



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

DOMANDA NUMERO	101993900285097
Data Deposito	12/02/1993
Data Pubblicazione	12/08/1994

Priorità	07/837765
Nazione Priorità	US
Data Deposito Priorità	

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	03	K		

Titolo

ALIMENTAZIONE DI POTENZA RISONANTE AD AUTOGENERAZIONE E METODO PER
PRODURRE POTENZA PER CIRCUITO DI COMMUTAZIONE A TRANSISTORI

DESCRIZIONE

DI UNA DOMANDA DI BREVETTO D'INVENZIONE DAL TITOLO:

ALIMENTAZIONE DI POTENZA RISONANTE AD AUTOGENERAZIONE E METODO
PER PRODURRE POTENZA PER CIRCUITO DI COMMUTAZIONE A TRANSISTORI

Titolare: INTERNATIONAL RECTIFIER CORPORATION

233 Kansas Street - El Segundo, California (U.S.A.)

Depositata il: 12 FEB. 1993 No: **MI 93 A/00264**

FONDAMENTI DELL'INVENZIONE

La presente invenzione si riferisce ai circuiti di commutazione per transistori di potenza e, più particolarmente, ad un'alimentazione di potenza risonante ausiliaria che fornisce potenza ai transistori e ad altri elementi di circuito nel circuito di commutazione.

La Figura 1 illustra un circuito convenzionale nel quale un circuito di commutazione 10, comprendente, per esempio, un controllore a ponte monolitico IR 2110 (venduto dalla Soc. International Rectifier Corporation, l'assegnataria di questo brevetto) controlla il primo e il secondo transistore di potenza collegati in serie 12 e 14, per esempio, in forma di transistori MOSFET di potenza. Per il suo funzionamento vero e proprio, il circuito di commutazione 10 comprendente un controllore a ponte monolitico richiede una coppia di alimentazioni a bassa tensione

V_{DD} e V_{CC} , come illustrato. Il circuito logico a bassa corrente nel controllore a ponte monolitico 10 è azionato dalla tensione V_{DD} e non consuma molta corrente. Il circuito collegato alla tensione V_{DD} preleva la corrente necessaria ad alimentare la carica della porta dei transistori MOSFET o IGBT rappresentati dai transistori di potenza controllati 12 e 14. Questa corrente può essere significativa. Per esempio per azionare gli HEXFET IRF450 (transistori forniti dalla Soc. International Rectifier Corporation) ad una frequenza di 500 kHz richiede una corrente I_{cc} :

$$\begin{aligned} I_{cc} &= 2 Q_c \cdot f \\ &= 2.120.10^{-9} \cdot 500.10^3 \cdot 10^3 \text{ mA} \\ &= 120 \text{ Ma} \end{aligned}$$

Esiste la necessità di un'alimentazione di potenza a basso costo, semplice ed efficiente per fornire questa corrente, in un campo di tensione tipico di 12-18 Volt.

I metodi della tecnica precedente per implementare la richiesta alimentazione di potenza ausiliaria sono illustrati nelle Figure da 2(a) a 2(d). Il circuito della Figura 2(a) utilizza un resistore di "caduta" 18 per ridurre la tensione relativamente elevata del cavo bus principale di CC 20 ad una tensione inferiore che è regolata dal diodo Zener 22 e fornita dal capacitore di accumulo 24. Questo può essere pratico quando la corrente richiesta non è troppo elevata, in quanto la dissipazione nel resistore 18 non sarà eccessiva. Per esempio, due dei suddetti transistori HEXFET

IRF450 che operano a 3 kHz consumerebbero una corrente media di circa 0,75 Ma alla tensione V_{cc} . Se si riesce ad operare al di sopra di un campo di tensione di bus a CC compresa fra 200 e 400 Volt, la dissipazione massima corrispondente nel resistore di caduta 18 dovrebbe essere di circa 600 mW, che è abbastanza pratica.

A 500 kHz, tuttavia, la dissipazione massima corrispondente nel resistore 18 dovrebbe essere di circa 100 watt, cosa che è inaccettabile.

Il circuito della tecnica precedente indicato nella Figura 2(b) utilizza un progetto di convertitore di "riduzione".

Il progetto di convertitore di "riduzione" è efficiente e fornisce un'alimentazione di potenza ben regolata. Tramite il raffronto con il circuito che viene descritto nella presente invenzione, il convertitore di riduzione generalmente può non essere molto costoso, tuttavia esso non offre una prestazione migliore, per esempio, all'avviamento.

I circuiti a ponte delle Figure 2(c) e 2(d) producono la loro potenza ausiliaria dalla linea a CA. I due circuiti sono utilizzabili solo quando è disponibile la potenza di linea a CA, ed inoltre essi richiedono dei componenti alquanto grandi e costosi. Al posto di un convertitore di riduzione, la presente invenzione gioca sul concetto di impiegare un circuito risonante LC alquanto più semplice per caricare un capacitore di accumulo a bassa

tensione di uscita.

Diversi brevetti che si riferiscono al campo di alimentazione di potenza a commutazione descrivono circuiti LC seriali.

Per esempio, il brevetto statunitense No. 4 184 197 rende noto un convertitore da CC a CC che utilizza due induttanze, una in serie con l'alimentazione di ingresso e l'altra in serie con il carico di uscita. Un condensatore viene usato con un interruttore (vale a dire un transistor) disposto fra le induttanze. Il funzionamento del circuito, descritto nella colonna 5, righe 20-37 del brevetto, è notevolmente differente da quello della presente invenzione.

Il brevetto USA No. 4 654 769 rende noto un convertitore da CC a CC con un circuito LC seriale che opera in connessione con i transistori di commutazione Q1 e Q2 (vedere Figura 2, in particolare). Tuttavia la configurazione/il funzionamento del circuito (descritto dalla colonna 3, riga 57, alla colonna 4, riga 14) è basato sul brevetto discusso precedentemente e differisce notevolmente dalla presente invenzione.

Il brevetto USA No. 4 736 284 rende noto un circuito di commutazione di potenza con un'uscita alimentata da una configurazione a diodo/condensatore. Non è illustrato un circuito risonante LC seriale, collegato per fornire la corrente di carica ad un condensatore di uscita.

SOMMARIO DELL'INVENZIONE

In accordo con quanto detto uno scopo primario della presente

invenzione è quello di provvedere un'alimentazione di potenza ausiliaria e, in particolare, per il circuito di controllo di transistori di commutazione.

Un ulteriore oggetto è quello di realizzare un circuito di alimentazione di potenza per produrre un'uscita a CC di bassa tensione tramite un ingresso ad impulsi di alta tensione.

Un ulteriore oggetto è quello di fornire un'alimentazione di potenza che possa essere usata nelle due applicazioni di "lato bassa tensione" e di "lato di alta tensione" in un circuito di commutazione a transistori.

Un ulteriore oggetto della presente invenzione è quello di fornire un circuito di alimentazione di potenza per un'applicazione di "lato bassa tensione" comprendente un circuito seriale che è collegato in serie fra l'uscita di tensione di carico ad impulsi di un transistor di potenza, ad una sua estremità, e ad un condensatore di accumulo delle cariche dal quale viene fornita la bassa tensione, all'altra estremità.

Un ulteriore oggetto è quello di fornire un circuito di alimentazione di potenza per un'applicazione del "lato di alta tensione" comprendente un circuito LC seriale che è collegato in serie fra una tensione di alimentazione a CC, ad una sua estremità, e ad un condensatore di accumulo delle cariche dal quale viene fornita la bassa tensione, all'altra estremità, il rimanente terminale del condensatore di accumulo delle cariche essendo collegato all'uscita

di tensione di carico ad impulsi di un transistor di potenza.

Un ulteriore oggetto della presente invenzione è quello di fornire un circuito del suddetto tipo nel quale possono essere usati un capacitore di uscita di tensione e di capacità comparativamente basse.

Un ulteriore oggetto della presente invenzione è quello di fornire un circuito di alimentazione di potenza ausiliaria che abbia un'implementazione semplice e poco costosa.

I suddetti ed altri oggetti della presente invenzione vengono forniti con un circuito di alimentazione di potenza per produrre un'uscita a CC da un ingresso ad impulsi, comprendente un circuito LC seriale avente un primo terminale collegato all'ingresso ad impulsi ed un secondo terminale; un capacitore di uscita caricato elettricamente dal circuito LC seriale e per provvedere l'uscita a CC; ed un circuito di accoppiamento per l'accoppiamento della carica dal circuito LC seriale al capacitore di uscita.

Preferibilmente, un regolatore di tensione viene collegato al capacitore di uscita per regolare e mantenere l'uscita di CC nel capacitore di uscita ad un valore predeterminato sostanzialmente costante.

Il suddetto ed altri oggetti dell'invenzione vengono realizzati in modo corrispondente, in una forma di realizzazione di un sistema nel quale uno o più circuito/i di controllo che controllano i transistori di uscita di potenza forniscono un'uscita ad impulsi,

tramite un circuito LC seriale che è collegato fra l'uscita ad impulsi ed un condensatore di uscita a bassa tensione che fornisce la potenza a bassa tensione al circuito di azionamento dei transistori di potenza.

In accordo con una caratteristica saliente della presente invenzione, il circuito LC viene usato per "prelevare" l'energia dall'uscita del circuito a transistore di commutazione di potenza principale ogni volta che si verifica un evento di commutazione, e per accumulare questa energia per il successivo evento di commutazione.

Viene impiegato un circuito di avviamento per fornire l'energia di azionamento per il primo evento di commutazione. Prelevando la corretta quantità di energia in ciascun evento di commutazione, il circuito fornisce automaticamente la potenza di azionamento corretta, indipendente dalla frequenza.

Un circuito LC che funziona con il condensatore di uscita a bassa tensione costituisce il cuore di un'alimentazione di potenza ausiliaria dalla quale viene fornita la potenza per alimentare il circuito di azionamento che controlla il transistore o transistori di commutazione di potenza principali. Come detto, l'alimentazione di potenza ausiliaria viene fornita da un'uscita del transistore di commutazione di potenza principale, la quale uscita fornisce una tensione ad impulsi. Da questa tensione ad impulsi, l'alimentazione di potenza ausiliaria sviluppa le basse tensioni neces-

sarie per azionare il circuito di azionamento.

Più specificamente, nella sua configurazione base, la presente invenzione si riferisce ad un sistema che comprende un cavo bus di CC principale, che fornisce una tensione nel campo di 20-2000 Volts e superiore, tipicamente 200-400 Volt, una coppia di transistori per fornire un'uscita di tensione ad impulsi di elevata ampiezza che viene derivata dal cavo bus a CC principale, ed un circuito di azionamento per regolare la coppia di transistori sulle posizioni ON e OFF, tipicamente una posizione escludendo reciprocamente l'altra e con frequenza elevata. L'uscita di tensione elevata ad impulsi viene prelevata da un terminale di circuito al quale i due transistori sono collegati reciprocamente.

Il circuito LC collegato in serie ha un nodo collegato al suddetto terminale di circuito e l'altro nodo collegato all'anodo di un diodo il cui catodo fornisce corrente al condensatore di uscita, che fornisce un'uscita di bassa tensione V_{cc} .

Un secondo diodo è collegato in correlazione di circuito chiuso con il collegamento seriale del diodo prima menzionato e il condensatore di uscita e serve come un diodo di bypass per bypassare il semiciclo negativo "indesiderato" di corrente dal condensatore di uscita. Un diodo Zener è collegato in parallelo ai capi del condensatore di uscita per regolare l'uscita di bassa tensione.

Un resistore di impedenza elevata, con un valore di resistenza, per esempio, nel campo di megahom, comprendente il circuito di

avviamento, è collegato direttamente fra il cavo bus a CC principale e il condensatore di uscita per permettere che venga avviato il circuito di alimentazione di potenza ausiliaria.

L'uscita V_{cc} rappresenta la e corrisponde alla sorgente di potenza a tensione V_{cc} precedentemente menzionata in connessione con la descrizione della tecnica precedente.

Un aspetto fondamentale della presente invenzione è che essa produce un'alimentazione di potenza di elevata efficienza con una costruzione semplice e poco costosa. Il fondamento dell'alta efficienza è l'induttore che forma un circuito risonante con il condensatore del circuito LC. Senza l'induttore, il condensatore non sarebbe più efficiente del resistore di caduta illustrato nella Figura 2(a). Infatti, senza l'induttore di risonanza, il condensatore assorbe appena un "picco" di corrente per ciascun evento di commutazione. La carica associata con questo "picco" deve essere almeno eguale alle cariche di porta combinate dei due transistori di uscita. Questa carica viene prelevata dalla tensione "elevata" del bus a CC e viene fornita ad una tensione di uscita molto inferiore, ottenendo un'efficienza inaccettabilmente bassa in pratica che viene calcolata come il rapporto della tensione di uscita dell'alimentazione di potenza ausiliaria rispetto alla tensione elevata nel cavo bus a CC.

Al contrario, con il circuito LC risonante, il condensatore di uscita riceve cariche di corrente multiple da ciascun impulso della

potenza di uscita, permettendo l'uso di un condensatore molto più piccolo nel circuito LC e garantendo un'efficienza considerevolmente maggiore, dell'ordine di 89% o più elevata come viene descritto più avanti.

Altre caratteristiche e vantaggi della presente invenzione diverranno evidenti dalla descrizione seguente dell'invenzione.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

L'invenzione verrà ora descritta con maggiori dettagli nella descrizione dettagliata seguente, con riferimento ai disegni, nei quali:

- La Figura 1 è uno schema a blocchi che illustra i requisiti di alimentazione di potenza di un circuito di azionamento che aziona una coppia di transistori di potenza principali;
- Le Figure 2(a) - 2(d) illustrano le disposizioni di alimentazione di potenza della tecnica precedente per alimentare la potenza al circuito di azionamento della Figura 1;
- La Figura 3 è un diagramma del circuito di base di un'alimentazione di potenza risonante, costruito in accordo con la presente invenzione;
- La Figura 4 illustra le forme d'onda della tensione e della corrente per il circuito di Figura 3;
- La Figura 5 è un diagramma del circuito della Figura 3, inoltre comprendente un circuito di alimentazione di polarizzazione negativa;

- La Figura 6 è un diagramma di circuito di un'ulteriore forma di realizzazione dell'invenzione;
- La Figura 7(a) è un diagramma di circuito di un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione applicata ad un interruttore di "alta tensione" di una disposizione di commutazione a transistori e per produrre le tensioni di polarizzazione positiva e negativa;
- La Figura 7(b) è un diagramma di circuito di un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione applicata anch'essa all'interruttore di "alta tensione" per realizzare una tensione di polarizzazione negativa, con un circuito di avviamento che viene anch'esso previsto per realizzare una tensione di polarizzazione positiva;
- La Figura 8 è un diagramma schematico di un'alimentazione di potenza ausiliaria che è efficiente per realizzare una tensione di polarizzazione sopra e sotto la tensione di soglia relativa ad un cavo bus a CC;
- La Figura 9 è un diagramma di circuito a blocchi di un modulo IGBT autonomo;
- La Figura 10 è uno schema comparativo che raffronta l'alimentazione di potenza risonante della presente invenzione ad un progetto di alimentazione di potenza ausiliaria a convertitore ausiliario di riduzione della tecnica precedente; e
- La Figura 11 è uno schema di circuito di un'ulteriore forma di

realizzazione della presente invenzione.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DEI DISEGNI

Con riferimento ora ai disegni, occorre tener presente inizialmente che la presente invenzione mette a fuoco specificamente una alimentazione di potenza ausiliaria 30 (Figura 3) che sviluppa un'uscita di bassa tensione 32, sostituendo l'alimentazione di potenza Vcc 34 illustrata nella tecnica precedente secondo la Figura 1.

L'alimentazione di potenza ausiliaria 30 della presente invenzione ha un ampio campo di applicazioni, ma è specificamente prevista per l'uso in connessione con un sistema come quello indicato nella tecnica precedente della Figura 1, nel quale un circuito di azionamento/commutazione 10 viene utilizzato per fornire la corrente di porta/base ad una coppia od a coppie di transistori di potenza 12 e 14. L'invenzione può essere usata per un circuito a ponte monofase o trifase, nel quale tutta la potenza Vcc viene prelevata da una sola fase.

Tipicamente, il circuito di azionamento/commutazione risponde ai segnali di controllo ai suoi terminali di ingresso 36 e 38 in modo da sviluppare ad un'uscita 40, un'uscita ad impulsi 42, illustrata in Figura 4, ed usata per alimentare un carico elettrico (non illustrato). La tensione di uscita ad impulsi 42 viene sviluppata dal circuito di azionamento 10, alternativamente, e esclusivamente in modo reciproco, commutando in inserzione il

transistore di potenza 12 per fornire una tensione positiva dal cavo bus principale a CC 20 e commutando in inserzione il transistore 14 per collegare il carico a terra in modo da provocare un'esclusione reciproca. L'uscita 40 può essere alimentata al circuito di azionamento 10 per regolare la tensione di uscita.

Come illustrato nella Figura 3, la tensione di potenza ad impulsi di uscita nel terminale 40 viene generata sul terminale comune dei transistori di potenza 12 e 14 e viene prelevata tramite l'alimentazione di potenza ausiliaria 30 per generare l'uscita di bassa tensione V_{cc} . In particolare, l'induttore 44 di un circuito LC collegato in serie che comprende anche il condensatore 46 viene collegato al terminale comune con l'altro nodo 48 del circuito LC collegato al catodo di un diodo di carica 50 e all'anodo di un diodo di bypass 52. Un condensatore di uscita a bassa tensione 54 viene caricato dall'anodo del diodo 50 ed è collegato in parallelo con un diodo Zener 56 di regolazione della tensione. Il terminale comune 58 del condensatore 54, il diodo Zener 56 e il diodo 50 sono collegati tramite un resistore di valore elevato 60 attraverso il cavo bus principale a CC 20. Uno dei terminali di ciascuno degli elementi formati dal condensatore 54, dal diodo Zener 56, dal diodo di bypass 52 e dal transistore di potenza principale 14 è collegato alla terra 62.

Come indicato all'inizio, l'uscita V_{cc} di bassa tensione 32 fornisce la potenza ad un circuito di controllo 10 ed anche per altri

scopi di controllo interno. L'alimentazione di potenza ad autogenerazione in accordo con l'invenzione, una volta avviata, può fornire questa sorgente di potenza, così che la sorgente di potenza Vcc utilizzata convenzionalmente può non essere più necessaria o può essere coadiuvata dall'alimentazione di potenza di risonanza in accordo con l'invenzione.

Operativamente, l'essenza della presente invenzione comprende un circuito LC semplice e poco costoso che comprende l'induttore 44 e il condensatore 46 che "preleva" l'energia dall'uscita di tensione di carico ad impulsi 40, ogni volta che si verifica un evento di commutazione ed immagazzina questa energia per il successivo evento di commutazione nel condensatore di uscita a bassa tensione 54. Il resistore 60 comprende un circuito di esclusione rapida che carica il condensatore 54 tramite il cavo bus 20 per fornire la energia di azionamento per il primo evento di commutazione.

Prelevando la quantità di energia opportuna durante ciascun evento di commutazione, per il successivo evento, il circuito automaticamente fornisce la potenza di azionamento corretta, indipendente dalla frequenza dell'uscita ad impulsi 40. Il resistore 60 ha un valore relativamente elevato (tipicamente di 2 Megaohm), e la dissipazione di potenza è bassa (tipicamente circa 100 MW).

Non appena i transistori di uscita 12 e 14 iniziano ad essere commutati, un "picco" di energia fisso viene trasferito all'uscita, caricando il condensatore 54 attraverso il circuito collegato in

serie comprendente l'induttore 44 e il capacitore 46 che è previsto per entrare in risonanza in risposta a ciascun impulso positivo dall'uscita 40, con una frequenza di risonanza che è notevolmente superiore alla massima frequenza di commutazione dei transistori 12 e 14, per completare ciascun picco di energia di risonanza prima del successivo evento di commutazione del transistore di uscita ed evitare l'aumento dell'energia di risonanza. Sarà opportuna in generale una frequenza di risonanza LC di diversi MHz.

Le forme d'onda ideali dell'alimentazione di potenza ausiliaria 30 sono illustrate nella Figura 4. I semicicli positivi della corrente che attraversa il capacitore 46 forniscono la carica al capacitore di uscita 54 attraverso il diodo 50, mentre i semicicli negativi vengono shuntati attraverso il diodo di bypass 52.

Ogni volta che il transistore 12 viene commutato su posizione ON, viene fornito al circuito di risonanza un "picco" completo di energia eguale alla capacitanza C_1 del capacitore 46 moltiplicata per il quadrato della tensione (V_{dc}) del cavo bus principale 20. Alla fine di ciascun picco, metà di questa energia viene accumulata nel capacitore 46 e l'altra metà viene divisa fra l'energia fornita al capacitore di uscita 54 e al suo carico e

l'energia perduta nel circuito stesso. Se i valori dei componenti vengono scelti per prelevare con precisione la richiesta quantità di energia di uscita, l'efficienza sarà relativamente

elevata (tipicamente circa 80%).

In relazione con il modo di azionamento dei transistori 12 e 14 tramite il circuito di controllo 10, il condensatore 46 può o non può essere caricato alla tensione del cavo bus 20 quando il secondo transistor di potenza 14 viene commutato su posizione ON.

Se questo si verifica, un secondo picco di energia, eguale a $\frac{1}{2} C_1 V_{DC}^2$ verrà fornito in questo istante dal condensatore 46 al circuito di uscita.

La tensione Zener del diodo Zener 56 viene scelta in modo da essere eguale al valore desiderato di V_{CC2} , vale a dire all'uscita di bassa tensione 32. Se il valore $\frac{1}{2} C_1 V_{DC}$ (meno una tolleranza per le perdite dei componenti) viene reso eguale all'energia $V_{CC} Q_G$ necessaria per commutare in inserzione (ON) ciascuno dei transistori, allora il diodo Zener non assorbirà una potenza significativa.

Generalmente V_{CC} dovrà essere regolata al di sopra di un campo di tensioni operative del cavo principale a CC 20, e l'energia che viene fornita deve essere soddisfatta con una tensione minima di lavoro del cavo bus a CC che soddisfi la relazione:

$$\frac{1}{2} C_1 V_{DC}^2 \min = 2 Q_G V_{CC}.$$

Per una tensione superiore del cavo bus a CC, l'energia in eccesso fornita al circuito risonante (33, 46) verrà dissipata nel diodo Zener 56. Alla massima tensione di bus a CC, V_{DC} massima, la perdita di energia nel diodo Zener 56 è:

$$E_{ZD} = 2.1/2.C_1 (V_{DC}^2 \text{ max} - V_{DC}^2 \text{ min})$$

$$= 2.1/2 C_1. V_{DC}^2 \text{ min} (k^2 - 1)$$

$$= 2 Q_G V_{CC} (k^2 - 1)$$

in cui $k = V_{DC} \text{ max} / V_{DC} \text{ min}$

Si noti che il fattore 2 è previsto nell'equazione di partenza sopra citata in quanto eguali quantità di energia vengono consumate quando il condensatore 46 si carica e quando esso si scarica.

La perdita di potenza nel diodo Zener 56, P_{ZD} è:

$$P_{ZD} = 2 Q_G V_{CC} (k^2 - 1) f$$

$$= 2 P_{CC} (k^2 - 1)$$

in cui $P_{CC} = 2 Q_G V_{CC} f$

f = è la frequenza operativa dei transistori 12 e 14.

In una situazione nella quale il circuito di controllo è un controllore a ponte monolitico IR 2110 ed i transistori 12 e 14 sono hexfets IRF450 (queste parti essendo vendute dalla Soc. International Rectifier Corporation, l'assegnataria del presente brevetto), i transistori 12 e 14 operando a 400 kHz, un valore V_{CC} di 15 volt, ed in campo di lavoro di tensione bus a CC da 200 volt a 400 volt, le perdite nel diodo Zener 56 alla massima tensione di soglia sono di 5,4 watt, calcolate usando la suddetta equazione per P_{ZD} .

Questo calcolo presuppone che tutte le perdite di energia siano focalizzate nel diodo Zener. In realtà, una parte della potenza perduta viene dissipata nell'induttore 44, nel condensatore 46 e nei

diodi 50 e 52, ed anche nei transistori 12 e 14. La dissipazione effettiva nel diodo Zener 56 sarà pertanto inferiore al valore sopra calcolato. Le perdite effettive erano misurate da essere circa metà dei valori calcolati.

In accordo con quanto detto, la presente invenzione si raffronta in modo estremamente favorevole con l'implementazione a resistore di caduta di tensione 18 della tecnica precedente della Figura 2A, che dissiperebbe circa 100 watt per le stesse condizioni operative.

Il motivo dell'efficienza elevata del circuito risonante (44, 46) è l'induttore 44. Con il solo capacitore 46, il circuito non sarebbe più efficiente del resistore a caduta di tensione 18 della Figura 2A.

Inoltre, come verrà descritto nel seguito, l'induttore 44 permette che il capacitore 46 abbia una capacità di un ordine di grandezza inferiore.

La spiegazione è che il capacitore 46, senza l'induttore 44, assorbe una "caduta" di corrente ad ogni evento di commutazione.

La carica associata con questa "caduta" deve essere almeno eguale alle cariche di porta combinate dei due transistori di potenza 12 e 14. Questa carica viene prelevata dalla tensione a CC elevata V_{DC} nel cavo bus 20, e fornita ad una tensione molto più bassa V_{CC} all'uscita 32, con un'efficienza (per V_{DC} min) di V_{CC}/V_{DC} min.

L'efficienza per V_{DCmax} viene inoltre ridotta di un fattore pari a

$1/k^2$, in cui $k = V_{dcmax}/V_{dcmin}$. Il capacitore 46, che opera solo con i suddetti transistori IRF 450 12 e 14 a 500 kHz produrrebbe perdite di circa 100 watt per una tensione a CC sul cavo bus 20 nel campo di 200 volt - 400 volt.

Inoltre, il valore del capacitore 46, che opera senza l'induttore 44, sarebbe eguale a $2.Q_c/V_{dc \min}$ che sarebbe tipicamente di un ordine di grandezza maggiore del valore molto più piccolo del capacitore richiesto con un circuito risonante (44, 46) con il quale il valore C_i del capacitore 46 sarebbe solo eguale a:
 $2Q_c/V_{dcmin}.V_{cc}/V_{dc \min}$.

La spiegazione fisica per l'elevata efficienza del circuito di risonanza 44, 46 rispetto alla scarsa efficienza di un circuito non risonante è che con il circuito risonante la carica totale fornita al circuito di uscita quando il transistore 12 commuta in posizione ON è molto superiore a quella della carica prelevata dal capacitore 46. Questo avviene in quanto il capacitore di uscita 54 riceve dei semicicli positivi multipli di corrente durante ciascun picco di risonanza, e ciascuno di questi contribuisce alla carica di uscita totale. La carica prelevata dal capacitore 46, d'altro canto, è la parte intera netta di tutti i semicicli di corrente positivi e negativi opposti, e questa corrente è molto più piccola. Il circuito di risonanza in effetti agisce come un moltiplicatore di cariche.

Le scritte per le forme d'onda della Figura 4 corrispondono alle

scritte della Figura 3, e la Figura 4 presuppone che l'energia immagazzinata nel condensatore 46 sia rilasciata come un picco di risonanza al condensatore 54 attraverso il transistor inferiore 14, quando l'ultimo transistor viene commutato in posizione ON. Tale modo di controllo viene descritto come il modo di "esclusione attiva". Se il transistor 14 non è commutato attivamente nella posizione ON appena dopo che il transistor 12 viene commutato in posizione OFF, si verifica solo una "esclusione passiva". In tale caso, il circuito di carico esterno determina come rapidamente il condensatore 46 sarà escluso e una parte o tutta l'energia accumulata nel condensatore 46 non può essere fornita al condensatore di uscita 54, ma verrà dissipata in altro modo.

Quanto più lenta è l'esclusione, tanto minore è l'energia che verrà trasferita al condensatore di uscita 54.

In un caso estremo, si verificherà il trasferimento di energia nulla durante l'esclusione passiva. In tale caso, il condensatore 46 deve fornire una quantità di energia doppia rispetto al condensatore 54 quando il transistor 12 commuta in posizione ON e deve avere il valore doppio di quello calcolato precedentemente.

Si noti tuttavia che l'energia perduta dal condensatore 46 nel circuito esterno durante l'esclusione passiva non aumenta la dissipazione nel diodo Zener 56, in quanto essa viene perduta in modo diverso.

Con riferimento alla Figura 5, è una cosa abbastanza semplice

aggiungere un'alimentazione di potenza negativa per fornire un'uscita di tensione negativa ($-V_{cc}$) 64. Sono necessari solo un condensatore di uscita 66 e un diodo Zener 68 ulteriori. Un'uscita di alimentazione di polarizzazione negativa sarà utile, per esempio, quando viene usato un transistor di rilevamento della corrente, ed è necessaria un'alimentazione di potenza negativa per il rilevamento della corrente.

Con riferimento alla Figura 6 si può prevedere un'alimentazione di potenza negativa autonoma, con gli elementi della Figura 3, tramite il collegamento del terminale comune 58 alla terra 63. Questo sarebbe utile quando un'alimentazione di tensione bassa positiva è già disponibile, ma è necessaria un'alimentazione negativa separata, per esempio per il rilevamento della corrente.

Nel circuito illustrato nella Figura 3, si presume che un'alimentazione oscillante per il transistor superiore 12 sia ottenuta

dall'alimentazione di uscita 32 di bassa tensione V_{CC} convenzionale per mezzo di un circuito a diodo-condensatore di avviamento (non rappresentato).

In certe applicazioni, la caduta di tensione attraverso il transistor 14, a causa della corrente di carico, può ridurre seriamente la tensione alla quale il condensatore di avviamento esegue la carica durante il periodo di conduzione del transistor 14.

In tale caso, il circuito di risonanza descritto 44, 46 può essere usato per fornire un'alimentazione di potenza oscillante per il

transistore superiore 12, indipendente dalla caduta di tensione del transistore inferiore 14.

La Figura 7a illustra le alimentazioni di polarizzazione positiva o negativa per il transistore superiore 12. Si noti che il resistore di avviamento 60 precarica sia le alimentazioni positive che quelle negative. Si noti inoltre che il circuito di risonanza 44, 46 è collegato alla tensione di alimentazione del cavo bus a CC 20.

La Figura 7b illustra un'alimentazione negativa oscillante negativa per il transistore superiore 12 che può essere aggiunta a complemento di un circuito di avviamento, rappresentata dal diodo 80 e dal condensatore 82. Raffrontare questo circuito con il circuito illustrato nella Figura 6.

La Figura 8 illustra un collegamento di circuito per produrre delle tensioni di alimentazione "sopra soglia" e "sotto soglia", il termine sopra soglia e sotto soglia riferendosi alle tensioni che sono rispettivamente superiori ed inferiori della tensione del cavo bus a CC 20. Si noti che il circuito sotto soglia comprendente il condensatore 66 e il diodo Zener 68 è precaricato dal resistore di avviamento 60, ma l'alimentazione di tensione sopra soglia comprendente il condensatore 54 e il diodo Zener 56 stabilisce che il transistore di uscita 12 sia in funzione solo una volta. Il blocco 70 rappresenta un carico elettrico.

I moduli contenenti i circuiti di potenza a transistori completi

vengono usati estesamente per applicazioni come i comandi di velocità dei motori e i gruppi di alimentazione di potenza continua (UPS). Le prossime generazioni di questi moduli conterranno i circuiti di azionamento e gli optoisolatori.

Un vantaggio della presente invenzione sarà l'inclusione dell'alimentazione di potenza per i circuiti di controllo all'interno dei suddetti moduli. Questo fornirà all'utente un modulo completamente autonomo che interfaccia direttamente con la logica CMOS o TTL senza alcun componente di interfaccia ulteriore.

L'efficienza e la limitata dimensione dell'alimentazione di potenza di risonanza descritta, connessa con la sua proprietà di fornitura automatica dell'esatta quantità di potenza di azionamento, indipendente dalla frequenza operativa, la rende ideale per l'applicazione entro i transistori MOSFET di potenza o i moduli di potenza IGBT. Una disposizione tipica per un modulo IGBT è illustrata nella Figura 9.

Nel circuito della Figura 9, i segnali di controllo di ingresso vengono forniti agli optoisolatori 90 e 92, che azionano i rispettivi controllori 94 e 96. I controllori 94 e 96 controllano i rispettivi IGBT 98 e 100. L'alimentazione di potenza ad autogenerazione in accordo con la presente invenzione viene illustrata accoppiata al transistore IGBT 100, nello stesso modo come illustrato per il MOSFET in Figura 3. Un'alimentazione di

avviamento convenzionale comprendente il diodo 102 e il capacitore 104 accoppiato con il cavo bus a CC tramite il resistore 106 è prevista per il transistor IGBT 98 superiore.

Con riferimento alla Figura 10, un raffronto dell'alimentazione di potenza di risonanza della presente invenzione (lato sinistro della Figura) con un circuito di convertitore convenzionale di riduzione, mostra i componenti che sono approssimativamente equivalenti in termini di costo e dimensioni, come indicato dalla frecce 72 di collegamento trasversali. Si noti che i diodi 50 e 52 sono esposti solo alla tensione di uscita dell'alimentazione di potenza ausiliaria 30, e richiudono solo una capacità di tensione bassa, tipicamente diodi Schottky di 30 Volt essendo sufficienti. Il diodo 74 del convertitore di riduzione, tuttavia, deve essere un dispositivo di recupero rapido ad alta tensione (500-600 V).

La Figura 10 inoltre illustra che la maggior parte dei componenti richiesti per l'alimentazione di potenza di risonanza della presente invenzione sono equivalenti ai componenti periferici richiesti per il convertitore di riduzione e il raffronto reale fra i due circuiti si riduce al resistore 60 e al diodo Zener 56 che tipicamente possono essere di 1-3 watt per la presente invenzione rispetto allo stesso convertitore di riduzione 76.

In base a quanto detto, il convertitore di riduzione 76 non esegue un raffronto in modo favorevole.

Tuttavia, un convertitore di riduzione offre una capacità di fornire una potenza di polarizzazione ampia prima dell'avviamento e una tensione di uscita con regolazione più precisa. In accordo a quanto detto, la presente invenzione concepisce che per i sistemi di potenza molto elevati che richiedono una potenza significativa prima di avviare il circuito di commutazione di uscita principale, e dove la potenza di azionamento richiesta sia oltre la capacità del convertitore di riduzione stesso, il convertitore di riduzione può essere usato come un circuito di avviamento per un circuito risonante di potenza superiore.

Questo concetto è illustrato nella Figura 11. L'induttore 78 della Figura 11 corrisponde all'induttore che comprende lo stesso numero di riferimento della Figura 10. Pertanto, l'alimentazione di Vcc 32 è stata implementata dal convertitore di riduzione che realizza l'avviamento, l'alimentazione di potenza di risonanza della presente invenzione fornendo la potenza dopo l'avviamento durante il funzionamento normale.

In una forma di realizzazione dell'alimentazione di potenza ausiliaria 30 della presente invenzione che è stata ridotta in scala per una ragione pratica, i valori e i tipi dei componenti specifici sono come quelli indicati nella tabella riportata sotto.

Dispositivo	Valore/tipo
Circuito di controllo 10	IR 2110
Transistori 12, 14	IRFP450
Induttore 44	10 Uh
Capacitore 46	150 pF, 100 pF, 68 pF
Diodi 50, 52	11DQ03
Diodo Zener 56	1N5352A
Capacitore 54	1 uF, 20V
Resistore 60	2 Mohm, 1/4W
Carico 76	1 kohm

L'alimentazione di potenza ausiliaria in accordo con la presente invenzione ridotta in scala per una ragione pratica è stata testata con diversi valori di capacitore 46, vale a dire 68 Pf, 100 Pf e 150 Pf con e senza esclusione attiva e con una tensione del cavo bus principale a CC di 200 V e 400 V.

Una prova con il capacitore 46 a 68 Pf e una frequenza di commutazione di 400-500 KHz forniscono un funzionamento soddisfacente su un campo di tensione del cavo bus a CC di 250-400 V. Con l'esclusione attiva a 400 V e 500 kHz, l'assorbimento di potenza del diodo Zener è approssimativamente di 1,4 watt per un capacitore 46 di 68 Pf, rispetto a 2,8 watt per le stesse condizioni di funzionamento con il valore del capacitore 46 a 150

Pf.

Sebbene la presente invenzione sia stata descritta in relazione a particolari sue forme di realizzazione, sarà chiaro alle persone esperte della tecnica, che molte altre varianti e modifiche e altri usi possono essere previsti.

Pertanto la presente invenzione non è limitata dalla specifica descrizione allegata, ma solo dalle rivendicazioni allegate.

RIVENDICAZIONI

1. Un circuito di alimentazione di potenza per provvedere un'uscita a CC da un ingresso ad impulsi, comprendente:
 - un circuito LC seriale avente un primo terminale accoppiato all'ingresso ad impulsi ed un secondo terminale;
 - un condensatore di uscita caricato elettricamente dal circuito LC seriale per realizzare l'uscita a CC; e
 - un circuito di accoppiamento per l'accoppiamento di carica dal circuito LC seriale al condensatore di uscita.
2. Il circuito della rivendicazione 1, inoltre comprendente:
un regolatore di tensione accoppiato al condensatore di uscita per regolare e mantenere l'uscita di CC nel condensatore di uscita ad un valore predeterminato sostanzialmente costante.
3. Il circuito della rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'uscita a CC è un'uscita a CC di bassa tensione e il detto ingresso ad impulsi è un ingresso ad impulsi di tensione elevata avente un'ampiezza superiore alla detta uscita a CC.

Pf.

Sebbene la presente invenzione sia stata descritta in relazione a particolari sue forme di realizzazione, sarà chiaro alle persone esperte della tecnica, che molte altre varianti e modifiche e altri usi possono essere previsti.

Pertanto la presente invenzione non è limitata dalla specifica descrizione allegata, ma solo dalle rivendicazioni allegate.

RIVENDICAZIONI

1. Un circuito di alimentazione di potenza per provvedere un'uscita a CC da un ingresso ad impulsi, comprendente:
 - un circuito LC seriale avente un primo terminale accoppiato all'ingresso ad impulsi ed un secondo terminale;
 - un condensatore di uscita caricato elettricamente dal circuito LC seriale per realizzare l'uscita a CC; e
 - un circuito di accoppiamento per l'accoppiamento di carica dal circuito LC seriale al condensatore di uscita.
2. Il circuito della rivendicazione 1, inoltre comprendente:
un regolatore di tensione accoppiato al condensatore di uscita per regolare e mantenere l'uscita di CC nel condensatore di uscita ad un valore predeterminato sostanzialmente costante.
3. Il circuito della rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'uscita a CC è un'uscita a CC di bassa tensione e il detto ingresso ad impulsi è un ingresso ad impulsi di tensione elevata avente un'ampiezza superiore alla detta uscita a CC.

4. Il circuito della rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la frequenza di funzionamento associata con l'ingresso ad impulsi è sostanzialmente inferiore ad una frequenza di risonanza associata con il circuito LC.
5. Il circuito della rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che il regolatore di tensione è un diodo Zener.
6. Il circuito della rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il circuito di accoppiamento comprende anche un diodo collegato in serie fra il circuito LC e il capacitore di uscita.
7. Il circuito della rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che il circuito LC è collegato all'anodo del diodo e il catodo del diodo è collegato al capacitore di uscita.
8. Il circuito della rivendicazione 1, inoltre comprendente un circuito di avviamento per caricare il capacitore di uscita prima che si verifichi la presenza di un impulso sul detto ingresso ad impulsi.
9. Il circuito della rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che il circuito di avviamento comprende un resistore.
10. Il circuito della rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che il circuito di avviamento comprende un convertitore di riduzione (buck converter).
11. Il circuito della rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'ingresso ad impulsi ha un valore di tensione compreso nel campo di 20-2000 V.

12. Il circuito della rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto che l'ingresso ad impulsi ha un valore di tensione compreso nel campo di 200-400V.

13. Il circuito della rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che l'uscita a CC di bassa tensione ha un campo di tensione dell'ordine di grandezza inferiore alla tensione dell'ingresso ad impulsi.

14. Il circuito della rivendicazione 1, inoltre comprendente un diodo di bypass collegato in serie fra un nodo del capacitore di uscita e il circuito LC.

15. Il circuito della rivendicazione 1, inoltre comprendente un primo ed un secondo transistor di potenza collegati in serie, un circuito di controllo per regolare il primo ed il secondo transistor di potenza in posizioni ON e OFF, un cavo bus a CC principale per fornire un'uscita di tensione elevata a CC ad uno dei transistori, il primo e il secondo transistor producendo l'ingresso ad impulsi.

16. Il circuito della rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il primo terminale del circuito LC è collegato ad un'uscita di un transistor di potenza che fornisce l'ingresso ad impulsi.

17. Il circuito della rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il circuito LC comprende un induttore di risonanza ed un capacitore di risonanza associato e il capacitore di risonanza ha un valore di capacità dell'ordine di 100 Pf.

18. Il circuito della rivendicazione 2, inoltre comprendente un secondo condensatore di uscita ed un secondo regolatore di tensione per produrre una seconda uscita a CC avente una polarità opposta ad una polarità associata con la prima uscita a CC.

19. Il circuito della rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'uscita di tensione a CC è riferita ad una tensione di terra.

20. Il circuito della rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'uscita a CC è riferita ad una tensione elevata a CC.

21. Il circuito della rivendicazione 15, caratterizzato dal fatto che il circuito LC è collegato al cavo bus principale a CC e il condensatore di uscita è accoppiato con l'ingresso ad impulsi.

22. Il circuito della rivendicazione 15, inoltre comprendente un circuito di alimentazione di avviamento accoppiato con almeno uno dei detti transistori di potenza.

23. Il circuito della rivendicazione 22, caratterizzato dal fatto che il circuito di avviamento comprende un diodo che carica un condensatore.

24. Il circuito della rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il primo terminale del circuito LC è accoppiato con l'ingresso ad impulsi tramite il condensatore di accumulo ed un altro terminale del circuito LC è accoppiato con una tensione del cavo bus a CC.

24. Un metodo per produrre un'uscita a CC di bassa tensione da un ingresso ad impulsi di alta tensione, comprendente:

- la fornitura di energia elettrica ad impulsi dall'ingresso ad impulsi ad un circuito LC serie ; e
- carica elettrica di un condensatore di uscita dal circuito LC serie.

26. Il metodo descritto nella rivendicazione 25, inoltre comprendente:

la regolazione della tensione attraverso il condensatore di uscita sostanzialmente al valore di uscita a CC di bassa tensione.

27. Il metodo descritto nella rivendicazione 25, inoltre comprendente la variazione pulsante del detto ingresso ad impulsi sostanzialmente ad una frequenza inferiore ad una frequenza di risonanza associata con il circuito LC.

28. Il metodo descritto nella rivendicazione 25, inoltre comprendente la fornitura dell'energia di avviamento per caricare il condensatore di uscita prima di fornire la detta energia elettrica ad impulsi.

29. Il metodo descritto nella rivendicazione 25, caratterizzato dal fatto che il detto stadio di fornitura di energia elettrica ad impulsi comprende la fornitura di energia ad impulsi avente una grandezza di tensione nel campo di 20-2000V.

30. Il metodo descritto nella rivendicazione 29, caratterizzato dal fatto che il detto stadio di fornitura di energia elettrica ad impulsi comprende la fornitura di energia ad impulsi avente una grandezza di tensione nel campo di 200-400V.

31. Il metodo descritto nella rivendicazione 25, caratterizzato dal fatto che l'uscita di CC a bassa tensione ha un campo di tensione e un ordine di grandezza inferiore all'ingresso ad impulsi di alta tensione.

32. Il metodo descritto nella rivendicazione 25, inoltre comprendente la fornitura dell'uscita a CC di bassa tensione ad un ingresso di bassa tensione di un circuito di commutazione a transistori di potenza.

33. Il metodo descritto nella rivendicazione 25, caratterizzato dal fatto che l'energia elettrica ad impulsi è fornita al circuito LC serie tramite il capacitore di uscita.

34. Il metodo descritto nella rivendicazione 25, caratterizzato dal fatto che l'energia elettrica ad impulsi è fornita direttamente al circuito LC serie.

Per:

INTERNATIONAL RECTIFIER CORPORATION

Il Mandatario

NOVELTY SERVICE

Dr. Ing. G. Di Iorio

G. Lorusi

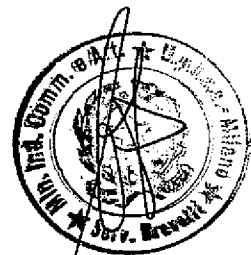


FIG. 2a

(TECNICA PRECEDENTE)

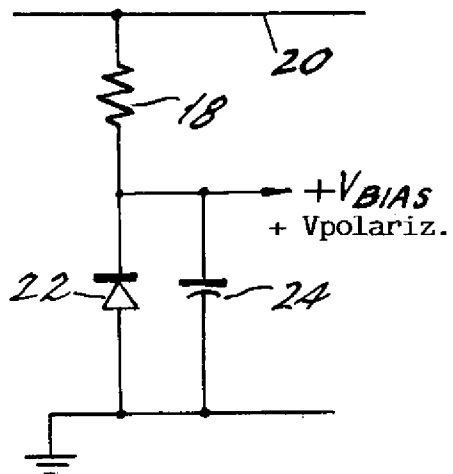


FIG. 2b.

(TECNICA PRECEDENTE)

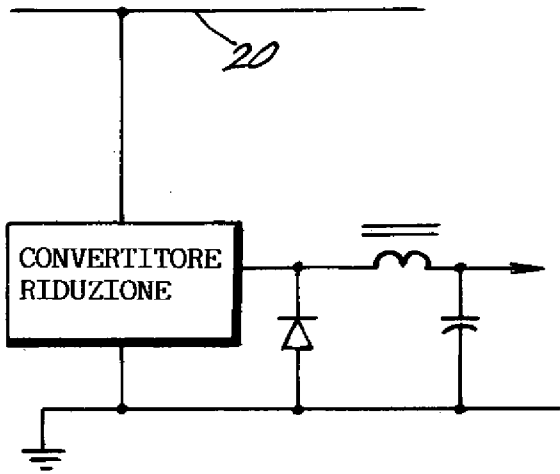


FIG. 2c.

(TECNICA PRECEDENTE)

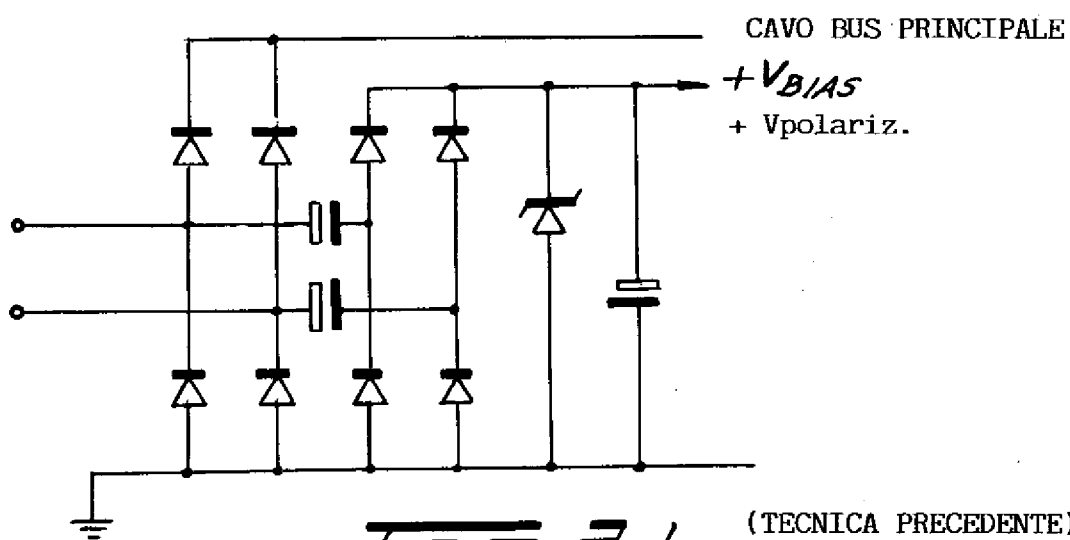
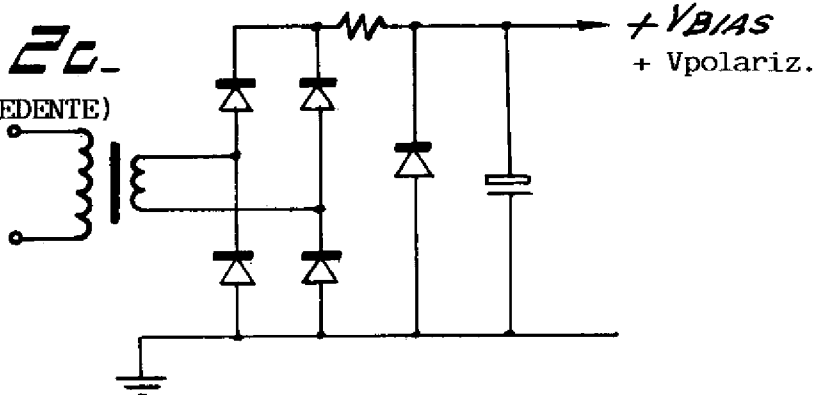
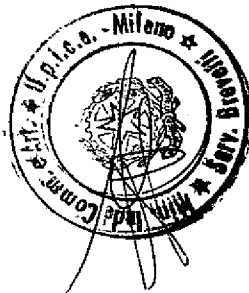


FIG. 2d.

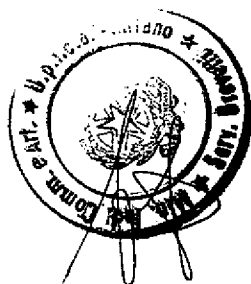
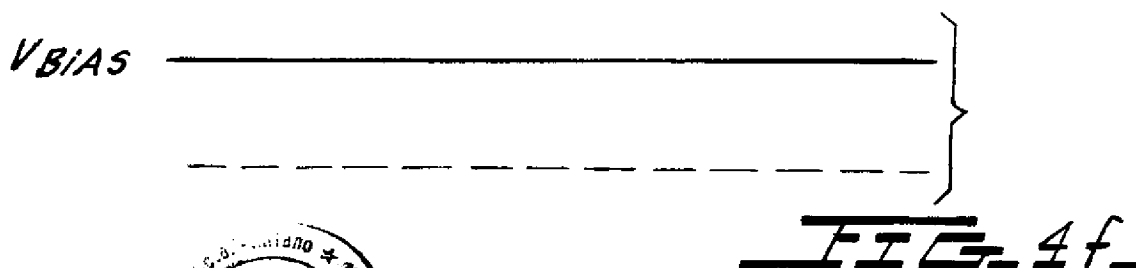
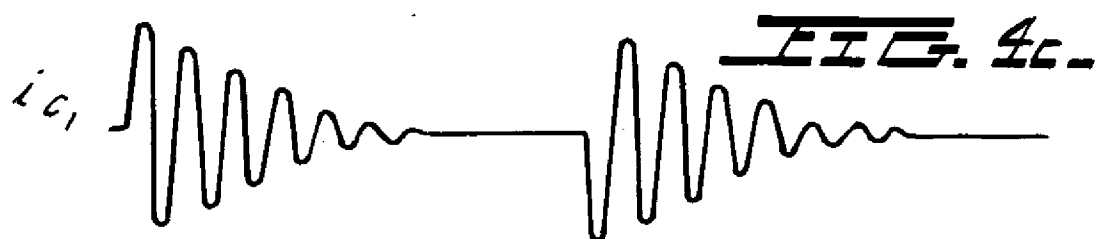
(TECNICA PRECEDENTE)



NOVELTY SERVICE

Dr. Ing. G. Di Iorio

G. Di Iorio



NOVELTY SERVICE
Dr. Ing. G. Di torlo
G. Torlo

FIG. 5.

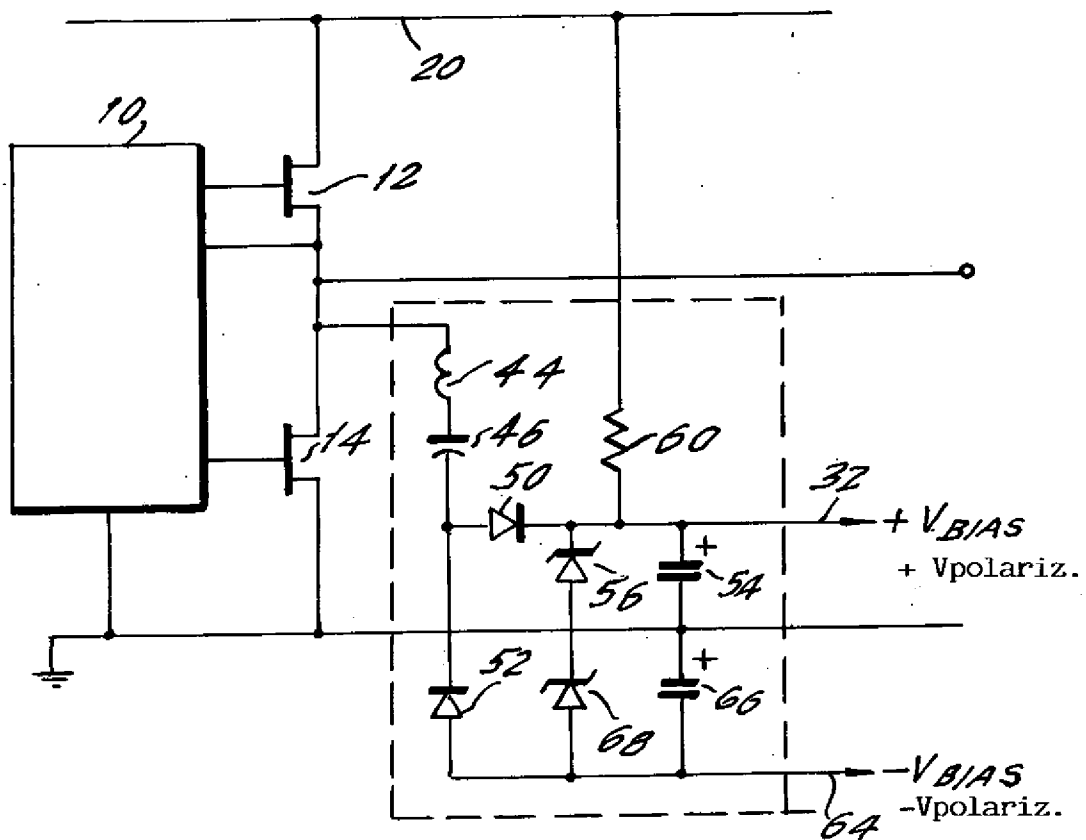
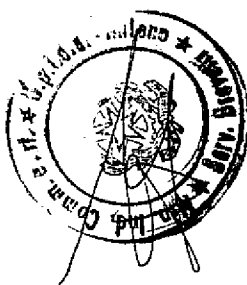
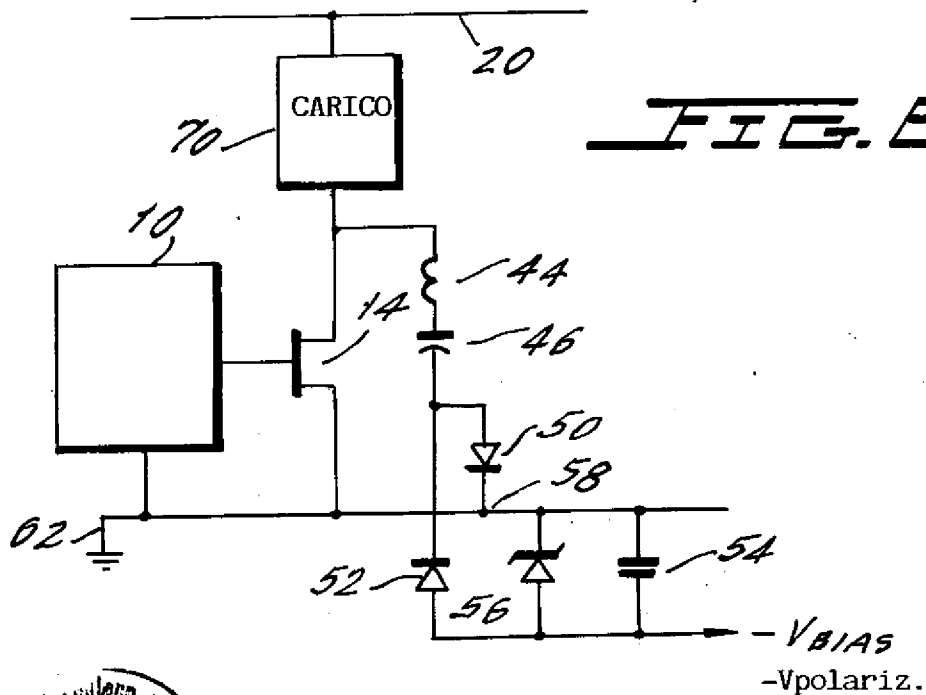


FIG. 6.



NOVELTY SERVICE

Dr. Ing. G. Di Iorio
Dr. L. Ruff

FIG. 7a

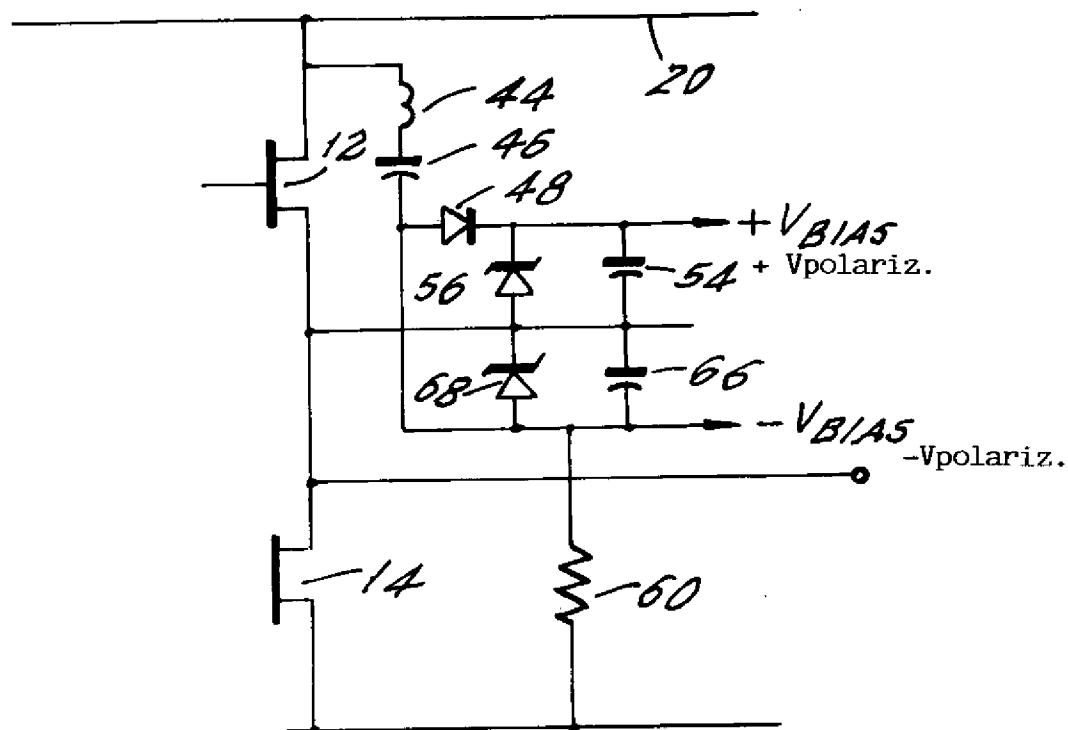
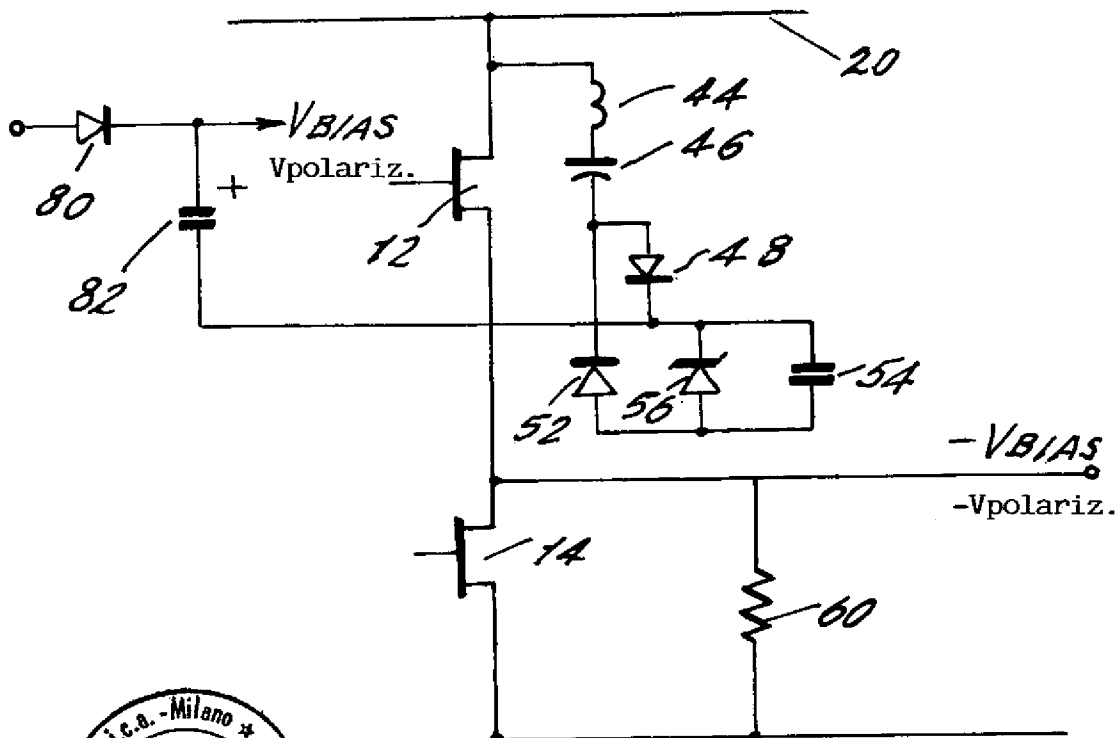
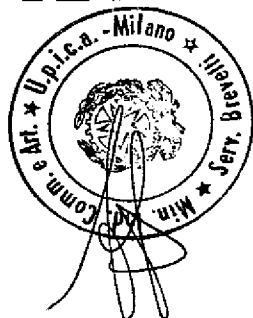
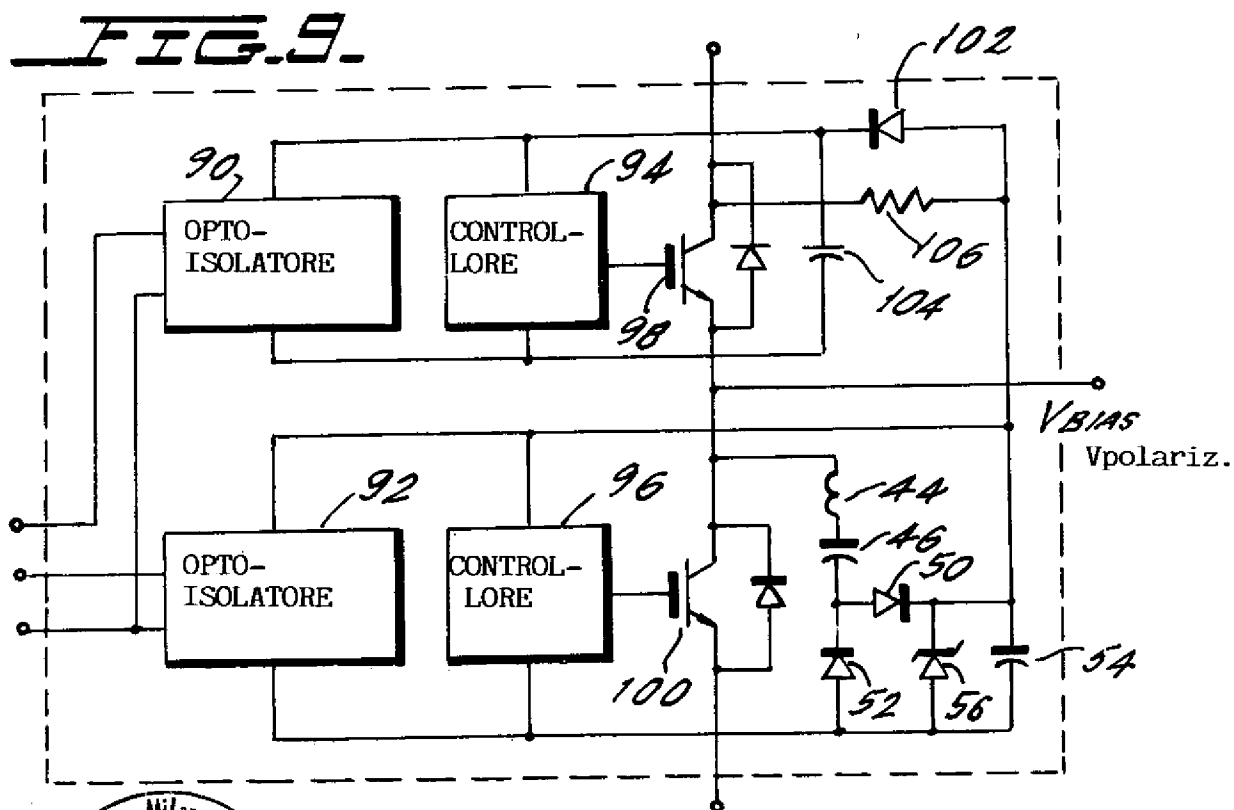
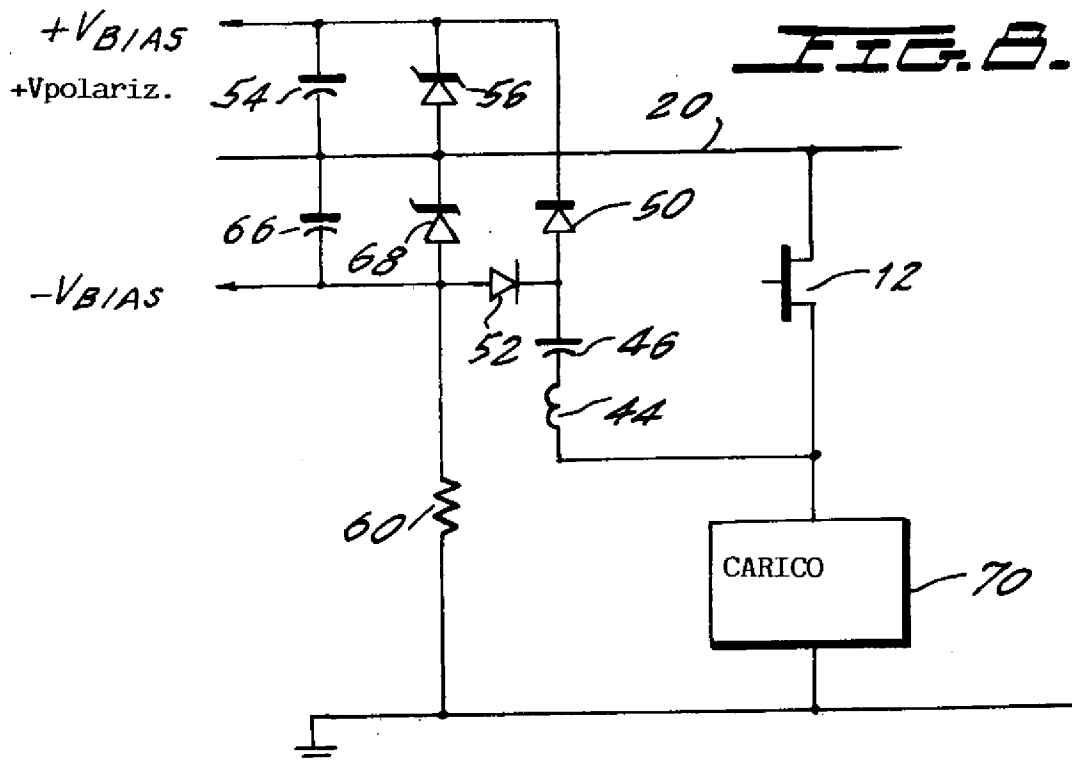


FIG. 7b



NOVELTY SERVICE
80, King's Rd. Brixton



NOVELTY SERVICE
 Dr. Ing. G. Di Iorio
 L. Zorup

FIG. 10.

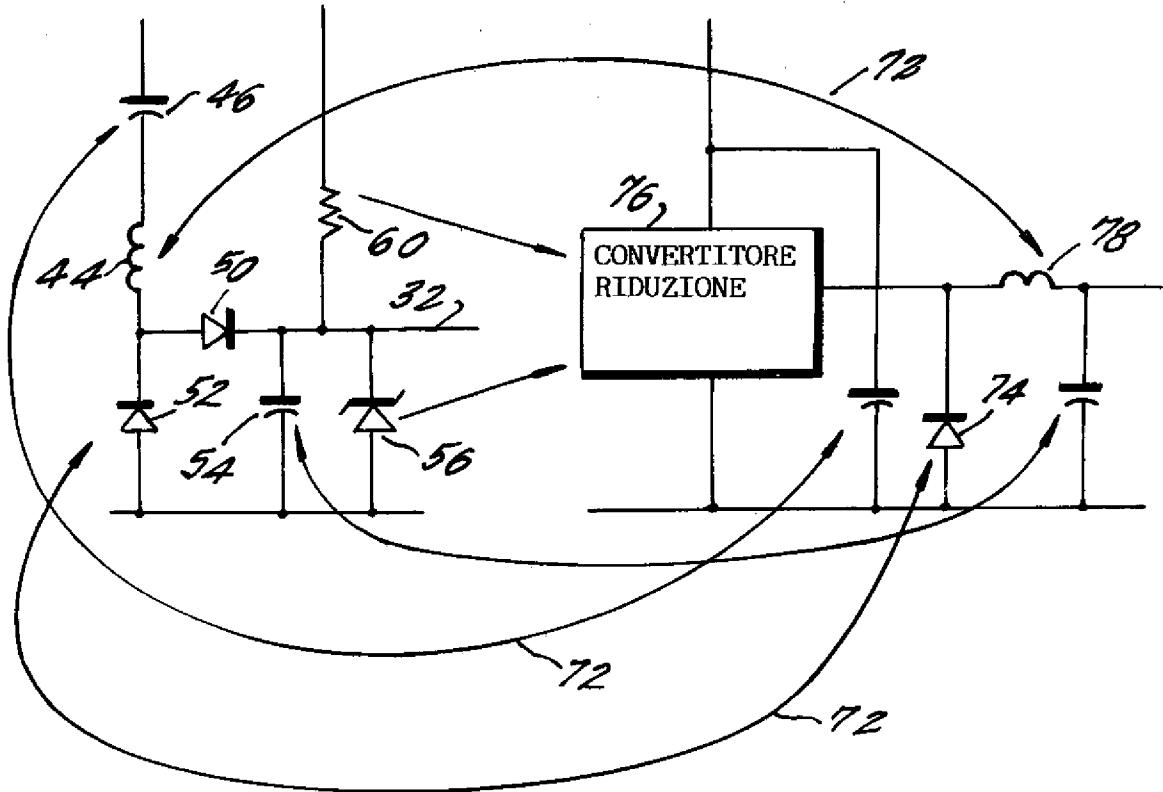
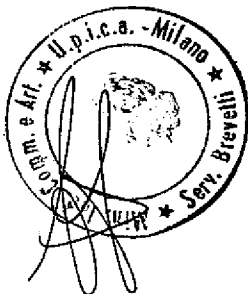
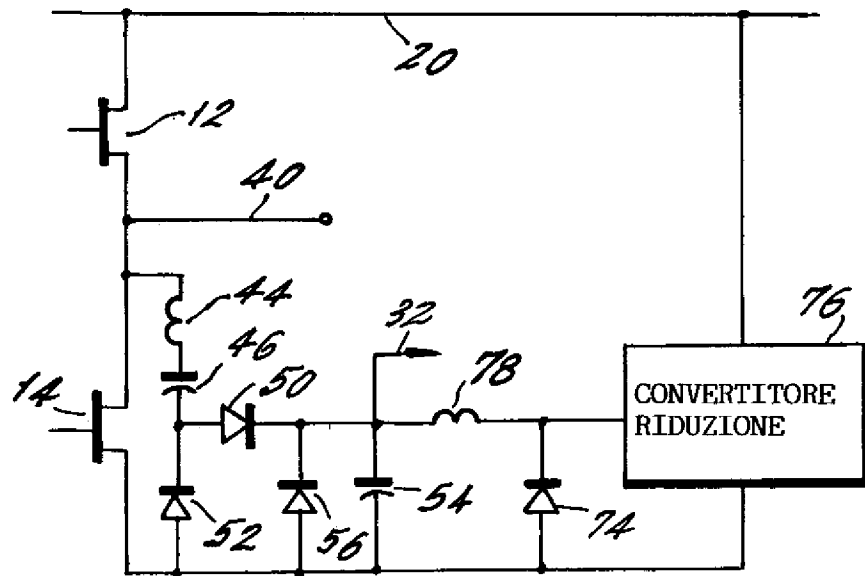


FIG. 11.



NOVELTY SERVICE

Dr. Ing. G. Di Iorio

G. Di Iorio