

LaurTec

Alimentatore stabilizzato 1A

3.3V-24V - serie 78xx e LM3940



PCBWay

Autore : Mauro Laurenti

ID: PJ2007-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 PJ2007 (Alimentatore stabilizzato 1A) è conforme alla direttiva europea:

2011/65/UE

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

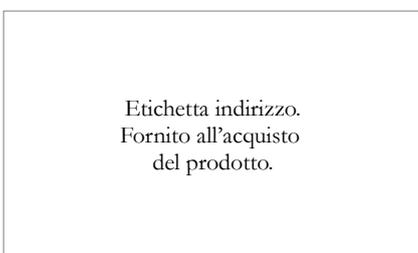
Smaltimento



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 :



Indice

Introduzione.....	4
Specifiche Tecniche.....	4
Analisi del Progetto.....	5
Regolatori lineari 78xx e LM3940-xx.....	9
Analisi termica.....	10
Scelta del fusibile.....	14
Analisi della regolazione e stabilità.....	16
Disposizione dei componenti.....	26
Opzioni di assemblaggio.....	27
Collaudo e verifica.....	28
Bibliografia.....	30
History.....	30

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. Un alimentatore che soddisfi ogni esigenza è insolito e potrebbe essere piuttosto costoso. Quelli da banco possono coprire tipicamente 30-60V Vmax e 100W, con una buona regolazione. Usare sempre un alimentatore da banco per piccoli sistemi può non sempre essere conveniente. L'alimentatore presentato copre un range di tensione 3.3V-24V, cambiando il regolatore lineare montato sul PCB. Con pochi euro si possono dunque realizzare degli alimentatori dedicati, senza doversi affidare ad un alimentatore da banco.

Specifiche Tecniche

Alimentazione Vin (78xx) : 32V max

Alimentazione Vin (LM3940) : 5.5V max

Vout (78xx) : 5V, 6V, 8V, 8.5V, 9V, 12V, 15V, 18V, 24V

Vout (LM3940) : 3.3V

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

Temperatura Ambiente: 0-40°C

Dimensioni : 68 x 53 mm

Part Number : PJ2007-KIT-U (KIT da assemblare)

Versione : 2

Peso Montata : 32g

Cambiando il regolatore lineare (LDO) si possono variare le specifiche del sistema. L'articolo presenta in dettaglio il caso di regolatore 3.3V (LM3940-3.3), 5V (uA7805 e L7805CV3). Sono mostrati i dettagli sul come validare la stabilità del sistema, per cui usando altri regolatori lineari, sia della stessa famiglia o di altri produttori, è bene verificarne le performance a livello di sistema.

Analisi del Progetto

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

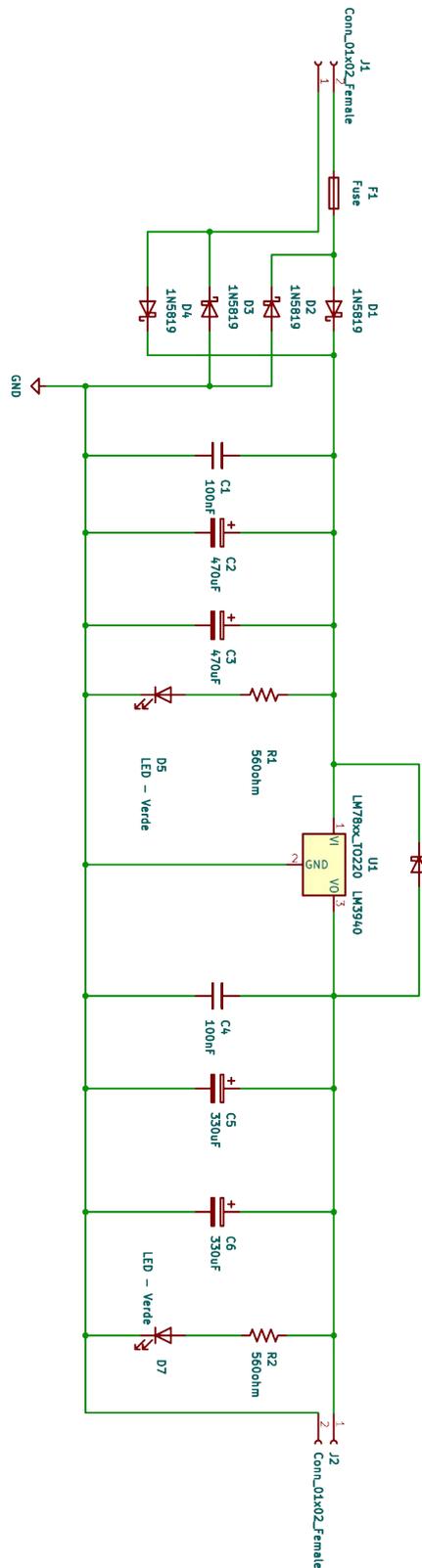


Figura 1: Schema elettrico dell'alimentatore stabilizzato.

Si può notare che il numero di componenti non è elevato, ma se paragonato ai semplici alimentatori basati sulla famiglia 78xx, ha decisamente qualche componente in più. Vediamo i dettagli, partendo dal connettore J1. J1 è il connettore in ingresso, e come visibile dalla Figura 12 e Figura 13, 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*. Il valore massimo che raggiunge però 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:

$$V_{rms}(max) = \frac{V_{max}}{1.414} = \frac{(32V)}{1.41} = 22.70V$$

La tensione che bisogna applicare in ingresso a U1, viene a dipendere anche dal regolatore lineare che si sta utilizzando. In particolare la tensione minima per la famiglia 78xx ha un valore tipico di 2V superiore rispetto a V_{out} . Spesso il valore massimo non è specificato per cui è bene avere 3-4V come margine ed evitare che il regolatore lineare possa uscire fuori dalla regione di regolazione. Si fa notare che la V_{in} in ingresso a U1 è pari a V_{in} su J1 meno 2x la caduta di tensione dei diodi in ingresso, ovvero un totale di 1.1V.

Il valore massimo di tensione della famiglia 78xx viene a dipendere dal modello. In particolare: 78xx, con valori di tensione in uscita da 5 a 18V, supportano V_{in} massima di 35V. Nel caso di tensioni di uscita di 20V e 24V supportano una tensione in ingresso massima di 40V in DC. 40V è il valore massimo anche per i diodi in ingresso, ma come

detto si è posto un margine del 20%, dal valore massimo. Con 32V in tensione continua e un margine di 4V sul valore in uscita, si possono usare senza problemi i regolatori 78xx, fino a 24V, che richiederebbero una tensione in ingresso continua di 28V.

Dopo il ponte di *Gratz*, sono presenti i condensatori per rendere la tensione raddrizzata dal ponte, più simile ad una tensione continua, ovvero si è livellata 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 mostra alcun *ripple*, il quale è rimosso dal regolatore lineare. I datasheet dei regolatori specificano in ogni modo il livello di attenuazione sul *ripple* in ingresso, qualora lo si voglia determinare con accuratezza.

Tipicamente gli alimentatori basati sulla serie 78xx 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 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 40°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.

Dopo i condensatori è presente l'integrato U1, che come detto, nei test sarà il uA7805, L7805 e LM3940. In particolare gli LDO permettono di regolare la tensione di uscita in base al modello scelto. Il partitore di tensione per prelevare la tensione di uscita, al fine di essere comparata con la tensione di riferimento, è integrato. Per cui per ogni valore di

tensione è presente un modello dedicato della serie 78xx. Per il regolatore di tensione come LM317, il partitore di tensione è esterno, per cui è possibile regolare la tensione di uscita per mezzo di un potenziometro o trimmer. La scheda presentata non supporta il regolatore lineare LM317, per il quale è stata realizzata un'altra scheda specifica.

A cavallo di U1, è presente il diodo D6. La funzione di D6 è garantire un percorso per la corrente, qualora V_{out} risulti maggiore di V_{in} . Questo si può verificare quando viene staccata l'alimentazione che fornisce V_{in} e i condensatori sono tutti carichi. Parte della corrente scorrerà per alimentare i diodi LED D5 e D7, che segnalano la presenza di V_{in} e V_{out} , scaricando dunque i condensatori. Se V_{out} dovesse essere maggiore di V_{in} , della corrente potrebbe scorrere nel pin 3 del regolatore lineare, e ne potrebbe causare la rottura. D6, quando V_{out} è maggiore di V_{in} di circa 0.2V, entra in conduzione, per cui la corrente di scarica passerà per il diodo, bilanciando la tensione su tutti i 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.

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 78xx è di 5mA. Con 5V e 560Ω si hanno 9mA. A seconda del valore di V_{in} e V_{out} si può considerare di aumentare R1 e R2 a 1KΩ-2.2KΩ. Se il carico esterno dovesse essere di pochi mA, il 78xx potrebbe non essere la soluzione ottimale, vista la bassa efficienza, ma per i test, certamente permetterà di raggiungere lo scopo in maniera professionale.

Per i condensatori in uscita C4, C5 e C6, si sono seguite le stesse considerazioni dei condensatori in ingresso. In particolare per eliminare il caso in cui V_{out} sia maggiore di V_{in} , i condensatori in uscita hanno un valore equivalente di circa 660μF, ovvero inferiore a quello di ingresso. Il valore della capacità totale in uscita potrebbe essere critico per un LDO. In particolare per LM3940 è necessaria una capacità minima di 33μF. Alcuni LDO potrebbero anche avere dei valori massimi che possono supportare. Oltre al valore minimo e massimo, il datasheet potrebbe specificare il valore o range che deve assumere ESR in funzione della corrente (LM3940).

Spesso, i valori forniti sono valori tipici (non *min.* o *max.*) e anche specifici a delle determinate condizioni di uso. 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 78xx e LM3940-xx

I regolatori della famiglia 78xx 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. Per esempio, il regolatore LM3940-xx già citato, è compatibile con questo *pin-out*.

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 78xx, si è posto +4V. Come detto in precedenza il valore tipico del *voltage dropout* è 2V. Con tale valore si copre anche il caso in cui il sistema sia alimentato in alternata. 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.

Il *voltage dropout* del regolatore LM3940 è al massimo 1V, specificato e garantito per il valore massimo della corrente e l'intero range della temperatura. Non dovrebbe sorprendere che il fatto di avere tali tipi di parametri, specificati nel datasheet, rendano il regolatore LM3940 più costoso. In Tabella 1 si è scritto 2V, nel caso in cui il sistema sia alimentato in alternata.

ID	Modello	Produttore	V_{in} - V_{out} min. [V]	V_{out} [V]	Commento
1	uA7805	TI	$V_{out} + 4V$	5	Testato
2	uA7808	TI	$V_{out} + 4V$	8	
3	uA7810	TI	$V_{out} + 4V$	10	
4	uA7812	TI	$V_{out} + 4V$	12	
5	uA7815	TI	$V_{out} + 4V$	15	
6	uA7824	TI	$V_{out} + 4V$	24	
7	L7805	ST	$V_{out} + 4V$	5	Testato
8	L7806	ST	$V_{out} + 4V$	6	
9	L7808	ST	$V_{out} + 4V$	8	
10	L7809	ST	$V_{out} + 4V$	9	
11	L7812	ST	$V_{out} + 4V$	12	
12	L7815	ST	$V_{out} + 4V$	15	
13	L7818	ST	$V_{out} + 4V$	18	
14	L7824	ST	$V_{out} + 4V$	24	
15	LM3940-33	TI	$V_{out} + 2V$	3.3	Testato

Tabella 1 : Modelli famosi di regolatori lineari.

Analisi termica

L'alimentatore presentato, è basato sulla serie 78xx e LM3940. Entrambi i regolatori supportano 1.5A di corrente massima, ma l'alimentatore è presentato come 1A. È infatti bene fare alcune considerazioni termiche, che potrebbero portare l'alimentatore a supportare meno della corrente massima, anche se 1.5A 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 7805, 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*). ST nella prima pagina del datasheet, dopo aver descritto le funzioni di protezione afferma che queste lo rendono “praticamente indistruttibile”. La prima pagina del datasheet è spesso scritta dal dipartimento di marketing, per cui bisogna fare attenzione a tali affermazioni. 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.

Il problema termico, ovvero riscaldamento dell'integrato si presenta principalmente per la serie 78xx visto che supporta una tensione operativa relativamente elevata. LM3940, ha una tensione massima in ingresso di 5.5V (operativa raccomandata) e un'uscita regolata a 3.3V. 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 2V specificato nel datasheet è il tipico per far sì che l'LDO possa operare correttamente. Il valore effettivo viene poi a dipendere da V_{in} e V_{out} . La struttura dell'LDO, ha tipicamente 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'LM3940, regolatore da 3.3V, in cui si vede in maniera semplificata la presenza del *pass transistor*.

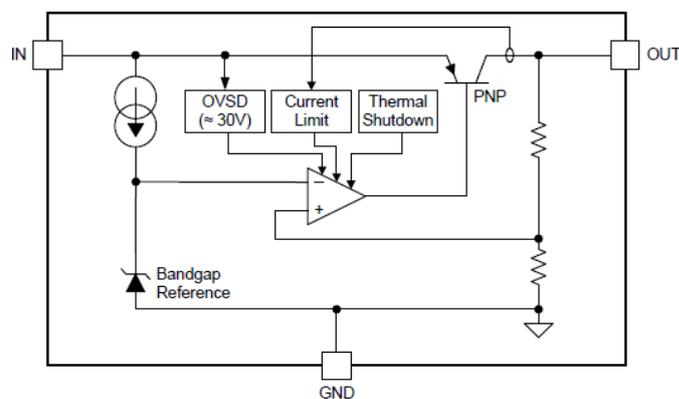


Figura 2: Schema funzionale dell'LM3940-33 con il pass transistor. Estratto dal datasheet TI.

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.

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 10-40°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 del $\mu A7805$ è pari a 125°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. Per tale ragione bisogna rimanere al disotto di 125°C.

Allo stesso modo anche la protezione da cortocircuito potrebbe permettere correnti di 2.2A (tipico), 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, come detto nella prima pagina del regolatore L7805.

Nella Tabella *Thermal Information* del datasheet, per il *package* TO220, si ha una resistenza termica tra giunzione e ambiente pari a 19°C/W. Questo significa che per ogni W dissipato dal regolatore, si ha un aumento della temperatura di giunzione di 19°C. Sapendo che nell'esempio si stanno dissipando 10.5W, si ha che l'aumento di temperatura è di 200°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 40°C, per cui la temperatura finale teorica sarebbe 240°C. Quindi siamo oltre la temperatura massima e consentita, 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 76°C, sommando 40°C si avrebbe 116°C. In questo caso siamo vicini ai limiti. Se però fossimo in garage, con una temperatura ambientale 10°C avremmo 86°C e saremo dunque in specifica sotto i 125°C. Ciononostante il *package* risulterebbe molto caldo. Per limitare il problema termico si può aggiungere una aletta di raffreddamento, che permetterebbe di abbassare la

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%).

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...+40°C a 0°C...+40°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, per cui non permettono di operare al disotto di 0°C. Molti regolatori della serie 78xx hanno diverse varianti e supportano oltre allo 0°C anche -40°C, come temperatura operativa minima. 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. 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 LM3940 con *drop-out* massimo di 1V, si potrebbe avere in ingresso V_{in} 4.5V. Fornendo una corrente di 1A, si avrebbe un'efficienza di:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_i} \cdot 100 = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_i \cdot I_{out}} \cdot 100 = \frac{3.3 \cdot 1}{4.5 \cdot 1} \cdot 100 = 73\%$$

Ovvero un'efficienza del 73%, che per un LDO non è niente male. 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 2V tipici. 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.

Rifacendo una semplice analisi termica per il regolatore lineare LM3940, si ha una resistenza termica tra giunzione e ambiente pari a 23°C/W. Questa volta V_{in} massima è pari a 5.5V e V_{out} è 3.3V. Per cui al massimo, fornendo 1A al carico, il regolatore si trova a dissipare 2.2W, che porta un aumento di temperatura pari a 51°C. L'integrato, supportando una temperatura di giunzione massima pari a 125°C, comporta che quella ambientale potrebbe essere 72°C, ovvero supporterebbe 60°C per applicazioni commerciali, senza grandi problemi, ovvero senza necessitare di aletta di raffreddamento...però sarebbe caldo e il contenitore non deve essere di plastica o si fonderebbe.

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 uA7805, 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 non sono specificati, ma in generale è bene prendere almeno il 30% di tolleranza sui valori limiti di protezione della corrente. Valori del 10% o inferiori, sarebbero ottimi, e sarebbero certamente specificati nel datasheet come peculiarità del regolatore lineare. Con una tolleranza del 30% vorrebbe dire che il regolatore farebbe passare al minimo 1.54A, che sarebbe anche ai limiti per garantire 1.5A di corrente massima. Probabilmente non è un caso, ma i dettagli tecnici di questo tipo non sono disponibili sul datasheet.

Nota questa corrente, bisogna scegliere un fusibile che garantisca di fondersi con questa corrente. In parte il regolatore lineare proteggerà, 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 1.54A 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 1.6A potrebbero fondere anche a 2A. 2A sarebbero decisamente troppi per un caso di 1.54A.

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 – 40°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.

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. Nel caso del progetto in questione, dal momento che non sono presenti i resistori del partitore di tensione che appartiene al loop di controllo, 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*)

Nel caso in cui fosse possibile accedere al partitore di tensione che riporta una percentuale della tensione di uscita all'ingresso dell'anello di controllo, sarebbe 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. Se il regolatore lineare ha però un condensatore integrato, in parallelo al partitore di tensione, 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.

In altri progetti mostrerò tali dettagli, associati alla misura del margine di fase e guadagno associati ad una funzione di trasferimento. Vediamo ora qualche dettaglio sugli altri 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 3, 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.

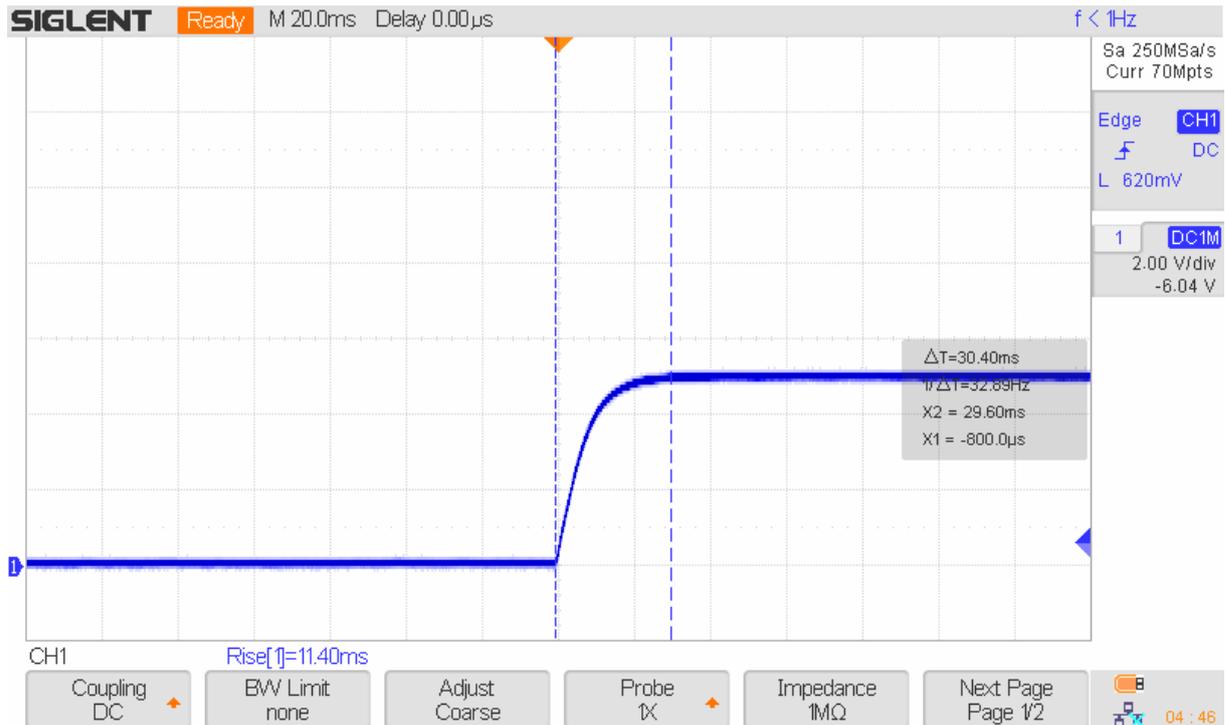


Figura 3: Risposta di V_{out} con semplice carico di 10ohm.

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 4 mostra che è presente un piccolo *undershooting*.

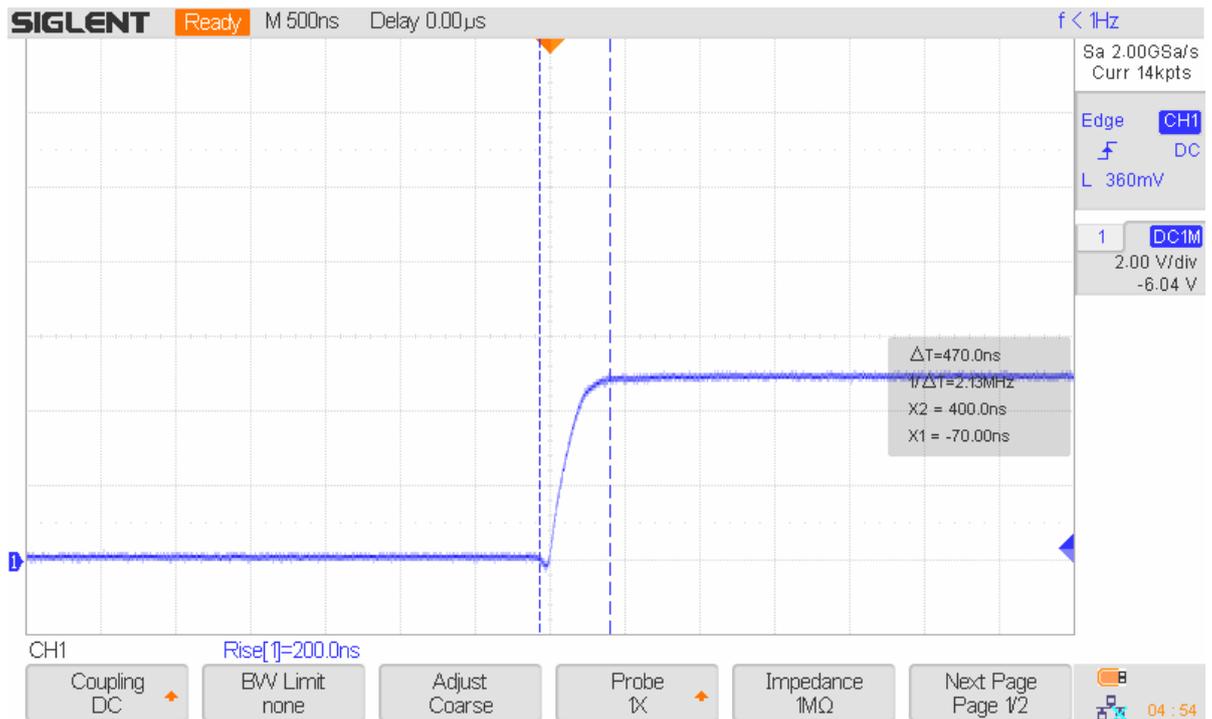


Figura 4: Risposta di V_{out} con semplice carico di 10ohm e controllo con PMOS.

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 5. 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 6 mostra il dettaglio di una sonda per oscilloscopi classica.



Figura 5: Sonda dell'oscilloscopio con molla di massa corta.



Figura 6: 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 3 e Figura 4 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 LM3940 e L7805, è possibile vedere che il fronte di salita e discesa è modificato notevolmente (Figura 7 e Figura 8). In particolare CH1 (verde) è V_{in} , impostata per raggiungere 12V. CH2 (Blu) è la tensione di uscita al regolatore. L'impulso di attivazione è impostato di 30ms e periodo 4s.

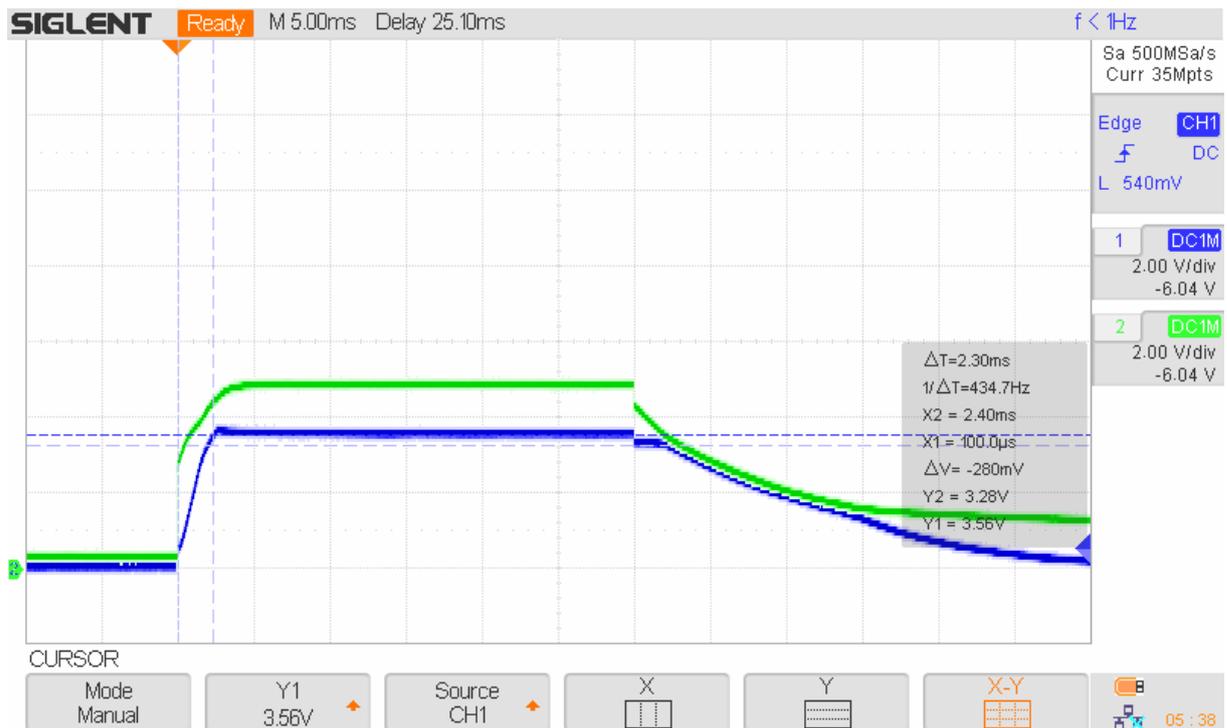


Figura 7: Risposta di V_{out} con carico di 10ohm, controllo con PMOS – scheda con LM3940 ($V_{in}=5V$ $V_{out}=3.3V$).

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*).

Le caratteristiche mostrate dal regolatore LM3940 e L7805 sono molto simili. Con la scala dei tempi e guadagno verticale impostati nell'oscilloscopio, la Figura 8 risulta un poco più interessante rispetto alla Figura 7, per cui si prederà come esempio.



Figura 8: Risposta di V_{out} con carico di 10Ω , controllo con PMOS – scheda con L7805 ($V_{in}=12V$ $V_{out}=5V$).

V_{in} seguendo V_{out} , sale inizialmente molto rapidamente, arrivati a circa 2V in ingresso, probabilmente qualche cosa si comincia ad attivare nel regolatore, sebbene non siamo ancora nella zona di regolazione. Non avendo i dettagli sull'integrato spesso alcune cose possono essere solo supposte. 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 può far supporre che il regolatore si sta comportando quasi come un generatore di corrente, caricando con corrente costate i condensatori di uscita. V_{in} sale ancora molto rapidamente. Quando V_{in} raggiunge circa i 2V sopra 5V (impostati per V_{out} dal regolatore L7805), il regolatore inizia a lavorare correttamente. I condensatori di uscita sono stati caricati a 5V, dal momento che V_{out} non varia più, per cui sono presenti solo le capacità in ingresso da caricare fino a raggiungere 12V. La corrente di carica è questa volta limitata dal sistema ovvero dal carico di 10Ω 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 7V, ovvero 2V superiori a 5V per mantenere la regolazione, 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 4 secondi. Si può notare che quando arriva il nuovo impulso, osservando sulla sinistra di Figura 7 e Figura 8, la linea verde, ovvero V_{in} , è quasi a 0V, ovvero i condensatori di uscita si sono praticamente scaricati, sebbene sia possibile vedere ancora un poco di carica. 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 $3A/\mu s$. 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 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, garantiscono comunque 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 limitari 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 LM3940. In Figura 9 è mostrato il dettaglio alla risposta di un transiente tra 100mA e 1A con *slew rate* pari a $3A/\mu s$. La misura mette in evidenza che non ci sono oscillazioni sulla tensione di uscita (canale verde). 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 Imon del carico attivo e non riflette l'effettivo transiente di corrente. Il manuale non specifica la banda del canale di uscita Imon, 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.

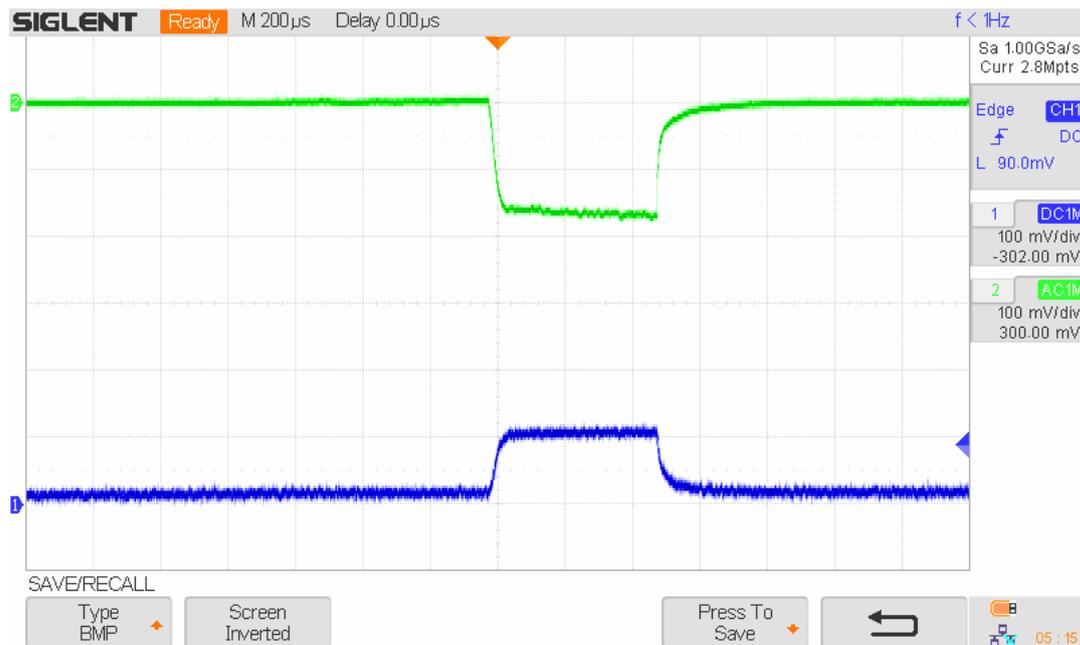


Figura 9: Risposta di V_{out} del regolatore di tensione LM3940 al transiente di corrente 100mA-1A.

Lista Componenti

Resistori

R1 = 560Ω 1% 1/2 W metallico (Vin max 12V)

R2 = 560Ω 1% 1/2 W metallico (Vout max 12V)

R1 = 2.2KΩ 1% 1/2 W metallico (Vin max 32V)

R2 = 2.2KΩ 1% 1/2 W metallico (Vout max 24V)

Diodi

D1 = 1N5819

D2 = 1N5819

D3 = 1N5819

D4 = 1N5819

D5 = LED verde formato 3mm

D6 = 1N5819

D7 = LED verde formato 3mm

Condensatori

C1 = 100nF 100V

C2 = 470μF 63V 105°C

C3 = 470μF 63V 105°C

C4 = 100nF 100V 105°C

C5 = 330μF 50V 105°C

C6 = 330μF 50V 105°C

IC

U1 = 78xx e LM3940-33 (vedere Tabella 1)

Connettori

J1 = connettore 1x2 con viti

J2 = connettore 1x2 con viti

F1 = porta fusibili PCB

Fusibile = 1.25A LittleFuse



Nota

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 10 può tornare utile per trovare un componente di interesse durante il montaggio.

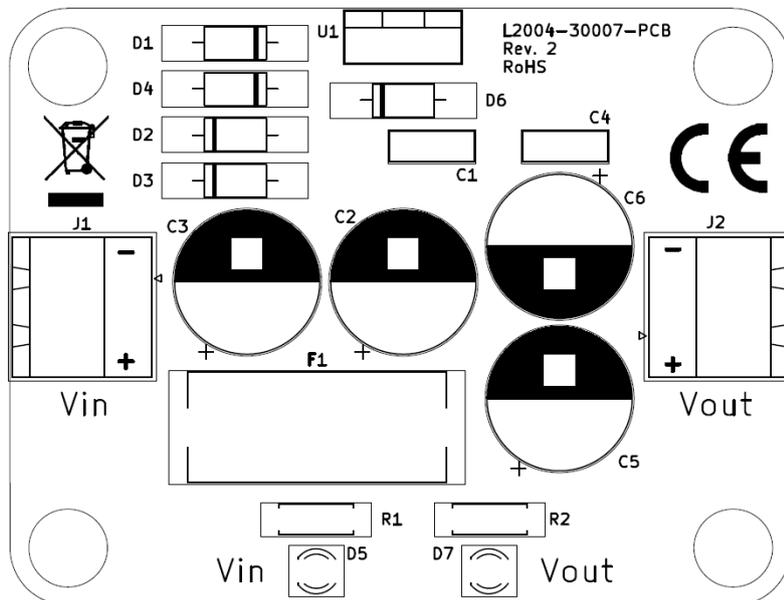


Figura 10: *Disposizione dei componenti.*

La rappresentazione 3D del sistema assemblato è mostrato in Figura 11.

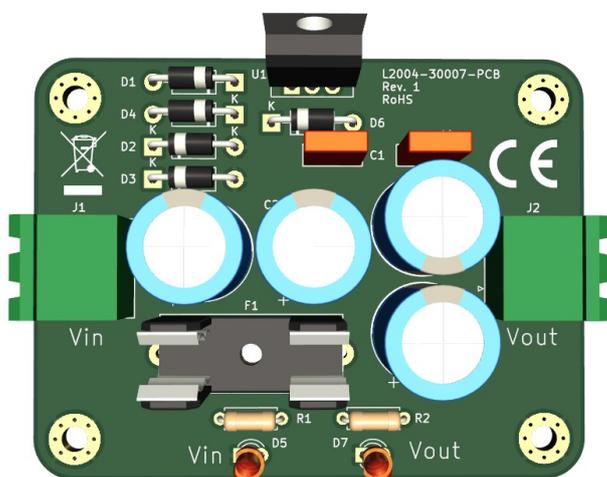


Figura 11: *Modello 3D del sistema.*

Opzioni di assemblaggio

La scheda di sviluppo mostrata è stata verificata con i regolatori lineari uA7805, L7805CV3 e LM3940. 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 12 e Figura 13.



Figura 12: Sistema a montaggio ultimato.

A seconda del regolatore lineare montato e varianti sui resistori e connettori, il sistema può differire per questo sono mostrate le due varianti. In particolare il *package* TO220 di Figura 13 si nota che è più sottile di quello usato in Figura 12.

In particolare quello di Figura 12 è quello usato da TI per i regolatori uA7805 e LM3940. Da questa differenza, non sorprende che la resistenza termica R_{thja} mostrata dal *package* usato da ST sia notevolmente maggiore di quello usato da TI, ciononostante, oltre allo spessore del *package* che si comporta come aletta di raffreddamento, il tipo di lega metallica usata può far la differenza. Queste informazioni non sono mostrate nel datasheet, ma dal valore della resistenza termica tra giunzione e ambiente, si può vedere quale sia migliore.



Figura 13: Sistema a montaggio ultimato.

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 rifletta la tensione del regolatore lineare montato. 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.....	21	R	
Connettori.....	21	Resistori.....	21
D		S	
Dimensioni.....	4	schema elettrico.....	5
Diodi.....	21	T	
I		Temperatura Ambiente.....	4
IC.....	21	V	
L		Versione.....	4
Lista Componenti.....	21	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.
24/09/24	1.1	Mauro Laurenti	<ul style="list-style-type: none">• Migliorati alcuni paragrafi e rimossi errori di battitura.