



(12) Patentskrift

(10) SE 534 748 C2

(21) Patentansökningsnummer: 1050341-5
(45) Patent meddelat: 2011-12-06
(41) Ansökan allmänt tillgänglig: 2011-10-09
(22) Patentansökan inkom: 2010-04-08
(24) Löpdag: 2010-04-08
(83) Deposition av mikroorganism: ---
(30) Prioritetsuppgifter: ---

(51) Internationell klass:
F04B 49/08 (2006.01)
G01L 23/00 (2006.01)

(73) Patenthavare: Scania CV AB, , 151 87 Södertälje SE

(72) Uppfinnare: Ottmar Raeymaeckers, Nacka SE
Erik Geijer Lundin, Stockholm SE
Anders Larsson, Tullinge SE

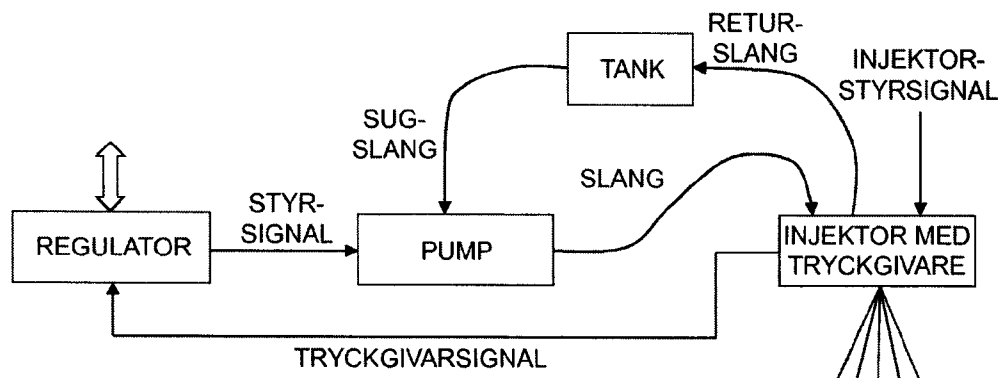
(74) Ombud: Scania CV AB / Niklas Gardemark, , 151 87 Södertälje SE

(54) Benämning: System innefattande pump, injektor och regulator, där styrsignal till pumpen baseras på beräknad slangstyvhet

(56) Anförda publikationer: ---

(47) Sammandrag:

Pumpsystem omfattande en pump, en injektor och en regulator med en beräkningsenhet, varvid regulatören är anpassad att styra nämnda pump med en styrsignal att pumpa en vätska genom en slang till nämnda injektor som i beroende av en injektorstyrsignal öppnas och stängs, där tiden för en öppnings- och stängningsperiod kallas injektorperiod och betecknas T_S , och injektorns öppningsperiod betecknas γ . Injektorn är försedd med en tryckgivare anpassad mäta trycket på vätskan i injektorn och att avge en tryckgivarsignal till beräkningsenheten i regulatören som representerar tryckamplituden i injektorn, varigenom beräkningsenheten är anpassad att beräkna slangens slangstyvhet B som en funktion av uppmätt tryckamplitud A i injektorn, injektorperioden T_S och injektorns öppningsperiod γ och att regulatören är anpassad att bestämma styrsignalen till pumpen baserat på B .



Sammanfattning

- Pumpsystem omfattande en pump, en injektor och en regulator med en beräkningsenhet, varvid regulatorn är anpassad att styra nämnda pump med en styrsignal att pumpa en vätska genom en slang till nämnda injektor som i beroende av en injektorstyrsignal öppnas
- 5 och stängs, där tiden för en öppnings- och stängningsperiod kallas injektorperiod och betecknas T_s , och injektorns öppningsperiod betecknas γ . Injektorn är försedd med en tryckgivare anpassad mäta trycket på vätskan i injektorn och att avge en tryckgivarsignal till beräkningsenheten i regulatorn som representerar tryckamplituden i injektorn, varigenom beräkningsenheten är anpassad att beräkna slangens slangstyvhet B som en
- 10 funktion av uppmätt tryckamplitud A i injektorn, injektorperioden T_s och injektorns öppningsperiod γ och att regulatorn är anpassad att bestämma styrsignalen till pumpen baserat på B .

(Figur 1)

Titel

System innefattande pump, injektor och regulator, där styrsignal till pumpen baseras på beräknad slangstyvhet

5 Uppfinningens område

Föreliggande uppfinning avser ett pumpsystem, och en metod i samband med ett pumpsystem, enligt ingresserna för de oberoende patentkraven. Mera specifikt anges ett system och en metod för att automatiskt identifiera en tryckslangs styvhet.

- 10 Uppfinningen kommer att beskrivas genom exempel relaterat till fordonsindustrin, till exempel ett SCR-system och ett bränsleinsprutningssystem, men är generellt användbar även för andra tillämpningar i samband med tryckreglering.

Bakgrund till uppfinningen

- 15 Så kallade SCR-system (selektiv katalytisk reduktion) används för att reducera kväveoxider (NO_x) från en dieselmotors avgaser. Därigenom omvandlas kväveoxider, med hjälp av en katalysator, till kvävgas N₂ och vatten. En gasreduktant, t.ex. vattenfri ammoniak, vattenlöst ammoniak eller urea, t.ex. AdBlue, tillsätts ett flöde av rökgaser eller avgaser och absorberas av en katalysator. Koldioxid är en reaktionsprodukt när urea
20 används som reduktant.

- Vid användning av SCR-systemet sprutas t.ex. AdBlue under högt tryck in i rökgaserna med hjälp av en injektor. En regulator används för att reglera trycket i en högtrycksslang ansluten till injektorn. Systemet som regleras består av en pump, slangar samt en injektor
25 med en tryckgivare. Mängden tillsatt gasreduktant (AdBlue) är bland annat beroende av uppmätt halt av kväveoxider, vilket företrädesvis mäts nedströms räknat från där injektorn är anordnad. Gasreduktanten tillsätts genom att öppna och stänga injektorn där mängden gasreduktant styrs av öppningstiden för injektorn. En typisk periodtid för injektorn, dvs. tiden mellan två konsekutiva öppningar av injektorn, är företrädesvis i storleksordningen
30 0,5-1,0 s.

Regulatorns reglerparametrar beror bland annat på högtrycksslangens egenskaper, såsom exempelvis dess längd, diameter, samt mjukheten hos slangmaterialet, t.ex. gummi. Även temperaturen påverkar reglerparametrarna.

- 5 Det är således ett flertal egenskaper som samverkar här och dessa sammanfattas, ur ett reglerperspektiv, av begreppet slangstyvhet. En svårighet är att slangstyvheten är okänd, t.ex. vid installation, och måste därför bestämmas på något sätt. Ett sätt att göra detta på är att manuellt kalibrera slangstyvheten för alla typer av slangar som kan förekomma för den aktuella installationen. Detta är dock väldigt tidsödande och ställer till problem, t.ex. om
- 10 man måste byta slang.

Syftet med föreliggande uppfinning är att förenkla och förbättra bestämningen av slangstyvheten vilket medför en billigare hantering och också fördelar i samband med slangbyte då ingen separat kalibrering behöver göras för den nya slangen.

15

Sammanfattning av uppfinningen

Ovan nämnda syften åstadkommes med uppfinningen definierad av de oberoende patentkraven.

- 20 Föredragna utföringsformer definieras av de beroende patentkraven.

Enligt föreliggande uppfinning beräknas slangstyvheten B vilken sedan används för att beräkna lämpliga reglerparametrar för tryckregulatorn, till exempel trycket. Sedan beräknar regulatorn styrsignalen för pumpen baserat på dessa reglerparametrar.

25

Fördelen med anordningen enligt föreliggande uppfinning är att man inte behöver manuellt kalibrera regulatorn med hänsyn till högtrycksslangens styvhet. Detta eliminerar ett kalibreringsmoment vid nyproduktion, vid byte av högtrycksslang, vid ombyggnad av installationen, samt även vid byte av själva styrenheten.

30

Kort ritningsbeskrivning

Figur 1 är ett schematiskt blockdiagram som illustrerar föreliggande uppfinning.

Figur 2 visar ett antal grafer som illustrerar föreliggande uppfinning.

Figur 3 ett flödesschema som illustrerar metoden enligt föreliggande uppfinning.

5

Detaljerad beskrivning av föredragna utföringsformer av uppfinningen

Med hänvisning till de bifogade figurerna kommer uppfinningen nu att beskrivas i detalj.

Figur 1 är ett schematiskt blockdiagram som illustrerar ett pumpsystem omfattande en pump, en tank, en injektor med en tryckgivare och en tryckregulator med en beräkningsenhet (inte visad i figuren). Pumpen är ansluten till injektorn via en högtrycksslang, i fortsättningen benämnd "slang", för att överföra vätska till injektorna.

Överbliven vätska återförs till tanken via en returslang och vätska som skall pumpas ut förs från tanken till pumpen via en sugslang. I returslangen rinner vätskan tillbaka till tanken och har där ungefär atmosfärstryck.

Regulatorn är anpassad att styra pumpen med en styrsignal att pumpa vätska genom slangen till injektorn som i beroende av en injektorstyrsignal öppnas och stängs, där tiden för en öppnings- och stängningsperiod kallas injektorperiod och betecknas T_S , och injektorns öppningsperiod betecknas γ , där $0 < \gamma < 1$ och där 0 avser en situation där injektorn är stängd hela injektorperioden och 1 avser en situation där injektorn är öppen under hela injektorperioden.

Injektorn är försedd med en tryckgivare anpassad att mäta trycket på vätskan i injektorn och att avge en tryckgivarsignal till beräkningsenheten i regulatorn och beräkningsenheten är anpassad att bestämma tryckamplituden A i injektorn baserat på tryckgivarsignalen,

Beräkningsenheten är vidare anpassad att beräkna slangens slangstyvhet B som en funktion av den uppmätta tryckamplituden A i injektorn, injektorperioden T_S och injektorns öppningsperiod γ och att regulatorn är anpassad att bestämma styrsignalen till pumpen baserat på B .

Styrsignalen reglerar sedan trycket på vätskan som pumpen pumpar ut. Till exempel kan denna reglering ske så att om slangens erhållit ett värde B på slangstyvheten som indikerar att slangens är styvare medför detta ett högre tryck än om slangstyvheten indikerar en mindre styv slang. Vidare kan en längre slang kräva ett högre tryck än en kortare slang.

- 5 Slanglängderna kan variera väldigt mycket och kan till exempel för ett SCR-system ha längder i intervallet 1-25 meter.

Dubbelpilen till och från regulatören betecknar anslutningen till ett överordnat system, t.ex. ett SCR-system, där det överordnande systemet styr regulatören och mottar information från regulatören. Injektorstyrsignalen kan antingen genereras av tryckregulatören eller av det

- 10 överordnade systemet.

Enligt en föredragen utföringsform beräknas slangstyvheten B med ekvationen:

$$B = \frac{1}{T_s} \frac{A}{(1-\gamma)\gamma}, \text{ där } 0 < \gamma < 1.$$

Slangstyvheten B beror på en eller flera av slangens längd och diameter och slangens material, som till exempel kan vara gummi.

- 15

Pumpsystemet enligt föreliggande uppfinning är i synnerhet anpassat att användas i ett SCR-system för ett fordon där vätskan till exempel är vattenfri ammoniak, vattenlöst ammoniak eller urea, t.ex. AdBlue.

20

Regulatören är anpassad att styra pumpen med avseende på trycket i vätskan som pumpas ut och i synnerhet för att pumpa vätska med högt tryck där trycket på vätskan i slangens är till exempel i storleksordningen 10 bar, dvs. 1 MPa.

- 25 Pumpsystemet enligt uppfinningen är företrädesvis ständigt aktiverat vilket innebär att regulatören kontinuerligt mottar tryckgivarsignaler från injektorn och kan därmed automatiskt, dvs. i realtid och kontinuerligt, anpassa trycket i slangens. Därigenom tar systemet hänsyn till förändringar i slangstyvheten B som till exempel orsakas av temperaturförändringar av vätskan. Tryckgivarsignalerna tas upp med en
- 30 samplingsfrekvens som är relaterad till injektorperioden. Om injektorperioden är i

storleksordningen 1 sekund bör samplingsfrekvensen vara åtminstone 10 Hz, och företrädesvis i storleksordningen 100 Hz, för att erhålla en tillräcklig noggrannhet.

- Föreliggande uppfinning avser även en metod i ett pumpsystem, omfattande att
- 5 styra en pump att pumpa en vätska genom en slang till en injektor anpassad att öppnas och stängas med en öppningsperiod som betecknas γ och en tid för hela öppnings- och stängningsperioden som betecknas T_s ;
 - mäta trycket på vätskan i injektorn;
 - beräkna slangens slangstyvhet B som en funktion av uppmätt tryckamplitud A i injektorn,
 - 10 injektorperioden T_s och injektorns öppningsperiod γ , och att bestämma styrsignalen till pumpen baserat på B .

Slangstyvheten B beräknas med ekvationen:

$$B = \frac{1}{T_s} \frac{A}{(1-\gamma)\gamma}, \text{ där } 0 < \gamma < 1.$$

15

- När systemet är i drift öppnas och stängs injektorn på ett kontrollerat sätt. Detta ger upphov till tryckpulsationer i högtryckslangen vilka mäts av tryckgivaren i injektorn. Figur 2 visar en principiell skiss på hur sådan tryckpulsationer kan se ut, dels för en kort slang (överst) och dels för en lång slang (nederst). Allra överst i figuren visas styrsignalen till injektorn. Som framgår av figuren sjunker trycket när injektorn är öppen och stiger när injektorn är stängd. I figuren är injektorn öppen lika lång tid för båda slangarna, och man kan tydligt se att tryckpulsationerna har olika amplituder. En lång slang ger mindre amplituder än en kort slang av samma typ. I exemplet i figuren är γ ungefär 0,25, dvs. injektorn är öppen en fjärdedel av injektorperioden T_s .

25

Således, genom att mäta följande två storheter kan man bestämma slangens styvhet:

- Hur stor andel av öppnings/stängningsperioden T_s , som injektorn är öppen, vilket betecknas γ och ligger alltså mellan 0 och 1.
- 30 • Amplituden A för tryckpulsationerna.

Den första och andra storheten är kända och kommer från det överordnade systemet, den tredje storheten beräknas i beräkningsenheten utifrån trycksignalen. Detta sker med en liten fördröjning i storleksordningen en öppnings/stängningsperiod T_s .

- 5 Slangens styvhet B (som kan ha samma dimension som för tryck / tid) kan sedan bestämmas med ovan ekvation.

Härledningen av denna ekvation sker genom att man utgår från ett fysikaliskt samband (en differentialekvation) som beskriver trycket i högtrycksslangen. Det fysikaliska sambandet innehåller slangstyvheten B och kan användas för att beskriva lutningen på tryckflankerna.

- 10 Genom att sätta den uppmätta lutningen i figur 2 lika med lutningen som det fysikaliska sambandet ger kan B bestämmas enligt uttrycket ovan. En fullständig härledning av ekvationen för B finns i slutet av den detaljerade beskrivningen.

- 15 Slangstyvheten B används sedan för att beräkna lämpliga reglerparametrar i regulatorn i figur 1. Slangstyvheten är normalt konstant för en och samma slang, men kan variera med t.ex. temperaturen.

Nedan följer en härledning av ekvationen för slangstyvheten B som utnyttjas av pumpsystemet enligt föreliggande uppfinning.

20

För bestämma optimala regulatorparametrar till pumpregulatorn behöver man känna till systemets tidskonstant τ . Tidskonstanten τ varierar med doseringen γ . τ -värdena varierar också för olika slangtyper. Därför är det lämpligt att bestämma τ med hjälp av systemidentifiering medan systemet är i drift. Nedan beskrivs hur man under drift kan

- 25 beräkna ett lämpligt värde på τ .

Trycket i systemet beskrivs av differentialekvationen

$$\dot{p} = \frac{\beta}{V} \left[q(\chi) - C_q (a_{\text{drain}} + \gamma a_{\text{dos}}) \sqrt{\frac{2p}{\rho}} \right]$$

ekv. 1

Där β och V beskriver slangens elasticitet respektive volym, $q(\chi)$ är flödet från pumpen som funktion av dess styrsignal och $C_q(a_{drain} + \gamma a_{dos})\sqrt{\frac{2p}{\rho}}$ är flödet ut ur högtrycksslangen (via returslangen samt doseringsventilen).

5 Linjärisering av ekv.1 kring $p = p_0$ ger

$$\frac{V}{\beta C_q(a_{drain} + \gamma a_{dos})} \sqrt{2\rho p_0} \dot{p} + p = q(\chi) \frac{\sqrt{2\rho p_0}}{C_q(a_{drain} + \gamma a_{dos})} - p_0 \quad \text{ekv. 2}$$

Vidare antar vi att flödes-funktionen $q(\chi)$ kan linjäriseras kring $\chi = \chi_0$ (där χ_0 är värdet på styrsignalen som krävs för att hålla trycket vid $p = p_0$). Den linjäriserade flödesfunktionen är

$$10 \quad q(\chi) = q(\chi_0) + \left. \frac{\partial q}{\partial \chi} \right|_{\chi_0} (\chi - \chi_0) \quad \text{ekv. 3}$$

där $q(\chi_0)$ kan beräknas med ekvation 1 samt genom att anta att jämvikt råder, dvs. att trycket är p_0 :

$$q(\chi_0) = C_q(a_{drain} + \gamma a_{dos}) \sqrt{\frac{2p_0}{\rho}} \quad \text{ekv. 4}$$

Insättning av ekvation 4 i ekvation 3 ger:

$$15 \quad q(\chi) = C_q(a_{drain} + \gamma a_{dos}) \sqrt{\frac{2p_0}{\rho}} + \left. \frac{\partial q}{\partial \chi} \right|_{\chi_0} (\chi - \chi_0) \quad \text{ekv. 5}$$

Insättning av ekvation 5 i ekvation 2 ger nu:

$$\frac{V}{\beta C_q(a_{drain} + \gamma a_{dos})} \sqrt{2\rho p_0} \dot{p} + p = \left(C_q(a_{drain} + \gamma a_{dos}) \sqrt{\frac{2p_0}{\rho}} + \left. \frac{\partial q}{\partial \chi} \right|_{\chi_0} (\chi - \chi_0) \right) \frac{\sqrt{2\rho p_0}}{C_q(a_{drain} + \gamma a_{dos})} - p_0$$

ekv. 6

vilket kan förenklas till

$$\frac{V}{\beta C_q (a_{drain} + \gamma a_{dos})} \dot{p} + (p - p_0) = \frac{\sqrt{2\rho p_0}}{C_q (a_{drain} + \gamma a_{dos})} \left. \frac{\partial q}{\partial \chi} \right|_{\chi_0} (\chi - \chi_0) \quad \text{ekv. 7}$$

För regulatoren har vi tidigare antagit att trycket i systemet beter sig som följande första ordningens differentialekvation

$$\tau \dot{p} + (p - p_0) = k(\chi - \chi_0) \quad \text{ekv. 8}$$

5 Med ekvationerna 7 och 8 kan tidskonstanten τ nu identifieras till

$$\tau = \frac{V}{\beta C_q} \frac{\sqrt{2\rho p_0}}{(a_{drain} + \gamma a_{dos})} \quad \text{ekv. 9}$$

Uttrycket för τ innehåller några okända konstanter som behöver bestämmas. Vi kan göra det genom att titta på den ”sågtandsstörning” som finns överlagrad i trycksignalen när systemet doserar; denna illustreras av figur 2.

Vi antar följande:

- doseringen hålls konstant (dvs. $\gamma = \text{const}$)
- systemets medeltryck är $\tilde{p} = p_0$
- 15 • flödet genom pumpen är i det närmaste konstant under perioden T_s (dvs. $q(\chi) = \text{konstant}$).

Under antagandena ovan gäller att $\tilde{p} = 0$, vilket gör det möjligt att approximera $q(\chi)$ till

$$q(\chi) = C_q (a_{drain} + \gamma a_{dos}) \sqrt{\frac{2p_0}{\rho}} \quad \text{ekv. 10}$$

20

Vi kan uttrycka derivatan på den nedåtgående tryckflanken i sågtandsstörningen som

$$\dot{p}_{\downarrow} = \frac{\beta}{V} \left[q(\chi) - C_q (a_{drain} + a_{dos}) \sqrt{\frac{2p}{\rho}} \right] \quad \text{ekv. 11a}$$

25 (dvs. ekvation 1 med gamma = 1)

Insättning av ekvation 10 i ekvation 11a ger sedan ekv 11.

Nu kan vi approximera derivatan på den nedåtgående tryckflanken i sågtandsstörningen till

$$5 \quad \dot{p}_{\downarrow} = \frac{\beta}{V} \left[C_q (a_{\text{drain}} + \gamma a_{\text{dos}}) \sqrt{\frac{2p_0}{\rho}} - C_q (a_{\text{drain}} + a_{\text{dos}}) \sqrt{\frac{2p_0}{\rho}} \right] \quad \text{ekv. 11}$$

vilket kan förenklas till

$$\dot{p}_{\downarrow} = -\frac{\beta}{V} C_q a_{\text{dos}} \sqrt{\frac{2p_0}{\rho}} (1 - \gamma) \quad \text{ekv. 12}$$

Vi kan också approximera $\dot{p}_{\downarrow}$ ur figur 2 till

$$\dot{p}_{\downarrow} = -\frac{2A}{\gamma T_s} \quad \text{ekv. 13}$$

10 Sätter vi ekv. 12 och 13 lika får vi följande samband (efter lite ommöblering)

$$A = \frac{\beta}{V} C_q a_{\text{dos}} T_s \sqrt{\frac{p_0}{2\rho}} (1 - \gamma) \gamma \quad \text{ekv. 14}$$

För ett och samma system är detta ett uttryck på formen

$$A = B T_s (1 - \gamma) \gamma, \quad \text{ekv. 15}$$

där

$$15 \quad B = \frac{\beta}{V} C_q a_{\text{dos}} \sqrt{\frac{p_0}{2\rho}} = \text{konstant} \quad \text{ekv. 16}$$

Kurvan $A(\gamma)$ är en parabel vars nollställan är $\gamma = 0$ och $\gamma = 1$, samt vars maxima ligger i punkten $(\gamma, A) = (0.5, 0.25 B T_s)$. Genom att i mjukvaran använda momentana värden på A , γ och T_s kan konstanten B bestämmas ur ekvation 15:

$$B = \frac{A}{T_s (1 - \gamma) \gamma} \quad \text{ekv. 17}$$

20 Enheten för B är Pa/s. Ett tänkbart namn för B är ”pressure rate constant”, eller enklare, ”hose constant”.

När B är bestämd kan vi uttrycka faktorn $\frac{V}{\beta C_q} \sqrt{2\rho p_0}$ i ekv. 9 på följande sätt (genom att ta ekv. 16 till hjälp)

$$\frac{V}{\beta C_q} \sqrt{2\rho p_0} = a_{dos} p_0 \frac{1}{B} \quad \text{ekv. 18}$$

Insättning i ekv. 9 ger

$$5 \quad \tau = \frac{p_0}{B \left(\frac{a_{drain}}{a_{dos}} + \gamma \right)} \quad \text{ekv. 19}$$

Kännedom om systemets tidskonstant τ är nu till hjälp vid beräkning av reglerparametrarna.

Föreliggande uppfinning är inte begränsad till ovan-beskrivna föredragna utföringsformer.

- 10 Olika alternativ, modifieringar och ekvivalenter kan användas. Ovan utföringsformer skall därför inte betraktas som begränsande uppfinningens skyddsomfång vilket definieras av de bifogade patentkraven.

Patentkrav

1. Pumpsystem omfattande en pump, en injektor och en regulator med en beräkningsenhet,
 varvid regulatorn är anpassad att styra nämnda pump med en styrsignal att pumpa en
 5 vätska genom en slang till nämnda injektor som i beroende av en injektorstyrsignal öppnas
 och stängs, där tiden för en öppnings- och stängningsperiod kallas injektorperiod och
 betecknas T_S , och injektorns öppningsperiod betecknas γ ,
 k ä n n e t e c k n a d a v att injektorn är försedd med en tryckgivare anpassad att mäta
 trycket på vätskan i injektorn och att avge en tryckgivarsignal till beräkningsenheten i
 10 regulatorn och beräkningsenheten är anpassad att bestämma tryckamplituden A i injektorn
 baserat på tryckgivarsignalen, varigenom beräkningsenheten är anpassad att beräkna
 slangens slangstyvhet B som en funktion av uppmätt tryckamplitud A i injektorn,
 injektorperioden T_S och injektorns öppningsperiod γ och att regulatorn är anpassad att
 bestämma styrsignalen till pumpen baserat på slangstyvheten B .
 15
2. Pumpsystem enligt krav 1, varvid slangstyvheten B beräknas med
 ekvationen: $B = \frac{1}{T_S} \frac{A}{(1-\gamma)\gamma}$, där $0 < \gamma < 1$.
3. Pumpsystem enligt krav 1 eller 2, varvid pumpsystemet är anpassat att
 20 användas av ett SCR-system för ett fordon.
4. Pumpsystem enligt något av föregående krav, varvid pumpsystemet är
 anpassat för att pumpa vätska med högt tryck.
- 25 5. Pumpsystem enligt något av föregående krav, varvid pumpsystemet även
 omfattar en returslang, en tank och en sugslang avsedda att återföra vätska till pumpen.
6. Pumpsystem enligt något av föregående krav, varvid regulatorn är anpassad
 att styra nämnda pump med avseende på trycket i vätskan som pumpas ut.
 30
7. Pumpsystem enligt något av föregående krav, varvid slangstyvheten B beror

på en eller flera av slangens längd och diameter och slangens material.

8. Pumpsystem enligt något av föregående krav, varvid vätskan är urea.

- 5 9. Metod i ett pumpsystem, omfattande att styra en pump att pumpa en vätska genom en slang till en injektor anpassad att öppnas och stängas med en öppningsperiod som betecknas γ och en tid för hela öppnings- och stängningsperioden, benämnd injektorperiod, som betecknas T_S , mäta trycket på vätskan i injektorn,
- 10 beräkna slangens slangstyvhet B som en funktion av uppmätt tryckamplitud A i injektorn, injektorperioden T_S och injektorns öppningsperiod γ bestämma styrsignalen till pumpen baserat på B .

10. Metod enligt krav 10, varvid slangstyvheten B beräknas med ekvationen:

15
$$B = \frac{1}{T_S} \frac{A}{(1-\gamma)\gamma}, \text{ där } 0 < \gamma < 1.$$

1/2

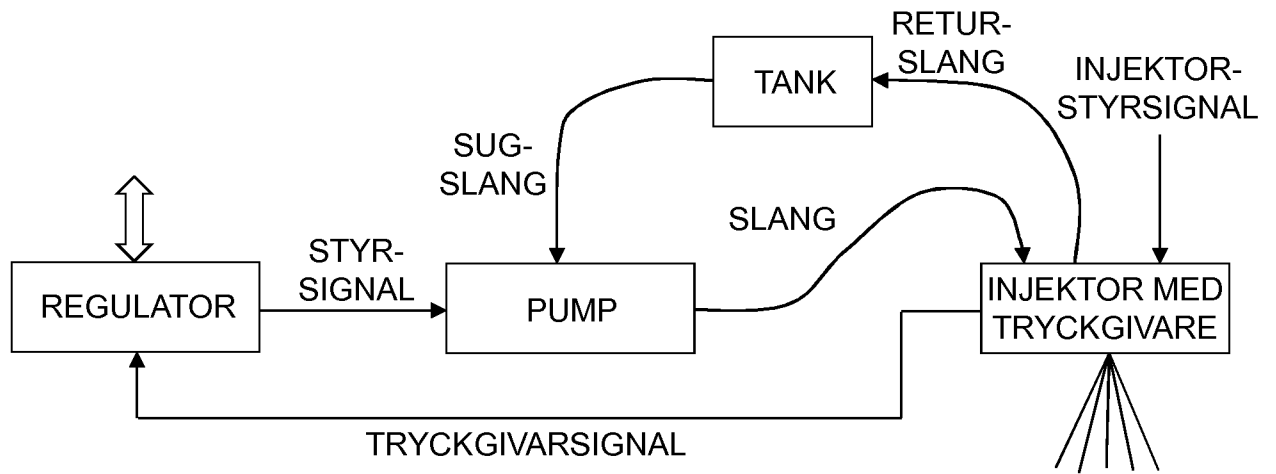


FIG. 1

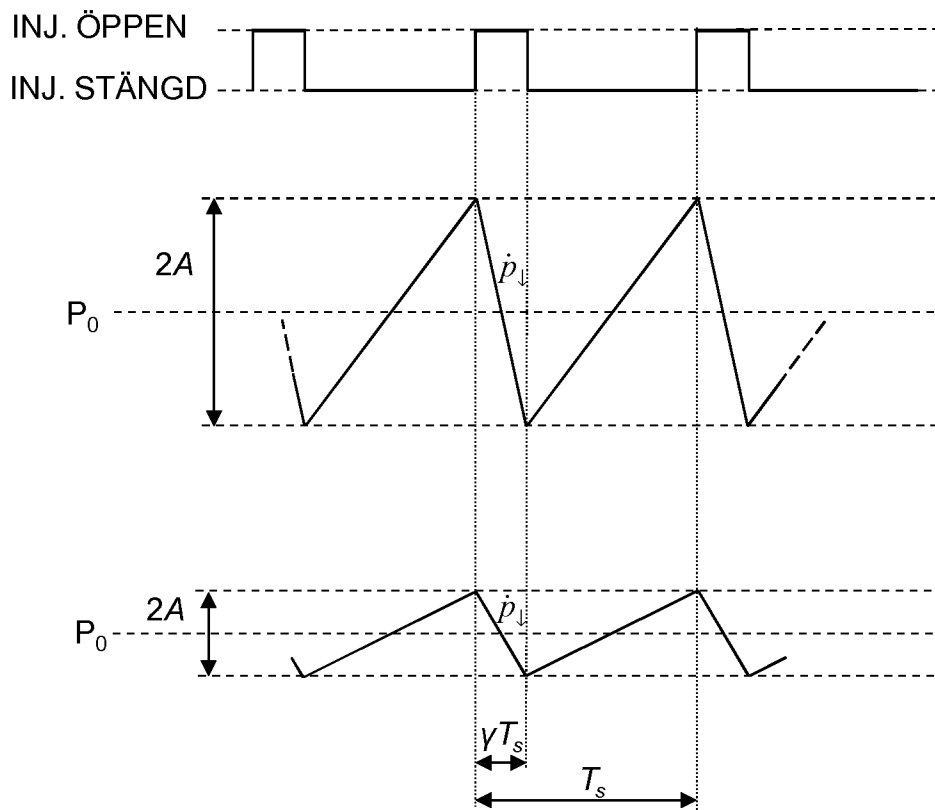


FIG. 2

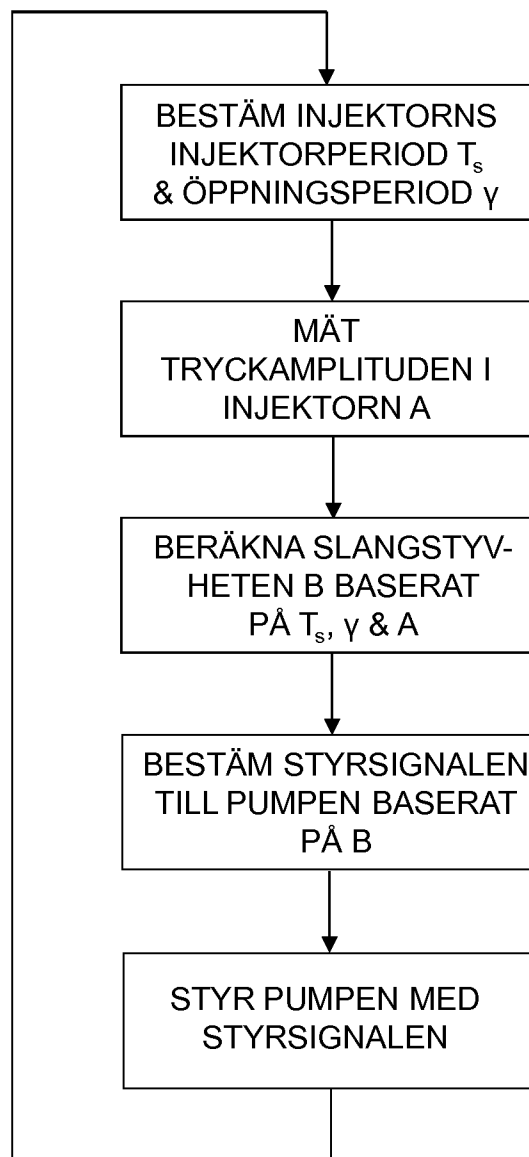


FIG. 3