



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

(11)

642 718

(21) Gesuchsnummer: 74/79

(22) Anmeldungsdatum: 05.01.1979

(30) Priorität(en): 06.01.1978 US 867572

(24) Patent erteilt: 30.04.1984

(45) Patentschrift
veröffentlicht: 30.04.1984

(73) Inhaber:
General Electric Company, Schenectady/NY
(US)

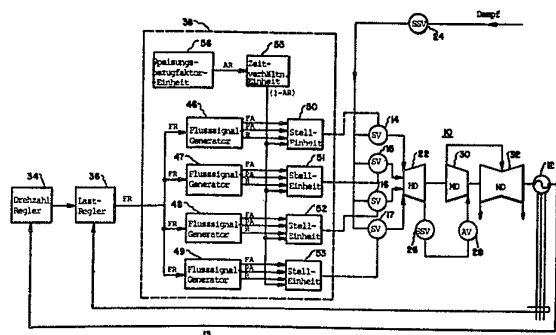
(72) Erfinder:
Paul Edward Malone, Schenectady/NY (US)

(74) Vertreter:
Ritscher & Seifert, Zürich

(54) Verfahren und Einrichtung zum Umsteuern von Ventilen in der ersten Stufe einer Dampfturbine bei einem Betriebsartwechsel.

(57) Aus den Ist-Werten von Geschwindigkeit und Last einer Turbine (10) und den entsprechenden Soll-Werten wird im Drehzahlregler (34) und Lastregler (36) ein Dampfdurchfluss-Sollwertsignal (FR) gebildet. Dieses Signal wird für jedes, einer Düsendruppe der ersten Stufe einer Dampfturbine (22) zugeordnete Ventil (14, 15, 16, 17) in einem Durchflussmengensignalgenerator (46, 47, 48, 49) zu einem Vollbogenspeisungssignal (FA), einem Teilbogenspeisungssignal (PA) und einem Umsteuersignal (R) verarbeitet. Weiter wird in einer Speisereferenzfaktoreinheit (56) ein Speisereferenzfaktorsignal (AR) gebildet, das die gewünschte Betriebsart angibt und in einem elektronischen Multiplikator (55) in ein Multiplikatorsignal (1-AR) verwandelt wird. Das Teilbogenspeisungssignal (PA) und das Umsteuersignal (R) werden dann mit dem Multiplikatorsignal (1-AR) zu einem konditionierten Signal und das letztere mit dem Vollbogenspeisungssignal (FA) in je einer Steuerventil-Stelleinheit (50, 51, 52, 53) zu einem kombinierten Durchflusssignal verarbeitet. Das Durchflusssignal steuert den Hubsignalgenerator für jedes Ventil.

Das Verfahren ermöglicht, die Änderungsgeschwindigkeit der Turbinentemperatur während des Wechsels der Betriebsart (Vollbogenspeisung, Teilbogenspeisung) und damit die thermische Beanspruchung der Turbine zu steuern.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Umsteuern von Ventilen (14, 15, 16, 17), die Düsengruppen in der ersten Stufe einer Dampfturbine (22) speisen, zwischen einem Vollbogenspeisungsbetrieb und einem Teilbogenspeisungsbetrieb, wobei der gesamte Dampfdruck im wesentlichen konstant bleibt und die Temperatur des Gehäuses der ersten Turbinenstufe sich bei der Umsteuerung kontrolliert ändert, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) ein Speisereferenzfaktorsignal (AR), dessen Wert die Betriebsart angibt;
- b) ein Multiplikatorsignal (1-AR), dessen Wert eine Funktion des Speisereferenzfaktorsignales ist und
- c) ein Flussreferenzsignal (FR), welches die Belastung der Turbine angibt, erzeugt werden und für jedes Ventil
- d) ein Vollbogenspeisungssignal (FA), ein Teilbogenspeisungssignal (PA) und ein Umsteuersignal (R) erzeugt werden, die jeweils eine vorgegebene Funktion des Flussreferenzsignales (FR) sind;
- e) das Multiplikatorsignal (1-AR) auf das Teilbogenspeisungssignal (PA) und auf das Umsteuersignal (R) zur Bildung eines konditionierten Signales zur Anwendung gebracht werden,
- f) ein kombiniertes Flusssignal erzeugt wird, welches aus der Summe des konditionierten Signales und des Vollbogenspeisungssignales (FA) besteht;
- g) das kombinierte Flusssignal durch einen Korrekturfaktor modifiziert wird, um ein Ventilhubsignal zu erzeugen, welches eine lineare Änderung des Dampfdruckes durch jedes Ventil in Abhängigkeit von dem kombinierten Flusssignal gewährleistet und
- h) das Speisereferenzfaktorsignal (AR) beim Umsteuern zwischen einem Vollbogenspeisungswert und einem Teilbogenspeisungswert (PA) geändert wird.

2. Elektrohydraulische Steuereinrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach Anspruch 1 für eine Dampfturbinenanlage, die mehrere Ventile zur Zufuhr von Dampf zu den Düsengruppen einer Dampfturbine enthält, die in zwei verschiedenen Betriebsarten betreibbar ist, mit einer Betriebsartsteuereinheit zum Einstellen der Betriebsart der Dampfturbine, dadurch gekennzeichnet, dass die Betriebsartsteuereinheit (38), die die der Turbine (22) beim Wechsel der Betriebsart zugeführte Dampfmenge im wesentlichen konstant hält, eine Anordnung (56) zum Erzeugen eines Speisereferenzfaktorsignales (AR) enthält, das die Betriebsart bestimmt, zur Änderung der Betriebsart veränderbar ist und eine im wesentlichen lineare Änderung der Temperatur eines bestimmten Teiles der Turbine bewirkt;

dass eine Anordnung (55) zum Erzeugen eines Multiplikatorsignales (1-AR) in Abhängigkeit von dem Speisereferenzfaktorsignal (AR) vorgesehen ist;

dass für jedes Ventil ein Flusssignalgenerator (46, 47, 48, 49) vorgesehen ist, welcher ein Vollbogenspeisungsbetriebssignal (FA), ein Teilbogenspeisungsbetriebssignal (PA) und ein Umsteuersignal (R) erzeugt, die jeweils eine vorgegebene Funktion eines Flussreferenzsignales (FR) sind; dass für jedes Ventil eine Signalverarbeitungsschaltung (50, 51, 52, 53) vorgesehen ist, welche ein kombiniertes Flusssignal für das betreffende Ventil entsprechend der Beziehung $FA + (R + PA) \cdot (1-AR)$ erzeugt, und dass für jedes Ventil (14, 15, 16, 17) ein durch das kombinierte Flusssignal gesteuerter Ventilhubsignalgenerator (154) zum Steuern des betreffenden Ventils vorgesehen ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung (55) zum Erzeugen des Multiplikatorsi-

gnales (1-AR) einen Impulsgenerator zum Erzeugen einer Folge von Impulsen enthält, deren Breite progressiv zwischen Werten entsprechend dem Tastverhältnis 0% und dem Tastverhältnis 100% veränderbar ist.

4. Einrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Flusssignalgenerator (46, 47, 48, 49) eine Teilbogenspeisungs-Verstärkerschaltung (78) zum Erzeugen eines Teilbogenspeisungssignales (PA) enthält, welches sich in Abhängigkeit vom Flussreferenzsignal (FR) entsprechend einer stückweise linearen Funktion mit zwei Steigungen ändert.

5. Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Flusssignalgenerator (46, 47, 48, 49) eine Vorspannungsanordnung (85) enthält, mit der die Grösse des Flusssignales einstellbar ist, bei der das betreffende Ventil im Teilbogenspeisungsbetrieb öffnet, so dass sich die Ventile beim Teilbogenspeisungsbetrieb und bei Steuerung durch das Flussreferenzsignal (FR) der Reihe nach öffnen.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Hubsignalgenerator (154) einen Korrekturfaktor für jedes kombinierte Flusssignal liefert, durch den die nichtlineare Flusscharakteristik des Ventils so kompensiert wird, dass eine lineare Änderung des kombinierten Flusssignals eine lineare Änderung des Dampfdruckes des Ventils bewirkt.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Ferner betrifft die Erfindung eine Einrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

Insbesondere betrifft die Erfindung elektrohydraulische Steuereinrichtungen zum Stellen von Ventilen, die die Dampfzufuhr zu einer Dampfturbine steuern und im speziellen einen temperaturgesteuerten Übergang zwischen einem Vollbogenspeisungsbetrieb und einem Teilbogenspeisungsbetrieb der Düsenventile einer Dampfturbine.

Das Prinzip, eine Dampfturbine mit Vollbogenspeisung oder Teilbogenspeisung zu betreiben, ist wohl bekannt. Eine typische Dampfturbine in einem Turbinen-Generator-Satz eines elektrischen Kraftwerkes enthält eine Anzahl von Dampfzuführungs-Düsengruppen, die bogenförmig und voneinander beabstandet am Umfang des Turbinengehäuses angeordnet sind, und eine Anzahl von Steuerventilen, durch die der Dampf zu den Düsengruppen und durch diese in die Turbine strömt. Wenn einer Laständerung oder Dampfdruckänderung durch ein gleichzeitiges Öffnen oder Schliessen aller Steuerventile Rechnung getragen wird, spricht man von einem Vollbogenspeisungsbetrieb der Turbine. (Bei manchen Turbinen werden im Vollbogenspeisungsbetrieb alle Steuerventile (Düsenventile) voll geöffnet und Laständerungen werden durch Öffnen und Schliessen eines Schnellschlussventiles Rechnung getragen, das sich stromaufwärts der Düsenventile und in Reihe mit diesen befindet.) Wenn andererseits die Düsenbogenventile bei Änderungen der Belastung der Turbine oder des Dampfdruckes in einer bestimmten Folge geöffnet oder geschlossen werden und dadurch den verschiedenen Teilen des Turbinenumfanges Dampf mit unterschiedlichen Flussraten oder Durchsätzen zugeführt wird, spricht man von einer Teilbogenspeisung der Turbine. Generell ist der Teilbogenspeisungsbetrieb bei bestimmten Teillastbedingungen vorteilhaft, da man kleinere Drosselverluste und bessere Wärmeraten oder -verhältnisse erzielen kann als bei einer Vollbogenspeisung, während der Vollbogenspeisungsbetrieb beim Anfahren der Turbine vorgezogen wird, da er einen gleich-

mässigeren Temperaturanstieg des Turbineneinlasses, Düsenkastens und der ersten Stufe längs des Turbinenumfanges zu erzielen gestattet, so dass sich geringere Wärmespannungen ergeben als bei einer Teilbogenspeisung. Der Vollbogenspeisungsbetrieb kann auch während eines planmässigen starken Lastanstiegs zwischen zwei Teilbogenspeisungs-Dauerbetriebszuständen als Zwischenbetriebszustand zweckmässig sein, um die Beanspruchung von Baueinheiten, wie des Turbinenrotors oder -gehäuses zu begrenzen oder um eine schnellere Lastübernahme zu ermöglichen.

Es sind bereits eine Reihe von Verfahren und Einrichtungen zum Steuern des Betriebsartwechsels bekannt, mit denen die jeweiligen Vorzüge des Vollbogenspeisungsbetriebes bzw. Teilbogenspeisungsbetriebes ausgenützt werden sollen, und man hat dabei auch bereits angestrebt, plötzliche Temperaturwechsel (Wärmeschocks) zu vermeiden und den Lastwert während des Übergangs zu regeln, z.B. indem der gesamte Dampfdurchsatz während des Wechsels oder Überganges konstant gehalten wird. Aus der US-PS 3 981 608 ist beispielsweise ein elektrohydraulisches Steuersystem bekannt, bei welchem ein Übergang von Vollbogenspeisung auf Teilbogenspeisung bei konstanter Dampfströmung dadurch bewirkt wird, dass ein erstes Ventil bis zu seiner Teilbogenspeisungsstellung geschlossen wird, während die übrigen Ventile mit einer solchen Geschwindigkeit geöffnet werden, dass der Dampfdurchsatz als Ganzes konstant bleibt, und dass dann bei konstanter Stellung des ersten Ventils dasselbe mit den übrigen Ventilen durchgeführt wird, bis sich alle Ventile in ihrer Teilbogenspeisungsstellung befinden. Aus der US-PS 3 403 892, auf deren Inhalt hier ausdrücklich Bezug genommen wird, ist eine elektrohydraulische Einrichtung zum Steuern von Dampf- oder Düsenventilen bekannt, bei der ein Betriebsartübergang, während dessen ein im wesentlichen konstanter Dampfdurchsatz durch die Turbine angestrebt wird, dadurch erfolgt, dass man gleichzeitig die Verstärkungsfaktoren und Vorspannungen von elektrohydraulischen Verstärkern, die die Ventile stellen, entsprechend einjustiert bzw. ändert. Aus den US-PSen 3 637 319 und 3 740 588, auf die ebenfalls ausdrücklich Bezug genommen wird, sind ein Verfahren und eine Einrichtung bekannt, bei denen ein Impulsgenerator oder Zeitverhältnis- oder Tastverhältnis-Schaltkreis anstelle der bei der Einrichtung gemäss der US-PS 3 403 892 verwendeten Potentiometer benutzt wird, um die Vorspannungen und Verstärkungsfaktoren der Verstärker zu ändern und einen gleichmässigeren Betriebsartwechsel zu erreichen. Aus der US-PS 3 956 897 ist schliesslich eine digital arbeitende Einrichtung zur Steuerung von Betriebsartübergängen bekannt, bei der stetige Betriebsartübergänge durch Speisen eines Ventilsteuermechanismus mit frequenzmodulierten Impulsen bewirkt werden.

Die bekannten Verfahren und Einrichtungen vermögen zwar mehr oder weniger weitgehend abrupte Temperaturänderungen gewisser Bauelemente der Dampfturbine zu verhindern, indem der Übergang zwischen den Ventil- bzw. Düsengruppenbetriebsarten allmählich erfolgt und die gesamte Temperaturänderung bei einem Übergang zu begrenzen, indem der Dampfdruck während einer Betriebsartänderung im wesentlichen konstant gehalten wird. In keiner der oben erwähnten Patentschriften findet sich jedoch eine Anregung, die Änderungsgeschwindigkeit der Turbinentemperatur während eines Betriebsartüberganges zu steuern, was eine bessere Beherrschung der Beanspruchungen der Turbine und ferner kombinierte oder koordinierte Laständerungen und Betriebsartübergänge ermöglichen würde und damit ein schnelleres Anfahren und Abstellen der Turbine mit den gewünschten niedrigen Beanspruchungen.

Es ist zwar bereits aus einer Dissertation von R.J. Dickenson «Admission Control of Steam Turbines», eingereicht

1970 beim Polytechnic Institute of Brooklyn bekannt, dass der Dampfdruck konstant gehalten werden sollte und dass sich die Temperatur der Turbine der ersten Stufe bei einem Betriebsartwechsel linear ändern sollte, die hierfür in der Dissertation angegebene Einrichtung ist jedoch kompliziert und schwer realisierbar mit Analogschaltungen, da viele nicht-lineare Korrekturfunktionen benötigt werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt also generell die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung zur elektrohydraulischen Steuerung einer Dampfturbine anzugeben, die einen hinsichtlich der Temperatur gesteuerten Übergang zwischen zwei Arten des Ventilbetriebes gestatten.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäss Anspruch 1 und die Einrichtung gemäss Anspruch 2 gelöst.

Die übrigen Ansprüche betreffen Weiterbildungen und vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemässen Verfahrens bzw. der erfindungsgemässen Einrichtung.

Generell gesprochen werden durch die Erfindung ein Verfahren und eine Einrichtung zur elektrohydraulischen Steuerung des Überganges von Steuerventilen einer Dampfturbine zwischen einem Vollbogenspeisungsbetrieb und einem Teilbogenspeisungsbetrieb angegeben, bei denen der Dampfdruck während der Betriebsartänderung im wesentlichen konstant bleibt und die Temperatur der ersten Stufe der Turbine sich im wesentlichen linear mit einem Admissions- oder Speisereferenzfaktor ändert, der jede Betriebsart charakterisiert. Eine bevorzugte Ausführungsform der Einrichtung gemäss der Erfindung, die eine Kontrolle der Turbinentemperaturen und -beanspruchungen ermöglicht, enthält Betriebsartflusssignalgeneratoren zur Erzeugung eines Vollbogenspeisungssignales, eines Reversier- oder Umsteuerungssignales und eines Teilbogenspeisungssignales, ferner eine Zeitverhältnisschaltung zum Erzeugen eines Multiplikators in Ansprache auf einen Admissions- oder Speisereferenzfaktor, und Steuerventilstelleinheiten, die jeweils eine Signalkonditionierungs- oder Signalzubereitungsanordnung zum Erzeugen eines kombinierten Strömungssignales, das sich linear mit dem Speisereferenzfaktor ändert, und einen Hubsignalgenerator zum Erzeugen von Ventilhubsignalen sowohl für den Vollbogenspeisungsbetrieb als auch für den Teilbogenspeisungsbetrieb aus einer einzigen stückweisen linearen Approximation der Vollbogenspeisungs-Hubcharakteristik enthalten.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Dampfturbinen-Generator-Satzes mit einer zugehörigen elektrohydraulischen Steuer- und Regeleinrichtung;

Fig. 2 eine graphische Darstellung der Änderung von Betriebsartsignalen für einen Satz von vier Ventilen während eines Überganges vom Vollbogenspeisungsbetrieb auf den Teilbogenspeisungsbetrieb bei einer bekannten Einrichtung und bei einer Einrichtung gemäss einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 3 eine graphische Darstellung der Änderung der Temperatur der ersten Turbinenstufe während des Überganges von der Vollbogenspeisung zur Teilbogenspeisung für eine bekannte Einrichtung und für eine Einrichtung gemäss einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 4 ein Schaltbild eines Flusssignalgenerators, der sich für die Verwendung mit einem Steuerventil eignet, um einen temperaturgesteuerten Betriebsartübergang zu bewirken;

Fig. 5 eine graphische Darstellung der Ausgangssignale, die ein Flusssignalgenerator bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung als Reaktion auf ein Flussreferenzsignal erzeugt, und

Fig. 6 ein Schaltbild einer Steuerventilstelleinheit, die sich für die Verwendung mit einem Steuerventil eignet, um einen temperaturgesteuerten Betriebsartübergang zu bewirken.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens bzw. der Einrichtung zur elektrohydraulischen Steuerung einer Dampfturbine können die Temperaturen und damit die Beanspruchungen der Turbine zu allen Zeiten während eines Betriebsartüberganges kontrolliert bzw. gesteuert werden, z.B. bei einem Übergang vom Vollbogenspeisungsbetrieb zum Teilbogenspeisungsbetrieb bei einem speziellen Gesamtfluss oder Durchsatz des Dampfes. Die Einrichtung enthält eine Admissions- oder Speisereferenzeinheit zum Erzeugen eines Speisereferenzfaktors, dessen Werte jeweils einen Vollbogenspeisungsbetrieb, einen Teilbogenspeisungsbetrieb oder einen Zwischenbetriebszustand darstellen, und zum progressiven Verändern des Speisereferenzfaktors während einer Betriebsartänderung. Ferner ist eine Zeitverhältnisschaltung vorgesehen, die unter Steuerung durch einen Speisereferenzfaktor einen Multiplikator erzeugt, der zur Bestimmung des Zustandes eines Satzes von Flusssignalen für jedes der Steuer- oder Düsenventile der Dampfturbine dient. Die durch den Multiplikator zu beeinflussenden Flusssignale werden durch Flusssignalgeneratoren der Steuereinrichtung erzeugt, die auf ein Flussreferenz- oder Flusssollwertsignal ansprechen, das den gewünschten gesamten Dampffluss angibt und die einen Satz von Teilbogenspeisungs-, Vollbogenspeisungs- und Umsteuerungs-(negativen Vollbogenspeisungs-) Flusssignalen erzeugen. Durch eine Flusssignalkonditionierungsanordnung wird der Multiplikator auf die Teilspeisungs- und Umsteuerflusssignale zur Einwirkung gebracht und das Resultat mit dem Vollbogenspeisungsflusssignal kombiniert, wobei für jedes Ventil ein kombiniertes Flusssignal erzeugt wird, das sich linear mit dem Speisereferenzfaktor von einem Vollbogenspeisungswert auf einen Teilbogenspeisungswert ändert, wenn der Übergang durchgeführt wird. Als Ergebnis wird der Dampfdurchsatz während des Betriebsartüberganges im ganzen gesehen konstant gehalten und ändert sich die Temperatur der ersten Turbinenstufe im wesentlichen linear mit dem Speisereferenzfaktor, und werden die Beanspruchungswerte der Turbine genau kontrolliert.

Fig. 1 zeigt vereinfacht und schematisch einen typischen Dampfturbinensatz 10, der mit einer anzutreibenden Last, wie einem elektrischen Generator 12 verbunden und durch eine Einrichtung 13 gemäss einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gesteuert ist. Der Dampfturbinensatz 10, der beispielsweise als Tandemeinheit mit Zwischenüberhitzung dargestellt ist, im Prinzip beliebig ausgebildet sein kann, wird in erster Linie durch Zufuhr von Dampf durch mehrere Steuerventile gesteuert, z.B. Steuerventile 14, 15, 16 und 17, die parallel zueinander angeordnet sind und einer Hochdruckturbine 22 Dampf über getrennte, nicht dargestellte Düsengruppen zuführen, die auf den Umfang des Einlasses der Hochdruckturbine 22 verteilt sind. Wie Fig. 1 zeigt, ist ferner mindestens ein Schnellschlussventil 24 vorgesehen, das in bestimmten Anlagen beim Vollbogenspeisungsbetrieb zur Steuerung der Dampfzufuhr verwendet werden kann, ferner mindestens ein Zwischenüberhitzungs-Schnellschlussventil 26 und Abfangventil 28, die zur Steuerung der Dampfzufuhr zu einer Mitteldruck- und Niederdruck-Turbine 30 bzw. 32 dienen. Die Schnellschlussventile 24 und 26 sowie das Abfangventil 28 spielen für die vorliegende Erfindung keine Rolle und ihre Stellglieder und Verbindungen mit anderen Teilen der Steuer- und Regeleinrichtung sind daher aus Übersichtlichkeitsgründen nicht dargestellt.

Die Steuerventile 14, 15, 16 und 17 dienen, wie erwähnt,

zur Steuerung der Dampfzufuhr zum Turbinensatz, wobei sie entweder im Vollbogenspeisungsbetrieb arbeiten können, in dem alle Steuerventile entsprechend Laständerungen gleichzeitig in Öffnungs- oder Schliessrichtung verstellt werden, oder im Teilbogenspeisungsbetrieb, in dem die verschiedenen Ventile in einer vorgegebenen Folge öffnen oder schliessen. Das Arbeiten der Steuerventile wird durch die Steuer- und Regeleinrichtung 13 bestimmt, die ausser den Ventilen 14, 15, 16 und 17 einen Drehzahlregler 34, einen Lastregler 36 und eine Betriebsartsteuereinheit 38 umfasst. Der Drehzahlregler 34 und der Lastregler 36 bestimmen in bekannter Weise Grössen, wie die Ist-Drehzahl, die Ist-Last und die Änderungsgeschwindigkeit der Drehzahl und Last der Turbine, und errechnen aus diesen Parametern in Verbindung mit den gewünschten Soll-Werten Signale, wie ein Flussreferenz- oder Dampfmengen-Sollwertsignal, das die gewünschte Dampfmenge (Dampffluss, Dampfdurchsatz) angibt und bei der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ein Eingangssignal für die Betriebsartsteuereinheit 38 bildet. Die Betriebsartsteuereinheit 38, die einen wesentlichen Teil der Erfindung bildet, verarbeitet das Dampfmengensollwert- oder Flussreferenzsignal vom Lastregler 36 und liefert Hubsignale an die verschiedenen Ventile 14, 15, 16 und 17, um eine temperaturgesteuerte Betriebsartänderung zu bewirken oder den Betrieb mit der gewünschten Vollbogenspeisung oder Teilbogenspeisung aufrechtzuerhalten.

Vor einer ins einzelne gehenden Erläuterung des Aufbaus und der Arbeitsweise der Betriebsartsteuereinheit 38 soll auf einige Betriebsartparameter und typische Betriebsartänderungen eingegangen werden. Man kann der Einfachheit halber jede Betriebsart durch einen speziellen Wert eines Speisereferenzfaktors AR charakterisieren. Bei der folgenden Erläuterung soll der Wert 1,0 des Speisereferenzfaktors den Vollbogenspeisungsbetrieb und der Wert Null den Teilbogenspeisungsbetrieb bedeuten. Ein AR-Wert von 0,5 stellt daher eine Betriebsart in der Mitte zwischen dem Vollspeisungsbetrieb und dem Teilspeisungsbetrieb dar.

In Fig. 2 und 3 sind Betriebsartübergänge zwischen dem Vollbogenspeisungsbetrieb und dem Teilbogenspeisungsbetrieb bei Teillast sowohl für eine typische Betriebsartsteuereinrichtung gemäss dem Stand der Technik, die mit veränderlichen Vorspannungen und Verstärkungsfaktoren arbeitet (gestrichelte Kurven) als auch für eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung (ausgezogene Kurven) dargestellt. In Fig. 2 sind die Ventilflusssignale in Abhängigkeit vom Speisereferenzfaktor für eine Dampfturbine mit vier Steuerventilen, wie den Steuerventilen 14, 15, 16 und 17 gemäss Fig. 1 dargestellt und man sieht, dass die Steuerventile 16 und 17 bei einem Betriebsartübergang gemäss dem Stand der Technik anfänglich fälschlich in Richtung auf eine weiter geöffnete Stellung (höheres Flussignal) anstatt in Richtung auf die Kein-Fluss- oder völlig geschlossene Teilbogenspeisungsstellung verstellt werden und dass die gesamte Dampfmenge nicht konstant bleibt, sondern zumindest während des anfänglichen Teiles des Übergangs etwas ansteigt, wie aus dem anfänglichen Ansteigen aller gestrichelter Kurven ersichtlich ist.

Ausserdem erreichen die Ventile 14, 15 und 16 ihre Teilbogenspeisungswerte des Fluss- oder Mengensignals bei verschiedenen Werten des Speisereferenzfaktors AR, wobei besonders das Ventil 14 sein Teilbogenspeisungssignal bei einem AR-Wert von etwa 0,55 erreicht, also nach weniger als der Hälfte des Übergangs, gemessen am Speisereferenzfaktor AR. Die Konsequenzen eines solchen Ventilflusssignalverlaufs sind aus der gestrichelten Kurve in Fig. 3 ersichtlich, in der die Temperatur des Gehäuses der ersten Stufe der Hochdruckturbine im Verlauf einer Betriebsartänderung dargestellt ist; man sieht, dass beim Übergang vom Vollbogenspei-

sungsbetrieb auf den Teilbogenspeisungsbetrieb praktisch die ganze Änderung der Temperatur der ersten Turbinenstufe zwischen $AR = 0,55$ und $AR = 0$ stattfindet. Da die Turbinenbeanspruchung eine Funktion der Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur ist und ein typischer Betriebsartwechsel innerhalb eines spezifizierten Zeitintervalles durchgeführt wird, können bei einem Betriebsartwechsel gemäss dem Stand der Technik, der mit veränderlichen Vorspannungen und Verstärkungsfaktoren durchgeführt wird, unerwünscht hohe Beanspruchungen auftreten. Die schnellen Temperaturänderungen und hohen Beanspruchungen treten sogar dann auf, wenn konventionelle Massnahmen, wie eine Druckrückführungsschleife (nicht dargestellt) von der Hochdruckturbine 22 (Fig. 1) zum Lastregler 36 vorgesehen sind, um die Gesamtdampfmenge während des Überganges konstant zu halten. Die gestrichelten Kurven in Fig. 2 und 3 würden ausserdem einen ganz anderen Verlauf haben, wenn der Übergang bei anderen Teillastverhältnissen durchgeführt wird, und sie würden Ventilfluss- und Turbinentemperaturprofilen entsprechen, die sich für die verschiedenen Betriebsartänderungen, die im Betrieb einer Dampfturbine erforderlich sind, nicht ohne weiteres vorhersagen oder steuern lassen. Wenn der Betriebsartwechsel in bekannter Weise durchgeführt wird, können also übermässige und sogar zyklische Turbinenbeanspruchungen auftreten.

Die ausgezogenen Kurven in Fig. 2 und 3, die einen Übergang vom Vollbogenspeisungsbetrieb auf den Teilbogenspeisungsbetrieb bei der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung darstellen, zeigen, dass, wenn man das Flusssignal für jedes Ventil sich linear mit dem Speisereferenzfaktor von seinem Vollbogenspeisungswert auf seinen Teilbogenspeisungswert ändern lässt (Fig. 2) und damit die gesamte Dampfmenge konstant hält, die Temperatur sich während des Überganges ungefähr linear mit dem Speisereferenzfaktor AR ändert (Fig. 3). Die lineare Temperaturänderung, die unabhängig von dem Teillastzustand ist, bei dem der Übergang oder Betriebsartwechsel durchgeführt wird, erlaubt eine Bestimmung und damit Steuerung der Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur der ersten Turbinenstufe durch eine entsprechende Steuerung des Speisereferenzfaktors. Dies ermöglicht wiederum eine Beherrschung und Kontrolle der Beanspruchungen und Spannungen in der Turbine und schnellere Lasterhöhungen sowie Lastverringern bei niedrigeren Beanspruchungen der Turbine, wenn der Speisereferenzfaktor richtig mit anderen Beanspruchungsüberwachungseinrichtungen und dem Lastregler 36 koordiniert wird.

Um die gewünschte lineare Änderung des Dampfmenge- oder Strömungssignals mit dem Speisereferenzfaktor zu bewirken, enthält die elektrohydraulische Steuereinrichtung 13 die Betriebsartsteuereinheit 38, welche bei dem in Fig. 1 dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung individuelle Mengen- oder Flusssignalgeneratoren 46, 47, 48 und 49 und Steuerventil-Stelleinheiten 50, 51, 52 und 53 für die verschiedenen Steuerventile 14, 15, 16 und 17, sowie eine Zeitverhältnisschaltung 55 und eine Speisereferenzeinheit 56 enthält.

Ein typischer Flusssignalgenerator für die Betriebsartsteuereinheit 38, z.B. der Flusssignalgenerator 46, ist in Fig. 4 dargestellt. Dem Flusssignalgenerator 46 (und den anderen Flusssignalgeneratoren 47, 48 und 49) wird ein Flussreferenz- oder Flusssollwertsignal vom Lastregler 36 zugeführt und der Flusssignalgenerator 46 erzeugt in Ansprache auf dieses Signal ein Vollbogenspeisungssignal, ein Umsteuersignal und ein Teilbogenspeisungsflusssignal für die Ventilstelleinheit 50. Der Verlauf dieser Signale in Abhängigkeit vom Flusssollwertsignal FR ist in Fig. 5 dargestellt.

Das Flusssollwertsignal wird dem Flusssignalgenerator 46

über eine Eingangsklemme 58 zugeführt, an die eine Umsteuersignalschaltung 60 und eine Leitung 62 angeschlossen sind, die zu einer Ausgangsklemme 64 führt, an der das Flusssollwertsignal als Vollbogenspeisungssignal FA dient. In der Umsteuersignalschaltung 60 gelangt das Flusssollwertsignal über einen Eingangswiderstand 66 zu einem Verstärker 68, indem es mit dem Faktor -1 multipliziert wird. Der Betrag $1,0$ des Verstärkungsfaktors wird durch geeignete Wahl des Eingangswiderstandes 66 sowie eines Widerstandes 70 und entsprechende Einjustierung eines Trimpmpotentiometers 72 gewährleistet. Durch eine Diode 74 wird eine Nullbegrenzung bewirkt, so dass das Umsteuersignal R , das an einer Ausgangsklemme 76 zur Verfügung steht und in Fig. 5 in Abhängigkeit vom Flusssollwertsignal FR aufgetragen ist, für negative Werte des Flusssollwertsignals $FR = 0$ und für positive Werte von $FR = -FR$ ist (negative Werte von FR sind über die Schliessstellung hinausgehenden Hubbereichen der Steuerventile zugeordnet).

Der Flusssignalgenerator 46 enthält ferner eine Teilbogenspeisungsverstärkerschaltung 78, die unter Steuerung durch das Umsteuersignal ein Teilbogenspeisungssignal erzeugt. Das Umsteuersignal wird einem Verstärker 80 über einen Widerstand 82 zugeführt. Dem Eingang des Verstärkers 80 wird ferner ein Ventilschliessvorspannungssignal $B+$ zugeführt, das einer Klemme 84 zugeführt und durch ein Potentiometer 85 einstellbar ist. Dieses Vorspannungssignal dient zur Einstellung des Abheb- oder Öffnungspunktes des Steuerventils 14 (des Wertes FR_L des Flusssollwertsignales, bei dem das Ventil 14 zu öffnen beginnt), wie der in Fig. 5 für eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung dargestellte Verlauf des Teilbogenspeisungssignales PA in Abhängigkeit vom Flusssollwertsignal FR zeigt. Der stückweise lineare Verlauf des Teilbogenspeisungssignals mit zwei Steigungen ergibt zusätzliche Anpassungsmöglichkeiten und höhere Genauigkeiten hinsichtlich der Konstanthaltung der Dampfmenge und der Turbinendrehzahl während eines Betriebsartüberganges und damit eine besonders genaue Steuerung der Temperatur der ersten Turbinenstufe.

Der Verstärker 80 der Schaltungsanordnung 78 kombiniert das Umsteuersignal und das Ventilschliessvorspannungssignal und verstärkt zusammen mit einer Leistungsstufe 86, die einen Transistor enthalten kann, das resultierende Signal unter Erzeugung eines Teilbogenspeisungssignales. Um das Teilbogenspeisungssignal auf Werte innerhalb des Betriebsbereiches des Steuerventils 14 zu begrenzen, sind eine Diode 87, ein Trimpmpotentiometer 88 und ein Widerstand 89 vorgesehen, die zusammen mit einem geeigneten negativen Potential $C-$, das einer Klemme 90 zugeführt wird, eine untere Grenze für das Teilbogenspeisungssignal festlegen. Eine obere Grenze wird durch eine Diode 92, ein Trimpmpotentiometer 94 und einen Widerstand 96 in Verbindung mit einem positiven Potential $C+$, das einer Klemme 98 zugeführt ist, festgelegt.

Zur Einstellung der Verstärkungsfaktoren für das Teilbogenspeisungssignal, wie es in Fig. 5 dargestellt ist, ist eine doppelte Rückführungsschleife vorgesehen, die Trimpmpotentiometer 100 und 102 und Widerstände 104 und 106 enthält. Für Werte des Flusssollwertsignales, die grösser sind als FR_L , also der Wert, bei dem das Ventil 14 beginnt, sich zu öffnen, jedoch kleiner als FR_B , die Stelle, bei der sich die Steigung der Teilbogenspeisungssignalcharakteristik ändert, verhindert ein positives Vorspannungssignal $D+$, das von einer Klemme 108 über ein Potentiometer 110 und eine Diode 112 zugeführt wird, dass eine Diode 114 leitet, so dass die Verstärkung für das Teilbogenspeisungssignal durch das Trimpmpotentiometer 100 bestimmt wird. (Durch ein negatives Vorspannungssignal $D-$, das einer Klemme 116 zugeführt und durch ein Potentiometer 118 in Verbindung mit einem Wider-

stand 120 abgeglichen wird, wird der Beitrag des positiven Vorspannungssignals B+ zum Signal am Punkt 122 kompensiert.) Für Werte des Flusssollwertsignales, die grösser als FR_B sind, leitet die Diode 114 und die Verstärkung hängt dann sowohl von der Einstellung des Potentiometers 100 als auch von der des Potentiometers 102 ab.

Das Teilbogenspeisungssignal an der Klemme 123 ist also 0 für Werte des Flusssollwertsignales, die kleiner als FR_L sind, wo das zugehörige Steuerventil 14 zu öffnen beginnt, und es ändert sich dann linear mit dem Flusssollwertsignal bis zum maximalen Flusszustand des Steuerventils entsprechend einer Beziehung mit zwei Neigungen oder Steigungen, die aus der Strömungscharakteristik des Ventiles 14 bestimmt wird (d.h. Diagrammen der Vollbogenspeisungs- und Teilbogenspeisungsdampfmenge in Abhängigkeit von der gesamten Dampfmenge).

Fig. 6 zeigt eine typische Steuerventilstelleinheit (CVPU) 50, welche eine Signalkonditionierungs- oder Signalverarbeitungsschaltung 124 mit Eingangsklemmen 126, 128 und 130 enthält, denen das Vollbogenspeisungssignal, das Umsteuerungssignal bzw. das Teilbogenspeisungssignal vom Flusssignalgenerator 46 zugeführt werden. Für die Steuerventile 15, 16 und 17 sind entsprechende Stelleinheiten vorgesehen. Der Signalverarbeitungsschaltung 124 wird ferner über eine Klemme 132 ein Zeitverhältnissignal von der Zeitverhältnisschaltung 55 zugeführt. Das Zeitverhältnissignal ist ein elektronischer Multiplikator, der in der Zeitverhältnisschaltung 55 unter Steuerung durch ein Signal von der Speisungsbezugseinheit 56 erzeugt wird. Bei der vorteilhaften, bevorzugten Ausführungsform enthält die Zeitverhältnisschaltung 55 einen Impulsgenerator, der eine Folge von Impulsen mit sich progressiv ändernder Zyklusbreite oder sich progressiv änderndem Tastverhältnis liefert, wie es in der oben bereits erwähnten US-PS 3 740 588 beschrieben ist. Man kann jedoch auch andere Arten von elektronischer Multiplikation verwenden.

Die Signalverarbeitungsschaltung 124 enthält eine zweipolige Schaltvorrichtung 134 mit Schaltern 136 und 138. Beim Vollbogenspeisungsbetrieb wird der Speisereferenzfaktor AR auf 1,0 eingestellt und das Zeitverhältnis-Eingangssignal der Schaltvorrichtung 134 besteht aus einem Impuls mit einem Tastverhältnis von 100%. Die Schalter 136 und 138 schliessen und bleiben geschlossen, wodurch das Umsteuersignal und das Teilbogenspeisungssignal über einen Widerstand 140 bzw. 142 nach Masse abgeleitet werden. Das kombinierte Flusssignal am summierenden Verbindungspunkt 144 enthält daher das Vollbogenspeisungssignal von der Klemme 126 nach Modifikation durch eine geeignete Impedanzvorrichtung, wie einen Widerstand 146. Für den Teilbogenspeisungsbetrieb wird der Speisereferenzfaktor AR auf 0 eingestellt und das Zeitverhältnisseingangssignal, das die Schaltvorrichtung 134 betätigt, enthält dann keine Impulse (d.h. Impulse der Breite 0), so dass die Schalter 136 und 138 öffnen und geöffnet bleiben und zum Verbindungspunkt 144 ausser dem Vollbogenspeisungssignal über den Widerstand 146 ein konditioniertes Signal gleich dem Umsteuersignal und dem Teilbogenspeisungssignal, die durch die Widerstände, 140, 148 bzw. 142 und 150 proportional summiert werden, gelangen. Da das Umsteuersignal für alle positiven Werte des Vollbogenspeisungssignales $FA = -FA$ ist, ist das kombinierte Flusssignal an der Klemme 144 für ein Speisereferenzsignal des Wertes 0,0 bei geeigneter Wahl der Widerstände das durch die Widerstände 142 und 150 modifizierte Teilbogenspeisungssignal.

Bei Werten des Speisereferenzfaktors zwischen 1,0 und 0, d.h. während eines Betriebsartüberganges (bei der folgenden Diskussion sollen dabei die Änderungen der Signale durch die Widerstände der Signalverarbeitungsschaltung 124 der

Einfachheit halber ausser acht gelassen werden) sind die Beiträge des Umsteuersignals R und des Teilbogenspeisungssignals PA zum kombinierten Flusssignal an der Verbindung 144 gleich $(R + PA)(1 - AR)$. Für positive Werte des Vollbogenspeisungssignales, für die $R = -FA$ gilt, ist das kombinierte Flusssignal also $PA(1 - AR) + FA(AR)$.

Ausser der Anordnung zum Errechnen des kombinierten Flusssignals an der Klemme 144 enthält die Steuerventilstelleinheit 50 ausserdem einen Hubsignalgenerator 154, der das kombinierte Flusssignal hinsichtlich der typischen nicht-linearen Abhängigkeit zwischen dem Ventildurchsatz und dem Ventilhub korrigiert und an einer Klemme 156 ein elektrisches Ventilhubsignal erzeugt. Das elektrische Ventilhubsignal kann in bekannter Weise, z.B. wie es in der oben bereits erwähnten US-PS 3 403 892 beschrieben ist, durch eine nicht-dargestellte Vorrichtung in der Steuerventilstelleinheit 50 in einen entsprechenden Hub oder eine entsprechende Stellung des Steuerventils umgesetzt werden, z.B. mittels eines hydraulischen Fluids, das in Verbindung mit einem Steuerventil einen Kolben betätigt, der mit einem beweglichen Ventilteller des Steuerventils 14 verbunden ist.

Da die Verwendung verschiedener Hubsignalfunktionen für den Teilbogenspeisungsbetrieb und den Vollbogenspeisungsbetrieb zu einer sehr komplizierten Steuereinrichtung führen würde, wird bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, wie es bei dem Hubsignalgenerator 154 in Fig. 6 dargestellt ist, ein und dieselbe Kurve, die als «lineare» Approximation der Fluss/Hub-Charakteristik der jeweiligen im Vollbogenspeisungsbetrieb arbeitenden Steuerventile aus 3 Geraden mit unterschiedlichen Neigungen konstruiert ist, in den verschiedenen Hubsignalgeneratoren, wie dem Hubsignalgenerator 154, für die Erzeugung des elektrischen Ventilhubsignals für beide Betriebsarten verwendet. Die Verwendung einer einzigen Kurve, die aufgrund der Vollbogenspeisungs-Fluss/Hub-Charakteristik konstruiert ist, sowohl für den Vollbogenspeisungsbetrieb als auch mit geeigneter Umrechnung durch die Teilbogenspeisungsverstärkerschaltung 78 des Flusssignalgenerators 46 für den Teilbogenspeisungsbetrieb und Zwischenbetriebszustände ergibt sich nur eine weniger komplizierte Steuereinrichtung als sie zwei Sätze von Funktionen erfordern würden, sondern ermöglicht auch den Fluss bzw. die Dampfmenge während eines Betriebsartüberganges besser konstant zu halten als bei Verwendung einer einzigen Kurve, die aufgrund der Teilbogenspeisungs-Fluss/Hub-Charakteristik konstruiert ist. Eine höhere Flussgenauigkeit ermöglicht wiederum eine bessere Steuerung der Temperatur der ersten Stufe und der Beanspruchungen der Turbine.

Die Arbeitsweise der Steuereinrichtung 13 soll anhand der Beschreibung eines Betriebsartwechsels vom Vollbogenspeisungsbetrieb auf den Teilbogenspeisungsbetrieb erläutert werden, selbstverständlich sind in entsprechender Weise Betriebsartwechsel vom Teilbogenspeisungsbetrieb in den Vollbogenspeisungsbetrieb und von einem dazwischen liegenden Betriebszustand in einen anderen Betriebszustand möglich. Zu Beginn des Betriebsartwechsels arbeiten die Steuerventile 14, 15, 16 und 17 im Vollbogenspeisungsbetrieb, in dem sie jeweils einen Teil der gesamten Dampfmenge zum Turbineneinlass durchlassen. Der Speisereferenzfaktor AR in der Speisereferenzeinheit 56 ist also 1,0 und das Speisereferenzeingangssignal der Zeitverhältnisschaltung 55 erzeugt einen Multiplikator, der das Umsteuersignal und das Teilbogenspeisungssignal in der Signalverarbeitungsschaltung 124 jeweils mit 0 multipliziert, so dass am Verbindungspunkt 144 ein kombiniertes Flusssignal gleich dem Vollbogenspeisungssignal erzeugt wird und der Hubsignalgenerator 154 dementsprechend ein Vollbogenspeisungs-Ventilhub-

signal erzeugt. Um den Übergang auf den Teilbogenspeisungsbetrieb zu bewirken, wird der Speisereferenzfaktor AR in der Speisereferenzeinheit 56 mit einer geeigneten Geschwindigkeit von 1,0 auf 0 geändert. Es sei bemerkt, dass der Speisereferenzfaktor AR und damit das Speisereferenzsignal in der Einheit 56 mit unterschiedlicher Geschwindigkeit geändert werden kann, z.B. durch ein von Hand oder durch einen Motor angetriebenes Potentiometer (nicht dargestellt) oder alternativ kann die Speisereferenzeinheit 56 mit einer geeigneten Beanspruchungs- oder Spannungssteuereinheit verbunden sein und der Speisereferenzfaktor kann dann so geändert werden, dass die Wärmespannungen in der Turbine auf bestimmten Werten oder möglichst klein gehalten werden.

Das gesteuerte Verringern des Speisereferenzfaktors AR von 1,0 auf 0 verringert fortschreitend die Breite der Impulse des Zeitverhältniseingangssignals der Signalverarbeitungsschaltung 124, wodurch der Multiplikator für das Teilbogenspeisungssignal und das Umsteuersignal vergrößert wird, bis der Multiplikator bei $AR = 0,0$ den Wert 1,0 erreicht. Das kombinierte Flusssignal am Verbindungspunkt 144 ist dann

gleich dem Teilbogenspeisungssignal und der Hubsignalgenerator 154 erzeugt ein Ventilhubsignal für den Teilbogenspeisungsbetrieb. Während des Betriebsartüberganges ändert sich das kombinierte Flusssignal für jedes der Ventile 14, 15, 16 und 17 am Verbindungspunkt 144 linear mit dem Speisereferenzfaktor vom Vollbogenspeisungsbetriebssignal auf das Teilbogenspeisungssignal, wie es durch die ausgezogenen Linien in Fig. 2 dargestellt ist. Hierdurch wird die der Turbine zugeführte Dampfmenge während des Überganges konstant gehalten und ergibt sich eine im wesentlichen lineare Änderung der Temperatur des Gehäuses der ersten Turbinenstufe mit dem Speisereferenzfaktor AR. Da die Änderungsgeschwindigkeit des Speisereferenzfaktors AR gesteuert wird, sind auch die Temperaturänderungen und damit die Wärmespannungswerte während des Betriebsartwechsels gesteuert.

Das beschriebene bevorzugte Ausführungsbeispiel der Erfindung lässt sich auf verschiedene Weise abwandeln, z.B. kann eine andere Anzahl von Geraden unterschiedlicher Neigung zur Erzeugung der in Fig. 5 dargestellten Teilbogenspeisungssignalfunktion oder der in Fig. 6 dargestellten Hubsignalfunktion verwendet werden.

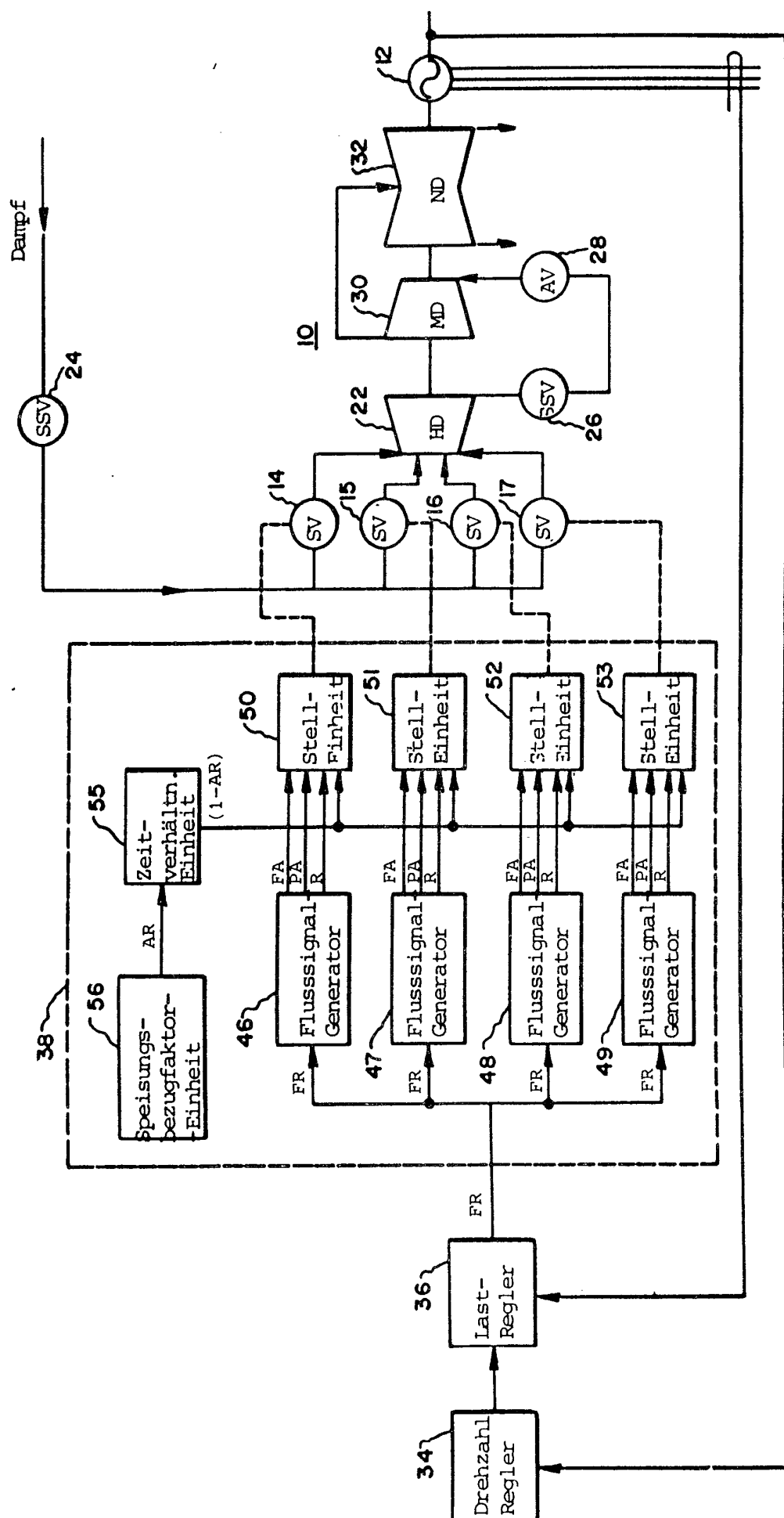


Fig. 1

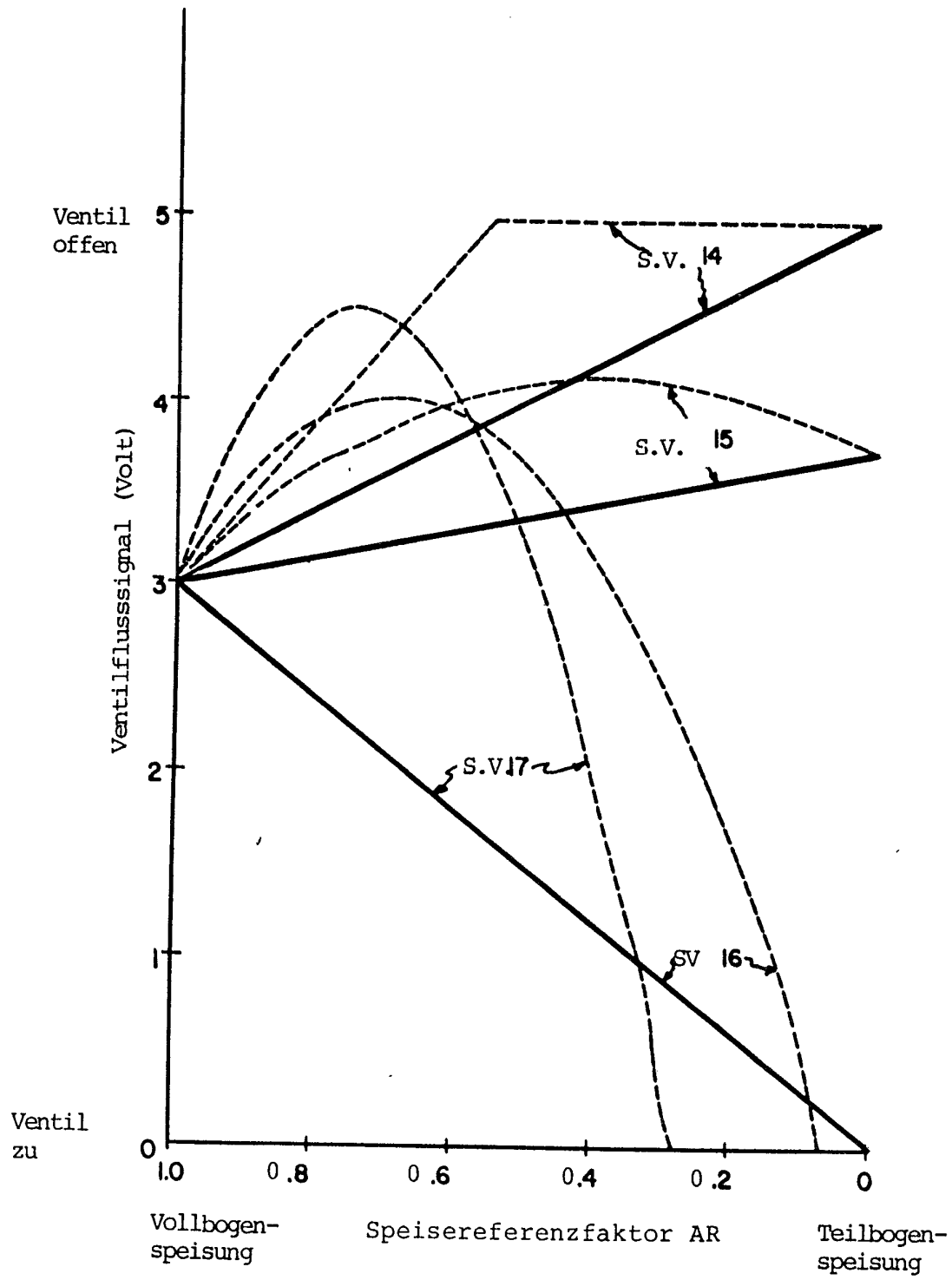
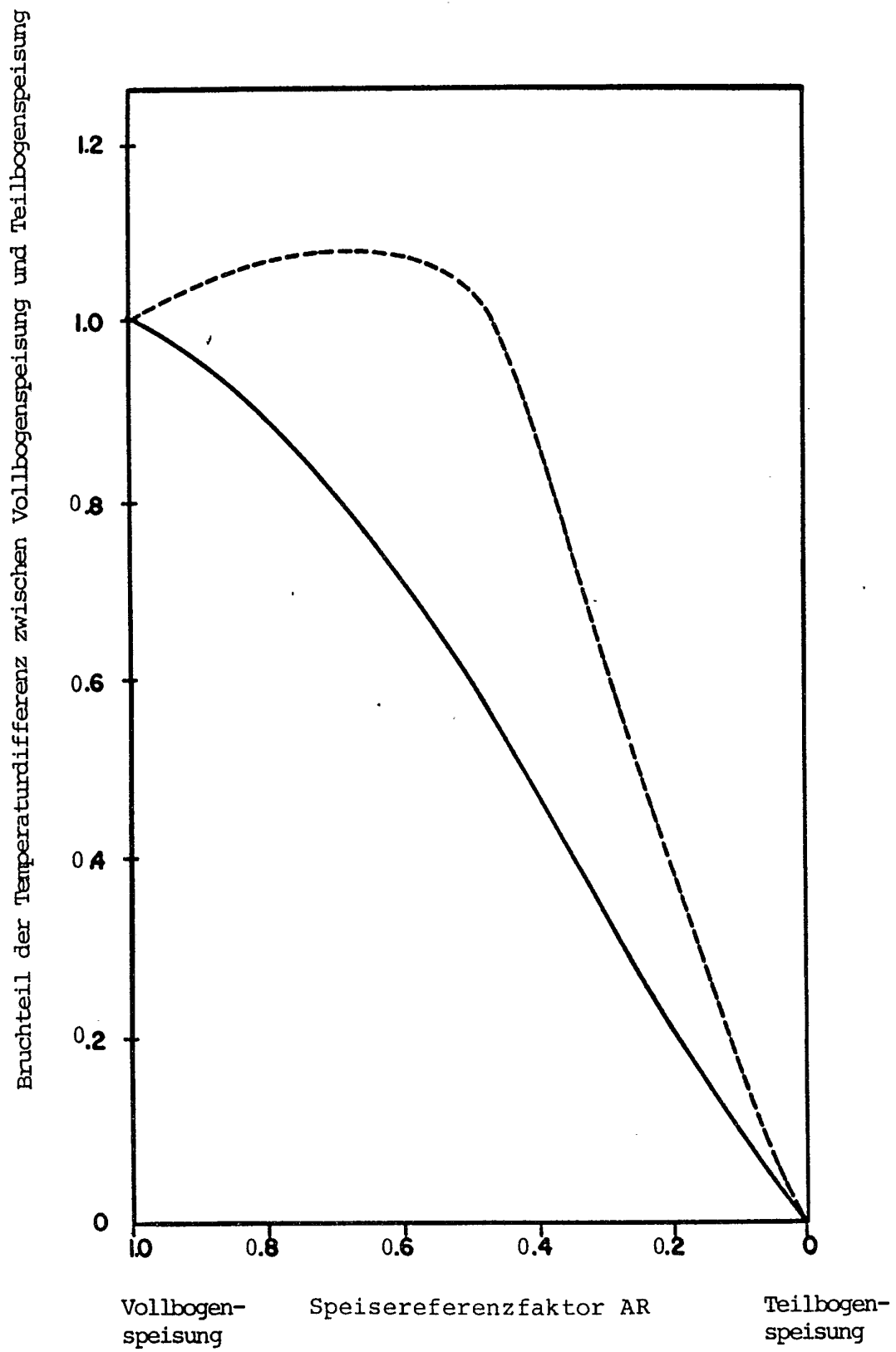


Fig. 2

**Fig.3**

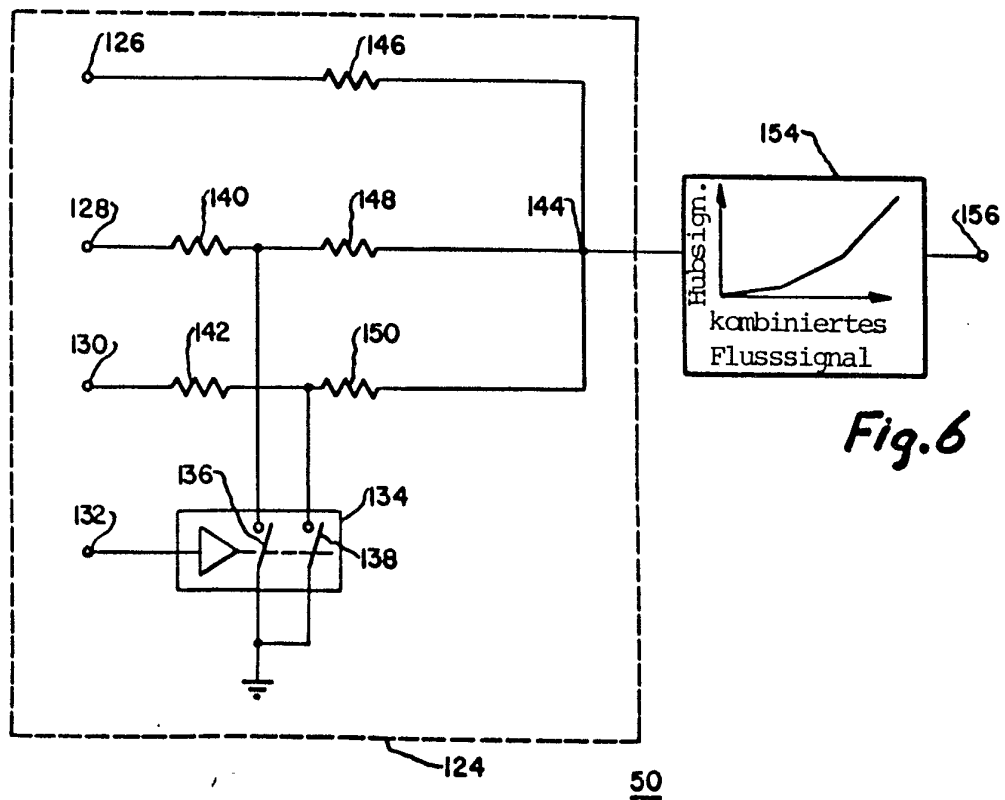
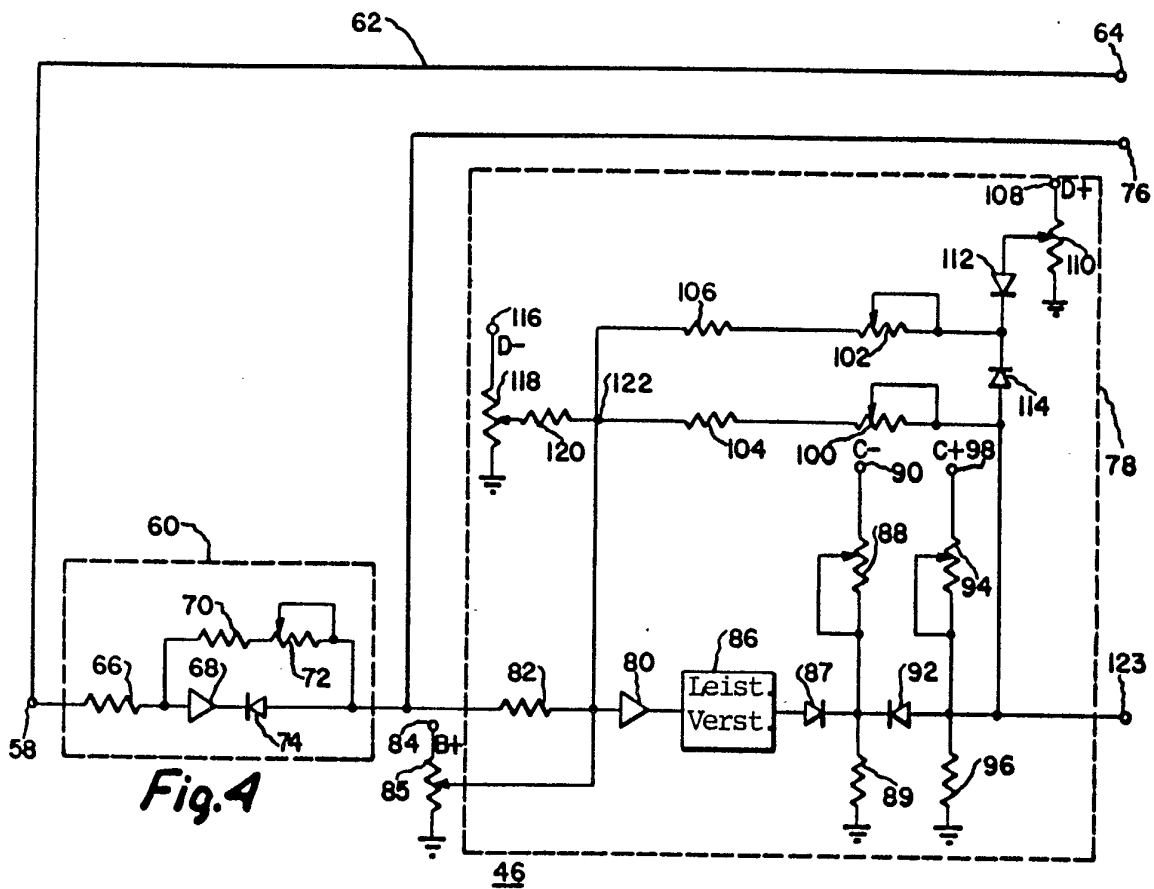


Fig. 6

Fig. 5

