

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102009901718898A1

Publication Date

20101001

Applicant

META SYSTEM - S.P.A.

Title

DISPOSITIVO E METODO PER LA CONVERSIONE DI CORRENTE
CONTINUA IN CORRENTE ALTERNATA

Descrizione di Brevetto per Invenzione Industriale avente per titolo:
**“DISPOSITIVO E METODO PER LA CONVERSIONE DI
CORRENTE CONTINUA IN CORRENTE ALTERNATA”.**

A nome: **META SYSTEM – S.P.A.**, una società costituita ed esistente secondo la legge italiana, avente sede in 42100 Reggio Emilia (RE).

Inventore designato: **MALDINI Giorgio, BUONOCUNTO Nicola,
PATSEVITCH Vladislav, PETRELLA Roberto, REVELANT
Alessandro, STOCCO Piero.**

Depositato il: n.

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ad un dispositivo e ad un metodo per la conversione di corrente continua in corrente alternata.

E' noto e comune da tempo l'impiego di apparati elettronici cosiddetti “inverter” atti a convertire una corrente continua di ingresso in una corrente alternata di uscita.

Le applicazioni degli inverter sono molteplici e vanno, ad esempio, dall'impiego in gruppi di continuità per la conversione della corrente continua da una batteria di alimentazione, all'impiego nell'industria per la regolazione della velocità di motori elettrici o, ancora, all'impiego per la conversione dell'energia elettrica proveniente da impianti di produzione, prima dell'immissione sulla rete di distribuzione.

Una particolare tipologia di inverter è quella degli inverter multilivello cosiddetti NPC (Neutral Point Clamped), i quali sono in grado di fornire in uscita più di due livelli di tensione in modo da generare una forma d'onda il più possibile vicina a quella sinusoidale.

A titolo esemplificativo, è riportato in figura 1 lo schema di principio di un inverter NPC trifase a tre livelli.

L'inverter di figura 1 è provvisto di un ramo di ingresso costituito da due condensatori C in serie tra loro ed associato ad una sorgente di tensione continua V_{dc} in corrispondenza di un terminale a tensione positiva V_{dc+} , di un terminale a tensione negativa V_{dc-} e di un punto neutro NP (Neutral Point) tra i due condensatori C .

L'inverter comprende tre gruppi di interruttori elettronici di potenza, quali Mosfet, IGBT o dispositivi simili, indicati con i riferimenti S_{a1} - S_{d1} , S_{a2} - S_{d2} e S_{a3} - S_{d3} , che sono tra loro opportunamente connessi su tre rami, uno per ogni fase $f1$, $f2$ e $f3$.

L'inverter comprende, inoltre, tre coppie di diodi, indicati in figura 1 rispettivamente con i riferimenti D_{a1} e D_{b1} , D_{a2} e D_{b2} , D_{a3} e D_{b3} .

Con riferimento al ramo relativo alla fase $f1$, ad esempio, i diodi D_{a1} e D_{b1} sono disposti in serie tra loro e collegano il punto neutro NP, rispettivamente, al punto di connessione tra gli interruttori S_{a1} e S_{b1} ed al punto di connessione tra gli interruttori S_{c1} e S_{d1} .

I diodi D_{a2} , D_{b2} , D_{a3} e D_{b3} sono collegati in modo analogo con i rami relativi alle fasi $f2$ e $f3$.

Comandando la chiusura degli interruttori S_{a1} - S_{d1} , S_{a2} - S_{d2} e S_{a3} - S_{d3} è possibile connettere ciascuna delle fasi al positivo della tensione V_{dc+} , al negativo della tensione V_{dc-} ed al nodo NP (Neutral Point) in cui la tensione è pari a zero se assunto come riferimento.

La rapida commutazione degli interruttori tra le possibili configurazioni è effettuata mediante opportune tecniche di modulazione, in modo da

ottenere una tensione ed una corrente di uscita alternate sulle tre fasi, a partire dalla tensione continua V_{dc} .

Una di tali tecniche di modulazione è la cosiddetta modulazione unipolare dei rami dell'inverter, in cui gli interruttori di ciascun ramo sono accesi o spenti in funzione della variazione di una tensione di riferimento periodica. In particolare, con riferimento a titolo esemplificativo al ramo della fase f1, la configurazione degli interruttori S_{a1} , S_{b1} , S_{c1} e S_{d1} è di seguito riportata.

Durante la semionda positiva della tensione di riferimento:

- commutazione dell'interruttore S_{a1} ad una frequenza di switching predefinita;
- interruttore S_{b1} sempre acceso;
- interruttori S_{c1} e S_{d1} sempre spenti.

Durante la semionda negativa della tensione di riferimento:

- commutazione dell'interruttore S_{d1} ad una frequenza di switching predefinita;
- interruttore S_{c1} sempre acceso;
- interruttori S_{a1} e S_{b1} sempre spenti.

La tecnica di modulazione unipolare presenta, tuttavia, alcuni inconvenienti.

Infatti, in prossimità dello zero crossing della corrente in uscita, inteso come l'istante in cui la corrente ideale in uscita sul ramo è pari a zero, si verifica una distorsione sulla tensione in uscita effettiva.

Questo è dovuto al funzionamento in DCM (Discontinuous Conduction Mode) della corrente del ramo.

In particolare, quando il valor medio della corrente nell'induttanza di carico

è prossimo ad annullarsi, una componente oscillatoria spuria (ripple) ad essa sovrapposta non può attraversare lo zero, causando una variazione istantanea della pendenza della corrente che fluisce nell'induttanza e comportando, quindi, una variazione di tensione ai capi dell'induttanza stessa.

Per maggiore chiarezza, ed a puro titolo esemplificativo, sono riportati in figura 2 ed in figura 3 gli andamenti rispettivamente di tensione e corrente V_u e I_u in uscita da uno dei rami in caso di modulazione unipolare, in cui risulta evidente la presenza delle distorsioni dei segnali in prossimità dello zero crossing.

In particolare, in figura 3 è illustrato l'andamento della corrente in uscita I_u in prossimità dello zero crossing confrontato con l'andamento di una corrente in uscita ideale I_{rif} .

La modulazione di tipo unipolare, inoltre, presenta ulteriori inconvenienti nel caso in cui la tensione di riferimento e la corrente di uscita abbiano, in un particolare istante o intervallo di tempo, segni opposti, ad esempio nel caso in cui la tensione di riferimento sia sinusoidale ed in anticipo rispetto alla corrente in uscita I_u .

In tal caso, in corrispondenza del cambio di segno della tensione di riferimento, la corrente non può continuare a circolare nello stesso verso e viene forzata a zero.

Tali andamenti della tensione di riferimento e della corrente di uscita I_u sono illustrati a titolo esemplificativo in figura 4, in cui la tensione di riferimento è indicata con la dicitura U_{rif} .

Per ovviare agli inconvenienti della modulazione unipolare sono note

tecniche alternative, quali la cosiddetta modulazione complementare dei rami dell'inverter.

In particolare, con riferimento a titolo esemplificativo al ramo della fase f1, la configurazione degli interruttori S_{a1} , S_{b1} , S_{c1} e S_{d1} è di seguito riportata.

Durante la semionda positiva della tensione di riferimento:

- commutazione degli interruttori S_{a1} e S_{c1} ad una frequenza di switching predefinita;
- interruttore S_{b1} sempre acceso;
- interruttore S_{d1} sempre spento.

Durante la semionda negativa della tensione di riferimento:

- commutazione degli interruttori S_{d1} e S_{b1} ad una frequenza di switching predefinita;
- interruttore S_{c1} sempre acceso;
- interruttore S_{a1} sempre spento.

Anche la tecnica di modulazione complementare presenta, tuttavia, alcuni inconvenienti.

In particolare, gli interruttori centrali che commutano alla frequenza di switching non sono percorsi da corrente e, pertanto, quando la corrente in uscita non è in prossimità dello zero crossing vengono effettuate numerose commutazioni inutili.

Questo comporta un inevitabile aumento delle perdite energetiche legate al circuito di pilotaggio degli interruttori centrali di ciascun ramo e perdite addizionali sui diodi legate alle rispettive correnti di dispersione.

Inoltre, il corretto funzionamento dell'inverter richiede un adeguato dimensionamento del circuito di pilotaggio degli interruttori centrali.

Il compito principale della presente invenzione è quello di escogitare un dispositivo ed un metodo per la conversione di corrente continua in corrente alternata che consentano di eliminare i disturbi presenti in corrispondenza dello zero crossing della corrente di uscita e che, al contempo, consentano di ridurre al minimo le perdite energetiche.

Altro scopo del presente trovato è quello di escogitare un dispositivo ed un metodo per la conversione di corrente continua in corrente alternata che consentano di superare i menzionati inconvenienti della tecnica nota nell'ambito di una soluzione semplice, razionale, di facile ed efficace impiego e dal costo contenuto.

Gli scopi sopra esposti sono raggiunti dal presente dispositivo per la conversione di corrente continua in corrente alternata, comprendente almeno un convertitore multilivello associato ad almeno una sorgente di tensione continua ed almeno una unità di modulazione provvista di mezzi di pilotaggio di detto convertitore per la conversione di detta tensione continua in una corrente di uscita alternata, caratterizzato dal fatto che detta unità di modulazione comprende mezzi di confronto del valore di detta corrente di uscita con almeno un valore di soglia positivo predefinito ed almeno un valore di soglia negativo predefinito, detti mezzi di pilotaggio essendo atti a pilotare detto convertitore con una modulazione di impulso di tipo unipolare nel caso in cui detto valore della corrente di uscita sia superiore a detto valore di soglia positivo od inferiore a detto valore di soglia negativo e con una modulazione di impulso di tipo complementare nel caso in cui detto valore della corrente di uscita sia inferiore a detto valore di soglia positivo e superiore a detto valore di soglia negativo.

Gli scopi sopra esposti sono inoltre raggiunti dal presente metodo per la conversione di corrente continua in corrente alternata, comprendente almeno una fase di pilotaggio di un convertitore multilivello per la conversione di una tensione continua in una corrente di uscita alternata, caratterizzato dal fatto che comprende almeno una fase di confronto del valore di detta corrente di uscita con almeno un valore di soglia positivo predefinito ed almeno un valore di soglia negativo predefinito, detta fase di pilotaggio essendo atta a pilotare detto convertitore con una modulazione di impulso di tipo unipolare nel caso in cui detto valore della corrente di uscita sia superiore a detto valore di soglia positivo od inferiore a detto valore di soglia negativo e con una modulazione di impulso di tipo complementare nel caso in cui detto valore della corrente di uscita sia inferiore a detto valore di soglia positivo e superiore a detto valore di soglia negativo.

Altre caratteristiche e vantaggi della presente invenzione risulteranno maggiormente evidenti dalla descrizione di una forma di esecuzione preferita, ma non esclusiva, di un dispositivo e di un metodo per la conversione di corrente continua in corrente alternata, illustrati a titolo indicativo, ma non limitativo, nelle unite tavole di disegni in cui:

la figura 5 è uno schema a blocchi generale del dispositivo secondo il trovato;

la figura 6 è uno schema circuitale che illustra una possibile forma di attuazione di un convertitore multilivello del dispositivo secondo il trovato;

la figura 7 è un grafico che illustra schematicamente una possibile correlazione tra l'andamento della corrente di uscita del dispositivo

secondo il trovato ed il funzionamento del dispositivo stesso;

le figure 8 e 9 sono grafici e schemi funzionali che illustrano le possibili configurazioni del convertitore multilivello del dispositivo secondo il trovato in caso di modulazione unipolare;

le figure 10 e 11 sono grafici e schemi funzionali che illustrano le possibili configurazioni del convertitore multilivello del dispositivo secondo il trovato in caso di modulazione complementare;

la figura 12 è un grafico che illustra gli andamenti di una tensione di riferimento in ingresso all'unità di modulazione del dispositivo secondo il trovato e della corrente di uscita dal convertitore multilivello del dispositivo nell'intorno dello zero crossing della corrente di uscita stessa.

le figure 13 e 14 sono grafici che illustrano gli andamenti della tensione e della corrente di uscita del dispositivo secondo il trovato nell'intorno dello zero crossing della corrente di uscita.

Con particolare riferimento alle figure dalla 5 alla 14, si è indicato globalmente con D un dispositivo per la conversione di corrente continua in corrente alternata, del tipo impiegabile in numerose applicazioni di tipo comune quali, ad esempio, all'interno di gruppi di continuità per la conversione della corrente continua generata da una batteria, per la conversione della corrente continua prodotta da moduli fotovoltaici o, ancora, per la regolazione della velocità di motori elettrici.

Il dispositivo D, illustrato complessivamente e schematicamente in figura 5, comprende un convertitore multilivello, del tipo di un convertitore od inverter NPC (Neutral Point Clamped), indicato genericamente con il riferimento C_{NPC} .

Il dispositivo D comprende una unità di modulazione, indicata genericamente in figura 5 con il riferimento M, che è provvista di mezzi di pilotaggio del convertitore C_{NPC} per la conversione di una tensione continua V_{dc} in ingresso al convertitore stesso in una corrente di uscita I_u alternata.

Il dispositivo D comprende, inoltre, una sorgente atta a generare una corrente di riferimento I_{rif} da inseguire e mezzi di calcolo della differenza tra tale corrente di riferimento I_{rif} e la corrente di uscita I_u generata mediante il convertitore C_{NPC} .

In particolare, tali mezzi di calcolo sono schematizzati in figura 5 mediante un controllo in retroazione negativa che rileva la corrente di uscita I_u generata dal convertitore C_{NPC} e la sottrae alla corrente di riferimento I_{rif} in ingresso al dispositivo D.

Il dispositivo D comprende una unità di controllo di corrente, indicata genericamente in figura 5 con il riferimento A, disposta a valle dei suddetti mezzi di calcolo e a monte dell'unità di modulazione M, che è operativamente associata all'unità di modulazione M e che è provvista di mezzi di generazione di una tensione di riferimento U_{rif} , generata in funzione della differenza calcolata tra la corrente di riferimento I_{rif} e la corrente di uscita I_u .

Vantaggiosamente, i mezzi di pilotaggio dell'unità di modulazione M sono atti a pilotare il convertitore C_{NPC} in funzione della tensione di riferimento U_{rif} e della corrente di uscita I_u .

Il dispositivo D comprende, inoltre, un'unità di filtraggio, indicata genericamente in figura 5 con il riferimento F, che è disposta a valle rispetto al convertitore C_{NPC} e che è atta a filtrare la corrente di uscita I_u .

In particolare, tale unità di filtraggio F può essere realizzata mediante un filtro di tipo LC, LCL o simili.

Con particolare riferimento alla forma di attuazione descritta ed illustrata in figura 6, il convertitore C_{NPC} è del tipo di un inverter NPC monofase a tre livelli di tensione. Non si escludono, tuttavia, differenti forme di realizzazione in cui il convertitore C_{NPC} impiegato è un inverter a più di tre livelli e/o di tipo polifase.

In particolare, il convertitore C_{NPC} comprende almeno un ramo di ingresso R_i costituito da due condensatori C connessi in serie tra loro e provvisto di un terminale connesso al polo positivo V_{dc+} della sorgente di tensione continua V_{dc} e di un terminale opposto connesso al polo negativo V_{dc-} della sorgente di tensione continua V_{dc} .

In alternativa alla sorgente di tensione continua V_{dc} possono essere impiegati due generatori di tensione indipendenti, ciascuno dei quali atto a generare una tensione ai capi di rispettivi condensatori C o banchi di condensatori C .

Si precisa, inoltre, che i condensatori C illustrati in figura 6 possono essere rappresentativi della serie e/o del parallelo di più condensatori fisicamente realizzati per realizzare la capacità complessiva necessaria.

Il punto di connessione tra i due condensatori C , indicato in figura 6 con il riferimento NP, è il punto neutro (Neutral Point) a tensione nulla del convertitore C_{NPC} .

Il convertitore C_{NPC} è provvisto di un ramo di uscita R_u comprendente un primo ed un secondo interruttore elettronico S_a e S_b connessi in serie tra loro tra il polo positivo V_{dc+} della sorgente di tensione continua V_{dc} e un

terminale di uscita, ed un terzo ed un quarto interruttore elettronico S_c e S_d connessi in serie tra il polo negativo V_{dc-} della sorgente di tensione continua V_{dc} ed il terminale di uscita.

Ciascuno degli interruttori S_a , S_b , S_c e S_d è operativamente associato all'unità di modulazione M.

In particolare, i mezzi di pilotaggio dell'unità di modulazione M comprendo mezzi di generazione di quattro distinti segnali P_a , P_b , P_c , P_d di controllo, modulati a larghezza di impulso (PWM) ed atti a controllare, rispettivamente, il primo, il secondo, il terzo ed il quarto interruttore S_a , S_b , S_c e S_d .

Non si esclude, tuttavia l'impiego di segnali di controllo degli interruttori S_a , S_b , S_c e S_d modulati mediante tecniche di modulazione di impulso differenti.

Utilmente, tali interruttori S_a , S_b , S_c e S_d possono essere costituiti da Mosfet, IGBT o da altri dispositivi di commutazione statica.

Il ramo di uscita R_u è provvisto, inoltre, di un primo diodo D_a e di un secondo diodo D_b .

Il primo diodo D_a ha l'anodo connesso al ramo di ingresso R_i , in corrispondenza del punto neutro NP, ed il catodo connesso al punto di collegamento tra il primo interruttore S_a ed il secondo interruttore S_b , mentre secondo diodo D_b ha il catodo connesso al ramo di ingresso R_i , in corrispondenza del punto neutro NP, e l'anodo connesso al punto di collegamento tra il terzo interruttore S_c ed il quarto interruttore S_d .

Utilmente, il primo ed il secondo diodo D_a e D_b ed i diodi associati in antiparallelo agli interruttori S_a , S_b , S_c e S_d , non illustrati in figura 6 in

quanto di tipo noto, possono essere diodi con substrato di silicio o SiC (Silicon Carbide), i quali permettono una riduzione delle perdite per commutazione.

Si precisa che, nonostante la particolare forma di attuazione del dispositivo D illustrata e descritta preveda l'impiego di un convertitore C_{NPC} monofase, provvisto quindi di un solo ramo di uscita R_u , non si escludono tuttavia forme di realizzazione alternative, in cui il convertitore C_{NPC} impiegato sia di tipo polifase e sia provvisto quindi di un più rami di uscita R_u , uno per ciascuna fase della corrente/tensione alternata di uscita da generare.

Vantaggiosamente, l'unità di modulazione M comprende mezzi di confronto del valore della corrente di uscita I_u del convertitore C_{NPC} con un valore di soglia positivo I_p predefinito e con un valore di soglia negativo I_n predefinito.

Come illustrato schematicamente nel grafico di figura 7, i mezzi di pilotaggio dell'unità di modulazione M sono atti a pilotare il convertitore C_{NPC} , in particolare gli interruttori S_a , S_b , S_c e S_d , con una modulazione di tipo unipolare dei segnali P_a , P_b , P_c , P_d nel caso in cui il valore della corrente di uscita I_u sia superiore al valore di soglia positivo I_p od inferiore al valore di soglia negativo I_n e con una modulazione di tipo complementare dei segnali P_a , P_b , P_c , P_d nel caso in cui il valore della corrente di uscita I_u sia inferiore al valore di soglia positivo I_p e superiore al valore di soglia negativo I_n .

Nel dettaglio, nel caso in cui il valore della corrente di uscita I_u sia superiore al valore di soglia positivo I_p e la tensione di riferimento U_{rif} sia maggiore di zero, i mezzi di pilotaggio dell'unità di modulazione M sono

atti a pilotare il convertitore C_{NPC} con una modulazione di larghezza di impulso di tipo unipolare in cui, come illustrato in figura 8:

- il primo interruttore S_a è commutato periodicamente ad una frequenza predefinita mediante il segnale P_a ;
- il secondo interruttore S_b è sempre acceso;
- il terzo ed il quarto interruttore S_c e S_d sono sempre spenti.

Nel caso in cui il valore della corrente di uscita I_u sia inferiore al valore di soglia negativo I_n e la tensione di riferimento U_{rif} sia minore di zero, i mezzi di pilotaggio dell'unità di modulazione M sono atti a pilotare il convertitore C_{NPC} con una modulazione di larghezza di impulso di tipo unipolare in cui, come illustrato in figura 9:

- il quarto interruttore S_d è commutato periodicamente ad una frequenza predefinita mediante il segnale P_d ;
- il terzo interruttore S_c è sempre acceso;
- il primo ed il secondo interruttore S_a e S_b sono sempre spenti.

Nel caso in cui il valore della corrente di uscita I_u sia inferiore al valore di soglia positivo I_p e la tensione di riferimento U_{rif} sia maggiore di zero, i mezzi di pilotaggio dell'unità di modulazione M sono atti a pilotare il convertitore C_{NPC} con una modulazione di larghezza di impulso di tipo complementare in cui, come illustrato in figura 10:

- il primo interruttore S_a ed il terzo interruttore S_c sono commutati periodicamente ad una frequenza predefinita ed in modo complementare tra loro mediante i segnali P_a e P_c ;
- il secondo interruttore S_b è sempre acceso;
- il quarto interruttore S_d è sempre spento.

Nel caso in cui il valore della corrente di uscita I_u sia superiore al valore di soglia negativo I_n predefinito e la tensione di riferimento U_{rif} sia minore di zero, i mezzi di pilotaggio dell'unità di modulazione M sono atti a pilotare il convertitore C_{NPC} con una modulazione di larghezza di impulso di tipo complementare in cui, come illustrato in figura 11:

- il secondo interruttore S_b ed il quarto interruttore S_d sono commutati periodicamente ad una frequenza predefinita ed in modo complementare tra loro mediante i segnali P_b e P_d ;
- il terzo interruttore S_c è sempre acceso;
- il primo interruttore S_a è sempre spento.

L'utilizzo combinato della modulazione unipolare e della modulazione complementare consente, in particolare, di mantenere la corrente di uscita I_u in CCM (Continuous Current Mode) nell'intorno dello zero crossing di corrente e garantisce il corretto funzionamento del convertitore C_{NPC} anche nel caso in cui la tensione sul ramo di uscita R_u abbia, in alcuni istanti o periodi temporali, segno opposto rispetto alla corrente di uscita I_u .

In tal modo vengono eliminate le distorsioni della tensione di uscita V_u generata dal convertitore C_{NPC} in corrispondenza dello zero crossing della corrente di uscita I_u .

In figura 12, ad evidenziare il corretto funzionamento del dispositivo D , sono mostrati gli andamenti della tensione di riferimento U_{rif} (scalata di un fattore 10) in ingresso all'unità di modulazione M e della corrente di uscita I_u del convertitore C_{NPC} nell'intorno dello zero crossing.

La figura 13 e la figura 14 riportano, infine, gli andamenti della tensione V_u e della corrente di uscita I_u del dispositivo D secondo il trovato

nell'intorno dello zero crossing della corrente di uscita e nel caso in cui il carico sia la normale rete di distribuzione di energia.

Il metodo secondo il trovato comprende una fase di confronto del valore della corrente di uscita I_u con un valore di soglia positivo I_p predefinito e con un valore di soglia negativo I_n predefinito ed una fase di pilotaggio del convertitore C_{NPC} per la conversione della tensione continua V_{dc} in ingresso nella corrente di uscita I_u alternata, in cui il convertitore C_{NPC} è pilotato con una modulazione di larghezza di impulso di tipo unipolare quando il valore della corrente di uscita I_u è superiore al valore di soglia positivo I_p od inferiore al valore di soglia negativo I_n e con una modulazione di larghezza di impulso di tipo complementare quando il valore della corrente di uscita I_u è inferiore al valore di soglia positivo I_p e superiore al valore di soglia negativo I_n .

In particolare, la fase di pilotaggio comprende una fase di generazione del primo, del secondo, del terzo e del quarto segnale di controllo P_a , P_b , P_c e P_d , modulati a larghezza di impulso ed atti a controllare il primo, il secondo, il terzo ed il quarto interruttore S_a , S_b , S_c e S_d .

Vantaggiosamente, il metodo secondo il trovato comprende una fase di generazione del segnale di riferimento U_{rif} e la fase di pilotaggio del convertitore C_{NPC} è effettuata in funzione di tale tensione di riferimento U_{rif} ed in funzionane della corrente di uscita I_u .

In particolare, nel caso in cui il valore della corrente di uscita I_u sia superiore al valore di soglia positivo I_p e la tensione di riferimento U_{rif} sia maggiore di zero, il metodo prevede il pilotaggio del convertitore C_{NPC} con una modulazione di larghezza di impulso di tipo unipolare in cui, come

illustrato in figura 8:

- il primo interruttore S_a è commutato periodicamente ad una frequenza predefinita mediante il segnale P_a ;
- il secondo interruttore S_b è sempre acceso;
- il terzo ed il quarto interruttore S_c e S_d sono sempre spenti.

Nel caso in cui il valore della corrente di uscita I_u sia inferiore al valore di soglia negativo I_n e la tensione di riferimento U_{rif} sia minore di zero, il metodo prevede il pilotaggio del convertitore C_{NPC} con una modulazione di larghezza di impulso di tipo unipolare in cui, come illustrato in figura 9:

- il quarto interruttore S_d è commutato periodicamente ad una frequenza predefinita mediante il segnale P_d ;
- il terzo interruttore S_c è sempre acceso;
- il primo ed il secondo interruttore S_a e S_b sono sempre spenti.

Nel caso in cui il valore della corrente di uscita I_u sia inferiore al valore di soglia positivo I_p predefinito e la tensione di riferimento U_{rif} sia maggiore di zero, il metodo prevede il pilotaggio del convertitore C_{NPC} con una modulazione di larghezza di impulso di tipo complementare in cui, come illustrato in figura 10:

- il primo interruttore S_a ed il terzo interruttore S_c sono commutati periodicamente ad una frequenza predefinita ed in modo complementare tra loro mediante i segnali P_a e P_c ;
- il secondo interruttore S_b è sempre acceso;
- il quarto interruttore S_d è sempre spento.

Nel caso in cui il valore della corrente di uscita I_u sia superiore al valore di soglia negativo I_n predefinito e la tensione di riferimento U_{rif} sia minore di

zero, il metodo prevede il pilotaggio del convertitore C_{NPC} con una modulazione di larghezza di impulso di tipo complementare in cui, come illustrato in figura 11:

- il secondo interruttore S_b ed il quarto interruttore S_d sono commutati periodicamente ad una frequenza predefinita ed in modo complementare tra loro mediante i segnali P_b e P_d ;
- il terzo interruttore S_c è sempre acceso;
- il primo interruttore S_a è sempre spento.

Utilmente, il metodo prevede inoltre una fase di generazione di una corrente di riferimento I_{rif} ed una fase di calcolo della differenza tra tale corrente di riferimento I_{rif} e la corrente di uscita I_u .

La tensione di riferimento U_{rif} da generare in ingresso all'unità di modulazione M è quindi determinata in funzione della differenza calcolata tra la corrente di riferimento I_{rif} e la corrente di uscita I_u .

Il metodo comprende, infine, una fase di filtraggio della corrente di uscita I_u mediante l'unità di filtraggio F .

Si è in pratica constatato come il trovato descritto raggiunga gli scopi proposti e in particolare si sottolinea il fatto che il dispositivo ed il metodo per la conversione di corrente continua in corrente alternata secondo il trovato, in particolare l'uso combinato della modulazione di tipo unipolare e della modulazione di tipo complementare, consentono di eliminare i disturbi presenti in corrispondenza dello zero crossing della corrente di uscita e, al contempo, consentono di ridurre al minimo indispensabile il numero di commutazioni degli interruttori dell'inverter.

Questo comporta, oltre ad una riduzione dei disturbi rispetto alla sola

modulazione di tipo unipolare, anche una riduzione delle perdite energetiche rispetto alla modulazione di tipo complementare.

Infatti, rispetto alla modulazione complementare, il trovato descritto consente di ridurre le perdite legate alle commutazioni mediante circuito di pilotaggio degli interruttori centrali dell'inverter e, inoltre, consente di ridurre i requisiti di dimensionamento di tale circuito di pilotaggio in quanto gli interruttori centrali sono impiegati soltanto per una piccola percentuale del periodo della corrente di uscita.

Il trovato descritto consente, inoltre, l'eliminazione delle perdite addizionali sui diodi dell'inverter legate alle rispettive correnti di dispersione.

Non ultimo vantaggio è dato dal fatto che il trovato descritto consente una minore distorsione della tensione di uscita nella zona di modulazione unipolare, dovuta in particolare all'assenza di tempi morti che riducono la tensione utile sul carico a parità di duty cycle di riferimento.

RIVENDICAZIONI

1) Dispositivo (D) per la conversione di corrente continua in corrente alternata, comprendente almeno un convertitore (C_{NPC}) multilivello associato ad almeno una sorgente di tensione continua (V_{dc}) ed almeno una unità di modulazione (M) provvista di mezzi di pilotaggio di detto convertitore (C_{NPC}) per la conversione di detta tensione continua (V_{dc}) in una corrente di uscita (I_u) alternata, caratterizzato dal fatto che detta unità di modulazione (M) comprende mezzi di confronto del valore di detta corrente di uscita (I_u) con almeno un valore di soglia positivo (I_p) predefinito ed almeno un valore di soglia negativo (I_n) predefinito, detti mezzi di pilotaggio essendo atti a pilotare detto convertitore (C_{NPC}) con una modulazione di impulso di tipo unipolare nel caso in cui detto valore della corrente di uscita (I_u) sia superiore a detto valore di soglia positivo (I_p) od inferiore a detto valore di soglia negativo (I_n) e con una modulazione di impulso di tipo complementare nel caso in cui detto valore della corrente di uscita (I_u) sia inferiore a detto valore di soglia positivo (I_p) e superiore a detto valore di soglia negativo (I_n).

2) Dispositivo (D) secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto convertitore (C_{NPC}) comprende almeno un ramo di uscita (R_u) provvisto di almeno un primo ed un secondo interruttore elettronico (S_a e S_b) associati in serie tra loro tra il polo positivo (V_{dc+}) di detta sorgente di tensione continua (V_{dc}) ed almeno un terminale di uscita e provvisto di almeno un terzo ed un quarto interruttore elettronico (S_c e S_d) associati in serie tra loro tra il polo negativo (V_{dc-}) di detta sorgente di tensione continua (V_{dc}) e detto terminale di uscita, detti interruttori elettronici (S_a ,

S_b, S_c, S_d) essendo operativamente associati a detti mezzi di pilotaggio dell'unità di modulazione (M).

3) Dispositivo (D) secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di pilotaggio comprendono mezzi di generazione di almeno un primo, secondo, terzo e quarto segnale di controllo (P_a, P_b, P_c, P_d) modulati a larghezza di impulso ed atti a controllare detto primo, secondo, terzo e quarto interruttore (S_a, S_b, S_c, S_d).

4) Dispositivo (D) secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto convertitore (C_{NPC}) comprende almeno un ramo di ingresso (R_i) provvisto di almeno due condensatori (C) associati in serie tra loro e provvisto di almeno un terminale associato al polo positivo (V_{dc+}) di detta sorgente di tensione continua (V_{dc}) e di almeno un terminale opposto associato al polo negativo (V_{dc-}) di detta sorgente di tensione continua (V_{dc}).

5) Dispositivo (D) secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detto ramo di uscita (R_u) comprende almeno un primo diodo (D_a) con l'anodo associato a detto ramo di ingresso (R_i), in corrispondenza di un punto di connessione (NP) tra detti due condensatori (C), e con il catodo associato a detto ramo di uscita (R_u), in corrispondenza di un punto di connessione tra detti primo e secondo interruttore (S_a e S_b), ed almeno un secondo diodo (D_b) con il catodo associato a detto ramo di ingresso (R_i), in corrispondenza di detto punto di connessione (NP) tra detti due condensatori (C), e con l'anodo associato a detto ramo di uscita (R_u), in corrispondenza di un punto di connessione tra detti terzo e quarto interruttore (S_c e S_d).

6) Dispositivo (D) secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che detto punto di connessione (NP) tra detti condensatori (C) è un punto neutro a tensione nulla.

7) Dispositivo (D) secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detto convertitore (C_{NPC}) comprende una pluralità di detti rami di uscita (R_u).

8) Dispositivo (D) secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detti primo, secondo, terzo e quarto interruttore (S_a , S_b , S_c , S_d) sono del tipo di Mosfet, IGBT o simili.

9) Dispositivo (D) secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che comprende almeno una unità di controllo di corrente (A) operativamente associata a detta unità di modulazione (M) e provvista di mezzi di generazione di una tensione di riferimento (U_{rif}), detti mezzi di pilotaggio essendo atti a pilotare detto convertitore (C_{NPC}) in funzione di detta tensione di riferimento (U_{rif}) e di detta corrente di uscita (I_u).

10) Dispositivo (D) secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che, nel caso in cui detto valore della corrente di uscita (I_u) sia superiore a detto valore di soglia positivo (I_p) e detta tensione di riferimento (U_{rif}) sia maggiore di zero, detti mezzi di pilotaggio sono atti a pilotare detto convertitore (C_{NPC}) con una modulazione di larghezza di impulso di tipo unipolare in cui:

- detto primo interruttore (S_a) è commutato periodicamente ad una frequenza predefinita;
- detto secondo interruttore (S_b) è sempre acceso;
- detti terzo e quarto interruttore (S_c e S_d) sono sempre spenti.

11) Dispositivo (D) secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che, nel caso in cui detto valore della corrente di uscita (I_u) sia inferiore a detto valore di soglia negativo (I_n) e detta tensione di riferimento (U_{rif}) sia minore di zero, detti mezzi di pilotaggio sono atti a pilotare detto convertitore (C_{NPC}) con una modulazione di larghezza di impulso di tipo unipolare in cui:

- detto quarto interruttore (S_d) è commutato periodicamente ad una frequenza predefinita;
- detto terzo interruttore (S_c) è sempre acceso;
- detti primo e secondo interruttore (S_a e S_b) sono sempre spenti.

12) Dispositivo (D) secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che, nel caso in cui detto valore della corrente di uscita (I_u) sia inferiore a detto valore di soglia positivo (I_p) e detta tensione di riferimento (U_{rif}) sia maggiore di zero, detti mezzi di pilotaggio sono atti a pilotare detto convertitore (C_{NPC}) con una modulazione di larghezza di impulso di tipo complementare in cui:

- detto primo interruttore (S_a) e detto terzo interruttore (S_c) sono commutati periodicamente ad una frequenza predefinita ed in modo complementare tra loro;
- detto secondo interruttore (S_b) è sempre acceso;
- detto quarto interruttore (S_d) è sempre spento.

13) Dispositivo (D) secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che, nel caso in cui detto valore della corrente di uscita (I_u) sia superiore a detto valore di soglia negativo (I_n) e detta tensione di riferimento (U_{rif}) sia minore di zero, detti mezzi di pilotaggio sono atti a

pilotare detto convertitore (C_{NPC}) con una modulazione di larghezza di impulso di tipo complementare in cui:

- detto secondo interruttore (S_b) e detto quarto interruttore (S_d) sono commutati periodicamente ad una frequenza predefinita ed in modo complementare tra loro;
- detto terzo interruttore (S_c) è sempre acceso;
- detto primo interruttore (S_a) è sempre spento.

14) Dispositivo (D) secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che comprende almeno una sorgente di una corrente di riferimento (I_{rif}) e mezzi di calcolo della differenza tra detta corrente di riferimento (I_{rif}) e detta corrente di uscita (I_u).

15) Dispositivo (D) secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta unità di controllo di corrente (A) comprende mezzi di determinazione della tensione di riferimento (U_{rif}) da generare in funzione della differenza calcolata tra detta corrente di riferimento (I_{rif}) e detta corrente di uscita (I_u).

16) Dispositivo (D) secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che comprende almeno un'unità di filtraggio (F) disposta a valle rispetto a detto convertitore (C_{NPC}) ed atta a filtrare detta corrente di uscita (I_u).

17) Dispositivo (D) secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta unità di filtraggio (F) comprende almeno uno tra un filtro LC, un filtro LCL o simili.

18) Metodo per la conversione di corrente continua in corrente alternata, comprendente almeno una fase di pilotaggio di un convertitore (C_{NPC})

multilivello per la conversione di una tensione continua (V_{dc}) in una corrente di uscita (I_u) alternata, caratterizzato dal fatto che comprende almeno una fase di confronto del valore di detta corrente di uscita (I_u) con almeno un valore di soglia positivo (I_p) predefinito ed almeno un valore di soglia negativo (I_n) predefinito, detta fase di pilotaggio essendo atta a pilotare detto convertitore (C_{NPC}) con una modulazione di impulso di tipo unipolare nel caso in cui detto valore della corrente di uscita (I_u) sia superiore a detto valore di soglia positivo (I_p) od inferiore a detto valore di soglia negativo (I_n) e con una modulazione di impulso di tipo complementare nel caso in cui detto valore della corrente di uscita (I_u) sia inferiore a detto valore di soglia positivo (I_p) e superiore a detto valore di soglia negativo (I_n).

19) Metodo secondo la rivendicazione 18, caratterizzato dal fatto che detto convertitore (C_{NPC}) comprende almeno un ramo di uscita (R_u) provvisto di almeno un primo ed un secondo interruttore (S_a e S_b) elettronico associati in serie tra loro tra il polo positivo (V_{dc+}) di una sorgente di detta tensione continua (V_{dc}) ed almeno un terminale di uscita e provvisto di almeno un terzo ed un quarto interruttore (S_c e S_d) elettronico associati in serie tra loro tra il polo negativo (V_{dc-}) di detta sorgente di tensione continua (V_{dc}) e detto terminale di uscita.

20) Metodo secondo una o più delle rivendicazioni 18 o 19, caratterizzato dal fatto che detta fase di pilotaggio comprende una fase di generazione di almeno un primo, secondo, terzo e quarto segnale di controllo (P_a , P_b , P_c , P_d) modulati a larghezza di impulso ed atti a controllare detto primo, secondo, terzo e quarto interruttore (S_a , S_b , S_c , S_d).

21) Metodo secondo una o più delle rivendicazioni dalla 18 alla 20, caratterizzato dal fatto che detto convertitore (C_{NPC}) comprende almeno un ramo di ingresso (R_i) provvisto di almeno due condensatori (C) associati in serie tra loro e provvisto di almeno un terminale associato al polo positivo (V_{dc+}) di detta sorgente di tensione continua (V_{dc}) e di almeno un terminale opposto associato al polo negativo (V_{dc-}) di detta sorgente di tensione continua (V_{dc}).

22) Metodo secondo una o più delle rivendicazioni dalla 18 alla 21, caratterizzato dal fatto che detto ramo di uscita (R_u) comprende almeno un primo diodo (D_a) con l'anodo associato a detto ramo di ingresso (R_i), in corrispondenza di un punto di connessione (NP) tra detti due condensatori (C), e con il catodo associato a detto ramo di uscita (R_u), in corrispondenza di un punto di connessione tra detti primo e secondo interruttore (S_a e S_b), ed almeno un secondo diodo (D_b) con il catodo associato a detto ramo di ingresso (R_i), in corrispondenza di detto punto di connessione (NP) tra detti due condensatori (C), e con l'anodo associato a detto ramo di uscita (R_u), in corrispondenza di un punto di connessione tra detti terzo e quarto interruttore (S_c e S_d).

23) Metodo secondo una o più delle rivendicazioni dalla 18 alla 22, caratterizzato dal fatto che comprende almeno una fase di generazione di una tensione di riferimento (U_{rif}), detta fase di pilotaggio del convertitore (C_{NPC}) essendo effettuata in funzione di detta tensione di riferimento (U_{rif}) e di detta corrente di uscita (I_u).

24) Metodo secondo una o più delle rivendicazioni dalla 18 alla 23, caratterizzato dal fatto che, nel caso in cui detto valore della corrente di

uscita (I_u) sia superiore a detto valore di soglia positivo (I_p) e detta tensione di riferimento (U_{rif}) sia maggiore di zero, detta fase di pilotaggio è atta a pilotare detto convertitore (C_{NPC}) con una modulazione di larghezza di impulso di tipo unipolare in cui:

- detto primo interruttore (S_a) è commutato periodicamente ad una frequenza predefinita;
- detto secondo interruttore (S_b) è sempre acceso;
- detti terzo e quarto interruttore (S_c e S_d) sono sempre spenti.

25) Metodo secondo una o più delle rivendicazioni dalla 18 alla 24, caratterizzato dal fatto che, nel caso in cui detto valore della corrente di uscita (I_u) sia inferiore a detto valore di soglia negativo (I_n) e detta tensione di riferimento (U_{rif}) sia minore di zero, detta fase di pilotaggio è atta a pilotare detto convertitore (C_{NPC}) con una modulazione di larghezza di impulso di tipo unipolare in cui:

- detto quarto interruttore (S_d) è commutato periodicamente ad una frequenza predefinita;
- detto terzo interruttore (S_c) è sempre acceso;
- detti primo e secondo interruttore (S_a e S_b) sono sempre spenti.

26) Metodo secondo una o più delle rivendicazioni dalla 18 alla 25, caratterizzato dal fatto che, nel caso in cui detto valore della corrente di uscita (I_u) sia inferiore a detto valore di soglia positivo (I_p) e detta tensione di riferimento (U_{rif}) sia maggiore di zero, detta fase di pilotaggio è atta a pilotare detto convertitore (C_{NPC}) con una modulazione di larghezza di impulso di tipo complementare in cui:

- detto primo interruttore (S_a) e detto terzo interruttore (S_c) sono

commutati periodicamente ad una frequenza predefinita ed in modo complementare tra loro;

- detto secondo interruttore (S_b) è sempre acceso;
- detto quarto interruttore (S_d) è sempre spento.

27) Metodo secondo una o più delle rivendicazioni dalla 18 alla 26, caratterizzato dal fatto che, nel caso in cui detto valore della corrente di uscita (I_u) sia superiore a detto valore di soglia negativo (I_n) e detta tensione di riferimento (U_{rif}) sia minore di zero, detta fase di pilotaggio è atta a pilotare detto convertitore (C_{NPC}) con una modulazione di larghezza di impulso di tipo complementare in cui:

- detto secondo interruttore (S_b) e detto quarto interruttore (S_d) sono commutati periodicamente ad una frequenza predefinita ed in modo complementare tra loro;
- detto terzo interruttore (S_c) è sempre acceso;
- detto primo interruttore (S_a) è sempre spento.

28) Metodo secondo una o più delle rivendicazioni dalla 18 alla 27, caratterizzato dal fatto che comprende almeno una fase di generazione di una corrente di riferimento (I_{rif}) ed almeno una fase di calcolo della differenza tra detta corrente di riferimento (I_{rif}) e detta corrente di uscita (I_u).

29) Metodo secondo una o più delle rivendicazioni dalla 18 alla 28, caratterizzato dal fatto che comprende almeno una fase di determinazione della tensione di riferimento (U_{rif}) da generare in funzione della differenza calcolata tra detta corrente di riferimento (I_{rif}) e detta corrente di uscita (I_u).

30) Metodo secondo una o più delle rivendicazioni dalla 18 alla 29, caratterizzato dal fatto che comprende almeno una fase di filtraggio di detta corrente di uscita (I_u).

Modena, 31 marzo 2009

Per incarico
Ing. Daniele Grana

CLAIMS

- 1) Device (D) for converting direct current into alternate current, comprising at least a multilevel converter (C_{NPC}) associated with at least a source of direct current (V_{dc}) and at least a modulation unit (M) having piloting means for piloting said converter (C_{NPC}) for the conversion of said direct current (V_{dc}) into an alternate output current (I_u), characterised in that said modulation unit (M) comprises comparison means for comparing the value of said output current (I_u) with at least a preset positive threshold value (I_p) and at least a preset negative threshold value (I_n), said piloting means being suitable for piloting said converter (C_{NPC}) with a pulse modulation of the unipolar type in the event of said output current value (I_u) being above said positive threshold value (I_p) or below said negative threshold value (I_n) and with a pulse modulation of the complementary type in the event of said output current value (I_u) being below said positive threshold value (I_p) and above said negative threshold value (I_n).
- 2) Device (D) according to the claim 1, characterised in that said converter (C_{NPC}) comprises at least an output branch (R_u) having at least a first and a second electronic switch (S_a and S_b) associated in series the one with the other between the positive pole (V_{dc+}) of said source of direct current (V_{dc}) and at least an output terminal and having at least a third and a fourth electronic switch (S_c and S_d) associated in series the one with the other between the negative pole (V_{dc-}) of said source of direct current (V_{dc}) and said output terminal, said electronic switches (S_a , S_b , S_c , S_d) being operatively associated with said piloting means of the modulation unit (M).

- 3) Device (D) according to one or more of the preceding claims, characterised in that said piloting means comprise generation means for generating at least a first, second, third and fourth control signal (P_a , P_b , P_c , P_d) pulse width modulated and suitable for controlling said first, second, third and fourth switch (S_a , S_b , S_c , S_d).
- 4) Device (D) according to the claim 1, characterised in that said converter (C_{NPC}) comprises at least an input branch (R_i) having at least two capacitors (C) associated in series the one with the other and having at least a terminal associated with the positive pole (V_{dc+}) of said source of direct current (V_{dc}) and at least an opposite terminal associated with the negative pole (V_{dc-}) of said source of direct current (V_{dc}).
- 5) Device (D) according to one or more of the preceding claims, characterised in that said output branch (R_u) comprises at least a first diode (D_a) with the anode associated with said input branch (R_i), at a connection point (NP) between said two capacitors (C), and with the cathode associated with said output branch (R_u), at a connection point between said first and said second switch (S_a and S_b), and at least a second diode (D_b) with the cathode associated with said input branch (R_i), at said connection point (NP) between said two capacitors (C), and with the anode associated with said output branch (R_u), at a connection point between said third and fourth switch (S_c and S_d).
- 6) Device (D) according to the claim 5, characterised in that said connection point (NP) between said capacitors (C) is a zero-voltage neutral point.

7) Device (D) according to the claim 2, characterised in that said converter (C_{NPC}) comprises a plurality of said output branches (R_u).

8) Device (D) according to one or more of the preceding claims, characterised in that said first, second, third and fourth switches (S_a , S_b , S_c , S_d) are of the Mosfet, IGBT type or the like.

9) Device (D) according to the claim 1, characterised in that it comprises at least a current control unit (A) operatively associated with said modulation unit (M) and having generation means for generating a reference voltage (U_{rif}), said piloting means being suitable for piloting said converter (C_{NPC}) according to said reference voltage (U_{rif}) and said output current (I_u).

10) Device (D) according to one or more of the preceding claims, characterised in that, in the event of said output current value (I_u) being above said positive threshold value (I_p) and said reference voltage (U_{rif}) being higher than zero, said piloting means are suitable for piloting said converter (C_{NPC}) with a width pulse modulation of unipolar type in which:

- said first switch (S_a) is periodically switched at a preset frequency;
- said second switch (S_b) is always on;
- said third and fourth switches (S_c and S_d) are always off.

11) Device (D) according to one or more of the preceding claims, characterised in that, in the event of said output current value (I_u) being below said negative threshold value (I_n) and said reference voltage (U_{rif}) being lower than zero, said piloting means are suitable for piloting said converter (C_{NPC}) with a width pulse modulation of unipolar type in which:

- said fourth switch (S_d) is periodically switched at a preset frequency;
- said third switch (S_c) is always on;
- said first and second switches (S_a and S_b) are always off.

12) Device (D) according to one or more of the preceding claims, characterised in that, in the event of said output current value (I_u) being below said positive threshold value (I_p) and said reference voltage (U_{rif}) being higher than zero, said piloting means are suitable for piloting said converter (C_{NPC}) with a width pulse modulation of complementary type in which:

- said first switch (S_a) and said third switch (S_c) are periodically switched at a preset frequency and in a complementary way to each other;
- said second switch (S_b) is always on;
- said fourth switch (S_d) is always off.

13) Device (D) according to one or more of the preceding claims, characterised in that, in the event of said output current value (I_u) being above said negative threshold value (I_n) and said reference voltage (U_{rif}) being lower than zero, said piloting means are suitable for piloting said converter (C_{NPC}) with a width pulse modulation of complementary type in which:

- said second switch (S_b) and said fourth switch (S_d) are periodically switched at a preset frequency and in a complementary way to each other;
- said third switch (S_c) is always on;
- said first switch (S_a) is always off.

14) Device (D) according to one or more of the preceding claims, characterised in that it comprises at least a source of a reference current (I_{rif}) and calculation means for calculating the difference between said reference current (I_{rif}) and said output current (I_u).

15) Device (D) according to one or more of the preceding claims, characterised in that said current control unit (A) comprises determination means for determining the reference voltage (U_{rif}) to be generated according to the difference calculated between said reference current (I_{rif}) and said output current (I_u).

16) Device (D) according to one or more of the preceding claims, characterised in that it comprises at least a filtering unit (F) arranged downstream with respect to said converter (C_{NPC}) and suitable for filtering said output current (I_u).

17) Device (D) according to one or more of the preceding claims, characterised in that said filtering unit (F) comprises at least one between an LC filter, an LCL filter or the like.

18) Method for converting direct current into alternate current comprising at least a piloting phase of a multilevel converter (C_{NPC}) for the conversion of a direct voltage (V_{dc}) into an alternate output voltage (I_u), characterised in that it comprises at least a comparison phase of the value of said output current (I_u) with at least a preset positive threshold value (I_p) and at least a preset negative threshold value (I_n), said piloting phase being suitable for piloting said converter (C_{NPC}) with a pulse modulation of the unipolar type in the event of said output current value (I_u) being above said positive

threshold value (I_p) or below said negative threshold value (I_n) and with a pulse modulation of the complementary type in the event of said output current value (I_u) being below said positive threshold value (I_p) and above said negative threshold value (I_n).

19) Method according to the claim 18, characterised in that said converter (C_{NPC}) comprises at least an output branch (R_u) having at least a first and a second electronic switch (S_a and S_b) associated in series the one with the other between the positive pole (V_{dc+}) of a source of said direct voltage (V_{dc}) and at least an output terminal and having at least a third and a fourth electronic switch (S_c and S_d) associated in series the one with the other between the negative pole (V_{dc-}) of said source of direct voltage (V_{dc}) and said output terminal.

20) Method according to one or more of the claims 18 or 19, characterised in that said piloting phase comprises a generation phase of at least a first, second, third and fourth control signal (P_a , P_b , P_c , P_d) pulse width modulated and suitable for controlling said first, second, third and fourth switch (S_a , S_b , S_c , S_d).

21) Method according to one or more of the claims from 18 to 20, characterised in that said converter (C_{NPC}) comprises at least an input branch (R_i) having at least two capacitors (C) associated in series the one with the other and having at least a terminal associated with the positive pole (V_{dc+}) of said source of direct voltage (V_{dc}) and at least an opposite terminal associated with the negative pole (V_{dc-}) of said source of direct voltage (V_{dc}).

22) Method according to one or more of the claims from 18 to 21, characterised in that said output branch (R_u) comprises at least a first diode (D_a) with the anode associated with said input branch (R_i), at a connection point (NP) between said two capacitors (C), and with the cathode associated with said output branch (R_u), at a connection point between said first and second switch (S_a and S_b), and at least a second diode (D_b) with the cathode associated with said input branch (R_i), at said connection point (NP) between said two capacitors (C), and with the anode associated with said output branch (R_u), at a connection point between said third and fourth switch (S_c and S_d).

23) Method according to one or more of the claims from 18 to 22, characterised in that it comprises at least a generation phase of a reference voltage (U_{rif}), said piloting phase of the converter (C_{NPC}) being performed according to said reference voltage (U_{rif}) and to said output current (I_u).

24) Method according to one or more of the claims from 18 to 23, characterised in that, in the event of said value of the output current (I_u) being above said positive threshold value (I_p) and said reference voltage (U_{rif}) being higher than zero, said piloting phase is suitable for piloting said converter (C_{NPC}) with a width pulse modulation of unipolar type in which:

- said first switch (S_a) is periodically switched to a preset frequency;
- said second switch (S_b) is always on;
- said third and fourth switches (S_c and S_d) are always off.

25) Method according to one or more of the claims from 18 to 24, characterised in that, in the event of said value of the output current (I_u)

being below said negative threshold value (I_n) and said reference voltage (U_{rif}) being lower than zero, said piloting phase is suitable for piloting said converter (C_{NPC}) with a width pulse modulation of unipolar type in which:

- said fourth switch (S_d) is periodically switched to a preset frequency;
- said third switch (S_c) is always on;
- said first and second switches (S_a and S_b) are always off.

26) Method according to one or more of the claims from 18 to 25, characterised in that, in the event of said value of the output current (I_u) being below said positive threshold value (I_p) and said reference voltage (U_{rif}) being higher than zero, said piloting phase is suitable for piloting said converter (C_{NPC}) with a width pulse modulation of complementary type in which:

- said first switch (S_a) and said third switch (S_c) are periodically switched to a preset frequency and in a complementary way to each other;
- said second switch (S_b) is always on;
- said fourth switch (S_d) is always off.

27) Method according to one or more of the claims from 18 to 26, characterised in that, in the event of said value of the output current (I_u) being above said negative threshold value (I_n) and said reference voltage (U_{rif}) being lower than zero, said piloting phase is suitable for piloting said converter (C_{NPC}) with a width pulse modulation of complementary type in which:

- said second switch (S_b) and said fourth switch (S_d) are periodically switched to a preset frequency and in a complementary way to each

other;

- said third switch (S_c) is always on;
- said first switch (S_a) is always off.

28) Method according to one or more of the claims from 18 to 27, characterised in that it comprises at least a generation phase of a reference current (I_{rif}) and at least a calculation phase of the difference between said reference current (I_{rif}) and said output current (I_u).

29) Method according to one or more of the claims from 18 to 28, characterised in that it comprises at least a determination phase of the reference voltage (U_{rif}) to be generated according to the difference calculated between said reference current (I_{rif}) and said output current (I_u).

30) Method according to one or more of the claims from 18 to 29, characterised in that it comprises at least a filtering phase of said output current (I_u).

Fig. 1

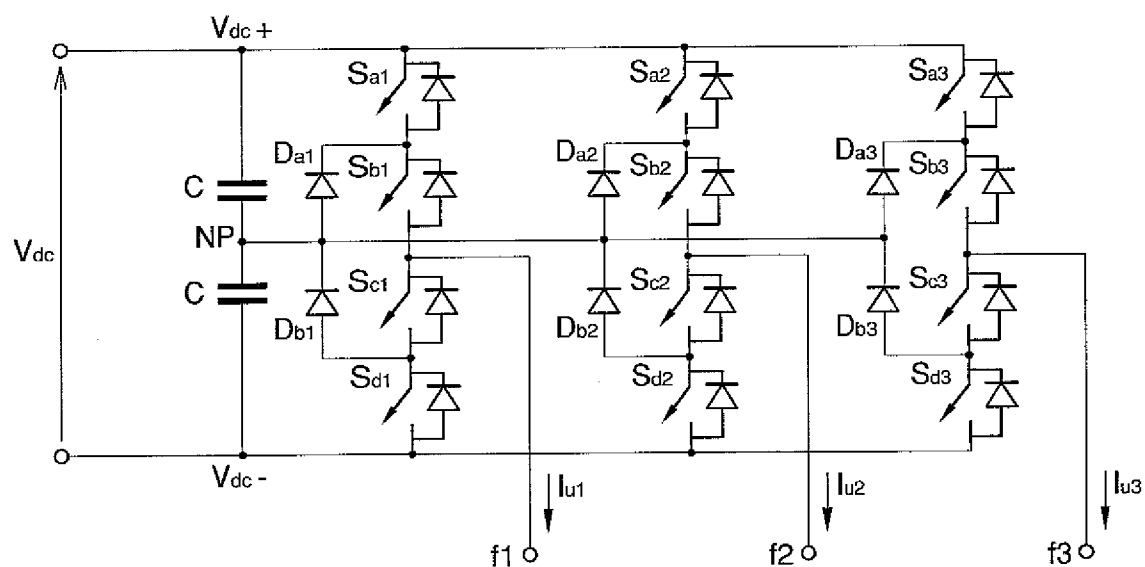
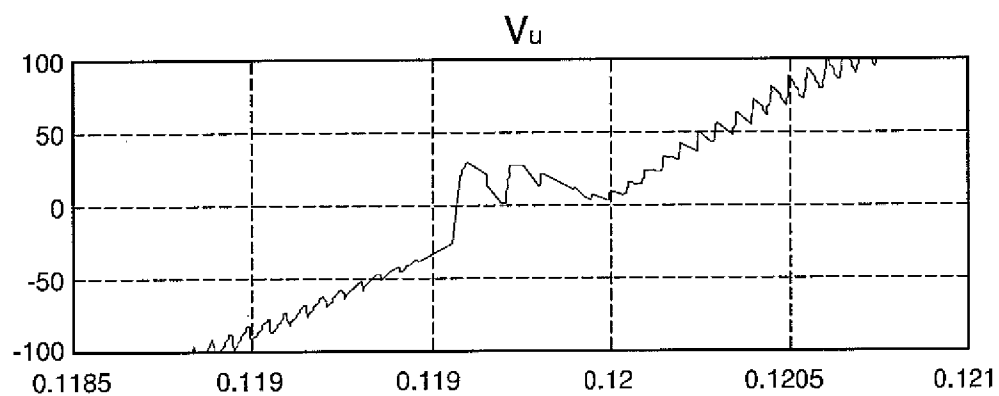


Fig. 2



2/5

Fig. 3

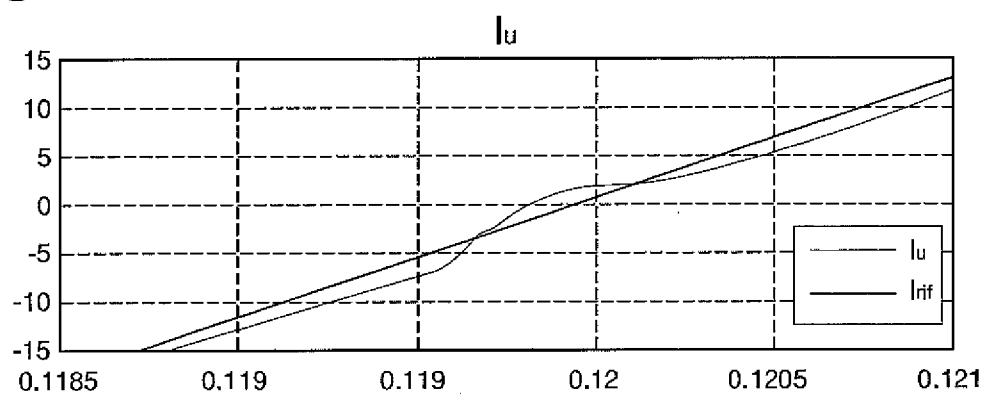


Fig. 4

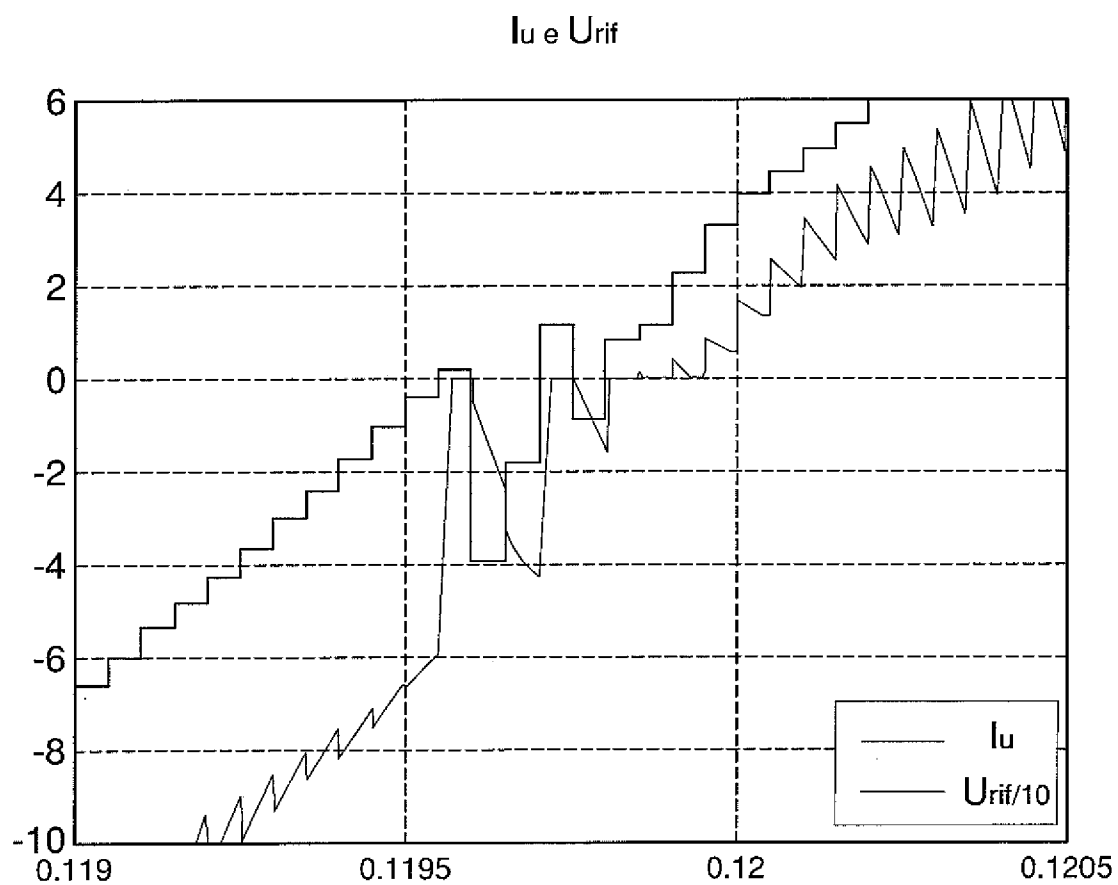


Fig. 5

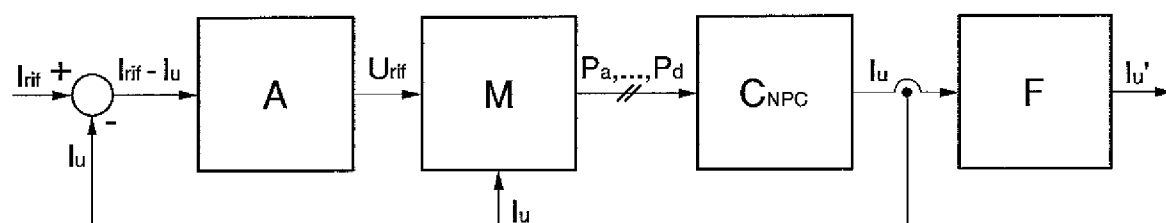


Fig. 6

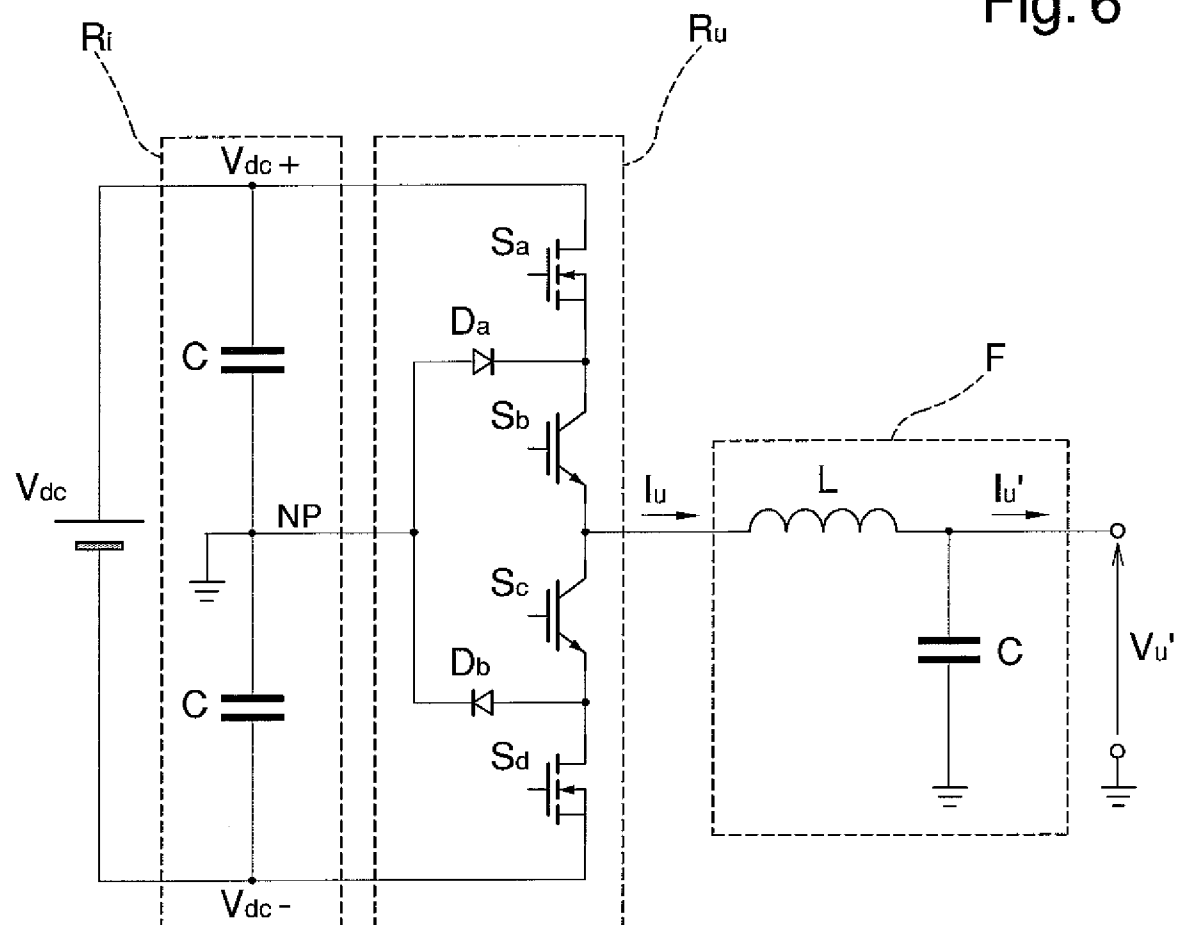


Fig. 7

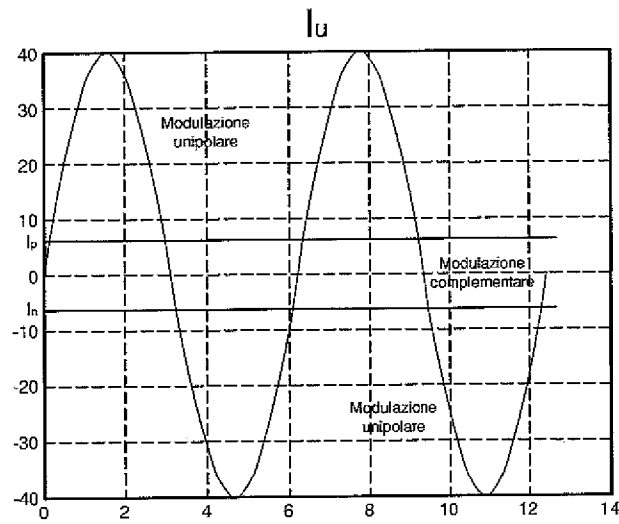


Fig. 8

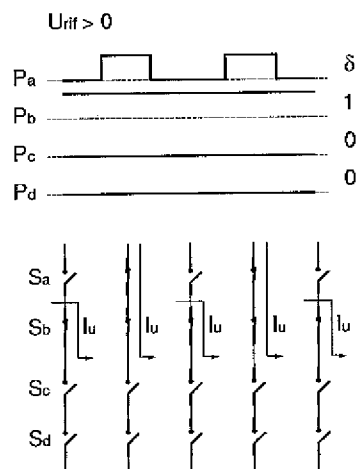


Fig. 9

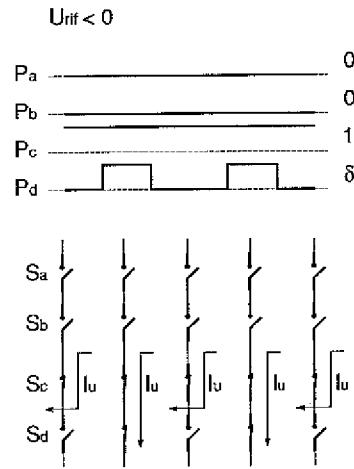


Fig. 10

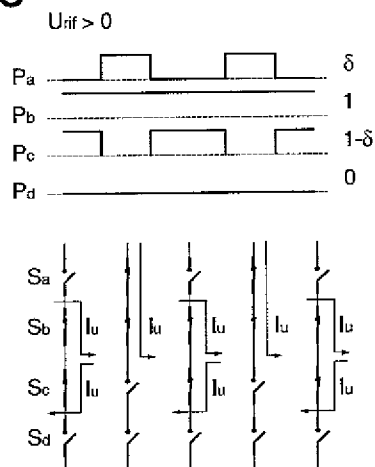


Fig. 11

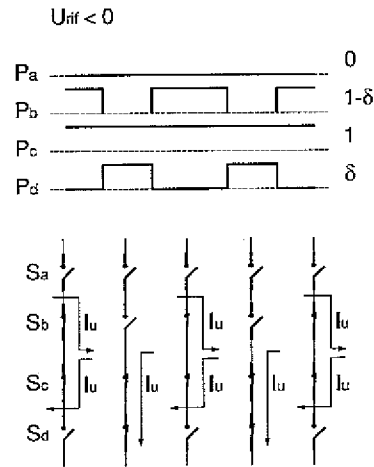


Fig. 12

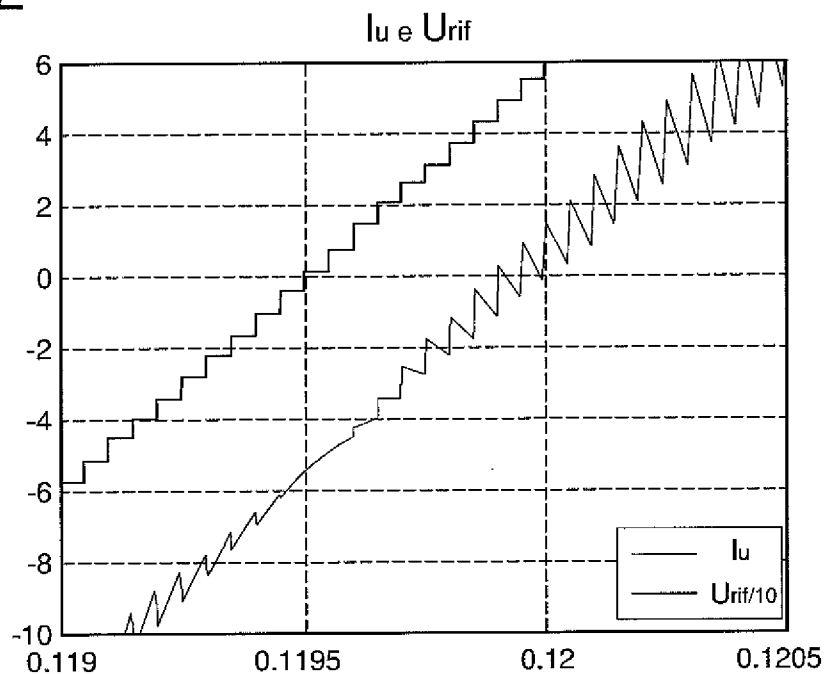


Fig. 13

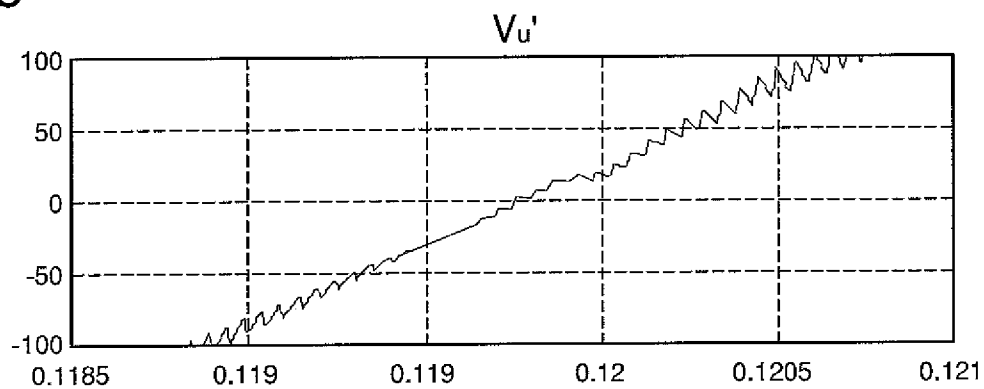


Fig. 14

