

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102009901758813A1

Publication Date

20110212

Applicant

MAGNETI MARELLI S.P.A.

Title

METODO DI CONTROLLO DI UN IMPIANTO DI INIEZIONE DIRETTA DI TIPO
COMMON-RAIL

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"METODO DI CONTROLLO DI UN IMPIANTO DI INIEZIONE DIRETTA DI TIPO COMMON-RAIL"

di MAGNETI MARELLI S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: VIALE ALDO BORLETTI 61/63

CORBETTA (MI)

Inventori: SERRA Gabriele, DE CESARE Matteo, PAROTTO Marco

*** **

SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione è relativa ad un metodo di controllo di un impianto di iniezione diretta di tipo common-rail.

ARTE ANTERIORE

In un impianto di iniezione diretta di tipo common-rail, una pompa di alta pressione riceve un flusso di carburante da un serbatoio mediante una pompa di bassa pressione ed alimenta il carburante ad un collettore comune (common rail) idraulicamente collegato ad una pluralità di iniettori. La pressione del carburante all'interno del collettore comune deve venire costantemente controllata in funzione del punto motore variando la portata istantanea della pompa di alta pressione oppure alimentando sempre un eccesso di carburante al collettore comune e scaricando dal collettore comune stesso il carburante in eccesso mediante

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

una valvola di regolazione. Generalmente, viene preferita la soluzione di regolare la portata istantanea della pompa di alta pressione, in quanto presenta una efficienza energetica molto superiore e non comporta un surriscaldamento del carburante.

Per regolare la portata istantanea della pompa di alta pressione è stata proposta una soluzione del tipo di quella presentata nella domanda di brevetto EP0481964A1 o nel brevetto US6116870A1, i quali descrivono l'utilizzo di una pompa di alta pressione a portata variabile in grado di alimentare al canale comune solo la quantità di carburante necessaria a mantenere la pressione del carburante all'interno del canale comune pari al valore desiderato; in particolare, la pompa di alta pressione è provvista di un attuatore elettromagnetico in grado di variare istante per istante la portata della pompa di alta pressione variando l'istante di chiusura di una valvola di aspirazione della pompa di alta pressione stessa.

In alternativa, per regolare la portata istantanea della pompa di alta pressione è stato proposto di inserire a monte della camera di pompaggio un dispositivo di regolazione della portata comprendente una restrizione a sezione variabile con continuità, la quale restrizione viene controllata in funzione della pressione richiesta nel collettore comune.

Tuttavia, entrambe le soluzioni sopra descritte per regolare la portata istantanea della pompa di alta pressione risultano meccanicamente complesse e conseguentemente costose. Inoltre, il dispositivo di regolazione della portata comprendente una restrizione a sezione variabile presenta una sezione di passaggio piccola in caso di portate ridotte e tale sezione di passaggio piccola determina una perdita di pressione locale (perdita di carico locale) elevata che può compromettere il corretto funzionamento di una valvola di aspirazione che regola l'ingresso di carburante in una camera di pompaggio della pompa di alta pressione.

Per tale motivo, è stata proposta una soluzione del tipo di quella presentata nella domanda di brevetto EP1612402A1, la quale è relativa ad una pompa di alta pressione comprendente un numero di pompanti azionati a moto alternato attraverso corrispondenti corse di aspirazione e di mandata ed in cui ciascun pompante è munito di una corrispondente valvola di aspirazione in comunicazione con un condotto di aspirazione alimentato da una pompa a bassa pressione. Sul condotto di aspirazione è disposta una valvola di intercettazione comandata in modo chopperato per regolare la portata istantanea di carburante alimentato alla pompa di alta pressione; in altre parole, la valvola di intercettazione è una valvola di tipo aperto/chiuso

(on/off) che viene pilotata modificando il rapporto tra la durata del tempo di apertura e la durata del tempo di chiusura per regolare la portata istantanea di carburante alimentato alla pompa di alta pressione. In questo modo, la valvola di intercettazione presenta sempre una sezione di passaggio efficace ed ampia che non determina una perdita di pressione locale (perdita di carico locale) apprezzabile.

Tuttavia, la valvola di intercettazione è costosa, in quanto deve presentare dei tempi di risposta (cioè dei tempi di apertura/chiusura) molto ridotti, deve essere priva di fenomeni di "rimbalzo" in apertura ed in chiusura, e deve garantire una perfetta tenuta senza trafilamenti quanto si trova nella posizione di chiusura.

DESCRIZIONE DELLA INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è di fornire un metodo di controllo di un impianto di iniezione diretta di tipo common-rail, il quale metodo di controllo sia privo degli inconvenienti sopra descritti e, in particolare, sia di facile ed economica implementazione.

Secondo la presente invenzione viene fornito un metodo di controllo di un impianto di iniezione diretta di tipo common-rail secondo quanto rivendicato dalle rivendicazioni allegate.

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 di controllo oggetto della presente invenzione;
- la figura 2 è una vista schematica di una pompa di bassa pressione azionata elettricamente dell'impianto di iniezione della figura 1;
- la figura 3 è uno schema a blocchi di una logica di controllo della pompa di bassa pressione della figura 2; e
- la figura 4 è uno schema a blocchi di una variante della logica di controllo della figura 3.

FORME DI ATTUAZIONE PREFERITE DELL'INVENZIONE

Nella figura 1, con il numero 1 è indicato nel suo complesso un impianto 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, ciascuno dei quali presenta una attuazione idraulica dello spillo (cioè l'attuazione dello spillo è servoassistita idraulicamente) ed è atto ad iniettare 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 comprende una pompa 6 di alta pressione che alimenta il carburante al canale 5 comune mediante un condotto 7 di mandata ed è azionata direttamente da un albero motore del motore 2 mediante una trasmissione meccanica con un 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 8 di bassa pressione di tipo volumetrico tramite un condotto 9 della pompa 6 di alta pressione. La pompa 8 di bassa pressione è disposta all'interno di un serbatoio 10 del carburante, in cui sbocca un condotto 11 di ricircolo del carburante in eccesso dell'impianto 1 di iniezione che riceve il carburante in eccesso dagli iniettori 4, da una valvola 12 limitatrice di pressione meccanica che è idraulicamente accoppiata al canale 5 comune, e da un condotto di lubrificazione della pompa 6 di alta pressione (in cui viene scaricato il carburante utilizzato per la lubrificazione della pompa 6 di alta pressione). La valvola 12 limitatrice di pressione è tarata per aprirsi automaticamente quando la pressione P_{rail} del carburante all'interno del canale 5 comune supera un valore di sicurezza che garantisce la tenuta e l'incolumità dell'impianto 1 di iniezione.

Ciascun iniettore 4 è atto a iniettare nel corrispondente cilindro 3 una quantità di carburante variabile sotto il controllo di una unità 14 elettronica di controllo (Electronic Control Unit). Come detto in precedenza, gli iniettori 4 presentano una attuazione idraulica dello spillo e sono quindi collegati al condotto 11 di ricircolo, il quale presenta una pressione poco superiore alla pressione ambiente e sfocia a monte della pompa 8 di bassa pressione direttamente all'interno del serbatoio 10. Per la propria attuazione, cioè per iniettare del carburante, ciascun iniettore 4 assorbe una certa quantità di carburante in pressione che viene scaricato nel condotto 11 di ricircolo.

Secondo una preferita forma di attuazione, tra il condotto 11 di ricircolo ed il serbatoio 10 è disposta una valvola 13 di ricircolo, la quale è di tipo monodirezionale (cioè permette unicamente un flusso di carburante in ingresso al serbatoio 10), è completamente passiva (cioè è priva di attuatori comandabili), ed è tarata per aprirsi quando la differenza di pressione ai suoi capi è superiore ad un valore di soglia di intervento prefissata. Grazie alla presenza della valvola 13 di ricircolo, in uso la pressione del carburante all'interno del condotto 11 di ricircolo rimane sempre all'incirca pari ad un valore prefissato (tipicamente compreso tra 1.3 e 1.8 bar)

dipendente dal valore di soglia di intervento della valvola 13 di ricircolo stessa; in questo modo, il pilotaggio degli iniettori 4 è più semplice, in quanto la pressione del carburante all'interno del condotto 11 di ricircolo è costante (stabile) e nota (cioè il salto di pressione del carburante ai capi degli iniettori 4 è costante e noto).

L'unità 14 elettronica di controllo è collegata ad un sensore 15 di pressione che rileva la pressione P_{rail} effettiva del carburante all'interno del canale 5 comune ed in funzione della pressione P_{rail} effettiva del carburante all'interno del canale 5 comune controlla in retroazione la portata della pompa 8 di bassa pressione; in questo modo, la pressione P_{rail} effettiva del carburante all'interno del canale 5 comune viene mantenuta pari ad una pressione $P_{railref}$ desiderata generalmente variabile nel tempo in funzione del punto motore (cioè delle condizioni di funzionamento del motore 2 a combustione interna). Inoltre, l'unità 14 elettronica di controllo è collegata ad un sensore 16 di pressione che rileva la pressione P_{fuelLP} effettiva del carburante nel condotto 9 (quindi tra la mandata della pompa 8 di bassa pressione e l'aspirazione della pompa 6 di alta pressione) ed immediatamente a monte della pompa 6 di alta pressione.

In altre parole, l'unità 14 elettronica di controllo determina la pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante

all'interno del canale 5 comune in funzione del punto motore e quindi regola la portata della pompa 8 di bassa pressione verso la pompa 6 di alta pressione per inseguire la pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante all'interno del canale 5 comune ed in modo da ottenere una corrispondente regolazione della portata della pompa 6 di alta pressione verso il canale 5 comune. Regolando (variando) la portata della pompa 8 di bassa pressione verso la pompa 6 di alta pressione (quindi regolando la portata della pompa 6 di alta pressione verso il canale 5 comune), l'unità 14 elettronica di controllo inseguire la pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante all'interno del canale 5 comune.

Secondo quanto illustrato nella figura 2, la pompa 8 di bassa pressione è azionata da un motore 17 elettrico, il quale è pilotato da un dispositivo elettronico comprendente un convertitore 18 elettronico di potenza che riceve l'alimentazione elettrica da un batteria (non illustrata) del veicolo. Secondo una preferita forma di attuazione, il motore 17 elettrico è provvisto di un sensore 19 di velocità, il quale misura la velocità ω_p effettiva di rotazione del motore 17 elettrico e quindi della pompa 8 di bassa pressione. E' utile osservare che la pompa 8 di bassa pressione è di tipo volumetrico e quindi la portata mandata dalla pompa 8 di bassa pressione verso la pompa 6 di alta

pressione è direttamente proporzionale alla velocità ω_p effettiva di rotazione del motore 17 elettrico e quindi della pompa 8 di bassa pressione.

Secondo una preferita forma di attuazione, il convertitore 18 elettronico di potenza è disposto in prossimità del serbatoio 10 (cioè in prossimità del motore 17 elettrico che è integrato e forma una unità con la pompa 8 di bassa pressione) e quindi è fisicamente separato dalla unità 14 elettronica di controllo; di conseguenza, l'unità 14 elettronica di controllo è collegata con il convertitore 18 elettronico di potenza mediante una linea dati (ad esempio il BUS del veicolo operante secondo il protocollo CAN - Car Area Network). Tale scelta progettuale evita di trasmettere lungo il veicolo (l'unità 14 elettronica di controllo è alloggiata nel vano motore, quindi in posizione anteriore mentre il serbatoio 10 è disposto in corrispondenza del retrotreno) della corrente elettrica di intensità relativamente elevata (ad esempio fino a 15-20 A in transitorio) e con una frequenza di variazione abbastanza rapida (fino ad alcune decine di Hertz) che irradierebbe in tutto il veicolo una quantità notevole di disturbi elettromagnetici. Come variante costruttiva, il convertitore 18 elettronico di potenza è completamente integrato con il motore 17 elettrico e la pompa 8 di bassa pressione, cioè forma una unica unità non divisibile con il

motore 17 elettrico e la pompa 8 di bassa pressione.

Con riferimento alla figura 3, viene di seguito illustrata la logica di controllo dell'impianto 1 di iniezione implementata nella unità 14 elettronica di controllo.

L'unità 14 elettronica di controllo comprende un blocco 20 di calcolo, il quale determina la pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante all'interno del canale 5 comune in funzione del punto motore ed in particolare in funzione di una velocità ω_E di rotazione del motore 2 a combustione interna, di un carico L_E del motore 2 a combustione interna, di una temperatura T_{H2O} di un liquido di raffreddamento del motore 2 a combustione interna, e di una temperatura T_{fuel} del carburante all'interno del serbatoio 10 (o, in alternativa, in altri punti del circuito del carburante di bassa pressione o del circuito del carburante di alta pressione). Il blocco 20 di calcolo può implementare un modello del motore 2 determinato in modo sperimentale e/o una mappa determinata in modo sperimentale.

A valle del blocco 20 di calcolo, in funzione della pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante all'interno del canale 5 comune viene determinata una portata Q_{ref} desiderata della pompa 6 di alta pressione verso il canale 5 comune; come descritto in seguito, la portata Q_{ref}

desiderata della pompa 6 di alta pressione verso il canale 5 comune viene utilizzata per pilotare la pompa 8 di bassa pressione. In particolare, un regolatore 21 determina un contributo Q_{OL} ad anello aperto in funzione della pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante all'interno del canale 5 comune, della velocità ω_E di rotazione del motore 2 a combustione interna, e del carico L_E del motore 2 a combustione interna. Inoltre, viene determinato un contributo Q_{CL} ad anello chiuso in funzione di un errore ε_r di pressione calcolato eseguendo la differenza tra la pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante all'interno del canale 5 comune e la pressione P_{rail} effettiva del carburante all'interno del canale 5 comune (misurata dal sensore 15 di pressione); in particolare, il contributo Q_{CL} ad anello chiuso viene determinato da un regolatore 22 (tipicamente di tipo PID) che tiene conto anche della velocità ω_E di rotazione del motore 2 a combustione interna e del carico L_E del motore 2 a combustione interna.

A valle dei regolatori 21 e 22, il contributo Q_{CL} ad anello chiuso viene sommato algebricamente (cioè tenendo conto del segno) al contributo Q_{OL} ad anello aperto per ottenere la portata Q_{ref} desiderata della pompa 6 di alta pressione verso il canale 5 comune. La funzione del contributo Q_{CL} ad anello chiuso è di inseguire la pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante all'interno del canale 5

comune mediante un classico controllo in retroazione; invece, la funzione del contributo Q_{OL} ad anello aperto è di anticipare la futura variazione della pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante all'interno del canale 5 comune in modo da aumentare la prontezza di risposta del controllo.

Un blocco 23 di calcolo determina una pressione $P_{fuelLPref}$ desiderata del carburante (immediatamente) a monte della pompa 6 di alta pressione in funzione della portata Q_{ref} desiderata della pompa 6 di alta pressione verso il canale 5 comune; come descritto in seguito, la pressione $P_{fuelLPref}$ desiderata del carburante a monte della pompa 6 di alta pressione viene utilizzata per pilotare la pompa 8 di bassa pressione. In particolare, viene calcolato un errore ε_f di pressione eseguendo la differenza tra la pressione $P_{fuelLPref}$ desiderata del carburante a monte della pompa 6 di alta pressione e la pressione P_{fuelLP} effettiva del carburante a monte della pompa 6 di alta pressione (misurata dal sensore 16 di pressione); l'errore ε_f di pressione viene elaborato da un regolatore 24 (tipicamente di tipo PID) che tiene conto anche della velocità ω_E di rotazione del motore 2 a combustione interna e del carico L_E del motore 2 a combustione interna e determina una velocità ω_{Pref} desiderata della pompa 8 di bassa pressione. In altre parole, la velocità ω_{Pref} desiderata della pompa 8

di bassa pressione viene determinata dal regolatore 24 in funzione della pressione $P_{fuelLPref}$ desiderata del carburante a monte della pompa 6 di alta pressione (o meglio in funzione dell'errore ε_f di pressione che dipende della pressione $P_{fuelLPref}$ desiderata del carburante a monte della pompa 6 di alta pressione), di una velocità ω_E di rotazione del motore 2 a combustione interna, e di un carico L_E del motore 2 a combustione interna.

La pompa 8 di bassa pressione viene pilotata in funzione della velocità ω_{Pref} desiderata della pompa 8 di bassa pressione; in particolare, viene calcolato un errore ε_r di velocità eseguendo la differenza tra la velocità ω_{Pref} desiderata della pompa 8 di bassa pressione e la velocità ω_p effettiva della pompa 8 di bassa pressione (misurata dal sensore 19 di velocità). In questo modo, la pompa 8 di bassa pressione viene pilotata in retroazione utilizzando come variabile di retroazione la velocità ω_p effettiva della pompa 8 di bassa pressione.

I regolatori 21, 22 e 24 ed il blocco 23 di calcolo possono implementare dei modelli determinati in modo sperimentale e/o delle mappe determinate in modo sperimentale.

Da quanto illustrato nella figura 3, appare evidente che sono presenti tre anelli di controllo in retroazione: un anello 25 di controllo in retroazione interno che

utilizza come variabile di retroazione la velocità ω_p effettiva della pompa 8 di bassa pressione, un anello 26 di controllo in retroazione intermedio che utilizza come variabile di retroazione la pressione P_{fuelLP} effettiva del carburante a monte della pompa 6 di alta pressione, ed un anello 27 di controllo in retroazione esterno che utilizza come variabile di retroazione la pressione P_{rail} effettiva del carburante all'interno del canale 5 comune. Inoltre, all'interno del convertitore 18 elettronico di potenza è normalmente presente un ulteriore anello di controllo in retroazione che utilizza come variabile di retroazione l'intensità (o il "duty cycle") di una corrente elettrica alimentata al motore 17 elettrico. Tipicamente, il convertitore 18 elettronico di potenza controlla la potenza elettrica fornita al motore 17 elettrico, consentendo di regolare la velocità ω_p effettiva della pompa 8 di bassa pressione mediante una tecnica di tipo PWM ("Pulse Width Modulation") che prevede di parzializzare nel tempo la tensione elettrica applicata al motore 17 elettrico.

Simulazioni e prove sperimentali hanno evidenziato che la logica di controllo illustrata nello schema della figura 3 presenta delle prestazioni dinamiche particolarmente elevate, cioè è in grado di inseguire la pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante all'interno del canale 5 comune

con rapidità e precisione anche in presenza di variazioni brusche; quindi, in ogni condizione di funzionamento l'errore ε_r di pressione (cioè la differenza tra la pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante all'interno del canale 5 comune e la pressione P_{rail} effettiva del carburante all'interno del canale 5 comune) si mantiene a valori contenuti e pienamente accettabili.

Secondo la variante illustrata nella figura 4, viene eliminato l'anello 26 di controllo in retroazione intermedio che utilizza come variabile di retroazione la pressione P_{fuelLP} effettiva del carburante a monte della pompa 6 di alta pressione; in questa forma di attuazione, il regolatore 24 determina in anello aperto la velocità ω_{Pref} desiderata della pompa 8 di bassa pressione direttamente in funzione della portata Q_{ref} desiderata della pompa 6 di alta pressione verso il canale 5 comune. In particolare, il regolatore 24 determina la velocità ω_{Pref} desiderata della pompa 8 di bassa pressione in funzione della portata Q_{ref} desiderata della pompa 6 di alta pressione verso il canale 5 comune, della velocità ω_E di rotazione del motore 2 a combustione interna, e del carico L_E del motore 2 a combustione interna.

La logica di controllo illustrata nello schema della figura 4 è più semplice della logica di controllo illustrata nello schema della figura 3 e non richiede la

misura della pressione P_{fuelLP} effettiva del carburante a monte della pompa 6 di alta pressione; tuttavia, la logica di controllo illustrata nello schema della figura 4 presenta prestazioni dinamiche inferiori (cioè è più lenta a reagire alle variazioni) rispetto alla logica di controllo illustrata nello schema della figura 3.

La sopra descritta modalità di controllo dell'impianto 1 di iniezione presenta numerosi vantaggi.

In primo luogo, la sopra descritta modalità di controllo dell'impianto 1 di iniezione è di più facile ed economica implementazione rispetto ad una modalità di controllo nota che prevede la presenza di una valvola di intercettazione disposta a monte della pompa 6 di alta pressione; infatti, il costo industriale di una valvola di intercettazione e della relativa elettronica di controllo è maggiore del costo industriale della elettronica di controllo del motore 17 elettrico della pompa 8 di bassa pressione richiesta dalla modalità di controllo sopra descritta.

La sopra descritta modalità di controllo dell'impianto 1 di iniezione permette di inseguire la pressione $P_{railref}$ desiderata del carburante all'interno del canale 5 comune con rapidità e precisione anche in presenza di variazioni brusche; quindi la sopra descritta modalità di controllo presenta sostanzialmente le stesse prestazioni dinamiche di

una modalità di controllo nota che prevede la presenza di una valvola di intercettazione disposta a monte della pompa 6 di alta pressione.

La sopra descritta modalità di controllo dell'impianto 1 di iniezione permette di aumentare l'efficienza energetica complessiva, in quanto nella sopra descritta modalità di controllo la pompa 8 di bassa pressione viene pilotata per pompare di volta in volta solo la quantità di carburante necessaria a mantenere la pressione P_{rail} effettiva del carburante all'interno del canale 5 comune pari alla pressione $P_{railref}$ desiderata e quindi quando il motore 2 non è a massimo carico (cioè per la quasi totalità del tempo di funzionamento del motore 2) la pompa 8 di bassa pressione pompa una portata di carburante inferiore (anche di molto) alla sua portata di carburante nominale (corrispondente alla piena tensione di comando, ad esempio 14 Volt). Invece, nel caso di una modalità di controllo nota che prevede la presenza di una valvola di intercettazione disposta a monte della pompa 6 di alta pressione la pompa 8 di bassa pressione viene pilotata per pompare in ogni momento (quindi anche quando il motore 2 è al minimo) la portata di carburante nominale; in questo caso, il carburante in eccesso pompato dalla pompa 8 di bassa pressione (cioè il carburante che non viene pompato dalla pompa 6 di alta pressione verso il canale 5 comune)

viene scaricato nel serbatoio 10.

Come detto in precedenza, nel caso di una modalità di controllo nota che prevede la presenza di una valvola di intercettazione disposta a monte della pompa 6 di alta pressione la pompa 8 di bassa pressione viene pilotata per pompare in ogni momento la portata di carburante nominale; di conseguenza, la pompa 8 di bassa pressione ed il relativo motore 17 elettrico devono venire dimensionati per lavorare con continuità alla portata di carburante nominale (determinata in modo tale da essere sempre in eccesso rispetto al massimo assorbimento possibile della pompa 6 di alta pressione). Invece, nella sopra descritta modalità di controllo la pompa 8 di bassa pressione viene pilotata per pompare di volta in volta solo la quantità di carburante necessaria a mantenere la pressione P_{rail} effettiva del carburante all'interno del canale 5 comune pari alla pressione $P_{railref}$ desiderata; di conseguenza, la pompa 8 di bassa pressione ed il relativo motore 17 elettrico possono venire dimensionati per lavorare con continuità ad una portata di carburante nettamente inferiore alla portata di carburante nominale (come in precedenza definita) con un evidente risparmio economico ed una riduzione del peso e degli ingombri.

Infine, nel caso di una modalità di controllo nota che prevede la presenza di una valvola di intercettazione

disposta a monte della pompa 6 di alta pressione, la pompa 6 di alta pressione stessa deve integrare nell'aspirazione una valvola regolatrice di pressione; l'integrazione della valvola regolatrice di pressione nell'aspirazione della pompa 6 di alta pressione risulta complessa e quindi costosa a causa del poco spazio disponibile all'interno della pompa 6 di alta pressione. Invece, nella sopra descritta modalità di controllo la pompa 6 di alta pressione non richiede la presenza nell'aspirazione di alcuna valvola di valvola regolatrice di pressione. A tale proposito è utile osservare che nella sopra descritta modalità di controllo è prevista la presenza della valvola 13 di ricircolo che regola la re-immissione del carburante all'interno del serbatoio 10, è una valvola completamente passiva, è tarata per funzionare a pressioni modeste (ad esempio comprese tra 1 e 2 bar), ed è disposta in un ambiente ampio privo di vincoli dimensionali; di conseguenza, la valvola 13 di ricircolo risulta di semplice ed economica realizzazione e montaggio. In altre parole, l'installazione della valvola 13 di ricircolo è molto più semplice ed economica della installazione di una valvola regolatrice di pressione nell'aspirazione della pompa 6 di alta pressione come richiesto in una modalità di controllo nota che prevede la presenza di una valvola di intercettazione disposta a monte della pompa 6 di alta pressione.

RIVENDICAZIONI

1) Metodo di controllo di un impianto (1) di iniezione diretta di tipo common-rail di un motore (2) a combustione interna; l'impianto (1) di iniezione comprende: un serbatoio (10) del carburante, una pompa (8) di bassa pressione che pesca nel serbatoio (10), ed una pompa (6) di alta pressione che riceve il carburante dalla pompa (8) di bassa pressione ed alimenta il carburante in pressione ad un canale (5) comune collegato ad un numero di iniettori (4); il metodo di controllo comprende le fasi di:

determinare una pressione (P_{railref}) desiderata del carburante all'interno del canale (5) comune; e

regolare la portata della pompa (6) di alta pressione verso il canale (5) comune per inseguire la pressione (P_{railref}) desiderata del carburante all'interno del canale (5) comune;

il metodo di controllo è **caratterizzato dal fatto di** comprende l'ulteriore fase di regolare la portata della pompa (8) di bassa pressione verso la pompa (6) di alta pressione per inseguire la pressione (P_{railref}) desiderata del carburante all'interno del canale (5) comune ed in modo da ottenere una corrispondente regolazione della portata della pompa (6) di alta pressione verso il canale (5) comune.

2) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 1, e

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

comprendente le ulteriori fasi di:

determinare una portata (Q_{ref}) desiderata della pompa (6) di alta pressione verso il canale (5) comune in funzione della pressione ($P_{railref}$) desiderata del carburante all'interno del canale (5) comune; e

pilotare la pompa (8) di bassa pressione in funzione della portata (Q_{ref}) desiderata della pompa (6) di alta pressione verso il canale (5) comune.

3) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 2, e comprendente le ulteriori fasi di:

misurare la pressione (P_{rail}) effettiva del carburante all'interno del canale (5) comune;

determinare un contributo (Q_{CL}) ad anello chiuso in funzione di un errore (ε_r) di pressione calcolato eseguendo la differenza tra la pressione ($P_{railref}$) desiderata del carburante all'interno del canale (5) comune e la pressione (P_{rail}) effettiva del carburante all'interno del canale (5) comune;

determinare un contributo (Q_{OL}) ad anello aperto in funzione della pressione ($P_{railref}$) desiderata del carburante all'interno del canale (5) comune; e

determinare la portata (Q_{ref}) desiderata della pompa (6) di alta pressione verso il canale (5) comune sommando algebricamente il contributo (Q_{CL}) ad anello chiuso ed il contributo (Q_{OL}) ad anello aperto.

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

4) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 3 e comprendente l'ulteriore fase di determinare il contributo (Q_{OL}) ad anello aperto in funzione della pressione ($P_{railref}$) desiderata del carburante all'interno del canale (5) comune, di una velocità (ω_E) di rotazione del motore (2) a combustione interna, e di un carico (L_E) del motore (2) a combustione interna.

5) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 3 o 4 e comprendente l'ulteriore fase di determinare il contributo (Q_{CL}) ad anello chiuso in funzione dell'errore (ε_r) di pressione, di una velocità (ω_E) di rotazione del motore (2) a combustione interna, e di un carico (L_E) del motore (2) a combustione interna.

6) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 2 a 5, e comprendente le ulteriori fasi di:

determinare una velocità (ω_{Pref}) desiderata della pompa (8) di bassa pressione in funzione della portata (Q_{ref}) desiderata della pompa (6) di alta pressione verso il canale (5) comune; e

pilotare la pompa (8) di bassa pressione in funzione della velocità (ω_{Pref}) desiderata della pompa (8) di bassa pressione.

7) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 6, e comprendente l'ulteriore fase di determinare la velocità

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

(ω_{Pref}) desiderata della pompa (8) di bassa pressione in funzione della portata (Q_{ref}) desiderata della pompa (6) di alta pressione verso il canale (5) comune, di una velocità (ω_E) di rotazione del motore (2) a combustione interna, e di un carico (L_E) del motore (2) a combustione interna.

8) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 6 o 7, e comprendente le ulteriori fasi di:

misurare la velocità (ω_p) effettiva della pompa (8) di bassa pressione; e

pilotare la pompa (8) di bassa pressione in retroazione in funzione di un errore (ε_r) di velocità calcolato eseguendo la differenza tra la velocità (ω_{Pref}) desiderata della pompa (8) di bassa pressione e la velocità (ω_p) effettiva della pompa (8) di bassa pressione.

9) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 2 a 5, e comprendente le ulteriori fasi di:

determinare una pressione ($P_{fuelLPref}$) desiderata del carburante a monte della pompa (6) di alta pressione in funzione della portata (Q_{ref}) desiderata della pompa (6) di alta pressione verso il canale (5) comune; e

pilotare la pompa (8) di bassa pressione in funzione della pressione ($P_{fuelLPref}$) desiderata del carburante a monte della pompa (6) di alta pressione.

10) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 9, e

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

comprendente le ulteriori fasi di:

misurare la pressione (P_{fuelLP}) effettiva del carburante a monte della pompa (6) di alta pressione; e

pilotare la pompa (8) di bassa pressione in funzione di un errore (ε_f) di pressione calcolato eseguendo la differenza tra la pressione ($P_{\text{fuelLPref}}$) desiderata del carburante a monte della pompa (6) di alta pressione e la pressione (P_{fuelLP}) effettiva del carburante a monte della pompa (6) di alta pressione.

11) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 9, e comprendente le ulteriori fasi di:

determinare una velocità (ω_{Pref}) desiderata della pompa (8) di bassa pressione in funzione della pressione ($P_{\text{fuelLPref}}$) desiderata del carburante a monte della pompa (6) di alta pressione; e

pilotare la pompa (8) di bassa pressione in funzione della velocità (ω_{Pref}) desiderata della pompa (8) di bassa pressione.

12) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 11, e comprendente l'ulteriore fase di determinare la velocità (ω_{Pref}) desiderata della pompa (8) di bassa pressione in funzione della pressione ($P_{\text{fuelLPref}}$) desiderata del carburante a monte della pompa (6) di alta pressione, di una velocità (ω_E) di rotazione del motore (2) a combustione interna, e di un carico (L_E) del motore (2) a combustione

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

interna.

13) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 11, e comprendente le ulteriori fasi di:

misurare la pressione (P_{fuelLP}) effettiva del carburante a monte della pompa (6) di alta pressione; e

determinare la velocità (ω_{Pref}) desiderata della pompa (8) di bassa pressione in funzione di un errore (ε_f) di pressione calcolato eseguendo la differenza tra la pressione ($P_{\text{fuelLPref}}$) desiderata del carburante a monte della pompa (6) di alta pressione e la pressione (P_{fuelLP}) effettiva del carburante a monte della pompa (6) di alta pressione.

14) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 13, e comprendente l'ulteriore fase di determinare la velocità (ω_{Pref}) desiderata della pompa (8) di bassa pressione in funzione di un errore (ε_f) di pressione, di una velocità (ω_E) di rotazione del motore (2) a combustione interna, e di un carico (L_E) del motore (2) a combustione interna.

15) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 11 a 14 e comprendente le ulteriori fasi di:

misurare la velocità (ω_p) effettiva della pompa (8) di bassa pressione; e

pilotare la pompa (8) di bassa pressione in retroazione in funzione di un errore (ε_r) di velocità

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

calcolato eseguendo la differenza tra la velocità (ω_{Pref}) desiderata della pompa (8) di bassa pressione e la velocità (ω_p) effettiva della pompa (8) di bassa pressione.

16) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 15, in cui la pompa (8) di bassa pressione è azionata da un motore (17) elettrico alimentato da un convertitore (18) elettronico di potenza; la pompa (8) di bassa pressione viene pilotata regolando una corrente elettrica alimentata dal convertitore (18) elettronico di potenza al motore (17) elettrico.

17) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 16, in cui è presente un canale (11) di ricircolo, il quale sbocca nel serbatoio (10) del carburante e riceve del carburante in eccesso dagli iniettori (4), da una valvola (12) limitatrice di pressione meccanica che è idraulicamente accoppiata al canale (5) comune, e/o da un condotto di lubrificazione della pompa (6) di alta pressione; è prevista una valvola (13) di ricircolo, la quale è disposta tra il condotto (11) di ricircolo ed il serbatoio (10), è di tipo monodirezionale, ed è tarata per aprirsi quando la differenza di pressione ai suoi capi è superiore ad un valore di soglia di intervento prefissata.

18) Impianto (1) di iniezione diretta di tipo common-rail di un motore (2) a combustione interna; l'impianto (1)

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

di iniezione comprende:

un serbatoio (10) del carburante;

una pompa (8) di bassa pressione che pesca nel serbatoio (10);

una pompa (6) di alta pressione che riceve il carburante dalla pompa (8) di bassa pressione ed alimenta il carburante in pressione ad un canale (5) comune collegato ad un numero di iniettori (4); ed

una unità (14) elettronica di controllo che determina una pressione (P_{railref}) desiderata del carburante all'interno del canale (5) comune, e regola la portata della pompa (6) di alta pressione verso il canale (5) comune per inseguire la pressione (P_{railref}) desiderata del carburante all'interno del canale (5) comune;

l'impianto (1) di iniezione è **caratterizzato dal fatto che** l'unità (14) elettronica di controllo regola la portata della pompa (8) di bassa pressione verso la pompa (6) di alta pressione per inseguire la pressione (P_{railref}) desiderata del carburante all'interno del canale (5) comune ed in modo da ottenere una corrispondente regolazione della portata della pompa (6) di alta pressione verso il canale (5) comune.

19) Impianto (1) di iniezione secondo la rivendicazione 17, in cui la pompa (8) di bassa pressione è azionata da un motore (17) elettrico pilotato da un

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

dispositivo elettronico comprendente un convertitore (18) elettronico di potenza, il quale è disposto in prossimità del motore (17) elettrico, è fisicamente separato dalla unità (14) elettronica di controllo, ed è collegato con l'unità (14) elettronica di controllo mediante una linea dati.

20) Impianto (1) di iniezione secondo la rivendicazione 17 o 18 e comprendente:

un canale (11) di ricircolo, il quale sbocca nel serbatoio (10) del carburante e riceve del carburante in eccesso dagli iniettori (4), da una valvola (12) limitatrice di pressione meccanica che è idraulicamente accoppiata al canale (5) comune, e/o da un condotto di lubrificazione della pompa (6) di alta pressione; ed

una valvola (13) di ricircolo, la quale è disposta tra il condotto (11) di ricircolo ed il serbatoio (10), è di tipo monodirezionale, ed è tarata per aprirsi quando la differenza di pressione ai suoi capi è superiore ad un valore di soglia di intervento prefissata.

p.i. MAGNETI MARELLI S.P.A.

Matteo MACCAGNAN

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

CLAIMS

1) Method for controlling a direct injection system (1) of common-rail type of an internal combustion engine (2); the direct injection system (1) comprises: a fuel tank (10), a low pressure pump (8) drawing the fuel from the tank (10) and a high pressure pump (6) receiving the fuel from the low pressure pump (8) and feeding the pressurized fuel into a common rail (5) connected to a number of injectors (4); the control method comprises the steps of:

determining a desired pressure (P_{railref}) of the fuel inside the common rail (5); and

regulating the delivery of the high pressure pump (6) towards the common rail (5) to pursue the desired pressure (P_{railref}) of the fuel inside the common rail (5);

the control method is **characterised in that** it comprises the further step of regulating the delivery of the low pressure pump (8) towards the high pressure pump (6) to pursue the desired pressure (P_{railref}) of the fuel inside the common rail (5), so that a corresponding regulation of the delivery of the high pressure pump (6) towards the common rail (5) can be obtained.

2) Control method according to claim 1 and comprising the further steps of:

determining a desired delivery (Q_{ref}) of the high pressure pump (6) towards the common rail (5) according to

the desired pressure (P_{railref}) of the fuel inside the common rail (5); and

controlling the low pressure pump (8) according to the desired delivery (Q_{ref}) of the high pressure pump (6) towards the common rail (5).

3) Control method according to claim 2 and comprising the further steps of:

measuring the actual pressure (P_{rail}) of the fuel inside the common rail (5);

determining a closed loop contribution (Q_{CL}) according to a pressure error (ε_r) calculated by making the difference between the desired pressure (P_{railref}) of the fuel inside the common rail (5) and the actual pressure (P_{rail}) of the fuel inside the common rail (5);

determining an open loop contribution (Q_{OL}) according to the desired pressure (P_{railref}) of the fuel inside the common rail (5); and

determining the desired delivery (Q_{ref}) of the high pressure pump (6) towards the common rail (5) by adding algebraically the closed loop contribution (Q_{CL}) and the open loop contribution (Q_{OL}).

4) Control method according to claim 3 and comprising the further step of determining the open loop contribution (Q_{OL}) according to the desired pressure (P_{railref}) of the fuel inside the common rail (5), a rotation speed (ω_E) of the

internal combustion engine (2) and a load (L_E) of the internal combustion engine (2).

5) Control method according to claim 3 or 4 and comprising the further step of determining the closed loop contribution (Q_{CL}) according to the pressure error (ε_r), a rotation speed (ω_E) of the internal combustion engine (2) and a load (L_E) of the internal combustion engine (2).

6) Control method according to one of the claims from 2 to 5 and comprising the further steps of:

determining a desired speed (ω_{Pref}) of the low pressure pump (8) according to the desired delivery (Q_{ref}) of the high pressure pump (6) towards the common rail (5); and

controlling the low pressure pump (8) according to the desired speed (ω_{Pref}) of the low pressure pump (8).

7) Control method according to claim 6 and comprising the further step of determining the desired speed (ω_{Pref}) of the low pressure pump (8) according to the desired delivery (Q_{ref}) of the high pressure pump (6) towards the common rail (5), a rotation speed (ω_E) of the internal combustion engine (2) and a load (L_E) of the internal combustion engine (2).

8) Control method according to claim 6 or 7 and comprising the further steps of:

measuring the actual speed (ω_p) of the low pressure pump (8); and

controlling the low pressure pump (8) according to a speed error (ε_r) calculated by making the difference between the desired speed (ω_{Pref}) of the low pressure pump (8) and the actual speed (ω_p) of the low pressure pump (8).

9) Control method according to one of the claims from 2 to 5 and comprising the further steps of:

determining a desired pressure ($P_{fuelLPref}$) of the fuel upstream of the high pressure pump (6) according to the desired delivery (Q_{ref}) of the high pressure pump (6) towards the common rail (5); and

controlling the low pressure pump (8) according to the desired pressure ($P_{fuelLPref}$) of the fuel upstream of the high pressure pump (6).

10) Control method according to claim 9 and comprising the further steps of:

measuring the actual pressure (P_{fuelLP}) of the fuel upstream of the high pressure pump (6); and

controlling the low pressure pump (8) according to a pressure error (ε_f) calculated by making the difference between the desired pressure ($P_{fuelLPref}$) of the fuel upstream of the high pressure pump (6) and the actual pressure (P_{fuelLP}) of the fuel upstream of the high pressure pump (6).

11) Method according to claim 9 and comprising the further steps of:

determining a desired speed (ω_{Pref}) of the low pressure

pump (8) according to the desired pressure ($P_{\text{fuelLPref}}$) of the fuel upstream of the high pressure pump (6); and

controlling the low pressure pump (8) according to the desired speed (ω_{Pref}) of the low pressure pump (8).

12) Control method according to claim 11 and comprising the further step of determining the desired speed (ω_{Pref}) of the low pressure pump (8) according to the desired pressure ($P_{\text{fuelLPref}}$) of the fuel upstream of the high pressure pump (6), a rotation speed (ω_{E}) of the internal combustion engine (2) and a load (L_{E}) of the internal combustion engine (2).

13) Control method according to claim 11 and comprising the further steps of:

measuring the actual pressure (P_{fuelLP}) of the fuel upstream of the high pressure pump (6); and

determining the desired speed (ω_{Pref}) of the low pressure pump (8) according to a pressure error (ε_f) calculated by making the difference between the desired pressure ($P_{\text{fuelLPref}}$) of the fuel upstream of the high pressure pump (6) and the actual pressure (P_{fuelLP}) of the fuel upstream of the high pressure pump (6).

14) Control method according to claim 13 and comprising the further step of determining the desired speed (ω_{Pref}) of the low pressure pump (8) according to a pressure error (ε_f), a rotation speed (ω_{E}) of the internal

combustion engine (2) and a load (L_E) of the internal combustion engine (2).

15) Control method according to one of the claims from 11 to 14 and comprising the further steps of:

measuring the actual speed (ω_p) of the low pressure pump (8); and

controlling the low pressure pump (8) in feedback according to a speed error (ε_r) calculated by making the difference between the desired speed (ω_{Pref}) of the low pressure pump (8) and the actual speed (ω_p) of the low pressure pump (8).

16) Control method according to one of the claims from 1 to 15, wherein the low pressure pump (8) is activated by an electric engine (17) fed by an electronic power converter (18); the low pressure pump (8) is controlled by regulating an electric current fed by the electronic power converter (18) to the electric engine (17).

17) Control method according to one of the claims from 1 to 16, wherein there is a recirculation duct (11) which leads to the fuel tank (10) and receives the excess of fuel from the injectors (4), from a mechanical pressure safety valve (12) which is hydraulically coupled to the common rail (5), and/or from a lubrication duct of the high pressure pump (6); there is one recirculation valve (13) which is arranged between the recirculation duct (11) and

the tank (10), is a one-way valve and is set to open when the difference in pressure at its ends is higher than a predetermined intervention threshold value.

18) Direct injection system (1) of common-rail type of an internal combustion engine (2); the injection system (1) comprises:

a fuel tank (10);

a low pressure pump (8) drawing the fuel from the tank (10);

a high pressure pump (6) receiving the fuel from the low pressure pump (8) and feeding the pressurized fuel into a common rail (5) connected to a number of injectors (4); and

an electronic control unit (14) which determines a desired pressure (P_{railref}) of the fuel inside the common rail (5), and regulates the delivery of the high pressure pump (6) towards the common rail (5) to pursue the desired pressure (P_{railref}) of the fuel inside the common rail (5);

the injection system (1) is **characterised in that** the electronic control unit (14) regulates the delivery of the low pressure pump (8) towards the high pressure pump (6) to pursue the desired pressure (P_{railref}) of the fuel inside the common rail (5), and so that a corresponding regulation of the delivery of the high pressure pump (6) towards the common rail (5) can be obtained.

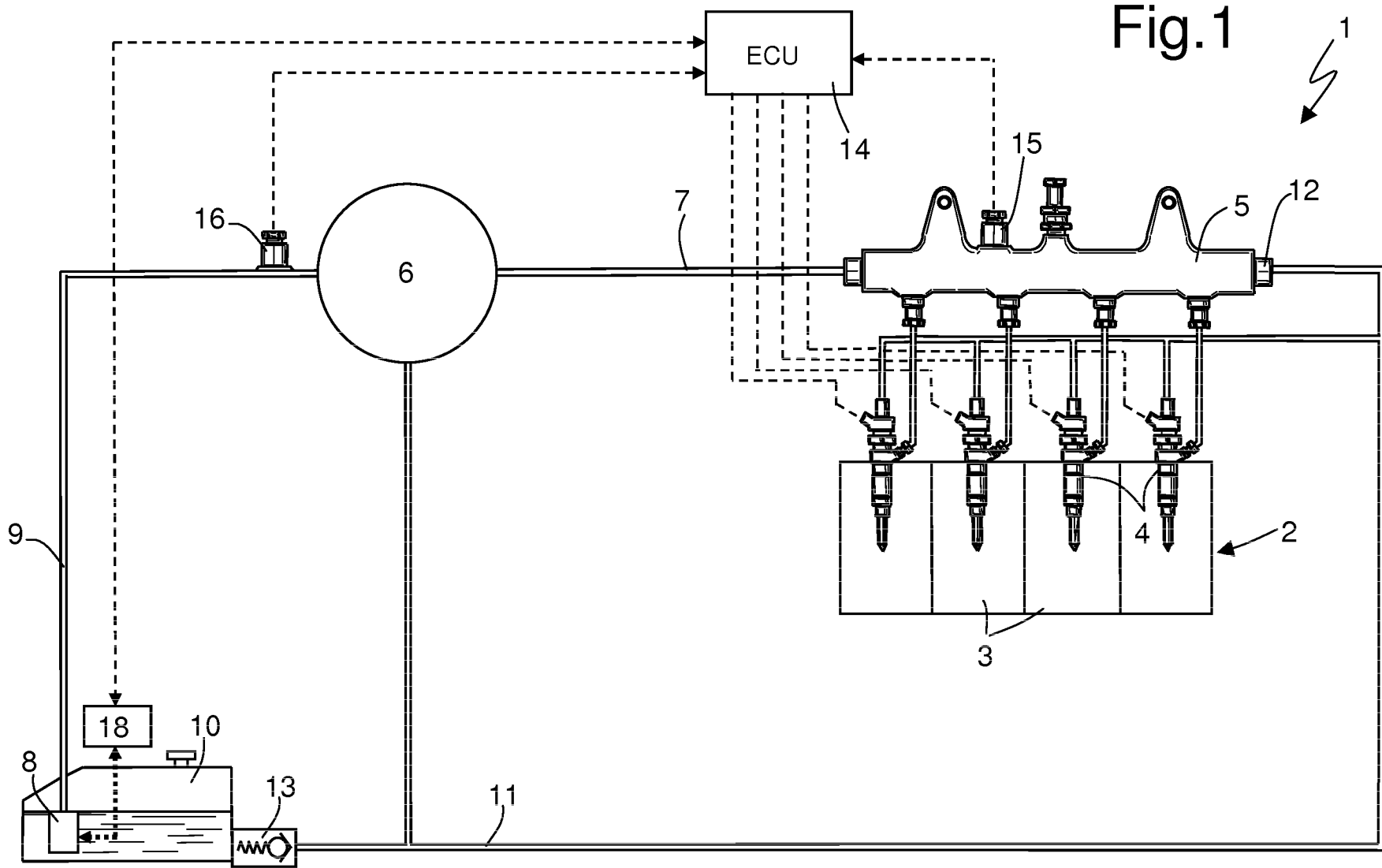
19) Injection system (1) according to claim 17, wherein the low pressure pump (8) is activated by an electric engine (17) controlled by an electronic device comprising an electronic power converter (18) which is arranged in proximity of the electric engine (17), is physically separated from the electronic control unit (14) and is connected to the electronic control unit (14) through a data line.

20) Injection system (1) according to claim 17 or 18 and comprising:

a recirculation duct (11) which leads to the fuel tank (10) and receives the excess of fuel from the injectors (4), from a mechanical pressure safety valve (12) which is hydraulically coupled to the common rail (5), and/or from a lubrication duct of the high pressure pump (6);

a recirculation valve (13) which is arranged between the recirculation duct (11) and the tank (10), is a one-way valve and is set to open when the difference in pressure at its ends is higher than a predetermined intervention threshold value.

Fig.1



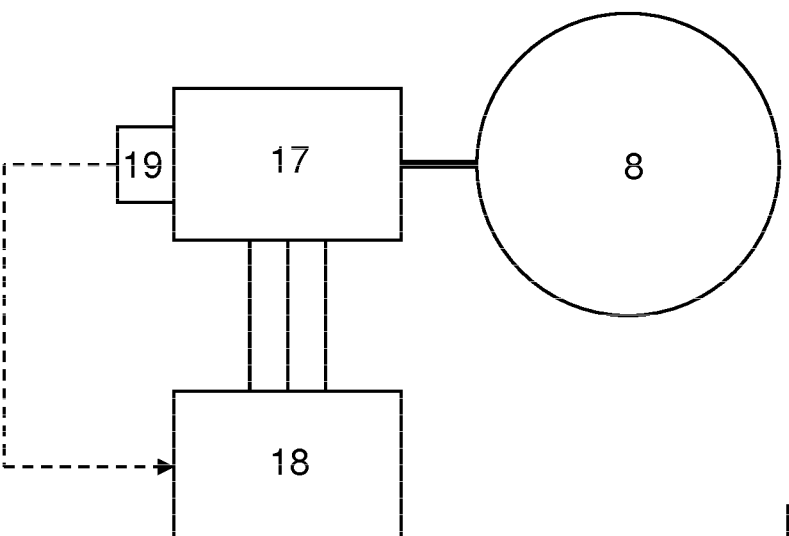


Fig.2

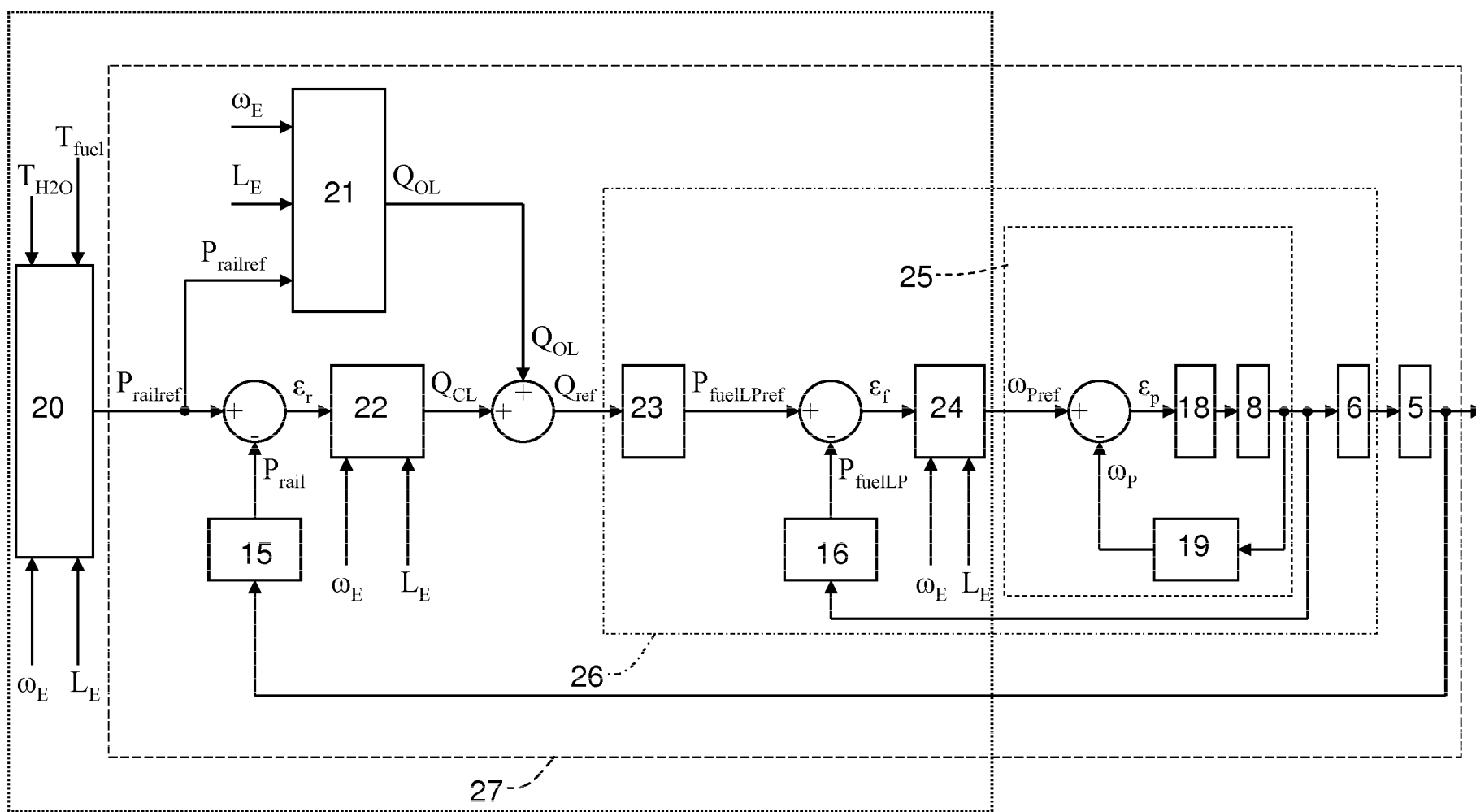


Fig.3

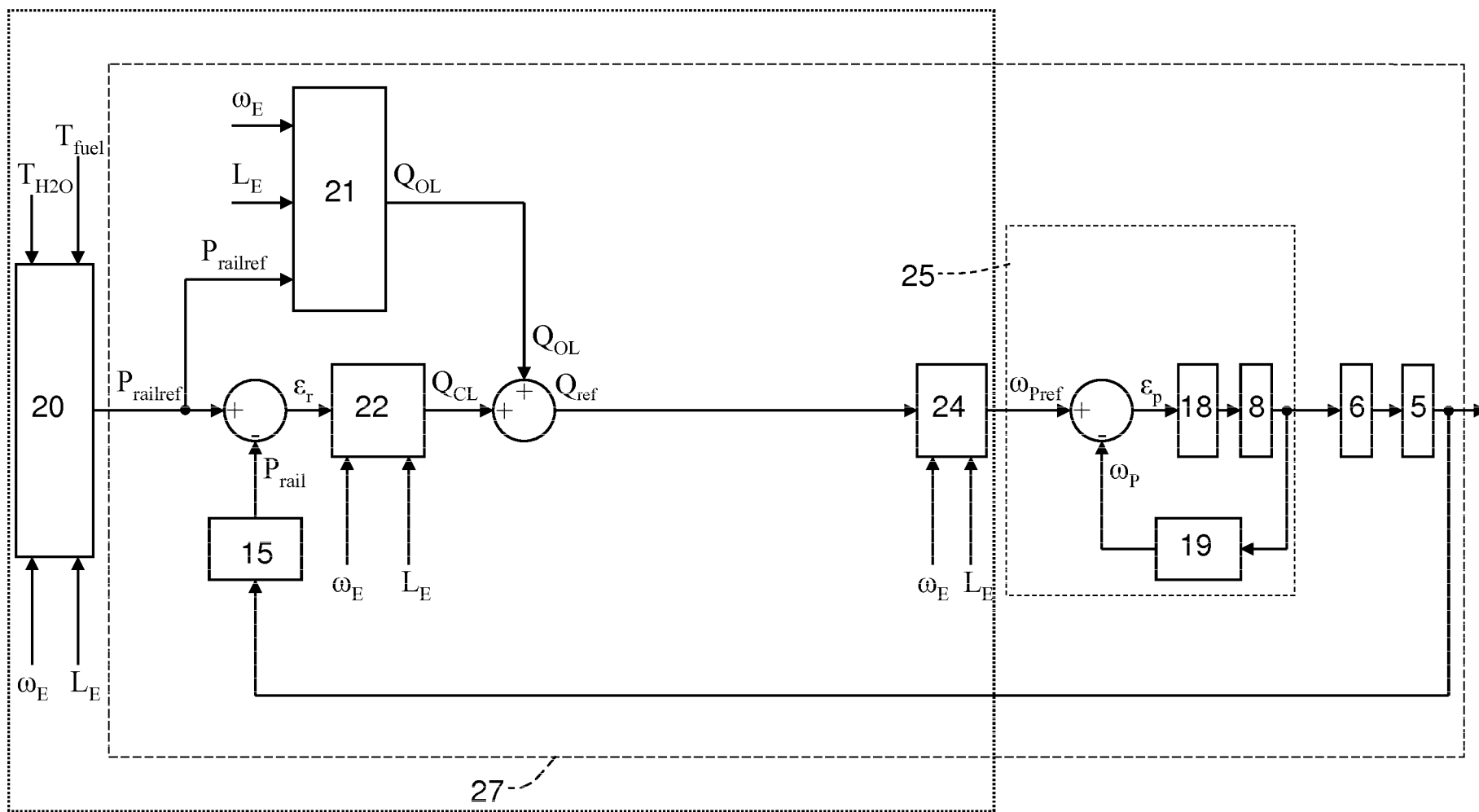


Fig.4