseguire correttamente l'installazione, è necessario eseguire la procedura da DOS.

Per installare gli strumenti per il linguaggio Assembly la procedura prevede i seguenti passi:

1) Creare una cartella dal nome C24XTOOLS in C:

2) Copiare tutti i files dei dischetti nominati TMS320CnX Assembler PLC con il comando prompt:

`COPY A:** DOS32 C:\.C24XTOOLS` e ripetere l'operazione per il disco 2.

3) Modificare l'istruzione `PATH=.` nel file `autoexec.bat` ed inserirci l'istruzione

`C:\C24XTOOLS`

Per installare correttamente la suite di sviluppo è presente un'altra procedura riassunta nei seguenti passi:

1) Individuare il floppy etichettato "C24x EVM software Diskette".

2) Creare una directory sul disco di sistema inserendo il seguente codice da prompt di comandi:

`MD C:\C24XCODE`

3) Per installare il codice di esempio, copiare tutti i file nella directory `APPSCODE` sul Floppy nella directory `C24XCODE` eseguendo l'istruzione:

`COPY A:\APPSCODE*C*:\C24XCODE`

4) Modificare l'istruzione `PATH` con l'istruzione:

`C:\C24XCODE` analogamente a quanto fatto in precedenza.

Successivamente installare TMS320C24x EVM Debugger dal relativo Floppy settando le relative variabili di ambiente indicate sul manuale (2). E' necessario entrare nella configurazione della porta parallela e settare il valore 378h in modalità SPP44-bit con valore predefinito di ritardo 10. Inoltre è possibile verificare la corretta comunicazione tra il calcolatore e la scheda accesa e cablata come descritto in precedenza con il comando

C:\C24XHLL\smcmode.exe oppure:

C:\C24XHLL\nscmode.exe

Avviando il relativo software dovrebbe apparire la seguente schermata.

```

EMU24XWM
-----
Load Break Watch Memory Color MoDe Analysis Run=F5 Step=F8 Next=F10
DISASSEMBLY
0000 7980 B 0076h,*
0002 7980 B 0074h,*
0004 7980 B 0074h,*
0006 7980 B 0074h,*
0008 7980 B 0074h,*
000a 7980 B 0074h,*
000c 7980 B 0074h,*
000e 7980 B 0074h,*
0010 7980 B 0074h,*
0012 7980 B 0074h,*
0014 7980 B 0074h,*
0016 7980 B 0074h,*
0018 7980 B 0074h,*
001a 7980 B 0074h,*

CPU
ACC 000000cc
PREG fffffcec
PC 0051 TOS fbff
ST0 2604 ST1 21fc
IMR 0000 IFR 000e
IREG ffff AR0 a002
AR1 a003 AR2 0000
AR3 ffff AR4 0000
AR5 2000 AR6 4038
AR7 00c3

MEMORY
0060 2000 04c0 1000 00c0
0064 ffff ffff ffff ffff
0068 0004 0020 0000 0010
006c ffff feff 7fff fffb
0070 0000 0008 0000 a000
0074 ffff fffe ffff ddbf
0078 0000 0000 0004 0000
007c ffef ffff ff79 7ffb
0080 0000 0000 0000 0000

COMMAND:
TMS320C2xx Silicon Revision 1.0.0
XDS510 Emulator Revision 1

EMUINIT.CMD FOR THE 'C24x EUM
EMUINIT.CMD FOR THE 'C24x EUM HAS BEEN LOADED
>>>

```

Figura 3 EMU24XWM

1.2.3 - Tentativi di installazione

Sono stati effettuati vari tentativi di installazione su vari sistemi operativi al fine di verificare il guasto della scheda.

Inizialmente è stata tentata l'installazione del Tools su Windows 7 con un convertitore usb/parallela utilizzando l'emulatore interno (tasto destro sull'eseguibile setup.exe proprietà, compatibilità, esegui in modalità:...) emulando Windows '95, dato che all'avvio del software di installazione appariva un messaggio di incompatibilità con sistemi operativi successivi. Dato il mancato funzionamento di comunicazione sono state provate anche tutte le altre modalità di compatibilità su windows 7.

Con un calcolatore che aveva in dotazione la porta parallela sul sistema operativo windows XP sono state eseguite le medesime prove senza successo.

Dopo questo tentativo è stato cercato il problema di comunicazione eliminando le possibili problematiche che erano già note e, sono state cercate le caratteristiche peculiari della gestione della porta parallela dei sistemi operativi compatibili con i Tools in dotazione. In rete sono state trovate informazioni in merito allo strato di astrazione HAL: in Xp è stato introdotto l'HAL (Hardware Abstraction Layer) che impedisce al livello applicazione di interagire direttamente con l'hardware. Con l'introduzione di questo livello di astrazione solo il sistema operativo è in grado di interagire con la parte hardware, tutte le richieste software che fanno uso dell'hardware devono passare attraverso di esso.

Per questo è stato fatto l'ultimo tentativo con un sistema operativo che non introducesse l'HAL ed è stata testata tutta la procedura su Windows 95 senza ottenere i risultati sperati.

Dalle prove fatte è stato concluso che la scheda o il compilatore non funzionassero in modo corretto. L'acquisto di un nuovo compilatore o di una nuova scheda andrebbe oltre la spesa di una realizzazione di una nuova scheda moderna con caratteristiche simili o superiori dotata di un DSP a basso costo della Microcip (dsPIC) e appositamente pensato per applicazioni Automotive o di potenza della serie MC descritto nel capito successivo.

Pertanto è stato deciso, a fini didattici, di effettuare una progettazione di una scheda che funzionasse da azionamento.

2 - Alcuni cenni sugli azionamenti

In questo capitolo verranno analizzate alcune delle possibili applicazioni degli azionamenti per motori elettrici e i tipi di retroazioni che utilizzano i controlli più comuni in modo da definire le specifiche di massima dell'azionamento descritto successivamente.

2.1 - Cenni tecnologici

La realizzazione di dispositivi elettronici è correlata al costo di produzione e al valore commerciale che ne deriva, basti pensare ai dispositivi integrati attuali che nonostante possano integrare resistenze di valore preciso sono utilizzati transistor MOS polarizzati nell'equivalente valore di resistenza, al fine di ridurre lo spazio sul wafer di silicio e, conseguentemente ridurre i costi di produzione. Ultimamente i wafer utilizzati per la produzione sono stati ulteriormente maggiorati di diametro consentendo un numero di dispositivi integrati maggiore che in aggiunta alla riduzione delle dimensioni del gate dei transistor MOS garantisce una produzione parallela maggiore. Inoltre l'aumento di definizione e, la conseguente riduzione di dimensione dei gate dei transistor ha diminuito anche la capacità parassita con conseguente aumento della velocità di commutazione. La retta di Moore, che definisce l'integrazione dei transistor nel tempo, rispecchia quanto detto ed abbinata all'evoluzione naturale del software, che fornisce strumenti sempre più completi e di facile utilizzo, arricchisce il bagaglio di possibilità del progettista per la realizzazione di dispositivi con specifiche in continua e rapida evoluzione.

Attualmente i dispositivi DSP della Microcip denominati dal prefisso dsPIC, hanno un costo dai 4 ai 15 euro e, la serie MC acronimo di "motor control" pensata appositamente per applicazioni automotive superano in ogni termine le caratteristiche comprensive di elettronica al contorno, della scheda Texas Evaluation Board TMS320C24x.

2.2 - Applicazioni

Le applicazioni di un azionamento si diversificano per tipologia di motore e controllo. Analizzando le tipologie principali delle applicazioni è possibile progettare e valutare un dispositivo multipurpose nell'intersezione delle specifiche richieste di ognuna di esse.

Chiaramente, anche se i singoli componenti hanno fatto grossi progressi negli ultimi anni, sarà necessario trovare un compromesso per le prestazioni richieste dalle singole applicazioni, e pensando questo dispositivo come una piattaforma didattica ampliabile in futuro, è indispensabile adottare un principio di progettazione modulare in modo da consentire in futuro solo minime modifiche che consentiranno l'adattabilità alle specifiche stringenti di alcune applicazioni. In questo capitolo verranno analizzate le principali tipologie di motori e retroazioni ottenendo le specifiche di partenza per il progetto in esame.

2.2.1 - Tipologie di ponti H per tipologia di motori

I motori elettrici possono essere divisi in motori in continua e motori in alternata. I motori in continua vengono principalmente alimentati con una particolare tipologia di configurazione circuitale formata da transistor disposti ad H per questo chiamata "ponte h".

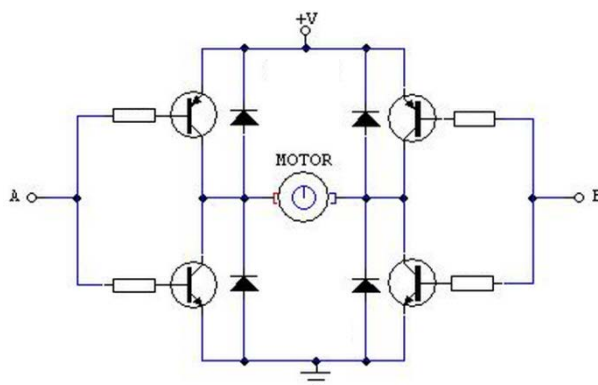


Figura 4 Ponte H

Tale configurazione consente di alimentare il motore con un PWM sulla tensione di alimentazione e di invertire la polarità ai suoi capi. Il ponte H per motori in continua è una semplificazione del ponte per motori trifase che si chiama inverter. Infatti avendo un inverter sarà possibile azionare anche un motore in continua ed è per questa ragione che è stato pensato di adottare un inverter al posto di un ponte h. Per quanto riguarda i motori monofase con condensatore di sfasamento sarà possibile azionarli anche staccando il condensatore e creando uno sfasamento di 90° tra le due fasi equivalente a quello prodotto dal condensatore.

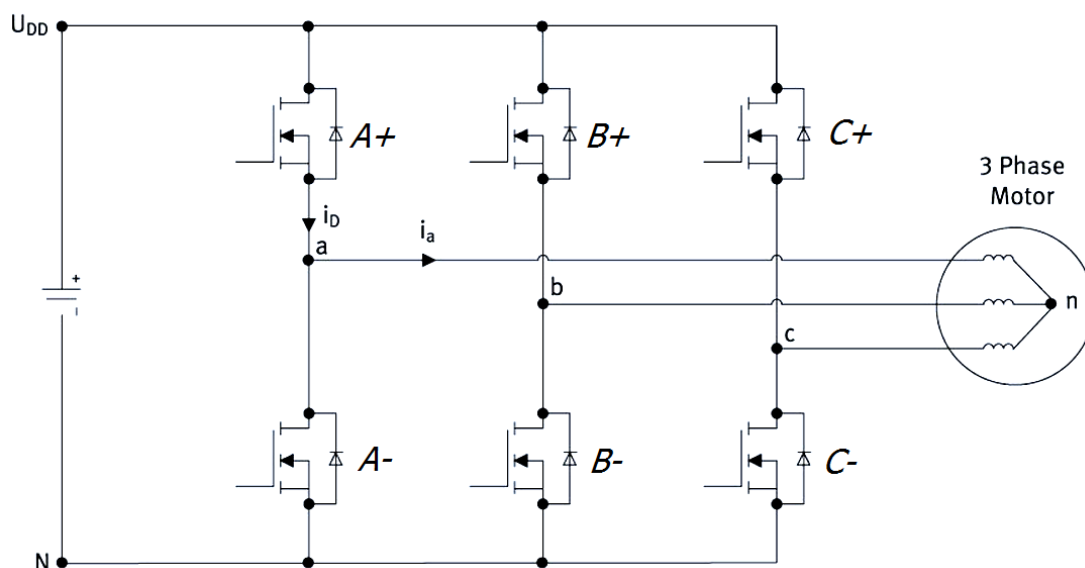


Figura 5 Ponte H trifase

Come è possibile notare confrontando i due ponti, è possibile una realizzazione a transistor sia con BJT sia con MOS, ma entrambi lavoreranno in condizione ON-OFF senza usare la caratteristica nella regione resistivo/lineare in modo da aumentarne il rendimento escludendo la potenza persa per effetto delle perdite resistive date dal passaggio di corrente sui transistor.

Con un periodo del PWM a circa 50kHz il comportamento passa-basso della componente meccanica del motore filtrerà i gradini generati caricando e scaricando gli avvolgimenti/induttori del motore ed ottenendo una coppia e andamento della tensione lievemente più simile al classico azionamento diretto da linea di rete. Tali fronti sporcano la linea di alimentazione generando impulsi le cui armoniche date dalla scomposizione in serie di Fourier possono generare disturbi ad altri componenti soprattutto quelli digitali che sono molto sensibili e per questo dovranno essere prese misure di protezione in questo senso.

Per quanto riguarda i motori lineari, che derivano dai classici motori elettrici, se sono alimentati da 2-3 fasi o linee in continua o alternata potrebbero essere alimentati da un inverter. Ma nel caso in cui la tipologia rara di tale motore abbia più di 3 fasi, ovvero più di tre avvolgimenti, sarebbe necessario utilizzare altri ponti H in numero tale da poter controllare tutte le fasi/avvolgimenti.

Nel caso di motori passo-passo di taglia media e grossa sarà necessaria la stessa considerazione. Per quelli di taglia piccola, invece, che spesso integrano un microazionamento è necessaria l'alimentazione e alcuni segnali digitali caratteristici forniti dal produttore.

2.2.2 - Tipi di retroazioni per il controllo

Le principali tipologie di controllo sono: posizione, velocità, accelerazione e coppia.

La prima è comunemente fatta tramite l'utilizzo di sensori Hall comunemente impiegati nei motori brushless, ma anche con encoder incrementali o assoluti a interfaccia seriale in quadratura di fase o digitale. Derivando tale informazione è possibile ottenere la velocità e, derivando la velocità è possibile ottenere l'accelerazione; in questo modo è possibile effettuare una traiettoria completamente definita anche con le relative retroazioni di posizione velocità e accelerazione. Per il controllo di coppia, che è sempre proporzionale alla corrente che scorre nel motore, è necessario misurare o stimare la corrente assorbita. Nei sistemi più recenti e complessi è possibile una stima della posizione dell'albero effettuata tramite un certo stimatore come nel caso degli azionamenti sensorless dove generalmente è possibile realizzarla con una misura della tensione.

3 - Azionamento con dsPIC

In questo capitolo verranno illustrate le scelte progettuali fatte sulla base delle considerazioni del capitolo precedente, fino ad arrivare alle specifiche finali dell'oggetto in esame.

3.1 - Specifiche

Scegliere le specifiche di un qualsiasi progetto è sempre una sfida che spesso non è possibile vincere a meno di qualche compromesso.

3.1.1 - Utilizzo

Questo progetto vuole essere una buona piattaforma di partenza per la sperimentazione di tecniche di controllo di motori AC trifase. Date le buone (ma non ottime) prestazioni dell'hardware selezionato sarà possibile implementare molte tecniche di controllo accademiche. Particolare attenzione in questo elaborato è stata fatta nei riguardi dell'interazione tra l'utente e l'azionamento poiché è noto essere il primo ostacolo all'avvicinamento del problema di controllo.

Con il progetto ultimato in ogni sua parte si vuole quindi dare anche ad un'utenza non avvezza alla programmazione od alla realizzazione di circuiti embedded la possibilità di cimentarsi con problemi di controllo.

Fonti interne alla stessa Microchip inoltre informano che entro la fine dell'anno 2013 sarà rilasciato un toolkit simulink con il quale sarà possibile creare il firmware direttamente dai blocchi utilizzati per la simulazione, senza la necessità quindi di scrivere alcuna riga di codice.

3.1.2 - Modularità

Al fine di ottenere un prodotto multipurpose, per quelle applicazioni che necessitano di specifiche stringenti, sarà necessario effettuare una progettazione modulare in modo da poter intervenire alla sostituzione di alcune parti e rendere il dispositivo relativamente adattabile a quelle applicazioni che lo necessiteranno in futuro. Per questo è stato scelto di dividere le schede di gestione digitale da quella di potenza in modo da poter intervenire sulla sostituzione della scheda di potenza e adattare l'azionamento al controllo di motori con caratteristiche di corrente e tensione diverse, andando a sostituire il modulo di acquisizione del segnale per disporre del più ampio range di acquisizione possibile riferita alla specifica tipologia di motore e migliorandone la risoluzione, sensibilità e accuratezza. Anche la parte di alimentazione, che comprende alimentazione digitale e alimentazione di potenza, sarà su una scheda separata in modo che possa essere facilmente sostituita con una dalle caratteristiche compatibili con le applicazioni che lo necessitano, oppure eliminata integrando l'azionamento in sistemi dove è già presente una alimentazione compatibile o, in laboratorio tramite gli alimentatori disponibili. Inoltre sarà possibile un aggiornamento con i nuovi dispositivi futuri più performanti mantenendo inalterate le altre schede ed in riferimento al dcPIC, che mantiene invariata la piedinatura o in ogni caso ogni pin riprogrammabile ed assegnabile da software, anche l'elettronica al contorno.

3.1.3 - Costo

Questo dispositivo è pensato per avere un costo relativamente basso. Il dsPIC scelto appositamente pensato per applicazioni di conversione di potenza e driver da 70MIPS ci è sembrato un ottimo compromesso tra prestazioni e costo, di circa 4 euro, che non si discosta molto dalle applicazioni molto più performanti come quelle della scheda Delfino da 140 MIPS della Texas, ma che ha un costo di più di 150 euro. Anche l'elettronica al contorno è più semplice rispetto alle altre soluzioni e l'elemento più costoso risulta il ponte, composto da 6 mosfet, che costa 16 euro, ma che sono stati scelti particolarmente performanti anche in termini di rendimento in

quanto presentano una resistenza R_{on} relativamente bassa che dissipa circa 6w alla massima corrente circolante corrispondente a circa 11kw.

3.1.4 - Software e firmware

Il software sfruttabile per la programmazione del dsPIC è la suite di sviluppo Microchip MPLABX (gratuita) che mette a disposizione tutto quanto necessario alla programmazione in linguaggio c e c++. Il compilatore C33 (obsoleto) e XC16 sono invece gratuiti al massimo delle loro prestazioni per 60 giorni, scaduti i quali vengono introdotti dei caratteri di riempimento all'interno del codice. Tali caratteri non alterano in nessun modo il firmware sviluppato, ma fanno sì che questo occupi molto più spazio del dovuto all'interno della memoria del microcontrollore. È stato valutato che disponendo di una memoria di 512KWorld la limitazione non costituisce un particolare problema per la grande maggioranza di applicazioni implementabili. Nel caso in cui lo sviluppo richieda un firmware molto grande è possibile sbloccare le funzionalità ottimizzate acquistando una licenza standard o professional.

È consigliato lo sviluppo di una applicazione custom per quanto riguarda la comunicazione con il dsPIC da parte del progettista. A tal fine può essere utilizzato con successo il framework Qt che offre la possibilità, dalla versione 5.1 in poi, di utilizzare direttamente le seriali sul pc senza il bisogno di ricorrere a librerie esterne. È bene notare che nessuna seriale sarà fisicamente disponibile né su un PC di ultima generazione né sull'azionamento sviluppato in questa sede; la seriale menzionata è quella emulata dal chip FT232 utilizzato. Per una completa comprensione della seriale si rimanda al paragrafo apposito.

Inoltre non ci sarà sempre bisogno dell'utilizzo dell'apposito programmatore PicKit3 per caricare il firmware sul microcontrollore, infatti è possibile caricare nella parte di memoria dedicata un bootloader per la riprogrammazione attraverso una delle interfacce disponibili. Il costruttore mette a disposizione un bootloader utilizzabile tramite seriale, ma nulla vieta di crearne di nuovi e personalizzati.

3.1.5 - Interfacce

Le interfacce per la comunicazione saranno quelle più diffuse attualmente e sarà possibile aggiungerne altre, alcune compatibili in partenza in riferimento al datasheet (3), utilizzando gli appositi pin riprogrammabili esterni. Nello specifico sarà presente una usb per l'interfaccia con il software e la comunicazione di acquisizione delle misurazioni effettuate a bordo della scheda. Una interfaccia utilizzando un dispositivo di conversione apposito con protocollo CAN per poter integrare l'azionamento nei sistemi automotive comuni che la utilizzano. Da diverse delle uscite digitali a disposizione sarà possibile assegnare il protocollo seriale RS232 con i relativi TX e RX.

3.1.6 - Sensori

Al fine di garantire la possibilità di implementazione di vari controlli sono stati inseriti sensori per la misura delle tre correnti di fase e della corrente prelevata dal bus DC. Sono stati inoltre inseriti sensori per la misura delle tre tensioni di fase e della tensione del bus DC come per la corrente. Ulteriori ingressi sono stati messi a disposizione per collegare encoder e sensori hall di posizione del rotore.

3.1.7 - Tensioni, correnti e frequenze massime

Pensando questo azionamento anche per motori asincroni tradizionali e considerandone uno sviluppo per il controllo V/Hz costante ed avere un buon margine per valutarne le caratteristiche è stato pensato di adottare una tensione raddrizzata dalla linea trifase a 400V efficaci corrispondenti a 565V di picco. Per rientrare in questa specifica sono stati scelti transistor MOS a 600V massimi consentendo la messa in opera anche a tensioni minori per le relative tipologie di motori. Valutando il motore di taglia più grande presente in laboratorio da 30kW non è stata possibile la corrispondente specifica di corrente essendo pari a 43A, ma è stato valutato che un valore di 16A di fase e quindi di picco sui transistor potevano essere un buon compromesso considerando che ad uno stadio di sviluppo futuro possa essere implementata una saturazione sulla corrente massima allo spunto con un

controllo apposito consentendo anche ad i motori di taglia più grossa in laboratorio la valutazione del funzionamento a vuoto. Per quanto riguarda la frequenza massima è stata pensata la specifica più stringente di motori da modellismo. Tali motori riescono a girare anche a 10.000 rpm ed i più performanti hanno anche 7 poli. Considerando quindi i giri al secondo e moltiplicandoli per il numero di poli si ottiene la massima frequenza di fase corrispondente a 1166Hz. Tale valore è stato utilizzato anche per i filtri relativi ai sensori Hall per la misura di corrente che su un gradino di corrente di 15A hanno una risposta con un ritardo di 6 μ s ovvero un ritardo dello 0,7% del periodo a 1,2kHz. Gli amplificatori operazionali utilizzati da buffer, per caricare la capacità del S&H, hanno uno slow rate di 0,9 V/ μ s che nel caso peggiore, considerando l'ingresso del dsPIC a 3,3V corrispondono ad un ritardo di 3 μ s ovvero 0,35% del periodo alla f_{max} . Questi ritardi sono perfettamente accettabili per la maggioranza dei controlli. Il campionamento di un segnale a 1,2 kHz è ampiamente ricostruibile già a 15-20 kHz ovvero 20 punti per periodo e risulta ampiamente compatibile con il massimo campionamento effettuabile dal dsPIC di 1.1MHz. In ogni caso a scelta del programmatore sarà possibile variare la frequenza di campionamento in modo da consentire l'elaborazione del programma di controllo prima della successiva acquisizione ed ottenendo il giusto compromesso. La frequenza del PWM potrebbe essere scelta da 50kHz ed anche il campionamento, ma sarà a discrezione del programmatore abbassarlo nel caso di un controllo particolarmente oneroso di risorse.

3.2 - Schema funzionale

Lo schema funzionale dell'azionamento è rappresentato in figura.

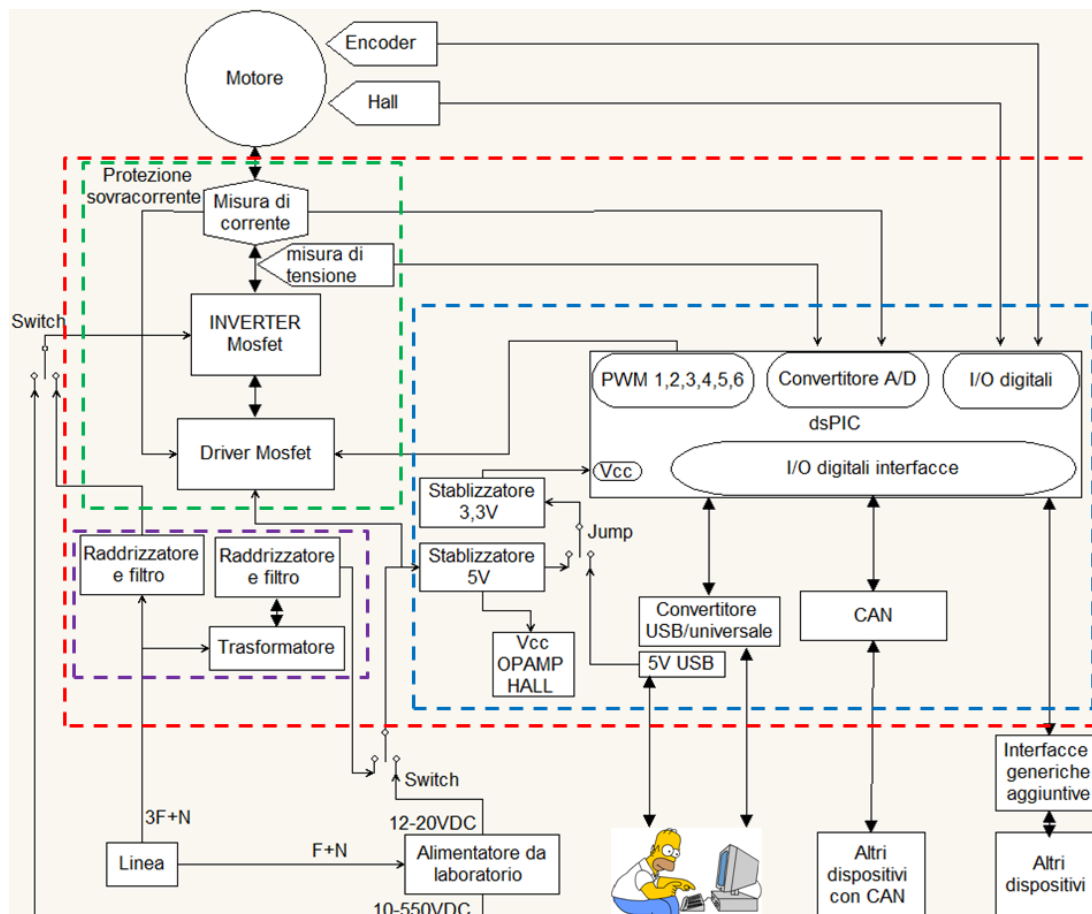


Figura 6 Schema funzionale dell'azionamento

Con la linea tratteggiata rossa è stato pensato di raffigurare il case dell'azionamento che contiene tutte e tre le schede: quella di alimentazione raffigurata dalla linea viola; quella digitale alla quale sono connesse tutte le interfacce raffigurata dalla linea azzurra e quella dello stadio di potenza dell'inverter e del suo driver rappresentata dalla linea verde. E' stato pensato che, al fine di test preliminari e nel caso di utilizzo integrato in sistemi dove l'alimentazione è già prevista, sia possibile utilizzare il dispositivo commutando l'alimentazione con degli interruttori e nel caso di utilizzo senza l'ausilio di una porta usb di poter utilizzare l'alimentazione degli amplificatori operazionali, data da uno stabilizzatore a 5V, per l'alimentazione del dsPIC con un Jump.

4 - Scelte circuitali

In questo capitolo verrà spiegato nel dettaglio ogni parte dello schema elettrico precedentemente presentato.

4.1 - La scheda inverter

Nella scheda dell'inverter i componenti principali sono rappresentati dal driver di potenza, dai transistor di potenza e dai circuiti di misura. Per lo schema elettrico completo si faccia riferimento agli allegati.

4.1.1 - Il driver di potenza

Il driver di potenza è essenziale per poter adattare i segnali logici provenienti dal DSP a quelli necessari a pilotare i MOSFET di potenza dell'inverter. Date le dimensioni considerevoli dei transistor e le velocità di commutazione richieste è necessario un componente in grado di erogare picchi di corrente considerevoli, cosa che non potrebbe fare il microcontrollore direttamente (la corrente di uscita massima per ogni pin digitale è di infatti appena 4mA). Per assolvere a questo compito è necessario scegliere un componente che sia compatibile con la tensione di lavoro del bus DC, con i livelli logici disponibili all'uscita del microcontrollore e che sia in grado di caricare in maniera sufficientemente veloce la capacità parassita sul gate dei transistor. Il componente che abbiamo scelto per svolgere tali compiti è il "IRS23364D" (4) consultando poi quando suggerito dal costruttore siamo arrivati alla configurazione definitiva per lo schema elettrico che si riporta per comodità in Figura 7.

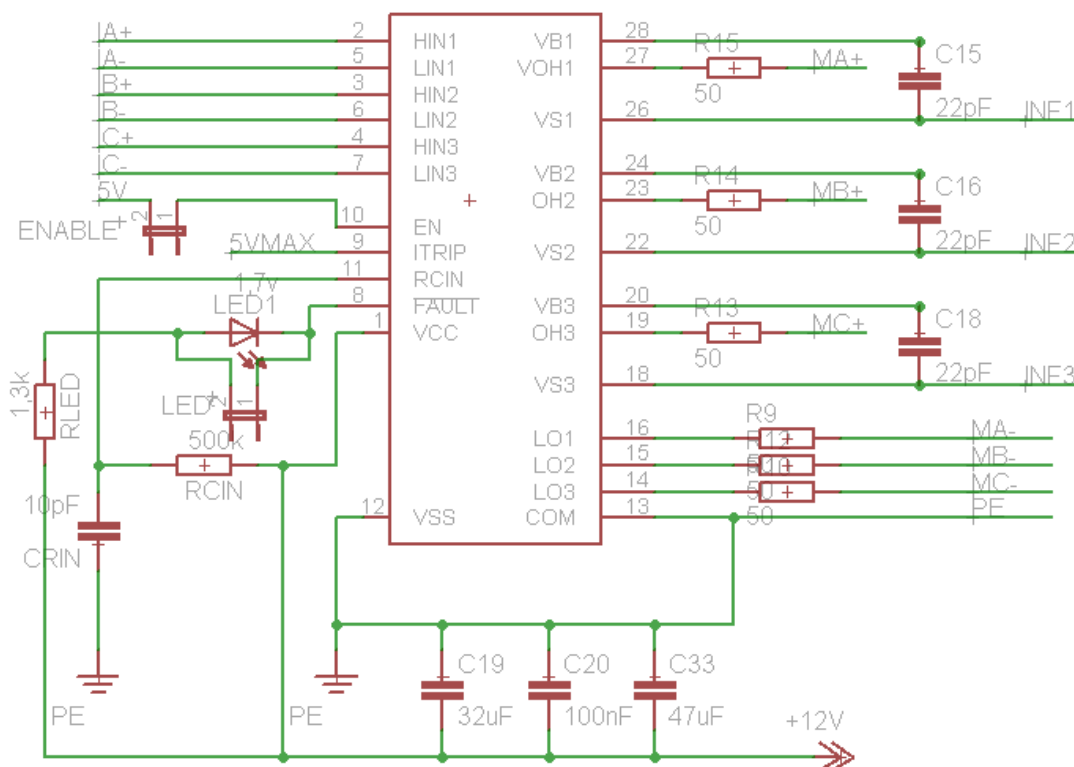


Figura 7 Configurazione driver di potenza.

Nello schema è possibile osservare le linee di segnale provenienti dal DSP, il jumper denominato “enable” utile a disattivare il driver di potenza durante le fasi di sperimentazione del software (quando non si vuole agire sulla parte di potenza). La scelta di posizionare un jumper è dovuta al fatto che in questo modo sarà possibile in riportare il collegamento all’esterno di un eventuale involucro che contiene l’azionamento. E’ inoltre presente un LED (anch’esso collegato ad un jumper per riportare il segnale altrove) che segnala la presenza di una sovracorrente che perdura per un certo tempo programmabile a piacimento. La presenza di una sovracorrente e la conseguente disconnessione dei mosfet di potenza avviene quando al pin denominato “5VoltMax” arriva un segnale in tensione superiore a 0,46Volt come indicato nel datasheet. Allo stato attuale tale pin risulta collegato in uscita al sensore ad effetto hall che monitorizza la corrente assorbita sul bus DC. I componenti RCIN e CRIN servono a settare il ritardo con il quale si deve verificare la condizione di sovracorrente. Di particolare importanza risultano essere le capacità di bypass C19, C20 e C33 poiché il driver è un componente che necessita di grosse quantità di corrente in tempi molto brevi, sono inoltre consigliate dal costruttore per

l'eliminazione dei disturbi. Tra le capacità di bypass è consigliato metterne almeno una al tantalio che ha tempi di risposta particolarmente rapidi. Si nota infine le linee di ritorno delle tre fasi che sono necessarie all'integrato per un corretto controllo dei gate flottanti.

4.1.2 - Il sensore di corrente.

I motivi che hanno portato alla scelta di isolare questo circuito dal resto della scheda sono molteplici. Primo fra tutti il fatto che apparendo più di una volta risulta più rapido progettarne uno, per poi ripeterlo come fosse un componente a se stante ogni volta che ve ne sia bisogno.

Il sensore si basa sul componente ACS712 (5). Trattasi di un chip che effettua la propria misura sfruttando l'effetto hall per misurare la corrente che gli scorre attraverso. Tra le ottime caratteristiche di questo componente una particolarmente interessante è quella di garantire un isolamento galvanico tra la linea sotto test e la circuiteria digitale a bassa tensione che invece legge il risultato. Questo evita la necessità di prendere ulteriori provvedimenti per quanto riguarda l'aspetto della sicurezza che è stato invece necessario affrontare in altre parti del progetto. La configurazione circuitale scelta per l'inserimento del componente è quella riportata in Figura 8.

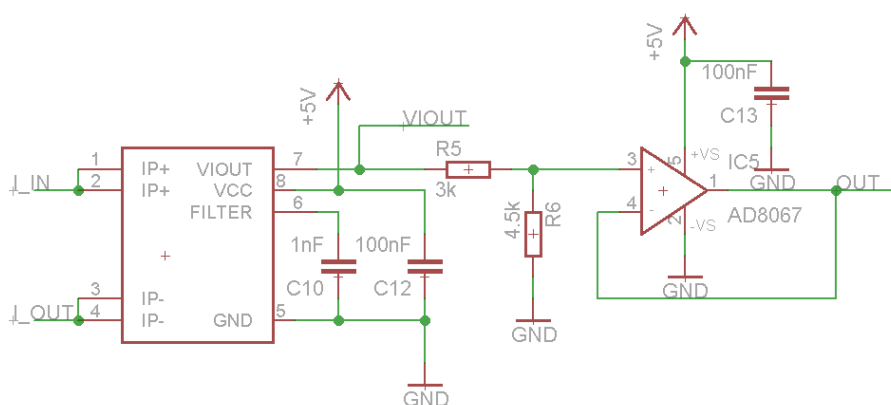


Figura 8 Misuratore di corrente.

E' stato necessario riportare il segnale di uscita che varia nel range di tensioni da 0V a 5V al range compatibile con gli ingressi analogici del DSP che invece va da 0V a 3.3V. L'amplificatore operazionale in configurazione buffer è invece necessario per

caricare rapidamente la capacità di S&H dell'ADC affinché sia sempre possibile avere a disposizione la massima frequenza di campionamento possibile.

4.1.3 - Il sensore di tensione

Per gli stessi motivi già enunciati nel paragrafo precedente si è scelto di separare anche tutti i sensori di tensione creando un unico circuito da richiamare al bisogno. Questo circuito mostra difficoltà maggiori rispetto al precedente sensore di corrente, per il fatto che non è stato possibile trovare in commercio nulla in grado di lavorare a tensioni molto alte e contemporaneamente garantire un buon isolamento galvanico. Quello che si è deciso di fare quindi è di utilizzare un classico isolatore ottico (6) nella sua regione lineare, per poi riprendere il segnale così ottenuto e per mezzo di un amplificatore operazionale riportare i giusti valori di tensione in ingresso al DSP. Il circuito finale è quello mostrato in Figura 9.

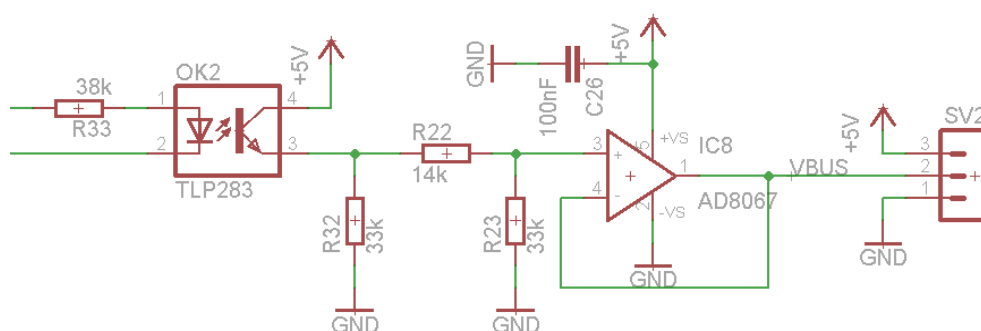


Figura 9 Sensore di tensione.

Nonostante nella fase progettuale le simulazioni diano ragione a questa metodologia c'è la possibilità che all'atto pratico fattori ambientali o la non perfetta linearità del componente nella regione di lavoro rendano necessarie ulteriori considerazioni per quanto riguarda questa parte.

Nell'evenienza estrema in cui non fosse in nessun modo possibile utilizzare questo tipo di tecnica si tenga presente che è possibile sfruttare una modalità completamente diversa di misura della tensione mantenendo compatibile la dimensione ed il pin/out del circuito appena discusso.

4.2 - La scheda di controllo

Questa scheda prende il nome di “scheda di controllo” poiché è qui che risiederà fisicamente il controllo da implementare, sono inoltre dislocato su questo circuito tutti gli elementi con cui l’operatore può controllare l’azionamento. Lo schema elettrico di questa scheda è fornito come allegato.

4.2.1 - L’alimentazione

La scheda per il corretto funzionamento ha bisogno di due alimentazioni. La prima è quella di 12Volt che serve ad alimentare la parte digitale della scheda inverter. L’alimentazione da 12 Volt non è direttamente utilizzata da questa scheda e sarà quindi possibile nelle prima fasi di debug testare tutte le funzionalità disponendo di una sola alimentazione da 5 Volt che invece è necessaria per alimentare tutti i dispositivi logici presenti.

Per mezzo dell’alimentazione da 5Volt, che va ad alimentare direttamente gli optoisolatori di segnale, viene generata anche una tensione di alimentazione di 3,3Volt necessaria per il corretto funzionamento del DSP. Il circuito con il quale si ricavano 3,3Volt è quello in Figura 10 che si basa sul regolatore LTO MIC5219 (7).

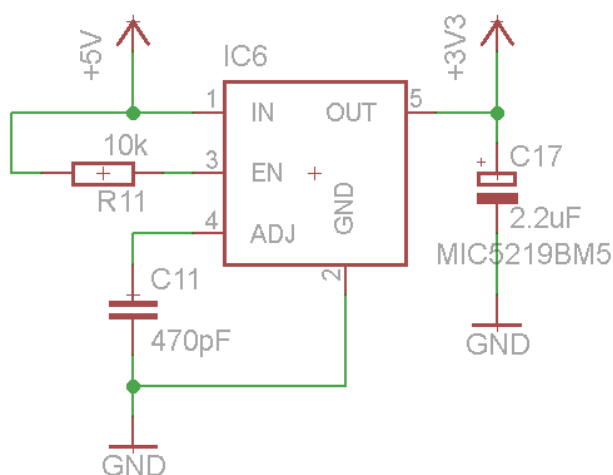


Figura 10 Regolatore 3,3Volt.

4.2.2 - Il dsPIC

Il dsPIC scelto gode di alcune interessanti caratteristiche che lo rendono particolarmente adatto all'implementazione di algoritmi di controllo complessi. Oltre ad una buona capacità di calcolo possiede anche delle periferiche di acquisizione di segnali analogici in simultanea. Questo significa che è possibile campionare fino a 4 segnali simultaneamente riducendo al minimo l'errore introdotto da eventuali ritardi tra le misure. Avendo più di 8 ingressi analogici la soluzione che può essere adottata consiste nel campionare 4 a 4 tutti i segnali di corrente e tutti i segnali di tensione con una velocità massima di 1.1MS/sec.

Un'altra ottima caratteristica di questo componente è la presenza di un DMA interno, il quale si occupa di operazioni ripetitive di trasferimento dati concedendo ancora più risorse per il calcolo al DSP centrale. Il DMA può essere programmato infatti per campionare i dati alla massima velocità in totale autonomia e, generare un segnale di interrupt al DSP centrale solo quando i dati sono pronti per essere elaborati.

Sempre nell'ottica di realizzare algoritmi di controllo real-time sono disponibili svariati timer, alcuni dei quali con una risoluzione di 32 bit per la temporizzazione degli eventi.

Ultima caratteristica, ma non meno importante la serie MC di questi dsPIC dispone di una periferica interamente dedicata alla generazione di PWM per il controllo di ponti H trifase. Sono disponibili 3 coppie di segnali PWM ad alta risoluzione con step minimo fino a 7.14 ns. Ogni coppia comanda un ramo del ponte H ed il possibile controllare via firmware il dead-time al fine di ottimizzare al massimo ogni singola applicazione dell'azionamento.

4.2.3 - La seriale

Negli ultimi anni la porta di comunicazione seriale è andata sparendo da notebook e dispositivi, sostituita da altre tipologie di comunicazione molto più veloci ed al contempo anche molto più complesse. In quelle applicazioni in cui non c'è particolari esigenze di velocità è sempre possibile sfruttare la semplicità della seriale

con degli emulatori. Nel nostro caso il chip in questione è il FT232 (8), il quale si interpone in maniera perfettamente trasparente tra il nostro microcontrollore ed il PC sollevandoci dal gravoso compito di realizzare un driver specifico per la nostra applicazione. Il chip in questione mette a disposizione anche alcuni pin programmabili via PC al fine di poter avere dei led indicatori dello stato della trasmissione e, eventualmente di poter segnalare al microcontrollore quando un utente cerca di comunicare senza il bisogno di effettuare un controllo polling sulla seriale.

4.2.4 - I/O disponibili

Sono disponibili sei pin digitali ed uno analogico per applicazioni generiche a scelta dell'utente. Alla fine del capitolo sono proposti alcuni circuiti per poter sfruttare al meglio questa disponibilità.

4.2.5 - Encoder

Poiché è indispensabile per l'applicazione di un grande numero di controlli avere una retroazione di posizione sono stati adibiti alcuni pin digitali (compatibili 5Volt per una maggiore comodità) per l'ingresso di encoder. Il DSP dispone di alcune periferiche interne in grado di elaborare direttamente i segnali provenienti da una grande gamma di encoder e di restituire direttamente alcune grandezze come velocità ed accelerazione salvando così risorse preziose.

4.2.6 - Sensori di posizione

I sensori per eccellenza, utilizzati nella maggior parte di motori brushless in modo da commutare l'alimentazione delle fasi, sono i sensori Hall. A dispetto di quanto si possa pensare la maggior parte dei sensori Hall integrati nei motori commerciali o da abbinare ad essi, generano dei segnali digitali corrispondenti alla posizione del rotore sfruttando appunto l'effetto Hall. Fornire degli ingressi di tali sensori permette tramite firmware di stimare la posizione del rotore.

4.3 - Alimentazione di potenza

Nonostante sia possibile fornire ai circuiti fin qui presentati (scheda di controllo ed inverter) direttamente tutte le tensioni di cui hanno bisogno viene proposto anche un circuito in grado di generare tutto quanto necessario dalla alimentazione di rete trifase. Lo schema elettrico proposto viene fornito in allegato.

4.4 - Periferiche aggiuntive

In questo paragrafo vengono proposte alcune soluzioni per l'impiego dei pin che rimangono inutilizzati nella scheda di controllo.

4.4.1 - SD Card

Con estrema facilità è possibile collegare una SD-Card ai pin digitali disponibili. Vengono inoltre messe a disposizione dal costruttore del DSP delle apposite librerie attraverso le quali è possibile leggere e scrivere file su una partizione classica FAT32 rendendo così possibile l'estensione della memoria di data-logger. In quest'ottica è possibile pensare di avere a disposizione uno storico dello stato dell'azionamento anche di qualche giorno da utilizzare per ottimizzazione dei consumi e come scatola nera in caso di guasto.

4.4.2 - Scheda MiWi

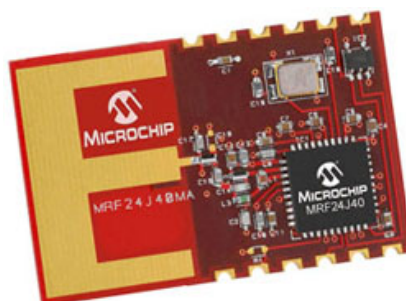


Figura 11 Scheda MiWi

Trattasi di una scheda con protocollo di comunicazione SPI (quindi compatibile con il DSP) messa a disposizione dallo stesso costruttore per creare una rete wireless p2p tra dispositivi simili. Si rende possibile (nel caso in cui i disturbi lo permettano) di controllare più azionamenti contemporaneamente senza fili o, l'opportunità eventualmente di far lavorare più utenti sulla stessa scheda ma con PC diversi.

4.4.3 - Scheda Bluetooth



Figura 12 Scheda Bluetooth

La Microchip mette a disposizione come per la scheda MiWi una scheda bluetooth che può essere comandata sia tramite SPI che seriale e, che permette il collegamento all'azionamento non solo da parte di PC ma anche da parte di tablet o smartphone.

5 - Layout

Un azionamento costituisce una sfida anche da punto di vista di disegno al CAD, infatti sono molti i fattori da tenere in considerazione date le alte correnti in gioco e la presenza di forti disturbi che potrebbero interferire con il resto dell'elettronica. In questo capitolo si presentano le scelte fatte per cercare di ottimizzare al massimo le prestazioni e ridurre al minimo i disturbi.

5.1 - Disegno del controllo

La scheda di controllo non costituisce un particolare problema di progettazione poiché essendo principalmente digitale c'è una forte libertà sia per quanto riguarda la lunghezza che la dimensione delle piste. La norma è cercare di realizzare le piste di alimentazione leggermente più grandi di quelle di segnale e, dove fosse possibile realizzare un piano di massa per schermare i disturbi. L'unico vincolo in questo circuito è stato quindi rispettare la dimensione (80 mm x 80 mm) affinché la scheda combaciasse perfettamente con quella dell'inverter.

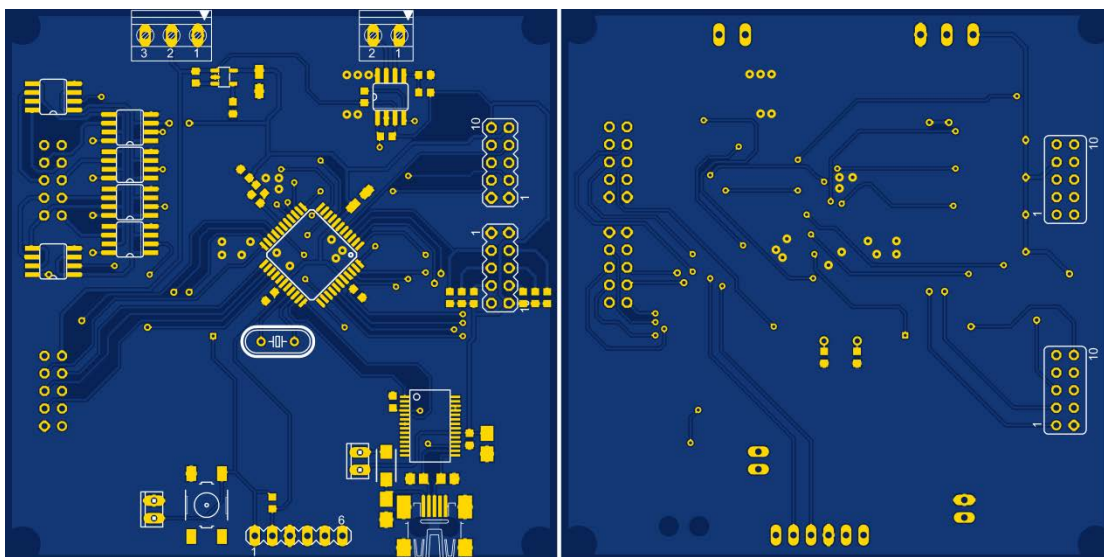


Figura 13 Visto TOP e BOTTOM della scheda di controllo.

5.2 - Disegno dell'inverter

La realizzazione al CAD di questa parte dell'azionamento ha costituito la difficoltà più grande poiché sono varie le condizioni da soddisfare. Le condizioni più restrittive sono quelle riportate sul datasheet del driver di potenza (4):

- Mantenere la distanza tra i pin ad alto voltaggio e basso voltaggio. A tal fine il costruttore lascia alcuni pin inutilizzati per agevolare nel mantenere questa restrizione.
- Evitare di mettere il piano di massa vicino o sopra le linee flottanti ad alta tensione.
- Cercare di realizzare un'area di "loop" più piccola possibile tra il chip, il gate e l'emettitore oppure tra il chip, il gate ed il collettore.
- Prevedere l'inserimento di capacità in prossimità del pin di alimentazione al fine di eliminare i disturbi.

La soluzione proposta nell'elaborato è quella di Figura 14 in cui si possono notare in alto a sinistra le 3 capacità di bypass vicino al pin di alimentazione.

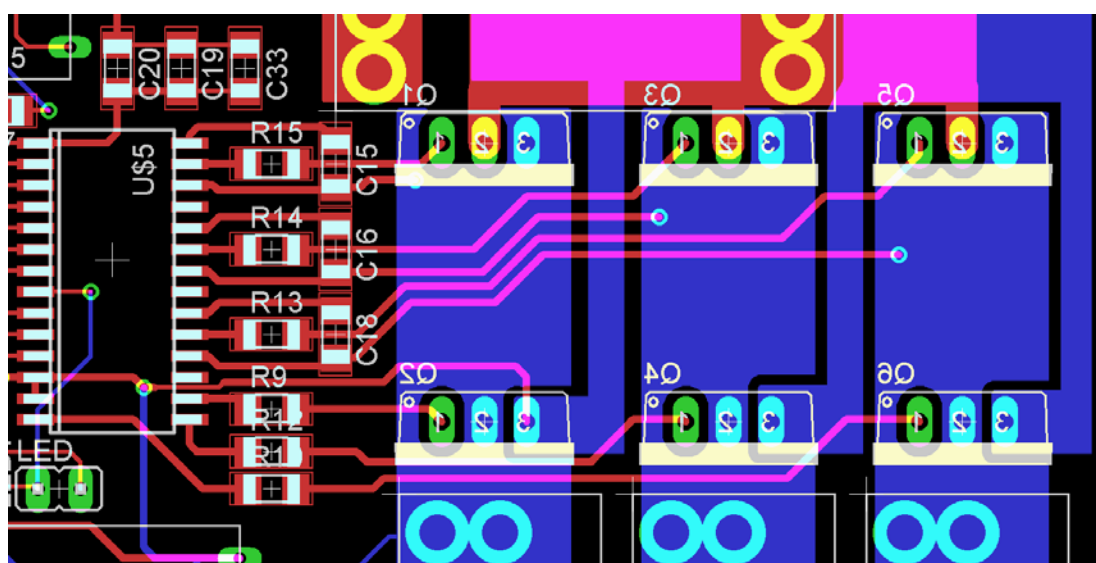


Figura 14 Layout stadio di potenza.

Nella scelta della distanza tra le linee ad alta e bassa tensione si è deciso di tenere una distanza non troppo grande per i seguenti motivi:

- Il circuito verrà realizzato professionalmente e, quindi sarà ricoperto di vernice isolante la quale permette di poter accorciare le distanze.
- Sempre la vernice isolante elimina il problema di depositi salini di polvere.
- Dato l'elevato numero di isolamenti galvanici già inseriti in altre parti del circuito si è data priorità all'eliminazione dei disturbi.

Si è inoltre mantenuta la distanza più alta possibile tra la massa e le parti flottanti e, si è ridotta quasi a zero la sovrapposizione su lati differenti della scheda.

Si ricorda che nonostante le considerazioni fatte in fase di progetto possano essere ragionevoli, il test nelle prime fasi prototipali di questa parte di circuito deve essere fatta scrupolosamente e prestando molta attenzione alla sicurezza del personale. Nel caso estremo di necessità di sostituzione della scheda data l'alta modularità del progetto i costi di un nuovo prototipo risulteranno comunque contenuti.

Un'altra problematica affrontata in questa fase è la larghezza delle piste, che dovrà garantire il passaggio di un elevata corrente senza danneggiarsi o scaldarsi troppo. Per il progetto di tale parametro si è fatto riferimento alla Figura 12.

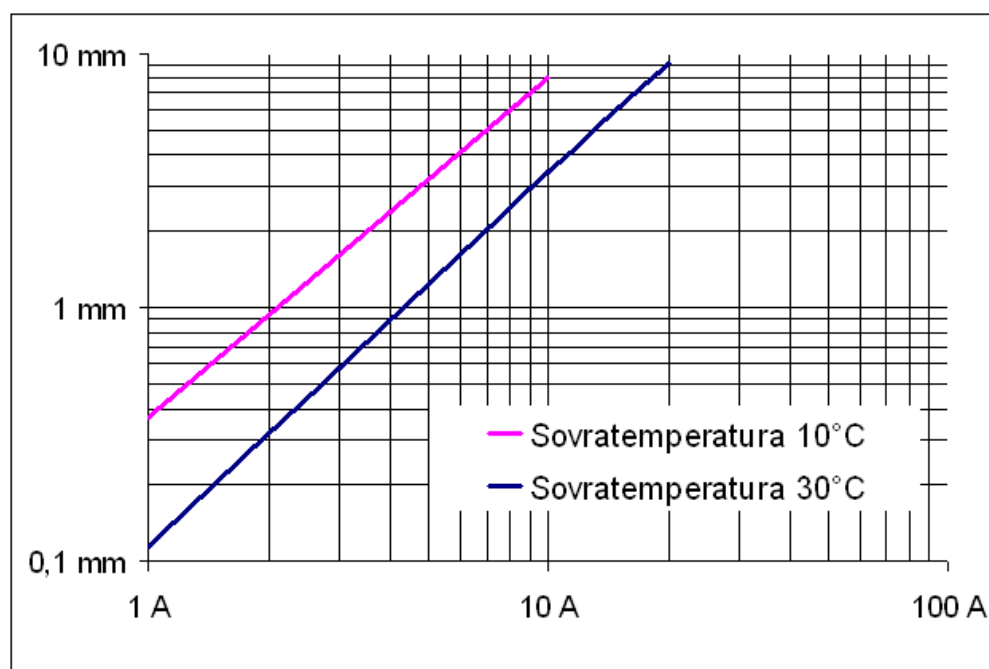


Figura 15 Larghezza delle piste per pcb da 32µm di spessore.

Con correnti di esercizio molto alte (teoricamente fino a 16A) si vede bene che la larghezza ideale supera abbondantemente il centimetro. E' stato deciso quindi di fare

la seguente considerazione: Le piste saranno realizzate il più larghe possibile utilizzando tutta l'area possibile e, nei punti in cui per ragioni fisiche o pratiche non fosse possibile garantire una larghezza sufficiente verranno stagnare in fase test. Il software CAD utilizzato ci permette infatti di decidere quale area del circuito proteggere con la vernice isolante e quale no. Lasciando scoperte quelle zone in cui è necessario far passare un gran flusso di corrente ma che non hanno una buona larghezza sarà possibile aggiungere uno strato di stagno per evitare guasti o eccessivi surriscaldamenti.

Un altro problema fondamentale quanto si parla di azionamenti di potenza è la temperatura raggiunta dai MOSFET che vanno necessariamente raffreddati. Per avere un ottimo raffreddamento e, per evitare che il circuito assuma dimensioni troppo elevate è stato deciso di utilizzare un blocchetto di alluminio che fungerà anche da supporto per i restanti circuiti. Per una spiegazione più dettagliata di questo argomento si rimanda al capitolo apposito. Sotto è riportata la vista della scheda ultimata.

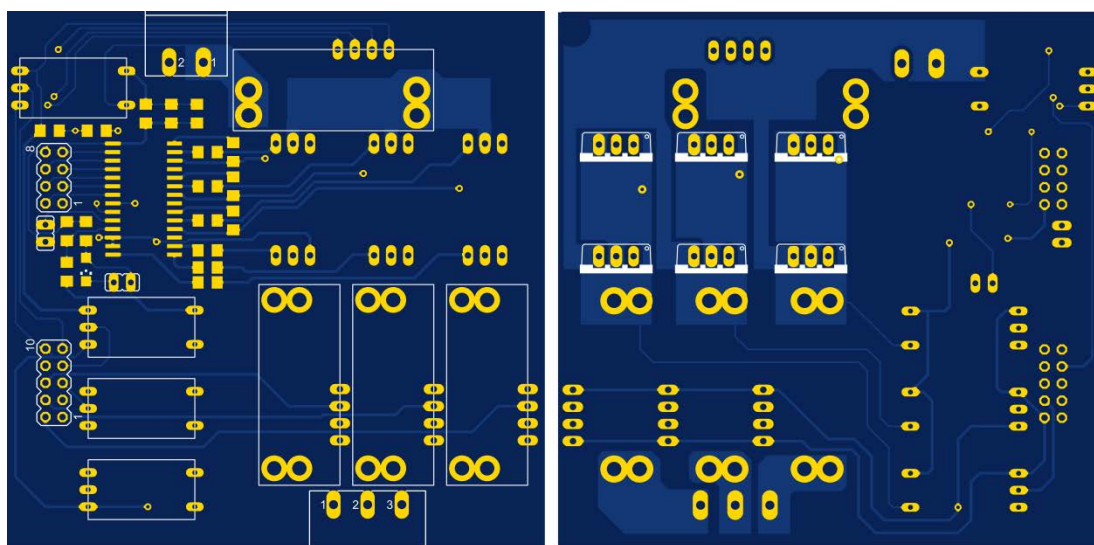


Figura 16 Vista TOP e BOTTOM della scheda inverter.

5.3 - Disegno dell'alimentazione

Come è possibile vedere dal disegno l'elemento di maggiore dimensione è il trasformatore che è stato dimensionato in modo da poter fornire i picchi di corrente al driver MOSFET. Inoltre sono presenti dei jumper in modo che sia possibile alimentare il dispositivo bypassando il trasformatore e quindi alimentare il motore direttamente in continua. Essendo un elemento opzionale, ed immaginandone un test preliminare in laboratorio è stato pensato di inserire in parallelo alcune grosse capacità tra le presenti in laboratorio direttamente saldandole sulle linee scoperte ad alta potenza fino a raggiungere il ripple desiderato.

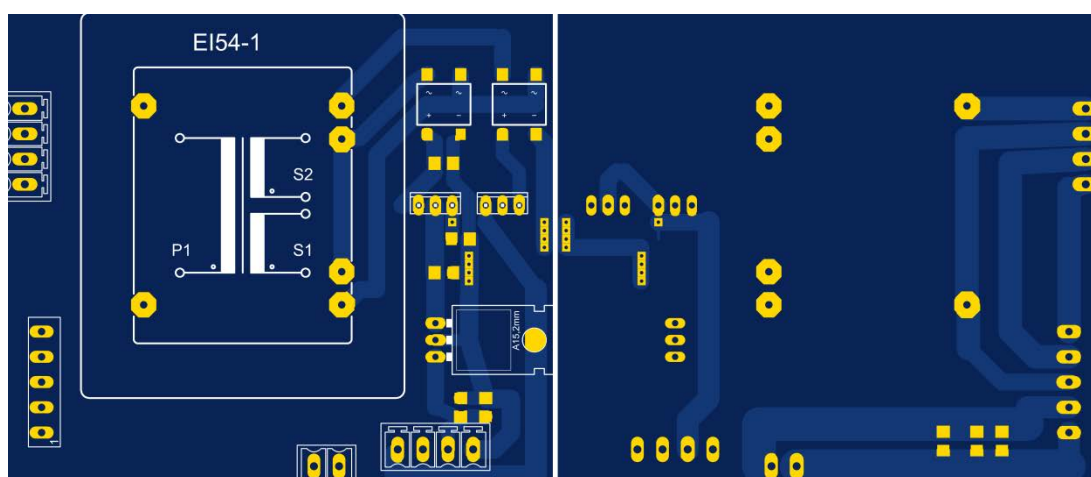


Figura 17 Vista TOP e BUTTOM della scheda di alimentazione

6 - Realizzazione

C'è sempre molta differenza e molti ostacoli quando si passa dalla progettazione di un circuito alla sua pratica realizzazione. In questo capitolo si cercherà di tracciare le linee guida che porteranno ad avere un prodotto finito a partire da quanto illustrato nei capitoli precedenti. In questo elaborato si è voluto aggiungere qualcosa che in genere è assente quando si parla di progettazione elettronica: un'anteprima 3D. L'anteprima 3D che può risultare superflua per applicazioni a basse potenze o con schede puramente digitali, diventa fondamentale per capire se l'oggetto finale sarà effettivamente utilizzabile in contesti ad elevate potenze e con componenti ingombranti.

6.1 - Vista del misuratore di tensione

In Figura 18 si vede l'anteprima del circuito con cui ci si propone di misurare la tensione di bus e, le tensioni di fase. Le dimensioni finali di questo circuito sono molto ridotte (19mm x 8.9mm x 1.6mm) ed il suo costo di produzione risulterà essere piuttosto basso. Il circuito può essere ulteriormente ridotto nel caso in cui il costruttore riesca a garantire mezzi fori metallizzati. Purtroppo questa tecnica risulta essere molto particolare e di difficile reperibilità.

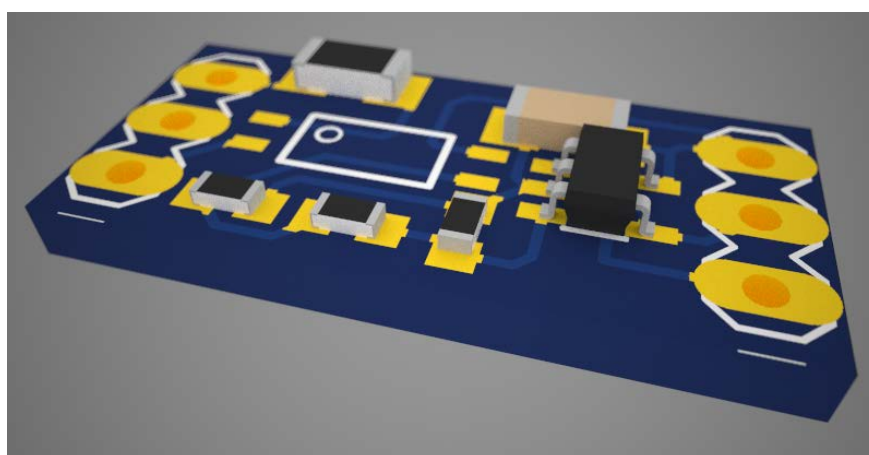


Figura 18 Anteprima misuratore di tensione.

In allegato al presente elaborato è fornito il file CAD per una completa esplorazione 3D del componente in questione.

6.2 - Vista del misuratore di corrente

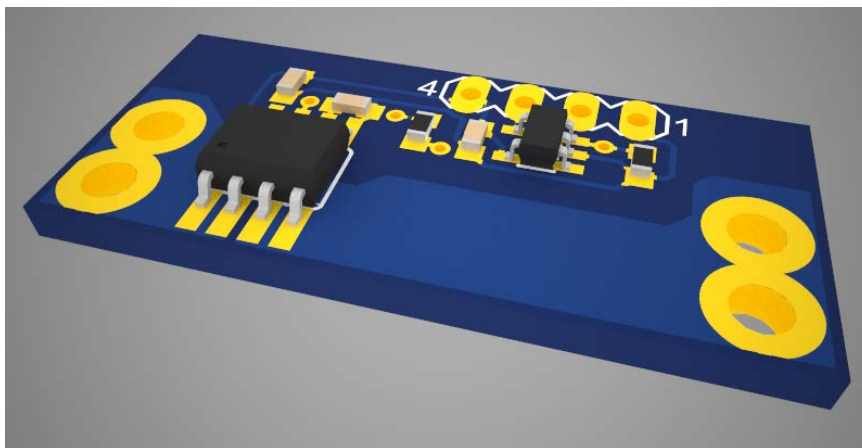


Figura 19 Anteprima misuratore di corrente.

In Figura 19 è possibile apprezzare un'anteprima del misuratore di corrente, questo circuito è pensato per agevolare l'agganciamento al circuito dell'inverter tramite delle viti standard M3, data la presenza di restringimenti delle piste è possibile che si crei l'esigenza di dover stagnare le piste di potenza.

6.3 - Vista della scheda inverter

Nella Figura 20 e nella Figura 21 è possibile vedere l'anteprima completa della scheda inverter. Dalle viste è possibile anche intuire come andranno ancorati e saldati i vari sensori. Nella vista BOTTOM invece risalta la posizione dei mosfet che andranno ad ancorarsi al dissipatore.

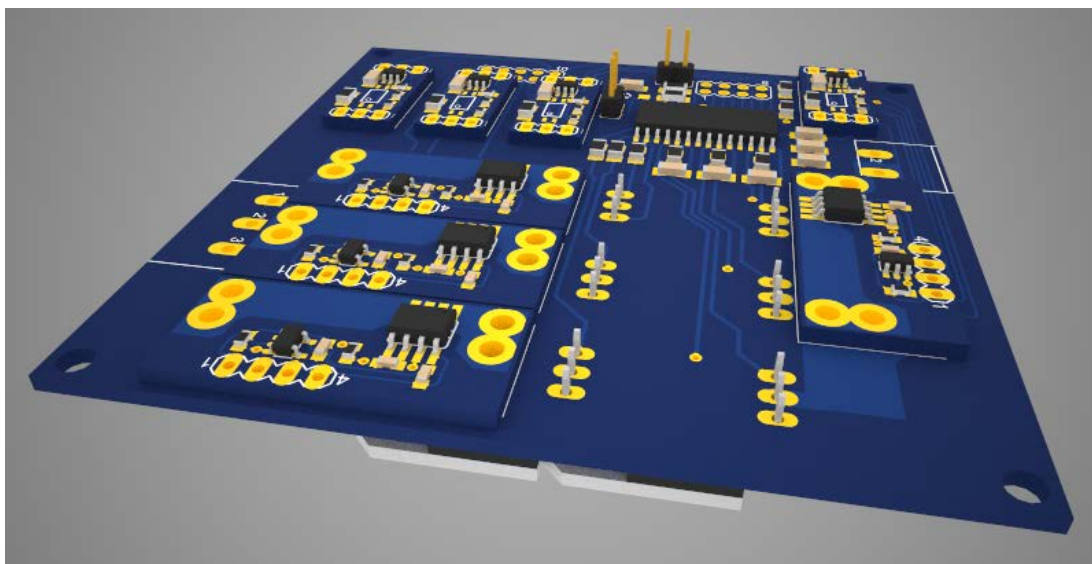


Figura 20 Inverter lato TOP.

Sono inoltre presenti sui lati della scheda dei fori con che andranno tramite supporti appositi a comporre l'intero sistema completo di dissipatore. E' possibile notare la presenza di due "pin header" che sono così rappresentati solo per comodità. All'atto pratico questi verranno rimpiazzati con dei cavi che andranno verso il contenitore esterno. Le dimensioni del PCB sono 80mm x 80mm x 1.6mm e, delimitano l'ingombro massimo (planare) di tutto l'azionamento.

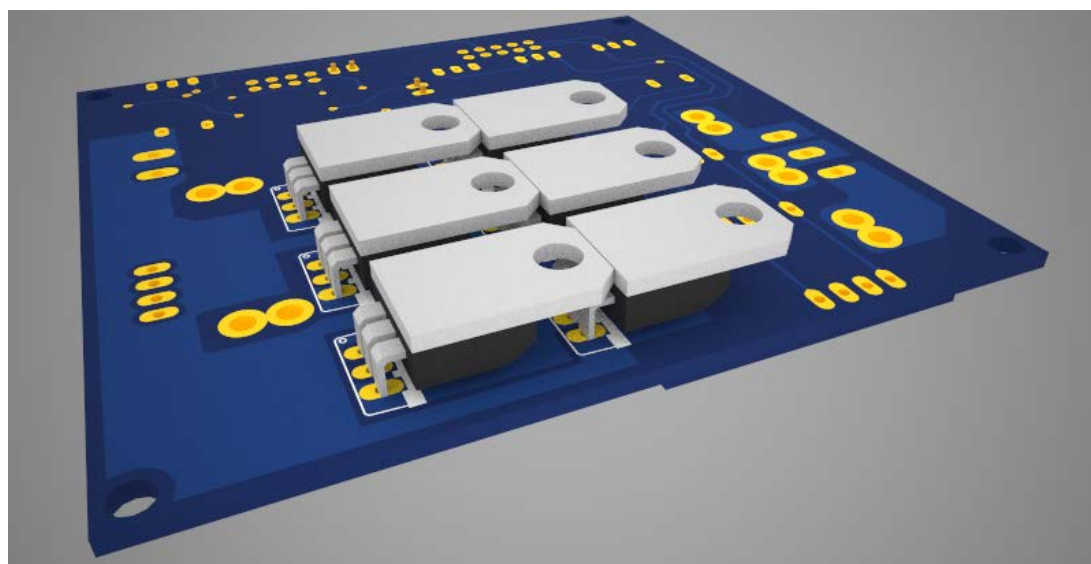


Figura 21 Inverter lato BOTTOM

6.4 - Assieme

La vista del prodotto finito dovrebbe coincidere con quella riportata in Figura 22.

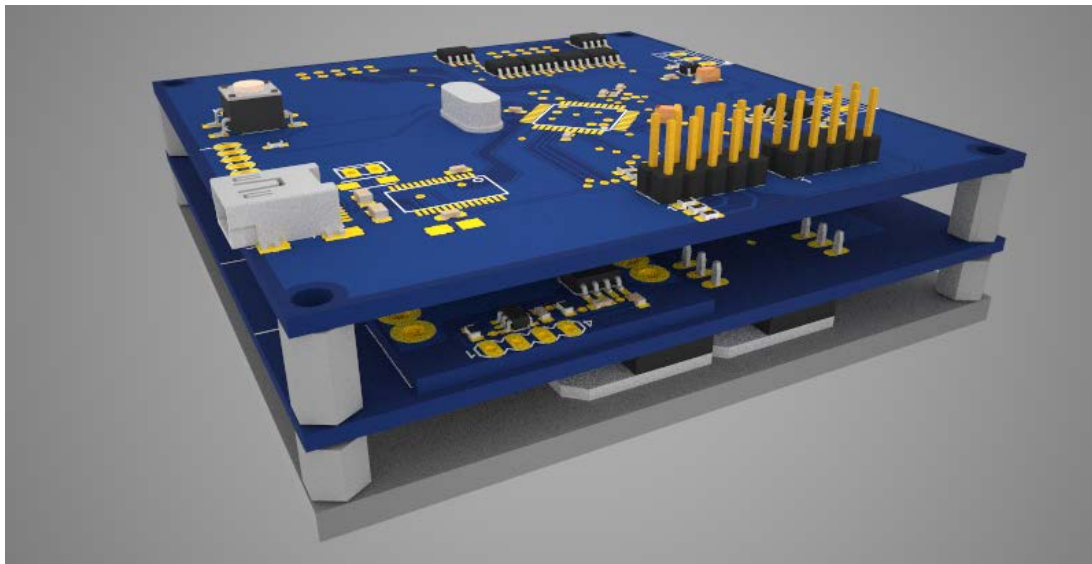


Figura 22 Vista finale del prototipo.

E' possibile vedere l'alloggiamento dei MOSFET sul piano in alluminio che funge sia da supporto per le schede che da dissipatore; questo può a sua volta essere ancorato nella posizione finale dell'oggetto possibilmente su corpi metallici per aumentare l'effetto dissipativo.

6.5 - Il software per la progettazione

Per la progettazione del dell'azionamento fino a qui discusso si sono utilizzati i seguenti software:

- Eagle CAD 6.4.0 Freeware per progetti fino a 100mm x 160mm.
- Google SketchUp per la rappresentazione 3D freeware.

Sebbene i due software scelti non rappresentino una scelta professionale gettonata sono comunque più che sufficienti per gestire progetti con una densità di componenti medio bassa e con dimensioni fino alla frazione di millimetro. Per applicazioni più spinte non rappresentano di certo la scelta migliore.

6.6 - La produzione delle schede

Come accennato nel paragrafo precedente Eagle CAD rappresenta una buona soluzione per piccoli e medi progetti, è inoltre gratuito se non si ha la pretesa di realizzare circuiti molto grandi. Queste sue caratteristiche ne hanno sancito il successo tra hobbisti e piccoli professionisti, tanto che moltissime factory per la produzione di circuiti accettano, per la realizzazione delle schede, direttamente i file Eagle. Per citarne uno dei più famosi abbiamo “OSH Park” che con un prezzo di 0,83\$ per cm quadrato permette di realizzare prototipi a costi accettabili e di buona qualità.

Si ricorda che prima di inviare le schede in produzione è bene consultare le regole limitative che ogni factory impone affinché il circuito venga realizzato in ogni sua parte.

6.7 - Il costo del progetto

Analizzeremo adesso il costo dei singoli componenti per stimare la spesa di costruzione di un prototipo. Si tenga presente che i prezzi riportati sono a puro scopo indicativo in quanto possono variare nel tempo, dalla quantità ordinata e dalla marca.

Scheda di controllo			
Componente	Quantità	€pz	Totale
Resistenza 0603	13	€0.01	€0.10
Capacità ceramica	10	€0.01	€0.08
Capacità tantalio	5	€0.20	€1.00
Quarzo	1	€0.22	€0.22
Connettori	2	€0.53	€1.06
Pin-head	4	€0.50	€2.00
Regolatore LTO	1	€1.04	€1.04
Pulsante	1	€0.10	€0.10
Optoisolatore	6	€1.72	€10.32

dsPIC 128K	1	€4.88	€4.88
FT232R	1	€5.32	€5.32
Usb mini	1	€2.66	€2.66
PCB 80x80	1	€53.12	€53.12
Totale			€81.90

Tabella 1 Costo scheda di controllo.

Scheda prelievo tensione			
Componente	Quantità	€pz	Totale
Resistenza 0603	4	€0.01	€0.03
Capacità ceramica	1	€0.01	€0.01
Optoisolatore	1	€0.56	€0.56
Op. Amp.	1	€1.67	€1.67
PCB	1	€1.50	€1.50
Totale			€3.77

Tabella 2 Costo scheda di prelievo tensione.

Scheda prelievo di corrente			
Componente	Quantità	€pz	Totale
Resistenza 0603	2	€0.01	€0.02
Capacità ceramica	3	€0.01	€0.02
ACS712	1	€3.85	€3.85
Op. Amp.	1	€1.67	€1.67
PCB	1	€3.10	€3.10
Totale			€8.66

Tabella 3 Costo scheda di prelievo della corrente.

Scheda inverter			
Componente	Quantità	€/pz	Totale
Resistenza 0602	10	€0.01	€0.08
Capacità ceramica	5	€0.01	€0.04
Capacità tantalio	2	€0.20	€0.40
Connettori	2	€0.53	€1.06
Pin-head	2	€0.50	€1.00
Misuratore di corrente	4	€8.66	€34.64
Misuratore di tensione	4	€3.77	€15.08
IRS23364D	1	€5.44	€5.44
FCP16N60	6	€3.29	€19.74
PCB 80x80	1	€ 53.12	€53.12
Totale			€130.60

Tabella 4 Costo scheda inverter

Il costo complessivo dell'azionamento (ad esclusione dell'alimentazione) si aggira attorno ai 212€ La cifra non è certamente bassa, ma guadagna nel confronto delle EVM iniziale della TI poiché questa contiene anche la parte di potenza che invece non era prevista. Molto accorgimenti possono essere presi sul lato economico stringendo ancora di più i PCB e rivalutando i costi per produzioni di grandi numeri.

7 - Software e firmware

Una parte importante del progetto risiede anche nella possibilità di poter caricare algoritmi di controllo e di potervi poi interagire per le fasi di debug, questo è realizzato dall'unione tra firmware sul dsPIC e software su PC. In questo capitolo si analizzerà nel dettaglio questo aspetto.

7.1 - Configurazione porta seriale lato PC

Una volta collegato il dispositivo ad una qualsiasi USB del pc viene immediatamente riconosciuto dal sistema che sia Windows, Mac o Linux. Questo perché l'enorme popolarità del componente scelto per emulare la seriale ha fatto sì che i produttori di sistemi operativi lo inserissero di default all'interno dei loro sistemi. Dopo il riconoscimento del dispositivo è possibile trovarlo nel pannello di controllo nella gestione dei dispositivi (in ambiente windows) come si vede nella Figura 23.

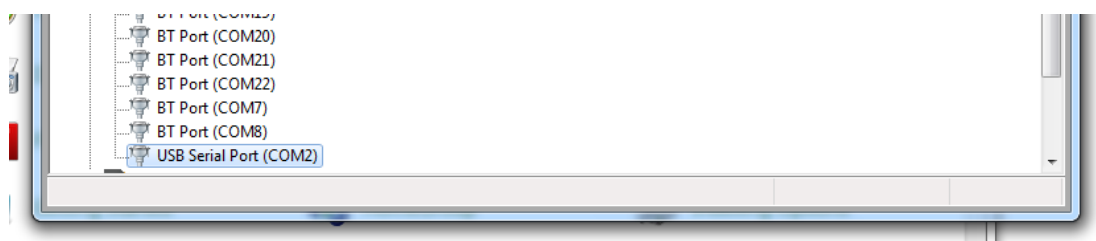


Figura 23 Porta seriale emulata.

Arrivati a questo punto la seriale non ha la necessità di ulteriori configurazioni per poter funzionare. L'utente nel caso in cui ce ne fosse la necessità può cambiare la porta COM alla quale il sistema associa la seriale, la velocità di comunicazione e quant'altro. La porta seriale emulata supporta velocità di trasferimento dati fino ad un massimo di 921 KBaud/s (9MB/s). Gli esperimenti eseguiti per questo elaborato si sono fermati a 115,2 KBaud/s.

7.2 - Configurazione porta seriale lato firmware

Per abilitare la comunicazione con la porta seriale dal lato firmware è necessario settare opportunamente alcuni registri interni al DSP. Questi registri possono essere impostati manualmente oppure per mezzo delle funzioni messe a disposizione dal costruttore, di seguito si riporta uno spezzone di codice (allegato per intero al presente elaborato) che imposta la seriale interna al dsPIC per lavorare con le seguenti caratteristiche:

- 115200 Baud/s
- 8 bit dati
- Nessun bit di parità
- Nessun controllo di flusso

```
ConfigIntUART1(UART_RX_INT_EN & UART_RX_INT_PR6 & UART_TX_INT_DIS);
U1MODEValue = UART_EN &
    UART_IDLE_CON &
    UART_IrDA_DISABLE &
    UART_MODE_SIMPLEX &
    UART_UEN_00 &
    UART_DIS_WAKE &
    UART_BRGH_FOUR &
    UART_DIS_LOOPBACK &
    UART_DIS_ABAUD &
    UART_UXRX_IDLE_ONE &
    UART_NO_PAR_8BIT &
    UART_1STOPBIT;
U1STAValue = UART_IrDA_POL_INV_ZERO &
    UART_SYNC_BREAK_DISABLED &
    UART_TX_ENABLE &
    UART_INT_RX_CHAR &
    UART_ADR_DETECT_DIS &
    UART_RX_OVERRUN_CLEAR;
OpenUART1(U1MODEValue, U1STAValue, 85);
```

Sempre facendo riferimento al codice allegato il semplice firmware di test genera 3 onde periodiche, un seno un coseno ed una moltiplicazione tra le due appena citate. Ogni qual volta sulla seriale viene ricevuto il carattere “@” il dsPIC risponde calcolando queste 3 onde e restituendone i risultati.

7.3 - Configurazione porta seriale lato software.

Si fa presente che in questo elaborato il problema della comunicazione con la porta seriale non è stato affrontato con l'ultima versione delle librerie messe a disposizione dal framework Qt, ma con le librerie esterne QExtSerial che risultano equivalenti.

Forti del fatto che la porta di comunicazione seriale è stata riconosciuta correttamente dal sistema, e che sul dsPIC è stato precaricato un firmware in grado di ricevere un singolo carattere e, a seguito di questo rispondere con dei valori numerici da attribuire a tre segnali è stato scritto il seguente codice in C++ che prende questi valori e li salva su un file da poter visualizzare successivamente. La scelta è stata fatta per pura semplicità, nulla vieta di visualizzare i valori in tempo reale.

Si riportano qui sotto i due spezzoni di codice fondamentali con i quali si configura la seriale dal lato pc e con i quali si interpretano i dati provenienti dal DSP (il codice sorgente completo è allegato al presente elaborato).

```
PortSettings settings = {BAUD115200,
                        DATA_8,
                        PAR_NONE,
                        STOP_1,
                        FLOW_OFF,
                        10};
m_port = new QextSerialPort("COM2", settings, QextSerialPort::Polling);
```

e

```
MainWindow::Sample* MainWindow::_requestSample(int *ok, int maxDelay)
{
    QTimer timer;
    Sample *sample = new Sample;
    char buff[28];
    int i;
    sample->v1.value = 0.0;
    sample->v2.value = 0.0;
    sample->v3.value = 0.0;
    sample->sampleTime.value = 0.0;
    timer.setSingleShot(true);
    timer.setInterval(maxDelay);
    timer.start();
    while(timer.isActive()){
        QApplication->processEvents();
        if(m_port->bytesAvailable() >= 17){
            i = m_port->read(buff, 17);
            if(buff[0] == '@'){
```

```

for(int j=0;j<4;j++){
    sample->v1.valueChar[j] = buff[j+1];
    sample->v2.valueChar[j] = buff[4+j+1];
    sample->v3.valueChar[j] = buff[8+j+1];
    sample->sampleTime.valueChar[j] = buff[12+j+1];
}
*ok = 0;
return sample;
}else{
    //Errore di codifica
    *ok = 2;
    return sample;
}
}
}
*ok = 1;
return sample;
}

```

L'esecuzione di questo codice (completo) abbinato al firmware visto nel paragrafo precedente generano una serie di campioni che vengono salvati in un file di testo e successivamente visualizzati su MATLAB ottenendo il risultato di Figura 24.

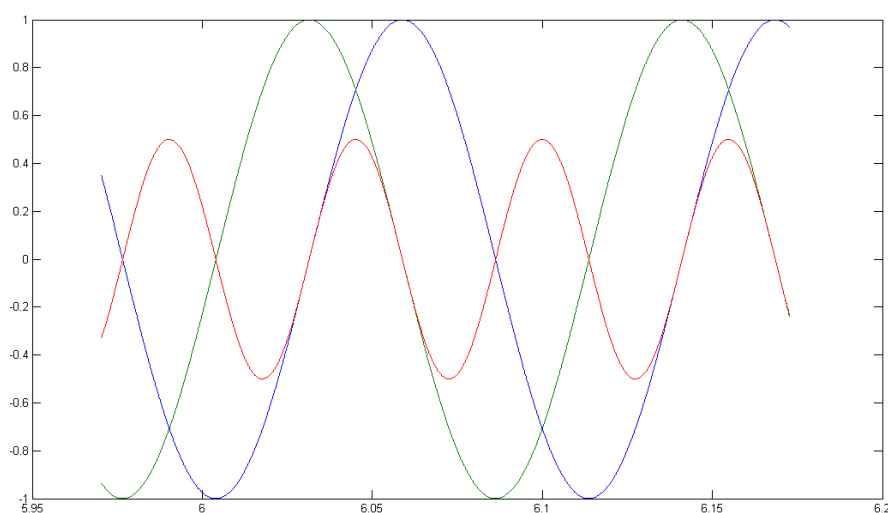


Figura 24 Plot dei campioni provenienti dal DSP.

E' inoltre possibile interfacciarsi direttamente con la seriale utilizzando software più complessi quali MATLAB o LABVIEW in base alle proprie esigenze semplicemente impostando correttamente la comunicazione seriale.

Conclusioni

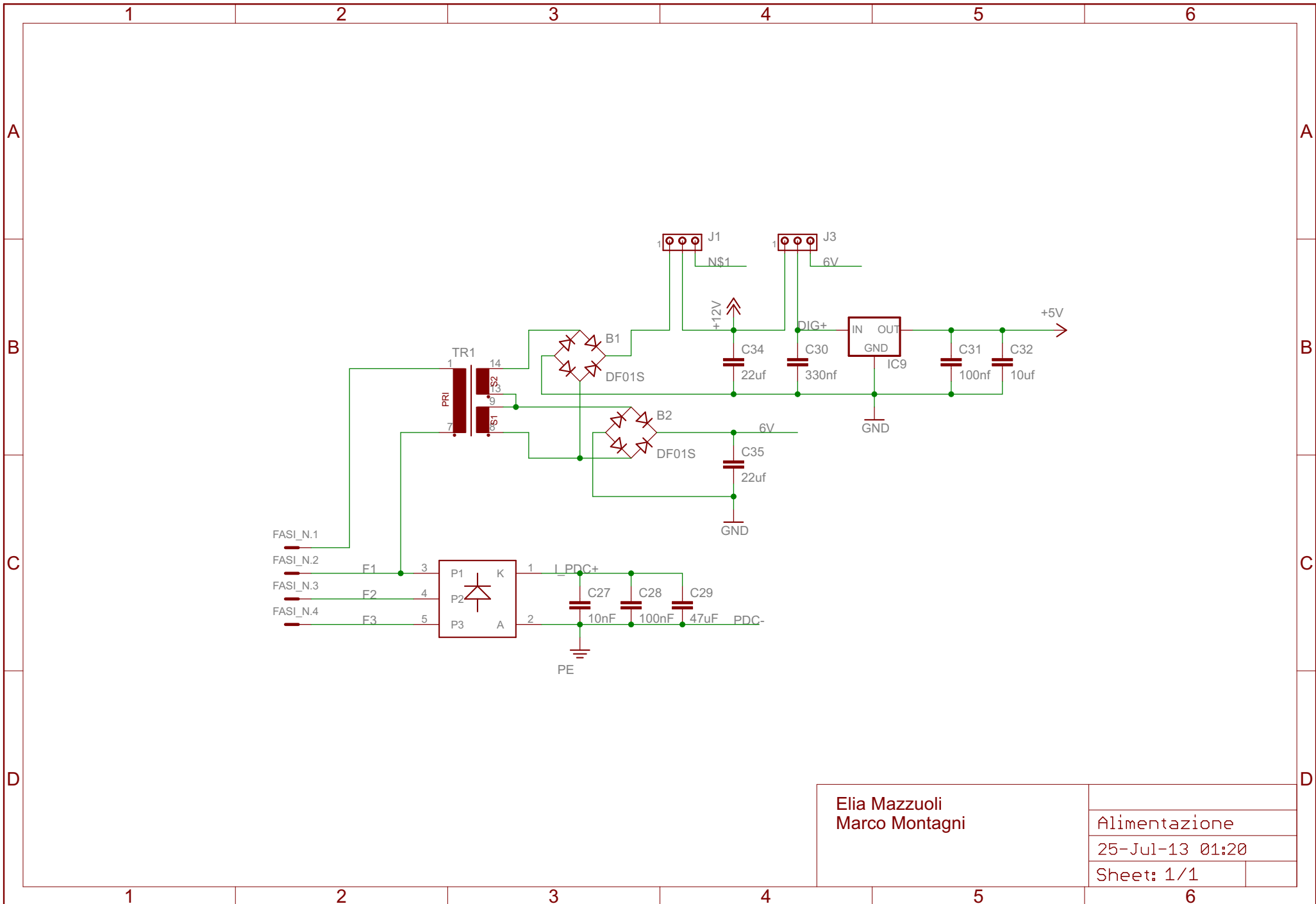
Con il seguente elaborato sono state affrontate molte delle tematiche più importanti che riguardano la reale realizzazione di un azionamento da laboratorio su cui poter sperimentare varie tecniche di controllo. Si è cercato di ottimizzare al massimo le prestazioni e la semplicità d'uso mantenendo i costi contenuti, il software utilizzato è infatti disponibile in licenza free; sia quello utilizzato per la progettazione che quello per la realizzazione del firmware e del software. E' stata tracciata una buona linea guida per arrivare ad un prodotto finito a meno chiaramente di una inevitabile fase di debug.

Sviluppi futuri possono riguardare l'utilizzo di un dsPIC con maggiore capacità di pin-out al fine di aumentare ancora la quantità di periferiche controllabili. E' possibile data l'alta modularità del progetto attuale prevedere una gamma di controlli più o meno performanti a seconda delle varie esigenze.

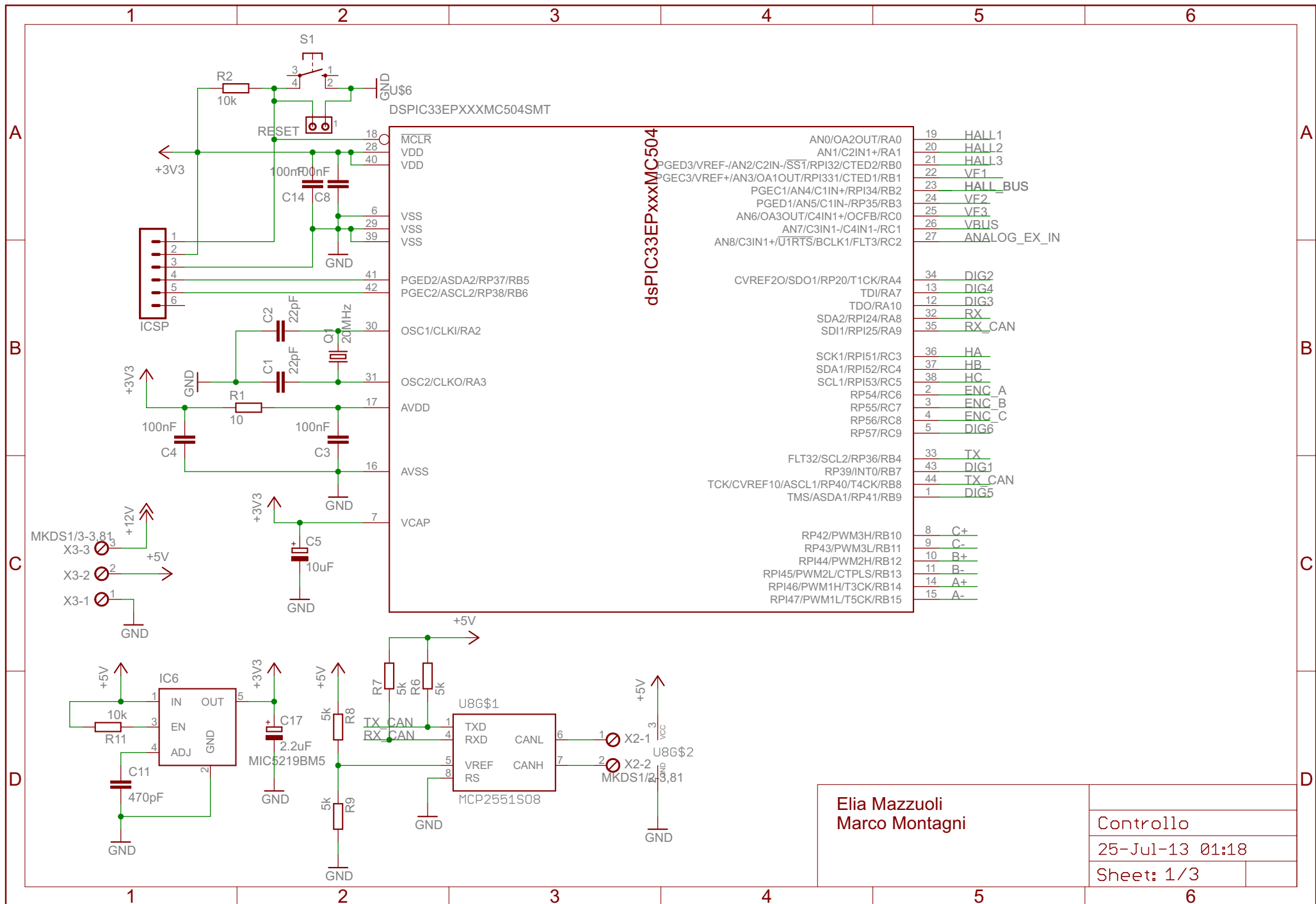
Dal punto di vista software una strada interessante da percorrere potrebbe essere la creazione di un software proprietario del laboratorio con il quale lo studente o il ricercatore possa interagire direttamente sul controllo senza preoccuparsi degli aspetti hardware o software di contorno. Infine potrebbe essere interessante a livello didattico valutare diversi controlli su alcuni tipi di motori elettrici ampliando, di volta in volta, la gamma di possibili motori da controllare e retroazioni possibili al fine anche di ottenere una procedura Wizzard semplice dove inserire le caratteristiche dei motori e la retroazione utilizzata ottenendo un prodotto simile ad alcuni azionamenti di fascia alta attualmente in commercio.

BIBLIOGRAFIA

1. <http://www.spectrumdigital.com/>. [Online]
http://www.spectrumdigital.com/product_info.php?&products_id=43&osCsid=b599bb7e8db0d540d47aef4aab115539.
2. *TMS320F240 DSP Controllers Evaluation Module Technical Reference*. s.l. : Texas Instruments, July 1999. Literature Number: SPRU248B.
3. **Microchip**. *Datasheet dsPIC33EPXXXMC20X/50X 16-Bit Microcontrollers and Digital Signal Controllers with High-Speed PWM, Op Amps and Advanced Analog*. s.l. : Microchip, 2013. DS70657G.
4. *IRS23364D Datasheet*. s.l. : International Rectifier, 2009.
5. *ACS712 Datasheet*. s.l. : Allegro MicroSystems, Inc.
6. *PC817XJ0000F Series Datasheet*. s.l. : Sharp.
7. *MIC5219 Datasheet*. s.l. : Micrel, Inc.
8. *FT232 Datasheet*. s.l. : FTDI Chip.

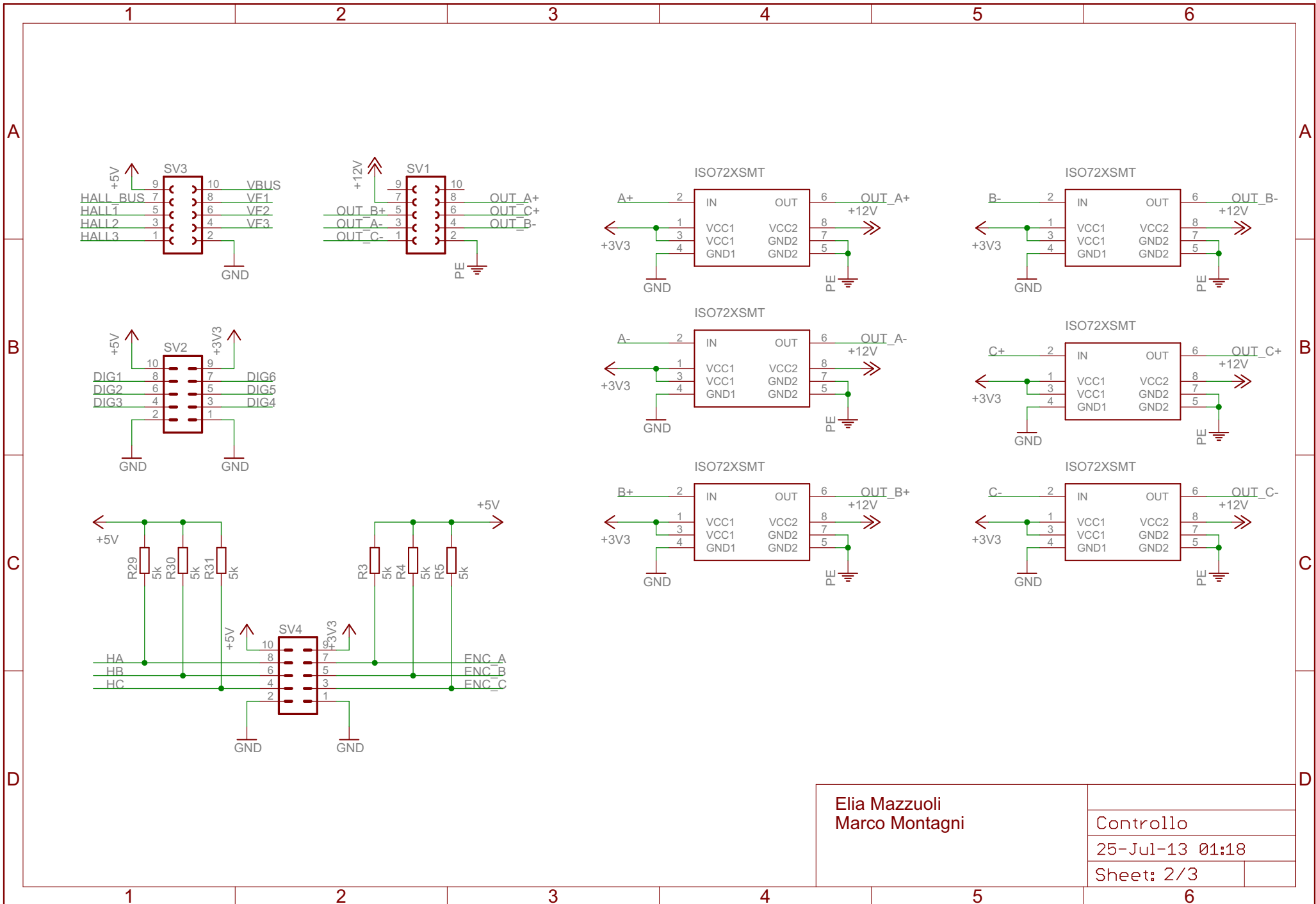


Elia Mazzuoli Marco Montagni	Alimentazione
	25-Jul-13 01:20
	Sheet: 1/1



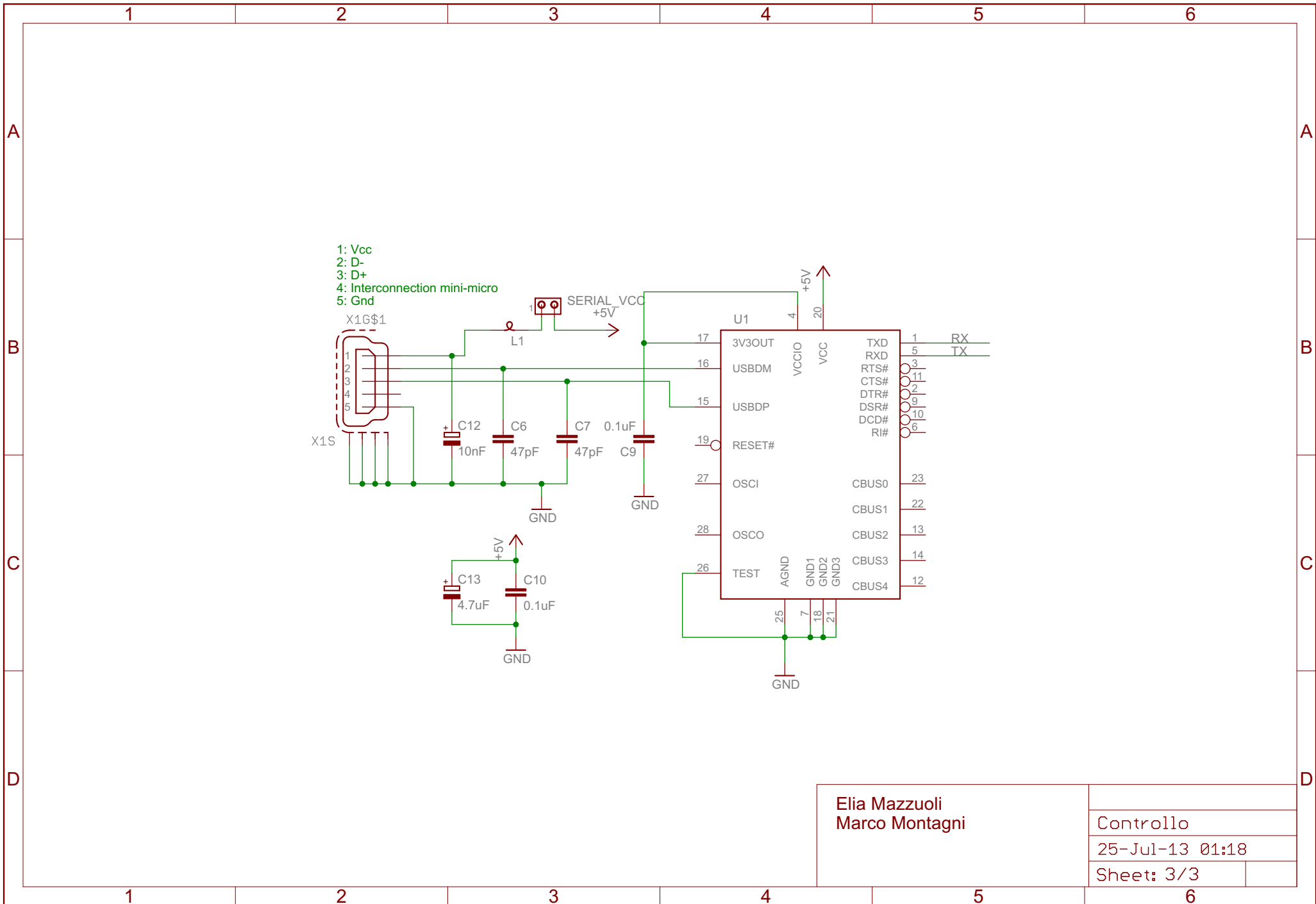
Elia Mazzuoli
Marco Montagni

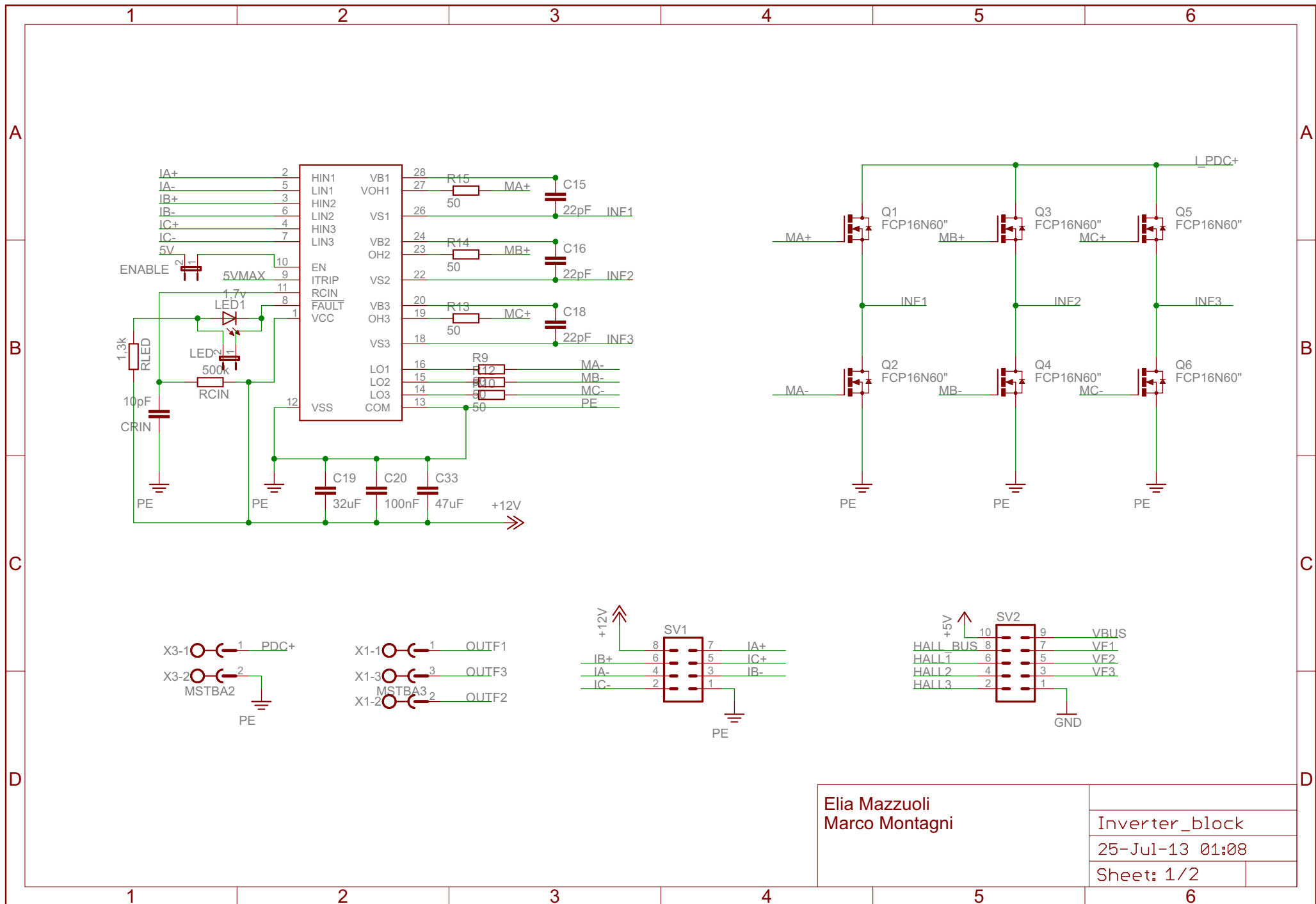
Controllo
25-Jul-13 01:18
Sheet: 1/3

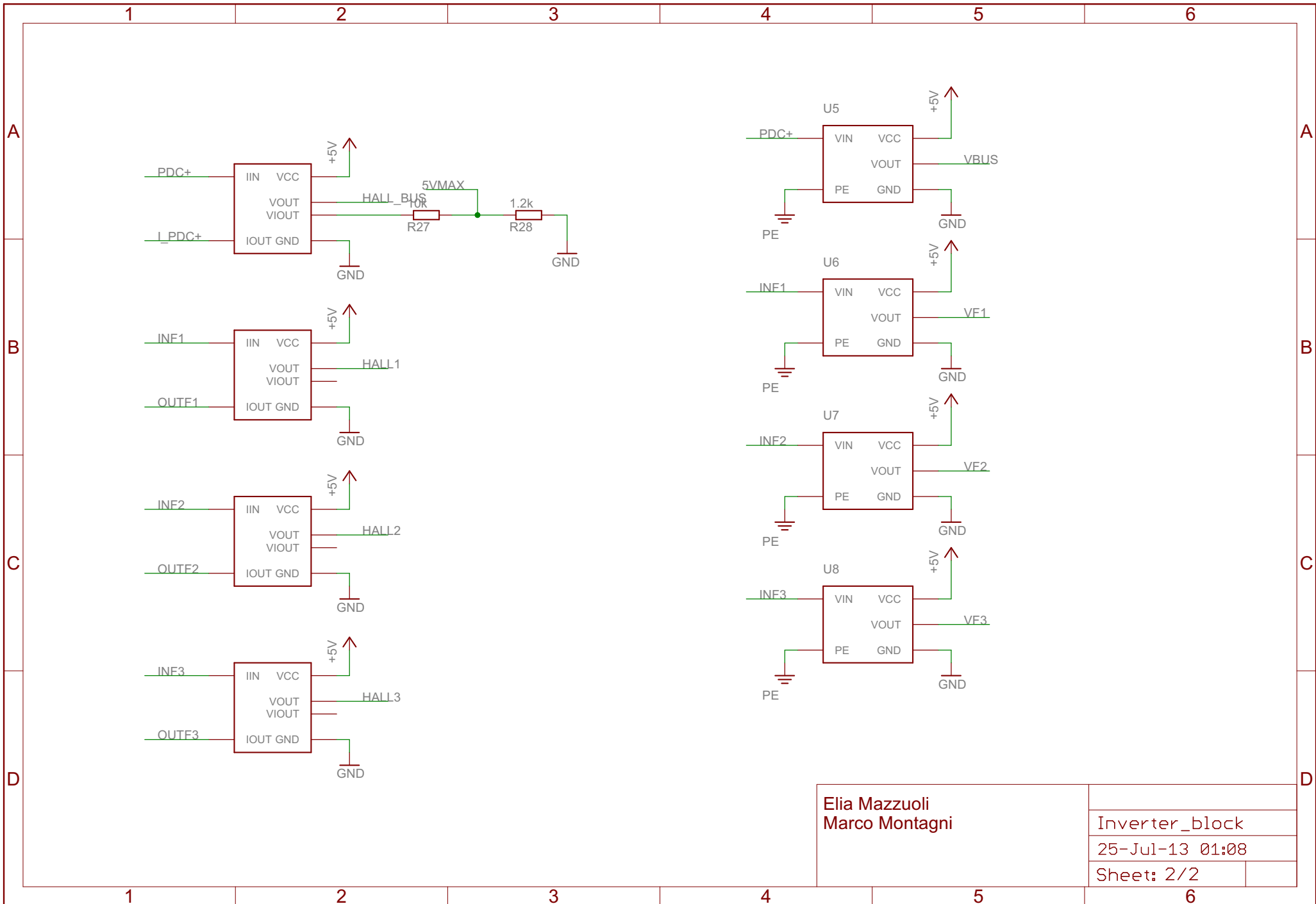


Elia Mazzuoli
 Marco Montagni

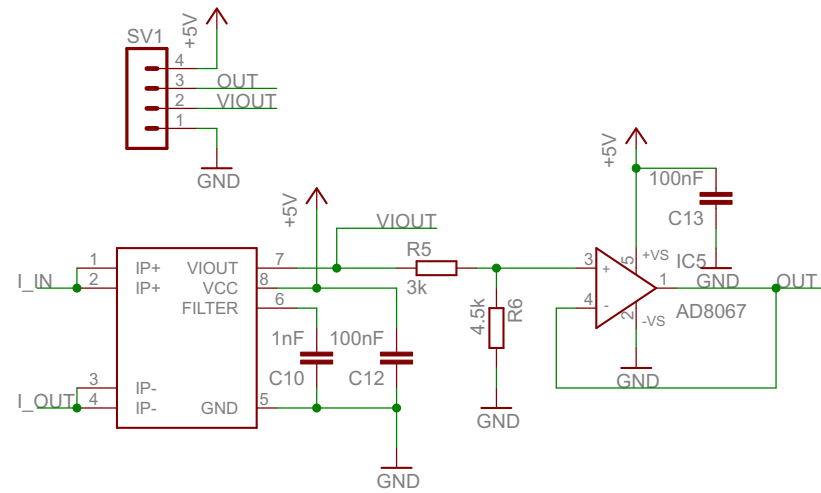
Controllo
 25-Jul-13 01:18
 Sheet: 2/3





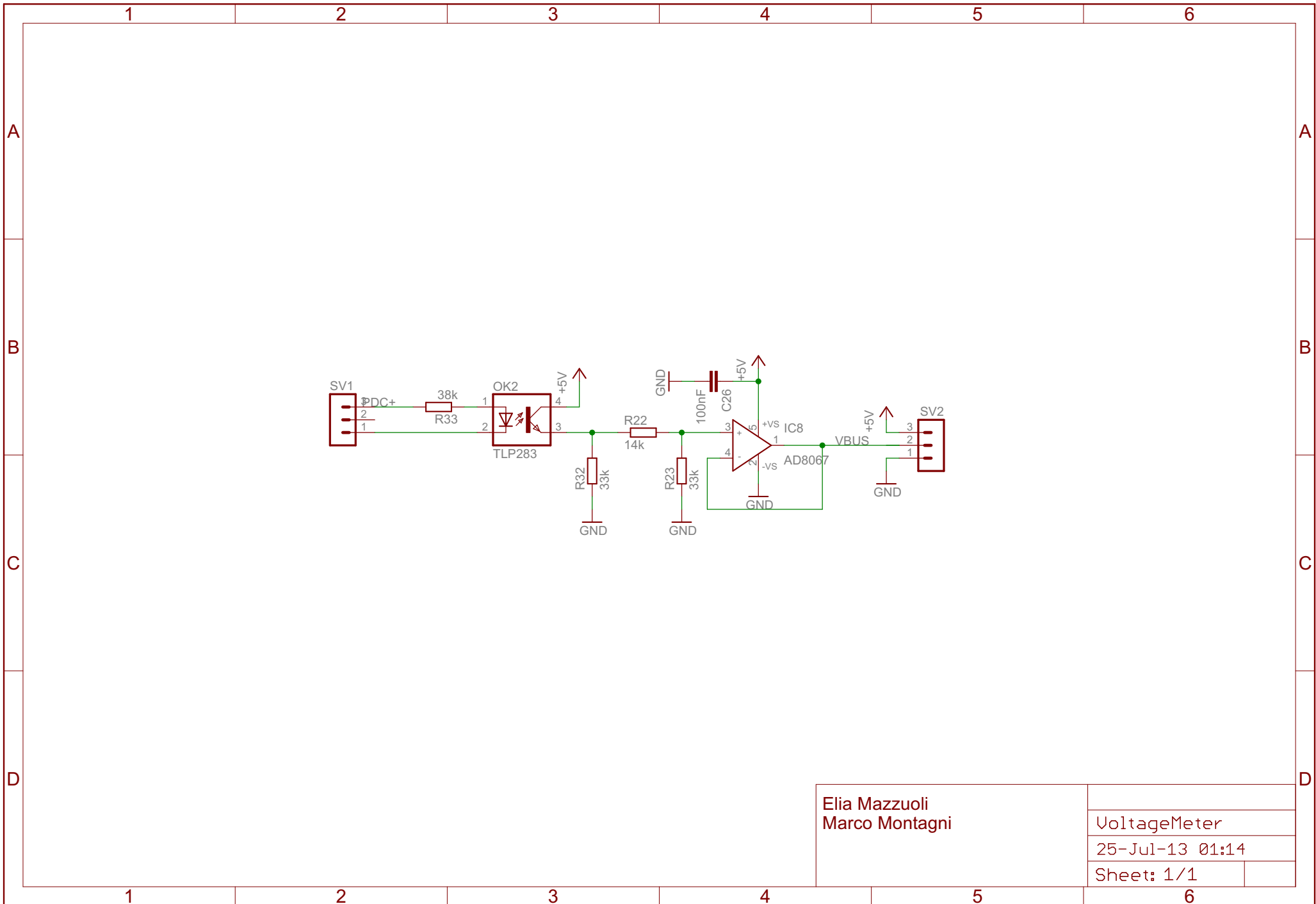


Elia Mazzuoli	
Marco Montagni	
Inverter_block	
25-Jul-13 01:08	
Sheet: 2/2	



Elia Mazzuoli
 Marco Montagni

CurrentMeter
25-Jul-13 01:16
Sheet: 1/1



Elia Mazzuoli	
Marco Montagni	
VoltageMeter	
25-Jul-13 01:14	
Sheet: 1/1	