



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

UIBM

DOMANDA NUMERO	101994900352997
Data Deposito	08/03/1994
Data Pubblicazione	08/09/1995

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	F		

Titolo

CIRCUITO DI CONTROLLO PER UN MOTORE ELETTRICO SINCRONO DI TIPO BRUSHLESS
--

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Circuito di controllo per un motore elettrico sincrono di tipo brushless"

Di: C.E.SET. S.r.l., nazionalità italiana, Strada Statale 99, 14033 Castell'Alfero (Asti)

Inventori designati:

Depositata il: 08 Marzo 1994

TO 94A000153

* * *

DESCRIZIONE

La presente invenzione riguarda un circuito elettrico per un motore elettrico sincrono di tipo brushless includente un motore a magneti permanente girevole fra terminazioni polari di statore sagomate in modo da definire, rispetto al rotore, un traferro di ampiezza disuniforme, per cui il rotore a riposo si dispone in una posizione angolare prefissata, e all'avviamento presenta una direzione di rotazione preferenziale.

Un primo scopo dell'invenzione è di realizzare un circuito atto a controllare l'alimentazione di corrente all'avvolgimento statorico di un siffatto motore elettrico, sia nella fase di avviamento, in cui il motore viene pilotato in modo asincrono, sia nella successiva fase di rotazione a regime, in cui il motore presenta propriamente un comportamento sin-

crono, cioè ruota ad una velocità rigidamente legata alla frequenza della tensione alternata di alimentazione, tipicamente la tensione di rete.

Tale scopo viene realizzato secondo l'invenzione mediante un circuito di controllo caratterizzato dal fatto che comprende in combinazione:

- un interruttore statico bidirezionale in serie all'avvolgimento di statore del motore, fra i terminali di una sorgente di tensione alternata;
- mezzi circuitali generatori di segnali atti a fornire un segnale indicativo della polarità di detta tensione alternata;
- un sensore elettrico fisso, associato al rotore, per fornire un segnale elettrico indicativo della polarità della porzione del rotore ad esso affacciata; e
- un circuito di pilotaggio collegato al sensore e a detti mezzi circuitali generatori di segnale, e predisposto per fornire un segnale di controllo della conduzione ad un terminale di comando di detto interruttore bidirezionale secondo modalità predefinite, in funzione della posizione del rotore e della polarità della tensione di alimentazione.

Motori elettrici sincroni di tipo brushless del tipo sopra definito vengono utilizzati in particola-

re in elettrodomestici, ad esempio per il comando di pompe in macchine lavatrici. Per tali applicazioni è conveniente che il circuito di controllo associato al motore possa essere fisicamente montato nello stesso involucro del motore, o della pompa cui il motore è associato. A tale scopo occorre dunque che il circuito di controllo presenti dimensioni e peso contenuti, ed una dissipazione termica minima. E' inoltre necessario che il circuito di controllo sia ottimizzato, al fine di ridurre il numero di componenti, e quindi l'ingombro, ed anche il costo.

Tali obiettivi vengono raggiunti secondo l'invenzione mediante un circuito di controllo del tipo sopra specificato, che secondo un ulteriore aspetto dell'invenzione è caratterizzato dal fatto che i suddetti mezzi alimentatori ed i mezzi circuitali generatori di segnale sono costituiti da un unico circuito a diodi accoppiato a detta sorgente di tensione alternata, includente almeno un diodo zener ed atto a fornire una tensione a valore medio non nullo per l'alimentazione del sensore ed un segnale di tensione in fase con la tensione di detta sorgente ed indicativo della sua polarità.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione appariranno dalla descrizione dettagliata

che segue a puro titolo di esempio non limitativo con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

la figura 1 è un'illustrazione schematica di un motore elettrico sincrono di tipo brushless con statore a due poli e con rotore a magnete permanente;

la figura 2 è lo schema circuitale di un primo modo di realizzazione di un circuito di controllo secondo l'invenzione,

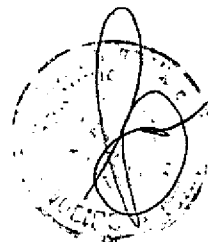
la figura 3 è una serie di grafici che mostrano, in funzione del tempo t riportato in ascissa, l'andamento di alcuni segnali sviluppati nel funzionamento nel circuito della figura 2;

la figura 4 è uno schema che mostra una variante di attuazione del circuito mostrato nella figura 2;

la figura 5 è uno schema parziale di un'ulteriore variante di realizzazione di un circuito di controllo secondo l'invenzione;

la figura 6 mostra lo schema di un ulteriore circuito di controllo secondo l'invenzione;

la figura 7 è una serie di grafici che mostrano, in funzione del tempo t riportato in ascissa, l'andamento di alcuni segnali sviluppati nel funzionamento nel circuito di controllo della figura 6;



la figura 8 è lo schema di un'ulteriore circuito di controllo secondo l'invenzione;

la figura 9 è una serie di grafici che mostrano l'andamento, in funzione del tempo t riportato in ascissa, di alcuni segnali sviluppati nel funzionamento nel circuito della figura 8;

la figura 10 è lo schema di un ulteriore circuito di controllo secondo l'invenzione; e

la figura 11 è una serie di grafici che mostrano, in funzione del tempo riportato in ascissa, l'andamento di alcuni segnali sviluppati nel funzionamento nel circuito mostrato nella figura 10.

Nella figura 1 è schematicamente illustrato un motore elettrico sincrono di tipo brushless includente uno statore S ed un rotore R. Nella realizzazione esemplificativamente illustrata lo statore comprende un avvolgimento 1, con due terminali indicati con 2 e 3, avvolto su un pacco di lamierini 4 sostanzialmente a forma di U. Le estremità di tale pacco di lamierini formano due terminazioni polari 5 e 6 fra le quali è montato girevole il rotore R. Le terminazioni polari 5 e 6 sono sagomate in modo tale da definire rispetto al rotore R traferri di ampiezza disuniforme. Nella realizzazione esemplificativamente illustrata nella figura 1 i traferri 7

presentano, procedendo in senso orario intorno all'asse del rotore R, ampiezze progressivamente decrescenti. Ne consegue che a riposo il rotore R si dispone in una posizione angolare prefissata, in cui l'asse dei suoi poli nord N e sud S, indicato con A, forma un angolo α rispetto all'asse B delle espansioni polari 5 e 6.

In virtù della disuniformità di ampiezza dei trasferri, il rotore R all'avviamento presenta una direzione di rotazione preferenziale. Così, facendo fluire nell'avvolgimento 1 una corrente alternata, se la prima semionda (ad esempio quella positiva) determina l'apparizione di un polo nord all'espansione polare 5, il rotore R si avvia in senso orario, per chi osservi la figura 1.

Al rotore R è associato un sensore di posizione H, ad esempio un sensore ad effetto Hall, disposto in posizione fissa, ad esempio ad un angolo β rispetto alla posizione a riposo dell'asse A. Tale sensore fornisce nel funzionamento un segnale indicativo della polarità della porzione del rotore R che risulta ad esso istantaneamente affacciata.

Per il pilotaggio nella fase di avviamento della rotazione, e quindi successivamente nella rotazione a regime del motore, secondo l'invenzione vie-

ne utilizzato ad esempio il circuito di controllo che verrà ora descritto con riferimento alla figura 2.

Nella figura 2 l'avvolgimento statorico 1 del motore ed i suoi terminali sono stati nuovamente indicati con i riferimenti 1 a 3. Tale avvolgimento è disposto in serie ad un interruttore statico bidirezionale T, fra i terminali M e N di una sorgente di tensione alternata di alimentazione, quale ad esempio la rete elettrica di distribuzione. La tensione alternata applicata fra tali terminali è indicata con V_M .

L'interruttore T è ad esempio un TRIAC, preferibilmente di tipo sensitivo. In parallelo a tale TRIAC è collegato un varistore VR di protezione.

Il terminale N è inoltre collegato alla massa GND.

Fra il gate g del TRIAC T e la massa è interposto un resistore di polarizzazione R1.

Con DC è indicato un circuito a diodi che nella realizzazione secondo la figura 2 comprende due diodi zener Z1 e Z2 aventi il catodo e, rispettivamente, l'anodo collegati al terminale M attraverso rispettivi resistori R2 e R3. L'anodo di Z1 e il catodo di Z2 sono collegati alla massa GND.

Le tensioni che nel funzionamento si sviluppano ai capi dei diodi Z1 e Z2 nelle figure 2 e 3 sono state indicate con V1 e V2.

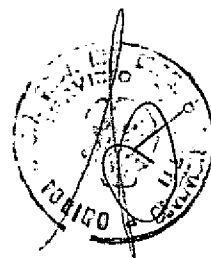
Il sensore H ha i terminali di alimentazione collegati al catodo di Z1 e, rispettivamente, all'anodo di Z2.

Come mostrato dai grafici della figura 3, nel funzionamento ad ogni semionda positiva della tensione alternata V_M il diodo zener Z1 è polarizzato inversamente, mentre il diodo zener Z2 è polarizzato direttamente. Ne consegue ad ogni semionda positiva di V_M la tensione V1 su Z1 è pari alla tensione di zener (ad esempio 12V), mentre la tensione V2 su Z2 è pari alla caduta di tensione in conduzione diretta del diodo Z2 (dell'ordine di circa 1V o inferiore).

Ad ogni semionda negativa di V_M il diodo Z1 è polarizzato direttamente, mentre il diodo Z2 è polarizzato inversamente.

Ne consegue che l'andamento delle tensioni V1 e V2 è sostanzialmente come mostrato nella figura 3: ciascuna di tali tensioni è isofrequenziale ed in fase con la tensione di rete V_M ed inoltre l'ampiezza o livello di ciascuna di tali tensioni è indicativa della polarità di V_M .

La tensione fra i terminali di alimentazione



del sensore H, indicata con V_H nella figura 2 (in cui non è riferita alla massa GND, bensì al potenziale dell'anodo di Z2) corrisponde alla differenza fra V_1 e V_2 , ed assume dunque l'andamento mostrato nella figura 3. Come appare da tale figura la tensione V_H applicata fra i terminali di alimentazione del sensore H è una tensione a valore medio non nullo.

L'uscita del sensore H è indicata con h, e la tensione fra tale uscita e l'anodo del diodo zener Z2 è indicata con V_h . Il segnale V_h è un segnale di tipo logico, che assume ad esempio un livello "alto" quando al sensore è affacciato un polo nord del rotore R ed un livello "basso" quando al sensore è affacciato un polo sud.

Il gate g del TRIAC T è collegato ad un circuito di pilotaggio complessivamente indicato con PC.

Nella realizzazione mostrata nella figura 2 il circuito di pilotaggio PC comprende una coppia di diodi D1, D2, connessi in antiparallelo fra l'uscita h del sensore H ed il gate g del TRIAC T. Un resistore R4 è collegato fra l'anodo di D1 ed il catodo di Z1. In serie al diodo D2 è connesso un resistore R5.

La corrente fluente nel funzionamento nel moto-

re è stata indicata con I_M nelle figure 2 e 3. Tale corrente è tipicamente sfasata in ritardo rispetto alla tensione alternata di alimentazione V_M , poiché il motore rappresenta un'impedenza a reattanza induttiva. La corrente che fluisce nel motore è sostanzialmente identica alla corrente che fluisce nel TRIAC T, per cui nel seguito tale corrente verrà indifferentemente definita come corrente fluente nel motore o corrente fluente in detto TRIAC.

Il circuito di controllo sopra descritto con riferimento alla figura 2 funziona nel modo seguente.

All'avviamento, cioè quando viene applicata la tensione alternata V_M fra i terminali M e N, al sensore H è affacciata una polarità ben precisa del rotore R (ad esempio il polo nord come è mostrato nella figura 1). Di conseguenza all'uscita h del sensore H è presente un segnale V_h al livello logico che corrisponde a tale polarità, ad esempio al livello "alto", come mostrato nella figura 3.

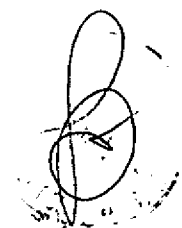
Se la prima semionda della tensione alternata V_M è positiva, come nel grafico della figura 3, durante tale semionda al gate g del TRIAC T perviene una corrente che fluisce attraverso i resistori R2, R4 ed il diodo D1. Pertanto il TRIAC T in tale prima

semionda è conduttivo, e nel motore ed in tale TRIAC fluisce una corrente I_M sfasata in ritardo rispetto alla semionda della tensione V_M , come mostrato nella figura 3. In tali condizioni il TRIAC è pilotato nel primo quadrante (corrente entrante nel gate, tensione positiva sul TRIAC). Il passaggio di corrente nel motore determina l'applicazione di un impulso di coppia motrice al rotore R che inizia ad avviarsi, accelerando in modo dipendente dal carico meccanico ad esso associato e dalla sua inerzia.

Nel corso della prima semionda negativa di V_M la corrente I_M passa per lo zero, e la conduzione di corrente attraverso il TRIAC si interrompe. In effetti se, come nella situazione illustrata nei grafici della figura 3, nel corso di tale prima semionda negativa il sensore H vede ancora la stessa polarità del rotore R che vedeva precedentemente, l'uscita h del sensore permane ancora a livello "alto" ed entrambi i diodi D1 e D2 sono di fatto interdetti, per cui al gate g del TRIAC T non viene applicato alcun segnale di comando dell'innesco della conduzione.

Il funzionamento prosegue sostanzialmente come sopra descritto, al rotore R essendo applicato un impulso di coppia ad ogni semionda della corrente

I_M , e ciò sino a che cambia la polarità del rotore R che si presenta innanzi al sensore H. Al verificarsi di tale situazione, indicata dall'istante t_1 nella figura 3, la tensione di uscita V_h del sensore H passa a livello "basso". Nei grafici della figura 3 si è supposto che l'istante t_1 cada nell'ambito di una semionda positiva, successivamente all'inizio del passaggio della corrente I_M nel TRIAC e nel motore. Il passaggio V_h a livello "basso" non interrompe il flusso di corrente attraverso il TRIAC ed il motore. Piuttosto, al sopraggiungere della successiva semionda negativa di V_M , l'uscita h di H (a livello basso) determina la polarizzazione inversa di D1 e la polarizzazione diretta di D2. Di conseguenza una corrente può fluire, uscendo dal gate g di T, passando attraverso R5, D2, il sensore H ed il resistore R3. In tale situazione il TRIAC T risulta pilotato nel terzo quadrante (corrente uscente, tensione negativa) e la corrente I_M dopo l'istante t_1 prosegue come è mostrato nella figura 3. Nel grafico di I_M della figura 3 l'area tratteggiata corrisponde al periodo di tempo in cui la coppia applicata al rotore R per effetto della corrente fluente nell'avvolgimento 1 non è motrice, bensì resistente, cioè in contrasto con la direzione



di rotazione del rotore R.

Dopo l'istante t_1 il TRIAC T continua ad essere pilotato periodicamente nel terzo quadrante, sino a che l'uscita del sensore H permane a livello basso. Ad ogni semionda negativa della corrente corrisponde l'applicazione di un impulso di coppia motrice al rotore, che prosegue nella sua accelerazione.

Il funzionamento prosegue essenzialmente nel modo sopra descritto sino a che a seguito della progressiva accelerazione il rotore R si porta in sincronismo, cioè sino a che l'uscita del sensore h diviene isofrequenziale ed in fase con la corrente fluente nel motore.

Raggiunto il sincronismo, la velocità di rotazione del rotore R si stabilizza ad un valore strettamente legato alla frequenza della tensione V_M di alimentazione, nonché al numero di poli del motore. Nel caso di un motore sincrono a due poli di statore e due poli di rotore alimentato con tensione di rete ad una frequenza di 50 Hz la velocità di sincronismo corrisponde a 3000 giri/minuto.

Come la descrizione precedente permette di apprezzare, il circuito di pilotaggio PC fornisce al gate g del TRIAC T un segnale di comando che è funzione del livello dell'uscita del sensore H e dunque

della posizione angolare del rotore R, nonché della polarità della tensione di alimentazione V_M . Nel circuito di controllo secondo la figura 2 il circuito a diodi DC attua allo stesso tempo la funzione di generare la tensione di alimentazione necessaria al sensore H, e di fornire al circuito di pilotaggio PC l'informazione circa la polarità della tensione di alimentazione V_M . Tale sinergismo funzionale consente di ridurre vantaggiosamente il numero di componenti e dunque l'ingombro dell'intero circuito di controllo.

I sensori ad effetto Hall attualmente disponibili hanno tipicamente un'uscita di tipo "open collector". Il circuito di pilotaggio PC mostrato nella figura 2 tiene conto di tale circostanza.

Nel circuito secondo la figura 2 le correnti fluenti nei resistori R2 e R3 sono in generale diverse fra loro, la corrente fluente in R3 essendo in particolare circa doppia di quella fluente in R2.

Volendo ridurre la dissipazione nei resistori R2 e R3, facendo in modo che la corrente fluente nel funzionamento in R3 divenga sostanzialmente uguale a quella fluente in R2, si può adottare un circuito di pilotaggio PC avente la struttura mostrata nella figura 4. In tale figura a parti e componenti già

descritti sono stati attribuiti nuovamente gli stessi numeri di riferimento. Il circuito di pilotaggio PC della figura 4 comprende un transistor Q_0 di tipo npn, con la base collegata all'uscita h del sensore H, l'emettitore collegato al gate g del TRIAC T attraverso un resistore R_6 , ed il collettore collegato al catodo di Z1. Un diodo D2 ha l'anodo ed il catodo rispettivamente collegati all'emettitore ed alla base di Q_0 . Tale diodo è connesso in antiparallelo alla giunzione base-emettitore di Q_0 .

Fra la base ed il collettore di Q_0 è collegato un resistore R'_4 che presenta convenientemente una resistenza assai più elevata di quella del resistore R_4 della figura 2. In particolare la resistenza di R'_4 è circa 8 volte la resistenza di R_4 , 8 essendo il guadagno di Q_0 .

Il funzionamento del circuito di pilotaggio PC della figura 4 è sostanzialmente analogo a quello del corrispondente circuito mostrato nella figura 2: la funzione del diodo D1 della figura 2 è di fatto compiuta dalla giunzione base-emettitore del transistor Q_0 . Peraltro, essendo la resistenza di R'_4 assai più elevata di quella di R_4 , si ha una riduzione della dissipazione e si può tendenzialmente uguagliare l'intensità delle correnti che nel fun-

zionamento fluiscono nei resistori R2 e R3, con complessiva riduzione della dissipazione nel circuito di controllo associato al motore.

Al fine di ridurre la dissipazione un'ulteriore provvedimento può consistere ad esempio nel realizzare il circuito a diodi DC nel modo illustrato nella figura 5, in cui i rami circuitali comprendenti R2 e Z1 e, rispettivamente, R3 e Z2, sono accoppiati alla sorgente di tensione alternata V_M tramite un trasformatore TR che provvede a ridurre il livello della tensione alternata che viene applicata a tali rami circuitali. Questa soluzione, che può essere applicata al circuito secondo la figura 2, sia a quello secondo la figura 4, consente di ridurre efficacemente la dissipazione termica, ma implica un maggior costo, peso ed ingombro per la presenza del trasformatore TR.

Un'ulteriore soluzione che consente di ridurre la dissipazione termica nei resistori R2 e R3 è illustrata nella figura 6, nella quale a parti e componenti già descritti sono stati attribuiti nuovamente gli stessi simboli di riferimento.

Tale soluzione si basa sul pilotare il gate g del TRIAC T in modo impulsivo anziché continuativo.

A tale scopo il circuito di pilotaggio PC com-

prende un condensatore C collegato all'uscita h del sensore H tramite un resistore R7, e alla giunzione fra i diodi zener Z1 e Z2. Fra l'uscita del sensore H ed il catodo di Z1 è collegato un resistore R8. In parallelo al condensatore C è collegato un resistore R9 che ha una resistenza sensibilmente maggiore di R7 e R8.

Nel funzionamento, in fase di avviamento della rotazione del motore, quando la tensione alternata di alimentazione V_M presenta una semionda positiva e l'uscita del sensore è a livello "alto", il condensatore C si carica molto velocemente.

Tramite un diodo D3 il condensatore C è collegato ad un interruttore a soglia formato da due transistori Q1 e Q2, rispettivamente di tipo pnp e npn, collegati fra loro come mostrato nella figura 6. In particolare, il collettore di Q1 e la base di Q2 sono collegati alla giunzione tra Z1 e Z2 attraverso un resistore R10. La base di Q1 ed il collettore di Q2 sono collegati alla giunzione fra due resistori R11 e R12, in serie al percorso collettore-emettitore di un transistor Q3 di tipo npn. Tale transistor ha l'emettitore connesso alla massa GND, e la base collegata tramite un resistore R13 al terminale non a massa del TRIAC T.

L'emettitore di Q2 è collegato al gate g di T tramite un resistore R14.

Come si è detto in precedenza, quando la tensione V_M presenta una semionda positiva ed il segnale V_h è a livello "alto", il condensatore C si carica rapidamente e quindi, non appena la tensione ai suoi capi è tale da determinare il passaggio in conduzione di Q1 e Q2, tale condensatore si scarica sul gate g del TRIAC T attraverso il diodo D3, i transistori Q1 e Q2, ed il resistore R14. Come è mostrato nella figura 7, l'impulso applicato al gate del TRIAC T (indicato con i) è ritardato rispetto all'inizio della semionda positiva di V_M . Tale impulso determina il passaggio in conduzione di T, attraverso il quale può quindi fluire una corrente I_M , che attraversa l'avvolgimento statorico del motore.

Se nel corso della successiva semionda negativa di V_M il segnale V_h permane a livello "alto" (come è mostrato nel secondo semiperiodo di V_M nella figura 7), la conduzione di corrente nel TRIAC T si estingue non appena la corrente I_M si annulla. Al venir meno del passaggio della corrente in T, il transistor Q3, che prima era interdetto, diviene ora conduttivo. I resistori R11 e R12 formano allora un

partitore di tensione, a cui è collegato il collettore di Q2. Di conseguenza la soglia di passaggio in conduzione di Q1 e Q2 viene innalzata. Oltre a tale innalzamento della soglia, nel corso della durata di detta semionda negativa di V_M , pur rimanendo V_H a livello "alto", il condensatore C si carica ad una tensione decisamente bassa (circa 1V o inferiore) e dunque insufficiente a determinare il passaggio in conduzione Q1 e Q2. Si ha pertanto che nella semionda negativa di V_M il condensatore C non determina l'applicazione di alcun impulso al gate g del TRIAC T.

Alla successiva semionda positiva di V_M (come nel terzo semiperiodo di V_M nella figura 7) se V_H è ancora a livello "alto" il condensatore C si carica nuovamente in modo assai rapido ad un valore di tensione tale da riportare in conduzione Q1 e Q2, e quindi tale condensatore si scarica sul gate g di T, come precedentemente descritto. Il corrispondente impulso i applicato al gate del TRIAC T innesca nuovamente il passaggio della corrente I_M . Il transistor Q3 rimane interdetto sino a che si ha passaggio di corrente nel TRIAC T.

Il funzionamento del circuito procede come sopra descritto sino a quando la polarità del rotore

LIBRARY OF THE
BIBLIOTECA DI
FISICA
E
MATEMATICA
DELLA
UNIVERSITA' DI
TORINO

R presentata al sensore H è tale da determinare il passaggio del segnale V_h a livello "basso", come è mostrato all'istante t_1 nella figura 7. Tale figura si riferisce esemplificativamente ad una situazione in cui l'istante t_1 si presenta durante una semionda positiva di V_M .

Dopo l'istante t_1 la corrente I_M continua a fluire nel motore e nel TRIAC T, anche dopo l'istante t_2 d'inizio della successiva semionda negativa di V_M , sino a quando tale corrente si annulla all'istante t_3 .

A partire dall'istante t_2 si è simultaneamente in presenza di una semionda negativa di V_M e di V_h a livello "basso". Di conseguenza a partire dall'istante t_2 il condensatore C si carica rapidamente ad un valore di tensione elevato e di segno opposto rispetto alla tensione a cui si caricava in corrispondenza delle semionde positive di V_M .

Il condensatore C è collegato tramite un diodo D103 ad un ulteriore interruttore a soglia formato da due transistori Q101 e Q102 con disposizione essenzialmente speculare rispetto a quella dell'interruttore a soglia formato dai transistori Q1 e Q2. La base di Q102 ed il collettore di Q101 sono collegati alla massa GND attraverso un resistore R110. La base



di Q101 ed il collettore di Q102 sono collegati alla giunzione fra due resistori R111 e R112. Il resistore R111 è collegato all'anodo di Z2. In serie a R112 è collegato il percorso collettore-emettitore di un transistor Q103 che ha l'emettitore collegato alla massa GND, e la base collegata a quella del transistor Q3.

La parte circuitale ora descritta, comprendente il diodo D103, i transistori Q101, Q102 e Q103 ed i resistori R110, R111 e R112 è essenzialmente speculare alla parte circuitale formata dal diodo D3, dai transistori Q1, Q2 e Q3 e dai resistori R10, R11 e R12. Quest'ultima parte circuitale interviene nel funzionamento dell'intero circuito di controllo quando il segnale V_h è a livello "alto", come descritto in precedenza, mentre la parte circuitale sottostante, ad essa speculare, interviene quando il segnale V_h è a livello "basso".

In particolare, quando il segnale V_h è a livello "basso" e la tensione alternata di alimentazione V_M è in una semionda negativa (come nel quarto semiperiodo di V_M nella figura 7), il condensatore C si carica rapidamente ad una tensione elevata di segno opposto a quella a cui si carica quando V_h è "alto" e V_M è in semionda positiva. La tensione sul conden-

satore C cresce in particolare fino a quando i transistori Q101 e Q102 passano in conduzione, consentendo quindi la scarica del condensatore C sul gate g del TRIAC T, che viene allora reso conduttivo.

L'impulso applicato al gate g di T presenta un ritardo rispetto all'inizio della semionda negativa della tensione di alimentazione V_M , legato alla costante di tempo di carica del condensatore C.

Tale ritardo potrebbe essere tale per cui, subito dopo la commutazione di V_h da livello "alto" a livello "basso", il primo impulso negativo potrebbe essere applicato al gate del TRIAC T, mentre quest'ultimo è ancora conduttivo, cioè tra gli istanti t_2 e t_3 della figura 7, come è indicato dall'impulso tratteggiato in tale figura. Tale situazione deve essere evitata, in quanto l'impulso negativo in questione sarebbe del tutto inefficace ed inutile, e non si riuscirebbe poi a reinnescare la conduzione di corrente nel TRIAC T dopo l'istante t_3 nel corso della semionda negativa di V_M . Tale situazione viene evitata con il circuito della figura 6 grazie al meccanismo di variazione del livello della soglia di tensione per il quale l'interruttore Q101-Q102 passa in conduzione. Tale soglia viene infatti controllata dal transistor Q103, che è inter-

detto quando T è in conduzione. Dunque, con riferimento alla figura 7, fra gli istanti t_2 e t_3 il transistor Q103 è interdetto, e la tensione sul condensatore C non riesce a far passare i transistori Q101 e Q102 in conduzione. Dopo l'istante t_3 il TRIAC non conduce più corrente, ed il transistor Q103 diviene conduttivo, abbassando la soglia associata ai transistori Q101 e Q102 ad un valore di tensione relativamente più basso, determinato dal partitore di tensione formato dai resistori R111 e R112. Dopo l'istante t_3 la tensione sul condensatore C riesce allora a superare tale soglia abbassata, facendo passare in conduzione i transistori Q101 e Q102, che consentono a loro volta la scarica del condensatore C sul gate del TRIAC T in un istante indicato con t_4 nella figura 7 in corrispondenza del quale dunque riprende il passaggio di corrente attraverso il TRIAC T.

Il transistor Q103 e gli associati resistori R111 e R112 da una parte, ed il transistor Q3 e gli associati resistori R11 e R12 dall'altra abilitano dunque l'applicazione al gate del TRIAC T del primo impulso successivo ad un cambio di livello del segnale V_h soltanto dopo che è cessato il passaggio di corrente nel TRIAC T.

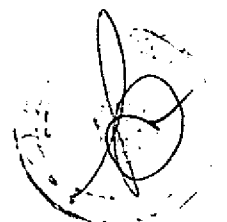
E' da notare che con il meccanismo di variazione della soglia sopra descritto il primo impulso applicato al gate del TRIAC T dopo una transizione di livello del segnale V_h ha un'ampiezza maggiore di quella degli altri, in quanto il ritardo che viene imposto alla scarica del condensatore consente a tale condensatore di raggiungere un livello di tensione più elevato.

Nel circuito di controllo secondo la figura 6 la dissipazione termica nei resistori R2 e R3 viene praticamente limitata ai tempi di carica del condensatore C, e dunque a tempi estremamente brevi.

Il circuito della figura 6 comprende infine una coppia di condensatori C2, C102, disposti specularmente, per la soppressione dei disturbi.

Nella figura 8 è illustrata un'ulteriore variante di realizzazione del circuito di controllo secondo l'invenzione. In tale figura a parti e componenti già descritti sono stati attribuiti nuovamente gli stessi numeri di riferimento.

Nello schema secondo la figura 8 il circuito a diodi DC comprende un unico diodo zener Z0 che ha l'anodo collegato al terminale M attraverso un resistore R20 ed il catodo collegato alla massa GND. I terminali di alimentazione del sensore H sono col-



legati al catodo del diodo zener Z0, e all'anodo di quest'ultimo attraverso un diodo D5. Un condensatore CO è collegato essenzialmente in parallelo al diodo zener Z0, per livellare la tensione che viene applicata tra i terminali di alimentazione del sensore H.

Come mostrato nella figura 9, la tensione VO che nel funzionamento si localizza ai capi del diodo zener Z0 è isofrequenziale ed in fase con la tensione alternata di alimentazione V_M . La tensione VO ha un valore medio non nullo, per cui consente di alimentare il sensore H ed inoltre il suo livello è indicativo della polarità della tensione V_M .

L'anodo del diodo zener Z0 è collegato all'ingresso pc del circuito di pilotaggio PC. Tale circuito comprende un transistor Q5 di tipo npn, che ha il collettore collegato al gate g del TRIAC T attraverso un resistore R21, e l'emettitore collegato all'anodo del diodo D5. L'emettitore di tale transistor è collegato inoltre alla base dello stesso attraverso un resistore R22.

L'ingresso pc del circuito di pilotaggio PC è collegato alla base del transistor Q5 attraverso un resistore R23 e due diodi D6 e D7, collegati come è mostrato nella figura 8.

Un diodo D8 ha l'anodo collegato al resistore R23 ed il catodo collegato all'uscita del sensore H.

L'ingresso pc del circuito di pilotaggio PC è collegato alla base di un ulteriore transistor Q6 tramite un resistore R24. Il transistor Q6 è di tipo pnp, ed ha il collettore collegato all'anodo di D7 tramite un resistore R25, e l'emettitore collegato al collettore di un transistor Q7, parimenti di tipo pnp. Quest'ultimo transistor ha l'emettitore collegato al catodo del diodo zener Z0 e la base collegata alla giunzione di due resistori R26 e R27 collegati a guisa di partitore di tensione fra il catodo del diodo zener Z0 e l'uscita h del sensore H.

Il circuito secondo lo schema della figura 8 funziona nel modo seguente.

Si supponga che la prima semionda della tensione alternata di alimentazione V_m sia positiva, ed il segnale V_h all'uscita del sensore H sia a livello "alto", come mostrato nei grafici della figura 9. In tali condizioni la tensione V_0 sul diodo zener Z0, relativamente alla massa GND, è uguale alla piccola tensione che si localizza su tale diodo che è polarizzato direttamente. I transistori Q6 e Q7 sono interdetti, in quanto l'uscita del sensore H è a li-

vello "alto". Il transistor Q5 è invece pilotato in conduzione per effetto della corrente che gli perviene in base attraverso R23, D6 e D7. Il collettore P di tale transistor si porta dunque ad un potenziale sostanzialmente corrispondente a quello del suo emettitore determinando l'innesco del TRIAC T. La tensione fra il collettore P di Q5 e la massa GND è indicata dalla forma d'onda V_p nella figura 9. A seguito dell'innesco del TRIAC T, nel motore circola una corrente I_M , sfasata in ritardo rispetto alla semionda positiva di V_M , come mostrato nella figura 9.

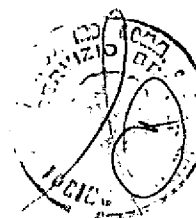
Alla prima semionda negativa di V_M la tensione VO sul diodo zener Z0 diviene negativa, e sostanzialmente uguale alla tensione di zener di tale diodo. La corrente I_M continua a fluire nel motore sino a che si annulla, dopodiché essa si estingue, in quanto il TRIAC si interdice. Se, come mostrato nei grafici esemplificativi della figura 9, la tensione V_h all'uscita del sensore H permane a livello "alto", i transistori Q6 e Q7 permangono nello stato di interdizione. Anche il transistor Q5 è interdetto, ed il TRIAC T non viene portato in conduzione durante la semionda negativa di V_M .

Il funzionamento prosegue nel modo sopra de-

scritto fino a quando, a seguito della progressiva rotazione del rotore del motore, il segnale V_h all'uscita del sensore H passa a livello "basso" come è mostrato all'istante t_1 nella figura 9. In tale figura si è supposto che detto istante si verifichi mentre la tensione alternata V_M presenta una semionda positiva.

La transizione a livello "basso" di V_h ha l'effetto di polarizzare il transistor Q7. Il transistor Q6 passa in conduzione non appena inizia la successiva semionda negativa di V_M , e perviene allora una corrente alla base di Q5 attraverso i transistori Q7, Q6, il resistore R25 ed il diodo D7. Il transistor Q5 viene mantenuto conduttivo per l'intera semionda negativa di V_M , per cui la corrente I_M continua a fluire nel TRIAC e nel motore anche dopo il passaggio per lo zero, divenendo negativa, come mostrato nel grafico inferiore della figura 9. In tale figura l'area tratteggiata nel grafico della corrente I_M corrisponde al periodo di tempo in la corrente I_M determina l'applicazione al rotore di una coppia resistente.

Successivamente, fintantoché V_h permane a livello "basso" si ha un passaggio di semionde negative di corrente nel motore, sfasate in ritardo



rispetto alle semionde negative di V_M . Quando il segnale V_h ritorna a livello "alto" nel motore passano semionde positive di corrente, sfasate in ritardo rispetto alle semionde positive di V_M .

Il funzionamento prosegue quindi come sopra descritto, sino a che, per effetto delle successive accelerazioni, il rotore del motore si porta in sincronismo con la frequenza della tensione di rete V_M .

In condizioni di sincronismo il segnale V_h risulta perfettamente isofrequenziale ed in fase con la corrente fluente nel motore.

Nella variante di realizzazione mostrata nella figura 10 il circuito a diodi DC comprende due diodi zener Z3 e Z4. L'anodo del diodo Z3 è collegato all'ingresso pc del circuito di pilotaggio PC, che ha una struttura corrispondente a quella sopra descritta con riferimento alla figura 8. L'anodo di Z3 è inoltre collegato al terminale M attraverso un resistore R30.

Il diodo zener Z4 ha il catodo collegato alla massa GND, e l'anodo collegato al terminale M attraverso un condensatore C5 ed un resistore R31 fra loro connessi in serie. L'anodo di Z4 è inoltre collegato al catodo del diodo D5.

Nel circuito secondo la figura 10 l'alimenta-

zione del sensore H è assicurata tramite il resistore R31, il condensatore C5 ed il diodo zener Z4. Il resistore R31 in particolare protegge il diodo zener Z4 (ed il diodo D5) dai picchi di corrente. La tensione che si localizza sul diodo zener Z4, livellata dal condensatore C5 assicura dunque l'alimentazione al sensore H. Si rileva tuttavia che per la presenza del condensatore C5 il potenziale dell'anodo di Z4 rispetto alla massa GND risulta sfasato in anticipo rispetto alla tensione alternata di alimentazione V_M .

Peraltro il potenziale dell'anodo del diodo zener Z3 rispetto alla massa GND è invece esattamente in fase con la tensione V_M , e può dunque pilotare l'ingresso pc del circuito di pilotaggio PC fornendo a tale ingresso un segnale isofrequenziale ed in fase con V_M ed indicativo della polarità di V_M . Tale segnale è stato indicato con V3 nelle figure 10 ed 11.

A parte le differenze strutturali sopra evidenziate, il circuito della figura 10 corrisponde sostanzialmente a quello della figura 8 ed il suo funzionamento è del tutto analogo a quello di tale circuito.

Nella figura 11 sono stati riportati andamenti

esemplificativi di V_M , V_3 , V_h , della corrente di gate I_g del TRIAC T e della corrente I_M che fluisce nel motore e nel TRIAC nel funzionamento del circuito della figura 10. Tali grafici sono autoesplicativi, e non necessitano dunque di ulteriori commenti.

Il circuito secondo la figura 10 presenta rispetto a quello della figura 8 il vantaggio di una minore dissipazione termica. Si rileva che il resistore R31, destinato a proteggere il diodo zener Z4 da picchi di corrente, potrebbe essere costituito anche da un resistore PCT.

Naturalmente, fermo restando il principio del trovato, le forma di attuazione ed il particolari di realizzazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto è stato descritto ed illustrato a puro titolo di esempio non limitativo, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione.

20001361 EMBETE 0.1.1980
GAC

RIVENDICAZIONI

1. Circuito di controllo per un motore elettrico sincrono di tipo brushless includente un rotore a magnete permanente (R) girevole fra terminazioni polari di statore (5, 6) sagomate in modo da definire rispetto al rotore (R) un traferro (7) di ampiezza disuniforme per cui il rotore (R) a riposo si dispone in una posizione angolare prefissata (α) e all'avviamento presenta una direzione di rotazione preferenziale;

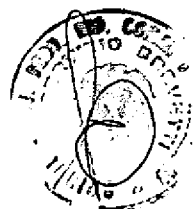
il circuito di controllo essendo caratterizzato dal fatto che comprende in combinazione

- un interruttore statico bidirezionale (T) in serie all'avvolgimento di statore (1), fra i terminali (M, N) di una sorgente di tensione alternata (V_M);

- mezzi circuitali generatori di segnale (Z1, Z2; Z0; Z3) atti a fornire un segnale indicativo della polarità di detta tensione alternata (V_M);

- un sensore elettrico fisso (H), associato al rotore (R), per fornire un segnale (V_h) indicativo della polarità della porzione del rotore (R) ad esso affacciata; e

- un circuito di pilotaggio (PC) collegato al sensore (H) e a detti mezzi circuitali generatori di



segnale ($Z_1, Z_2; Z_0; Z_3$), e predisposto per fornire un segnale di controllo della conduzione ad un terminale di comando (g) di detto interruttore (T) secondo modalità predeterminate, in funzione della posizione del rotore (R) e della polarità della tensione alternata di alimentazione (V_M).

2. Circuito di controllo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti mezzi alimentatori e detti mezzi circuitali generatori di segnale sono costituiti da un unico circuito a diodi (DC) accoppiato a detta sorgente di tensione alternata (V_M), includente almeno un diodo zener ($Z_1, Z_2; Z_0; Z_3, Z_4$) ed atto a fornire una tensione ($V_H; V_0$) per l'alimentazione del sensore (H), ed un segnale di tensione ($V_1, V_2; V_0; V_3$) in fase con la tensione di detta sorgente di tensione alternata (V_M) ed indicativo della sua polarità.

3. Circuito di controllo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detto circuito a diodi (DC) comprende:

- un primo diodo zener (Z_1) avente il catodo accoppiato tramite un primo resistore (R_2) ad un primo terminale (M) della sorgente di tensione alternata (V_M) cui è collegato il motore (1), e l'anodo collegato al secondo terminale (N) di detta sorgente cui

è collegato l'interruttore bidirezionale (T); ed

- un secondo diodo zener (Z2) avente il catodo collegato all'anodo del primo diodo zener (Z1) e l'anodo accoppiato a detto primo terminale (M) della sorgente di tensione alternata (V_M) tramite un secondo resistore (R3);

i terminali di alimentazione di detto sensore (H) essendo collegati al catodo del primo diodo zener (Z1) ed all'anodo del secondo diodo zener (Z2).

4. Circuito di controllo secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detti primo e secondo resistore (R2, R3) sono accoppiati alla sorgente di tensione alternata (V_M) tramite un trasformatore riduttore di tensione (TR).

5. Circuito di controllo secondo la rivendicazione 3 o 4, caratterizzato dal fatto che il sensore è un sensore ad effetto Hall (H) ed il circuito di pilotaggio (PC) comprende una coppia di diodi (D1, D2) connessi in antiparallelo fra l'uscita del sensore (h) e l'ingresso di comando (g) dell'interruttore bidirezionale (T); l'uscita (h) del sensore (H) essendo collegata inoltre al catodo del primo diodo zener (Z1).

6. Circuito di controllo secondo la rivendicazione

3 o 4, caratterizzato dal fatto che il sensore è un sensore ad effetto Hall (H) ed il circuito di pilotaggio (PC) comprende un transistor (Q0) avente la base collegata all'uscita (h) del sensore (H) ed il percorso collettore-emettitore collegato fra il catodo di detto primo diodo zener (Z1) e l'ingresso di comando (g) dell'interruttore bidirezionale (T), ed un diodo (D2) avente l'anodo ed il catodo collegati fra l'emettitore e la base di detto transistor (Q0), in antiparallelo rispetto alla giunzione base-emettitore di detto transistor (Q0).

7. Circuito di controllo secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che fra la base ed il collettore di detto transistor (Q0) è interposto un terzo resistore (R'₄).

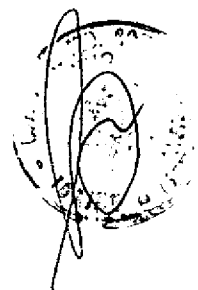
8. Circuito di controllo secondo la rivendicazione 3 o 4, caratterizzato dal fatto che detto sensore è un sensore ad effetto Hall (H) ed il circuito di pilotaggio (PC) comprende mezzi generatori di impulsi (C; Q1-Q3, Q101-Q103; R11, R12; R111, R112; R14) aventi l'ingresso collegato all'uscita (h) del sensore (H), e l'uscita collegata all'ingresso di comando (g) dell'interruttore bidirezionale (T); detti mezzi generatori di impulsi essendo predisposti per emettere un impulso positivo ad ogni semionda posi-

tiva della tensione (V_M) fra detti primo e secondo terminale (M, N) della sorgente di tensione alternata (V_M) quando l'uscita del sensore (h) è a livello alto, ed un impulso negativo ad ogni semionda negativa della tensione (V_M) fra detti primo e detto secondo terminale (M, N) quando l'uscita del sensore (H) è a livello basso.

9. Circuito di controllo secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che detti mezzi generatori di impulsi (C, Q1-Q3, Q101-Q103, R11, R12; R111, R112, R14) sono predisposti per generare detti impulsi positivi e rispettivamente negativi con un ritardo prefissato rispetto all'inizio di ciascuna semionda positiva e rispettivamente negativa della tensione alternata (V_M) di detta sorgente.

10. Circuito di controllo secondo la rivendicazione 8 o 9, caratterizzato dal fatto che detti mezzi generatori di impulsi comprendono:

- un condensatore (C) collegato fra l'uscita (h) del sensore (H) e la giunzione (GND) di detti primo e secondo diodo zener (Z1, Z2); ed
- un primo ed un secondo circuito interruttore a soglia (Q1-Q3; R11, R12; Q101-Q103, R111, R112) collegati fra detto condensatore (C) e l'ingresso di comando (g) di detto interruttore bidirezionale (T).



11. Circuito di controllo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 8 a 10, caratterizzato dal fatto che detti mezzi generatori di impulsi (C; Q1-Q3, R11, R12; Q101-Q103, R111, R112) comprendono mezzi circuitali di abilitazione (Q3; Q103) collegati a detto interruttore bidirezionale (T) e predisposti per abilitare l'emissione del primo impulso successivo ad un cambio di livello dell'uscita (h) del sensore (H) soltanto dopo che è cessato il passaggio di corrente in detto interruttore bidirezionale (T).

12. Circuito di controllo secondo le rivendicazioni 10 o 11, caratterizzato dal fatto che detti mezzi circuitali di abilitazione (Q3; Q103) sono collegati a detti interruttori a soglia (Q1, Q2; Q101, Q102) e sono predisposti per determinare l'innalzamento della soglia di detti interruttori (Q1, Q2; Q101, Q102) quando vi è passaggio di corrente nell'interruttore bidirezionale (T).

13. Circuito di controllo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detto circuito a diodi (DC) comprende un (primo) diodo zener (Z0; Z3) avente l'anodo accoppiato tramite un primo resistore (R20; R30) ad un primo terminale (M) della sorgente di tensione alternata (V_M) a cui è collegato il motore (1), ed il catodo collegato al secondo termina-

ESCLUSIVA CASERTA & FIGLI
S.p.A.

le (N) di detta sorgente a cui è collegato l'interruttore bidirezionale (T); l'anodo di detto (primo) diodo-zener (Z0; Z3) essendo collegato all'ingresso del circuito di pilotaggio (PC) per fornirgli nel funzionamento un segnale indicativo della polarità della suddetta tensione alternata (V_M).

14. Circuito di controllo secondo la rivendicazione 13, caratterizzato dal fatto che detto circuito a diodi (DC) comprende un solo diodo zener (Z0).

15. Circuito di controllo secondo la rivendicazione 13, caratterizzato dal fatto che detto circuito a diodi (DC) comprende un secondo diodo zener (Z4) avente l'anodo accoppiato tramite un secondo resistore (R31) a detto primo terminale (M) della sorgente di tensione alternata (V_M) ed il catodo collegato a quello di detto primo diodo zener (Z3); i terminali del sensore (H) essendo collegati al catodo e, rispettivamente, all'anodo di detto secondo diodo zener (Z4).

16. Circuito di controllo secondo una delle rivendicazioni 13 a 15, caratterizzato dal fatto che il circuito di pilotaggio (PC) comprende un primo transistor (Q5) avente la base collegata all'anodo di detto (primo) diodo zener (Z0; Z3) ed il percorso collettore-emettitore collegato fra l'ingresso di

Il tutto sostanzialmente come descritto ed illustrato e per gli scopi specificati.

PER INCARICO

Ing. Angelo GEBINO
N. 442. ARBO 468
(io proprio e per gli altri)

FIG. 1

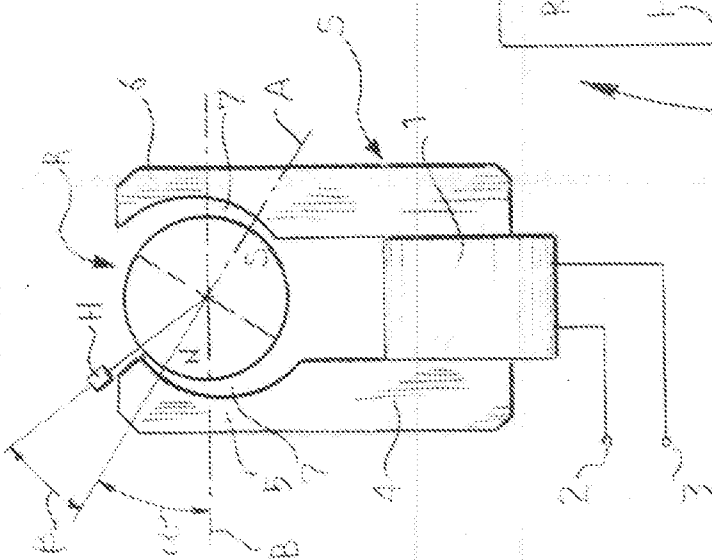
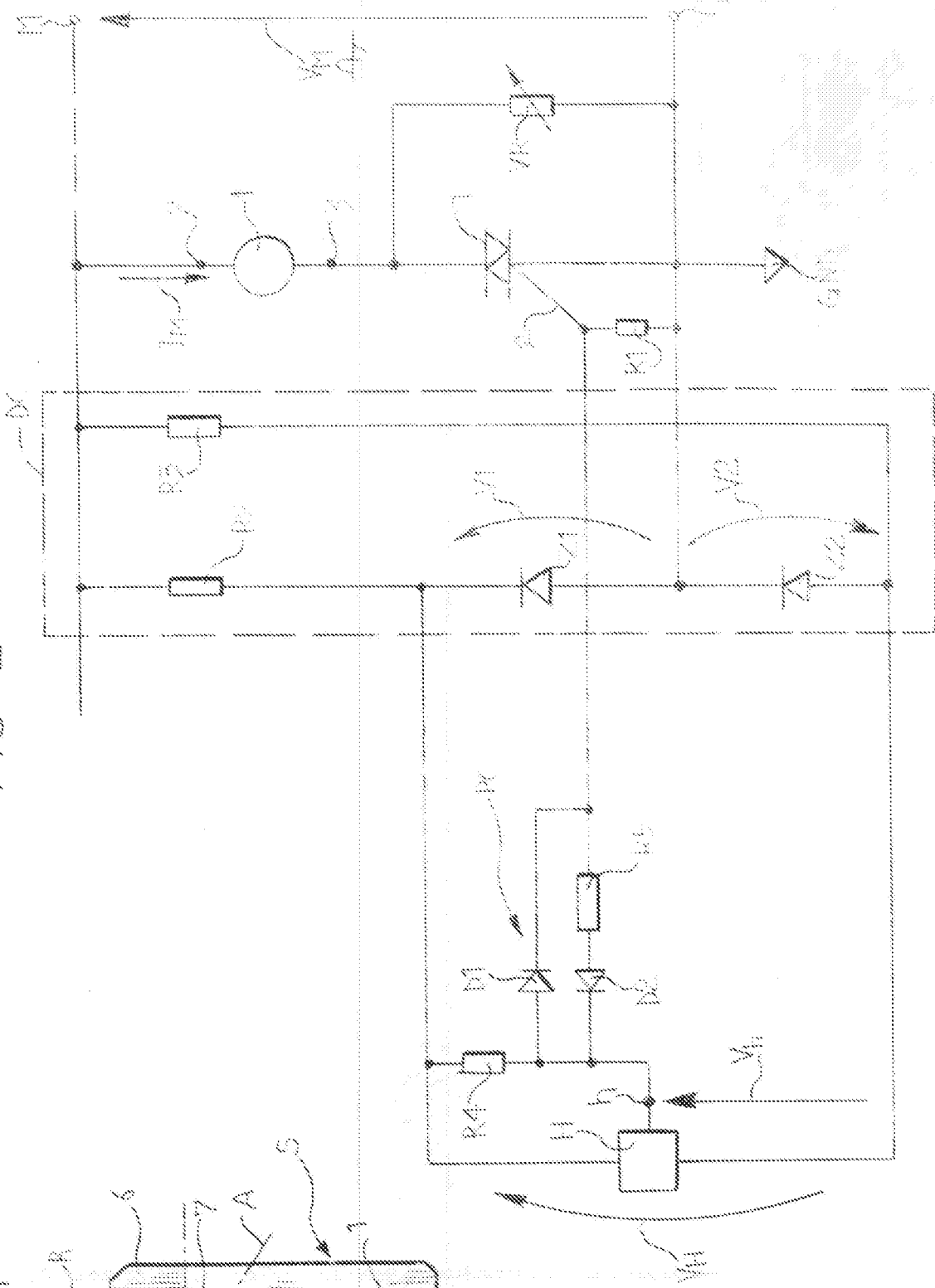


FIG. 2



Per incarico di : C.E.SET. S.R.L.

Ing. Mario MARCHELLI
 (in proprio e per gli altri)



C.E.SET

FIG. 3

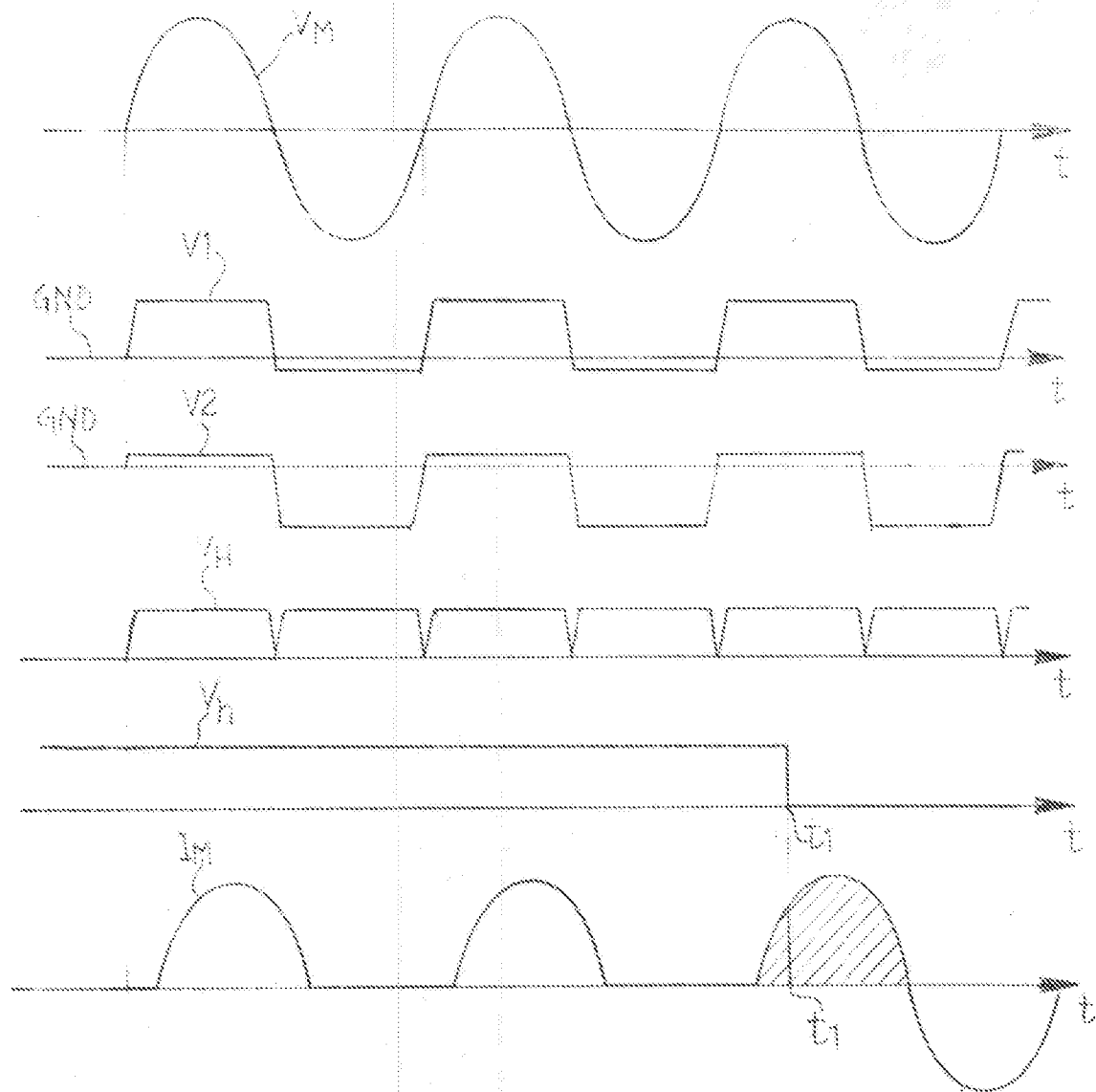
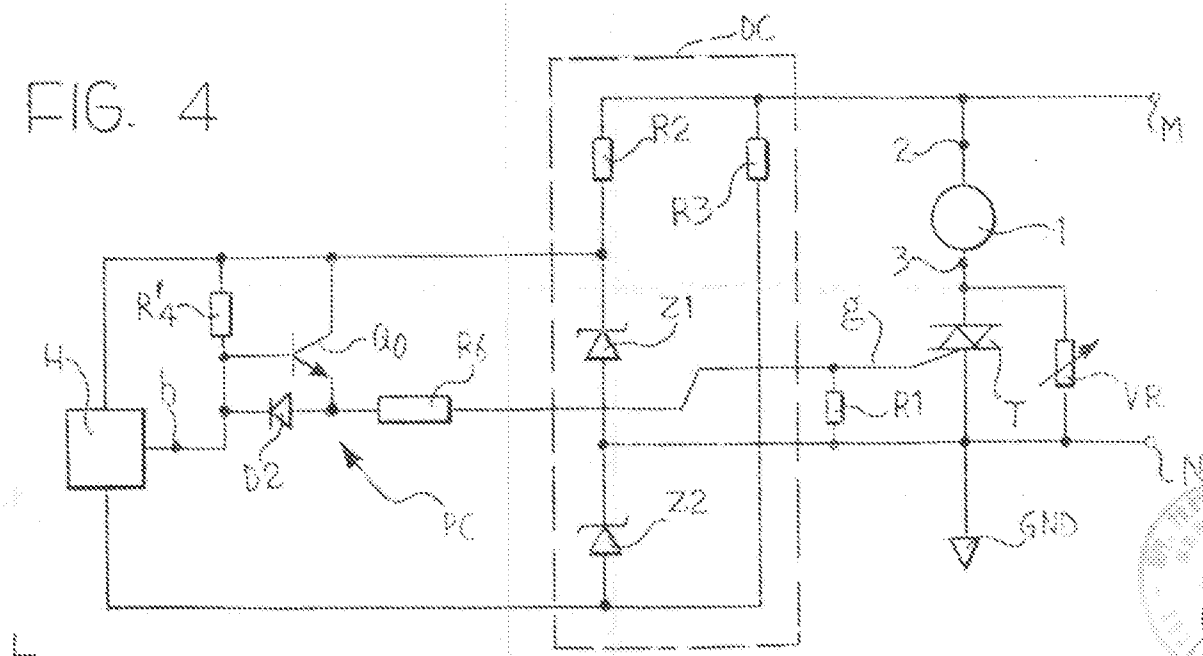


FIG. 4

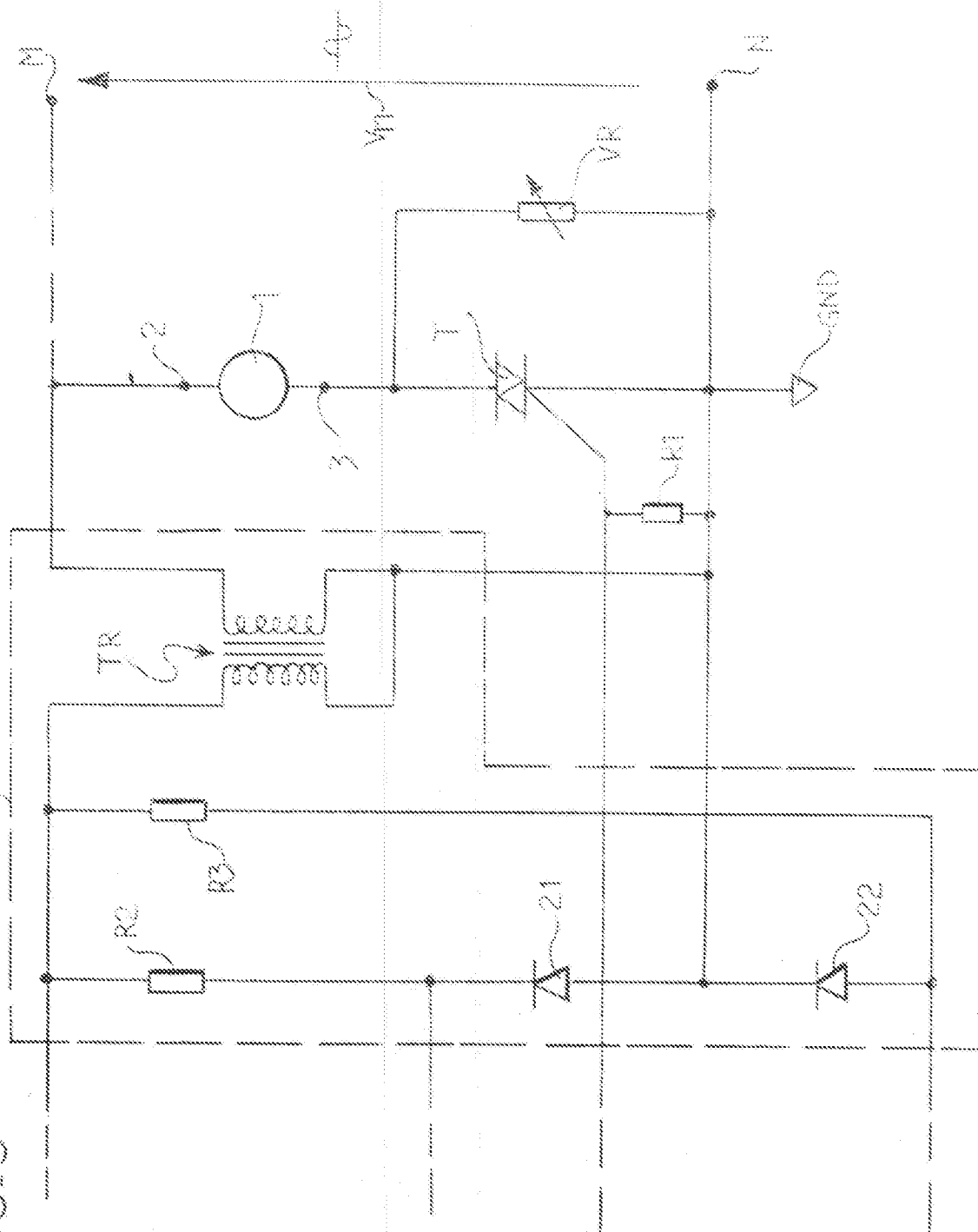


Per incarico di : C.E.SET. S.R.L.

Ing. Mauro MARCHITELLI
(in proprio e per gli altri)

C.E.SET.

FIG. 5



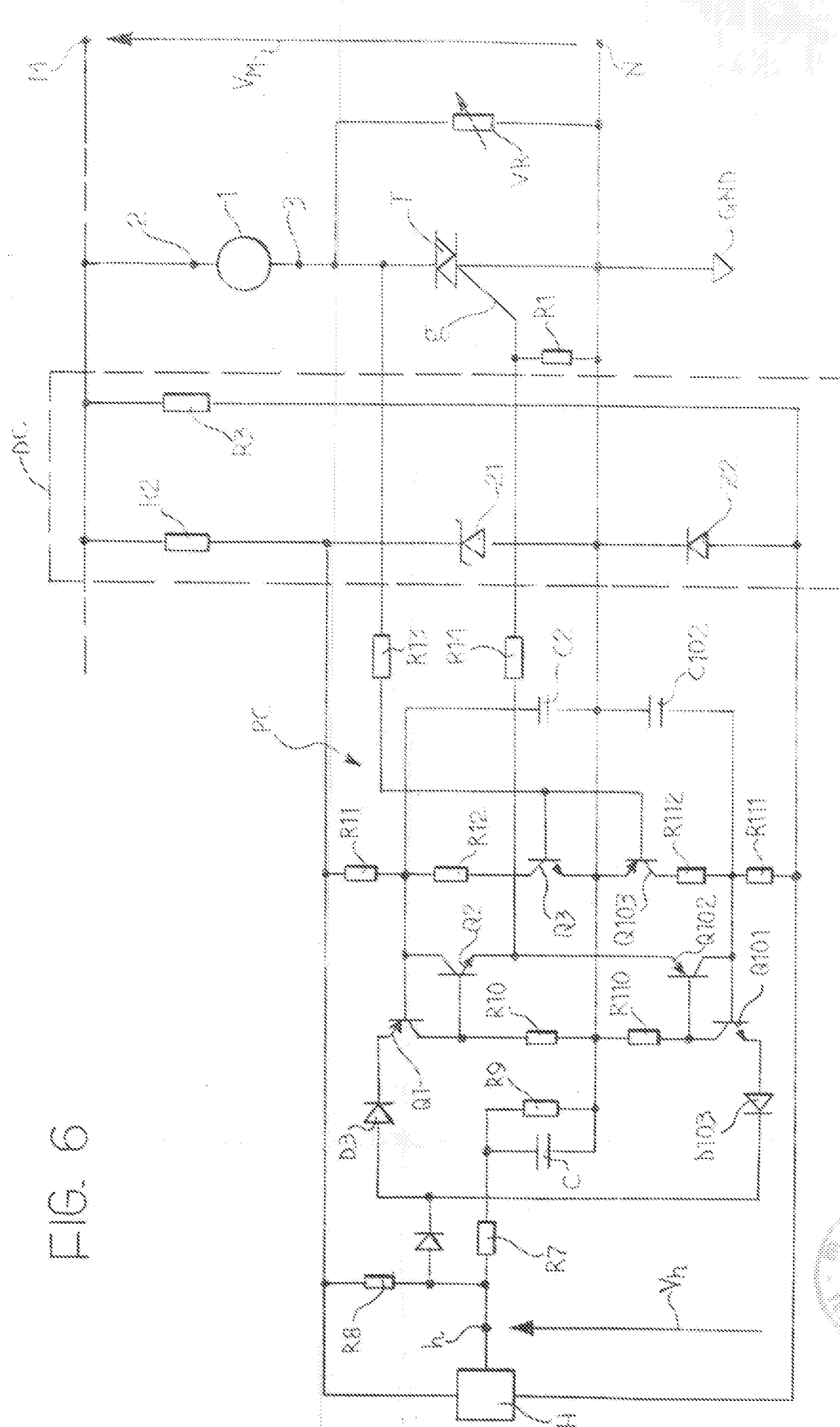
Per incarico di : C.E.SET. S.R.L.

Ing. Mauro MARCHITELLI
(in proprio e per gli altri)

23/9

C.E.SET

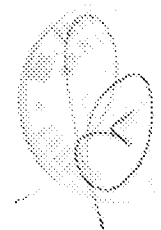
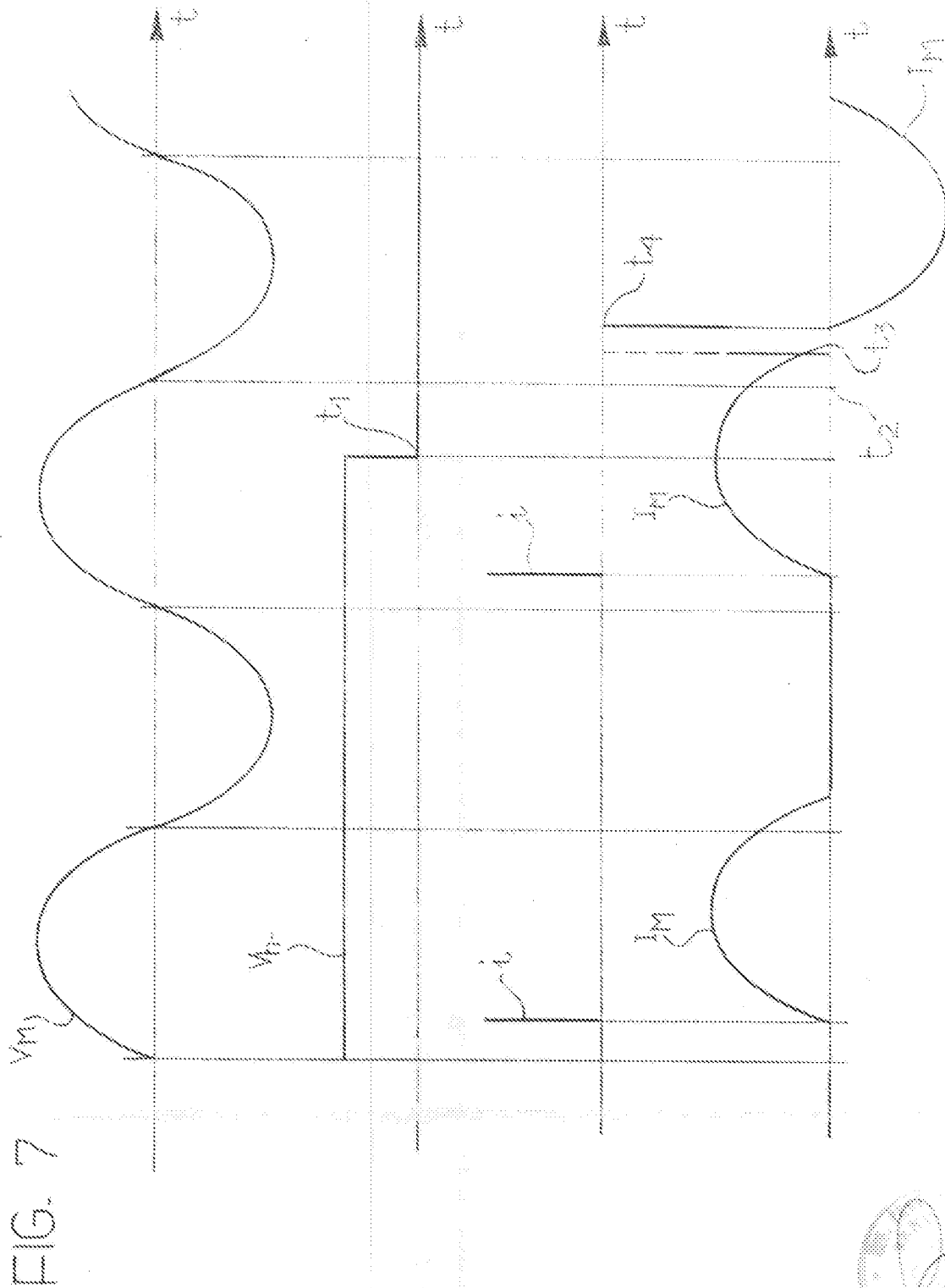
ω
ω'
ω



Per incarico di : C.E.SET. S.R.L.

[illegible]

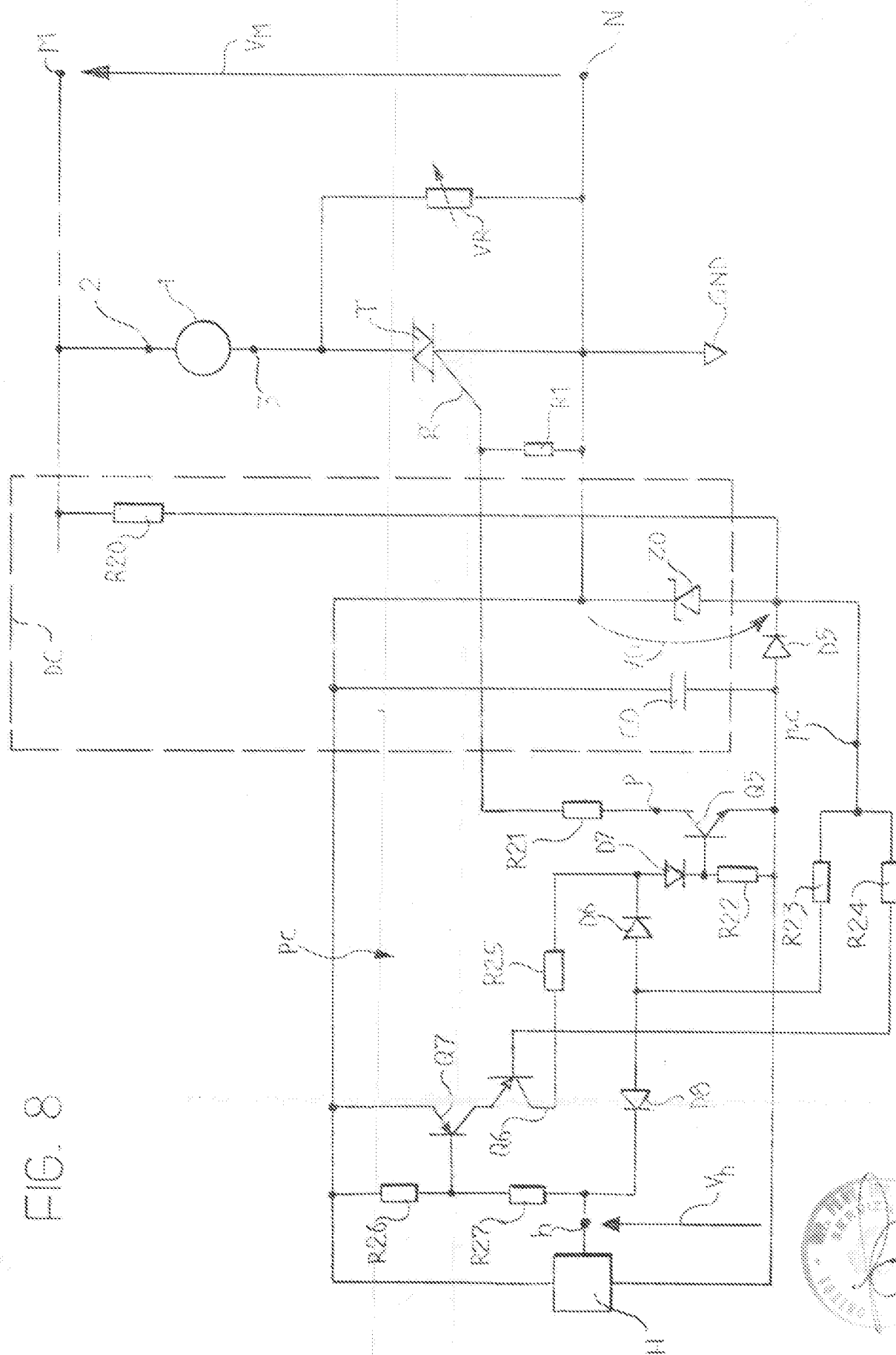
66567



Per incarico di : C.E.SET. S.R.L.

Ing. Marco MARCONI
 (in proprio e per gli altri)

C.E.SET



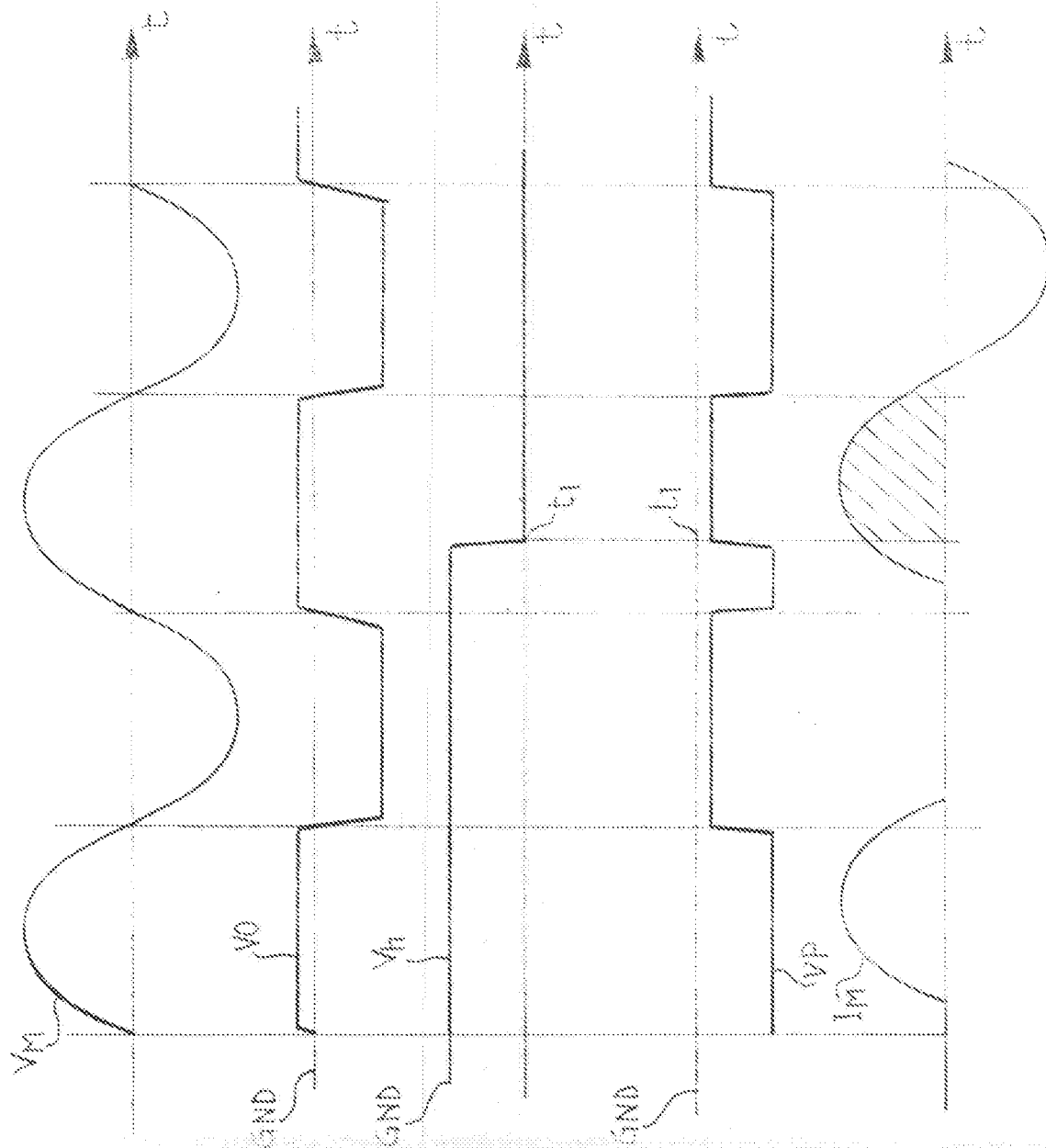
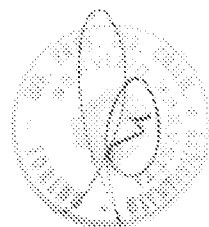


FIG. 9

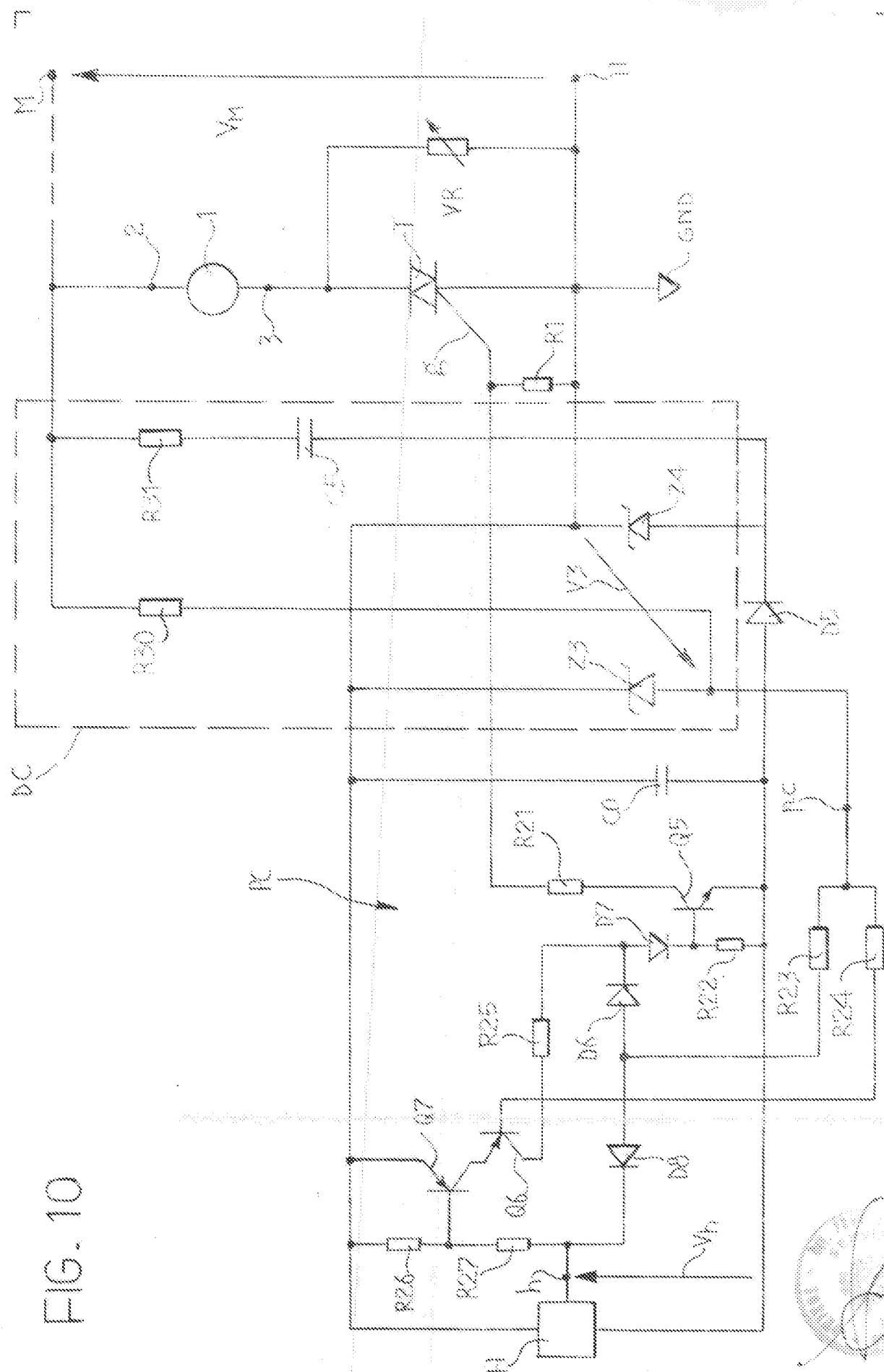
Per incarico di : C.E.SET. S.R.L.



Ing. Massimo [Signature]
(in proprio e per gli altri)

1/1

C. E. SET

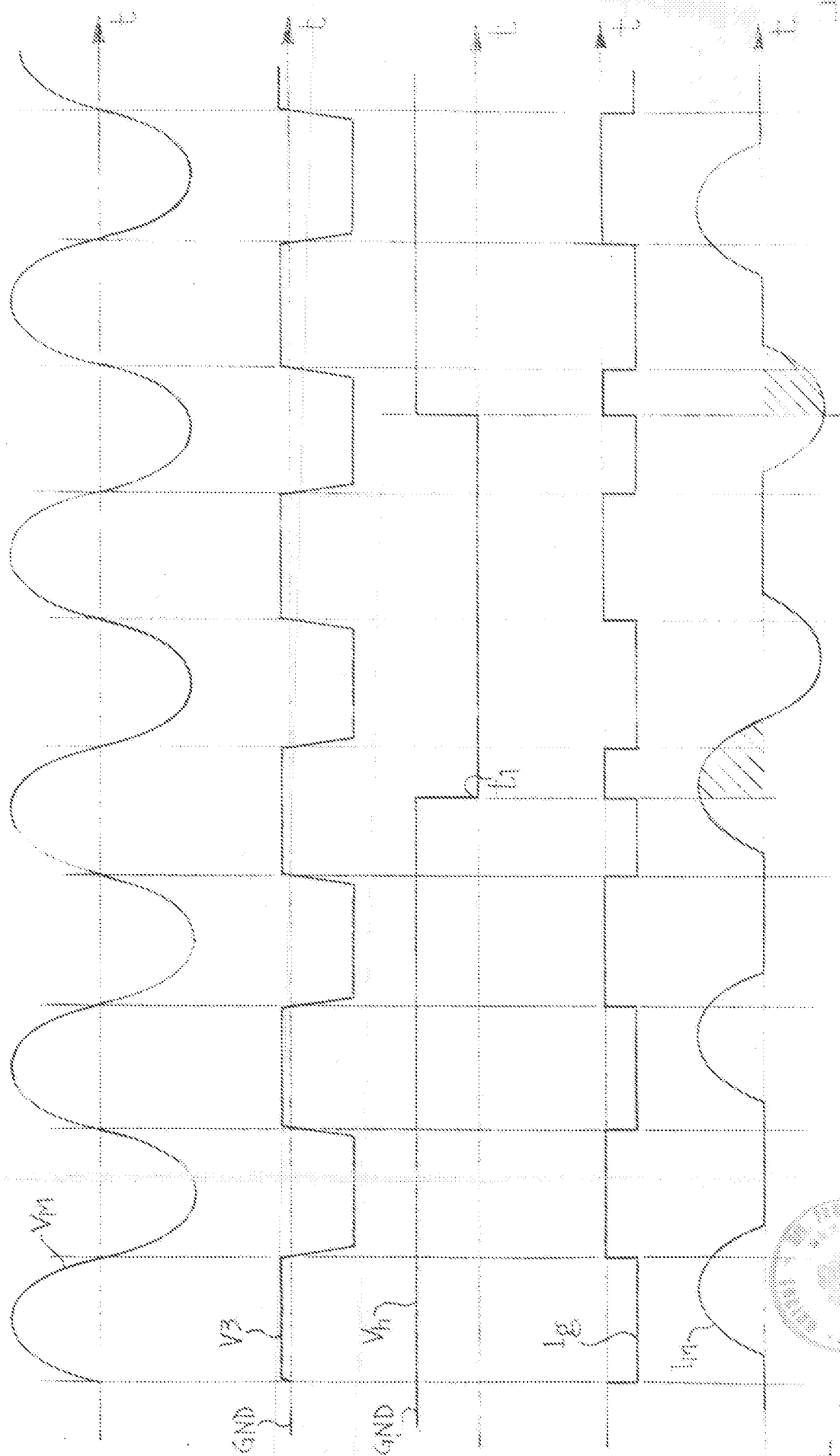


Per incarico di : C.E.SET. S.p.A.

(in proprio o per gli altri)

C. 6.3.67

FIG. 11



Per incarico di : C.E.SET. S.R.L.

Ing. Mario Mancini
 (Signature)
 Via proprio e per gli altri

C.E.SET.