



Isidoro KZ (IsidoroKZ)

STRINGHE DI LED I - ALIMENTAZIONE CON RESISTORI

11 November 2010

Sommario

Quando si vogliono accendere molti led in serie si presenta il problema della **stabilizzazione della corrente** al variare della tensione di alimentazione. Una semplice resistenza puo` non essere la migliore soluzione se la tensione di alimentazione varia, e maggiore e` il numero di led in serie, peggiore e` la regolazione (e precisione) della corrente. In questa serie di articoli si analizzano brevemente le prestazioni della regolazione a resistore per poi passare ad illustrare alcune possibili soluzioni, in cui la corrente delle **stringhe di led** e` mantenuta costante (e controllabile) con circuiti a transistori.

Introduzione

Quando e` necessario accendere un **numero elevato di led**, e` conveniente, dal punto di vista del rendimento complessivo, collegarli in serie. In questa maniera e` possibile usare un solo circuito di controllo della corrente che alimenta una stringa di led.

La soluzione piu` semplice ed economica per il controllo della corrente consiste nell'alimentarli attraverso una resistenza. Quanti se ne possono collegare in serie dipende dalla tensione dei led, dalla tensione disponibile e da quanto stabile si vuole che sia la corrente attraverso i led.

Soluzioni piu` sofisticate prevedono l'uso di un convertitore a commutazione, un boost o un buck per l'alimentazione dei led a corrente costante, come ad esempio in [questo caso](#), dove e` usato un convertitore boost oppure [in quest'altro caso](#) dove e` usato una topologia buck.

Soluzioni di complessita` intermedia fra un semplice resistore e un convertitore a commutazione fanno uso circuiti analogici, realizzati con integrati piu` o meno dedicati o con circuiti a transistori discreti.

In questo articolo saranno brevemente analizzati i circuiti a resistori per poi passare in un secondo articolo ad uno studio piu` approfondito dei circuiti lineari di stabilizzazione della corrente per stringhe di led collegati in serie.

Da ricordare che i led in serie possono soffrire di problemi di affidabilità: se un led si guasta aperto, tutta la serie si spegne, se si guasta in corto, la corrente potrebbe variare.

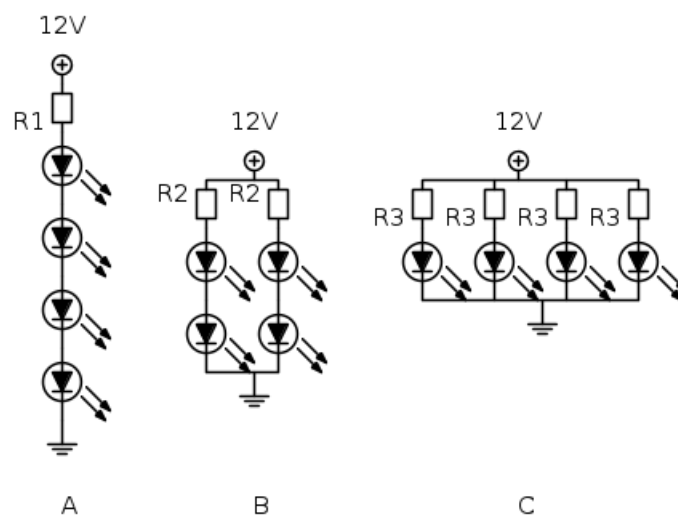
D'altra parte è sconsigliabile collegare i led in parallelo a causa delle tolleranze costruttive dei led. La luce dipende linearmente dalla corrente di led, e la corrente a sua volta dipende *esponenzialmente* dalla tensione applicata al led. Piccole differenze costruttive fra led connessi in parallelo possono causare grandi differenze nella luce emessa.

Con la connessione in serie invece tutti i led lavorano con la stessa corrente ed emettono all'incirca la stessa intensità luminosa.

Alimentazione con resistore

La soluzione più economica per alimentare in corrente uno o più led, collegati in serie, consiste nel collegare in serie ai led un resistore che ne determina la corrente. La condizione indispensabile che deve essere rispettata è che la tensione disponibile sia maggiore della somma delle tensioni dei led collegati in serie. Data una tensione di alimentazione V_{al} , e dei led che richiedono ciascuno una tensione V_{led} , il numero massimo n di led uguali che si possono collegare in serie è sicuramente minore o uguale a $n = \frac{V_{al}}{V_{led}}$

Consideriamo ad esempio di voler accendere 4 led in queste condizioni nominali: tensione di alimentazione di 12V, tensione di funzionamento del led di 2.1V, corrente di led 20mA. Dato che la tensione di alimentazione di 12V è comunque maggiore della somma della tensione dei 4 led, 8.4V, ci sono almeno 3 schemi possibili, come mostrato in figura.



Se la tensione di alimentazione fosse stata solo di 8V, la soluzione A non sarebbe stata possibile.

Anche i gatti (absit iniuria verbis) sanno come calcolare il valore delle resistenze: $R = \frac{V_{al} - nV_{led}}{I_{led}}$ dove V_{al} è la tensione di alimentazione, V_{led} la tensione di ogni led, n il numero di led che si vogliono mettere in serie e infine I_{led} la corrente per il led.

Nell'esempio i valori delle resistenze risultano essere $R_1 = \frac{12V - 4 \cdot 2.1V}{20mA} = 180\Omega$ e analogamente per gli altri due casi si trova $R_2 = 390\Omega$ e $R_3 = 495\Omega \approx 510\Omega$. Con un valore commerciale di $R_3 = 510\Omega$ la corrente nominale del caso C è di 19.4mA, close enough!

La scelta fra i tre circuiti dipende da alcune considerazioni su sicurezza di funzionamento, rendimento e stabilità della corrente.

Affidabilità

Come detto in precedenza, se tutti i led sono in serie e uno si guasta diventando un circuito aperto, si perde tutta la stringa. La soluzione A è quindi, da questo punto di vista la scelta peggiore, mentre la soluzione C è la migliore. Se il led si guasta in corto, la corrente negli altri led aumenta, nel caso A si hanno 31.7mA nei led superstiti, nel caso B il led che sopravvive a quello in corso subisce una corrente di 25.4mA, mentre nel caso C i led superstiti non hanno variazioni di corrente. Il calcolo della corrente si fa usando a rovescio la formula data prima, inserendo l'effettivo numero m di led rimasti in serie in una stringa: $I_{led} = \frac{V_{al} - mV_{led}}{R}$ e assumendo, worst case, che il led guasto sia diventato un cortocircuito ideale.

Dal punto di vista dell'affidabilità, la soluzione A appare essere la peggiore. Si possono ottenere dei miglioramenti sull'affidabilità del circuito A, ma a prezzo di complicazioni circuitali, che rischiano di ridurre l'affidabilità di tutto il sistema.

Rendimento

Consideriamo ora il rendimento dei tre circuiti definito come potenza assorbita dai led divisa per la potenza complessiva fornita dall'alimentazione: $\eta = \frac{P_{led}}{P_{alim}} = \frac{nV_{led}I_{led}}{V_{alim}I_{alim}}$, dove con n si è indicato il numero complessivo di led, e le tensioni e correnti sono quelle di ciascun led o la tensione e la corrente totale assorbita dall'alimentazione.

Nella soluzione A la potenza assorbita dai 4 led vale $P_{led} = 4 \cdot 2.1V \cdot 20mA = 168mW$ mentre la potenza assorbita dall'alimentazione è

data da $P_{\text{alim}} = 12\text{ V} \cdot 20\text{ mA} = 240\text{ mW}$ e quindi il rendimento vale $\eta_A = \frac{168\text{ mW}}{240\text{ mW}} = 70\%$

Nello schema B la potenza complessiva dei led e` sempre lo stessa, ma cambia la potenza prelevata dall'alimentazione, perche' ci sono due stringhe in parallelo, e il consumo di corrente sale a 40mA. La potenza assorbita dall'alimentazione vale qui $P_{\text{alim}} = 12\text{ V} \cdot 2 \cdot 20\text{ mA} = 480\text{ mW}$ e il rendimento scende a $\eta_B = \frac{168\text{ mW}}{480\text{ mW}} = 35\%$.

OUCH!

Per calcolare il rendimento si puo` fare in un modo piu` semplice: basta dividere la tensione ai capi di ciascuna serie di led (resistenza esclusa) per la tensione di alimentazione. Si vede che nel secondo caso il rendimento vale appunto

$\eta_B = \frac{2 \cdot 2.1\text{ V}}{12\text{ V}} = 35\%$. Nel caso C il rendimento invece *precipita* a $\eta_C = \frac{2.1\text{ V}}{12\text{ V}} = 17.5\%$. OUCH! OUCH! OUCH! That hurts!

Ci sono svariate buone ragioni per cui un rendimento basso e` inaccettabile. In sistemi alimentati a batteria, sprecare energia significa ridurre l'autonomia del dispositivo. In sistemi in cui invece c'e` tutta la potenza che si vuole, possono esserci problemi di riscaldamento per eccesso di potenza dissipata. E ci sono casi in cui questo capita, ad esempio quando si devono mettere tanti led chiusi da una copertura di plastica sigillata, copertura che puo` rimanere al sole per ore...

Dal punto di vista del rendimento il circuito C e` indubbiamente il peggiore, mentre il migliore e` il circuito A.

Stabilita` della corrente

Il mondo sarebbe molto piu` bello se:

- Tutti volessero bene ai mici, dando loro tante coccole e pesce
- (metteteci quello che desiderate)
- ... (altri desideri a scelta)
- I componenti elettronici fossero ideali!

Purtroppo i componenti ideali non esistono, e bisogna considerare che cosa capita quando i vari parametri non sono quelli nominali che avevamo usato (un po' incautamente) durante il progetto.

La luce emessa da un led dipende dalla corrente che attraversa il led, dal modello del led, dalla dispersione dei suoi parametri, dalla temperatura... In questo contesto preoccupiamoci della corrente che scorre nel led, che vale, come visto prima,

$$I_{\text{led}} = \frac{V_{\text{al}} - nV_{\text{led}}}{R}$$

Una variazione di qualunque parametro nella parte destra della formula, vale a dire V_{al} , V_{led} o R , fa variare la corrente del led. La tecnica generale per valutare la dipendenza di una grandezza in funzione delle variazioni di parametri e componenti, ben nota e sfruttata in molti campi, e' conosciuta con il nome di analisi della sensibilita', o sensitivity analysis. Il calcolo della sensitivity richiede di valutare una derivata e per il caso di led alimentati con resistenza l'analisi e' mostrata come esempio in [6].

Tuttavia per questo circuito, molto semplice, si puo' anche procedere "a mano". Altre tecniche di per valutare l'influenza dei cambiamenti di parametri e componenti in un circuito sono l'analisi Montecarlo, l'analisi di caso peggiore (worst case)... Nel seguito si fara' a mano anche una worst case analysis.

In pratica si tratta di determinare come devono cambiare i vari parametri per massimizzare o minimizzare il valore della corrente di led, trovando cosi' il caso peggiore. Analizzando la formula, si nota che se si vuole calcolare la massima corrente che attraversa il led, dobbiamo maggiorare il numeratore $V_{al} - nV_{led}$ e prendere il denominatore R piu' piccolo possibile.

Dobbiamo quindi conoscere la tensione di alimentazione massima, la tensione di led minima e la resistenza di limitazione minima. Se invece vogliamo trovare la corrente minima attraverso i led, si procede al contrario: tensione di alimentazione minima, tensione di led massima e valore massimo della resistenza.

Proviamo a mettere qualche valore. Il piu' semplice e' la resistenza: la sua tolleranza, cioe' la sua variazione massima, e' dichiarata dal costruttore. Potrebbe essere ad esempio 5% o 2%, 1% o anche minore per applicazioni di precisione. In questo caso assumiamo che la tolleranza sia del 5%.

La tensione nominale di led e' stata assunta di 2.1V, ma in realta' varia da un led all'altro, anche se hanno la stessa sigla. Possiamo prendere ad esempio una variazione di ± 0.25 V e quindi $1.85 \text{ V} \leq V_{led} \leq 2.35 \text{ V}$.

La stabilita' della tensione di alimentazione dipende dall'applicazione. All'interno di un sistema elettronico la tensione di alimentazione e' quasi sempre stabilizzata, e quindi si puo' fare affidamento su un valore di 12V con trascurabili variazioni. Se invece si e' alimentati a batteria, o a bordo di un veicolo, le variazioni possono essere cospicue. Per avere qualche valore con cui fare un conto, supponiamo di avere una variazione della tensione V_{al} di ± 2 V, ci ritroviamo cioe' con una tensione di alimentazione compresa fra $10 \text{ V} \leq V_{al} \leq 14 \text{ V}$.

Con questi dati si possono calcolare le correnti massime e minime nelle tre configurazioni.

Circuito Corrente Iled massima Corrente Iled minima

Condizioni	Val=14V Vled=1.85V	Val=10V Vled=2.35V
A	R=171ohm I=38.6mA	R=189ohm I=3.2mA
B	R=371ohm I=27.8mA	R=409ohm I=12.9mA
C	R=485ohm I=25mA	R=536ohm I=14.3mA

Il circuito A ha delle prestazioni scandalose: si va da una corrente massima quasi doppia, a una corrente minima che accende a malapena i led. Il circuito B si comporta meglio, pur con variazioni grandi, mentre il circuito C ha prestazioni ancora migliori. Il valore reale di corrente che si trova in un circuito puo` assumere qualunque valore fra gli estremi calcolati. Nella maggior parte dei casi la corrente non sara` vicina ai valori estremi, ma in un progetto professionale, specie se il circuito deve essere costruito in molti esemplari, non bisogna fare affidamento sulla buona sorte, perche' la legge di [Murphy](#) e` piu` importante della legge di Ohm, e ha una particolare buona mira contro i progettisti.

In generale, maggiore e` il valore di caduta di tensione sulla resistenza, maggiore e` il valore della resistenza, e minori sono le variazioni di corrente sul led. Una resistenza piu` elevata si comporta in modo piu` simile a un generatore di corrente costante, che ha una resistenza interna infinita.

Conclusioni

Dalle considerazioni e dai calcoli fatti appare evidente che in presenza di una tensione di alimentazione variabile non e` opportuno tentare di stabilizzare la corrente con una semplice resistenza. Anche riducendo il numero di led in serie, si avrebbe comunque una corrente poco stabile, oltre a una efficienza molto bassa.

In questi casi e` opportuno utilizzare un circuito elettronico che controlli in modo attivo la corrente che scorre nella stringa di led. Solo in casi di tensione di alimentazione stabilizzata e` possibile usare una resistenza di controllo della corrente, ricordando che comunque e` sempre presente una tolleranza sul valore della resistenza e sulla tensione diretta che cade su un led. Per mitigare quest'ultimo effetto e` necessario usare un valore di resistenza relativamente elevato, riducendo il numero di led in serie.

I prossimi articoli [3] [4] e [5] analizzeranno alcuni circuiti realizzati a fet, integrati o transistori per la stabilizzazione della corrente di stringhe di led.

Riferimenti

Un articolo introduttivo, ma approfondito, sul comportamento dei led e`:

[1] - **g.schgor** - [La "resistenza" di un LED](#)

Una descrizione del led, del suo funzionamento e utilizzo e` in quest'altro articolo:

[2] - **mir** [Breve descrizione del diodo led](#)

Alimentazione delle stringhe con circuiti integrati o con fet a giunzione

[3] - **IsidoroKZ** [Stringhe di led II - Alimentazione con integrati \(e fet\)](#) Electroyou, 2010

Alimentazione delle stringhe con specchi di corrente e amplificatori di transconduttanza

[4] - **IsidoroKZ** [Stringhe di led III - Alimentazione a bjt](#) Electroyou, 2010

Due esempi di circuiti di alimentazione a bjt con analisi degli errori di corrente

[5] - **IsidoroKZ** [Stringhe di led IV - Esempi a bjt](#) Electroyou, 2010

Calcolo con le sensitivity della stabilita` di corrente nelle stringhe di led

[6] - **IsidoroKZ** [Sensitivity I - Definizioni e applicazioni](#) Electroyou, 2010

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Isidorokz:stringhe-di-led-alimentate-a-corrente-costante>"