



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

<b>DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO</b>	<b>102019000007386</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>28/05/2019</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>28/11/2020</b>

Classifiche IPC

<b>Sezione</b>	<b>Classe</b>	<b>Sottoclasse</b>	<b>Gruppo</b>	<b>Sottogruppo</b>
H	02	M	3	335

<b>Sezione</b>	<b>Classe</b>	<b>Sottoclasse</b>	<b>Gruppo</b>	<b>Sottogruppo</b>
H	02	M	1	32

<b>Sezione</b>	<b>Classe</b>	<b>Sottoclasse</b>	<b>Gruppo</b>	<b>Sottogruppo</b>
H	02	M	1	34

Titolo

Convertitore DC-DC
--------------------

**DESCRIZIONE**

Annessa a domanda di brevetto per INVENZIONE INDUSTRIALE avente per titolo

**“Convertitore DC-DC”**

A nome: ELDOR CORPORATION S.p.A.  
VIA DON PAOLO BERRA 18  
22030 Orsenigo (CO)  
Italia

Mandatari: Ing. Giancarlo PENZA, Albo iscr. nr.1335 B, Ing. Umberto ZERMANI, Albo iscr. nr. 1518 B, Ing. Lucia VITTORANGELI, Albo iscr. nr.983 BM, Ing. Dario ALDE, Albo iscr. nr.1338 B, Ing. Marco BELLASIO, Albo iscr. nr.1088 B, Ing. Giancarlo BELLONI, Albo iscr. nr.1113B, D.ssa Cristina BIGGI, Albo iscr. nr.1239 B, Dott. Andrea DELBARBA, Albo iscr. nr.1785B, Ing. Ivan FRAGALA', Albo iscr. nr.1786B, Ing. Stefano GRASSI, Albo iscr. nr.1239 B, Ing. Simona INCHINGALO, Albo iscr. nr.1341 B, D.ssa Elena ROSSETTI, Albo iscr. nr. 1124 B, Ing. Ugo ROSSI, Albo iscr. nr. 1209 B, Elio Fabrizio TANSINI, Albo iscr. nr.697 BM, Ing. Luigi TARABBIA, Albo iscr. nr.1005 BM, Ing. Umberto ZERMANI, Albo iscr. nr. 1518 B

\*\*\*\*\*

**Campo tecnico dell'invenzione**

La presente invenzione riguarda in generale il settore dell'elettronica.

Più in particolare, la presente invenzione riguarda un convertitore DC-DC.

**5 Tecnica nota**

Un convertitore DC-DC è un circuito elettronico che converte una sorgente di corrente continua (DC= direct current) da un livello di tensione ad un altro.

10 Al giorno d'oggi i convertitori DC-DC sono utilizzati ad esempio nei dispositivi elettronici portatili, come ad esempio smartphone e personal

computer portatili, allo scopo di convertire il livello di tensione generato dalla batteria di alimentazione in uno o più livelli di tensione differenti in grado di alimentare correttamente i componenti elettronici montati sulle schede elettroniche all'interno dei dispositivi elettronici portatili.

5 I moderni convertitori DC-DC effettuano la conversione del livello di tensione effettuando prima una conversione da un livello di tensione continua ad una tensione alternata (AC) ad elevata frequenza per mezzo di un trasformatore allo scopo di modificare il livello di tensione, poi effettuano un raddrizzamento della tensione alternata in modo da generare una  
10 tensione continua di livello diverso.

Inoltre i moderni convertitori DC-DC effettuano la conversione utilizzando tecniche di commutazione, che permettono di aumentare notevolmente (rispetto a regolatori di tensione lineari) l'efficienza, ridurre lo spazio occupato perché utilizzano componenti elettronici più piccoli e inoltre  
15 presentano minori problematiche di dissipazione termica.

I convertitori DC-DC di tipo a commutazione (noti come "convertitori DC-DC a modalità commutata") accumulano temporaneamente l'energia elettrica in un componente di accumulo magnetico (induttore, trasformatore) o di accumulo elettrico (un condensatore) e poi rilasciano l'energia elettrica  
20 accumulata ad un livello di tensione diverso.

Per effettuare una commutazione efficiente vengono utilizzati dispositivi elettronici che effettuano la commutazione con veloci tempi di salita e di discesa, come ad esempio transistori FET di potenza.

Alcuni convertitori DC-DC sono inoltre bidirezionali, ovvero le due  
25 porte del convertitore possono essere una d'ingresso e l'altra di uscita o viceversa, in cui le due porte operano a tensioni nominali diverse e quindi sono denominate porta ad alta tensione HV (high voltage=alta tensione) e porta a bassa tensione LV (low voltage= bassa tensione).

Il trasferimento di potenza fra la porta d'ingresso e quella d'uscita  
30 viene chiamato nel seguente modo:

- “buck” se la porta d’ingresso è quella ad alta tensione HV e la porta d’uscita è quella a bassa tensione LV,
- “boost” se la porta d’ingresso è quella a bassa tensione LV e la porta d’uscita è quella ad alta tensione HV.

5 I convertitori DC-DC bidirezionali sono ad esempio utilizzati nei veicoli a motore ibrido termico-elettrico che utilizzano la frenata per recuperare energia per ricaricare la batteria che alimenta il motore elettrico.

I convertitori DC-DC di tipo a commutazione con accumulo magnetico accumulano periodicamente l’energia nel campo magnetico di un induttore o trasformatore con una frequenza di commutazione compresa fra pochi kHz e 10 MHz, poi l’energia accumulata nel campo magnetico induttore o trasformatore viene rilasciata con la stessa frequenza di commutazione.

La quantità di potenza che viene trasferita al carico collegato al convertitore DC-DC può essere controllata facilmente per mezzo della variazione del duty cycle della corrente di carica dell’induttore o della tensione di carica del trasformatore, in cui il duty cycle è il rapporto fra l’intervallo di tempo di chiusura e la durata di un periodo.

EP 1677410 descrive un convertitore DC-DC bidirezionale di tipo a commutazione che utilizza un trasformatore per l’accumulo e rilascio di energia al fine di effettuare la conversione del livello di tensione.

Il convertitore DC-DC descritto in EP 1677410 utilizza un circuito di taglio 70 (si veda la Fig.1) per evitare che vengano generati picchi di tensione sul lato a bassa tensione, che sarebbero causa di una riduzione di efficienza e potrebbero addirittura causare la rottura di interruttori dal lato a bassa tensione del convertitore DC-DC; il funzionamento del circuito di taglio 70 è quindi controllato da una unità di controllo 72 che genera opportuni segnali.

Il convertitore DC-DC di EP 1677410 ha lo svantaggio che l’unità 72 di controllo del circuito di taglio 70 è troppo complessa.

Inoltre il convertitore DC-DC di EP 1677410 ha lo svantaggio che, quando funziona nella modalità boost in cui è tale da aumentare il valore della tensione continua in uscita rispetto a quella in ingresso, in assenza di tensione da parte del generatore di tensione 10 sul lato ad alta tensione, non consente la regolazione della corrente di carico verso lo stesso generatore di tensione 10.

### **Breve sommario dell'invenzione**

La presente invenzione riguarda un convertitore DC-DC come definito nella annessa rivendicazione 1 e da sue forme di realizzazione preferite descritte nelle rivendicazioni dipendenti da 2 a 8.

La Richiedente ha percepito che il convertitore DC-DC in accordo con la presente invenzione ha i seguenti vantaggi:

- oltre che nei modi buck e boost, può funzionare in un ulteriore modo detto "boost-limit" in cui la porta d'ingresso è quella a bassa tensione LV e la porta d'uscita è quella ad alta tensione HV, in cui l'alta tensione HV è molto inferiore a quella nominale o prossima a zero;
- nella modalità di funzionamento boost-limit, consente di limitare il valore della corrente di carico verso il generatore ad alta tensione;
- nella modalità di funzionamento buck, consente di limitare il valore di sovratensioni inverse nel circuito di raddrizzamento del lato a bassa tensione;
- nella modalità di funzionamento buck, in caso di guasto di un componente nel lato a bassa tensione (per esempio, un interruttore), evita la scarica della batteria a bassa tensione;
- utilizza schemi di pilotaggio più semplici.

Forma oggetto della presente invenzione anche un sistema di alimentazione e controllo come definito nella annessa rivendicazione 9.

Forma oggetto della presente invenzione anche un veicolo a motore elettrico o a motore ibrido di tipo elettrico/termico come definito nella annessa rivendicazione 10.

### **Breve descrizione dei disegni**

Ulteriori caratteristiche ed i vantaggi dell'invenzione risulteranno dalla descrizione che segue di una forma di realizzazione preferita e di sue varianti fornita a titolo esemplificativo con riferimento ai disegni allegati, in cui:

- 5 - la Figura 1 mostra uno schema a blocchi di un convertitore DC-DC secondo una prima forma di realizzazione dell'invenzione;
- la Figura 2A mostra uno schema a blocchi di un convertitore DC-DC in base ad una seconda forma di realizzazione dell'invenzione;
- la Figura 2B mostra uno schema a blocchi di un convertitore DC-DC in  
10 base ad una variante della seconda forma di realizzazione dell'invenzione;
- la Figura 3A mostra uno schema a blocchi di un convertitore DC-DC secondo una terza forma di realizzazione dell'invenzione;
- la Figura 3B mostra uno schema a blocchi di un convertitore DC-DC secondo una variante della terza forma di realizzazione dell'invenzione
- 15 - la Figura 4 mostra schematicamente un sistema di alimentazione e controllo che comprende, alternativamente, il convertitore DC-DC delle Figure 1, 2A, 2B, 3A, 3B;
- le Figure 5A-5D mostrano schematicamente un possibile andamento di alcuni segnali generati in un periodo della modalità di funzionamento "boost"  
20 nel convertitore DC-DC delle Figure 3A-3B e nel sistema di Figura 4;
- le Figure 6A-6D mostrano schematicamente un possibile andamento di alcuni segnali generati in un periodo della modalità di funzionamento "buck" nel convertitore DC-DC delle Figure 3A-3B e nel sistema di Figura 4;
- le Figure 7A-7D mostrano schematicamente un possibile andamento di  
25 alcuni segnali generati in un periodo della modalità di funzionamento "boost-limit" nel convertitore DC-DC delle Figure 3A-3B e nel sistema di Figura 4.

#### **Descrizione dettagliata dell'invenzione**

Si osservi che nella descrizione seguente blocchi, componenti o moduli identici o analoghi sono indicati nelle figure con gli stessi riferimenti  
30 numerici, anche se sono mostrati in differenti forme di realizzazione dell'invenzione.

Con riferimento alla Figura 1, viene mostrato un convertitore 1 di tipo DC-DC (DC=Direct Current) secondo una prima forma di realizzazione dell'invenzione.

Il convertitore DC-DC 1 effettua una conversione di tensione fra due  
5 livelli di tensione continua diversi, indicati con primo livello di tensione continua  $\Delta HV$  (indicato anche con "alta tensione") e con secondo livello di tensione continua  $\Delta LV$  (indicato anche con "bassa tensione").

Inoltre il convertitore DC-DC 1 è di tipo bidirezionale, è dotato di isolamento a trasformatore con rapporto di trasformazione  $N$  ed è tale da  
10 funzionare secondo tre possibili modalità:

- una modalità di funzionamento di tipo "buck" (direzione da sinistra a destra della Figura 1 nel verso di lettura), in cui il convertitore DC-DC 1 effettua una conversione del livello di tensione continua da alta tensione  $\Delta HV$  a bassa tensione  $\Delta LV$ , in cui la bassa tensione  $\Delta LV$  è minore di  $\Delta HV/N$   
15 (ad esempio  $\Delta HV=240$  V,  $N=6$ ,  $\Delta LV=12$  V);

- una modalità di funzionamento di tipo "boost" (direzione da destra a sinistra della Figura 1 nel verso di lettura), in cui il convertitore DC-DC 1 effettua una conversione del livello di tensione continua da bassa tensione  $\Delta LV$  ad alta tensione  $\Delta HV$ , essendo  $\Delta HV/N$  maggiore di  $\Delta LV$  (ad esempio  
20  $\Delta LV=12$  V,  $N=6$ ,  $\Delta HV=360$  V);

- una modalità di funzionamento di tipo "boost-limit" (direzione da destra a sinistra della Figura 1 nel verso di lettura), in cui il convertitore DC-DC 1 effettua una conversione del livello di tensione continua da bassa tensione  $\Delta LV$  ad alta tensione  $\Delta HV$ , essendo  $\Delta HV/N$  minore di  $\Delta LV$  (ad  
25 esempio  $\Delta LV=12$  V,  $N=6$ ,  $\Delta HV=6$  V).

Il convertitore DC-DC 1 comprende un primo terminale d'ingresso/uscita  $HV+$  ed un secondo terminale d'ingresso/uscita  $HV-$ , in cui livello di alta tensione continua  $\Delta HV$  è la differenza di potenziale fra il primo terminale d'ingresso/uscita  $HV+$  ed il secondo terminale d'ingresso/uscita  
30  $HV-$ ; il primo terminale d'ingresso/uscita  $HV+$  è quindi atto a ricevere/generare il valore superiore del livello di alta tensione continua  $\Delta HV$

ed il secondo terminale d'ingresso/uscita HV- è atto a ricevere/generare il valore inferiore del livello di alta tensione continua  $\Delta HV$ .

Il convertitore DC-DC 1 comprende ulteriormente un terzo terminale d'ingresso/uscita LV+ ed un quarto terminale d'ingresso/uscita LV-, in cui il  
5 livello di bassa tensione continua  $\Delta LV$  è la differenza di potenziale fra il terzo terminale d'ingresso/uscita LV+ ed il quarto terminale d'ingresso/uscita LV-; il terzo terminale d'ingresso/uscita LV+ è quindi atto a ricevere/generare il valore superiore del livello di bassa tensione continua  $\Delta LV$  ed il quarto terminale d'ingresso/uscita LV- è atto a ricevere/generare il valore inferiore  
10 del livello di bassa tensione continua  $\Delta LV$ .

I componenti elettrici ed elettronici che compongono il convertitore DC-DC 1 sono elettricamente collegati come mostrato in Figura 1.

Il convertitore DC-DC 1 comprende una porzione ad alta tensione ed una porzione a bassa tensione separate fra di loro da un trasformatore 10,  
15 in cui la porzione ad alta tensione è mostrata nella parte a sinistra della Figura 1 (rispetto alla direzione di lettura della Figura 1) e la porzione a bassa tensione è mostrata nella parte a destra della Figura 1.

Con il termine "alta tensione" si intende un livello positivo di tensione  $\Delta HV$  inferiore ad un primo valore massimo definito  $\Delta HV_{max}$ , ovvero  
20  $0 V < \Delta HV < \Delta HV_{max}$ .

Con il termine "bassa tensione" si intende un livello positivo di tensione  $\Delta LV$  inferiore ad un secondo valore massimo definito  $\Delta LV_{max}$ , in cui il secondo valore massimo definito  $\Delta LV_{max}$  è minore del primo valore massimo definito  $\Delta HV_{max}$ , ovvero  
25  $0 V < \Delta LV < \Delta LV_{max} < \Delta HV_{max}$ .

Per esempio,  $\Delta HV_{max}=400 V$  e  $\Delta LV_{max}=14 V$ , per cui risulta  
30  $0 V < \Delta HV < 400 V$  e  $0 V < \Delta LV < 14 V$ .

In particolare, la porzione ad alta tensione del convertitore DC-DC 1 comprende:

- un raddrizzatore a ponte intero 5 comprendente quattro diodi DS1, DS2, DS3, DS4;
- quattro interruttori S1, S2, S3, S4 aventi una topologia a ponte ad H;

- un induttore di risonanza  $L_{res}$ ;
- una coppia di diodi di taglio D1, D2;
- un avvolgimento primario 10.1 di un trasformatore 10.

La porzione a bassa tensione del convertitore DC-DC 1 comprende:

- 5 - un avvolgimento secondario 10.2 del trasformatore 10;
- un circuito di raddrizzamento sincrono 11;
- due interruttori S5, S6;
- un filtro d'uscita comprendente un primo induttore L1, un secondo induttore L2 ed un condensatore C5;
- 10 - un interruttore di parzializzazione S10;
- un diodo D3 di ricircolo.

Il trasformatore 10 ha la funzione di effettuare una conversione di una tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 in una tensione secondaria  $V_{sec}$  ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2 avente  
15 valore minore della tensione primaria  $V_{pr}$ ; viceversa, il trasformatore 10 ha anche la funzione di effettuare una conversione della tensione secondaria  $V_{sec}$  nella tensione primaria  $V_{pr}$  avente valore maggiore della tensione secondaria  $V_{sec}$ .

Il trasformatore 10 comprende quindi l'avvolgimento primario 10.1,  
20 l'avvolgimento secondario 10.2 ed un nucleo magnetico 10.3 per accoppiare induttivamente l'avvolgimento primario 10.1 con l'avvolgimento secondario 10.2, in cui il rapporto di trasformazione in tensione fra l'avvolgimento primario 10.1 e l'avvolgimento secondario 10.2 è uguale ad un valore  $N > 0$  (per esempio,  $N=6$ ).

25 L'avvolgimento primario 10.1 comprende un primo terminale collegato al raddrizzatore a ponte intero 5 (come verrà spiegato meglio in seguito) e comprende un secondo terminale collegato all'induttore di risonanza  $L_{res}$ .

L'avvolgimento secondario 10.2 comprende un primo terminale  
30 (indicato anche con nodo N1) collegato ad un primo terminale del circuito di raddrizzamento 11 e collegato al primo induttore L1; l'avvolgimento

secondario 10.2 comprende inoltre un secondo terminale (indicato anche con nodo N2) collegato ad un secondo terminale del circuito di raddrizzamento 11 e collegato al secondo induttore L2.

I diodi DS1, DS2, DS3, DS4 del raddrizzatore a ponte intero 5 hanno la funzione di raddrizzare la tensione primaria  $V_{pr}$  generata ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 durante la modalità di funzionamento boost e durante la modalità di funzionamento boost-limit.

Durante la modalità di funzionamento buck, invece, i diodi DS1, DS2, DS3, DS4 sono polarizzati direttamente nel breve tempo morto necessario per commutare lo stato di apertura/chiusura degli interruttori S1, S2, S3 e S4, altrimenti i diodi DS1, DS2, DS3, DS4 sono polarizzati inversamente.

L'induttore di risonanza  $L_{res}$  ha la funzione, nella modalità di funzionamento buck, di permettere la commutazione a tensione nulla (ZVS, zero voltage switching) degli interruttori S1, S2, S3 e S4, grazie alla risonanza con le capacità parassite degli interruttori S1, S2, S3 e S4 stessi.

L'induttore di risonanza  $L_{res}$  comprende un primo terminale collegato al terminale di anodo del diodo DS1 e al terminale di catodo del diodo DS4 e comprende un secondo terminale collegato al secondo terminale dell'avvolgimento primario 10.1.

Si osservi che ai fini della spiegazione dell'invenzione l'induttore di risonanza  $L_{res}$  è stato mostrato come un elemento separato, ma l'induttore di risonanza  $L_{res}$  può anche essere integrato nel trasformatore 10, essendo l'induttore di risonanza  $L_{res}$  costituito dall'induttanza di dispersione dell'avvolgimento primario 10.1 del trasformatore 10 stesso.

I quattro interruttori S1, S2, S3, S4 hanno una topologia a ponte ad H, il quale è costituito da due rami, in cui il primo ramo è formato dal collegamento serie degli interruttori S1 e S4, mentre il secondo ramo è formato dal collegamento serie degli interruttori S2 e S3.

Inoltre i quattro interruttori S1, S2, S3, S4 sono collegati in parallelo rispettivamente ai quattro diodi DS1, DS2, DS3, DS4.

Nella modalità di funzionamento buck i quattro interruttori S1, S2, S3, S4 commutano fra una posizione di chiusura in cui sono sostanzialmente equivalenti ad un corto circuito ed una posizione di apertura in cui sono equivalenti ad un circuito aperto.

5 Durante le modalità di funzionamento boost e boost-limit, invece, gli interruttori S1, S2, S3, S4 sono nella posizione di apertura.

Nella modalità di funzionamento buck i quattro interruttori S1, S2, S3, S4 hanno la funzione di connettere/disconnettere alternativamente il livello di alta tensione continua  $\Delta HV$  a/dall'avvolgimento primario 10.1, controllando opportunamente la generazione della tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 e quindi la tensione secondaria  $V_{sec}$  ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2; per mezzo della commutazione dei quattro interruttori S1, S2, S3, S4, durante la modalità di funzionamento buck il livello di bassa tensione continua  $\Delta LV$  viene connesso/disconnesso alternativamente al/dal primo e secondo induttore L1, L2, come verrà spiegato più in dettaglio in seguito.

15 Gli interruttori S1, S2, S3, S4 sono realizzati ad esempio con transistori MOSFET o transistori bipolari.

Il diodo DS1 è collegato in parallelo all'interruttore S1, il diodo DS2 è collegato in parallelo all'interruttore S2, il diodo DS3 è collegato in parallelo all'interruttore S3 ed il diodo DS4 è collegato in parallelo all'interruttore S4.

Si osservi che ai fini della spiegazione dell'invenzione i diodi DS1, DS2, DS3 e DS4 sono stati considerati come elementi separati, ma i diodi DS1, DS2, DS3 e DS4 possono anche essere i diodi di body della eventuale realizzazione a MOSFET rispettivamente degli interruttori S1, S2, S3 ed S4.

L'interruttore S1 comprende un primo terminale I collegato al primo terminale d'ingresso/uscita  $HV+$  e al terminale di catodo del diodo DS1; l'interruttore S1 comprende inoltre un secondo terminale O collegato al terminale di anodo del diodo DS1, collegato all'interruttore S4, collegato al diodo DS4 e collegato al primo terminale dell'induttore di risonanza  $L_{res}$ .

L'interruttore S1 comprende inoltre un terminale di controllo C atto a ricevere un primo segnale PWM1A che controlla l'apertura e la chiusura periodica dell'interruttore S1 nella modalità di funzionamento buck e mantiene aperto l'interruttore S1 nella modalità di funzionamento boost e boost-limit.

L'interruttore S2 comprende un primo terminale I collegato al primo terminale I del primo interruttore S1 (e quindi collegato al primo terminale d'ingresso/uscita HV+) e collegato al terminale di catodo del diodo DS2; l'interruttore S2 comprende inoltre un secondo terminale O collegato al terminale di anodo del diodo DS2, collegato al primo terminale dell'avvolgimento primario 10.1, collegato all'interruttore S3 e collegato al diodo DS3.

L'interruttore S2 comprende inoltre un terminale di controllo C atto a ricevere un secondo segnale PWM2A che controlla l'apertura e la chiusura periodica dell'interruttore S2 nella modalità di funzionamento buck e mantiene aperto l'interruttore S2 nella modalità di funzionamento boost e boost-limit.

L'interruttore S4 comprende un primo terminale I collegato al terminale di catodo del diodo DS4 e collegato al secondo terminale O dell'interruttore S1 (e quindi collegato al primo terminale dell'induttore di risonanza L\_res); l'interruttore S4 comprende inoltre un secondo terminale O collegato al terminale di anodo del diodo DS4, collegato al secondo terminale d'ingresso/uscita HV-, collegato all'interruttore S3 e collegato al diodo DS3.

L'interruttore S4 comprende inoltre un terminale di controllo C atto a ricevere un quarto segnale PWM1B che controlla l'apertura e la chiusura periodica dell'interruttore S4 nella modalità di funzionamento buck e mantiene aperto l'interruttore S4 nella modalità di funzionamento boost e boost-limit.

L'interruttore S3 comprende un primo terminale I collegato al terminale di catodo del diodo DS3 e collegato al secondo terminale O

dell'interruttore S2 (e quindi collegato al primo terminale dell'avvolgimento primario 10.1); l'interruttore S3 comprende inoltre un secondo terminale O collegato al terminale di anodo del diodo DS3 e collegato al secondo terminale O dell'interruttore S4 (e quindi collegato al secondo terminale d'ingresso/uscita HV-).

L'interruttore S3 comprende inoltre un terminale di controllo C atto a ricevere un terzo segnale PWM2B che controlla l'apertura e la chiusura periodica dell'interruttore S3 nella modalità di funzionamento buck e mantiene aperto l'interruttore S3 nella modalità di funzionamento boost e boost-limit.

Nelle modalità di funzionamento boost e boost-limit tutti i segnali PWM1A, PWM1B, PWM2A, PWM2B sono al valore logico basso.

Nella modalità di funzionamento buck il segnale PWM1A è sfasato di 180 gradi rispetto al segnale PWM1B ed il segnale PWM2A è sfasato di 180 gradi rispetto al segnale PWM2B, come mostrato nella Figura 6A.

Inoltre nella modalità di funzionamento buck il segnale PWM1A è sfasato di un certo angolo compreso tra 0 e 180 gradi rispetto al segnale PWM2A, come mostrato nella Figura 6A; in altre parole, i segnali PWM1A e PWM2A sono attivi contemporaneamente per un intervallo di tempo che è compreso fra 0 e massimo la metà del periodo di commutazione.

Analogamente, nella modalità di funzionamento buck il segnale PWM1B è sfasato di un certo angolo compreso tra 0 e 180 gradi rispetto al segnale PWM2B, come mostrato nelle Figure 6A; in altre parole, i segnali PWM1B e PWM2B sono attivi contemporaneamente per un intervallo di tempo che è compreso fra 0 e la metà del periodo di commutazione.

Sempre nella modalità buck, i segnali SINC2, SINC1 di controllo rispettivamente degli interruttori S5, S6 sono generati in maniera sincrona ai fronti dei segnali di controllo PWM1A, PWM1B, PWM2A, PWM2B, come verrà spiegato più in dettaglio in seguito.

Il circuito di raddrizzamento sincrono 11 è collegato in parallelo fra il primo terminale del primo induttore L1 ed il primo terminale del secondo induttore L2.

In particolare, il circuito di raddrizzamento sincrono 11 comprende  
5 due diodi raddrizzatori DS5, DS6 che sono collegati in parallelo  
rispettivamente agli interruttori S5, S6.

Durante la modalità di funzionamento buck, i diodi raddrizzatori DS5, DS6 hanno la funzione di raddrizzare la tensione secondaria  $V_{sec}$  generata ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2.

10 Durante la modalità di funzionamento boost, invece, i diodi raddrizzatori DS5, DS6 sono polarizzati inversamente e quindi sono equivalenti ad un circuito aperto.

Il diodo raddrizzatore DS5 comprende un terminale di catodo collegato al terminale I dell'interruttore S5, collegato al primo terminale dell'avvolgimento secondario 10.2 e collegato al primo terminale del primo  
15 induttore L1; il diodo raddrizzatore DS5 comprende un terminale di anodo collegato al terminale O dell'interruttore S5, collegato all'anodo del diodo raddrizzatore DS6, collegato all'interruttore S6, collegato al diodo di ricircolo D3, collegato al condensatore C5 e collegato al quarto terminale  
20 d'ingresso/uscita LV-.

Il diodo raddrizzatore DS6 comprende un terminale di anodo collegato al terminale I dell'interruttore S6 e collegato al terminale di anodo del diodo raddrizzatore DS5 (e quindi collegato al quarto terminale d'ingresso/uscita LV-); il diodo raddrizzatore DS6 comprende un terminale  
25 di catodo collegato al terminale O dell'interruttore S6, collegato al secondo terminale dell'avvolgimento secondario 10.2 e collegato al primo terminale del secondo induttore L2.

Gli interruttori S5, S6 sono collegati fra di loro in serie e detta serie è posta in parallelo all'avvolgimento secondario 10.2.

30 Gli interruttori S5, S6 comprendono un rispettivo terminale di controllo C atto a ricevere rispettivamente un primo ed un secondo segnale

di controllo SINC1, SINC2 per controllare l'apertura e chiusura rispettivamente degli interruttori S5, S6.

5 Gli interruttori S5, S6 hanno la funzione, durante ciascun ciclo della modalità di funzionamento boost, di commutare fra una posizione di chiusura ed una di apertura in funzione rispettivamente del valore dei segnali di controllo SINC2, SINC1, allo scopo di trasferire energia dal primo induttore L1 e dal secondo induttore L2 all'avvolgimento secondario 10.2, come verrà spiegato più in dettaglio in seguito relativamente alla descrizione della Figura 5A.

10 Nella modalità di funzionamento buck, invece, gli interruttori S5, S6 commutano fra la posizione aperta e la posizione chiusa in modo sincrono rispetto agli interruttori S1, S2, S3, S4 del raddrizzatore a ponte intero 5, come verrà spiegato più in dettaglio in seguito relativamente alla descrizione delle Figure 6A-6D.

15 Gli interruttori S5, S6 sono realizzati ad esempio con transistori MOSFET o transistori bipolari.

Nella modalità di funzionamento boost-limit, i segnali SINC2, SINC1, S\_sf controllano rispettivamente gli interruttori S5, S6, S10 con andamenti periodici, come verrà spiegato più in dettaglio in seguito relativamente alla  
20 descrizione delle Figure 7A-7D.

Inoltre gli interruttori S5, S6 hanno la funzione, durante ciascun ciclo della modalità di funzionamento buck, di commutare fra una posizione aperta ed una posizione chiusa in modo sincrono rispetto ai quattro interruttori S1, S2, S3, S4, allo scopo di connettere/disconnettere  
25 alternativamente il primo e secondo induttore L1, L2 al/dal livello di bassa tensione continua  $\Delta LV$ , come verrà spiegato più in dettaglio in seguito.

In particolare, l'interruttore S5 comprende un primo terminale I collegato al primo terminale (nodo N1) dell'avvolgimento secondario 10.2 e al primo terminale (nodo N1) del primo induttore L1 e comprende un  
30 secondo terminale O collegato all'interruttore S6, al diodo di ricircolo D3 e al quarto terminale d'ingresso/uscita LV-.

L'interruttore S5 comprende inoltre un terminale di controllo C atto a ricevere un segnale SINC2 che ne controlla l'apertura e chiusura.

Il diodo raddrizzatore DS5 è collegato in parallelo all'interruttore S5, ovvero il terminale di catodo del diodo raddrizzatore DS5 è collegato al primo terminale I dell'interruttore S5 ed il terminale di anodo del diodo raddrizzatore DS5 è collegato al secondo terminale O dell'interruttore S5.

L'interruttore S6 comprende un primo terminale I collegato al secondo terminale O dell'interruttore S5 (e quindi collegato al quarto terminale d'ingresso/uscita LV- ed al diodo di ricircolo D3) e comprende un secondo terminale O collegato al secondo terminale dell'avvolgimento secondario 10.2 ed al primo terminale (nodo N2) del secondo induttore L2.

L'interruttore S6 comprende inoltre un terminale di controllo C atto a ricevere un segnale SINC1 che ne controlla l'apertura e chiusura.

Il diodo raddrizzatore DS6 è collegato in parallelo all'interruttore S6, ovvero il terminale di anodo del diodo raddrizzatore DS6 è collegato al primo terminale I dell'interruttore S6 ed il terminale di catodo del diodo raddrizzatore DS6 è collegato al secondo terminale O dell'interruttore S6.

Il filtro d'uscita comprende il primo induttore L1, il secondo induttore L2 ed il condensatore C5.

Il primo induttore L1 ha la funzione, durante le modalità di funzionamento boost e boost-limit, di immagazzinare energia e poi di rilasciare l'energia immagazzinata verso l'avvolgimento secondario 10.2; invece nella modalità di funzionamento buck il primo induttore L1 ha la funzione (insieme al condensatore C5) di effettuare un filtraggio di tipo passa-basso.

Il primo induttore L1 comprende un primo terminale (nodo N1) collegato al primo terminale dell'avvolgimento secondario 10.2 e comprende un secondo terminale collegato al secondo induttore L2; inoltre il secondo terminale del primo induttore L1 è collegato al terminale di catodo del diodo di ricircolo D3 e all'interruttore di parzializzazione S10.

Il secondo induttore L2 ha la funzione, durante le modalità di funzionamento boost e boost-limit, di immagazzinare energia e poi di rilasciare l'energia immagazzinata verso l'avvolgimento secondario 10.2; invece nella modalità di funzionamento buck il secondo induttore L2 ha la  
5 funzione (insieme al condensatore C5) di effettuare un filtraggio di tipo passa-basso.

Il secondo induttore L2 comprende un primo terminale (nodo N2) collegato al secondo terminale dell'avvolgimento secondario 10.2 e comprende un secondo terminale collegato al secondo terminale (nodo N3)  
10 del secondo induttore L2; inoltre il secondo terminale del secondo induttore L2 è collegato al terminale di catodo del diodo di ricircolo D3 e all'interruttore di parzializzazione S10.

L'insieme degli interruttori S5, S6 e del filtro d'uscita (comprendente L1, L2, C5) realizza un "current doubler" sincrono.

L'insieme del diodo di ricircolo D3 e dell'interruttore di parzializzazione S10 costituiscono un circuito di parzializzazione che consente di limitare, nella modalità di funzionamento boost-limit in cui la differenza di tensione fra il terminale HV+ ed il terminale HV- è piccola (per  
15 esempio, uguale a 6 V), il valore della corrente di carico verso il generatore ad alta tensione 40 (e quindi consente di regolare la corrente sul carico ad alta tensione 45), come verrà spiegato più in dettaglio in seguito relativamente alla descrizione delle Figure 7A-7D in cui è illustrato il funzionamento del convertitore DC-DC nella modalità boost-limit.

Questo viene ottenuto, nella modalità di funzionamento boost-limit,  
25 con il diodo di ricircolo D3 che lavora in controfase all'interruttore di parzializzazione S10, ovvero:

- quando il diodo di ricircolo D3 conduce (ovvero è polarizzato direttamente), l'interruttore di parzializzazione S10 è aperto;
- quando il diodo di ricircolo D3 non conduce (ovvero è polarizzato  
30 inversamente), l'interruttore di parzializzazione S10 è chiuso.

Pertanto l'insieme del diodo di ricircolo D3 e dell'interruttore di parzializzazione S10 hanno la funzione di limitare il valore della corrente che scorre nel lato a bassa tensione del convertitore DC-DC 1, riducendo così l'energia immagazzinata negli induttori L1 e L2.

5           Nelle modalità di funzionamento buck e boost, invece, il diodo di ricircolo D3 è polarizzato inversamente.

          Il diodo di ricircolo D3 comprende un terminale di catodo collegato al secondo terminale (nodo N3) del primo induttore L1; inoltre il terminale di catodo del diodo di ricircolo D3 è collegato al secondo terminale del primo  
10 induttore L1, al secondo terminale del secondo induttore L2 e all'interruttore di parzializzazione S10.

          Il diodo di ricircolo D3 comprende un terminale di anodo collegato al condensatore C5, al quarto terminale d'ingresso/uscita LV- e al nodo comune fra gli interruttori S5 e S6 (ovvero il terminale di anodo del diodo di  
15 ricircolo D3 è collegato al terminale O del dell'interruttore S5 e al terminale I dell'interruttore S6).

          L'interruttore di parzializzazione S10 comprende un primo terminale I collegato al secondo terminale (nodo N3) del primo induttore L1 e al secondo terminale del secondo induttore L2 (e quindi collegato al terminale  
20 di catodo del diodo di ricircolo D3).

          L'interruttore di parzializzazione S10 comprende inoltre un secondo terminale O collegato al condensatore C5 e al terzo terminale d'ingresso/uscita LV+.

          L'interruttore di parzializzazione S10 ha la funzione, durante la  
25 modalità di funzionamento boost-limit, di commutare periodicamente fra una posizione aperta ed una posizione chiusa allo scopo di limitare (in combinazione con il diodo di ricircolo D3) il valore della corrente che scorre nel lato a bassa tensione del convertitore DC-DC 1.

          Nella modalità di funzionamento buck, invece, l'interruttore di  
30 parzializzazione S10 ha una ulteriore funzione di protezione, in quanto è tale da commutare nella posizione aperta in modo da disconnettere la parte

a bassa tensione del convertitore DC-DC 1 dalla batteria a bassa tensione 41, in caso di rilevamento di un guasto di un componente nella parte a bassa tensione del convertitore DC-DC 1 (per esempio, un guasto di un interruttore o un corto-circuito interno), evitando così la scarica della batteria a bassa tensione 41.

Il guasto di un componente nella parte a bassa tensione del convertitore DC-DC 1 può essere ad esempio:

- un corto-circuito sul diodo D3;
- un guasto o un corto-circuito sull'interruttore S5 o S6;
- 10 - un guasto o corto-circuito sul diodo raddrizzatore DS5 o DS6.

In particolare, detta disconnessione della parte a bassa tensione del convertitore DC-DC 1 avviene separando elettricamente il terzo terminale d'ingresso/uscita LV+ dal nodo N3 comune al primo e secondo induttore L1, L2.

15 Il condensatore C5 è collegato in parallelo al terzo e quarto terminale d'ingresso/uscita LV+, LV-.

Il condensatore C5 comprende un primo terminale collegato all'interruttore di parzializzazione S10 e al terzo terminale d'ingresso/uscita LV+.

20 Il condensatore C5 comprende inoltre un secondo terminale collegato al terminale O dell'interruttore S5, al terminale I dell'interruttore S6 e al terminale di anodo del diodo di ricircolo D3.

Il secondo terminale del condensatore C5 è inoltre collegato al quarto terminale d'ingresso/uscita LV-; il livello di bassa tensione continua  $\Delta LV$  rappresenta quindi la caduta di tensione ai capi del condensatore C5.

Il condensatore C5 nella modalità di funzionamento buck ha la funzione (insieme al primo o al secondo induttore L1, L2) di effettuare un filtraggio di tipo passa-basso.

25 Nelle modalità di funzionamento boost e boost-limit il condensatore C5 ha invece la funzione di far circolare la componente alternata della corrente che scorre verso gli induttori L1 e L2.

Preferibilmente, il convertitore DC-DC 1 comprende ulteriormente un diodo di protezione D6 collegato in parallelo all'interruttore di parzializzazione S10.

5 In particolare, il diodo di protezione D6 comprende un terminale di anodo collegato al primo terminale I dell'interruttore di parzializzazione S10 e comprende un terminale di catodo collegato al secondo terminale O dell'interruttore di parzializzazione S10.

Pertanto il terminale di anodo del diodo di protezione D6 è collegato al secondo terminale (nodo N3) del primo induttore L1 ed al secondo  
10 terminale del secondo induttore L2 ed è collegato al terminale di catodo del diodo di ricircolo D3.

Il terminale di catodo del diodo di protezione D6 è quindi collegato al primo terminale del condensatore C5 ed al terzo terminale d'ingresso/uscita LV+.

15 Il diodo di protezione D6 ha una funzione di sicurezza nella modalità di funzionamento buck, nel caso in cui l'interruttore di parzializzazione S10 (che in modalità buck è sempre chiuso) dovesse aprirsi in maniera incontrollata (ad es. per un guasto): il diodo D6 permette alle correnti uscenti dagli induttori L1 e L2 di fluire verso l'uscita a bassa tensione  $\Delta LV$  per il  
20 tempo necessario al rilevamento del guasto, evitando sovratensioni al nodo N3 nel lato a bassa tensione.

Si osservi che il diodo D6 è stato mostrato come un elemento separato, ma nel caso in cui l'interruttore di parzializzazione S10 sia realizzato con un transistor MOSFET, il diodo D6 può essere il diodo di  
25 body dello stesso transistor MOSFET S10.

Preferibilmente, la porzione ad alta tensione del convertitore DC-DC 1 comprende ulteriormente una coppia di diodi di taglio D1, D2, collegati rispettivamente fra il primo terminale d'ingresso/uscita HV+ e l'induttore di risonanza L\_res e fra l'induttore di risonanza L\_res ed il secondo terminale  
30 d'ingresso/uscita HV-.

I diodi di taglio D1, D2 hanno la funzione, nelle modalità di funzionamento buck, boost e boost-limit, di fornire un percorso a bassa impedenza fra il loro nodo comune e il livello di alta tensione continua  $\Delta HV$ , aggirando il percorso ad alta impedenza fornito dall'induttore di risonanza L\_res.

In particolare, il terminale di catodo del diodo di taglio D2 è collegato al primo terminale d'ingresso/uscita HV+, il terminale di anodo del diodo di taglio D1 è collegato al secondo terminale d'ingresso/uscita HV-, il terminale di catodo del diodo di taglio D1 è collegato al secondo terminale dell'induttore di risonanza L\_res e anche il terminale di anodo del diodo di taglio D2 è collegato al secondo terminale dell'induttore di risonanza L\_res (pertanto il nodo comune ai diodi di taglio D1 e D2 è collegato al secondo terminale dell'induttore di risonanza L\_res).

Con riferimento alla Figura 2A, viene mostrato un convertitore DC-DC 101 in base ad una seconda forma di realizzazione dell'invenzione.

Il convertitore 101 di Figura 2A differisce da quello di Figura 1 per il fatto di comprendere un ulteriore circuito di taglio 12 che include:

- un diodo di taglio D4;
- un diodo di taglio D5;
- un resistore R2;
- un condensatore C1;
- un primo resistore di smorzamento R1\_dmp.

Nella modalità di funzionamento buck, boost e boost-limit il circuito di taglio 12 ha la funzione di limitare il valore di sovratensioni nel lato a bassa tensione del convertitore DC-DC 1, in particolare limitando sovratensioni sul nodo N1 (per mezzo del diodo di taglio D4 e del condensatore C1) e sul nodo N2 (per mezzo del diodo di taglio D5 e del condensatore C1), vincolando la tensione sul nodo N1 e sul nodo N2 a non superare la tensione del condensatore C1, limitando quindi sovratensioni nel circuito di raddrizzamento 11 comprendente i diodi raddrizzatori DS5, DS6.

Il diodo di taglio D4 comprende un terminale di anodo collegato al primo terminale dell'avvolgimento secondario 10.2 (nodo N1); inoltre il terminale di anodo del diodo di taglio D4 è collegato al primo terminale del primo induttore L1, all'interruttore S5 ed al diodo raddrizzatore DS5.

5 Il diodo di taglio D4 comprende un terminale di catodo collegato al resistore R2, al condensatore C1 e al diodo di taglio D5.

Il diodo di taglio D5 comprende un terminale di catodo collegato al terminale di catodo del diodo di taglio D4; inoltre il terminale di catodo del diodo di taglio D5 è collegato al resistore R2 ed al condensatore C1.

10 Il diodo di taglio D5 comprende un terminale di anodo collegato al secondo terminale (nodo N2) dell'avvolgimento secondario 10.2; inoltre il terminale di anodo del diodo di taglio D5 è collegato al primo terminale del secondo induttore L2, all'interruttore S6 ed al diodo raddrizzatore DS6.

Il resistore R2 comprende un primo terminale collegato al terminale di catodo del diodo di taglio D4 e al terminale di catodo del diodo di taglio D5 e comprende un secondo terminale collegato al nodo comune al primo e secondo induttore L1, L2 (ovvero il secondo terminale del resistore R3 è collegato al secondo terminale del primo induttore L1 (nodo N3) e al secondo terminale del secondo induttore L2.

20 Il condensatore C1 è collegato in serie al primo resistore di smorzamento R1\_dmp e detto collegamento serie è interposto fra il nodo comune fra i diodi di taglio D4, D5 ed il terminale di anodo del diodo di ricircolo D3.

In particolare, il condensatore C1 comprende un primo terminale collegato ai terminali di catodo dei diodi di taglio D4, D5 e comprende un secondo terminale collegato al primo resistore di smorzamento R1\_dmp.

Il primo resistore di smorzamento R1\_dmp comprende un primo terminale collegato al secondo terminale del condensatore C1 e comprende un secondo terminale collegato al terminale di anodo del diodo di ricircolo D3 e al secondo terminale del condensatore C5 (e quindi il secondo

30

terminale del primo resistore di smorzamento R1\_dmp è collegato al quarto terminale d'ingresso/uscita LV-).

I diodi D4 e D5 vincolano la tensione rispettivamente al nodo N1 ed al nodo N2 a non superare la tensione del condensatore C1.

5 Il resistore R2 forma un filtro passa-basso insieme al condensatore C1, in modo che la tensione su quest'ultimo tenda a quella sul nodo N3.

Il resistore di smorzamento R1\_dmp opera uno smorzamento durante i transitori del condensatore C1.

10 Con riferimento alla Figura 2B, viene mostrato un convertitore DC-DC 102 in base ad una variante della seconda forma di realizzazione dell'invenzione.

Il convertitore DC-DC 102 di Figura 2B differisce dal convertitore DC-DC 101 di Figura 2A per il fatto che il secondo terminale del resistore R2 è collegato al nodo comune fra gli interruttori S5, S6.

15 Con riferimento alla Figura 3A, viene mostrato un convertitore DC-DC 101 secondo una terza forma di realizzazione dell'invenzione.

Il convertitore 151 di Figura 3A differisce da quello di Figura 2A per il fatto che il circuito di taglio comprende ulteriormente:

- un interruttore S7;
- 20 - un interruttore S8,
- un interruttore S9;
- un secondo resistore di smorzamento R2\_dmp.

Gli interruttori S7, S8 sono collegati fra di loro in serie e detto collegamento serie è posto in parallelo all'avvolgimento secondario 10.2.

25 Nella modalità di funzionamento buck, boost e boost-limit gli interruttori S7, S8 commutano fra la posizione aperta e la posizione chiusa, allo scopo di effettuare un'azione di taglio sincrono, aggirando il taglio asincrono realizzato da D4 e D5, al fine di ottenere una minore dissipazione di potenza e migliorare l'efficienza complessiva del convertitore DC-DC 151.

30 L'interruttore S7 è collegato in parallelo al diodo di taglio D4 e comprende un primo terminale I collegato al terminale di anodo del diodo di

taglio D4 ed un secondo terminale O collegato al terminale di catodo del diodo di taglio D4.

Inoltre il primo terminale I dell'interruttore S7 è collegato al primo terminale dell'avvolgimento secondario 10.2, al primo terminale del primo  
5 induttore L1, all'interruttore S5 e al diodo raddrizzatore DS5.

Il secondo terminale O dell'interruttore S7 è inoltre collegato al primo terminale del resistore R2 e al primo terminale del condensatore C1.

L'interruttore S7 comprende inoltre un terminale di controllo C atto a ricevere un segnale di controllo SC2 che ne controlla l'apertura e chiusura  
10 periodica.

L'interruttore S8 è collegato in parallelo al diodo di taglio D5 e comprende un primo terminale I collegato al terminale di catodo del diodo di taglio D5 ed un secondo terminale O collegato al terminale di anodo del diodo di taglio D5.

Inoltre il primo terminale I dell'interruttore S8 è collegato al terminale O dell'interruttore S7, al primo terminale del resistore R2 e al primo terminale del condensatore C1.

Il secondo terminale O dell'interruttore S9 è inoltre collegato al secondo terminale dell'avvolgimento secondario 10.2, al primo terminale  
20 del secondo induttore L2, all'interruttore S6 e al diodo raddrizzatore DS6.

L'interruttore S8 comprende inoltre un terminale di controllo C atto a ricevere un segnale di controllo SC1 che ne controlla l'apertura e chiusura periodica.

Il secondo resistore di smorzamento R2\_dmp e l'interruttore S9 sono  
25 collegati in serie e detto collegamento serie è posto in parallelo al primo resistore di smorzamento R1\_dmp.

Gli interruttori S7 ed S8 operano in controfase rispettivamente agli interruttori S5 ed S6, ovvero, fatto salvo il breve tempo morto per consentire le commutazioni:

30 - quando l'interruttore S7 è aperto, l'interruttore S5 è chiuso, mentre quando l'interruttore S7 è chiuso, l'interruttore S5 è aperto;

- quando l'interruttore S8 è aperto, l'interruttore S6 è chiuso, mentre quando l'interruttore S8 è chiuso, l'interruttore S6 è aperto.

Il resistore di smorzamento R2\_dmp è collegato in parallelo al resistore di smorzamento R1\_dmp chiudendo l'interruttore S9, andando a modificare la resistenza di smorzamento complessiva, al fine di ottimizzare il funzionamento del circuito di taglio 12 nelle modalità di funzionamento boost, buck e boost-limit.

Le Figure 5A-5D mostrano un possibile andamento in un ciclo di durata  $\Delta T_b$  (uguale per esempio a 10 us) di alcuni segnali generati nel convertitore DC-DC 151 delle Figure 3A-3B che funziona nella modalità boost e nel sistema di Figura 4; i segnali si ripetono periodicamente in cicli successivi.

I segnali mostrati nelle Figure 5A-5D hanno i seguenti significati:

- SINC1 (S6): segnale di controllo dell'interruttore S6;
- 15 - SC1 (S8): segnale di controllo dell'interruttore S8;
- SINC2 (S5): segnale di controllo dell'interruttore S5;
- SC2 (S7): segnale di controllo dell'interruttore S7;
- I(S10): corrente che scorre attraverso l'interruttore di parzializzazione S10;
- 20 - I(D4): corrente che scorre attraverso il diodo di taglio D4;
- I(D5): corrente che scorre attraverso il diodo di taglio D5;
- I(L1): corrente che scorre attraverso il primo induttore L1;
- I(L2): corrente che scorre attraverso il secondo induttore L2;
- Isec: corrente che scorre attraverso l'avvolgimento secondario 10.2;
- 25 - Vsec: tensione ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2;
- Vpr: tensione ai capi dell'avvolgimento primario 10.1;
- I(D1): corrente che scorre attraverso il diodo di taglio D1;
- I(D2): corrente che scorre attraverso il diodo di taglio D2;
- I(DS2): corrente che scorre attraverso il diodo DS2;
- 30 - I(DS3): corrente che scorre attraverso il diodo DS3.

Nella Figura 5A Si considera che i segnali di controllo degli interruttori hanno un valore logico basso ( $V_L$ ) che apre l'interruttore ed un valore logico alto ( $V_H$ ) che chiude l'interruttore.

Le Figure 6A-6D mostrano un possibile andamento in un ciclo di durata  $\Delta T_k$  (uguale per esempio a 10 us) di alcuni segnali generati nel convertitore DC-DC 151 delle Figure 3A-3B che funziona nella modalità buck e nel sistema di Figura 4; i segnali si ripetono periodicamente in cicli successivi.

Nella Figura 6A e 6C si considera che i segnali di controllo degli interruttori hanno un valore logico basso ( $V_L$ ) che apre l'interruttore ed un valore logico alto ( $V_H$ ) che chiude l'interruttore.

I segnali mostrati nelle Figure 6A-6D hanno i seguenti significati:

- PWM2A (S2): segnale di controllo dell'interruttore S2;
- PWM2B (S3): segnale di controllo dell'interruttore S3;
- 15 - PWM1B (S4): segnale di controllo dell'interruttore S4;
- PWM1A (S1): segnale di controllo dell'interruttore S1;
- $V_{pr}$ : tensione ai capi dell'avvolgimento primario 10.1;
- $I_{pr}$ : corrente che scorre attraverso l'avvolgimento primario 10.1;
- $I(L1)$ : corrente che scorre attraverso il primo induttore L1;
- 20 -  $I(L2)$ : corrente che scorre attraverso il secondo induttore L2;
- SINC1 (S6): segnale di controllo dell'interruttore S6;
- SC1 (S8): segnale di controllo dell'interruttore S8;
- SINC2 (S5): segnale di controllo dell'interruttore S5;
- SC2 (S7): segnale di controllo dell'interruttore S7;
- 25 -  $I(D4)$ : corrente che scorre attraverso il diodo di taglio D4;
- $I(D5)$ : corrente che scorre attraverso il diodo di taglio D5;
- $I(DS5)$ : corrente che scorre attraverso il diodo raddrizzatore DS5;
- $I(DS6)$ : corrente che scorre attraverso il diodo raddrizzatore DS6;
- $I(S5)$ : corrente che scorre attraverso l'interruttore S5;
- 30 -  $I(S6)$ : corrente che scorre attraverso l'interruttore S6;
- $I(S7)$ : corrente che scorre attraverso l'interruttore S7;

- $I(S8)$ : corrente che scorre attraverso l'interruttore S8;
- $V(N1)$ : tensione del nodo N1 (uguale alla caduta di tensione ai capi dell'interruttore S5);
- $V(N2)$ : tensione del nodo N2 (uguale alla caduta di tensione ai capi dell'interruttore S6);

E' possibile osservare in Figura 6A e 6C che gli interruttori S1, S2, S3, S4 sono sincroni rispetto agli interruttori S5, S6.

Le Figure 7A-7D mostrano un possibile andamento in un ciclo di durata  $\Delta T_I$  (uguale per esempio a 10 us) di alcuni segnali generati nel convertitore DC-DC 151 delle Figure 3A-3B che funziona nella modalit  boost-limit e nel sistema di Figura 4; i segnali si ripetono periodicamente in cicli successivi.

I segnali mostrati nelle Figure 7A-7D hanno i seguenti significati:

- SINC1 (S6): segnale di controllo dell'interruttore S6;
- SC1 (S8): segnale di controllo dell'interruttore S8;
- SINC2 (S5): segnale di controllo dell'interruttore S5;
- SC2 (S7): segnale di controllo dell'interruttore S7;
- S\_sf (S10): segnale di controllo dell'interruttore di parzializzazione S10;
- $I(D3)$ : corrente che scorre attraverso il diodo di ricircolo D3;
- $I(S10)$ : corrente che scorre attraverso l'interruttore di parzializzazione S10;
- $I(D4)$ : corrente che scorre attraverso il diodo di taglio D4;
- $I(D5)$ : corrente che scorre attraverso il diodo di taglio D5;
- $I(L1)$ : corrente che scorre attraverso il primo induttore L1;
- $I(L2)$ : corrente che scorre attraverso il secondo induttore L2;
- $V(N3)$ : tensione del nodo N3 (nodo comune al primo e secondo induttore L1, L2), misurata rispetto al terminale LV-;
- Isec: corrente che scorre attraverso l'avvolgimento secondario 10.2;
- Vsec: tensione ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2;
- Vpr: tensione ai capi dell'avvolgimento primario 10.1;

- $I(D1)$ : corrente che scorre attraverso il diodo di taglio D1;
- $I(D2)$ : corrente che scorre attraverso il diodo di taglio D2;
- $I(DS2)$ : corrente che scorre attraverso il diodo DS2;
- $I(DS3)$ : corrente che scorre attraverso il diodo DS3.

5 Nella Figura 7A si considera che i segnali di controllo degli interruttori hanno un valore logico basso ( $V_L$ ) che apre l'interruttore ed un valore logico alto ( $V_H$ ) che chiude l'interruttore.

E' possibile osservare in Figura 7B che il diodo di ricircolo D3 lavora in controfase all'interruttore di parzializzazione S10 e questo consente di  
10 limitare il valore della corrente che scorre nel lato a bassa tensione del convertitore DC-DC 1 (riducendo così l'energia immagazzinata negli induttori L1 e L2), anche nel caso in cui la differenza di tensione fra il terminale HV+ ed il terminale HV- è piccola (per esempio, uguale a 6 V).

In particolare, per ogni ciclo di funzionamento della modalità boost-  
15 limit è possibile osservare:

- durante un primo intervallo di tempo  $\Delta T1$  e durante un secondo intervallo di tempo  $\Delta T2$  (successivo a  $\Delta T1$ ), il diodo di ricircolo D3 è polarizzato direttamente, mentre l'interruttore di parzializzazione S10 è aperto;
- 20 - durante un terzo intervallo di tempo  $\Delta T3$  (successivo a  $\Delta T2$ ) il diodo di ricircolo D3 è polarizzato inversamente, mentre l'interruttore di parzializzazione S10 è chiuso;
- durante un quarto intervallo di tempo  $\Delta T4$  (successivo a  $\Delta T3$ ) e durante un quinto intervallo di tempo  $\Delta T5$  (successivo a  $\Delta T4$ ), il diodo di  
25 ricircolo D3 è polarizzato direttamente, mentre l'interruttore di parzializzazione S10 è aperto;
- durante un sesto intervallo di tempo  $\Delta T6$  (successivo a  $\Delta T5$ ) il diodo di ricircolo D3 è polarizzato inversamente, mentre l'interruttore di parzializzazione S10 è chiuso.

30 E' inoltre possibile osservare in Figura 7D che il primo diodo di taglio D1 lavora in controfase al secondo diodo di taglio D2 e questo consente di

fornire un percorso a bassa impedenza fra il loro nodo comune e il livello di alta tensione continua  $\Delta HV$ , aggirando il percorso ad alta impedenza fornito dall'induttore di risonanza  $L_{res}$ .

In particolare:

- 5 - durante il primo intervallo di tempo  $\Delta T1I$  e durante una prima porzione del secondo intervallo di tempo  $\Delta T2I$ , il primo diodo di taglio D1 è nello stato di polarizzazione inversa, mentre il secondo diodo di taglio D2 è nello stato di polarizzazione diretta;
- durante una seconda porzione del secondo intervallo di tempo  $\Delta T2I$ ,
- 10 durante il terzo intervallo di tempo  $\Delta T3I$  e durante una prima porzione di un quarto intervallo di tempo  $\Delta T4I$ , il primo diodo di taglio D1 è nello stato di polarizzazione diretta, mentre il secondo diodo di taglio D2 è nello stato di polarizzazione inversa;
- durante una seconda porzione del quarto intervallo di tempo  $\Delta T4I$ ,
- 15 durante il quinto intervallo di tempo  $\Delta T5I$  e durante il sesto intervallo di tempo  $\Delta T6I$ , il primo diodo di taglio D1 è nello stato di polarizzazione inversa, mentre il secondo diodo di taglio D2 è nello stato di polarizzazione diretta.

Con riferimento alla Figura 3B, viene mostrato un convertitore DC-DC 152 in base ad una variante della terza forma di realizzazione dell'invenzione.

Il convertitore DC-DC 152 di Figura 3B differisce dal convertitore DC-DC 151 di Figura 3A per il fatto che il secondo terminale del resistore R2 è collegato al nodo comune fra gli interruttori S5, S6.

25 La Figura 4 mostra un sistema di alimentazione e controllo 50 che comprende:

- un convertitore DC-DC del tipo, alternativamente, 1, 101, 102, 151, 152 delle forme di realizzazione illustrate in precedenza;
- un dispositivo di pilotaggio 30;

- una batteria ad alta tensione 40 collegata in parallelo al lato ad alta tensione (ovvero collegata al primo e secondo terminale d'ingresso/uscita HV+, HV-);
- un carico 45 ad alta tensione collegato alla batteria ad alta tensione  
5 40;
- una batteria a bassa tensione 41 collegata in parallelo al lato a bassa tensione (ovvero collegata al terzo e quarto terminale d'ingresso/uscita LV+, LV-);
- un carico 46 a bassa tensione collegato alla batteria a bassa tensione  
10 41.

Il carico 45 ad alta tensione è ad esempio un motore elettrico di un veicolo con propulsione elettrica o mista elettrica-motore a combustione interna (cioè di un veicolo ibrido), mentre il carico 46 a bassa tensione è ad esempio costituito dai servizi elettrici nell'abitacolo dello stesso veicolo.

- 15 Il dispositivo di pilotaggio 30 ha la funzione di generare opportunamente i valori dei segnali logici PWM1A, PWM1B, PWM2A, PWM2B, SINC2, SINC1, SC2, SC1, S\_md, S\_sf per controllare rispettivamente gli interruttori S1, S4, S2, S3, S5, S6, S7, S8, S9, S10.

In particolare:

- 20 - nella modalità di funzionamento buck, il dispositivo di pilotaggio 30 genera i segnali variabili periodici PWM1A, PWM1B, PWM2A, PWM2B, SINC2, SINC1, SC2, SC1 e genera i segnali costanti S\_md, S\_sf;
- nella modalità di funzionamento boost, il dispositivo di pilotaggio 30 genera i segnali variabili periodici SINC2, SINC1, SC2, SC1 e genera i segnali  
25 costanti PWM1A, PWM1B, PWM2A, PWM2B, S\_md, S\_sf;
- nella modalità di funzionamento boost-limit, il dispositivo di pilotaggio 30 genera i segnali variabili periodici SINC2, SINC1, SC2, SC1, S\_sf e genera i segnali costanti PWM1A, PWM1B, PWM2A, PWM2B, S\_md.

- 30 Sarà ora descritto il funzionamento del convertitore DC-DC 151 di Figura 3A nella modalità di funzionamento buck, facendo anche riferimento alle Figure 1, 2A, 3A, 4 e 6A-6D.

Le Figure 6A-6D mostrano un periodo  $\Delta T_k$  comprendente i seguenti otto successivi intervalli di tempo  $\Delta T_{1k}$ ,  $\Delta T_{2k}$ ,  $\Delta T_{3k}$ ,  $\Delta T_{4k}$ ,  $\Delta T_{5k}$ ,  $\Delta T_{6k}$ ,  $\Delta T_{7k}$ ,  $\Delta T_{8k}$ , in cui:

- durante il primo intervallo di tempo  $\Delta T_{1k}$  (compreso fra l'istante iniziale  $t_{21}$  e l'istante  $t_{23}$ ) gli interruttori S2, S4 sono chiusi, gli interruttori S3, S1 sono aperti, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 è maggiore di zero, la corrente primaria  $I_{pr}$  ha un andamento crescente in modo da caricare energia nell'avvolgimento primario 10.1, il segnale SC2 ha un valore logico basso che apre l'interruttore S7, il diodo di taglio D4 è polarizzato inversamente, il segnale SC1 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S8, il diodo di taglio D5 è polarizzato inversamente, il segnale SINC2 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S5, il diodo raddrizzatore DS5 è polarizzato inversamente, il segnale SINC1 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S6, il diodo raddrizzatore DS6 è polarizzato inversamente, il segnale S\_md ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S9, il segnale S\_sf ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore di parzializzazione S10, l'insieme del primo induttore L1, secondo induttore L2, condensatore C5 effettua un filtraggio passa-basso, quindi viene generato un flusso di corrente che scorre verso il terminale d'uscita LV+ attraverso gli induttori L1 e L2 e l'interruttore S10;
- durante il secondo intervallo di tempo  $\Delta T_{2k}$  (compreso fra l'istante  $t_{23}$  e l'istante  $t_{24}$ ), gli interruttori S2, S1 sono chiusi, gli interruttori S3, S4 sono aperti, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 ha un valore sostanzialmente uguale a zero, la corrente primaria  $I_{pr}$  ha un andamento decrescente con valori positivi, il segnale SC2 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S7, il diodo di taglio D4 è polarizzato inversamente, il segnale SC1 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S8, il diodo di taglio D5 è polarizzato inversamente, il segnale SINC2 commuta ad un valore logico alto che chiude l'interruttore S5, il diodo raddrizzatore DS5 è polarizzato

inversamente, il segnale SINC1 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S6, il diodo raddrizzatore DS6 è polarizzato inversamente, il segnale S\_md ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S9, il segnale S\_sf ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore di parzializzazione S10, l'insieme del primo induttore L1, secondo induttore L2, condensatore C5 effettua un filtraggio passa-basso, quindi viene generato un flusso di corrente che scorre verso il terminale d'uscita LV+ attraverso gli induttori L1 e L2 e l'interruttore di parzializzazione S10;

10 - durante il terzo intervallo di tempo  $\Delta T3k$  (compreso fra l'istante  $t24$  e l'istante  $t28$ ) gli interruttori S3, S1 sono chiusi, gli interruttori S2, S4 sono aperti, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 ha un andamento decrescente a gradini con valori minori di zero, la corrente primaria  $I_{pr}$  ha un andamento decrescente da valori positivi a negativi, il

15 segnale SC2 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S7, il diodo di taglio D4 è polarizzato inversamente, il segnale SC1 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S8, il diodo di taglio D5 fra gli istanti  $t24$  e  $t26$  ( $t26$  escluso) è polarizzato inversamente, poi all'istante  $t26$  il diodo di taglio D5 commuta in polarizzazione diretta al fine

20 di limitare la tensione sul nodo N2 e dopo all'istante  $t27$  il diodo di taglio D5 commuta di nuovo in polarizzazione inversa, il segnale SINC2 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S5, il diodo raddrizzatore DS5 è polarizzato inversamente, il segnale SINC1 commuta ad un valore logico basso che apre l'interruttore S6, il diodo raddrizzatore DS6 commuta in

25 polarizzazione diretta all'istante  $t24$  e poi in polarizzazione inversa all'istante  $t25$ , il segnale S\_md ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S9, il segnale S\_sf ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore di parzializzazione S10, l'insieme del primo induttore L1, secondo induttore L2, condensatore C5 effettua un filtraggio passa-basso,

30 quindi viene generato un flusso di corrente che scorre verso il terminale

d'uscita LV+ attraverso gli induttori L1 e L2 e l'interruttore di parzializzazione S10;

- durante il quarto intervallo di tempo  $\Delta T4k$  (compreso fra l'istante t28 e l'istante t29) gli interruttori S3, S1 sono chiusi, gli interruttori S2, S4 sono aperti, i diodi di taglio D2, D1 sono polarizzati inversamente, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 è minore di zero, la corrente primaria  $I_{pr}$  ha un andamento decrescente con valori negativi, il segnale SC2 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S7, il diodo di taglio D4 è polarizzato inversamente, il segnale SC1 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S8, il diodo di taglio D5 è polarizzato inversamente, il segnale SINC2 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S5, il diodo raddrizzatore DS5 è polarizzato inversamente, il segnale SINC1 commuta ad un valore logico basso che apre l'interruttore S6, il diodo raddrizzatore DS6 è polarizzato inversamente, il segnale S\_md ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S9, il segnale S\_sf ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore di parzializzazione S10, l'insieme del primo induttore L1, secondo induttore L2, condensatore C5 effettua un filtraggio passa-basso, quindi viene generato un flusso di corrente verso il terminale d'uscita LV+ che scorre attraverso gli induttori L1 e L2 e l'interruttore di parzializzazione S10;
- durante il quinto intervallo di tempo  $\Delta T5k$  (compreso fra l'istante t29 e l'istante t30) gli interruttori S2, S4 sono aperti, gli interruttori S3, S1 sono chiusi, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 è minore di zero, la corrente primaria  $I_{pr}$  ha un andamento decrescente in modo da caricare energia nell'avvolgimento primario 10.1, il segnale SC2 ha un valore logico basso che apre l'interruttore S7, il diodo di taglio D4 è polarizzato inversamente, il segnale SC1 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S8, il diodo di taglio D5 è polarizzato inversamente, il segnale SINC2 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S5, il diodo raddrizzatore DS5 è polarizzato inversamente, il segnale SINC1 ha un valore logico basso che mantiene

aperto l'interruttore S6, il diodo raddrizzatore DS6 è polarizzato  
inversamente, il segnale S\_md ha un valore logico basso che mantiene  
aperto l'interruttore S9, il segnale S\_sf ha un valore logico alto che mantiene  
chiuso l'interruttore di parzializzazione S10, l'insieme del primo induttore L1,  
5 secondo induttore L2, condensatore C5 effettua un filtraggio passa-basso,  
quindi viene generato un flusso di corrente che scorre verso il terminale  
d'uscita LV+ attraverso gli induttori L1 e L2 e l'interruttore di parzializzazione  
S10.

- durante il sesto intervallo di tempo  $\Delta T6k$  (compreso fra l'istante  $t30$  e  
10 l'istante  $t32$ ), gli interruttori S2, S1 sono aperti, gli interruttori S3, S4 sono  
chiusi, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 ha  
un valore sostanzialmente uguale a zero, la corrente primaria  $I_{pr}$  ha un  
andamento crescente con valori negativi, il segnale SC2 ha un valore logico  
basso che mantiene aperto l'interruttore S7, il diodo di taglio D4 è  
15 polarizzato inversamente, il segnale SC1 ha un valore logico basso che  
mantiene aperto l'interruttore S8, il diodo di taglio D5 è polarizzato  
inversamente, il segnale SINC2 ha un valore logico alto che mantiene  
chiuso l'interruttore S5, il diodo raddrizzatore DS5 è polarizzato  
inversamente, il segnale SINC1 commuta ad un valore logico alto che  
20 chiude l'interruttore S6, il diodo raddrizzatore DS6 è polarizzato  
inversamente, il segnale S\_md ha un valore logico basso che mantiene  
aperto l'interruttore S9, il segnale S\_sf ha un valore logico alto che mantiene  
chiuso l'interruttore di parzializzazione S10, l'insieme del primo induttore L1,  
secondo induttore L2, condensatore C5 effettua un filtraggio passa-basso,  
25 quindi viene generato un flusso di corrente che scorre verso l'uscita LV+  
attraverso gli induttori L1 e L2 e l'interruttore di parzializzazione S10;

- durante il settimo intervallo di tempo  $\Delta T7k$  (compreso fra l'istante  $t32$   
e l'istante  $t40$ ) gli interruttori S3, S1 sono aperti, gli interruttori S2, S4 sono  
chiusi, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 ha  
30 un andamento crescente a gradini con valori maggiori di zero, la corrente  
primaria  $I_{pr}$  ha un andamento decrescente da valori negativi a positivi, il

segnale SC2 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S7, il diodo di taglio D5 è polarizzato inversamente, il segnale SC1 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S8, il diodo di taglio D4 fra gli istanti t32 e t34 (t34 escluso) è polarizzato inversamente, poi  
5 all'istante t34 il diodo di taglio D4 commuta in polarizzazione diretta al fine di limitare la tensione sul nodo N3 e dopo all'istante t35 il diodo di taglio D4 commuta di nuovo in polarizzazione inversa, il segnale SINC2 commuta ad un valore logico basso che apre l'interruttore S5, il diodo raddrizzatore DS6 è polarizzato inversamente, il segnale SINC1 ha un valore logico alto che  
10 mantiene chiuso l'interruttore S6, il diodo raddrizzatore DS5 commuta in polarizzazione diretta all'istante t32 e poi in polarizzazione inversa all'istante t33, il segnale S\_md ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S9, il segnale S\_sf ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore di parzializzazione S10, l'insieme del primo induttore L1,  
15 secondo induttore L2, condensatore C5 effettua un filtraggio passa-basso, quindi viene generato un flusso di corrente che scorre verso il terminale d'uscita LV+ attraverso gli induttori L1 e L2 e l'interruttore di parzializzazione S10;

- durante l'ottavo intervallo di tempo  $\Delta T_{8k}$  (compreso fra l'istante t40 e  
20 l'istante t42) gli interruttori S3, S1 sono aperti, gli interruttori S2, S4 sono chiusi, i diodi di taglio D2, D1 sono polarizzati inversamente, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 è maggiore di zero, la corrente primaria  $I_{pr}$  ha un andamento crescente con valori positivi, il segnale SC2 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S7,  
25 il diodo di taglio D4 è polarizzato inversamente, il segnale SC1 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S8, il diodo di taglio D5 è polarizzato inversamente, il segnale SINC2 commuta ad un valore logico basso che apre l'interruttore S5, il diodo raddrizzatore DS5 è polarizzato inversamente, il segnale SINC1 ha un valore logico alto che mantiene  
30 chiuso l'interruttore S6, il diodo raddrizzatore DS6 è polarizzato inversamente, il segnale S\_md ha un valore logico basso che mantiene

aperto l'interruttore S9, il segnale S\_sf ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore di parzializzazione S10, l'insieme del primo induttore L1, secondo induttore L2, condensatore C5 effettua un filtraggio passa-basso, quindi viene generato un flusso di corrente verso il terminale d'uscita LV+ che scorre attraverso gli induttori L1 e L2 e l'interruttore di parzializzazione S10.

Sarà ora descritto il funzionamento del convertitore DC-DC 151 di Figura 3A nella modalità di funzionamento boost, facendo anche riferimento alle Figure 1, 4 e 5A-5D.

Le Figure 5A-5D mostrano un periodo  $\Delta T_b$  comprendente i seguenti quattro successivi intervalli di tempo  $\Delta T_{1b}$ ,  $\Delta T_{2b}$ ,  $\Delta T_{3b}$ ,  $\Delta T_{4b}$ , in cui:

- durante il primo intervallo di tempo  $\Delta T_{1b}$  (compreso fra l'istante iniziale  $t_1$  e l'istante  $t_3$ ) il segnale di controllo SINC2 ha un valore logico alto che chiude l'interruttore S5, il segnale di controllo SINC1 commuta ad un valore logico alto che chiude l'interruttore S6, scorre corrente con andamento crescente attraverso il primo induttore L1 che si carica, scorre corrente con andamento crescente attraverso il secondo induttore L2 che si carica, la tensione secondaria  $V_{sec}$  ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2 è nulla, la corrente secondaria  $I_{sec}$  attraverso l'avvolgimento secondario 10.2 ha un valore negativo;

- durante il secondo intervallo di tempo  $\Delta T_{2b}$  (compreso fra l'istante  $t_3$  e l'istante  $t_5$ ) il segnale di controllo SINC2 commuta ad un valore logico basso che apre l'interruttore S5, il segnale di controllo SINC1 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S6, scorre corrente con andamento decrescente attraverso il primo induttore L1 che si scarica, scorre corrente con andamento crescente attraverso il secondo induttore L2 che si carica, la tensione secondaria  $V_{sec}$  ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2 ha un impulso positivo per poi stabilizzarsi al valore positivo  $+\Delta HV$  diviso per il rapporto di trasformazione, la corrente attraverso il primo induttore L1 scorre attraverso l'avvolgimento secondario 10.2 del trasformatore 10 e viene quindi trasferita energia dall'avvolgimento

secondario 10.2 all'avvolgimento primario 10.1, i diodi D1 e DS2 sono polarizzati direttamente ed effettuano il raddrizzamento della tensione primaria  $V_{pr}$ , mentre i diodi D2 e DS3 sono polarizzati inversamente;

- durante il terzo intervallo di tempo  $\Delta T3b$  (compreso fra l'istante  $t5$  e l'istante  $t7$ ) il segnale di controllo SINC2 ha un valore logico alto che chiude l'interruttore S5, il segnale di controllo SINC1 ha un valore logico alto che chiude l'interruttore S6, scorre corrente con andamento crescente attraverso il primo induttore L1 che si carica, scorre corrente con andamento crescente attraverso il secondo induttore L2 che si carica, la tensione secondaria  $V_{sec}$  ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2 è nulla, la corrente secondaria  $I_{sec}$  attraverso l'avvolgimento secondario 10.2 ha un valore positivo;

- durante il quarto intervallo di tempo  $\Delta T4b$  (compreso fra l'istante  $t7$  e l'istante  $t10$ ) il segnale di controllo SINC2 ha un valore logico alto che chiude l'interruttore S5, il segnale di controllo SINC1 ha un valore logico basso che apre l'interruttore S6, scorre corrente con andamento crescente attraverso il primo induttore L1 che si carica, scorre corrente con andamento decrescente attraverso il secondo induttore L2 che si scarica, la tensione secondaria  $V_{sec}$  ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2 ha un impulso negativo per poi stabilizzarsi al valore negativo  $-\Delta HV$  diviso per il rapporto di trasformazione, la corrente attraverso il secondo induttore L2 scorre attraverso l'avvolgimento secondario 10.2 del trasformatore 10 e quindi viene trasferita energia dall'avvolgimento secondario 10.2 all'avvolgimento primario 10.1, i diodi D2 e DS3 sono polarizzati direttamente ed effettuano il raddrizzamento della tensione primaria  $V_{pr}$ , mentre i diodi D1 e DS2 sono polarizzati inversamente;

Sarà ora descritto il funzionamento del convertitore DC-DC 151 di Figura 3A nella modalità di funzionamento boost-limit, facendo anche riferimento alle Figure 1, 2A, 3A, 4 e 7A-7D.

Le Figure 7A-7D mostrano un periodo  $\Delta T_b$  comprendente i seguenti sei successivi intervalli di tempo  $\Delta T1I$ ,  $\Delta T2I$ ,  $\Delta T3I$ ,  $\Delta T4I$ ,  $\Delta T5I$ ,  $\Delta T6I$ , in cui:

- durante il primo intervallo di tempo  $\Delta T1I$  (compreso fra l'istante iniziale  $t50$  e l'istante  $t52$ ) il segnale di controllo SINC2 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S5, il segnale di controllo SINC1 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S6, il segnale di controllo S\_sf ha un valore logico basso che apre l'interruttore di parzializzazione S10, la corrente che scorre attraverso il primo induttore L1 ricircola tramite l'interruttore S5 chiuso ed il diodo di ricircolo D3 polarizzato direttamente, mentre la corrente attraverso il secondo induttore L2 scorre attraverso l'avvolgimento secondario 10.2 del trasformatore 10 trasferendo energia dall'avvolgimento secondario 10.2 all'avvolgimento primario 10.1, la tensione secondaria Vsec ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2 è pari alla tensione  $-\Delta HV$  divisa per il rapporto di trasformazione N, i diodi D1, DS2 sono polarizzati inversamente, i diodi D2, DS3 sono polarizzati direttamente;
- durante il secondo intervallo di tempo  $\Delta T2I$  (compreso fra l'istante  $t52$  e l'istante  $t54$ ) il segnale di controllo SINC2 ha una transizione da un valore logico alto ad un valore logico basso che apre l'interruttore S5, il segnale di controllo SINC1 ha una transizione da un valore logico basso ad un valore logico alto che chiude l'interruttore S6, il segnale di controllo S\_sf ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore di parzializzazione S10, la corrente che scorre attraverso il secondo induttore L2 ricircola tramite l'interruttore S6 chiuso ed il diodo D3 polarizzato direttamente, mentre la corrente attraverso il primo induttore L1 scorre attraverso l'avvolgimento secondario 10.2 del trasformatore 10, trasferendo energia dall'avvolgimento secondario 10.2 all'avvolgimento primario 10.1, la tensione secondaria Vsec ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2 ha un impulso positivo per poi assestarsi alla tensione  $+\Delta HV$  divisa per il rapporto di trasformazione N, la corrente secondaria Isec attraverso l'avvolgimento secondario 10.2 diventa positiva, la tensione primaria Vpr ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 diventa pari a  $+\Delta HV$  dopo un breve tempo morto, i diodi D1 e DS2 commutano nello stato di polarizzazione diretta

dopo un breve tempo morto ed effettuano il raddrizzamento della tensione primaria  $V_{pr}$ , mentre i diodi DS3 e D2 commutano nello stato di polarizzazione inversa dopo un breve tempo morto;

- durante il terzo intervallo di tempo  $\Delta T_{3I}$  (compreso fra l'istante  $t_{54}$  e l'istante  $t_{56}$ ) il segnale di controllo SINC2 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S5, il segnale di controllo SINC1 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S6, il segnale di controllo  $S_{sf}$  ha una transizione dal valore logico basso ad un valore logico alto che chiude l'interruttore di parzializzazione S10, scorre corrente con andamento crescente attraverso il secondo induttore L2 che si carica per mezzo di una corrente che scorre dal terzo terminale LV+ verso il quarto terminale LV- attraversando l'interruttore di parzializzazione S10, il secondo induttore L2 e l'interruttore S6, il diodo di ricircolo D3 commuta dallo stato di polarizzazione diretta ad inversa, la tensione secondaria  $V_{sec}$  ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2 mantiene il valore costante, la corrente secondaria  $I_{sec}$  è positiva, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.2 è costante e positiva, i diodi D2, DS3 sono polarizzati inversamente, i diodi D1, DS2 sono polarizzati direttamente;

- durante il quarto intervallo di tempo  $\Delta T_{4I}$  (compreso fra l'istante  $t_{56}$  e l'istante  $t_{58}$ ) il segnale di controllo SINC2 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S5, il segnale di controllo SINC1 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S6, il segnale di controllo  $S_{sf}$  ha una transizione dal valore logico alto al valore logico basso che apre l'interruttore di parzializzazione S10, la corrente che scorre attraverso il secondo induttore L2 ricircola tramite l'interruttore chiuso S6 ed il diodo di ricircolo D3 polarizzato direttamente, mentre la corrente attraverso il primo induttore L1 scorre attraverso l'avvolgimento secondario 10.2 del trasformatore 10 trasferendo energia dall'avvolgimento secondario 10.2 all'avvolgimento primario 10.1, la tensione secondaria  $V_{sec}$  ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2 si mantiene positiva, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.1 è anch'essa positiva e costante,

i diodi D2, DS3 sono polarizzati inversamente, i diodi D1, DS2 sono polarizzati direttamente;

- durante il quinto intervallo di tempo  $\Delta T5I$  (compreso fra l'istante  $t58$  e l'istante  $t60$ ), il segnale di controllo SINC2 ha una transizione da un valore logico basso ad un valore logico alto che chiude l'interruttore S5, il segnale di controllo SINC1 ha una transizione da un valore logico alto ad un valore logico basso che apre l'interruttore S6, il segnale di controllo S\_sf ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore di parzializzazione S10, la corrente nel primo induttore L1 ricircola tramite l'interruttore chiuso S5 ed il diodo di ricircolo D3, mentre la corrente attraverso il secondo induttore L2 scorre attraverso l'avvolgimento secondario 10.2 del trasformatore 10, trasferendo energia all'avvolgimento primario 10.1, la tensione secondaria  $V_{sec}$  ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2 ha un impulso negativo per poi assestarsi alla tensione  $-\Delta HV$  divisa per il rapporto di trasformazione, la corrente secondaria  $I_{sec}$  attraverso l'avvolgimento secondario 10.2 diventa negativa, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.2 diventa pari a  $-\Delta HV$  dopo un breve tempo morto, i diodi DS3 e D2 commutano nello stato di polarizzazione diretta dopo un breve tempo morto ed effettuano il raddrizzamento della tensione primaria  $V_{pr}$ , i diodi D1 e DS2 commutano nello stato di polarizzazione inversa dopo un breve tempo morto;

- durante il sesto intervallo di tempo  $\Delta T6I$  (compreso fra l'istante  $t60$  e l'istante  $t62$ ), il segnale di controllo SINC2 ha un valore logico alto che mantiene chiuso l'interruttore S5, il segnale di controllo SINC1 ha un valore logico basso che mantiene aperto l'interruttore S6, il segnale di controllo S\_sf ha una transizione da un valore logico basso ad un valore logico alto che chiude l'interruttore di parzializzazione S10, scorre corrente con andamento crescente attraverso il primo induttore L1 che si carica per mezzo di una corrente che scorre dal terzo terminale LV+ verso il quarto terminale LV- attraversando l'interruttore di parzializzazione S10, il primo induttore L1 e l'interruttore S5, il diodo di ricircolo D3 commuta dallo stato

di polarizzazione diretta ad inversa, la tensione secondaria  $V_{sec}$  ai capi dell'avvolgimento secondario 10.2 si mantiene negativa e costante, la corrente secondaria  $I_{sec}$  è negativa, la tensione primaria  $V_{pr}$  ai capi dell'avvolgimento primario 10.2 si mantiene negativa e costante, i diodi D1, DS2 sono polarizzati inversamente, i diodi D2, DS3 sono polarizzati direttamente.

Si osservi che nella modalità di funzionamento boost-limit i diodi DS1, DS4 e gli interruttori S1, S4 sostanzialmente non partecipano alla conversione continua-continua a causa dell'elevata impedenza presentata dall'induttore di risonanza  $L_{res}$ .

IL MANDATARIO

Ing. Giancarlo PENZA  
(Albo iscr. n. 1335 B)

**RIVENDICAZIONI**

1. Convertitore DC-DC (1; 151) comprendente:
  - un raddrizzatore (5; DS1, DS2, DS3, DS4) atto a generare un primo livello di tensione continua ( $\Delta HV$ );
  - un trasformatore (10) comprendente un avvolgimento primario (10.1) collegato al raddrizzatore e comprendente un avvolgimento secondario (10.2), avente rapporto di trasformazione in tensione definito;
  - un induttore di risonanza ( $L_{res}$ ) interposto fra il raddrizzatore e l'avvolgimento primario (10.1);
  - un primo (S5) ed un secondo (S6) interruttore collegati fra di loro in serie, detta serie essendo posta in parallelo all'avvolgimento secondario, in cui il primo ed il secondo interruttore comprendono un rispettivo terminale di controllo atti a ricevere un primo (SINC2) ed un secondo (SINC1) segnale di controllo dell'apertura e chiusura rispettivamente del primo e secondo interruttore;
  - un primo induttore (L1) avente un primo terminale collegato ad un primo terminale dell'avvolgimento secondario;
  - un secondo induttore (L2) avente un primo terminale collegato ad un secondo terminale dell'avvolgimento secondario ed avente un secondo terminale collegato ad un secondo terminale del primo induttore;
  - un diodo di ricircolo (D3) avente un terminale di catodo collegato al secondo terminale del primo induttore (L1) ed avente un terminale di anodo collegato ad un nodo comune fra il primo ed il secondo interruttore, in cui il terminale di anodo del diodo di ricircolo è atto a ricevere un valore inferiore ( $LV-$ ) di un secondo livello di tensione continua ( $\Delta LV$ );
  - un interruttore di parzializzazione (S10) avente:
    - un primo terminale (I) collegato al secondo terminale del primo e secondo induttore e ulteriormente collegato al terminale di catodo del diodo di ricircolo (D3);
    - un secondo terminale (O) atto a ricevere un valore superiore ( $LV+$ ) del secondo livello di tensione continua ( $\Delta LV$ );

- un terminale di controllo (C) atto a ricevere un terzo segnale ( $S_{sf}$ ) di controllo dell'apertura e chiusura dell'interruttore di parzializzazione;
  - un dispositivo elettronico (30) di pilotaggio atto a generare il primo  
5 (SINC2), secondo (SINC1) e terzo ( $S_{sf}$ ) segnale di controllo, il convertitore DC-DC essendo configurato per funzionare in una prima modalità di funzionamento ( $t_{50}$ ,  $t_{62}$ ;  $\Delta T_I$ ) in cui l'ingresso è il secondo livello di tensione ( $\Delta LV$ ) e l'uscita è il primo livello di tensione ( $\Delta HV$ ); in cui diodo di ricircolo (D3) è configurato per:  
10 - funzionare in polarizzazione diretta ( $t_{50}$ ,  $t_{52}$ ,  $t_{56}$ ,  $t_{58}$ ), quando l'interruttore di parzializzazione (S10) è in una posizione di apertura;  
- funzionare in polarizzazione inversa ( $t_{54}$ ,  $t_{60}$ ), quando l'interruttore di parzializzazione (S10) è in una posizione di chiusura.
2. Convertitore DC-DC secondo la rivendicazione 1, comprendente  
15 ulteriormente:
- una pluralità di interruttori (S1, S2, S3, S4) con topologia a ponte comprendente un primo (S1, S4) ed un secondo (S2, S3) ramo, essendo i due rami atti a ricevere il primo livello di tensione continua ( $\Delta HV$ ), in cui detta pluralità di interruttori è configurata per commutare periodicamente fra  
20 una posizione aperta ed una chiusa in funzione dei valori di una corrispondente pluralità di segnali di controllo (PWM1A, PWM1B, PWM2A, PWM2B);
  - un circuito di raddrizzamento (11; DS5, DS6) collegato in parallelo fra il primo terminale del primo induttore (L1) ed il primo terminale del  
25 secondo induttore (L2);
  - un diodo di protezione (D6) avente il terminale di anodo collegato al primo terminale (I) dell'interruttore di parzializzazione (S10) ed avente il terminale di catodo collegato al secondo terminale (O) dell'interruttore di parzializzazione (S10);
- 30 il convertitore DC-DC essendo ulteriormente configurato per funzionare in una seconda modalità di funzionamento ( $t_{21}$ ,  $t_{42}$ ;  $\Delta T_k$ ) in cui l'ingresso è il

primo livello di tensione continua ( $\Delta HV$ ) e l'uscita è il secondo livello di tensione continua ( $\Delta LV$ ), in cui il secondo livello di tensione continua è minore del primo livello di tensione continua,  
in cui dispositivo elettronico di pilotaggio (30) è configurato per generare il  
5 terzo segnale di controllo che chiude l'interruttore di parzializzazione (S10) nella seconda modalità di funzionamento,  
ed in cui l'interruttore di parzializzazione (S10) è ulteriormente configurato, nella seconda modalità di funzionamento, per commutare nella posizione di apertura, nel caso in cui si verifichi un guasto nel primo e/o secondo  
10 interruttore (S5, S6);  
ed in cui il diodo di protezione (D6) è configurato per commutare nella polarizzazione diretta, in caso di apertura indesiderata dell'interruttore di parzializzazione (S10) nella seconda modalità di funzionamento.

3. Convertitore DC-DC secondo una qualunque delle rivendicazioni  
15 precedenti, comprendente ulteriormente un circuito di taglio (D1, D2) comprendente:

- un primo diodo di taglio (D1) avente il terminale di anodo atto a ricevere un valore inferiore (HV-) del primo livello di tensione continua ( $\Delta HV$ ) ed avente il terminale di catodo collegato ad un nodo comune tra l'induttore  
20 di risonanza ( $L_{res}$ ) e l'avvolgimento primario (10.1);
- un secondo diodo di taglio (D2) avente il terminale di catodo atto a ricevere un valore superiore (HV+) del primo livello di tensione continua ( $\Delta HV$ ) ed avente il terminale di anodo collegato al terminale di catodo del primo diodo di taglio (D1);

25 in cui il primo diodo ed il secondo diodo sono configurati per commutare, nella prima modalità di funzionamento, fra polarizzazione inversa e polarizzazione diretta,  
ed in cui:

- quando il primo diodo di taglio (D1) è nello stato di polarizzazione  
30 diretta (t54, t56, t58), il secondo diodo di taglio è nello stato di polarizzazione inversa;

- quando il secondo diodo di taglio (D2) è nello stato di polarizzazione diretta ( $t_{50}$ ,  $t_{52}$ ), il primo diodo di taglio è nello stato di polarizzazione inversa.

4. Convertitore DC-DC secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, comprendente un ulteriore circuito di taglio (12) che include:

- un ulteriore primo diodo di taglio (D4) ed un ulteriore secondo diodo di taglio (D5) aventi i terminali di catodo collegati in comune, in cui l'anodo dell'ulteriore primo diodo di taglio (D4) è collegato al primo terminale dell'avvolgimento secondario e al primo terminale del primo induttore (L1) e  
10 l'anodo dell'ulteriore secondo diodo di taglio (D5) è collegato al secondo terminale dell'avvolgimento secondario e al primo terminale del secondo induttore (L2);

- un resistore (R2) avente un primo terminale collegato al catodo comune tra l'ulteriore primo diodo di taglio (D4) e l'ulteriore secondo diodo di taglio (D5) ed avente un secondo terminale collegato al nodo comune al  
15 primo e secondo induttore (L1, L2);

- un collegamento in serie di un condensatore (C1) e di un primo resistore di smorzamento (R1\_dmp), in cui detto collegamento serie è interposto fra il catodo comune tra l'ulteriore primo diodo di taglio (D4) e  
20 l'ulteriore secondo diodo di taglio (D5) ed il valore inferiore (LV-) del secondo livello di tensione continua ( $\Delta LV$ ).

5. Convertitore DC-DC secondo la rivendicazione 4, in cui l'ulteriore circuito di taglio (12) comprende ulteriormente un terzo interruttore (S7) ed un quarto interruttore (S8) collegati fra di loro in serie, detto collegamento  
25 serie essendo posto in parallelo all'avvolgimento secondario (10.2),

il terzo ed il quarto interruttore comprendenti un rispettivo terminale di controllo atti a ricevere un terzo (SC2) ed un quarto (SC1) segnale di controllo di apertura e chiusura rispettivamente del terzo e quarto interruttore,

30 in cui l'ulteriore primo diodo di taglio (D4) è collegato in parallelo al terzo interruttore (S7) e l'ulteriore secondo diodo di taglio (D5) è collegato in

parallelo al quarto interruttore (S8).

6. Convertitore DC-DC secondo le rivendicazioni 4 o 5, comprendente ulteriormente il collegamento in serie di un quinto interruttore (S9) e di un secondo resistore di smorzamento (R2\_dmp), in cui detto collegamento  
5 serie è posto in parallelo al primo resistore di smorzamento (R1\_dmp), in cui il dispositivo elettronico (30) di pilotaggio è configurato per generare un segnale (S\_md) per il controllo dell'apertura e chiusura del quinto interruttore (S9).

7. Convertitore DC-DC secondo una qualunque delle rivendicazioni  
10 precedenti, comprendente ulteriormente un condensatore (C5) avente un primo terminale collegato al secondo terminale dell'interruttore di parzializzazione (S10) ed avente un secondo terminale collegato al terminale di anodo del diodo di ricircolo.

8. Convertitore DC-DC secondo una qualunque delle precedenti  
15 rivendicazioni, in cui l'induttore di risonanza (L\_res) è integrato nel trasformatore (10), essendo costituito dall'induttanza di dispersione dell'avvolgimento primario (10.1).

9. Sistema di alimentazione e controllo (50) comprendente:

- un convertitore DC-DC (1, 101, 102, 151, 152) secondo una  
20 qualunque delle precedenti rivendicazioni;
- una prima batteria (40) avente un terminale positivo atto a ricevere il valore superiore (HV+) del primo livello di tensione continua ( $\Delta HV$ );
- una seconda batteria (41) avente un terminale positivo atto a ricevere il valore superiore (LV+) del secondo livello di tensione continua ( $\Delta LV$ );
- 25 - un primo carico elettrico (45) collegato in parallelo alla prima batteria (40);
- un secondo carico elettrico (46) collegato in parallelo alla seconda batteria (41).

10. Veicolo a motore elettrico o motore ibrido di tipo elettrico/termico,  
30 comprendente un sistema di alimentazione e controllo secondo la rivendicazione 9.

IL MANDATARIO  
Ing. Giancarlo PENZA  
(Albo iscr. n. 1335 B)

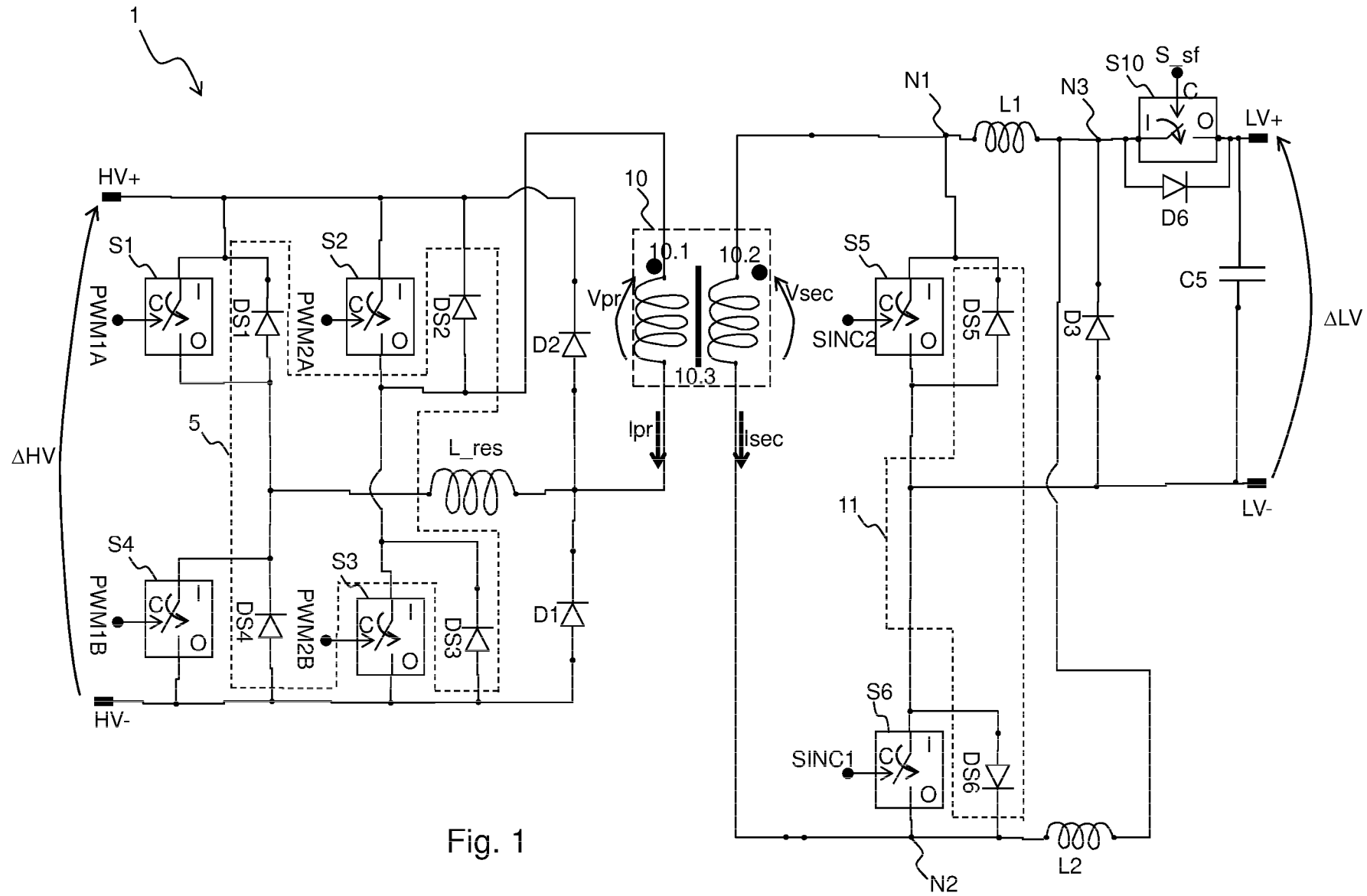


Fig. 1

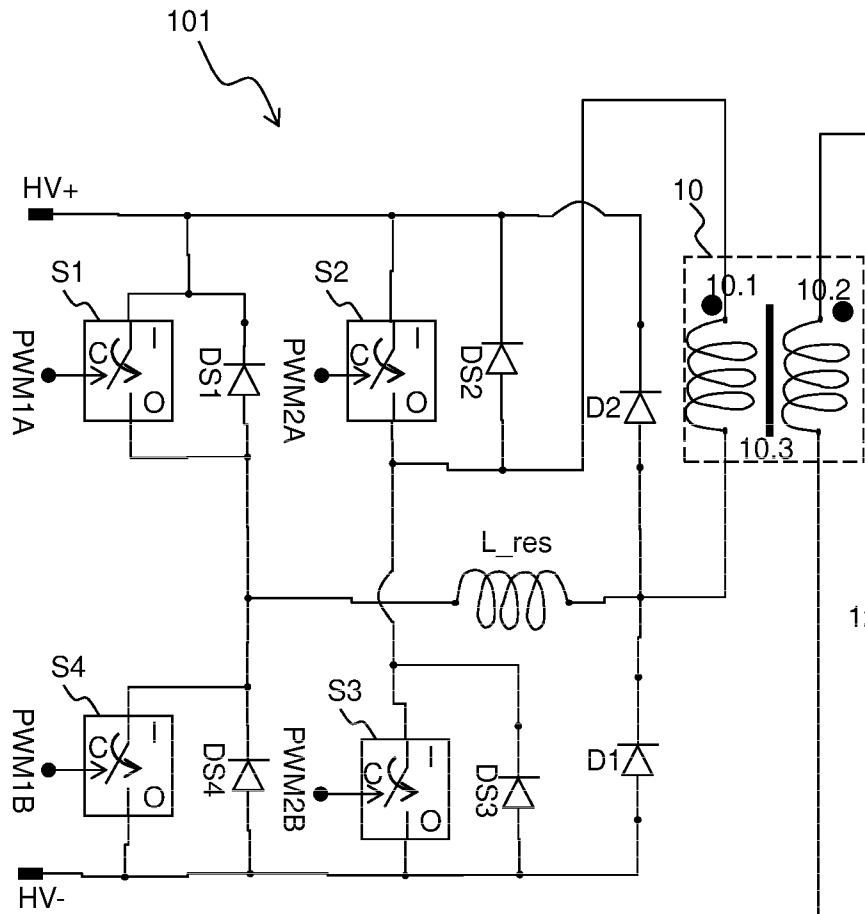
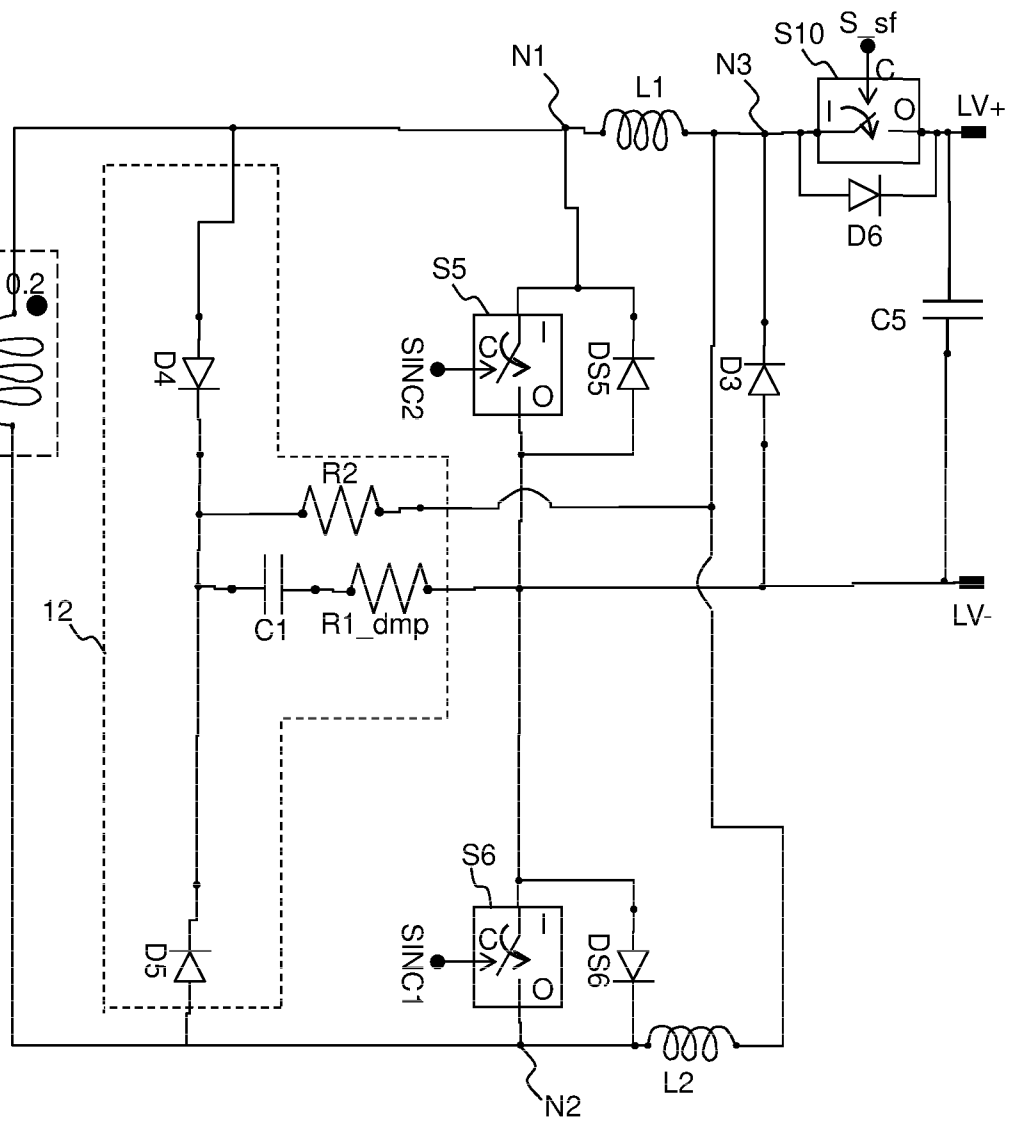


Fig. 2A



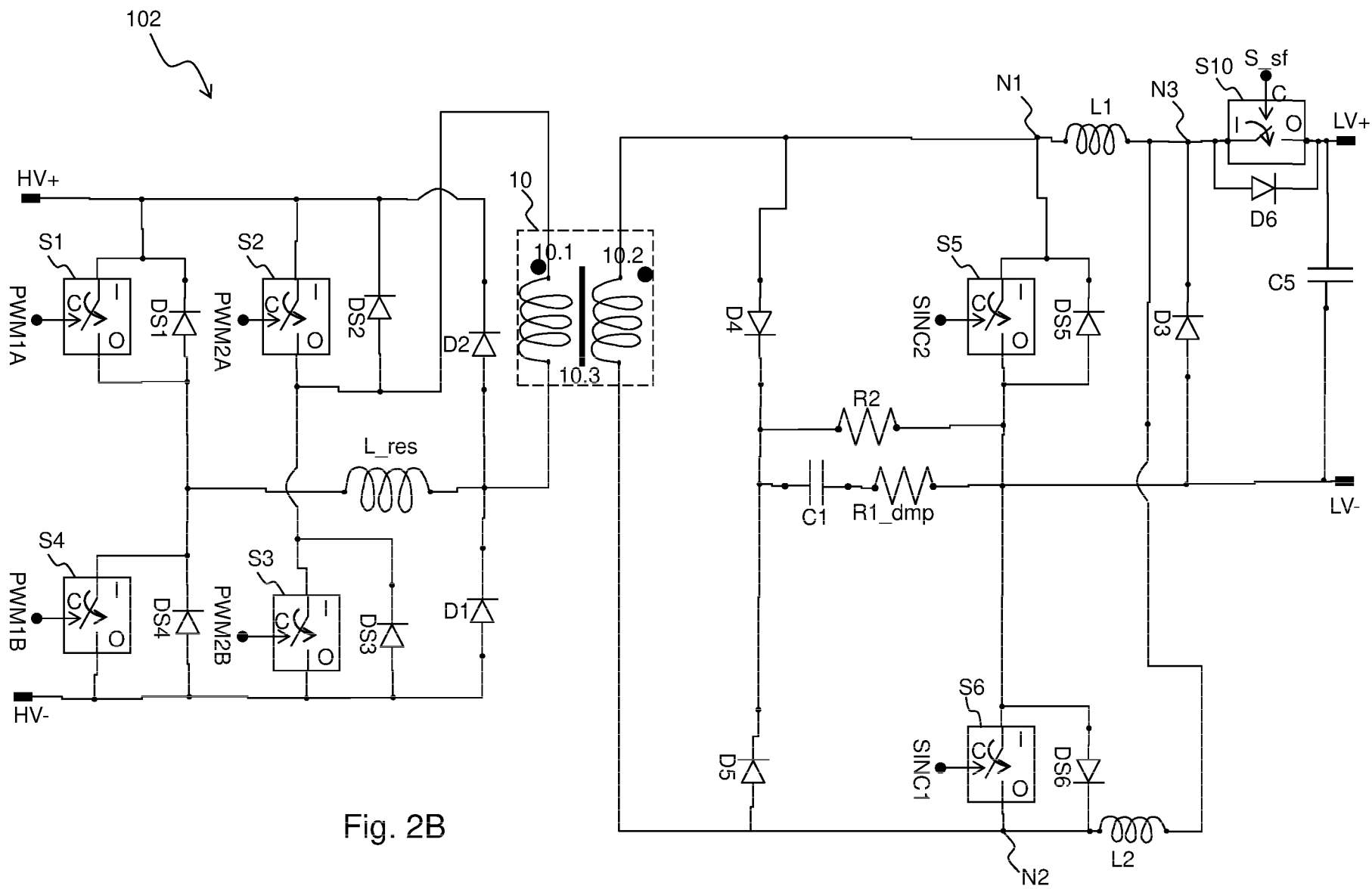


Fig. 2B

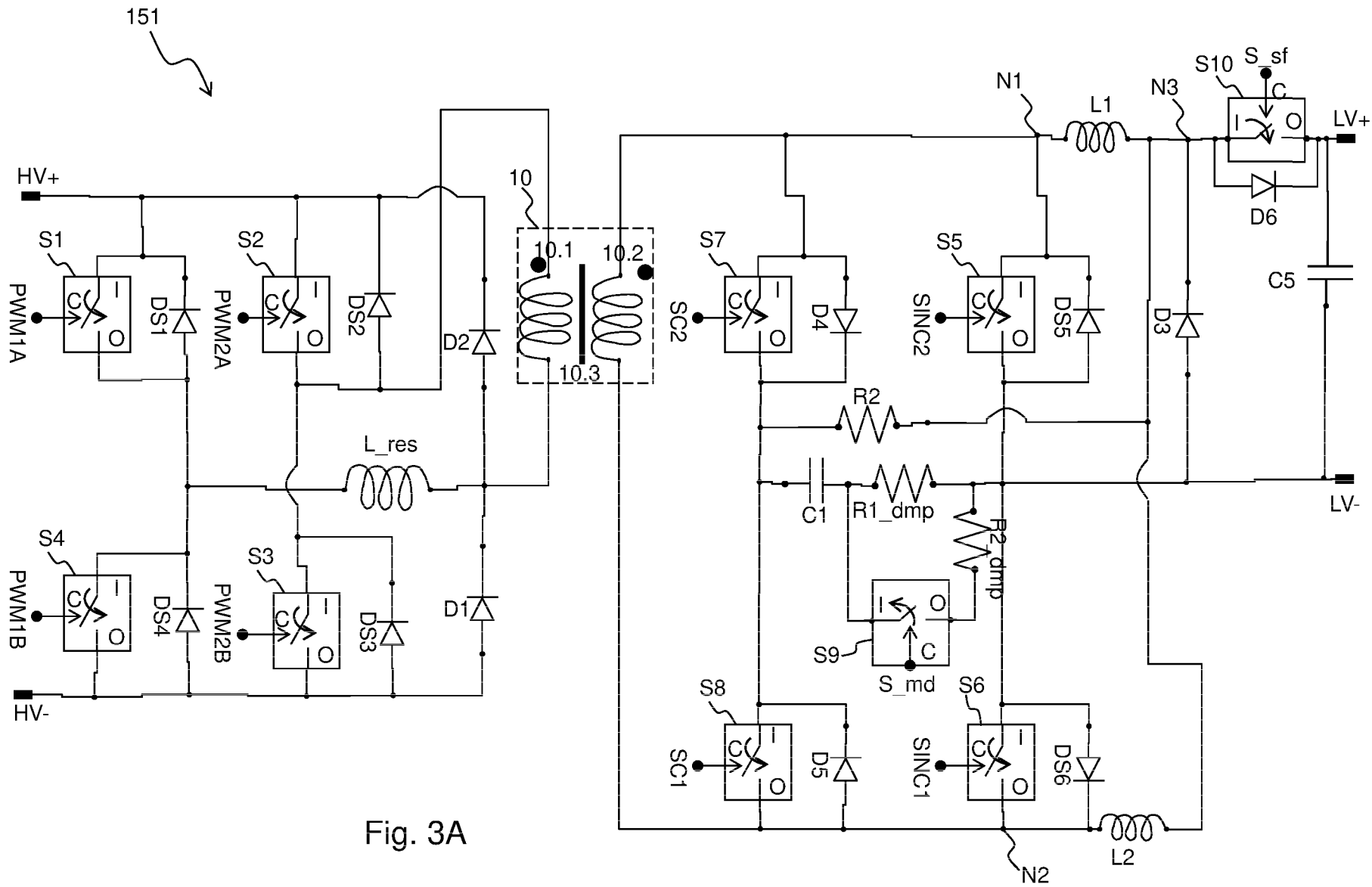


Fig. 3A

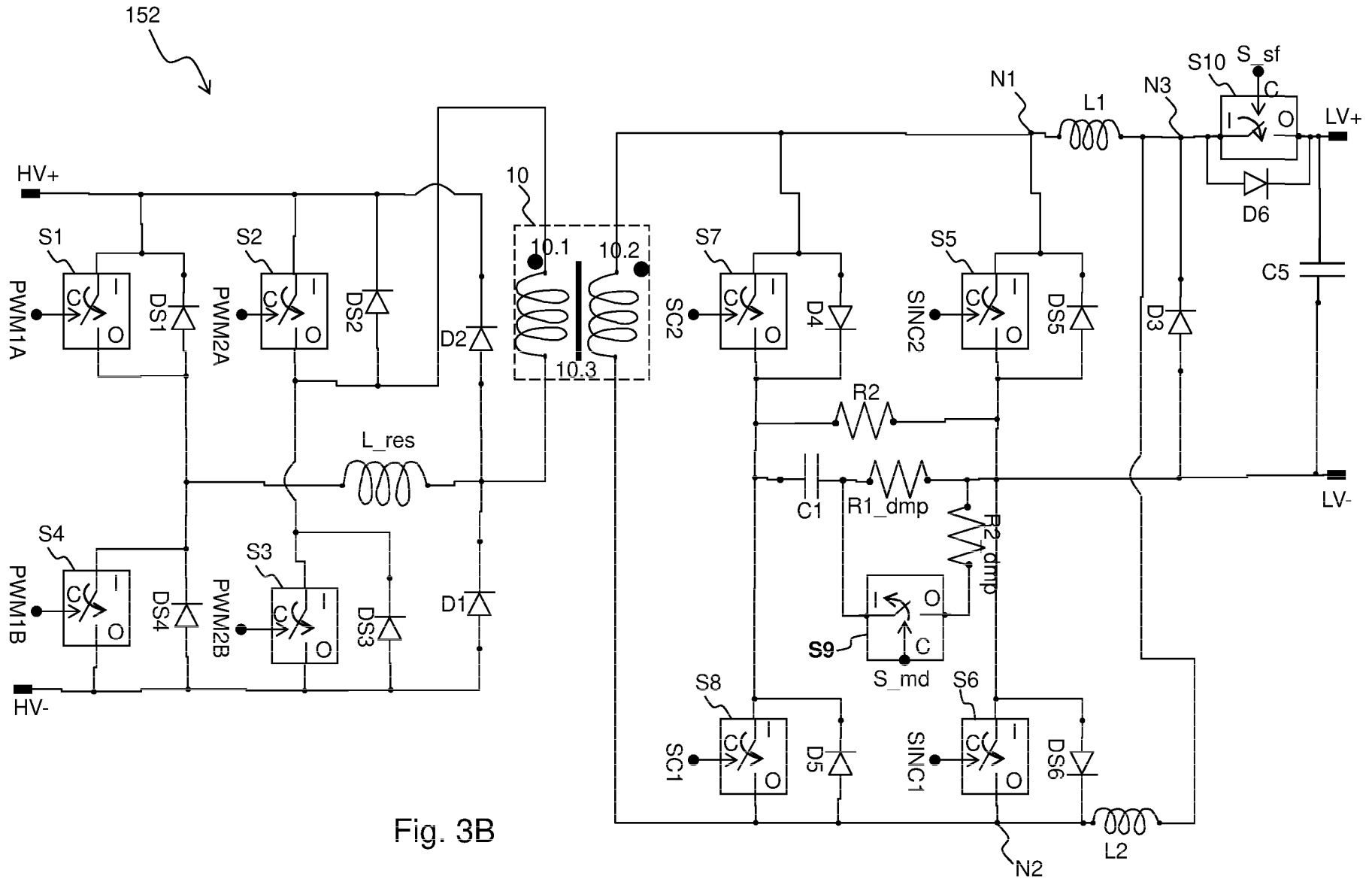


Fig. 3B

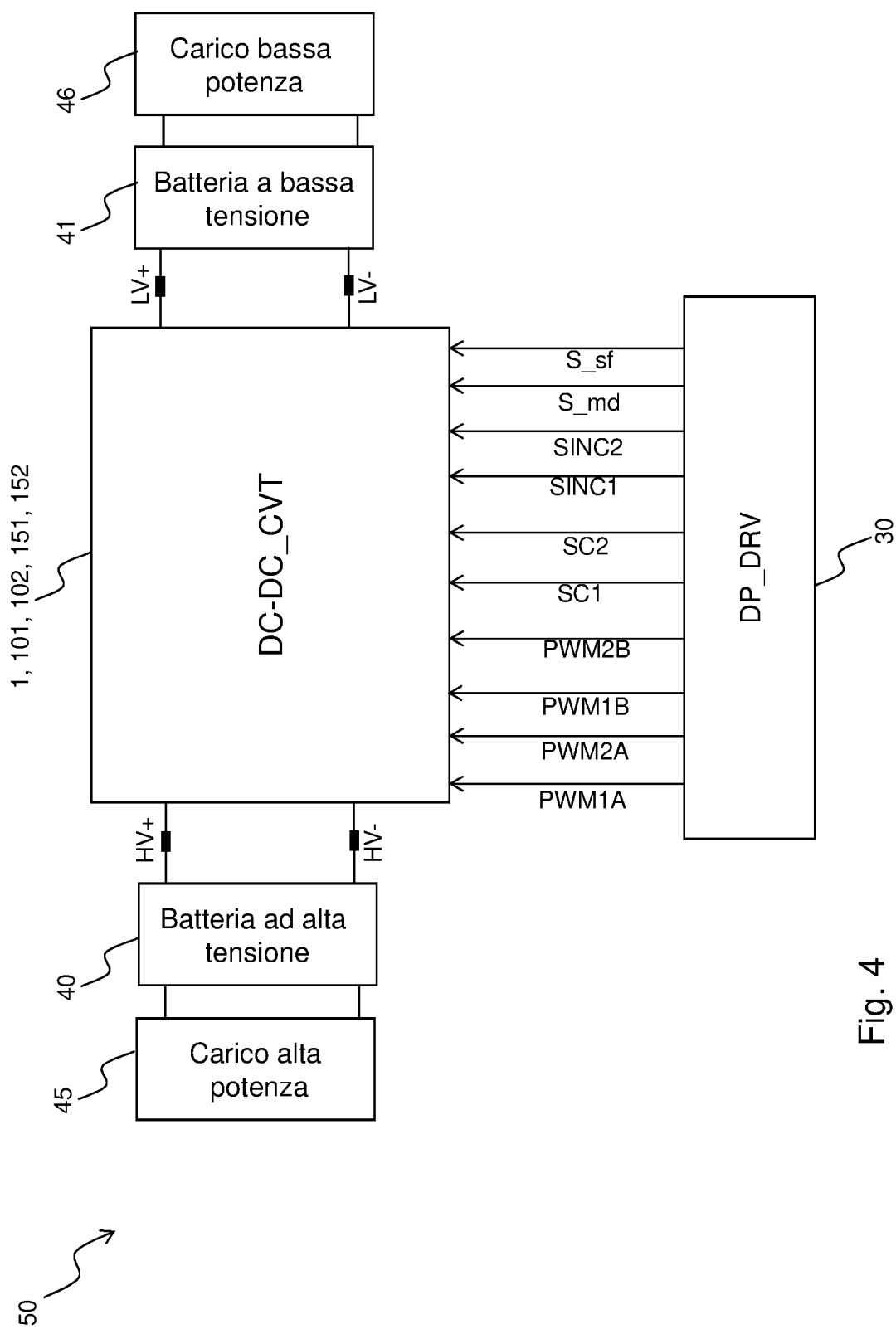
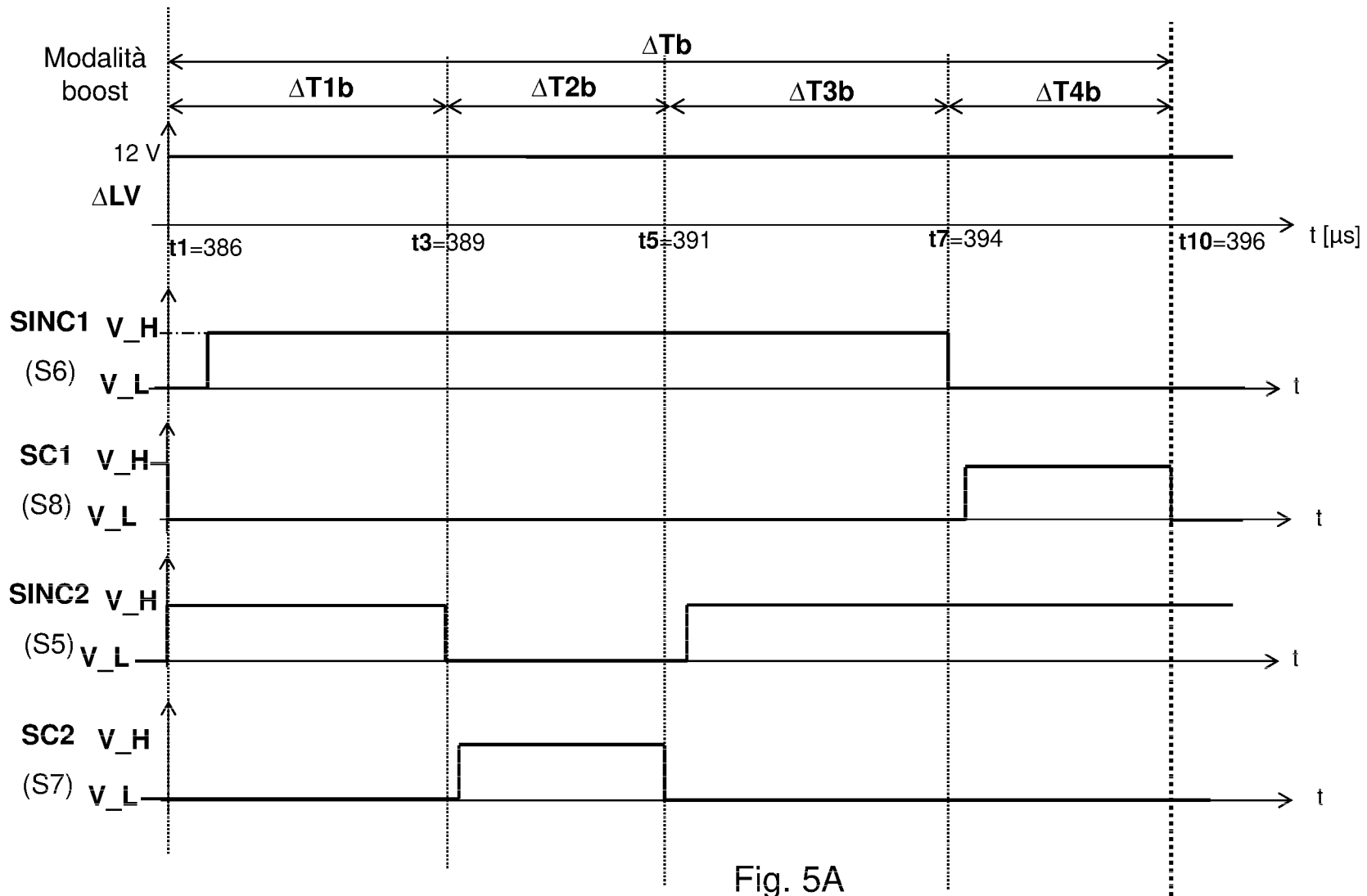


Fig. 4



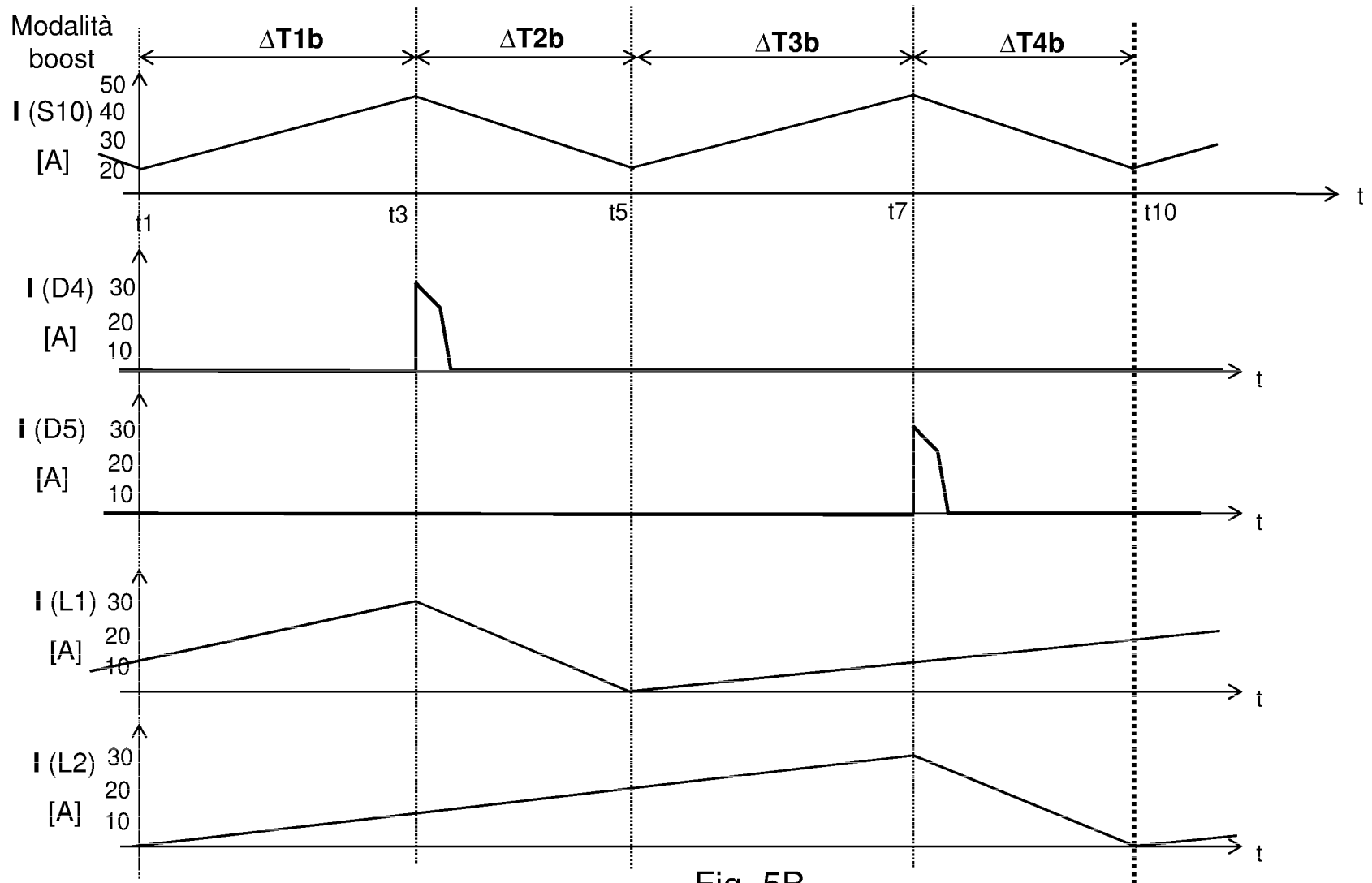


Fig. 5B

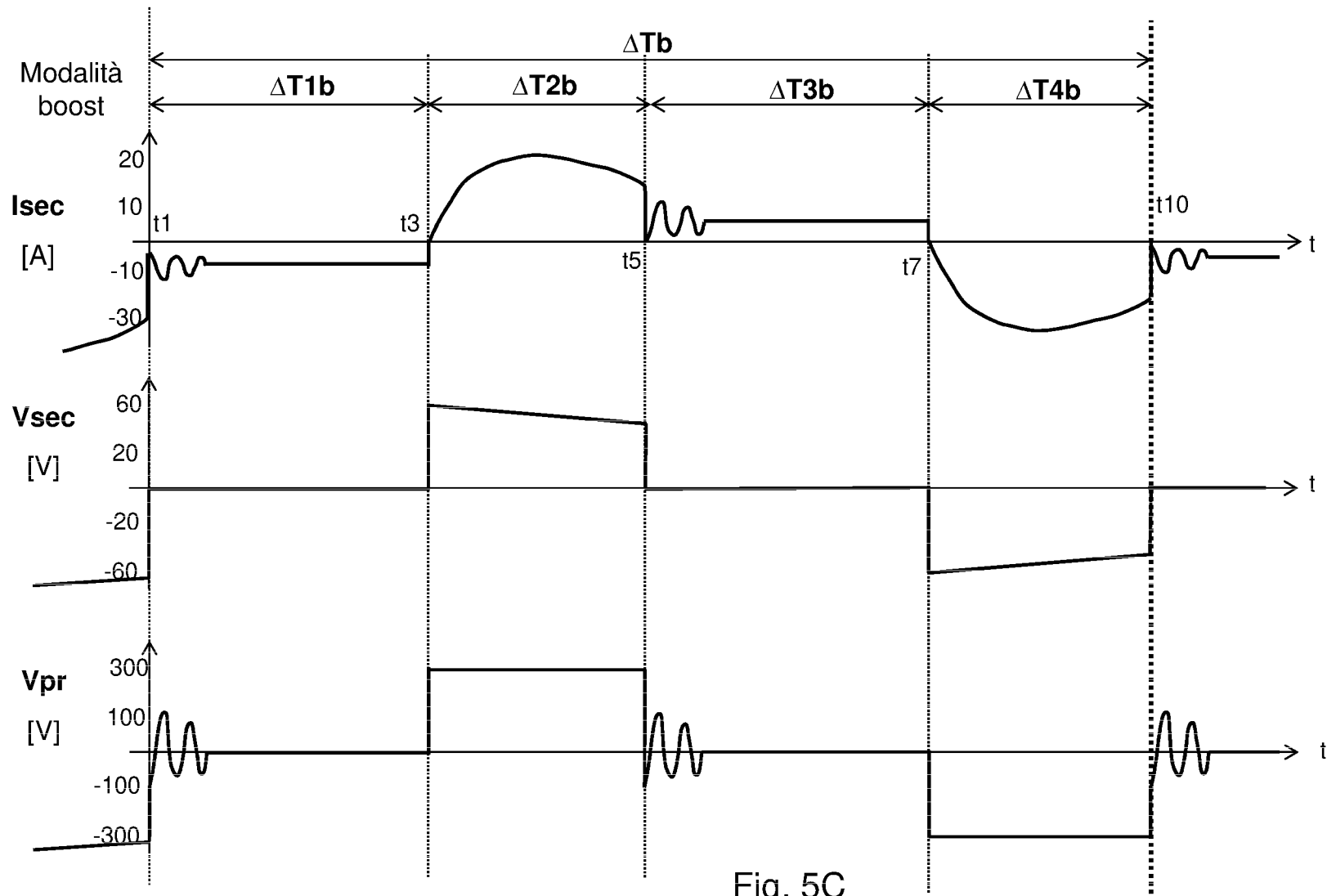


Fig. 5C

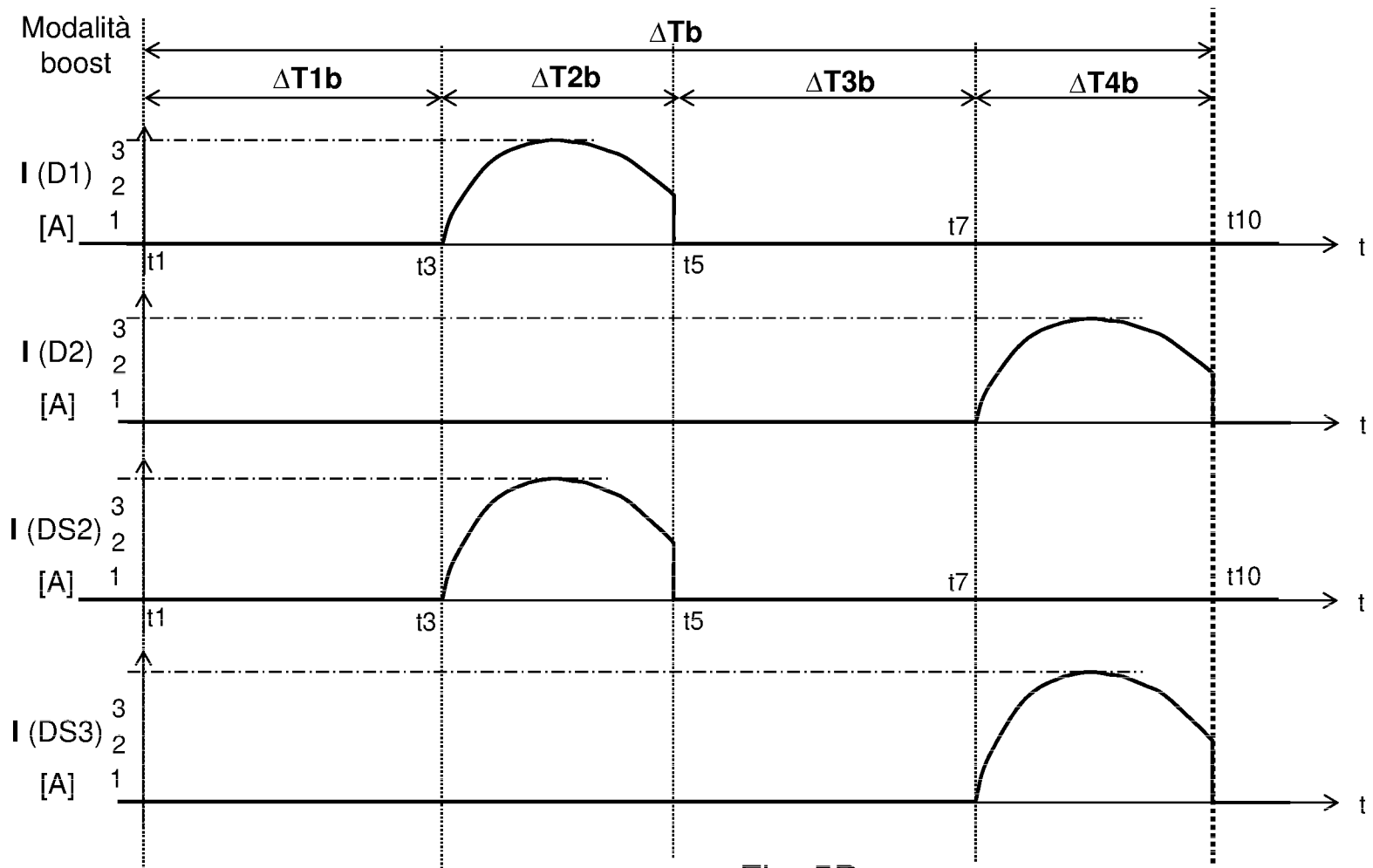


Fig. 5D

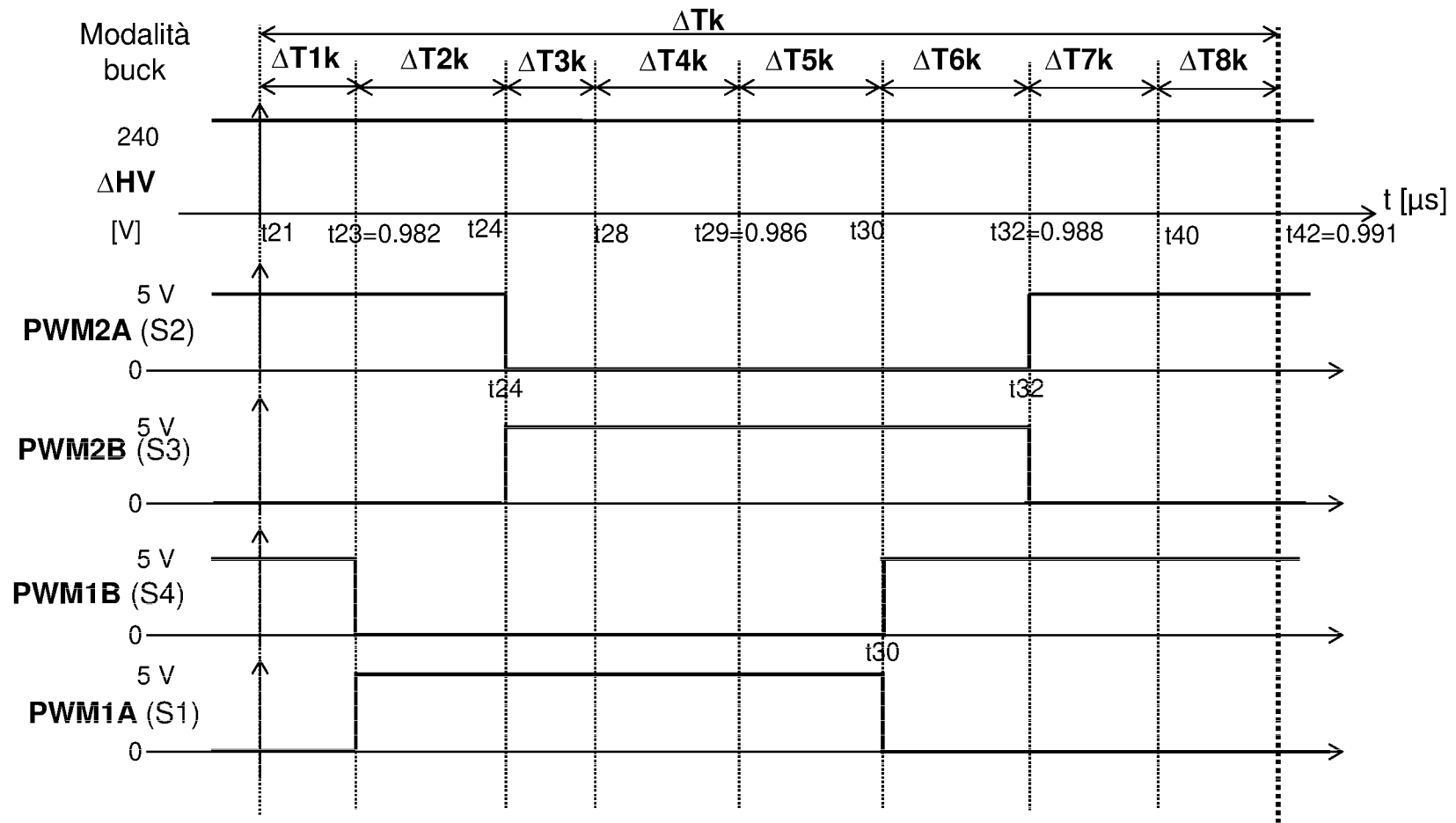


Fig. 6A

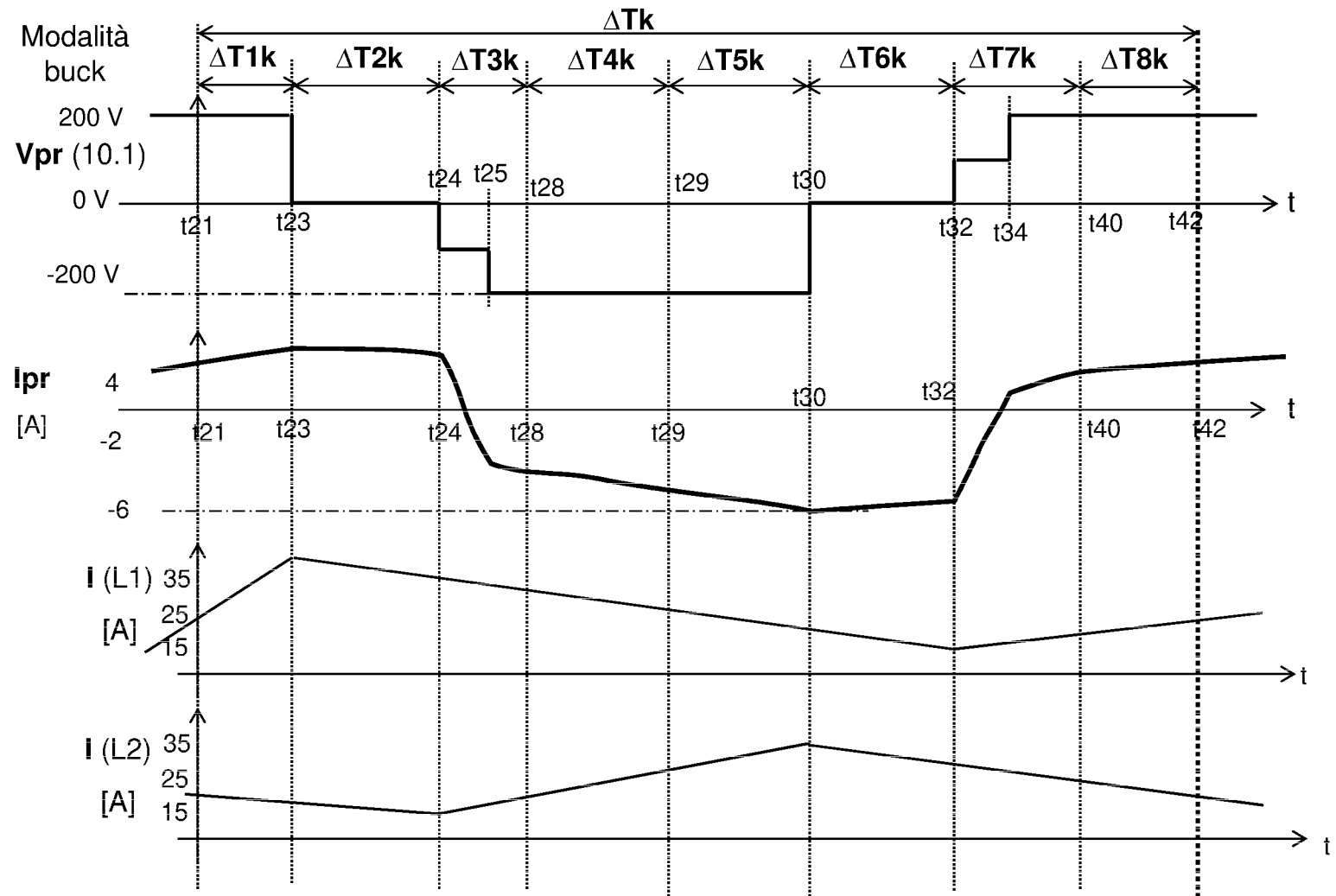


Fig. 6B

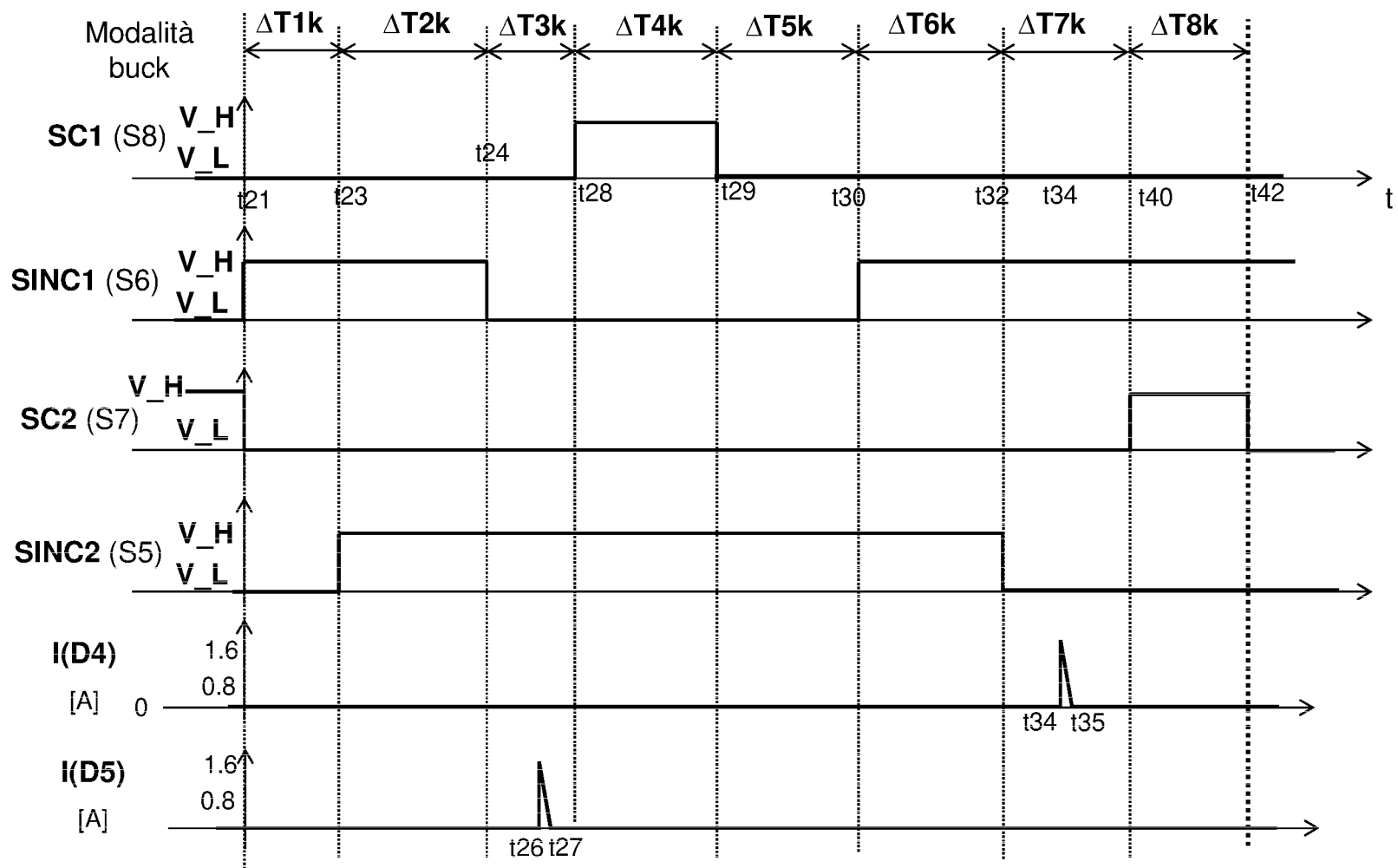
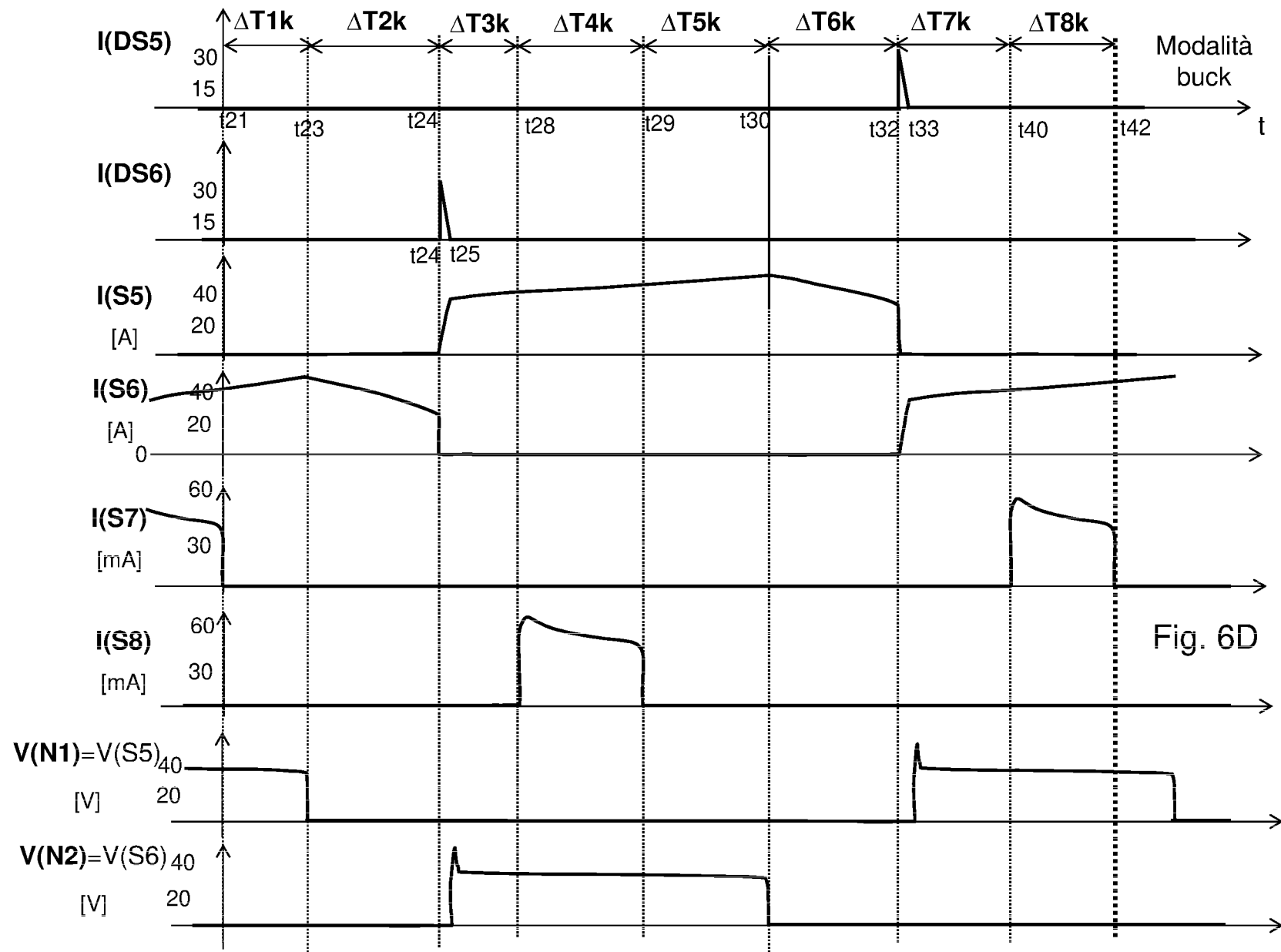


Fig. 6C



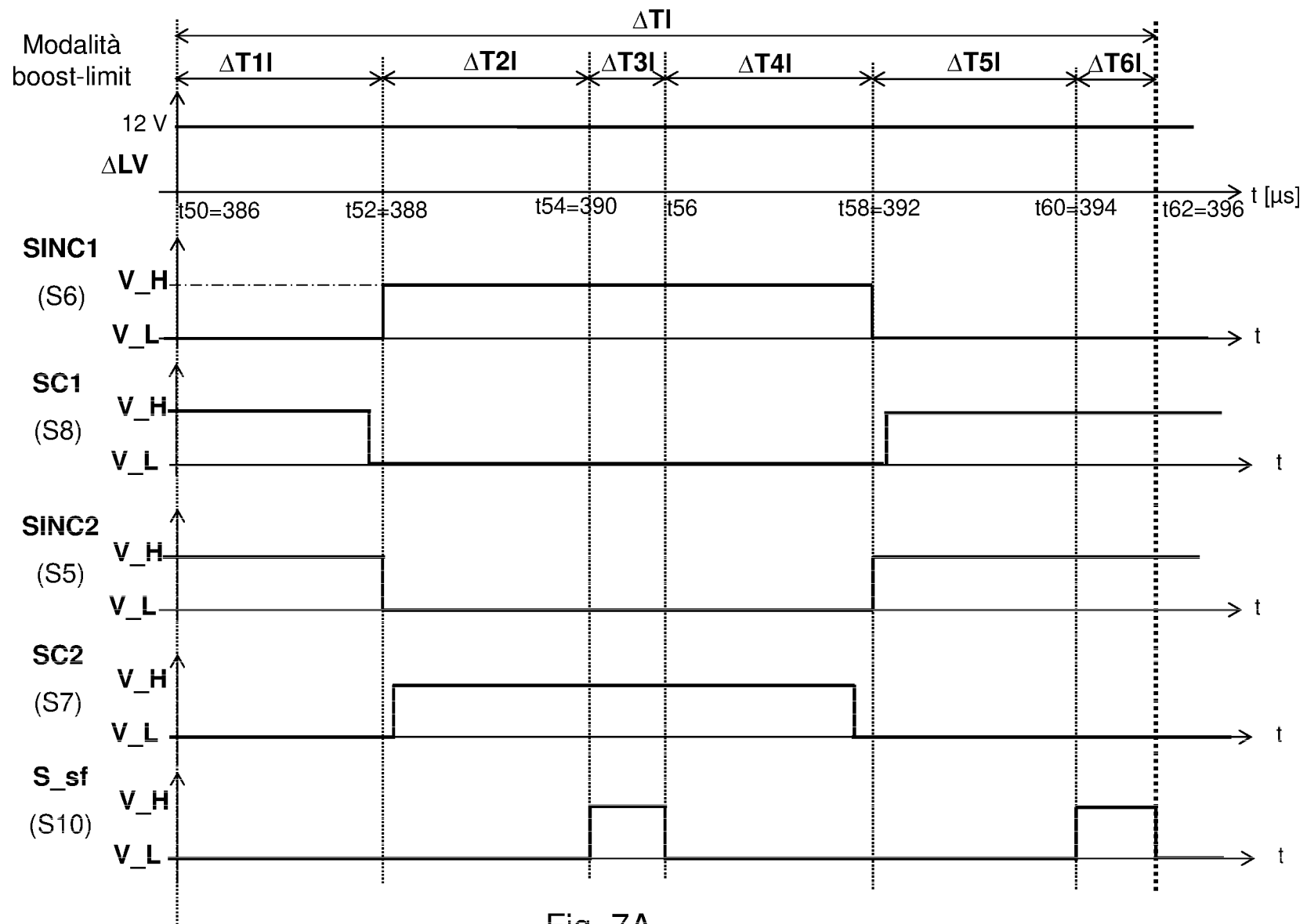


Fig. 7A

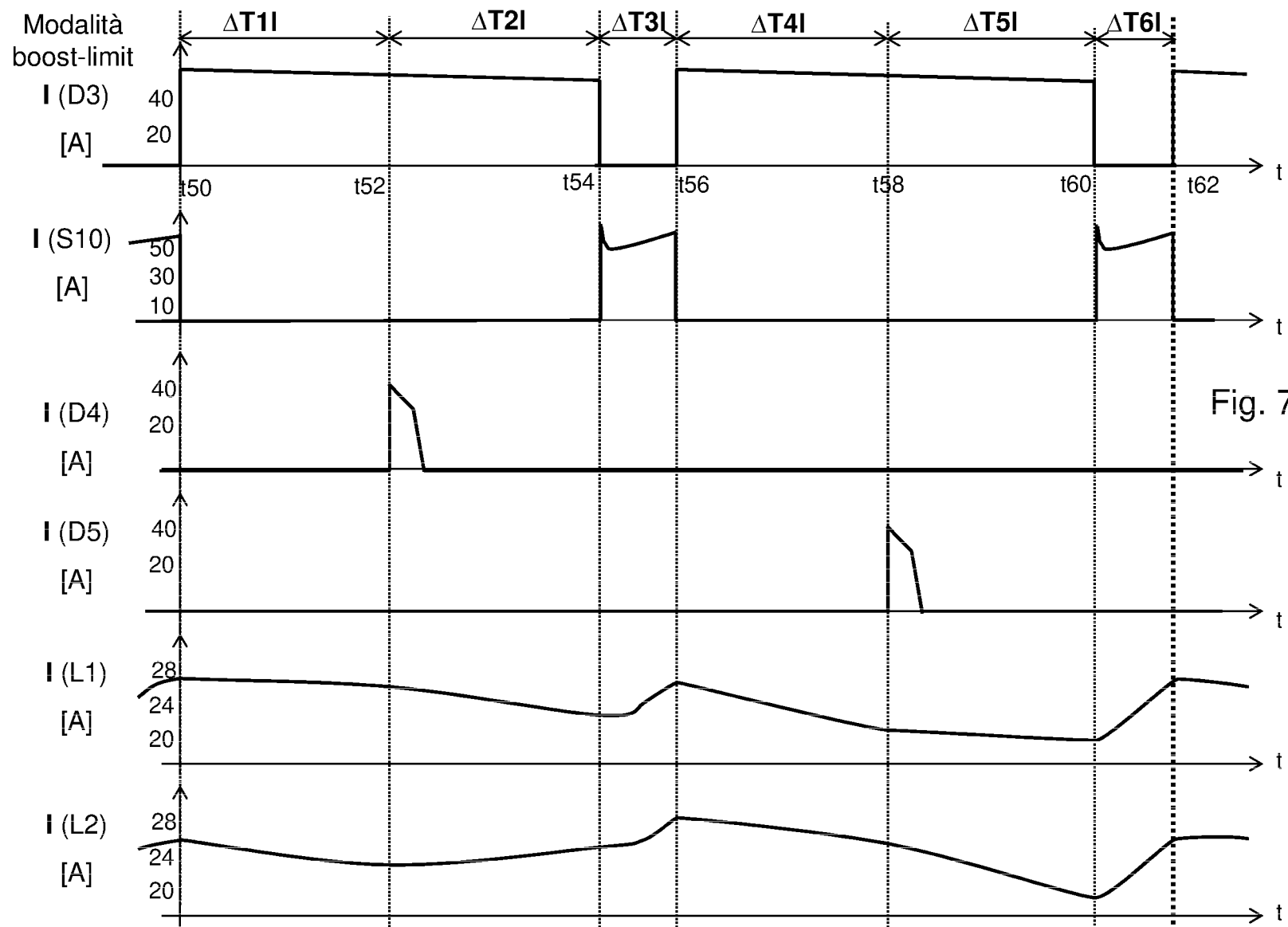
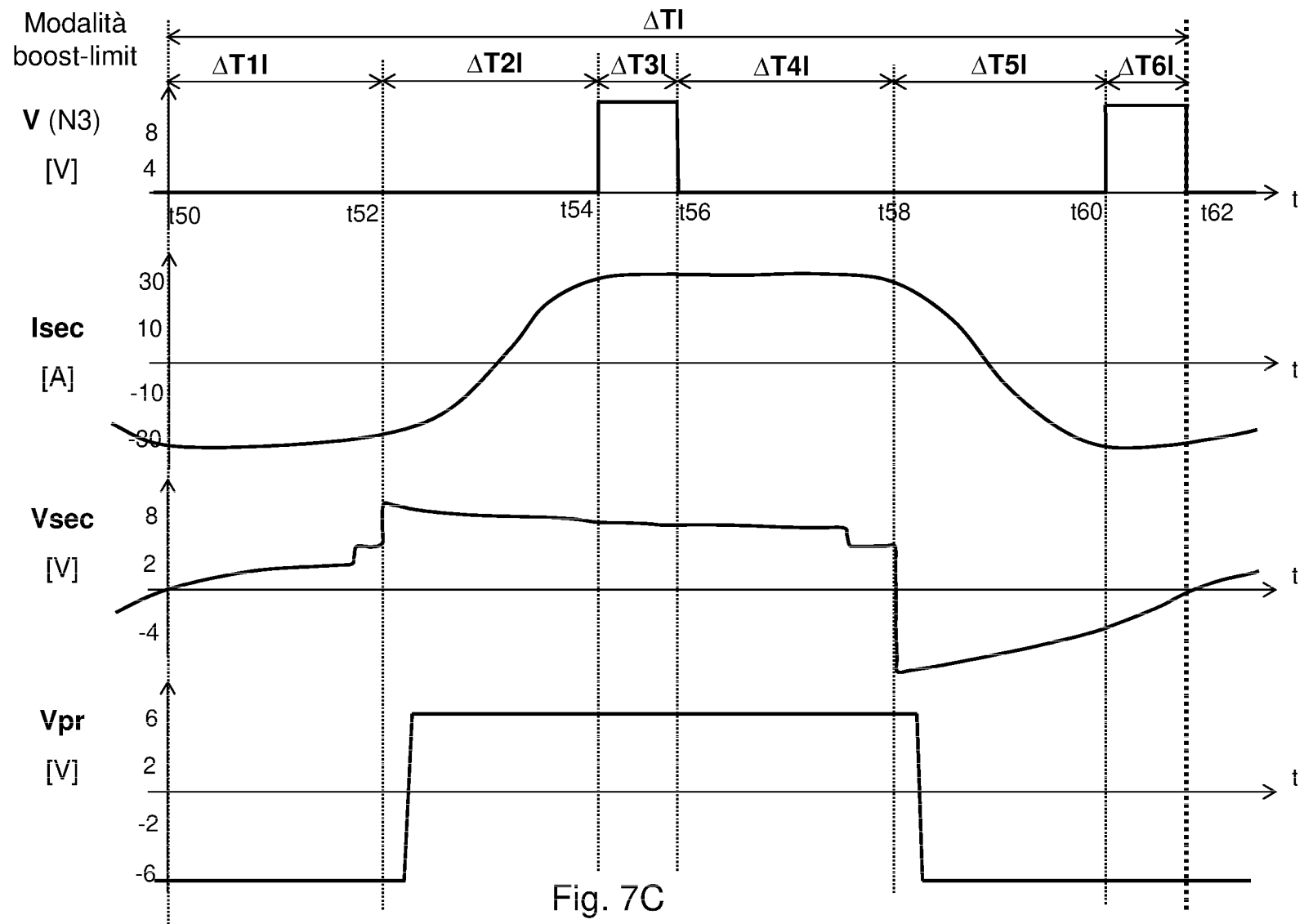


Fig. 7B



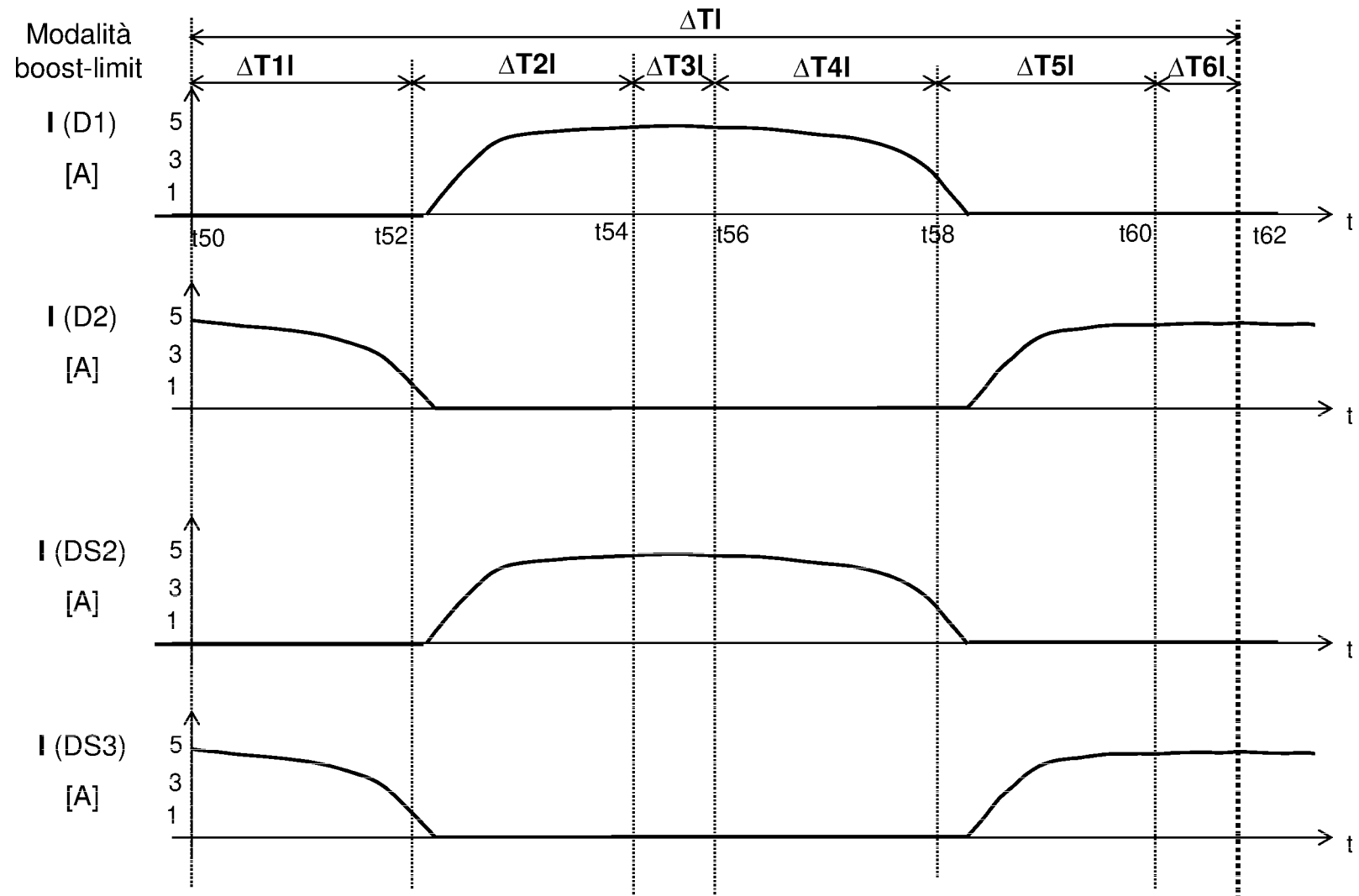


Fig. 7D