



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

UIBM

DOMANDA NUMERO	102000900875211
Data Deposito	19/09/2000
Data Pubblicazione	19/03/2002

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	41	J		

Titolo

CIRCUITO DI PILOTAGGIO AD ALTA EFFICIENZA PER CARICHI CAPACITIVI.

Domanda di brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"Circuito di pilotaggio ad alta efficienza per carichi capacitivi"

a nome: **STMicroelectronics S.r.l.**

con sede in: **Agrate Brianza (Milano)**

MI 2000 A002044

5

DESCRIZIONE

Campo di applicazione

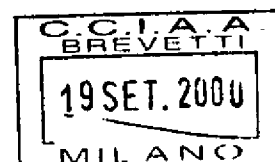
La presente invenzione fa riferimento ad un circuito di pilotaggio ad alta efficienza per carichi capacitivi, del tipo comprendente una porzione circuitale di pilotaggio collegata ad almeno un capo di un
10 carico elettrico capacitivo sul quale viene applicata una forma d'onda di tensione.

L'invenzione riguarda in particolare, ma non esclusivamente, un circuito di pilotaggio per una testina di tipo piezoelettrico per stampanti e la descrizione che segue è fatta con riferimento a questo
15 campo di applicazione con il solo scopo di semplificarne l'esposizione.

Com'è ben noto in questo specifico settore tecnico, esiste una ampia categoria di trasduttori, ad esempio quelli descritti nel brevetto US n° 5,895,998, la cui caratteristica elettrica è assimilabile ad un carico capacitivo. Anche le testine piezoelettriche per stampanti possono
20 essere considerate carichi capacitivi.

Il pilotaggio delle testine avviene applicando una forma d'onda di tensione ai contrapposti terminali delle stesse. La forma d'onda è tipicamente costituita da una successione di fronti lineari.

Un esempio di questo genere di applicazione è descritto nel
25 brevetto US n° 4,767,959 a nome Nippondenso Co.



La particolare precisione con cui viene richiesto di applicare la suddetta forma d'onda di tensione ai capi del carico capacitivo, unitamente all'elevata frequenza del segnale di pilotaggio, porta ad utilizzare circuiti di pilotaggio a funzionamento lineare e ciò comporta
5 un'elevata dissipazione di potenza, nonostante il fatto che il carico sia di per sé stesso di tipo non dissipativo.

Arte nota

La struttura tipicamente utilizzata per applicare una forma d'onda di tensione ad un elemento capacitivo è rappresentata nella qui
10 allegata figura 1 che illustra un esempio di pilotaggio lineare.

In pratica, il circuito di pilotaggio 1 di figura 1 è costituito da un amplificatore operazionale 2 connesso ad uno stadio 3 di uscita in classe B o AB.

Uno stadio 3 di uscita in classe AB e B che pilota un carico
15 capacitivo comporta una dissipazione di potenza che, in prima approssimazione, è data dalla seguente relazione:

$$P_{DISS} = C_{LOAD} * V_{ALIM} * \Delta V * f$$

dove C_{LOAD} esprime il valore del carico capacitivo, V_{ALIM} è la tensione di alimentazione dello stadio 3 di uscita, ΔV è la variazione
20 di tensione ai capi del carico ed f rappresenta la frequenza con cui la forma d'onda viene ripetuta.

E' importante sottolineare che il carico capacitivo è di tipo non dissipativo e tutta la potenza elettrica viene dissipata sui transistori che sono incorporati nello stadio di pilotaggio lineare.

25 Questa soluzione tecnica nota non è dunque particolarmente

efficiente a causa dell'elevata dissipazione di potenza elettrica.

Il problema tecnico che sta alla base della presente invenzione è quello di escogitare un circuito di pilotaggio, in particolare per carichi capacitivi, il quale abbia caratteristiche strutturali e funzionali tali da consentire di pilotare il carico ad elevata efficienza e senza perdere la qualità della forma d'onda generata ai capi del carico capacitivo.

Sommario dell'invenzione

L'idea di soluzione che sta alla base della presente invenzione è quella di mettere a disposizione un circuito di pilotaggio ad elevata efficienza per carichi capacitivi ai capi dei quali viene garantita una forma d'onda di tensione costituita da una successione di fronti lineari tramite una soluzione di pilotaggio di tipo misto, vale a dire di tipo switching e di tipo lineare.

In altre parole, nel circuito secondo l'invenzione vengono fatte coesistere due distinte porzioni, una di tipo switching ed una di tipo lineare che agiscono in parallelo.

Sulla base di questa idea di soluzione il problema tecnico è stato risolto da un circuito di pilotaggio del tipo precedentemente indicato e caratterizzato dal fatto di comprendere anche una porzione circuitale di commutazione collegata in uscita a detto capo del carico capacitivo per fornire una frazione della corrente totale richiesta dal carico.

Le caratteristiche ed i vantaggi del circuito secondo l'invenzione risulteranno dalla descrizione, fatta qui di seguito, di un esempio di realizzazione dato a titolo indicativo e non limitativo con

riferimento ai disegni allegati.

In tali disegni:

Breve descrizione dei disegni

- la figura 1 mostra una vista schematica di un circuito di
5 pilotaggio di un carico capacitivo realizzato secondo l'arte nota;
- la figura 2 mostra una vista schematica di un circuito di
pilotaggio di un carico capacitivo realizzato secondo la presente
invenzione;
- la figura 3 mostra un diagramma comparativo tra la
10 forma d'onda della corrente assorbita dal carico e la tensione applicata
ai capi del carico;
- la figura 4 mostra una vista schematica di un esempio di
realizzazione di un particolare del circuito di figura 2;
- la figura 5 mostra un diagramma di flusso che illustra
15 sequenzialmente la modalità operativa di un particolare del circuito
secondo l'invenzione;
- la figura 6 mostra un ulteriore diagramma di flusso che
illustra sequenzialmente un'altra modalità operativa di un particolare
del circuito secondo l'invenzione;
- 20 - le figure 7, 8 e 9 mostrano rispettive viste schematiche
del circuito di figura 3 in tre diverse fasi di funzionamento;
- la figura 10 mostra in un diagramma comparativo
l'andamento di segnali di tensione e corrente presenti nel circuito
secondo l'invenzione;
- 25 - la figura 11 mostra un diagramma corrente-tempo che

riporta alcuni intervalli di tempo nei quali il circuito secondo l'invenzione viene attivato in modalità particolari;

- la figura 12 mostra una vista schematica di una variante di realizzazione del circuito di figura 4;

5 - la figura 13 mostra un diagramma corrente-tempo per segnali in corrente presenti nel circuito di figura 12;

- le figure 14 e 15 mostrano rispettivi schemi di flusso che illustrano schematicamente un tipo di controllo con isteresi per il circuito secondo l'invenzione;

10 - la figura 16 mostra una vista schematica di un esempio di applicazione del circuito secondo l'invenzione.

Descrizione dettagliata

Con riferimento a tali figure, ed in particolare all'esempio di figura 2, con 10 è globalmente e schematicamente indicato un circuito di pilotaggio realizzato secondo la presente invenzione per il pilotaggio di
15 un carico elettrico capacitivo indicato con 11.

Il circuito 10 secondo l'invenzione comprende un amplificatore operazionale 12 avente uscita connessa in retroazione al proprio ingresso invertente e collegata inoltre ad un capo del carico 11, nodo X,
20 per fornire una corrente I_{AMP} . L'altro ingresso, non invertente, dell'amplificatore 12 riceve un segnale di comando da un terminale IN di ingresso del circuito 10. Tale amplificatore 12 può essere considerato il cuore della porzione lineare del circuito 12.

Vantaggiosamente, il circuito 10 secondo l'invenzione
25 comprende anche una porzione circuitale 13 di commutazione,

cosiddetta di switching, collegata in uscita al carico capacitivo 11 per fornire una corrente I_{SW} .

Un blocco 14 di controllo è previsto per il pilotaggio della porzione circuitale 13 di switching.

5 In sostanza, l'invenzione prevede uno schema circuitale che mira ad ottenere un pilotaggio ad elevata efficienza del carico capacitivo attraverso uno schema misto lineare-switching e senza perdere la qualità della forma d'onda generata ai capi del carico capacitivo 11.

Vantaggiosamente, il compito della porzione circuitale 13 di
10 switching è quello di fornire una buona frazione della corrente totale richiesta dal carico 11, e con elevata efficienza, mentre la porzione circuitale 12 lineare garantisce la precisione della forma d'onda in tensione fornendo solo la differenza di corrente, con notevole risparmio energetico.

15 Lo porzione circuitale 12 lineare deve soddisfare a requisiti di banda e di slew-rate del segnale che si vuole sia riprodotto sul carico. Nella figura 3 viene rappresentata a titolo di esempio la forma d'onda della richiesta di corrente da parte del carico capacitivo, linea 6, a fronte di una forma d'onda di tensione applicata ai capi del carico, linea 5.

20 Per soddisfare alle richieste di corrente da parte del carico, la porzione di switching del circuito 10 comprende un circuito a ponte 15 di transistori M1, M2, M3 ed M4 interconnessi tra loro in uno schema full-bridge ad elevata efficienza.

Il ponte 15 è alimentato tra un primo riferimento di tensione
25 V_{ALIM} di alimentazione ed un secondo riferimento di massa GND.

Un'induttanza 16 è inserita tra due contrapposti nodi del ponte 15.

Nella forma preferita di realizzazione qui descritta a titolo indicativo e non limitativo tale ponte 15 è formato da transistori MOS di potenza. Nulla vieta però di utilizzare un ponte di transistori bipolari.

5 Il circuito a ponte 15 è accoppiato al carico 11 attraverso un commutatore o switch bidirezionale M5.

I terminali di comando dei transistori M1, M2, M3 ed M4 del circuito a ponte 15 sono tutti collegati al blocco di controllo 14 che è collegato in uscita anche al commutatore M5.

10 Il blocco di controllo 14 agisce sui transistori del ponte 15 in modo da ottenere un profilo di corrente il più possibile prossimo a quello richiesto. Per questo motivo il blocco di controllo 14 necessita di informazioni riguardanti la durata, lo slew-rate della rampa e il valore del carico C_{LOAD} .

15 Nello schema di flusso di figura 5 è riportata schematicamente una successione di fasi operative che illustrano il funzionamento del blocco di controllo 14 durante una rampa di salita della tensione V_{LOAD} .

20 Analogamente, nello schema di flusso di figura 6 è riportata schematicamente una successione di fasi operative che illustrano il funzionamento del blocco di controllo 14 durante una rampa di discesa della tensione V_{LOAD} .

25 Il blocco di controllo 14 comprende essenzialmente una interfaccia logica accoppiata al sensore 17 di corrente, una rete logica in tecnologia digitale avente stadi di uscita analogici collegati ai terminali

di comando dei transistori del circuito a ponte 15 e del commutatore M5.

Vediamo più in dettaglio, e con l'aiuto delle figure schematiche 7, 8 e 9, il funzionamento del circuito 10 secondo l'invenzione nella
5 situazione di rampa di salita sul carico 11.

Le fasi operative possono essere suddivise in tre fasi distinte qui di seguito dettagliate:

1. Fase di precarica T1: poiché il valore di corrente richiesto all'inizio della rampa è diverso da zero, l'induttanza 16 dev'essere
10 precaricata al valore richiesto per un periodo T1 antecedente all'inizio della rampa e attraverso la chiusura di due transistori M1 ed M2 del ponte 15. Durante questa fase gli altri transistori M3, M4 e M5 sono aperti.

Il flusso di corrente è rappresentato dalla linea punteggiata
15 18.

2. Fase di rampa T2: all'inizio della rampa vengono aperti i transistori M1 ed M2 e viene chiuso lo switch M5. La corrente viene in questo modo rilasciata verso il carico passando attraverso un diodo intrinseco D4, visibile in figura 7, associato al transistor M4, ed anche
20 attraverso lo switch M5.

In questa fase l'induttanza 16 si scarica in parte, o anche completamente, della corrente che possiede all'inizio e l'amplificatore 12 agisce in modo tale da garantire la forma d'onda in tensione all'uscita con, una corrente I_{AMP} pari alla differenza tra corrente richiesta dal
25 carico I_{LOAD} e quella fornita dal ponte 15 I_{SW} .

Il flusso di corrente è rappresentato dalla linea punteggiata 19.

3. Fase di ricircolo T3: a fine rampa viene aperto lo switch M5 e all'eventuale corrente residua nell'induttanza 16 è consentito di ricircolare attraverso rispettivi diodi intrinseci D3, D4 associati ai transistori M3 ed M4, restituendo all'alimentazione una buona frazione dell'energia residua accumulata nell'induttanza 16.

Il flusso di corrente è rappresentato dalla linea punteggiata 20.

10 Nella figura 10 sono mostrati diagrammi comparativi che illustrano i rispettivi andamenti della corrente I_L nell'induttanza 16, della corrente I_{SW} in uscita dalla porzione circuitale 13 di switching e dalla corrente I_{AMP} uscente dall'amplificatore 12 con riferimento alle tre fasi T1, T2 e T3 descritte in precedenza.

15 Come si può osservare da questi diagrammi, solo una frazione della corrente di carico viene fornita dalla porzione lineare 12 mentre la rimanente corrente viene rilasciata in modo idealmente non dissipativo dalla porzione 13 di switching.

20 Vale la pena di notare che un corretto dimensionamento dei transistori incorporati nella porzione circuitale 13 di switching rende effettivamente trascurabile la loro dissipazione durante la fase di conduzione.

25 Allo scopo di aumentare l'efficienza del sistema, migliorando la precisione con cui la porzione circuitale 13 di switching approssima il profilo di corrente richiesta dal carico, durante la fase indicata

precedentemente come T2 è possibile effettuare un'azione correttiva contro il decadimento della corrente rilasciata attraverso l'induttanza 16. Per ottenere questo risultato è sufficiente agire sul transistor M1 azionandolo in chiusura durante predeterminati ed opportuni periodi di
5 tempo, indicati nella figura 11 con T^* . In questo modo è possibile sostenere valore della corrente rilasciata al carico attraverso l'induttanza 16 e quindi diminuire la quantità di corrente sostenuta dalla porzione lineare 12 a maggiore dissipazione.

La gestione dei periodi di tempo T^* può essere effettuata
10 attraverso calcoli sull'evoluzione temporale della corrente nell'induttanza 16, oppure in modo più semplice attraverso l'utilizzo di una variabile di retroazione.

A titolo di esempio schematico, nella figura 12 lo schema del circuito 10 viene modificato per utilizzare come variabile di retroazione
15 la corrente I_{AMP} , uscente dalla porzione lineare 12.

Un sensore 17 viene situato a valle della porzione 12, a monte del nodo X, e collegato al blocco di controllo 14 per rilevare il valore della corrente I_{AMP} .

In base al valore di tale corrente I_{AMP} viene commutato il
20 ponte 15, ed in particolare il transistor M1 durante la rampa di salita in tensione, oppure il transistor M4 durante la rampa di discesa in tensione.

Il controllo sulla variabile di retroazione può essere effettuato in diversi modi.

25 Ad esempio, è possibile chiudere il transistor M1 in istanti

prefissati e riaprirlo in corrispondenza dell'attraversamento di una prefissata soglia da parte della corrente I_{AMP} .

Un diverso controllo può prevedere l'adozione di un'isteresi; ad esempio, quando la corrente uscente dalla porzione 12 lineare supera una opportuna soglia I_{HIGH} , il transistor M1 del ponte 15 (oppure il transistor M4 durante la rampa di discesa) viene chiuso fino a quando la suddetta corrente raggiunge una soglia inferiore I_{LOW} che determina l'apertura del transistor M1 (M4).

In questo modo viene realizzato un controllo con isteresi del tipo:

$$I_{HYST} = I_{HIGH} - I_{LOW}$$

Il tipo di controllo e le corrispondenti forme d'onda sono mostrate nella figura 13 in corrispondenza di un predeterminato periodo di tempo definito come T_2 .

La scelta del valore della corrente I_{HYST} si basa su un compromesso. Un valore piccolo comporta un'elevata velocità di commutazione dei rami circuitati a semiponte, mentre un valore grande può determinare una maggiore dissipazione della porzione lineare 12.

Nelle figure 14 e 15 sono riportati rispettivi schemi di flusso che illustrano schematicamente il tipo di controllo con isteresi inerente una rampa di salita ed una rampa di discesa, rispettivamente.

E' da notare che l'adozione di un unico circuito di pilotaggio, come quello precedentemente descritto ed illustrato, è sufficiente solo qualora il tempo che intercorre tra due rampe adiacenti sia tale da determinare un ricircolo di corrente nei diodi al termine della

prima rampa e a precaricare l'induttanza 16 ad un valore di corrente richiesto prima dell'inizio della successiva rampa.

Nel caso in cui ciò non si verifichi, si rende necessario duplicare la porzione circuitale 13 di switching in modo tale da avere un
5 circuito a ponte B1 preposto ad iniettare corrente durante le rampe di salita, e un circuito a ponte B2 per assorbire corrente dal carico 11 durante le rampe di discesa, il tutto come illustrato schematicamente in figure 16.

Inoltre, in tale figura 16 viene proposta una variante di
10 realizzazione in cui due transistori di ciascuno dei circuiti a ponte B1 e B2 sono stati sostituiti con corrispondenti diodi D11 e D12, nel ponte B1, e D13 e D14 nel ponte B2.

Questa ulteriore soluzione consente di molto semplificare il controllo della fase di ricircolo di corrente.

15 Il circuito secondo l'invenzione, nelle sue varianti, risolve dunque il problema tecnico e consegue numerosi vantaggi, il primo dei quali è dato sicuramente dal fatto che il carico capacitivo 11 viene pilotato ad elevata efficienza e senza perdere la qualità della forma d'onda generata ai capi del carico stesso.

20

RIVENDICAZIONI

1. Circuito di pilotaggio ad alta efficienza per carichi capacitivi, del tipo comprendente una porzione circuitale (12) di pilotaggio collegata ad almeno un capo (X) di un carico (11) elettrico capacitivo sul quale viene applicata una forma d'onda di tensione, caratterizzato dal fatto di comprendere anche una porzione circuitale (13) di commutazione collegata in uscita a detto capo (X) del carico capacitivo (11) per fornire una frazione della corrente totale richiesta dal carico (11).

2. Circuito secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di comprendere un blocco (14) di controllo per il pilotaggio della porzione circuitale (13) di commutazione.

3. Circuito secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta porzione circuitale (13) di commutazione comprende un circuito a ponte (15) di transistori alimentato tra un primo riferimento di tensione di alimentazione ed un secondo riferimento di massa.

4. Circuito secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che un'induttanza (16) è inserita tra due contrapposti nodi di detto circuito a ponte (15).

5. Circuito secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detto circuito a ponte (15) è accoppiato al carico (11) tramite un commutatore bidirezionale (M5).

6. Circuito secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto di che i terminali di comando dei transistori del circuito a ponte (15) sono tutti collegati ad uscite del blocco di controllo (14), che è

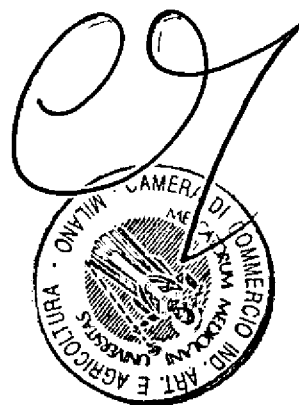
collegato in uscita anche al commutatore (M5).

7. Circuito secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto di comprendere un sensore (17) di corrente collegato a valle di detta porzione lineare (12) e a detto blocco di controllo (14).

5 8. Circuito secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detto circuito a ponte (15) comprende diodi e transistori.

 9. Circuito secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto di comprendere un'ulteriore circuito a ponte (B2) preposto per assorbire corrente dal carico (11) durante le rampe di discesa di detta
10 forma d'onda.

Ing. Mario BOTTI
N. Iscriz. ALBO 493 BM



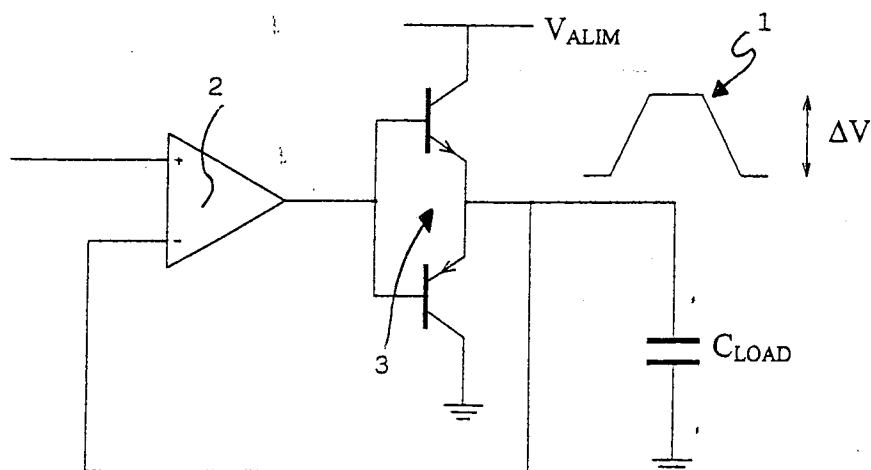


Fig. 1

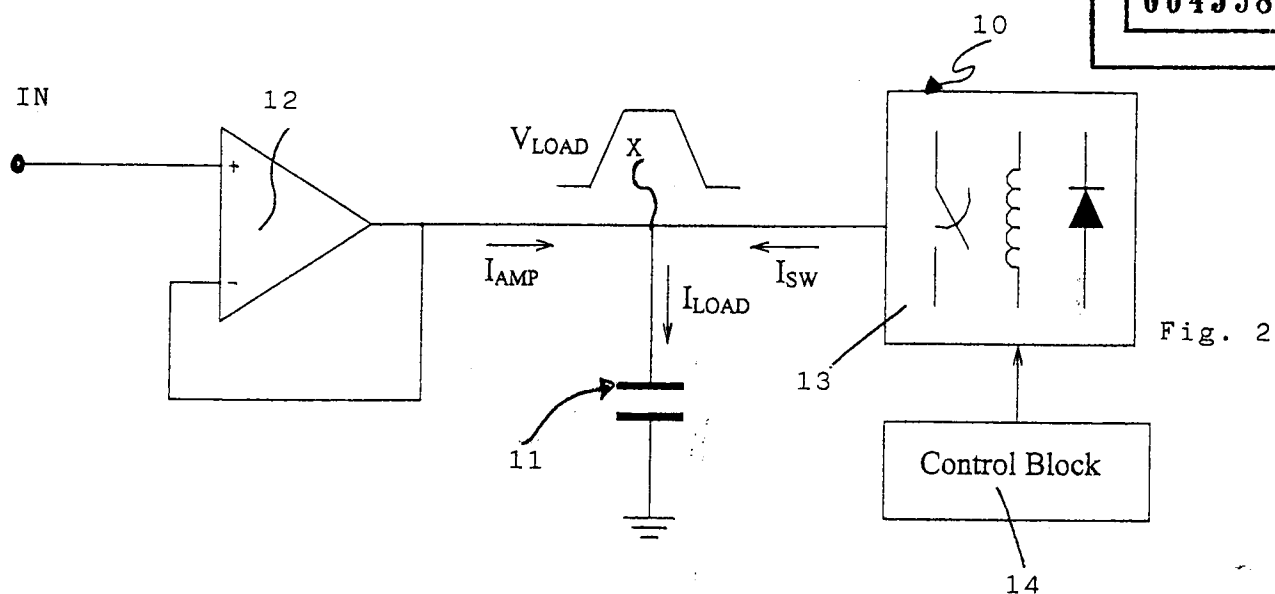
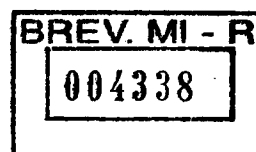


Fig. 2

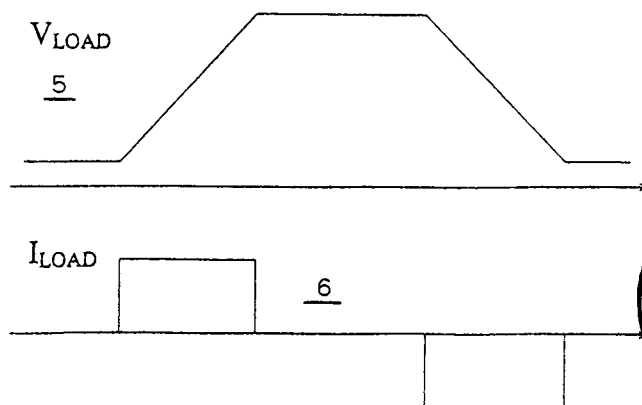


Fig. 3



Ing. Barbara FERRARI
N. Iscriz. ALBO 822 B

Barbara Ferrari

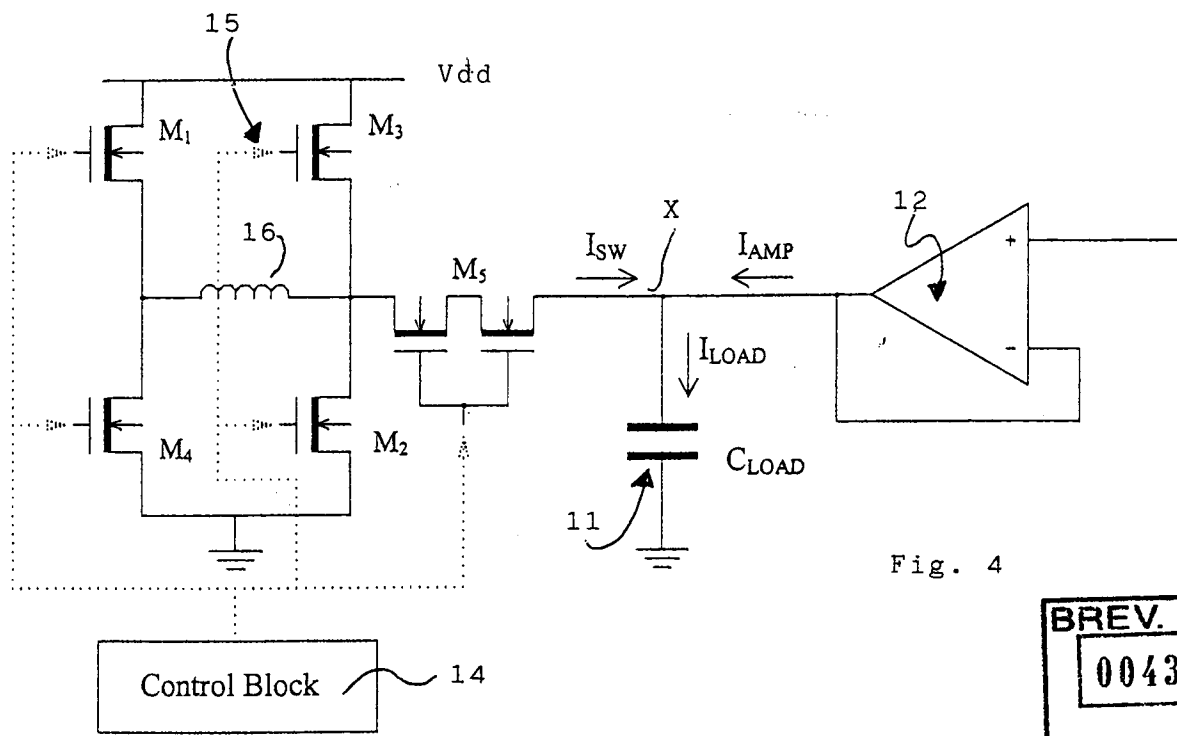


Fig. 4

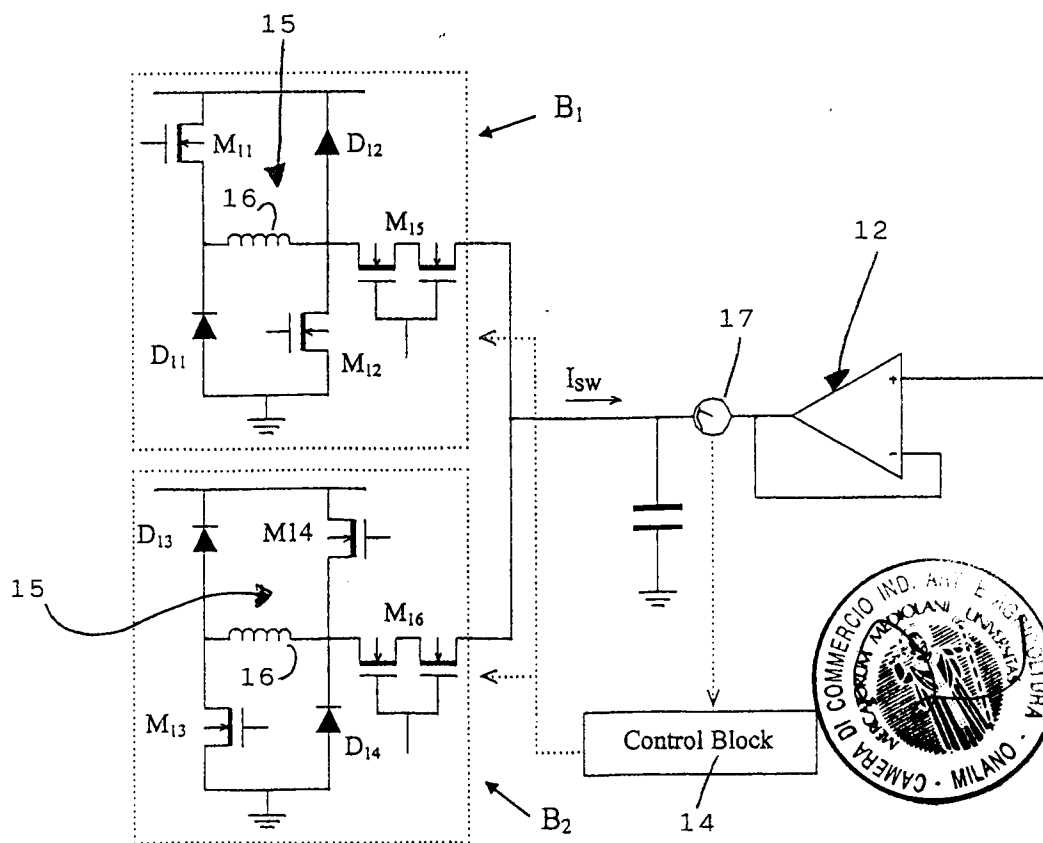
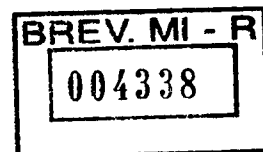
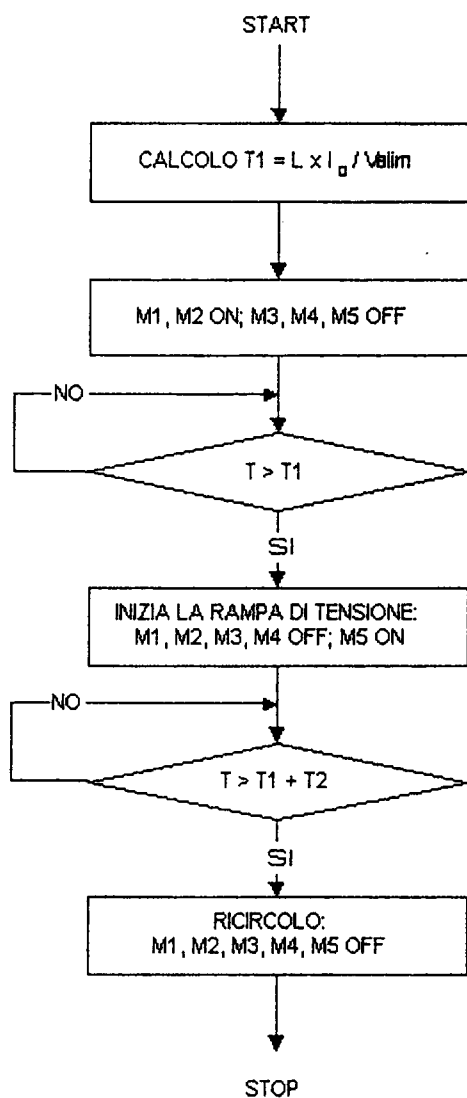
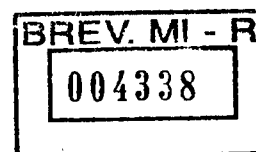


Fig. 16

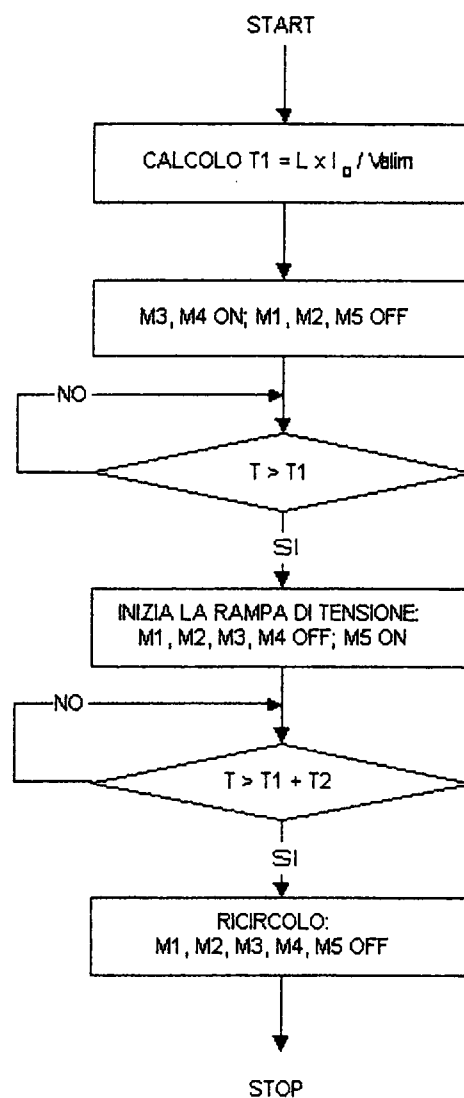
Ing. Barbara FERRARI,
N. Iscriz. ALBO 822 B
Barbara Ferrari





Flow Chart relativo alla rampa di salita

Fig. 5



Flow Chart relativo alla rampa di discesa

Fig. 6



Ing. Barbara FERRARI
N. Iscriz. ALBO 822 B

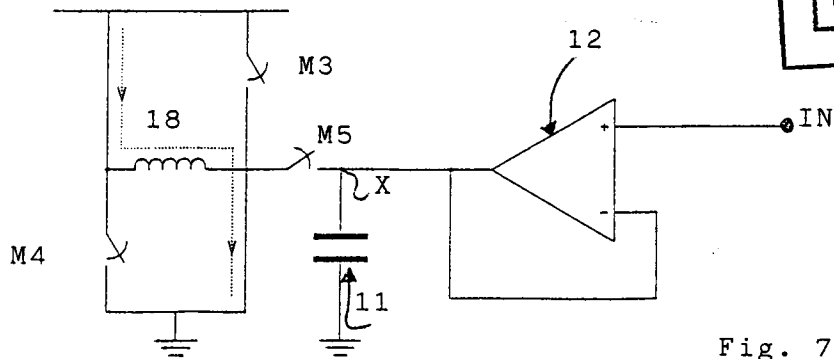
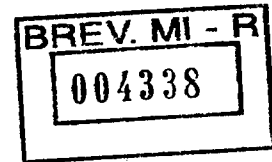


Fig. 7

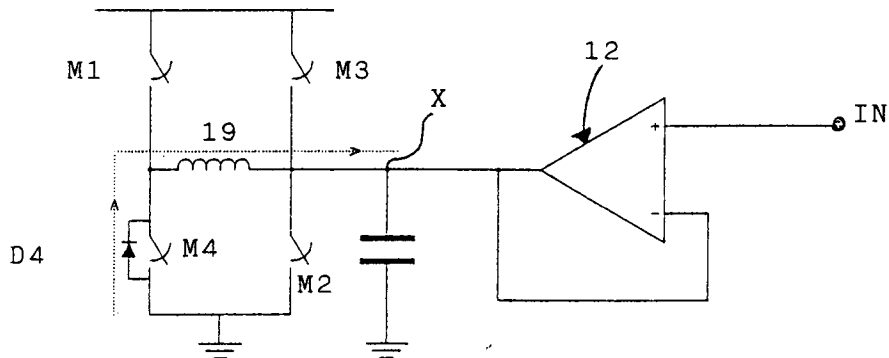


Fig. 8

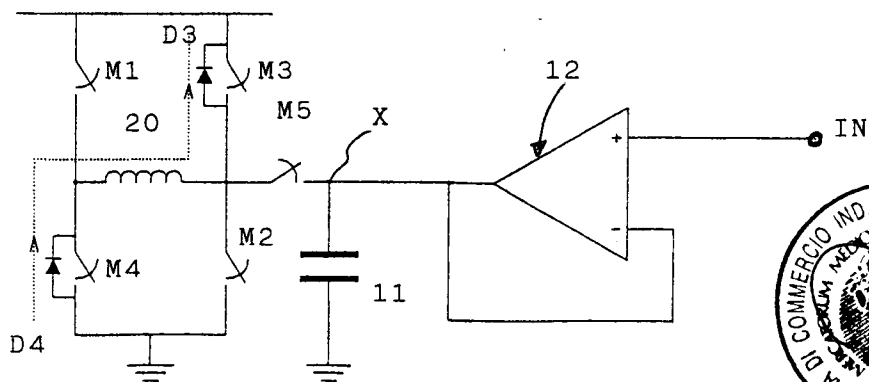


Fig. 9



Ing. Barbara FERRARI
N. Iscriz. ALBO 822 B

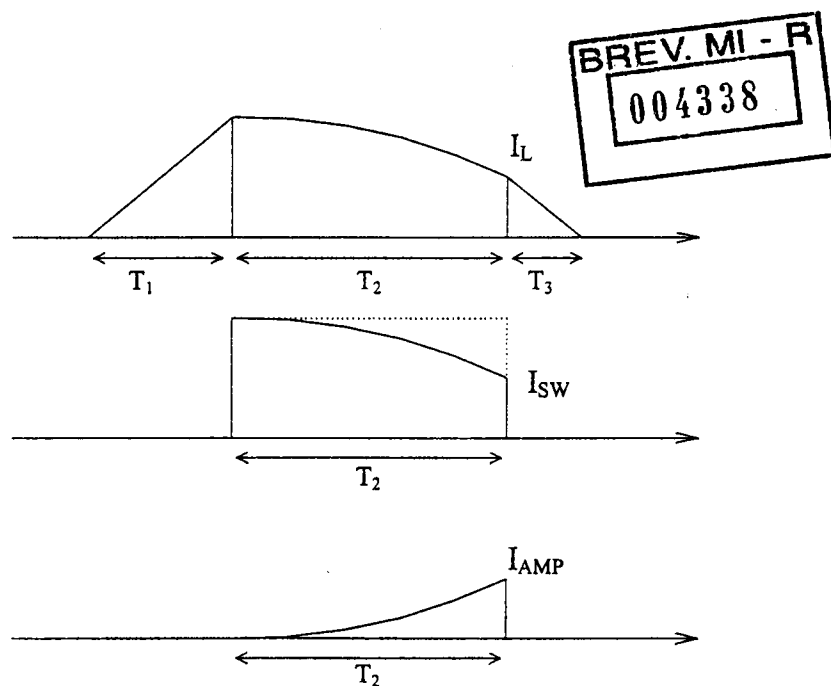


Fig.10

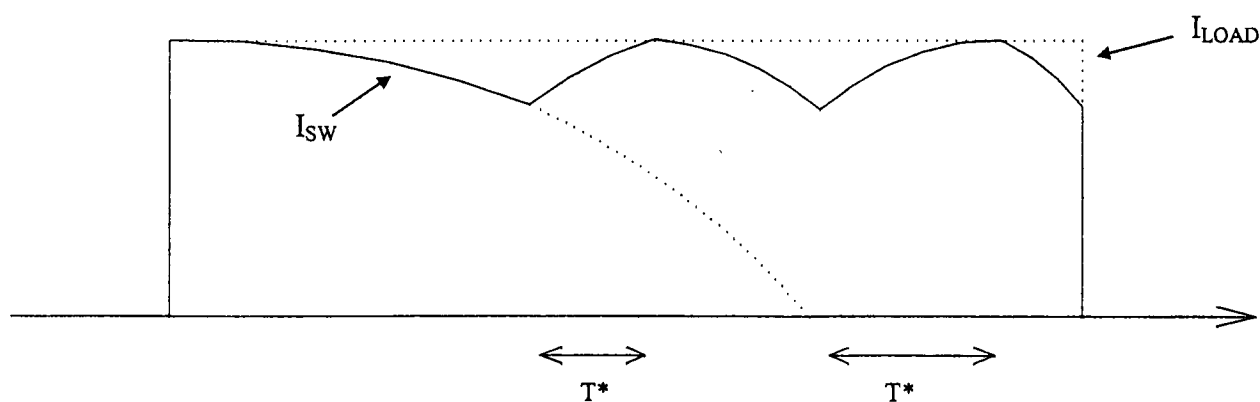
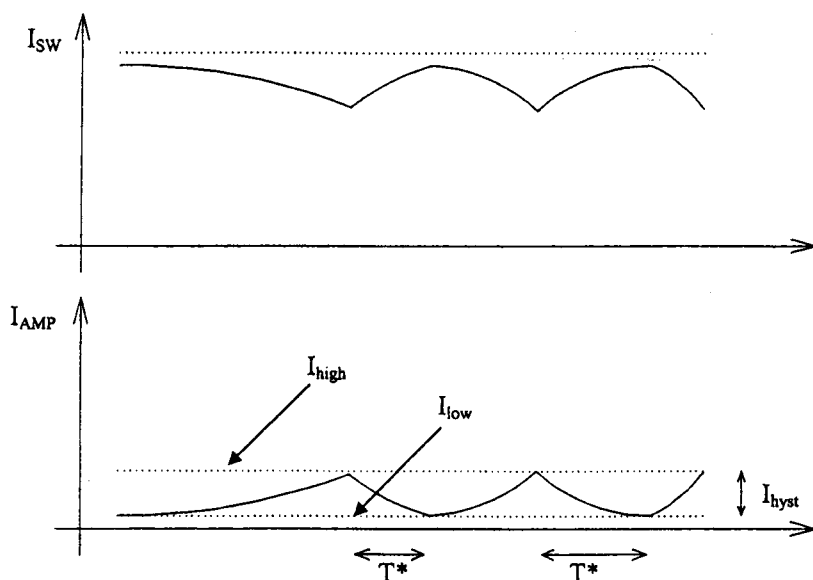


Fig.11



Ing. Barbara FERRARI
N. Iscriz. ALBO 822 B

[Signature]



BREV. MI - R
004338

Fig. 12

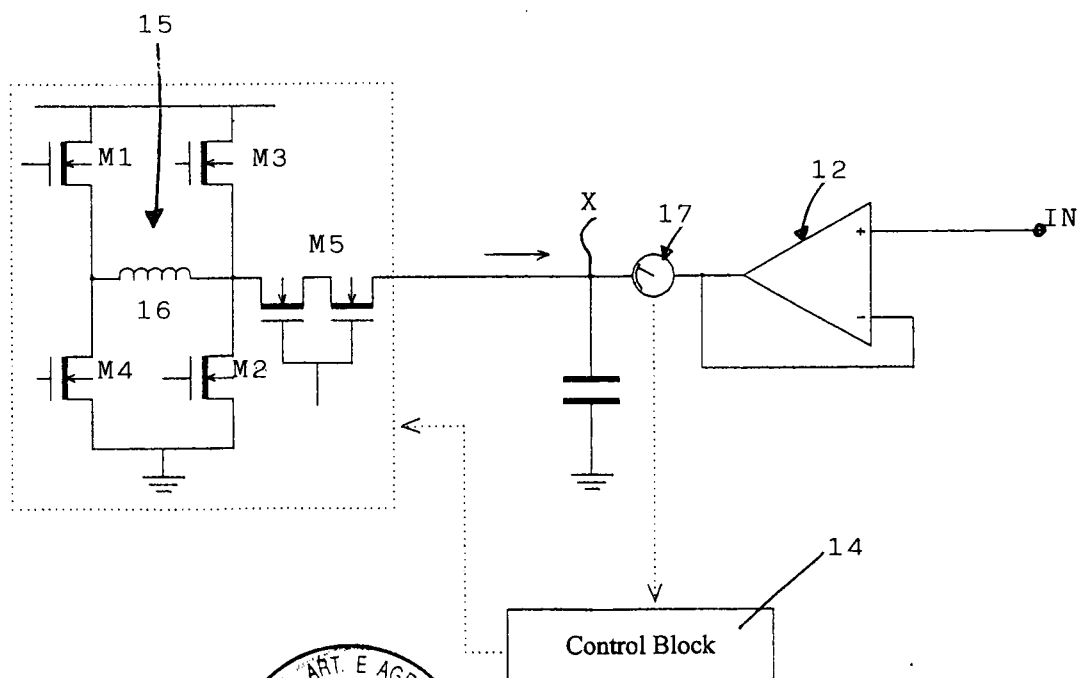


Fig. 13



Ing. Barbara FERRARI
N. Iscriz. ALBO 822 B

[Signature]

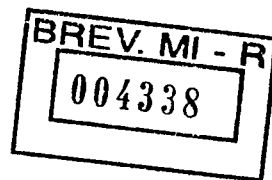
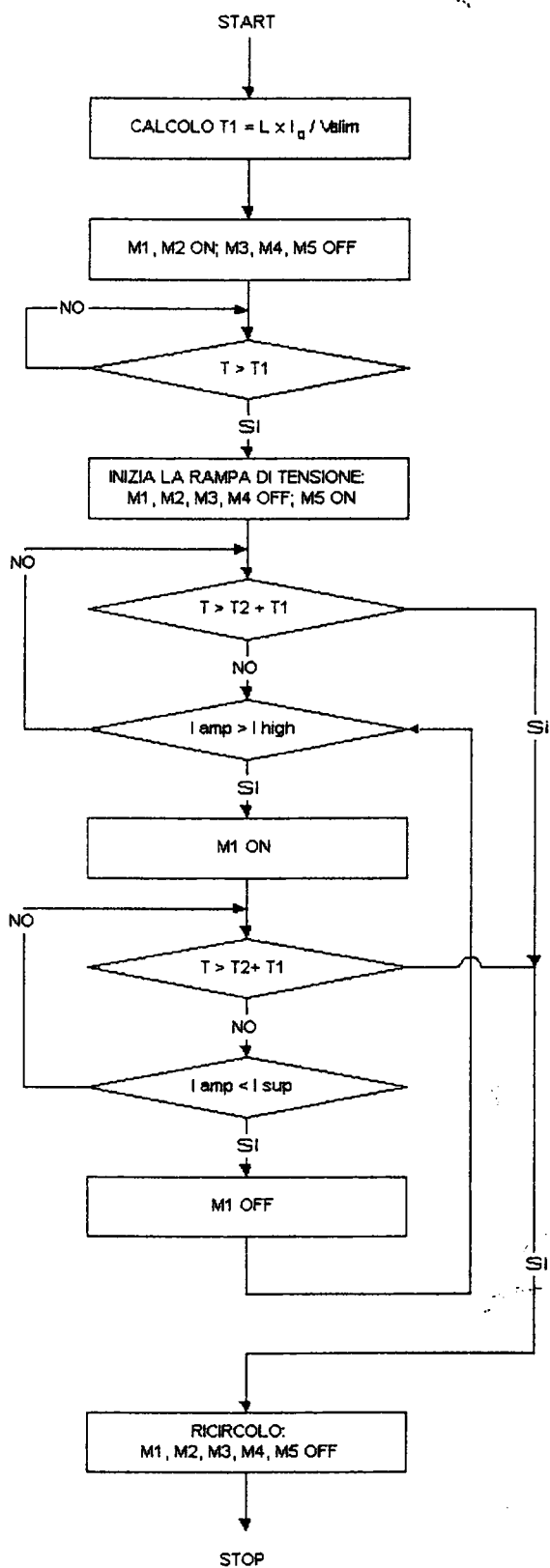
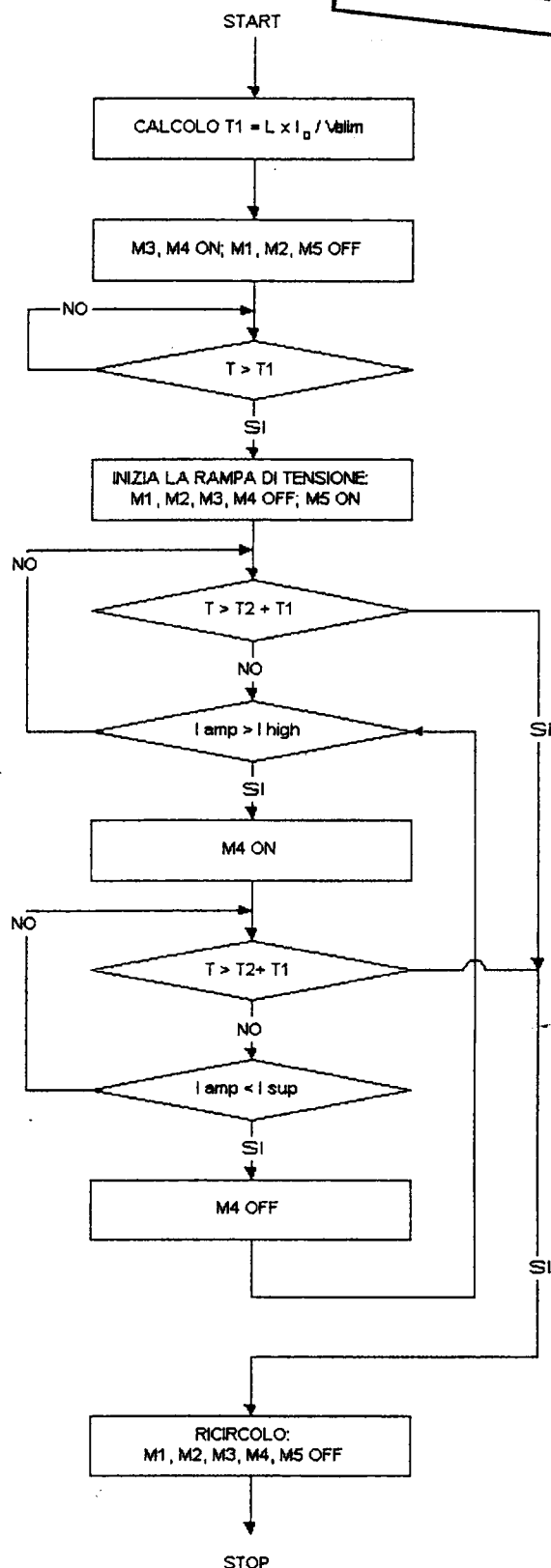


Fig. 14



Flow Chart relativo alla rampa di salita

Fig. 15



Flow Chart relativo alla rampa di discesa



Ing. Barbara FERRARI
N. Iscriz. ALBO 822 B

[Signature]