

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102011901969899A1

Publication Date

20130203

Applicant

SIT LA PRECISA S.P.A. CON SOCIO UNICO

Title

METODO E SISTEMA DI CONTROLLO DI UNA UNITA VALVOLARE
MODULANTE INCLUDENTE UN ELETTROMAGNETE

Metodo e sistema di controllo di una unità valvolare modulante includente un elettromagnete

Ambito tecnico

L'invenzione si colloca particolarmente nel settore dei sistemi di controllo dell'erogazione di gas verso bruciatori di apparecchiature per il riscaldamento in genere, la cui fiamma è destinata al riscaldamento diretto dell'ambiente ovvero di un fluido intermedio circolante in un impianto a caldaia.

Sfondo tecnologico

Tali apparecchiature, come tutti gli impianti impieganti un bruciatore a gas, sono normalmente munite di una unità valvolare predisposta per controllare l'erogazione del flusso di gas verso il bruciatore, così da regolarne in modo controllato la pressione di erogazione e/o la portata di gas erogata. Tali unità valvolari sono tipicamente dirette ad un controllo multifunzionale del flusso di gas erogato al bruciatore, dovendo garantire nel contempo la funzione di intercettazione in sicurezza della via di gas oltre alla funzione di regolazione/modulazione della pressione di erogazione.

Uno dei componenti principali di tali unità valvolari è costituito da un dispositivo regolatore di pressione, disposto nel condotto principale di erogazione del gas e tipicamente includente una valvola avente un otturatore con comando a membrana, la membrana essendo assoggettata da un lato alla pressione regolata dal dispositivo e dall'altro lato ad una pressione generata da un carico elastico, eventualmente soggetto a taratura. Mediante un siffatto dispositivo regolatore, la pressione di erogazione è mantenuta sostanzialmente costante e pari, a meno di un fattore di proporzionalità, al rapporto tra la forza elastica e la superficie della membrana soggetta al carico elastico.

Questi regolatori di pressione possono altresì essere predisposti per garantire una regolazione di pressione modulata in ampiezza. In una tale configurazione, sul molleggio (che genera il carico elastico) del regolatore è attivo un mezzo operatore (ad esempio di tipo lineare), intendendo con tale termine qualsiasi mezzo di attuazione avente un elemento di comando a movimento controllato attivo sul molleggio per variane la forza elastica da questo generata. Tali operatori sono realizzati ad esempio con elettromagneti ovvero con motori ad assi controllati o altri simili mezzi motorizzati.

Nella soluzione di regolatori di pressione dotati di elettromagnete, il mezzo operatore comprende un elettromagnete e quindi una bobina alimentata da una determinata corrente che cambia la forza con la quale il mezzo otturatore agisce sulla membrana anzidetta. Tipicamente, almeno in un determinato intervallo di lavoro, all'aumentare di una corrente di alimentazione della bobina dell'elettromagnete, la pressione di uscita aumenta poiché aumenta la forza con la quale il mezzo operatore agisce sul molleggio.

Indipendentemente tuttavia dalla relazione tra corrente che scorre all'interno della bobina e la pressione di uscita del gas, e data essa per nota tarata l'unità valvolare in oggetto, le unità valvolari modulanti note comprendono anche dei mezzi di controllo della corrente con cui è alimentato l'elettromagnete così da determinare la pressione in uscita dall'unità valvolare secondo le esigenze, ovvero è desiderabile che vi siano dei mezzi di selezione così che – stabilita una pressione necessaria per il corretto funzionamento del bruciatore secondo le richieste – sia noto il valore della corrispondente corrente da inviare all'elettromagnete. Ad esempio, tali mezzi di controllo possono comprendere un microprocessore al cui interno la relazione “corrente inviata alla bobina / pressione erogata” viene memorizzata ad esempio sotto forma di curva o tabella, pertanto stabilita la pressione desiderata viene, usando opportuni mezzi di selezione del segnale e tale tabella, impostata la corrente necessaria per far sì che l'elettromagnete operi sull'otturatore con la forza opportuna.

Tuttavia tali valvole includenti un elettromagnete presentano comunemente il fenomeno dell'isteresi, ovvero molto frequentemente in tali valvole per ottenere la medesima forza esercitata dal mezzo operatore sono necessari distinti valori di corrente a seconda delle ulteriori condizioni operative, in altre parole a identica corrente corrispondono due valori di pressione di uscita del gas a seconda che si sia in un regime di pressione calante o crescente. La curva “intensità di corrente vs. pressione di uscita” presenta la caratteristica forma a curva chiusa assomigliante ad un parallelogramma tipica dell'isteresi.

Questo fenomeno tuttavia non è desiderato in quanto non permette una corretta selezione della pressione di uscita: essendo alla medesima corrente associabili due pressioni di uscita non è dato sapere a che

pressione di uscita possa corrispondere quella determinata intensità di corrente che viene inviata all'elettromagnete tramite i mezzi di controllo sopra descritti.

Nella tecnica nota, al fine di ovviare a questo inconveniente, è stato introdotto il cosiddetto segnale di "dithering", ovvero il mezzo operatore dell'elettromagnete che opera sull'otturatore non viene mantenuto stabile in una determinata posizione, ma viene fatto oscillare attorno ad una posizione media, posizione media che è quella corrispondente alla desiderata pressione di uscita. Questa oscillazione evita la formazione del fenomeno di isteresi e consente una relazione sostanzialmente univoca tra intensità di corrente inviata alla bobina e pressione di uscita del gas, ovviamente con una minima incertezza dovuta al segnale di dithering steso che causa l'oscillazione. La frequenza ed ampiezza delle oscillazioni dovute al dithering devono essere opportunamente determinate così che il valor medio della intensità di corrente sia quello desiderato per ottenere la pressione voluta e non si creano inoltre rumori meccanici, usure eccessive, pulsazioni della pressione o altro all'interno dell'unità valvolare.

Secondo la tecnica nota, il dithering può essere ottenuto in una prima opzione ad esempio sovrapponendo ad un segnale in corrente continua, ovvero un segnale in corrente che ha la desiderata intensità costante, ad una corrente alternata oscillante ad alta frequenza, altresì detto segnale di dither poiché questa l'oscillazione di corrente genera il dither meccanico. Questo tipo opzione è descritta ad esempio in DE 3320110.

Alternativamente, secondo una seconda opzione, le valvole del tipo sopra descritto, sono alimentate con un segnale in tensione a modulazione di larghezza di impulso (PWM – pulse width modulation) avente una frequenza appropriata così che sia il ripple stesso della corrente derivante da tale segnale PWM a garantire la vibrazione necessaria così come viene dettagliato in seguito. Segnali di tipo PWM sono frequentemente utilizzati per comandare solenoidi in quanto minimizzando la perdita di energia sotto forma di calore che invece risulta assai elevata alimentando gli stessi con un voltaggio costante.

Ulteriormente, il segnale di tensione PWM può essere inviato a frequenza sufficientemente alta così che la risultante corrente sia sostanzialmente costante e su questo segnale viene sovrapposto il segnale di dither sopra descritto nella prima opzione a frequenza molto maggiore della frequenza del segnale PWM. Questo tipo di opzione è ad esempio descritta nella domanda di brevetto US 2009/0005913.

Tutte queste opzioni presentano tuttavia degli inconvenienti: la seconda e la terza opzione difatti prevedono due generatori separati di segnale, un primo generatore del segnale in tensione o costante o PWM e un secondo generatore del segnale di dither, rendendo relativamente complesso, e quindi di conseguenza relativamente costoso, il circuito di controllo della valvola.

Per quanto riguarda la seconda opzione, poiché il segnale di dither dipende dal segnale in tensione PWM, in dettaglio l'ampiezza e la frequenza del segnale di dither dipendono dalla frequenza e dal duty cycle del segnale PWM, pertanto esse non sono costanti dato che il duty cycle del segnale in tensione PWM viene variato ogni qual volta si desidera variare la pressione di uscita del gas. Il fatto di non avere un dither costante non è desiderato in quanto oscillazioni al di fuori di un intervallo prefissato considerato ottimale a seconda delle caratteristiche dell'unità valvolare in oggetto possono comportare rumori meccanici o risonanze, usura o pulsazioni della pressione.

Descrizione dell'invenzione

Compito e scopo principale dell'invenzione è quello di mettere a disposizione una unità valvolare strutturalmente e funzionalmente concepita così da consentire il superamento dei limiti lamentati con riferimento alla tecnica nota citata.

La presente invenzione è diretta pertanto ad una unità valvolare ed ad un metodo di controllo della stessa includente un circuito di controllo comprendente un generatore di un segnale PWM a duty cycle e frequenza variabile nel modo indicato nel seguito. Tale unità valvolare è atta all'erogazione di gas combustibile in modo modulante, ovvero tale unità può assumere una pluralità di posizioni così da fornire in uscita una pluralità di diverse pressioni/portate del gas combustibile. Nel seguito con P viene pertanto

indicata sia la pressione che la portata a meno che solo una delle due non sia esplicitamente specificata. In particolare l'unità valvolare comprende un otturatore la cui posizione dipende – tra le altre - dalla forza esercitata da un elettromagnete incluso in detta unità valvolare ed alimentato da detto generatore di segnale PWM.

In particolare, il generatore di segnale PWM invia tale segnale all'elettromagnete il quale genera una forza proporzionale alla corrente circolante nella bobina. Questa forza, a seconda dell'intensità, mantiene più o meno aperto l'otturatore dell'unità valvolare generando così una pressione/portata in uscita del gas P_u : vi è quindi una proporzionalità tra la pressione di uscita del gas e l'intensità di corrente inviata all'elettromagnete. La proporzionalità tra corrente e pressione di uscita del gas (o portata) viene considerata nota e viene ad esempio controllata tramite un sensore posto in controreazione oppure viene memorizzata, sotto forma di curva o tabelle, all'interno di una memoria nel circuito di controllo dell'unità valvolare.

Secondo un esempio preferito di realizzazione dell'invenzione, l'unità valvolare modula la portata del gas in uscita, non la pressione, variando semplicemente la dimensione del foro di uscita del gas tramite un otturatore che si impegna più o meno nella sede valvolare.

Un segnale di tipo PWM è definito in particolare da una frequenza del segnale PWM denominata $\nu = 1/T$ dove T è il periodo del segnale e dal duty cycle d , ovvero dal rapporto in presenza di un segnale sotto forma di onda rettangolare, il rapporto tra la durata del segnale "alto" e il periodo totale del segnale, e serve a esprimere per quanta porzione di periodo il segnale è "attivo".

In riferimento alla figura 3a, il duty cycle è:

$$d = \frac{\tau}{T}$$

dove τ è la porzione di periodo a livello alto e T è il periodo totale.

Il risultato del rapporto è sempre un numero compreso tra 0 e 1.

Con riferimento alle figure 4a e 4b, un segnale PWM del tipo raffigurato in figura 4a avente una frequenza compresa in un determinato intervallo, genera un segnale in corrente nell'elettromagnete raffigurato nella figura 4b. Come visibile, a causa dell'induttanza dell'elettromagnete, quando viene applicata una determinata differenza di potenziale allo stesso, la corrente non segue lo stesso andamento a gradino del segnale PWM, ma ha un periodo di tempo in cui esso aumenta fino a raggiungere un massimo, ed analogamente quando la tensione di alimentazione è portata a zero la corrente non scende immediatamente a zero. L'intensità di corrente risultante pertanto non è continua, ma presenta una oscillazione ("ripple") che può essere paragonata ad un segnale di dither poiché questa variazione della corrente genera una oscillazione della bobina dell'elettromagnete a cui di conseguenza si associa una oscillazione di un mezzo attuatore operante sull'otturatore dell'unità valvolare.

All'elettromagnete viene inviato un segnale in tensione PWM tale per cui il valore medio della intensità di corrente generata sia quello desiderato, ovvero quello che genera la pressione del gas in uscita desiderata secondo la curva nota. Secondo la tecnica nota, il segnale in tensione PWM è inviato a frequenza costante e con un duty cycle d tale per cui l'intensità di corrente inviata all'elettromagnete sia quella desiderata per ottenere una determinata P_u . Se una nuova P_u è desiderata, la frequenza del segnale PWM viene mantenuta costante ed unicamente viene variato il duty cycle del segnale. All'aumentare del segnale aumenta anche l'intensità di corrente media efficace sull'elettromagnete. L'ampiezza del segnale di dithering, dovuta al ripple sul segnale in corrente, cambia al cambiare del duty cycle.

L'intervallo di frequenze del segnale PWM in tensione inviato all'elettromagnete in modo tale che si ottenga il dithering meccanico è ben definito e dipende da varie caratteristiche del sistema, come ad esempio la frequenza meccanica che viene definita da masse e molle, dalle costanti di tempo della membrana, dagli attriti statici e dinamici, dall'induttanza del circuito magnetico, etc. Un range ottimale di frequenze per apparecchiature domestiche varia preferibilmente tra 200 Hz e 1000 Hz a seconda del valor medio dell'intensità di corrente. Questo intervallo di frequenze verrà individuato nel seguito come "intervallo di frequenze di dither del segnale PWM". Al di sotto della frequenza minima di questo intervallo,

il segnale di corrente generato da un segnale PWM a frequenza così bassa è simile a quello rappresentato nella figura 3a (segnale PWM) e 3b (segnale di corrente): l'intensità di corrente non raggiunge neppure il possibile massimo in quanto il tempo per raggiungerlo non è sufficiente: la tensione già si annulla prima del massimo e la corrente riprende a decrescere. Alternativamente, al di sopra della frequenza massima dell'intervallo stabilito, il segnale PWM è a frequenza così elevata che non vi è più alcuna discesa dell'intensità di corrente tra un gradino e l'altro del segnale in tensione e la corrente mantiene sempre il valor medio desiderato per ottenere una certa P_u . Questa situazione è visualizzata nelle figure 5a e 5b. In questo regime detto di alta frequenza del segnale PWM sempre secondo la tecnica nota si sovrappone un segnale di dither costante in frequenza ed ampiezza che non dipende quindi dal valor medio del segnale dell'intensità di corrente essendo da esso completamente disaccoppiato.

Come anzidetto, sia un segnale come quello di figura 4b che quello di figura 5b in cui è sovrapposto un segnale di dither hanno alcuni inconvenienti. La Richiedente ha notato come nel primo caso il "ripple" che genera il dither abbia ampiezza variabile a seconda del duty cycle del segnale PWM e nel secondo caso sono necessari due generatori di segnale, uno di segnale PWM ed uno di segnale di dither.

Secondo una caratteristica della presente invenzione, il circuito di controllo dell'unità valvolare include un generatore di segnale PWM che è a duty cycle variabile, ovvero il duty cycle del segnale viene variato in modo tale da ottenere un valore di intensità di corrente necessario per ottenere la pressione in uscita desiderata, ma anche a frequenza variabile.

In particolare, selezionato un duty cycle tramite il quale si ottiene la pressione di uscita desiderata, si seleziona la frequenza del segnale in modo tale che si trovi all'interno dell'intervallo di frequenze di dither del segnale PWM, ovvero non una frequenza troppo alta né troppo bassa nel significato sopra dato a questi termini. Più in dettaglio, la frequenza viene fissata in modo tale che anche il segnale di ripple che si trasforma nel dither della corrente generi un dither meccanico, una oscillazione meccanica in altre parole, che abbia un'ampiezza prefissata e che sia indipendente dalle variazioni di duty cycle dello stesso segnale, così che indipendentemente dalla P_u l'ampiezza del dither meccanico sia sempre la stessa. In particolare, questa ampiezza del dither presenta deve essere tale da non creare rumori meccanici o essere

eccessivamente ampia per danni di usura che può generare, oppure potrebbe generare oscillazioni della pressione in uscita che a loro volta comportano una combustione non ottimale. Questo implica che, stabilita l'ampiezza del ripple desiderata da cui si ottiene il dither meccanico, nel caso in cui si desideri una differente pressione in uscita del gas, viene variato il duty cycle del segnale PWM; in modo da ottenere l'intensità di corrente desiderata; secondo l'invenzione allo stesso tempo viene variata la frequenza del segnale così da mantenere l'ampiezza del dither pari a quella voluta ed in particolare mantenuta costante indipendentemente dal duty cycle prescelto del segnale PWM.

La proporzionalità tra frequenza e intensità di corrente media può essere qualunque e dipende dal tipo di apparecchiatura realizzata. La presente invenzione si applica a qualunque proporzionalità esistente, proporzionalità che viene stabilita in sede di taratura dell'apparecchiatura. La Richiedente ha tuttavia notato che una continua oscillazione dell'elettromagnete durante tutto il funzionamento dell'unità valvolare non è desiderata in quanto comporta dopo un relativo breve tempo ad una usura meccanica. Tuttavia, come sopra delineato, questa oscillazione meccanica ha il vantaggio di sostanzialmente cancellare indesiderati effetti di isteresi che renderebbero l'unità valvolare poco precisa nella determinazione della corretta erogazione di una desiderata pressione di gas in uscita.

La Richiedente ha pertanto sviluppato un metodo ed un dispositivo di regolazione del segnale PWM in cui il fenomeno del dithering sia presente unicamente al cambio di intensità media di corrente.

In un primo esempio di realizzazione, prefissata una prima pressione di erogazione od una prima portata di erogazione P_u che viene desiderata, all'elettromagnete è inviato un segnale in tensione PWM a frequenza alta, ovvero tale per cui l'intensità di corrente risultante sia sostanzialmente costante e tale da ottenere la P_u del gas desiderata. Quando viene richiesta dal circuito di controllo una modifica della pressione di uscita ovvero una diversa erogazione di gas, viene modificato il duty cycle del segnale PWM così da ottenere una diversa intensità di corrente media e quindi una diversa P_u . Secondo l'invenzione, in un determinato intervallo di tempo sia prima che dopo la modifica del duty cycle del segnale PWM, viene modificata la frequenza del segnale PWM in modo tale che si entri non più nel regime ad alta frequenza, ma nel regime a intervallo di frequenze di dither del segnale PWM, ovvero per un certo intervallo di tempo la frequenza del

segnale PWM è tale da generare un ripple nel corrispondente segnale in corrente e quindi un dither meccanico. Ovviamente ai parametri duty cycle/frequenza di questo segnale PWM si applica l'insegnamento della presente invenzione prima detto, ovvero indipendentemente dal duty cycle richiesto per generare una prefissata corrente media, l'ampiezza del dither è sempre la stessa e questo viene ottenuto opportunamente calibrando la frequenza del segnale PWM.

Pertanto, in un primo intervallo di tempo il segnale PWM ha una frequenza alta ed un duty cycle tale da avere una prima pressione in uscita generando un segnale in corrente sostanzialmente costante, quindi per un intervallo di tempo transitorio prima del cambio di duty cycle la frequenza del segnale viene abbassata così da creare un certo ripple nel segnale di corrente mantenendo costante il duty cycle, viene quindi cambiato il duty cycle del segnale così da ottenere la nuova pressione desiderata, e la frequenza viene mantenuta "bassa" per continuare a generare per un secondo intervallo di tempo transitorio il segnale di ripple che crea il dithering. Successivamente a questo secondo intervallo di tempo transitorio, la frequenza del segnale viene riportata "alta" mantenendo costante il duty cycle. La frequenza del segnale prima e dopo il cambio di duty cycle è adattata in modo tale che l'ampiezza del dither meccanico rimanga sostanzialmente costante.

Secondo un esempio, il ripple del segnale ha un'ampiezza di circa 20 milliampere contro 130-150 milliampere del segnale complessivo.

Breve descrizione dei disegni

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione meglio risulteranno dalla descrizione dettagliata che segue di alcuni suoi preferiti esempi di attuazione illustrati, a titolo indicativo e non limitativo, con riferimento agli uniti disegni in cui:

- la figura 1 è una vista schematica in sezione longitudinale di un primo esempio preferito di unità valvolare realizzata in accordo con la presente invenzione;
- le figure 2a e 2b sono due viste schematiche in sezione longitudinale di un secondo ed un terzo esempio preferito di unità valvolare realizzata in accordo con la presente invenzione;
- le figure 3a e 3b sono due grafici rappresentanti un primo segnale in tensione PWM e il

- corrispondente segnale di corrente alimentanti una bobina di un elettromagnete dell'unità valvolare di figura 1 o 2;
- le figure 4a e 4b sono due grafici rappresentanti un secondo segnale in tensione PWM e il corrispondente segnale di corrente alimentanti una bobina di un elettromagnete dell'unità valvolare di figura 1 o 2;
 - le figure 5a e 5b sono due grafici rappresentanti un terzo segnale in tensione PWM e il corrispondente segnale di corrente alimentanti una bobina di un elettromagnete dell'unità valvolare di figura 1 o 2;
 - la figura 6 è una curva rappresentativa del segnale di pressione di uscita del gas in funzione dell'intensità di corrente che circola nell'elettromagnete;
 - la figura 7 è una vista schematica del circuito di controllo della unità valvolare di figura 1 o 2;
 - le figure 8a-8c sono tre curve rappresentative rispettivamente della corrente, frequenza del segnale PWM e duty cycle del segnale PWM inviati all'elettromagnete dell'unità valvolare di figure 1 o 2 secondo un esempio preferito di realizzazione dell'invenzione;
 - la figura 9 è uno schema a blocchi del metodo di funzionamento dell'unità valvolare dell'invenzione;
 - la figura 10 è un grafico sperimentale della correlazione tra la frequenza del segnale e la corrispondente intensità di corrente media nell'elettromagnete.

Descrizione di uno o più esempi di realizzazione preferiti

Con iniziale riferimento alla figura 1, con 1 è complessivamente indicata una unità valvolare multifunzionale per il controllo dell'erogazione di un gas combustibile (di seguito indicato semplicemente come gas) realizzata in accordo con la presente invenzione.

L'unità valvolare 1 comprende un condotto di erogazione 2 per il trasferimento del gas da un elemento erogatore ad un apparecchio bruciatore (entrambi non raffigurati), il quale è esteso tra una apertura 3 di ingresso del gas ed una apertura 4 di uscita del gas verso il bruciatore. In corrispondenza dell'uscita 4 il condotto presenta sezione ristretta, ad esempio conformata ad ugello 4a.

Nel condotto 2 è preferibilmente disposta una elettrovalvola 5 atta a consentire ovvero intercettare in sicurezza il passaggio di gas nel condotto 1 con un comando on-off del proprio otturatore sulla corrispondente sede valvolare. Essa è ad esempio di tipo normalmente chiuso e comprende un attuatore elettromagnetico, in sé convenzionale con un richiamo elastico predisposto in modo tale da spostare l'otturatore in chiusura della sede valvolare in assenza di alimentazione dell'elettromagnete. Ancora più preferibilmente, in un esempio realizzativo non raffigurato, sono presenti nel condotto 2 due elettrovalvole di sicurezza in serie.

A valle della elettrovalvola 5, l'unità valvolare 1 comprende un dispositivo regolatore di pressione, complessivamente indicato con 6, includente una sede di valvola 7, ricavata nel condotto 2, cooperante con un otturatore 8, il cui stelo di comando 9 è connesso rigidamente ad una membrana 10 di comando del medesimo.

La membrana 10 è assoggettata da un lato alla pressione di erogazione regolata dal dispositivo regolatore 6, indicata con P_u e, dall'altro lato ad un carico elastico generato da un molleggio 11 le cui estremità assiali 11a, 11b sono rispettivamente connesse alla membrana 10 e ad una parete 12 di una struttura stazionaria dell'unità valvolare. La faccia della membrana 10 sollecitata dal molleggio 11 è altresì assoggettata alla pressione atmosferica mediante previsione di un orificio 13 attraverso il quale la camera di alloggiamento del molleggio 11, delimitata in parte dalla membrana 10 e dalla parete 12, è in comunicazione con l'esterno.

Tuttavia l'esatta realizzazione dell'unità valvolare per quanto riguarda i vari elementi sopra descritti è ininfluente per l'insegnamento della presente invenzione: sufficiente è la presenza di un dispositivo regolatore di pressione includente una sede di valvola ed un otturatore che può essere spostato e dal quale viene determinata una pressione di uscita P_u .

Il dispositivo regolatore di pressione 6 comprende ulteriormente un mezzo operatore, globalmente indicato con 14, direttamente associato all'otturatore 8 per comandare quest'ultimo in un movimento controllato relativamente alla sede valvolare 7, come apparirà chiaramente nel seguito della descrizione.

Il mezzo operatore 14 comprende un organo astiforme 15 spostabile in traslazione, coassialmente allo stelo

9 dell'otturatore 8, lungo una direzione indicata con X nelle figure. L'organo 15 presenta ad una sua estremità libera un piattello 16 esteso trasversalmente all'asse X nonché disposto in posizione affacciata all'otturatore 8, da parte opposta allo stelo 9. Con 17 è indicato un molleggio attivo tra il piattello 16 e l'otturatore 8.

Il mezzo operatore 14 è di tipo proporzionale o a livelli, così che l'organo di comando 15 possa assumere lungo la direzione X una pluralità di posizioni in un movimento di traslazione controllato. Tale organo 15 è realizzato come equipaggio mobile di un elettromagnete proporzionale, in cui le posizioni spaziali del medesimo, lungo l'asse X, sono correlate proporzionalmente all'intensità del segnale elettrico (ad esempio dell'intensità di corrente) inviato all'elettromagnete di comando.

Preferibilmente, è previsto che l'organo astiforme 15 sia richiamato in una prefissata posizione di sicurezza, qualora venga a mancare il segnale di comando al mezzo operatore. Tale dispositivo di sicurezza può essere realizzato con mezzi di sgancio di tipo elettromagnetico oppure con mezzi di richiamo elastico a seconda della forma attuativa prescelta. In ogni caso, il dispositivo di sicurezza è tale da richiamare l'organo 15 in una prescelta posizione indipendentemente dalla condizione operativa raggiunta dal mezzo operatore, qualora il segnale di comando a quest'ultimo sia interrotto o sia ad esempio inferiore ad un prescelto valore di soglia impostato.

Con particolare riferimento alla figura 1, l'intercettazione della sede valvolare 7, in assenza di segnale di comando al mezzo operatore 14, è garantita dall'azione elastica del molleggio 17, che, in contrasto al carico elastico del molleggio 11, sollecita l'otturatore 8 in chiusura della sede 7. I molleggi 11, 17 sono pertanto dimensionati in modo tale che, in tale condizione, l'azione elastica del molleggio 17 prevalga sull'azione elastica del molleggio 11, così da assicurare la chiusura dell'otturatore 8.

A partire da questa condizione (non rappresentata in figura), a seguito dell'invio di un segnale di comando al mezzo operatore 14, l'organo 15 è spostato in allontanamento dall'otturatore 8, così che su quest'ultimo venga mano a mano ridotto il carico elastico generato dal molleggio 17 (figura 1) e la pressione è conseguentemente modulata in modo proporzionalmente correlato al rapporto tra la risultante delle forze elastiche (molleggi 11 e 17) e la superficie della membrana sulla quale questa risultante di forze agisce.

In figura 2a, dove ad analoghi elementi è stato assegnato lo stesso riferimento numerico di cui alla figura 1, è rappresentata una variante realizzativa dell'unità valvolare 1 includente il dispositivo regolatore di pressione 6 in cui la forza elastica agisce su una seconda membrana in comunicazione di fluido con la prima.

In figura 2b è rappresentata una ulteriore unità valvolare 1'' per la regolazione della portata del gas, in cui il dispositivo regolatore di portata 6' include un otturatore 8 atto a chiudere in modo controllato la sede valvolare 7. Lo spostamento dell'otturatore è analogo a quanto descritto per quanto riguarda l'otturatore 8 dell'unità 1 o 1' tramite elettromagnete 15.

Come anzidetto, il mezzo operatore 14 è di tipo proporzionale ed include un elettromagnete (non raffigurato) al quale viene inviato un segnale generato da un circuito di controllo 100 (si veda la figura 7 – per determinare la posizione dell'elemento astiforme 15 e quindi la pressione del gas in uscita. Ad esempio, il circuito di controllo 100 include un microprocessore 101 che emette un segnale in tensione PWM sulla base di dati memorizzati all'interno di una memoria 102 interna od esterna al microprocessore. I dati memorizzati in oggetto comprendono la relazione di proporzionalità esistente tra corrente I nell'elettromagnete e pressione P_u di uscita (oppure la portata del gas in uscita) nonché la relazione tra corrente nell'elettromagnete e duty cycle del segnale PWM. Esempio di tali relazioni sono date dai grafi di figure 6 e 9. Data la richiesta di una predeterminata pressione/portata P_u da parte di un bruciatore alimentato con il flusso di gas in uscita dal condotto 2, viene calcolata dal microprocessore 101 usando il grafo di figura 6 (o analogo grafo o tabelle presenti che stabiliscono una relazione tra P_u ed I) la corrente "media" che deve essere inviata all'elettromagnete del regolatore di pressione 6 così che il l'elemento astiforme 15 si trovi nella posizione necessaria per erogare tale pressione (dovuta alla forza sviluppata dal campo magnetico della bobina a cui tale corrente è inviata). Dato questo valore di corrente, sempre tramite opportuni dati presenti in una memoria 103 (che può anche corrispondere alla memoria 102), dal microprocessore viene computato il duty cycle di un segnale PWM in tensione tramite il quale tale corrente viene ottenuta. Esempio di tale correlazione è dato in figura 9.

E' da intendersi che la figura 6 e la figura 9 sono solo esempi possibili di correlazione tra la corrente e la

pressione di uscita nonché tra il duty cycle di un segnale PWM e la corrente che esso genera in un solenoide. Altre curve o correlazioni possono sussistere a seconda del tipo di regolatore di pressione 6 implementato e dagli specifici parametri di realizzazione dello stesso.

Il microprocessore per emettere tale segnale include un generatore di segnale PWM 105 che viene comandato ad emettere un segnale in tensione PWM avente il duty cycle determinato tramite i dati memorizzati nella memoria 102 e nella memoria 103 come sopra elencato.

Tale segnale è inviato alla base di un transistor 107 connesso al solenoide dell'elettromagnete. Il transistor è acceso e spento sulla base del segnale in tensione emesso dal generatore di segnale PWM 105 ed applica pertanto una corrente al solenoide.

Il funzionamento di tale dispositivo regolatore di pressione 6 è dettagliata nel seguito.

In un primo esempio realizzativo della presente invenzione, richiesta una determinata pressione in uscita del gas, il duty cycle del segnale emesso dal generatore PWM è tale per cui la corrente generata abbia una intensità tale da ottenere tale pressione. In aggiunta, la frequenza del segnale PWM emessa dal generatore di segnale PWM 105 è ricompresa all'interno dell'“intervallo di frequenze di dither del segnale PWM” (segnale del tipo di quello raffigurato in figura 4a) ovvero è tale per cui il segnale in corrente al solenoide proveniente dal transistor non è costante ma presenta un ripple, analogamente a quanto rappresentato nella figura 4b. L'elemento astiforme 15 quindi è soggetto ad un dither meccanico. Il ripple viene selezionato (scegliendo opportunamente la frequenza del segnale PWM) in modo tale che generi un dither meccanicamente ottimale.

Al cambiamento di richiesta di pressione in uscita P_u , ad esempio perché è richiesta acqua calda dal circuito di acqua sanitaria oppure una maggiore/minore temperatura ambientale, un diverso segnale in corrente è richiesto. Dal microprocessore 101, tramite i dati rappresentati in modo esemplificativo in figura 6, è calcolato il nuovo valore di tale corrente e, dai dati di cui alla figura 9, il corrispondente nuovo duty cycle del segnale PWM che deve essere emesso dal generatore 105,

in modo tale che l'ampiezza del dither meccanico sia mantenuto costante, allo stesso tempo anche la frequenza del segnale PWM viene modificata a tale scopo. Il secondo segnale PWM emesso dal generatore

105 alla base del transistor 107 ha quindi un nuovo duty cycle corrispondente al duty cycle richiesto – e ricavato dai dati memorizzati - per ottenere una determinata intensità di corrente media ed ha anche una frequenza tale per cui l'ampiezza del segnale di dither causato da questo nuovo segnale con nuovo duty cycle sia pari all'ampiezza del segnale di dither che era ottenuta precedentemente dal primo segnale PWM prima del cambio di duty cycle.

Questa modifica di duty cycle e di frequenza, ottenuta tramite opportuni mezzi di regolazione del duty cycle 108 e mezzi di regolazione della frequenza 109 del segnale PWM inclusi nel circuito di controllo 100 (ad esempio direttamente interni al generatore di segnale PWM), è eseguita ogni qual volta una richiesta di variazione (in aumento o diminuzione) della pressione del gas in uscita viene effettuata. L'ampiezza del segnale di dither rimane quindi invariata indipendentemente dal duty cycle del segnale PWM.

Secondo un secondo esempio preferito di realizzazione dell'invenzione, il circuito di controllo 100 include inoltre un temporizzatore 110 che serve al seguente scopo. Durante il normale funzionamento del regolatore di pressione 6, quando una determinata pressione/portata di uscita del gas è stata selezionata, come nell'esempio preferito precedente, dal microprocessore 101 del circuito di regolazione 100 utilizzando i dati salvati nelle memorie 102, 103, viene selezionata la corrente nell'elettromagnete corrispondente per ottenere tale P_u . Ulteriormente, viene selezionato il duty cycle del segnale PWM – chiamato ora primo segnale PWM - che determini tale corrente, tuttavia – a differenza che nell'esempio preferito precedente - la frequenza di tale segnale è "alta", ovvero tale per cui nessun ripple si formi nel segnale di corrente e pertanto nessun fenomeno di dithering meccanico sia ottenibile. Un esempio di tale segnale è quello rappresentato in figura 5a e 5b, ovvero un segnale in corrente sostanzialmente costante.

Alla richiesta tuttavia di un cambiamento della pressione di uscita del gas, il temporizzatore 110, nel quale è memorizzato un prefissato intervallo di tempo T_1 (tale valore T_1 può anche essere memorizzato in altro posto accessibile al temporizzatore), inizia a misurare il passaggio di tempo dalla richiesta del cambiamento di P_u e inoltre dal microprocessore 101 viene inviato un segnale di comando al generatore di segnale PWM in modo tale che generi un distinto segnale PWM con il medesimo duty cycle di prima, ovvero mantenendo

sostanzialmente la stessa corrente nell'elettromagnete, ma con una frequenza più bassa, tale per cui si rientri nell'intervallo di "intervallo di frequenze di dither del segnale PWM" per cui un ripple si forma nel segnale in corrente come da figura 4b. Questo nuovo segnale "transitorio" viene inviato all'elettromagnete per un tempo prefissato T1 come misurato dal temporizzatore 110, al termine del quale il generatore 105 genera un nuovo secondo segnale transitorio PWM avente il duty cycle richiesto per ottenere la seconda pressione di uscita. Tuttavia la frequenza di questo secondo segnale transitorio PWM è ancora all'interno dell'"intervallo di frequenze di dither del segnale PWM" ed ulteriormente questa frequenza è tale per cui l'ampiezza del dither sia sostanzialmente analoga all'ampiezza del dither ottenuto dal primo segnale transitorio prima della modifica del duty cycle. Questo secondo segnale transitorio viene inviato all'elettromagnete per un tempo T2, preferibilmente con $T2=T1$, al termine del quale il generatore 105 genera un secondo segnale PWM che mantiene lo stesso duty cycle del secondo segnale transitorio, ma a frequenza distinta: i mezzi di variazione della frequenza cambiano la frequenza del secondo segnale transitorio fino a portarsi in un regime di alta frequenza così che il ripple nel segnale in corrente, e quindi il dither meccanico, sparisca.

Un esempio di questi transienti è dato nelle figure 8a-8b ed 8c. Nella figura 8a il segnale in corrente è visualizzato, come generato da un segnale in tensione PWM il cui duty cycle e la cui frequenza sono rappresentati nei grafici 8c ed 8b. Il segnale in corrente include un andamento a gradini. In ciascun gradino il valore della corrente è sostanzialmente costante; tuttavia alle estremità temporali di ogni gradino, ovvero all'inizio ed alla fine di ogni intervallo di intensità di corrente sostanzialmente costante, per un breve tratto, di lunghezza temporale T1 e T2 rispettivamente alla fine ed all'inizio, presenta un segnale di ripple che genera il dither meccanico. Questo tipo di andamento del segnale in corrente è ottenuto, facendo riferimento ora all'andamento del segnale 8b, mantenendo costante il duty cycle del segnale PWM generante tale segnale in tensione per tutta la lunghezza di ogni singolo gradino, e variando il duty cycle da un gradino all'altro. Questa variazione di duty cycle genera il salto da un gradino all'altro. Nei periodi di transiente, ovvero in un intorno del "salto" da un gradino all'altro, corrispondenti ai tempi T1 e T2, la frequenza viene invece variata come da figura 8c. La frequenza nei periodi di intensità di corrente costante

rimane anch'essa costante, ma viene variata nei momenti di transiente, in particolare abbassata, per entrare nel regime di formazione del ripple.

In questo modo si sfruttando i vantaggi della presenza del dither meccanico per minimizzare i fenomeni di isteresi ma si limita la sua presenza ai cambi di pressione in uscita richiesta così da minimizzare anche la stessa usura meccanica. In aggiunta anche in questo caso l'ampiezza del dither è fissata e costante indipendentemente dal duty cycle del segnale di PWM ed ottimizzata per il tipo di dispositivo specifico realizzato.

Tale metodo è raffigurato anche nello schema a blocchi di figura 9.

Il segnale di controllo che viene inviato all'elettromagnete del dispositivo 6 è così generato: inizialmente si verifica se la corrente effettiva è diversa dal valore desiderato e se la differenza in valore assoluto è maggiore di una soglia prefissata. In caso affermativo, viene calcolata la frequenza per cui si ottiene la desiderata corrente media sull'elettromagnete (blocco B2). I valori delle curve sono memorizzati come anzidetto nelle memorie 102, 103. Tale frequenza ad esempio viene calcolata tramite la curva sperimentale rappresentata in figura 10. Tuttavia una qualsiasi altra curva può essere usata, la curva difatti varia a seconda dell'unità valvolare in oggetto.

Calcolata la frequenza nel blocco B3 si calcola il corrispondente duty cycle ad esempio tramite un PID controller. Viene quindi generato tale segnale PWM S2 ed inviato all'elettromagnete tramite opportuni mezzi. Viene anche – a funzione di feedback – misurata la corrente che circola nell'elettromagnete B4, valore che viene inviato al blocco B2 per eventualmente modificare la frequenza. La valvola B5 pertanto è opportunamente modulata. Come feedback per controllare che sia il corretto funzionamento desiderato, un eventuale sensore misura ad esempio l'effettiva pressione di uscita del gas per rilevare eventuali anomalie (B6).

Se invece la differenza delle correnti è sotto soglia, si inizia a calcolare un determinato intervallo di tempo, T1 o T2 od entrambi (B7), in cui si inserisce il secondo segnale PWM ad una frequenza massima (B8), sempre ad esempio tramite un PID controller (B9) e quindi i due segnali sono sovrapposti ad azionare la valvola.

Rivendicazioni

1. Unità valvolare (1) per il controllo dell'erogazione di un gas combustibile verso un apparecchio bruciatore, comprendente:
 - un dispositivo regolatore di pressione (6) del gas in uscita da detta unità (1) includente una sede di valvola (7) associata ad un otturatore (8), ed un mezzo operatore (14) per comandare lo spostamento di detto otturatore (8) relativamente alla corrispondente sede valvolare (7), per regolare in modulazione la pressione di erogazione in uscita (P_u), in cui detto mezzo operatore (14) è del tipo comprendente almeno un elettromagnete di tipo proporzionale;
 - un circuito di controllo (100) di detto dispositivo regolatore di pressione (6) includente un generatore di segnale PWM (105) generante un segnale PWM in tensione atto a generare un segnale di corrente in detto elettromagnete così da muovere detto otturatore (8) in funzione dell'intensità di detto segnale in corrente e determinare in tal modo la pressione in uscita (P_u), detta intensità di corrente essendo funzione del duty cycle di detto segnale PWM; detto segnale PWM avendo una frequenza tale per cui detto mezzo operatore (14) è assoggettato ad un dither meccanico avente una determinata ampiezza almeno per un determinato intervallo di tempo (T_1, T_2);
 - caratterizzato dal fatto che detto generatore di segnale PWM (105) include mezzi di regolazione del duty cycle e mezzi di regolazione della frequenza di detto segnale PWM, detti mezzi di regolazione del duty cycle variando il duty cycle di detto segnale PWM al variare del valore della pressione in uscita (P_u) desiderata e detti mezzi di regolazione di detta frequenza essendo atti a variare detta frequenza di detto segnale PWM in funzione di detta variazione di detto duty cycle così da mantenere l'ampiezza di detto dither

sostanzialmente costante indipendentemente dalle variazioni di duty cycle di detto segnale PWM.

2. Unità valvolare secondo la rivendicazione 1, in cui detto otturatore è un otturatore (8) con comando a membrana (10), detta membrana essendo assoggettata da un lato alla pressione regolata da detto dispositivo regolatore (6) e dall'altro lato ad un carico prescelto, ed includente, associati all'otturatore (8) del dispositivo regolatore di pressione (6), un mezzo di richiamo (17; 24) di detto otturatore (8) verso una posizione di intercettazione della rispettiva sede valvolare (7) e detto mezzo operatore (14) comanda lo spostamento di detto otturatore (8) relativamente alla corrispondente sede valvolare (7) in contrasto a detto mezzo di richiamo.
3. Unità valvolare secondo la rivendicazione 1 o 2, includente un microprocessore (101) comprendente detti mezzi di generazione di un segnale PWM (105).
4. Unità valvolare secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, in cui detto circuito di controllo (100) include un temporizzatore (110) a cui è accessibile il valore di un primo e/o di un secondo intervallo di tempo (T1;T2) memorizzato in detto circuito (100), detto temporizzatore essendo attivo in detto primo e/o detto secondo intervallo di tempo prima e/o dopo una richiesta di cambiamento della pressione di erogazione del gas in uscita, detti mezzi di variazione della frequenza essendo atti ad impostare la frequenza di detto primo e/o secondo segnale PWM all'interno di un intervallo di frequenze atte a generare detto dither unicamente quando detto temporizzatore è attivo, ed essendo atti a impostare la frequenza del segnale PWM al di sopra di un valore di frequenza per cui il segnale in corrente in detto elettromagnete è sostanzialmente costante quando detto temporizzatore non è attivo.
5. Metodo per il controllo dell'erogazione di un gas combustibile verso un apparecchio bruciatore da parte di una unità valvolare (1) includente un dispositivo regolatore di pressione (6) del gas in uscita includente una sede di valvola (7) associata ad un otturatore (8), ed un mezzo operatore (14) per

comandare lo spostamento di detto otturatore (8) relativamente alla corrispondente sede valvolare (7), per regolare in modulazione la pressione di erogazione in uscita (P_u), in cui detto mezzo operatore (14) è del tipo comprendente almeno un elettromagnete di tipo proporzionale; detto metodo includente le fasi di:

- Determinare una prima pressione di erogazione del gas in uscita (P_u);
- generare un primo segnale PWM in tensione così da generare un segnale in corrente in detto elettromagnete così da muovere detto otturatore (8) in funzione dell'intensità di detto segnale in corrente e ottenere in tal modo detta prima pressione in uscita (P_u), al fine di generare tale segnale
 - stabilire il duty cycle di detto primo segnale PWM tramite dati memorizzati in modo da ottenere l'intensità necessaria di detto segnale in corrente così da ottenere detta prima pressione in uscita (P_u);
 - stabilire la frequenza di detto primo segnale PWM in un intervallo di frequenze così che detto mezzo operatore (14) sia assoggettato ad un dither meccanico avente una determinata ampiezza almeno per un determinato intervallo di tempo (T_1, T_2);
- determinare una seconda pressione in uscita del gas (P_u);
- modificare il duty cycle di detto primo segnale PWM così da variare il valore dell'intensità del segnale in corrente inviato a detto elettromagnete per ottenere detta seconda pressione di uscita;
- modificare la frequenza di detto primo segnale PWM in funzione di detta variazione di detto duty cycle così da mantenere l'ampiezza di detto dither sostanzialmente costante indipendentemente dalle variazioni di duty cycle di detto segnale PWM, generando così un secondo segnale PWM con detta frequenza e detto duty cycle modificati.

6. Metodo secondo la rivendicazione 5, includente la fase di
 - inviare detto primo segnale PWM a detto elettromagnete per un intervallo di tempo T1 antecedentemente alla modifica di detto duty cycle.

7. Metodo secondo la rivendicazione 5 o 6, includente la fase di
 - inviare detto secondo segnale PWM a detto elettromagnete per un intervallo di tempo T2 successivamente alla modifica di detto duty cycle.

8. Metodo secondo la rivendicazione 6 o 7, includente la fase di:
 - Generare un terzo segnale PWM in un intervallo di tempo esterno a detto intervallo di tempo T1 avente un duty cycle sostanzialmente uguale al duty cycle di detto primo segnale PWM, e una frequenza maggiore della frequenza di detto primo segnale PWM così da generare un segnale in corrente sostanzialmente costante in detto elettromagnete.

9. Metodo secondo la rivendicazione 7 o 8, includente la fase di
 - Generare un quarto segnale PWM in un intervallo di tempo esterno a detto intervallo di tempo T2 avente un duty cycle sostanzialmente uguale al duty cycle di detto secondo segnale PWM, e una frequenza maggiore della frequenza di detto secondo segnale PWM così da generare un segnale in corrente sostanzialmente costante in detto elettromagnete.

10. Metodo secondo una delle rivendicazioni da 6 a 9, in cui $T1=T2$.

Claims

1. A valve unit (1) for controlling the feed of a combustible gas to a burner apparatus, comprising:
 - a device (6) for regulating the pressure of the gas at the outlet of the unit (1), including a valve seat (7) associated with a plug (8), and an operating means (14) for causing the plug (8) to move relatively to the corresponding valve seat (7), to regulate the outlet feed pressure (P_u) by modulation, wherein the operating means (14) is of the type comprising at least one electromagnet of the proportional type;
 - a control circuit (100) of the pressure regulating device (6) including a PWM signal generator (105) generating a PWM voltage signal adapted to generate a current signal in the electromagnet in order to move the plug (8) as a function of the magnitude of the current signal and thus determine the outlet pressure (P_u), the magnitude of the current being a function of the duty cycle of the PWM signal; the PWM signal having a frequency such that the operating means (14) is subjected to a mechanical dither having a specified amplitude at least for a specified time interval (T_1, T_2);
 - characterized in that the PWM signal generator (105) includes means of controlling the duty cycle and means of controlling the frequency of the PWM signal, the duty cycle control means varying the duty cycle of the PWM signal with the variation of the desired outlet pressure (P_u), and the frequency control means being adapted to vary the frequency of the PWM signal as a function of the variation of the duty cycle so as to keep the amplitude of the dither substantially constant, independently of the variations of the duty cycle of the PWM signal.

2. A valve unit according to Claim 1, wherein the plug is a plug (8) controlled by a diaphragm (10), the diaphragm being subjected on one side to the pressure regulated by the regulating device (6) and on the other side to a predetermined load, and including, in association with the plug (8) of the pressure regulating device (6), a means (17; 24) for returning the plug (8) towards a position in which it closes the corresponding valve seat (7), the operating means (14) causing the plug (8) to move relative to the corresponding valve seat (7) in opposition to these return means.
3. A valve unit according to Claim 1 or 2, including a microprocessor (101) comprising the means of generating a PWM signal (105).
4. A valve unit according to any one or more of the preceding claims, wherein the control circuit (100) includes a timer (110) which can access the value of a first and/or a second time interval (T1; T2) stored in the circuit (100), this timer being active in the first and/or second time interval before and/or after a request to change the outlet gas feed pressure, the frequency variation means being adapted to set the frequency of the first and/or second PWM signal within a range of frequencies capable of generating the dither only when the timer is active, and being adapted to set the frequency of the PWM signal above a frequency level at which the current signal in the electromagnet is substantially constant when the timer is inactive.
5. A method for controlling the supply of a combustible gas to a burner by a valve unit (1) including a device (6) for regulating the outlet gas pressure, including a valve seat (7) associated with a plug (8), and an operating means (14) for causing the plug (8) to move relative to the corresponding valve seat (7), in order to regulate the outlet feed pressure (Pu) by modulation, wherein the operating means (14) is of the type comprising at least one electromagnet of the proportional type, the method including the following steps:

- Determining a first outlet gas feed pressure (P_u);
- generating a first PWM voltage signal in such a way as to generate a current signal in the electromagnet in order to move the plug (8) as a function of the magnitude of the current signal and thus obtain the first outlet pressure (P_u), the following steps being required for the generation of this signal:
 - setting the duty cycle of the first PWM signal on the basis of stored data in order to provide the required magnitude of the current signal to obtain the first outlet pressure (P_u);
 - setting the frequency of the first PWM signal in a range of frequencies such that the operating means (14) is subjected to a mechanical dither having a specified amplitude for at least a specified time interval (T_1, T_2);
- determining a second outlet gas pressure (P_u);
- modifying the duty cycle of the first PWM signal in order to vary the magnitude of the current signal sent to the electromagnet to obtain the second outlet pressure;
- modifying the frequency of the first PWM signal as a function of the variation of the duty cycle in order to keep the amplitude of the dither substantially constant independently of the variations of the duty cycle of the PWM signal, thus generating a second PWM signal with the modified frequency and duty cycle.

6. A method according to Claim 5, including the step of:

- sending the first PWM signal to the electromagnet for a time interval T_1 preceding the modification of the duty cycle.

7. A method according to Claim 5 or 6, including the step of:

- sending the second PWM signal to the electromagnet for a time interval T2 following the modification of the duty cycle.

8. A method according to Claim 6 or 7, including the step of:

- Generating a third PWM signal in a time interval outside the time interval T1, with a duty cycle substantially equal to the duty cycle of the first PWM signal, and at a frequency above the frequency of the first PWM signal, in order to generate a substantially constant current signal in the electromagnet.

9. A method according to Claim 7 or 8, including the step of:

- Generating a fourth PWM signal in a time interval outside the time interval T2, with a duty cycle substantially equal to the duty cycle of the second PWM signal, and at a frequency above the frequency of the second PWM signal, in order to generate a substantially constant current signal in the electromagnet.

10. A method according to any one of Claims 6 to 9, wherein $T1 = T2$.

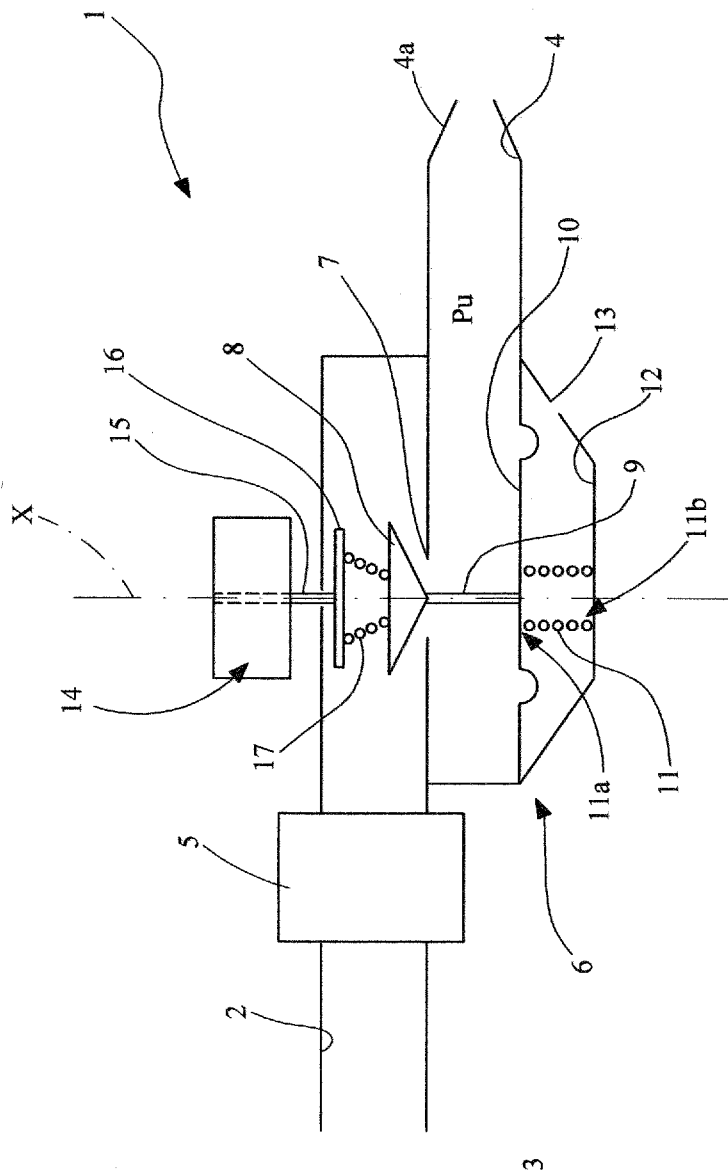


Fig. 1

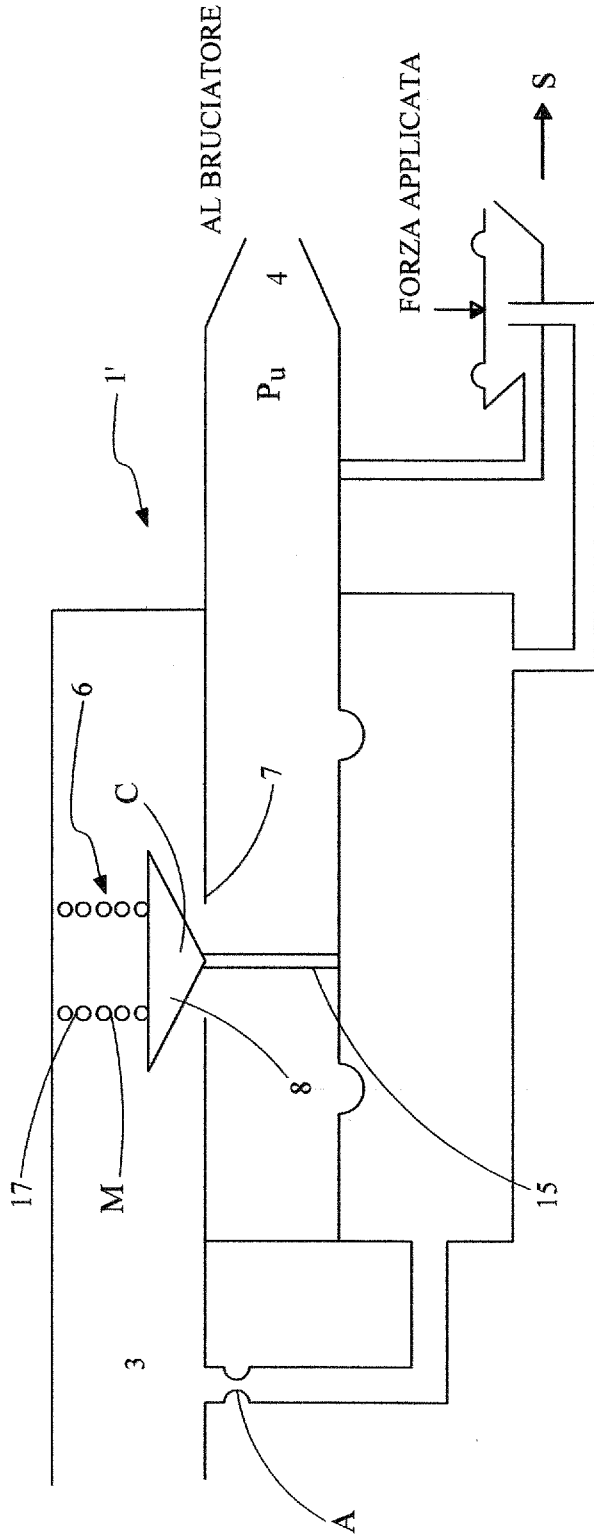


Fig. 2a

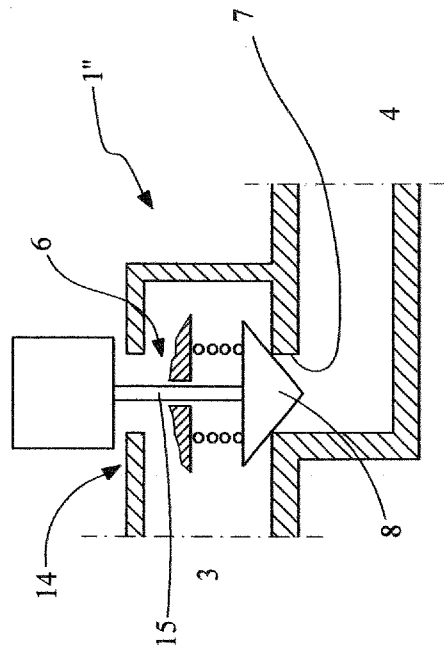


Fig. 2b

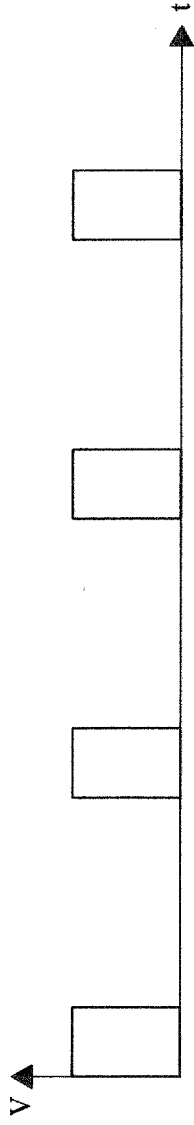


Fig. 3a

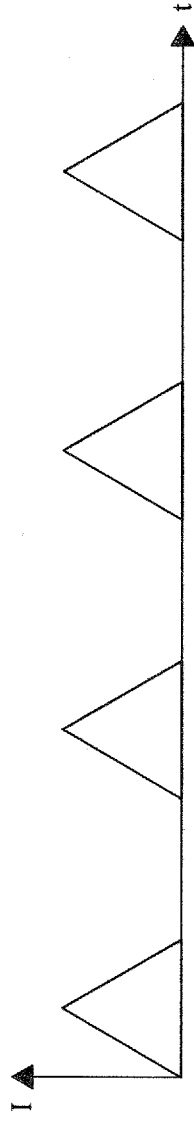


Fig. 3b

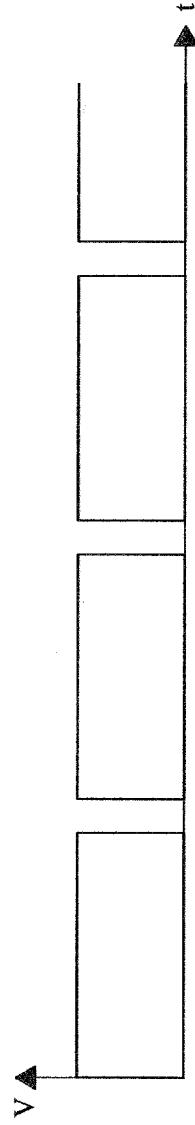


Fig. 4a

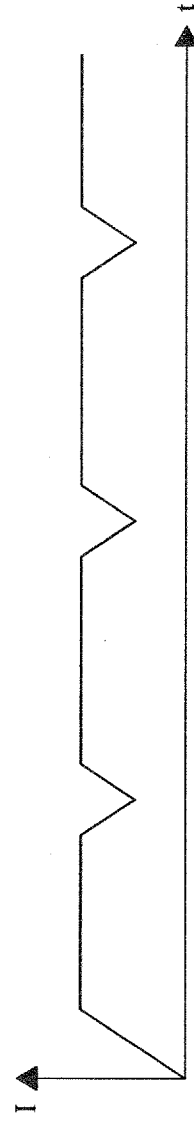


Fig. 4b

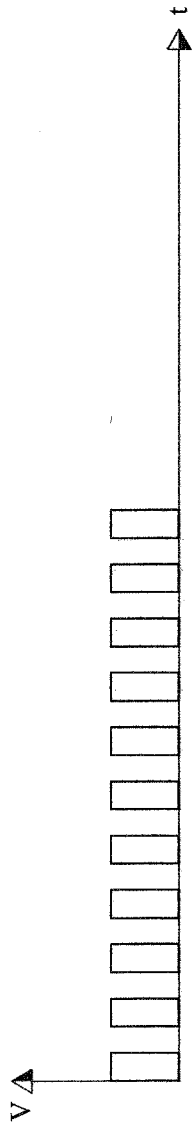


Fig. 5a

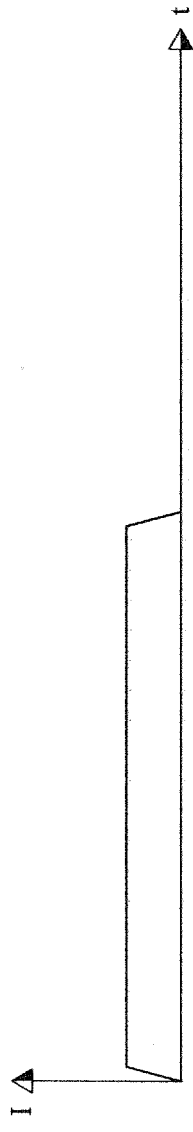


Fig. 5b

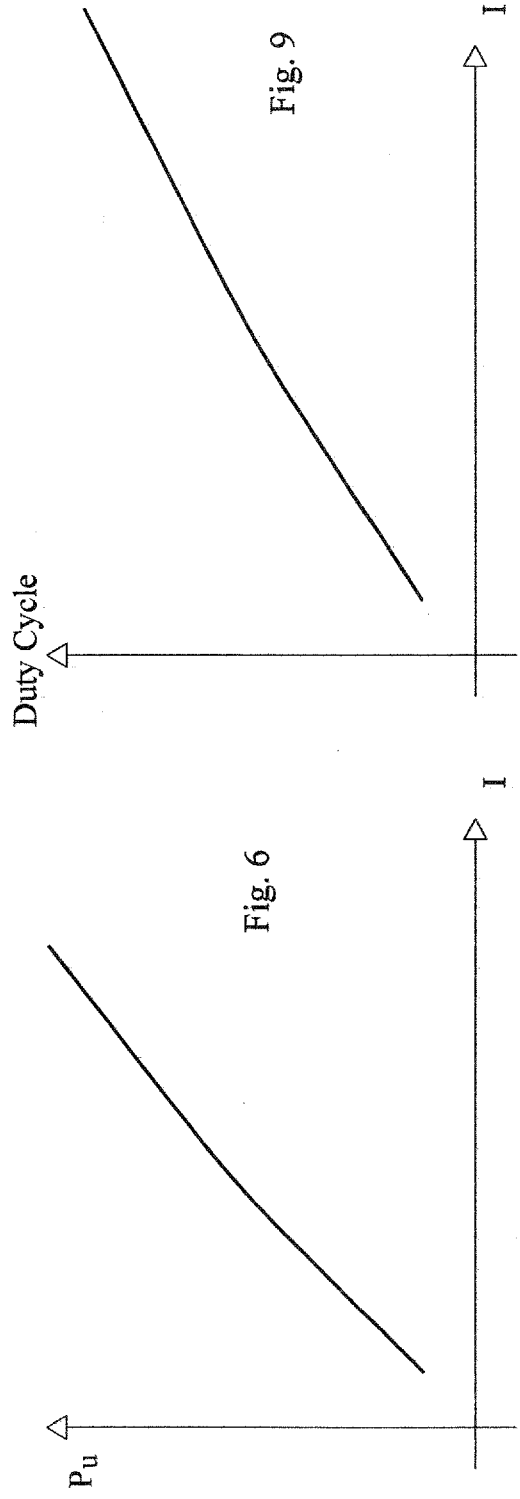


Fig. 6

Fig. 9

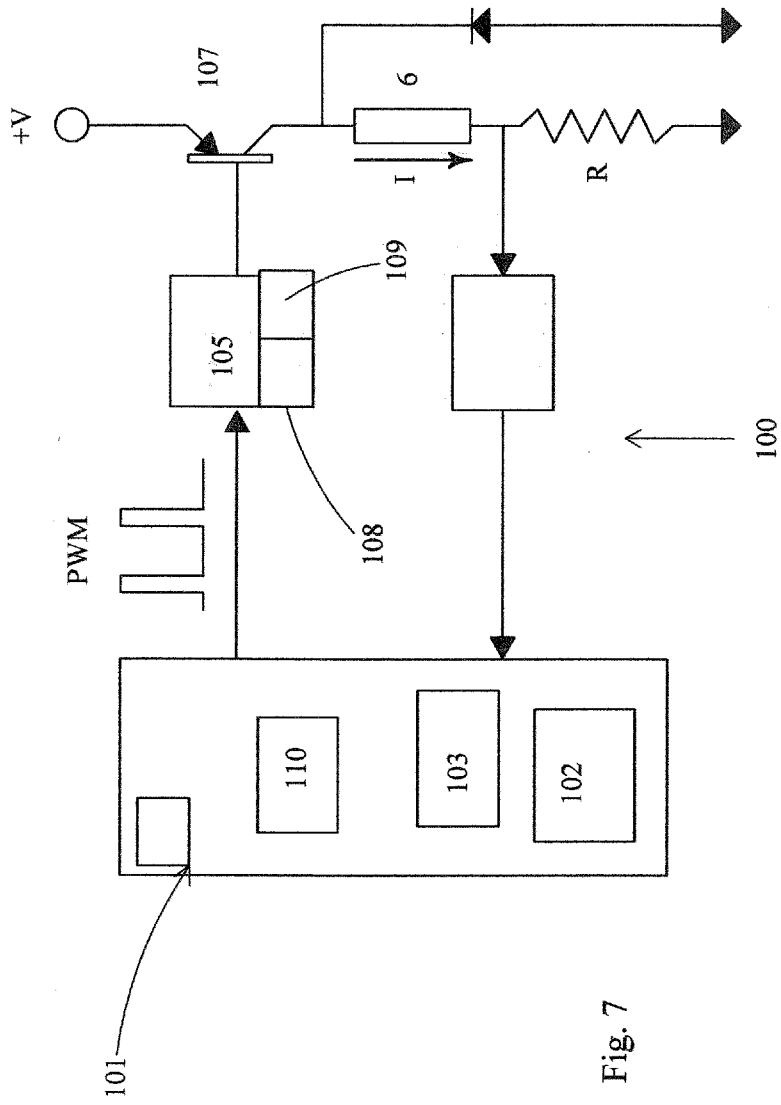


Fig. 7

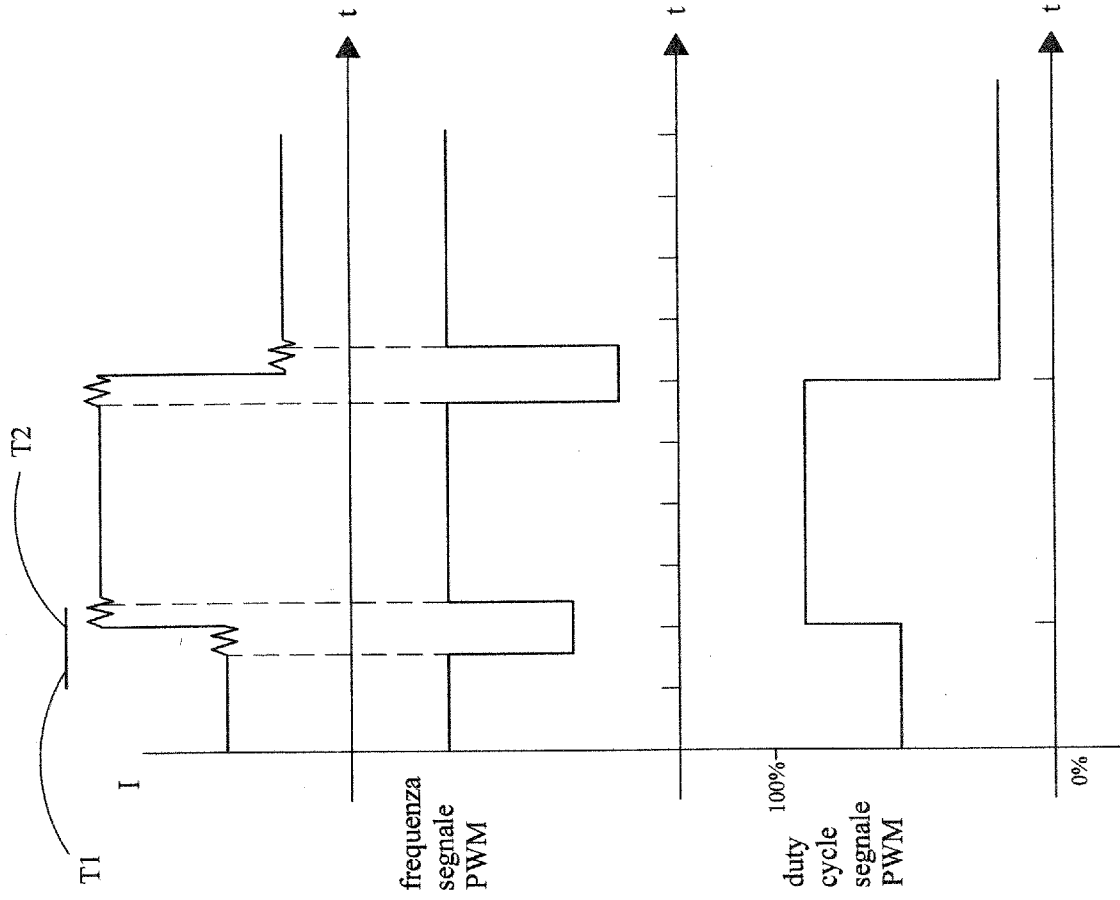


Fig. 8a

Fig. 8b

Fig. 8c

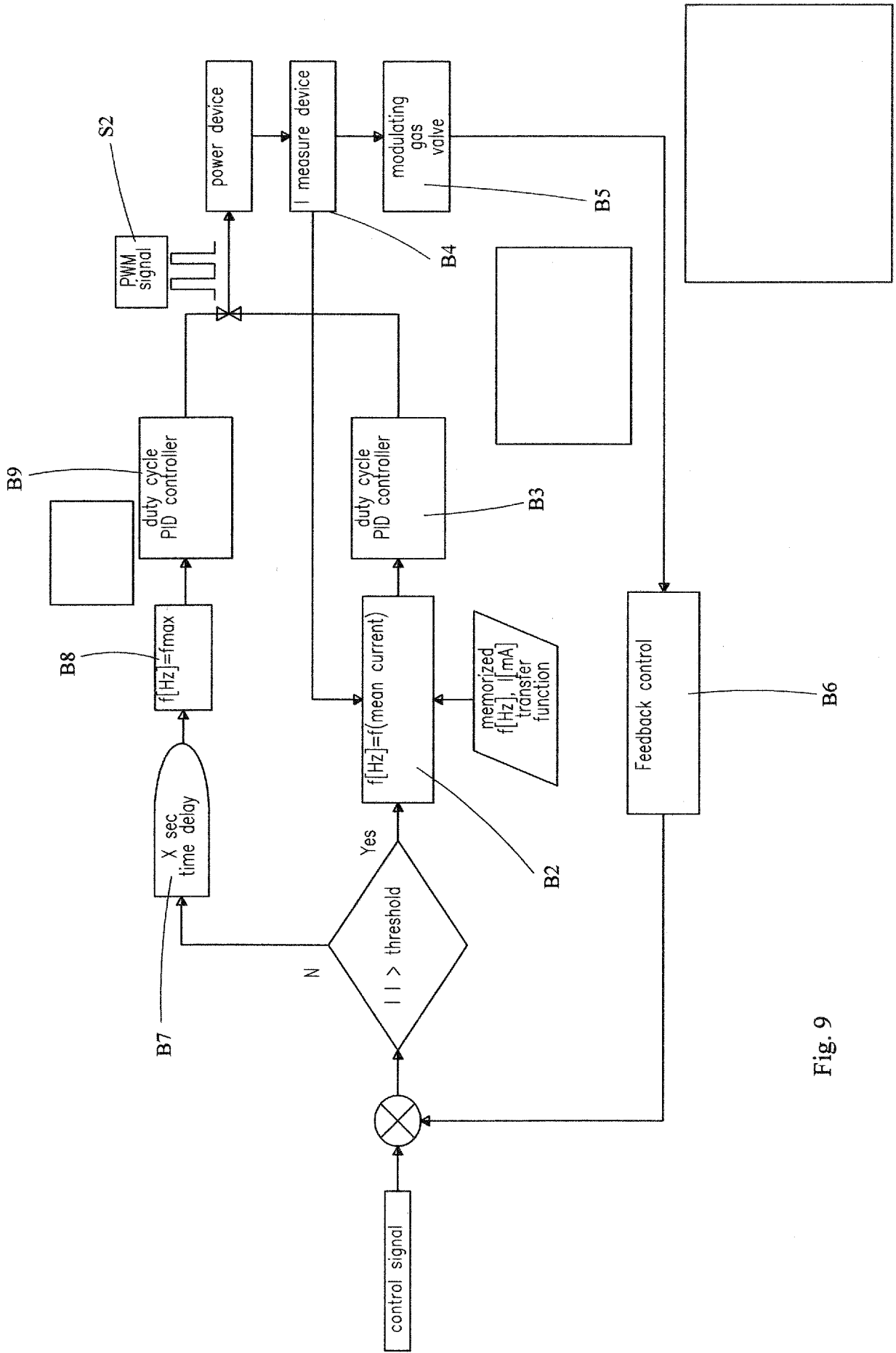


Fig. 9

Modulatore 845 con molla recupero
frequenza PWM in funzione della corrente

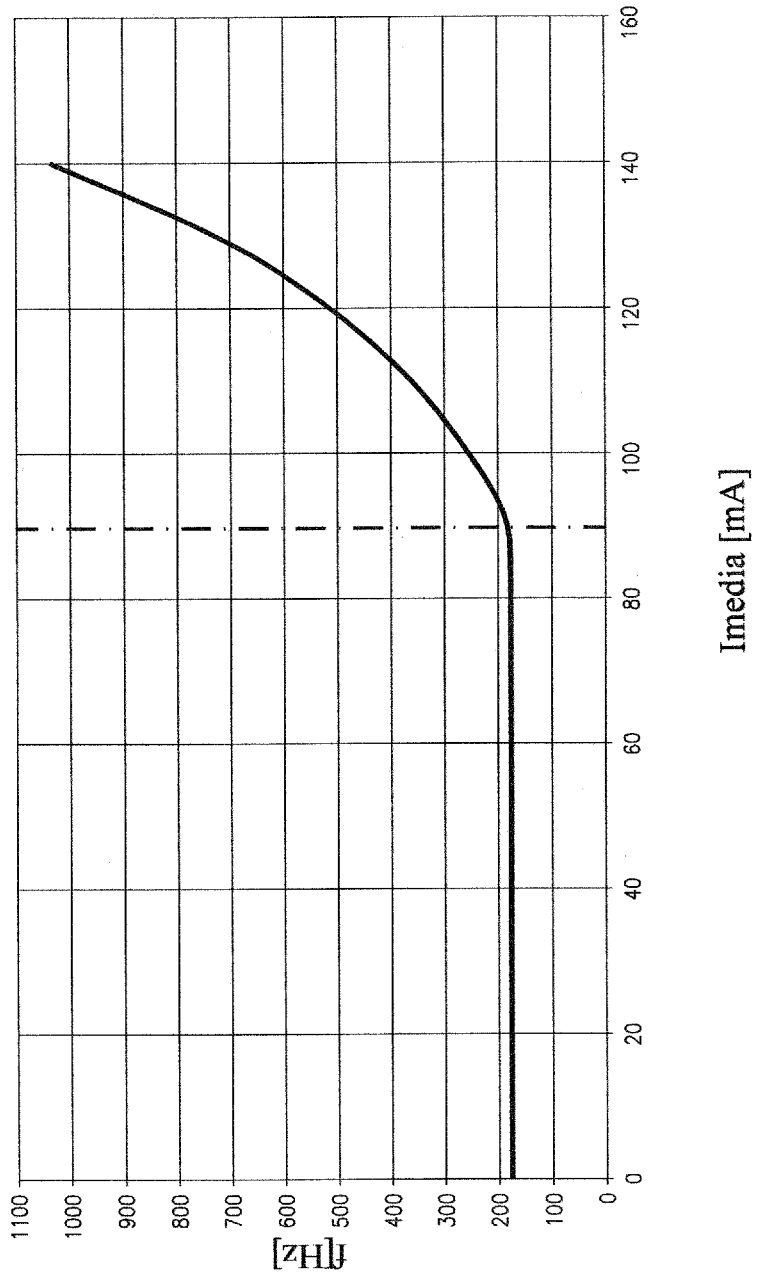


Fig. 10