



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

UIBM

DOMANDA NUMERO	101996900501702
Data Deposito	01/03/1996
Data Pubblicazione	01/09/1997

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	K		

Titolo

MOTORE ELETTRICO A COMMUTAZIONE ELETTRONICA AD ALTA EFFICIENZA.
--

Deposito di una domanda di brevetto per invenzione
dal titolo: Motore elettrico a commutazione
elettronica ad alta efficienza.

A nome: BITRON S.p.A.

di nazionalità italiana,

con sede a: PINEROLO (TO)

Inventore designato: DE FILIPPIS Pietro

DESCRIZIONE

TO 96A000140

L'invenzione ha per oggetto un motore elettrico
a commutazione elettronica ad alta efficienza.

Le macchine elettriche a commutazione
elettronica ad alta efficienza, successivamente
citare come MCE, operano a modulazione di impulsi e
generalmente su frequenze ultrasoniche con
assorbimento di impulsi di corrente ad altissimo
ripple: i livelli dei disturbi elettrici condotti e
irradiati sarebbero superiori a quanto consentito
dalle normative vigenti, senza l'uso di un costoso e
ingombrante filtro L-C sulla linea di alimentazione.
Per ridurre i costi, il suddetto filtro può essere
sostituito con uno di tipo ATTIVO in grado di
disaccoppiare la corrente assorbita dal motore
elettrico dalla corrente di batteria.

Un'implementazione nota e particolarmente
efficace, sia per i costi che per la prestazioni,

consiste nell'interporre tra la batteria e la MCE un convertitore di tipo step-up (vedi fig.1) controllato in corrente per mezzo di R_{FB} e in funzione di un'informazione di controllo C_{FB} proveniente dalla MCE, che si compara con un input di velocità v_{set} secondo tecniche note.

Il suddetto convertitore è caratterizzato dall'operare con V_c maggiore di V_b e dall'assorbire dalla batteria una corrente essenzialmente continua (a potenza erogata costante) con un ripple piccolo a piacere, ottenuto dimensionando con tecniche note l'induttore L e la frequenza di commutazione. La forma d'onda di corrente i_b è illustrata in fig. 2 dove sono evidenziati i tempi tipici associati al funzionamento: $1/T$ è la frequenza di commutazione, T_{on} e T_{off} sono i tempi di on e off dell'interruttore elettronico di potenza P (fig.1); sono anche evidenziati il ripple sovrapposto alla corrente media assorbita e la composizione di i_b , costituita dalla somma di i_p e i_D , quest'ultima poi integrata dal condensatore C per fornire la i_2 (da una V_c essenzialmente continua) che alimenti la MCE.

Obiettivo dell'invenzione è quello di ottenere la funzionalità dello schema di figura 1 essenzialmente per quanto concerne la forma d'onda

di corrente assorbita dalla batteria, riducendo pero' significativamente i costi e gli ingombri eliminando l'induttanza L e l'interruttore P. Non essendo possibile eliminare questi componenti da un punto di vista funzionale, l'invenzione propone una soluzione che sfrutta alcuni interruttori e alcuni avvolgimenti della MCE, gia' presenti per il suo normale funzionamento, per svolgere anche la funzione dell'interruttore P e dell'induttanza L.

Per raggiungere questo obiettivo l'invenzione propone di realizzare un motore elettrico del tipo secondo la rivendicazione 1.

Verrà ora descritta la macchina secondo l'invenzione facendo riferimento ai disegni allegati in cui:

fig. 1 è lo schema elettrico di un motore elettrico del tipo noto;

fig. 2 illustra le forme d'onda della corrente nel motore di fig. 1;

fig. 3 è lo schema elettrico di base del motore elettrico secondo l'invenzione;

figg. 4 e 5 sono due strutture elettromagnetiche che realizzano il motore elettrico secondo l'invenzione;

fig. 6 è lo schema specifico del motore

elettrico secondo l'invenzione;

fig. 7 illustra le f.e.m. delle fasi del motore secondo l'invenzione;

fig. 8 è uno schema elettrico semplificato corrispondente a quello di fig. 6;

fig. 9 è un ulteriore schema elettrico della macchina secondo l'invenzione;

fig. 10 è un diagramma delle forme d'onda;

fig. 11 è lo schema elettrico del motore secondo l'invenzione provvisto di protezioni.

In sintesi secondo l'invenzione, induttanza L e l'interruttore P di figura 1 sono integrati in una MCE opportunamente strutturata, controllata e dimensionata per aggiungere alla sua funzione di motore elettrico anche quella di filtro attivo, coprendo così da sola la funzionalità globale dello schema in figura 1.

La prima peculiarità della MCE proposta dall'invenzione (fig. 3) è che risulta operante come due sottomacchine che meccanicamente cumulano i loro contributi sullo stesso rotore della MCE mentre elettricamente operano e sono controllate come due macchine distinte; la prima, successivamente citata come M_1 , è alimentata dalla batteria alla tensione V_b , mentre la seconda, successivamente citata come

ING. BARZANO & ZANARDO
MILANO S.p.A.

M2, e' alimentata da un condensatore C caricato alla tensione V_c dal funzionamento di M1 come successivamente descritto. Completano la funzionalita' i diodi veloci D connessi al condensatore C come in figura 3. Sono anche riportati l'input di velocita' V_{set} e i segnali dei sensori di posizione Hall.

La seconda peculiarita' e' che la sottomacchina M1, per svolgere anche le funzioni dell'induttanza L e dell'interruttore P di fig. 1, deve essere progettata con struttura unipolare con due o piu' avvolgimenti (a seconda del numero di fasi che si vogliono realizzare e del numero di avvolgimenti che eventualmente si vogliono alimentare in parallelo) con accoppiamento magnetico tra di loro il piu' lasco possibile: proprio le induttanze dei suoi avvolgimenti e gli interruttori P gia' preposti al loro normale pilotaggio in PWM integrano le funzioni di L e P di figura 1.

La terza peculiarita' e' che la sottomacchina M2, potra' avere un numero di fasi e avvolgimenti diversi da quelli della sottomacchina M1, con accoppiamento magnetico qualsivoglia tra di loro, ma magneticamente disaccoppiati dagli avvolgimenti di M1.

ING. BARZANO & ZANARDO
MILANO S.p.A.

La quarta peculiarita' e' che il pilotaggio di M2 e' totalmente indipendente da quello di M1; puo' pertanto essere unipolare o a ponte cosi' come in lineare o in PWM ed ha una condizione caratterizzante che e' quella di avere una funzione di controllo (ad esempio un feed-back di controllo sulla Vc) a garanzia che in tutte le condizioni di funzionamento la corrente indotta dal funzionamento di M1 tramite i diodi D e' totalmente assorbita da M2.

Senza intaccare la generalita' del principio di funzionamento esposto, per chiarire maggiori dettagli e dare i riferimenti principali di progettazione, si fara' riferimento a un motore brushless, alimentato da batteria, di tipo bifase unipolare e a magneti permanenti.

Due strutture elettromagnetiche che implementino le condizioni, prima descritte, sugli accoppiamenti magnetici sono rappresentate nelle figg. 4 e 5 ad esempio non limitativo.

In particolare la struttura di fig. 5, presenta, a pari condizioni nominali di lavoro della MCE e a pari numero di poli, induttanza di fase piu' bassa e minore reazione smagnetizzante ($1/3$ di quella della struttura di fig. 4).

Lo schema specifico che realizzi i principi trattati (fig.1 e fig.3) e' espresso in figura 6. Per completezza l'elettronica di controllo, in aggiunta a quanto gia' citato, esso evidenzia i due segnali V_{m2} per gestire con circuiti noti (CLAMP) una protezione a sovratensioni superiori alla V_{DSS} consentita dai P2. Questi ultimi, come altri dettagli circuitali, essendo noti e non facenti parte dell'idea inventiva, non saranno oggetto di riferimento nel seguito.

La struttura bifase scelta ad esempio e' del tipo noto con quattro avvolgimenti unipolari alimentati come due macchine monofasi (a semionda piena): la prima macchina monofase (costituita da FASE1 e FASE3) copre il ruolo della sottomacchina M1 ed e' alimentata a V_b mentre la seconda macchina monofase (costituita da FASE2 e FASE4) copre il ruolo della sottomacchina M2 ed e' alimentata a V_c . Le f.e.m. di ciascuna fase (e_{F1} e_{F2} e_{F3} e_{F4}) sono rappresentate in figura 7 dove risulta evidente come siano tra loro sfasate di 90° elettrici.

La struttura magnetica, sede dei flussi generati dalle correnti in ciascuno degli avvolgimenti della sottomacchina M1 (identificati in figg. 4, 5 e 6 come FASE1 e FASE3) deve essere tale garantire che

le induttanze di tali avvolgimenti siano tra loro il piu' possibile disaccoppiate per evitare buchi di corrente assorbita durante la commutazione tra un avvolgimento e il successivo nella sequenza di pilotaggio (problematica nota quando esiste una mutua induttanza tra i due) e che siano marginali gli accoppiamenti induttivi con gli avvolgimenti di M2. Cio' si ottiene grazie alla presenza di denti disaccoppiatori non avvolti (identificati con T_d) e avvolgendo le due fasi (FASE1 e FASE3) su denti fisicamente distinti (vedi figg. 4 e 5). Resta inteso che i suddetti avvolgimenti di M1 operano anche come motore elettrico generando coppia attiva essendo opportunamente ingaggiati sulla pertinente semionda di f.e.m. attraverso tecniche note (es. opportuna decodifica di sensori di posizione di tipo Hall).

La struttura magnetica, sede dei flussi generati dalle correnti in ciascuno degli avvolgimenti della sottomacchina M2 (identificati in figg. 4, 5e 6 come FASE2 e FASE4) deve garantire in questo caso un accoppiamento magnetico molto stretto tra di loro per permettere durante la commutazione il trasferimento con perdite minime dell'energia magnetica immagazzinata (dagli avvolgimenti che

smettono di condurre a quelli che si accendono) attraverso i diodi D2 (funzionamento noto). Cio' si ottiene avvolgendo le suddette fasi sugli stessi denti (vedi figg. 4 e 5).

Poiche' le due sottomacchine operano in parallelo nel fornire la potenza meccanica desiderata e' in generale ottimale dimensionarle in modo che, almeno nelle condizioni nominali, si dividano in parti uguali sia la potenza meccanica fornita che le perdite.

I dati di progetto per il suddetto punto di lavoro (n) sono:

$P_{mecc(n)}$ potenza meccanica

$RPM_{(n)}$ velocità

$\eta_{(n)}$ rendimento

V_b tensione di alimentazione

Noti i dati di progetto, la geometria e i materiali scelti per realizzare la macchina, sono predicibili con metodi noti anche le perdite nel ferro, per ventilazione e attriti $P_{fe,v,a(n)}$.

Il valore della R_{FB} e' dimensionato in modo da potersi considerare in prima approssimazione trascurabile la caduta di tensione ai suoi capi, cosi' come, per semplificare i calcoli il diodo e' simulato da un diodo ideale con in serie una

resistenza pari a R_{p1} (vedi fig. 8).

A scopo esemplificativo per la macchina di figura 8 si può usare lo schema equivalente riportato in figura 6 dove sono evidenziati i componenti essenziali per il dimensionamento delle due sottomacchine M1 ed M2 che sono:

L_{f1} induttanza di ognuno degli avvolgimenti della M1

R_{f1} resistenza di ognuno degli avvolgimenti della M1

E_{f1} f.e.m. media per semionda alla velocità nominale di ognuno degli avvolgimenti della M1

R_{p1} resistenza interna dell'interruttore di potenza (es. MOSFET) per ognuno degli avvolgimenti della M1.

In figura 8 sono indicati anche i corrispondenti elementi per la M2.

Vediamo ora come occorre progettare le due sottomacchine (M1) ed (M2).

Dimensionamento della sottomacchina M1:

Il primo elemento immediatamente ricavabile è la $i_{1(n)}$ da

$$\begin{aligned}\eta_{(n)} &= \frac{P_{mecc(n)}}{V_{b(n)} i_{1(n)}} \\ i_{1(n)} &= \frac{P_{mecc(n)}}{V_{b(n)} \eta_{(n)}}\end{aligned}\quad (eq.1)$$

La (eq. 1), insieme a considerazioni di costo ed altri aspetti noti di funzionamento dell'interruttore P1 permette di identificarne il tipo e dunque di qualificare anche R_{p1} come dato.

Identificato $i_{1(n)}$ e R_{p1} , si possono ricavare $E_{f1(n)}$, $E_{f1(1000)}$, $R_{f1(n)}$. Dalla nota relazione $P_{traf} = P_{mecc} + P_{fe,v,a} = E \cdot i$ e ricordando che si è richiesto di distribuire la potenza al 50% tra la macchina M1 e la M2, si ha per la M1:

$$E_{f1(n)} i_{1(n)} = \frac{V_{b(n)} i_{1(n)} \eta_{(n)} + P_{fe,v,a(n)}}{2}$$

$$E_{f1(n)} = \frac{1}{2} \left[V_{b(n)} \eta_{(n)} + \frac{P_{fe,v,a(n)}}{i_{1(n)}} \right]$$

in cui sostituendo $i_{1(n)}$ dall'eq.1) segue:

$$E_{f1(n)} = \frac{1}{2} V_{b(n)} \eta_{(n)} \left[1 + \frac{P_{fe,v,a(n)}}{P_{mecc(n)}} \right] \quad (\text{eq.2.a})$$

Essendo $P_{fe,v,a(n)}$ trascurabili rispetto a $P_{mecc(n)}$ la (eq. 2.a) si può riscrivere

$$E_{f1(n)} \cong \frac{1}{2} V_{b(n)} \eta_{(n)} \quad (\text{eq.2.b})$$

da cui si ricava $E_{f1(1000)}$:

$$E_{f1(1000)} = \frac{E_{f1(n)}}{RPM_{(n)}} 1000 \quad (\text{eq.3})$$

E' cosi' possibile calcolare con formule note il numero di spire dell'avvolgimento e il valore di L_{f1} . Per ricavare $R_{f1(n)}$ si puo' ancora ricorrere al bilancio energetico che vede la macchina M1 assorbire il 50% della totale potenza elettrica; si ottiene quindi:

$$[E_{f1(n)} + (R_{f1} + R_{p1}) i_{1(n)}] i_{1(n)} = \frac{1}{2} V_{b(n)} i_{1(n)}$$

$$E_{f1(n)} + (R_{f1} + R_{p1}) i_{1(n)} = \frac{1}{2} V_{b(n)}$$

$$R_{f1} = \frac{\frac{V_{b(n)}}{2} - E_{f1(n)}}{i_{1(n)}} - R_{p1} \quad (\text{eq.4})$$

Dimensionamento della sottomacchina M2

Definiti T_{on} e T_{off} rispettivamente i tempi di conduzione e spegnimento degli interruttori P1,

$$T = T_{on} + T_{off}, D = \frac{T_{on}}{T}, \frac{T_{off}}{T} = (1 - D).$$

A prescindere dal valore della tensione V_c ai

capi del condensatore C, si puo' ricavare la corrente che lo carica dalla relazione, sempre valida:

$$i_2 = i_1 \frac{T_{off}}{T} = i_1(1 - D)$$

che nel punto di funzionamento nominale si puo' scrivere come

$$i_{2(n)} = i_{1(n)}(1 - D_{(n)}) \quad (\text{eq.5})$$

Ora si possono ricavare le relazioni tra M2 ed M1 per i rispettivi elementi che le caratterizzano; ricordando l'imposizione di pari potenza elaborata, si ha:

$$E_{f2(n)} \cdot i_{2(n)} = E_{f1(n)} \cdot i_{1(n)}$$

$$E_{f2(n)} = E_{f1(n)} \cdot \frac{i_{1(n)}}{i_{2(n)}}$$

e in definitiva

$$E_{f2(n)} = E_{f1(n)} \frac{1}{1 - D_{(n)}} \quad (\text{eq.6})$$

ricordando poi l'imposizione di pari potenza dissipata, si ha

$$R_{f2(n)} \cdot i_{2(n)}^2 = R_{f1(n)} \cdot i_{1(n)}^2$$

$$R_{f2(n)} = R_{f1(n)} \cdot \left(\frac{i_{1(n)}}{i_{2(n)}} \right)^2$$

e in definitiva

$$R_{f2(n)} = R_{f1(n)} \frac{1}{(1 - D_{(n)})^2} \quad (\text{eq.7})$$

L'unica incognita e' $D(n)$ che si puo' ricavare da.

$$\Delta i_{1, T_{on}} = \Delta i_{1, T_{off}}$$

da cui, avendo assunto $RD=R_{p1}$

$$\frac{V_b - [E_{f1} + (R_{f1} + R_{p1})i_1]}{L_{f1}} \frac{T_{on}}{T} = \frac{R_{p1}i_1 + V_c - [V_b - (E_{f1} + R_{f1}i_1)]}{L_{f1}} \frac{T_{off}}{T} \quad (\text{eq.8})$$

Posto

$$A = V_b - [E_{f1} + (R_{f1} + R_{p1})i_1]$$

si ricava:

$$D = \frac{V_c - A}{V_c} \quad (\text{eq.9})$$

Si ha anche, ricordando (eq.4),

$$1 - D_{(n)} = \frac{\frac{V_{b(n)}}{2}}{V_{c(n)}} \quad (\text{eq.10})$$

da cui si vede che, una volta fissato $V_b, (1-D_{(n)})$ e' definito univocamente da $V_{c(n)}$.

Le tre condizioni sotto citate aiutano a definire univocamente $V_{c(n)}$. Esse sono:

Condizione 1

Affinche' non circoli corrente in quell'avvolgimento della sottomacchina M1 che con la sua f.em., somma della parte mozionale $E_{f1(n)}$ e della parte trasformatrice $E_{m1(n)}$ dovuta all'accoppiamento non desiderato tra gli avvolgimenti della sottomacchina M1 e di questi con quelli della sottomacchina M2, darebbe contributo negativo allo sviluppo di potenza meccanica, e' necessario che la tensione $V_{DS1(OFF)}$ ai capi dell'interruttore di potenza $P_{1(OFF)}$ collegato a detto avvolgimento sia inferiore alla tensione ai capi del condensatore C: infatti solo cosi' il diodo $D_{1(OFF)}$ risulta essere

polarizzato inversamente e quindi come ipotizzato non puo' circolarvi corrente; deve essere quindi (vedi figg. 8 e 9)

$$V_{c(n)} \geq V_{DS1(off)} = V_{b(n)} + E_{f1(n)} + E_{m1(n)} \quad (\text{cond.1});$$

Condizione 2

Dato che la tensione massima $V_{DS2(off)}$ ai capi dell'interruttore di potenza P2 si manifesta durante l'intervallo di tempo in cui l'avvolgimento della sottomacchina M2 ad esso collegato e' inattivo, risulta essere

$$V_{DS2(off)} = V_{c(max)} + E_{f2(max)} = 2 \cdot V_{c(max)};$$

affinche' non venga superata la tensione di rottura V_{DSS2} dell'interruttore di potenza P2, deve essere quindi

$$2 \cdot V_{c(max)} \leq V_{DSS2} \quad (\text{cond.2});$$

Condizione 3 se si ricorda che:

- l'accoppiamento tra gli avvolgimenti della sottomacchina M2 deve essere, come gia' detto, il piu' alto possibile;
- il trasferimento di energia magnetica, che avviene, durante la commutazione tra avvolgimenti della sottomacchina M2, attraverso D2, e' tanto meno dissipativo quanto piu' e' alto il divario tra il valore della tensione d'alimentazione, che in questo caso e' proprio

V_c , e il valore della sovratensione transitoria $V_{ds2(off,t)}$ (reso il piu' possibile prossimo a V_{DSS2} per mezzo dei circuiti CLAMP prima citati) che appare ai capi dell'interruttore di potenza P2 quando si apre;

- il costo del condensatore C cresce con la sua tensione nominale

risulta evidente che deve essere ancora

$$V_{c(n)} \text{ il piu basso possibile } \quad (\text{cond.3}) \quad .$$

Dato che in pratica si verifica che

$$E_{f1(n)} + E_{m1(n)} \cong 1/2 V_{b(n)} :$$

si ottiene che deve essere quindi in definitiva (vedi (cond.1))

$$V_{c(n)} \cong 3/2 \cdot V_{b(n)} \quad (\text{eq.11}).$$

Da (eq.10) ed (eq.11) si ottiene ancora:

$$i_{2(n)} = \frac{i_{1(n)}}{3} \quad (\text{eq.12.1})$$

$$E_{f2(n)} = 3E_{f1(n)} \quad (\text{eq.12.2})$$

$$R_{f2(n)} = 3^2 R_{f1(n)} \quad (\text{eq.12.3})$$

$$R_{p2(n)} = 3^2 R_{p1(n)} \quad (\text{eq.12.4})$$

Le (eq.12.1-12.4), che determinano univocamente il dimensionamento della sottomacchina M2, mostrano

un aspetto interessante dal punto di vista costruttivo: per le due sottomacchine e' possibile utilizzare filo della medesima sezione, con diverso numero di fili in parallelo per le due sottomacchine.

Dette infatti l_m la lunghezza media della spiraidentica per tutti gli avvolgimenti delle due sottomacchine, S_{c1} la sezione del conduttore di ciascun avvolgimento della sottomacchina M1 e S_{c2} la sezione del conduttore di ciascun avvolgimento della sottomacchina M2, sara'

$$R_{f1} = \rho \cdot \frac{l_m \cdot N_{s1}}{S_{c1}} \quad (\text{eq.13.1})$$

$$R_{f2} = \rho \cdot \frac{l_m \cdot N_{s2}}{S_{c2}}, \quad (\text{eq.13.2})$$

dato che dalla (eq.12.2) si deduce che il numero di spire N_{s1} di ciascun avvolgimento della sottomacchina M1 deve essere pari a 1/3 di quello N_{s2} di ciascun avvolgimento della sottomacchina M2

$$N_{s1} = 1/3 \cdot N_{s2} \quad (\text{eq.13.3})$$

dalla (eq.12.3) e dalle (eq.13.1-13.3) risulta ancora

$$\rho \cdot \frac{l_m \cdot N_{s2}}{S_{c2}} = 3^2 \rho \cdot \frac{l_m \cdot N_{s1}}{S_{c1}} = 3^2 \rho \cdot \frac{l_m \cdot \frac{N_{s2}}{3}}{S_{c1}}$$

quindi

$$S_{c1} = 3S_{c2} \quad (\text{eq.14});$$

quest'ultima dimostra che l'avvolgimento della sottomacchina M1 si può realizzare ponendo in parallelo 3 conduttori di sezione identica a quello dell'unico conduttore utilizzato per l'avvolgimento della sottomacchina M2.

Una strategia di controllo in PWM a frequenza fissa viene normalmente implementata sui convertitori step-up del tipo rappresentato in fig.1. Dato che, secondo quanto chiarito nell'esposizione dell'idea inventiva, la funzione dell'induttore L di fig.1 viene assolta da avvolgimenti sede di f.e.m indotta, una strategia come quella appena citata renderebbe di difficile attuazione il contenimento del ripple della corrente di batteria entro limiti prefissati.

E' per questo che si adotta una strategia di controllo di tipo isteretico, che agisca solo sulla fase accesa della sottomacchina M1 e, secondo tecniche note, mantenga la corrente i_b assorbita dalla MCE, rilevata attraverso la resistenza R_{FB} , entro un valore massimo e uno minimo prefissati e tali da rendere il ripple piccolo a piacere

compatibilmente con le limitazioni tecnologiche legate allo stato dell'arte dei dispositivi di commutazione impiegati: naturalmente cio' comporta che la frequenza di commutazione degli interruttori di potenza della sottomacchina M1 non e' imposta ma risulta essere direttamente legata ai suoi parametri elettrici (induttanza, f.e.m., tensione d'alimentazione).

Convenientemente viene inoltre adottata una strategia di controllo della tensione V_c ai capi del condensatore C che, ad ogni condizione di coppia erogata e velocita' di rotazione, soddisfi la (cond. 1) prima citata, mantenendo, secondo tecniche note, piccola a piacere la differenza tra V_c e $V_{DS1(OFF)}$.

La strategia citata permette la piena controllabilita' della corrente di batteria anche durante la commutazione tra avvolgimenti della sottomacchina M1. Se durante la commutazione tra avvolgimenti della sottomacchina M1, accade che la corrente nella fase che si spegne decresce piu' rapidamente di quanto non cresca la corrente nella fase che si accende, la corrente i_b scende al di sotto del valore minimo imposto. Se viceversa, quando si spegne una fase la corrente decresce piu' lentamente di quanto non cresca la corrente nella

fase che si accende, il controllo su i_b , la manterra' entro i limiti prefissati. Per ottenere questa condizione e' necessario che durante l'intervallo di commutazione il valore medio di E_{f1} , detto $E_{f1,avg}$ sia tale che

$$V_b - E_{f1,avg} \geq V_c - (V_b - E_{f1,avg})$$

Essendo $V_c \cong 3/2 \cdot V_b$ dovra' quindi essere

$$E_{f1,avg} \leq 0.25V_b$$

Dato che cio' si ottiene con il semplice anticipo della commutazione (di per se' gia' necessario per il funzionamento della sottomacchina M2 e facilmente implementabile), il ripple della corrente assorbita risulta essere cosi' facilmente controllabile in ogni caso.

Un filtro destinato all'abbattimento dei disturbi elettrici condotti e irradiati sara' convenientemente posto sulla linea di alimentazione della MCE (vedi fig. 11) e avra' costo e ingombro molto inferiori a quanto richiesto su una MCE che che non implementi l'idea inventiva in oggetto.

Il modo piu' semplice di proteggere una MCE alimentata da batteria, consiste nel collegare in serie al rele' di manovra un diodo di potenza. Tale

diodo, oltre che costoso e ingombrante introduce una caduta di tensione (tipicamente 0.7 Volt) e quindi abbassa (a pari potenza assorbita) il rendimento della stessa MCE. Il rele' di manovra, che e' sotto chiave, deve sopportare correnti all'inserzione cosi' elevate da richiedere un sovradimensionamento inaccettabile.

Secondo lo schema illustrato in fig. 11 la MCE viene invece alimentata direttamente dalla batteria attraverso il rele' RL comandato dall'elettronica di controllo ECU; un diodo D_p di bassa potenza e una resistenza zavorra R_z sono collegati come indicato in fig. 11. Dato che l'elettronica di controllo, che a sua volta comanda il rele RL, viene alimentata sotto chiave attraverso D_p la MCE risulta essere protetta contro l'inversione di polarita'. La resistenza zavorra R_z prolunga la durata dell'impulso di corrente che carica i condensatori C e C_F quando viene azionato il commutatore d'accensione, limitando cosi' l'ampiezza del dV/dt cui sono sottoposti i condensatori stessi ed evitando il passaggio di correnti distruttive attraverso il commutatore stesso. L'elettronica di controllo ECU sente la tensione ai capi della resistenza R_z e da' il consenso al rele' RL solo quando tale tensione, e

quindi la corrente di inserzione, scende al di sotto
di un valore di sicurezza prefissato.

RIVENDICAZIONI

1. Motore elettrico a commutazione elettronica ad alta efficienza, del tipo avente un unico gruppo statorico ed un unico gruppo rotorico caratterizzato dal fatto di comprendere una prima (M1) ed una seconda (M2) sottomacchine elettriche, in cui:

- detta prima sottomacchina (M1) è alimentata da una sorgente di tensione (V_b) ed è associata ad un sensore (R_{fb}) della corrente assorbita da detta alimentazione; detta prima sottomacchina (M1) comprende almeno due avvolgimenti caratterizzati da una induttanza (L_{f1}), una resistenza (R_{s1}), una forza elettromotrice indotta (E_{f1}) ed un interruttore (P), collegati in serie tra di loro:

- detta seconda macchina elettrica (M2) è alimentata da un condensatore (C), che è caricato ad una tensione controllata (V_c);

- per ciascuno di detti primi avvolgimenti è previsto un diodo (D), avente uno dei poli collegato all'estremo del rispettivo avvolgimento, a sua volta collegato all'interruttore (P), ed il rimanente polo collegato ad uno dei capi del condensatore (C) così caricato ad una tensione controllata (V_c);

- la prima sottomacchina (M1) è pilotata a modulazione di impulsi e svolge funzione di

alimentatore per la sottomacchina (M2) caricando il condensatore (C) attraverso i diodi (D) alla tensione (V_c).

2. Motore di cui alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta seconda sottomacchina (M2) comprende almeno due avvolgimenti, caratterizzati da una induttanza (L_{f2}), una resistenza (R_{f2}), una forza elettromotrice indotta (E_{f2}) ed un interruttore (P2) posti in serie tra di loro.

3. Motore di cui alle rivendicazioni 1 e 2, caratterizzato dal fatto che gli avvolgimenti di ciascuna sottomacchina (M1, M2) sono collegati in parallelo tra di loro.

4. Motore di cui alle rivendicazioni 1 o 2, caratterizzato dal fatto che è previsto un diodo (D2) posto in parallelo rispetto a detto interruttore (P1, P2).

5. Motore di cui alla rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto di comprendere una unità elettronica di controllo (ECU), atta a comandare una pluralità di interruttori di potenza (P), in funzione dei seguenti segnali: tensione controllata (V_c) del condensatore (C), corrente circolante all'interno della sorgente di tensione (V_b), tensione esistente

ai capi degli interruttori (P2) della seconda sottomacchina (M2), grandezze cinematiche del motore (V_{set} , Hall).

6. Motore di cui alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti induttori (L_{f1}) sono elettromagneticamente disaccoppiati tra di loro, ovvero gli avvolgimenti di detti induttori (L_{f1}) sono induttivamente separati.

7. Motore di cui alla rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che il numero degli induttori (L_{f2}) di detta seconda sottomacchina (M2) è uguale al numero degli induttori (L_{f1}) della prima sottomacchina (M1).

8. Motore di cui alla rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che il numero degli induttori (L_{f2}) di detta seconda sottomacchina (M2) è diverso dal numero degli induttori (L_{f1}) della prima sottomacchina (M1).

9. Motore di cui alla rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detti induttori (L_{f2}) della seconda sottomacchina (M2) sono accoppiati elettromagneticamente tra di loro.

10. Motore di cui alle rivendicazioni 1 o 2, caratterizzato dal fatto che detti induttori (L_{f2}) della seconda sottomacchina (M2) sono disaccoppiati

elettromagneticamente da detti induttori (L_{f1}) della prima sottomacchina (M1).

11. Motore di cui alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il pilotaggio della seconda sottomacchina (M2) è indipendente dal pilotaggio della prima sottomacchina (M1).

12. Motore di cui alla rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto che il pilotaggio della seconda sottomacchina (M2) è scelto tra uno dei seguenti: unipolare, a ponte, in tecnica lineare, in tecnica PWM.

13. Motore di cui alla rivendicazione 6 o 10, caratterizzato dal fatto che tra due denti contigui dello statore, dotati di avvolgimenti, è interposto un elemento ferromagnetico (T_d) privo di avvolgimento.

14. Motore di cui alla rivendicazione 13, caratterizzato dal fatto che gli avvolgimenti della prima sottomacchina (M1) sono realizzati in modo che le rispettive fasi siano avvolte su denti diversi separati da un elemento ferromagnetico (T_d) privo di avvolgimenti.

15. Motore di cui alla rivendicazione 13, caratterizzato dal fatto che gli avvolgimenti della seconda sottomacchina (M2) sono realizzati in modo

che le rispettive fasi siano avvolte sugli stessi denti.

16. Motore di cui alle rivendicazioni 6 o 10, caratterizzato dal fatto che ciascun dente dello statore dotato di avvolgimenti è sdoppiato a forcilla e tra i suoi estremi è interposto un elemento ferromagnetico (T_d) privo di avvolgimento.

17. Motore secondo la rivendicazione 16, caratterizzato dal fatto che gli avvolgimenti della prima sottomacchina (M_1) sono realizzati in modo che le rispettive fasi siano avvolte sugli estremi a forcilla di due denti contigui e separate da detto elemento ferromagnetico (T_d) privo di avvolgimenti.

18. Motore di cui alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la sorgente di alimentazione è scelta tra una delle seguenti: generatore di tensione continua, batteria di accumulatori, generatore di tensione alternata rettificata.

19. Motore di cui alla rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto che detto pilotaggio è di tipo isteretico sulla corrente, detto pilotaggio agendo sugli avvolgimenti di detta prima sottomacchina (M_1), mantenendo la corrente circolante

nella suddetta sorgente di tensione (V_b) entro una banda di ampiezza voluta.

20. Motore di cui alla rivendicazione 19, caratterizzato dal fatto che la frequenza di commutazione degli interruttori (P) di detta prima sottomacchina (M1) dipende dai parametri elettrici della suddetta prima sottomacchina (M1).

21. Motore di cui alle rivendicazioni 1 o 5, caratterizzato dal fatto che la prima sottomacchina (M1) è alimentata dalla sorgente di tensione (V_b), attraverso un filtro L-C, destinato all'abbattimento dei disturbi elettrici condotti ed irradiati e da almeno un relè (RL), che è controllato dalla unità di controllo elettronica (ECU) ed è comandato da un circuito a chiave, un diodo di potenza (D_p) ed un resistore (R_z) essendo collegati tra di loro in serie e, nel complesso, disposti in parallelo rispetto al ramo elettrico intercettato dal relè, detta unità di controllo elettronica (ECU) agendo in funzione della tensione esistente ai capi di detto resistore (R_z), in modo tale da inviare un segnale per l'intervento di detto relè (RL) nel momento in cui la tensione ai capi di detto resistore (R_z) scende al di sotto di un valore prefissato.

22. Motore di cui alla rivendicazione 1 o 21,

caratterizzato dal fatto che, se il valore della tensione controllata (V_c), alla quale è caricato detto condensatore (C), è pari a 1,5 volte il valore della tensione presente ai capi di detta sorgente di tensione (V_b), gli avvolgimenti degli induttori (L_{f1}) di detta prima sottomacchina (M1) sono realizzati ponendo in parallelo un numero di conduttori pari a tre volte il numero dei conduttori utilizzati per gli avvolgimenti degli induttori (L_{f2}) di detta seconda sottomacchina (M2) ed aventi sezione identica.

23. Motore di cui alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto motore è una macchina elettrica bifase unipolare, a quattro avvolgimenti di induttori, in cui due di detti avvolgimenti sono induttivamente separati tra loro e costituiscono la prima sottomacchina (M1), mentre gli altri due sono induttivamente accoppiati tra loro e costituiscono la seconda sottomacchina (M2), il pilotaggio di detta seconda sottomacchina (M2) avvenendo tramite almeno due transistori di tipo MOS, in modo da sfruttare i diodi parassiti di detti transistori per il recupero dell'energia.

24. Motore secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che la centralina (ECU) garantisce un controllo della tensione (V_c) ai capi

del condensatore (C) tale che:

$$V_c \geq V_b + E_{f1} + E_{m1}$$

dove V_b è la tensione di alimentazione,

E_{f1} è la f.e.m. per semionda di ognuno degli avvolgimenti della sottomacchina (M1);

E_{m1} è la f.e.m. indotta dovuta all'accoppiamento indesiderato tra gli avvolgimenti della sottomacchina (M1).

p.i. BITRON S.p.A.

MANDATARI NOMINATI
G. Zenardo - D. Coleri - G. Motti - R. Appoloni
A. De Gregori - G. D. Frattusio - C. Fravanti
M. Gili - A. Zappella

(firma)

(per sé e per gli altri)



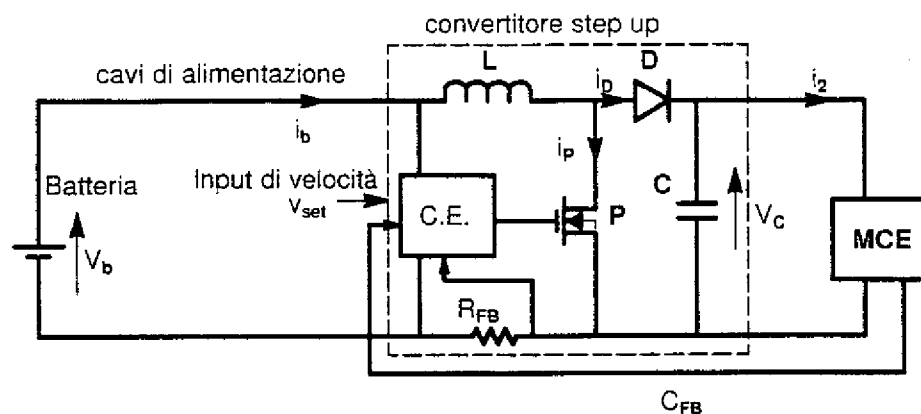


FIG. 1

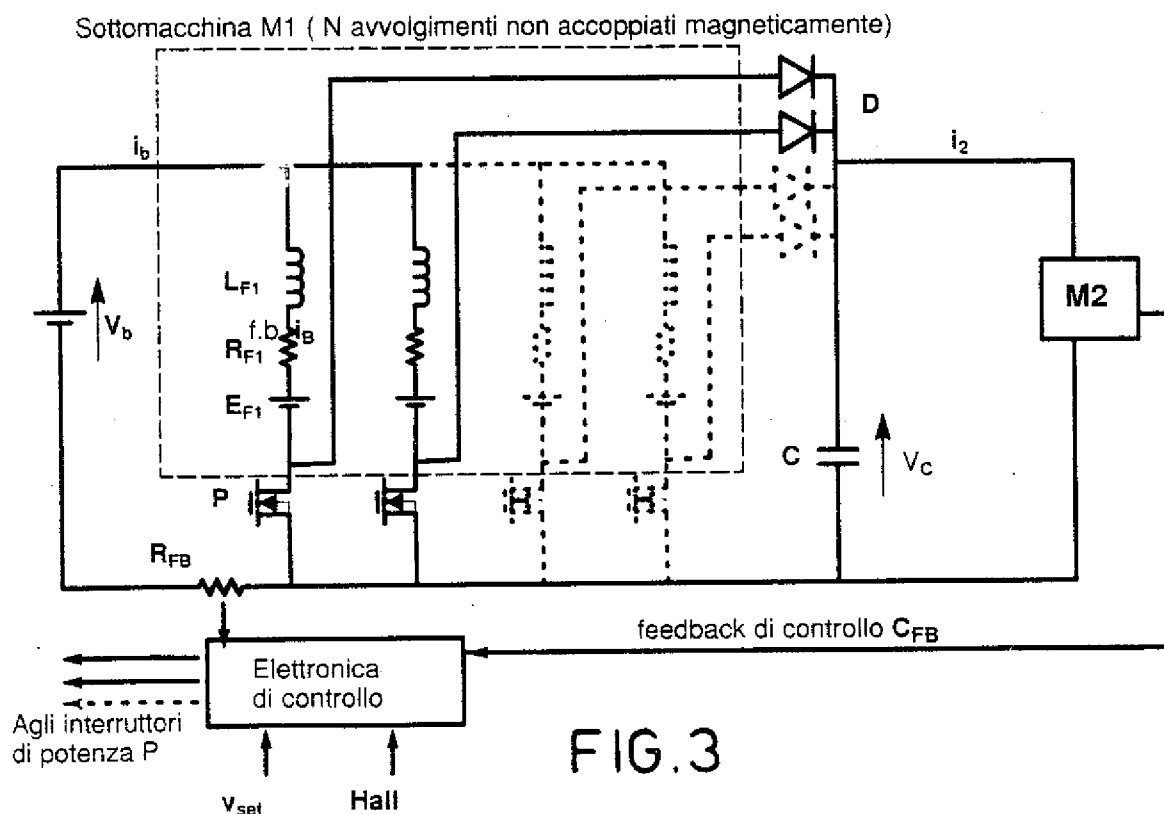


FIG. 3

p.i. BITRON S.P.A.

CANDIDATI NOMINATI

G. Zanardo - R. Coletti - G. Lotti - R. Apponi

A. De Gregori - G. Di Francesco - C. Ferravanti

M. Giuli - A. Zappella

(firma)

(per sé o per gli altri)



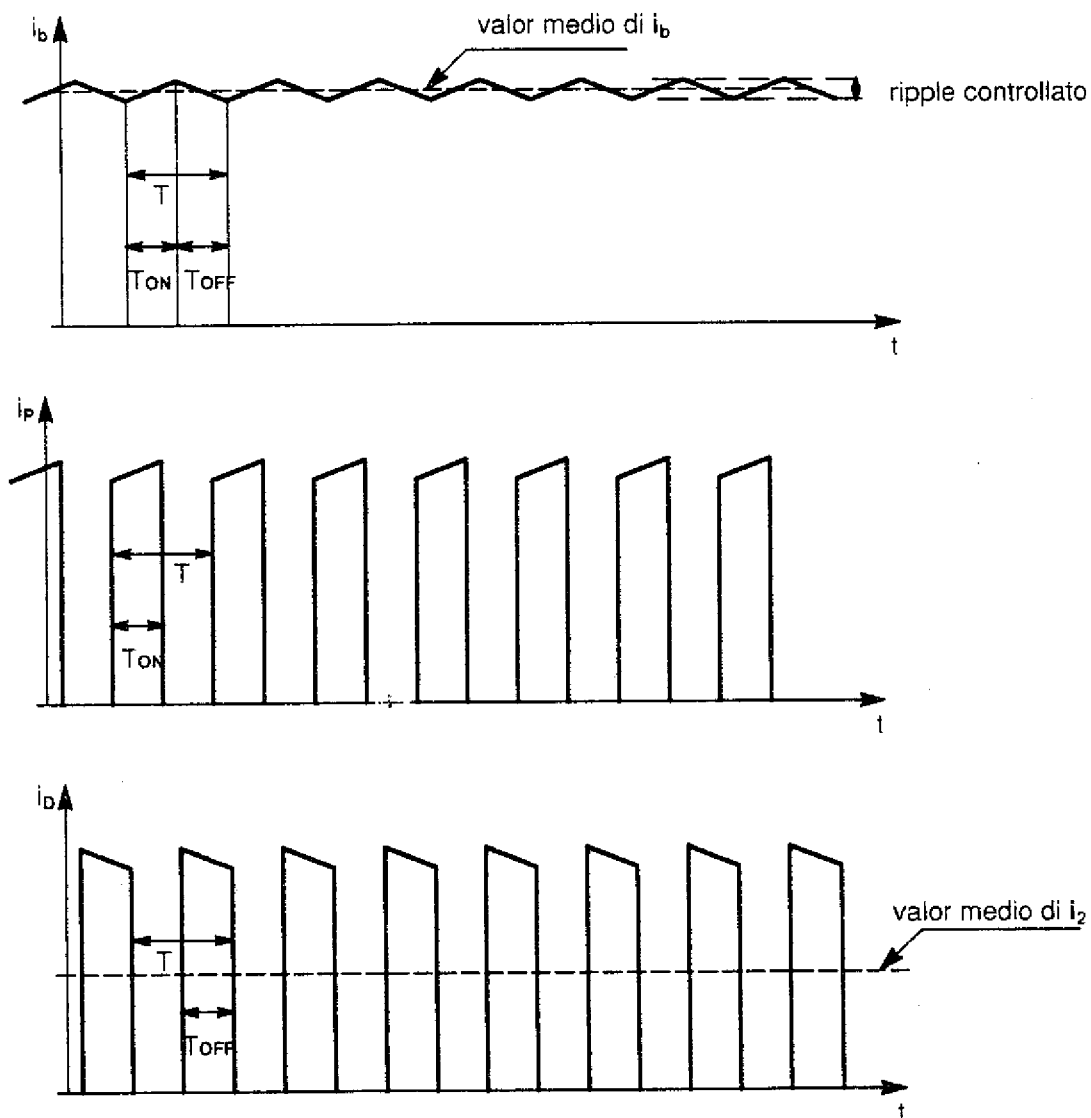


FIG. 2

p.i. BITRON S.p.A.

MANDATARI NOMINATI.

G. Zanardo - R. Colotti - G. Lotti - R. Appoloni

A. De Gregori - G. Di Francesco - C. Fioravanti

M. Glui - A. Zappella

(firma)

(per sè e per gli altri)



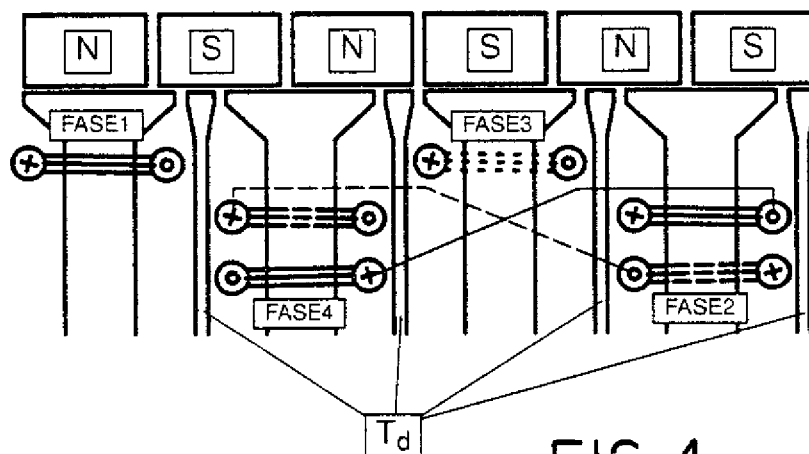


FIG. 4

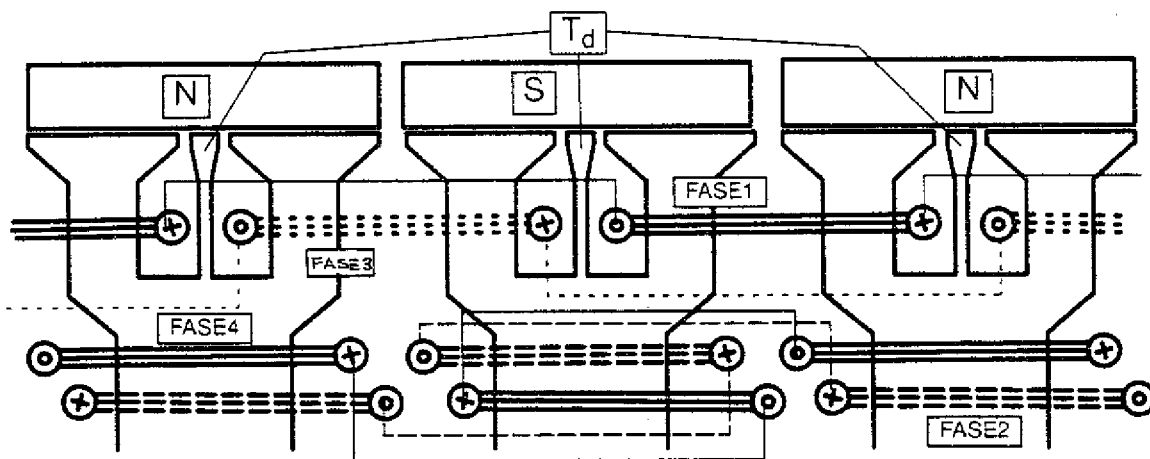


FIG. 5

p.i. BITRON S.p.A.

MANDATARI NOMINATI.

G. Zanarò - R. Colletti - G. Lotti - R. Appoloni

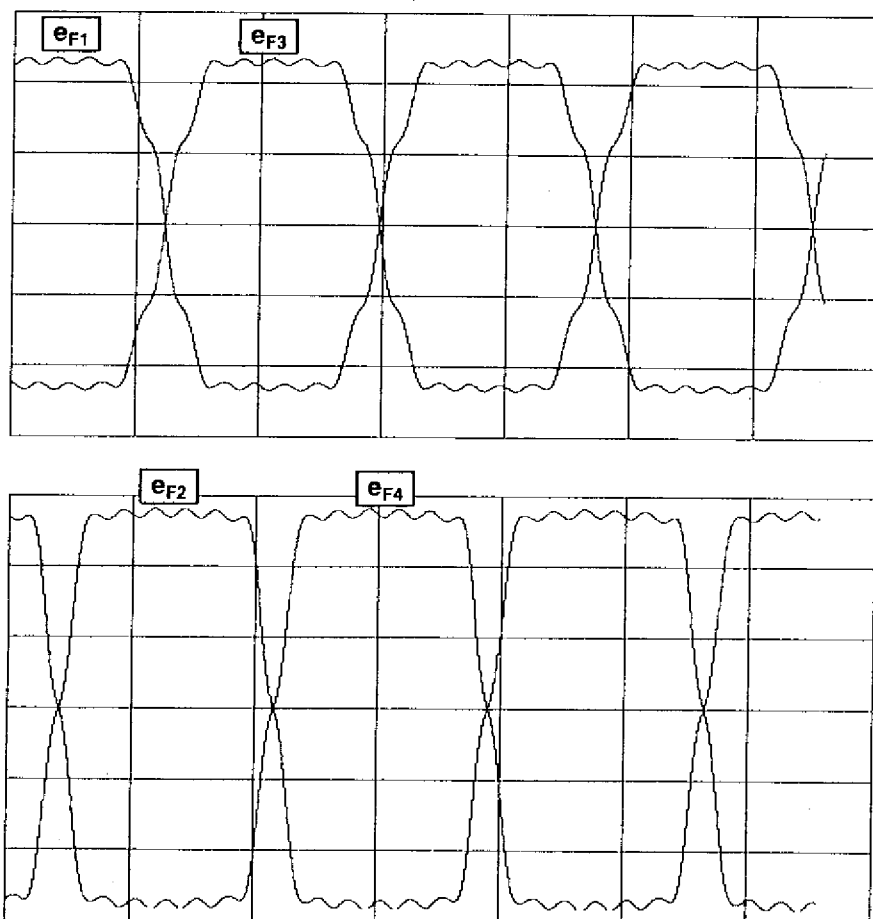
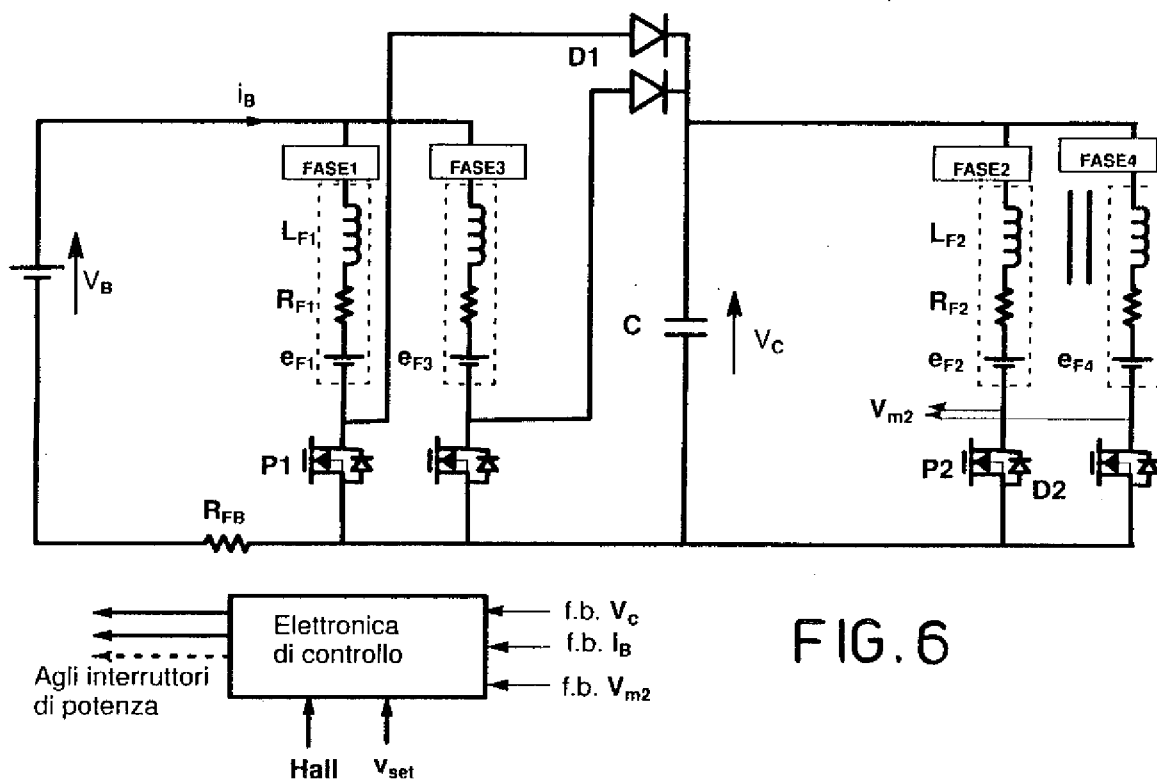
A. Di Gregori - G. Di Francesco - C. Fioravanti

M. Giuli - A. Zappella

(Firma)

(per sé e per gli altri)





P.I. BITRON S.P.A.

INGEGNERI NOMINATI:

G. Zamparo - R. Cecchi - G. Lotti - R. Appoloni

A. De Giorgi - G. Di Francesco - C. Ferraranti

M. Gili - A. Zappella

(firma)

(per sé e per gli altri)



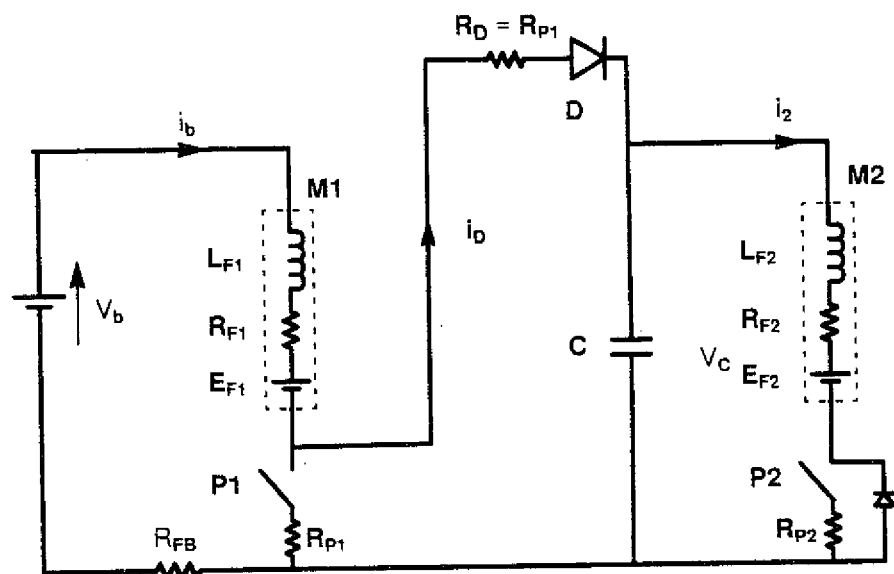


FIG.8

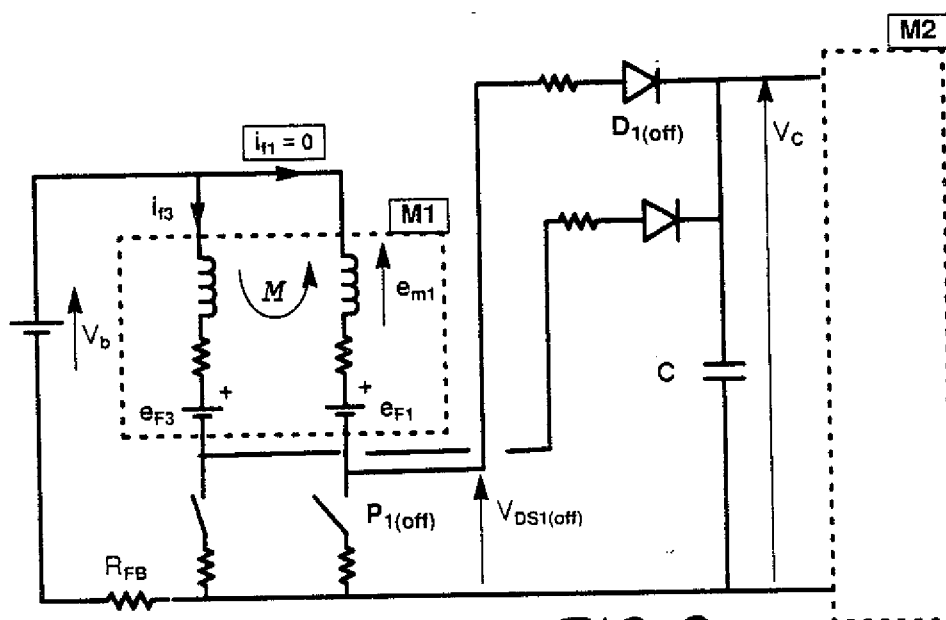


FIG.9

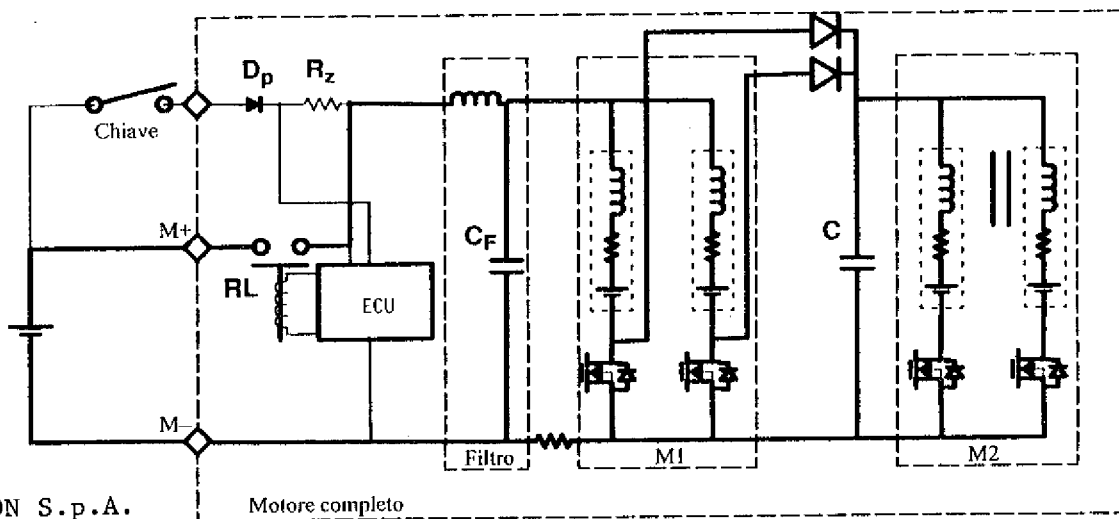
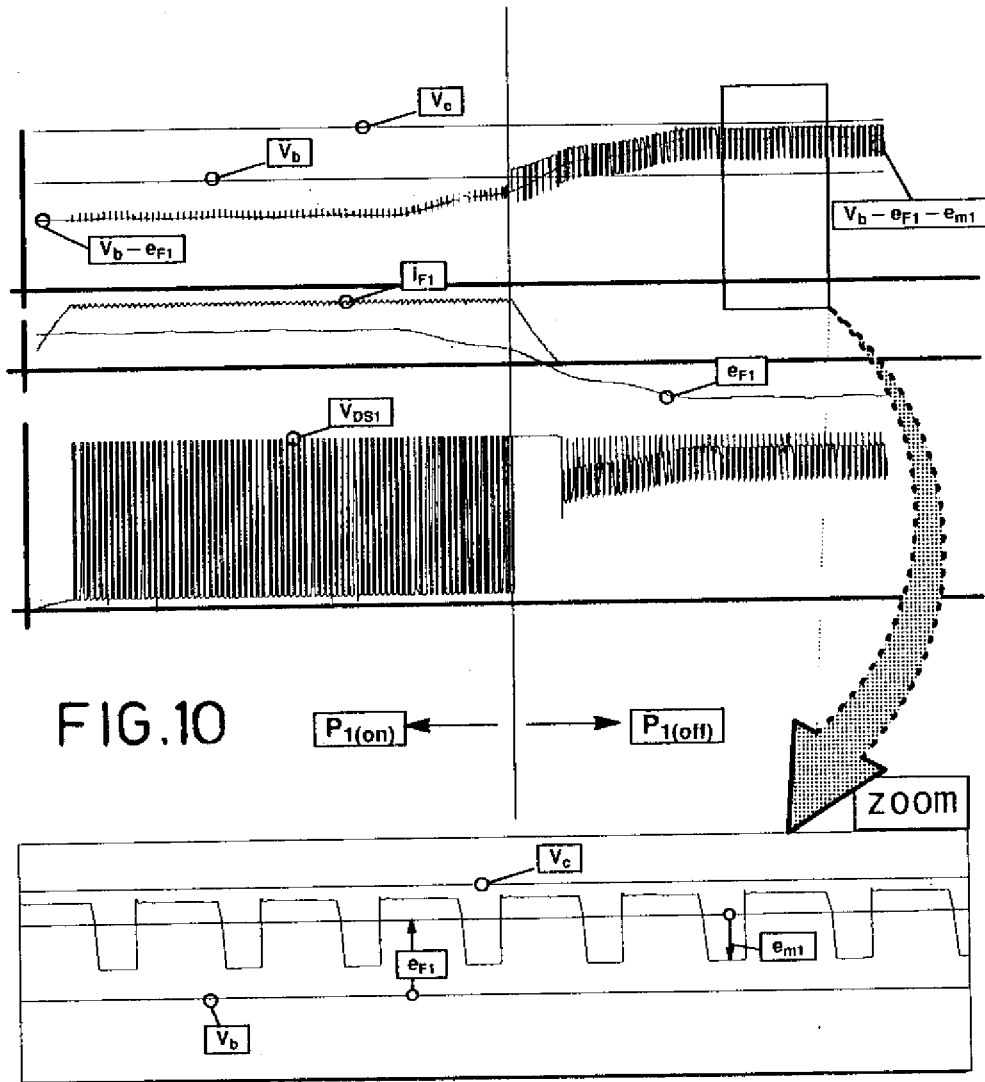
p.i. BITRON S.p.A.

MANDATARI NOMINATI.
G. Zecchi - R. Colati - G. Lotti - R. Appoloni
A. De Gregori - G. Di Francesco - C. Fieravanti
M. Giuli - A. Zappella

(firma)

(per sé e per gli altri)





p.i. BITRON S.p.A.

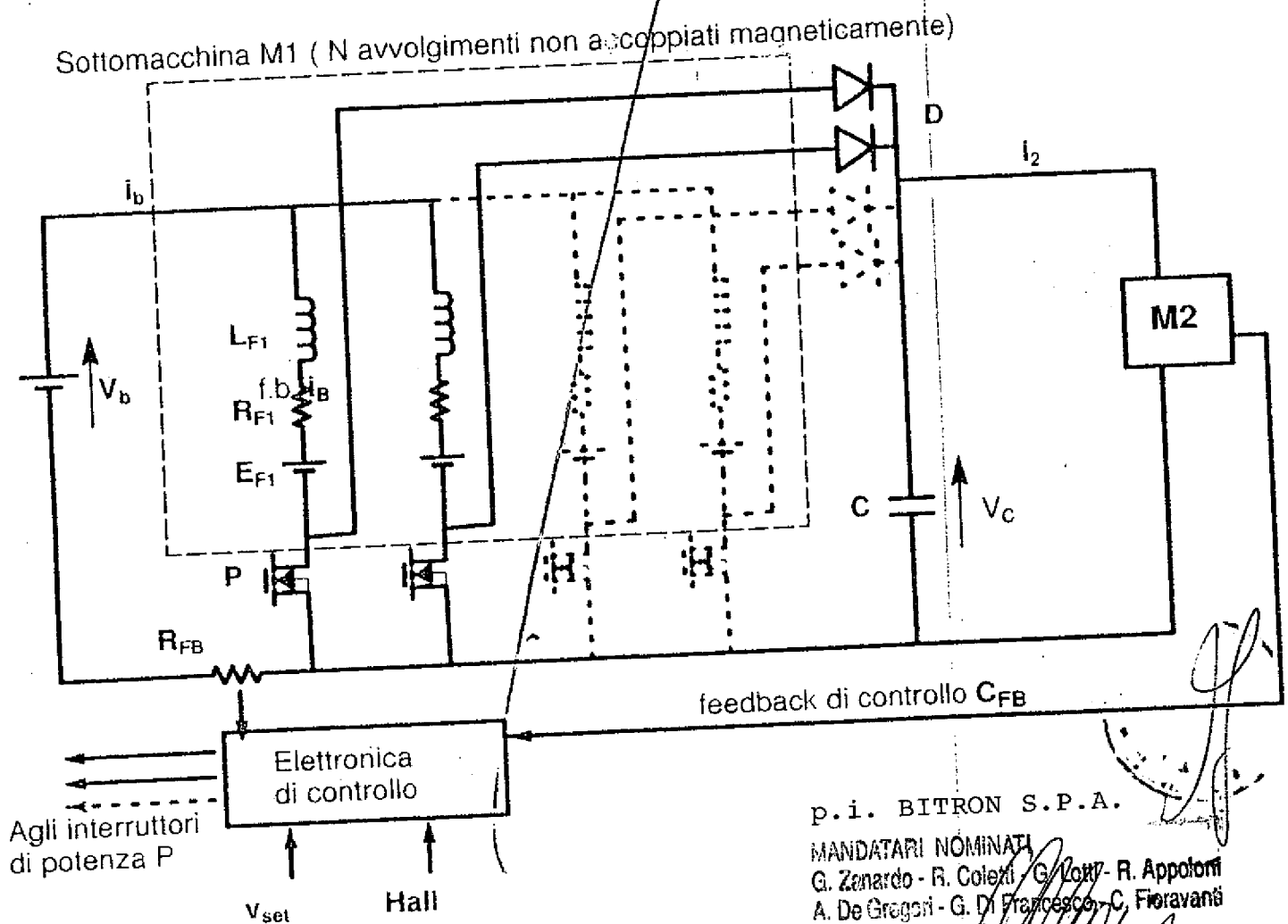
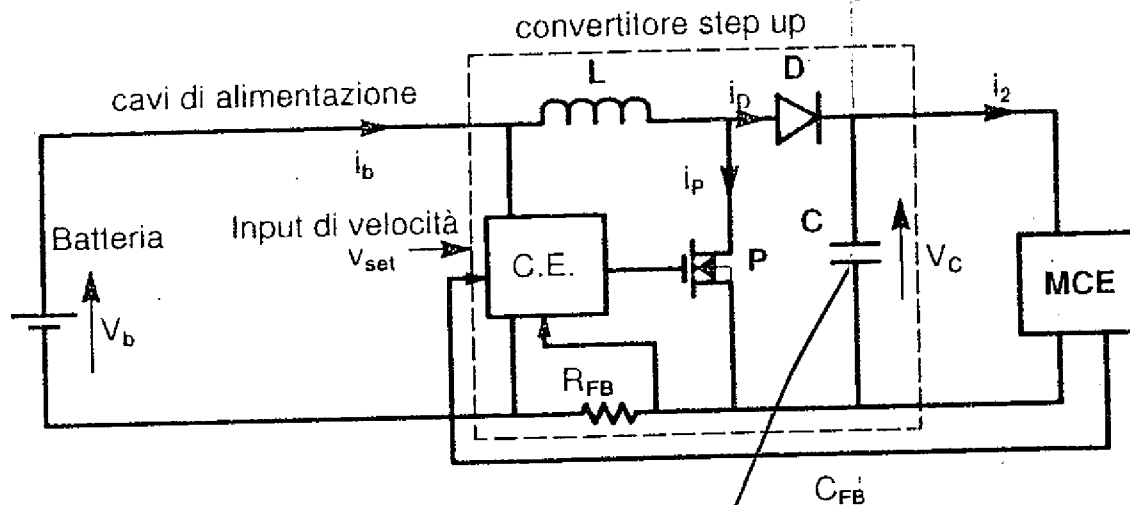
Motore completo

MANDATARI NOMINATI.
 G. Zanardo - R. Coletti - G. Letti - R. Appoloni
 A. De Gregori - G. Di Francesco - C. Fioravanti
 M. Gili - A. Zappella

(ma)

(per sè e per gli altri)





p.i. BITRON S.P.A.

MANDATARI NOMINATI
G. Zanardo - R. Coletti - G. Lotti - R. Appoloni
A. De Gregori - G. Di Francesco - C. Fioravanti
M. Giuli - A. Zappella

(firma)

(per sé e per gli altri)

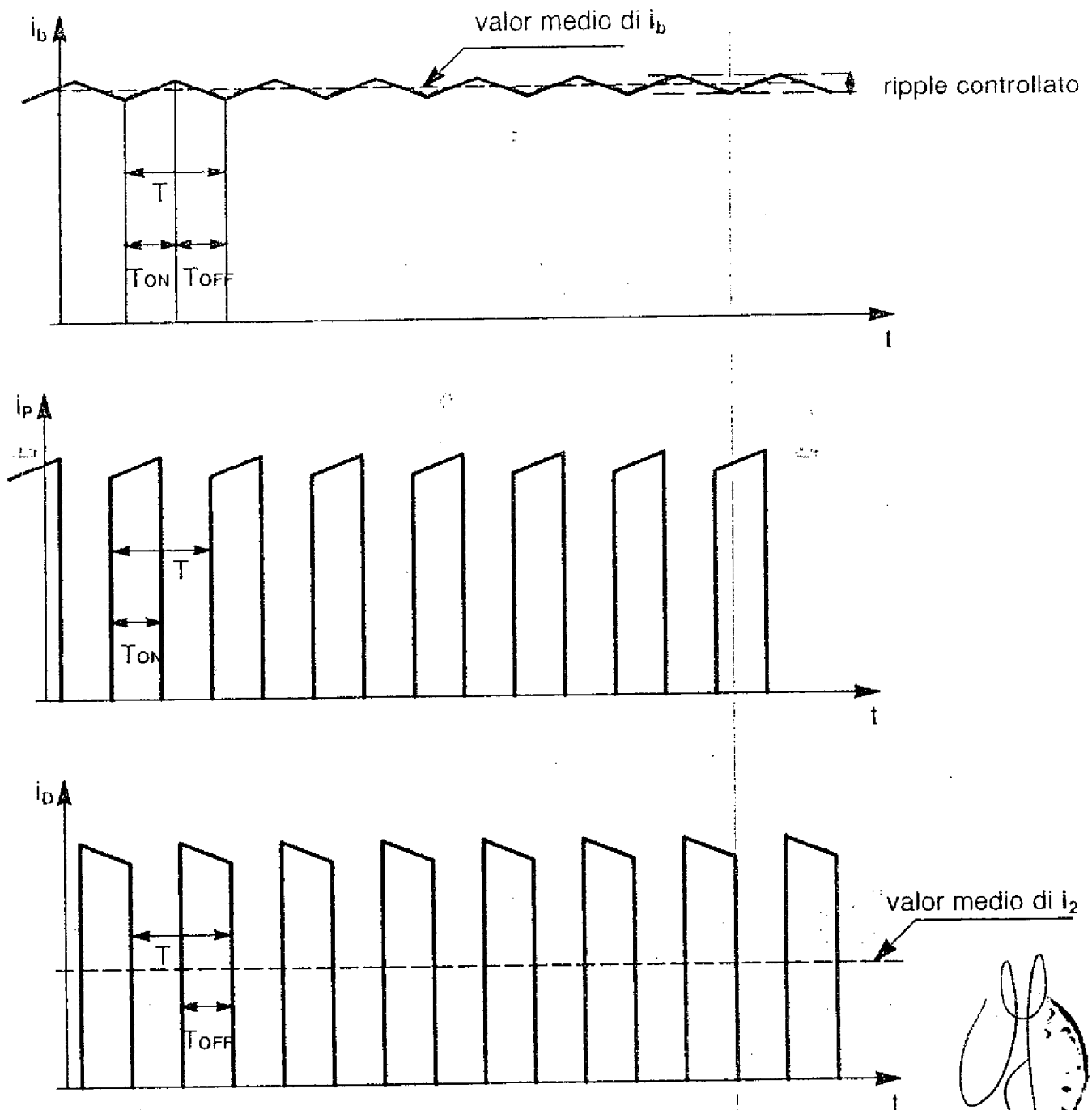


Fig. 2

p.i. BITRON S.P.A.
 MANDATARI NOMINATI
 G. Zanardo - R. Coletti - G. Lotti - R. Appoloni
 A. De Gregori - G. Di Francesco - C. Fioravanti
 M. Giuli - A. Zappella
 (firma)

(per sè e per gli altri)

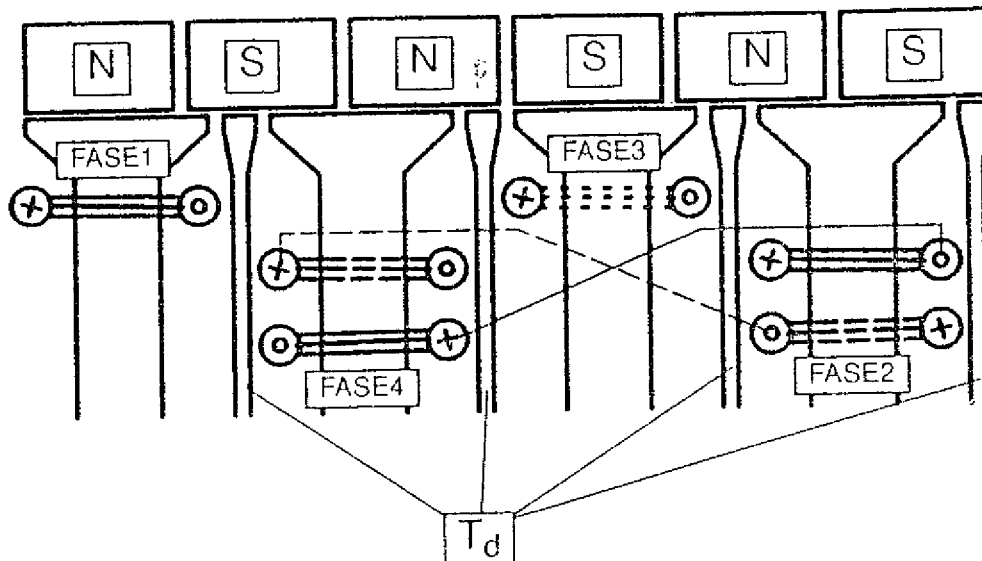


Fig. 4

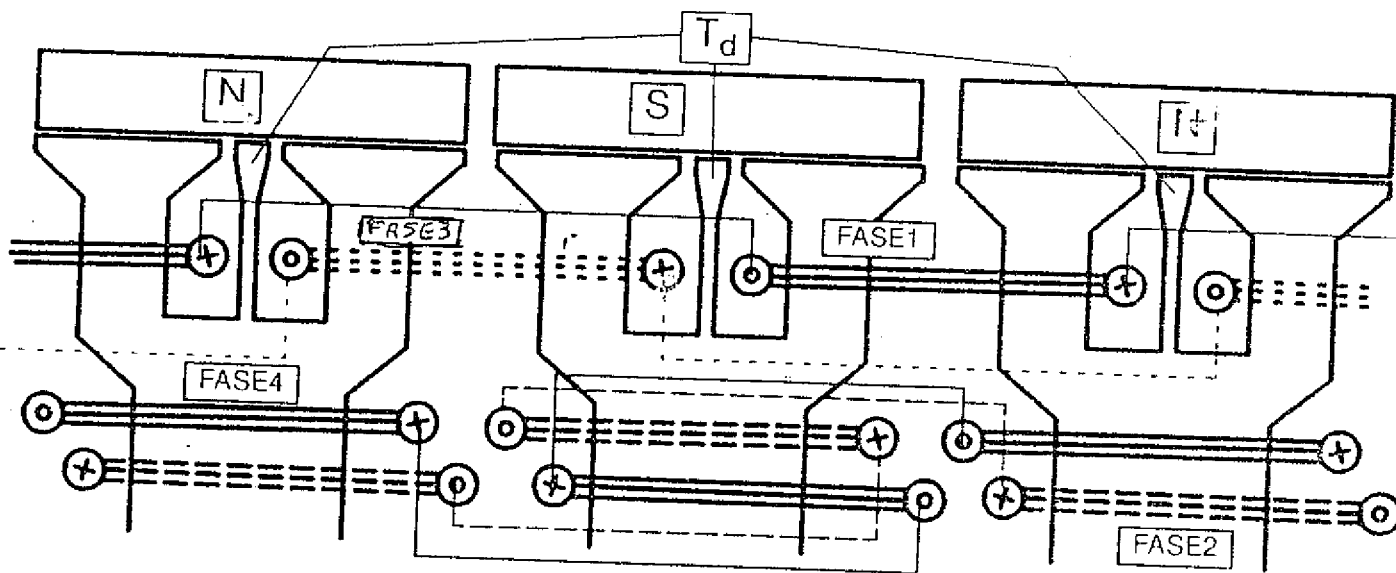


Fig. 5

p.i. BITRON S.p.A.

MANDATARI NOMINATI

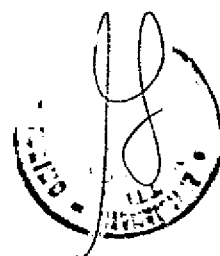
G. Zanardo - R. Colletti - G. Lotti - R. Appoloni

A. De Gregori - G. Di Francesco - C. Fioravanti

M. Giuli - A. Zappella

(firma)

(per sè e per gli altri)



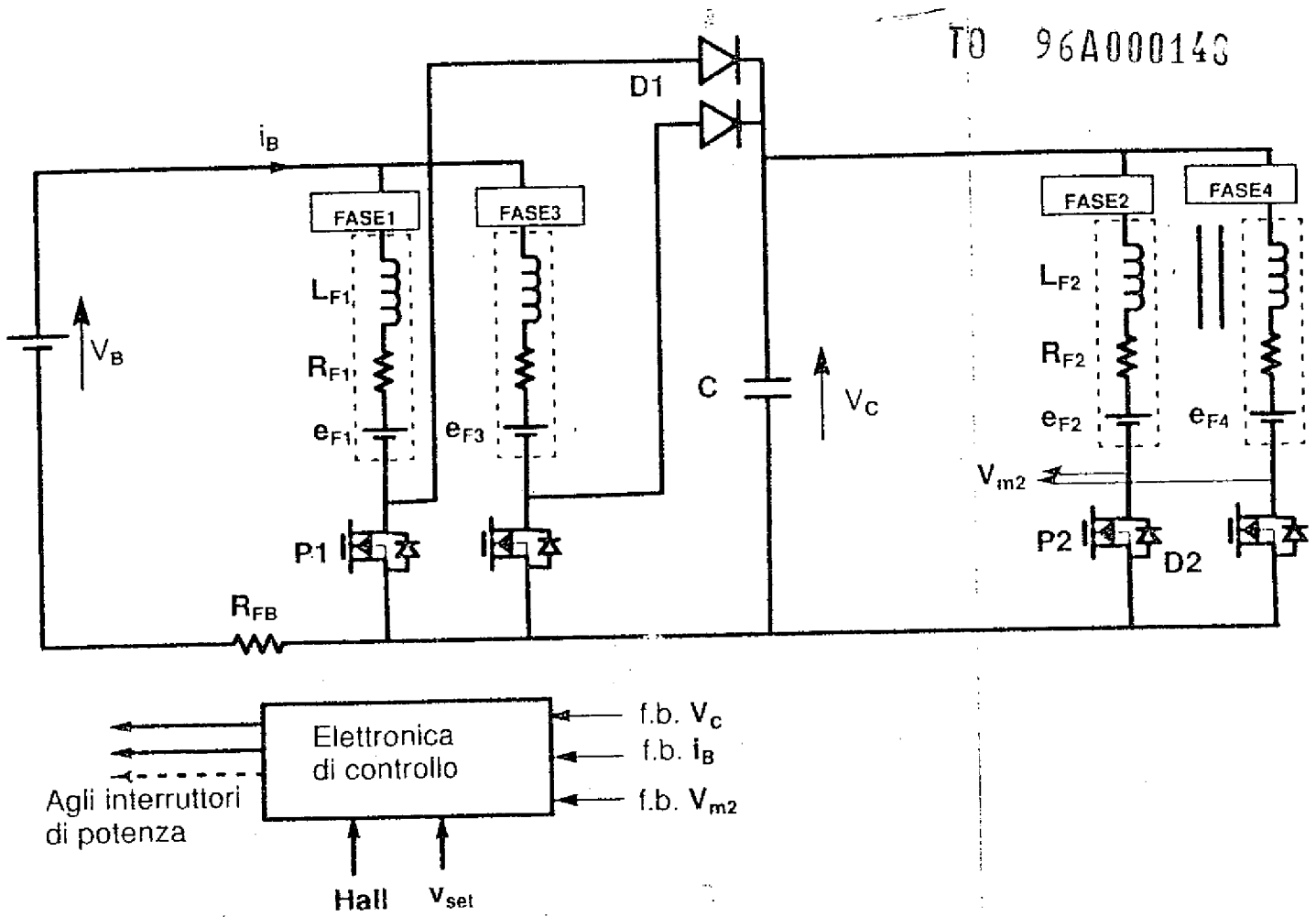


Fig. 6

P.I. BITRON S.P.A.

MANDATARI NOMINATI

G. Zanardo - R. Coleri - G. Lotti - R. Appelfort

A. De Crescenzi - G. Di Francesco - C. Ferrarini

M. Gili - A. Zappella

(firma)

(per sé e per gli altri)

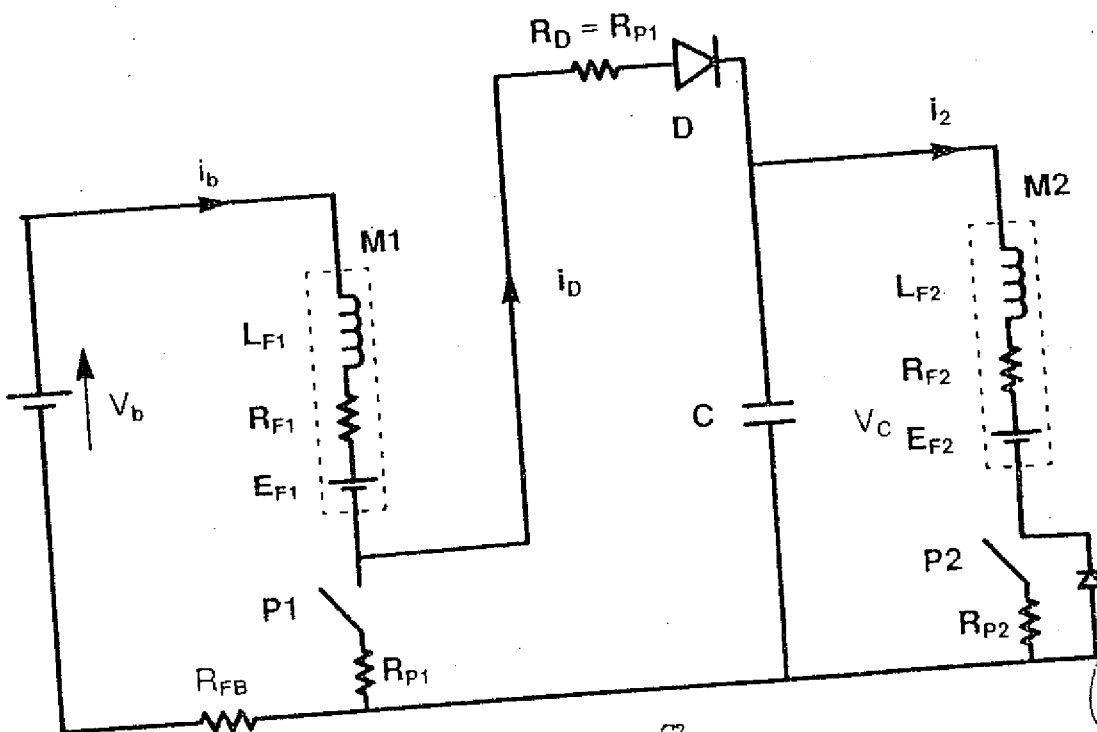


Fig. 8

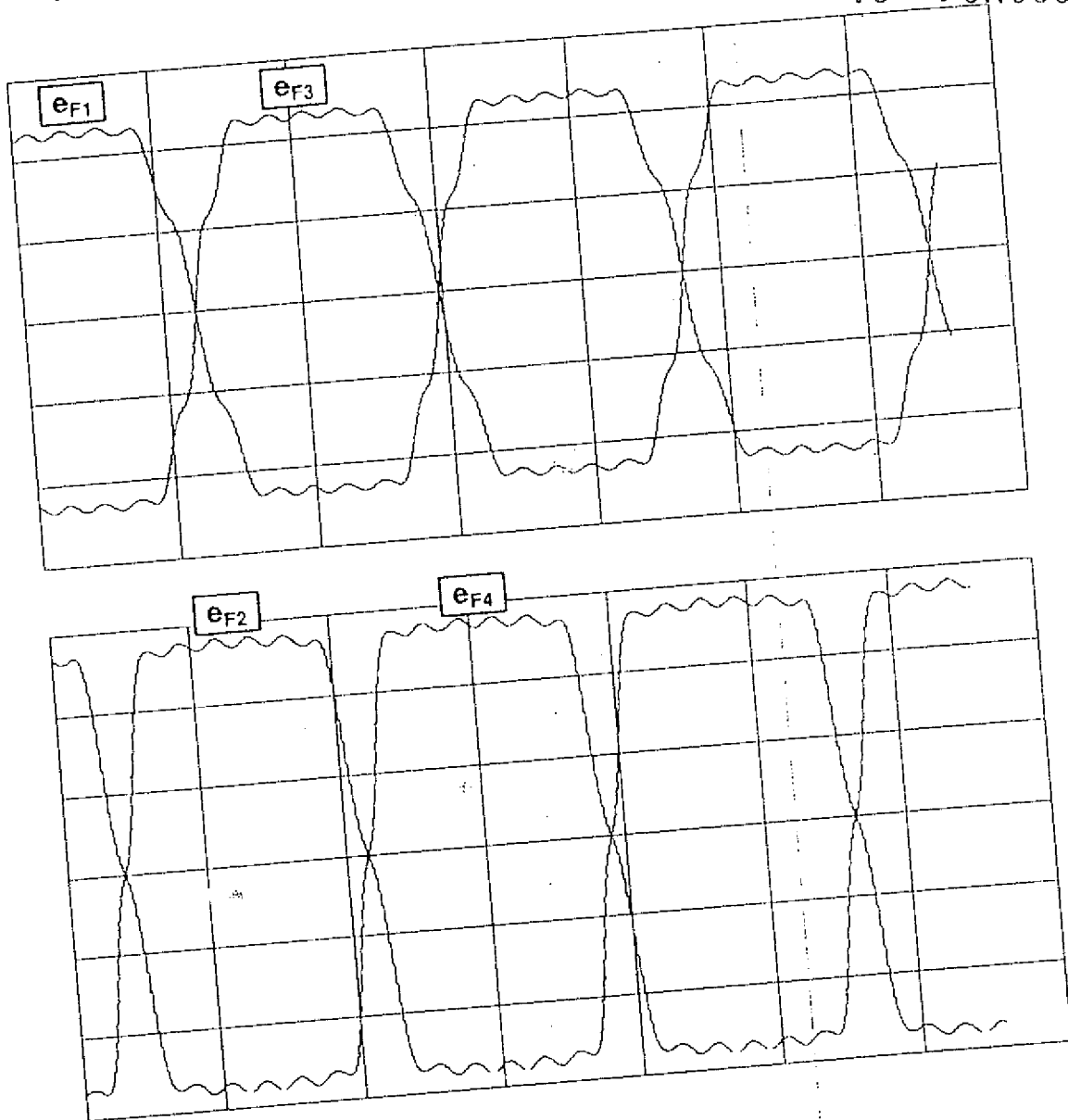


Fig. 7

p.i. BITRON S.p.A.

MANDATARI NOMINATI
 G. Zenardo - R. Coletti - G. Lotti - R. Appoloni
 A. De Gregori - G. Di Francesco - G. Fioravanti
 M. Giuli - A. Zappella

(firma)

(per sè e per gli altri)



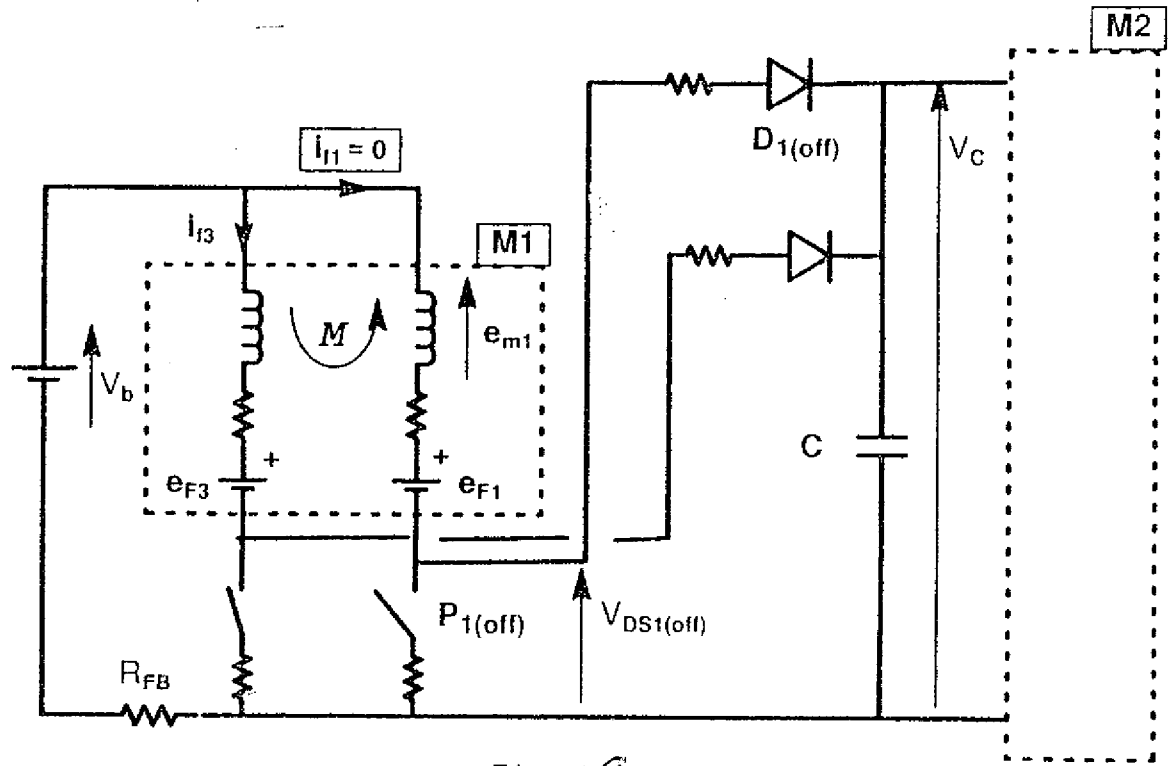


Fig. 9

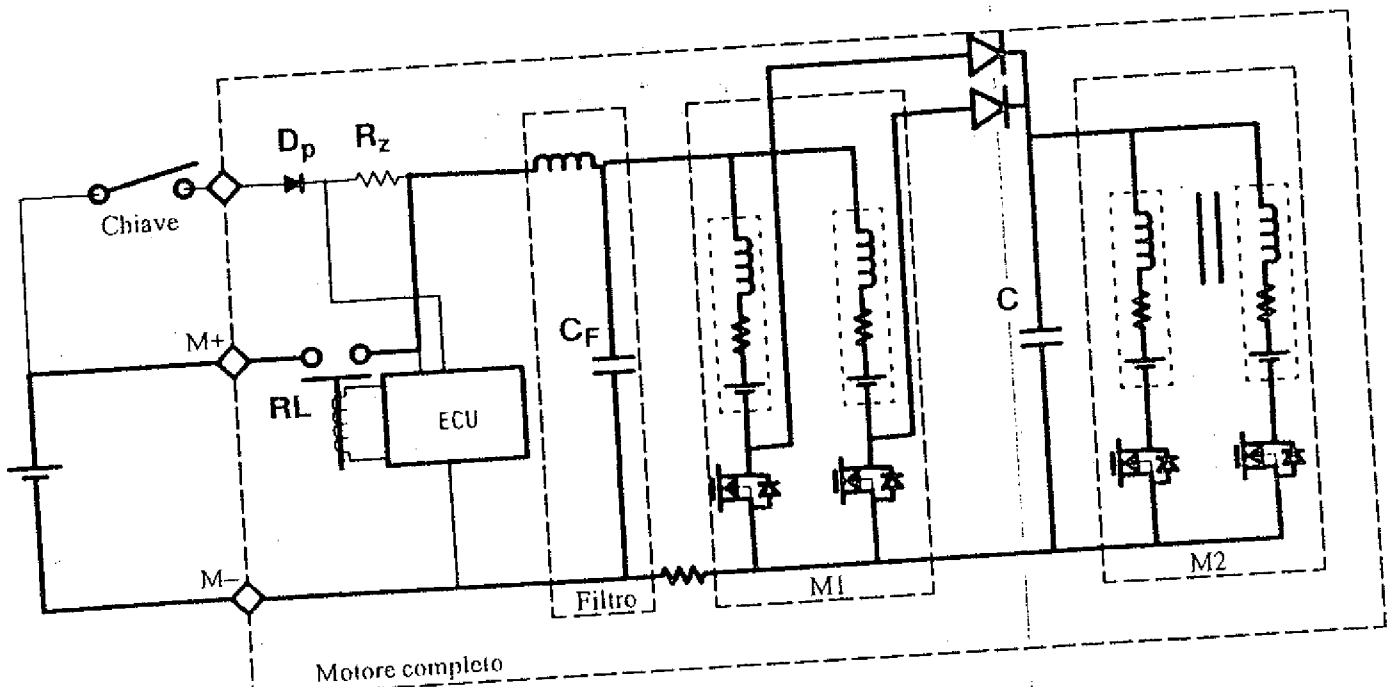


Fig. 11

p.i. BITRON S.P.A.

MANDATARI NOMINATI.

G. Zanardo - R. Coletti - G. Lotti - R. Appoloni

A. De Gregori - G. Di Francesco - C. Fioravanti

M. Giuli - A. Zappella

(firma)

(per sè e per gli altri)

G. Zanardo

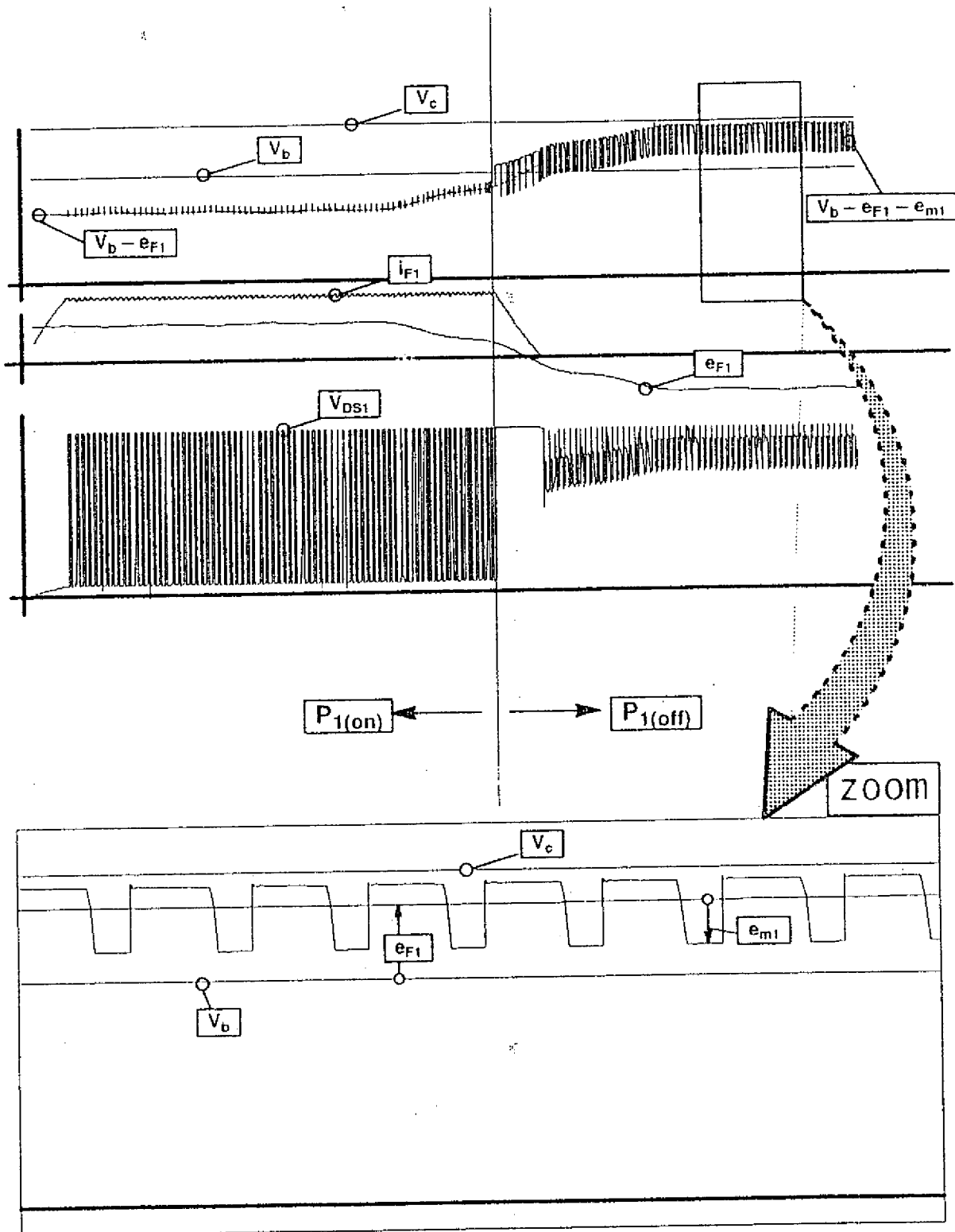


Fig. 70

p.i. BITRON S.p.A.

MANDATARI NOMINATI
 G. Zecardo - R. Colisli - G. Lotti - R. Appoloni
 A. De Gregori - G. Di Francesco - C. Fioravanti
 M. Gluili - A. Zappella

(firma)

(per sè e per gli altri)

