

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102023000000021
Data Deposito	03/01/2023
Data Pubblicazione	03/07/2024

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	02	D	41	20

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	02	D	41	22

Titolo

METODO DI DIAGNOSI DI UN DISPOSITIVO Elettromeccanico con attuazione Elettromagnetica
--

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"METODO DI DIAGNOSI DI UN DISPOSITIVO ELETTROMECCANICO CON
ATTUAZIONE ELETTROMAGNETICA"

di MARELLI EUROPE S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: VIALE ALDO BORLETTI 61/63

20011 CORBETTA (MI)

Inventori: GUIDO Claudio, BRUGNONI Enrico, DE CESARE Matteo

*** **

SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione è relativa ad un metodo di diagnosi di un dispositivo elettromeccanico con attuazione elettromagnetica.

La presente invenzione trova vantaggiosa applicazione nella diagnosi di un iniettore di carburante elettromagnetico, cui la trattazione che segue farà esplicito riferimento senza per questo perdere di generalità.

ARTE ANTERIORE

Un iniettore di carburante elettromagnetico (ad esempio del tipo di quello descritto nella domanda di brevetto EP1619384A2) comprende un corpo tubolare cilindrico presentante un canale di alimentazione centrale, il quale svolge la funzione di condotto del carburante e termina con

un ugello di iniezione regolato da una valvola di iniezione comandata da un attuatore elettromagnetico. La valvola di iniezione è provvista di uno spillo, il quale è rigidamente collegato ad una ancora mobile dell'attuatore elettromagnetico per venire spostato dall'azione dell'attuatore elettromagnetico tra una posizione di chiusura ed una posizione di apertura dell'ugello di iniezione contro l'azione di una molla di chiusura che spinge lo spillo nella posizione di chiusura. La sede valvolare è definita in un elemento di tenuta, il quale ha una forma a disco, chiude inferiormente a tenuta il canale centrale del corpo di supporto, ed è attraversato dall'ugello di iniezione. L'attuatore elettromagnetico comprende una bobina, la quale è disposta esternamente attorno al corpo tubolare, ed un polo magnetico fisso, il quale è realizzato di materiale ferromagnetico ed è disposto all'interno del corpo tubolare per attrarre magneticamente l'ancora mobile.

Normalmente, la valvola di iniezione è chiusa per effetto della molla di chiusura che spinge lo spillo nella posizione di chiusura, in cui lo spillo preme contro una sede valvolare della valvola di iniezione e l'ancora mobile è distanziata dal polo magnetico fisso. Per aprire la valvola di iniezione, cioè per spostare lo spillo dalla posizione di chiusura alla posizione di apertura, la bobina dell'attuatore elettromagnetico viene eccitata in modo da

generare un campo magnetico che attira l'ancora mobile verso il polo magnetico fisso contro la forza elastica esercitata dalla molla di chiusura; nella fase di apertura, la corsa dell'ancora mobile si arresta quando l'ancora mobile stessa impatta contro il polo magnetico fisso.

Ai fini della sicurezza e del controllo delle emissioni di un motore a combustione interna è necessario avere una diagnosi precisa ed affidabile (ovvero senza falsi positivi o falsi negativi) del corretto funzionamento degli iniettori di carburante. Tra le altre cose, è necessario sapere se ciascun iniettore di carburante è funzionante oppure è bloccato; inoltre, nel caso di bloccaggio di un iniettore di carburante, è molto utile sapere se l'iniettore di carburante è rimasto bloccato in una posizione chiusa (situazione meno critica perché permette di utilizzare gli altri iniettori di carburante) oppure se è rimasto bloccato in una posizione aperta (situazione più critica perché non permette di utilizzare gli altri iniettori di carburante).

La domanda di brevetto EP3575584A1 descrive un metodo per determinare un istante di chiusura di un iniettore di carburante elettromagnetico mediante un confronto tra un l'andamento di paragone ed un andamento temporale di una tensione applicata ad una bobina di un attuatore elettromagnetico per fare circolare attraverso la bobina una corrente elettrica che determina l'apertura di una valvola

di iniezione.

DESCRIZIONE DELLA INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è di fornire un metodo di diagnosi di un dispositivo elettromeccanico con attuazione elettromagnetica, il quale metodo di diagnosi permetta di determinare in modo sicuro ed affidabile se l'iniettore di carburante è funzionante oppure è bloccato.

Secondo la presente invenzione viene fornito un metodo di diagnosi di un dispositivo elettromeccanico con attuazione elettromagnetica secondo quanto rivendicato dalle rivendicazioni allegate.

Le rivendicazioni descrivono forme di realizzazione preferite della presente invenzione formando parte integrante della presente descrizione.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

La presente invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni annessi, che ne illustrano un esempio di attuazione non limitativo, in cui:

- la figura 1 è una vista schematica di un impianto di iniezione di tipo common-rail che implementa il metodo oggetto della presente invenzione;
- la figura 2 è una vista schematica, in elevazione laterale ed in sezione di un iniettore di carburante elettromagnetico dell'impianto di iniezione della figura 1;

- la figura 3 è un grafico che illustra la caratteristica di iniezione di un iniettore di carburante elettromagnetico dell'impianto di iniezione della figura 1;
- la figura 4 è un grafico che illustra l'evoluzione temporale di alcune grandezze fisiche di un iniettore di carburante dell'impianto di iniezione della figura 1 che viene comandato per iniettare carburante;
- la figura 5 è un grafico che illustra l'evoluzione temporale della tensione elettrica ai capi di una bobina di un iniettore di carburante dell'impianto di iniezione della figura 1, di una corrispondenza tensione elettrica di paragone, e della loro differenza; e
- le figure 6 e 7 sono due grafici che illustrano l'evoluzione temporale di alcune grandezze fisiche di un iniettore di carburante dell'impianto di iniezione della figura 1 che rimane bloccato rispettivamente in una posizione chiusa ed in una posizione aperta.

FORME DI ATTUAZIONE PREFERITE DELL'INVENZIONE

Nella figura 1, con il numero 1 è indicato nel suo complesso un impianto di iniezione di tipo common-rail per l'iniezione diretta di carburante in un motore 2 a combustione interna provvisto di quattro cilindri 3. L'impianto 1 di iniezione comprende quattro iniettori 4

elettromagnetici di carburante, ciascuno dei quali inietta il carburante direttamente all'interno di un rispettivo cilindro 3 del motore 2 e riceve il carburante in pressione da un canale 5 comune (denominato "*common-rail*"). L'impianto 1 di iniezione comprende una pompa 6 di alta pressione che alimenta il carburante al canale 5 comune ed è azionata direttamente da un albero motore del motore 2 mediante una trasmissione meccanica con una frequenza di attuazione direttamente proporzionale alla velocità di rotazione dell'albero motore. A sua volta, la pompa 6 di alta pressione è alimentata da una pompa 7 di bassa pressione disposta all'interno di un serbatoio 8 del carburante. Ciascun iniettore 4 di carburante inietta nel corrispondente cilindro 3 una quantità di carburante variabile sotto il controllo di una unità 9 di controllo.

Secondo quanto illustrato nella figura 2, ciascun iniettore 4 di carburante presenta sostanzialmente una simmetria cilindrica attorno ad un asse 10 longitudinale e viene comandato per iniettare carburante da un ugello 11 di iniezione. L'iniettore 4 di carburante comprende un corpo 12 di supporto, il quale ha una forma tubolare cilindrica a sezione variabile lungo l'asse 10 longitudinale e presenta un canale 13 di alimentazione che si estende lungo tutta la lunghezza del corpo 12 di supporto stesso per alimentare il carburante in pressione verso l'ugello 11 di iniezione. Il

corpo 12 di supporto supporta in corrispondenza di una propria porzione superiore un attuatore 14 di carburante ed in corrispondenza di una propria porzione inferiore una valvola 15 di iniezione che delimita inferiormente il canale 13 di alimentazione; in uso, la valvola 15 di iniezione viene azionata dall'attuatore 14 di carburante per regolare il flusso di carburante attraverso l'ugello 11 di iniezione, il quale è ricavato in corrispondenza della valvola 15 di iniezione stessa.

L'attuatore 14 di carburante comprende una bobina 16, la quale è disposta esternamente attorno al corpo 12 tubolare ed è racchiusa in una custodia 17 toroidale di materiale plastico, ed un polo 18 magnetico fisso (denominato anche "*fondello*"), il quale è realizzato di materiale ferromagnetico ed è disposto all'interno del corpo 12 tubolare in corrispondenza della bobina 16. Inoltre, l'attuatore 15 elettromagnetico comprende una ancora 19 mobile, la quale presenta una forma cilindrica, è realizzata di materiale ferromagnetico, ed è atta a venire magneticamente attirata dal polo 18 magnetico quando la bobina 16 viene eccitata (cioè viene percorsa da corrente). Infine, l'attuatore 15 elettromagnetico comprende una armatura 20 magnetica tubolare, la quale è realizzata di materiale ferromagnetico, è disposta all'esterno del corpo 12 tubolare e comprende una sede 21 anulare per alloggiare

al proprio interno la bobina 16, ed una rosetta 22 magnetica di forma anulare, la quale è realizzata di materiale ferromagnetico ed è disposta sopra alla bobina 16 per guidare la chiusura del flusso magnetico attorno alla bobina 16 stessa.

L'ancora 19 mobile è parte di un equipaggio mobile, il quale comprende, inoltre, un otturatore o spillo 23 avente una porzione superiore solidale all'ancora 19 mobile ed una porzione inferiore cooperante con una sede 24 valvolare della valvola 15 di iniezione per regolare in modo noto il flusso di carburante attraverso l'ugello 11 di iniezione. In particolare, lo spillo 23 termina con una testa di otturazione di forma sostanzialmente sferica, la quale è atta ad appoggiarsi a tenuta contro la sede valvolare.

Il polo 18 magnetico è centralmente forato e presenta un foro 25 centrale passante, in cui è parzialmente alloggiata una molla 26 di chiusura che spinge l'ancora 19 mobile verso una posizione di chiusura della valvola 15 di iniezione. In particolare, all'interno del foro 25 centrale del polo 18 magnetico è piantato in posizione fissa un corpo 27 di riscontro che mantiene la molla 26 di chiusura compressa contro l'ancora 19 mobile.

In uso, quando l'attuatore 14 di carburante è diseccitato l'ancora 19 mobile non viene attratta dal polo 18 magnetico e la forza elastica della molla 26 di chiusura

spinge l'ancora 19 mobile assieme allo spillo 23 (cioè l'equipaggio mobile) verso il basso fino ad una posizione limite inferiore, in cui la testa di otturazione dello spillo 23 è premuta contro la sede 24 valvolare della valvola 15 di iniezione isolando l'ugello 11 di iniezione dal carburante in pressione. Quando l'attuatore 14 di carburante viene eccitato, l'ancora 19 mobile viene magneticamente attratta dal polo 18 magnetico contro la forza elastica della molla 26 di chiusura e l'ancora 19 mobile assieme allo spillo 23 (cioè l'equipaggio mobile) si spostano verso l'alto per effetto dell'attrazione magnetica esercitata dal polo 18 magnetico stesso fino ad una posizione limite superiore, in cui l'ancora 19 mobile è in battuta contro il polo 18 magnetico e la testa di otturazione dello spillo 23 è sollevata rispetto alla sede 24 valvolare della valvola 15 di iniezione permettendo al carburante in pressione di fluire attraverso l'ugello 11 di iniezione.

Secondo quanto illustrato nella figura 2, la bobina 16 dell'attuatore 14 di carburante di ciascun iniettore 4 di carburante viene alimentata dalla unità 9 di controllo che applica ai morsetti 28 e 29 (ovvero ai capi) della bobina 16 una tensione v variabile nel tempo che determina la circolazione attraverso la bobina 16 di una corrente i elettrica variabile nel tempo. Il morsetto 28 della bobina 16 è il morsetto di alta tensione ed è collegabile alla

tensione di alimentazione attraverso almeno un primo transistor di pilotaggio della unità 9 di controllo; invece, il morsetto 29 della bobina 16 è il morsetto di bassa tensione ed è collegabile alla massa elettrica attraverso almeno un secondo transistor di pilotaggio della unità 9 di controllo.

Secondo quanto illustrato nella figura 3, la legge di iniezione (cioè la legge che lega il tempo T_{INJ} di iniezione, o tempo di pilotaggio, alla quantità Q di carburante iniettata ed è rappresentata dalla curva tempo T_{INJ} di iniezione - quantità Q di carburante iniettato) di ciascun iniettore 4 di carburante è divisibile in tre zone: una zona A iniziale di mancata apertura, in cui il tempo T_{INJ} di iniezione è troppo piccolo e quindi l'energia che viene fornita alla bobina 16 dell'attuatore 14 di carburante produce una forza insufficiente a vincere la forza della molla 26 di chiusura e lo spillo 23 rimane fermo nella posizione di chiusura della valvola 15 di iniezione; una zona balistica B, in cui lo spillo 23 si sposta dalla posizione di chiusura della valvola 15 di iniezione verso una posizione di completa apertura (in cui l'ancora 19 mobile solidale allo spillo 23 si dispone in battuta contro il polo 18 magnetico fisso), ma non riesce a raggiungere la posizione di completa apertura e quindi ritorna nella posizione di chiusura prima di avere raggiunto la posizione di completa

apertura; ed una zona C lineare, in cui lo spillo 23 si sposta dalla posizione di chiusura della valvola 15 di iniezione alla posizione di completa apertura che viene mantenuta per un certo tempo.

Il grafico della figura 4 illustra l'evoluzione temporale di alcune grandezze fisiche di un iniettore 4 di carburante che viene comandato per iniettare carburante nella zona lineare. In altre parole, il tempo T_{INJ} di iniezione è sufficientemente lungo e quindi per effetto dell'attrazione elettromagnetica generata dall'attuatore 14 di carburante lo spillo 23 (assieme all'ancora 19 mobile) si sposta dalla posizione di chiusura della valvola 15 di iniezione verso una posizione di completa apertura (in cui l'ancora 19 mobile solidale allo spillo 23 si dispone in battuta contro il polo 18 magnetico fisso) che viene raggiunta e mantenuta fino alla chiusura.

Secondo quanto illustrato nella figura 4, il comando c logico di pilotaggio dell'iniettore 4 di carburante prevede di attivare (energizzare) l'attuatore 14 di carburante ad un istante t_1 (passaggio del comando c logico di pilotaggio dallo stato spento ovvero OFF allo stato acceso ovvero ON) e di disattivare (disenergizzare) l'attuatore 14 di carburante ad un istante t_4 (passaggio del comando c logico di pilotaggio dallo stato acceso ovvero ON allo stato spento ovvero OFF). Il tempo T_{INJ} di iniezione è pari all'intervallo

di tempo che intercorre tra gli istanti t_1 e t_4 .

All'istante t_1 la bobina 16 dell'attuatore 14 di carburante viene energizzata e quindi inizia a produrre una forza motrice che si oppone alla forza della molla 26 di chiusura; quando la forza motrice generata dalla bobina 16 dell'attuatore 14 di carburante supera la forza della molla 26 di chiusura la posizione p dello spillo 23 (che è solidale all'ancora 19 mobile), ovvero ad un istante t_2 , inizia a variare dalla posizione di chiusura della valvola 15 di iniezione (indicata con "Close" nella figura 4) alla posizione di completa apertura della valvola 15 di iniezione (indicata con "Open" nella figura 4); in altre parole, la valvola 15 di iniezione inizia ad aprirsi all'istante t_2 ed il tempo che intercorre tra gli istanti t_1 e t_2 è definito il tempo T_0 di apertura (ovvero il tempo che intercorre tra l'istante t_1 in cui inizia l'energizzazione dell'attuatore 14 di carburante e l'istante t_2 in cui la valvola 15 di iniezione inizia effettivamente ad aprirsi). Nella legge di iniezione (illustrata nella figura 3), il tempo T_0 di apertura stabilisce il confine tra la zona A iniziale di mancata apertura e la zona B balistica di funzionamento: infatti se il tempo T_{INJ} di iniezione è inferiore al tempo T_0 di apertura allora la valvola 15 di iniezione non si apre e quindi ci si trova nella zona A iniziale di mancata apertura mentre se il tempo T_{INJ} di iniezione è superiore al tempo T_0

di apertura allora la valvola 15 di iniezione si apre e quindi ci si trova nella zona B balistica di funzionamento (oppure, se il tempo T_{INJ} di iniezione è sufficientemente lungo, ci si trova nella zona C lineare).

Ad un istante t_3 la posizione p dello spillo 23 ha raggiunto la posizione di completa apertura della valvola 15 di iniezione che viene mantenuta fino all'istante t_4 a partire dal quale lo spillo 23 (per effetto del termine del comando c logico di pilotaggio dell'iniettore 4 di carburante) si riporta nella posizione di chiusura della valvola 15 di iniezione che viene raggiunta all'istante t_5 (cioè nel momento in cui la testa di otturazione dello spillo 23 si appoggia a tenuta contro la sede valvolare della valvola 15 di iniezione). Prima dell'istante t_5 (cioè nel momento in cui la valvola 15 di iniezione viene chiusa), e poco dopo l'istante t_4 la corrente i che attraversa la bobina 16 si annulla (ovvero arriva al valore zero) e la tensione v applicata ai capi della bobina 16 inizia a diminuire (in valore assoluto) portandosi verso il valore nullo. Viene identificato come tempo T_c di chiusura l'intervallo di tempo che intercorre tra gli istanti t_4 e t_5 , cioè l'intervallo di tempo che intercorre tra il termine del comando c logico di pilotaggio dell'iniettore 4 di carburante e la chiusura dell'iniettore 4 di carburante.

All'istante t_1 la tensione v applicata ai capi della

bobina 16 dell'attuatore 14 di carburante dell'iniettore 4 di carburante viene fatta crescere fino a raggiungere un picco di accensione positivo che serve a fare aumentare rapidamente la corrente i che attraversa la bobina 16; al termine del picco di accensione, la tensione v applicata ai capi della bobina 16 viene controllata secondo la tecnica "chopper" che prevede di variare ciclicamente la tensione v tra un valore positivo ed un valore nullo per mantenere la corrente i nell'intorno di un valore di mantenimento desiderato. All'istante t_4 la tensione v applicata ai capi della bobina 16 viene fatta diminuire rapidamente fino a raggiungere un picco di spegnimento negativo che serve per annullare rapidamente la corrente i che attraversa la bobina 16. Una volta che la corrente i è stata azzerata, la tensione v residua si scarica con legge esponenziale fino ad annullarsi e durante tale fase di annullamento della tensione v si verifica la chiusura dell'iniettore 4 di carburante (all'istante t_5 in cui lo spillo 23 raggiunge la posizione di chiusura della valvola 15 di iniezione); infatti, lo spillo 23 inizia la corsa di chiusura verso la posizione di chiusura della valvola 15 di iniezione solo quando la forza della molla 26 di chiusura supera la forza di attrazione elettromagnetica che è generata dall'attuatore 14 di carburante ed è proporzionale alla corrente i , (cioè si azzerava solo quando si azzerava la corrente i).

Durante il normale funzionamento del motore 2 a combustione interna, l'unità 9 di controllo pilota ciascun iniettore 4 di carburante per aprire e chiudere, ad ogni ciclo di iniezione (ovvero ad ogni ciclo di lavoro), la valvola 15 di iniezione in modo da iniettare una quantità di carburante desiderata applicando ad un istante t_1 di inizio dell'iniezione una tensione v positiva alla bobina 16 dell'attuatore 14 elettromagnetico per fare circolare attraverso la bobina 16 la corrente i elettrica che determina l'apertura della valvola 15 di iniezione ed applicando ad un istante t_4 di fine dell'iniezione una tensione v negativa alla bobina 16 dell'attuatore 14 elettromagnetico per annullare la corrente i elettrica che circola attraverso la bobina 16.

Come illustrato nella figura 5, ad ogni ciclo di iniezione e per ciascun iniettore 4 di carburante, l'unità 9 di controllo rileva un andamento temporale della tensione v_1 ad almeno un capo della bobina 16 dell'attuatore 14 elettromagnetico dopo l'annullamento della corrente i elettrica che circola attraverso la bobina 16, confronta l'andamento temporale della tensione v_1 con un andamento di paragone v_2 , e quindi riconosce la presenza o l'assenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante in funzione del confronto tra l'andamento temporale della tensione v_1 e l'andamento di paragone v_2 .

Ad ogni ciclo di iniezione e per ciascun iniettore 4 di carburante, l'unità 9 di controllo diagnostica che l'iniettore 4 di carburante è correttamente funzionante solo se è presente una chiusura dell'iniettore 4 di carburante e quindi diagnostica che l'iniettore 4 di carburante è bloccato se è assente una chiusura dell'iniettore 4 di carburante.

Secondo una preferita forma di attuazione, ad ogni ciclo di iniezione e per ciascun iniettore 4 di carburante, l'unità 9 di controllo calcola una differenza Δv di tensione tra l'andamento temporale della tensione v_1 e l'andamento di paragone v_2 , riconosce la presenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante solo se la differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, superiore ad una prima soglia, e quindi riconosce l'assenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante se la differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, inferiore alla prima soglia.

Secondo una possibile forma di attuazione, ad ogni ciclo di iniezione e per ciascun iniettore 4 di carburante, l'unità 9 di controllo calcola una derivata $d\Delta v/dt$ prima nel tempo della differenza Δv di tensione, riconosce la presenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante solo se la derivata $d\Delta v/dt$ prima nel tempo della differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, superiore ad una seconda soglia, e quindi riconosce l'assenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante se la derivata $d\Delta v/dt$ prima

nel tempo della differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, inferiore alla seconda soglia.

In altre parole, ad ogni ciclo di iniezione e per ciascun iniettore 4 di carburante, l'unità 9 di controllo riconosce la presenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante solo se la differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, superiore alla prima soglia, e/o riconosce la presenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante solo se la derivata $d\Delta v/dt$ prima nel tempo della differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, superiore alla seconda soglia. Ovvero, ad ogni ciclo di iniezione e per ciascun iniettore 4 di carburante, l'unità 9 di controllo riconosce l'assenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante se la differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, inferiore alla prima soglia e/o se la derivata $d\Delta v/dt$ prima nel tempo della differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, inferiore alla seconda soglia. Quindi, se la differenza Δv di tensione e/o la derivata $d\Delta v/dt$ prima nel tempo della differenza Δv di tensione sono troppo piccole (in valore assoluto), allora l'unità 9 di controllo stabilisce che l'andamento temporale della tensione v_1 è del tutto simile all'andamento di paragone v_2 e quindi non si è verificata alcuna chiusura dell'iniettore 4 di carburante (cioè una chiusura dell'iniettore 4 di carburante è assente).

Secondo una possibile forma di attuazione, l'unità 9 di

controllo riconosce la presenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante solo se la differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, superiore alla prima soglia e nello stesso tempo la derivata $d\Delta v/dt$ prima nel tempo della differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, superiore alla seconda soglia; quindi l'unità 9 di controllo riconosce l'assenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante se la differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, inferiore alla prima soglia oppure (in alternativa) se la derivata $d\Delta v/dt$ prima nel tempo della differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, inferiore alla seconda soglia. Secondo una alternativa forma di attuazione, l'unità 9 di controllo riconosce la presenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante se la differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, superiore alla prima soglia oppure (in alternativa) la derivata $d\Delta v/dt$ prima nel tempo della differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, superiore alla seconda soglia; quindi l'unità 9 di controllo riconosce l'assenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante solo se la differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, inferiore alla prima soglia nello stesso tempo se la derivata $d\Delta v/dt$ prima nel tempo della differenza Δv di tensione è, in valore assoluto, inferiore alla seconda soglia.

Per determinare l'andamento di paragone v_2 , l'unità 9 di controllo esegue preliminarmente una prova sullo stesso

iniettore 4 di carburante che viene comandato con un tempo T_{INJ} di iniezione (pari a sua volta all'intervallo di tempo intercorrente tra l'istante t_1 di inizio dell'iniezione e l'istante t_4 di fine dell'iniezione) così piccolo da non riuscire a raggiungere l'apertura della valvola 15 di iniezione (ovvero un tempo T_{INJ} di iniezione che appartiene alla zona A iniziale di mancata apertura ed è inferiore al tempo T_0 di apertura). In altre parole, l'unità 9 di controllo applica ad un istante t_1 di inizio della prova una tensione v positiva alla bobina 16 dell'attuatore 14 di carburante per fare circolare attraverso la bobina 16 una corrente i elettrica che non determina l'apertura della valvola 15 di iniezione, e l'unità 9 di controllo applica ad un istante t_4 di fine della prova una tensione v negativa alla bobina 16 dell'attuatore 14 di carburante per annullare la corrente i elettrica che circola attraverso la bobina 16 senza determinare l'apertura della valvola 15 di iniezione. Infine, l'unità 9 di controllo rileva (misura) un andamento temporale della tensione v_2 (illustrato nella figura 5) ad almeno un capo (ovvero un morsetto 28 o 29) della bobina 16 dell'attuatore 14 di carburante dopo l'annullamento della corrente i elettrica che circola attraverso la bobina 16 senza determinare l'apertura della valvola 15 di iniezione, e l'unità 9 di controllo identifica l'andamento temporale della tensione v_2 come andamento di paragone v_2 .

Secondo una preferita forma di attuazione, ad ogni ciclo di iniezione e per ciascun iniettore 4 di carburante, l'unità 9 di controllo riconosce la presenza o l'assenza di una apertura dell'iniettore 4 di carburante e memorizza l'eventuale presenza di una apertura dell'iniettore 4 di carburante e l'eventuale presenza di una chiusura dell'iniettore 4 di carburante. Ovvero, per ciascun iniettore 4 di carburante, l'unità 9 di controllo crea un registro storico che contiene gli ultimi eventi di apertura e chiusura; ovviamente il registro storico contiene un limitato numero di eventi di apertura e chiusura (anche solo l'ultimo nella versione più ridotta) e quindi il più vecchio evento viene cancellato per fare posto alla memorizzazione di un nuovo evento. In questo modo, l'unità 9 di controllo può diagnosticare che un iniettore 4 di carburante è bloccato in posizione chiusa se è assente una apertura (oppure, in alternativa, una nuova chiusura) dell'iniettore 4 di carburante e se l'ultimo evento memorizzato in precedenza è una chiusura dell'iniettore 4 di carburante (ovvero se l'ultimo evento presente nel registro storico è un evento di chiusura); analogamente, l'unità 9 di controllo può diagnosticare che l'iniettore 4 di carburante è bloccato in posizione aperta se è assente una chiusura dell'iniettore 4 di carburante e se l'ultimo evento memorizzato in precedenza è una apertura dell'iniettore 4 di carburante (ovvero se

l'ultimo evento presente nel registro storico è un evento di apertura).

Quanto sopra descritto è illustrato nelle figure 6 e 7: nella figura 6 è illustrato il caso in cui un iniettore 4 di carburante è bloccato in posizione chiusa (si noti come l'ultimo evento registrato è un evento di chiusura) mentre nella figura 7 è illustrato il caso in cui un iniettore 4 di carburante è bloccato in posizione aperta (si noti come l'ultimo evento registrato è un evento di apertura).

Secondo una preferita forma di attuazione illustrata nella figura 4, ad ogni ciclo di iniezione e per ciascun iniettore 4 di carburante, l'unità 9 di controllo riconosce la presenza o l'assenza di una apertura dell'iniettore 4 di carburante in funzione della corrente i elettrica. In particolare, l'unità 9 di controllo ricerca un flesso in un fronte di salita della corrente i elettrica, riconosce la presenza di una apertura dell'iniettore 4 di carburante in presenza del flesso nel fronte di salita della corrente i elettrica, e quindi riconosce l'assenza di una apertura dell'iniettore 4 di carburante in assenza del flesso nel fronte di salita della corrente i elettrica.

Secondo una possibile forma di attuazione, l'unità 9 di controllo calcola una derivata seconda nel tempo della corrente i elettrica e ricerca il flesso nel fronte di salita della corrente i elettrica analizzando la derivata seconda

nel tempo della corrente i elettrica (in corrispondenza del flesso la derivata seconda nel tempo della corrente i elettrica dovrebbe essere all'incirca nulla). In alternativa, l'unità 9 di controllo applica un filtro digitale di tipo FIR ("*Finite Impulse Response*") che combina differenziazione e filtraggio passa-basso alla corrente i elettrica per ricercare il flesso nel fronte di salita della corrente i elettrica.

Secondo una possibile forma di attuazione, la tensione v viene misurata dall'unità 9 di controllo tra i due morsetti 28 e 29 della bobina 16 quando vengono rilevati gli andamenti temporali della tensione v_1 e v_2 ; questa soluzione prevede una misura differenziale che è più complessa in quanto prevede l'utilizzo di due distinti sensori di tensione collegati ai due morsetti 28 e 29 della bobina 16. In alternativa, la tensione v viene misurata dall'unità 9 di controllo tra il morsetto 29 di bassa tensione della bobina 16 ed una massa elettrica quando vengono rilevati gli andamenti temporali della tensione v_1 e v_2 ; questa soluzione è più semplice in quanto prevede l'utilizzo un unico sensore di tensione collegato al morsetto 29 di bassa tensione della bobina 16.

Le forme di attuazione qui descritte si possono combinare tra loro senza uscire dall'ambito di protezione della presente invenzione.

Il metodo di diagnosi sopra descritto presenta numerosi vantaggi.

In primo luogo, il metodo di diagnosi sopra descritto permette di determinare in modo sicuro ed affidabile se un iniettore 4 di carburante è funzionante oppure è bloccato.

Inoltre, il metodo di diagnosi sopra descritto permette di riconoscere se un iniettore 4 di carburante è rimasto bloccato in una posizione chiusa (situazione meno critica perché permette di utilizzare gli altri iniettori 4 di carburante) oppure se un iniettore 4 di carburante è rimasto bloccato in una posizione aperta (situazione più critica perché non permette di utilizzare gli altri iniettori 4 di carburante).

Infine, il metodo di diagnosi sopra descritto è di semplice ed economica implementazione anche in una unità 9 di controllo esistente in quanto non richiede alcun hardware aggiuntivo rispetto all'hardware già normalmente presente negli impianti di iniezione di carburante, non necessita di una potenza di calcolo elevata, e non comporta una grande occupazione di memoria.

Il metodo di diagnosi sopra descritto può trovare applicazione anche ad altre tipologie di dispositivo elettromeccanico con attuazione elettromagnetica diverse dagli iniettori 4 di carburante. Ad esempio, il metodo di diagnosi sopra descritto può trovare applicazione in una

pompa carburante di bassa pressione (ad esempio del tipo descritto nella domanda di brevetto EP2096288A1) in cui un equipaggio movimentato dall'attuatore elettromagnetico comprende un pistone che scorre all'interno di un cilindro per comprimere il carburante. Ad esempio, inoltre, il metodo di diagnosi sopra descritto può trovare applicazione in una pompa carburante di alta pressione (ad esempio del tipo descritto nella domanda di brevetto EP3088728A1) in cui un equipaggio movimentato dall'attuatore elettromagnetico comprende una asta di comando che agisce su una valvola di aspirazione della pompa carburante per impedire alla valvola di aspirazione di chiudersi quando l'equipaggio si trova in una posizione attiva e per permettere alla valvola di aspirazione di chiudersi quando l'equipaggio si trova in una posizione passiva.

ELENCO DEI NUMERI DI RIFERIMENTO DELLE FIGURE

- | | |
|---|--------------------------|
| 1 | impianto di iniezione |
| 2 | motore |
| 3 | cilindri |
| 4 | iniettori di carburante |
| 5 | canale comune |
| 6 | pompa di alta pressione |
| 7 | pompa di bassa pressione |
| 8 | serbatoio |
| 9 | unità di controllo |

- 10 asse longitudinale
- 11 ugello di iniezione
- 12 corpo di supporto
- 13 canale di alimentazione
- 14 attuatore elettromagnetico
- 15 valvola di iniezione
- 16 bobina
- 17 custodia toroidale
- 18 polo magnetico fisso
- 19 ancora mobile
- 20 armatura magnetica
- 21 sede anulare
- 22 rosetta magnetica
- 23 spillo
- 24 sede valvolare
- 25 foro centrale
- 26 molla di chiusura
- 27 corpo di riscontro
- 28 morsetto
- 29 morsetto
- t_1 istante di tempo
- t_2 istante di tempo
- t_3 istante di tempo
- t_4 istante di tempo
- t_5 istante di tempo

A	zona iniziale
B	zona balistica
C	zona lineare
Q	quantità di carburante
T_{INJ}	tempo di iniezione
T_0	tempo di apertura
T_c	tempo di chiusura
v_1	andamento temporale della tensione
v_2	andamento temporale della tensione
Δv	differenza di tensione

R I V E N D I C A Z I O N I

1) Metodo di diagnosi di un dispositivo elettromeccanico, il quale comprende un equipaggio che è mobile tra una prima posizione ed una seconda posizione, ed un attuatore (14) elettromagnetico che è provvisto di una bobina (16) ed è atto a determinare lo spostamento dell'equipaggio tra la prima posizione e la seconda posizione; il metodo di diagnosi comprende le fasi di:

spostare, ad ogni ciclo di lavoro, l'equipaggio dalla prima posizione alla seconda posizione e dalla seconda posizione alla prima posizione applicando ad un istante (t_1) di inizio una tensione (v) positiva alla bobina (16) dell'attuatore (14) elettromagnetico per fare circolare attraverso la bobina (16) una prima corrente (i) elettrica che determina lo spostamento dell'equipaggio verso la seconda posizione ed applicando ad un istante (t_4) di fine una tensione (v) negativa alla bobina (16) dell'attuatore (14) elettromagnetico per annullare la prima corrente (i) elettrica che circola attraverso la bobina (16);

rilevare, ad ogni ciclo di lavoro, un primo andamento temporale della tensione (v_1) ad almeno un capo della bobina (16) dell'attuatore (14) elettromagnetico dopo l'annullamento della prima corrente (i) elettrica che circola attraverso la bobina (16);

confrontare, ad ogni ciclo di lavoro, il primo andamento

temporale della tensione (v_1) con un andamento di paragone (v_2); e

riconoscere, ad ogni ciclo di lavoro, la presenza o l'assenza di un raggiungimento della prima posizione in funzione del confronto tra il primo andamento temporale della tensione (v_1) e l'andamento di paragone (v_2);

il metodo di diagnosi è **caratterizzato dal fatto di** comprendere le ulteriori fasi di:

diagnosticare, ad ogni ciclo di lavoro, che il dispositivo elettromeccanico è correttamente funzionante solo se è presente il raggiungimento della prima posizione; e

diagnosticare, ad ogni ciclo di lavoro, che il dispositivo elettromeccanico è bloccato se è assente il raggiungimento della prima posizione.

2) Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 1 e comprendente le ulteriori fasi di:

calcolare, ad ogni ciclo di lavoro, una differenza (Δv) di tensione tra il primo andamento temporale della tensione (v_1) e l'andamento di paragone (v_2);

riconoscere la presenza del raggiungimento della prima posizione solo se la differenza (Δv) di tensione è, in valore assoluto, superiore ad una prima soglia; e

riconoscere l'assenza del raggiungimento della prima posizione se la differenza (Δv) di tensione è, in valore

assoluto, inferiore alla prima soglia.

3) Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 1 o 2 e comprendente le ulteriori fasi di:

calcolare, ad ogni ciclo di lavoro, una differenza (Δv) di tensione tra il primo andamento temporale della tensione (v_1) e l'andamento di paragone (v_2);

calcolare una derivata ($d\Delta v/dt$) prima nel tempo della differenza (Δv) di tensione; e

riconoscere la presenza del raggiungimento della prima posizione solo se la derivata ($d\Delta v/dt$) prima nel tempo della differenza (Δv) di tensione è, in valore assoluto, superiore ad una seconda soglia; e

riconoscere l'assenza del raggiungimento della prima posizione se la derivata ($d\Delta v/dt$) prima nel tempo della differenza (Δv) di tensione è, in valore assoluto, inferiore alla seconda soglia.

4) Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 1, 2 o 3 e comprendente le ulteriori fasi di:

riconoscere, ad ogni ciclo di lavoro, la presenza o l'assenza di un raggiungimento della seconda posizione;

memorizzare, ad ogni ciclo di lavoro, l'eventuale raggiungimento della seconda posizione e l'eventuale raggiungimento della prima posizione;

diagnosticare che il dispositivo elettromeccanico è bloccato nella prima posizione se è assente il raggiungimento

della seconda posizione e se l'ultimo evento memorizzato in precedenza è il raggiungimento della prima posizione; e

diagnosticare che il dispositivo elettromeccanico è bloccato nella seconda posizione se è assente il raggiungimento della prima posizione e se l'ultimo evento memorizzato in precedenza è il raggiungimento della seconda posizione.

5) Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 4 e comprendente l'ulteriore fase di riconoscere, ad ogni ciclo di lavoro, la presenza o l'assenza del raggiungimento della seconda posizione in funzione della prima corrente (i) elettrica.

6) Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 5 e comprendente le ulteriori fasi di:

ricercare un flesso in un fronte di salita della prima corrente (i) elettrica;

riconoscere la presenza del raggiungimento della seconda posizione in presenza del flesso nel fronte di salita della prima corrente (i) elettrica; e

riconoscere l'assenza del raggiungimento della seconda posizione in assenza del flesso nel fronte di salita della prima corrente (i) elettrica.

7) Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 6 e comprendente le ulteriori fasi di:

calcolare una derivata seconda nel tempo della prima

corrente (i) elettrica; e

ricercare il flesso nel fronte di salita della prima corrente (i) elettrica analizzando la derivata seconda nel tempo della prima corrente (i) elettrica.

8) Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 6 e comprendente l'ulteriore fase di applicare un filtro FIR alla prima corrente (i) elettrica per ricercare il flesso nel fronte di salita della prima corrente (i) elettrica.

9) Metodo di diagnosi secondo una delle rivendicazioni da 1 a 8 e comprendente le ulteriori fasi di:

applicare ad un istante (t_1) di inizio di una prova una tensione (v) positiva alla bobina (16) dell'attuatore (14) elettromagnetico per fare circolare attraverso la bobina (16) una seconda corrente (i) elettrica che non determina l'apertura della valvola (15) di iniezione;

applicare ad un istante (t_3) di fine della prova una tensione (v) negativa alla bobina (16) dell'attuatore (14) elettromagnetico per annullare la seconda corrente (i) elettrica che circola attraverso la bobina (16) senza determinare l'apertura della valvola (15) di iniezione;

rilevare un secondo andamento temporale della tensione (v_2) ad almeno un capo della bobina (16) dell'attuatore (14) elettromagnetico dopo l'annullamento della seconda corrente (i) elettrica che circola attraverso la bobina (16) senza determinare l'apertura della valvola (15) di iniezione; ed

identificare il secondo andamento temporale della tensione (v_2) come andamento di paragone (v_2).

10) Metodo di diagnosi secondo una delle rivendicazioni da 1 a 9, in cui l'attuatore (14) elettromagnetico comprende una molla (26) che spinge l'equipaggio verso la prima posizione.

11) Metodo di diagnosi secondo una delle rivendicazioni da 1 a 10, in cui:

il dispositivo elettromeccanico è un iniettore (4) di carburante elettromagnetico provvisto di una valvola (15) di iniezione; e

l'equipaggio movimentato dall'attuatore (14) elettromagnetico comprende uno spillo (23) che è mobile tra la prima posizione corrispondente ad una posizione di chiusura della valvola (15) di iniezione e la seconda posizione corrispondente ad una posizione di apertura della valvola (15) di iniezione.

12) Metodo di diagnosi secondo una delle rivendicazioni da 1 a 10, in cui:

il dispositivo elettromeccanico è una pompa carburante;
e

l'equipaggio movimentato dall'attuatore (14) elettromagnetico comprende un pistone che scorre all'interno di un cilindro per comprimere il carburante.

13) Metodo di diagnosi secondo una delle rivendicazioni

da 1 a 10, in cui:

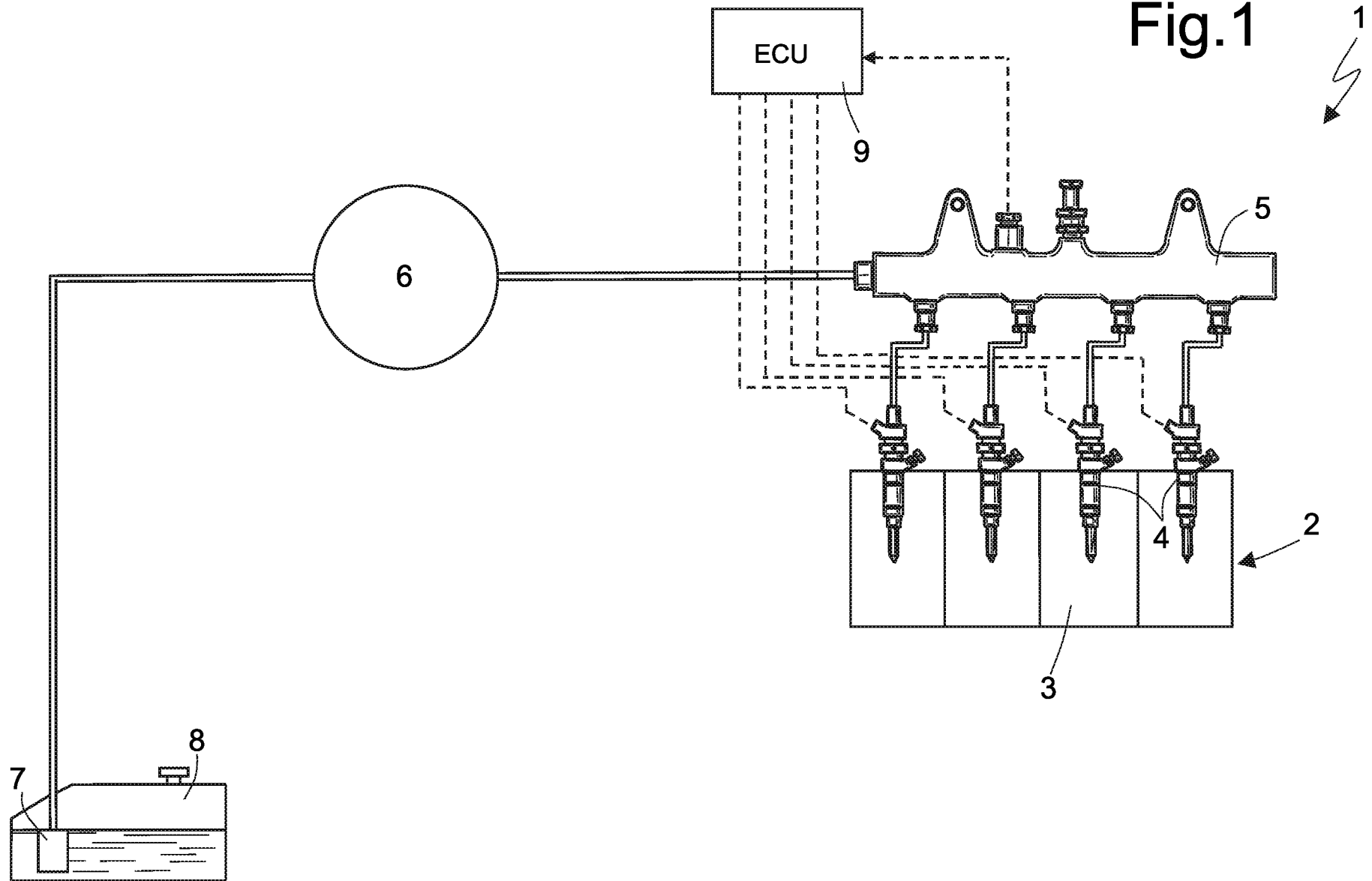
il dispositivo elettromeccanico è una pompa carburante;

e

l'equipaggio movimentato dall'attuatore (14)

elettromagnetico comprende una asta di comando che agisce su una valvola di aspirazione della pompa carburante per impedire alla valvola di aspirazione di chiudersi quando l'equipaggio si trova nella prima posizione e per permettere alla valvola di aspirazione di chiudersi quando l'equipaggio si trova nella seconda posizione.

Fig.1



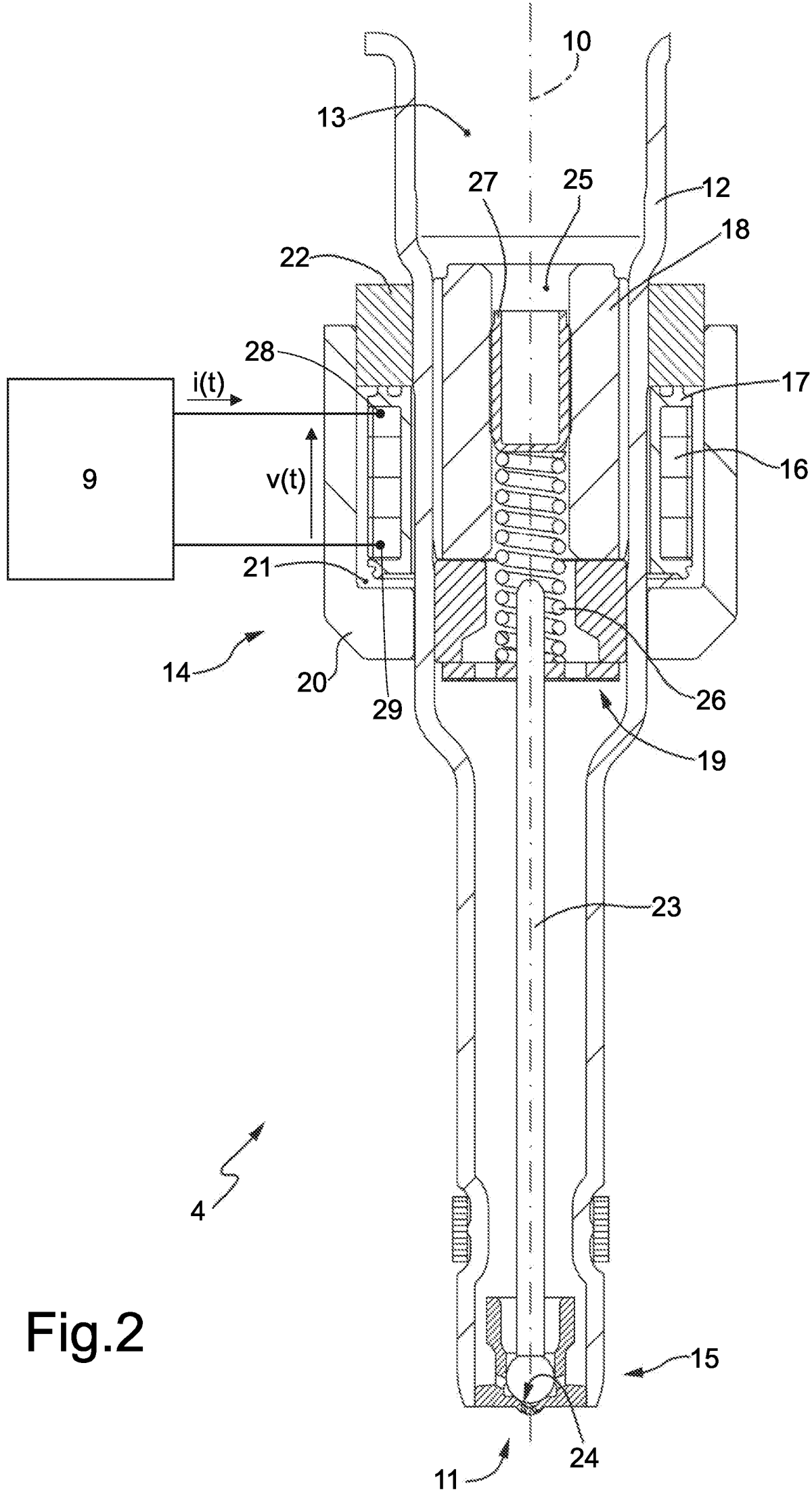


Fig.2

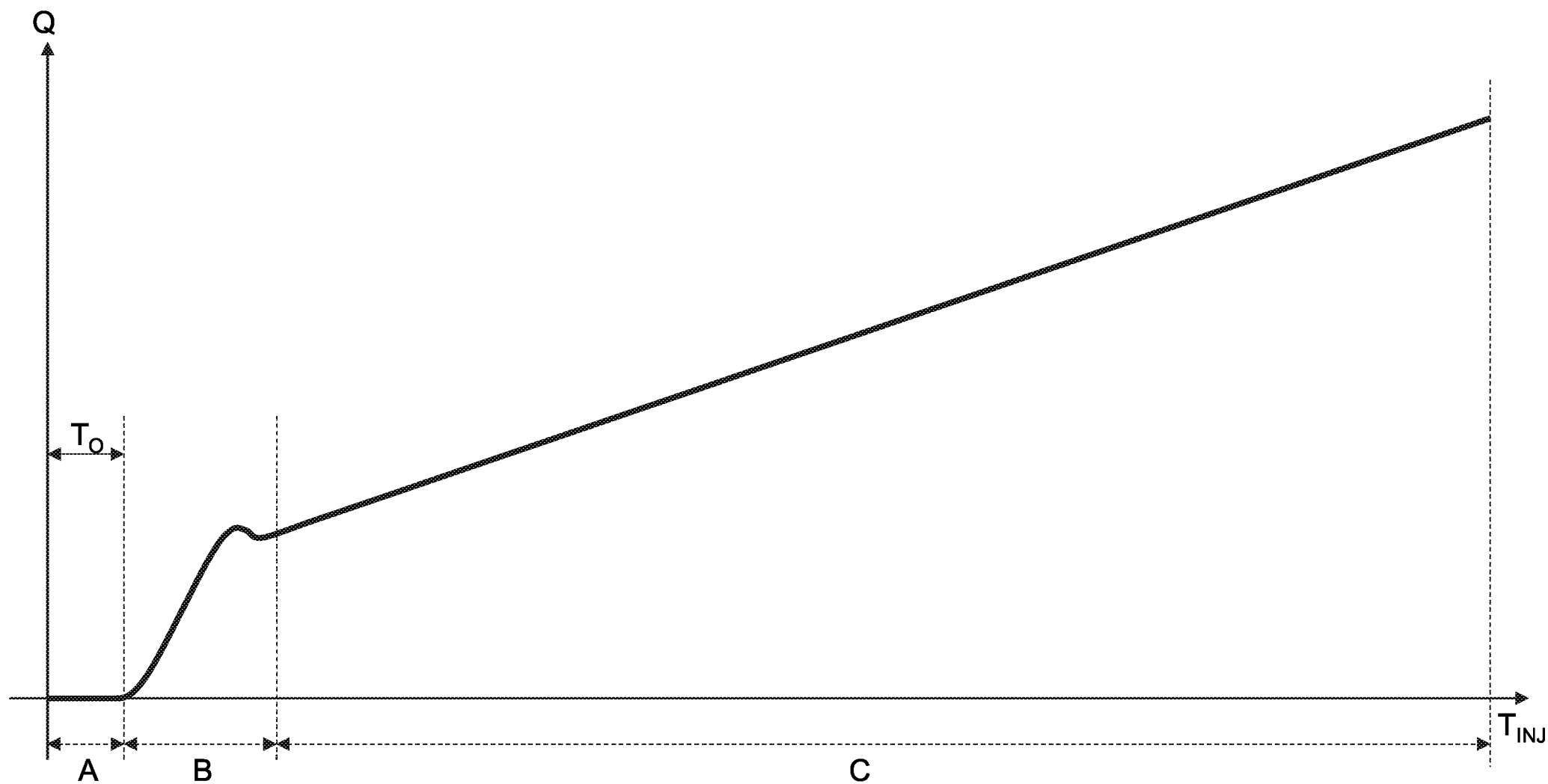
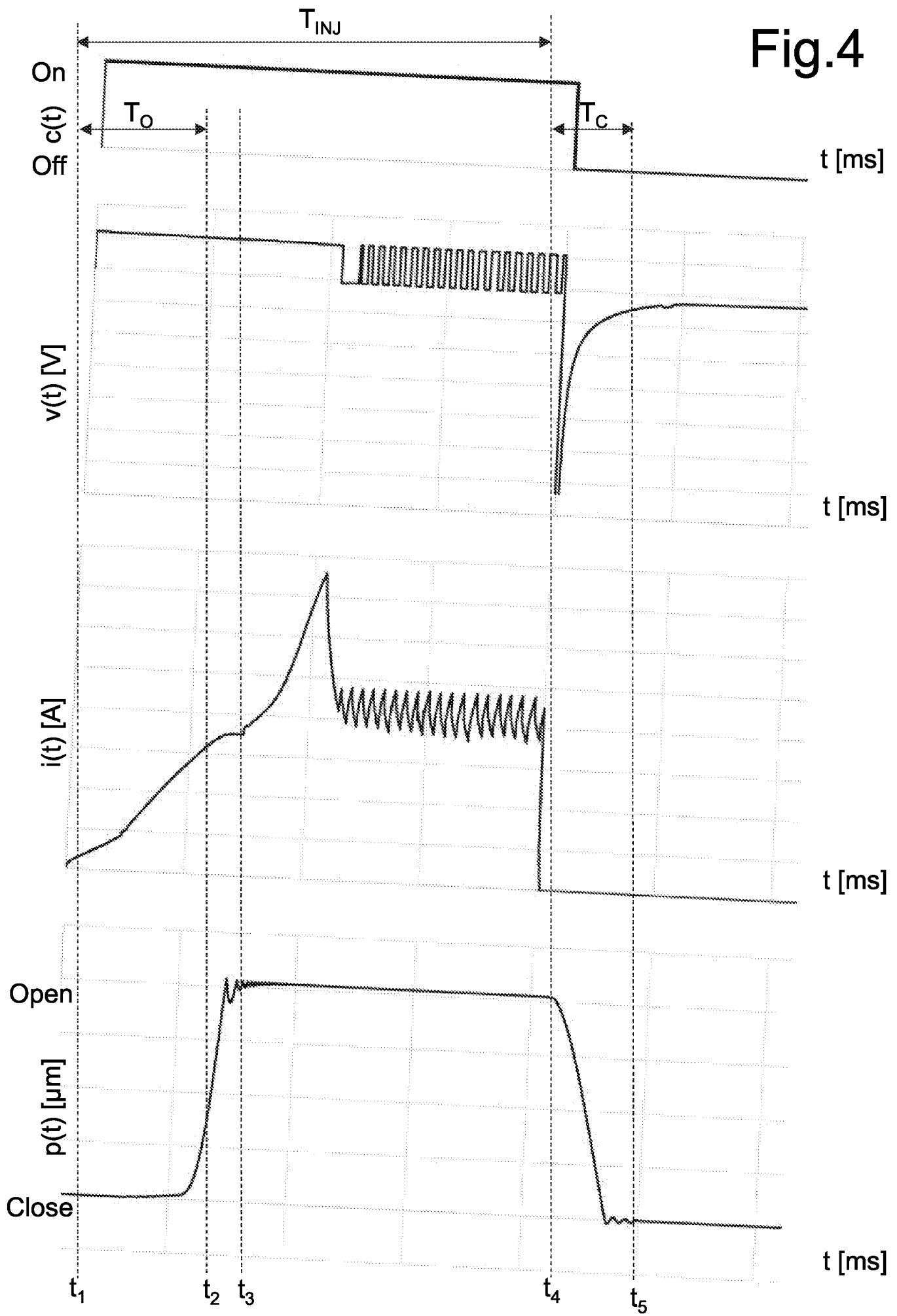


Fig.3

Fig.4



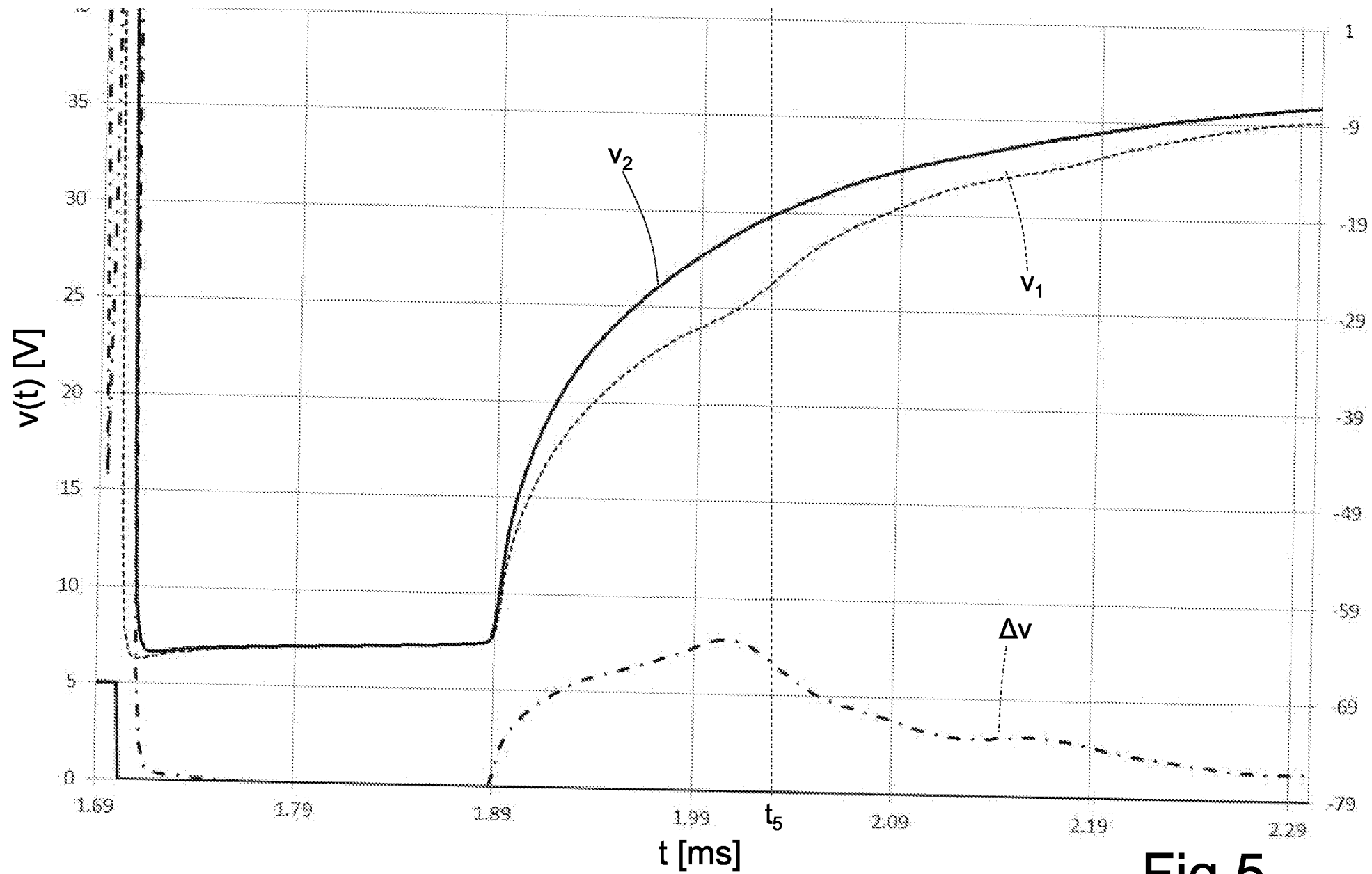


Fig.5

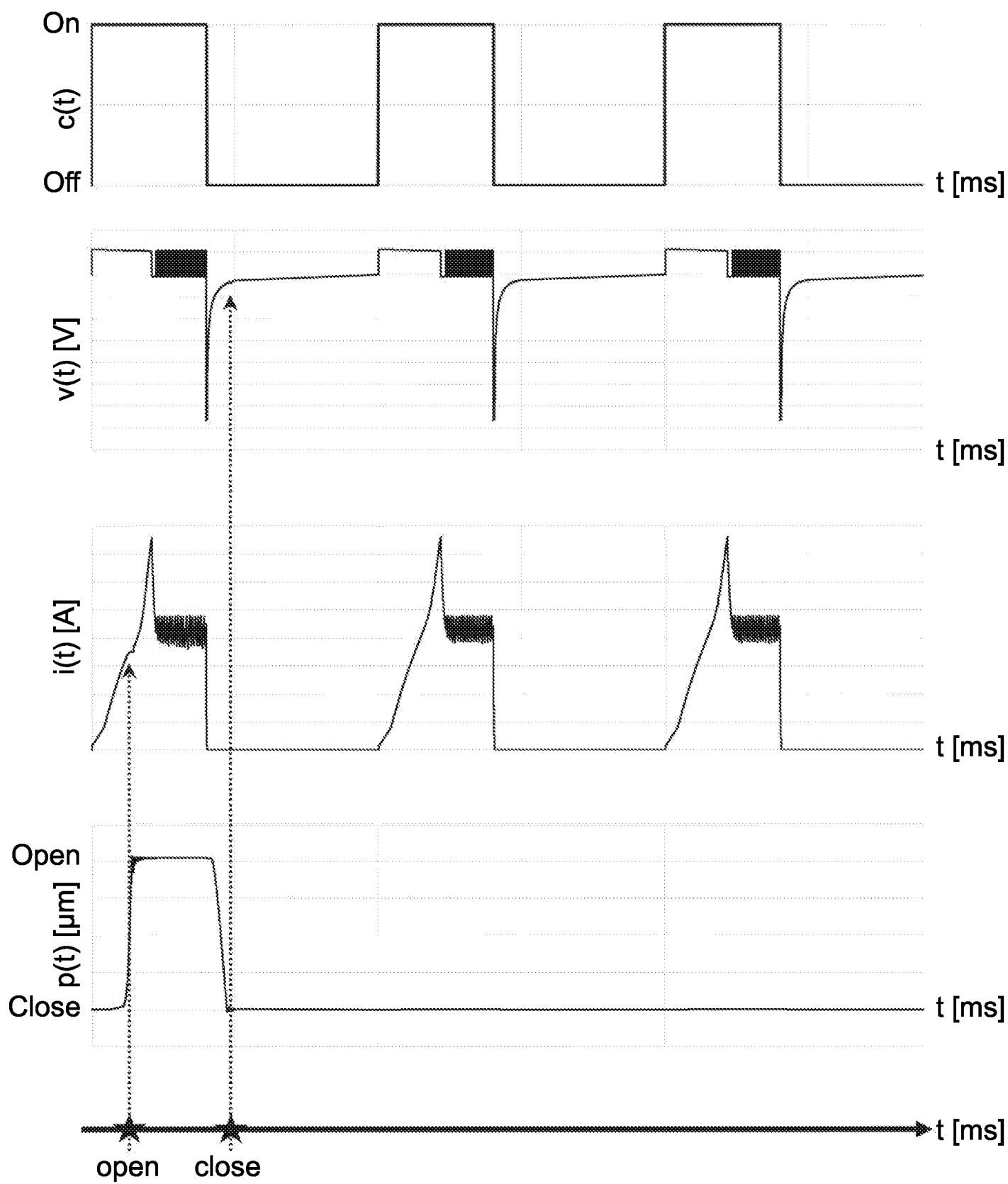


Fig.6

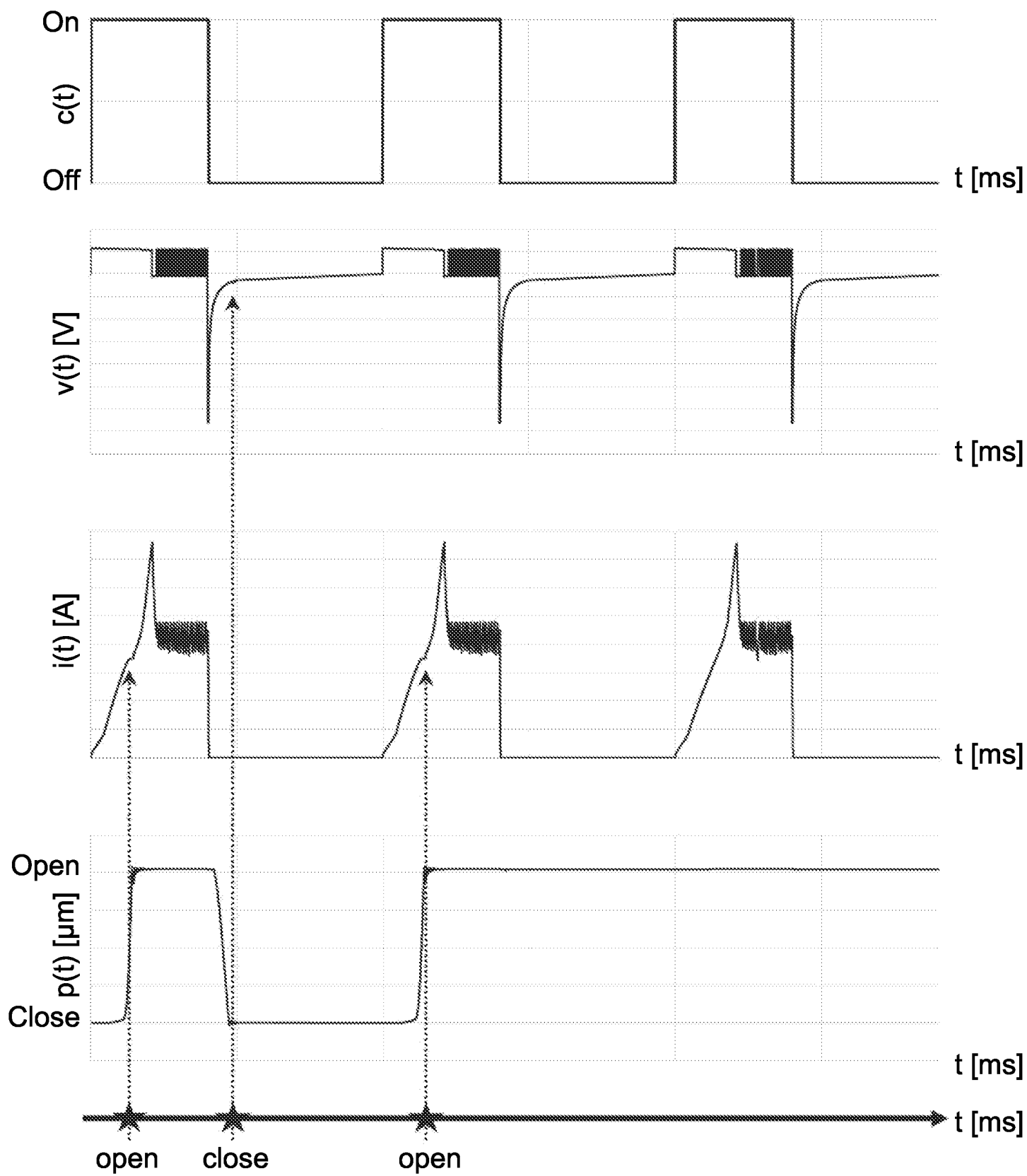


Fig.7