

(19)



(11)

EP 2 912 309 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
11.11.2020 Patentblatt 2020/46

(51) Int Cl.:
F04B 7/00 (2006.01) F04B 49/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13782945.3**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2013/100340

(22) Anmeldetag: **23.09.2013**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2014/048418 (03.04.2014 Gazette 2014/14)

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ANSTEUERUNG EINER ELEKTRISCH KOMMUTIERTEN FLUIDARBEITSMASCHINE

METHOD AND DEVICE FOR ACTUATING AN ELECTRICALLY COMMUTATED FLUID WORKING MACHINE

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF POUR COMMANDER UNE MACHINE HYDRAULIQUE À COMMUTATION ÉLECTRIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **26.09.2012 DE 102012109074**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.09.2015 Patentblatt 2015/36

(73) Patentinhaber: **Danfoss Power Solutions GmbH & Co. OHG**
31141 Neumünster (DE)

(72) Erfinder: **FINK, Sven**
25791 Linden (DE)

(74) Vertreter: **Nestler, Jan Hendrik**
Patentanwalt
Karlstrasse 42
71638 Ludwigsburg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 211 058 EP-A1- 2 246 565
EP-A2- 1 717 446 WO-A1-91/05163
DE-A1-102008 064 408 US-A1- 2011 253 918
US-A1- 2012 076 670

EP 2 912 309 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ansteuerung einer vorzugsweise elektrisch kommutierten Fluidarbeitsmaschine. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Steuervorrichtung zur Ansteuerung einer vorzugsweise elektrisch kommutierten Fluidarbeitsmaschine. Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine Fluidarbeitsmaschine, insbesondere eine elektrisch kommutierte Fluidarbeitsmaschine.

[0002] Fluidarbeitsmaschinen werden zwischenzeitlich in der Technik für unterschiedlichste Anwendungsgebiete benutzt. Ganz allgemein werden Fluidarbeitsmaschinen benutzt, wenn Fluide gepumpt werden müssen oder Fluide dazu benutzt werden, eine Fluidarbeitsmaschine anzutreiben, wenn diese in einem Motor-Modus betrieben wird. Auf diese Weise ist es beispielsweise auch möglich, dass mechanische Energie unter "Zwischenschaltung" eines Fluidkreislaufts von einem Ort zu einem anderen transportiert werden kann.

[0003] Der Begriff "Fluid" kann sich dabei sowohl auf Gase, als auch auf Flüssigkeiten beziehen. Auch ist es möglich, dass es sich bei dem "Fluid" um ein Gemisch aus Gasen und Flüssigkeiten handelt. Auch kann unter einem Fluid ein überkritisches Fluid verstanden werden, bei dem keine Unterscheidung zwischen dem gasförmigen und dem flüssigen Aggregatzustand mehr gemacht werden kann. Im Übrigen ist es auch unschädlich, wenn eine Flüssigkeit und/oder ein Gas einen bestimmten Anteil an Festkörpern mitführt (Suspension bzw. Rauch).

[0004] Ein erstes Anwendungsgebiet von Fluidarbeitsmaschinen besteht darin, das Druckniveau eines Fluides zum Teil deutlich zu erhöhen. Beispiele für derartige Fluidarbeitsmaschinen sind Luftkompressoren oder Hydraulikpumpen. Auch kann ein Fluid zur Erzeugung mechanischer Leistung genutzt werden, wobei in der Regel pneumatische Motoren oder Hydraulikmotoren verwendet werden.

[0005] Eine oft genutzte Bauform für Fluidarbeitsmaschinen besteht darin, dass eine oder mehrere Arbeitskammern, die im Betrieb ein zyklisch variierendes Volumen aufweisen, verwendet werden. Dabei werden für jede Arbeitskammer zumindest ein Einlassventil und zumindest ein Auslassventil zur Verfügung gestellt.

[0006] Bei der bislang im Stand der Technik verbreitetsten Bauform handelt es sich bei den Einlass- und Auslassventilen um sogenannte passive Ventile. Diese öffnen sich, wenn in Durchlassrichtung ein Druckunterschied anliegt, wohingegen sie schließen, wenn ein Druckunterschied entgegen der Durchlassrichtung anliegt. Meistens sind die passiven Ventile auch vorbelastet, so dass sie sich im Normalzustand selbsttätig schließen (zum Beispiel federbelastete Ventile).

[0007] Werden derartige passive Ventile beispielsweise bei einer Fluidpumpe verwendet, so ist der Aufbau derart, dass sich ein Fluideinlassventil öffnet, wenn sich das Volumen der dazugehörigen Arbeitskammer vergrößert. Sobald sich das Volumen der Arbeitskammer wie-

der verkleinert, schließt das Fluideinlassventil, während sich das Fluidausgangsventil öffnet. Auf diese Weise wird durch die zyklischen Volumenschwankungen der Arbeitskammer Fluid "in eine Richtung" gepumpt.

[0008] Bei elektrisch kommutierten Fluidarbeitsmaschinen wird zumindest eines der passiven Fluidventile durch ein elektrisch ansteuerbares Ventil ersetzt. Derartige Fluidarbeitsmaschinen sind im englischsprachigen Sprachraum zum Teil unter dem Begriff synthetically commutated hydraulic machines bzw. digital displacement pumps bekannt. Derartige elektrisch kommutierte Fluidarbeitsmaschinen sind beispielsweise in der Europäischen Patentanmeldung EP 0 494 236 B1 oder in der Internationalen Patentanmeldung WO 91/05163 A1 beschrieben.

[0009] Wenn beispielsweise bei einer elektrisch kommutierten Hydraulikpumpe das passive Fluideinlassventil durch ein elektrisch ansteuerbares Ventil ersetzt ist, so ist es möglich, dass man das Eingangsventil (zunächst) in der geöffneten Stellung belässt, wenn sich die Arbeitskammer zu verkleinern beginnt. Dadurch wird das in der Arbeitskammer eingeschlossene Fluid ohne "echte" Arbeit zu verrichten zurück in das Fluidreservoir befördert. Erst wenn durch einen elektrischen Steuerpuls das elektrisch ansteuerbare Eingangsventil geschlossen wird, wird das noch in der Arbeitskammer verbliebene Fluid über ein passives Fluidausgangsventil in Richtung einer Hochdruckleitung gepumpt. Durch diesen besonderen Aufbau ist es möglich, dass der von der elektrisch kommutierten Hydraulikpumpe "effektiv" gepumpte Hydraulikölstrom extrem schnell und insbesondere von einem Pumpenhub zum nächsten deutlich verändert werden kann. Dies hat wiederum den Vorteil, dass keine Fluidpuffer vorgesehen werden müssen und in aller Regel kein unter Hochdruck stehendes Fluid "unnütz" über Sicherheitsventile abgelassen werden muss. Dadurch können derartige synthetisch kommutierte Hydraulikpumpen zum Teil deutlich wirtschaftlicher als herkömmliche Arbeitspumpen arbeiten.

[0010] Ersetzt man sowohl das Fluideinlassventil, als auch das Fluidausgangsventil durch elektrisch ansteuerbare Ventile, so kann man auch einen sehr schnell regelbaren Hydraulikmotor realisieren.

[0011] Um den von einer elektrisch kommutierten Fluidpumpe geförderten Fluidstrom (im Falle eines Fluidmotors gilt das Gleiche in Analogie) auf den jeweils aktuell nachgefragten Fluidstrom anzupassen, sind unterschiedliche Verfahren und Algorithmen beschrieben worden.

[0012] Beispielsweise wurde in der Europäischen Patentanmeldung EP 1 537 333 B1 ein Verfahren beschrieben, bei dem ein bestimmter Fluidstrom dadurch erzeugt wird, dass eine Aneinanderreihung von vollständigen Pumpenhüben ("full-stroke pumping modes"), Teil-Pumpenhüben ("part-stroke pumping modes") und Leerlauf-Pumpenhüben ("idle-stroke pumping modes") realisiert wird, wobei im Mittel die tatsächlich nachgefragte Fördermenge bereitgestellt wird. Um eine ausreichende

Glättung zu realisieren wird ein Hochdruck-Puffervolumen zur Verfügung gestellt, welches jedoch gegenüber herkömmlichen Hydraulikpumpen ein kleineres Volumen aufweist. Während in EP 1 537 333 B1 die Teillast-Pumpenhübe mit einem fixen Pumpvolumen von stets etwa 17 % durchgeführt werden, wurde das dort beschriebene Verfahren in EP 2 246 565 A1 verfeinert. Dort wird (zunächst) vorgeschlagen, für die Teil-Pumpenhübe im Wesentlichen beliebige Teilvolumina zuzulassen. Nur wenn die Fluidströmungsgeschwindigkeit durch das Eingangsventil zu hoch wird, werden bestimmte Volumenbereiche ausgeklammert, um eine Lärmentwicklung bzw. einen vorzeitigen Verschleiß des Eingangsventils und/oder der elektrisch kommutierten Hydraulikpumpe zu vermeiden. Speziell bei dem in EP 2 246 565 A1 vorgeschlagenen Verfahren wird über einen geeigneten Algorithmus nicht nur die Pumpmenge des unmittelbar folgenden Arbeitshubes berechnet, sondern es werden zu einem gewissen Zeitpunkt mehrere unmittelbar bevorstehende Arbeitshübe vorausberechnet. Dadurch wird die Qualität des erzeugten Fluidstroms in der Regel besser. Insbesondere können Rest-Pulsationen noch weiter unterdrückt werden.

[0013] US 2012/076670 A1 beschreibt ein Verfahren zum Betreiben einer Fluidarbeitsmaschine, bei dem das Volumen des Arbeitsfluids, das während jedes Zyklus des Arbeitskammervolumens verdrängt wird unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit anderer Arbeitskammern ausgewählt wird. Der Status jeder Arbeitskammer wird überwacht und eine Arbeitskammer wird als nicht verfügbar behandelt, wenn eine Fehlfunktion festgestellt wird. Eine Arbeitskammer kann als nicht verfügbar behandelt werden, wenn sie einer alternativen Arbeitsfunktion zugeordnet ist. Ein Fehler kann in einer Arbeitskammer erkannt werden, indem bestimmt wird, ob ein gemessener Ausgangsparameter der Fluidarbeitsmaschine mindestens ein akzeptables Funktionskriterium erfüllt, wobei die zuvor ausgewählte Nettoverdrängung des Arbeitsfluids durch eine Arbeitskammer während eines Zyklus des Arbeitskammervolumens berücksichtigt wird.

[0014] EP 1 717 446 A2 offenbart eine Pumpe mit einem Gehäuse, das eine Kompressionskammer zur Druckbeaufschlagung eines Fluids und einen Fluidkanal zum Leiten des Fluids in die Kompressionskammer aufweist. Ein Ventil befindet sich in der Mitte des Fluidkanals, um den Fluidkanal zu Öffnen und zu Schließen. Ein Magnetaktuator zur Betätigung des Ventils befindet sich auf einer in Bezug auf das Ventil im Wesentlichen der Kompressionskammer gegenüberliegenden Seite. Ein Regelement befindet sich zwischen dem Ventil und dem Magnetaktuator, um zu vermeiden, dass der Flüssigkeitsdruck in der Kompressionskammer auf den Magnetantrieb des Ventils einwirkt.

[0015] US 2011/253918 A1 betrifft einen Ventilaktuator, der einen Magnetkern mit einem Zwischenraum und mindestens einem Bifurkationszweig, mindestens eine variable Magnetfelderzeugungsvorrichtung, mindestens eine Permanentmagnetfelderzeugungsvorrichtung und

mindestens eine bewegliche Magnetkomponente aufweist, wobei der Bifurkationszweig einen ersten Bereich und einen zweiten Bereich des Magnetkerns definiert.

[0016] Obgleich elektrisch kommutierte Hydraulikpumpen zwischenzeitlich einen durchaus beachtlichen Entwicklungsstand erreicht haben, besteht nach wie vor Bedarf an weiteren Verbesserungen. Insbesondere besteht ein derzeitiges Forschungsziel darin, elektrisch kommutierte Hydraulikpumpen noch kleiner und leichter zu machen, deren Anschaffungs- und Betriebskosten weiter zu verringern und deren Energiebedarf - insbesondere deren elektrischen Energiebedarf - weiter zu verringern.

[0017] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, ein Verfahren zur Ansteuerung einer Fluidarbeitsmaschine vorzuschlagen, welches gegenüber im Stand der Technik bekannter Verfahren zur Ansteuerung von Fluidarbeitsmaschinen verbessert ist. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Steuervorrichtung für Fluidarbeitsmaschinen vorzuschlagen, welche gegenüber im Stand der Technik bekannter Steuerungen für Fluidarbeitsmaschinen verbessert ist. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Fluidarbeitsmaschine vorzuschlagen, welche gegenüber im Stand der Technik bekannter Fluidarbeitsmaschinen verbesserte Eigenschaften aufweist.

[0018] Die Erfindung löst diese Aufgaben.

[0019] Es wird vorgeschlagen, ein Verfahren zur Ansteuerung einer Fluidarbeitsmaschine, wobei die Fluidarbeitsmaschine zumindest eine Arbeitskammer mit einem zyklisch variierenden Volumen, eine Hochdruckfluidverbindung, eine Niederdruckfluidverbindung, zumindest ein elektrisch ansteuerbares Ventil zur ansteuerbaren Verbindung der Hochdruckfluidverbindung und/oder der Niederdruckfluidverbindung mit der Arbeitskammer aufweist, und wobei die Ansteuerung des zumindest einen elektrisch ansteuerbaren Ventils in Abhängigkeit von dem Fluidbedarf und/oder dem mechanischen Leistungsbedarf erfolgt, derart durchzuführen, dass die Ansteuerung des zumindest einen elektrisch ansteuerbaren Ventils zumindest zeitweise zusätzlich in Abhängigkeit von der für die Ansteuerung des zumindest einen elektrisch ansteuerbaren Ventils erforderlichen elektrischen Leistung erfolgt, wobei zumindest eine obere elektrische Leistungsgrenze derart berücksichtigt wird, dass diese nicht überschritten wird. Mit anderen Worten kann es sich bei dem vorgeschlagenen Verfahren um ein Verfahren zur Ansteuerung einer elektrisch kommutierten Fluidarbeitsmaschine handeln, wobei die Ansteuerung zumindest eines elektrisch ansteuerbaren Ventils (insbesondere eines Fluideinlassventils und/oder Fluidauslassventils für zumindest eine Arbeitskammer) zumindest zeitweise zusätzlich in Abhängigkeit von der für die Ansteuerung des zumindest einen elektrisch ansteuerbaren Ventils erforderlichen elektrischen Leistung erfolgt. Bei den bisherigen Entwicklungen wurde bei der Ansteuerung der elektrisch kommutierten Fluidarbeitsmaschine der Hauptaugenmerk auf einen möglichst vorteilhaften

Fluidstrom (im Falle eines Betriebs als Hydraulikpumpe) bzw. die erzeugte mechanische Leistung (im Falle des Betriebs als Hydraulikmotor) gelegt. Hierbei wurden "Nebeneffekte" nicht weiter bedacht. Lediglich in Fällen, in denen durch besonders ungünstige Ansteuerungsmuster ein nicht akzeptables Betriebsgeräusch und/oder ein nicht tolerierbarer erhöhter mechanischer Verschleiß aufgetreten sind, wurde diesbezüglich "eine Ausnahme" gemacht. Zwischenzeitlich haben die Erfinder jedoch zu ihrer eigenen Überraschung festgestellt, dass elektrisch kommutierte Hydraulikpumpen zwischenzeitlich einen Entwicklungsstand erreicht haben, dass die für den Betrieb der elektrisch ansteuerbaren Fluidventile erforderliche Leistung eine zum Teil beachtliche Rolle spielen kann. Um die elektrisch ansteuerbaren Fluidventile sehr schnell und präzise schalten zu können, sind nämlich erhebliche elektrische Ströme vonnöten, so dass eine entsprechende elektrische Leistung zum Betrieb derselben erforderlich ist. Dementsprechend muss eine entsprechende elektrische Leistung beispielsweise beim mobilen Betrieb (Gabelstapler, Fahrzeuge, Nutzfahrzeuge, Bagger und dergleichen) durch entsprechend dimensionierte Generatoren zur Verfügung gestellt werden. Zum Antrieb des Generators wiederum dient beispielsweise ein Verbrennungsmotor. Dabei kann der erforderliche elektrische Strom durchaus einen nicht unbedeutenden Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch haben. Darüber hinaus müssen aber auch Generator, gegebenenfalls zur Zwischenpufferung genutzte Batterien und insbesondere auch die zur Ansteuerung der elektrisch ansteuerbaren Ventile genutzte Leistungselektronik entsprechend groß dimensioniert sein, damit (im Wesentlichen) beliebige Ansteuerungsmuster für die elektrisch ansteuerbaren Ventile erzeugt werden können. Die Dimensionierung der betreffenden Komponenten erfolgte bislang so, dass es möglich war, dass alle elektrisch ansteuerbaren Ventile gleichzeitig angesteuert werden können, was eine entsprechend großzügige Dimensionierung erforderlich machte (wobei in der Realität üblicherweise noch Sicherheitszuschläge in Betracht gezogen wurden). Die Erfinder haben jedoch herausgefunden, dass bei üblichen Anwendungen nur selten ein besonders großer Anteil der elektrisch ansteuerbaren Ventile gleichzeitig angesteuert werden muss. Von daher wird ein signifikanter Lastbereich der Dimensionierung bisheriger elektrisch kommutierter Fluidarbeitsmaschinen nur selten bis nie genutzt. Dementsprechend ist es grundsätzlich möglich, die entsprechenden Komponenten kleiner dimensionieren zu können, ohne dass es bei praktischen Anwendungen häufiger und/oder spürbar zu Defiziten im Betriebsverhalten bzw. gar zu Problemen kommt. Möglich ist es beispielsweise, die Komponenten derart zu dimensionieren, dass lediglich bis zu 50 %, 60 %, 70 %, 75 %, 80 %, 85 %, 90 % oder 95 % der elektrisch ansteuerbaren Ventile gleichzeitig angesteuert werden können. Die entsprechende Gewichts- und Volumensparnis der betreffenden Komponenten hat dabei üblicherweise nicht nur einen "direkten" Einfluss, sondern

insbesondere auch einen "indirekten" Einfluss, da beispielsweise im mobilen Betrieb weniger Massen beschleunigt werden müssen. Dadurch kann gegebenenfalls sogar die elektrisch kommutierte Fluidarbeitsmaschine insgesamt kleiner ausgeführt werden. Um die beschriebene Unterdimensionierung realisieren zu können, wird von den Erfindern weiterhin vorgeschlagen, dass bei der Ansteuerung des zumindest einen elektrisch ansteuerbaren Ventils der Fluidarbeitsmaschine zumindest zeitweise zusätzlich die für die Ansteuerung des zumindest einen elektrisch ansteuerbaren Ventils erforderliche elektrische Leistung berücksichtigt wird. Eine derartige Berücksichtigung kann insbesondere dahingehend erfolgen, dass das Ansteuerungsmuster derart modifiziert wird, dass gewisse Abweichungen von der aktuell geforderten Fluidmenge/mechanischen Leistung (insbesondere auch zeitweise) toleriert werden. Alternativ oder zusätzlich ist es auch möglich, dass insbesondere zeitweise eine höhere Restschwankung der erzeugten Fluidmenge bzw. der mechanischen Leistung und/oder insbesondere zeitweise eine höhere Geräuschentwicklung bzw. ein erhöhter Verschleiß der Fluidarbeitsmaschine in Kauf genommen wird. Erste Versuche haben ergeben, dass hierdurch üblicherweise bei einer nur geringen Verschlechterung der Arbeitsweise der elektrisch kommutierten Fluidarbeitsmaschine durchaus beachtliche Kostenreduktionen, Energieeinsparungen und Platzersparungen möglich sind. Im Übrigen kann auch die durch die Leistungselektronik erzeugte Abwärme verringert werden (was auch Auswirkungen auf die Dimensionierung von Kühlkörpern, Lüftern und dergleichen haben kann).

[0020] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante des Verfahrens wird vorgeschlagen, dass die zumindest eine obere elektrische Leistungsgrenze zumindest eine harte elektrische Leistungsgrenze. Unter einer "harten elektrischen Leistungsgrenze" ist insbesondere ein Wert zu verstehen, der zumindest unter normalen Betriebsbedingungen keinesfalls überschritten werden darf. Beispielsweise kann es sich hier um einen Wert handeln, bei dessen Überschreiten sich die Steuersignale derart verschlechtern, dass eine hinreichend genaue und/oder zuverlässige Ansteuerung der elektrisch ansteuerbaren Ventile nicht mehr möglich ist. Auch kann dies einen Fall umfassen, bei dem beispielsweise eine Steuerelektronik (bzw. Teile davon) zusammenbricht und zunächst eine bestimmte Zeit (beispielsweise mehrere Sekunden) benötigt, bevor der "Normalbetrieb" wieder aufgenommen werden kann. Unter einer "weichen elektrischen Leistungsgrenze" ist insbesondere ein Wert zu verstehen, der unter bestimmten Betriebsbedingungen und/oder zeitweise (insbesondere kurzzeitig) überschritten werden darf. Hier kann es sich beispielsweise um eine elektrische Leistung handeln, bei der die in den Leistungshalbleitern entstehende Verlustwärme nicht mehr (vollständig) abgeführt werden kann, so dass sich die entsprechenden Bauteile mit der Zeit unzulässig erwärmen würden. Da diese Bauteile jedoch einen gewis-

sen Wärmepuffer aufweisen, ist ein kurzzeitiges Überschreiten einer derartigen Leistungsgrenze unschädlich, solange anschließend ausreichend Zeit zur "Erholung" der betreffenden Bauteile zur Verfügung gestellt wird.

[0021] Weiterhin wird vorgeschlagen, das Verfahren derart durchzuführen, dass die zumindest eine obere elektrische Leistungsgrenze zumindest zeitweise und/oder zumindest teilweise durch zumindest einen Teil zumindest einer Steuervorrichtung definiert ist und/oder zumindest zeitweise und/oder zumindest teilweise durch die im System verfügbare elektrische Leistung definiert ist. Unter einem Teil zumindest einer Steuervorrichtung können insbesondere Leistungshalbleiter, elektrische Widerstände, Kondensatoren, sonstige Temporärenergiespeichereinrichtungen und dergleichen verstanden werden. Insbesondere kann es sich dabei um Bauteile handeln, welche sich im Betrieb nicht unerheblich erwärmen und/oder um Bauteile, die elektrische Energie leiten und/oder um Zwischenpuffer. Unter einer im System verfügbaren elektrischen Leistung ist insbesondere eine elektrische Leistung zu verstehen, die von "außerhalb der elektrisch kommutierten Fluidarbeitsmaschine" liegenden Komponenten zur Verfügung gestellt wird. Wenn beispielsweise eine elektrisch kommutierte Fluidarbeitsmaschine in einem Gabelstapler eingebaut ist, so kann es sich hierbei um die elektrische Leistung handeln, die der Gabelstapler zur Verfügung stellen kann. Diese elektrische Leistung kann sich beispielsweise durch die Betriebsbedingungen des Gabelstaplers ändern (beispielsweise Leistungsbedarf durch beleuchtungstechnische Einrichtungen, elektrische Heizungen, Akkumulator mit niedrigem Ladezustand, insbesondere nach längerem Nichtgebrauch und/oder nach einem Anlassvorgang, Drehzahl eines Verbrennungsmotors und dergleichen). Selbstverständlich ist die im System verfügbare elektrische Leistung in aller Regel auch durch die Konstruktion der "Gesamtvorrichtung" definiert. Mit einer Temporärenergiespeichereinrichtung ist es beispielsweise möglich über eine begrenzte Zeit hinweg Ventilansteuerungszyklen zu realisieren, die im Dauerbetrieb nicht realisierbar sind. Der hierfür erforderliche zusätzliche Leistungsbedarf kann kurzfristig der Temporärenergiespeichereinrichtung entnommen werden. Danach ist jedoch eine gewisse Erholungsphase für die Temporärenergiespeichereinrichtung erforderlich.

[0022] Weiterhin wird vorgeschlagen, das Verfahren derart durchzuführen, dass eine Mehrzahl von elektrisch ansteuerbaren Ventilen angesteuert wird, und die elektrisch ansteuerbaren Ventile insbesondere unterschiedlichen Arbeitskammern zugeordnet sind, wobei die Arbeitskammern bevorzugt phasenversetzt zueinander angeordnet sind und/oder eine Mehrzahl parallel arbeitender Arbeitskammern vorgesehen ist. Speziell in derartigen Fällen kann es sich insbesondere bei bestimmten Betriebsbedingungen ergeben, dass eine größere Anzahl von elektrisch ansteuerbaren Ventilen zeitgleich angesteuert werden müssen (wobei unter "zeitgleich" auch sich nur teilweise überlappende Ansteuerungsimpulse

und/oder zeitlich nah beieinanderliegende, aber an sich getrennte Ansteuerungsimpulse verstanden werden können). Wie bereits erwähnt, haben erste Messungen ergeben, dass derartig "ungünstige" Ansteuerungszyklen nur selten auftreten und in der Regel mit tolerierbaren Verschlechterungen umgangen werden können bzw. die resultierenden Verschlechterungen akzeptiert werden können.

[0023] Eine mögliche Ausführungsvariante des vorgeschlagenen Verfahrens besteht darin, dass die Berechnung des Ventilansteuerungsmusters unter Verwendung einer Puffervariable erfolgt. In dieser wird beispielsweise pro Pumpzyklus auf einer "Habenseite" eine Fluidanforderung von Arbeitstakt zu Arbeitstakt eingespeist. Basierend auf dem aktuellen Wert der Puffervariable wird jeweils ein sinnvoller und gleichzeitig zulässiger Pumpenhub bestimmt, und der aktuell angesteuerte Pumpenhub reduziert die Puffervariable um den betreffenden Wert. Dadurch ist es auf einfache Weise möglich, dass ein (teilweise) ausgesetzter Wert zu einem späteren Zeitpunkt "nachgeholt" wird, und damit schlussendlich die angeforderte Menge realisiert wird. Dadurch entstehende Schwankungen sind in aller Regel ausreichend klein, so dass in der Regel nachteilige Effekte nicht bzw. lediglich in vertretbarem Aufwand entstehen. Selbstverständlich sind auch die bereits im Stand der Technik vorgeschlagenen Weiterbildungen, wie insbesondere das Vorsehen von "verbotenen Bereichen" und/oder eine Berechnung für einige Pumpenzyklen in die Zukunft, hierfür verwendbar. Zusätzlich oder alternativ ist es möglich, dass in einem "kritischen Fall" durch ein entsprechendes Ventilansteuerungsmuster insbesondere ein gewisses "Überangebot" (beispielsweise bei einer Pumpe eine über das nachgefragte Maß erhöhte Pumpleistung an Fluid) bereitgestellt wird, wobei mithilfe des Ventilansteuerungsmusters eine elektrische Leistungsgrenze (insbesondere eine weiche und/oder eine harte elektrische Leistungsgrenze) beachtet wird. Das "Überangebot" kann dann gewissermaßen "mechanisch vernichtet" werden (bei einer Pumpe beispielsweise durch ein Ablassen von (Hochdruck-)Fluid über ein Sicherheitsventil oder dergleichen. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass ein Zurückgreifen auf ein "Überangebot" statistisch vergleichsweise selten erforderlich ist. Dementsprechend kann sich auch mit einer derartigen Ausbildung "unter dem Strich" eine erhöhte Energieeffizienz der Gesamtanlage ergeben.

[0024] Weiterhin wird vorgeschlagen, das Verfahren derart durchzuführen, dass ein Extrapolationsalgorithmus für den Wert der Puffervariablen und/oder für den Wert des zu erwartenden Fluidbedarfs und/oder für den Wert des zu erwartenden mechanischen Leistungsbedarfs verwendet wird. Hierdurch kann das Verfahren noch vorteilhafter durchgeführt werden. Wenn beispielsweise zu erwarten ist, dass der vermutlich in Kürze abgerufene Fluidbedarf zunimmt, kann das Ansteuerungsmuster (bei welchem unter anderem auch die für die Ansteuerung des elektrisch ansteuerbaren Ventils/der elek-

trisch ansteuerbaren Ventile erforderliche elektrischen Leistung berücksichtigt wird) derart gewählt werden, dass möglichst viele Randbedingungen möglichst gut erfüllt werden. Wenn beispielsweise (abgesehen vom zukünftig zu erwartenden Bedarf) zwei verschiedene sinnvolle Ansteuerzyklen vorhanden sind, so kann bei (vermutlich) zunehmendem Leistungsbedarf die Variante gewählt werden, mit der ein zunehmender Leistungsbedarf besser befriedigt werden kann.

[0025] Weiterhin wird vorgeschlagen, das Verfahren derart durchzuführen, dass zumindest die Differenz zwischen Fluidbedarf und/oder mechanischem Leistungsbedarf und der nach Anwendung der Modifikation hinsichtlich des elektrischen Leistungsbedarfs tatsächlich zur Verfügung gestellten Fluidmenge bzw. der tatsächlich zur Verfügung gestellten mechanischen Leistung ermittelt wird und insbesondere in einer Fehlervariable gespeichert wird. Die Fehlervariable kann insbesondere dazu verwendet werden, geeignete Korrekturmechanismen durchzuführen und gegebenenfalls an sich "unerwünschte" Korrekturmechanismen zu erlauben, wenn zu erwarten ist, dass die Fehlervariable ansonsten zu stark ansteigt. Möglich ist es aber auch, dass die Fehlervariable im Wesentlichen mit der vorab bereits beschriebenen Puffervariable korrespondiert bzw. im Wesentlichen mit dieser übereinstimmt. In jedem Fall kann mit der vorgeschlagenen Ausbildung der erforderliche Fluidbedarf bzw. der erforderliche mechanische Leistungsbedarf besser und genauer befriedigt werden.

[0026] Weiterhin wird vorgeschlagen, das Verfahren derart durchzuführen, dass insbesondere bei Überschreiten eines bestimmten Werts der Fehlervariable besondere Korrekturverfahren genutzt werden und insbesondere ansonsten unzulässige Teilpumpmengen zugelassen werden. Dadurch ist es möglich, dass eine Art Kompromiss zwischen möglichst korrekter Erfüllung der Anforderungen einerseits und möglichst vorteilhaftem Betriebsverhalten andererseits (insbesondere hinsichtlich Verschleiß und/oder Geräuschentwicklung) gefunden werden kann. Würde also beispielsweise bei Anwendung sonst üblicher Kriterien bei besonders ungünstigen Betriebsbedingungen ein Fehler zu stark ansteigen, so kann stattdessen eine (üblicherweise vergleichsweise geringe) Zunahme des Betriebsgeräuschs und/oder des Verschleißes der Fluidarbeitsmaschine in Kauf genommen werden. Dies ist nicht notwendigerweise schädlich, da derartige Verhältnisse oftmals nur selten und/oder für nur kurze Zeit eintreten.

[0027] Möglich ist es auch, das Verfahren derart durchzuführen, dass eine Mehrzahl an unterschiedlichen Ventilansteuerungsmustern vorab berechnet und gespeichert wird. Bei einer derartigen Ausführung kann vergleichsweise viel Rechenzeit in die Erstellung möglichst guter Ventilansteuerungszyklen einfließen, um möglichst vorteilhafte Ventilansteuerungszyklen zu realisieren. Derartige Ventilansteuerungsmuster können bei heute verfügbaren elektronischen Speichern in großen Mengen kostengünstig und bei nur geringem Platzbedarf

gespeichert werden. Diese können dann in Abhängigkeit vom Fluidbedarf und/oder vom mechanischen Leistungsbedarf abgerufen werden. Gegebenenfalls sind auch Interpolationsverfahren zwischen zwei gespeicherten Werten und dergleichen denkbar. Möglich ist es aber auch, dass während des Betriebs der Fluidarbeitsmaschine eine bestimmte Anzahl von Pumpenhüben "in die Zukunft" gerechnet wird und die errechneten Werte zwischengespeichert werden. Dies kann beispielsweise durch an sich bekannte "look ahead"-Algorithmen realisiert werden.

[0028] Weiterhin wird eine Steuervorrichtung vorgeschlagen, welche derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass sie zumindest zeitweise ein Verfahren vom vorab beschriebenen Typ durchführt. Eine derart ausgebildete Steuervorrichtung kann dann die bereits vorab, im Zusammenhang mit dem vorab vorgeschlagenen Verfahren beschriebenen Vorteile und Eigenschaften zumindest in analoger Weise aufweisen. Auch ist es möglich die Steuervorrichtung - zumindest in analoger Weise - weiterzubilden.

[0029] Insbesondere ist es möglich, dass die Steuervorrichtung zumindest eine elektronische Speichereinrichtung, eine programmierbare Datenverarbeitungseinrichtung, ein Halbleiterleistungsbauteil und/oder eine Temporärenergiespeichereinrichtung aufweist. Derartige Steuervorrichtungen haben sich in ersten Versuchen als besonders vorteilhaft erwiesen. Unter einer Temporärenergiespeichereinrichtung kann insbesondere ein Kondensator und gegebenenfalls auch ein Akkumulator verstanden werden. Bei einem Kondensator ist vorzugsweise eine große Kapazität sinnvoll, wie dies beispielsweise bei so genannten Gold Cap-Kondensatoren der Fall ist. Mit einer derartigen Temporärenergiespeichereinrichtung kann beispielsweise kurzzeitig eine erhöhte elektrische Leistung abgerufen werden, so dass kurzzeitig gewissermaßen mehr Ventile angesteuert werden können, als es von der Dimensionierung der Steuervorrichtung und gegebenenfalls sonstiger Komponenten auf Dauer möglich ist. Dies kann sich als vorteilhaft erweisen.

[0030] Schließlich wird noch eine Fluidarbeitsmaschine vorgeschlagen, insbesondere eine elektrisch kommutierte Fluidarbeitsmaschine, welche derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass sie zumindest teilweise ein Verfahren vom vorab vorgeschlagenen Typ durchführt und/oder die zumindest eine Steuervorrichtung vom vorab beschriebenen Typ aufweist. Die Fluidarbeitsmaschine kann dann die bereits vorab im Zusammenhang mit dem vorab beschriebenen Verfahren und/oder der vorab beschriebenen Steuervorrichtung beschriebenen Vorteile und Eigenschaften zumindest in Analogie aufweisen. Weiterhin kann die Fluidarbeitsmaschine wie vorab beschrieben weitergebildet werden (zumindest in analoger Weise).

[0031] Im Folgenden wird die Erfindung anhand vorteilhafter Ausführungsbeispiele und unter Bezugnahme auf die beigelegte Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1: ein mögliches Ausführungsbeispiel für eine elektrisch kommutierte Hydraulikpumpe in einer Prinzipskizze;
 Fig. 2: ein Beispiel für ein ungünstiges Ansteuerungsmuster;
 Fig. 3: ein Flussdiagramm für ein denkbare Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Ansteuerung einer elektrisch kommutierten Hydraulikpumpe.

[0032] In Fig. 1 ist ein denkbare Ausführungsbeispiel für eine elektrisch kommutierte Hydraulikpumpe 1 vom sogenannten Hochzeitstortentyp ("wedding cake-type pump") dargestellt. Die Hydraulikpumpe 1 weist insgesamt zwölf Zylinder 2, 3 auf, die jeweils in einem angularen Abstand von 30° zueinander beabstandet angeordnet sind. Aus Platzgründen sind dabei die Zylinder 2, 3 in unterschiedlichen Ebenen angeordnet und zwar in Form zweier, hintereinander angeordneter Scheiben mit jeweils sechs Zylindern 2, 3. Die beiden Scheiben aus Zylindern 2, 3 sind dabei in einer Richtung senkrecht zur Zeichenebene aufeinander abfolgend angeordnet. In jeder Scheibe sind die jeweiligen Zylinder 2, 3 jeweils um 60° voneinander angular beabstandet. Die beiden Scheiben sind um 30° gegeneinander "verdreh".

[0033] In den Zylindern 2, 3 sind jeweils verschiebbar und um einen gewissen Winkel verdrehbare Kolben 4 angeordnet. Die Unterseite 5 der Kolben 4 ist als Gleitsohle ausgebildet und stützt sich auf einem exzentrisch rotierenden Exzenter 6 ab, der um eine Drehachse 7 herum bewegt wird. Die obere Seite 8 der Kolben 4 bildet mit den Wänden der Zylinder 2, 3 einen fluiddichten Verschluss. Die durch den Exzenter 6 verursachte Auf- und Abbewegung der Kolben 4 in den Zylindern 2, 3 bewirkt ein zyklisch variierendes Volumen der Pumpkammern 9.

[0034] Jeder Zylinder 2, 3 ist über entsprechende Hydraulikleitungen 10 mit einem elektrisch ansteuerbaren Ventil 11 verbunden, welches seinerseits mit einem Hydraulikölreservoir 13 verbunden ist. Das Hydraulikölreservoir 13 steht üblicherweise unter Umgebungsdruck.

[0035] Weiterhin ist im vorliegend dargestellten Ausführungsbeispiel jeder Zylinder 2, 3 über Hydraulikleitungen 10 über ein passives Rückschlagventil 12 mit einem Hochdrucksammler (vorliegend nicht dargestellt) verbunden. Der Hochdrucksammler kann dabei einen Hochdruckspeicher aufweisen. Denkbar ist es aber auch, dass beispielsweise durch Hochdruckschläuche, die üblicherweise eine gewisse Elastizität aufweisen, eine Art "Hochdruckspeicherfunktion" realisiert werden kann. In einem solchen Fall ist es möglich, dass die Hochdruckschläuche direkt zum Hydraulik-Verbraucher (beispielsweise zu einem Hydraulikmotor) gehen.

[0036] Aus darstellungstechnischen Gründen sind die Hydraulikleitungen 10, das elektrisch ansteuerbare Ventil 11 und das Rückschlagventil 12 nur einmal eingezeichnet. In aller Regel ist das Hydraulikölreservoir 13 und/oder der Hochdrucksammler für eine Mehrzahl und/oder für alle Zylinder 2, 3 identisch.

[0037] Die elektrisch ansteuerbaren Ventile 11 werden über eine elektronische Steuerung 14 elektrisch angesteuert. Insbesondere kann die elektronische Steuerung 14 über einen Speicher 15 verfügen, in dem ein geeignetes Ansteuerprogramm hinterlegt ist. Die elektronische Steuerung 14 kann entweder für jedes elektrisch ansteuerbare Ventil 11 einzelnen ausgelegt sein und/oder einen Teil oder alle elektrisch ansteuerbaren Ventile 11 der elektrisch kommutierten Hydraulikpumpe 1 ansteuern. Gegebenenfalls kann die elektronische Steuerung 14 auch weitere Aufgaben übernehmen. Insbesondere handelt es sich bei der elektronischen Steuerung 14 beispielsweise um einen Einplatinencomputer, der zur Ansteuerung der elektrisch ansteuerbaren Ventile 11 entsprechend dimensionierte Leistungshalbleiterbauelemente aufweist.

[0038] Die Funktionsweise einer elektrisch kommutierten Hydraulikpumpe 1 ermöglicht es, dass nicht nur ein vollständiges Pumpkammervolumen "effektiv" gepumpt wird (also in Richtung des Hochdrucksammlers bewegt wird), sondern auch Teilhübe bzw. Nullhübe möglich sind.

[0039] Bewegt sich der Kolben 4 im Zylinder 2, 3 nach unten, so wird durch den entstehenden Unterdruck das elektrisch ansteuerbare Ventil 11 geöffnet und Hydrauliköl wird über die Hydraulikleitungen 10 und das elektrisch ansteuerbare Ventil 11 (Niederdruckventil) aus dem Hydraulikölreservoir 13 angesaugt. Erreicht der Kolben 4 den unteren Totpunkt, so würde bei einer "klassischen" Hydraulikpumpe das passive Ansaugventil selbsttätig schließen. Bei der vorliegend dargestellten elektrisch kommutierten Hydraulikpumpe 1 bleibt das elektrisch ansteuerbare Ventil 11 (sofern nicht anderweitig angesteuert) jedoch zunächst offen. Dadurch wird das Hydrauliköl zunächst ohne Last durch das noch geöffnete elektrisch ansteuerbare Ventil 11 zurück in das Hydraulikölreservoir 13 gedrückt (und folglich nicht in Richtung des Hochdrucksammlers gepumpt). Wenn nun nach einem Teil des Zylinderwegs nun das elektrisch ansteuerbare Ventil 11 geschlossen wird, so baut sich in der Pumpkammer 9 rasch ein Druck auf und der verbliebene Anteil des Volumens wird über das passive Rückschlagventil 12 (Hochdruckventil) "effektiv" in Richtung des Hochdrucksammlers gepumpt. Die beschriebene Funktionsweise entspricht einem Teilhub.

[0040] Wird das elektrisch ansteuerbare Ventil 11 unmittelbar am unteren Totpunkt des Zylinders 4 geschlossen, so entspricht die Funktionsweise der elektrisch kommutierten Hydraulikpumpe 1 einer "klassischen" Hydraulikpumpe (volle Pumphübe). Wird dagegen das elektrisch ansteuerbare Ventil 11 überhaupt nicht geschlossen, so befindet sich die elektrisch kommutierbare Hydraulikpumpe 1 in einem Leerlaufbetrieb (Leerlaufhübe).

[0041] Bei den derzeit üblichen Bauformen von elektrisch kommutierten Hydraulikpumpen wird das elektrisch ansteuerbare Ventil 11 durch Anlegen eines relativ großen Stroms geschlossen. Wird dagegen kein (oder ein nicht ausreichender) Strom (bzw. elektrische Span-

nung) angelegt, so verbleibt das elektrisch ansteuerbare Ventil 11 in der geöffneten Stellung. (Zum Teil existieren auch Bauformen mit einer "invertierten" Schaltlogik; in einem solchen Fall ist die vorliegende, insbesondere die im Folgenden dargestellte, Beschreibung entsprechend anzupassen.)

[0042] Es ist einsichtig, dass der Steuerimpuls zum Schließen des elektrisch ansteuerbaren Ventils 11 umso später erfolgt, je geringer der zu pumpende Volumenanteil ist. Wenn also zum Beispiel bei zwei unmittelbar hintereinander folgenden Zylindern (die beispielsweise um 30° zueinander versetzt sind) ein vorausgehender Zylinder einen teilweisen Pumpenhub und ein darauffolgender Zylinder einen vollen Pumpenhub erzeugen soll, so sind die elektrisch ansteuerbaren Ventile 11 beider Zylinder gleichzeitig anzusteuern, wenn der unmittelbar vorausgehende Zylinder nur 93,3 % Volumenanteil erzeugen soll (180° Umdrehung entspricht 100 % Pumpleistung). Ein Überlapp von verschiedenen Ansteuerimpulsen kann jedoch nicht nur in exakt einem solchen Fall eintreten (welcher vermutlich in der Realität nicht allzu häufig eintreten würde). Vielmehr kann ein derartiger Überlapp deutlich häufiger auftreten, da die Signale zum Schließen der elektrisch ansteuerbaren Ventile über eine gewisse Zeitspanne hinweg angelegt werden müssen.

[0043] Nimmt man typische Werte für elektrisch kommutierte Hydraulikpumpen, so beträgt die erforderliche Ansteuerzeit 4 ms. Geht man von einer Hydraulikpumpe aus, die mit 3000 U/min arbeitet, so beträgt die Zeitdauer für einen vollen Kolbenhub 20 ms. Daher kann es zu einem potentiellen Überlapp unterschiedlicher Ansteuerimpulse von 180° + 72° kommen. Im Extremfall kann es daher bei einer Zwölfzylinderpumpe mit den angegebenen Werten zu einer gleichzeitigen Ansteuerung von bis zu acht Zylindern kommen.

[0044] In Fig. 2 ist dieser Effekt grafisch veranschaulicht. Im dortigen Graph ist jeweils entlang der Abszisse der Drehwinkel 16 (Position des Exzenters 6) dargestellt. Entlang der Ordinate sind die Ansteuerströme für die unterschiedlichen Zylindernummern 17 (insgesamt zwölf Zylinder) dargestellt. Die in der Grafik zu erkennenden, schräg verlaufenden Linien 18, 19 entsprechen dem Verlauf des jeweiligen unteren Totpunkts 18 (Beginn der Hydraulikläusstoßphase; Pumpkammervolumen nimmt ab) bzw. dem oberen Totpunkt 19 (Ende der Flüssigkeitsausstoßphase; Pumpkammervolumen weist den minimalen Wert auf). Die Zeiten beziehen sich auf 4 ms Ansteuerdauer sowie 3000 U/min.

[0045] Die in Fig. 2 dargestellte Situation ergibt sich, wenn die einzelnen Zylinder wie folgt beaufschlagt werden:

Zylinder 1 - 1 %, Zylinder 2 - 10 %, Zylinder 3 - 33 %, Zylinder 4 - 60 %, Zylinder 5 - 66 %, Zylinder 6 - 90 %, Zylinder 7 - 100 %, Zylinder 8 - 100 %, Zylinder 9 - 100 %, Zylinder 10 - 100 %, Zylinder 11 - 100 %, Zylinder 12 - 50 %. Wie man der Fig. entnehmen kann, werden in der Tat zu einem Zeitpunkt acht Zylinder (nämlich Zylinder 1 bis 8 kurz vor "180°") gleichzeitig angesteuert. Auch

unmittelbar danach folgen einige Ansteuerzyklen, so dass die Ansteuerlektronik (elektronische Steuerung 14) nicht viel Zeit zu einer Erholung hat.

[0046] Wird die elektronische Steuerung 14 nun auf ein derartiges "worst case" Szenario ausgelegt, so muss sie derart dimensioniert sein, dass sie acht elektrisch ansteuerbare Ventile 11 gleichzeitig ansteuern kann. Dies ist entsprechend teuer und aufwändig. Darüber hinaus muss die elektronische Steuerung 14 eine entsprechende Größe (Bauraums) aufweisen. Auch die Kühlung der elektronischen Steuerung 14 muss entsprechend dimensioniert sein.

[0047] Lässt man es dagegen einfach "darauf ankommen" und dimensioniert die elektronische Steuerung 14 derart, dass beispielsweise nur sechs Ansteuerzyklen gleichzeitig erfolgen können, so würde die Stromversorgung mit Beginn der Ansteuerung der letzten beiden Zylinder (im vorliegend dargestellten Beispiel Zylinder 6 und 8) zusammenbrechen. Dies hätte in der Regel zur Folge, dass nicht nur diese beiden Ventile nicht mehr schließen könnten. Darüber hinaus würden auch die sonstigen Ventile der Zylinder 1 bis 5 und 7 gegebenenfalls nicht mehr (vollständig) schließen, denn zum Einsetzen der Ansteuerung der Zylinder 6 und 8 sind diese ja gegebenenfalls noch nicht (vollständig) geschlossen. Ein noch weitergehender Nachteil bestünde darin, dass die Stromversorgung meist derart zusammenbricht, dass die elektronische Steuerung 14 typischerweise ein bis zwei Sekunden Erholungszeit braucht, bis sie wieder funktionsbereit ist. Ein derartiges Verhalten ist nicht tolerierbar.

[0048] Vorliegend wird daher vorgeschlagen, dass die elektronische Steuerung 14 beim Ansteuern der elektrisch ansteuerbaren Ventile 11 auch den erforderlichen Strombedarf berücksichtigt und die Ansteuerzyklen entsprechend anpasst.

[0049] Wenn beispielsweise ein Fluidbedarf von 35 % vorliegt (im Folgenden wird davon ausgegangen, dass ein Pumpintervall zwischen 20 % und 80 % "verboten" ist, damit es zu keiner übermäßigen Geräuschentwicklung kommt und/oder der Verschleiß reduziert wird), so kann dieser Fluidbedarf sinnvoll durch drei Pumphübe erzeugt werden, nämlich durch die Sequenz 100 % - 0 % - 5 % (105 % pro drei Pumphübe = 35 % im Mittel).

[0050] Würde nun die 5 %-Ansteuerung des "letzten" Zylinders dazu führen, dass die maximale Leistung der elektronischen Steuerung 14 überschritten wird, so wird der letzte Pumpzyklus ausgesetzt, so dass sich die Sequenz 100 % - 0 % - 0 % ergibt. Dadurch ergibt sich ein Fehlerwert von 5 % (nach den drei Pumphüben).

[0051] Dieser Fehlerwert wird gespeichert und mit der Fluidanforderung "verrechnet". Wenn die Fluidanforderung bei 35 % verbleibt, so ist nun eine Pumpleistung von 36,67 % (110 % bei drei Zyklen) zu erbringen, um die vorangegangene Unterdeckung auszugleichen. Dies kann nun durch die Pumpsequenz 100 % - 0 % - 10 % umgesetzt werden.

[0052] Die dadurch entstandene Pumpsequenz 100 % - 0 % - 0 % - 100 % - 0 % - 10 % entspricht nun dem

angeforderten Durchschnittswert von 35 %.

[0053] In Fig. 3 ist schließlich noch ein schematisches Flusssdiagramm 20 dargestellt, welches ein Verfahren zur Ansteuerung einer elektrisch kommutierten Hydraulikpumpe 1 näher erläutert.

[0054] Im ersten Schritt 21 wird der Fluidbedarf eingelesen. Im nächsten Schritt wird der eingelesene Fluidbedarf unter Berücksichtigung eines Fehlerparameters modifiziert (Schritt 22). Der Fehlerparameter beschreibt, inwieweit "in der Vergangenheit" vom angeforderten Fluidbedarf abgewichen werden musste. Durch den Schritt 22 wird daher (wenn auch gegebenenfalls über etwas längere Zeiträume hinweg) im Mittel der tatsächlich angeforderte Fluidbedarf zur Verfügung gestellt.

[0055] Basierend auf dem in Schritt 22 modifizierten Fluidbedarf wird eine Ansteuersequenz für die elektrisch ansteuerbaren Ventile errechnet (Schritt 23). Bei der Berechnung der Ansteuersequenz wird auch der erforderliche elektrische Leistungsbedarf berücksichtigt. Dementsprechend kann es vorkommen, dass eine hinsichtlich des Fluidbedarfs an sich erwünschte Ansteuersequenz nicht realisiert werden kann, da dies zu einer Überschreitung der maximalen elektrischen Leistung führen würde.

[0056] Mit der derart gewonnenen Ansteuersequenz werden die Ventile angesteuert (Schritt 24). Parallel hierzu wird in Schritt 23 der Fehlerparameter, der die Abweichung zwischen tatsächlich gepumpter Fluidmenge und angeforderter Fluidmenge beschreibt - soweit erforderlich - modifiziert.

[0057] Nachdem die Ansteuersequenz an die Ventile geleitet wurde, springt das Verfahren (Pfeil 25) an den Anfang zurück.

[0058] Auch wenn sich das Ausführungsbeispiel auf eine Hydraulikpumpe bezieht, so ist es selbstverständlich möglich, dass die dort beschriebene Idee auch für einen Hydraulikmotor bzw. für eine Kombination aus Hydraulikpumpe und Hydraulikmotor eingesetzt wird.

Bezugszeichenliste:

[0059]

1. Elektrisch kommutierte Hydraulikpumpe
2. Zylinder
3. Zylinder
4. Kolben
5. Unterseite
6. Exzenter
7. Drehachse
8. Obere Seite
9. Pumpkammer
10. Hydraulikleitung
11. Elektrisch ansteuerbares Ventil
12. Rückschlagventil
13. Hydraulikölreservoir
14. Elektronische Steuerung
15. Speicher

16. Drehwinkel
17. Zylindernummer
18. Unterer Totpunkt
19. Oberer Totpunkt
- 5 20. Flusssdiagramm
21. Fluidbedarf einlesen
22. Modifikation Fluidbedarf
23. Berechnung Ansteuersequenz
24. Ansteuerung Ventil
- 10 25. Rücksprung

Patentansprüche

- 15 1. Verfahren (20) zur Ansteuerung einer Fluidarbeitsmaschine (1), wobei die Fluidarbeitsmaschine (1) zumindest eine Arbeitskammer (9) mit einem zyklisch variierenden Volumen, eine Hochdruckfluidverbindung, eine Niederdruckfluidverbindung, zu-
20 mindest ein elektrisch ansteuerbares Ventil (11) zur ansteuerbaren Verbindung der Hochdruckfluidverbindung und/oder der Niederdruckfluidverbindung mit der Arbeitskammer (9) aufweist, wobei die Ansteuerung des zumindest einen elektrisch ansteuerbaren Ventils (11) in Abhängigkeit von dem Fluidbedarf und/oder dem mechanischen Leistungsbedarf erfolgt (21), wobei die Ansteuerung des zumindest einen elektrisch ansteuerbaren Ventils (11) zu-
25 mindest zeitweise zusätzlich in Abhängigkeit von der für die Ansteuerung des zumindest einen elektrisch ansteuerbaren Ventils erforderlichen elektrischen Leistung erfolgt (23), **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine obere elektrische Leistungsgrenze derart berücksichtigt wird (23), dass diese nicht überschritten wird.
- 30 2. Verfahren (20) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine obere elektrische Leistungsgrenze zumindest eine harte elektrische Leistungsgrenze ist.
- 35 3. Verfahren (20) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine obere elektrische Leistungsgrenze zumindest zeitweise und/oder zumindest teilweise durch zumindest einen Teil zumindest einer Steuervorrichtung (14) definiert ist und/oder zumindest zeitweise und/oder zumindest teilweise durch die im System verfügbare elektrische Leistung definiert ist.
- 40 4. Verfahren (20) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Mehrzahl von elektrisch ansteuerbaren Ventilen (11) angesteuert wird, und die elektrisch ansteuerbaren Ventile (11) insbesondere unterschiedlichen Arbeitskammern (9) zugeordnet sind, wobei die Arbeitskammern (9) bevorzugt phasenversetzt zueinander angeordnet sind und/oder eine Mehrzahl pa-
- 45
- 50
- 55

rallel arbeitender Arbeitskammern (9) vorgesehen ist.

5. Verfahren (20) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berechnung des Ventilansteuerungsmusters (23) unter Verwendung einer Puffervariable erfolgt (22).
6. Verfahren (20) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Extrapolationsalgorithmus für den Wert der Puffervariable und/oder für den Wert des zu erwartenden Fluidbedarfs und/oder für den Wert des zu erwartenden mechanischen Leistungsbedarfs verwendet wird.
7. Verfahren (20) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest die Differenz zwischen Fluidbedarf und/oder mechanischem Leistungsbedarf und der nach Anwendung der Modifikation hinsichtlich des elektrischen Leistungsbedarfs tatsächlich zur Verfügung gestellten Fluidmenge bzw. der tatsächlich zur Verfügung gestellten mechanischen Leistung ermittelt wird (23) und insbesondere in einer Fehlervariable gespeichert wird.
8. Verfahren (20) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** insbesondere bei Überschreiten eines bestimmten Werts der Fehlervariable besondere Korrekturverfahren, wie insbesondere das Zulassen ansonsten unzulässiger Teilpumpmengen, genutzt werden.
9. Verfahren (20) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Mehrzahl an unterschiedlichen Ventilansteuerungsmustern vorab berechnet und gespeichert wird.
10. Steuervorrichtung (14), aufweisend eine programmierbare Datenverarbeitungseinrichtung, welche derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass sie zumindest zeitweise ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ausführt.
11. Steuervorrichtung (14) nach Anspruch 10, **gekennzeichnet durch** zumindest eine elektronische Speichereinrichtung (15), ein Halbleiterleistungsbauteil und/oder eine Temporärenergiespeichereinrichtung.
12. Fluidarbeitsmaschine (1), insbesondere elektrisch kommutierte Fluidarbeitsmaschine, welche derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass sie zumindest teilweise ein Verfahren (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 durchführt und/oder **gekennzeichnet durch** eine Steuervorrichtung (14) nach Anspruch 10 oder 11.

Claims

1. Method (20) for actuating a fluid working machine (1), the fluid working machine (1) comprising at least one working chamber (9) with a cyclically varying volume, a high pressure fluid connection, a low pressure fluid connection, at least an electrically actuated valve (11) for selectively connecting the high pressure fluid connection and/or the low pressure fluid connection with the working chamber (9), wherein the actuation of the at least one electrically actuated valve (11) depends on the fluid flow requirement (21) and/or the mechanical power requirement, wherein the actuation (23) of the at least one electrically actuated valve (11) depends additionally at least at times on the electrical power requirement for actuating the at least one electrically actuated valve, **characterised in that** at least an upper electrical power limit is considered (23) in a way that the limit is not exceeded.
2. Method (20) according to claim 1, **characterised in that** the at least one electrical power limit is at least a hard electrical power limit.
3. Method (20) according to claim 1 or 2, **characterised in that** the at least one upper electrical power limit is defined at least at times and/or at least in part by at least a part of at least one control device (14) and/or is defined at least at times and/or at least in part by the electrical power that is available in the system.
4. Method (20) according to any of the preceding claims, **characterised in that** a plurality of electrically actuated valves (11) is actuated, wherein the electrically actuated valves (11) are connected to in particular different working chambers (9), wherein the working chambers (9) are preferably arranged phase shifted with respect to each other and/or a plurality of parallelly operating working chambers (9) is provided.
5. Method (20) according to any of the preceding claims, **characterised in that** the valve actuation pattern is calculated (23) using a buffer variable (22).
6. Method (20) according to claim 5, **characterised in that** an extrapolation algorithm is used for the value of the buffer variable and/or for the value of the fluid flow requirement to be expected and/or for the value of the mechanical power requirement to be expected.
7. Method (20) according to any of the preceding claims, **characterised in that** at least the difference between the fluid flow requirement and/or the mechanical power requirement and the actually provided

ed amount of fluid flow and the actually provided mechanical power after applying the modification regarding the electrical power requirement, respectively, is determined (23) and stored in particular in an error variable.

8. Method (20) according to claim 7, **characterised in that** special correcting methods are used when the error variable exceeds a certain value, in particular correcting methods permitting pumping fractions that are usually prohibited.
9. Method (20) according to any of the preceding claims, **characterised in that** a plurality of different valve actuation patterns is calculated and stored in advance.
10. Control device (14), comprising a programmable data processing equipment that is designed and arranged in a way that it performs at least at times a method according to any of claims 1 to 9.
11. Control device (14) according to claim 10, **characterised by** at least an electronic storage means (15), a semiconductor power device and/or a temporal energy storage device.
12. Fluid working machine (1), in particular electrically commutated fluid working machine, that is designed and arranged in a way that it performs at least in part a method (20) according to any of claims 1 to 9 and/or that is **characterised by** a control device (14) according to claim 10 or 11.

Revendications

1. Procédé (20) d'actionnement d'une machine à travail fluide (1), dans lequel la machine à travail fluide (1) comporte au moins une chambre de travail (9) de volume variable cycliquement, une connexion fluide haute pression, une connexion fluide basse pression, au moins une valve à actionnement électrique (11) pour la connexion actionnable de la connexion fluide haute pression et/ou de la connexion fluide basse pression avec la chambre de travail (9), l'actionnement de l'au moins une vanne à actionnement électrique (11) s'effectuant en fonction du besoin en fluide et/ou du besoin en puissance mécanique (21), l'actionnement de l'au moins une vanne à actionnement électrique (11) s'effectuant de plus au moins par intermittence en fonction de la puissance électrique nécessaire pour l'actionnement de l'au moins une vanne à actionnement électrique (23), **caractérisé en ce qu'**au moins une limite de puissance électrique supérieure est prise en compte (23) de manière à ne pas être dépassée.

2. Procédé (20) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'au moins une limite de puissance électrique supérieure est au moins une limite de puissance électrique stricte.

3. Procédé (20) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'au moins une limite de puissance électrique supérieure est définie au moins par intermittence et/ou au moins partiellement par au moins une partie d'au moins un dispositif de commande (14) et/ou est définie au moins par intermittence et/ou au moins partiellement par la puissance électrique disponible dans le système.

4. Procédé (20) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une pluralité de vannes à actionnement électrique (11) est actionnée, et les vannes à actionnement électrique (11) sont connectées à en particulier différentes chambres de travail (9), les chambres de travail (9) étant de préférence agencées en décalage de phase les unes par rapport aux autres et/ou une pluralité de chambres de travail (9) travaillant en parallèle est prévue.

5. Procédé (20) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le calcul du motif d'actionnement de vanne (23) est réalisé à l'aide d'une variable tampon (22).

6. Procédé (20) selon la revendication 5, **caractérisé en ce qu'**un algorithme d'extrapolation est utilisé pour la valeur de la variable tampon et/ou pour la valeur du besoin en fluide à prévoir et/ou pour la valeur du besoin en puissance mécanique à prévoir.

7. Procédé (20) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**au moins la différence entre le besoin en fluide et/ou le besoin en puissance mécanique, et la quantité de fluide effectivement mise à disposition, respectivement de la puissance mécanique effectivement mise à disposition, après application de la modification du point de vue du besoin en puissance électrique, est déterminée (23) et en particulier est stockée dans une variable d'erreur.

8. Procédé (20) selon la revendication 7, **caractérisé en ce que**, en particulier lorsqu'une certaine valeur de la variable d'erreur est dépassée, des méthodes de correction particulières, telles qu'en particulier l'autorisation de quantités partielles de pompage autrement inadmissibles, sont utilisées.

9. Procédé (20) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une pluralité de motifs d'actionnements de vannes différents est calculée et mémorisée à l'avance.

10. Dispositif de commande (14) comportant un module

de traitement de données programmable qui est conçu et agencé de telle sorte qu'il exécute au moins par intermittence un procédé selon l'une des revendications 1 à 9.

5

11. Dispositif de commande (14) selon la revendication 10, **caractérisé par** au moins un module de stockage électronique (15), un composant de puissance à semi-conducteur et/ou un module de stockage temporaire d'énergie.

10

12. Machine à travail fluide (1), en particulier machine à travail fluide à commutation électrique, qui est conçue et agencée de telle sorte qu'elle exécute au moins par intermittence un procédé (20) selon l'une des revendications 1 à 9 et/ou **caractérisée par** un dispositif de commande (14) selon la revendication 10 ou 11.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

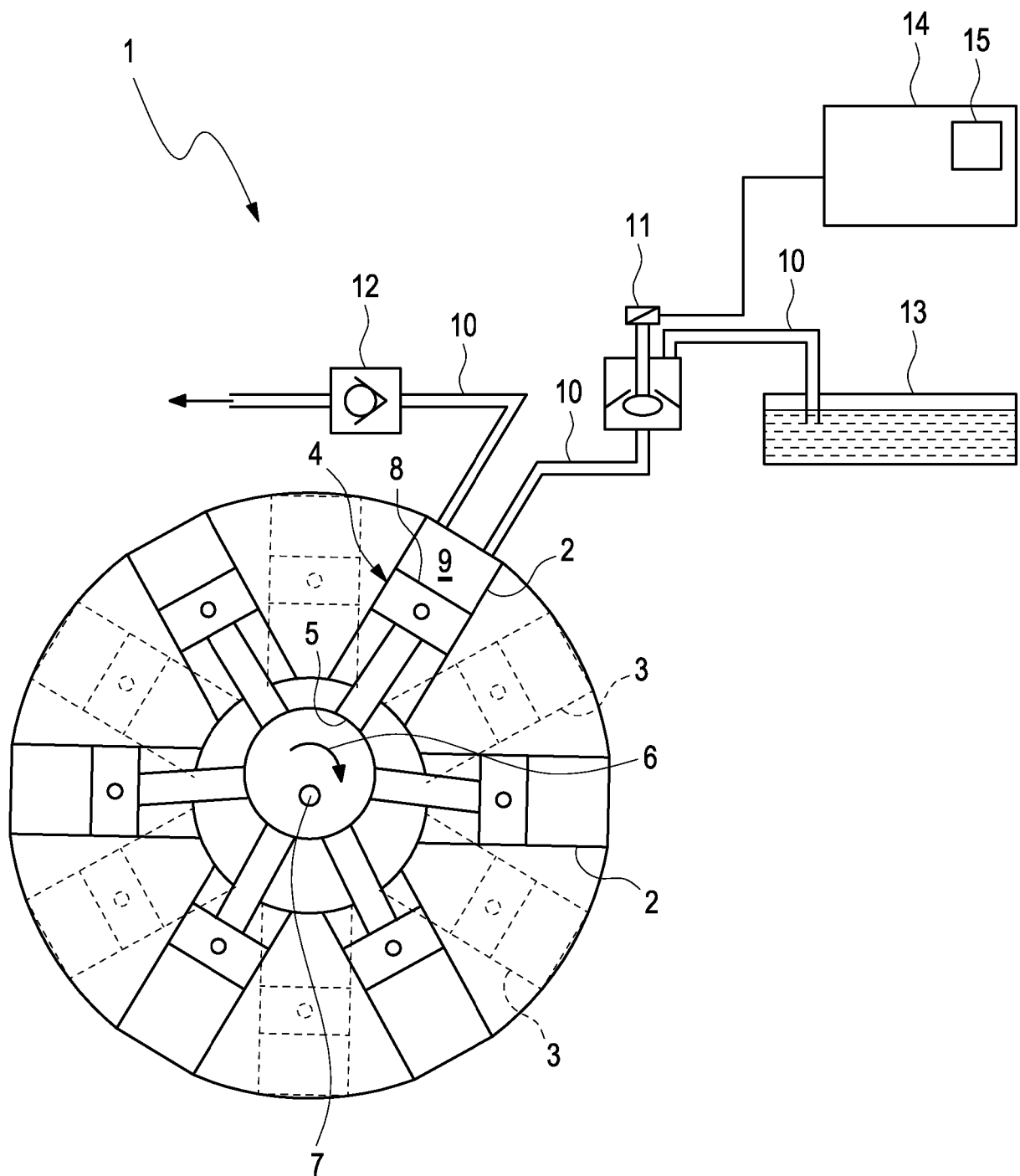


Fig. 1

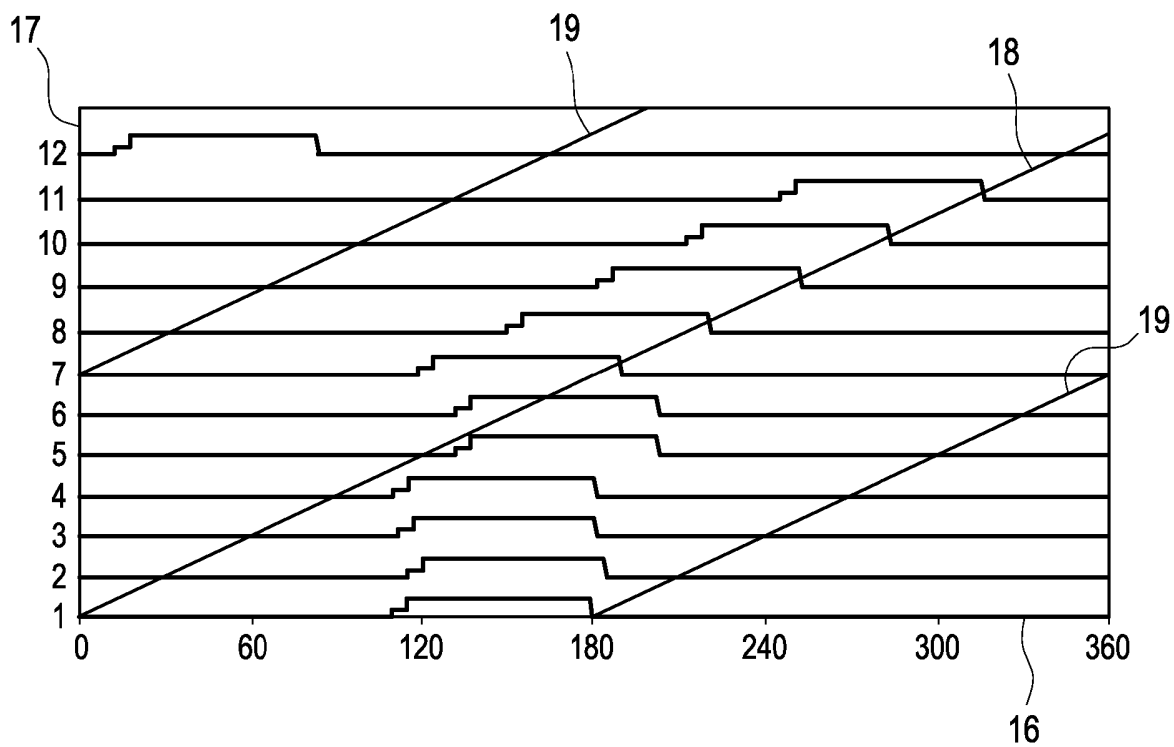


Fig. 2

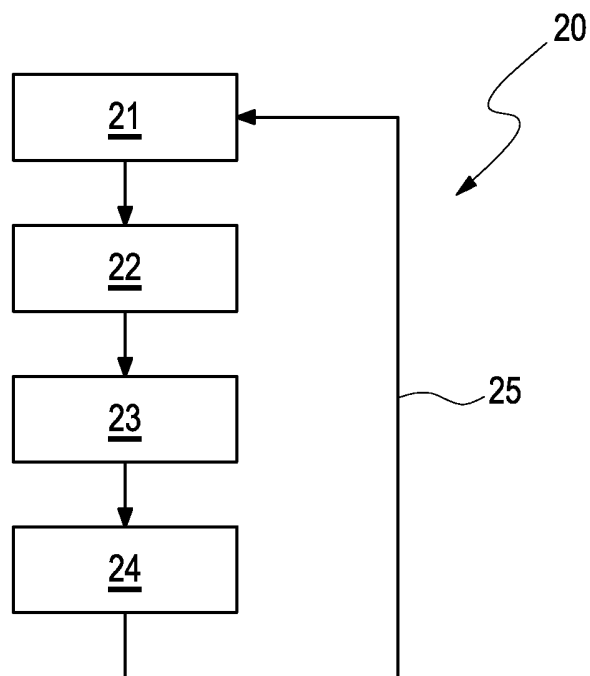


Fig. 3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0494236 B1 **[0008]**
- WO 9105163 A1 **[0008]**
- EP 1537333 B1 **[0012]**
- EP 2246565 A1 **[0012]**
- US 2012076670 A1 **[0013]**
- EP 1717446 A2 **[0014]**
- US 2011253918 A1 **[0015]**