



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

DOMANDA NUMERO	101999900759785
Data Deposito	14/05/1999
Data Pubblicazione	14/11/2000

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	P		

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
D	03	J		

Titolo

METODO E DISPOSITIVO DI CONTROLLO DI MOTORI ELETTRICI TIPO BRUSHLESS
ALIMENTATI IN CORRENTE CONTINUA, PARTICOLARMENTE PER LA MOVIMENTAZIONE
DEL BRACCIO AVVOLGITRAMA NEGLI APPARECCHI ALIMENTATORI DI TRAMA PER TELAI
DI TESSITURA

Descrizione dell'Invenzione Industriale dal titolo:

"Metodo e dispositivo di controllo di motori elettrici tipo brushless alimentati in corrente continua, particolarmente per la movimentazione del braccio avvolgitrama negli apparecchi alimentatori di trama per telai di tessitura"

di: L.G.L. ELECTRONICS S.p.A., di nazionalità italiana, con sede in GANDINO (BG), Via U. Foscolo 156,

Inventori designati: Zenoni Pietro, Pedrini Giovanni, Gotti Luca

Depositata il:

14 MAG 1999

10 99A UUU399

=====

DESCRIZIONE

dr. Ing. C. Spandonari

La presente invenzione si riferisce ad un metodo e ad un dispositivo di controllo di motori elettrici in corrente continua senza spazzole comunemente e brevemente noti con la parola inglese "brushless" o con la sigla BLDC (Brushless Direct Current); detti metodo e dispositivo essendo atti a consentire la vantaggiosa applicazione di tali motori alla movimentazione del braccio avvolgitrama negli apparecchi alimentatori di trama a telai di tessitura.

Come è noto gli alimentatori di trama sono apparecchi comprendenti un tamburo fisso sul quale un braccio avvolgitrama avvolge a mulinello una pluralità di spire di filato costituente una riserva di trama. Tali spire si svolgono dal tamburo dall'alimentatore, su richiesta del telaio, ad ogni inserzione di trama ed il braccio avvolgitrama provvede, su comando di un

microprocessore di governo, a riavvolgere le spire per ripristinare la riserva di trama.

Attualmente il motore più diffusamente impiegato per la movimentazione del braccio avvolgitrama, è quello asincrono trifase. Tale scelta è essenzialmente dettata dalle caratteristiche intrinseche di questi motori e principalmente dai loro bassi costi di installazione e manutenzione dovuti alla struttura semplice e robusta ed alla totale assenza di elementi in contatto di reciproco strisciamento.

dr. Ing. C. Spandonari

Inoltre l'evoluzione della tecnologia a semiconduttori ha messo a disposizione microprocessori di governo recanti integrate unità periferiche in grado di generare direttamente le forme d'onda dei segnali di comando per l'inverter di azionamento di tali motori; intendendosi per inverter il dispositivo di pilotaggio in grado di generare un sistema di tensioni sinusoidali polifase con ampiezza e frequenza variabili a piacere.

Tuttavia, malgrado tali motori asincroni trifase forniscano rendimenti soddisfacenti in termini prestazioni/costi, essi presentano alcuni inconvenienti che limitano le dette prestazioni, specialmente nell'applicazione alla movimentazione del suddetto braccio avvolgitrama degli alimentatori di trama.

Il maggiore di tali inconvenienti è costituito dall'impossibilità di ottenere un efficace e semplice controllo della coppia erogata dal motore. A tal fine è infatti necessario ricorrere a sistemi di controllo sofisticati di tipo vettoriale i quali però, a causa

dell'elevato numero di sensori necessari - almeno due sono richiesti per il controllo delle correnti di fase ed uno per il rilievo della velocità di rotazione - nonchè della elevata richiesta di capacità computazionale, non si prestano ad essere economicamente installati sui detti alimentatori di trama. Di conseguenza si rinuncia a tali costosi e complicati sistemi di controllo di tipo vettoriale e tipicamente si assume, per la regolazione della velocità del motore, un sistema ad anello aperto, lasciando che la velocità di sincronismo imposta dall'inverter venga inseguita dal motore stesso.

In tal modo non è però possibile ottenere dal motore elevate prestazioni dinamiche e ciò rappresenta un grave inconveniente se al braccio avvolgitrama del suddetto apparecchio alimentatore, sono richieste elevate accelerazioni e decelerazioni come sempre più spesso accade in conseguenza del continuo innalzamento della velocità di tessitura.

Inoltre col sistema di regolazione ad anello aperto, frequentemente la corrente assorbita dal motore è sensibilmente più elevata di quella realmente necessaria, per cui la potenza assorbita in eccesso viene dissipata in calore e ciò genera dannosi surriscaldamenti sia del motore che dei componenti elettronici della sezione di potenza dell'inverter.

La presente invenzione è essenzialmente diretta ad eliminare questi gravi inconvenienti sostituendo - per la movimentazione del braccio avvolgitrama nei suddetti apparecchi alimentatori - il

motore asincrono trifase con un motore a corrente continua del tipo brushless sopra specificato e provvedendo un metodo ed un dispositivo di controllo di detto motore brushless specialmente adatti a soddisfare le esigenze di funzionamento dei moderni apparecchi alimentatori di trama.

I vantaggi derivanti dall'impiego di un motore brushless in luogo del motore asincrono trifase, si sostanziano essenzialmente nella possibilità di controllare direttamente e facilmente la coppia motrice mediante il corrispondente controllo della corrente circolante nelle fasi commutate di statore, nel migliorato rapporto potenza/volume con conseguente e corrispondente riduzione - a parità di potenza erogata - delle dimensioni del motore e globalmente dell'alimentatore, nella diminuita inerzia del rotore con la possibilità di migliori accelerazioni e nella semplificazione degli avvolgimenti statorici grazie alla adozione di spire diametrali.

dr. Ing. C. Spandonari

Tuttavia i dispositivi noti, attualmente impiegati per il pilotaggio di un motore brushless, sono tipicamente dotati di un microprocessore di governo, di un sensore di velocità angolare e di una terna di sensori di posizione i quali hanno il compito di codificare la posizione angolare del rotore in passi (steps) di 60° elettrici. Questa informazione è infatti essenziale allo scopo di consentire al microprocessore di governo di commutare le fasi di statore corrette; intendendosi per tali le correnti di fase che generano un flusso di statore in quadratura col flusso rotorico

generato dai magneti permanenti.

La presenza dei suddetti sensori di velocità angolare e di posizione complica però sensibilmente la struttura del dispositivo di pilotaggio e vanifica buona parte dei vantaggi sopra elencati caratteristici dei motori brushless, da un lato aumentando sensibilmente i costi di installazione di tali motori ed il loro ingombro globale, da un altro lato diminuendo altrettanto sensibilmente l'affidabilità del sistema motore/controllo.

Lo scopo essenziale e particolare della presente invenzione è quello di realizzare un metodo ed un dispositivo di controllo di motori brushless che eliminando gli inconvenienti dei sistemi di controllo noti rendano vantaggiosa l'applicazione dei detti motori alla movimentazione del braccio avvolgitrama mantenendone inalterate le caratteristiche intrinseche, particolarmente favorevoli a tale applicazione, con tutti i vantaggi che ne derivano.

dr. Ing. C. Spandonari

Altri importanti scopi della presente invenzione sono quelli di realizzare un metodo ed un dispositivo di regolazione semplici, poco costosi e di elevate efficienza ed affidabilità.

Secondo la presente invenzione si conseguono questi ed altri importanti scopi con un metodo ed un dispositivo di controllo di motori elettrici tipo brushless aventi le caratteristiche specifiche di cui alle rivendicazioni che seguono.

Sostanzialmente l'invenzione si basa sul concetto di eliminare, nel sistema di controllo, il sensore di velocità angolare e la terna di sensori che codificano la posizione angolare del rotore e

di determinare dette velocità e posizione deducendole dalla lettura, per campionamento, delle tensioni di fase del motore fornendo al microprocessore di governo una corrispondente informazione utile agli effetti della commutazione delle fasi di statore. Inoltre, secondo l'invenzione, la corrente di ciascuna fase viene misurata tramite una resistenza di shunt inserita sul conduttore negativo del ponte di alimentazione trifase dato che nei motori brushless fluisce una sola corrente per volta.

Le caratteristiche, le finalità ed i vantaggi del metodo e del dispositivo di controllo secondo l'invenzione risulteranno chiaramente al tecnico del ramo, dalla descrizione dettagliata che segue e con riferimento agli annessi disegni, forniti a titolo di esempio non limitativo, nei quali:

dr. ing. C. Spandonari

- le figg. 1a, 1b, 1c rappresentano complessivamente lo schema elettrico del dispositivo di controllo secondo l'invenzione.
- la fig. 2 è uno schema del microprocessore di governo che pilota il dispositivo delle figg. 1a-c con le relative periferiche in esso integrate,
- la fig. 3 è lo schema elettrico degli avvolgimenti di statore del motore soggetto al dispositivo di controllo delle figure 1,
- la fig. 4 è un diagramma delle forze contro-elettromotrici generate negli avvolgimenti di statore di fig. 3.

In fig. 1 con PO è genericamente indicato il ponte a stella di un inverter di pilotaggio di tipo per sè noto, generante una terna di tensioni di fase VA-Vb-Vc che nell'esempio illustrato

vengono applicate ad un motore brushless BLDC.

In modo per se noto il ponte PO è costituito da sei transistori di potenza Q1...Q6 tipo MOSFET, o IGIBT, ciascuno dotato di un elettrodo di comando (gate) al quale è applicato un rispettivo segnale di commutazione G1...G6 e recante integrato il diodo di ricircolo posto in parallelo al transistore stesso. A detto ponte è alimentata la tensione continua V applicata tra un conduttore positivo Cp ed un conduttore negativo Cn collegato a massa.

Secondo la presente invenzione ciascuna delle tensioni di fase Va-Vb-Vc viene rilevata da un corrispondente circuito di lettura CL illustrato in fig. 1b e da questi inviata al corrispondente canale Ch di un convertitore analogico digitale A/D - costituente una periferica integrata di un microprocessore di governo MC - allo scopo di fornire a detto microprocessore un segnale utile ai fini della commutazione delle fasi statoriche come verrà nel seguito dettagliatamente spiegato.

dr. Ing. C. Spandonari

Ogni circuito CL comprende un partitore R1-R2 che attenua la rispettiva tensione di fase (Va nell'esempio illustrato) ad un valore compatibile con l'ingresso del convertitore A/D, seguito da un amplificatore A1 avente la funzione di disaccoppiare le dette resistenze R1-R2 dal segnale inviato direttamente sul detto corrispondente canale del convertitore A/D.

Secondo un'altra caratteristica dell'invenzione la corrente commutata nelle varie fasi viene rilevata, per fornire un corri-

spondente segnale utile al microprocessore MC, convertendo in tensione V_s , tramite una resistenza R_S di shunt, la corrente circolante sul conduttore negativo C_n di alimentazione del ponte PO. Al fine di limitare la dissipazione sulla resistenza R_S di shunt, la tensione V_s è scelta forzatamente bassa per modo che essa è convenientemente trattata in un corrispondente circuito di lettura LS, illustrato in fig. 1c, formato da una rete comprendente un amplificatore A2 controreazionato dalla tensione di un partitore resistivo R_4 - R_5 ; rete la quale introduce un fattore di amplificazione pari a $1 + R_4/R_5$. L'uscita dell'amplificatore A2 viene filtrata nel filtro passa basso R_3 - C_1 che elimina i disturbi ad alta frequenza presenti nel segnale V_s (generati dalle veloci commutazioni dei transistori di potenza Q) ed il segnale filtrato viene inviato su un corrispondente canale Ch del convertitore A/D anch'esso costituente una periferica integrata del microprocessore MC. Pertanto la periferica A/D avrà almeno tre canali Ch1-2-3 dedicati alla lettura delle tensioni di fase ed un ulteriore canale Ch4 dedicato alla lettura della corrente di fase espressa in termini di tensione V_s corrispondente.

dr. ing. C. Spandonari

Una ulteriore periferica WFG (Wave Form Generator), ulteriormente integrata nel microprocessore MC, provvede alla generazione di segnali logici GL1-GL6 ed un successivo blocco circuitale GD (Gate Driver) converte detti segnali nei reali segnali di comando degli elettrodi G1-G6 dei transistori di potenza Q1-Q6.

Con riferimento alle figure 3 e 4 verrà ora descritto il metodo di commutazione senza sensori oggetto della presente invenzione.

Come è noto in un motore BLDC le forze contro-elettromotrici $E_a-E_b-E_c$ indotte nei corrispondenti avvolgimenti dalle correnti di fase (fig.3), hanno - al variare dell'angolo elettrico α_e - l'andamento trapezoidale indicato nel diagramma di fig. 4. Nel medesimo diagramma è pure indicato l'andamento delle correnti $I_a-I_b-I_c$ circolanti nelle rispettive fasi A-B-C. Tale diagramma mostra che la generica forza contro-elettromotrice E_x attraversa lo zero 30° elettrici prima e dopo la commutazione della corrispondente corrente I_x circolante nell'avvolgimento considerato.

dr. ing. C. Spandonari

Il metodo secondo l'invenzione consiste nell'assumere il passaggio per lo zero della forza contro-elettromotrice E_x come riferimento temporale per la determinazione dell'istante di commutazione della corrispondente corrente I_x . Inoltre il micro-processore deduce il passaggio per lo zero della generica forza contro-elettromotrice E_x , dal valore che nel medesimo istante assume la rispettiva tensione di fase V_x .

Con riferimento alle notazioni della fig. 4, indicando con I la corrente, R ed L la resistenza e l'induttanza di ciascuna fase e con V_n la tensione di centro-stella del ponte PO riferita a massa, valgono infatti le seguenti equazioni:

1) $V_a = E_a + V_n$

$$2) V_b = E_b + RI + L \frac{dI}{dt} + V_n$$

$$3) V_c = E_c - RI - L \frac{dI}{dt} - V_n$$

Nell'istante in cui $E_a = 0$ si ha:

$$4) V_a = V_n \text{ e } E_b = -E_c$$

$$5) V_b + V_c = 2V_n = 2V_a \text{ e conseguentemente}$$

$$V_a = \frac{V_b + V_c}{2}$$

e più in generale

$$6) \quad V_x = \frac{V_y + V_z}{2}$$

Ciò significa che la forza contro-elettromotrice della fase non alimentata, nell'esempio la fase A, passa per lo zero quando la tensione V_a di quella fase è pari alla media aritmetica delle altre due tensioni di fase.

dr. Ing. C. Spandonari

Conseguentemente, secondo l'invenzione, il microprocessore MC è programmato per campionare con frequenza sufficientemente elevata le tensioni di fase V_a - V_b - V_c e rilevando per ciascuna fase il corrispondente valore della tensione per il quale si annulla la rispettiva forza contro-elettromotrice calcola, a partire dall'istante del rilevamento di tale valore, il tempo T_c al termine del quale deve commutare, nello stato successivo, il ponte PO dell'inverter di pilotaggio.

Corrispondentemente dato che gli annullamenti delle tre fasi contro-elettromotrici sono ugualmente spaziati di 60° elettrici e di $60^\circ/p$ meccanici (dove p è il numero di pli del motore BLDC) il microprocessore MC misurando l'intervallo di tempo tra due (o più) passaggi consecutivi per lo zero deduce pure la velocità

angolare al rotore.

Naturalmente, fermo restando il principio del trovato, i particolari di esecuzione del metodo di controllo e le forme di realizzazione del dispositivo di attuazione di tale metodo potranno essere ampiamente variati, rispetto a quanto descritto ed illustrato a titolo di esempio non limitativo, senza per questo uscire dall'ambito dell'invenzione.

dr. Ing. C. Spandonari

RIVENDICAZIONI

1) - Metodo di controllo di motori elettrici tipo brushless alimentati in corrente continua (BLDC) particolarmente per la movimentazione del braccio avvolgitrama negli apparecchi alimentatori di trama a telai di tessitura, caratterizzato dal fatto che consiste nel determinare le posizioni angolari del rotore, utili agli effetti della commutazione delle correnti di fase (Ia-b-c), deducendole dalla lettura per campionamento delle tensioni di fase (Va-Vb-Vc) e nel misurare la corrente di ciascuna fase derivandola dal rilevamento della tensione (Vs) presente ai capi di una resistenza di shunt (RS) inserita sul conduttore negativo di alimentazione del ponte trifase a stella (PO) dell'inverter di pilotaggio generante la terna di tensioni di fase (Va-Vb-Vc) alimentate al detto motore.

dr. ing. C. Spandonari

2) - Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui la commutazione di stato del detto ponte trifase a stella (PO) è comandata al termine di un tempo (Tc) computato a partire dall'istante in cui si annulla la forza contro-elettromotrice (Ex) della fase non alimentata; detto istante essendo coincidente con quello in cui la tensione (Vx) di detta fase non alimentata corrisponde alla media aritmetica delle tensioni delle altre due fasi $\frac{(V_y+V_z)}{2}$.

3) - Metodo di controllo di motori elettrici tipo brushless alimentati in corrente continua, sostanzialmente come descritto ed illustrato e per gli scopi specificati.

4) - Dispositivo per l'attuazione del metodo di controllo secondo

le rivendicazioni 1 a 3, caratterizzato dal fatto che comprende un inverter di pilotaggio con un ponte a stella (PO) generante una terna di tensioni di fase (V_a - V_b - V_c) applicate al motore brushless (BLDC) e dal fatto che detto ponte include sei transistori di potenza ($Q_1...Q_6$) ai quali è alimentata la tensione continua applicata tra un conduttore positivo (C_p) ed un conduttore negativo di massa (C_n); detti transistori di potenza essendo dotati di rispettivi elettrodi ai quali sono applicati corrispondenti segnali di commutazione (G_1 - G_6) prodotti da una periferica integrata (WFG) di un microprocessore di governo (MC).

dr. Ing. C. Spandonari

5) - Dispositivo secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che comprende rispettivi circuiti di lettura (LC) delle dette tensioni di fase (V_a - V_b - V_c) e dal fatto che l'uscita di ogni circuito di lettura (LC) è collegata al corrispondente canale ($Ch_1...3$) di un convertitore analogico digitale (A/D) costituente un'altra periferica integrata di detto microprocessore di governo (MC).

6) - Dispositivo secondo le rivendicazioni 4 e 5, caratterizzato dal fatto che detto conduttore negativo (C_n) di alimentazione del ponte a stella (PO) include una resistenza di shunt (R_S) generante una tensione (V_s) corrispondente alle correnti di fase (I_a - b - c) circolanti nel ponte e dal fatto che la tensione (V_s) misurata con detta resistenza di shunt (R_S) è trattata da un corrispondente circuito di lettura (LS) e da quest'ultimo direttamente

inviata sul corrispondente canale (Ch4) del convertitore (A/D) di detto microprocessore.

7) - Dispositivo secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che i circuiti (LC) per la lettura delle tensioni di fase (V_a - V_b - V_c) includono ciascuno un partitore attenuatore resistivo (R_1 - R_2) ed un amplificatore (A1) che disaccoppia le resistenze del detto partitore dal segnale inviato al corrispondente canale (Ch) del convertitore (A/D).

8) - Dispositivo secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che il circuito di lettura della tensione (V_s) generata dalla resistenza di shunt (R_S) include una rete di amplificazione con un amplificatore (A2) controreazionato dalla tensione di un partitore resistivo (R_4 - R_5), ed un filtro passa basso (R_3 - C_1) atto a tagliare i disturbi di commutazione provenienti dal ponte di pilotaggio (PO).

dr. ing. C. Spandonari

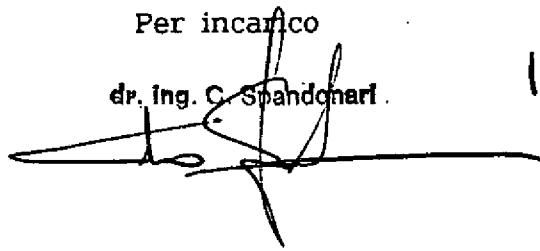
9) - Dispositivo secondo le rivendicazioni 4 a 8, caratterizzato dal fatto che detto microprocessore (MC) è programmato per campionare, con frequenza elevata, le tensioni di fase (V_a - V_b - V_c) prodotte dal ponte di pilotaggio e per produrre la commutazione di stato di detto ponte (PO) al termine di un tempo (T_c) computato a partire dall'istante in cui detto microprocessore verifica che il valore della tensione (V_x) della fase non alimentata ($E_x=0$) uguaglia la media aritmetica delle altre fasi.

10) - Dispositivo di controllo di motori elettrici tipo brushless alimentati in corrente continua, sostanzialmente come descritto,

illustrato e per gli scopi specificati.

Per incarico

dr. ing. C. Spandonari.

A large, stylized handwritten signature in black ink, written over the printed name of the official.

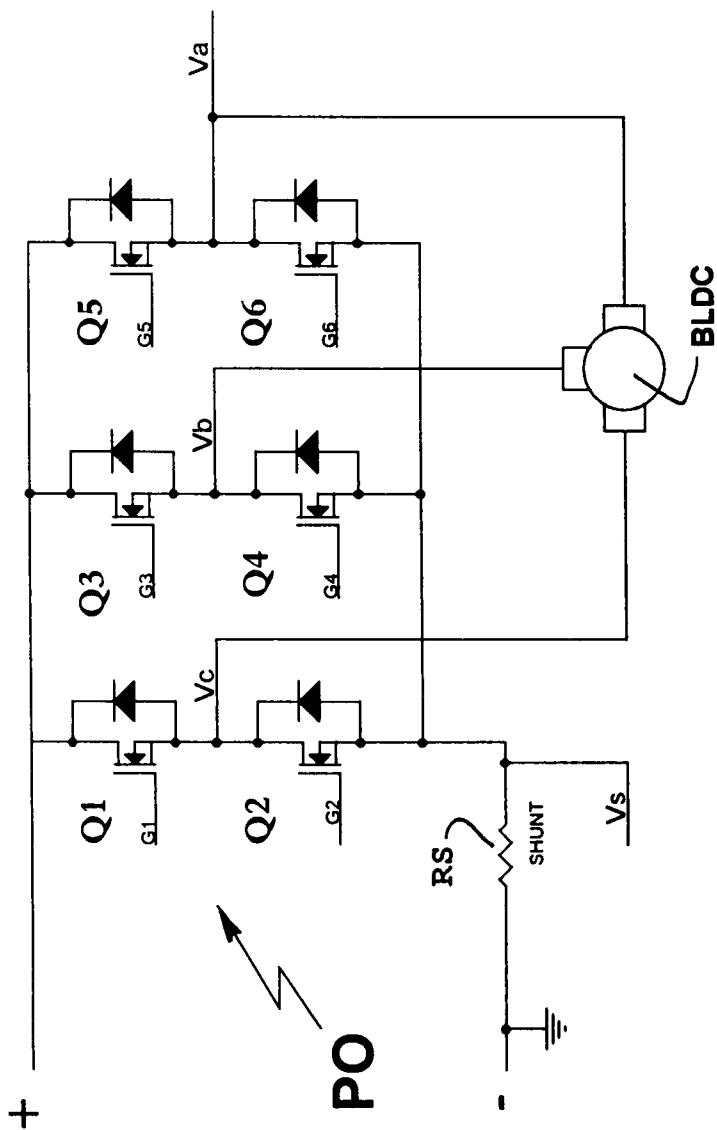


Fig. 1a

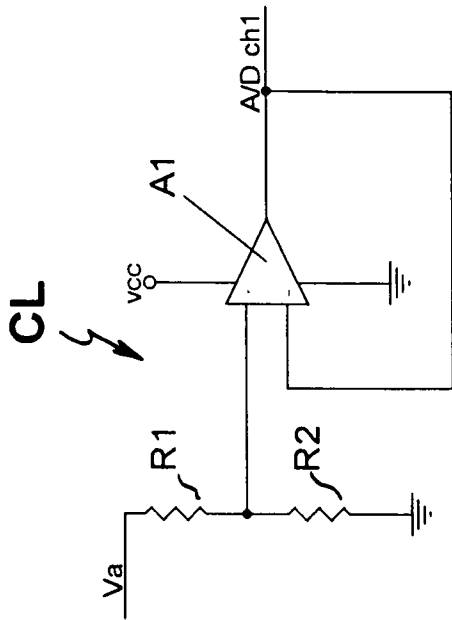


Fig. 1b

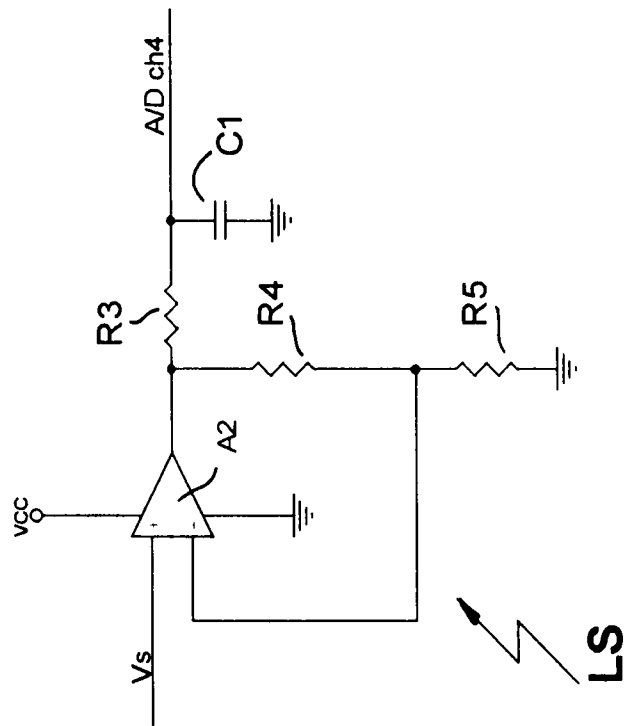


Fig. 1c

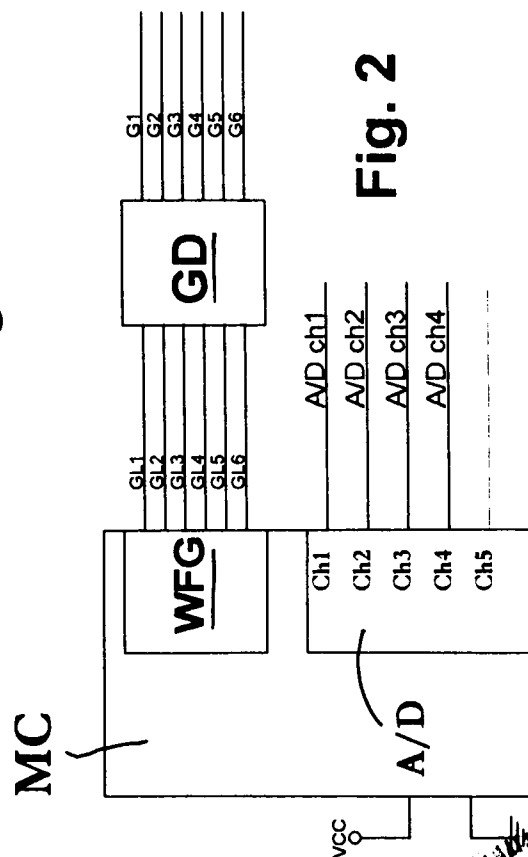


Fig. 2

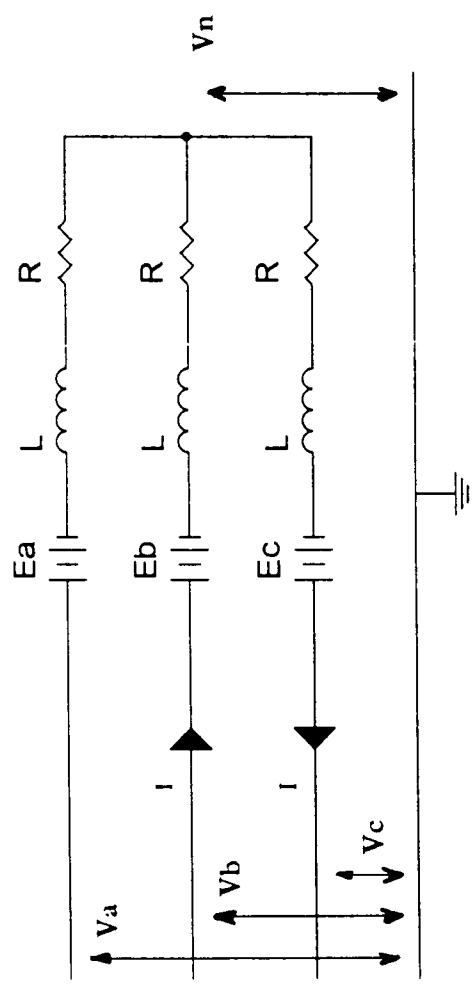


Fig. 3

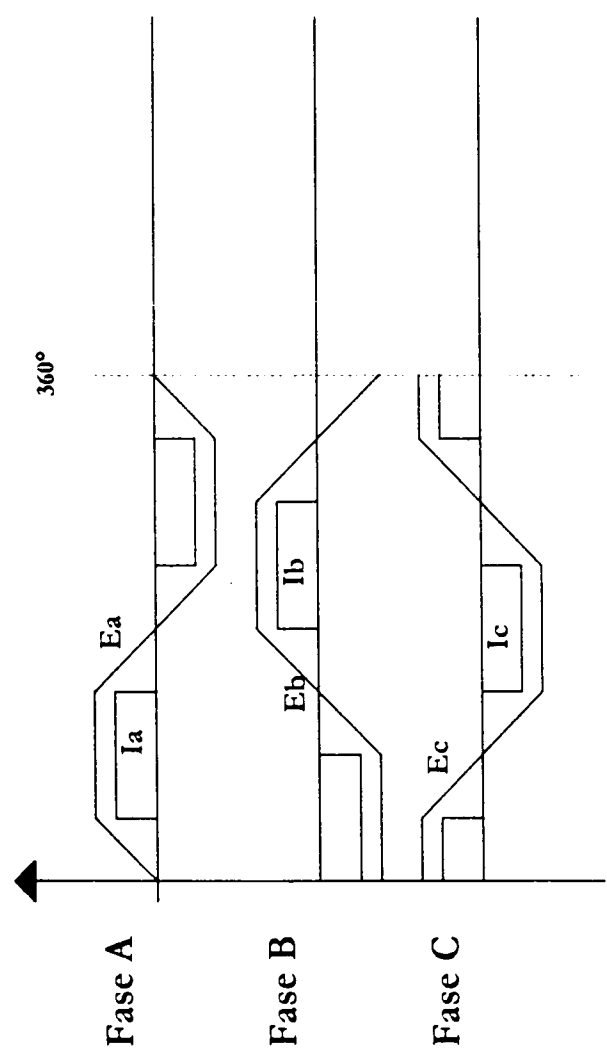


Fig. 4

dr. Ing. C. Spandonari

10/10/1978

10/10/1978