

Stefano M (Ste75)

ANALISI BUCK INVERTITO PER PILOTAGGIO LED (PARTE I)

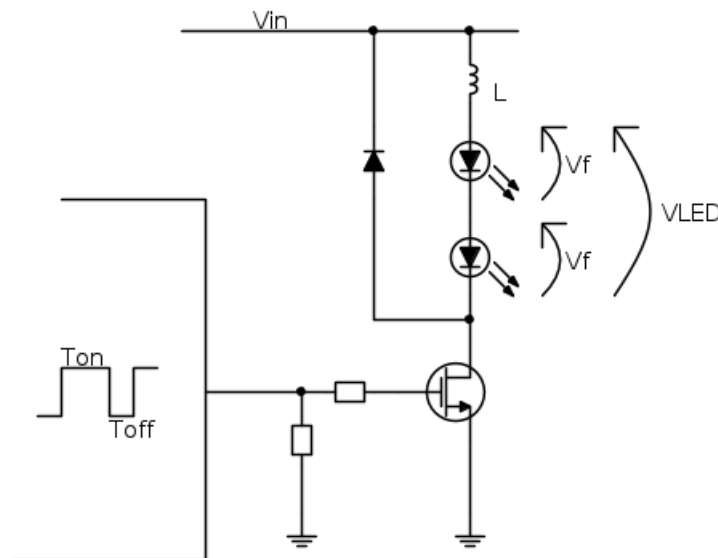
10 January 2012

Introduzione

Il seguente documento tratta l'analisi di un circuito **BUCK**, **ma in configurazione invertita**. Questa configurazione è molto vantaggiosa per realizzare un controllo in corrente (ad esempio in LED di potenza) con interruttore (MOS) tipo N, quindi riferito a massa ad esempio per un pilotaggio tramite microprocessore. Se ben dimensionato e con semplici accorgimenti, è possibile raggiungere **rendimenti superiori al 90%**!

Si considererà solo il funzionamento CONTINUO (o al limite tra continuo e discontinuo) e si vedranno i principali step per il dimensionamento dei componenti più importanti.

Schema di principio del BUCK INVERTITO



Principio di Funzionamento

NB: Considero MOS e DIODO ideali.

Prima Fase: MOS CHIUSO (ton)

Quando il MOS è chiuso la tensione ai capi dell'induttanza è

$$V_L = V_{in} - V_{LED}$$

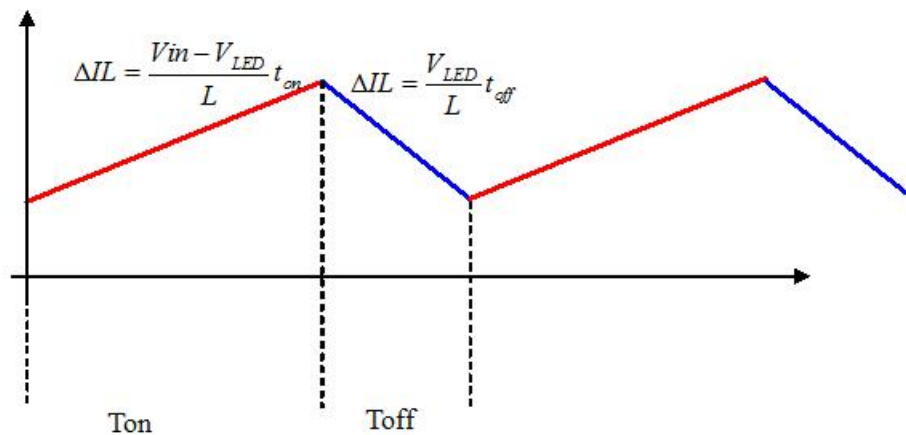
La corrente sale con una rampa secondo questa legge

$$I_L(t) = \frac{V_{in} - V_{LED}}{L} \cdot t$$

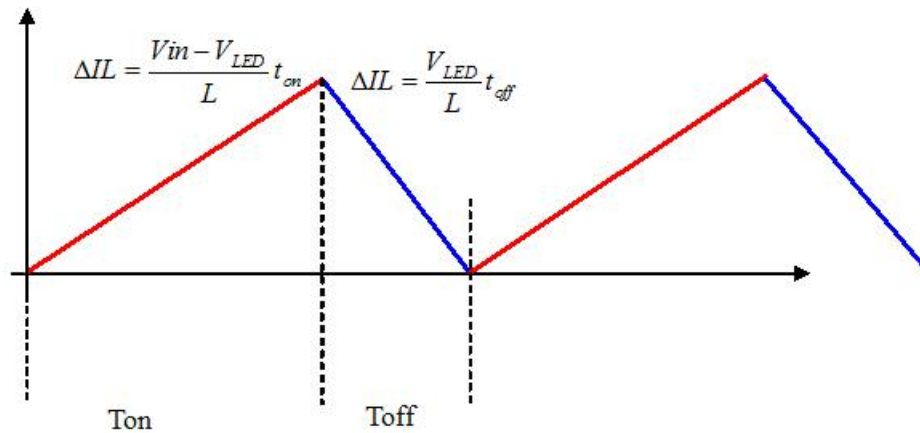
Seconda fase: MOS APERTO (toff)

Quando il MOS si apre, si accende il diodo di ricircolo. La tensione ai capi della induttanza diventa pari a V_{LED} .

La corrente scende sempre a rampa secondo la legge dell'induttore.



Il funzionamento rappresentato dalla figura sopra è detto “in regime continuo”, ovvero quando la corrente nell'induttanza NON si azzerava mai, o al massimo lo fa solo in un punto cioè così:



Nel caso di regime stazionario:

$$\Delta I_{L\text{positivo}} = \Delta I_{L\text{negativo}}$$

quindi

$$\frac{V_{in} - V_{LED}}{L} \cdot t_{on} = \frac{V_{LED}}{L} \cdot t_{off}$$

Ricordando che: $t_{on} = \delta \cdot T$ e che $t_{off} = (1 - \delta) \cdot T$

$$\text{dove } \delta = \text{dutyCycle} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on} \cdot f$$

Sostituendo:

$$\frac{V_{in} - V_{LED}}{L} \cdot \delta \cdot T = \frac{V_{LED}}{L} \cdot T \cdot (1 - \delta)$$

Da cui otteniamo la classica legge del BUCK funzionante in regime continuo (o al limite tra continuo e discontinuo):

$$\delta = \frac{V_{LED}}{V_{in}}$$

NB: Normalmente nel BUCK viene data come $V_{out} = \text{Duty} \cdot V_{in}$

Quindi se ad esempio ho una V_{in} di 12V e un V_f dei LED di 3V, lavorerò ad un Duty del 50%

A questo punto mi chiedo: in che termini influenzano il valore dell'induttanza e la frequenza di lavoro (o il T)?

Semplicemente loro saranno responsabili del DELTA corrente positivo (e negativo, sono per forza uguali, dato che dobbiamo lavorare in regime stazionario) secondo la legge:

$$\Delta I_L = \frac{V_{LED}}{L} \cdot t_{off}$$

In altri termini la frequenza di lavoro e il valore di induttanza saranno responsabili dell'ampiezza del RIPPLE di corrente triangolare.

Esplicitando la frequenza otteniamo:

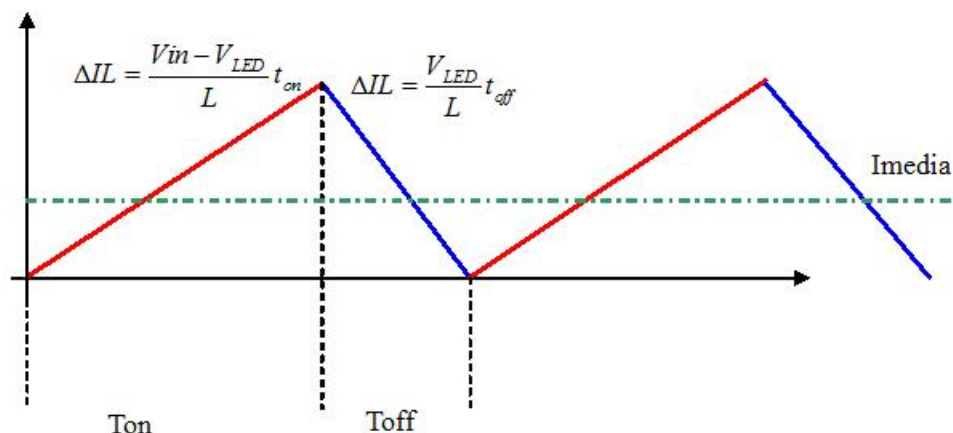
$$\Delta I_L = \frac{V_{LED}}{L} \cdot \frac{(1 - \delta)}{f}$$

Quindi, se aumento la frequenza di lavoro, o aumento il valore di induttanza, riesco ad ottenere ripple di corrente più piccoli. O in altri termini, per avere uno stesso ripple di corrente nel LED, al diminuire del valore di induttanza devo aumentare la frequenza di switching.

Conoscendo il valore medio della corrente voluto nei LED, posso quindi trovare tutti i valori che mi servono.

Metodo di progetto che utilizzo

Un buon metodo potrebbe essere quello di considerare il funzionamento al limite tra continuo e discontinuo e calcolare il valor medio della corrente:



Il valore medio è semplicemente:

$$I_{Media} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_{LED}}{L} \cdot t_{off}$$

Questo valore lo si può ottenere da una qualunque delle formule già citate, in funzione delle variabile che si vuole considerare...

A questo punto, scendendo con la frequenza o il valore di induttanza LE LEGGI SOPRA NON SONO PIU VALIDE (in quanto passiamo in modo discontinuo “pesante”) e la corrente scenderebbe.

Invece aumentando la frequenza o induttanza dalla situazione limite sopra esposta avremmo sempre lo stesso valor medio di corrente, solo con meno ripple.

Esempio pratico

- $V_{in}=12\text{ V}$
- V singolo led 3 V
- I led voluta: 350 mA

Calcolo Duty Cicle di lavoro: 50%

Supponendo di avere a disposizione nel cassetto una 100 uH , 1A calcolo la frequenza di lavoro per stare al limite tra funzionamento continuo e discontinuo:

Partendo da:

$$350\text{mA} = \frac{1}{2} \cdot \frac{6}{100\mu\text{H}} \cdot t_{off}$$

- Ottendo $T_{off}= 11.5\text{ us}$
- Quindi anche $T_{on}= 11.5\text{ us}$ (lavoriamo al 50%)
- Periodo (T)= 23 us
- Frequenza: $>44\text{ kHz}$

Ripeto ancora che se aumento la frequenza (o aumento l'induttanza): meglio, avrò un ripple minore di corrente. Sotto questo valore di freq e/o di induttanza NON posso scendere perchè passo in funzionamento discontinuo.

Considerazione PRATICHE (scelte di progetto) da tenere presente:

- Aumentare la freq significa MOS più performanti e maggiori perdite per switching
- Lavorare con ripple minori permette di avere induttanze con I_{sat} più bassi e meno stress nei led
- Lavorare al limite tra funzionamento continuo e discontinuo, da un vantaggio che il MOS e il diodo vengono accesi a corrente nulla.

- Aumentare l'induttanza significa costi e ingombri maggiori (bisogna sempre porre attenzione alla corrente di saturazione della induttanza e considerare che il valor medio è una cosa, ma poi l'induttanza si becca una corrente triangolare....)
- Il mos e il diodo devono tenere una tensione inversa pari ad almeno V_{in}
- Il diodo sarebbe opportuno fosse SCHOTTKY per migliorare rendimento del convertitore.

Conclusione

La trattazione riguarda la gestione di un BUCK invertito ma IN ANELLO APERTO. Quindi eventuali variazioni delle variabili di ingresso (V_{in} , V_{led} , tolleranza induttanza) comportano una variazione della grandezza di uscita (corrente nel led).

Per chiudere l'anello sarebbe necessario leggere la corrente nel led e darla in input al dispositivo che pilota il MOS il quale risponderà variando il duty cycle.

Ma qui si apre "un mondo":

- Dove meglio leggere la corrente? E come? Con uno shunt sul mos, quindi solo durante il Ton? Sarebbe la soluzione più immediata e semplice... Ma leggo solo una parte del segnale di uscita...
- E la stabilità dell'anello?
- In più, a questo punto potremmo anche lavorare in modalità discontinua, tanto abbiamo un anello che regola... Ma la maggior ragione è importante leggere "bene" la corrente in uscita... lavorare in modo discontinuo sicuramente aiuta la stabilità (non ho memoria del ciclo precedente) ma comporta picchi di corrente più alti...

Insomma, questa è tutta un'altra storia, magari da affrontare in un altro documento...

Parte II

Parte III

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Ste75:analisi-buck-invertito-per-pilotaggio-led>"