



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 134 399 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
19.09.2001 Patentblatt 2001/38

(51) Int Cl.7: **F02D 41/38**

(21) Anmeldenummer: **00125558.7**

(22) Anmeldetag: **22.11.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH**
70442 Stuttgart (DE)

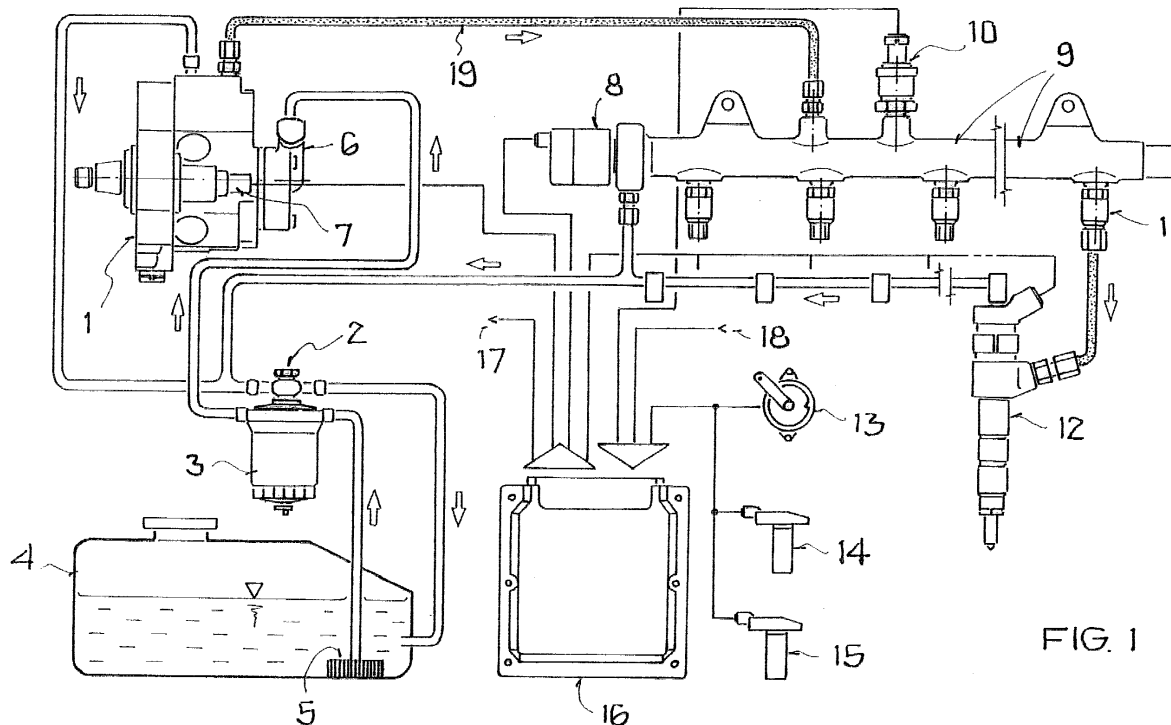
(72) Erfinder: **Hammel, Christof**
70188 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: **27.01.2000 DE 10003298**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Druckregelung**

(57) Es werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Druckregelung, insbesondere bei einem Common-Rail-System, mit einer mengengesteuerten Hochdruckpumpe und/oder einem Druckabbauventil beschrieben.

Mit einem Modell wird ein Druckregler und/oder ein Stellement eines Druckregelkreises nachgebildet. Das Modell liefert wenigstens ein Signal, das die Störgrößen des Druckregelkreises charakterisiert.



EP 1 134 399 A2

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Druckregelung, insbesondere für ein Common-Rail-System, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Aus der WO 96/03577 ist ein System zum Steuern und Regeln des Einspritzdrucks einer Brennkraftmaschine bekannt, bei dem eine Pumpe Kraftstoff unter einem hohen Druck in ein Rail fördert. Das Rail weist eine Anzahl von Auslässen auf, die mit entsprechenden Injektoren verbunden sind. Das System besteht aus einem Druckregler, angeordnet zwischen dem Ausgang der Pumpe und dem Eingang des Rails und der mit einem Ansteuersignal beaufschlagt wird, welches von einem Regler vorgebar ist.

[0003] Mit dieser Regeleinrichtung läßt sich eine Leckagemenge nicht oder nur schwer ermitteln. Außerdem besitzt diese Regeleinrichtung ohne weitere Störgrößenverarbeitung nur eine geringe Genauigkeit.

[0004] Die erfindungsgemäße Druckregelung für ein Common-Rail-System hat den Vorteil, daß mit einem Modell für die Raildruckregelung die hydraulische Störgröße dQs/dt erfaßt werden kann. Damit ist zum einen eine schnell ansprechende Überwachung auf eine Leckage im Hochdruckbereich eines Common-Rail-Systems über den gesamten Betriebsbereich möglich. Zum anderen kann eine verbesserte Dynamik der Raildruckregelung durch Aufschalten der Störgröße auf die Stellgröße erzielt werden.

[0005] Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß mittels eines Modells ein Druckregler und/oder ein Stellelement eines Druckregelkreises nachgebildet wird, und daß das Modell wenigstens ein Signal liefert, das die Störgrößen des Druckregelkreises charakterisiert.

[0006] Die erfindungsgemäße Vorgehensweise ist besonders vorteilhaft, bei Systemen, bei denen eine Einspritzmenge QK, eine Leckagemenge QL, eine Steuergröße QS und eine Druckabbaugröße als Störgrößen auf den Druckregelkreis einwirken.

[0007] Das Modell beinhaltet wenigstens ein Modell für den Steller, der vorzugsweise als mengengesteuerte Hochdruckpumpe ausgebildet ist. Bei einer solchen Hochdruckpumpe, läßt sich die verdichtete Kraftstoffmenge und damit die in den Druckspeicher, der auch als Rail bezeichnet wird, geförderte Kraftstoffmenge steuern.

[0008] Das Modell beinhaltet wenigstens ein Modell für die Regelstrecke, das auch als Streckenmodell bezeichnet ist. Als Regelstrecke wird das Rail betrachtet. In der einfachsten Ausgestaltung dient zur Modellierung des Rails ein Integrator.

[0009] Die mittels des Modells bestimmte Störgröße dient zur Erkennung einer Leckage und/oder zur Bildung einer Aufschaltgröße für den Regelkreis. Die ein-

gespritzte Kraftstoffmenge kann in der Störgröße enthalten sein. Es kann aber auch vorgesehen sein, daß die Störgröße die eingespritzte Kraftstoffmenge nicht umfaßt.

[0010] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0011] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt.

[0012] Es zeigen Fig. 1 eine Systemübersicht eines Common-Rail-Systems, Fig. 2 ein Blockschaltbild eines Druckreglers, Fig. 3 ein Blockschaltbild eines Modells des Druckregelkreises, Fig. 4 bis 6 Blockschaltbilder von verschiedenen Varianten des Modells, Fig. 7 ein Blockschaltbild einer Leckageüberwachung mittels einer beobachteten Störgröße und Fig. 8 ein Blockdiagramm eines verbesserten Druckreglers mit Aufschaltung der beobachteten Störgröße.

[0013] Die Fig. 1 zeigt mit dem Bezugszeichen 1 eine steuerbare Hochdruckpumpe. 2 ist ein Ventil, das mit der Ansaugleitung des Tanks 4 über den Filter 5 in Wirkverbindung steht. 3 ist ein Kraftstofffilter. 6 ist eine Zahnradpumpe. 7 ist die Zumeßeinheit. 8 ist das Druckabbauventil, 9 ist das Rail, 10 ist ein Raildrucksensor, 11 ist ein Durchflußbegrenzer, 12 sind Injektoren, 13 ist das Gaspedal, 14 der Aufnehmer der Kurbelwellenumdrehung, 15 der Aufnehmer der Nockenwellenumdrehung, 16 ist das Steuergerät für Einspritzung oder/und Zündung. 17 sind weitere Steller, beispielsweise für die Abgasrückführung und 18 sind weitere Sensoren.

[0014] Das in Fig. 1 dargestellte Übersichtsschaubild zeigt ein Common-Rail-System mit Druckregelung über eine mengengesteuerte Hochdruckpumpe 1 und wahlweise einem zusätzlichen Druckabbauventil 8. Die Druckregelung erfolgt dabei über das magnetventilgesteuerte Proportionalventil, das auch als Zumeßeinheit 7 bezeichnet wird, welches die Zulaufmenge zur Hochdruckpumpe 1 entsprechend der Stellgröße des Reglers einstellt.

[0015] Der Kraftstoff gelangt über das Kraftstofffilter 3 zur Zumeßeinheit 7. Abhängig von dem an der Zumeßeinheit anliegenden Stellgröße gelangt eine einstellbare Kraftstoffmenge in die Hochdruckpumpe. Von dort wird der Kraftstoff unter hohem Druck in das Rail 9 gefördert. Über die Injektoren 12 gelangt der Kraftstoff in die Brennkraftmaschine. Das Steuergerät 16 steuert die Zumeßeinheit 7, die Injektoren 12, weitere Steller 17 und gegebenenfalls das Druckabbauventil 8 abhängig von den Signalen der Sensoren 13 bis 15 an.

[0016] Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild eines Druckreglers. Mit 20 ist ein Regler bezeichnet. Diesem wird über ein Verknüpfungspunkt die Differenz zwischen einem Istwert P_{ist} und einem Sollwert P_{soll} für den Raildruck zugeführt. Der Regler 20 liefert eine Stellgröße P_{Rail} , soll, an einen Verknüpfungspunkt, an dem zweiten Eingang des Verknüpfungspunktes liegt ein Vorsteuerwert dQ_{vs}/dt an. Das Ausgangssignal des Verknüpfungspunktes wird einem Steller 21 zugeleitet.

[0017] Der Regler ist vorzugsweise ein Element des

Steuergeräts 16. Der Sollwert P_{soll} und der Vorsteuerwert dQ_{vs}/dt werden abhängig von verschiedenen Betriebsparametern, vorzugsweise abhängig von der Drehzahl der Brennkraftmaschine und einer die einzuspritzenden Kraftstoffmenge charakterisierenden Größe, vorgegeben.

[0018] Bei dem Steller 21 handelt es sich vorzugsweise um die steuerbare Hochdruckpumpe 1, wobei die Zumeßeinheit 7 mit der Stellgröße beaufschlagt wird. Die Zumeßeinheit 7 ist vorzugsweise als Magnetventil ausgebildet, die abhängig von dem an ihr anliegenden Signal eine bestimmte Kraftstoffmenge der Hochdruckpumpe zuführt. Die Hochdruckpumpe fördert den Istwert der Fördermenge $dQ_{\text{HDP,ist}}/dt$ der Hochdruckpumpe in das Rail. Diese Menge wird um die Störgrößen dQ_L/dt , dQ_S/dt , dQ_{DAV}/dt und die Einspritzmenge dQ_I/dt vermindert. Daraus resultiert die tatsächlich in das Rail geförderte Menge $dQ_{\text{rail,ist}}/dt$. Dies ist durch einen dem Steller nachgeschalteten

[0019] Verknüpfungspunkt verdeutlicht. Mit dieser Größe $dQ_{\text{rail,ist}}/dt$ wird das Rail, das auch als Strecke 22 bezeichnet ist, beaufschlagt. Am Ende der Regelstrecke steht der Istwert P_{ist} des Raildrucks an. Diese wird mit dem Raildrucksensor 10 erfaßt.

[0020] Das Blockdiagramm der Fig. 2 soll verdeutlichen, daß hinter dem Steller 21 mehrere Störgrößen angreifen. Dies sind die Einspritzmenge dQ_I/dt , die Leckagemenge dQ_L/dt , die Steuermenge der Injektoren dQ_S/dt und die Druckabbaumenge dQ_{DAV}/dt , die durch das Druckabbauventil fließt. Außer der Einspritzmenge sind diese Größen im Motorsteuergerät zunächst nicht bekannt. Mit der Kenntnis dieser Störgrößen könnte zum einen das dynamische Verhalten des Druckreglers verbessert werden, und zum anderen eine Leckageüberwachung des Hochdruckbereichs durchgeführt werden.

[0021] Die Störgröße dQ_K/dt entspricht der Einspritzmenge. Für die Bestimmung der Leckage- und Steuermenge gibt es zwei bekannte Methoden:

[0022] Die Ermittlung der Leckagemenge erfolgt im Schubbetrieb des Fahrzeugs (Einspritzmenge = 0). Die Leckagemenge wird durch Berechnung des Raildruckgradienten (dp/dt) abgeschätzt, solange die Stellgröße $dQ_{\text{HDP,Soll}}/dt = 0$ ist.

[0023] Ist die Stellgröße des Druckreglers $dQ_{\text{HDP,Soll}} > 0$, so kann die Summe der Störgrößen durch diese Stellgröße abgeschätzt werden. Hierbei besteht der Nachteil, daß die abgeschätzte Störgröße an die Dynamik der Druckregelung gekoppelt ist.

[0024] Die erfindungsgemäße Vorgehensweise gestattet es, bei dem zuvor beschriebenen Common-Rail-System mit Druckregelung über eine mengengesteuerte Hochdruckpumpe und wahlweise einem zusätzlichen Druckabbauventil die Störgrößen im Druckregelkreis (Leckagemenge, Steuermenge, Einspritzmenge, Druckabbaumenge) ständig zu bestimmen. Damit sind in jedem Betriebspunkt die Störgrößen bekannt und es kann damit zum einen die Dynamik der Druckregelung

verbessert werden und zum anderen eine permanente Leckageüberwachung des Hochdruckbereichs erfolgen.

[0025] Fig. 3 zeigt die Struktur einer Ausführungsform des Modells. Diese Struktur besteht im wesentlichen aus einer Reihenschaltung eines Streckenmodells 21.0 des Stellers 21 und eines Streckenmodells 22.0 der Regelstrecke. Am Ausgang dieses Modells liegt die Nachbildung PB der Regelgröße P an. Dem Stellermodell 21.0 wird als Eingangsgröße das Eingangssignal $dQ_{\text{HDP,Soll}}/dt$ des Stellers 21 zugeführt. Das Stellermodell 21.0 beaufschlagt einen Verknüpfungspunkt mit seinem Ausgangssignal. Das Ausgangssignal des Verknüpfungspunktes 30 gelangt zu dem Streckenmodell 22.0. Am Ausgang des Streckenmodells 22.0 steht die modellierte Regelgröße P_B an. Diese wird in einem Verknüpfungspunkt 31 mit der realen Regelgröße P_{ist} verglichen. Die Differenz zwischen der modellierten und der realen Regelgröße gelangt zu verschiedenen Faktorvorgaben 29.1, 29.2, 29.n, 29.10 und 29.11. Die Faktorvorgaben 29.1, 29.2 und 29.n beaufschlagen das Stellermodell und die Faktorvorgaben 29.10 und 29.11 beaufschlagen den Verknüpfungspunkt 30 mit Signalen. Am Ausgang der Faktorvorgabe 29.11 liegt die modellierte Störgröße Q_B an.

[0026] Die Faktorvorgaben 29.1, 29.2 und 29.n geben Größen g_1 , g_2 , g_n vor, die das Übertragungsverhalten des Stellermodells beeinflussen, abhängig von der Abweichung zwischen der modellierten und der realen Regelgröße vor. Dies bedeutet das Stellermodell wird abhängig von der Abweichung zwischen der modellierten und der realen Regelgröße angepaßt. Mit 29.10 ist ein proportionaler Faktor gekennzeichnet, 29.11 stellt einen Integrierer mit T_σ als Integratorzeitkonstante dar.

[0027] In der Fachsprache der Regelungstechnik stellt 29.10 ein P-Glied und 29.11 ein I-Glied dar.

[0028] Das Streckenmodell 22.0 bildet das Rail 9 nach und weist im wesentlichen ein integrierendes Verhalten auf.

[0029] Es folgt eine gewichtete Aufschaltung der Differenz zwischen realem Istwert und nachgebildeter Regelgröße auf die einzelnen Zeitglieder des Stellermodells. Hierbei stellt $G_A(s)$ die Übertragungsfunktion des Stellers dar. Das Stellermodell 21.0 beinhaltet im wesentlichen Verzögerungsglieder, die das Verhalten der elektrischen Endstufe, des Magnetventils 7 und dem zeitverzögerten Förderstrom der Hochdruckpumpe kennzeichnen.

[0030] Am Eingang des Streckenmodells 22.0 liegen sämtliche Störgrößen an. Am Eingang dieses Modells erfolgt die proportionale Aufschaltung der Beobachterdifferenz ($P_{\text{ist}} - P_B$) mit dem Faktor g_0 gewichtet. Sämtliche Größen, die am Eingang der Teilstrecke $G_B(s)$ außer der Stellgröße $dQ_{\text{HDP,ist}}/dt$ angreifen, werden zur allgemeinen Störgröße zusammengefaßt.

[0031] Fig. 4 zeigt einen zweiten Variantenvorschlag für einen Druckregelkreis mit Beobachterstruktur. Dieses Modell unterscheidet sich von der Ausführungsform

der Fig. 3 im wesentlichen nur darin, daß als gesamte Störgröße nicht das Ausgangssignal des Gliedes 29.11 sondern die Summe der Ausgangssignale der Glieder 29.10 und 29.11 als Gesamtstörgröße Q_B verwendet wird.

[0032] Fig. 5 zeigt eine weitere alternative Möglichkeit der Beobachterstruktur. Im wesentlichen unterscheidet sich die Figur 5 von der vorherigen Ausführungsform darin, daß der Steller 21 in einen Stromregler 21a und den eigentlichen Steller 21b aufgeteilt ist. Das Signal $dQ_{HDP,Soll}/dt$ wird dem Regler 21a als Sollwert zugeführt, der tatsächlich durch das Magnetventil 7 fließende Strom IMPROP wird als Istwert dem Regler 21a von dem Steller 21b zurückgeführt. Ausgehend von dem Vergleich zwischen dem Istwert und dem Sollwert für den Strom durch das Magnetventil bildet der Regler 21a eine Stellgröße UMPROP zur Beaufschlagung des Stellens 21b.

[0033] Da ein Beobachtersystem um so hochwertiger ist, je geringer seine Ordnungszahl ist, wird im folgenden eine Möglichkeit angegeben, wie die Ordnung des Beobachters verringert werden kann, indem die die Streckennachbildung mit der letzten bekannten Systemgrößen gespeist wird. Dies ist die Stellgröße des Stromreglers 32. Damit ist die Streckennachbildung um die Ordnungszahl des Stromreglers reduziert.

[0034] Fig. 6 zeigt eine weitere Alternative der Beobachterstruktur. Bei dieser Ausführungsform wird das Stellermodell mit dem Istwert UMPROP des Stromreglers 32 beaufschlagt. Durch diese Vorgehensweise kann die Ordnung des Beobachters weiter verringert werden.

[0035] Mit der beobachteten Störgröße dQ_B/dt bieten sich in dem bestehenden System folgende Möglichkeiten:

[0036] Es ist eine Leckageüberwachung des Hochdruckbereichs der Einspritzanlage möglich. Durch eine Leckage in Leitungen bzw. im Rail oder durch hängende Düsenadeln an Einspritzventilen kann es zu unerwünschtem Austreten von Kraftstoff in die Umgebung oder in den Motorzylinder kommen. Die Einspritzmenge dQ_K/dt ist eine im System bekannte Größe, ebenso liegt der Zustand des Druckabbauventils im Motorsteuerggerät vor. Im Normalbetrieb des Druckreglers ist das DAV (Druckabbauventil) nicht angesteuert, d.h. $dQ_{DAV}/dt = 0$. Die Summe aus Leckagemenge dQ_L/dt und Steuer-
menge dQ_S/dt kann daher folgendermaßen bestimmt werden:

$$dQ_L/dt + dQ_S/dt = -dQ_B/dt - dQ_I/dt$$

[0037] Aufgrund von weiteren Betriebsbedingungen, wie beispielsweise dem Raildruck P , der Drehzahl N und der Einspritzmenge dQ_K/dt gibt ein Block 34 einen Maximalwert b für die Summe a aus Steuer- und Leckagemenge vor. Die von einem Verknüpfungspunkt berechnete Summe a aus Steuer- und Leckagemenge wird in

einem Vergleich 35 gemäß Fig. 7 dann mit diesem Maximalwert b verglichen. Abhängig von dem Vergleichsergebnis wird in Block 36 auf Fehler erkannt, wenn die Summe aus Leckagemenge und Steuer-
menge den Maximalwert übersteigt. Alternativ kann auch vorgesehen sein, daß auf Fehler erkannt wird, wenn die modellierte Störgröße dQ_B/dt einen Schwellwert übersteigt.

[0038] Mittels dieser Vorgehensweise können Leckagen im System sicher und einfach erkannt werden.

[0039] Ferner ist mit der modellierten Störgröße dQ_B/dt eine Verbesserung der Dynamik des Druckreglers möglich. Hierzu wird diese Größe im Regelkreis an geeigneter Stelle berücksichtigt. Dies bietet den Vorteil, daß die Störgröße nicht durch den Regler ausgeregelt werden muß. Die Störgröße wird dynamisch durch die Beobachtergröße kompensiert.

[0040] Eine entsprechende Ausführungsform ist in Fig. 8 dargestellt. Dort ist der Druckregler entsprechend wie in Fig. 2 als Blockdiagramm dargestellt. Entsprechende Elemente sind dabei mit entsprechenden Bezugszeichen bezeichnet. Die einzelnen Störgrößen sind pauschal mit dQ_O/dt bezeichnet.

[0041] Bei der dargestellten Ausführungsform wird der Vorsteuerwert dQ_{VS}/dt abhängig von der Einspritzmenge dQ_K/dt vorgegeben. Zusätzlich wird eine Aufschaltgröße dQ_{Auf}/dt in einem weiteren Verknüpfungspunkt zum Ausgangssignal des Druckreglers 20 hinzugeaddiert.

[0042] Da die Einspritzmenge bereits durch den Vorsteuerwert dQ_{VS}/dt kompensiert wird, wird nicht die gesamte Störgröße aufgeschaltet, sondern lediglich die Differenz aus Störgröße und Einspritzmenge. Die zusätzliche Aufschaltgröße dQ_{Auf}/dt ergibt sich daher zu

$$dQ_{Auf}/dt = -dQ_B/dt - dQ_I/dt$$

[0043] Alternativ kann auch vorgesehen sein, daß die Störgröße bei der Bildung der Vorsteuergröße dQ_{VS}/dt berücksichtigt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Druckregelung, insbesondere bei einem Common-Rail-System, mit einer mengengesteuerten Hochdruckpumpe und/oder einem Druckabbauventil, dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines Modells ein Druckregler und/oder ein Stellelement eines Druckregelkreises nachgebildet wird, und das Modell wenigstens ein Signal liefert, das die Störgrößen des Druckregelkreises charakterisiert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einspritzmenge, eine Leckagemenge, eine Steuer-
menge und eine Druckabbau-
menge als

Störgrößen auf den Druckregelkreis einwirken.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mittels des Modells die Summe der einzelnen Störgrößen wie Einspritzmenge, Leckagemenge, Steuermenge und/oder Menge des Druckabbauventils bestimmbar ist und aus der Kenntnis dieser Größen die Leckagemenge bestimmbar ist. 5
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Modell wenigstens ein Stellermodell und ein Streckenmodell beinhaltet. 10
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Stellermodell wenigstens einen Steller und das Streckenmodell wenigstens einen Druckspeicher nachbildet. 15
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Streckenmodell wenigstens integrierendes Verhalten aufweist. 20
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Störgröße zur Erkennung einer Leckage verwendbar ist. 25
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Störgröße zur Bildung einer Aufschaltgröße für den Regelkreis verwendbar ist. 30
9. Vorrichtung zur Druckregelung, insbesondere bei einem Common-Rail-System, mit einer mengengesteuerten Hochdruckpumpe und/oder einem Druckabbauventil, dadurch gekennzeichnet, daß als ein Modell ein Druckregler und/oder ein Stellelement eines Druckregelkreises nachgebildet wird, und daß das Modell wenigstens ein Signal liefert, das die Störgrößen des Druckregelkreises charakterisiert. 35
40

45

50

55

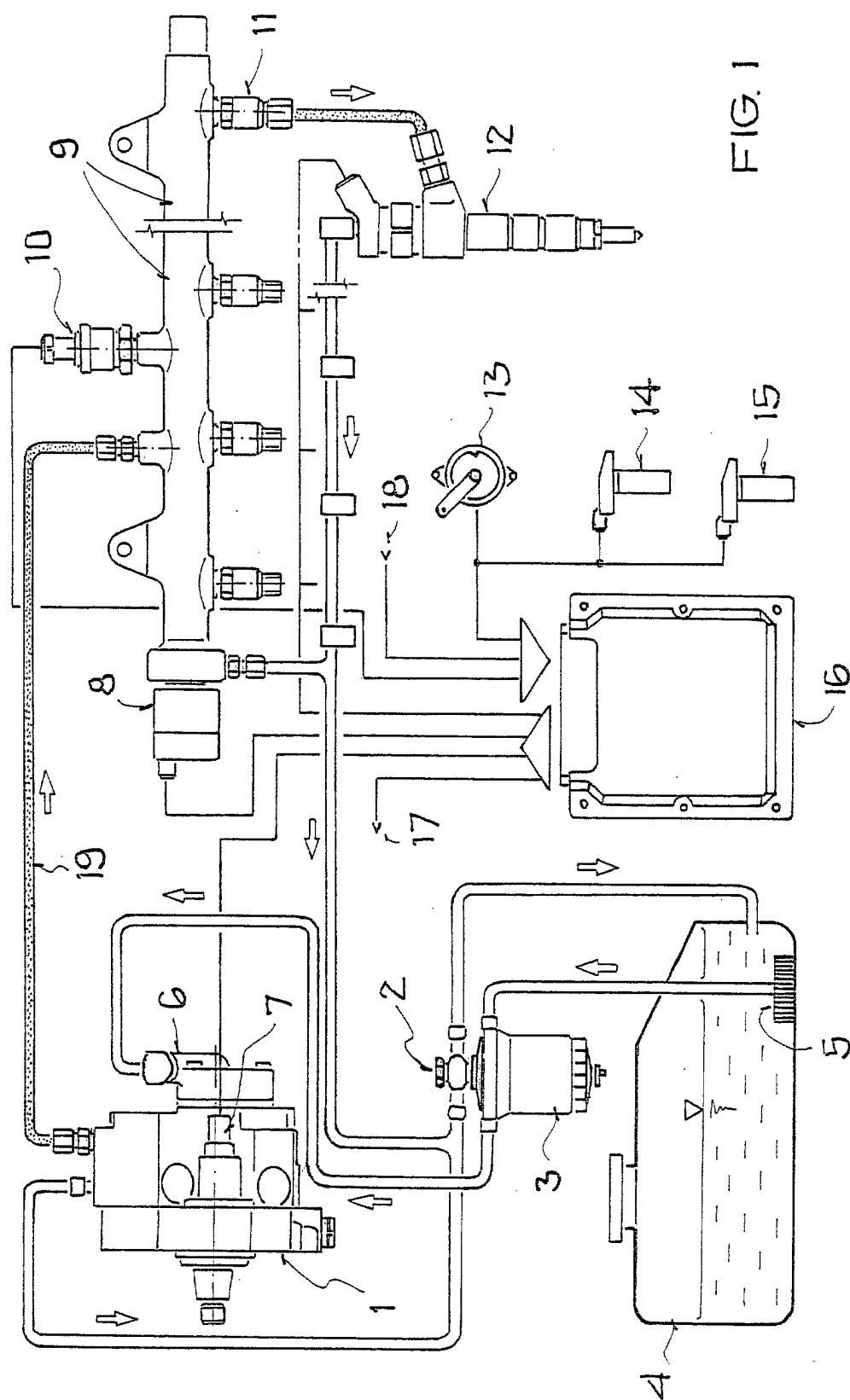


FIG. 1

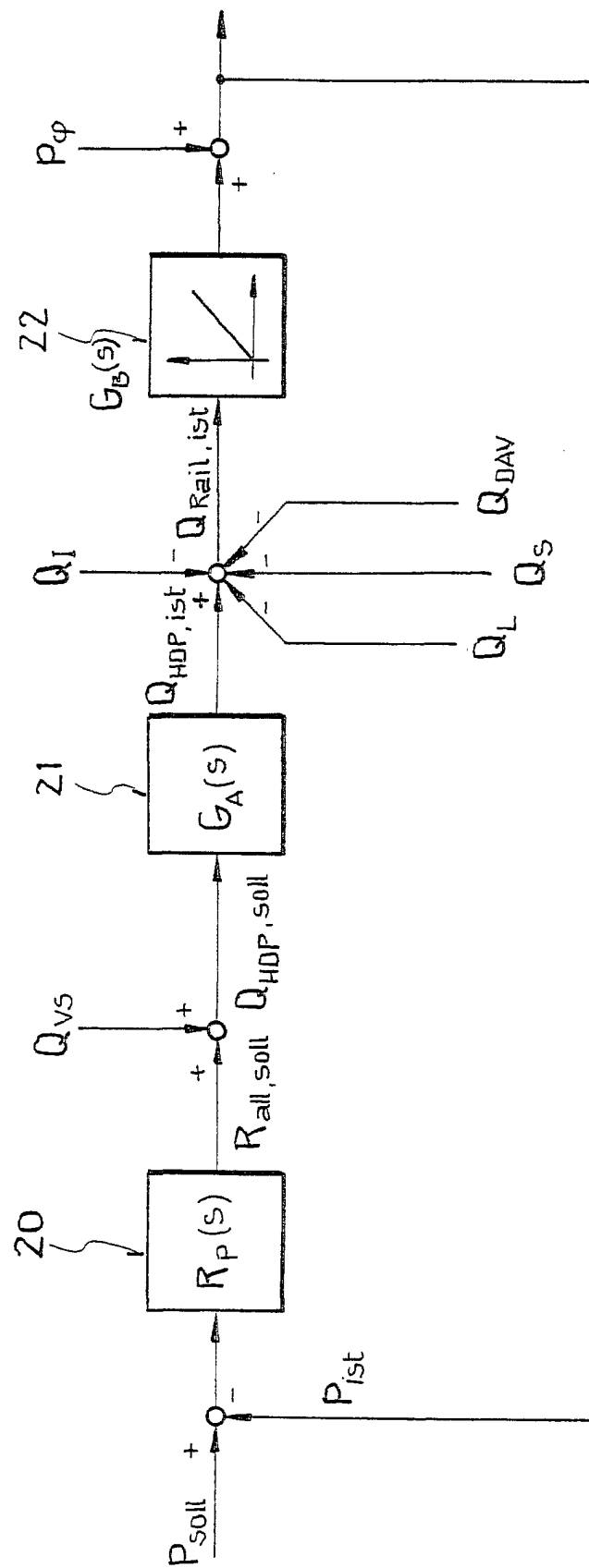


FIG. 2

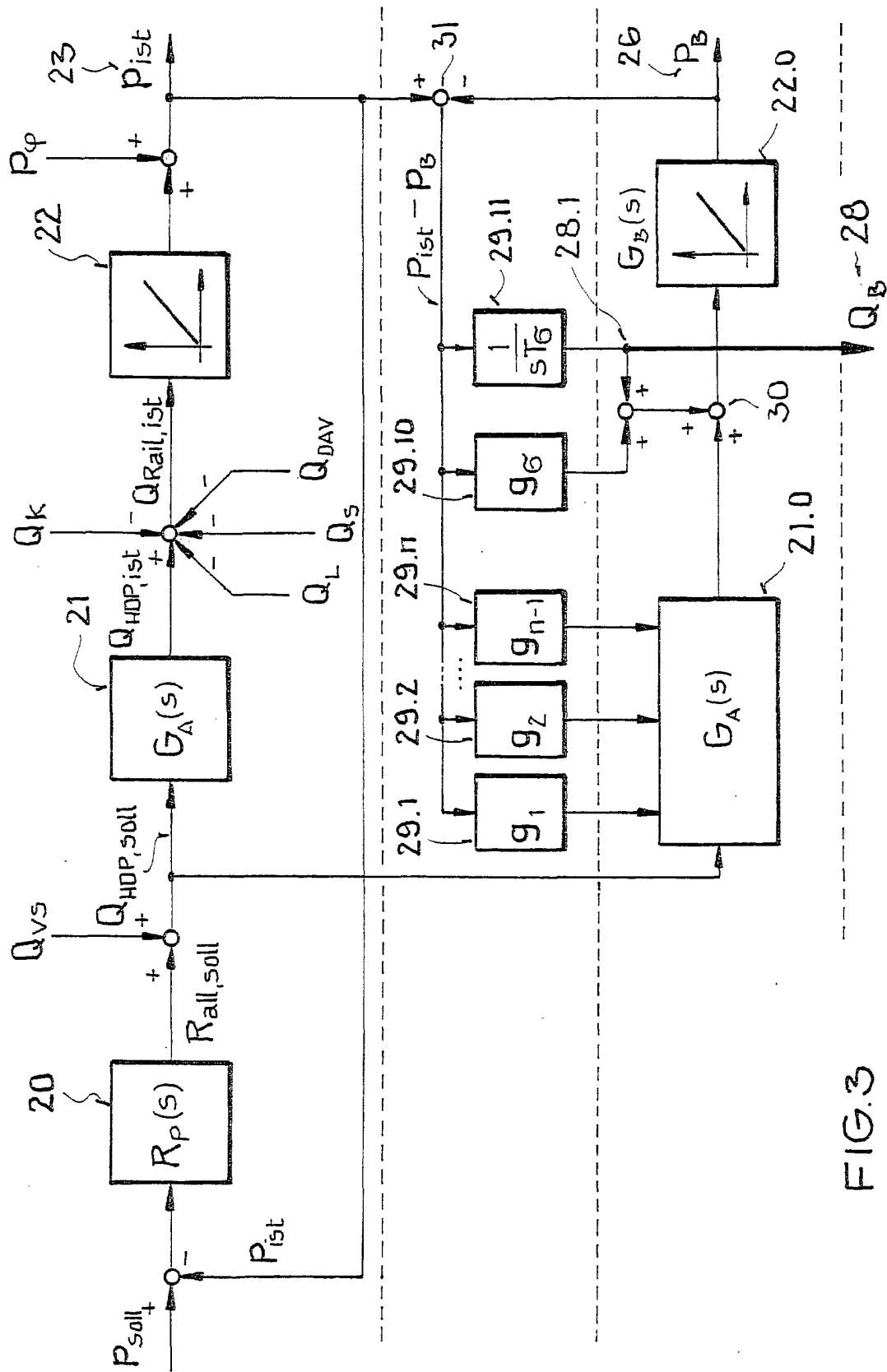
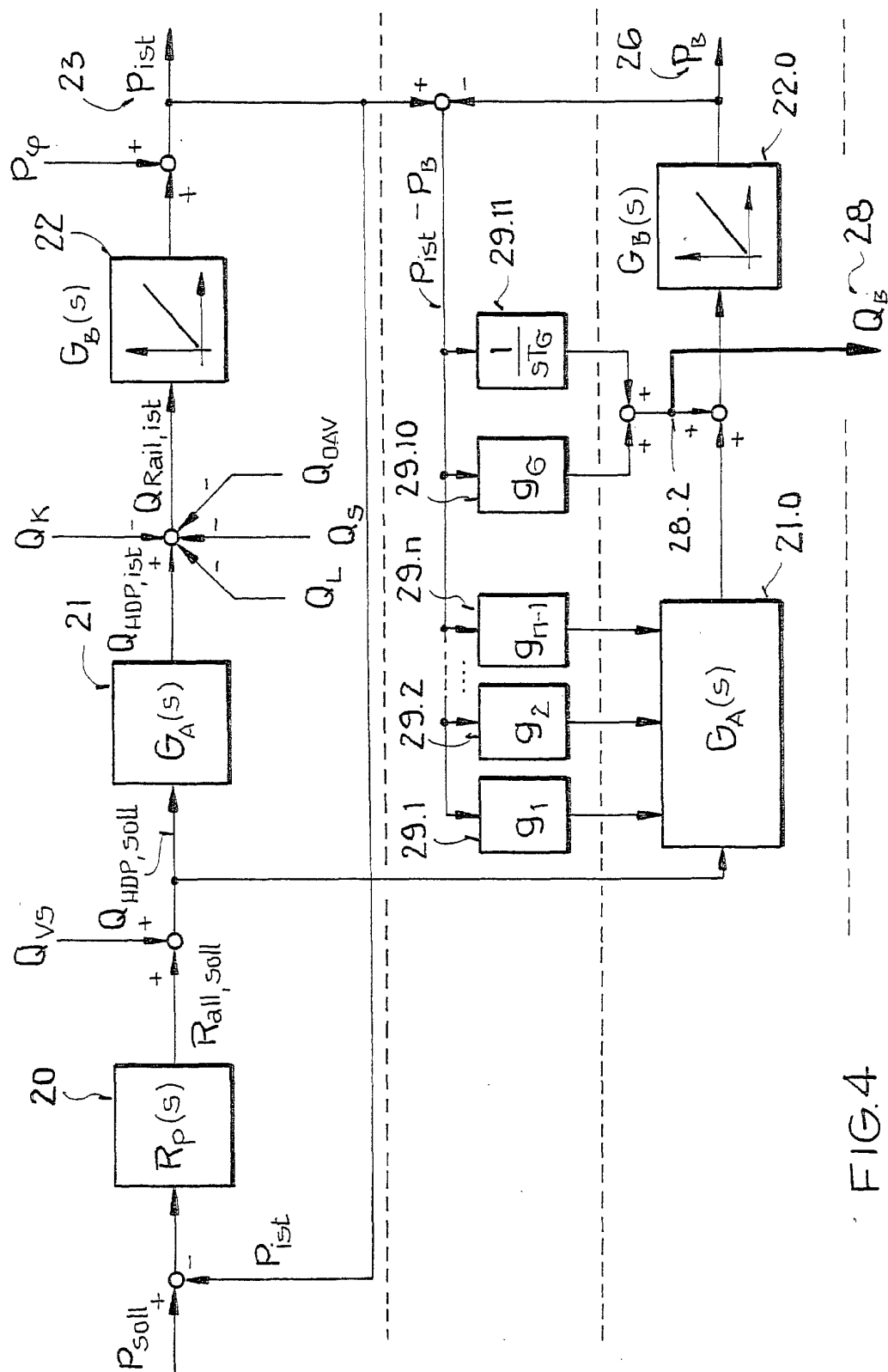
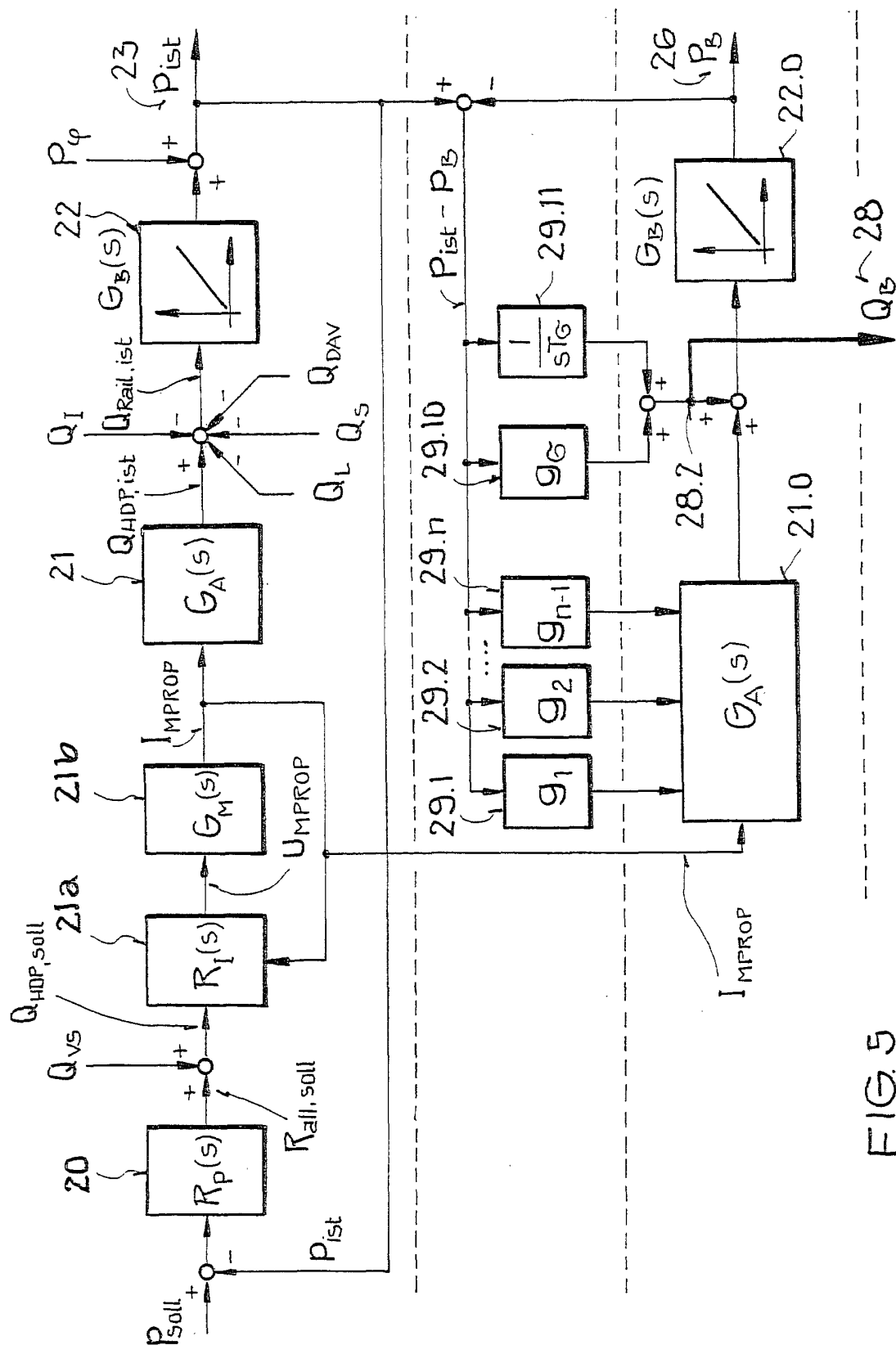
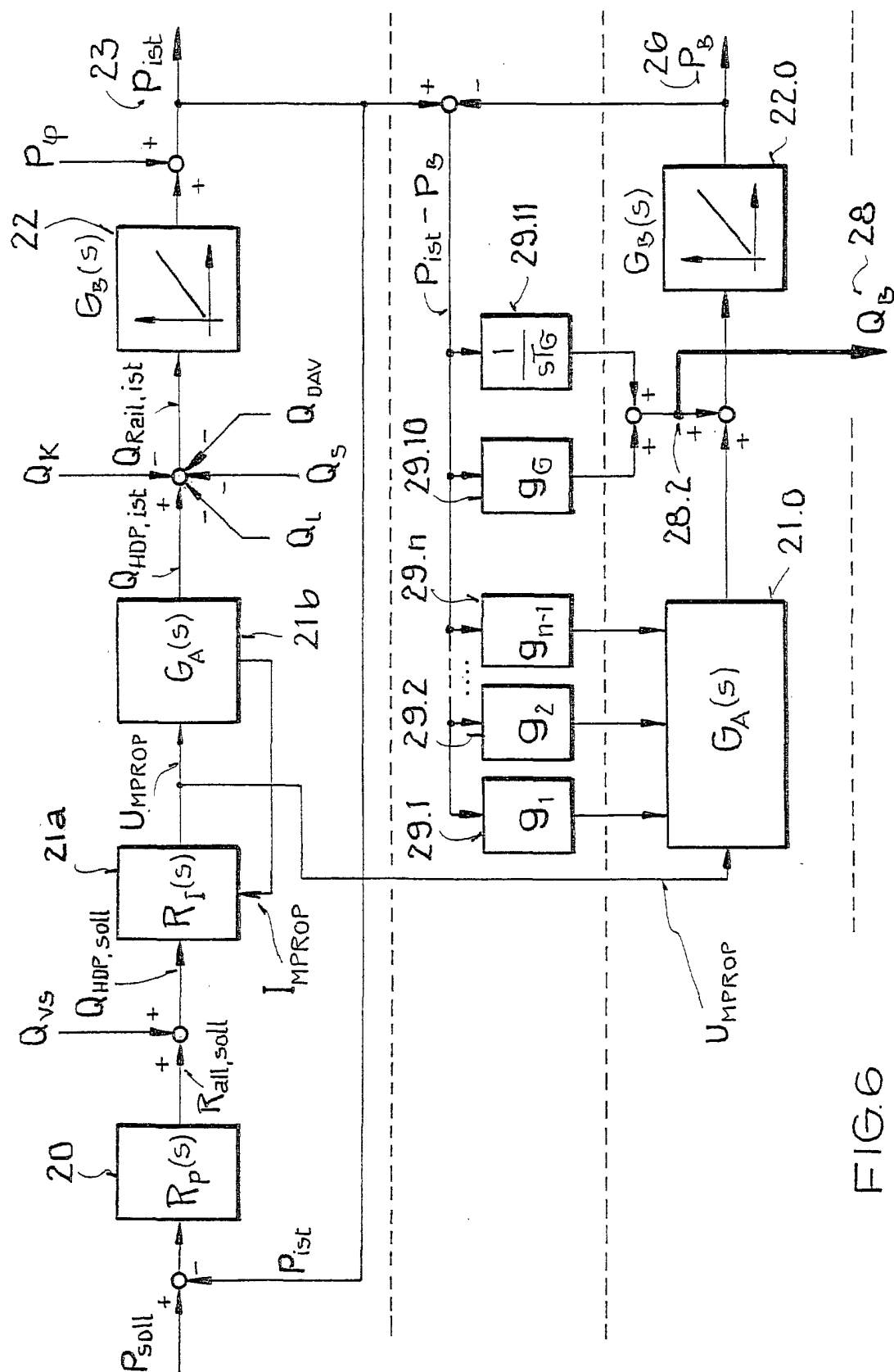


FIG. 3







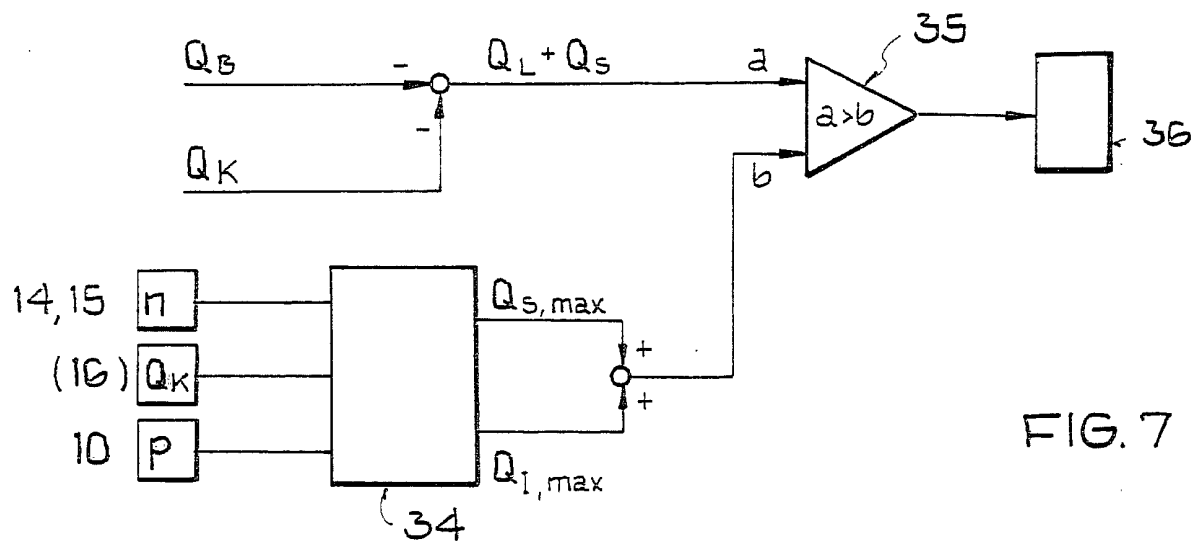


FIG. 7

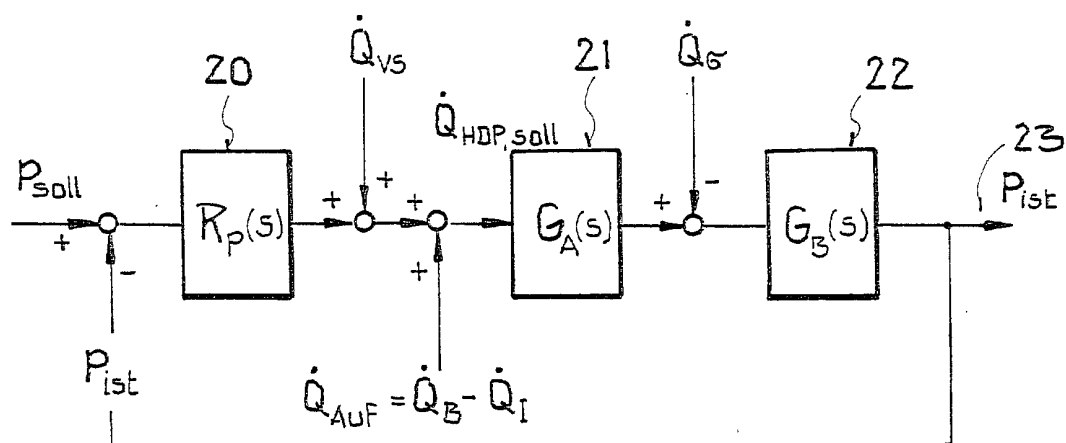


FIG. 8