

LaurTec

Alimentatore variabile 1A

1.25V-24V - serie LM317 e LM108x



PCBWay

Autore : *Mauro Laurenti*

ID: PJ2008-IT

Informativa sul diritto d'autore

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

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

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

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

L'autore si riserva il diritto di aggiornare la documentazione tecnica e le specifiche del sistema, senza preavviso. Si raccomanda pertanto di controllare periodicamente sul sito www.LaurTec.it la presenza di nuove versioni e aggiornamenti del prodotto.

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

Avvertenze

Il KIT descritto nell'articolo può essere utilizzato in molteplici applicazioni. La responsabilità sul prodotto è limitata al KIT in se e non all'applicazione finale realizzata. Chiunque decida di far uso delle nozioni riportate nel seguente articolo o decida di realizzare i circuiti proposti, è tenuto a prestare la massima attenzione in osservanza alle normative in vigore sulla sicurezza.

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

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

Marcatura CE



Il progetto PJ2008 (Alimentatore variabile 1A) è conforme alla direttiva europea:

2011/65/UE

Relativa alla restrizione di determinate sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche.

Smaltimento



Secondo la Direttiva Europea 2012/19/EU tutti i dispositivi elettrici/elettronici devono essere considerati rifiuti speciali e non devono essere gettati tra i rifiuti domestici. La gestione e lo smaltimento dei rifiuti elettrici/elettronici viene a dipendere dalle autorità locali e governative. Un corretto smaltimento dei rifiuti permette di prevenire conseguenze negative per l'ambiente e ai suoi abitanti. È obbligo morale, nonché legale, di ogni singolo cittadino, di attenersi alla seguente Direttiva.

Contatti

Per maggiori informazioni è possibile contattare Mauro Laurenti al sito www.LaurTec.it sezione contatti o inviare richieste scritte all'indirizzo :

Etichetta indirizzo.
Fornito all'acquisto
del prodotto.

Indice

Introduzione.....	4
Specifiche Tecniche.....	4
Analisi del Progetto.....	5
Regolatori lineari LM317 e LM1085-xx.....	10
Analisi termica.....	11
Scelta del fusibile.....	17
Dimensionare i resistori.....	18
Analisi della regolazione e stabilità.....	20
Disposizione dei componenti.....	30
Opzioni di assemblaggio.....	31
Collaudo e verifica.....	32
Bibliografia.....	34
History.....	34

Introduzione

In ogni laboratorio non può mancare un alimentatore stabilizzato. In particolare, ogni sistema elettronico ha bisogno di un'alimentazione, e a seconda dei casi, il range di tensione, corrente e quindi potenza necessaria, può variare. Gli alimentatori a tensione fissa, presentati nel progetto PJ2007 permettono di realizzare alimentatori dedicati o avere l'opzione per tensioni comuni, quali 3.3V, 5V, 12V con schede già montate. Sebbene il progetto PJ2007 offra anche altri valori di tensione, l'alimentatore variabile permette di raggiungere lo scopo con un solo sistema. Infatti è possibile impostare la tensione positiva in un range molto ampio, da 1.25V a 24V e supportare una corrente fino ad 1A. Il progetto PJ2008 supporta inoltre sia l'opzione con potenziometro, al fine di realizzare un alimentatore da banco, che con *trimmer* multi-giri, permettendo di realizzare alimentatori dedicati, come per il progetto PJ2007, ma tensione impostabile ad un qualunque valore nel range supportato.

Specifiche Tecniche

Alimentazione Vin (LM317) : 32V max

Alimentazione Vin (LM1085): 28V max

Vout : 1.25V - 24V

Carico : 1A max (vedere il paragrafo sull'analisi termica e fusibile)

Temperatura Ambiente: 0-45°C

Dimensioni : 68 x 53 mm

Part Number : PJ2008-KIT-U (KIT da assemblare)

Versione : 1

Peso Montata : 35g

Cambiando il regolatore lineare (LDO) si possono variare le specifiche del sistema. L'articolo presenta in dettaglio il caso di regolatore LM317T-N (Texas Instruments), LM317 (ST) e LM1085 (Texas Instruments). In particolare il modello LM1085 è disponibile in versione variabile ma anche per tensioni fisse (3.3V, 5V, 12V).

Analisi del Progetto

In Figura 1 è riportato lo schema elettrico dell'alimentatore stabilizzato a tensione variabile.

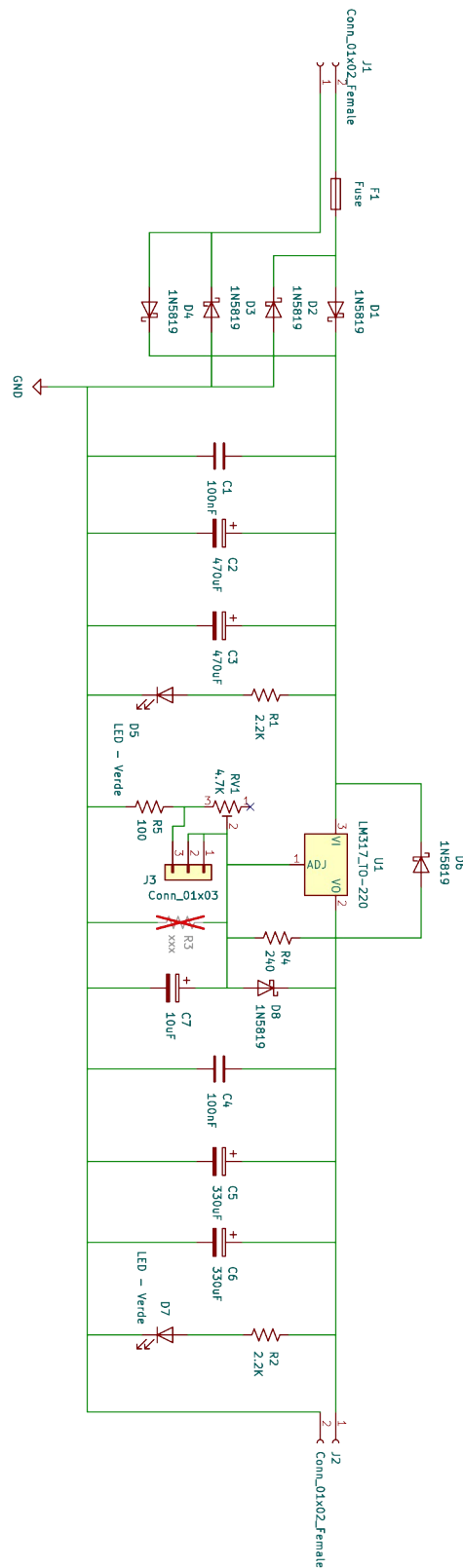


Figura 1: Schema elettrico dell'alimentatore stabilizzato.

Si può notare che il numero di componenti non è elevato, ma se paragonato ai semplici alimentatori basati sulla famiglia LM317, ha decisamente qualche componente in più. Vediamo i dettagli, partendo dal connettore J1. J1 è il connettore in ingresso, in particolare, sul PCB, ha un doppio *footprint* (impronta), ovvero può ospitare due diversi tipi di connettori, al fine di agevolare la scelta e opzioni sullo stesso. Subito dopo J1 è presente il fusibile F1, la sua scelta richiede qualche attenzione in più, che verrà spiegata nel paragrafo dedicato. In ogni modo la sua presenza permette di proteggere il sistema da possibili problemi, ma protegge anche la sorgente di tensione che precede l'alimentatore. La tensione in ingresso può essere sia continua che alternata. In particolare, la presenza dei 4 diodi (D1-D4) in configurazione ponte di *Graetz*, permette di raddrizzare la tensione alternata. Nel caso in cui la tensione in ingresso sia già una tensione continua, il ponte di *Graetz* fornisce una buona protezione contro l'inversione di polarità. Infatti comunque si colleghi il + e il - in ingresso, i diodi condurranno o saranno interdetti, ponendo sempre il + in ingresso a U1, ovvero il regolatore lineare.

La scelta del diodo è ricaduta sul 1N5819 di tipo *Schottky*. In particolare il modello della ST supporta una corrente massima di 1A (se in continua). Inoltre, la caduta di tensione quando è polarizzato direttamente, è relativamente limitata, ovvero 0.55V con carico ad 1A. La tensione massima che supporta è pari a 40V. Questo valore pone un limite sul valore di tensione massima che può supportare l'alimentatore. Mettendo una margine del 20% si può dire che V_{in} massima in ingresso all'alimentatore non deve superare 32V in tensione continua. È importante specificare che 32V è in tensione continua, visto che l'alimentatore supporta anche l'opzione di collegare direttamente un trasformatore, che fornisce una tensione alternata a 50Hz.

Nel caso si colleghi un trasformatore, ovvero una tensione alternata, bisogna tenere conto che la tensione che si misura con un multimetro, in uscita ad un trasformatore, è il valore efficace *rms*. È importante che la misura di tensione in uscita dal trasformatore, venga effettuata con un carico collegato sullo stesso. Infatti a vuoto la misura della tensione risulta decisamente più alta visto che la resistenza del cavo non limita la stessa.

Misurata la tensione, ovvero il valore *rms*, bisogna considerare che il valore massimo che raggiunge un segnale sinusoidale (valore di picco), è pari al valore efficace moltiplicato per la radice di 2, ovvero:

$$V_{max} = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = V_{rms} \cdot 1.41$$

per cui, il valore efficace massimo, che è possibile applicare in ingresso, è pari a:

LM317

$$V_{rms}(max) = \frac{V_{max}}{1.414} = \frac{(32V)}{1.41} = 22.7V$$

LM1085

$$V_{rms}(max) = \frac{V_{max}}{1.414} = \frac{(28V)}{1.41} = 19.9V$$

Dalle formule appena mostrate, si nota che la tensione che bisogna applicare in ingresso a U1, viene a dipendere anche dal regolatore lineare che si sta utilizzando, in particolare LM317 o LM1085. Tra i modelli LM317 ci sono anche varianti ad alta tensione che supportano 60V, ma la tensione massima sarebbe comunque limitata dai diodi, per cui a livello di sistema sarebbe ancora 32V (a meno di cambiare i diodi, e come vedremo anche i condensatori). Oltre a questo aspetto particolare, la tensione minima in ingresso per la famiglia LM317, ha un valore tipico che si può assumere di 3V superiore rispetto a V_{out} , ma non è specificato nel datasheet. Nel datasheet i vari parametri sono specificati per $V_{in} - V_{out} > 3V$ o 2.5V, per cui è bene prendere 3V come valore limite. Alcuni parametri sono specificati come valori minimi e massimi, sotto questa condizione operativa, per cui 3V può essere considerato come valore minimo per garantire la corretta regolazione della tensione di uscita. Come per la serie 78xx possiamo considerare un margine e considerare 4V ed evitare che il regolatore lineare possa uscire fuori dalla regione di regolazione. A questa tensione bisogna poi aggiungere 1.1V di caduta massima dei diodi del raddrizzatore di tensione in ingresso, ovvero derivante dalla caduta di tensione di 2x diodi. Se la tensione di alimentazione dovesse essere alternata, considerando che i condensatori in ingresso non hanno valori elevati, bisogna aggiungere anche un margine per il *ripple* in ingresso, che può superare 1V nel caso di correnti prossime ad 1A.

Come detto, il valore massimo di tensione della famiglia LM317 viene a dipendere dal modello. In particolare la Texas Instruments offre sia varianti con V_{in} massima di 40V che 60V. ST offre invece modelli con tensione in ingresso massima di 40V. Il progetto presentato prende in considerazione solo i modelli di 40V, usando modelli che supportano 60V la tensione massima in ingresso sarà vincolata da altri componenti.

Per cui considerando 40V come valore massimo, come per i diodi in ingresso, ponendo un margine del 20%, dal valore massimo, si ha una tensione operativa massima di 32V. Con 32V in tensione continua e un margine di 4V sul valore in uscita, si possono usare senza problemi i regolatori LM317, fino a 24V in uscita, che richiederebbero una tensione in ingresso continua di 28V. Nel caso del regolatore LM1085, la tensione in ingresso deve essere al massimo di 28V riducendo il margine di tensione operativa. In particolare con tale regolatore potrebbe essere difficile garantire 24V $_{out}$ in tutte le condizioni operative.

È interessante notare la tensione operativa minima per V_{in} , è pari a 4.25V. Questa riconduce indirettamente a 3V necessari per la regolazione, visto che la tensione di uscita minima è 1.25 (ovvero pari alla tensione di riferimento interna).

Dopo il ponte di *Graetz*, sono presenti i condensatori per rendere la tensione raddrizzata dal ponte, più simile ad una tensione continua, ovvero si livella la tensione tra un picco e l'altro. La progettazione di questo aspetto richiede la conoscenza della corrente di carico e quale *ripple* può supportare il carico stesso. In realtà, dal momento che il carico viene alimentato dal regolatore di tensione e si è preso un margine di tensione di 4V come delta minimo tra V_{in} e V_{out} , come mostrato dalle misure, la tensione di uscita non ha alcun *ripple*, il quale è rimosso dal regolatore lineare. Facendo una misura di V_{out} con l'oscilloscopio e accoppiamento in AC, con un buon guadagno verticale, si può certamente vedere qualche cosa. I datasheet dei regolatori specificano in ogni modo il livello di attenuazione sul *ripple* in ingresso, qualora lo si voglia determinare con accuratezza. Con correnti elevate, come detto, potrebbe essere necessario aggiungere ancora 1V alla tensione minima in ingresso.

Tipicamente gli alimentatori basati sulla serie LM317 hanno un solo condensatore in ingresso, ma per migliorare le prestazioni, si è scelta la soluzione di tre condensatori, C1, C2, C3. In particolare C1 è ceramico da 100nF mentre C2 e C3 sono elettrolitici da 470 μ F, ovvero si ha un totale di capacità pari a 940 μ F. Il condensatore realizzato in questo modo ha delle performance migliori di un solo condensatore da 1000 μ F. In particolare si è ridotta di molto la ESR (*Equivalent Series Resistance*), ovvero la resistenza in serie equivalente mostrata dal condensatore. Questo valore, risulta particolarmente importante qualora si debba rispondere rapidamente a transienti di corrente. In particolare, più è piccolo e meglio è, in particolare valori inferiori a 1 Ω , sono valori buoni.

Sebbene l'ESR sia di particolare importanza, non è un valore sempre ben specificato nei datasheet. In particolare più è costoso il condensatore selezionato, e maggiori sono le informazioni presenti nel datasheet. Nel caso in cui il sistema debba operare anche a temperature molto basse sotto lo zero, è bene tenere a mente che tipicamente tra il valore tipico mostrato nei datasheet (specificato a 25°C) e il valore tipico a temperature operative basse (-40°C), ci può essere una variazione del 30%, in particolare l'ESR tende ad aumentare. Nel caso di un sistema che si trovi ad operare in laboratorio o in garage, la variazione di temperatura potrebbe essere relativamente bassa, tra 10°C e 45°C.

Altra caratteristica dei condensatori selezionati, è quella di poter operare a 105°C. Questa caratteristica è fondamentale per alimentatori *switching*, meno nel caso di alimentatori lineari. Ciononostante, dal momento che gli LDO non sono molto efficienti, spesso scaldano molto, e i condensatori si trovano ad operare vicino a componenti caldi. Per cui lo scegliere modelli che supportano 105°C, può tornare utile al costo di pochi centesimi aggiuntivi.

La tensione operativa dei condensatori elettrolitici è di 63V in ingresso e 50V in uscita. In entrambi i casi si ha un buon margine, rispetto alla tensione operativa massima, rispettivamente di ingresso e uscita. Ciononostante, non è supportato il modello LM317 con tensioni operative 60V, pur supponendo di cambiare i diodi in ingresso, 60V richiederebbero altri condensatori. In generale è bene avere un margine superiore a 20%, ma per avere un sistema robusto contro transienti che si verificano nel tempo, è bene avere margini anche prossimi del 50% o più.

Dopo i condensatori, è presente l'integrato U1, che come detto, nei test sarà il LM317 (TI e ST) e LM1085 (TI). Il partitore di tensione per prelevare la tensione di uscita, al fine di essere comparata con la tensione di riferimento, non è integrato come per i regolatori 78xx, da qui discende la possibilità di poter variare Vout. Fanno eccezione alcuni modelli LM1085 che supportano tensioni fisse in uscita, ovvero 3.3V, 5V e 12V, per i quali il partitore di tensione è integrato.

A cavallo di U1, è presente il diodo D6. La funzione di D6 è garantire un percorso per la corrente, qualora Vout risulti maggiore di Vin. Questo si può verificare quando viene staccata l'alimentazione che fornisce Vin e i condensatori sono tutti carichi. Parte della corrente scorrerà per alimentare i diodi LED D5 e D7, che segnalano la presenza di Vin e Vout, scaricando dunque i condensatori. Se Vout dovesse essere maggiore di Vin, della corrente potrebbe scorrere nel pin 2 del regolatore lineare, e ne potrebbe causare la rottura. D6, quando Vout, è maggiore di Vin di circa 0.2V, entra in conduzione, per cui la

corrente di scarica passerà per il diodo, bilanciando la tensione su tutti in condensatori, tra ingresso e uscita, e non scorrerà nel pin 3 di U1. Alcuni LDO, specialmente quelli con *package* molto piccolo e per applicazioni a batteria, hanno questo diodo integrato, potendo dunque risparmiare spazio e denaro per uno esterno. Una funzione simile è offerta da D8 rispetto al condensatore C7. Questo condensatore è considerato opzionale visto che permette di “ridurre” il *ripple* di uscita. Di quanto bisognerebbe vedere in specifiche applicazioni, ma aggiungendolo come consigliato nel datasheet, ci si mette nel caso migliore del *ripple* di uscita. Quando si aggiunge C7 bisogna avere necessariamente D8, visto che C7 potrebbe scaricarsi più lentamente degli altri condensatori.

Come detto D5 e D7 segnalano la presenza di V_{in} e V_{out} , ma non necessariamente segnalano la loro correttezza. I diodi sono una semplice visualizzazione di tensione presente. Indirettamente possono garantire anche la corrente minima per la regolazione, che del caso del LM317 è di 10mA e valore tipico di 3.5mA. Con 5V e 1K Ω si hanno 5mA. Questa corrente va bene per il valore tipico, non sempre ottimo come caso operativo in cui stare, ma considerando che viene aggiunto un carico in uscita, si può garantire la regolazione imponendo un carico minimo di altri 5mA aggiuntivi. A seconda del valore di V_{in} e V_{out} si può considerare di aumentare R1 e R2 a 2.2K Ω . Se il carico esterno dovesse essere di pochi mA, e non si dovesse raggiungere la corrente operativa minima, LM317 potrebbe non essere la soluzione ottimale, vista la bassa efficienza, ma per i test, certamente permetterà di raggiungere lo scopo in maniera professionale. Monitorando la tensione di uscita si può controllare la regolazione, eventualmente si può aggiungere un resistore di carico aggiuntivo per avere il carico minimo totale di 10mA.

Per i condensatori in uscita C4, C5 e C6, si sono seguite le stesse considerazioni dei condensatori in ingresso. In particolare per liminare il caso in cui V_{out} sia maggiore di V_{in} , i condensatori in uscita hanno un valore equivalente di circa 660 μ F, ovvero inferiore a quello di ingresso. Alcuni LDO potrebbero anche avere dei valori massimi che possono supportare come capacità di carico, come anche minima. Oltre al valore minimo e massimo, il datasheet potrebbe specificare il valore o range che deve assumere ESR dei condensatori, in funzione della corrente.

Spesso, i valori forniti sono valori tipici (non *min.* o *max.*) e anche specifici a delle determinate condizioni operative. Il progetto potrebbe facilmente non trovarsi nelle condizioni operative del datasheet, per cui sono necessari dei test sull'alimentatore al fine di garantire che questo stia operando in maniera stabile. In seguito, si vedranno alcuni test che è possibile effettuare sul sistema, qualora il datasheet del regolatore lineare o anche dei condensatori non forniscano molti dati. Questa soluzione ci aiuterà a validare le scelte di progetto. A livello professionale, sebbene questo approccio sia seguito, non può essere eseguito su ogni prodotto, ma tipicamente viene effettuato su un numero limitato di sistemi 10-100. Per rendere il sistema robusto, si può decidere, se il *budget* permette, di usare componenti più costosi in cui siano specificati valori massimi e minimi direttamente sul datasheet, per cui non si deve fare affidamento sui valori tipici, ai quali è bene aggiungere un 20-30% o anche moltiplicare per 10 se si vuole coprire l'invecchiamento del componente (*aging*).

Regolatori lineari LM317 e LM1085-xx

I regolatori della famiglia LM317 sono forniti da diversi produttori di circuiti integrati. Tra i principali si ricorda e si riportano in Tabella i modelli della Texas Instruments e ST. In particolare il *pin-out* per il *package* TO220 è divenuto uno standard per molti regolatori lineari di tensione positiva variabili. Per esempio, il regolatore LM1085-xx già citato, è compatibile con questo *pin-out*. Interessante notare che il *pin-out* dei regolatori lineari variabili e quelli a tensione fissa, sono differenti. Per cui la serie 78xx non può essere montata sulla scheda PJ2008. Con un *layout* non ottimale si sarebbero potuti supportare entrambi i regolatori.

La Tabella 1 riporta i modelli che possono andare bene, ma non tutti sono stati testati. I condensatori in ingresso e uscita sono stati scelti per poter supportare rispettivamente la tensione in ingresso di 32V e quella di uscita di 24V. A seconda del regolatore lineare scelto e del produttore, i valori delle capacità in termini di μF , potrebbero non essere idonei. Per tale ragione si raccomanda sempre di fare i test aggiuntivi di verifica, specificati nel paragrafo “Analisi della regolazione e stabilità”.

Come valore minimo per la differenza tra V_{in} e V_{out} , per la serie LM317, si è posto +4V. Come detto in precedenza il valore massimo del *voltage dropout* è considerato indirettamente 3V. Con tale valore si copre anche il caso in cui il sistema sia alimentato in alternata ma non per elevati carichi. Infatti le capacità in ingresso non sono elevate e il *ripple* può essere dell'ordine di 1V (per correnti di circa 1A). In caso si alimenti il sistema in alternata, in base al regolatore e corrente usate, è bene verificare che il *ripple* in ingresso non causi il regolatore di uscire fuori dalla zona di regolazione.

ID	Modello	Produttore	V_{in} - V_{out} min. [V]	V_{out} [V]	Commento
1	LM317T	TI	$V_{out} + 4V$		Testato
2	LM317-N	TI	$V_{out} + 4V$		Testato (National Semiconductor)
3	LM317T	ST	$V_{out} + 4V$		Testato
4	LM1085	TI	$V_{out} + 4V$		Testato
5	LM1085-3.3	TI	$V_{out} + 4V$	3.3	
6	LM1085-5.0	TI	$V_{out} + 4V$	5.0	
7	LM1085-12	TI	$V_{out} + 4V$	12.0	

Tabella 1 : Modelli famosi di regolatori lineari.

Analisi termica

L'alimentatore presentato, è basato sulla serie LM317 e LM1085. In particolare la serie LM317 supporta 1.5A mentre la serie LM1085 supporta 3A. Il modello LM1086 supporta 1.5A mentre LM1084 supporta 5.5A. Ciononostante, il sistema presentato è specificato per un massimo di 1A. È infatti bene fare alcune considerazioni termiche, che potrebbero portare l'alimentatore a supportare meno della corrente massima, anche se 1.5A e 3A sono certamente supportati è difficile garantirli in condizioni operative estese. Entrambi i regolatori hanno infatti una protezione termica, ovvero, raggiunta la massima temperatura che può supportare il dispositivo, viene disattivata l'uscita o la corrente viene limitata. La circuiteria di protezione periodicamente riattiva l'uscita al fine di operare in condizioni normali. Il ciclo a cui questo avviene può essere piuttosto rapido e può essere notato con un lampeggio di un LED, se il sistema che sta causando il sovraccarico ne ha uno. Il modo con cui opera la circuiteria di protezione può variare a seconda del fornitore del regolatore lineare. Per esempio sia la Texas Instruments che ST, per il regolatore LM317, hanno la protezione termica con limite di corrente e protezione del MOSFET di uscita, garantendo che operi sempre nella regione di sicurezza (SOA – *Safety Operating Area*).

La prima pagina del datasheet sebbene mostri parametri appetibili in tensione e corrente, è spesso scritta dal dipartimento di marketing, per cui bisogna fare attenzione a tali parametri. Quello che conta come documento ufficiale del datasheet sono le tabelle delle caratteristiche elettriche e non la prima pagina. Le specifiche tecniche nelle tabelle è quanto viene garantito. Se il valore è fornito come tipico, non è nemmeno garantito. Quindi anche se il regolatore lineare LM317 sia presentato come un regolatore da 1.5A, bisogna vedere sotto quali condizioni operative è possibile ottenere tale corrente. In particolare più il *package* è piccolo e minore sarà l'intervallo operativo in cui è possibile avere tale corrente. Infatti la resistenza termica di *package* piccoli, anche se permettono di risparmiare spazio, può essere 2-3 volte maggiore di varianti con *package* più grande. "Grande" e "Piccolo" sono usati in questo contesto come al mercato, per mostrare un vantaggio o problema. Il datasheet, con i relativi numeri e *package* mostra realmente cosa si debba confrontare.

Il problema termico, ovvero riscaldamento dell'integrato (fisicamente il pezzo di silicio) si presenta visto che LM317 e LM1085 supportano una tensione operativa relativamente elevata. In particolare, quando un LDO si trova ad operare regolando la tensione di uscita, lo fa aumentando il *dropout* ai suoi capi, tra il pin IN e OUT. Per esempio se per avere 5V in uscita forniamo 12V, il *dropout* sul regolatore è pari a 7V. Il valore di *dropout* di 3V, indirettamente specificato nel datasheet, serve per far sì che l'LDO possa operare correttamente, e non è quello che si trova sempre ai capi dell'LDO. Il valore effettivo viene a dipendere da V_{in} e V_{out} . La struttura dell'LDO, ha tipicamente ha un *pass transistor* tra ingresso e uscita che viene modulato al fine di avere una caduta di tensione tale per cui V_{out} rimane stabile, per esempio pari a 5V, anche se V_{in} aumenta. La Figura 2 mostra il diagramma funzionale dell'LM1085, simile all'LM317, in cui si vede in maniera semplificata la presenza del *pass transistor*, tra l'ingresso e l'uscita.

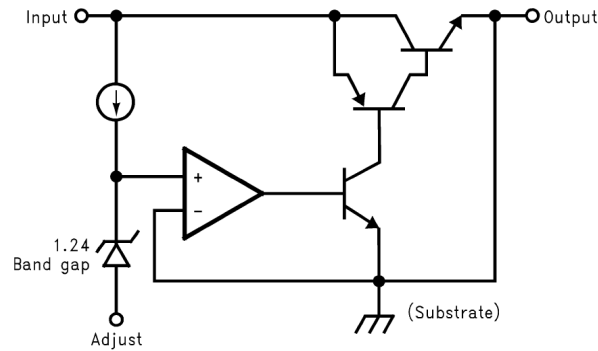


Figura 2: Schema funzionale dell'LM1085 con il *pass transistor*. Estratto dal datasheet TI.

Un diagramma funzionale simile è applicabile ad altri LDO, come la serie 78xx. La presenza del *pass transistor*, tra ingresso e uscita, lavorando in zona “lineare”¹ (modulazione della resistenza), fa capire che la corrente di uscita e ingresso sono le stesse.

In particolare Figura 2 mette in evidenza che il *pass transistor* è collegato ad altri due transistor. Quello in parallelo al transistor che espone l'emettitore, permette di aumentare il guadagno totale, ovvero il fattore Beta (β) tra base e collettore. Questo rappresenta il fattore per il quale la corrente di base del transistor viene moltiplicata e si presenta sul collettore. Normalmente si aggira nell'ordine delle poche centinaia, ma con questa configurazione, si possono ottenere fattori moltiplicativi di diverse migliaia. Questo significa che il transistor inferiore, che è collegato all'amplificatore operazionale, deve fornire una corrente più bassa, per cui la corrente operativa totale dell'LDO diminuisce. Tale corrente, rispetto alla corrente operativa a cui lavorerà LDO è spesso trascurabile. E dell'ordine dei 100 μ A. Vecchi LDO potrebbero avere correnti dell'ordine del mA, mentre quelli più moderni basati su processi CMOS e non BJT, possono avere correnti dell'ordine dei 100nA. Tale corrente operativa prende il nome di *I bias*.

Tornando al calcolo della potenza dissipata, dal momento che si conosce la tensione di *dropout*, si può determinare la potenza che viene dissipata dal regolatore lineare. Nell'esempio con V_{in} 12V e V_{out} 5V, supponendo di avere una corrente massima 1.5A (supportata dal regolatore...ma non è vero sempre), si ha che la potenza dissipata è pari a:

$$P_{diss} = (V_i - V_{out}) \cdot I_{out} = (12 - 5) \cdot 1.5 = 10.5W$$

Il range di temperatura ambientale in cui vogliamo operare, è 10-45°C. Questo significa che se anche tenessimo spento il nostro alimentatore, questo avrebbe come minimo la temperatura ambientale. Per tale ragione quello che ci interessa è sapere se con la potenza di 10.5W, l'aumento di temperatura, è tale da mantenere il regolatore lineare ancora in condizioni operative normali, senza attivare la protezione termica. Il valore a cui viene attivata la protezione termica non è sempre specificata in tutti gli LDO, ma viene specificata la massima temperatura di giunzione, ovvero T_j , che nel caso dell'LM317 è pari a 150°C, ma quella operativa consigliata è 125°C. Il modello LM217 è invece specificato

¹ La variazione della resistenza del *pass transistor* e la corrente, non è lineare, ciononostante il *pass transistor* si comporta come una resistenza. Nel caso di alimentatori *switching* è presente anche un transistor sull'alimentazione positiva, ma lavora in saturazione, ovvero come interruttore. In questo caso la corrente in ingresso e uscita non sono uguali, visto che l'interruttore si apre e si chiude, ma la potenza di ingresso e uscita lo sono (ignorando l'efficienza non essere 100%).

fino a 150°C. La protezione termica viene generalmente attivata 20-30°C sopra T_J massima. Per questo far affidamento a questa protezione può comunque deteriorare le performance dell'integrato, visto che per breve periodi si può trovare ad operare a temperature più alte di quella concessa. In ogni modo rimanendo ad operare a 125°C e potendo supportare (da verificare il modello usato), 150°C, si ha un buon margine per le tolleranze. Per la serie 78xx, come si è visto nel progetto PJ2007, la T_J massima era 125°C, per cui più stringente della serie LM317. Alcune varianti LM317 hanno però il limite massimo operativo a 125°C e non 150°C, per cui bisogna sempre vedere il datasheet del modello utilizzato.

Anche la protezione da cortocircuito potrebbe permettere correnti di 2.2A (tipico LM317) o 5.5A (tipico LM1085), ovvero portare i transistor ad operare in condizioni limite. Per questo, anche in questo caso, è bene far affidamento alle protezioni, in maniera eccezionale, visto che il regolatore non sarà indistruttibile. Raggiungere i valori massimi in maniera regolare, tende a far diminuire la vita media del dispositivo. Per cui un progetto robusto è bene che si mantenga lontano dai valori massimi, di almeno il 20%. In applicazioni mediche non è inusuale avere margini dal valore massimo (se possibile), del 40-50%.

Nella Tabella *Thermal Information* del datasheet, per il *package* TO220, si ha una resistenza termica tra giunzione e ambiente pari a 23.3°C/W (Modello LM317 National Semiconductor - TI). Questo significa che per ogni W dissipato dal regolatore, si ha un aumento della temperatura di giunzione di 23.3°C. Sapendo che nell'esempio si stanno dissipando 10.5W, si ha che l'aumento di temperatura è di 244.7°C. Bisogna far attenzione al fatto che si sta parlando di aumento, ovvero incremento di temperatura rispetto a quella ambientale massima a cui vogliamo operare. Nel nostro caso, la situazione peggiore è 45°C, per cui la temperatura finale teorica sarebbe circa 289°C. Quindi siamo oltre la temperatura sia massima che raccomandata, e anche la protezione termica verrebbe attivata. Tale temperatura, entrando in funzione la protezione termica, probabilmente non sarebbe raggiunta, ma ci fa capire che non possiamo tirar fuori 1.5A dal *package* TO220 senza ulteriori accorgimenti. Ripetendo l'esempio con V_{in} 9V e una corrente di 1A, si ha che il regolatore dissipa 4W, per cui l'incremento di temperatura è pari a 93.2°C, sommando 45°C si avrebbe 138.2°C. In questo caso siamo vicini ai limiti raccomandati ma sotto quelli massimi di 150°C, per cui potremo accettare il valore. Se però fossimo in garage, con una temperatura ambientale 10°C avremmo 103.2°C e saremo dunque in specifica sotto i 125°C raccomandati e molto al disotto dei 150°C massimi. Ciononostante il *package* risulterebbe molto caldo. Per limitare il problema termico si può aggiungere una aletta di raffreddamento, che permetterebbe di abbassare la resistenza termica tra giunzione e ambiente. Per cui a parità di potenza dissipata, l'incremento della temperatura è ridotto. Da quanto appena detto si capisce che in questa analisi il valore della temperatura minima in cui vogliamo operare il sistema, non è un grande problema, per cui potremmo estendere tranquillamente il range di temperatura operativo, da 10°C...+45°C a 0°C...+45°C. Scendere al disotto di 0°C richiede invece qualche accortezza, ovvero che i vari componenti supportino tale valore. Infatti alcuni componenti commerciali sono specificati solo da 0°C...+85°C o 0°C...+125°C, per cui non permettono di operare al disotto di 0°C. Alcune varianti LM317, come temperatura operativa minima, oltre allo 0°C, supportano anche -40°C. Scendere al disotto di 0°C, richiede anche qualche accortezza nei confronti dei condensatori...ma se state operando in casa, a queste

temperature, è bene accendere il riscaldamento.

Il *package* TO220 della ST ha una resistenza termica pari a 50°C/W, per cui l'aumento di temperatura è maggiore a parità di potenza dissipata dal regolatore. Per cui anche in questo caso, anche se possiamo ottenere 5V in uscita, non significa che potremmo sempre ottenere 1A senza aggiungere una aletta di raffreddamento.

Quando si ha bisogno di correnti elevate, spesso si fa uso di convertitori DC-DC che permettono di avere efficienze anche superiori al 90%.

L'efficienza del regolatore lineare, nel caso di V_{in} 12V, V_{out} 5V e corrente 1.5A, sarebbe stata:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_i} \cdot 100 = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_i \cdot I_{out}} \cdot 100 = \frac{5 \cdot 1.5}{12 \cdot 1.5} \cdot 100 = 42\%$$

Per cui, il regolatore lineare dissipa più della metà dell'energia, in energia termica, ovvero viene sprecata e fa scaldare il regolatore stesso. Ciononostante, i regolatori lineari hanno diversi vantaggi rispetto ai convertitori DC-DC, e possono ancora renderli la soluzione ottimale in molte applicazioni, sebbene l'efficienza non sia ottima. Tipicamente gli ADC (*Analog Digital Converter*) e DAC (*Digital to Analog Converter*) di precisione, che è possibile trovare in strumenti di misura, sono quasi sempre alimentati da LDO e non da convertitori DC-DC. Spesso si usa una soluzione ibrida, ovvero si effettua il primo stadio di conversione (per abbassare la tensione) per mezzo di un convertitore DC-DC e successivamente si usa un LDO come filtro attivo e stabilizzare la tensione di uscita. In questa soluzione si fa sì che l'LDO abbia come V_{in} una tensione poco superiore al valore minimo della tensione di *dropout*, al fine di mantenere l'efficienza più alta. Per esempio, per V_{out} 3.3V per LM317 con *drop-out* massimo di 3V, si potrebbe avere in ingresso V_{in} 6.3V. Fornendo una corrente di 1A, si avrebbe un'efficienza di:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_i} \cdot 100 = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_i \cdot I_{out}} \cdot 100 = \frac{3.3 \cdot 1}{6.3 \cdot 1} \cdot 100 = 52\%$$

Ovvero un'efficienza del 52%, che è meglio di prima ma non ancora l'ottimo. Con l'esempio a LDO con tensione fissa LM3940 a 3.3V di uscita e la tensione di *drop out* massima di 1V, si sarebbe raggiunta una efficienza del 73%, che per un LDO non è niente male. Per cui avere tensioni di *drop out* massime basse, permette di aumentare l'efficienza nel caso si voglia usare LDO come filtro attivo. Gli LDO usati in questo modo, ovvero come filtri attivi che seguono un convertitore DC-DC, devono essere caratterizzati da un ottimo PSRR (*Power Supply Rejection Ratio*) ed è bene che questo sia specificato per frequenze operative di diverse centinaia di KHz, o comunque a frequenze maggiori della frequenza di *switching* a cui opera il convertitore DC-DC. LDO che non specificano il PSRR nel datasheet non sono idonei a priori allo scopo. Un ottimo LDO da usare come filtro attivo è il TPS7A57 con PSRR specificato fino a 1MHz e capacità di supportare una corrente di 5A.

Da quanto appena descritto, si è visto che raggiungere 1.5A è in realtà proibitivo a meno di non ridurre molto V_{in} vicino al massimo del *dropout*, che però non è specificato sempre

e può essere dunque non affidabile abbassare V_{in} tale per cui $V_{in} - V_{out}$ sia 3V. L'aggiunta di una aletta di raffreddamento può aiutare, ma il costo del sistema aumenterebbe, come anche le sue dimensioni.

Definendo il nostro alimentatore 1A, si può essere certi che possano essere forniti, con l'accortezza che V_{in} non sia troppo alta rispetto a V_{out} , ed eventualmente aggiungendo una piccola aletta di raffreddamento. Si consiglia una aletta di raffreddamento al fine di non eccedere una temperatura 60°C.

Per i regolatori lineari, con un'uscita di tensione fissa e nota, è possibile scegliere V_{in} in maniera da ridurre la potenza dissipata all'interno del regolatore lineare. Nel caso di un alimentatore variabile si può avere l'esigenza del laboratorio, ovvero poter supportare 24V massimi, quindi avere in ingresso 28V, ma anche voler supportare una tensione in uscita di 3V. In particolare supportare 3.0V in uscita quando si hanno 28V in ingresso, può richiedere l'aletta di raffreddamento a partire da assorbimenti bassi. Correnti di 50-100mA possono causare un aumento di temperatura di circa 35-70°C, per cui avere una aletta di raffreddamento è importante, che come detto permette di abbassare la resistenza termica totale, dalla giunzione all'ambiente.

Per dimensionare l'aletta, ci si mette nel caso limite, che nel nostro caso è 3V in uscita, con 28V in ingresso e 1A del carico. In questo contesto si ha che il regolatore lineare si trova a dissipare 25W. Nel caso di resistenza termica dell'LM317-N pari a 23.3°C/W si avrebbe un aumento della temperatura pari a 583°C. Questo ci può già far capire che l'aletta di raffreddamento potrebbe aiutare ma non risolvere il problema. Infatti in un caso come questo è meglio prendere un convertitore DC-DC. Una aletta di raffreddamento di medie dimensioni pari a 75x46x33 potrebbe offrire una resistenza termica 4°C/W.

Questa andrebbe sommata alla resistenza termica tra giunzione e *case* 1.1°C/W (LM317-N), ottenendo 5.1°C/W. Il collegamento tra *case* e aletta può non essere ottimo e contenere aria, per cui considerarlo un totale 6°C/W è più realistico. Tipicamente, mettere degli isolatori o crema termica, rientra in 1°C/W che abbiamo aggiunto.

In ogni modo abbiamo diminuito la resistenza termica tra giunzione e ambiente da 23.3°C/W a 6°C/W. Con la nuova resistenza termica l'aumento della temperatura con 25W è 150°C. Considerando la temperatura ambientale di 45°C si ha che raggiungeremo ancora 195°C andando fuori specifica.

Cambiando la prospettiva del problema possiamo vedere il limite massimo della corrente nel caso in cui si abbia la condizione limite V_{in} pari a 28V e V_{out} 3V, e si voglia avere una temperatura massima di giunzione pari a 125°C. Questo porta ad un incremento massimo di 80°C, che diviso la resistenza termica 6°C/W determina una potenza massima di 13W. Considerando il delta tra V_{in} e V_{out} di 25V, si ha che si possono supportare circa 520mA.

Il problema potrebbe anche essere visto da un'altra prospettiva, ovvero quale possa essere la massima differenza tra V_{in} e V_{out} al fine di poter supportare 1A senza eccedere la temperatura di giunzione di 125°C.

La temperatura di giunzione massima 125°C meno la massima temperatura ambientale di 45°C determina che l'incremento supportato è al massimo di 80°C, diviso la resistenza

termica $6^{\circ}\text{C}/\text{W}$ comporta che la potenza massima dissipabile per 1A deve essere 13W. La potenza è data dal prodotto della massima differenza di tensione ($V_{in}-V_{out}$) che vogliamo supportare, moltiplicata per la corrente massima di 1A. Per cui la massima differenza tra $V_{in}-V_{out}$, al fine di supportare 1A in uscita, deve essere 13V. Questo valore è supportato se si ha l'aletta di raffreddamento con una resistenza termica di $4^{\circ}\text{C}/\text{W}$ o più bassa. Nel caso in cui non sia presente alcun corpo di raffreddamento e avessimo dunque la resistenza termica tra giunzione e ambiente pari a $23.3^{\circ}\text{C}/\text{W}$, la differenza massima di tensione sarebbe 3.4V, ancora nei limiti della regolazione dell'LM317-N

In Figura 3 è mostrato un dettaglio del sistema con un corpo di raffreddamento da $4^{\circ}\text{C}/\text{W}$ e il potenziometro esterno. Questa è una configurazione tipica per un alimentatore da laboratorio con possibilità di cambiare la tensione da pannello.

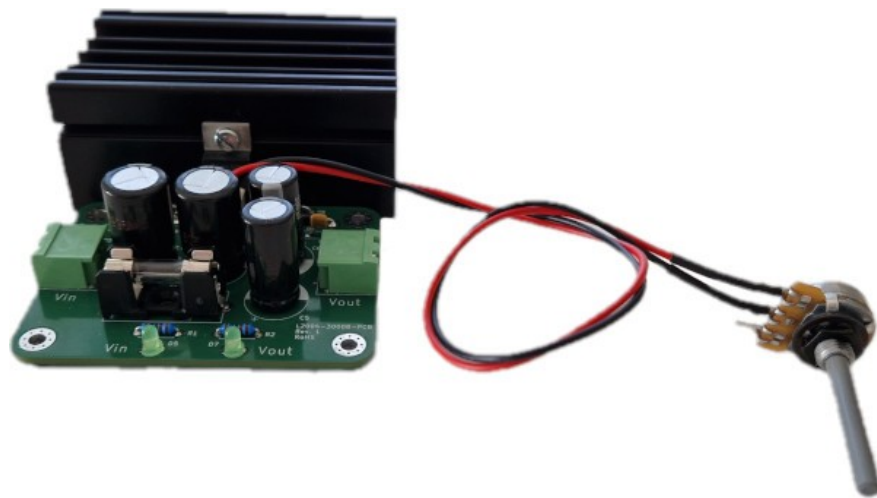


Figura 3: Sistema montato con una aletta di raffreddamento da $4^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

L'analisi termica a livello di sistema può essere complesso, per tale ragione, spesso si testano i sistemi dopo averli messi in servizio per 2-3 ore e verificare la temperatura raggiunta tramite piccole termocoppie sui punti noti essere caldi, e tramite immagini termiche.



Nota

Nei calcoli mostrati, si è considerato per V_{in} la tensione in ingresso al regolatore lineare e non V_{in} prima dei diodi, ovvero su J1. Altrimenti, come detto, bisogna considerare la caduta di due diodi.

Scelta del fusibile

In Figura 1 è mostrato che il sistema è protetto da un fusibile. I fusibili erano generalmente realizzati tramite un filamento di piombo. Quelli moderni, visto le direttive europee che vietano l'utilizzo del piombo, fanno ora utilizzo di leghe metalliche diverse, generalmente basate su rame, argento, zinco, alluminio e stagno. Il diametro è opportunamente dimensionato al fine di fondersi, ovvero interrompere il passaggio di corrente, qualora la corrente che passa al suo interno sia superiore a quella nominale per la quale è stato dimensionato il fusibile. Quindi se si vuole un alimentatore che fornisca fino ad 1A, si prende un fusibile da 1A, così oltre 1A si rompe e il sistema è protetto...tanto facile quanto errato.

Per comprendere quale fusibile scegliere, bisogna analizzare più parametri del nostro alimentatore, ma anche le caratteristiche del fusibile.

In particolare il nostro sistema, abbiamo detto che deve fornire 1A, eventualmente con aletta di raffreddamento, a seconda del regolatore utilizzato e la differenza tra V_{in} e V_{out} .

Per il regolatore LM317, la corrente di picco che è permessa, ha un valore nominale di 2.2A sebbene il regolatore supporti al massimo 1.5A. Il valore minimo e massimo, a differenza del regolatore 78xx, sono specificati, ed è proprio del 30%, come era stato ipotizzato per la famiglia 78xx. Valori del 10% o inferiori, sarebbero ottimi, e sarebbero certamente specificati nel datasheet come peculiarità del regolatore lineare e posti in prima pagina. Con una tolleranza del 30% vorrebbe dire che il regolatore farebbe passare al minimo 1.54A, ma come detto la famiglia LM317 garantisce il minimo nel datasheet, pari a 1.5A.

Nota questa corrente, bisogna scegliere un fusibile che garantisca di fondersi con questa corrente. In parte il regolatore lineare proteggerà il sistema, ma se volessimo che anche il fusibile intervenga, bisogna che fonda con questa corrente. Se il regolatore lineare si dovesse rompere, la protezione fornita dal fusibile aiuterà ulteriormente (questo vale se l'LDO si dovesse rompere come cortocircuito verso massa).

Prendendo come esempio i fusibili Littlefuse della serie 5×20 mm > Time-Lag > 218 Series, tra i valori disponibile interessanti c'è 1.25A e 1.6A.

1.6A va subito escluso perché 1.5A potrebbero non fonderlo. Iout 2.2A non sarebbe un problema, ma ci si deve mettere nel caso peggiore e non quello tipico.

In realtà il caso peggiore è assai peggiore..., infatti abbiamo considerato solo il caso dell'LDO. I fusibili della serie scelta, hanno un errore sulla corrente nominale del 25%, per cui i fusibili da 1.6A potrebbero fondere anche a 2A. 2A sarebbero decisamente troppi per il caso peggiore di 1.5A.

Per tale ragione è bene considerare il fusibile da 1.25A, sicuramente si romperà anche nel caso peggiore di protezione da cortocircuito (con poca riserva). Purtroppo al 25% di errore va aggiunto ancora un errore. Nel grafico del datasheet della famiglia Littlefuse, si vede che nell'intervallo di temperatura -60°C...125°C bisogna aggiungere circa un altro

10% di errore. A 25°C l'errore è considerato nullo ed incluso nel 25% nominale. Aumentando la temperatura operativa, il fusibile fonde prima, mentre diminuendo la temperatura tende a fondere dopo. Per cui nel caso peggiore, in cui si volesse coprire l'intero range di temperatura, si avrebbe un errore del 35%.

Se si volesse essere veramente sicuri che il fusibile si rompa, in caso di corrente eccessiva, prendere il modello da 1A aiuterebbe, a sacrificio che la corrente massima non sarà più garantita essere 1A ma 650mA.

Con un buon margine di confidenza, un fusibile 1.25A può essere ancora idoneo. Il nostro intervallo di temperatura, 10°C – 45°C è piuttosto limitato e causerà un errore aggiuntivo del circa 2%. E rimanendo a temperature ambientali di 25°C, si possono avere ancora circa 910mA di corrente (errore del fusibile pari a 25% + 2%).

Ciononostante è una scommessa, qualora i parametri non siano specificati e garantiti nel datasheet in forma di max. e min. garantiti. Dal momento che il regolatore lineare ha la sua protezione contro i cortocircuiti e il fusibile aggiunge ulteriore sicurezza, si può considerare 1.25A un buon compromesso.

In questa analisi si è considerato il caso peggiore, cosa che in generale bisogna fare. Quando però il caso peggiore è la somma di diversi errori (fusibile, tolleranza corrente LDO), quello che spesso si fa, è usare l'errore quadratico medio quale somma degli errori, che risulta inferiore alla somma dei due errori. Infatti è molto improbabile che ogni errore sia al caso peggiore allo stesso tempo. Se si deve mandare il sistema per controllare un aereo, ci si mette sempre nel caso peggiore, mentre se il sistema rimane sulla terra e non deve soddisfare standard *functional safety*, si usa l'errore quadratico medio.

Se l'alimentatore deve fornire 1A, come detto, è bene che sia presente una aletta di raffreddamento idonea. La scatola di montaggio che contiene il sistema, è bene che sia di metallo, al fine di evitare e limitare rischi di incendio. Ci sono alcuni standard che vietano contenitori di plastica per potenze maggiori di 10W. Come visto con le tolleranze in gioco è difficile garantire 10W, se non si limita la potenza del 35%. I fusibili UL *recognizes*, devono essere usati come protezione al fine di essere approvati per eventuali standard UL. In alternativa ci sono i *solid state fuse*, ovvero i fusibili allo stato solido, come eFuse TPS2660, riconosciuto UL2367, che forniscono una tolleranza sulla corrente di intervento garantita per max. e min. inferiore al 10% (dipende dal range di corrente). Il TPS2663 ha un'accuratezza speciale ed utile per coprire lo standard UL1310. L'accuratezza inferiore del 10% è stata raggiunta grazie ad uno sforzo congiunto...del cui team ho fatto parte.

Come visto, anche il fusibile aggiunge notevoli complicazioni, e non deve essere visto semplicemente come un filamento che si fonde.

Dimensionare i resistori

La famiglia LM317, essendo un regolatore variabile, supporta qualche resistore in più che deve essere dimensionato. In particolare la tensione di uscita viene riportata in ingresso e confrontata con una tensione di riferimento. Questo rappresenta in generale un anello di controllo ed è presente anche nei regolatori lineari della serie 78xx a tensione fissa,

mostrati nel progetto PJ7002. Però i regolatori a tensione fissa, hanno tali resistori integrati, ovvero non accessibili. Per i regolatori variabili, come LM317, il partitore di tensione è esterno e va dimensionato. In particolare il valore di R4 viene consigliato nel datasheet, e nel caso dell'LM317 vale 240Ω, mentre per il regolatore LM1085-ADJ, vale 121Ω. La corrente che entra nel pin ADJ, è dell'ordine del 50μA, per cui ad alta impedenza. Questo permette di variare leggermente R4 in base alle esigenze. Il fatto però che sia consigliato in ogni datasheet LM317, del valore di 240Ω, può essere a prescindere un buon valore da usare, visto che è stato testato.

Il secondo braccio del partitore di tensione è formato da R3 o dalla somma RV1 e R5.

R3 è opzionale e deve essere usato nel caso si voglia usare il regolatore LM317 per una tensione fissa di uscita, per esempio 13.8V per caricare una batteria a piombo. Questa è una tensione non supportata dai regolatori della serie 78xx, per cui il regolatore LM317 può essere un candidato per raggiungere lo scopo, dimensionando R3 in maniera opportuna. La tensione di uscita, rispetto ai resistori del partitore di tensione R4 e R3 varia secondo la seguente formula:

$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) + I_{ADJ} \cdot R_3$$

In particolare il secondo termine, a seconda del valore di R3 o RV1 (considerando R5 = 0Ω) può o meno essere trascurato. Nel caso peggiore I_{ADJ} può raggiungere 100μA, mentre R3 (RV1) circa 4.7KΩ, per cui un errore di 0.47V. Ciononostante, a temperatura ambiente la corrente I_{ADJ} ha un valore certamente più basso, per cui dimensionare 0.47V in più può risultare in una misura a temperatura ambiente una tensione decisamente più bassa. A seconda dei casi bisogna valutare cosa sia meglio. In ogni modo con l'opzione del *trimmer* o potenziometro, essendo variabili, si compensa in automatico, visto che impostiamo direttamente il valore di interesse. Con il *trimmer* multigiri, si ha la possibilità di impostare piuttosto bene la tensione in uscita, con una precisione di 10mV.

Il progetto presenta inoltre il connettore J3 per collegare un eventuale potenziometro esterno. In questo caso il *trimmer* RV1 e R3 e non vanno montati.

Il resistore R5, da 100Ω, è presente per avere un valore minimo della tensione e può essere dimensionato a seconda delle esigenze del progetto. Per avere in uscita una tensione che parte da 1.25V, è necessario usare un ponticello (resistenza 0Ω).

Nel caso si utilizzino varianti dell'LM1085 a tensione fissa (3.3V, 5V, 12V), i resistori R4, R5 e RV1 non devono essere montati. R3 deve essere un ponticello (resistenza 0Ω).

Qualora si monti il sistema all'interno di una scatola di montaggio, e si faccia uso di un potenziometro, questo deve avere lo stesso valore del *trimmer* multigiri. In base al valore della tensione in ingresso, la tensione massima, potrebbe essere raggiunta prima di raggiungere il 100% della rotazione, infatti V_{out} non dipende da V_{in} se non per il vincolo del valore massimo raggiungibile. Per la realizzazione di un alimentatore da laboratorio si può considerare di usare due potenziometri da collegare in serie. Uno per il cambio grossolano da 4.7KΩ, in serie ad uno da 100Ω al fine di aver una rotazione più fine.

Analisi della regolazione e stabilità

Quando si progetta un alimentatore, sia esso separato, come in questo progetto, o parte di un sistema più complesso, è bene fare dei test di verifica sulla regolazione e stabilità. Tali test permettono di verificare quanto sia robusto il progetto e poter anticipare possibili problemi. In particolare un sistema che dovesse risultare instabile o avere un margine di fase ridotto (10-20°), potrebbe avere un'uscita che oscilla, qualora soggetto a transienti di carico o linea, causando la tensione di uscita, ad andare fuori dall'intervallo concesso e supportato dai componenti collegati. Tipicamente si eseguono tipicamente i seguenti test:

- Regolazione di linea (*Line regulation*)
- Regolazione sul carico (*Load regulation*)
- Transienti sulla linea di ingresso (*Line transient*)
- Transienti sul carico (*Load transient*)

Dal momento che LM317 ha i resistori della rete di feedback, esterni, è possibile iniettare del disturbo (aprendo l'anello e chiudendolo nuovamente con un resistore di 10-50ohm). In questo modo è possibile poter validare anche il margine sul guadagno e fase associati alla funzione di trasferimento del sistema. Alcuni LDO hanno dei condensatori integrati a cavallo della rete di feedback, in questi casi non è possibile fare il test in maniera corretta e rispettare il criterio di *Middlebrook*. Purtroppo la presenza o meno del condensatore non è specificata nel datasheet. Per tale ragione, per testare un LDO è bene considerare i test sopra citati.

Vediamo qualche dettaglio sui test che è possibile fare facilmente in laboratorio. Si fa presente che questi test devono essere eseguiti sul solo alimentatore, dunque, si deve scollegare il resto del sistema, qualora questo sia più complesso della sola parte dell'alimentatore. Ci sono solo delle eccezioni sul *Line Transient*, nel caso in cui si voglia simulare l'accensione e spegnimento del sistema in maniera ripetitiva, per ore o giorni. I dettagli sono discussi a breve.

Line regulation

La regolazione di linea significa variare V_{in} in ingresso al regolatore e verificare di quanto varia V_{out} . Per implementare il test basta un multimetro in ingresso e uno di uscita, al fine di misurare la tensione. La sorgente di tensione in ingresso deve essere variabile. Come carico è bene mettere un resistore che permetta di assorbire una corrente come quella specificata nel datasheet, nella sezione dedicata alla regolazione di linea.

Questo parametro è specificato nel datasheet in determinati range di tensione, corrente e temperatura. Dunque, il suo test, permette di validare quanto è presente nel datasheet. Le misure effettuate devono mostrare di essere entro i limiti del datasheet. In particolare a temperatura ambiente ci si deve aspettare di non arrivare ai limiti massimi. Se non si dovesse essere nei limiti, qualche cosa non va e bisogna trovare il problema. Un sistema instabile potrebbe essere causa di variazioni di tensione più elevate del dovuto. Per elevate correnti bisogna compensare la caduta di tensione sui cavi e tenerne conto nella misura della regolazione di linea.

Load Regulation

La regolazione sul carico consiste nel variare il carico, ovvero la corrente in uscita, e verificare di quanto varia la tensione di uscita. Per implementare il test è necessario un multimetro per la misura della tensione e uno per la misura della corrente di uscita. La variazione del carico può essere fatta per mezzo di un resistore di potenza variabile o resistori multipli. Tipicamente è necessario usare resistori di potenza con alette di raffreddamento in alluminio (10-50W), eventualmente collegati ad un corpo metallico, al fine di evitare che l'autoriscaldamento causi un aumento della resistenza dunque una diminuzione della corrente di carico durante il periodo di misura. Un altro modo per variare la corrente è per mezzo del carico attivo, che permette di impostare e mantenere agevolmente la corrente del carico. Il carico attivo torna anche utile per simulare transienti sul carico.

Anche questo parametro lo si trova nel datasheet sotto il nome *Load Regulation* o *Output Voltage Regulation*. A seconda del datasheet e costo del regolatore lineare, tale parametro può essere fornito con maggiori o minori informazioni. Il suo test permette di validare quanto è presente nel datasheet. Le misure effettuate devono mostrare di essere entro i limiti del datasheet. In particolare a temperatura ambiente ci si deve aspettare di non arrivare ai limiti massimi. Se non si dovesse essere nei limiti, qualche cosa non va e bisogna trovare il problema. Un sistema instabile potrebbe essere causa di variazioni di tensioni più elevate del dovuto. Per elevate correnti bisogna compensare la caduta di tensione sui cavi e tenerne conto nella misura della regolazione sul carico. In genere è bene misurare la tensione direttamente all'uscita del regolatore e non sul carico, al fine di rimuovere eventuali cadute di tensioni presenti sui cavi.

Line transient

Il test sul transiente di linea, significa testare variazioni repentine della tensione in ingresso e verificare l'uscita. Tale parametro non è mostrato sul datasheet, visto che è un parametro che caratterizza il nostro sistema nel suo insieme. Il caso peggiore è quando tutti i condensatori sono scarichi, il sistema è spento, e viene acceso. Questo permette di simulare la variazione di tensione da 0 a $V_{in\ max}$. Questo test, potrebbe anche stressare il sistema e permettere di verificare la sua stabilità e capacità di pilotare le capacità di carico. Alcuni convertitori DC-DC che implementano una protezione sul limite di corrente tramite la tecnica *hiccup* (a singhiozzo), potrebbero oscillare e non riuscire mai a caricare i condensatori di uscita. Per implementare questo test, è bene usare un interruttore sulla linea +, ottenuto tramite un PMOS. Questo deve essere poi attivato tramite un generatore di funzioni con onda quadra (meglio impulsi), con periodo di diversi secondi. In questo modo si attiva e disattiva il sistema in maniera molto rapida e si permette ogni volta alle capacità di scaricarsi. Bisogna controllare la tensione di uscita tramite un oscilloscopio al fine di monitorare come varia V_{out} . Per misure ottimali è bene monitorare sia V_{in} che V_{out} , e se possibile, anche I_{out} . Tipicamente è bene eseguire tali test con oscilloscopi con banda di 200MHz o più. Oscilloscopi con banda limitata da 20MHz potrebbero non mettere in evidenza transienti di tensione che a lungo termine potrebbero causare la rottura dei dispositivi collegati al sistema. Questo test può essere eseguito anche per validare accensioni multiple e testare la vita del sistema. Per esempio si potrebbe lasciare in esecuzione il *setup* per 12-24 ore, e verificare nuovamente le performance del sistema. Tipicamente un test di questo tipo è bene farlo anche con il sistema completo che verrà alimentato dall'alimentatore, e verificare che non si sia danneggiato alla fine delle

accensioni multiple.

Per il transiente di linea si sconsiglia di usare direttamente l'alimentatore da banco, visto che questi sono progettati per avere accensioni senza *overshooting*, per cui relativamente lenti. La Figura 4, mostra il dettaglio del rise time dell'alimentatore Rigol DL3021, alla cui uscita, impostata a 5V, è collegato direttamente un resistore da 10 Ω , il quale fa dunque scorrere una corrente di carico di 500mA.

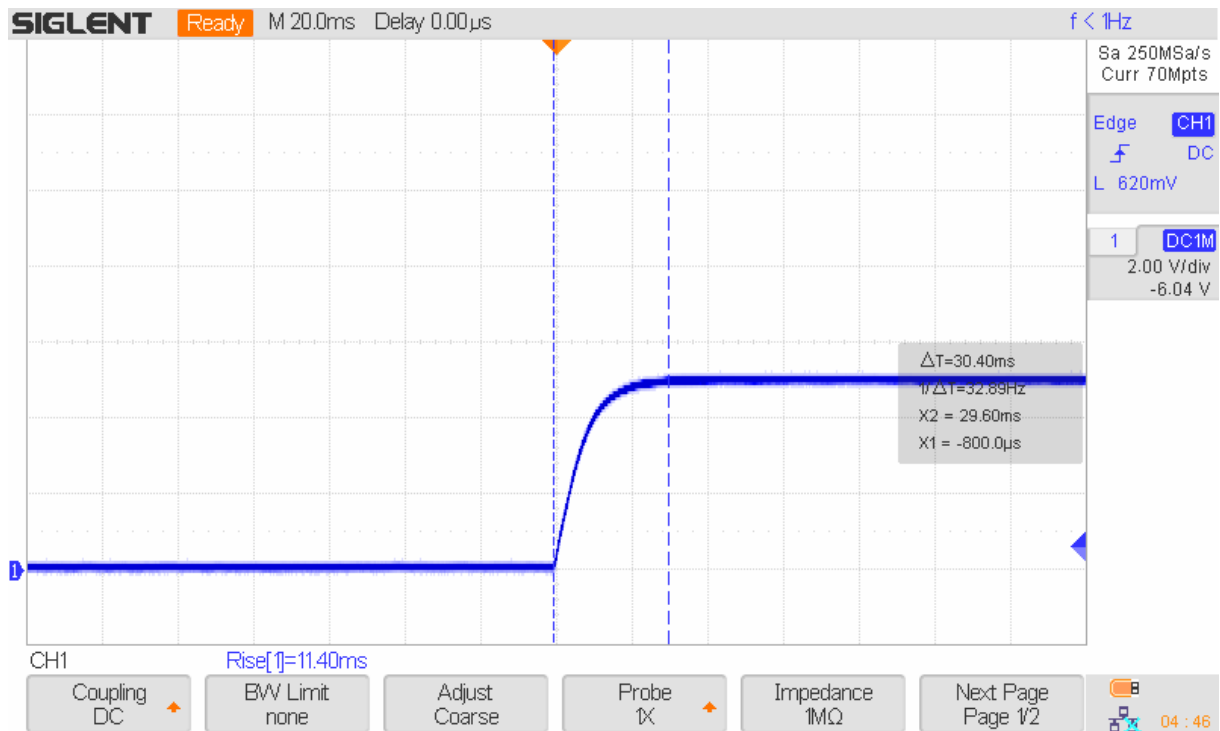


Figura 4: Risposta di V_{out} con semplice carico di 10ohm.

Si può notare che con un semplice carico passivo, il tempo di salita da 0 a 5V è circa 30ms. Usando la definizione di tempo di salita 10%-90% il tempo di salita è 11.4ms. La misura mette in evidenza che non sono presenti *overshooting*. Usando la tecnica del PMOS opportunamente pilotato con MOS driver, e generatore d'impulsi con *rise time* 8.4ns è possibile vedere che il carico di 10ohm è possibile pilotarlo con fronti di salita molto più rapidi, ovvero 470ns e 200ns (10%-90%). La Figura 5 mostra che è presente un piccolo *undershooting*.

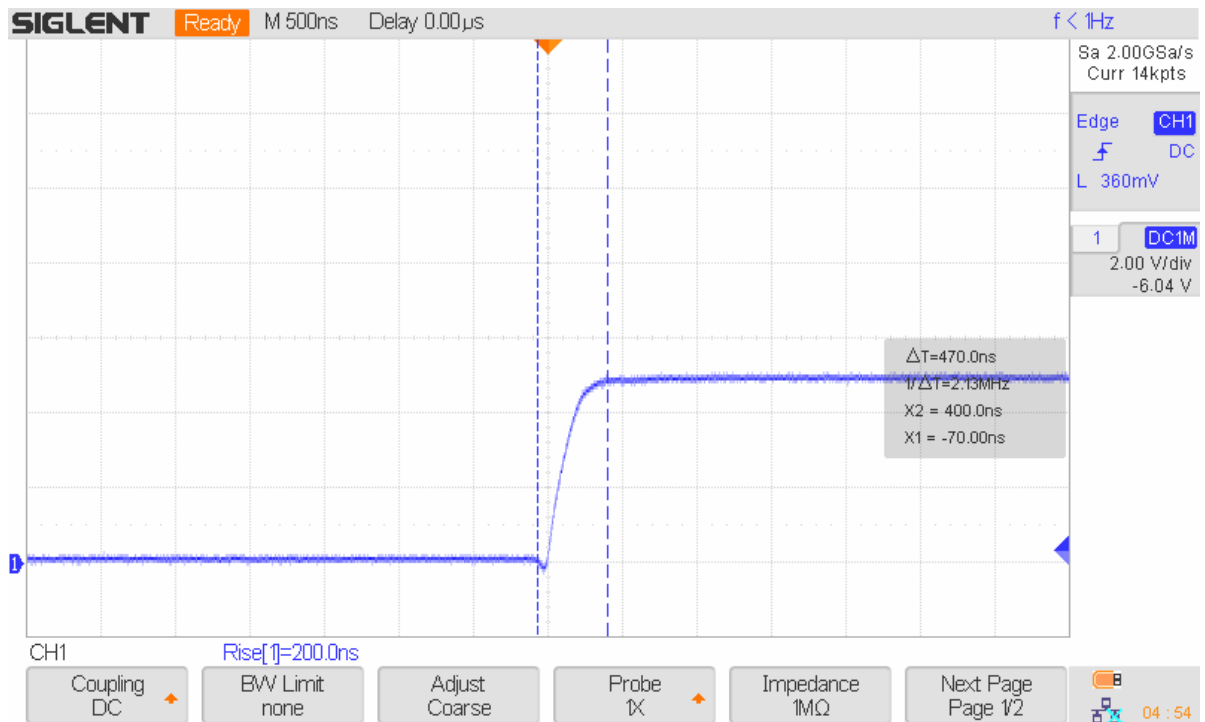


Figura 5: Risposta di V_{out} con semplice carico di 10ohm e controllo con PMOS.

Con transienti così rapidi è bene che la sonda dell'oscilloscopio sia collegata quanto più vicino possibile al punto di misura, al fine di limitare effetti induttivi derivanti dal collegamento di massa. Generalmente le sonde degli oscilloscopi sono fornite con adattatori a molla da avvolgere sulla punta, come mostrato in Figura 6. In particolare quando si aggiunge la molla, viene rimosso o no, il collegamento di massa laterale. Infatti la molla è in contatto con un anello conduttivo collegato a massa. La Figura 7 mostra il dettaglio di una sonda per oscilloscopi classica.



Figura 6: Sonda dell'oscilloscopio con molla di massa corta.



Figura 7: Sonda dell'oscilloscopio con collegamento classico di massa (coccodrillo).

Il problema dell'uso delle sonde dell'oscilloscopio con collegamento a coccodrillo della

massa, durante la misura di transienti, è legata al fatto che il collegamento di massa tramite coccodrillo e relativo cavo, aggiunge un'induttanza parassita non trascurabile. La deformazione dell'onda ed eventuali picchi ed oscillazioni introdotte, potrebbero anche far pensare che il sistema abbia problemi, mentre in realtà quello che si vede è un problema aggiunto al sistema e non realmente presente.

Per raggiungere fronti di salita rapidi, è importante che anche il generatore di impulsi possa supportare dei tempi di salita relativamente ridotti. In particolare il generatore Siglent SDG2082X supporta impulsi con *rise time* 8.2ns, più che sufficienti per lo scopo. Il risultato del tempo di salita di 200ns non è solo derivante dal PMOS usato, ma è il risultato di tutti i componenti scelti per il sistema, inclusi i cavi di misura e PCB.

Quando il transiente di linea è molto rapido, è possibile mettere in evidenza anche altre caratteristiche e problematiche del sistema, come per esempio le caratteristiche di *latch-up*, o impossibilità di raggiungere uno stato di avvio stabile. Alcuni integrati possono avere la programmazione di alcune caratteristiche tramite resistori di programmazione. Questi possono essere monitorati solo all'avvio, e in base al valore di tensione o corrente che assume un pin, viene programmata una macchina a stati. Se l'accensione dovesse essere troppo lenta o rapida, la programmazione di avvio potrebbe non avvenire correttamente. Per questi casi è bene avviare il sistema anche lentamente, tramite un alimentatore da banco o sorgente di corrente controllata (per esempio imponendo un limite di corrente sull'alimentatore) che permette di caricare un condensatore di ingresso in tempi programmabili. Questi aspetti non sono sempre mostrati nei datasheet che usano tali tecniche, per cui possono essere cercati ed eventualmente trovati solo estendendo il tipo di misure a livello di sistema. Da cui, testare un semplice sistema può richiedere molto tempo (molte settimane), qualora il *Test plan* ha una buona copertura di test.

In particolare, i test da eseguire a livello di sistema, devono essere sempre chiari, prima ancora di iniziare. In questo modo si può applicare un buon livello di qualità durante la fase di test. Qualora siano presenti dei problemi, messi in evidenza da particolari misure, il *test plan* può essere modificato al fine di focalizzare alcuni test alla comprensione di un problema specifico.

I transienti mostrati in Figura 4 e Figura 5 sono basati su semplice carico resistivo. Questo semplice test è stato mostrato per validare le due soluzioni per applicare il transiente, prima di effettuare le misure reali. Usando il *setup* con PMOS, sulle schede con LM317-N e LM1085, è possibile vedere che il fronte di salita e discesa è modificato notevolmente (Figura 8 e Figura 9). In particolare CH1 (blue) è V_{in} , impostata per raggiungere 12V. CH2 (verde) è la tensione di uscita al regolatore, impostata a 5V e carico 10 Ω . L'impulso di attivazione è impostato di 30ms e periodo 1s. I 30ms sono stati scelti al fine di permettere al regolatore di raggiungere in maniera corretta la tensione impostata tramite il *trimmer*. Configurazioni diverse del sistema potrebbero richiedere altri tempi.

Il *setup* con PMOS ha delle capacità di carico prima del PMOS e nulla dopo. Questo permette rapidamente di avere V_{out} che varia da 0 a V_{cc} impostata per l'ingresso. Quando sono però collegate le schede, è presente la capacità di ingresso e uscita al regolatore che influenzano i fronti di salita e discesa durante l'accensione e spegnimento. Se si volesse stressare un sistema con fronti molto rapidi in ingresso si può ridurre la capacità in ingresso, ma questo risulterebbe in un sistema diverso. Ciononostante

permetterebbe di validare quanto detto in precedenza, relativamente alla programmazione di eventuali macchine a stati interne (*state machine*).

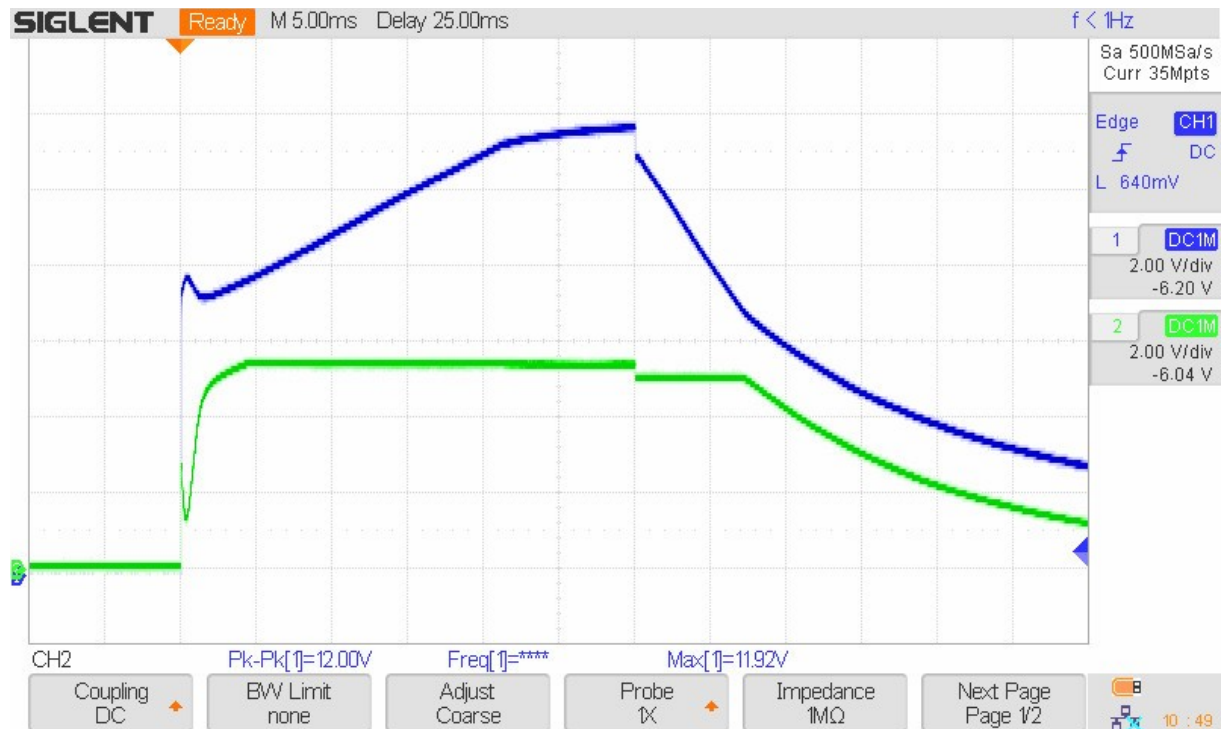


Figura 8: Risposta di V_{out} con carico di 10ohm, controllo con PMOS – scheda con LM317-N ($V_{in}=12V$ $V_{out}=5V$).

Le caratteristiche mostrate dal regolatore LM317-N e LM1085 sono molto simili. La Figura 9 basata sul regolatore LM1085 risulta solo più lenta durante la fase di accensione, ma segue lo stesso andamento. Per la descrizione si prende come riferimento la Figura 8.

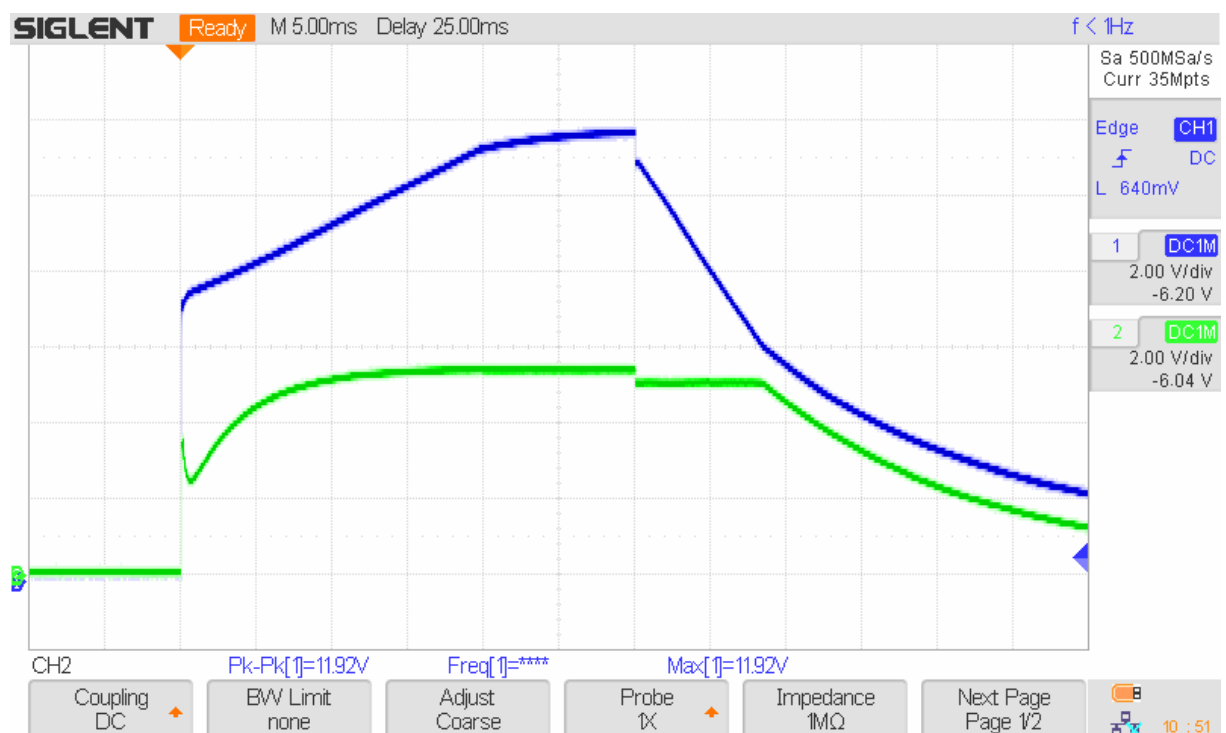


Figura 9: Risposta di V_{out} con carico di 10ohm, controllo con PMOS – scheda con LM1085 ($V_{in}=12V$ $V_{out}=5V$).

La Figura 8 mostra che V_{in} segue V_{out} , e salgono inizialmente molto rapidamente, arrivati a circa 3V in ingresso, probabilmente qualche cosa si comincia ad attivare nel regolatore, sebbene non siamo ancora nella zona di regolazione. V_{in} aumenta ancora rapidamente, e superata di 2V la tensione di uscita, il regolatore cerca di raggiungere V_{out} programmata dai resistori. Quando si attiva il regolatore la tensione in ingresso si abbassa lievemente, probabilmente le capacità di uscita sono collegate alle capacità in ingresso. Il regolatore, parzialmente attivo si presenta come un resistore e rallenta la carica dei condensatori e l'andamento di V_{out} . Il comportamento quasi lineare di V_{in} , può far supporre che il regolatore si sta comportando quasi come un generatore di corrente, sebbene V_{out} aumenti esponenzialmente. V_{in} rallenta la velocità a cui si incrementa. Quando i condensatori di uscita sono caricati a 5V, dal momento che V_{out} non varia più, le capacità in ingresso completano la carica fino a raggiungere 12V, con andamento esponenziale. La corrente di carica è questa volta limitata dal sistema ovvero dal carico di 10ohm in uscita e la resistenza del regolatore.

Dopo 30ms V_{in} viene rimossa, ed è possibile vedere un abbassamento di tensione, sebbene il regolatore cerchi di mantenere la regolazione. Quando V_{in} scende a circa 6V, si vede che V_{out} esce fuori regolazione e inizia a decadere con il tipico andamento della scarica di un condensatore.

La ripetizione degli impulsi è di 1s. Si può notare che quando arriva il nuovo impulso, osservando sulla sinistra di Figura 8 e Figura 9, la linea blu, ovvero V_{in} , è quasi a 0V, ovvero i condensatori di uscita si sono praticamente scaricati. Questa è la condizione da raggiungere, in maniera da poter simulare accensioni multiple, ovvero C_{in} scarichi.

Come aggiunta al test mostrato da 0V a V_{cc} , si possono effettuare i test di variazione a gradino di V_{in} , per esempio variare rapidamente V_{in} da 10V a 12V e tornare poi a 10V. Molti alimentatori da banco permettono di essere programmati per questi test, ma come visto, sono piuttosto lenti. Per tali test generalmente si usano amplificatori di potenza al fine di alimentare il sistema e poter applicare in ingresso all'amplificatore un qualunque segnale. Questo secondo *setup*, oltre a permettere di effettuare test sui transienti di linea, permette anche di iniettare rumore in ingresso, aggiungendo ulteriori veridiche al sistema.

Load Transient

Le variazioni rapide del carico, rappresentano, come dice il nome, un test in cui il carico viene variato rapidamente e si verifica la tensione V_{out} , che deve essere monitorata tramite un oscilloscopio. Tale parametro non è mostrato sul datasheet, visto che è un parametro che caratterizza il nostro sistema nel suo insieme. I datasheet potrebbero però riportare l'andamento di V_{out} alla variazione di corrente, per un *setup* tipico, generalmente basato su una scheda di sviluppo.

Per eseguire il test, V_{in} rimane fissa al valore nominale, minimo e massimo (tre insiemi di misure), e il carico viene variato tramite un carico attivo. Per mezzo del carico attivo Rigol DL3021A, è possibile ottenere dei transienti piuttosto rapidi, di 3A/ μ s. Con questi transienti è possibile stressare piuttosto bene un sistema. Qualora dovessero essere necessari dei transienti ancora più rapidi, è bene usare dei carichi attivi ad anello aperto. Questi possono essere ottenuti semplicemente con un NMOS di potenza, pilotato da un generatore di funzione. Il gate del transistor (V_{gs}) può essere modulato al fine di avere una resistenza idonea o semplicemente avere un resistore sul *drain*, o combinazione di

entrambi. Il tutto deve essere collegato all'uscita dell'alimentatore. I valori da scegliere per i transienti devono riflettere quelli che ci si aspetta dal sistema. In ogni modo stressare fino alla corrente massima partendo da 0mA o 10% della corrente massima fino al massimo, possono essere dei buoni test. Avere un minimo di corrente garantisce che il regolatore stia operando già in maniera corretta, prima di essere stressato. Partendo da 0mA, si controlla un caso limite in cui il regolatore parte praticamente da carico nullo. I LED usati come spia, come detto, possono comunque garantire una corrente minima. È importante verificare che durante i test sul carico, il sistema sia propriamente alimentato e la sorgente di tensione usata per alimentare il sistema, non limitarsi la corrente sulla scheda che si sta testando. In particolare è bene che sia impostata 2-5 volte maggiore al carico che si sta testando.

Il *Load Transient*, può essere una tecnica di test alternativa alla misura della margine del guadagno e di fase, la quale richiede un *setup* più costoso. In particolare un *injection transformer*, generatore di funzione e oscilloscopio. Il tutto deve avere l'opzione per comportarsi come un *vector network analyzer* a bassa frequenza. In alternativa si possono prendere diverse misure manualmente con un certo costo di tempo, o scrivere dei programmi in Python, Octave o Matlab® per controllare gli strumenti da remoto.

Tra i regolatori testati, quello più sensibile alla capacità di carico è LM1085, il quale richiede una capacità di carico minima che può raggiungere 150 μ F. LM1085 mostra anche un *setup* per i test per i transienti di carico. In particolare dalla Figura 9 del datasheet si può notare che il carico varia circa 500mA/ μ s, per cui 3A/ μ s usati dal carico attivo Rigol DL3021A, sono certamente idonei. Ciononostante 500mA/ μ s potrebbero anche essere limitati dalla banda passante della sonda di corrente usata.

In Figura 10 e Figura 11, sono mostrati i dettagli della risposta ad un transiente di corrente compreso tra 100mA e 1A con *slew rate* pari a 3A/ μ s, per la durata di 500 μ s. La tensione di uscita è impostata a 5V e V_{in} a 12V, i regolatori sono rispettivamente LM317-N e LM1085.

Le misure mettono in evidenza che non ci sono oscillazioni sulla tensione di uscita (CH2 canale verde), né per LM317-N né per LM1085. In particolare il canale verde è accoppiato in AC, visto che ci interessa solo la variazione di V_{out} . Usando l'accoppiamento in AC, è possibile impostare alti valori di guadagno sul rispettivo canale. Il canale CH1 (blu) mette in evidenza il gradino di corrente. Questo è prelevato dall'uscita di I_{mon} del carico attivo e non riflette l'effettivo transiente di corrente. Il manuale del carico attivo non specifica la banda del canale di uscita I_{mon} , ciononostante, il segnale è ottimo per effettuare il *trigger* sulla misura. Per misurare la corrente sul carico, si può usare anche una pinza amperometrica, ma il loro costo per quelle che supportano AC-DC e qualche MHz di banda passante, si aggira a diverse migliaia di euro. Quelle a banda di pochi KHz non sono idonee a misurare il transiente di corrente, il quale verrebbe deformato mostrando una variazione di corrente molto più lenta di quella effettiva.

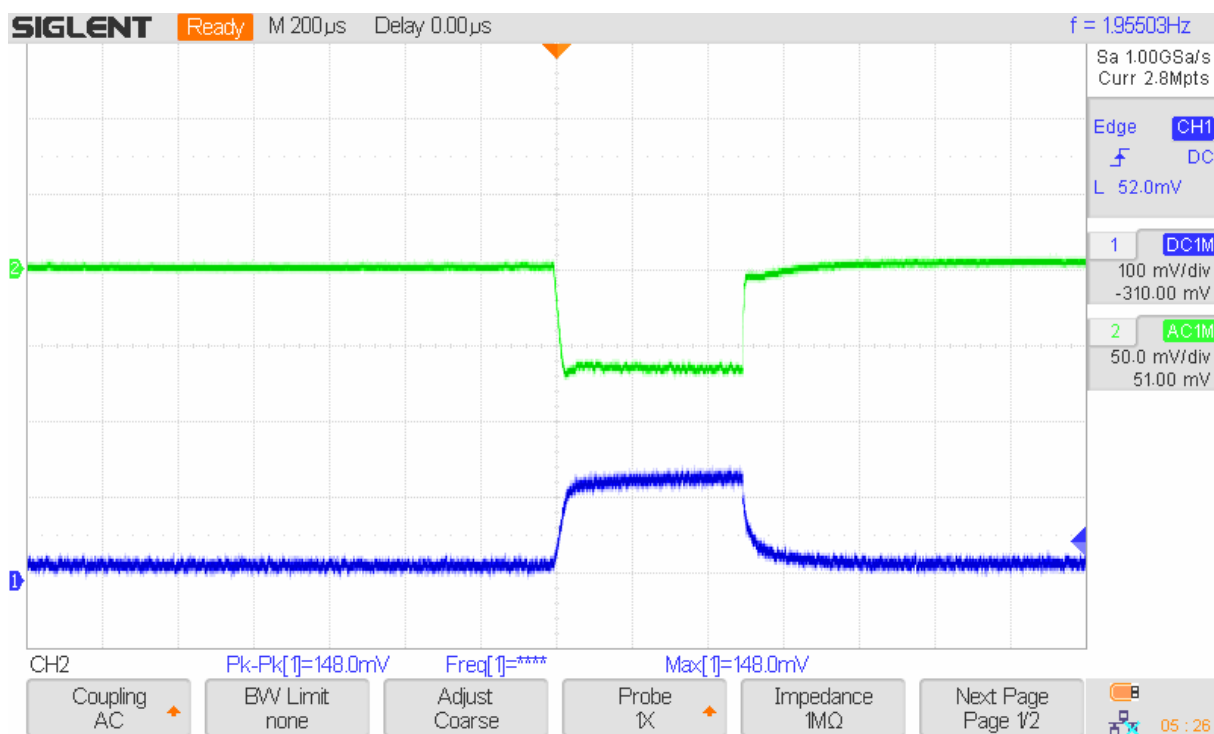


Figura 10: Risposta di V_{out} del regolatore di tensione LM317-N al transiente di corrente 100mA-1A.

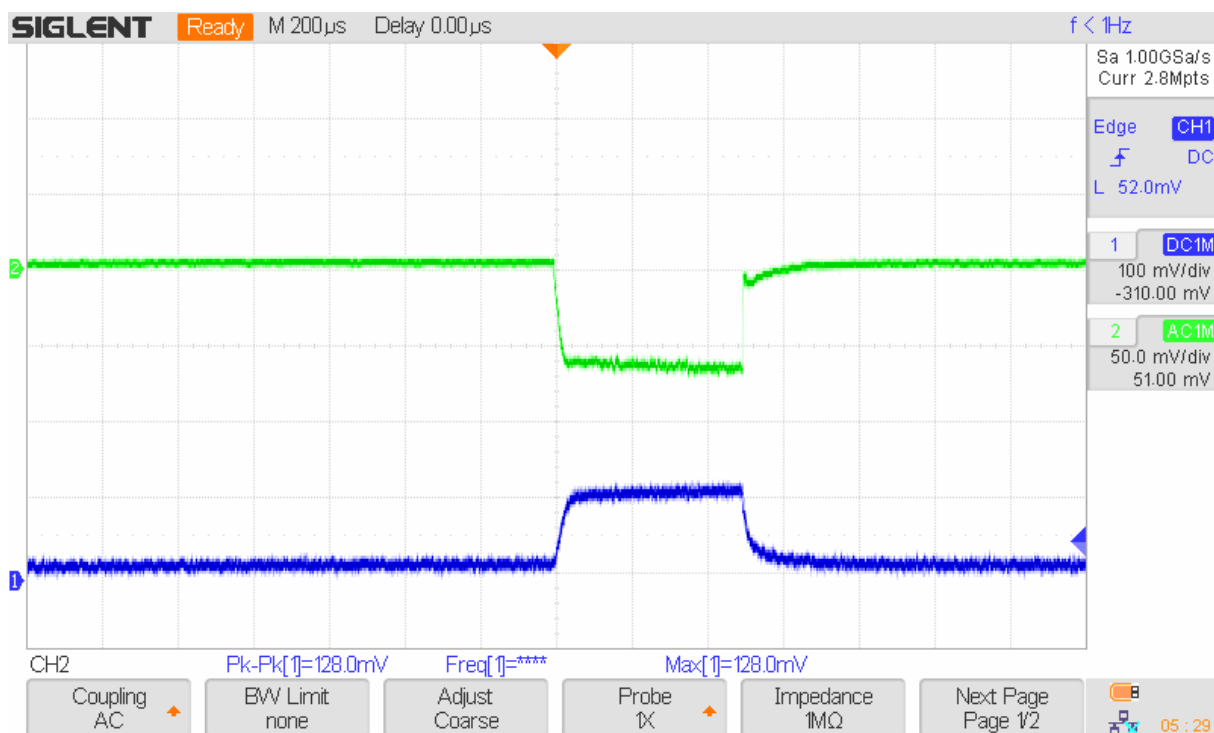


Figura 11: Risposta di V_{out} del regolatore di tensione LM1085 al transiente di corrente 100mA-1A.

Lista Componenti

Resistori

R1 = 1K Ω 1% 1/2 W metallico (Vin max 12V)
R2 = 1K Ω 1% 1/2 W metallico (Vout max 12V)
R1 = 2.2K Ω 1% 1/2 W metallico (Vin max 32V LM317)
R2 = 2.2K Ω 1% 1/2 W metallico (Vout max 24V)
R3 = opzionale - 1% 1/2 W metallico
R4 = 240 Ω 1% 1/2 W metallico (LM317)
R4 = 121 Ω 1% 1/2 W metallico (LM1085)
R5 = 100 Ω 1% 1/2 W metallico (vedere commenti)
RV1 = 4.7K Ω 1% 1/4 W trimmer multigitri o potenziometro

Diodi

D1 = 1N5819
D2 = 1N5819
D3 = 1N5819
D4 = 1N5819
D5 = LED verde formato 3mm
D6 = 1N5819
D7 = LED verde formato 3mm
D8 = 1N5819

Condesatori

C1 = 100nF 100V
C2 = 470 μ F 63V 105°C
C3 = 470 μ F 63V 105°C
C4 = 100nF 100V 105°C
C5 = 330 μ F 50V 105°C
C6 = 330 μ F 50V 105°C

IC

U1 = LM317, LM1085 (vedere Tabella 1)

Connettori

J1 = connettore 1x2 con viti
J2 = connettore 1x2 con viti
J3 = connettore 3 pin passo 2.54mm per potenziometro
F1 = porta fusibili PCB
Fusibile = 1.25A LittleFuse
TH : Aletta di raffreddamento 4°C/W



Il materiale fornito con il KIT, è conforme alla direttiva europea 2011/65/UE relativa alla restrizione dell'uso di determinate sostanze particolari nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche. Pertanto, per ogni eventuale modifica, al fine di mantenere la conformità, è necessario utilizzare componenti e materiali per la saldatura che siano conformi alla direttiva sopracitata.

Disposizione dei componenti

La scheda di sviluppo viene fornita da montare o solo il PCB. L'utilizzo della Figura 12 può tornare utile per trovare un componente di interesse durante il montaggio.

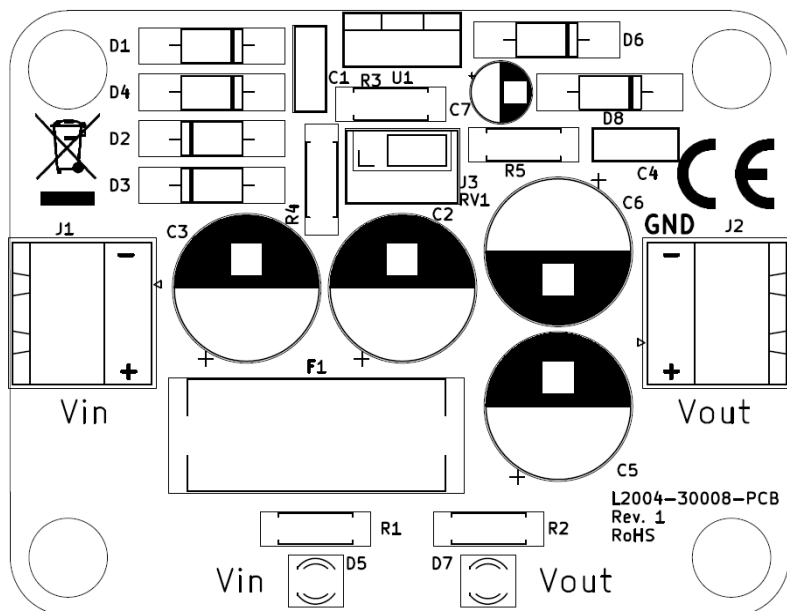


Figura 12: *Disposizione dei componenti.*

La rappresentazione 3D del sistema assemblato è mostrato in Figura 13.

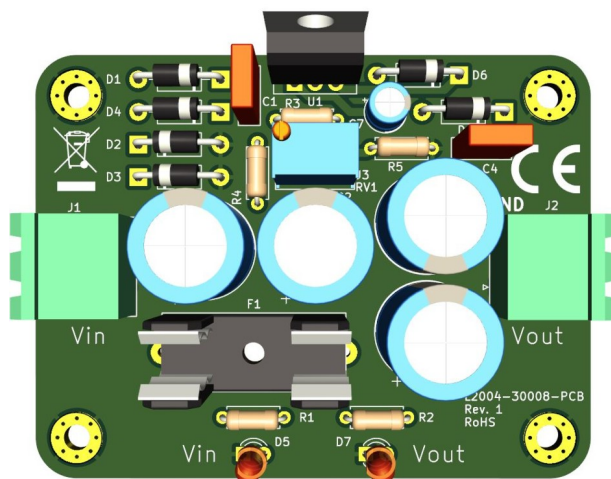


Figura 13: *Modello 3D del sistema.*

Opzioni di assemblaggio

La scheda di sviluppo mostrata è stata verificata con i regolatori lineari LM317, sia di TI che ST e LM1085 (TI). Come detto può però essere utilizzata anche per altre varianti di regolatori lineari, della stessa famiglia o che siano compatibili con il *pin out* usato dai componenti di riferimento. La Tabella 1, mostra i dettagli di alcuni regolatori di tensione e V_{in} che è possibile utilizzare. Per le varianti non verificate, si consiglia sempre di effettuare i test aggiuntivi sulla stabilità del sistema. Il sistema, a montaggio ultimato, si presenta come in Figura 14.



Figura 14: Sistema a montaggio ultimato.

A seconda del regolatore lineare montato e varianti sui resistori e connettori, il sistema può differire. Il *trimmer* montato come in Figura 14, aumenta la tensione in senso antiorario. Montando il *trimmer* ruotato di 180°, si aumenta la tensione ruotandolo in senso orario. In Figura 15 è mostrato un dettaglio del sistema montato con aletta di raffreddamento. È bene che l'aletta di raffreddamento sia ben fissata all'interno della scatola di montaggio per evitare stress sui componenti elettronici e PCB.



Figura 15: Sistema a montaggio ultimato con aletta di raffreddamento.

Collaudo e verifica

Una volta che il sistema viene montato, prima di fornire l'alimentazione al connettore J1 (Vin) è bene fare un paio di test.

- Effettuare una ispezione dei componenti e serigrafia. In particolare per i diodi, condensatori e circuiti integrati, verificare il verso del montaggio.
- Controllare con un multimetro, che sul connettore J1 (Vin), tra il + e il –, non sia presente un cortocircuito.
- Controllare con un multimetro, che sul connettore J2 (Vout), tra il + e il –, non sia presente un cortocircuito.

Dopo questi semplici test, è possibile fornire tensione al connettore Vin (J1), nei limiti del regolatore montato e rispettando le specifiche della scheda, e verificare che Vout, girando il *trimmer* o potenziometro, aumenti e diminuisca nei limiti concessi dal regolatore e progetto. Qualora si stiano usando regolatori lineari non testati, si raccomandano i test aggiuntivi mostrati nel relativo paragrafo.

Indice Alfabetico

A		P	
Alimentazione.....	4	Part Number.....	4
C		Peso Montata.....	4
Condensatori.....	29	R	
Connettori.....	29	Resistori.....	29
D		S	
Dimensioni.....	4	schema elettrico.....	5
Diodi.....	29	T	
I		Temperatura Ambiente.....	4
IC.....	29	V	
L		Versione.....	4
Lista Componenti.....	29	Vout.....	4

Bibliografia

- [1] www.LaurTec.it : sito ufficiale delle schede della serie mini Sensing Board, dove poter scaricare ogni aggiornamento e applicazione.
- [2] www.PCBWay.com: Sponsor ufficiale del progetto.

PCBWay

[PCBWay](http://www.PCBWay.com) è tra i produttori di PCB più esperti per la prototipazione e la produzione di piccoli volumi in Cina. PCBWay si impegna a soddisfare le esigenze dei clienti di diversi settori in termini di qualità, consegna e convenienza. Con anni di esperienza accumulata nel settore, PCBWay ha clienti da tutto il mondo. Il marchio è diventato la prima scelta per i clienti, grazie alla sua elevata forza e servizi speciali, come:

- Prototipazione PCB e produzione schede FR-4 e Alluminio, ma anche PCB avanzati come schede Rogers, HDI, Flexible e Rigid-Flex.
- Assemblaggio PCB.
- Servizio di impaginazione e progettazione.
- Servizio di stampa 3D.

History

Data	Versione	Autore	Descrizione aggiornamenti
01/09/24	1.0	Mauro Laurenti	<ul style="list-style-type: none">• Versione Originale.