

(19)



(11)

**EP 2 354 555 B2**

(12)

**NEUE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**  
Nach dem Einspruchsverfahren

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Entscheidung über den Einspruch:  
**25.09.2019 Patentblatt 2019/39**

(51) Int Cl.:  
**F04D 13/14** <sup>(2006.01)</sup> **F04D 15/00** <sup>(2006.01)</sup>  
**F04B 23/04** <sup>(2006.01)</sup> **F04B 49/06** <sup>(2006.01)</sup>

(45) Hinweis auf die Patenterteilung:  
**16.12.2015 Patentblatt 2015/51**

(21) Anmeldenummer: **10000447.2**

(22) Anmeldetag: **19.01.2010**

**(54) Verfahren zur Energieoptimierung von Pumpen**

Method for optimising the energy of pumps

Procédé d'optimisation de l'énergie de pompes

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**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 SE SI SK SM TR**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**10.08.2011 Patentblatt 2011/32**

(73) Patentinhaber: **Grundfos Management A/S**  
**8850 Bjerringbro (DK)**

(72) Erfinder:  
• **Skovmose, Carsten**  
**8800 Viborg (DK)**  
• **De Persis, Claudio**  
**03029 Veroli (FR) (IT)**

(74) Vertreter: **Patentanwälte Vollmann Hemmer**  
**Lindfeld**  
**Partnerschaft mbB**  
**Wallstraße 33a**  
**23560 Lübeck (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A2- 0 892 223 EP-A2- 1 033 540**  
**EP-A2- 1 209 364 EP-A2- 1 462 652**  
**WO-A1-00/57111 WO-A1-2007/095685**  
**WO-A1-2008/025452 WO-A1-2008/025453**  
**WO-A1-2009/020402 DE-A1-102004 041 661**  
**GB-A- 2 010 959 GB-A- 2 245 967**  
**US-A1- 2002 033 420 US-A1- 2005 110 655**  
**US-A1- 2009 283 457**

**EP 2 354 555 B2**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Energieoptimierung beim Betrieb mehrerer drehzahlsteuerbarer Kreispumpen in einer hydraulischen Anlage.

**[0002]** Insbesondere in Heizungsanlagen größerer Gebäude oder komplexerer Bauart ist eine Vielzahl von Pumpen, d. h. Kreispumpen mit einem diese antreibenden Elektromotor verbaut, um die einzelnen Anlagenteile zuverlässig mit Fluid bzw. Wärme zu versorgen. Moderne Pumpen dieser Art sind drehzahlsteuerbar, d. h. sie weisen einen Frequenzumrichter oder Drehzahlsteller sowie entsprechende Steuerungs- und Regelungselektronik auf, mit der sie leistungsmäßig eine große Bandbreite von hydraulischen Anforderungen versorgen können. Wenn eine Vielzahl solcher Pumpen in einer Anlage zusammenarbeiten, sei es durch Parallel-, Hintereinanderschaltung oder Kombination davon, ergibt sich ein komplexes hydraulisches Netz, welches häufig nur schwer erkennen lässt, welche Pumpe welche Funktion zukommt. Noch schwieriger ist es naturgemäß diese Pumpen so zu betreiben, dass sie in der Summe auch nur annähernd energieoptimiert laufen. Siehe zum Beispiel DE 10 2004 041 661 A1.

**[0003]** Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Energieoptimierung der Pumpen einer solchen hydraulischen Anlage zu schaffen, ohne dass die Leistungsfähigkeit der Anlage, insbesondere die Versorgung aller Anlagenteile darunter leidet.

**[0004]** Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch das in Anspruch 1 angegebene Verfahren gelöst. Die Erfindung stellt darüber hinaus eine Pumpe zur Ausführung dieses Verfahrens gemäß Anspruch 12 dar. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung und der Zeichnung angegeben.

**[0005]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Energieoptimierung beim Betrieb mehrerer drehzahlsteuerbarer Kreispumpen in einer hydraulischen Anlage, z. B. einer Heizungsanlage, einer Grundwasserabsenkungsanlage, einer Bewässerungsanlage, einer Abwasseranlage und dergleichen basiert darauf, dass zunächst einmal ermittelt wird, welche Pumpen als Pilotpumpen direkt einem Verbraucher zugeordnet sind und welche Pumpen den Pilotpumpen nachgeordnet sind, wonach die nachgeordneten Pumpe zur Energieoptimierung mit variierenden Drehzahlen angesteuert werden.

**[0006]** Grundgedanke des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es somit, zunächst einmal festzustellen, welche Pumpen der Anlage Pilotpumpen sind. Pilotpumpen sind solche Pumpen, die einem Verbraucher direkt zugeordnet sind, d. h. Pumpen, deren Eingang oder Ausgang typischerweise direkt einem Verbraucher zugeordnet ist. In der Vielzahl der Fälle sind solche Pumpen typischerweise vor dem Verbraucher angeordnet, es können diese jedoch auch hinter dem Verbraucher liegen, d. h. es sind dann Pilotpumpen, die saugseitig an den

Verbraucher anschließen. Pilotpumpen sind also all die Pumpen, die unmittelbar an einen Verbraucher anschließen, sei es saugseitig oder druckseitig. Diese Pilotpumpen sind die Pumpen, die den Verbraucher primär versorgen und daher zu einer Energieoptimierung nur indirekt herangezogen werden. Hierzu sind erfindungsgemäß die den Pilotpumpen nachgeordneten Pumpen vorgesehen, die mit variierenden Drehzahlen angesteuert werden, um eine Energieoptimierung zu erreichen. Diese nachgeordneten Pumpen werden also so lange in ihren Drehzahlen variiert bis eine Energieoptimierung erreicht ist. Damit wird, wie nachfolgend beschrieben ist auch eine Energieoptimierung der Pilotpumpen erreicht, die als typischerweise geregelte Pumpen dabei ihren Betriebspunkt ändern.

**[0007]** Energieoptimierung im Sinne der Erfindung muss nicht notwendigerweise ein Bestzustand sein, sondern kann auch in einer Verbesserung der Energieeffizienz der Anlage gegenüber einem Ist-Zustand bestehen.

**[0008]** Den Pilotpumpen nachgeordnete Pumpen im Sinne der Erfindung sind bei den Pilotpumpen, die unmittelbar in einen Verbraucher fördern, die diesen hydraulisch vorgeschalteten Pumpen. Bei den Pilotpumpen, die aus einem Verbraucher heraus fördern, die also saugseitig mit dem Verbraucher verbunden sind, sind die nachgeordneten Pumpen, die Pumpen, die hydraulisch nachgeschaltet sind.

**[0009]** Gemäß der Erfindung werden ein oder mehrere Energieoptimierungskreise gebildet, die jeweils aus einer oder mehreren Pilotpumpen und einer oder mehreren nachgeordneten Pumpen bestehen, welche in die Pilotpumpen fördern oder aus diesen versorgt werden, wobei nachgeordnete Pumpen jeweils nur einem Energieoptimierungskreis zugeordnet werden, wonach der oder die Energieoptimierungskreise energieoptimiert werden.

**[0010]** Grundgedanke dabei ist es also zunächst einmal die möglicherweise komplexe hydraulische Anlage in Energieoptimierungskreise aufzuteilen, die so gewählt werden, dass sich vereinfachte Anlagenteile bilden, die ohne größeren Aufwand energieoptimiert werden können.

**[0011]** Ein Energieoptimierungskreis wird dabei immer aus einer oder mehreren Pilotpumpen und einer oder mehreren nachgeordneten Pumpen gebildet, welche in die Pilotpumpen fördern oder aus diesen gespeist werden. Die nachgeordneten Pumpen müssen nicht unmittelbar, sondern können auch mittelbar in die Pilotpumpen fördern oder aus diesen gespeist werden, je nachdem, wie weit sie hydraulisch nachgeordnet sind.

**[0012]** Die Energieoptimierungskreise werden dabei so gewählt, dass nachgeordnete Pumpen jeweils nur einem Energieoptimierungskreis zugeordnet werden. Eine oder mehrere Pilotpumpen können hingegen auch mehreren Energieoptimierungskreisen zugeordnet sein.

**[0013]** Grundgedanke dabei ist es, Energieoptimierungskreise zu bilden, bei denen am Ende oder Anfang mindestens eine Pilotpumpe steht, wobei die Pilotpumpe, die unmittelbar vor bzw. hinter dem Verbraucher

steht, für die hydraulische Versorgung des Verbrauchers, insbesondere die erforderliche Förderhöhe zu sorgen hat, wohingegen die vorgeschalteten bzw. hydraulisch nachgeschalteten Pumpen in ihrer Ansteuerung verändert werden können, bis der Gesamtenergieverbrauch des Energieoptimierungskreises ein Minimum aufweist oder zumindest verringert ist. Wenn alle so gebildeten Energieoptimierungskreise energieoptimiert sind, dann ist auch die gesamte hydraulische Anlage hinsichtlich des Betriebs der darin eingegliederten Kreiselpumpen energieoptimiert. Dabei werden die Energieoptimierungskreise nacheinander optimiert, wobei es keine Rolle spielt, in welcher Reihenfolge die Kreise optimiert werden. Zweckmäßigerweise erfolgt der Optimierungsprozess dabei kontinuierlich während des Betriebs der Pumpen damit auch bei hydraulischen Änderungen in der Anlage die Energieoptimierung unter Zugrundelegung der geänderten Betriebspunkte der Pumpe erneut erfolgt.

**[0014]** Ein Energieoptimierungskreis weist typischerweise eine oder mehrere Pilotpumpen, sowie eine oder mehrere nachgeordnete Pumpen auf, wobei die nachgeordneten Pumpen in zumindest eine Pilotpumpe unmittelbar fördern oder aus zumindest einer Pilotpumpe unmittelbar gespeist werden.

**[0015]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst ein Energieoptimierungskreis all die Pilotpumpen, in welche die eine oder die mehreren nachgeordneten Pumpen fördern oder aus denen die nachgeordneten Pumpen gespeist werden.

**[0016]** Um einen Energieoptimierungskreis zu optimieren wird gemäß der Erfindung zu jeder Pumpe eine Größe  $e$  ermittelt, welche durch den Quotienten aus der Änderung der aufgenommenen Leistung und der Änderung der abgegebenen hydraulischen Leistung der Pumpe bestimmt ist. Es werden dann die Größen  $e$  der Pilotpumpen gegebenenfalls, d. h. wenn es mehrere sind, addiert und mit der Größe  $e$  jeder der diesen vorgeschalteten bzw. nachgeschalteten Pumpen durch Varianz der Ansteuerung dieser Pumpen in Übereinstimmung gebracht, wobei parallel geschaltete vorgeschaltete oder nachgeschaltete Pumpen als eine Pumpe betrachtet werden. Grundgedanke dabei ist es, die Änderung der Leistungsaufnahme, typischerweise der elektrischen Leistungsaufnahme der Pumpe mit der Änderung der hydraulischen Leistungsabgabe ins Verhältnis zu setzen und diese Quotienten der Pilotpumpen zu addieren und dann die Ansteuerung der nachgeordneten Pumpen solange zu variieren, bis sie mit dieser durch Addition der Einzelquotienten der Pilotpumpen gebildeten Größe  $e$  übereinstimmt, da dann die von dem Energieoptimierungskreis aufgenommene Leistung minimal oder zumindest gering ist. Dabei ist die Größe  $e$  einer jeden nachgeordneten Pumpe gleichzusetzen mit der Größe, welche durch die Addition der entsprechenden Quotienten der Pilotpumpen gebildet ist. Dabei erfolgt die Energieoptimierung der Gestalt, dass eine Größe  $e$  einer oder

mehreren Pilotpumpen zum Zeitpunkt  $t=0$  bestimmt wird und nachfolgend unter Zugrundelegung dieser Größe  $e$  die nachgeordneten Pumpen wie vorbeschrieben energieoptimiert werden. Es versteht sich, dass dann, wenn die nachgeordneten Pumpen insoweit unter Zugrundelegung der Größe  $e$  zum Zeitpunkt  $t=0$  energieoptimiert werden, sich diese Größe  $e$  der einen oder mehreren Pilotpumpen ändert, so dass zum Abschluss des Optimierungsvorganges des Energieoptimierungskreises zum Zeitpunkt  $t=1$  sich eine möglicherweise von der Größe  $e$  zum Zeitpunkt  $t=0$  abweichende Größe  $e$  zum Zeitpunkt  $t=1$  ergibt. Der Optimierungsvorgang kann dann erneut vorgenommen werden, indem die Größe  $e$  der einen oder mehreren Pilotpumpen zum Zeitpunkt  $t=1$  bestimmt wird und die nachgeordneten Pumpen entsprechend angesteuert werden. Je häufiger dieser Vorgang durchgeführt wird, desto besser ist das Ergebnis, wobei sich bei nicht ändernder Anlage bald ein nahezu optimaler Wert einstellt. Um möglichst schnell an das gewünschte Optimierungsergebnis zu gelangen, ist es besonders zweckmäßig, die Differenz der  $E$ -Werte zwischen der Summe der Pilotpumpen und der zu optimierenden Pumpe nicht in einem Drehschritt auszugleichen, sondern nur einen Teil davon, vorzugsweise zwischen 20 % und 50 %. Damit wird die Änderung der  $E$ -Werte der Pilotpumpen schon mit berücksichtigt. Dieser Prozentsatz ist anlagenspezifisch anzupassen und hängt von dem dynamischen Verhalten der Verbraucher ab. Es werden also zweckmäßigerweise die Energieoptimierungskreise nacheinander und ständig in der vorbeschriebenen Weise energieoptimiert, um die Anlage auch bei sich ändernden Betriebszuständen Ressourcen schonend zu betreiben.

**[0017]** Wenn innerhalb dieses Energieoptimierungskreises Pumpen parallel geschaltet sind, so werden diese als eine gemeinsame Pumpe, also mit einer gemeinsamen Größe  $e$  betrachtet, wobei für die parallel geschalteten Pumpen unter sich vorteilhaft ein weiter unten noch beschriebenes Optimierungsverfahren angewendet wird.

**[0018]** Als aufgenommene Leistung wird zweckmäßigerweise die elektrische Aufnahmeleistung  $P$  des Antriebsmotors herangezogen, die bei drehzahlgesteuerten Pumpen regelmäßig ohne nennenswerten Aufwand pumpenseitig zur Verfügung steht.

**[0019]** Da die hydraulische Ausgangsleistung einer Pumpe nur aufwendig zu bestimmen ist, ist gemäß einer Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, als Maß für die abgegebene hydraulische Leistung die Förderhöhe  $h$  der Pumpe oder die Fördermenge  $q$  der Pumpe heranzuziehen. Dabei wird, wie weiter unten noch beschrieben ist, je nach hydraulischer Aufgabe die Förderhöhe  $h$  oder die Fördermenge  $q$  zur Bildung der Größe  $e$  herangezogen. Diese Größen werden vorteilhaft durch die Pumpe selbst zur Verfügung gestellt, da ein entsprechendes Signal bei drehzahlgesteuerten Pumpen, die typischerweise eine Steuer- und Regelelektronik aufweisen, ohne größeren Aufwand bereitgestellt werden kann. Dabei ist es zweck-

mäßig, parallel sowohl ein Signal bereitzustellen, welches den Quotienten aus der Änderung der Aufnahme der elektrischen Leistung  $P$  und der Änderung der Förderhöhe  $h$  darstellt, als auch ein elektrisches Signal, welches den Quotienten aus der Änderung der aufgenommenen Leistung  $P$  und der Änderung der Fördermenge  $q$  darstellt. Beide Signale können je nach Wahl des Optimierungskreises bei dem erfindungsgemäßen Verfahren Verwendung finden. Die Größen selbst brauchen typischerweise pumpenseitig nicht gesondert ermittelt zu werden, da z.B. bei modernen frequenzumrichter gesteuerten Pumpen für das gesamte Kennfeld der Betriebspunkte die elektrischen und hydraulischen Eigenschaften der Pumpe bekannt und in einem elektronischen Speicher hinterlegt sind. Sie können also in der Regel stets rechnerisch durch Verknüpfung der abgespeicherten Werte ermittelt werden. Statt die Änderung der hydraulischen Ausgangsleistung der Pumpe heranzuziehen, kann auch eine damit unmittelbar in Beziehung stehende Größe, beispielsweise bei einer Heizungsanlage, die Änderung der Wärmemenge  $Q$ , die eine Funktion der Fördermenge  $q$  und der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  ist ( $Q = q \cdot \Delta T$ ) oder eine andere damit einhergehende Größenänderung herangezogen wird. Um parallel geschaltete Pumpen, die wie weiter oben beschrieben, bei dem erfindungsgemäßen Verfahren innerhalb eines Energieoptimierungskreises als eine gemeinsame Pumpe betrachtet werden, unter sich energiezu optimieren ist gemäß einer Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, diese Pumpen so anzusteuern, dass die Größe  $e_q$  der parallel geschalteten Pumpen gleich groß ist, wobei die Größe  $e_q$  durch den Quotienten aus der Änderung aufgenommenener Leistung  $P$  und der Änderung der Fördermenge  $q$  der jeweiligen Pumpe gebildet wird. Es wird also bei parallel geschalteten Pumpen als charakteristische Größe für die abgegebene hydraulische Leistung die Fördermenge herangezogen, was sinnvoll ist, da parallel geschaltete Pumpen dazu vorgesehen sind, eine Fördermenge zu realisieren, die mit einer einzigen Pumpe nicht oder zumindest nicht wirtschaftlich bereitgestellt werden könnte.

**[0020]** In Heizungsanlagen, bei denen parallel geschaltete Pumpen als so genannte Doppelpumpen betrieben werden, kann es vorgesehen sein, eine solche Doppelpumpe nicht für den parallelen Betrieb zweier Pumpen, sondern lediglich als Ersatzpumpe bei Ausfall der anderen Pumpe vorzusehen. Dann versteht es sich, dass aufgrund eines entsprechend von dieser Doppelpumpe bereit gestellten Signals die stillgesetzte Pumpe bei der Energieoptimierung nicht mit herangezogen wird.

**[0021]** Wenn parallel geschaltete Pumpen wie vorbeschrieben energieoptimiert worden sind, dann sind sie in dem erfindungsgemäßen Verfahren als eine einzige Pumpe zu betrachten. Da für die Energieoptimierung solcher nicht parallel geschalteter Pumpen typischerweise die Förderhöhe  $h$  also der Förderdruck als Größe für die hydraulische Leistung Verwendung findet, wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bei parallel geschalteten

Pumpen die Größe  $e_h$  dadurch gebildet, dass der Quotient aus der Änderung aufgenommenener Leistung  $P$  und der Änderung der Förderhöhe  $h$  jeder der parallel geschalteten Pumpen ermittelt und diese Quotienten so dann addiert werden.

**[0022]** Bei hintereinander geschalteten Pumpen, sei es, dass es sich um hintereinander geschaltete Einzelpumpen oder Gruppen von parallel geschalteten Pumpen oder beides handelt, wird zur Energieoptimierung vorteilhaft eine Größe  $e_h$  herangezogen, die durch den Quotienten aus der Änderung aufgenommenener Leistung  $P$  und der Änderung der Förderhöhe  $h$  der jeweiligen Pumpe bzw. Pumpengruppe (wie vorbeschrieben) gebildet wird. Diese Größe  $e_h$  wird dann der entsprechenden, gegebenenfalls durch Addition gebildeten Größe  $e_h$ , der zugehörigen Pilotpumpen gleichgesetzt, wobei durch Varianz der Ansteuerung der nachgeordneten Pumpen auf beiden Seiten gleiche Größen erzielt werden und damit eine Energieoptimierung erzielt wird.

**[0023]** Das erfindungsgemäße Energieoptimierungsverfahren hat dort seine Grenzen, wo eine Pumpe in die Sättigung gelangt, d. h. auf der Kurve ihrer maximalen Leistung fördert. Dann kann diese Pumpe nicht weiter leistungserhöhend angesteuert werden, was bei dem Energieoptimierungsverfahren zu berücksichtigen ist, sei es, dass eine Pilotpumpe die an die Sättigungsgrenze herankommt, durch nachgeordnete Pumpen entsprechend hydraulisch zu unterstützen ist oder eine nachgeordnete Pumpe, die an die Sättigungsgrenze herankommt, in soweit nicht zur Aufnahme höherer Leistung im Zuge des Energieoptimierungsverfahrens angesteuert werden darf.

**[0024]** Das erfindungsgemäße Energieoptimierungsverfahren setzt grundsätzlich die Kenntnis des funktionalen Zusammenhangs der hydraulischen Anlage voraus. Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung kann der funktionale Zusammenhang der hydraulischen Anlage jedoch auch durch entsprechende Ansteuerung der Pumpen im System durch die Pumpen selbst ermittelt werden. Dabei ist gemäß der Erfindung vorgesehen, dass von den Pumpen in der Anlage mindestens eine Pumpe zunächst mit einer ersten und dann gegenüber der ersten Drehzahl veränderten Drehzahl angesteuert wird, wobei die sich dabei ergebenden hydraulischen Größen bzw. Änderungen verbraucherseitig und/oder pumpenseitig erfasst werden und anhand dieser Werte Rückschlüsse auf die hydraulische Anordnung gemacht werden. So können beispielsweise von zwei Pumpen durch Drehzahlsteuerung einer der Pumpen und Druckmessung oder Mengenmessung ohne weiteres festgestellt werden, ob die Pumpen parallel oder in Reihe geschaltet sind. Nach diesem Prinzip kann letztlich der funktionale hydraulische Zusammenhang der gesamten Anlage ermittelt werden, wie weiter unten anhand eines Ausführungsbeispiels verdeutlicht ist.

**[0025]** Gemäß der Erfindung wird der funktionale Zusammenhang mehrerer in ihrer Drehzahl steuerbarer Pumpen in einer Anlage dadurch ermittelt, dass bei min-

destens einer Pumpe die Drehzahl verändert wird und aus der daraus resultierenden hydraulischen Rückwirkung mindestens ein funktionaler Zusammenhang der Anlage ermittelt wird. Je nach Umfang des zu ermittelnden funktionalen Zusammenhangs können eine oder auch mehrere Pumpen mit veränderter Drehzahl angesteuert werden, um diesen Zusammenhang zu ermitteln. So kann es beispielsweise zur Feststellung ob zwei Pumpen parallel oder hintereinander geschaltet sind genügen, eine der Pumpen mit erhöhter Drehzahl anzusteuern um dann durch Druck- oder Durchflussmessung gegenüber dem Ursprungszustand zu bestimmen in welcher Weise diese Pumpen verschaltet sind.

**[0026]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird das Verfahren in drei grundsätzlichen Verfahrensschritten angewandt, nämlich wie folgt:

a) In einem ersten Verfahrensschritt werden alle in der Anlage verbauten Pumpen mit vorzugsweise konstanter Drehzahl angesteuert und zu jeder Pumpe oder zu jedem den Pumpen zugeordneten Verbraucher oder jeder Verbrauchergruppe, wenn einer Pumpe mehrere Verbraucher zugeordnet sind, eine hydraulische Größe erfasst. Typischerweise werden die Pumpen dabei mit einer konstanten mittleren Drehzahl angesteuert und zwar solange, bis sich quasi stationäre Werte einstellen. Diese Werte werden entweder pumpenweise oder verbraucherweise erfasst, es handelt sich dabei wahlweise um den Druck oder den Volumenstrom (Fördermenge), wobei diese nicht notwendigerweise direkt erfasst werden müssen, sondern in an sich bekannter Weise auch durch andere Größen, z.B. elektrische Größen des Antriebs der Pumpen indirekt ermittelt werden können.

b) Es werden dann nacheinander jeweils eine der Pumpen oder mehrere Pumpen mit veränderter Drehzahl angesteuert und die sich dabei jeweils ergebende Änderung der hydraulischen Größen erfasst. Es wird also jede einzelne Pumpe typischerweise mit einer gegenüber der gemäß Schritt a erhöhten Drehzahl angesteuert und es werden dann die Änderungen der hydraulischen Größen erfasst, die sich entweder verbraucherseitig oder pumpenseitig ergeben, wobei pumpenseitig sowohl die hydraulischen Größen der mit veränderter Drehzahl angesteuerten Pumpe als auch die der anderen Pumpen erfasst werden. Grundsätzlich spielt es dabei keine Rolle, ob die veränderte Drehzahl eine gegenüber der Drehzahl gemäß Schritt a erhöhte oder erniedrigte ist, vorteilhaft wird jedoch in der Regel eine demgegenüber erhöhte Drehzahl gewählt. Es versteht sich, dass in gleicher Weise nacheinander alle Pumpen entweder mit gegenüber der Drehzahl im Schritt a erhöhter oder aber abgesenkter Drehzahl betrieben werden müssen um die sich dabei ergebenden hydraulischen Änderungen der hydrau-

lischen Größen zu erfassen.

c) In einem dritten Verfahrensschritt wird dann nachdem die Änderungen der hydraulischen Größen erfasst sind die Zuordnung der Pumpen oder Pumpengruppe zu den Verbrauchern oder Verbrauchergruppen anhand dieser erfassten hydraulischen Größenänderungen bestimmt.

**[0027]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann bei der vorteilhaften Verwendung frequenzumrichter-gesteuerter Pumpen in die digitale Frequenzumrichterelektronik implementiert sein, wobei dann eine Datenverbindung der Pumpen untereinander, sei es drahtlos per Funk oder beispielsweise über Netzkabel gebildet sein sollte um die Pumpen verfahrensmäßig entsprechend zu koordinieren und im weiteren die hydraulischen Größen an den Pumpen bzw. an den Verbrauchern zu erfassen. Es kann jedoch dieses Verfahren auch in einer gesonderten Steuerung implementiert werden, die drahtlos oder drahtgebunden mit den Pumpen und ggf. den Verbrauchern bzw. deren Sensoren datenverbunden ist.

**[0028]** Das erfindungsgemäße Verfahren bietet den großen Vorteil, dass es mit typischerweise ohnehin in der Heizungsanlage vorhandenem Equipment ausgeführt werden kann, d. h. mit Ausnahme der Steuerung und des Datenverbundes sind keine zusätzlichen Maßnahmen in der Anlage vorzusehen. Steuerung und Datenverbund können jedoch bei geeigneter Ausgestaltung der Pumpen in diese bei nur geringen Mehrkosten integriert werden. Der Datenverbund ist darüber hinaus für das nachfolgend anzuwendende Energieoptimierungsverfahren ohne Erfordernis.

**[0029]** Die Auswertung der so ermittelten hydraulischen Größen und Größenänderungen kann in einfacher Weise erfolgen. Dabei unterscheiden sich die Verfahren grundlegend dadurch, ob die hydraulischen Größen bzw. deren Änderungen pumpenseitig oder verbraucherseitig erfasst werden.

**[0030]** Wenn die Größen verbraucherseitig, d. h. bei einem Verbraucher oder einer Verbrauchergruppe, wenn mehrere Verbraucher einer Pumpe zugeordnet sind, erfasst werden, dann wird gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens bei den Pumpen, die beim Ansteuern mit geänderter Drehzahl die gleichen verbraucherseitigen hydraulischen Größenänderungen erzeugen festgestellt, dass diese einer Pumpengruppe zugeordnet sind. Eine Pumpengruppe besteht aus zwei oder mehr unmittelbar parallel und/oder hintereinander geschalteten Pumpen. Der erste Zuordnungsschritt besteht also darin, bei verbraucherseitiger Größenerfassung zu bestimmen, ob die Pumpen als Einzelpumpen oder in Gruppen in der Anlage hydraulisch verschaltet sind.

**[0031]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird festgestellt, dass dann, wenn bei einer Drehzahländerung einer oder nacheinander folgend auch mehrerer Pumpen nur ein Verbraucher oder eine Verbrauchergruppe entsprechend der Drehzahlän-

derung ansteigend bzw. abfallend beeinflusst wird, dass dann die Pumpe oder die Pumpen dem jeweils beeinflussten Verbraucher oder der jeweils beeinflussten Verbrauchergruppe direkt zugeordnet sind, d. h. keine weiteren Pumpen sich mehr im Leitungsweg zwischen der vorgenannten Pumpe/ den vorgenannten Pumpen und dem Verbraucher bzw. der Verbrauchergruppe befinden.

**[0032]** Um den funktionalen Zusammenhang innerhalb einer Pumpengruppe zu ermitteln ist gemäß einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, alle Pumpen der Pumpengruppe mit konstanter Drehzahl anzusteuern, also beispielsweise gemäß Verfahrensschritt a, wobei dann die von den jeweiligen Pumpen erzeugte Druckdifferenz beispielsweise durch einen Differenzdrucksensor an der jeweiligen Pumpe erfasst wird. Es wird danach nacheinander jeweils eine der Pumpen mit verändertem, vorzugsweise erhöhtem Druck angesteuert und die sich dabei ergebende Differenzdruckänderung oder Drehzahländerungen der anderen Pumpen erfasst, wonach dann die Zuordnung der Pumpen innerhalb der Pumpengruppe anhand der erfassten Größenänderungen bestimmt wird, wie sich dies anhand der hydraulischen Grundgesetze bei Parallel- oder Reihenschaltung von Pumpen ergibt. Um den funktionalen Zusammenhang innerhalb der Pumpengruppe festzustellen können entweder die Pumpen einer Pumpengruppe nachfolgend mit veränderter, vorzugsweise erhöhter Drehzahl angesteuert und die Durchflussmenge durch die jeweilige Pumpe erfasst werden oder aber die Pumpen werden nacheinander jeweils zur Erzeugung eines erhöhten Differenzdruckes angesteuert wobei dann die sich einstellenden Druckniveaus dieser und der anderen Pumpen erfasst und anhand der sich ggf. ergebenden Änderungen die Zuordnung der Pumpen innerhalb der Pumpengruppe festgestellt wird.

**[0033]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Pumpe oder werden die Pumpen, die bei ihrer Drehzahländerung zwei oder mehr Verbraucher oder Verbrauchergruppen entsprechend der Drehzahländerung ansteigend bzw. abfallend beeinflussen entsprechend der Anzahl der beeinflussten Verbraucher oder Verbrauchergruppen zugeordnet. Es kann somit ermittelt werden, welche Pumpen welche Verbraucher beaufschlagen und somit die Zuordnung der Pumpen untereinander bestimmt werden.

**[0034]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nicht die Absolutwerte der hydraulischen Größen bzw. Größenänderungen erfasst werden, sondern lediglich deren Richtung, da dann zum einen eine sehr einfache und nicht kalibrierte Sensorik zum Einsatz kommen kann, zum andern die Auswertung nur geringe Rechenleistung sowie verminderten Speicherplatzbedarf benötigt. Es reicht also zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens aus, zu erfassen, ob sich die jeweils erfasste hydraulische Größe bei Drehzahl oder Druckänderung einer bestimmten Pumpe vergrößert, verkleinert oder gleich bleibt. Es kommt somit

nur auf eine vereinfachte Richtungserfassung an, die ausreichend genau ist, wenn sie in drei Gruppen, nämlich größer (+1), kleiner (-1) und gleich (0) kategorisiert werden kann.

**[0035]** Wenn das erfindungsgemäße Verfahren durch Erfassen der hydraulischen Größen der Pumpen, also beispielsweise des Drucks oder des Volumenstroms durchgeführt werden soll, was anlagenmäßig in der Regel günstiger ist, da frequenzumrichter gesteuerte Heizungsumwälzpumpen heutzutage regelmäßig mit Differenzdrucksensoren ausgestattet sind, dann ist es zweckmäßig, zunächst einmal mit dem Verfahren zu bestimmen, ob die hydraulische Anlage ein hydraulisches Netzwerk ist oder ob sie aus zwei oder mehr voneinander unabhängigen Anlagenteilen besteht. Bei voneinander unabhängigen Anlagenteilen hat eine drehzahlveränderte oder druckerhöhte Ansteuerung einer Pumpe in dem anderen Teil keinerlei Einfluss, so dass auf diese Weise mit dem Verfahren zunächst einmal die hydraulisch miteinander verbundenen Anlagenteile bestimmt werden können.

**[0036]** Die Verfahren, bei denen zum Ermitteln des funktionalen Zusammenhangs hydraulische Größen der Pumpen, typischerweise Druck bzw. Differenzdruck oder Volumenstrom erfasst werden, unterscheiden sich wiederum grundsätzlich voneinander.

**[0037]** Wenn, was gemäß einer Weiterbildung der Erfindung vorgesehen ist, bei allen Pumpen die Volumenströme und somit als hydraulische Änderungen Volumenstromänderungen erfasst werden, dann kann der funktionale Zusammenhang der Pumpen wie folgt bestimmt werden, wobei im Folgenden die Änderungen beim Ansteuern einer Pumpe mit steigender Drehzahl vermerkt sind. Es sei allerdings betont, dass auch die

**[0038]** Änderungen in analoger Weise herangezogen werden können, wenn die Ansteuerung mit abgesenkter Drehzahl erfolgt:

Es wird eine Matrix gebildet, in der die hydraulischen Änderungen mindestens eines hydraulisch selbstständigen Anlagenteils erfasst werden, wobei vorteilhaft auch hier die Richtungsänderungen erfasst werden, also die Matrix mit den Werten 0 für gleich bleibend, +1 für steigend und -1 für fallend gebildet wird. Dabei wird zeilenweise zu jeder Pumpe die sich bei ihrer Ansteuerung mit veränderter Drehzahl ergebenden Änderungen der hydraulischen Größen an dieser Pumpe sowie an den anderen Pumpen angegeben. Weiterhin wird jeder Pumpe eine Spalte zugeordnet, dabei sind die Zeilen innerhalb der Matrix sortiert, und zwar entsprechend ihrer Anzahl ansteigender Änderungen (+1) aufsteigend von oben nach unten und die Spalten entsprechend ihrer Anzahl ansteigender Änderungen (+1) aufsteigend vom links nach rechts. In der obersten Zeile der Matrix sind also die Änderungen der Pumpe erfasst, welche die wenigsten ansteigenden Änderungen in der Gesamtheit der Pumpen erzeugt, die zugehörige Spalte dieser Pumpe schließt sich an gleicher Stelle oben links der Matrix an. Die Pumpe mit den meisten ansteigenden Änderungen

steht in der letzten, also untersten Zeile, wobei dieser Pumpe dann auch die letzte Spalte, also die Spalte ganz rechts zugeordnet ist. Es versteht sich, dass die Matrix, da sie zwingend bezüglich ihrer Diagonalen spiegelsymmetrisch ist, auch genau umgekehrt angeordnet werden kann.

**[0039]** Es wird die Matrix durch eine Diagonale geteilt, welche von der einen zur anderen Matrixachse verläuft die quasi die Felder der Matrix schneidet bzw. auslöscht, in der eine ansteigenden Größenänderung also typischerweise eine 1 befindlich ist. Dies sind die Felder, bei denen die Pumpenzuordnung von Spalte und Zeile übereinstimmt. Durch Betrachtung der Anzahl ansteigender Änderungen der hydraulischen Größen in jeder Spalte unter der vorgenannten Diagonalen oder in jeder Zeile über der vorgenannten Diagonalen kann dann bestimmt werden, welche Pumpen hydraulisch nebeneinander und welche hydraulisch hintereinander geschaltet sind.

**[0040]** Bei den Pumpen, bei denen eine gleiche Anzahl ansteigender Änderungen (+1) der hydraulischen Größen in den Spalten unter der Diagonalen oder in den Zeilen über der Diagonalen der Matrix angegeben ist, handelt es sich um nebeneinander geschaltete Pumpen, also solche Pumpen, die aus derselben Leitung und aus demselben Druckniveau heraus fördern.

**[0041]** Gemäß einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Pumpen bestimmt, die zu einem Verbraucher oder zu einer Verbrauchergruppe unmittelbar zugeordnet sind, d. h. die in einen solchen Verbraucher oder eine Verbrauchergruppe ohne Zwischenschaltung weiterer Pumpen fördern. Es handelt sich dabei um die Pumpen, bei denen keine ansteigende Änderung der hydraulischen Größen in einer Zeile unter der Diagonalen oder einer Spalte über der Diagonalen der Matrix vorhanden ist. Hierzu kann ggf. auch die erste Pumpe der Matrix gehören, die der ersten Zeile und der ersten Spalte zugeordnet ist und die auf der Diagonalen liegt. Dies ergibt sich aus der Zeilen- bzw. Spaltensortierung.

**[0042]** Gemäß einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird durch Auswerten der Matrix bestimmt, wie viele Pumpen der jeweils betrachteten Pumpe hydraulisch vorgeschaltet sind. Hierzu wird die Anzahl der ansteigenden Änderungen der hydraulischen Größen in den Spalten unter der Diagonalen oder in den Zeilen über der Diagonalen der Matrix erfasst. Diese Zahl entspricht der Anzahl der der jeweiligen Pumpe vorgeschalteten Zahl von Pumpen, wobei über die hydraulische Verschaltung der vorgeschalteten Pumpen keine Aussage getroffen ist. Gemäß einer Verfahrensvariante, bei der die Matrix in gleicher Weise wie vorbeschrieben gebildet wird, kann bestimmt werden, welche Pumpen hydraulisch nebeneinander und welche hydraulisch hintereinander geschaltet sind, anhand der Anzahl ansteigender Änderungen der hydraulischen Größen in jeder Zeile unter oder in jeder Spalte über einer die Matrix teilenden und von einer zur anderen Matrixachse verlaufenden Diagonalen. Dabei kann gemäß einer Weiterbil-

dung des erfindungsgemäßen Verfahrens die Anzahl der ansteigenden Änderungen der hydraulischen Größen in den Zeilen unter der Diagonalen oder in den Spalten über der Diagonalen der Matrix zur Bestimmung der Anzahl der Pumpen herangezogen werden, die der jeweiligen Pumpe hydraulisch nachgeschaltet sind, es kann somit die Anzahl zugeordnet werden.

**[0043]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann wenn hydraulische Größen der Pumpe ausgewertet werden, entweder dadurch ausgeführt werden, dass der Volumenstrom der Pumpen erfasst wird oder aber alternativ der Druck bzw. der Differenzdruck der Pumpen. Wenn die Bestimmung über die Druckänderungen erfolgen soll, wird gemäß der Erfindung in gleicher Weise wie vorbeschrieben eine Matrix gebildet, in der die hydraulischen Änderungen mindestens eines hydraulisch selbstständigen Anlagenteils erfasst werden, wobei auch hier zeilenweise zu jeder Pumpe die bei ihrer Ansteuerung zur Förderung mit verändertem Druck sich ergebenden Änderungen der hydraulischen Größe an dieser und den anderen Pumpen angegeben wird und wobei jeder Pumpe eine Spalte zugeordnet wird. Dabei werden die Zeilen entsprechend ihrer Anzahl abfallender Änderungen (-1) aufsteigend von oben nach unten und die Spalten entsprechend ihrer Anzahl abfallende Änderungen von links nach rechts sortiert wobei dann anhand der Anzahl abfallender Änderungen der hydraulischen Größe in jeder Spalte unter oder in jeder Zeile über einer die Matrix teilenden und von einer zur anderen Matrixachse verlaufenden Diagonalen bestimmt wird, welche Pumpen hydraulisch nebeneinander und welche hydraulisch hintereinander geschaltet sind. Die Diagonale bildet auch hier eine symmetrische Teilung der Matrix und verläuft durch die stets als ansteigende Änderung ausgewiesenen Felder, welche in Zeile und Spalte jeweils dieselbe Pumpe betreffen. Diese Felder werden ebenso wie bei der vorbeschriebenen auch bei der nachfolgenden Auswertung nicht mitgezählt.

**[0044]** Dabei gibt eine gleiche Anzahl abfallender Änderungen der hydraulischen Größen in den Spalten unter der Diagonalen oder in den Zeilen über der Diagonalen der Matrix die Nebeneinanderschaltung der entsprechenden Pumpen an.

**[0045]** Eine unterschiedliche Anzahl abfallender Änderungen der hydraulischen Größen in Spalten unter der Diagonalen oder in Zeilen über der Diagonalen der Matrix gibt die Hintereinanderschaltung der entsprechenden Pumpen an.

**[0046]** Wenn eine Zeile unter der Diagonalen keine abfallende Änderung der hydraulischen Größen aufweist oder eine Spalte über der Diagonalen der Matrix, dann bestimmt dies die unmittelbare Zuordnung der entsprechenden Pumpe zu einem Verbraucher oder einer Verbrauchergruppe.

**[0047]** Die Anzahl der abfallenden Änderungen der hydraulischen Größen in den Spalten unter der Diagonalen oder in den Zeilen über der Diagonalen der Matrix gibt gemäß einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen

Verfahrens die Anzahl der jeweiligen Pumpe hydraulisch vorgeschalteten Pumpen an.

**[0048]** Anhand der Anzahl abfallender Änderungen der hydraulischen Größen in jeder Spalte unter oder in jeder Zeile über einer die Matrix teilenden und von einer zur anderen Matrixachse verlaufenden Diagonalen wird gemäß einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens alternativ bestimmt, welche Pumpen hydraulisch nebeneinander und welche hydraulisch hintereinander geschaltet sind. Dabei sind die Pumpen, welche die gleiche Anzahl abfallender Änderungen der hydraulischen Größe in der Spalte unter oder in der Zeile über der Diagonalen der Matrix aufweisen, hydraulisch nebeneinander geschaltet und die mit unterschiedlicher Anzahl hydraulisch hintereinander geschaltet.

**[0049]** Gemäß einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens gibt die Anzahl der abfallenden Änderungen der hydraulischen Größen in den Zeilen unter der Diagonalen oder in den Spalten über der Diagonalen der Matrix die Anzahl der jeweiligen Pumpe hydraulisch nachgeschalteten Pumpen an.

**[0050]** Es wird somit deutlich, dass die vorbeschriebene Matrix den funktionalen Zusammenhang der Pumpen eindeutig bestimmt, wenn eine hydraulische Größenänderung an jeder Pumpe erfasst wird. Bei der Erfassung hydraulischer Änderungen am Verbraucher oder einer Verbrauchergruppe kann es ggf. erforderlich sein, wie eingangs beschreiben, zusätzlich Pumpengruppen mittels der Änderung einer hydraulischen Größe der Pumpen dahingehend zu differenzieren ob sie parallel oder in Reihe geschaltet sind.

**[0051]** Das erfindungsgemäße Energieoptimierungsverfahren und auch das vorbeschriebene Verfahren zur Ermittlung des funktionalen Zusammenhangs der Pumpen können durch eine elektronische Steuer- und Regeleinrichtung realisiert werden, die typischerweise als digitale Steuer- und Regeleinheit ausgebildet ist und eine Datenverbindung zu den Pumpen aufweist. Eine solche Datenverbindung kann beispielsweise drahtlos über Funk oder auch drahtgebunden nach Art einer Netzwerkverbindung zwischen den Pumpen und der Steuer- und Regeleinheit erfolgen. Die Steuer- und Regeleinheit kann auch Teil einer Pumpe bilden. Besonders zweckmäßig dürfte es üblicherweise sein, wenn eine Steuer- und Regeleinheit vorgesehen ist, welche mit den Pumpen datenverbunden ist, so dass zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens praktische beliebige Pumpen Verwendung finden können, wenn diese entsprechend modifiziert sind, d. h. zumindest einen Datenanschluss zur Verbindung mit der Steuer- und Regeleinheit aufweisen. Besonders zweckmäßig ist es allerdings, wenn die Pumpen selbst so ausgebildet sind, dass sie die für das Regelverfahren erforderlichen Größen, insbesondere die Größe  $e_h$ , welche den Quotienten aus der Änderung der aufgenommenen Leistung  $P$  zur Änderung der Förderhöhe  $h$  sowie  $e_q$ , welche den Quotienten aus der Änderung der aufgenommenen Leistung  $P$  und der Änderung der Fördermenge  $q$  der Pumpe angibt, bereit-

stellen. Diese Werte stehen bei drehzahlsteuerbaren Pumpen typischerweise in der Steuerelektronik ohne weiteres zur Verfügung, weshalb es nur ausnahmsweise sinnvoll sein dürfte, diese in einer externen Steuer- und Regeleinheit gesondert zu ermitteln. Weiterhin sollte die Steuerelektronik der Pumpen ein Signal  $S$  erzeugen, wenn und solange wie die jeweilige Pumpe ihre Leistungssättigung erreicht hat. Es versteht sich, dass bei digitaler Signalverarbeitung ein Signal stets anliegt und dann ein Wert von 0 auf 1 oder umgekehrt gesetzt wird, welcher die Sättigung repräsentiert.

**[0052]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung kann es zweckmäßig sein, einen Teil der Steuer- und Regeleinheit pumpenseitig vorzusehen, beispielsweise für die Energieoptimierung parallel geschalteter Pumpen und hingegen nur den Teil der Steuer- und Regeleinheit als externes Gerät vorzusehen, welcher für die Optimierung der Energieoptimierungskreise bzw. der gesamten Anlage dient.

**[0053]** Die Erfindung, soweit sie das Optimierungsverfahren betrifft, ist nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen

Figur 1 ein Schaltbild einer hydraulischen Anlage,

Figur 2 die Anordnung der Energieoptimierungskreise in der Anlage gemäß Figur 1,

Figur 3 das hydraulische Schaltbild einer anderen hydraulischen Anlage,

Figur 4 die Lage der Energieoptimierungskreise in der Anlage gemäß Figur 3,

Figur 5 ein Energieoptimierungsschaltbild, bei dem 4 Pumpen miteinander verschaltet sind und

Figur 6 ein Energieoptimierungsschaltbild, bei dem 5 Pumpen miteinander verschaltet sind.

**[0054]** Die anhand von Figur 1 dargestellte hydraulische Anlage stellt beispielsweise eine Heizungsanlage dar, die insgesamt 5 Verbraucher bzw. Verbrauchergruppen  $V1$ ,  $V3$ ,  $V6$ ,  $V7$  und  $V10$  aufweist, sowie 14 drehzahlsteuerbare Kreiselpumpen  $pu1$  -  $pu14$ . Um diese Anlage hinsichtlich des Betriebs der Pumpen verbrauchs- zu optimieren sind zunächst Energieoptimierungskreise zu bilden. Hierzu ist zunächst einmal festzustellen, welche Pumpen Pilotpumpen bilden, d. h. es sind die Pumpen zu ermitteln, die direkt einem Verbraucher zugeordnet sind. In dem Schaltbild gemäß Figur 1 sind dies die Pumpen  $pu1$ ,  $pu2$ ,  $pu3$ ,  $pu6$ ,  $pu7$  und  $pu10$ . Dabei sind die Pumpen  $pu1$  und  $pu2$  parallel geschaltet und dem Verbraucher  $V1$  vorgeschaltet, d. h. direkt zugeordnet. Die Pumpen  $pu3$ ,  $pu6$ ,  $pu7$  und  $pu10$  sind den entsprechenden Verbrauchern  $V3$ ,  $V6$ ,  $V7$  und  $V10$  vorgeschaltet.

**[0055]** Um Energieoptimierungskreise zu bilden, wer-

den nun eine oder mehrere Pilotpumpen und die nachgeordneten Pumpen, die in diese fördern zu einem Energieoptimierungskreis zugeordnet. Ein erster Energieoptimierungskreis EK1 ist durch die beiden Pilotpumpen pu1 und pu2, die parallel zueinander angeordnet sind, sowie die in diese fördernde vorgeschaltete Pumpe pu12 gebildet. Ein zweiter Energieoptimierungskreis EK2 ist durch die Pilotpumpe pu3 und die in diese fördernde vorgeschaltete Pumpe pu1 gebildet. Ein dritter Energieoptimierungskreis EK3 ist aus den 3 Pilotpumpen pu1, pu2, pu3 sowie den vorgeschalteten Pumpen pu4 und pu5, die zueinander in Reihe liegen gebildet. Ein vierter Energieoptimierungskreis EK4 ist durch die beiden Pilotpumpen pu6 und pu7 sowie der diesen vorgeschalteten Pumpe pu 13 gebildet. Weiterhin ist ein fünfter Energieoptimierungskreis EK5 gebildet, der aus den Pilotpumpen pu1, pu2, pu3, pu6 und pu7 sowie den vorgeschalteten Pumpen pu8 und pu9 gebildet ist. Die weitere, an sich diesen Pilotpumpen auch vorgeschalteten Pumpen, sind diesen Energieoptimierungskreis EK5 nicht zugeordnet, da sie bereits anderen Energieoptimierungskreisen zugeordnet sind. Schließlich ist ein Energieoptimierungskreis EK6 gebildet, der aus der Pilotpumpe pu10 und der in diese fördernden vorgeschalteten Pumpe pu 14 besteht.

**[0056]** Die Energieoptimierungskreise EK1 - EK6 werden nunmehr nacheinander energieoptimiert, womit die gesamte Anlage hinsichtlich des Pumpenbetriebs energieoptimiert wird. Dabei wird in jedem Energieoptimierungskreis zunächst hinsichtlich der Pilotpumpen eine Größe  $e_h$  ermittelt, indem während des Anlagenbetriebs von diesen Pumpen der Quotient aus der Änderung der aufgenommenen Pumpenleistung  $P$  zur Änderung der Förderhöhe  $h$  ermittelt wird. Sind in einem Energieoptimierungskreis zwei oder mehr Pilotpumpen vorhanden, wie beispielsweise in den Kreisen EK1, EK3, EK4 und EK5, so werden die Größen  $e_h$  der Pilotpumpen addiert und mit der Größe  $e_h$  jeder der vorgeschalteten Pumpen für sich gleichgesetzt. Dabei werden die vorgeschalteten Pumpen mit entsprechend variabler Drehzahl angesteuert, bis diese  $e$ -Werte gleich sind und damit der Energieoptimierungskreis optimiert ist. So werden beispielsweise im Energieoptimierungskreis EK4 die  $e$ -Werte der Pumpen PU6 und PU7 addiert und es wird Pumpe PU 13 variabel angesteuert, bis die Größe  $e_h$  der Pumpe PU 13 der Summe der Größen  $e_h$  der Pumpen PU6 und PU7 entspricht.

**[0057]** Bei dem Energieoptimierungskreis 3 werden in analoger Weise die Größe  $e_h$  der Pumpen pu1, pu2 und pu3 addiert und mit der Größe  $e_h$  der Pumpe pu4 sowie der Pumpe pu5 nacheinander gleichgesetzt und die Pumpen pu5 bzw. pu4 solange variabel angesteuert, bis diese Werte übereinstimmen.

**[0058]** Wenn wie bei dem Energieoptimierungskreis EK5 zwei Pumpen parallel geschaltet sind, wie dies bei den Pumpen pu8 und pu9 der Fall ist, dann werden zunächst diese parallel geschalteten Pumpen zueinander energieoptimiert, indem beim Betrieb von jeder dieser

Pumpen eine Größe  $e_q$  ermittelt wird, welche die Änderung der aufgenommenen Leistung  $P$  zur Änderung der Durchflussmenge  $q$  angibt. Die Pumpen pu8 und pu9 werden dann in ihrer Drehzahl durch Varianz angesteuert bis die Größen  $e_q$  beider Pumpen übereinstimmen. Für die Energieoptimierung innerhalb des Energieoptimierungskreises EK5 werden die Pumpen pu8 und pu9 dann als eine Pumpe betrachtet. Hierzu wird von diesen Pumpen eine Größe  $e_h$  ermittelt, indem der Quotient aus der Änderung der aufgenommenen Leistung  $P$  einer Pumpe zu der Änderung der Förderhöhe  $h$  zu jeder der Pumpen erfasst und addiert wird. Die Energieoptimierung innerhalb des Energieoptimierungskreises EK5 wird dann fortgesetzt, indem diese Größe  $e_h$  der beiden Pumpen pu8 und pu9 mit der Summe der entsprechenden  $e_h$ -Größen der Pilotpumpen gleichgesetzt wird.

**[0059]** Die anhand von Figur 3 dargestellte hydraulische Anlage entspricht in ihrer Funktion im Wesentlichen der vorbeschriebenen und anhand von Figur 1 dargestellten, jedoch mit dem Unterschied, dass die Pumpen pu1 - pu14 dort nicht wie bei Figur 1 im Vorlauf zu den Verbrauchern V, sondern im Rücklauf dazu geschaltet sind. Die Pilotpumpen sind also saugseitig mit den Verbrauchern V verbunden, die den Pilotpumpen nachgeordneten Pumpen sind hier hydraulisch nachgeschaltet. So ergeben sich in analoger Weise die Pilotpumpen pu1 und pu2 welche dem Verbraucher V1 zugeordnet sind, die Pilotpumpen pu3, pu6, pu7 und pu10, welche den Verbrauchern V3, V6, V7 und V10 zugeordnet sind. Die vorgeschalteten Pumpen ergeben sich entsprechend, wie die in Figur 4 eingezeichneten Energieoptimierungskreise EK1 - EK5 verdeutlichen.

**[0060]** Anhand von Figur 5 ist veranschaulicht, wie vier miteinander hydraulisch verschaltete Pumpen PUI - PUIV miteinander datenverbunden sind und wie die Energieoptimierung erfolgt. Dabei sind die hydraulischen Verbindungen durch unterbrochene Linien dargestellt und die Datenverbindungen in durchgezogenen Linien. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Pumpe PUIV den Pumpen PUI, PUII und PUIII vorgeschaltet, wobei die Pumpen PUI, PUII und PUIII parallel geschaltet sind und bezogen auf einen ausgangseitig angeschlossenen Verbraucher Pilotpumpen darstellen. Dabei ist in der Figur 5 jeder Pumpe ein Drehzahlsteller 10 sowie eine Energieoptimierungseinheit 11 zugeordnet. Der vorgeschalteten Pumpe PUIV ist eine Energieoptimierungseinheit 11a zugeordnet, die als externe Einheit ausgebildet ist, wohingegen die Einheiten 11 einen Teil der jeweiligen Pumpe bilden. Da die Pumpen PUI, PUII und PUIII parallel geschaltet sind, werden diese zunächst zueinander optimiert, indem die Pumpen derart angesteuert werden, dass ihre Größen  $e_q$ , welche durch den Differenzenquotienten bzw. Differenzialquotienten von Leistungsaufnahme  $P$  und Fördermenge  $q$  jeder einzelnen Pumpe gebildet sind, gleichgesetzt werden, d. h. die Pumpen werden mittels der Drehzahlsteller 10 solange mit variablen Drehzahlen angesteuert, bis diese Werte übereinstimmen. Dabei ist, wie die Darstellung gemäß

Figur 5 verdeutlicht, stets eine der parallel geschalteten Pumpen von der Energieoptimierung ausgenommen, welche zur Erzeugung des von den Pumpen aufzubringenden Förderdrucks sorgt, die anderen beiden Pumpen können dann hinsichtlich der Fördermenge energieoptimiert werden. In der Darstellung gemäß Figur 5 ist die Pumpe PUI als Pilotpumpe zur Drucksteuerung geschaltet während die Pumpen PUII und PUIII die erforderliche Fördermenge zusammen mit der Pumpe PUI teilen. Die vorgeschaltete Pumpe PUIV erfüllt eine Druckaufgabe, weshalb hier die Energieoptimierung über die Größe  $e_h$  erfolgt, die durch den Differenzen- bzw. Differenzialquotienten aus Leistungsaufnahme P und Förderhöhe h gebildet ist.

**[0061]** Wie die Darstellungen verdeutlichen, ist es zweckmäßig, wenn alle an dem Verfahren teilnehmenden Pumpen sowohl ein Signal  $e_q$  als auch ein Signal  $e_h$  erzeugen, wobei das Signal  $e_q$  bei parallel geschalteten Pumpen und das Signal  $e_h$  bei in Reihe geschalteten Pumpen genutzt wird. Bei parallel geschalteten Pumpen wird zusätzlich nach Optimierung der Gruppe parallel geschalteter Pumpen das Signal  $e_h$  genutzt, um die Gruppe im Verbund mit den anderen Pumpen quasi als einzelne Pumpe zu energiezuoptimieren.

**[0062]** Anhand von Figur 6 ist ein Energieoptimierungsvorgang von 5 Pumpen PUI, PUII, PUIII, PUIV und PUV dargestellt, wobei wie im Ausführungsbeispiel nach Figur 5 die Pumpen PUI, PUII und PUIII parallel geschaltet sind und den Pilotpumpen PUIV und PUV vorgeschaltet sind. Auch hier erfolgt zunächst eine interne Optimierung mittels der Energieoptimierungseinrichtungen 11 über die Signale  $e_q$  und nachfolgend eine Energieoptimierung der Pumpengruppe, bestehend aus den Pumpen PUI, PUII, PUIII über die Energieoptimierungseinrichtung 11 zu den Pilotpumpen PUIV und PUV. Dabei werden die Größen  $e_h$  der Pumpen PUIV und PUV addiert und der Summe der  $e_h$ -Größen der parallel geschalteten und den Pilotpumpen vorgeschalteten Pumpen PUI, PUII, PUIII gleichgesetzt und letztere Pumpen drehzahlvariiert angesteuert bis die vorgenannten  $e_h$ -Größen übereinstimmen und somit eine Optimierung dieses Energieoptimierungskreises erfolgt ist.

**[0063]** In den Zeichnungen sind zum besseren Verständnis die Größen  $e_h$  als  $dP/dh$  und die Größen  $e_q$  als  $dP/dq$  /  $dq$  darstellt, jeweils versehen mit der Zahl, die hinsichtlich der Nummerierung der entsprechenden Pumpe entspricht.

**[0064]** Die Erfindung, soweit Sie das Verfahren zum Ermitteln des funktionalen Zusammenhangs von Pumpen in einer Anlage betrifft, ist nachfolgend Anhand der Fig. 7 bis 14 näher erläutert. Es zeigen

Figur 7a ein hydraulisches Schaltbild einer Anlage mit mehreren Pumpen und Verbrauchern  
Figur 7b eine Matrix zu der Anlage gemäß Figur 7a,  
Figur 8a ein Schaltbild von vier nebeneinander an-

geordneten Pumpen,

Figur 8b das zeitliche Verhalten der Pumpen bei Druckerhöhungen,

5

Figur 9a ein Schaltbild einer Pumpengruppe aus nebeneinander und hintereinander angeordneten Pumpen,

10

Figur 9b das Verhalten der Pumpen bei Ansteuerung mit geänderter Drehzahl,

Figur 10a ein Schaltbild von drei parallel angeordneten Pumpen,

15

Figur 10b das Verhalten der Pumpen bei Drehzahländerung,

Figur 11a ein Schaltbild von drei hintereinander angeordneten Pumpen,

20

Figur 11 b das Verhalten der Pumpen bei Ansteuerung mit einer Drehzahländerung,

25

Figur 12 ein hydraulisches Schaltbild einer hydraulischen Anlage entsprechend Figur 7 jedoch mit pumpenseitiger Sensoranordnung,

30

Figur 13 eine erste Matrix zu der Anlage gemäß Figur 12 und

Figur 14 eine zweite Matrix zu der Anlage gemäß Figur 12.

35

**[0065]** Die anhand von Figur 7 und Figur 12 dargestellte hydraulische Anlage ist eine hier nicht im Einzelnen zu erläuternde Heizungsanlage. Sie ist mit insgesamt 11 Pumpen PU1 - PU11 ausgerüstet. Diese insgesamt 11 Pumpen versorgen 6 Verbraucher V1 - V6. Diese Verbraucher können Einzelverbraucher sein, sind jedoch typischerweise Verbrauchergruppen, wie beispielsweise ein Netzwerk von parallel geschalteten Wärmetauschern, wie es im Wohnungsbau zur Raumheizung üblich ist, die ggf. auch in Gruppen parallel und/oder hintereinander geschaltet sein können. Jedem Verbraucher ist ein Sensor S1, S3, S6, S7, S10 bzw. S11 zugeordnet, welcher den am Verbraucher abfallenden Druck erfasst.

40

**[0066]** Die Anlage besteht aus zwei hydraulisch voneinander unabhängigen Anlagenteilen, nämlich dem in Figur 7a unten rechts dargestellten Anlagenteil bestehend aus der Pumpe PU 11 und dem Verbraucher V6 sowie dem übrigen Anlagenteil. In dem übrigen Anlagenteil versorgt auf unterster Ebene eine Pumpe PU10 einen Verbraucher V5, parallel speisen zwei parallel geschaltete Pumpen PU8 und PU9 über eine nachgeschaltete Pumpe PU6 den Verbraucher V3 sowie parallel dazu über eine nachgeschaltete Pumpe PU7 den Verbraucher V4. Über die in Reihe geschalteten Pumpen PU5 und

50

PU4 werden die Pumpen PU1, PU2 und PU3 versorgt, die ihrerseits aber erstere parallel geschaltet den Verbraucher V1 bzw. den Verbraucher V2 versorgen. Diese Anordnung ist beliebig gewählt und dient ausschließlich zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0067]** Zur Durchführung des Verfahrens werden nun zunächst einmal alle Pumpen PU1 bis PU11 mit konstanter Drehzahl angesteuert, typischerweise einer mittleren Drehzahl die so gewählt ist, dass die Anlage bestimmungsgemäß bedient wird, jedoch Reserven vorhanden sind, so dass die Pumpen ggf. mit dem gegenüber erhöhten Drehzahl angesteuert werden können. Bei den Pumpen handelt es sich typischerweise um frequenzumrichter gesteuerte Heizungsumwälzpumpen wie sie marktüblich sind.

**[0068]** Es werden alle Pumpen mit einer konstanten Drehzahl betrieben, diese Drehzahl soll bezogen auf die jeweilige Pumpe konstant sein, untereinander können die Drehzahlen natürlich differieren. Wenn eine der Pumpen während des Verfahrens aufgrund des anlagenseitigen Bedarfs mit einer veränderten Drehzahl angesteuert werden muss, so kann dies erfolgen, wenn die entsprechend geänderte Drehzahl rechnerisch berücksichtigt wird. Während dieser Ansteuerung mit konstanter Drehzahl werden an den Sensoren S1, S3, S6, S7, S10 und S11 Drücke ermittelt. Es wird nun eine erste Pumpe, z.B. die Pumpe PU1 mit einer veränderten Drehzahl, beispielsweise einer erhöhten Drehzahl angesteuert und mittels der Sensoren S1, S3, S6, S7, S10 und S11 die sich dann ggf. einstellenden Änderungen oder auch Nichtänderungen erfasst.

**[0069]** Hierzu wird zweckmäßigerweise eine Matrix aufgestellt, wie sie in Figur 7b dargestellt ist. In der Matrix werden auf der einen, hier senkrechten Achse die Pumpen PU1- PU 11 und auf der anderen. Hier horizontalen Achse die Sensoren S1 - S11 aufgeführt um dann in den sich dabei ergebenden Feldern zu erfassen, ob und ggf. welche hydraulischen Änderungen sich bei Ansteuerung einer Pumpe mit erhöhter Drehzahl ergeben. Dabei erfolgt eine Kategorisierung in 0, -1 und 1 wobei 0 für keine Änderung, 1 für eine ansteigende hydraulische Größe und -1 für eine abfallende hydraulische Größe steht.

**[0070]** Beim Ansteuern der Pumpe PU1 mit erhöhter Drehzahl ergibt sich also gemäß der Figur 7b am Sensor S1 eine ansteigende Druckdifferenz, am Sensor S3 eine abfallende Druckdifferenz, am Sensor S6 eine abfallende Druckdifferenz, am Sensor S7 eine abfallende Druckdifferenz und am Sensor S10 ebenfalls eine abfallende Druckdifferenz gegenüber der Voransteuerung dieser Pumpe PU1 mit niedrigerer Drehzahl. Der Sensor S11 erfasst, da er einen hydraulisch mit der Pumpe PU1 nicht verbundenen Anlagenteil betrifft, keine Änderung. Wenn diese Änderungen erfasst sind wird die Pumpe PU1 wieder auf die zuvor angesteuerte konstante erste Drehzahl heruntergefahren, wonach nun die Pumpe PU2 mit erhöhter Drehzahl angesteuert wird und die sich dann bei den Sensoren S1 - S11 ergebenden Änderungen in der

Matrix eingetragen werden. Dies erfolgt nachfolgend mit allen Pumpen bis die Matrix vollständig wie in Figur 7b ausgeführt ist.

**[0071]** Die Matrixdarstellung ist hier nur zur vereinfachten Zahlendarstellung aufgeführt, zur Auswertung jedoch grundsätzlich nicht erforderlich. Es kann nun anhand der Ansteuerung zunächst einmal festgestellt werden, dass die Pumpen PU1 - PU10 keinerlei Einfluss auf den Sensor S11 und somit den Verbraucher V6 haben. Umgekehrt hat die Pumpe PU 11 keinerlei Einfluss auf die Verbraucher V1 - V5, woraus sich ergibt, dass es sich hierbei um zwei voneinander unabhängige Anlagenteile handeln muss, wobei die Pumpe PU11 offensichtlich nur den Verbraucher V6 versorgt.

**[0072]** Bei dem verbleibenden Anlagenteil, welcher die Pumpen PU1 - PU 10 aufweist, wird nun zunächst untersucht, welche Pumpen in Pumpengruppen angeordnet sind, d. h. welche Pumpen parallel oder hintereinander zu einer Gruppe verschaltet sind. Zu Gruppen sind die Pumpen geschaltet, die verbraucherseitig bei ihrer Drehzahländerung die gleichen hydraulischen Änderungen auslösen. Dies trifft wie aus der Matrix gemäß Figur 7b hervorgeht, für die Pumpen PU8 und PU9 zu, für die Pumpen PU1 und PU2 sowie auch für die Pumpen PU4 und PU5. Diese Pumpen sind also als Gruppen identifiziert, zu bestimmen ist also noch ob diese jeweils parallel oder in Reihe geschaltet sind, was weiter unten noch beschrieben wird.

**[0073]** Es wird dann ermittelt, welche Pumpen bei einer Drehzahländerung nur einen Verbraucher oder nur eine Verbrauchergruppe entsprechend der Drehzahländerung beeinflussen, d. h. bei einer Drehzahlerhöhung druckerhöhend und bei einer Drehzahlabsenkung druckmindernd beeinflussen. Da bei dem Ausführungsbeispiel das anhand von Figur 7 dargestellt ist, davon ausgegangen wird, dass die Pumpen im Verfahrensschritt b mit erhöhter Drehzahl gegenüber der zuvor niedrigeren konstanten Drehzahl angesteuert werden, ergeben sich hier diese Pumpen dadurch, dass sie nur eine positive 1 in der Zeile aufweisen. Es sind dies die Pumpen PU 1, PU2, PU3, PU6, PU7, PU 10 und natürlich PU11, die zum anderen Anlagenteil gehört. Diese Pumpen sind einem Verbraucher unmittelbar zugeordnet, d. h. sie versorgen den Verbraucher ohne Zwischenschaltung weiterer Pumpen.

**[0074]** Anhand dieser Zuordnungen kann jedoch nicht nur festgestellt werden, welche Pumpen einem Verbraucher direkt zugeordnet sind, sondern darüber hinaus auch, welche Verbraucher von welchen Pumpen überhaupt versorgt werden. So ist ersichtlich, dass die Pumpe PU10 nur den Verbraucher V5 und diesen direkt beaufschlagt. Hinsichtlich der Pumpengruppe PU8 und PU9 ist erkennbar, dass diese die Sensoren S1, S3, S6 und S7 gleichsinnig beeinflussen, d. h. das bei einer Ansteuerung der Pumpe mit erhöhter Drehzahl an diesen Sensoren ein höherer Druck abfällt, d. h. eine ansteigende Druckänderung gegeben ist. Dies besagt das die Pumpen PU8 und PU9 die Verbraucher V1 - V4 speisen, jedoch nur mittelbar, d. h. das noch andere Pumpen zwi-

schengeschaltet sein müssen. Hinsichtlich der Pumpen PU4 und PU5 kann in gleicher Weise festgestellt werden, dass sie die Verbraucher S1 und S3 versorgen, jedoch ebenfalls nur mittelbar da die Verbraucher V3 und V4 von den Pumpen PU6 bzw. PU7 unmittelbar versorgt werden, die Pumpen PU4 und PU5 als Pumpengruppe jedoch diese Verbraucher nicht gleichsinnig beeinflussen ergibt sich, dass die Pumpengruppe PU4 und PU5 sowie die Pumpe PU6 und die Pumpe PU7 nebeneinander geschaltet sind wobei die Pumpen PU6 und PU7 jeweils den zugehörigen Verbrauchern V3 und V4 zugeordnet sind während die Pumpengruppe PU4 und PU5 die Verbraucher V1 und V2 beaufschlagt, jedoch ebenfalls nicht direkt.

**[0075]** In soweit ist jetzt lediglich noch zu ermitteln wie die Pumpengruppen verschaltet sind. Diese drei Gruppen von Pumpen PU8 und PU9, PU4 und PU5 sowie PU1 und PU2 müssen daher in soweit noch untersucht werden. Hierzu werden allerdings weitere Sensoren benötigt, welche den Differenzdruck der jeweiligen Pumpen der Pumpengruppe erfassen oder den Durchfluss. Bei den Ausführungen gemäß den Figuren 8 und 9 werden Differenzdrucksensoren parallel zur Pumpe eingesetzt wohingegen bei den Ausführungen gemäß den Figuren 10 und 11 Volumenstromsensoren also sog. Durchflussmesser den Pumpen zugeordnet werden. Ungeachtet welche Sensoren eingesetzt werden, wird auch zur Ermittlung der Anordnung der Pumpen in einer Pumpengruppe wiederum das vorbeschriebene Verfahren angewandt, d. h. die Pumpen werden zunächst wie anhand der Figuren 10 und 11 dargestellt, mit konstanter Drehzahl betrieben, wonach eine Pumpe, hier die Pumpe PU1 mit erhöhter Drehzahl angesteuert wird. Anhand des sich ändernden Volumenstroms dieser und der anderen Pumpen kann nun ermittelt werden ob die zu einer Pumpengruppe angeordneten Pumpen in Reihe oder parallel geschaltet sind. Bei der Parallelschaltung gemäß Figur 10a ergibt sich bei Ansteuerung einer Pumpe hier der Pumpe PU1 mit erhöhter Drehzahl  $\omega$  1 dieser Pumpe ein erhöhter Durchfluss  $q_1$  wohingegen die anderen beiden Pumpen PU2 und PU3 mit der bisherigen konstanten Drehzahl weiterlaufen, jedoch eine geringere Fördermenge  $q_2$  bzw.  $q_3$  aufweisen. Hieraus ergibt sich unmittelbar, dass die Pumpen parallel geschaltet sein müssen, da andernfalls die Fördermengen steigen müssten, wie dies anhand von Figur 11 verdeutlicht ist, wo drei Pumpen PU1 - PU3 in Reihe geschaltet sind. Wird hier die Pumpe PU1 mit erhöhter Drehzahl  $\omega$  1 angesteuert, so ergibt sich trotz gleichbleibender Drehzahl der Pumpen PU2 und PU3 eine erhöhte Durchflussmenge  $q_1$ ,  $q_2$  und  $q_3$  aller drei Pumpen.

**[0076]** Wenn die Anordnung der Pumpen mittels Drucksensoren also Differenzdrucksensoren parallel zur Pumpe ermittelt werden soll, dann wird eine der Pumpen einer Pumpengruppe nachdem alle zur Erzeugung eines konstanten Drucks angesteuert worden sind, eine der Pumpen zur Erzeugung eines erhöhten Drucks angesteuert. Dies ist bei den Beispielen gemäß Figur 8 und

Figur 9 jeweils bei der Pumpe PU1 erfolgt. Wie sich der zeitliche Verlauf der Änderung der hydraulischen Größen darstellt, ist der Figur 8b zu entnehmen. Nach dem Drucksprung der Pumpe PU 1 bleibt der Druck an den Pumpen PU2, PU3 und PU4 praktisch unverändert, wobei die Drehzahlen der Pumpen PU2 und PU3 bei leicht ansteigendem Druck abfallen, was auf eine Parallelschaltung schließen lässt, wohingegen die Drehzahl der Pumpe PU4 bei gleichbleibendem Druck ansteigt, was darauf hinweist, dass diese Pumpe nicht zu den parallel geschalteten Pumpen gehört. Analog ergibt sich bei der Reihenschaltung der Pumpen PU1, PU2 und PU3 zu einer Gruppe eine Druckänderung nur bei der Pumpe PU1 und bei allen übrigen Pumpen lediglich eine Drehzahländerung, und zwar nach oben.

**[0077]** Wie die vorstehenden Ausführungen verdeutlichen, kann somit das Schaltbild gemäß Figur 7a vollständig ermittelt werden. Da bei dem vorbeschriebenen Verfahren lediglich jedem Verbraucher bzw. jeder Verbrauchergruppe ein Sensor zugeordnet ist, muss zur Ermittlung der Anordnung der Pumpen in den Pumpengruppen gesonderte pumpenseitige Sensorik eingesetzt werden.

**[0078]** In soweit häufig günstiger ist, dass erfindungsgemäße Verfahren ausschließlich mit pumpenseitiger Druck, Differenzdruck oder Durchflusssensoren auszuführen, wie dies anhand der Figuren 12 - 14 dargestellt ist. Dieses Verfahren läuft in gleicher Weise ab, d. h. es werden zunächst in einem ersten Verfahrensschritt alle Pumpen mit konstanter Drehzahl angesteuert und dann in einem zweiten Verfahrensschritt nachfolgend alle Pumpen einzeln und nacheinander mit demgegenüber veränderter Drehzahl, typischerweise erhöhter Drehzahl angesteuert. Die sich ergebenden Änderungen werden in einer Matrix erfasst, wie sie anhand von Figur 13 für die Durchflussmessung der Pumpen und anhand von Figur 14 für die Differenzdruckmessung an den Pumpen dargestellt ist. Dabei ist die Matrix in gleicher Weise wie die anhand von Figur 7b beschriebene gebildet, d. h. 0 steht für keine Änderung der hydraulischen Größe des entsprechenden Sensors bei Ansteuerung der entsprechenden Pumpe mit erhöhter Drehzahl, 1 steht für ansteigende Änderung und -1 für abfallende Änderung.

**[0079]** Für die Auswertung der Matrix gemäß Figur 13 ist es jedoch erforderlich, diese vorher nach Zeilen zu sortieren. Bei der Erfassung der Volumenstromänderungen wie sie in Figur 13 aufgezeichnet sind, erfolgt die Sortierung der Zeilen entsprechend der Anzahl ansteigender Änderungen aufsteigend von oben nach unten. So weist die die Pumpe PU7 betreffende oberste Zeile eine 1, nämlich bei  $q$  11 auf. Auch die darunter angeordnete Zeile PU10 weist nur eine 1 nämlich bei  $q$ 10 auf. Die Zeilen PU7 und PU6 weisen jeweils 3 ansteigende Änderungen, die Zeilen PU1, PU2 und PU3 jeweils 5 ansteigende Änderungen, die Zeile PU4 und PU5 7 ansteigenden Änderungen und die Zeile PU8 und PU9 8 ansteigende Änderungen auf. Entsprechend dieser Reihenfolge sind die Zeilen von oben nach unten aufstei-

gend sortiert. Dabei ist jeder Zeile eine Pumpe zugeordnet und jeder Spalte der der Pumpe jeweils zugeordnete Sensor. Die Spalten werden in gleicher Weise aufsteigend sortiert wie die Pumpen jedoch von links nach rechts so dass sich eine Spiegelsymmetrie der Matrix im Bezug auf eine Diagonale D, welche durch die Felder gebildet ist, die dieselbe Pumpe betreffen. Diese Diagonale erstreckt sich von links oben nach rechts unten in der Matrix beginnend von dem Feld PU11 q11 bis zum Feld PU9, q9.

**[0080]** Der funktionale Zusammenhang, d. h. der Aufbau der Anlage kann anhand dieser Matrix unmittelbar ermittelt werden. So kann zunächst in gleicher Weise wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel anhand der Nullen in der ersten Spalte unter der Diagonalen bzw. in der ersten Zeile über der Diagonalen festgestellt werden, dass die Pumpen PU1 - PU10 zu einem anderen Anlagenteil gehören als die Pumpe PU11, da diese Pumpe nur ihren eigenen Sensor q11 beeinflusst.

**[0081]** Anhand der Anzahl ansteigender Änderungen, also den Ziffern 1 des Durchflusses in jeder Spalte unter der Diagonalen D oder in jeder Zeile über der Diagonalen D, welche die Matrix teilt, ergibt sich welche Pumpen hydraulisch nebeneinander und welche hydraulisch hintereinander geschaltet sind. Eine gleiche Anzahl, wie sie beispielsweise in den Spalten q7 und q6 und q5 in Figur 13 unter der Diagonalen D auftritt, besagt, dass diese Pumpen nebeneinander angeordnet sind, wohingegen eine demgegenüber abweichende Zahl wie beispielsweise bei q4 -hier sind es drei- darauf hinweist, dass diese Pumpe PU5 nicht neben, sondern hinter einer der vorgenannten Pumpen liegt. Wie die Anordnung gegeben ist, ergibt sich aus der Anzahl ansteigender Änderungen. Dabei gibt die Anzahl der ansteigenden Änderungen der hydraulischen Größen in den Spalten unter der Diagonalen bzw. da spiegelsymmetrisch in den Zeilen über der Diagonalen der Matrix die Anzahl der der jeweiligen Pumpe hydraulisch vorgeschalteten Pumpen an. So ist beispielsweise der Pumpe PU1, welche der Sensor q1 zugeordnet ist, in der Spalte q1 unter der Diagonalen mit vier Einsen gekennzeichnet, d. h. vier ansteigende Änderungen der hydraulischen Größen, was bedeutet, dass vier Pumpen der Pumpe PU1 vorgeschaltet sind. Dies kann für jede der Pumpen so ermittelt werden.

**[0082]** Weiterhin kann festgestellt werden, welche der Pumpen unmittelbar einem Verbraucher oder einer Verbrauchergruppe zugeordnet sind, es handelt sich nämlich hier um die Pumpen, bei denen keine ansteigende Änderung der hydraulischen Größen in einer Zeile unter der Diagonalen oder einer Spalte über der Diagonalen der Matrix aufgeführt ist. Dies gilt beispielsweise für die Pumpe PU7, in deren zugehöriger Zeile in Figur 13 unter der Diagonalen nur die Ziffern 0 und -1 stehen, in gleicher Weise für PU6, dort stehen die Ziffern 0, -1, -1 usw. Anhand dieser Bestimmungen kann also festgestellt werden, welche Pumpen nebeneinander geschaltet sind, wie viele Pumpen der jeweiligen Pumpe hydraulisch vorgeschaltet sind und welche Pumpen direkt an einen Ver-

braucher oder eine Verbrauchergruppe anschließen. Damit ist die Schaltungsanordnung gemäß Figur 12 eindeutig bestimmt.

**[0083]** Weiterhin kann in Figur 13 auch anhand der Anzahl ansteigender Änderungen der hydraulischen Größe in jeder Zeile unter oder in jeder Spalte über der Diagonalen D der Matrix ermittelt werden, welche Pumpen hydraulisch nebeneinander und welche hintereinander geschaltet sind. Die Anzahl der ansteigenden Änderungen (+1) gibt dabei die Anzahl der Pumpen an, welche dieser Pumpe hydraulisch nachgeschaltet sind. So weist in Figur 13 die Pumpe PU8 in der Zeile 7 Einsen unter der Diagonale D auf, was bedeutet, dass dieser Pumpe sieben Pumpen nachgeschaltet sind. Es handelt sich hierbei um die Pumpen PU1 - PU7. Liest man in Figur 13 unter PU4 die Zeile unter der Diagonalen D aus so ergeben sich 3 Einsen, d. h. drei nachgeschaltete Pumpen. Es handelt sich dabei wie das Schaltbild gemäß Figur 12 verdeutlicht um die Pumpen PU1 - PU3.

**[0084]** In analoger Weise erfolgt die Auswertung der Matrix gemäß Figur 14, bei der anstelle der Durchflussänderungen q die Druckänderungen s angegeben sind. Allerdings werden hier zur Auswertung nicht die ansteigenden Änderungen 1 sondern die abfallenden Änderungen -1 herangezogen, im Übrigen aber erfolgt die Auswertung in gleicher Weise wie anhand von Figur 13 beschrieben.

## 30 Patentansprüche

1. Verfahren zur Energieoptimierung beim Betrieb mehrerer drehzahlsteuerbarer Kreiselpumpen in einer hydraulischen Anlage, bei der Pumpen zur Energieoptimierung mit variierender Drehzahl angesteuert werden, bei dem zunächst ermittelt wird, welche Pumpen als Pilotpumpen direkt einem Verbraucher zugeordnet sind und welche Pumpen den Pilotpumpen nachgeordnet sind, wonach die nachgeordneten Pumpen zur Energieoptimierung mit variierenden Drehzahlen angesteuert werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein oder mehrere Energieoptimierungskreise gebildet werden, die jeweils aus einer oder mehreren Pilotpumpen und einer oder mehreren nachgeordneten Pumpen bestehen, welche in die Pilotpumpen fördern oder aus diesen gespeist werden, wobei nachgeordnete Pumpen jeweils nur einem Energieoptimierungskreis zugeordnet werden, wonach der oder die Energieoptimierungskreise energieoptimiert werden, wobei ein Energieoptimierungskreis dadurch optimiert wird, dass zu jeder Pumpe des Energieoptimierungskreises eine Größen e ermittelt wird, welche durch den Quotienten aus der Änderung aufgenommener Leistung und der Änderung abgegebener hydraulischer Leistung der Pumpe bestimmt ist und die Größen e der Pilotpumpen addiert und mit der Größe e jeder der diesen vorgeschalteten bzw. nachgeschalteten

- Pumpen des Energieoptimierungskreises durch Varianz der Ansteuerung der vorgeschalteten bzw. nachgeschalteten Pumpen damit in Übereinstimmung gebracht werden, wobei parallel geschaltete, vorgeschaltete oder nachgeschaltete Pumpen als eine Pumpe betrachtet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Energieoptimierungskreis ein oder mehrere Pilotpumpen und ein oder mehrere nachgeordnete Pumpen aufweist, die in zumindest eine Pilotpumpe unmittelbar fördern oder unmittelbar aus dieser gespeist werden.
  3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Energieoptimierungskreis all die Pilotpumpen umfasst, in welche die eine oder mehreren nachgeordneten Pumpen fördern oder aus welchen diese gespeist werden.
  4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als aufgenommene Leistung die elektrische Aufnahmeleistung  $P$  des Antriebsmotors herangezogen wird.
  5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Maß für die abgegebene hydraulische Leistung die Förderhöhe  $h$  der Pumpe herangezogen wird.
  6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Maß für die abgegebene hydraulische Leistung die Fördermenge  $q$  der Pumpe herangezogen wird.
  7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** parallel geschaltete Pumpen so angesteuert werden, dass die Größe  $e_q$  der parallel geschalteten Pumpen gleich groß ist, wobei die Größe  $e_q$  durch den Quotienten aus der Änderung aufgenommener Leistung  $P$  und der Änderung der Fördermenge  $q$  der Pumpe gebildet wird.
  8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** parallel geschaltete Pumpen als eine Pumpe betrachtet werden und bei der die Größe  $e_h$  für diese eine Pumpe durch die Addition der Quotienten aus der Änderung aufgenommener Leistung  $P$  und der Änderung der Förderhöhe  $h$  jeder der parallel geschalteten Pumpen gebildet wird.
  9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** hintereinandergeschaltete Pumpen zur Energieoptimierung eine Größe  $e_h$  jeder der hintereinander geschalteten Pumpen herangezogen wird, die durch den Quotienten aus der Änderung aufgenommener Leistung  $P$  und der Änderung der Förderhöhe  $h$  der Pumpe gebildet wird.
  10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Pumpe bei oder unmittelbar vor Erreichen ihrer Leistungssättigung nicht weiter leistungserhöhend angesteuert wird.
  11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Ermitteln des funktionalen Zusammenhangs von Pumpen in der Anlage mindestens eine Pumpe in ihrer Drehzahl verändert wird und aus der daraus resultierenden hydraulischen Rückwirkung mindestens ein funktionaler Zusammenhang der Anlage ermittelt wird.
  12. Pumpe zur Ausführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch einen Elektromotor und einer davon angetriebenen Kreislumppe, mit einem elektronischen Drehzahlsteller mit einer Steuerelektronik, bei der die Steuerelektronik ein Signal erzeugt, welches eine Größe  $e$  repräsentiert, welche durch den Quotienten aus der Änderung aufgenommener Leistung  $P$  und der Änderung einer hydraulischen Ausgangsgröße oder einer davon beeinflussten Größe der Pumpe bestimmt ist.
  13. Pumpe nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die hydraulische Ausgangsgröße zur Bestimmung der Größe  $e_h$  die Förderhöhe  $h$  der Pumpe ist.
  14. Pumpe nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die hydraulische Ausgangsgröße zur Bestimmung der Größe  $e_q$  die Fördermenge  $q$  der Pumpe ist.
  15. Pumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerelektronik ein Signal  $S$  erzeugt, welches die Leistungssättigung repräsentiert.
  16. Pumpe nach einer der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Steuer- und Regeleinheit zur Ausführung des Verfahrens gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11 vorgesehen ist.
  17. Pumpe nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer- und Regeleinheit eine digitale ist.

## Claims

1. A method for energy optimisation on operation of several speed-controllable centrifugal pumps in a hydraulic facility, in which pumps are activated with a varying rotational speed for energy optimisation, in which it is firstly determined which pumps as pilot pumps are directly assigned to a consumer and which pumps are subordinate to the pilot pumps, whereupon the subordinate pumps are activated with varying rotational speeds for energy optimisation, **characterised in that** one or more energy optimisation circuits are formed, which each consist of one or more pilot pumps and one or more subordinate pumps which deliver into the pilot pumps or are fed from these, wherein subordinate pumps are each assigned to only one energy optimisation circuit, whereupon the energy optimisation circuit or circuits are energy-optimised, wherein an energy optimisation circuit is optimised by way of a variable  $e$  being determined for each pump of the energy optimisation circuit, said variable  $e$  being determined by the quotient of the change of taken-up power and the change of delivered hydraulic power of the pump and the variables  $e$  of the pilot pumps are added and are herewith brought to agree with the variable  $e$  of each of the pumps of the energy optimisation circuit which are connected upstream or downstream of these by way of variance of the activation of the pumps which are connected in series upstream or downstream, wherein pumps which are connected upstream or downstream and which are connected in parallel are considered as one pump.
2. A method according to claim 1, **characterised in that** an energy optimisation circuit comprises one or more pilot pumps and one or more subordinate pumps which directly deliver into at least one pilot pump or are fed directly from this.
3. A method according to claim 1 or 2, **characterised in that** an energy optimisation circuit comprises all the pilot pumps, into which the one or more subordinate pumps deliver or from which these are fed.
4. A method according to one of the preceding claims, **characterised in that** the electrical input power  $P$  of the drive motor is used as the taken-up power.
5. A method according to one of the preceding claims, **characterised in that** the delivery head  $h$  of the pump is used as a measure for the delivered hydraulic power.
6. A method according to one of the claims 1 to 4, **characterised in that** the delivery rate  $q$  of the pump is used as a measure of the delivered hydraulic power.
7. A method according to one of the preceding claims, **characterised in that** pumps connected in parallel are activated such that the variable  $e_q$  of the pumps which are connected in parallel is equally large, wherein the variable  $e_q$  is formed by the quotient of the change of taken-up power  $P$  and the change of the delivery rate  $q$  of the pump.
8. A method according to one of the preceding claims, **characterised in that** pumps which are connected in parallel are considered as one pump and concerning which the variable  $e_h$  for this one pump is formed by the addition of the quotients of the change of taken-up power  $P$  and the change of the delivery head  $h$  of each of the pumps which are connected in parallel.
9. A method according to one of the preceding claims, **characterised in that** a variable  $e_h$  of each of the pumps connected in series is used for energy optimisation, said variable being formed by the quotient of the change of taken-up power  $P$  and the change of the delivery head  $h$  of the pump.
10. A method according to one of the preceding claims, **characterised in that** a pump is no longer activated in a power-increasing manner on or directly before reaching its power saturation.
11. A method according to one of the preceding claims, **characterised in that** at least one pump is changed in its rotational speed, and at least one functional relationship of the facility is determined from the hydraulic reaction resulting therefrom, for determining the functional relationship of pumps in the facility.
12. A pump for carrying out a method according to one of the preceding claims, **characterised by** an electric motor and a centrifugal pump driven by this, with an electronic speed controller with control electronics, at which the control electronics produce a signal which represents a variable  $e$  which is determined by the quotient of the change of taken-up power  $P$  and the change of a hydraulic output variable or of a variable of the pump which is influenced by this.
13. A pump according to claim 12, **characterised in that** the hydraulic output variable for determining the variable  $e_h$  is the delivery head  $h$  of the pump.
14. A pump according to claim 12 or 13, **characterised in that** the hydraulic output variable for determining the variable  $e_q$  is the delivery rate  $q$  of the pump.
15. A pump according to one of the preceding claims, **characterised in that** the control electronics produce a signal  $S$  which represents the power saturation.

16. A pump according to one of the preceding claims, **characterised in that** a control and regulation unit is provided for carrying out the method according to one or more of the claims 1 to 11.
17. A pump according to claim 16, **characterised in that** the control and regulation unit is a digital one.

## Revendications

1. Procédé d'optimisation de l'énergie lors du fonctionnement de plusieurs pompes centrifuges à vitesse de rotation commandée dans une installation hydraulique dans laquelle, pour l'optimisation de l'énergie, des pompes sont commandées avec une vitesse de rotation variable, dans lequel tout d'abord, on détecte les pompes qui sont directement associées à un consommateur en tant que pompes pilotes et les pompes qui sont des auxiliaires des pompes pilotes, après quoi on commande les pompes auxiliaires à des vitesses variables pour l'optimisation de l'énergie, **caractérisé en ce que** l'on forme un ou plusieurs circuits d'optimisation de l'énergie qui se composent chacun d'une ou de plusieurs pompes pilotes et d'une ou de plusieurs pompes auxiliaires qui refoulent dans les pompes pilotes ou sont alimentées par ces dernières, les pompes auxiliaires étant associées chacune à un seul circuit d'optimisation de l'énergie, après quoi le ou les circuit(s) d'optimisation de l'énergie sont optimisé(s) en énergie, un circuit d'optimisation d'énergie étant optimisé pour chaque pompe du circuit d'optimisation de l'énergie, on détermine une grandeur  $e$  qui est définie par le quotient de la modification de la puissance consommée par la modification de la puissance hydraulique disponible de la pompe, et **en ce que** les grandeurs  $e$  des pompes pilotes sont additionnées et ainsi mises en concordance avec la grandeur  $e$  de chacune des pompes du circuit d'optimisation de l'énergie montées en amont par une variance de la commande des pompes montées en amont, les pompes montées en amont qui sont branchées en parallèle étant alors considérées comme une seule pompe.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'un** circuit d'optimisation présente une ou plusieurs pompes pilotes et une ou plusieurs pompes auxiliaires qui refoulent directement dans au moins une pompe pilote, ou qui est ou sont alimentées directement par cette ou ces dernière(s).
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'un** circuit d'optimisation de l'énergie présente toutes les pompes pilotes dans lesquelles une ou plusieurs pompe auxiliaire(s) refoulent ou sont alimentée(s) par ces dernières.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'on** prend comme puissance consommée la puissance électrique consommée  $P$  du moteur d'entraînement.
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'on** prend comme mesure pour la puissance hydraulique disponible la hauteur de refoulement  $h$  de la pompe.
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'on** prend comme mesure pour la puissance hydraulique disponible le débit de refoulement  $q$  de la pompe.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'on** commande les pompes branchées en parallèle de manière telle que la grandeur  $e_q$  des pompes branchées en parallèle est la même pour toutes, la grandeur  $e_q$  étant formée par le quotient de la modification de la puissance consommée  $P$  par la modification de la quantité de refoulement  $q$  de la pompe.
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les pompes branchées en parallèle sont considérées comme une pompe unique, la grandeur  $e_h$  pour cette pompe unique étant formée par l'addition des quotients de la modification de la puissance consommée  $P$  par la modification de la hauteur de refoulement  $h$  de chacune des pompes branchées en parallèle.
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** pour les pompes branchées l'une à la suite de l'autre, on prend pour l'optimisation de l'énergie une grandeur  $e_h$  de chacune des pompes branchées l'une à la suite de l'autre, qui est formée par le quotient de la modification de la puissance consommée  $P$  par la modification de la hauteur de refoulement  $h$  de la pompe.
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'une** pompe cesse d'être pilotée dans le sens de l'accroissement de la puissance lorsqu'elle atteint ou immédiatement avant qu'elle atteigne sa saturation de puissance.
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, pour la détermination de la relation fonctionnelle des pompes comprises dans l'installation, on modifie la vitesse de rotation d'au moins une pompe et on détermine au moins une relation fonctionnelle de l'installation à partir de la réaction hydraulique qui en résulte.
12. Pompe pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée**

**par** un moteur électrique et une pompe centrifuge entraînée par ce moteur, et équipée d'un régulateur électronique de vitesse de rotation qui comprend une électronique de commande dans laquelle l'électronique de commande produit un signal qui représente une grandeur  $e$  qui est déterminée par le quotient de la modification de la puissance consommée  $P$  par la modification d'une grandeur hydraulique de sortie ou d'une grandeur de la pompe qui est influencée par ladite grandeur de sortie.

5

10

13. Pompe selon la revendication 12, **caractérisée en ce que** la grandeur de sortie hydraulique permettant de déterminer la grandeur  $e_h$  est la hauteur de refoulement  $h$  de la pompe. 15
14. Pompe selon la revendication 12 ou 13, **caractérisée en ce que** la grandeur de sortie hydraulique permettant de déterminer la grandeur  $e_q$  est le débit de refoulement  $q$  de la pompe. 20
15. Pompe selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'électronique de commande produit un signal  $S$  qui représente la saturation de puissance. 25
16. Pompe selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'**une unité de commande et de régulation est prévue pour la mise en oeuvre du procédé selon une ou plusieurs des revendications 1 à 11. 30
17. Pompe selon la revendication 16, **caractérisée en ce que** l'unité de commande et de régulation est une unité numérique. 35

40

45

50

55

Fig. 1

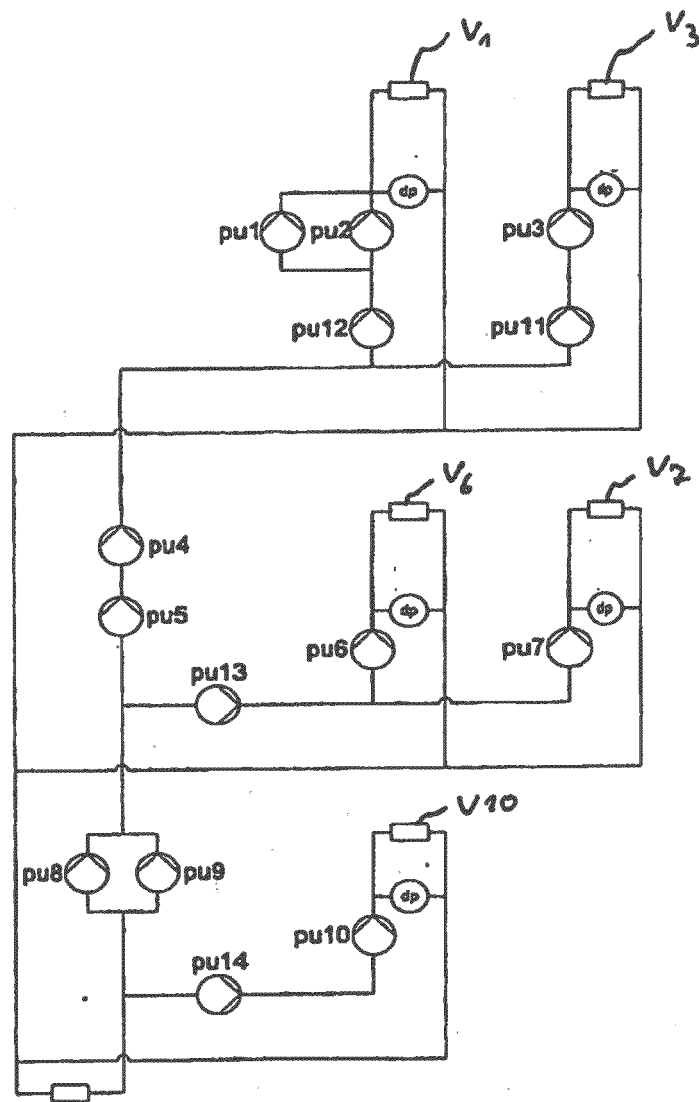


Fig. 2

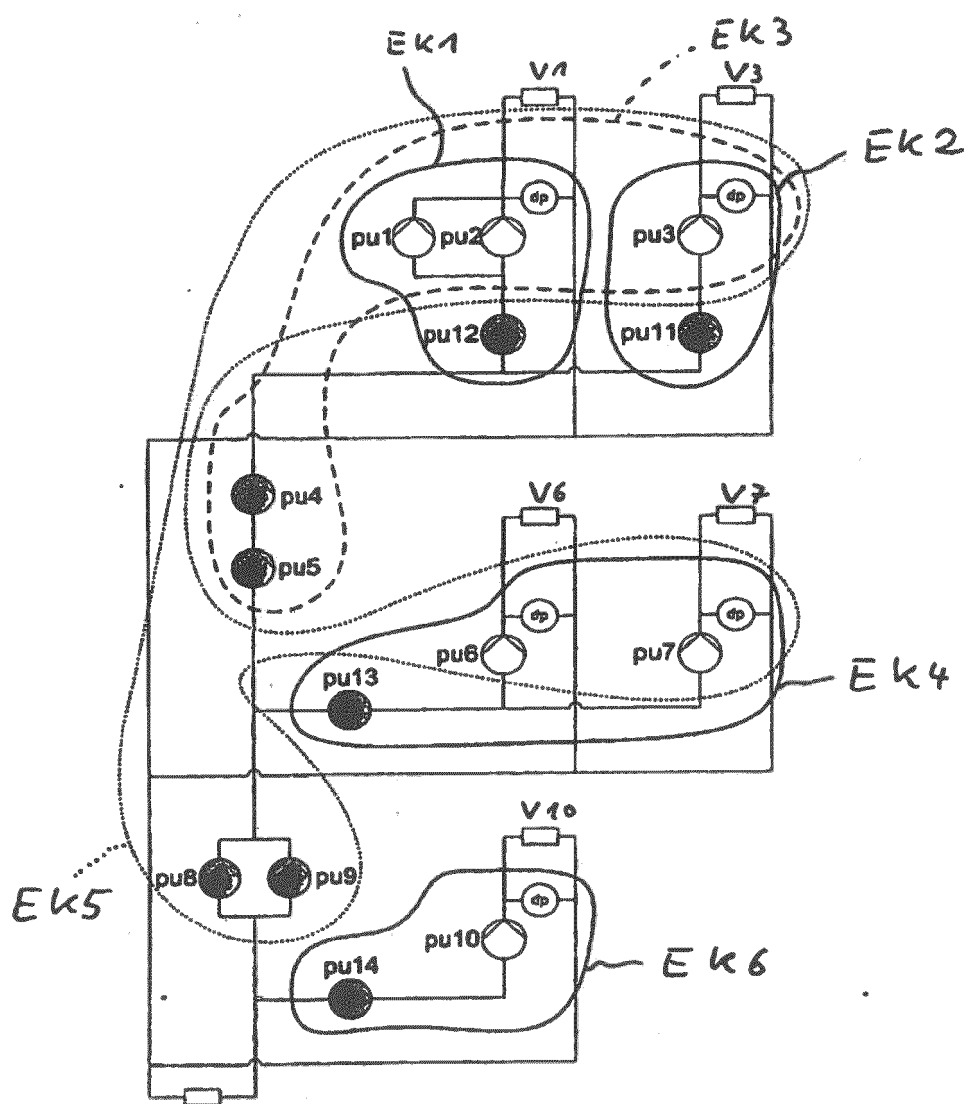


Fig. 3

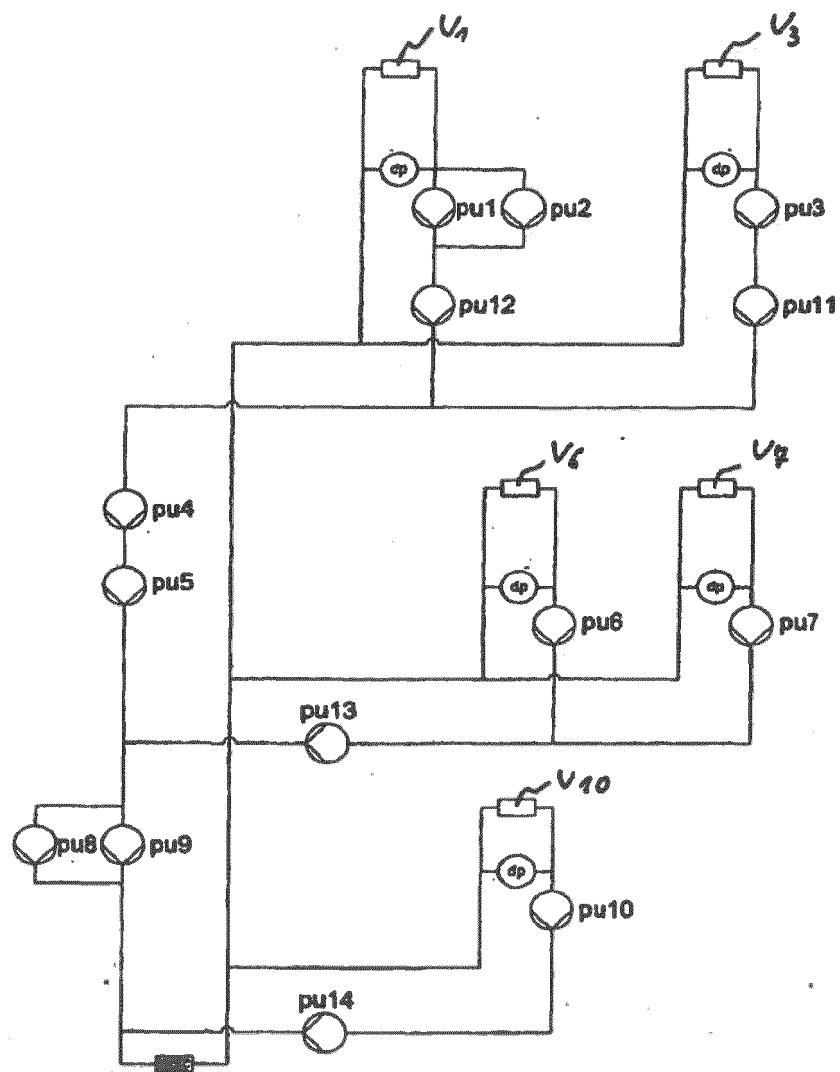


Fig. 4

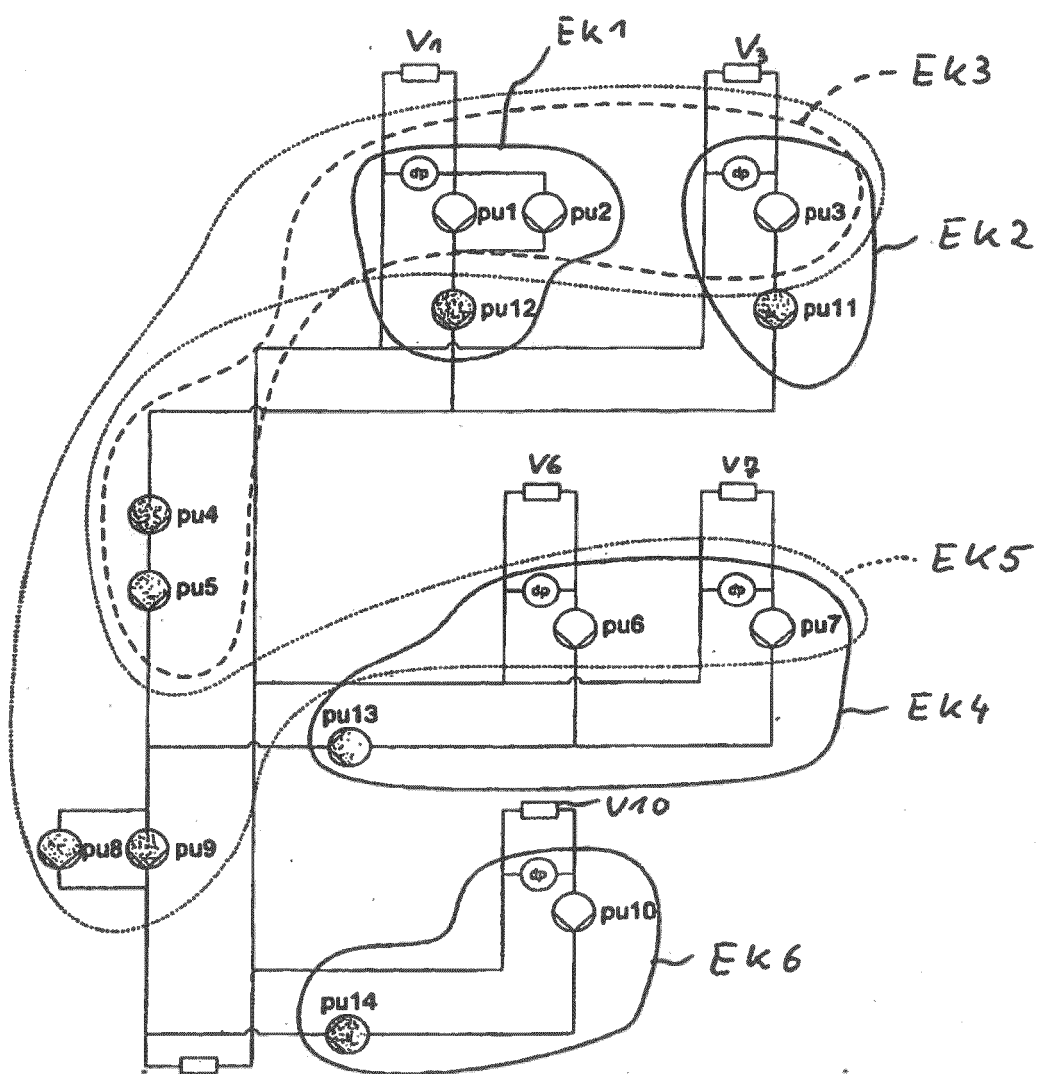
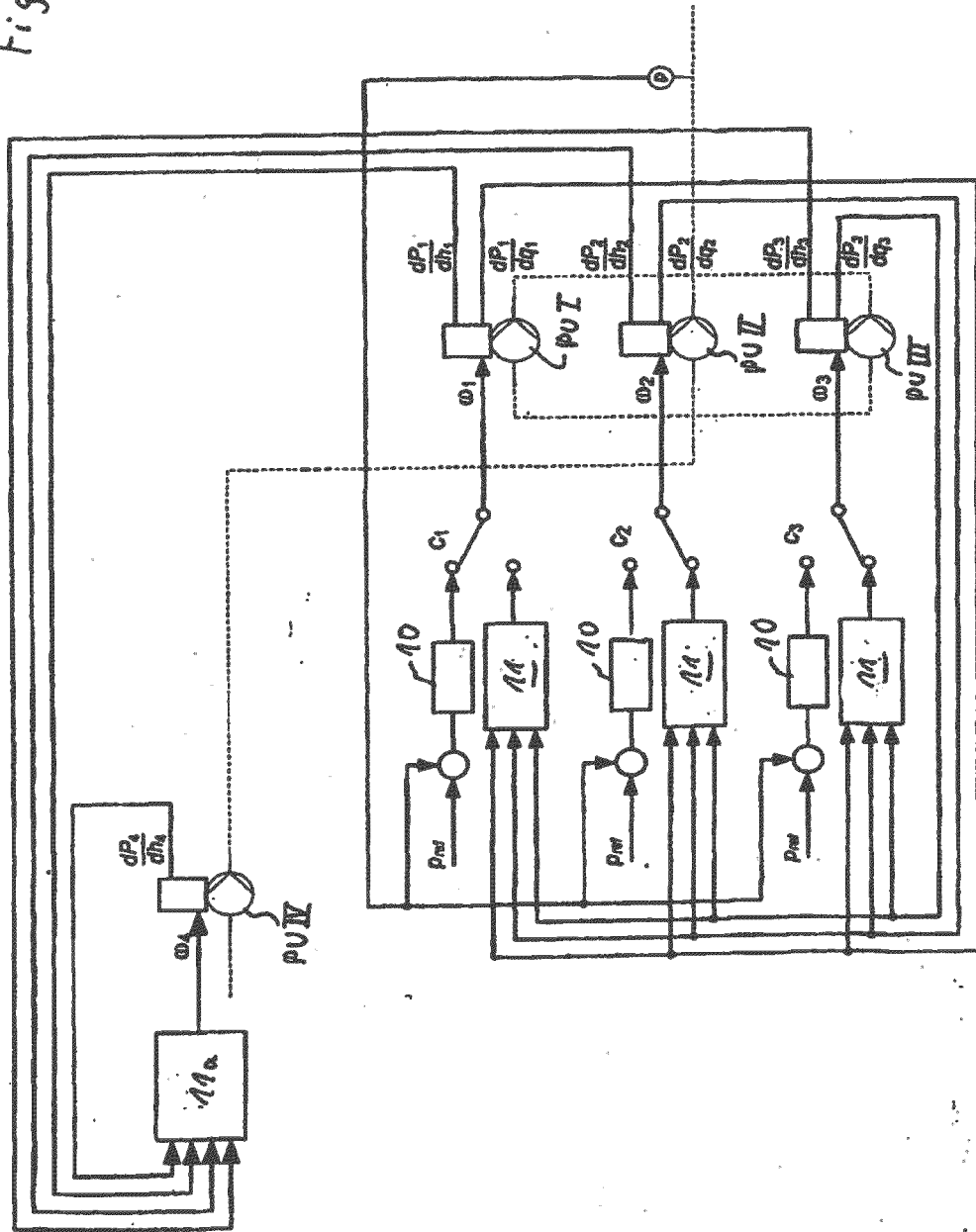


Fig. 5



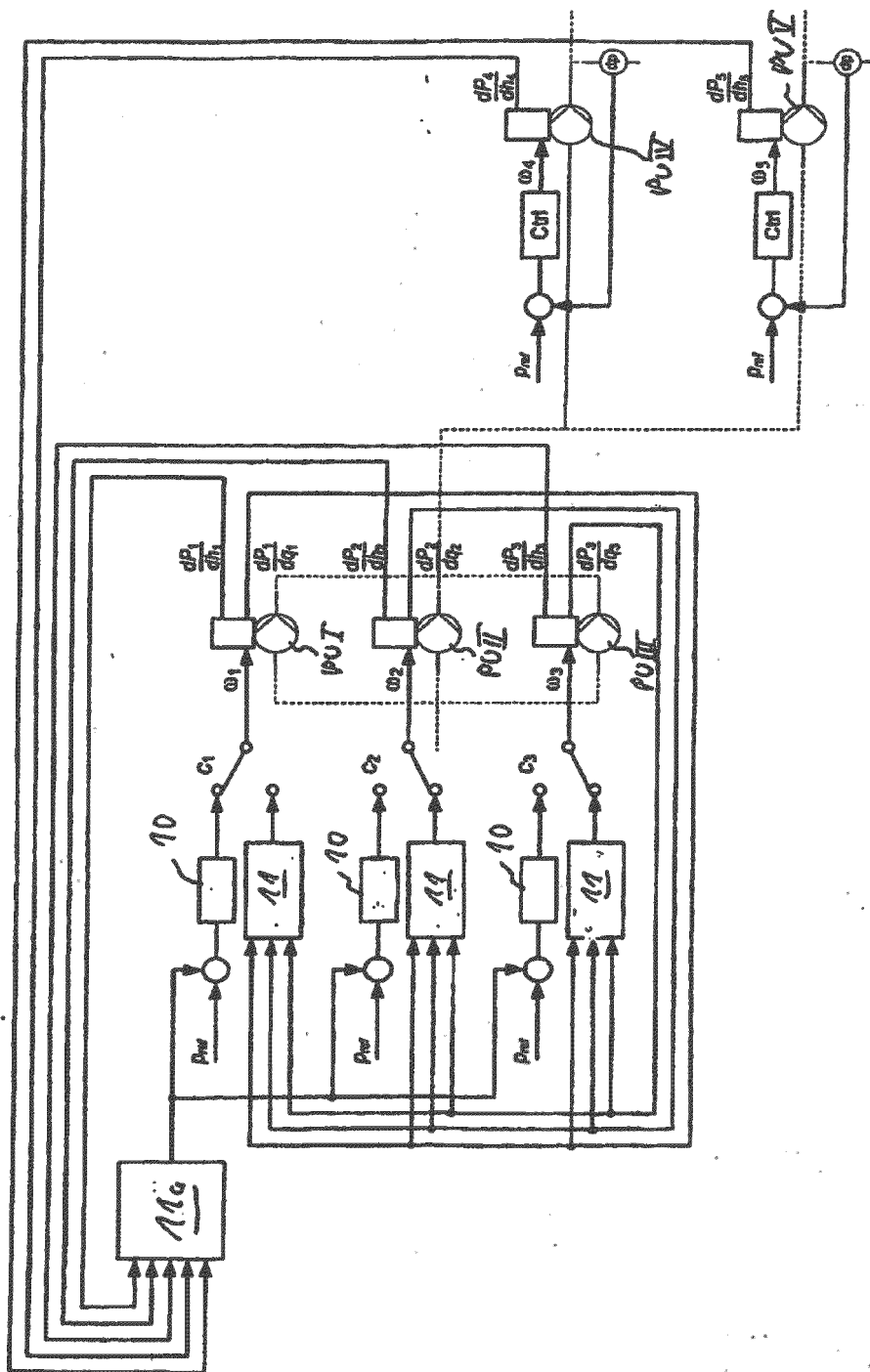
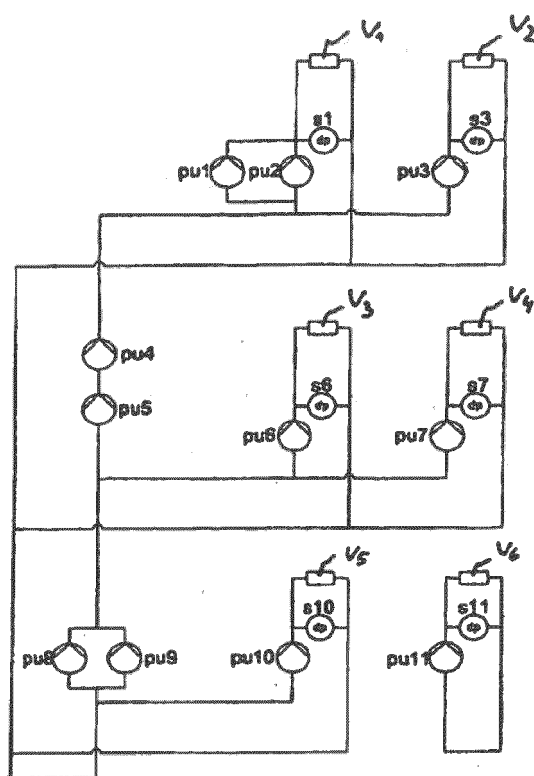


Fig. 6



a

|      | s1 | s3 | s6 | s7 | s10 | s11 |
|------|----|----|----|----|-----|-----|
| pu1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1  | 0   |
| pu2  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1  | 0   |
| pu3  | -1 | 1  | -1 | -1 | -1  | 0   |
| pu4  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1  | 0   |
| pu5  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1  | 0   |
| pu6  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1  | 0   |
| pu7  | -1 | -1 | -1 | 1  | -1  | 0   |
| pu8  | 1  | 1  | 1  | 1  | -1  | 0   |
| pu9  | 1  | 1  | 1  | 1  | -1  | 0   |
| pu10 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1   | 0   |
| pu11 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1   |

b

Fig. 7

Fig. 8

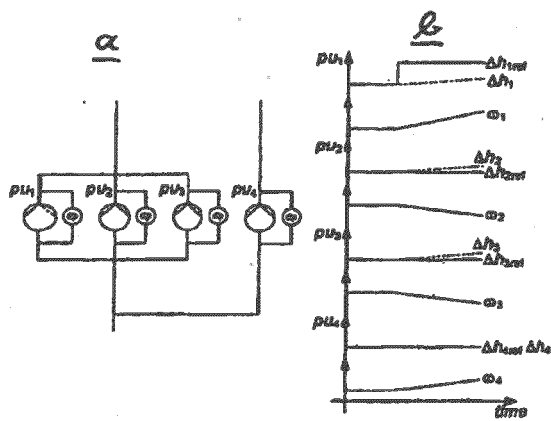


Fig. 9

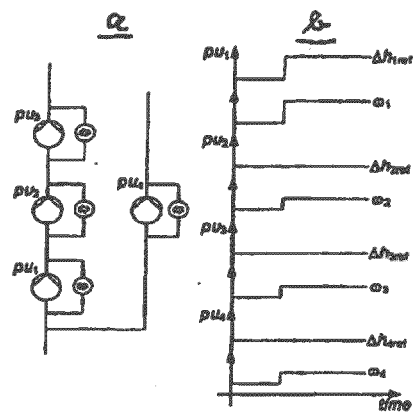


Fig. 10

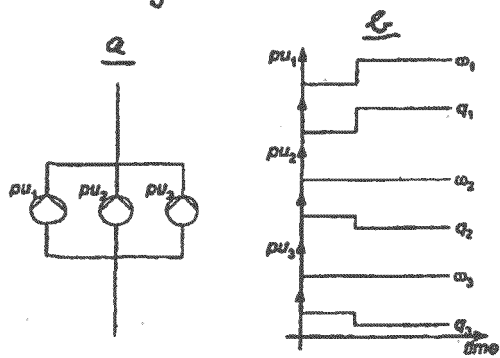


Fig. 11

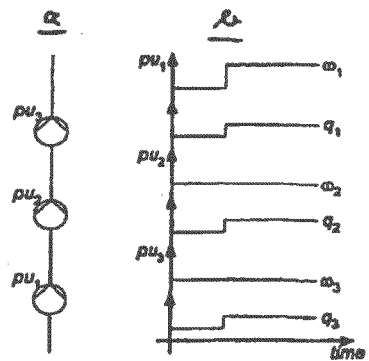


Fig. 12

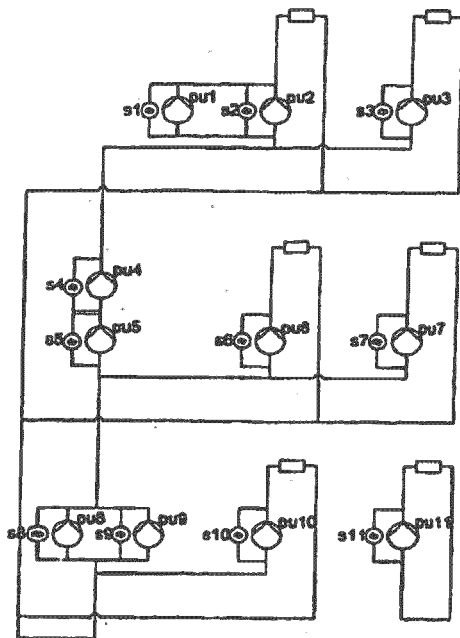


Fig. 13

|      | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | s7 | s8 | s9 | s10 | s11 |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| pu11 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   |
| pu10 | 0  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1  | -1  |
| pu7  | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1   | 1   |
| pu6  | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1   | 1   |
| pu1  | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1   | 1   |
| pu2  | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1   | 1   |
| pu3  | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1   | 1   |
| pu4  | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1   | 1   |
| pu5  | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1   | 1   |
| pu8  | 0  | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 1   |
| pu9  | 0  | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 1   |

Fig. 14

|      | s11 | s10 | s7 | s6 | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s8 | s9 |
|------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| pu11 | 1   | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| pu10 | 0   | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| pu7  | 0   | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 |
| pu6  | 0   | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 |
| pu1  | 0   | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 |
| pu2  | 0   | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 |
| pu3  | 0   | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 |
| pu4  | 0   | 1   | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 |
| pu5  | 0   | 1   | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 |
| pu8  | 0   | 1   | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  |
| pu9  | 0   | 1   | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  |

**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**

- DE 102004041661 A1 [0002]