



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102019000014715
Data Deposito	13/08/2019
Data Pubblicazione	13/02/2021

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	M	3	158

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	05	F	1	46

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	05	F	1	56

Titolo

DISPOSITIVO DI CONTROLLO PER REGOLATORE DI TENSIONE A COMMUTAZIONE E METODO DI CONTROLLO
--

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

“DISPOSITIVO DI CONTROLLO PER REGOLATORE DI TENSIONE A
COMMUTAZIONE E METODO DI CONTROLLO”

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI 2

20864 AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: LA ROSA Manuela, SICURELLA Giovanni

La presente invenzione è relativa a un dispositivo di controllo per un regolatore di tensione a commutazione e ad un metodo di controllo.

Come noto, i regolatori di tensione a commutazione funzionano secondo diversi schemi, i più diffusi essendo le modalità di controllo buck (riduttore o step-down) e boost (elevatore o step-up). Sono anche noti regolatori (cosiddetti buck-boost) che usano entrambe le modalità di controllo in diverse fasi operative del regolatore, a seconda del valore della tensione d'ingresso e, in particolare, della relazione (maggiore o minore) della tensione di ingresso rispetto alla tensione di uscita.

I regolatori di tensione a commutazione di questo tipo sono basati sulla regolazione del duty cycle, cioè del tempo di accensione e spegnimento degli interruttori e possono

essere rappresentati da un comune diagramma a blocchi, mostrato in figura 1.

Il regolatore di tensione 1 della figura 1 comprende un circuito di commutazione 2 e un dispositivo di controllo 3.

Il circuito di commutazione 2 è qui formato da un primo e da un secondo semiponte 4, 5. Il primo semiponte 4 è formato da un primo interruttore di lato alto o "high side" (primo HSS 11) e da un primo interruttore di lato basso o "low side" (primo LSS 12), accoppiati in serie tra loro tra un primo e un secondo terminale di ingresso 6, 7. Una tensione di ingresso V_i è applicata tra il primo e il secondo terminale di ingresso 6, 7; il secondo terminale 7 è accoppiato ad una linea di potenziale di riferimento (massa) 8.

Il secondo semiponte 5 è formato da un secondo interruttore di lato alto (secondo HSS 13) e da un secondo interruttore di lato basso (secondo LSS 14), accoppiati in serie tra loro tra un nodo di uscita 9 e il secondo terminale di ingresso 7. Una tensione di uscita V_o , riferita a massa, è presente sul nodo di uscita 9 ed è alimentata a un carico 18.

Un induttore 15 è accoppiato tra nodi intermedi del primo e del secondo semiponte 4, 5.

Il dispositivo di controllo 3 comprende un amplificatore di errore 20 avente ingressi accoppiati al

nodo di uscita 9 e a un generatore di tensione di riferimento 21, che fornisce una tensione di riferimento VR. L'amplificatore di errore 20, per esempio un amplificatore operazionale, confronta la tensione di uscita Vo (o una sua partizione) con la tensione di riferimento VR e genera in uscita un segnale di errore che è integrato da uno stadio integratore 22 (per esempio un circuito RC non mostrato) e fornito a un modulatore a larghezza di impulso (modulatore PWM 23).

Il modulatore PWM 23 riceve anche un segnale triangolare (o a dente di sega) TR generato da un generatore di segnale triangolare 25 e genera segnali di commutazione che, mediante rispettivi circuiti di pilotaggio 26, 27, sono usati per controllare l'accensione e lo spegnimento degli interruttori 11-13, in base al tipo di controllo usato. In particolare, il modulatore 23 genera segnali di commutazione rettangolari (on-off) per gli interruttori 11-13 in base all'istante in cui il segnale triangolare TR è uguale al segnale di errore integrato.

In questo circuito, il generatore di segnale triangolare 25 determina la frequenza di lavoro del regolatore di tensione 1 e il modulatore PWM 23 determina la durata degli impulsi rettangolari e quindi il duty cycle del regolatore di tensione 1.

Per esempio, le figure 2, 3, 4 si riferiscono ad un

controllo di tipo buck implementato da un dispositivo di controllo 3'. In particolare, in figura 2, l'amplificatore di errore 20 di figura 1 è implementato da un nodo sottrattore 30 (generante un segnale di tensione di errore VE) e da un amplificatore a trasconduttanza 31 (generante un segnale di corrente di errore IE); lo stadio di integratore 22 di figura 1 è implementato da un controllore proporzionale-integrale 32 (generante un segnale di controllo in tensione VC) e il modulatore PWM è implementato da un modulatore Buck 33, ricevente il segnale triangolare TR avente periodo T e generante un primo segnale di commutazione TON e un secondo segnale di commutazione TOFF, opposti tra loro, come descritto in seguito. Nel circuito di commutazione 2, gli interruttori 11-14 sono implementati da transistori MOSFET a canale N, identificati dagli stessi numeri di riferimento degli interruttori 11-14 di figura 1. Il circuito di commutazione 2 comprende inoltre un resistore di rilevamento 35 accoppiato tra il secondo LSS 12, 14 e massa e un amplificatore 36 (figura 4), avente ingressi accoppiati ai capi del resistore di rilevamento 35 e generante una tensione di rilevamento VCS. Il resistore di rilevamento 35 e l'amplificatore 36 formano un circuito di rilevamento 37 che fa parte di un anello di stabilizzazione di corrente, descritto nel seguito.

Nella modalità di funzionamento Buck, il secondo

semiponte 5 non commuta; in particolare, il secondo HSS 13 è sempre acceso e il secondo LSS 14 è sempre spento. Il primo HSS 11 e il primo LSS 12 commutano in modo opposto e ricevono rispettivamente il primo segnale di commutazione TON e il secondo segnale di commutazione TOFF, mostrati in figura 3.

Il regolatore di tensione 1' di figura 2 è configurato per lavorare con tensioni di ingresso V_i maggiori della tensione di uscita V_o .

Con riferimento anche alla figura 3, e trascurando per il momento l'azione dell'anello di stabilizzazione, il modulatore Buck 33 genera il primo segnale di commutazione TON in modo che questo sia alto quando il segnale di controllo in tensione VC è maggiore del segnale triangolare TR e basso quando il segnale di controllo in tensione VC è minore del segnale triangolare TR (si vedano i primi due cicli di controllo di figura 3, tra gli istanti t_1 e t_4).

In particolare, come mostrato anche in figura 4, nell'intervallo tra t_1 e t_2 , il segnale di controllo in tensione VC è più alto del segnale triangolare TR, il primo segnale di commutazione TON è 1 e il secondo segnale di commutazione TOFF è 0. Perciò, nel circuito di commutazione 2, il primo HSS 11 è acceso, il primo LSS 12 è spento, e la corrente scorre nel primo HSS 11, nell'induttore 15 e nel secondo HSS 13, come mostrato da una linea tratteggiata in figura 4. Dato che la tensione sull'induttore 15 è positiva

e pari a $(V_i - V_o)$, la corrente I_L nell'induttore 15 aumenta linearmente con pendenza $(V_i - V_o)/L$ (L essendo l'induttanza dell'induttore 15).

Nell'istante t_2 , il primo e il secondo segnale di commutazione TON, TOFF commutano; il primo HSS 11 si spegne, il primo LSS 12 si accende, e la corrente di induttore scorre nel primo LSS 12, nell'induttore 15 e nel secondo HSS 13, come mostrato da linea a tratti e punti in figura 4. Nell'intervallo di tempo $t_2 - t_3$, dato che la tensione sull'induttore 15 è negativa e pari a $-V_o$, la corrente di induttore I_L attraverso l'induttore 15 diminuisce linearmente con pendenza $-V_o/L$.

Nell'istante t_3 , il regolatore di tensione 1' commuta nuovamente e, nell'intervallo di tempo $t_3 - t_4$, il circuito di commutazione 2 si comporta come descritto in precedenza per l'intervallo di tempo $t_1 - t_2$. In questo caso, dato che il segnale di controllo in tensione V_C è più alto, l'intervallo di tempo $t_3 - t_4$ è più lungo dell'intervallo di tempo $t_1 - t_2$ (il duty cycle perciò aumenta).

In caso di stabilità sostanziale della tensione di uscita V_o , il regolatore di tensione 1' modifica quindi il tempo di accensione-spegnimento degli interruttori 11-14 per mantenere la tensione di uscita V_o vicino a un valore desiderato.

Nel regolatore di tensione 1', il resistore di

rilevamento 35 rileva la corrente I_L nell'induttore 15 e, attraverso l'amplificatore 36, fornisce la tensione di rilevamento VCS al modulatore Buck 33. Fintanto che la tensione di rilevamento VCS è inferiore a un valore di soglia, l'anello di stabilizzazione non interviene. Al superamento di un valore di soglia da parte della tensione di rilevamento VCS (ad esempio, a causa di variazioni significative della corrente di uscita, per esempio per variazioni nel carico), il modulatore Buck 33 inietta una tensione di innalzamento aggiuntiva (V_{ADD}) nel segnale triangolare TR, generando un segnale triangolare modificato TR', che è confrontato con il segnale di controllo in tensione VC. Per esempio, $V_{ADD} = -kV_{CS}$, in cui k è una costante e V_{CS} è la tensione rilevata dal circuito di rilevamento 37. In pratica, il segnale triangolare modificato TR' è spostato verso l'alto rispetto al segnale triangolare TR e fa sì che l'intervallo di tempo successivo t_5-t_6 (quando il primo segnale di commutazione TON è alto) si accorci, consentendo al circuito di commutazione 2 di ritornare a una condizione stabile più rapidamente.

Con la regolazione Buck delle figure 2-4, il rilevamento della corrente di induttore I_L avviene nei punti di valle dei segnali triangolari TR e TR' (istanti t_1 , t_3 , ecc.), quando scorre da massa 8 attraverso il resistore di rilevamento 35.

Il regolatore di tensione 1' ha un duty cycle V_o/V_i dato dall'equazione (1)

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{\Delta T_{ON}}{T} = D_{BUCK} \quad (1)$$

in cui ΔT_{ON} è il tempo in cui il segnale TON è alto nel periodo T.

Le figure 5, 6, 7 fanno riferimento a un controllo di tipo Boost.

Il regolatore di tensione della figura 6 (indicato da 1") ha una struttura molto simile al regolatore di tensione 10 di figura 2, tranne che per il modulatore Buck 33 sostituito da un modulatore Boost 38. Gli altri componenti sono stati identificati quindi con gli stessi numeri di riferimento e non saranno descritti ulteriormente.

Nella modalità di funzionamento Boost, il primo semiponte 4 non commuta; in particolare, il primo HSS 11 è sempre acceso e il primo LSS 12 è sempre spento. Il secondo HSS 13 e il secondo LSS 14 commutano in modo opposto, e ricevono il primo segnale di commutazione TON e, rispettivamente, il secondo segnale di commutazione TOFF mostrati in figura 6.

Il dispositivo di controllo 3" di figura 2 è configurato per funzionare con una tensione di ingresso V_i che è inferiore alla tensione di uscita V_o e funziona in modo simile al regolatore di tensione 10, come si vede dall'andamento delle grandezze elettriche principali

mostrato nella figura 6.

In particolare, il segnale di controllo in tensione VC è confrontato con il segnale triangolare modificato TR' per generare il primo e il secondo segnale di commutazione TON, TOFF forniti al secondo LSS 14 e, rispettivamente, al secondo HSS 13.

Nell'intervallo di tempo t_1-t_2 , il secondo HSS 13 è spento, il secondo LSS 14 è acceso, e la corrente scorre nel primo HSS 11, nell'induttore 15 e nel secondo LSS 14, come mostrato da linea a tratto e punto in figura 7. Quindi, la tensione sull'induttore 15 è positiva (pari a V_i), la corrente I_L nell'induttore 15 aumenta linearmente con pendenza V_i/L .

Nell'istante t_2 , il primo e il secondo segnale di commutazione TON, TOFF commutano; il secondo HSS 13 si accende, il secondo LSS 14 si spegne, e la corrente scorre nel primo HSS 11, nell'induttore 15 e nel secondo HSS 13, come mostrato da linea tratteggiata in figura 7, in modo simile a quanto avviene nell'intervallo di tempo t_1-t_2 delle figure 3 e 4. Nell'intervallo di tempo t_2-t_3 , dato che la tensione sull'induttore 15 è negativa e pari a V_i-V_o , la corrente nell'induttore 15 diminuisce linearmente con pendenza $(V_i-V_o)/L$.

Il dispositivo di controllo 3" modifica quindi la durata di commutazione degli interruttori 11-14 per mantenere la

tensione di uscita V_o vicino a un valore desiderato.

Analogamente a quanto sopra, il circuito di rilevamento 37 rileva la corrente I_L nell'induttore 15 e fornisce la tensione di rilevamento V_{CS} al modulatore Boost 38. Quando la tensione di rilevamento V_{CS} nell'induttore 15 supera un valore di soglia, il modulatore Boost 38 inietta una tensione di innalzamento aggiuntiva (V_{ADD}) nel segnale triangolare TR, generando il segnale triangolare modificato TR'. Per esempio, $V_{ADD} = kV_{CS}$, in cui k è una costante e V_{CS} è la tensione misurata dal circuito di rilevamento 37. Anche in questo caso, in pratica, dopo l'intervento dell'anello di stabilizzazione di corrente, il segnale triangolare modificato TR' è spostato verso l'alto rispetto al segnale triangolare TR e consente al circuito di commutazione 2 di tornare più rapidamente a una condizione stabile.

Con la regolazione Boost delle figure 5-7, il rilevamento della corrente I_L nell'induttore 15 avviene nei punti di picco dei segnali triangolari TR e TR' (istanti t_2 , t_4 , ecc.), quando la corrente di induttore I_L scorre nel resistore di rilevamento 35 verso massa 8.

Il regolatore di tensione 1'' ha un duty cycle V_o/V_i dato dall'equazione (2):

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{T}{\Delta T_{OFF}} = \frac{1}{1 - D_{BOOST}} \quad (2)$$

in cui ΔT_{OFF} è il tempo in cui il segnale TOFF è alto in un periodo T e D_{BOOST} è il duty cycle del regolatore di

tensione 1".

Secondo un'altra soluzione nota, il regolatore di tensione 1 di figura 1 può funzionare in modalità Buck-Boost in modo da essere in grado di regolare la tensione di uscita quando quest'ultima è superiore, inferiore o all'incirca uguale alla tensione di ingresso. In questo caso, il regolatore di tensione 1 alterna cicli di controllo Buck con cicli di controllo Boost. A tal fine, il modulatore PWM 23 comprende sia un modulatore Buck (come il modulatore Buck 33 di figura 2) sia un modulatore Boost (come il modulatore Boost 38 di figura 5). Inoltre, il modulatore PWM 23 comprende un circuito di selezione, non mostrato, che consente selettivamente al modulatore Buck 33 o al modulatore Boost 38 di generare i segnali di commutazione TON, TOFF per entrambi i semiponti 4, 5, a seconda della fase di lavoro.

Tipicamente, in un regolatore di tensione 1 operante in modalità Buck-Boost, quando la tensione di ingresso V_i supera la tensione di uscita V_o di un valore maggiore di una prima soglia, il modulatore Buck 33 è abilitato e controlla l'accensione/lo spegnimento del primo semiponte 4 per regolare la tensione di uscita V_o , come descritto in riferimento alle figure 2-4; viceversa, quando la tensione di ingresso V_i è inferiore alla tensione di uscita V_o di un valore maggiore di una seconda soglia, il modulatore Boost 38 è abilitato e controlla l'accensione/lo spegnimento del

secondo semiponte 5 per regolare la tensione di uscita V_o , come descritto con riferimento alle figure 2-4. Quando la differenza di tensione tra la tensione di ingresso V_i e la tensione di uscita V_o è inclusa in una finestra tra la prima e la seconda soglia, secondo una soluzione, il modulatore Buck 33 e il modulatore Boost 38 si alternano in ciascun ciclo di regolazione per accendere/spegnere i quattro interruttori 11-14 del primo e del secondo semiponte 4, 5.

Questo tipo di regolazione, usante due anelli di controllo che funzionano indipendentemente e separatamente e si alternano nel modo descritto, implica una ondulazione (ripple) piuttosto elevata nella tensione di uscita, in modo indesiderato.

Un altro tipo di regolazione Buck-Boost è descritto in EP 1 837 983 A1 e dà origine alle forme d'onda di figura 8, in cui V_o/V_i è il rapporto tra la tensione di uscita V_o e la tensione di ingresso V_i ; V_i/k è una partizione della tensione di ingresso V_i ; D_o e D_i sono duty cycle dei semiponti; e_1 è un errore integrato sull'uscita dello stadio di integratore 22 di figura 1, derivante dall'integrazione dell'errore tra la tensione di uscita V_o e una tensione di riferimento V_R (o tra valori proporzionali ad esse); TR_1 è una onda triangolare modificata, il cui valore massimo è V_i/k se $V_o/V_i < e_1$, altrimenti è e_1 .

Qui, i duty cycle D_i , D_o dei semiponti non sono uguali,

ma sono correlati all'errore integrato e_1 . In particolare, il primo duty cycle D_1 , regolante per esempio la commutazione del primo semiponte 4, è proporzionale al rapporto tra l'errore integrato e_1 e la tensione di uscita V_o , e il secondo duty cycle, regolante, per esempio, la commutazione del secondo semiponte 5, è proporzionale al rapporto tra la tensione di uscita V_o e l'errore integrato e_1 .

Questa soluzione, sebbene funzioni in modo soddisfacente per evitare transitori rapidi e variazioni improvvise della tensione di uscita, può tuttavia essere migliorata, soprattutto per quanto riguarda l'efficienza e la riduzione del ripple di tensione nella zona di transizione.

Perciò, scopo dell'invenzione è fornire un dispositivo di controllo per un regolatore di tensione a commutazione che superi gli svantaggi della tecnica nota.

Secondo la presente invenzione, sono forniti un dispositivo di controllo per un regolatore di tensione a commutazione e un metodo di controllo, come definiti nelle rivendicazioni allegate.

In pratica, il presente dispositivo di controllo usa due anelli di controllo separati per regolare il funzionamento dei semiponti a circuito di commutazione (semiponte Buck e semiponte Boost) nella modalità di controllo buck-Boost, ciascuno confrontando una propria

grandezza di riferimento con una singola grandezza di controllo. L'anello di controllo di tensione è unico ma basato su due modulatori separati che funzionano in modo continuo.

Specificamente, le grandezze di riferimento, confrontate con la singola grandezza di controllo, hanno la stessa forma d'onda, in particolare triangolare o a dente di sega, con lo stesso periodo T , la stessa fase e lo stesso intervallo di ampiezza (come differenza tra il valore massimo e quello minimo), ma spostate l'una rispetto all'altra. In particolare, la grandezza di riferimento di modalità Boost è maggiore della grandezza di riferimento di modalità Buck, e il valore di spostamento è tale per cui, quando il regolatore lavora nella modalità di controllo Buck, la grandezza di riferimento di modalità Boost è sempre maggiore della singola grandezza di confronto; quando il regolatore lavora nella modalità di controllo Boost, la grandezza di riferimento di modalità Buck è sempre minore della singola grandezza di confronto; e nella modalità di controllo Buck-Boost, entrambe le grandezze di riferimento di modalità Buck e Boost attraversano la singola linea di grandezza di confronto.

Per la comprensione della presente invenzione, sue forme di realizzazione verranno ora descritte, solamente come esempio non limitativo, con riferimento ai disegni

allegati, in cui:

la figura 1 è uno schema a blocchi di un regolatore di tensione a commutazione noto, includente un circuito di commutazione;

la figura 2 è un schema circuitale di un regolatore di tensione Buck;

la figura 3 mostra l'andamento di alcune grandezze elettriche nel circuito di figura 2;

la figura 4 mostra il flusso di corrente nel circuito di commutazione per il regolatore Buck di figura 2;

la figura 5 è uno schema circuitale di un regolatore di tensione Boost;

la figura 6 mostra l'andamento di alcune grandezze elettriche nel circuito di figura 5;

la figura 7 mostra il flusso di corrente nel circuito di commutazione per il regolatore Boost di figura 5;

la figura 8 mostra l'andamento di alcune grandezze elettriche in un regolatore Buck-Boost noto;

la figura 9 è un schema circuitale semplificato del presente regolatore di tensione;

la figura 10 è uno schema circuitale di una porzione del regolatore di figura 9;

la figura 11 mostra l'andamento di segnali di controllo del circuito di commutazione di figura 9;

la figura 12 mostra uno schema circuitale di un'altra

porzione del regolatore di figura 9;

la figura 13 mostra andamenti di grandezze elettriche misurate nel circuito di figura 9 in simulazioni effettuate dalla Richiedente; e

la figura 14 è un diagramma di stato del regolatore di figura 9, mostrante un comportamento ideale e possibili comportamenti reali.

Le figure 9 e 10 mostrano una forma di realizzazione di un regolatore di tensione 40 del tipo Buck-Boost.

Il regolatore di tensione 40 comprende un circuito di commutazione 41 e un dispositivo di controllo 42. Il circuito di commutazione 41 e il dispositivo di controllo 42 sono generalmente formati su piastrine separate, ma potrebbero essere integrati su una stessa piastrina.

Il circuito di commutazione 41 (si veda in particolare la figura 10) è formato da un primo e da un secondo semiponte 44, 45.

Il primo semiponte 44 è formato da un primo interruttore di lato alto (primo HSS 51) e da un primo interruttore di lato basso (primo LSS 52), accoppiati in serie tra loro tra un terminale di ingresso 46 e un nodo comune 47. Una tensione di ingresso V_i (riferita ad una linea di potenziale di riferimento -massa- 48) è applicata sul terminale d'ingresso 46; il nodo comune 47 è accoppiato a massa 48 attraverso un resistore di rilevamento 50.

Il secondo semiponte 45 è formato da un secondo interruttore di lato alto (secondo HSS 53) e da un secondo interruttore di lato basso (secondo LSS 54), accoppiati in serie tra loro tra un nodo di uscita 49 e il nodo comune 47. Il primo e il secondo HSS 51, 53 e il primo e il secondo LSS 52, 54 possono essere implementati come dispositivi MOS di potenza, ad esempio, da transistori MOS di potenza a canale N.

Il nodo di uscita 49 fornisce una tensione di uscita V_o , riferita a massa e fornita ad un carico 58.

Un induttore 55 è accoppiato tra i nodi intermedi 56 e 57 del primo e del secondo semiponte 44, 45.

Il dispositivo di controllo 42 (si veda la figura 9) comprende un nodo sottrattore 60 ricevente una tensione di riferimento V_R su un ingresso non invertente e la tensione di uscita V_o su un ingresso invertente e genera in uscita un segnale in tensione di errore V_E . L'uscita del nodo sottrattore 60 è accoppiata ad un amplificatore a trasconduttanza 61 che genera una corrente di errore $I_E = g_m \cdot V_E$, fornita ad un controllore 62, qui di tipo proporzionale-integrale, generante un segnale di errore integrato (nel seguito, anche chiamato segnale di controllo V_c).

L'uscita del controllore 62 è accoppiata a rispettivi ingressi di un modulatore Buck 63 e di un modulatore Boost

64, configurati per ricevere il segnale di controllo V_c , un primo e un secondo segnale triangolare (a dente di sega) s_{T1} e s_{T2} generati da un generatore di segnale triangolare 65. Specificamente, come spiegato in dettaglio in seguito con riferimento alla figura 11, il modulatore Buck 63 riceve il segnale di controllo V_c e il primo segnale triangolare s_{T1} , e genera un primo e un secondo segnale di temporizzazione T_{ON1} e T_{OFF1} ; il modulatore Boost 64 riceve il segnale di controllo V_c e il secondo segnale triangolare s_{T2} , e genera un terzo e un quarto segnale di temporizzazione T_{ON2} e T_{OFF2} .

Il generatore di segnale triangolare 65 ha un ingresso accoppiato al resistore di rilevamento 50 attraverso un amplificatore operazionale 67 (si veda la figura 10) per implementare l'iniezione di una tensione di innalzamento aggiuntiva, come spiegato in seguito.

Il primo e il secondo segnale triangolare s_{T1} e s_{T2} hanno uno stesso periodo T , valori minimo e massimo costanti, uno stesso intervallo di ampiezza (qui, 1 V), ma il secondo segnale triangolare s_{T2} è spostato verso l'alto rispetto al primo segnale triangolare s_{T1} di una tensione di offset V_{OFF} ; in particolare, come mostrato in figura 11, la tensione di offset V_{OFF} è 0,75 V; il primo segnale triangolare s_{T1} varia tra 0 V e 1 V e il secondo segnale triangolare s_{T2} varia tra 0,75 V e 1,75 V.

I segnali di temporizzazione T_{ON1} , T_{OFF1} , T_{ON2} e T_{OFF2} sono

forniti ad un circuito booleano 66 per generare un primo, un secondo, un terzo e un quarto segnale di pilotaggio T1-T4 per pilotare gli interruttori 51-54, attraverso propri elementi di pilotaggio 76, 79 (figura 10).

In particolare, come mostrato in figura 10, il circuito booleano 66 comprende una prima porta OR 70, una prima porta AND 71, una seconda porta OR 72 e una seconda porta AND 73.

La prima porta OR 70 riceve il primo e il terzo segnale di temporizzazione T_{ON1} , T_{ON2} e genera il primo segnale di pilotaggio T1 per il primo HSS 51; la prima porta AND 71 riceve il secondo e il quarto segnale di temporizzazione T_{OFF1} , T_{OFF2} e genera il secondo segnale di pilotaggio T2 per il primo LSS 52; la seconda porta OR 72 riceve il secondo e il quarto segnale di pilotaggio T_{OFF1} , T_{OFF2} e genera il terzo segnale di pilotaggio T3 per il secondo HSS 53; e la seconda porta AND 73 riceve il primo e il terzo segnale di temporizzazione T_{ON1} , T_{ON2} e genera il quarto segnale di controllo T4 per il secondo LSS 54.

Il funzionamento del regolatore di tensione 40 sarà adesso descritto con riferimento alle figure 10 e 11 che mostrano il comportamento del regolatore 40 quando la tensione di uscita, inizialmente ad un valore minore della tensione di ingresso V_i , aumenta per qualsiasi ragione, facendo sì in tal modo che il regolatore 40 passi da una modalità di controllo Buck a una modalità di controllo Boost

attraverso una modalità di controllo Buck- Boost.

In particolare, la figura 11 mostra gli andamenti di:
la corrente I_L attraverso l'induttore 55;

il primo e il secondo segnale triangolare s_{T1} e s_{T2} . Come si può vedere, il secondo segnale triangolare s_{T2} è maggiore del primo segnale triangolare s_{T1} , ma il suo valore minimo è minore del valore massimo del primo segnale triangolare s_{T1} ;

il segnale di controllo normalizzato $V_{CN} = V_c/V_M$, ottenuto dividendo il segnale di controllo V_c per il valore massimo V_M della tensione di uscita V_o ;

il primo fino al quarto segnale di temporizzazione T_{ON1} , T_{OFF1} , T_{ON2} , T_{OFF2} , e

il primo fino al quarto segnale di pilotaggio T1-T4.

Nella figura 11, prima dell'istante t_0 , il regolatore 40 è nella modalità di controllo Buck; perciò il terzo e il quarto segnale di temporizzazione T_{ON2} , T_{OFF2} sono basso e, rispettivamente, alto e non cambiano stato, e il primo e il secondo segnale di temporizzazione T_{ON1} , T_{OFF1} commutano tra gli stati alto e basso, in modo opposto.

Nell'istante t_0 , il primo e il secondo segnale triangolare s_{T1} e s_{T2} sono ai loro rispettivi valori minimi minore e, rispettivamente, maggiore del segnale di controllo normalizzato V_{CN} ; quindi il primo e il quarto segnale di temporizzazione T_{ON1} e T_{OFF2} sono alti, il secondo e il terzo segnale di temporizzazione T_{OFF1} e T_{ON2} sono bassi; il primo e

il terzo segnale di pilotaggio T1 e T3 sono alti, accendendo il primo e il secondo HSS 51 e 53; il secondo e il quarto segnale di pilotaggio T2 e T4 sono bassi, spegnendo il primo e il quarto LSS 52 e 54. Perciò, il controllo è ancora nella modalità Buck e la corrente di induttore I_L , che scorre dal terminale di ingresso 46 attraverso il primo e il secondo HSS 51 e 53 e l'induttore 55 verso il nodo di uscita 49 (come mostrato in figura 10 dalla freccia tratteggiata I_{L1}), aumenta linearmente, con pendenza $(V_i - V_O)/L$.

Nell'istante t_1 , il primo segnale triangolare s_{T1} raggiunge e quindi supera il segnale di controllo normalizzato V_{CN} . Perciò il primo segnale di temporizzazione T_{ON1} commuta a basso, il secondo segnale di temporizzazione T_{OFF1} commuta ad alto, mentre il terzo e il quarto segnale di temporizzazione T_{ON2} , T_{OFF2} non cambiano stato. Perciò, il primo e il secondo segnale di pilotaggio T1 e T2 commutano a basso e, rispettivamente, ad alto, spegnendo il primo HSS 51 e accendendo il primo LSS 52, mentre il terzo e il quarto segnale di pilotaggio T3 e T4 non cambiano stato e mantengono il secondo HSS 53 acceso e il secondo LSS 54 spento. Perciò, la corrente di induttore I_L scorre da massa attraverso il primo LSS 52, l'induttore 55 e il secondo HSS 53 verso il nodo di uscita 49 (come mostrato in figura 10 dalla freccia a tratto e punto I_{L2}) e diminuisce linearmente, con pendenza $-V_O/L$.

Nell'istante t_2 , il primo e il secondo segnale triangolare s_{T1} e s_{T2} raggiungono nuovamente il loro rispettivo valore minimo. Questa volta, a causa dell'aumento del segnale di controllo normalizzato V_{CN} , entrambi i segnali triangolari s_{T1} e s_{T2} diventano minori del segnale di controllo normalizzato V_{CN} , causando la commutazione del primo segnale di temporizzazione T_{ON1} ad alto, del secondo segnale di temporizzazione T_{OFF1} a basso, del terzo segnale di temporizzazione T_{ON2} ad alto e del quarto segnale di temporizzazione T_{OFF2} a basso. Perciò, il regolatore 40 entra in una fase Boost di una modalità Buck-Boost, il primo e il quarto segnale di pilotaggio T1 e T4 commutano ad alto e il secondo e il terzo segnale di pilotaggio T2 e T3 commutano a basso, accendendo il primo HSS 51 e il quarto LSS 54, e spegnendo il primo LS 52 e il secondo HSS 53. Perciò, la corrente di induttore I_L scorre dal terminale di ingresso 46 attraverso il primo HSS 51, il quarto interruttore LSS 54 e l'induttore 55 verso massa 48 (come mostrato in figura 10 dalla freccia I_{L3}) e aumenta linearmente, con pendenza V_i/L .

Nell'istante t_3 , il secondo segnale triangolare s_{T2} diventa maggiore del segnale di controllo normalizzato V_{CN} ma il primo segnale triangolare s_{T1} rimane minore. Perciò, il primo segnale di temporizzazione T_{ON1} rimane alto, il secondo segnale di temporizzazione T_{OFF} rimane basso, il terzo segnale di temporizzazione T_{ON2} commuta a basso e il

quarto segnale di temporizzazione T_{OFF2} commuta ad alto. Perciò, il primo e il secondo segnale di pilotaggio T1 e T2 rimangono alto e, rispettivamente, basso; il terzo segnale di pilotaggio T3 commuta ad alto, accendendo il primo HSS 53; e il quarto segnale di pilotaggio T4 commuta a basso, spegnendo il secondo interruttore LSS 54. Qui, il regolatore 40 è nella modalità di controllo Buck-Boost, e la corrente di induttore I_L , fluente dal terminale di ingresso 46 attraverso il primo e il secondo HSS 51 e 53 e l'induttore 55 verso il nodo di uscita 49 (come mostrato in figura 10 nuovamente dalla freccia I_{L1}), aumenta linearmente, con pendenza $(V_i - V_0)/L$, che è più piccola rispetto all'intervallo di tempo $t_0 - t_1$, dato che la tensione di uscita V_0 è maggiore.

Nell'istante t_4 , il primo segnale triangolare s_{T1} raggiunge e successivamente supera il segnale di controllo normalizzato V_{CN} , analogamente all'istante t_1 . Perciò il primo e il secondo segnale di temporizzazione T_{ON1} e T_{OFF1} nonché il primo e il secondo segnale di pilotaggio T1 e T2 commutano, spegnendo il primo HSS 51 e accendendo il primo LSS 52. Il secondo HSS 53 rimane acceso e il secondo interruttore LSS 54 rimane spento. Qui, il regolatore 44 entra in una fase Buck della modalità di controllo Buck-Boost e la corrente di induttore I_L scorre nuovamente da massa verso il nodo di uscita 49 (freccia I_{L2}) e diminuisce

linearmente, con pendenza $-V_0/L$.

Nell'istante t_5 , il primo e il secondo segnale triangolare s_{T1} e s_{T2} raggiungono nuovamente il loro rispettivo valore minimo e diventano minori del segnale di controllo normalizzato V_{CN} . Analogamente all'istante t_2 , tutti i segnali di temporizzazione T_{ON1} , T_{OFF1} , T_{ON2} e T_{OFF2} commutano, così come tutti i segnali di pilotaggio da T1 a T4, accendendo il primo HSS 51 e il quarto LSS 54, e spegnendo il primo LSS 52 e il secondo HSS 53. Perciò, la corrente di induttore I_L scorre dal terminale di ingresso 46 verso massa 48 (come mostrato in figura 10 nuovamente dalla freccia I_{L3}) aumenta linearmente, con pendenza V_i/L , a causa del cambio della polarizzazione dell'induttore. Il regolatore 40 entra nella fase Boost della modalità di controllo Buck-Boost. Come si può vedere, in questo ciclo di regolazione, tra gli istanti t_2 e t_5 , la corrente di induttore I_L ha forma d'onda trapezoidale.

Nel seguente ciclo di regolazione, tra l'istante t_5 e l'istante t_8 , il regolatore 40 si comporta come nel ciclo tra gli istanti t_2 e t_5 , nella modalità di controllo Buck-Boost. Qui, a differenza del ciclo tra gli istanti t_2 e t_5 , la corrente di induttore I_L , dopo essere aumentata con pendenza V_i/L , diminuisce (invece che aumentare) con pendenza $(V_i-V_0)/L$ dato che la tensione di uscita V_0 è adesso maggiore della tensione di ingresso V_i . Ad ogni modo, anche

in questo ciclo di regolazione, la corrente di induttore I_L ha un comportamento trapezoidale, sebbene con pendenze diverse.

Nell'istante t_8 , il regolatore 40 commuta come descritto per gli istanti t_2 e t_5 , ma passa ad una modalità di controllo di tipo Boost. In particolare, nell'istante t_8 tutti i segnali di temporizzazione T_{ON1} , T_{OFF1} , T_{ON2} e T_{OFF2} commutano, così come tutti i segnali di pilotaggio da T_1 a T_4 , accendendo il primo HSS 51 e il quarto LSS 54, e spegnendo il primo LSS 52 e il secondo HSS 53. La corrente di induttore I_L perciò aumenta nuovamente (freccia I_{L3} in figura 10). In seguito, il primo segnale triangolare s_{T1} non raggiunge più il segnale di controllo normalizzato V_{CN} , cosicché, in questo ciclo di regolazione, tra t_8 e t_{10} , la corrente di induttore I_L ha soltanto una porzione crescente, tra t_8 e t_9 , e una porzione decrescente, tra t_9 e t_{10} , con il primo segnale di temporizzazione T_{ON1} e il primo segnale di pilotaggio T_1 stazionari nello stato alto; il secondo segnale di temporizzazione T_{OFF1} e il secondo segnale di pilotaggio T_{OFF1} stazionari nello stato basso, il terzo segnale di temporizzazione T_{ON2} , il quarto segnale di temporizzazione T_{OFF2} , il terzo segnale di pilotaggio T_3 e il quarto segnale di pilotaggio T_{OFF1} commutando tra basso e alto, per mantenere il primo HSS 51 acceso, il primo LSS 52 spento, il secondo interruttore HSS 54 e il secondo interruttore LSS 54 che si

accendono e spengono alternativamente, secondo la modalità di controllo Boost.

La figura 11 indica anche con frecce V1 e V2 le tensioni di innalzamento aggiuntive che possono essere aggiunte al primo e al secondo segnale triangolare s_{T1} , s_{T2} per velocizzare la transizione a uno stato stazionario, come descritto in dettaglio sopra in riferimento alle figure 3 e 6 e spiegato in seguito. In particolare, le tensioni di innalzamento aggiuntive V1 e V2 sono ottenute usando un anello di controllo in corrente che rileva la corrente di induttore fluente nel circuito di commutazione 41. Secondo un aspetto della presente descrizione, l'anello di controllo in corrente può essere integrato nell'anello di controllo di tensione che controlla la tensione di uscita del circuito di commutazione 41.

La figura 12 mostra una possibile implementazione di un circuito che implementa l'anello di controllo di corrente e che genera le tensioni di innalzamento aggiuntive V1 e V2.

In dettaglio, secondo la figura 12, il generatore di segnale triangolare 65 comprende un generatore a rampa 80 generante un segnale a rampa s_{T0} fornito ad un nodo sommatore Buck 81 e ad un nodo sommatore Boost 82. Il nodo sommatore Boost 82 riceve anche la tensione di offset VOFF generata da un generatore di offset 83, per esempio un elemento di memoria disposto in uno stadio di test del dispositivo o in

un riferimento di tensione.

I nodi sommatore Buck e Boost 81, 82 ricevono anche l'uscita di rispettivi elementi di memoria Buck e Boost 84, 85, per esempio formati da circuiti "sample and hold". Gli elementi di memoria Buck e Boost 84, 85 ricevono la tensione di rilevamento V_{cs} generata dall'amplificatore operazionale 67 e proporzionale alla corrente di induttore I_L fluente nel circuito di commutazione 41. In particolare, e in modo di per sé noto, l'elemento di memoria Buck 84 rileva e memorizza la tensione di rilevamento V_{cs} nei punti di valle della corrente di induttore e l'elemento di memoria Boost 85 rileva e memorizza la tensione di rilevamento V_{cs} nei punti di picco della corrente di induttore.

Le uscite dei nodi sommatore Buck e Boost 81, 82 sono fornite ai rispettivi modulatori Buck e Boost 63, 64. In particolare, le uscite dei nodi sommatore Buck e Boost 81, 82 sono accoppiate a ingressi invertenti di rispettivi amplificatori differenziali 87, 88, ciascuno avente rispettivi ingressi non invertenti accoppiati all'uscita del controllore 62 e generanti un rispettivo segnale di duty cycle Buck e Boost DBu , DBo che sono usati dai modulatori Buck e Boost 63, 64 per generare i segnali di temporizzazione T_{ON1} , T_{OFF1} , T_{ON2} e T_{OFF2} .

Nello stato stazionario, il regolatore di tensione 40 ha un duty cycle V_o/V_i dato dall'equazione (3):

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\Delta T_{ON1}}{\Delta T_{OFF2}} = \frac{D_{BUCK}}{1 - D_{BOOST}} \quad (3)$$

in cui ΔT_{ON1} è il tempo in cui il segnale T_{ON1} è alto in un periodo T , ΔT_{OFF2} è il tempo in cui il segnale T_{OFF2} è alto in un periodo T e D_{BUCK} e D_{BOOST} sono i valori dei duty cycle delle modalità di controllo Buck e, rispettivamente, Boost del regolatore di tensione 40.

La figura 13 mostra andamenti della tensione di ingresso V_i (curva A), della tensione di uscita V_o (curva B), della corrente di induttore I_L (curva C), della corrente di uscita I_O che scorre nel carico 58 (assumendo la presenza di un condensatore di uscita, non mostrato, curva D), del primo segnale triangolare s_{T1} (curva E), dei secondi segnali triangolari s_{T2} (curva F), del segnale di controllo V_c (curva G), del primo segnale di temporizzazione T_{ON1} (curva H) e del secondo segnale di temporizzazione T_{ON2} (curva J) durante la modalità di controllo Buck/Boost mista, da cui si possono vedere i comportamenti descritti in precedenza e in particolare la forma d'onda trapezoidale della corrente di induttore I_L .

La figura 14 mostra un diagramma di stato del duty cycle per il regolatore 40, le ascisse mostrando i valori normalizzati per un controllo in modalità Boost pura (DBo) e le ordinate mostrando valori normalizzati per un controllo in modalità Buck pura (DBu).

Nel diagramma della figura 13, sono identificati duty

cycle massimi (DBo_M , DBu_M) e minimi (DBo_m , DBu_m) per tenere in considerazione ritardi esistenti nell'accensione e nello spegnimento degli interruttori 51-54 (generalmente realizzati come dispositivi MOS di potenza), così come condizioni di perdita; perciò, la regione quadrata in grigio chiaro indica le regioni in cui gli interruttori 51-54 sono in grado di essere completamente accesi o spenti. Inoltre, i valori di transizione DBo_t e DBu_t si riferiscono a valori di transizione ideali dalla modalità di controllo Boost pura e dalla modalità di controllo Buck pura (o viceversa) alla modalità di controllo Buck-Boost come descritta in precedenza. Questi valori ideali definiscono una spezzata, con una porzione orizzontale Bu e una porzione verticale Bo (che si riferiscono alla modalità di controllo Buck pura e alla modalità di controllo Boost pura), rispettivamente, e una porzione inclinata a 45° (B-B, che si riferisce alla modalità di controllo Buck-Boost).

La figura 12 mostra inoltre il rapporto V_o/V_i in funzione dei diversi duty cycle, in cui la linea centrale 100 corrisponde a $V_o/V_i = 1$ e le due linee limite 101 e 102 corrispondono a DBu_M e DBo_m .

Studi da parte della Richiedente hanno anche mostrato che una transizione diretta attraverso lo spazio di stato Buck-Boost non è possibile; inoltre una transizione discreta tra $DBo = 0$ e DBo_m (o $DBu = 1$ e DBu_M) e la linea di

transizione non è realizzabile a causa della debole conducibilità dei dispositivi MOS di potenza anche per piccoli impulsi di accensione. Perciò, ci si aspetta una transizione continua, liscia nelle regioni di confine dello spazio di stato, come mostrato dalle curve con linea continua, che sono comprese nei triangoli formati dalla linea $DBo = 0$ (asse delle ordinate), dalla porzione inclinata a 45° B-B e dalla linea 101 e, rispettivamente, dalla porzione inclinata a 45° B-B, dalla linea 102 e dalla linea $DBu = 1$.

Grazie al fatto di avere una modalità di controllo Buck-Boost, controllata confrontando proprie tensioni di riferimento Buck e Boost, aventi lo stesso andamento ma valori diversi, con lo stesso valore di confronto, riferito alla tensione di uscita, il presente dispositivo di controllo è in grado di ridurre il transitorio, con minore ripple nella tensione di uscita. Il circuito di controllo descritto è anche in grado di fornire duty cycle maggiori poiché il controllo non è basato su soglie di duty cycle ma è in grado di funzionare in modo continuo nell'intero intervallo di duty cycle.

Infine, è chiaro che al dispositivo e al metodo di controllo qui descritti e illustrati possono essere apportate numerose variazioni e modifiche, tutte rientranti nell'ambito di protezione dell'invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Per esempio, il dispositivo di controllo 40 può essere implementato in modo sia analogico sia digitale, a seconda degli specifici requisiti di progettazione.

In aggiunta, il circuito booleano 66 può mancare, e i segnali di temporizzazione T_{ON1} , T_{OFF1} , T_{ON2} T_{OFF2} controllare direttamente i dispositivi di pilotaggio 76-79 degli interruttori 51-54.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo di controllo (42) per un regolatore di tensione a commutazione comprendente un circuito di commutazione (41), il dispositivo di controllo includendo:

un primo ingresso configurato per ricevere un segnale di misura rappresentativo di una tensione di uscita del circuito di commutazione;

un elemento di rilevamento errore (60, 61), configurato per generare un segnale di errore rappresentativo di una differenza tra il segnale di misura e un segnale nominale;

un controllore (62), accoppiato all'elemento di rilevamento errore e configurato per generare un singolo segnale di controllo rappresentativo di un errore medio del segnale di errore;

un modulatore Buck (63), accoppiato al controllore e configurato per confrontare il singolo segnale di controllo con un primo segnale di riferimento periodico e generare almeno un primo segnale modulato a larghezza di impulso per il circuito di commutazione;

un modulatore Boost (64), accoppiato al controllore e configurato per confrontare il singolo segnale di controllo con un secondo segnale di riferimento periodico e generare almeno un secondo segnale modulato a larghezza di impulso per il circuito di commutazione;

in cui il primo e il secondo segnale di riferimento

periodico hanno uno stesso periodo T , uno stesso intervallo di ampiezza, una stessa fase e diversi valori massimo e minimo, in cui il valore massimo del primo segnale di riferimento periodico è progettato per essere minore del singolo segnale di controllo in una modalità di controllo Boost, il valore minimo del secondo segnale di riferimento periodico è progettato per essere maggiore del singolo segnale di controllo in una modalità di controllo Buck, il valore massimo del primo segnale di riferimento periodico e il valore minimo del secondo segnale di riferimento periodico essendo inoltre progettati per essere maggiore, rispettivamente minore del singolo segnale di controllo in una modalità di controllo di transitorio tra la modalità di controllo Buck e la modalità di controllo Boost, per cui il primo segnale modulato a larghezza di impulso commuta tra valori di controllo di accensione e spegnimento nella modalità di controllo Buck e nella modalità di controllo di transitorio e il secondo segnale modulato a larghezza di impulso commuta tra i valori di controllo di accensione e spegnimento nella modalità di controllo Boost e nella modalità di controllo di transitorio.

2. Dispositivo di controllo secondo la rivendicazione 1, in cui il primo e il secondo segnale di riferimento periodico sono segnali triangolari a dente di sega.

3. Dispositivo di controllo secondo la rivendicazione

1 o 2, in cui il controllore (62) è un controllore PI.

4. Dispositivo di controllo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente un generatore di segnale triangolare (65) configurato per generare il primo e il secondo segnale di riferimento periodico, il generatore di segnale triangolare includendo un generatore di rampa (80) configurato per generare un segnale a rampa (s_{T0}) come primo segnale di riferimento periodico, un generatore di offset (83) generante un segnale di offset e un nodo sommatore Boost (82) accoppiato al generatore di rampa e al generatore di offset e configurato per generare il secondo segnale di riferimento periodico.

5. Dispositivo di controllo secondo la rivendicazione 4, comprendente inoltre un circuito di innalzamento di tensione (65) includente un primo e un secondo elemento di memoria (84, 85), configurati per ricevere il segnale di misura, rilevare e memorizzare un valore di picco e, rispettivamente, un valore di valle, rappresentativi di valori di corrente in corrispondenza di un punto di picco e, rispettivamente, di un punto di valle del primo e del secondo segnale di riferimento periodico; un nodo sommatore Buck (81), accoppiato al primo elemento di memoria (84) e al generatore di rampa (80); e il nodo sommatore Boost (82), il nodo sommatore Boost (82) essendo inoltre accoppiato al secondo elemento di memoria (85).

6. Dispositivo di controllo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre un circuito booleano (66) accoppiato ai modulatori Buck e Boost (63, 64).

7. Dispositivo di controllo secondo la rivendicazione precedente, in cui il modulatore Buck (63) è configurato per generare un terzo segnale modulato a larghezza di impulso, il primo e il terzo segnale modulato a larghezza di impulso essendo opposti tra loro, il modulatore Boost (64) è configurato per generare un quarto segnale modulato a larghezza di impulso, il secondo e il quarto segnale modulato a larghezza di impulso essendo opposti tra loro, e in cui il circuito booleano (66) comprende una prima e una seconda porta OR (70, 72) e una prima e una seconda porta AND (71, 73), la prima porta OR essendo configurata per ricevere il primo e il secondo segnale modulato a larghezza di impulso e generare un primo segnale di pilotaggio; la prima porta AND essendo configurata per ricevere il terzo e il quarto segnale modulato a larghezza di impulso e generare un secondo segnale di pilotaggio; la seconda porta OR essendo configurata per ricevere il terzo e il quarto segnale modulato a larghezza di impulso e generare un terzo segnale di pilotaggio; e la seconda porta AND essendo configurata per ricevere il primo e il secondo segnale modulato a larghezza di impulso e generare un quarto segnale di

pilotaggio.

8. Regolatore di tensione a commutazione comprendente il dispositivo di controllo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti e un circuito di commutazione, il circuito di commutazione (41) includendo un primo e un secondo semiponte (44, 45), il primo semiponte (44) includendo un primo e un secondo interruttore (51, 52) accoppiati in serie tra un nodo di ingresso e un nodo a potenziale di riferimento, il secondo semiponte (45) includendo un terzo e un quarto interruttore (53, 54) accoppiati in serie tra un nodo di uscita e il nodo a potenziale di riferimento, un elemento induttivo (55) essendo accoppiato tra nodi intermedi del primo e del secondo semiponte, in cui il primo interruttore è configurato per ricevere il primo segnale modulato a larghezza di impulso, il secondo interruttore è configurato per ricevere un terzo segnale modulato a larghezza di impulso, opposto al primo segnale modulato a larghezza di impulso, il terzo interruttore è configurato per ricevere il secondo segnale modulato a larghezza di impulso e il quarto interruttore è configurato per ricevere un quarto segnale modulato a larghezza di impulso, opposto al secondo segnale modulato a larghezza di impulso.

9. Metodo di controllo per un regolatore di tensione a commutazione comprendente un circuito di commutazione e un

dispositivo di controllo, il metodo di controllo includendo:

ricevere un segnale di misura rappresentativo di una tensione di uscita del circuito di commutazione;

generare un segnale di errore rappresentativo di una differenza tra il segnale di misura e un segnale nominale;

generare un singolo segnale di controllo rappresentativo di un errore medio del segnale di errore;

confrontare il singolo segnale di controllo con un primo segnale di riferimento periodico;

generare un primo segnale modulato a larghezza di impulso mediante un modulatore Buck;

confrontare il singolo segnale di controllo con un secondo segnale di riferimento periodico;

generare un secondo segnale modulato a larghezza di impulso mediante un modulatore Boost;

in cui il primo e il secondo segnale di riferimento periodico hanno uno stesso periodo T , uno stesso intervallo di ampiezza, una stessa fase e diversi valori massimo e minimo,

in cui il valore massimo del primo segnale di riferimento periodico è minore del singolo segnale di controllo in una modalità di controllo Boost, il valore minimo del secondo segnale di riferimento periodico è maggiore del singolo segnale di controllo in una modalità di controllo Buck,

il valore massimo del primo segnale di riferimento periodico e il valore minimo del secondo segnale di riferimento periodico sono rispettivamente maggiore e minore del singolo segnale di controllo in una modalità di controllo di transitorio, tra la modalità di controllo Buck e la modalità di controllo Boost,

per cui il primo segnale modulato a larghezza di impulso commuta tra valori di controllo di accensione e spegnimento nella modalità di controllo Buck e nella modalità di controllo di transitorio e il secondo segnale modulato a larghezza di impulso commuta tra i valori di controllo di accensione e spegnimento nella modalità di controllo Boost e nella modalità di controllo di transitorio.

10. Metodo secondo la rivendicazione precedente, in cui generare un singolo segnale di controllo comprende elaborare il segnale di errore mediante un controllore PI.

11. Metodo secondo la rivendicazione 9 o 10, comprendente inoltre:

generare un segnale a rampa (s_{T0});

generare il primo segnale di riferimento periodico dal segnale a rampa (s_{T0});

generare il secondo segnale di riferimento periodico aggiungendo un segnale di offset al segnale a rampa (s_{T0}).

12. Metodo secondo la rivendicazione 11, comprendente inoltre:

rilevare un valore di picco e, rispettivamente, un valore di valle, rappresentativi di valori attuali in corrispondenza di un punto di picco e, rispettivamente, di un punto di valle del primo e del secondo segnale di riferimento periodico;

memorizzare una prima e una seconda grandezza di innalzamento aggiuntiva correlata al valore di picco e, rispettivamente, di valle; e

aggiungere la prima e la seconda grandezza di innalzamento aggiuntiva al primo e, rispettivamente, al secondo segnale di riferimento periodico.

13. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 9-12, in cui una corrente scorre nel circuito di commutazione, la corrente avendo una forma trapezoidale nella modalità di controllo di transitorio.

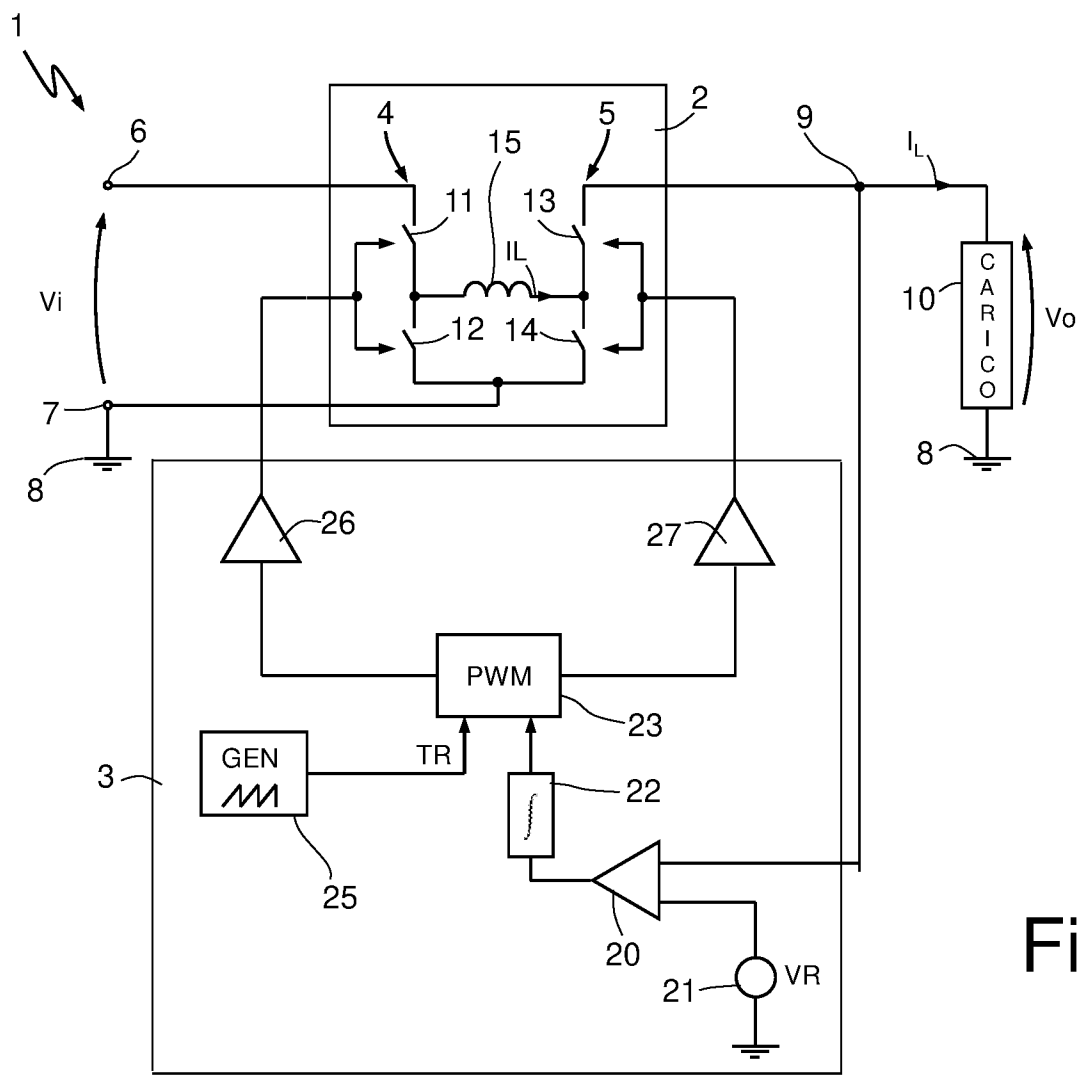


Fig.1

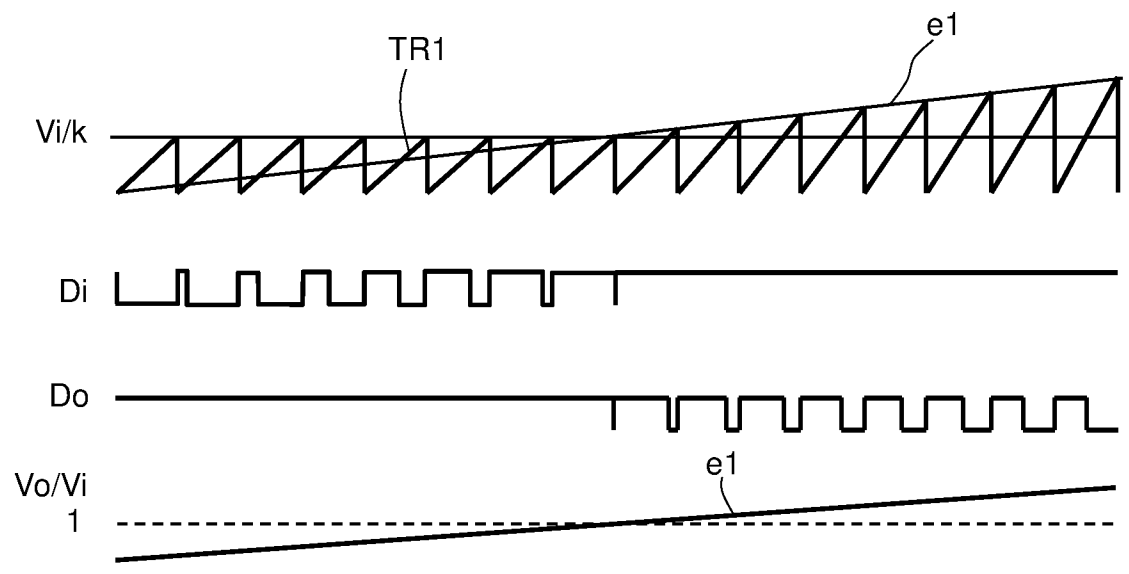


Fig.8

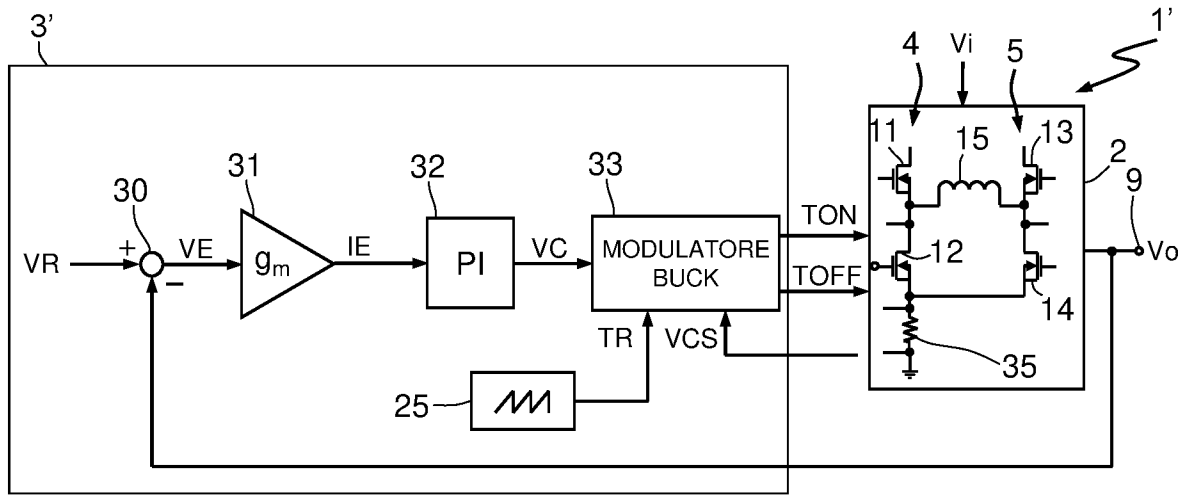


Fig.2

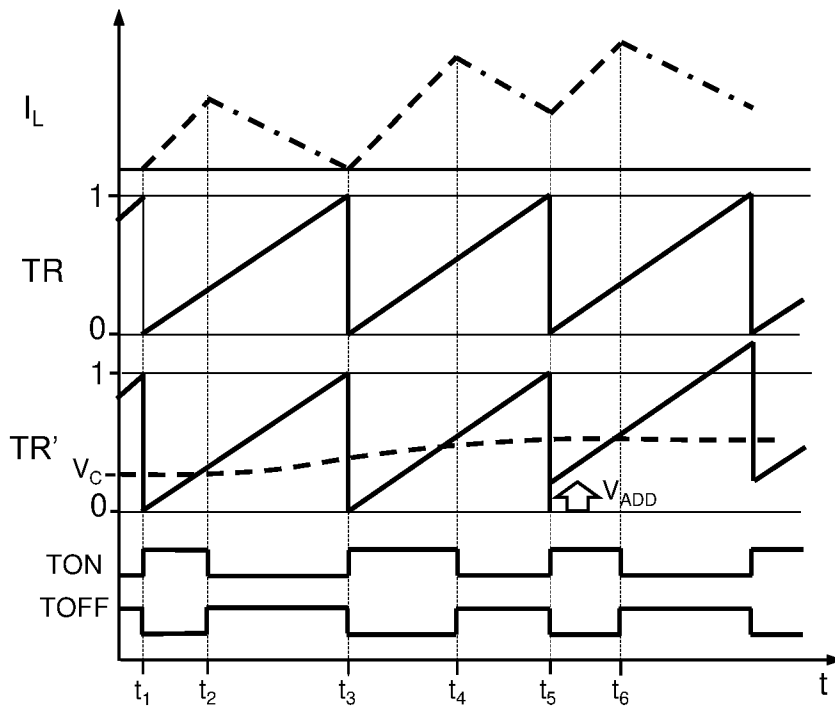


Fig.3

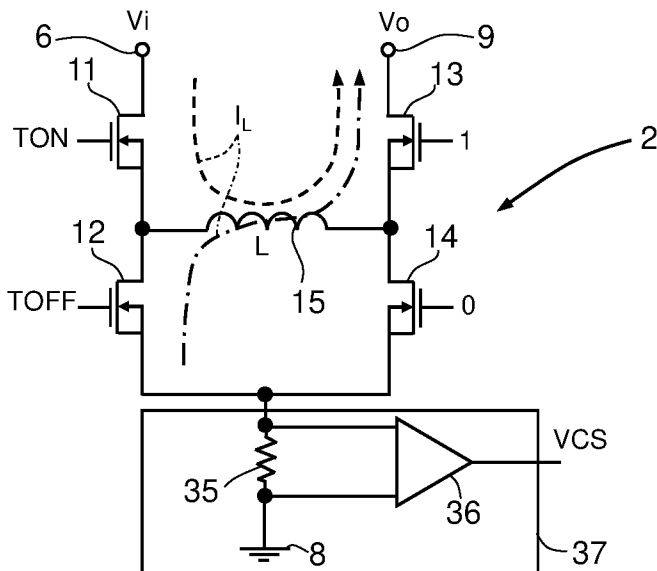


Fig.4

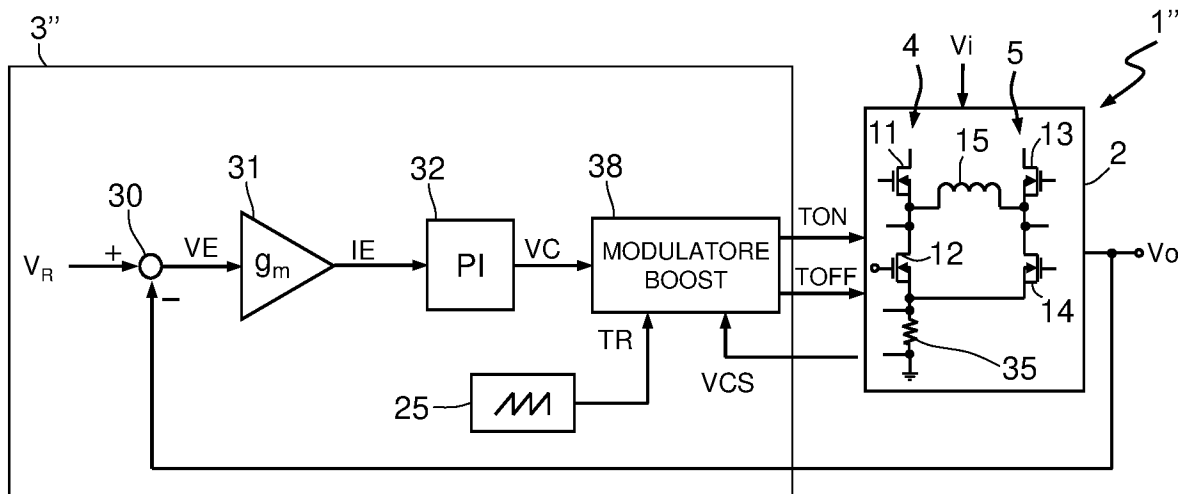


Fig.5

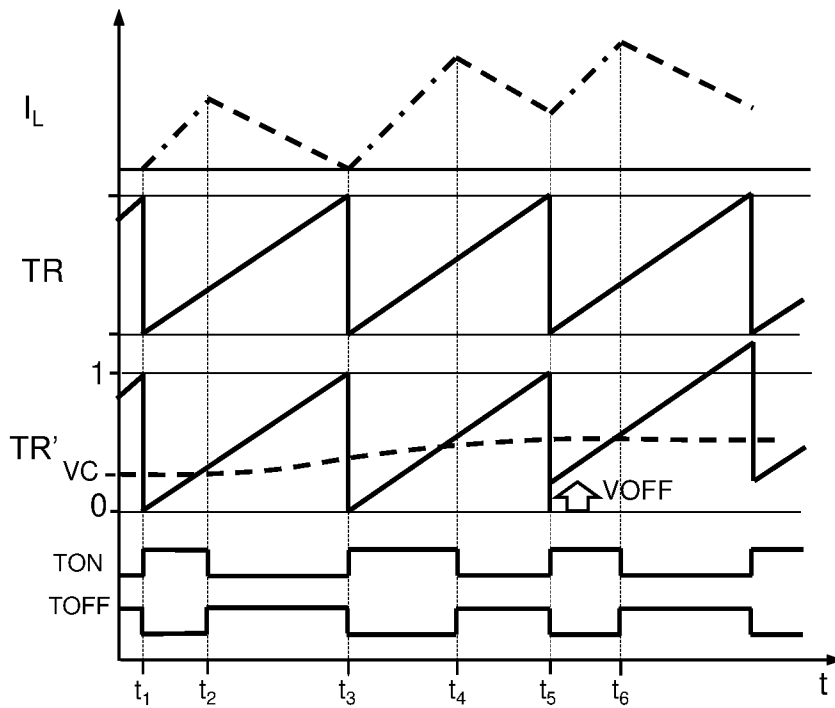


Fig.6

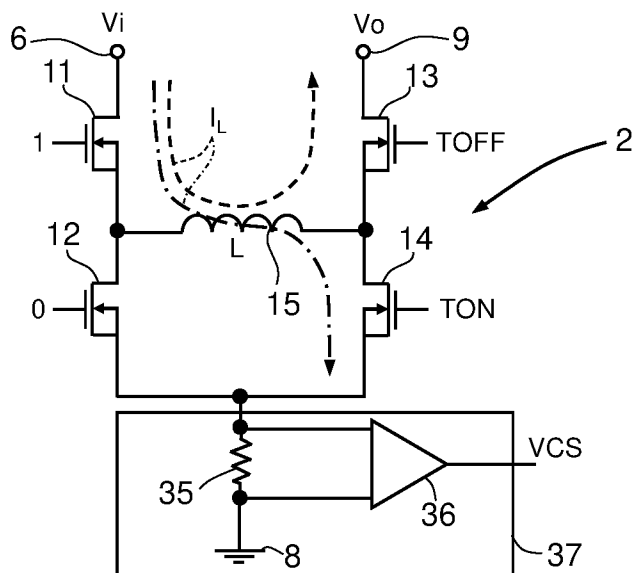


Fig.7

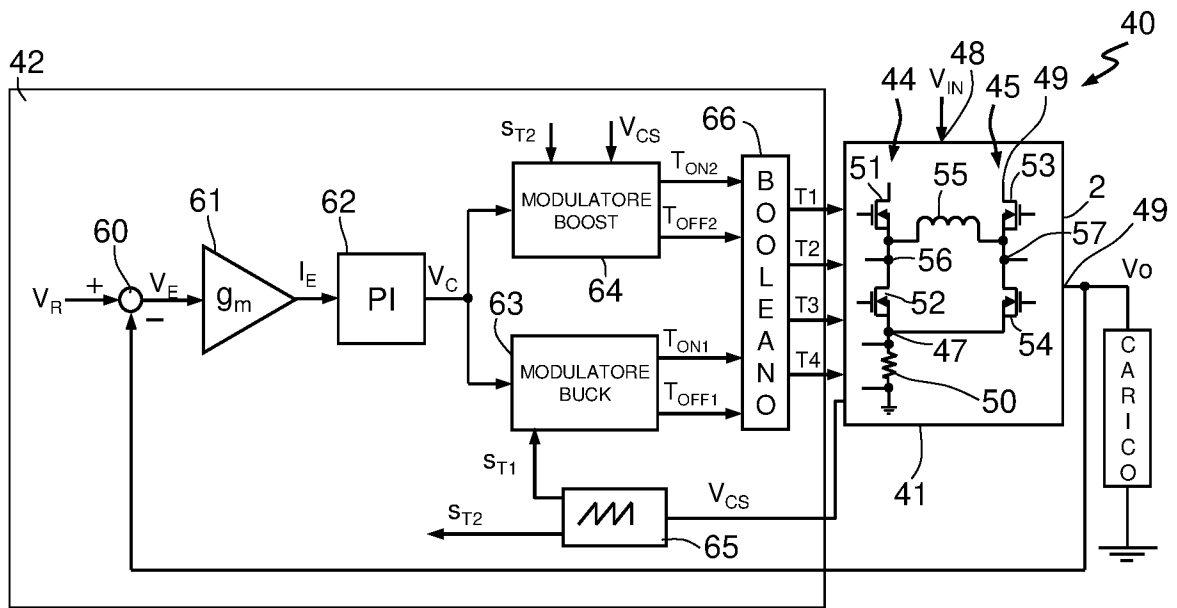


Fig.9

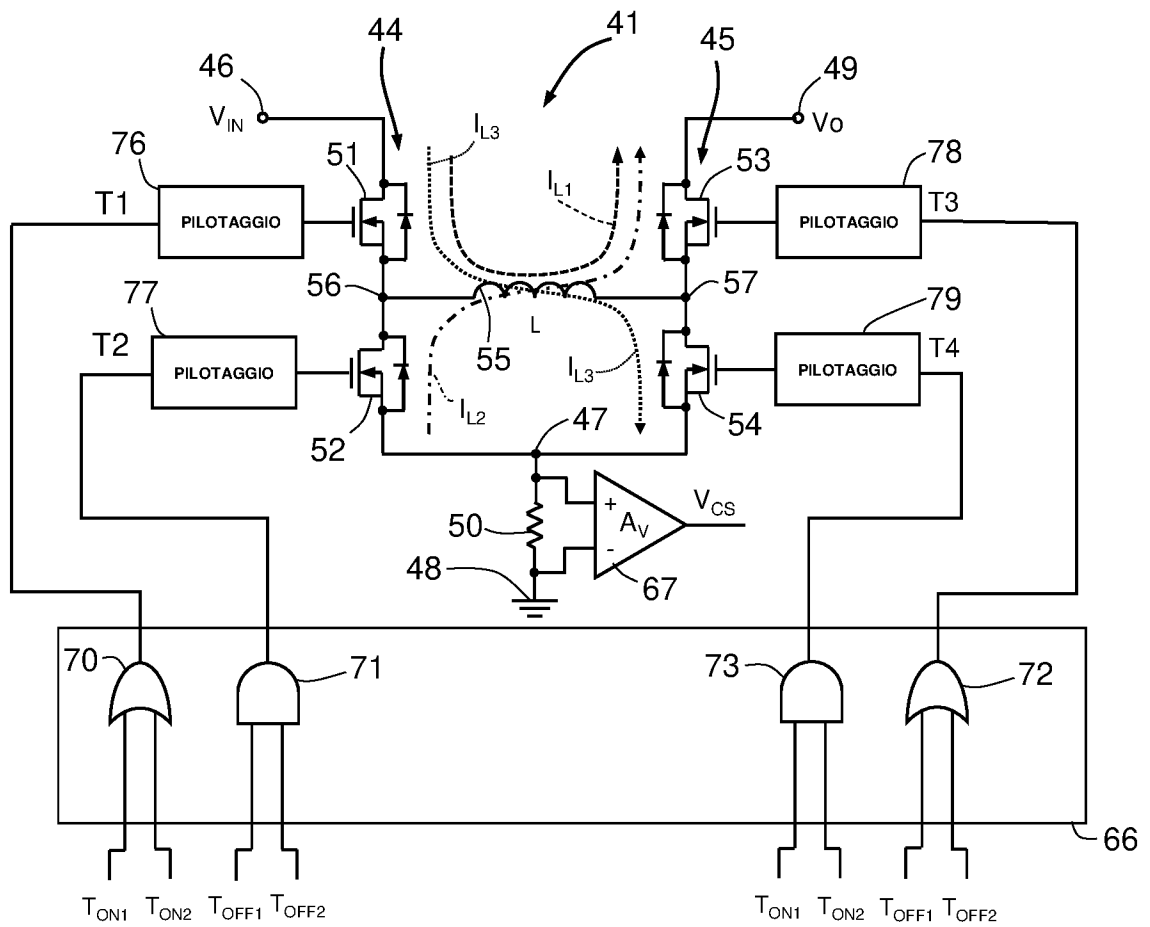


Fig.10

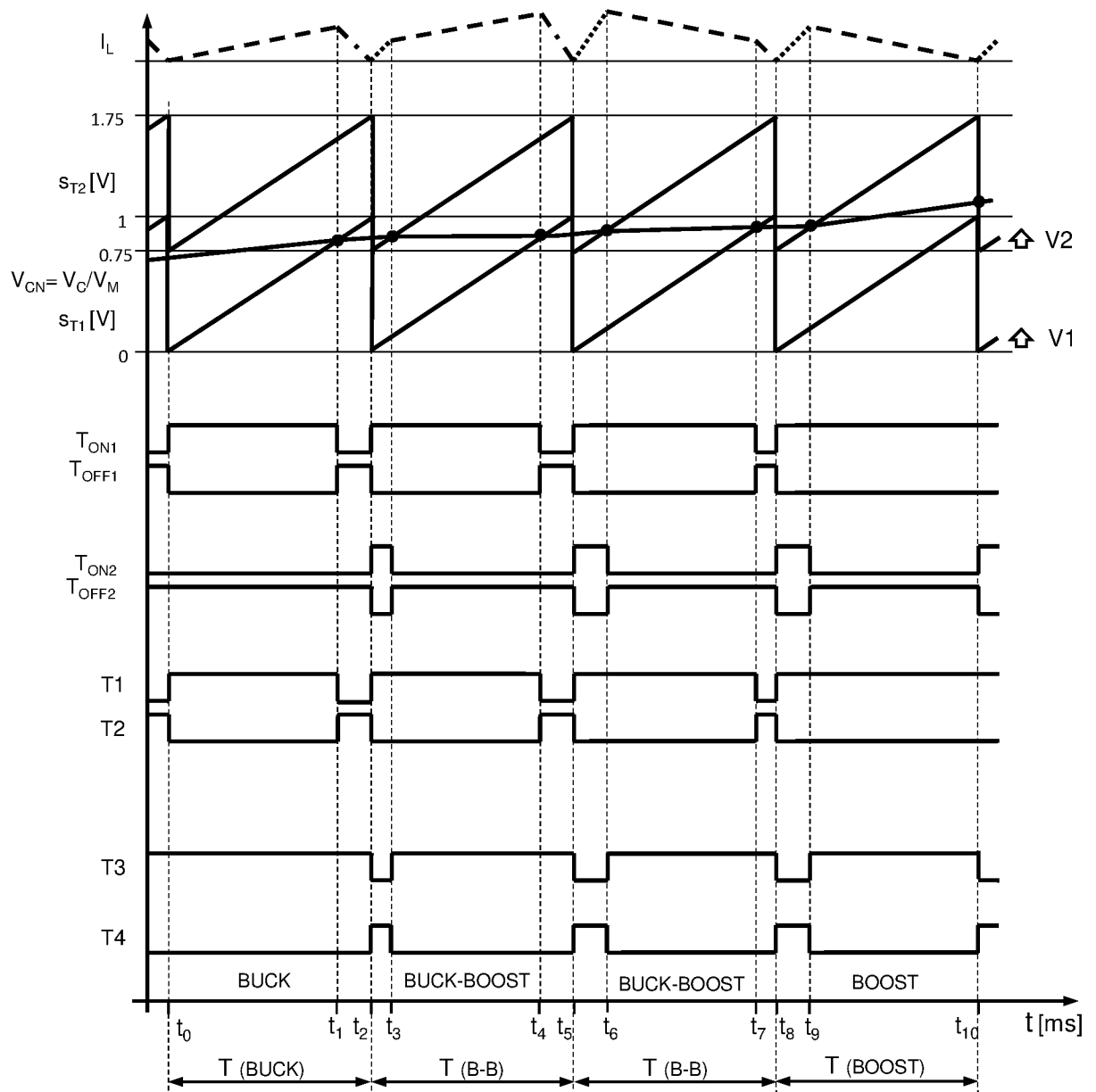


Fig.11

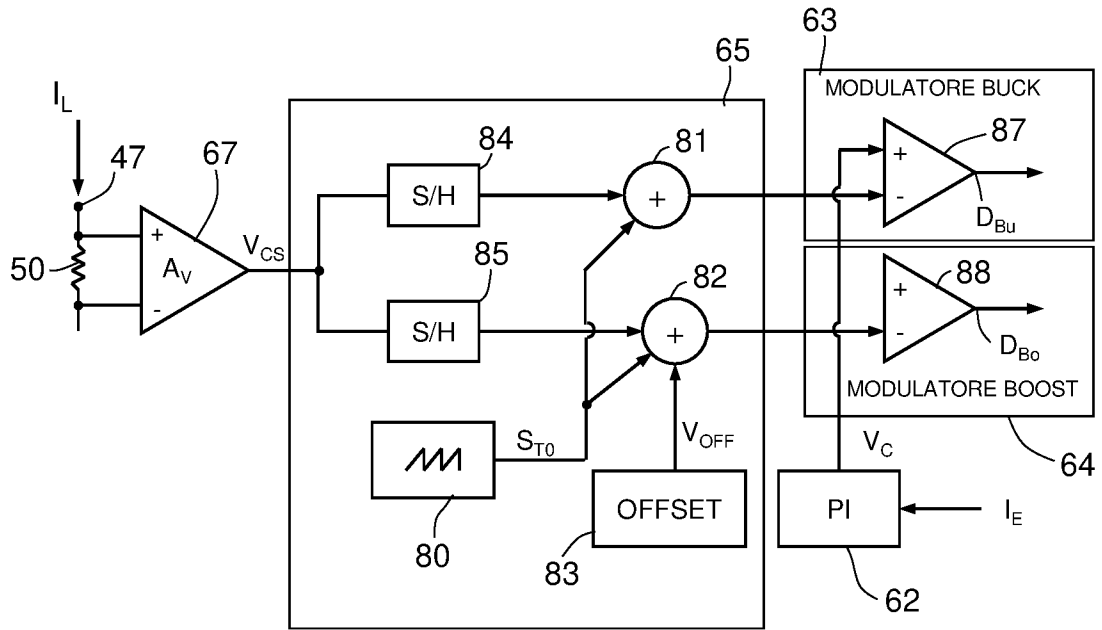


Fig.12

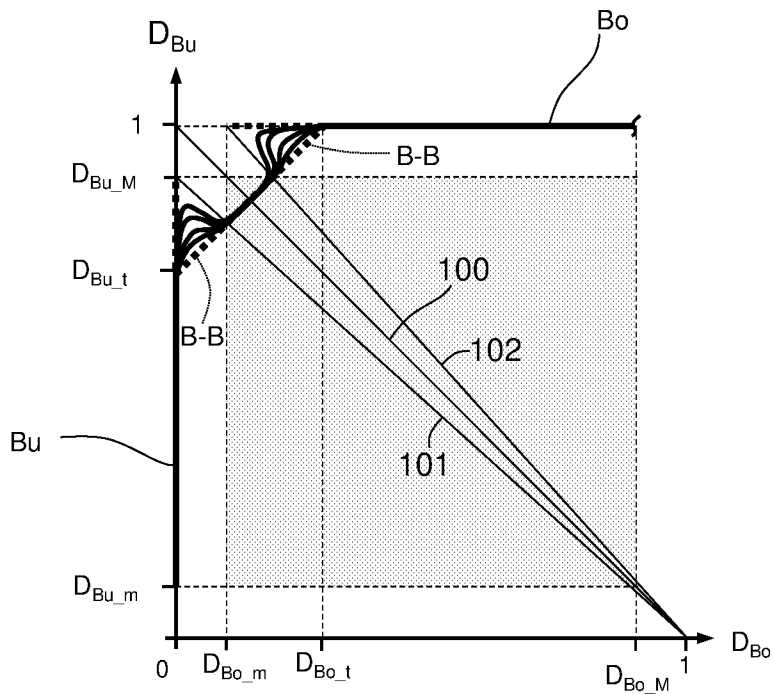


Fig.14

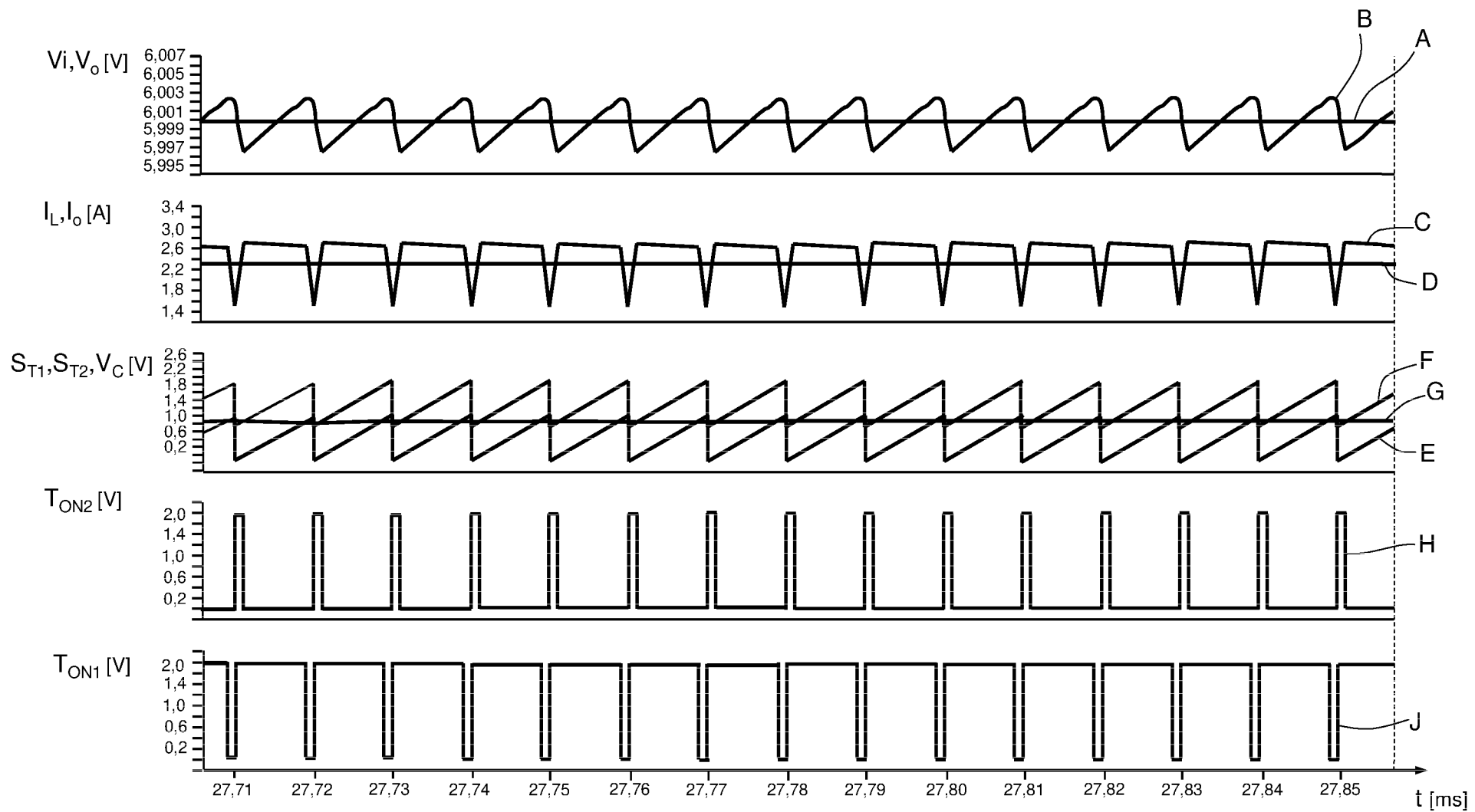


Fig.13