

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 712 842 A2**

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **G05D 3/20** (2006.01)
F41G 5/14 (2006.01)
F16F 15/02 (2006.01)
F41G 5/06 (2006.01)

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 01009/17

(22) Anmeldedatum: 09.08.2017

(43) Anmeldung veröffentlicht: 28.02.2018

(30) Priorität: 25.08.2016
DE 10 2016 010 160.1

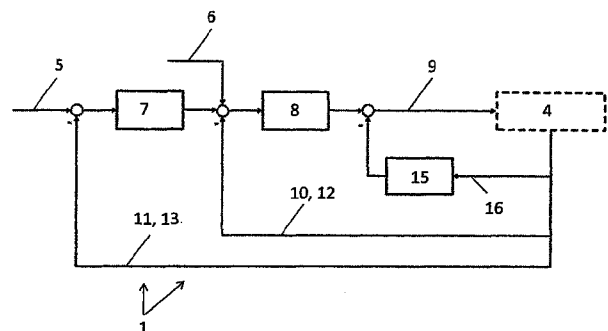
(71) Anmelder:
Rheinmetall Air Defence AG, Birchstrasse 155
8050 Zürich (CH)

(72) Erfinder:
Ezio Alfieri, 8320 Fehraltorf (CH)

(54) **Verfahren zur Regelung des Antriebs eines militärischen Geräts, insbesondere einer Waffe oder eines Sensors.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines elektrischen Antriebs eines militärischen Geräts, insbesondere einer Waffe oder eines Sensors, wobei das Gerät im Azimut und in der Elevation mittels des Antriebs ausgerichtet wird, wobei eine Regelstruktur (1) zur Regelung des Antriebs verwendet wird.

Eine Unterdrückung von Schwingungen und insbesondere Resonanzschwingungen ist effektiv dadurch möglich, dass eine lastseitige Geschwindigkeitsregelung und/oder eine lastseitige Positionsregelung vorgenommen werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung des Antriebs, insbesondere eines elektrischen Antriebs eines militärischen Geräts, insbesondere einer Waffe oder eines Geschützes, wobei eine Regelstruktur zur Regelung des Antriebs verwendet wird.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zur Regelung des elektrischen Antriebs einer Waffe, insbesondere eines Geschützes. Das Gerät wird im Azimut und in der Elevation mittels des Antriebs ausgerichtet. Hierzu können zwei Teilantriebe vorgesehen sein, wobei ein Teilantrieb oder beide Teilantriebe gemäss dem vorliegenden Verfahren geregelt wird bzw. werden. Beispielsweise kann dieses Verfahren zur Regelung des Antriebs eines Flugabwehrgeschützes, insbesondere eines Marinegeschützes eingesetzt werden. Das Geschütz kann beispielsweise ein 35 mm Kaliber aufweisen. Die Regelung der Motordrehzahl stellt eine Herausforderung dar, da der Antriebsstrang bestehend aus einem elektrischen Motor, einer elastischen Welle und einer Last eine strukturbedingte Tendenz zum Schwingen aufweist. Als Strecke bzw. Regelstrecke wird im Folgenden in einem Antriebsstrang eines gattungsgemässen Gerätes, nämlich die Einheit aus einem Motor, einem Getriebe und beispielsweise einem Zahnkranz mit einem entsprechenden Drehwinkel-Encoder verstanden. Der Motor wirkt auf das Getriebe und dieses wirkt beispielsweise auf einen Zahnkranz an einer entsprechenden Welle. Es wird ein Drehmoment an den Motor vorgegeben und dabei werden die Position und die Geschwindigkeit der entsprechenden Welle gemessen und über die Encoderwerte ermittelt.

[0003] Solche Regelstrukturen werden u.a. auch für Werkzeugmaschinen eingesetzt. Die Regelung der Motordrehzahl in Antrieben, beispielsweise von Werkzeugmaschinen, stellt eine Herausforderung dar, da der Antriebsstrang bestehend aus elektrischen Motor, Welle und Last eine strukturbedingte Tendenz zum Schwingen aufweist. Es ist wünschenswert, auch unter wechselnder Last möglichst eine konstante Motordrehzahl zu erzielen.

[0004] Der Einsatz von frequenzunterdrückenden, passiven Filtern ist nachteilig, da hierdurch die Bandbreite der Regelstrecke eingeschränkt wird.

[0005] Ferner ist bekannt, die Regelstruktur um einen inneren Regelkreis mit einem Zustandsregler zu erweitern, mit dem die aktive Dämpfung der Resonanz der Regelstrecke erzielt werden kann. Diese Regelstruktur erlaubt eine höhere Regelgüte der Motordrehzahl und eine bessere Empfindlichkeit gegen externe Störungen. Dennoch ist das Regelverhalten in Bezug auf die Sollwertnachführung und die Störunterdrückung stark gekoppelt, so dass in der Realisierung durch komplexes Anpassen eine Abwägung zwischen eben diesen Werten und der Sollwertnachführung und der Störunterdrückung vollzogen werden muss, damit sich keine Schwingungen ergeben.

[0006] Aus der DE 1 0301 765 A1 ist eine Regelstruktur zur aktiven Dämpfung niederfrequenter Schwingungen an numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen bekannt. Die Regelstruktur weist einen Drehzahlregler mit einem Proportionalteil und mit einem Integralteil auf. Ein zu einer störenden, niederfrequenten Schwingung phasenverschobenes und gleichanteilfreies, niederfrequentes Korrektursignal ist an einer Additionsstelle vor oder nach dem Integralteil aufgeschaltet. Das Korrektursignal wird in einem aktiven Dämpfungselement gebildet. Im Dämpfungselement wird zur Erzeugung des Korrektursignals an einer Additionsstelle eine Differenz aus dem mit der störenden niederfrequenten Schwingung überlagerten Soll-drehzahl eines Lagereglers und einer aus einem Lagesollwert abgeleiteten Drehzahl gebildet. Das Korrektursignal soll die unerwünschten Schwingungen dämpfen oder sogar eliminieren. Das Korrektursignal weist die Frequenz der unerwünschten Schwingung auf, ist aber gegen diese um ca. 180° phasenverschoben.

[0007] Aus der DE 10 150 710 A1 ist ein Verfahren zur Erfassung von Positionswerten von mindestens einem Funktionsträger eines rotierenden Maschinenelementes bekannt.

[0008] Der Stand der Technik ist noch nicht optimal ausgebildet. Im Stand der Technik werden die vorgenannten Regelstrukturen mit Zustandsregelung zur motorseitigen Drehzahlregelung von Werkzeugmaschinen eingesetzt. Dies ist für Werkzeugmaschinen ausreichend, da bei der Bearbeitung eines rotierenden Werkstücks die absolute Winkelposition des Werkstücks in Bezug auf die Rotationsachse nicht von Interesse ist, da das Werkzeug während der Bearbeitung eine Vielzahl von Rotationen durchläuft. Bei der Regelung einer elektrisch angetriebenen Welle eines Geschützes hingegen ist die Kenntnis über die Winkelposition der angetriebenen Welle von zentraler Bedeutung.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Regelstrecke für einen Antrieb eines militärischen Gerätes anzugeben, mit der eine Unterdrückung von Schwingungen und insbesondere Resonanzschwingungen effektiv möglich ist.

[0010] Diese der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird nun durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

[0011] Es wird eine lastseitige Geschwindigkeitsregelung und/oder eine lastseitige Positionsregelung vorgenommen. Es wird die Last an der Regelstrecke geregelt, wobei es nachrangig ist, in welchem Zustand sich andere Teile beispielsweise der Motor befinden. Es werden Sollwerte für die Lastposition und die Lastgeschwindigkeit vorgegeben. Die Erfindung erweitert die Regelstruktur um eine lastseitige Winkelpositions- und eine Geschwindigkeitsregelung. In die Regelstrecke integriert werden die Signale für die Motorposition des Antriebsmotors sowie die Motorgeschwindigkeit des Antriebsmotors. Diese beiden Signale werden durch die Motorsteuerung bereitgestellt und können ausgelesen werden und mit entsprechenden Signalgebern bestimmt werden. Die Position und die Geschwindigkeit der Last werden softwareseitig durch ein Modell der Regelstrecke bestimmt. Das Verfahren ist durch eine Software in dem Motorsteuergerät realisiert. Die Erfindung

erweitert die Regelstruktur softwareseitig. Es wird keinerlei zusätzliche Hardware ausser den Signalgebern zur Messung der Motorposition und der Motorgeschwindigkeit benötigt.

[0012] Es wird eine kaskadierende Regelstruktur verwendet. Ein erster innerer Regelkreis kann einen Zustandsregler aufweisen. Ein zweiter innerer oder mittlerer Regelkreis wird für die lastseitige Geschwindigkeitsregelung und ein dritter äusserer Regelkreis wird für die lastseitige Positionsregelung verwendet. Diese Regelung ist der Regelung für zwei Motoren des Geschützes vorgeschaltet. Mittels der beiden Motoren ist die Ausrichtung um je eine Achse, beispielsweise in Azimut oder der Elevationsachse ausführbar. Die zwei Motoren sind in besonders bevorzugter Ausgestaltung gegeneinander verspannt. Die Regelstruktur wird zur Regelung von zwei gegeneinander verspannten Motoren verwendet.

[0013] In besonders bevorzugter Ausgestaltung wird der Antrieb eines Marinegeschützes geregelt. Die Horizontstellung des Marinegeschützes gegen die Schiffsbewegung wird dabei geregelt. Bei dieser Regelung muss die Haftreibung des Antriebs überwunden werden. Das erfindungsgemässe Verfahren regelt allerdings so schnell, dass das System nicht mehr in den Zustand der Haftreibung kommt, wodurch die Güte der Stabilisierung stark erhöht wird. Dabei werden Schwingungen sowie Ruckeln weitestgehend, insbesondere vollständig eliminiert.

[0014] Das erfindungsgemässe Verfahren hat den Vorteil, dass eine aktive Dämpfung mittels einer Regelstrecke erfolgt, wodurch Schwingungen eliminiert werden. Ferner erfolgt eine Regelung eines Antriebs auf der Lastseite statt auf der Motorseite. Es erfolgt eine Winkelpositionsregelung für Drehachsen in militärischen Anwendungen.

[0015] Mittels eines Zustandsreglers erfolgt eine aktive Dämpfung der Resonanz und somit eine Verbesserung der Regelgüte der Lastposition und der Lastgeschwindigkeit sowie eine effektive Unterdrückung externer Störungen. Durch die aktive Dämpfung wird das Problem der Resonanz der Regelstrecke gelöst und stellt damit keine Symptombekämpfung von in der Strecke auftretenden Regelproblemen dar. Eine Sollwertnachführung und eine Empfindlichkeit auf Störung können besser einzeln verstellt werden. Der nutzbare Frequenzbereich wird erweitert. Für die Waffe und ihre Steuerung ergibt sich somit eine erhöhte Präzision.

[0016] Ein Hauptanwendungsgebiet des Verfahrens ist ein Geschütz mit elektrisch angetriebenen Azimut- und Elevationsachsen, insbesondere ein Marinegeschütz mit der Notwendigkeit zur Horizontpositionsregelung unter der Schiffsbewegung. Weitere Anwendungsgebiete der Erfindung sind Sensoren, Tracker, Laser oder dergleichen. Solche militärischen Geräte sind ebenfalls im Azimut und/oder Elevation mittels der entsprechenden Antriebe bzw. mittels des entsprechenden Antriebs ausrichtbar.

[0017] In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens wird eine Reibungskompensation verwendet, wobei mittels eines statischen Modells im Voraus bestimmte Parameter bestimmt werden, wobei mittels des Modells die nötigen Reibungskompensationswerte als Vorsteuerung berechnet werden. Reibung in einem Antriebsstrang ist ein komplexes, stark nicht lineares Phänomen, das von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Reibung kann in Haftreibung und Gleitreibung unterschieden werden. Insbesondere die Haftreibung wird vorzugsweise bei der Regelung berücksichtigt, um Positions- und Geschwindigkeitsregelfehler im Folgeverhalten eines Antriebs während eines Geschwindigkeitsnulldurchgangs zu vermeiden. Es kann hierzu ein statisches Modell eingesetzt werden, mit im Voraus bestimmten Parametern, das die nötigen Reibungskompensationswerte als Vorsteuerung berechnet. Dieses Konzept kann ausreichend sein, obwohl es keine veränderlichen Faktoren wie Temperatur, Alterung, Fertigungstoleranzen berücksichtigt und kompensiert.

[0018] In bevorzugter Ausgestaltung wird eine adaptive Störgrössenkompensation verwendet, wobei während der Laufzeit des Verfahrens Störgrössenkompensationswerte anhand eines dynamischen Modells und anhand von Messwerten aus der Regelstrecke bestimmt werden. Dies umfasst eine Reibungskompensation, in dem die Reibungskompensationswerte anhand eines dynamischen Modells und anhand von Messwerten aus der Regelstrecke im Betrieb, d.h. online bestimmt werden. Dies hat den Vorteil, dass eine adaptive Reibungskompensation in Form einer adaptiven, allgemeinen Störgrössenkompensation stets korrekte Kompensationswerte über die gesamte Lebensdauer des Antriebsstrangs unabhängig von veränderlichen Umgebungsfaktoren wie z.B. der Temperatur liefert. Mittels dieser adaptiven Störgrössenkompensation wird nicht nur die Reibung berücksichtigt, sondern es können auch weitere Störgrössen automatisch berücksichtigt werden. Die adaptive Störgrössenkompensation wird online, d.h. während der Ausführung des Verfahrens anhand des dynamischen Modells und anhand der Messwerte aus der Regelstrecke vorgenommen.

[0019] Die eingangs genannten Nachteile sind daher vermieden und entsprechende Vorteile sind erzielt.

[0020] Es gibt nun eine Vielzahl von Möglichkeiten, das erfindungsgemässe Verfahren auszugestalten und weiterzubilden. Hierfür darf zunächst auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche verwiesen werden. Im Folgenden werden drei bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung anhand der Zeichnung und der dazugehörigen Beschreibung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine erste Regelstruktur mit einer Zustandsregelung,

Fig. 2 eine zweite Regelstruktur mit einer zusätzlichen Reibungskompensation, und

Fig. 3 eine dritte Regelstruktur mit einer adaptiven Störgrössenkompensation.

[0021] Anhand der Fig. 1 bis 3 darf nun ein Verfahren zur Regelung eines elektrischen Antriebs eines militärischen Geräts, insbesondere eines Geschützes oder eines Sensors erläutert werden. Mittels des elektrischen Antriebs kann das Gerät im Azimut und/oder Elevation ausgerichtet werden. Der Antrieb weist dabei insbesondere zwei gegeneinander verspannte Elektromotoren auf (nicht dargestellt), um das Gerät in Azimut auszurichten und/oder zwei gegeneinander verspannte Elektromotoren, um das Gerät in der Elevation auszurichten. Das Gerät ist insbesondere als Geschütz, vorzugsweise als Marinegeschütz ausgebildet. In den Fig. 1 bis 3 sind nun unterschiedliche Regelstrukturen 1, 2, 3 dargestellt. Die Regelstrukturen dienen zur Regelung des Antriebs bzw. werden zur Regelung des Antriebs verwendet.

[0022] Im Folgenden dürfen zunächst die Gemeinsamkeiten der Regelstrukturen 1, 2, 3 erläutert werden, danach darf auf die Unterschiede der Regelstrukturen 2 und 3 bezüglich der Regelstruktur 1 in Fig. 1 näher eingegangen werden. Als Regelstrecke 4 dient bei dem Gerät bzw. bei dem Geschütz die Einheit aus dem Motor, dem Getriebe und insbesondere dem Zahnkranz einer Drehachse, wobei die Drehachse mit einem Drehwinkel-Encoder versehen ist. Der Motor wirkt auf das Getriebe und das Getriebe wirkt auf den Zahnkranz. Die Regelstrecke 4 ist in den Fig. 1 bis 3 durch einen gestrichelten Kasten dargestellt. Eingangsgrößen der Regelstrukturen 1, 2, 3 sind zum einen ein Sollwert 5 für die Lastposition sowie ein Sollwert 6 für die Lastgeschwindigkeit. Der Sollwert 5 für die Lastposition wird einem Positionsregler 7 zugeführt. Der Ausgang des Positionsreglers 7 sowie der Sollwert 6 für die Lastgeschwindigkeit wird einem nachgeordneten Geschwindigkeitsregler 8 zugeführt. Der Ausgang des Geschwindigkeitsreglers 8 liefert nun ein Motorsteuersignal 9, das der Regelstrecke 4 zugeführt wird.

[0023] Die eingangs genannten Nachteile sind nun dadurch vermieden, dass eine lastseitige Geschwindigkeitsregelung und/oder eine lastseitige Positionsregelung vorgenommen werden. Ein Regelkreis 10 dient dabei zur Durchführung der lastseitigen Geschwindigkeitsregelung und ein Regelkreis 11 dient zur lastseitigen Positionsregelung. Von der Regelstrecke 4 wird dabei eine Lastgeschwindigkeit 12 zum Eingang des Geschwindigkeitsreglers 8 zurückgeführt, wobei die Differenz aus dem Sollwert 6 für die Lastgeschwindigkeit und der Lastgeschwindigkeit 12 gebildet wird.

[0024] Eine Lastposition 13 wird ferner von der Regelstrecke 4 zum Eingang des Positionsreglers 7 zurückgeführt, wobei eine Differenz zwischen dem Sollwert für die Lastposition 5 und der Lastposition 13 gebildet wird. Der Regelkreis 11 zur Regelung der Lastposition bildet dabei einen äusseren Regelkreis 11. Der Regelkreis 10 bildet einen inneren Regelkreis 10, wodurch jeweils eine kaskadierende Regelstruktur 1, 2, 3 ausgebildet ist.

[0025] In der Fig. 1 dargestellten Ausgestaltung bildet der Regelkreis 10 einen mittleren Regelkreis. Es ist ein weiterer innerer Regelkreis 14 mit einem Zustandsregler 15 vorhanden. Hierbei werden ausgehend von der Regelstrecke 4 dem Zustandsregler 15 Zustände 16 der Regelstrecke 4 zugeführt und über den Zustandsregler 15 zum Ausgang des Geschwindigkeitsreglers 8 zurückgeführt durch Differenzbildung in das Motorsteuersignal umgerechnet. Durch den zusätzlichen Zustandsregler 15 kann eine aktive Dämpfung der Resonanz erreicht werden und somit eine bessere Regelgüte der Lastposition und der Lastgeschwindigkeit sowie eine effektive Unterdrückung von externen Störungen erzielt werden.

[0026] Die in Fig. 2 dargestellte Regelstruktur 2 weist nun eine Reibungskompensation 17 auf. Reibung in dem Antriebsstrang ist ein komplexes, stark nicht lineares Phänomen, das von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Die Reibung unterscheidet sich in Haftreibung und Gleitreibung und kann zu Regelfehlern führen. Deswegen wird dieser Ausgestaltung ein statisches Modell eingesetzt mit im Voraus bestimmten Parametern, das die nötigen Reibungskompensationswerte als Vorsteuerung berechnet. Die Vorsteuerung erfolgt am Ausgang des Geschwindigkeitsreglers 8. Nachteilig an dieser Ausgestaltung ist, dass die Reibungskompensation veränderliche Faktoren wie Temperatur, Alterung, Fertigungstoleranzen nicht berücksichtigt und kompensieren kann.

[0027] Daher darf nun auf die bevorzugte Regelstruktur 3 in Fig. 3 näher eingegangen werden. In Fig. 3 ist ein weiterer Regelkreis 18 dargestellt, wobei der Regelkreis 18 eine adaptive Störgrössenkompensation 19 aufweist. Es werden dabei Reibungskompensationswerte und im Allgemeinen die Werte der auf den Antriebsstrang wirkenden Störgrössen online anhand eines dynamischen Modells und anhand von Messwerten aus der Regelstrecke 4 bestimmt. Somit liefert diese adaptive Störgrössenkompensation 19 stets korrekte Kompensationswerte über die gesamte Lebensdauer des Antriebsstrangs in Abhängigkeit von veränderlichen Umgebungsfaktoren, wie z.B. der Temperatur.

[0028] Die eingangs genannten Nachteile sind daher vermieden, entsprechende Vorteile sind erzielt.

Bezugszeichenliste

[0029]

- 1 Regelstruktur
- 2 Regelstruktur
- 3 Regelstruktur
- 4 Regelstrecke
- 5 Sollwert für Lastposition

- 6 Sollwert für Lastgeschwindigkeit
- 7 Positionsregler
- 8 Geschwindigkeitsregler
- 9 Motorsteuersignal
- 10 Regelkreis (lastseitige Geschwindigkeitsregelung)
- 11 Regelkreis
- 12 Lastgeschwindigkeit
- 13 Lastposition
- 14 Regelkreis
- 15 Zustandsregler
- 16 Zustände der Regelstrecke
- 17 Reibungskompensation
- 18 Regelkreis (Störgrössenkompensation)
- 19 adaptive Störgrössenkompensation

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines elektrischen Antriebs eines militärischen Geräts, insbesondere eine Waffe oder eines Sensors, wobei das Gerät im Azimut und Elevation mittels des Antriebs ausgerichtet wird, wobei eine Regelstruktur (1, 2, 3) zur Regelung des Antriebs verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, dass eine lastseitige Geschwindigkeitsregelung und/oder eine lastseitige Positionsregelung vorgenommen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines Zustandsreglers (15) eine Resonanz der Regelstrecke (4) gedämpft wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine kaskadierte Regelstruktur (1, 2, 3) verwendet wird, wobei ein äusserer Regelkreis (11) für die lastseitige Positionsregelung und innerer Regelkreis (10) für die lastseitige Geschwindigkeitsregelung verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein weiterer innerer Regelkreis (14) den Zustandsregler (15) aufweist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelstruktur (1, 2, 3) zur Regelung von zwei gegeneinander verspannten Motoren verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Antrieb eines Marinegeschützes geregelt wird, wobei die Horizontstellung des Marinegeschützes gegen eine Schiffsbewegung geregelt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine adaptive Störgrössenkompensation (19) verwendet wird, wobei während der Laufzeit des Verfahrens Störgrössenkompensationswerte (19) anhand eines dynamischen Modells und anhand von Messwerten aus der Regelstrecke (4) bestimmt werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Reibungskompensation (17) verwendet wird, wobei mittels eines statischen Modells im Voraus bestimmte Parameter bestimmt werden, wobei mittels des Modells die nötigen Reibungskompensationswerte als Vorsteuerung berechnet werden.

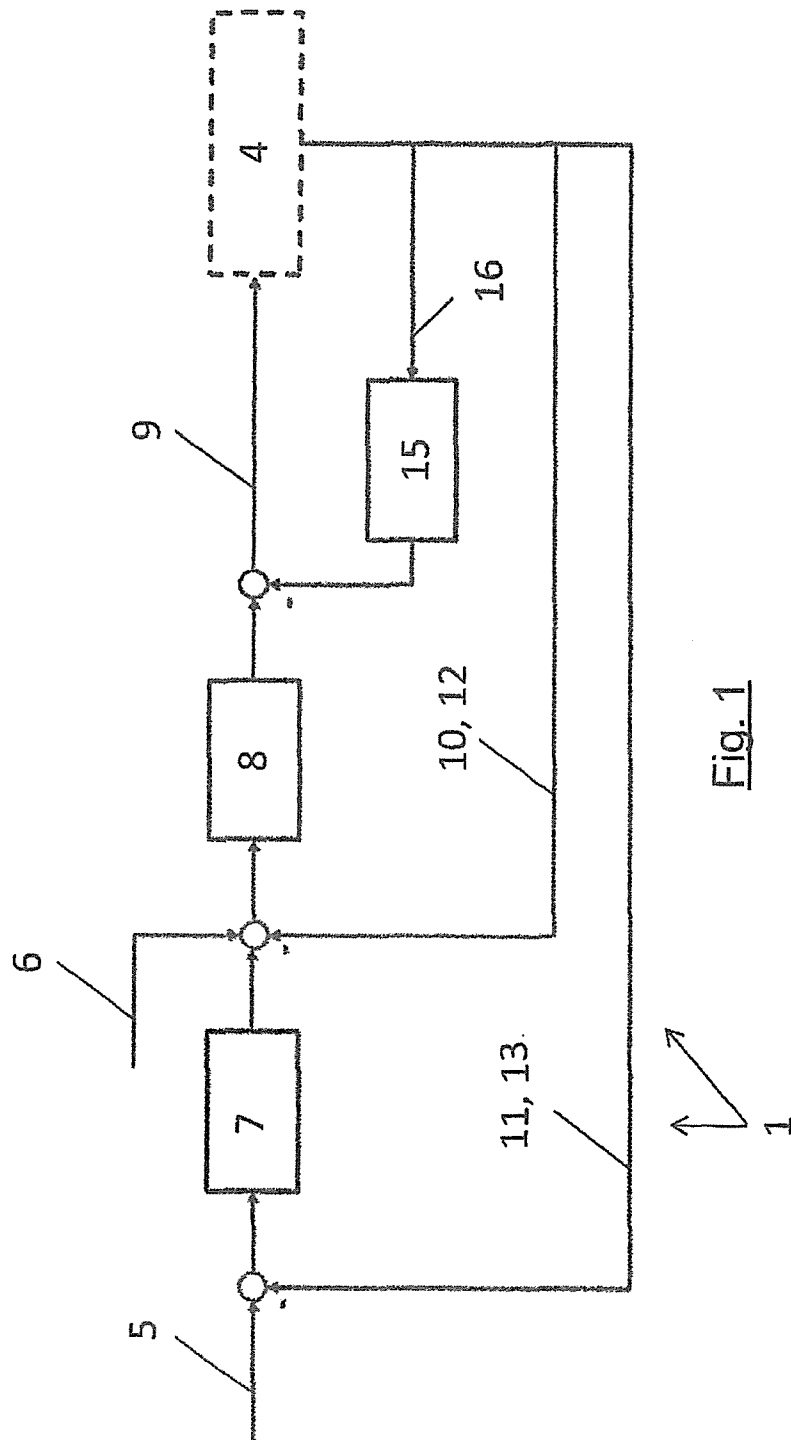


Fig. 1

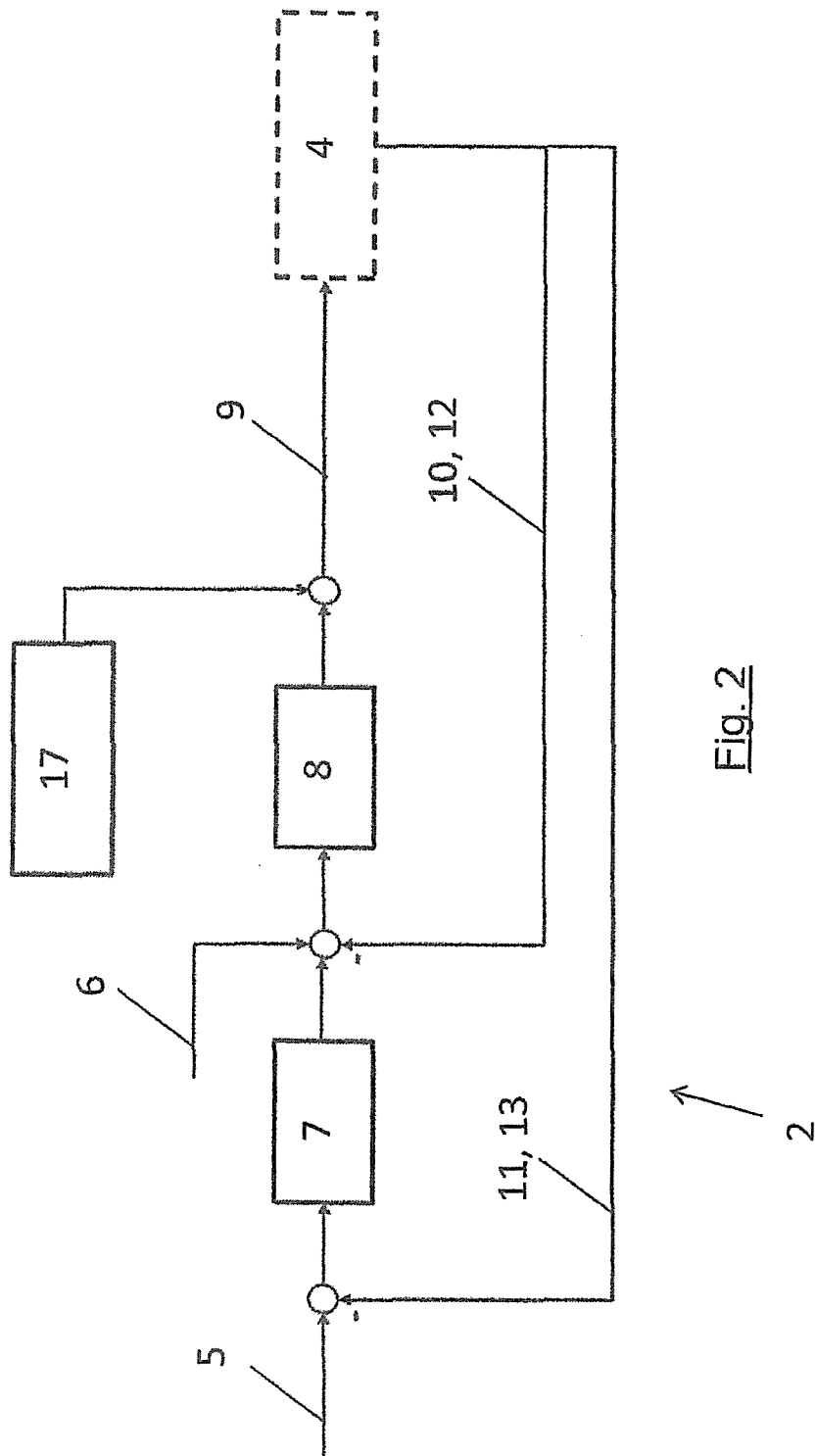


Fig. 2

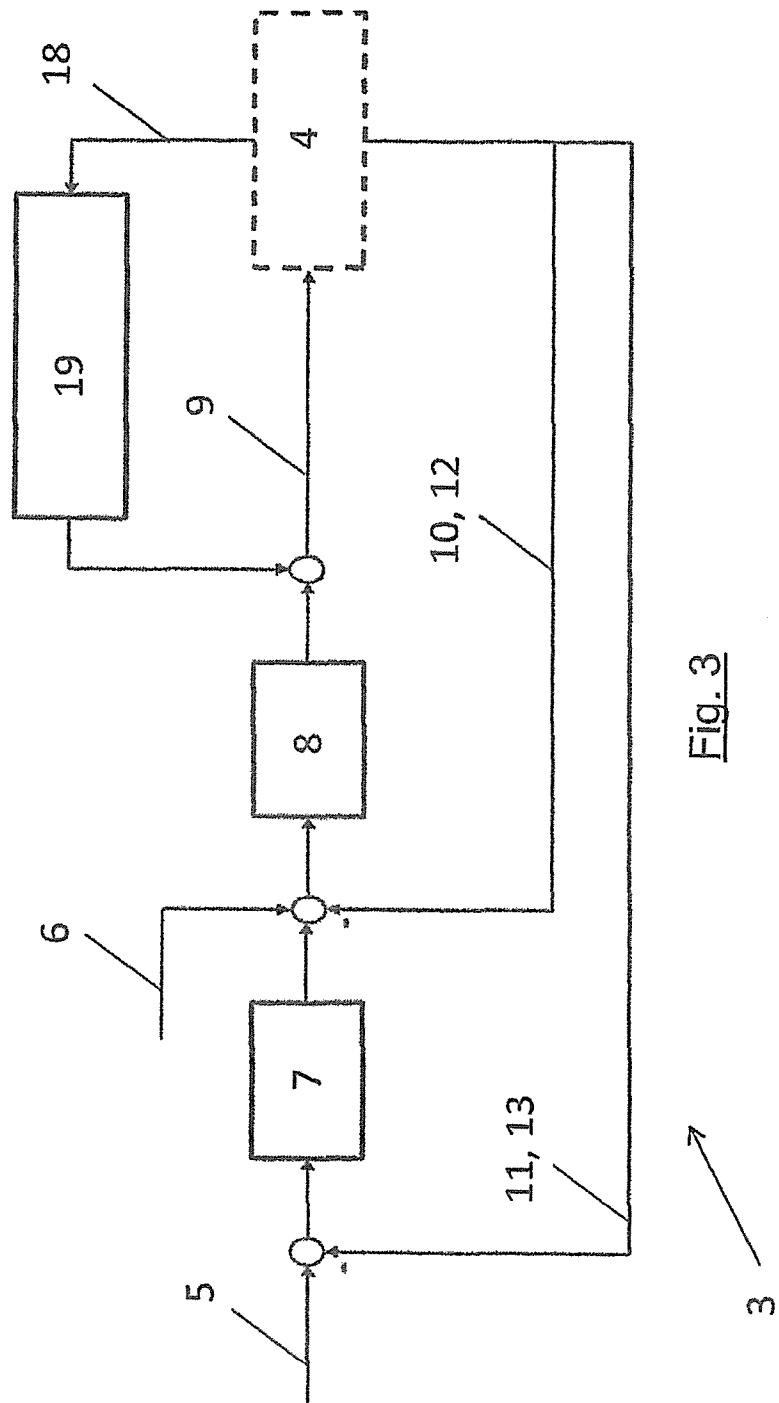


Fig. 3