



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

DOMANDA NUMERO	102007901486575
Data Deposito	23/01/2007
Data Pubblicazione	23/07/2008

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
A	61	N		

Titolo

DISPOSITIVO PER LA GENERAZIONE DI IMPULSI DI TENSIONE CONTROLLABILI MEDIANTE  
DISPOSITIVI INTERRUTTORI ALLO STATO SOLIDO ED APPLICABILI AL CORPO UMANO

## DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale

di IGEA S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA PARMENIDE, 10/A

41012 CARPI (MO)

Inventori: BERTACCHINI Claudio, MARGOTTI Pier Mauro

\* \* \*

La presente invenzione è relativa ad un dispositivo per la generazione di impulsi di tensione controllabili mediante dispositivi interruttori allo stato solido ed applicabili al corpo umano.

E' noto applicare impulsi di tensione al corpo umano al fine di realizzare un campo elettrico pulsante che produce degli effetti terapeutici nei tessuti irradiati.

Ad esempio, il trattamento di elettro-porazione consiste nell'applicare ai tessuti impulsi di tensione aventi ampiezza tale da realizzare un campo elettrico che determina un'alterazione delle membrane cellulari aprendone i pori in maniera superiore al normale. L'alterazione della membrana cellulare viene quindi utilizzata per veicolare, all'interno della cellula, delle sostanze chimiche (ad esempio dei

farmaci) e/o della materia organica (ad esempio delle proteine, delle porzioni di DNA, ecc.).

Tipicamente, i procedimenti di elettro-porazione vengono realizzati utilizzando un generatore di un treno di impulsi di tensione che viene collegato in uscita con elettrodi conduttivi applicati al tessuto.

La generazione del treno di impulsi viene normalmente realizzata utilizzando dei dispositivi interruttori allo stato solido (es. IGBT o MOSFET), che parzializzano una tensione continua ottenuta mediante un generatore di tensione, ad esempio costituito da una batteria di condensatori.

I dispositivi interruttori allo stato solido permettono di controllare nel tempo in maniera molto precisa la connessione elettrica fra gli elettrodi ed il generatore di tensione, tuttavia essi sono intrinsecamente sensibili a:

- sovratensioni che possono determinarsi ai capi della giunzione e che “possono perforarla” irreversibilmente; e

- eccessiva dissipazione di energia nella giunzione stessa, che può determinare la fusione del silicio e quindi nuovamente un danno irreversibile.

Inoltre, quando il trattamento di elettro-porazione richiede l'applicazione di tensioni elevate

(500 V può essere assunto come soglia di riferimento), l'eventualità che si abbiano scintille agli elettrodi è piuttosto frequente per i seguenti motivi:

- per la natura stessa dei tessuti che sono intrinsecamente non omogenei e presentano conducibilità variabile nel tempo e nello spazio (la conducibilità dipende infatti dal grado di idratazione e dal tipo di tessuto e può variare in base alla tensione applicata);

- per la variabilità dell'interfaccia di contatto fra gli elettrodi ed il tessuto in quanto, in corrispondenza dell'interfaccia, si possono avviare processi di elettrolisi con formazione di bolle di gas (idrogeno) che modificano la conducibilità dell'interfaccia; e

- per fattori umani: gli elettrodi possono inavvertitamente essere portati a contatto o essere disposti eccessivamente vicini fra loro.

In assenza di opportune precauzioni le conseguenze di una scintilla o di un cortocircuito possono essere molto gravi, sia perché possono determinare la rottura del dispositivo interruttore allo stato solido utilizzato, sia perché possono determinare un danno ai tessuti ed eventuali

complicazioni nel decorso post-trattamento. In particolare, se non vengono implementate misure di protezione, la rottura del dispositivo interruttore allo stato solido può determinare seri danni al tessuto in quanto la modalità di rottura della giunzione è frequentemente un cortocircuito che determina una connessione irreversibile e diretta fra il generatore di tensione ed il tessuto, e conseguentemente una dissipazione di energia nel tessuto che è limitata soltanto dalla potenza che il generatore di tensione è in grado di erogare.

Al fine di ovviare agli inconvenienti sopra esposti, sono stati realizzati dei dispositivi di protezione atti a rilevare una condizione di sovracorrente (dovuta, ad esempio, a cortocircuito o scintilla) ed interrompere automaticamente la generazione degli impulsi di tensione.

Un esempio di dispositivo di protezione di tipo noto è illustrato nella figura 1 in cui un dispositivo di controllo 1 pilota un driver 2 il quale, a sua volta, pilota il terminale di controllo (gate) di un interruttore allo stato solido 3, in questo caso costituito da un IGBT.

Il driver 2 è in grado di rilevare la condizione di corto circuito, o comunque una sovracorrente, ed

interrompere automaticamente l'erogazione dell'impulso di comando all'IGBT 3.

Con maggior dettaglio, il driver 2 rileva la differenza di tensione  $V_{ce}$  tra collettore ed emettitore dell'IGBT 3 mediante un diodo 4 e quando la differenza di tensione  $V_{ce}$  supera una determinata soglia, viene rilevata una condizione in cui l'IGBT lavora in modo lineare cioè non lavora in condizione di saturazione.

Il driver 2 consente così all'IGBT 3 di lavorare in condizioni di non-saturazione per un tempo predeterminato, cioè per il tempo necessario all'IGBT 3 per raggiungere la condizione di saturazione in cui l'IGBT si comporta come un interruttore.

La configurazione sopra evidenziata non consente così di limitare la corrente che viene erogata al carico durante il tempo sopra detto e pertanto durante questo tempo viene dissipata una notevole potenza nella giunzione dell'IGBT, pari alla  $V_{ce}$  moltiplicata per la corrente assorbita dal carico.

Pertanto qualora il cortocircuito avvenga nelle condizioni di funzionamento lineare sopra evidenziate, sebbene sia prevista un'apertura automatica dell'IGBT, viene comunque dissipata una potenza rilevante all'interno dell'interruttore

elettronico prima che si operi la completa apertura dell'interruttore stesso. Inoltre l'improvvisa interruzione della corrente può determinare una sovratensione ai capi della giunzione, a causa dell'induttanza associata al carico. I driver pertanto implementano una modalità di spegnimento "soft" proprio per minimizzare la probabilità che questo accada.

Secondo l'esperienza diretta della richiedente, i dispositivi di protezione di tipo noto, ad esempio del tipo illustrato nella figura 1, non sono sempre sufficienti ad evitare la rottura del dispositivo allo stato solido in caso di cortocircuito e/o scintille.

Si è quindi costretti ad utilizzare interruttori allo stato solido capaci di sopportare grosse correnti (centinaia di Amperes); tali interruttori sono però molto costosi.

Tra l'altro, in tali applicazioni, per proteggere l'interruttore allo stato solido non è possibile utilizzare un fusibile di protezione dal momento che i normali fusibili presentano dei tempi di risposta troppo elevati per le grosse correnti.

Scopo della presente invenzione è quello di realizzare un dispositivo per la generazione di

impulsi di tensione controllabili mediante dispositivi interruttori allo stato solido ed applicabili al corpo umano che sia provvisto di un dispositivo di protezione che superi gli inconvenienti dei dispositivi noti della figura 1 e consenta di implementare al suo interno funzioni di protezione senza la necessità di utilizzare fusibili di protezione.

Il precedente scopo è raggiunto dalla presente invenzione in quanto essa è relativa ad un dispositivo per la generazione di impulsi di tensione controllabili mediante dispositivi interruttori allo stato solido ed applicabili al corpo umano, del tipo comprendente: un driver atto a generare un segnale di pilotaggio per un interruttore elettronico allo stato solido; almeno un interruttore elettronico allo stato solido azionato in commutazione dal detto segnale di pilotaggio per parzializzare una tensione continua e generare impulsi di tensione alimentati ad elettrodi applicabili ad un tessuto biologico in cui si genera un campo elettrico pulsante; mezzi rilevatori di corrente atti a rilevare l'intensità della corrente alimentata ai detti elettrodi; mezzi di controllo in anello chiuso atti a controllare il detto interruttore elettronico allo stato solido in

funzione di valori rilevati della detta corrente, **caratterizzato dal fatto che** i detti mezzi di controllo in anello chiuso sono atti a modificare l'ampiezza del segnale di pilotaggio applicato ad un terminale di controllo del detto interruttore elettronico allo stato solido quando il valore della detta corrente si avvicina ad un valore di soglia indicativo di una condizione di funzionamento potenzialmente critica.

L'invenzione sarà ora illustrata con particolare riferimento ai disegni allegati che ne rappresentano una preferita forma di attuazione non limitativa in cui:

- la figura 1 illustra un dispositivo per la generazione di impulsi di tensione di tipo noto; e
- la figura 2 illustra lo schema elettrico semplificato di un dispositivo per la generazione di impulsi di tensione controllabili mediante dispositivi interruttori allo stato solido ed applicabili al corpo umano realizzato secondo i dettami della presente invenzione.

Con riferimento alla figura 2 è indicato con 10, nel suo insieme, un dispositivo per la generazione di impulsi di tensione controllabili mediante dispositivi interruttori allo stato solido ed applicabili al corpo umano realizzato secondo l'invenzione.

Il dispositivo 10 comprende un driver 12 (di tipo noto) il quale è atto a generare un adeguato segnale di pilotaggio **Pigbt** (ad esempio un segnale in tensione ad onda quadra variabile nel range di tensione di pilotaggio caratteristico dell'interruttore utilizzato) per il terminale di controllo 13g (gate) di un interruttore elettronico allo stato solido 13 che, nell'esempio di realizzazione illustrato, è realizzato mediante un transistor IGBT.

In particolare, il transistor IGBT 13 presenta un collettore (c) a cui viene applicata una tensione **Vcc** prodotta da un generatore di tensione 15 (ad esempio formata da un banco di condensatori) ed un emettitore (e) che comunica attraverso un resistore di shunt 17 con almeno un primo elettrodo 18a applicato ad una porzione di tessuto umano o animale (rappresentata come un resistore di carico 19). E' presente inoltre almeno un secondo elettrodo 18b

applicato alla porzione di tessuto umano e collegato al potenziale di riferimento (massa) del generatore di tensione 15.

Il dispositivo 10 è inoltre isolato da terra per garantire la sicurezza del paziente.

In questo modo, quando il transistor IGBT 13 è chiuso, la tensione **V<sub>cc</sub>** è applicata tra gli elettrodi 18a, 18b mentre quando il transistor 13 è aperto non viene applicata alcuna tensione tra gli elettrodi 18a, 18b. In questo modo, comandando la commutazione dell'IGBT 13, vengono generati impulsi di tensione applicati agli elettrodi 18a, 18b che producono un campo elettrico pulsante che interessa la porzione di tessuto umano e/o animale.

Quando il transistor IGBT 13 è chiuso, una corrente di carico **I<sub>c</sub>** scorre nel tessuto tra gli elettrodi 18a, 18b provocando sul resistore di shunt 17 una caduta di tensione **V<sub>c</sub>=I<sub>c</sub>\*R<sub>s</sub>** (**R<sub>s</sub>** rappresenta il valore di resistenza del resistore di shunt 17) proporzionale al valore della corrente **I<sub>c</sub>** misurata.

La tensione **V<sub>c</sub>** viene applicata ad un circuito disaccoppiatore di tensione 20 (di tipo noto) il quale alimenta la tensione **V<sub>c</sub>** ad un ingresso invertente (-) di un amplificatore operazionale 22 attraverso un resistore 24 avente valore di

resistenza **R1**. L'ingresso invertente (-) dell'amplificatore operazionale 22 è collegato con l'uscita dell'amplificatore 22 stesso attraverso un resistore 26 avente valore di resistenza pari a **R2**. All'ingresso non invertente (+) dell'amplificatore operazionale 22 è applicata una tensione di riferimento **Vr** che, nella schematizzazione rappresentata, è prelevata da un terminale centrale di un trimmer potenziometrico 28 disposto in parallelo ad un generatore di tensione di riferimento 29 (schematizzato con un resistore ed un diodo zener posti in serie tra di loro) interposto tra la tensione **Vcc** ed il potenziale di riferimento.

L'uscita dell'amplificatore operazionale 22 alimenta un terminale di controllo (gate) di un primo interruttore elettronico 32 (MOSFET-N) che è interposto tra l'uscita del driver 12 ed il terminale di controllo (gate) dell'IGBT 13.

Il terminale di controllo (gate) dell'IGBT 13 è inoltre collegato con un primo terminale di un secondo interruttore elettronico 33 (MOSFET-P) avente un secondo terminale collegato con la tensione di riferimento.

L'uscita dell'amplificatore operazionale 22 è inoltre collegata con il catodo di un diodo zener 31

avente anodo collegato con il terminale 13g. Un diodo schottky 35 è interposto tra il drain del MOSFET-N 32 ed il gate 13g.

In questo modo, i due MOSFET 32 e 33 hanno i gates ed i sources in comune. Il drain del MOSFET-N 32 riceve il segnale Pigbt mentre il drain del MOSFET-P 33 è collegato al potenziale negativo della alimentazione.

I gates dei due MOSFET 32 e 33 sono collegati con l'uscita dell'amplificatore 22 mentre il diodo zener 31 è collegato tra i sources e i gates con il catodo rivolto verso i gates. A sua volta il diodo schottky 35 ha l'anodo collegato al source dei due MOSFET 32 e 33 e il catodo che riceve il segnale Pigbt. L'amplificatore 22 assieme alle resistenze 24 e 26 costituisce uno stadio di correzione del segnale di riferimento mentre i due transistor MOSFET 32 e 33 assieme al diodo zener 31 e al diodo schottky 35 costituiscono uno stadio amplificatore che in condizioni normali porta sul gate 13g dell'IGBT 13 il segnale del driver lasciandolo il più possibile inalterato, mentre in caso di corrente eccessiva sul carico 19 (indicativa di una condizione di funzionamento potenzialmente critica) fornisce al gate 13g un segnale opportuno, inferiore al segnale

del driver, che ha l'effetto di limitare la corrente che scorre nell'IGBT 13 portandolo fuori dalla saturazione.

In uso, in condizioni normali di funzionamento il driver 12 genera il segnale di pilotaggio **Pigbt** che viene applicato al terminale di controllo 13g dell'IGBT attraverso il primo interruttore elettronico 32 che è mantenuto chiuso. In tali condizioni, infatti, la corrente  $I_c$  non assume un valore elevato (ad esempio è compresa nell'intervallo di corrente tipico dell'IGBT o del MOS utilizzato ed è comunque inferiore ad un valore di soglia) e pertanto anche la tensione **Vc** assume valore ridotto, in particolare essa è molto minore della tensione **Vr**, cioè **Vr >> Vc**.

In tale condizione, l'uscita dell'amplificatore operativo 22 assume un valore di saturazione positivo mantenendo pertanto il primo MOSFET-N 32 completamente chiuso. Il secondo MOSFET-P33 è mantenuto completamente aperto in quanto una tensione positiva è applicata fra il suo gate e il suo source,

In condizioni di funzionamento potenzialmente critico, cioè in seguito ad una anomala crescita della corrente sul carico 19, la corrente **Ic** si avvicina ad un valore di soglia ed anche la tensione

**Vc** cresce avvicinandosi alla tensione **Vr**. In tali condizioni di funzionamento, l'amplificatore operazionale 22 amplifica il segnale in ingresso e la tensione alla sua uscita **Vout** assume un valore dettato dalla nota legge:

$$\mathbf{Vout = Vr + (Vr - Vc) * (R2/R1)}$$

**cioè**

$$\mathbf{Vout = Vr + (Vr - Rs * Ic) * (R2/R1)}$$

In tali condizioni la resistenza del canale del primo interruttore elettronico 32 (MOSFET-N) aumenta, limitando la corrente che il secondo interruttore 33 assorbe dal driver. Allo stesso tempo la resistenza del canale del secondo interruttore 33 (MOSFET-P) diminuisce. Il secondo interruttore 33 aumenta così la sua corrente ed assorbe cariche dal gate del dispositivo allo stato solido 13, diminuendone la conduttività, e operando così, in anello chiuso, una riduzione della corrente  $I_c$ . In altre parole, nella condizione sopra evidenziata, la coppia di MOS 32 e 33 lavora in regione lineare e ciascun MOS si comporta come un amplificatore avente guadagno inferiore alla unità.

Il sistema di reazione reagisce così alla crescita della corrente diminuendo il segnale di pilotaggio al fine di allontanarsi da una situazione di rischio.

**R<sub>s</sub>** viene dimensionata un modo che in condizioni normali il fattore  $(V_r - R_s I_c)$  sia positivo e non prossimo a zero. Il rapporto  $(R_2/R_1)$  che costituisce un guadagno, viene scelto abbastanza grande  $(R_2/R_1 > 10)$  in modo tale che in condizioni normali l'uscita dell'amplificatore operazionale 22 satura, ed il segnale rilevato sul resistore di shunt 17 diviene ininfluenza.

Quando invece  $R_s I \approx V_r$ , allora  $V_{out}$  determina la corrente portata dall'IGBT 13.

In condizioni di cortocircuito o di scintilla, la corrente **I<sub>c</sub>** assume un valore elevato (ad esempio può arrivare a centinaia di Amperes ed è comunque di molto superiore al valore di soglia) e pertanto anche la tensione **V<sub>c</sub>** assume valore elevato, in particolare essa è molto maggiore della tensione **V<sub>r</sub>**, cioè  $V_c \gg V_r$ .

In tali condizioni lo stadio di pilotaggio dell'IGBT cerca di limitare il valore di **I<sub>c</sub>** in modo che sia abbia  $V_c \approx V_r$  o  $V_c \geq V_r$ .

Come spiegato in precedenza, in tale condizione, l'uscita dell'amplificatore operazionale 22 assume un

valore tale da provocare una diminuzione di conduttività del MOSFET 32 e un aumento di quella del secondo interruttore elettronico 33 (MOSFET-P). Poiché il secondo transistor 33 è collegato con il potenziale negativo della alimentazione dello stadio, si drena via corrente dal gate dell'IGBT 13.

Pertanto, l'abbassamento della tensione sul gate 13g induce l'IGBT 13 ad uscire dalla saturazione, forzando l'intervento della protezione di cui solitamente il driver 12 è dotato: innescando cioè la modalità di spegnimento "soft" che nuovamente il driver 12 solitamente attiva in caso di de-saturazione dell'IGBT.

Il dispositivo 10 è inoltre provvisto di un sistema di controllo atto a determinare l'ampiezza temporale **Tw** di ciascun impulso di tensione alimentato agli elettrodi 18a,18b al fine di agire sul driver 12 per disabilitare il driver 12 stesso e terminare l'impulso qualora l'ampiezza temporale **Tw** superi un valore limite di soglia **Tw-lim**.

In questo modo, viene limitata l'ampiezza massima di ciascun impulso al valore **Tw-lim** a prescindere del segnale di pilotaggio generato dal driver 12 evitando che al paziente venga somministrata più energia del necessario.

In particolare, il sistema di controllo 40 comprende un temporizzatore 41 (timer) che viene attivato dal passaggio di corrente **Ic** nel resistore di shunt 17 (e quindi dal fronte di salita FS di ciascun impulso di tensione rilevato dal sensore di corrente 40). Il temporizzatore 41 controlla così la durata dell'impulso. Il segnale di uscita del timer 41 abilita continuamente attraverso una logica 42 il driver 12 consentendo quindi la continuazione della generazione dell'impulso.

Qualora l'impulso sia troppo lungo, il timer 41 va in timeout cambiando lo stato della sua uscita e disabilitando attraverso la logica 42 il driver 12 che interrompe così l'impulso.

In alternativa il segnale del temporizzatore può essere utilizzato per comandare attraverso un opportuno driver, un secondo dispositivo allo stato solido (non illustrato) posto in serie all'interruttore 13. In questo modo si inserisce una ridondanza che protegge sia contro l'eventualità che il segnale applicato agli elettrodi 18a,18b non sia controllato correttamente, sia che il dispositivo 13 si rompa cortocircuitandosi.

I vantaggi della invenzione sono quindi i seguenti:

- protezione dell'elettronica dell'apparecchiatura che utilizza tale sistema di controllo.
- protezione del paziente da danni ai tessuti dovuti alla energia che potrebbe essere scaricata in caso di guasto.
- Possibilità di utilizzare interruttori switch allo stato solido (IGBT o MOS) non sovradimensionati e quindi meno costosi
- Possibilità di tarare la soglia di intervento del sistema modificando la resistenza di shunt e/o il fattore di amplificazione del sistema di controllo
- Introducendo un sistema automatico di temporizzazione sul segnale di pilotaggio si possono interrompere gli impulsi dopo un tempo predeterminato utilizzando il sistema come un fusibile elettronico che agisce su due componenti potenzialmente pericolose: la durata e l'intensità della corrente.
- Il funzionamento come fusibile elettronico consente di proteggere il sistema e il paziente qualora il firmware del sistema, a causa di disturbi, non fosse più in grado di funzionare correttamente oppure nel caso

in cui la protezione del dispositivo allo stato solido non fosse sufficiente a preservarlo e quindi si rompesse cortocircuitandosi.

## RIVENDICAZIONI

1.- Dispositivo per la generazione di impulsi di tensione controllabili mediante dispositivi interruttori allo stato solido ed applicabili al corpo umano, del tipo comprendente:

- un driver (12) atto a generare un segnale di pilotaggio per un interruttore elettronico allo stato solido (13);

- almeno un interruttore elettronico allo stato solido (13) azionato in commutazione dal detto segnale di pilotaggio per parzializzare una tensione continua (Vcc) e generare impulsi di tensione alimentati ad elettrodi (18a,18b) applicabili ad un tessuto biologico (19) in cui si genera un campo elettrico pulsante;

- mezzi rilevatori di corrente (17) atti a rilevare l'intensità della corrente alimentata ai detti elettrodi (18a,18b);

- mezzi di controllo in anello chiuso (20,22,32,33) atti a controllare il detto interruttore elettronico allo stato solido (13) in funzione di valori rilevati della detta corrente,

**caratterizzato dal fatto che** i detti mezzi di controllo in anello chiuso (20,22,32,33) sono atti a modificare l'ampiezza del segnale di pilotaggio

applicato ad un terminale di controllo (13g) del detto interruttore elettronico allo stato solido (13) quando il valore della detta corrente si avvicina ad un valore di soglia indicativo di una condizione di funzionamento potenzialmente critica.

2.- Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui i detti mezzi di controllo in anello chiuso (20,22,32,33) sono configurati per ridurre il segnale di pilotaggio quando il valore della detta corrente rilevata supera un valore di soglia ed è indicativo di una condizione di sovracorrente.

3.- Dispositivo secondo la rivendicazione 2, in cui i detti mezzi di controllo in anello chiuso (20,22,32,33) sono configurati per drenare verso un potenziale di riferimento il detto segnale di pilotaggio al rilevamento della detta condizione di sovracorrente.

4.- Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui i detti mezzi di controllo in anello chiuso (20,22,32,33) comprendono:

- almeno un amplificatore operazionale (22) atto a ricevere ai suoi ingressi (+;-) una differenza di potenziale funzione del valore ( $V_c$ ) della corrente misurata e ad almeno una tensione di riferimento ( $V_r$ ); detto amplificatore operazionale (22) operando

in modo sensibilmente lineare in corrispondenza della condizione di funzionamento potenzialmente critica ed operando in saturazione in condizioni di funzionamento ordinarie;

- mezzi interruttori comandati in tensione (32,33) controllati dal detto amplificatore operazionale (22) ed atti a veicolare il segnale di pilotaggio verso un terminale di controllo del detto interruttore elettronico allo stato solido (13); detti mezzi interruttori riducendo l'ampiezza del segnale di pilotaggio in funzione del valore assunto dall'uscita (Vout) dell'amplificatore operazionale quando operante in modo sensibilmente lineare.

5.- Dispositivo secondo la rivendicazione 4, in cui i detti mezzi interruttori comprendono:

- un primo interruttore elettronico allo stato solido comandato in tensione (32) interposto tra un uscita del detto driver (12) ed il terminale di controllo del detto interruttore elettronico allo stato solido (13) ed atto a veicolare, quando chiuso, detto segnale di pilotaggio al detto terminale di controllo; e

- un secondo interruttore elettronico allo stato solido comandato in tensione (33) disposto in serie al detto primo interruttore elettronico allo stato

solido comandato in tensione (32) e collegato con un potenziale di riferimento;

detto primo e secondo interruttore elettronico allo stato solido (32,33) comandato in tensione presentando ingressi di comando ricevanti il segnale di uscita del detto amplificatore operazionale ed operando in modo sostanzialmente lineare con guadagno minore all'unità in corrispondenza della detta condizione di funzionamento sostanzialmente critica.

6.- Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui i detti mezzi di controllo in anello chiuso (20,22,32,33) comprendono:

- mezzi di calcolo (22,24,26,28,29) di una tensione di uscita **Vout** rappresentabile come:

$$\mathbf{Vout} = \mathbf{A} * \mathbf{Vr} - \mathbf{f(i)}$$

dove:

- **Vr** è una tensione di riferimento;
  - **f(i)** è una funzione crescente della corrente alimentata ai detti elettrodi; e
  - **A** è un guadagno, maggiore od uguale ad 1;
- mezzi interruttori comandati in tensione (32,33) controllati in funzione della detta tensione di uscita **Vout** ed atti a veicolare il segnale di

pilotaggio verso un terminale di controllo del detto interruttore elettronico allo stato solido (13);

detti mezzi interruttori comandati in tensione (32,33) essendo configurati per:

- trasferire integralmente il segnale di pilotaggio al detto terminale di controllo (13g) quando il detto termine  $f(i)$  è molto minore di  $V_r$ ;
- imporre al terminale di controllo (13g) un'alimentazione tale da determinare lo spegnimento dell'interruttore elettronico allo stato solido (13); quando il termine  $f(i)$  è molto maggiore di  $V_r$ ; e
- regolare il trasferimento del segnale di pilotaggio al detto terminale di controllo (13g) in funzione di  $V_{out}$  quando il termine  $f(i)$  è prossimo a  $V_r$ .

7.- Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui è previsto un sistema di controllo (40) atto a determinare l'ampiezza temporale  $T_w$  di ciascun impulso di tensione alimentato agli elettrodi (18a,18b) al fine di agire sul detto driver (12) per disabilitare il driver (12) stesso e terminare l'impulso qualora l'ampiezza temporale  $T_w$  superi un valore limite di soglia ( $T_w-lim$ ) limitando così

l'ampiezza temporale massima di ciascun impulso al valore di soglia ( $T_w\text{-lim}$ ) a prescindere del segnale di pilotaggio generato dal driver (12).

8. - Dispositivo secondo la rivendicazione 7, in cui la limitazione temporale è operata controllando un secondo dispositivo interruttore allo stato solido interposto fra il detto interruttore allo stato solido (13) ed almeno un elettrodo (18a).

p.i.: IGEA S.R.L.

**Simone BONGIOVANNI**

ARTE NOTA

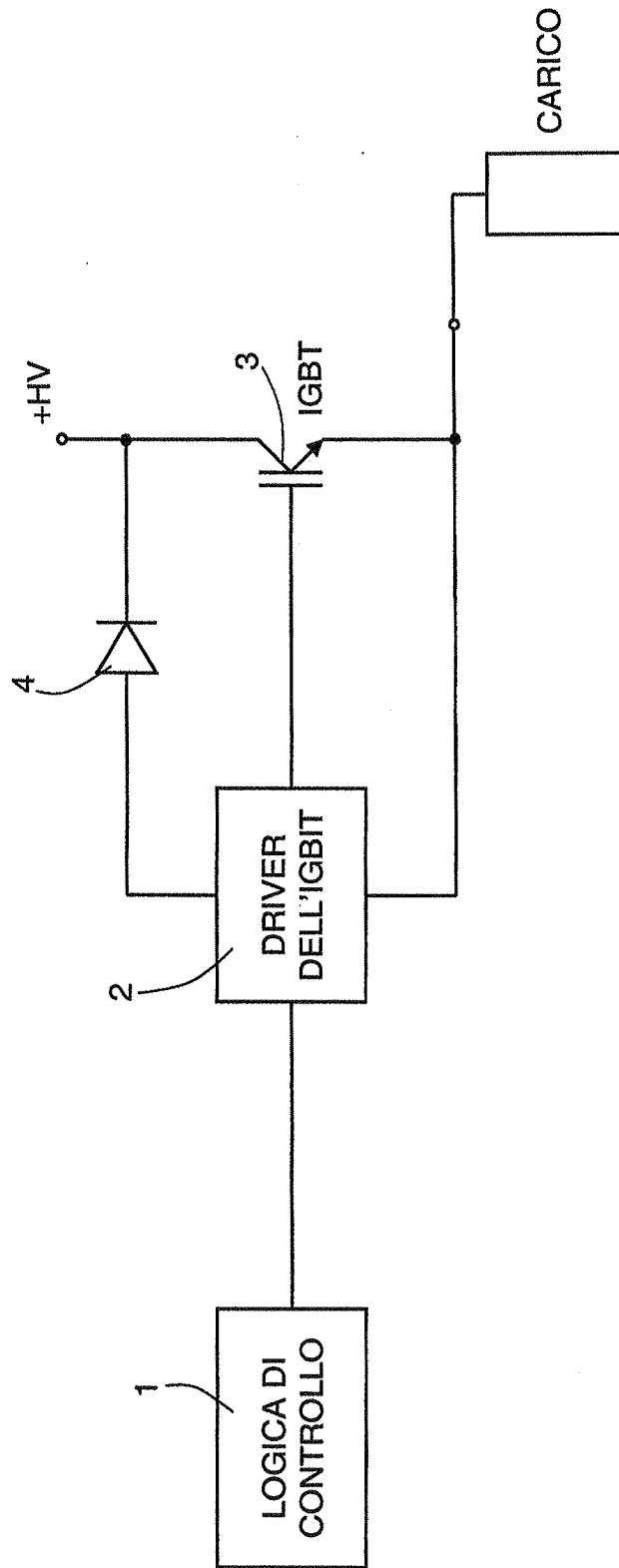
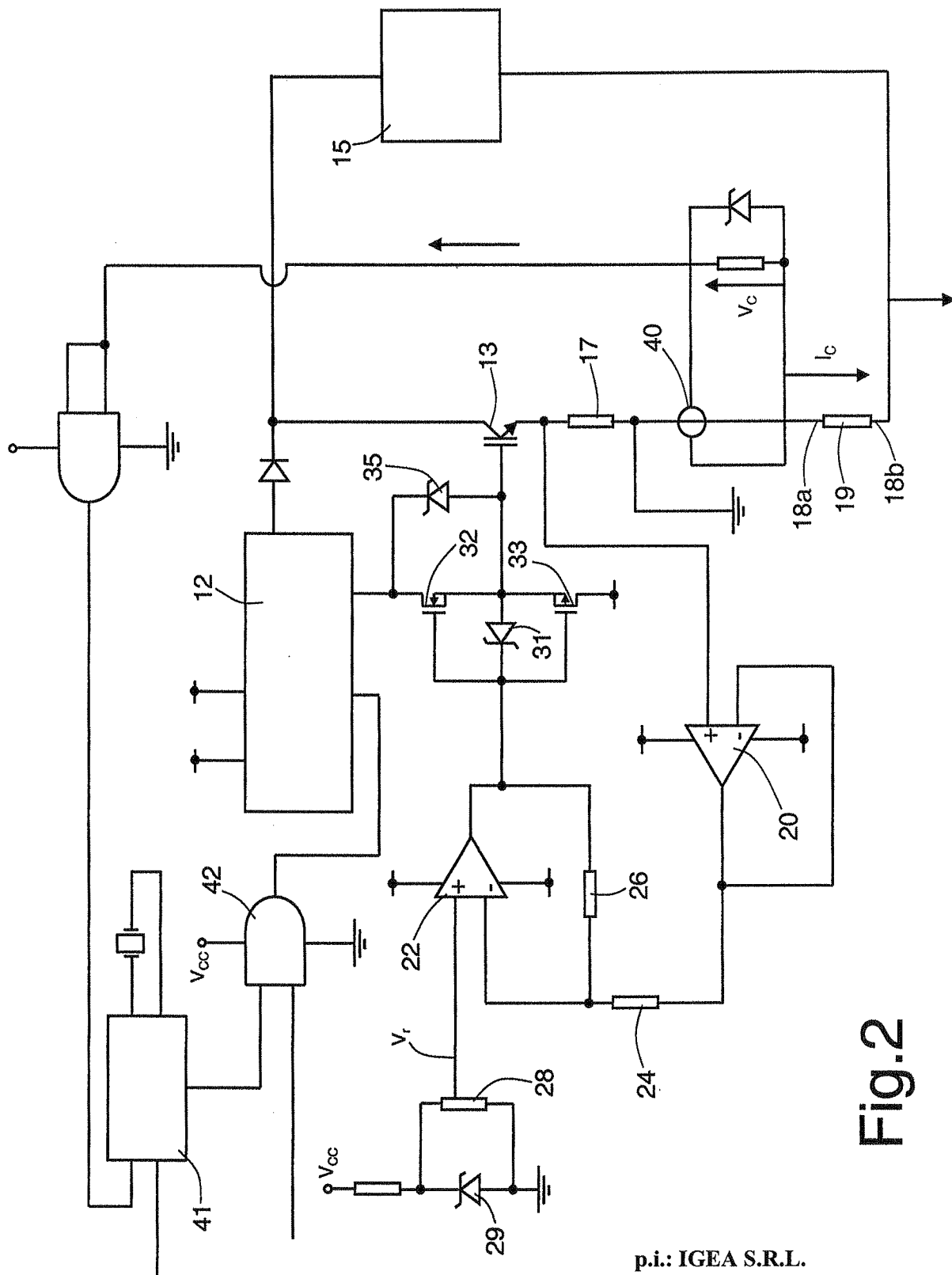


Fig.1

p.i.: IGEA S.R.L.

Simone BONGIOVANNI  
(Iscrizione Albo nr. 615/BM)



**Fig.2**

p.i.: IGEA S.R.L.

**Simone BONGIOVANNI**  
 (Iscrizione Albo nr. 615/BM)