

STMicroelectronics propone un'avanzata ed efficiente soluzione per il pilotaggio dei diodi LED, sfruttando le prestazioni dei controllori di potenza monolitici della famiglia VIPerX2A

Una tecnica innovativa per il controllo e la regolazione della luminosità dei LED ad alta efficienza

Fabio Cacciotto
STMicroelectronics - Catania

Nel campo dell'illuminazione, grazie al forte sviluppo delle tecnologie al silicio, stanno sempre più diffondendosi i sistemi basati sulla tecnologia LED, sia in applicazioni automobilistiche (luci posteriori, segnalatori...), sia per l'illuminazione industriale e domestica in genere. Possono dunque essere distinte due branche principali: i sistemi alimentati in bassa tensione e quelli connessi direttamente alla rete elettrica. In quest'ultimo ambito, STMicroelectronics propone un'avanzata ed efficiente soluzione per il pilotaggio dei diodi LED, sfruttando le prestazioni dei controllori di potenza monolitici della famiglia VIPerX2A. Il driver proposto è in grado di pilotare un array di LED ad alta efficienza (ognuno della potenza di 1 watt) nel range europeo di tensione, da 185 a 265 V_{AC}. Inoltre, usando un semplice circuito per raddoppiare la tensione d'ingresso, lo stesso convertitore può essere ali-

mentato rispettando anche le normative elettriche statunitensi. Innovativa è la tecnica di controllo implementata per graduare il duty cycle della corrente d'uscita, che consente di regolare la luminosità dei LED fino al 10% del valore massimo. Il circuito di comando proposto può essere convenientemente usato nell'illuminazione di giardini, parchi, strade, parcheggi, colonnine spartitraffico, pannelli di visualizzazione da esterni e così via. Grazie inoltre alla possibilità di regolazione graduale della intensità luminosa, questa tecnica può essere applicata per luci d'ambiente, luci decorative e luci per architettura d'interni.

Teoria dell'illuminazione

Le lampade a incandescenza sono fondamentalmente degli "scaldaria" elettrici che emettono luce come sottoprodotto. Esse sono, in altre parole, piuttosto inefficienti perché dissipano la maggior parte

dell'energia assorbita in calore.

Le sorgenti luminose a LED offrono invece innumerevoli vantaggi e rappresentano una valida alternativa alle sorgenti luminose tradizionali in numerose applicazioni sia domestiche sia commerciali.

Grazie alla loro tecnologia innovativa, l'efficienza luminosa ha raggiunto, a seconda del colore, livelli superiori a 25 lm/W, e si prevede entro il 2005 la produzione di dispositivi con efficienza luminosa di circa 60 lm/W.

La superiore durata di vita media permette, inoltre, di ammortizzarne il maggior costo. Diversamente dalle lampade tradizionali, i LED non sono soggetti a consumarsi, né a bruciare improvvisamente. La vita media di una sorgente LED di buona qualità è generalmente indicata in 10 anni o 100000 ore di funzionamento, almeno 10 volte maggiore di quella di una normale lampada; il che contribuisce, se non a

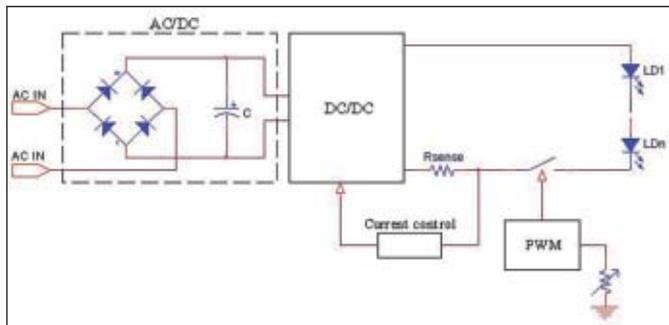


Fig. 1 – Tecnica di regolazione tradizionale basata su un interruttore di potenza in serie

eliminare del tutto i costi di manutenzione (per esempio, negli apparecchi destinati a vivere meno di 10 anni), quantomeno a ridurli drasticamente.

Questi vantaggi sono utili soprattutto nelle applicazioni critiche, in cui la sostituzione delle lampade può essere difficoltosa (torri di controllo negli aeroporti, gallerie autostradali), o nelle applicazioni in cui la mancanza improvvisa dell'illuminazione può produrre gravi conseguenze (luci d'emergenza e di sicurezza).

Oltre alla maggiore efficienza luminosa, i LED presentano il fascio luminoso altamente coerente, consentono di controllare dinamicamente sia il colore sia l'intensità luminosa, sono caratterizzati da una bassa tensione di alimentazione che ne permette l'utilizzo in sistemi SELV (Safety Extra Low Voltage). L'attuale unica limitazione è il maggior costo di produzione, ancor oggi relativamente alto.

La regolazione graduale

Grazie alla continua evoluzione dei moderni processi di fabbricazione e delle tecnologie di trasferimento del calore, le sorgenti luminose non cessano di progredire. Tale evoluzione coinvolge soprattutto i LED prodotti in tecnologia InGaN, capaci di generare luce blu, viola, verde e bianca con alta efficienza e affidabilità. Un metodo diffusamente utilizzato per variare l'intensità luminosa nei LED è quello di regolare sia la corrente sia la tensione del dispositivo. Sfortunatamente, a causa delle caratteristiche chimico-fisiche dell'InGaN, la lunghezza d'onda della luce emessa è strettamente dipendente dalla corrente di pilotaggio. Tale effetto risulta tanto più evidente quanto più alta è la lunghezza d'onda del raggio emesso. Nella maggior parte delle applicazioni l'effetto non può essere tollerato, pertanto è

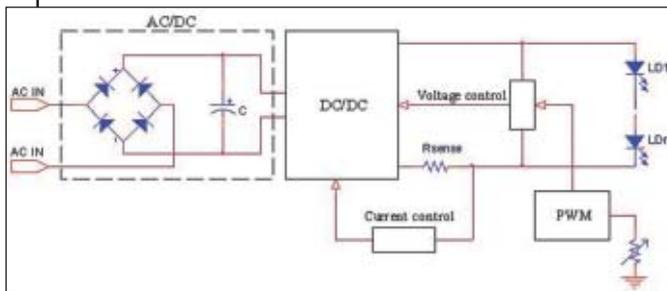
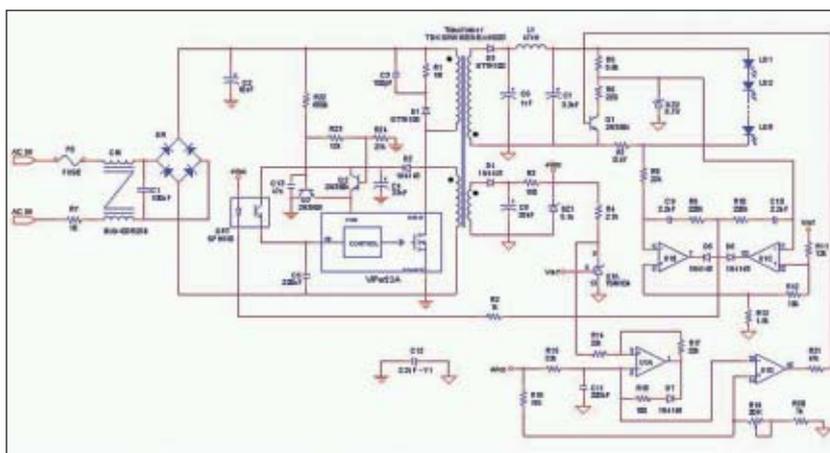


Fig. 2 – Tecnica di regolazione basata su un doppio anello di controllo in corrente e in tensione

Fig. 3 – Schema del convertitore realizzato in accordo alle specifiche di tensione europee



necessario ricorrere a una tecnica di regolazione PWM in grado di modulare la luminosità senza variazione della lunghezza d'onda.

Si tratta in realtà di una tecnica nota secondo cui i LED si devono accendere e spegnere seguendo il duty cycle della corrente I_F che li attraversa. Se la frequenza PWM è maggiore di 100 Hz, l'occhio umano non riesce a percepire i singoli impulsi, ma interpreta tale sequenza come una luminosità continua che può essere regolata linearmente variando il duty cycle, mantenendo al contempo inalterata la lunghezza d'onda di emissione. Come si vede in figura 1, i tradizionali metodi di regolazione sfruttano la connessione in serie ai LED di un interruttore di potenza controllato in PWM, ma, a causa della relativamente alta corrente di lavoro, l'interruttore dev'essere scelto con accortezza per minimizzare le perdite di conduzione. Inoltre, dato che lo switch non è riferito alla massa del convertitore, dovrà essere utilizzato un driver high-side per pilotarlo opportunamente. Per superare questo problema STMicroelectronics ha brevettato una tipologia di controllo che per-

mette di eliminare l'interruttore in serie e il relativo driver, migliorando l'efficienza di pilotaggio dei LED e, nel contempo, diminuendo il costo complessivo del sistema.

La tecnica consiste nell'implementazione di un doppio anello di regolazione: il primo serve a comandare i LED a corrente costante, mentre il secondo limita la tensione d'uscita al di sotto del valore di soglia, indipendentemente dal numero di LED connessi. Ovviamente il loop di tensione dovrà anche limitare la massima tensione in uscita nel caso di completa sconnessione dei LED. In

figura 2 è mostrato lo schema a blocchi del nuovo sistema di regolazione.

La strategia circuittale

Il convertitore proposto è basato sul VIPer22A, un controllore di potenza monolitico della famiglia VIPerX2 che, grazie alla tecnologia VIPower M0 di STMicroelectronics, integra nello stesso chip un controllore PWM "current mode", con relativi circuiti di start-up, sistemi di protezione di corrente e temperatura e uno stadio di potenza realizzato con un Mosfet in tecnologia verticale, con tensione di breakdown pari a 730 V e una corrente di drain di picco pari a 0,7A.

Lo schema elettrico completo è mostrato in figura 3, mentre in tabella 1 sono riportate le specifiche di riferimento per il progetto del convertitore.

Come si evince dallo schema, il driver è realizzato in configurazione flyback isolata a

TABELLA 1 – SPECIFICHE SMPS PER LA SCHEDA DEL CONVERTITORE

Intervallo per la tensione d'ingresso	$85 V_{AC} \div 135 V_{AC} \text{ o } 185 V_{AC} \div 265 V_{AC}$
Intervallo per la tensione nominale d'uscita	$3,5 V \div 28 V$
Tensione d'uscita massima a carico aperto	32 V
Corrente d'uscita	350 mA
Intervallo di regolazione	0% ÷ 90%

corrente costante, in cui un secondo anello di regolazione di tensione è implementato e attivato durante la fase di dimming. Ovviamente, data la particolarità dell'applicazione, sono stati usati alcuni accorgimenti circuitali specifici, non presenti in una configurazione flyback tradizionale.

Dato che la tensione di uscita varia, a seconda del numero di LED connessi, tra 3,5 e 28 V, l'avvolgimento ausiliario sul lato primario è connesso in forward con l'avvolgimento primario invece che con l'uscita, con un rapporto spire tale da avere, sul piedino di V_{DD} del VIPer, una tensione compresa tra 17 e 24 V. Un quarto avvolgimento, anch'esso connesso in forward con il primario, sarà utilizzato per alimentare il TSM104W e l'intero circuito di controllo del dimming. Un circuito di brownout (R_{22} , R_{23} , R_{24} , C_{13} , Q_2 , Q_3) è stato implementato e connesso al piedino di alimentazione del VIPer, e permette di eliminare il fastidioso effetto di sfarfallio dei LED (flickering) che si potrebbe altrimenti verificare, in condizioni di basso carico, quando si disconnette l'alimentazione principale. Un altro punto critico riguarda il dimensionamento del filtro di uscita, poiché i LED vengono accesi e spenti continuamente durante il dimming ed è quindi importante abbassare il più possibile il valore della capacità d'uscita, in maniera da aumentarne al massimo la velocità di risposta durante tali transistori. Dimensionando opportunamente il filtro C_6 - L_1 - C_7 , si può limitare il valore di ripple della corrente in uscita. Valori nell'ordine del 10%, non ammissibili in un convertitore tradizionale, risultano in questo caso accettabili, poiché tale ripple è alla frequenza di switching del power supply (60 kHz) e come tale non percepibile dall'occhio umano.

L'anello di corrente è controllato dall'amplificatore operazionale U_{1B} del TSM104W e dalla resistenza di sense R_7 . Le tensioni di riferimento per i due anelli di controllo sono generate dal partitore resistivo R_{11} - R_{12} - R_{13} connesso al riferimento interno di tensione V_{REF} del TSM104W da 2,5 V. Tali resistenze devono avere una precisione garantita dell'1% per consentire un controllo accurato della regolazione. L'anello di tensione è controllato dall'amplificatore operazionale U_{1C} e dal partitore di tensione R_5 - R_6 direttamente connesso all'uscita. Il transistor $Q1$, posto nella sezione di controllo del dimming, è in saturazione durante le "normali" condizioni di funzionamento (funzione di dimming non attivata). L'anello di retroazione è connesso al primario tramite i diodi D_5 e D_6 , che disaccoppiano i due anelli e comandano l'optoaccoppiatore OPT. Le due serie R_9 - C_9 e R_{10} - C_{10} servono per la stabilizzazione del sistema, mentre il diodo Zener D_{22} è

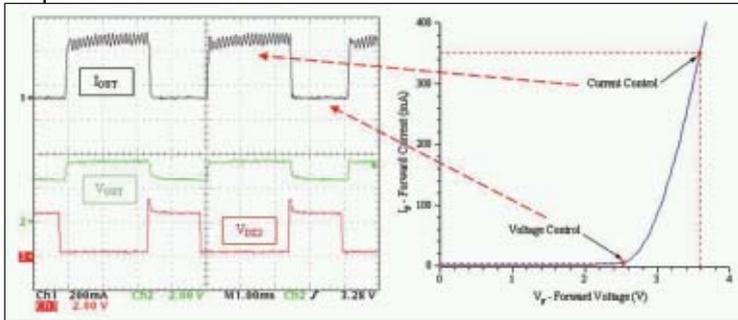


Fig. 4 - Le forme d'onda della regolazione in corrente e in tensione

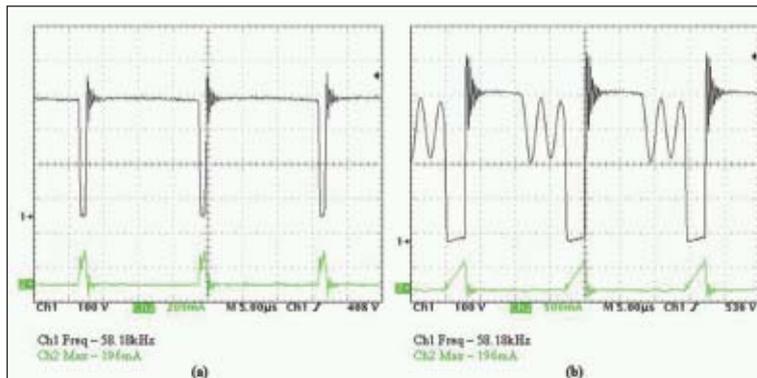
U_{1A} che genera una forma d'onda a dente di sega di 270 Hz (tramite R_{15} e C_{11}), la quale è confrontata con una tensione di controllo variabile dall'utente (tramite il potenziometro R_{19}): ciò serve a generare il segnale di comando per il transistor Q_1 . Quando questo transistor è acceso (on), l'SMPS è in modalità di regolazione della corrente, che viene regolata al suo valore nominale d'uscita (350 mA), mentre quando il transistor è spento (off) il circuito lavora in modalità di regolazione della tensione, limitando la tensione in uscita al di sotto della soglia dei LED, spegnendoli di conseguenza.

È importante osservare che tale tensione non è fissata priori, ma sarà automa-

ticamente determinata dalla modalità di controllo. Quando il transistor Q_1 viene spento, la tensione sul pin 11 di U_{1C} aumenta, saturando l'operazionale. Di conseguenza, il VIPer smette di commutare fino al successivo ciclo di dimming e la corrente d'uscita diminuirà fino a zero seguendo la caratteristica di figura 4b. Contemporaneamente i condensatori d'uscita si scaricheranno fino al valore $V_{OUT} = nV_{F(off)}$, dove n è il numero dei LED connessi e $V_{F(off)}$ è la tensione di soglia. A questo punto il power supply si troverà in una condizione d'alta impedenza d'uscita

determinata dai LED stessi ($I_F=0$), impedendo, di fatto, l'ulteriore diminuzione della V_{OUT} . Ciò migliora significativamente le prestazioni dinamiche del regolatore, con un sensibile impatto sull'efficienza [$P_{DISS} = (V_{OUT} - V_{DZ2})^2 / R_5$]. A carico aperto, la tensione massima è regolata a 32 V da R_5 , R_6 e DZ_2 .

Fig. 5 - Tensione drain-source V_{DS} e corrente di collettore drain I_D a 230 V con 1 (a) e 8 (b) LED



connesso all'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale di controllo della tensione, in modo da limitare su quel pin il massimo valo-

re della tensione in qualsiasi condizione operativa. Il controllo PWM è implementato usando l'amplificatore operazionale

Fig. 6 - Tensione V_{DS} e corrente d'uscita I_{OUT} con il 50% di regolazione e con 1 (a) e 8 (b) LED

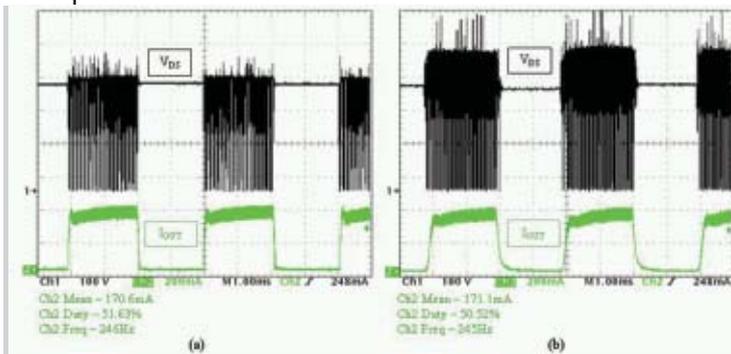
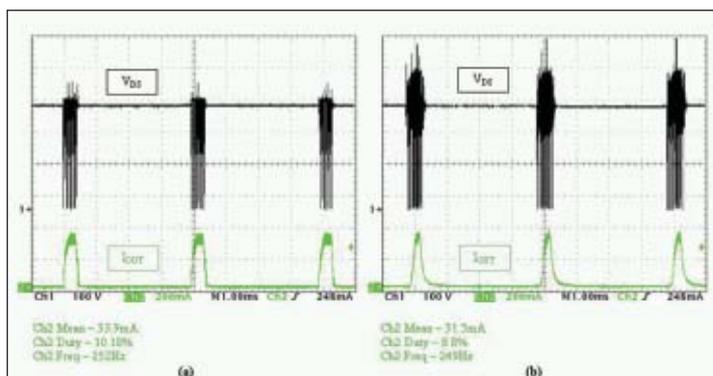


Fig. 7 - Tensione V_{DS} e corrente I_{OUT} con la regolazione al 10% e con 1 (a) e 8 (b) LED



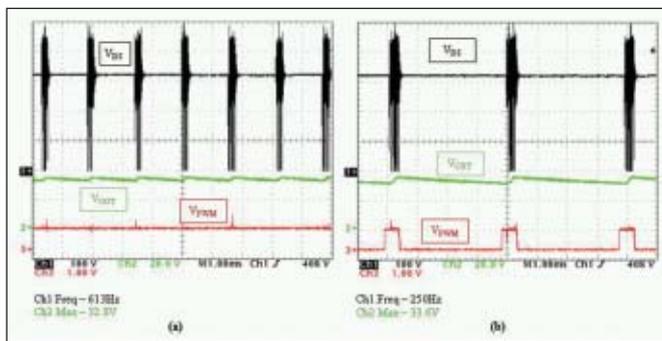


Fig. 8 – Tensione V_{DS} e tensione d'uscita V_{OUT} senza regolazione (a) e con regolazione minima (b)

I risultati sperimentali

Allo scopo di analizzare il driver in condizioni di funzionamento reale, è stata effettuata un'analisi sperimentale in varie condizioni operative, connettendo in uscita un array da 1 a 8 LED, ognuno della potenza di 1 W. Nella figura 4 sono mostrate le forme d'onda tipiche durante la fase di dimming, nell'ipotesi in cui un solo LED sia connesso in uscita. Durante la fase di "current control", la corrente d'uscita è mantenuta costante e la tensione è fissata dalla caratteristica d'uscita del LED (3,5 V tipici per i LED da 1 W). Durante la fase "voltage control", la tensione d'uscita è limitata al valore di soglia dei LED, mentre la corrente automaticamente si annullerà. Si noti come durante i cicli di dimming la tensione d'uscita che dovrà essere "recuperata" è di circa 1 V per ogni LED. Ciò comporta una maggiore velocità di risposta del sistema. Nelle figure 5a e 5b sono riportate, rispettivamente, la tensione drain-source e la corrente di drain del VIPer a carico minimo (1 LED) e massimo (8 LED), alla tensione d'ingresso nominale (230 V_{AC}).

Le figure 6 e 7 mostrano la corrente d'uscita e la tensione fra drain e source durante la fase di dimming. Come si può notare, il driver è in grado di regolare la luminosità fino al 10% del valore massimo in qualsiasi condizione operativa. In figura 8 è possibile, infine, osservare la tensione di drain-source e la tensione d'uscita in open load. In queste condizioni la tensione d'uscita è limitata a circa 33 V sia in assenza sia in presenza di regolazione.

Il rendimento è uno dei parametri fondamentali del sistema poiché, rispetto a una soluzione tradizionale, è uno dei vantaggi della nuova tecnica di regolazione della luminosità. In figura 9 viene mostrato l'andamento a tensione nominale, variando il numero di

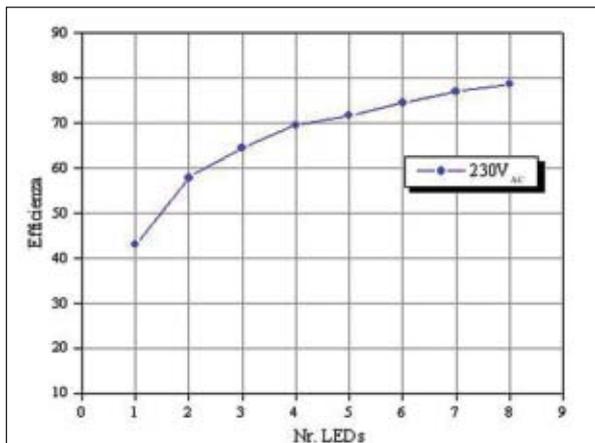


Fig 9 – Efficienza

LED in uscita: in condizioni di massimo carico, il sistema presenta un rendimento prossimo all'80%. In conclusione è possibile affermare che l'utilizzo di questa innovativa strategia di controllo della luminosità produce indubbi benefici, rispetto alle tecniche tradizionalmente utilizzate, sia in termini di efficienza del sistema sia relativamente alla diminuzione del costo complessivo, grazie all'eliminazione dello switch di potenza e dei relativi driver di controllo.

Tutto ciò offrendo prestazioni stabili grazie all'ottimizzazione di tale tecnica di modulazione e al contemporaneo utilizzo dei controllori di potenza della famiglia VIPer, prodotti da STMicroelectronics. La sperimentazione in laboratorio mostra che il prototipo è in grado di controllare la luminosità di un array fino a 8 LED, senza alcuna alterazione nel funzionamento, in qualunque condizione operativa, rendendo il sistema adatto per tali applicazioni emergenti. Ovviamente, in base alla potenza richiesta in uscita e scegliendo opportunamente il VIPer dal portafoglio prodotti a disposizione, la tecnica proposta può essere utilizzata anche per il controllo di sistemi a potenza diversa, sia in termini di corrente di uscita che in numero di LED alimentati, permettendo di coprire la quasi totalità delle esigenze di tale mercato emergente. 

STMicroelectronics
readerservice.it n. 7

N.B. Nel testo di "strategia circuitale" l'autore indica con IC2 l'A.O. che nel disegno si chiama U1C

N.B. Nel testo le figure hanno numeri con + 6, per correggere basta fare -6