

**SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT**  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH**

**696 830 A5**

(19)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **H02P 25/30** (2006.01)  
**G21C 7/36** (2006.01)  
**H02P 11/06** (2006.01)

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Gesuchsnummer: 01337/03

(22) Anmeldedatum: 31.07.2003

(30) Priorität: 13.09.2002 US 10/243,309

(24) Patent erteilt: 14.12.2007

(45) Patentschrift veröffentlicht: 14.12.2007

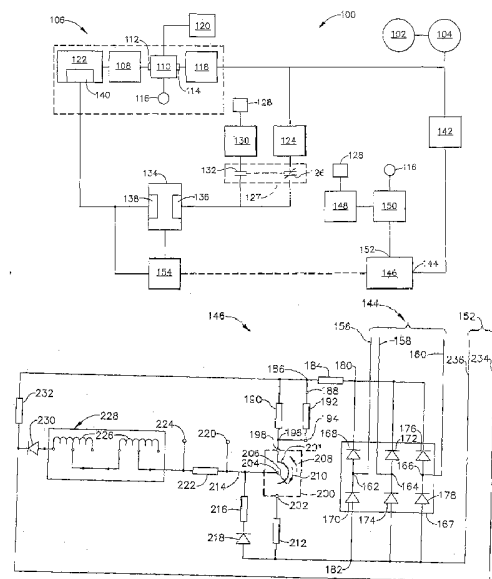
(73) Inhaber:  
The General Electric Company, 1 River Road  
Schenectady, NY 12345 (US)

(72) Erfinder:  
James Steven Mokri, Los Gatos, CA 95033 (US)  
Nelso J. Petroni, San Jose, CA 95119 (US)  
William Michael Steiner, San Jose, CA 95119 (US)  
Stephen L. Joslin, San Jose, CA 95124 (US)  
Craig Ernest Leighty, Pleasanton, CA 94577 (US)

(74) Vertreter:  
Ritscher & Partner AG Patentanwälte,  
Forchstrasse 452 Postfach  
8029 Zürich (CH)

(54) **Spannungsregulierung.**

(57) Verfahren und System zur Regulierung einer Ausgangsspannung eines Siedewasserreaktor-Kernkraftwerkanlagen-Umlaufsystem-Motorgenerators (106; Fig. 2) sind vorgesehen. Das Verfahren umfasst das Abfühlen einer Alternatorausgangsspannung und das Übertragen eines Ausgangsspannungssignals vom Alternator zum Schaltkreis eines Spannungsreglers (100; Fig. 2), das Abtasten einer Alternatordrehzahl (116; Fig. 2) und das Übertragen eines Drehzahlsignals vom Alternator zum Schaltkreis des Spannungsreglers (100; Fig. 2), das Vergleichen des Ausgangsspannungssignals vom Alternator mit dem Alternatordrehzahlsignal mittels eines spannungsgesteuerten Frequenztrennnetzwerks (200; Fig. 3), das elektrisch mit dem Ausgangsspannungsabfühlschaltkreis des Alternators und dem Alternatordrehzahlabtastgerät (116; Fig. 2) gekoppelt ist, dem Einstellen eines kapazitiven Blindwiderstands des Spannungsreglers mit einer Leitungsausgleichsschaltung (192; Fig. 3), die elektrisch in Serie mit dem spannungsgesteuerten Frequenztrennnetzwerk (200; Fig. 3) verbunden ist, und dem Einstellen eines Stroms in einer Regelwicklung (226; Fig. 3) einer Sättigungsdrossel (228; Fig. 3).



## Beschreibung

### Hintergrund der Erfindung

[0001] Die Erfindung bezieht sich allgemein auf Kernreaktoren und speziell auf Systeme und Verfahren zur Stabilisierung von Spannungsreglern in Umlaufsystemen von Kernreaktoren.

[0002] Ein Reaktordruckgefäß (RDG) eines Siedewasserreaktors (SWR) hat eine allgemein zylindrische Form und ist an beiden Enden abgeschlossen, z.B. von einer Bodenwölbung und einer abnehmbaren Haube. Eine Deckenführung ist typischerweise beabstandet über einer Grundplatte im Innern des RDG angebracht. Den Kernbereich des Reaktors umgibt ein Schutzmantel, der von einer Mantelstützkonstruktion getragen wird. Der Schutzmantel hat eine allgemein zylindrische Form und umgibt sowohl die Grundplatte als auch die Deckenführung. Zwischen dem zylindrischen Reaktordruckgefäß und dem zylindrisch geformten Schutzmantel liegt ein ringförmiger Abstand.

[0003] Der Kernbereich des Reaktors enthält eine Reihe von Brennstoffbündeln mit quadratischem Querschnitt. Die Brennstoffbündel werden unten von einer Brennelementstütze getragen. Jede Brennelementstütze trägt eine Gruppe von vier Brennstoffbündeln. Die im Kernbereich erzeugte Wärme kann durch Einführen von Steuerstäben in den Kernbereich gemindert werden, und die erzeugte Wärme kann durch Zurückziehen der Steuerstäbe aus dem Kernbereich erhöht werden. In einigen bekannten SWR haben die Steuerstäbe die Querschnittsform eines Kreuzes mit Schildern, die jeweils zwischen die Brennstoffbündel einer Vierergruppe eingeschoben werden können.

[0004] Historisch betrachtet wurden Reaktoren für einen Betrieb mit thermischer Leistungsabgabe konstruiert, die höher als die genehmigte thermische Nennleistungshöhe war. Um den behördlich genehmigten Richtlinien nachzukommen, werden die Reaktoren mit einer maximalen thermischen Leistungsabgabe betrieben, die niedriger ist als die mit dem Reaktor erzielbare maximale thermische Leistungsabgabe. Diese ursprünglichen Konstruktionsgrundlagen umfassen grosse Sicherheitsspielräume, die in die Konstruktion eingebaut sind. Nach Jahren des Betriebs wurde gefunden, dass Kernreaktoren sicher mit höheren als den ursprünglich genehmigten Leistungsabgaben betrieben werden können. Ebenfalls wurde festgestellt, dass Änderungen der Betriebsparameter und/oder Modifikationen der Einrichtung es zulassen, einen Reaktor mit einer signifikant höheren maximalen thermischen Leistungsabgabe (bis zu 120% der ursprünglichen genehmigten Leistung und darüber) zu betreiben.

[0005] Reaktoranalagesysteme, wie das Reaktorumlaufsystem, werden nach ihrer Fähigkeit bewertet, den Betrieb der Reaktoranlage bei gesteigerter Leistungsabgabe sicher zu stellen. Wo es zweckmässig ist, werden solche Systeme zur Steigerung ihres Leistungsverhaltens verändert.

### Kurze Beschreibung der Erfindung

[0006] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regulierung einer Ausgangsspannung eines Siedewasserreaktor-Kernkraftwerkanlagen-Umlaufsystem-Motorgenerators. Das Verfahren umfasst: Abfühlen einer Alternatorausgangsspannung und Übertragen eines Alternatorausgangsspannungssignals zu einer Spannungsregelschaltung, Abtasten einer Alternatordrehzahl und Übertragen eines Alternatordrehzahlsignals zur Spannungsregelschaltung, Vergleichen des Ausgangsspannungssignals vom Alternator mit dem Signal der Alternatordrehzahl mit einem spannungsgesteuerten Frequenztrennnetzwerk, das elektrisch mit dem Ausgangsspannungsabfühlschaltkreis des Alternators und des Alternatordrehzahlabtastgeräts gekoppelt ist, Einstellen eines kapazitiven Blindwiderstands des Spannungsreglers mit einer Leitungsausgleichsschaltung, die elektrisch in Serie mit dem spannungsgesteuerten Frequenztrennnetzwerk verbunden ist, und Einstellen eines Stroms in einer Regelwicklung der Sättigungsdrossel.

[0007] Die Erfindung betrifft auch einen Spannungsregler für ein Siedewasserreaktorkernkraftwerkanlagen-Umlaufsystem. Der Spannungsregler besitzt einen Alternator mit veränderlicher Frequenz, einen mit der Steuerschaltung gekoppelten Alternatorausgangsspannungsabfühlschaltkreis, ein Alternatordrehzahlabtastgerät, das elektrisch mit einer Steuerschaltung verbunden ist, ein spannungsgesteuertes Frequenztrennnetzwerk, das mit dem Alternatorausgangsschaltkreis und dem Alternatordrehzahlabtastgerät elektrisch gekoppelt ist, eine Leitungsausgleichsschaltung, die elektrisch in Serie mit dem Ausgang des spannungsgesteuerten Frequenztrennnetzwerks verbunden ist, und eine sekundäre Wicklung, die elektrisch mit einem Alternatorerregere verbunden ist.

[0008] In den Zeichnungen zeigt:

- Fig. 1 eine Schnittansicht eines Siedewasserkernreaktor-Druckgefäßes;
- Fig. 2 ein Blockdiagramm eines Spannungsreglers einer Reaktor-Umlaufsystemmotorgeneratorgruppe;
- Fig. 3 ein schematisches Diagramm eines Steuerschaltkreises eines Motorgenerator-(MG)-Spannungsreglers;
- Fig. 4 ein schematisches Diagramm einer Leitungsausgleichsschaltung und
- Fig. 5 ein Diagramm mit drei Spannungsreglerantwortspuren.

### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0009]** Fig. 1 ist eine Teilschnittsicht eines Siedewasser-Kernreaktor-Druckgefäßes (RDG) 10. Im Allgemeinen ist RDG 10 zylindrisch und an einem Ende mit einer Bodenwölbung 12 und an seinem anderen Ende mit einer abnehmbaren Haube 14 geschlossen. Eine Seitenwand 16 erstreckt sich von der Bodenwölbung 12 bis zur Haube 14. Die Seitenwand 16 enthält einen Haubenflansch 18. Die Haube 14 ist am Haubenflansch 18 befestigt. Ein zylindrisch geformter Schutzmantel 20 umgibt den Reaktorkern 22 und ebenso den Bereich einer Umgehungsströmung, einen so genannten Reflektor 21. Der Schutzmantel 20 wird an einem Ende von einer Mantelstützkonstruktion 24 getragen und hat am anderen Ende einen abnehmbaren Mantelkopf 26. Zwischen dem Schutzmantel 20 und der Seitenwand 16 liegt ein ringförmiger Fallrohrbereich 28. Zwischen der Mantelstützkonstruktion 24 und der RDG-Seitenwand 16 liegt ein ringförmiges Pumpdeck 30. Das Pumpdeck 30 hat mehrere kreisförmige Öffnungen 32, wobei in jeder Öffnung eine Strahlpumpe 34 liegt. Die Strahlpumpen 34 sind kreisförmig um den Schutzmantel 20 verteilt. Ein Einlasssteigrohr 36 ist durch ein Übergangsaggregat 38 mit zwei Strahlpumpen 34 verbunden. Jede Strahlpumpe 34 enthält eine Einlassmischvorrichtung 40 und einen Diffuser 42. Das Einlasssteigrohr 36 und zwei verbundene Strahlpumpen 34 bilden ein Strahlpumpenaggregat 44.

**[0010]** In Innern des Kerns 22 wird Wärme erzeugt, welche die Brennstoffbündel 46 aus spaltbarem Material erfasst. Wasser, das durch den Kernbereich 22 aufgestiegen ist, wird zumindest teilweise in Dampf umgewandelt. Mehrere Dampfscheider 48 trennen den Dampf vom Wasser, das dem Kreislauf wieder zugeführt wird. Das Restwasser wird aus dem Dampf durch Dampftrockner 50 entfernt. Der Dampf verlässt das RDG 10 durch einen Dampfauslass 52 bei der Gefäßhaube 14.

**[0011]** Die Menge der im Kernbereich 22 erzeugten Wärme wird reguliert durch Einsetzen und Zurückziehen von Steuerstäben 54 aus Neutronen absorbierendem Material, wie z. B. Hafnium. In dem Masse, in dem der Steuerstab 54 in das Brennstoffbündel 46 eingeschoben wird, absorbiert er Neutronen, die sonst die Kettenreaktion verstärken würden, welche die Wärme im Kernbereich 22 erzeugt.

**[0012]** Jeder Steuerstab 54 ist über ein Steuerstab-Führungsrohr 56 mit einem Steuerstabantriebsmechanismus (SSAM) 58, zu einer Steuerstabbvorrichtung 60 verbunden. Der SSAM 58 bewegt die Steuerstäbe 54 relativ zur Kernbereichsträgerplatte 64 und zu den daneben liegenden Brennstoffbündeln 46. Der SSAM 58 erstreckt sich durch die Bodenwölbung 12 und ist von einem Steuerstabantriebsmechanismus-Gehäuse 66 umschlossen. Ein Steuerstab-Führungsrohr 56 erstreckt sich vertikal vom Steuerstabantriebsgehäuse 66 bis zur Kernbereichsträgerplatte 64. Die Steuerstab-Führungsrohre 56 beschränken nicht-vertikale Bewegungen der Steuerstäbe 54 und erhalten die vertikale Bewegung der Steuerstäbe 54 während des Einsetzens und des Zurückziehens. Die Steuerstab-Führungsrohre 56 können viele Formen haben und zum Beispiel kreuzförmig, zylindrisch, rechteckig, Y-förmig oder jede geeignete polygonale Form haben.

**[0013]** Fig. 2 ist ein Blockdiagramm eines Spannungsreglers 100 einer Reaktor-Umlaufsystemmotorgeneratorgruppe gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Eine Reaktorumlaufpumpe 102 speist das Reaktorwasser unter Druck in einem Umlaufsystem (nicht gezeigt). Die Pumpe 102 ist mechanisch mit dem Reaktorumlaufpumpenmotor 104 verbunden. Der Motor 104 wird von einer Reaktorumlaufsystemmotorgeneratorgruppe (MG) 106 mit Wechselstrom (AC) variabler Frequenz versorgt. Während des normalen Betriebs des Umlaufsystems variiert die Frequenz des Wechselstroms in einem Bereich von 15 Zyklen pro Sekunde (Hz) und 60 Hz. Die Frequenz kann während eines normalen Startvorgangs der MG 106 um 11 Hz tiefer liegen. Die MG 106 umfasst einen Induktionsantriebsmotor 108, der mit einer hydraulischen veränderlichen Drehzahlregelung 110 mechanisch verbunden ist. Die Drehzahlregelung 110 umfasst eine Leistungseingabekopplung 112, eine Leistungsausgabekopplung 114 und ein Drehzahlabtastgerät 116, das mechanisch mit einem benachbarten rotierenden Teil der Drehzahlregelung 110 gekoppelt ist, sodass eine elektrische Ausgabe des Drehzahlabtastgeräts 116 proportional zur Drehgeschwindigkeit der Leistungsausgabekopplung 114 entsteht. Im Ausführungsbeispiel ist das Drehzahlabtastgerät 116 ein Drehzahlwandler. Bei einer anderen Ausführungsform ist das Gerät 116 ein Drehzahlgeber. Die Ausgabekopplung 114 ist mechanisch mit einem regelbaren Alternator 118 verbunden, der den Reaktorumlaufpumpenmotor 104 mit regelbarer Wechselstromleistung (AC) versorgt. Die Drehgeschwindigkeit des Alternators 118 legt die Frequenz der Wechselstromversorgung (AC) des Motors 104 fest. Die Drehzahl des Alternators 118 wird vom Drehzahlregler 110 geregelt. Der Drehzahlregler 110 ist ein hydraulisches Gerät, das seine Ausgangsdrehzahl als Antwort auf Steuereingaben einer Umlaufsystemdurchflusssteuerungsschaltung 120 durch Veränderung der hydraulischen Kopplung interner rotierender Teile variiert. Ein bürstenloser Wechselstromerregger 122 ist elektrisch mit der MG 106 verbunden und versorgt die MG 106 mit Erregung und steuert dadurch die Ausgangsspannung des Alternators 118.

**[0014]** Der Alternator 118 ist elektrisch mit der Primärwicklung eines Transformators 124 verbunden. Die Sekundärwicklung des Transformators 124 ist elektrisch mit einer ersten Seite eines normalerweise geschlossenen Kontakts 126 eines Relais 127 verbunden. Eine externe Stromquelle 128 von 120 V, 60 Hz, ist elektrisch mit der Primärwicklung eines Transformators 130 verbunden. Die Sekundärwicklung des Transformators 130 ist elektrisch mit der ersten Seite eines normalerweise offenen Kontakts 132 des Relais 127 verbunden. Eine zweite Seite von Kontakten 126 und 132 ist elektrisch mit einer Gleichrichterschaltung 134 verbunden. Die Gleichrichterschaltung 134 umfasst eine Doppelweggleichrichterschaltung 136 und einen Zündkreis 138. Der Ausgang des Zündkreises 138 ist elektrisch mit einem Feld 140 des Erregers 122 verbunden.

**[0015]** Der Ausgang des Alternators 118 ist ebenfalls elektrisch mit der Primärwicklung eines Dreiphasentransformators 142 verbunden. Die Sekundärwicklung des Transformators 142 ist elektrisch mit einem ersten Eingang 144 einer Steuer-

schaltung 146 verbunden. Die Stromquelle des Benutzers ist auch mit einer Stromversorgung 148 elektrisch verbunden. Die Stromversorgung 148 ist elektrisch mit einem Drehzahlabstastgerät 116 gekoppelt und erzeugt eine Vorspannung für das Drehzahlabstastgerät 116, das einen Eingang für die Steuerschaltung 146 hat. Die Steuerschaltung 146 ist durch eine Sättigungsdrössel (nicht gezeigt) magnetisch an eine negative und positive Rückkopplungsschaltung 154 gekoppelt. Der Eingang der negativen und positiven Rückkopplungsschaltung 154 ist elektrisch mit dem Feld 140 des Erregers 122 verbunden.

**[0016]** Im Betrieb steuert der Spannungsregler 100 die Ausgangsspannung der MG 106 durch Steuerung der Erregung des Alternators 118. Die Eingangsleistung zur Einspeisung in den Gleichrichter 136 wird von einer der Benutzerstromquellen 128 durch den Transformator 130 und dem Alternator 118 durch den Transformator 124 ausgegeben. Die Wahl der Stromversorgung wird durch den Zustand des Relais 127 bestimmt. Wenn sich das Relais 127 in einem aktivierten Zustand befindet, weil eine innere Spule des Relais 127 Strom aufnimmt, ist der Kontakt 132 geschlossen und der Kontakt 126 offen. In diesem Zustand bezieht der Gleichrichter 136 Strom von der Stromversorgung 128. Dies ist der Normalfall während des Aufstartens des Umlaufsystems. Nachdem das Umlaufsystem gestartet worden ist und MG 106 läuft, wird Eingangsleistung des Gleichrichters 136 zum Alternator 118 geschaltet und durch Deaktivierung von Relais 127 ausgegeben, das die Positionen der Kontakte 132 und 126 vertauscht, sodass der Kontakt 126 geschlossen und der Kontakt 132 offen ist.

**[0017]** Für die Leistungsgleichrichterschaltung 134 wird Strom von einer der Stromquellen 128 und vom Alternator 118 von bis zu 240 Vac verwendet, wobei die Doppelweggleichrichterschaltung 136 durch ein induktives Filter mit Strom versorgt wird. Der Zündkreis 138 steuert die gleichgerichtete Schwingungsform aus dem Gleichrichter 136, um das Erregungsfeld 140 mit Spannung und Strom zu versorgen.

**[0018]** Mit Strom aus der negativen und positiven Rückkopplungsschaltung 154 wird eine Wicklung der Sättigungsdrössel gespeist, um den Leistungsgewinn des Systems (positive Rückkopplung) und das Übergangsverhalten (negative Rückkopplung) zu ändern. Die Schaltung 154 hat eine Kapazität von 560 Mikrofarad und einen Schalter, mit dem die Kapazität um 560 Mikrofarad erhöht werden kann. Testpunkte zum Anschliessen eines externen Potentiometers sind vorhanden, um die zusätzliche Kapazität zur Minimierung eines Übergangstroms anzuwählen. Durch eine Ausgleichsschaltung in der Steuerschaltung 146 wird der Spannungsregler 100 zusätzlich stabilisiert.

**[0019]** Die Steuerschaltung 146 vergleicht die Ausgangsspannung des Drehzahlabstastgeräts am Eingang 152 mit der Ausgangsspannung vom Alternator 118 am Eingang 144 für eine Spannung/Frequenz-Abstimmung der Potentiometereinstellung und liefert Strom zur Regelwicklung einer Sättigungsdrössel.

**[0020]** Fig. 3 ist ein schematisches Diagramm einer Steuerschaltung 146 des Spannungsreglers 100. Der Eingang 144 enthält die drei Phasenleitungen 156, 158 und 160. Die Phasenleitungen 156, 158 und 160 sind elektrisch mit den Knoten 162, 164 bzw. 166 des Dreiphasendoppelweggleichrichters 167 verbunden. Der Knoten 162 ist elektrisch mit der Anode eines Gleichrichters 168 und der Kathode eines Gleichrichters 170 verbunden. Der Knoten 164 ist elektrisch mit der Anode eines Gleichrichters 172 und der Kathode eines Gleichrichters 174 verbunden. Der Knoten 166 ist elektrisch mit der Anode eines Gleichrichters 176 und der Kathode eines Gleichrichters 178 verbunden. Die Kathode jedes der Gleichrichter 168, 172 und 176 ist elektrisch mit dem Knoten 180 verbunden. Die Kathode jedes der Gleichrichter 168, 172 und 176 ist elektrisch mit dem Knoten 180 verbunden. Die Anode jedes der Gleichrichter 170, 174 und 178 ist elektrisch mit dem Knoten 182 verbunden. Der Knoten 180 ist elektrisch mit einer ersten Zuleitung eines Widerstands 184 verbunden. Die zweite Zuleitung von Widerstand 184 ist elektrisch mit dem Knoten 186 verbunden. Bei einer Ausführungsform ist der Widerstand 184 ein 330 Ohm Widerstand. Der Knoten 186 hat gegenüber dem Knoten 182 eine positive Gleichstromspannung. Im Ausführungsbeispiel, bei dem die Wechselstromeingangsspannung der Gleichrichters 167 beispielsweise 230 Vac beträgt, beträgt die Potentialdifferenz von Knoten 186 in Bezug auf den Knoten 182 ungefähr 260 Vdc (Gleichspannung).

**[0021]** Der Knoten 186 ist elektrisch mit dem Eingang 188 einer Leitungsausgleichsschaltung eines Widerstands 190 verbunden. Im Ausführungsbeispiel hat der Widerstand 190 680 Ohm. Der Eingang 188 ist elektrisch mit einem ersten Ende der Leitungsausgleichsschaltung 192 verbunden. Das zweite Ende der Schaltung 192 ist elektrisch mit dem Ausgang 194 verbunden. Der Ausgang 194 und eine zweite Zuleitung von Widerstand 190 sind elektrisch mit dem Knoten 196 verbunden. Der Knoten 196 ist elektrisch mit einer ersten Zuleitung 198 eines Potentiometers 200 verbunden. Die Zuleitung 198 ist durch einen Widerstand 201 mit der zweiten Zuleitung 202 von Potentiometer 200 verbunden. Im Ausführungsbeispiel beträgt der Gesamtwiderstand zwischen der Zuleitung 198 und der Zuleitung 202 800 Ohm, wenn das Potentiometer 200 in einem Lagerzustand ist, d.h. keine Zuleitungen mit einer Schaltung verbunden sind. In einem anderen Ausführungsbeispiel beträgt die Nennleistung von Potentiometer 200 50 Watt. Die dritte Zuleitung 204 von Potentiometer 200 ist über einen Wischkontakt 206 veränderlich mit dem Widerstand 201 des Potentiometers 200 elektrisch verbunden, sodass beim Drehen des Wischkontaktes 206 in einer ersten Richtung 208 der Widerstand zwischen Zuleitung 204 und der Zuleitung 198 praktisch Null Ohm beträgt und der Widerstand zwischen der Zuleitung 204 und der Zuleitung 202 im Wesentlichen gleich dem Widerstand zwischen der Zuleitung 198 und der Zuleitung 202 ist. Wenn der Wischkontakt 206 in einer zweiten Richtung 210 gedreht wird, beträgt der Widerstand zwischen der Zuleitung 204 und der Zuleitung 202 praktisch Null Ohm, während der Widerstand zwischen der Zuleitung 204 und der Zuleitung 198 im Wesentlichen gleich dem Widerstand zwischen der Zuleitung 198 und der Zuleitung 202 ist. In einer anderen Ausführungsform ist das Potentiometer 200 ein rotierender Folgeumschalter mit einer Mehrzahl von festen, in Serie elektrisch verbundenen Widerständen, die den Widerstand 201 zwischen der Zuleitung 198 und der Zuleitung 202 ergeben, und Schaltkontakten, welche die elektrische

Kopplung zwischen der Zuleitung 204 und dem Widerstand 201 bilden. Die Zuleitung 202 ist elektrisch mit einer ersten Zuleitung von Widerstand 212 verbunden, während eine zweite Zuleitung von Widerstand 212 elektrisch mit dem Knoten 182 verbunden ist. In einer Ausführungsform hat der Widerstand 212 einen Wert von 1000 Ohm.

**[0022]** Die Zuleitung 204 ist elektrisch mit dem Knoten 214 verbunden. Der Knoten 214 ist ferner elektrisch an eine erste Zuleitung des Widerstands 216 gekoppelt. Eine zweite Zuleitung von Widerstand 216 ist elektrisch mit der Kathode von Diode 218 verbunden. Die Anode der Diode 218 ist elektrisch mit dem Knoten 182 verbunden.

**[0023]** Der Knoten 214 ist ferner elektrisch an den Testpunkt 220 und an die erste Zuleitung des Widerstands 222 gekoppelt. Die zweite Zuleitung von Widerstand 222 ist elektrisch an den Testpunkt 224 und an die erste Zuleitung der Regelwicklung 226 einer Sättigungs-drossel 228 gekoppelt. Die zweite Zuleitung von Regelwicklung 226 ist elektrisch an die Anode der Diode 230 gekoppelt. Die Kathode von Diode 230 ist elektrisch an die erste Zuleitung des Widerstands 232 gekoppelt. Die zweite Zuleitung von Widerstand 232 ist elektrisch an den Knoten 186 gekoppelt. Die erste Zuleitung von Widerstand 232 und die Kathode von Diode 230 sind darüber hinaus elektrisch an die erste Zuleitung 234 von Eingang 152 gekoppelt. Die zweite Zuleitung 236 von Eingang 152 ist elektrisch an den Knoten 182 gekoppelt. Die Sättigungs-drossel 228 ist magnetisch an die Primärwicklung (nicht dargestellt) in der Leistungsgleichrichterschaltung 134 und an eine Sekundärwicklung (nicht dargestellt) in der negativen und positiven Rückkopplungsschaltung 154 gekoppelt.

**[0024]** Bei Betrieb vergleicht die Steuerschaltung 146 die Spannung am Eingang 152 des Drehzahlablastgeräts 116 und die Ausfallspannung des Alternators 118 am Eingang 144 mit einer Einstellung des Potentiometers 200 und entwickelt einen Ausgabestrom zur Regelwicklung 226. Der in der Sättigungs-drossel aufgrund der kombinierten Wirkungen des Stromflusses in der Regelwicklung 226, der Primärwicklung (positive Rückkopplung) und der Sekundärwicklung (negative Rückkopplung) erzeugte magnetische Fluss steuert die Zündeneigenschaften des Zündkreises 138. Eine Stromzunahme in der Regelwicklung 226 reduziert den Sättigungsgrad der Sättigungs-drossel 228 und reduziert somit die Ausgabe vom Spannungsregler 100 an den Erreger 122. Die Stabilität des Spannungsreglersystems 100 wird durch zwei Rückkopplungseinstellungen geregelt. Die Kapazität der Rückkopplungsschaltung 154 wird durch Einschalten von bis zu einem Maximum von ungefähr 1120 Mikrofarad justiert. Zusätzliche Stabilität wird durch Verwendung der Leitungsausgleichsschaltung 192 sichergestellt.

**[0025]** Fig. 4 ist ein schematisches Diagramm der Leitungsausgleichsschaltung 192. Der Eingang 188 ist elektrisch mit dem Drehpunkt und einer ersten Zuleitung von Schalter 240 verbunden. Die zweite Zuleitung von Schalter 240 ist elektrisch mit einem Testpunkt 242, einer ersten Zuleitung von Widerstand 244 und einer ersten Zuleitung des Kontakts 246 von Verzögerungsrelais 248 verbunden. Die Spule von Relais 248 ist elektrisch mit einem Umlaufsteuersystem (nicht dargestellt) verbunden. Die zweite Zuleitung von Kontakt 246 ist elektrisch mit dem Knoten 250 verbunden. Die zweite Zuleitung von Widerstand 244 ist elektrisch mit einem Abstimmpunkt 252 und dem Knoten 250 verbunden. Der Knoten 250 ist ferner elektrisch mit einer ersten Zuleitung von Schalter 254, einer ersten Zuleitung von Widerstand 256 und einer ersten Zuleitung von Kondensator 258 verbunden. Die zweite Zuleitung von Widerstand 256 ist elektrisch mit einer zweiten Zuleitung von Schalter 254 und einer ersten Zuleitung von Kondensator 260 verbunden. Die zweite Zuleitung von Kondensator 258 und die zweite Zuleitung von Kondensator 260 sind elektrisch mit dem Ausgang 194 verbunden.

**[0026]** Bei Betrieb verleiht die Leitungsausgleichsschaltung 192 dem Spannungsregler 100 einen kapazitiven Blindwiderstand, um die Stabilitätssteuerung des Spannungsreglers 100 zu verbessern. Während des Betriebs des Umlaufsystems haben die Spannungsregler 100 und MG 106 einen stabilen Arbeitsbereich, der die maximale Drehgeschwindigkeit des MG und somit auch den maximal erreichbaren Kernfluss begrenzt. Ein Betrieb jenseits dieses Bereichs führt zu einer Oszillation von Ausgangsspannung und -strom der MG 106. Zu grosse Oszillationen verursachen ein Auslösen von Überstromrelais, was zum Herunterfahren des Umlaufsystems führt. Die Leitungsausgleichsschaltung 192 ist parallel mit dem Widerstand 190 und der Schaltung 192 verkoppelt. Der Widerstand 190 und die Schaltung 192 sind ferner in Serie mit dem Potentiometer 200 verbunden. Während des Betriebs des Umlaufsystems kann die Leitungsausgleichsschaltung 192 offline sein, was bedeutet, dass der Schalter 240 offen ist und die Schaltung 192 keine Wirkung auf den Betrieb des Spannungsreglers 100 hat. Um die Schaltung 192 online zu bringen, wird der Schalter 240 in einer solchen Weise geschlossen, dass in den Betrieb des Spannungsreglers 100 keine Übergangsströme induziert werden. Ein externer veränderlicher Widerstand (nicht dargestellt) ist mit der Schaltung 192, parallel zum Schalter 240, verbunden. Der externe veränderliche Widerstand ist so konfiguriert, dass zwischen der ersten Zuleitung und der zweiten Zuleitung der maximale Widerstand liegt. Im Ausführungsbeispiel hat der externe veränderliche Widerstand einen maximalen Widerstand von fünfzig tausend Ohm. Die erste Zuleitung des externen Widerstands ist elektrisch mit einem Testpunkt 238 verbunden. Die zweite Zuleitung des externen Widerstands ist elektrisch mit Testpunkt 242 gekoppelt und der Schalter 240 ist geschlossen. Der Widerstandswert des externen Widerstands ist hinreichend, um den Strom durch Schaltung 192 auf einen Wert zu begrenzen, bei dem die Schaltung 192 tatsächlich noch nicht online ist. Der elektrische Widerstand des externen Widerstands wird bei Überwachung einer Antwort des Umlaufsystemflusses und der Spannung und Drehgeschwindigkeit der MG 106 langsam verringert. Wenn der gesamte elektrische Widerstand vom externen Widerstand aufgenommen wird, schliesst der Schalter 240 und aktiviert die Leitungsausgleichsschaltung 192. Der externe Widerstand wird von den Testpunkten 238 und 242 abgenommen.

**[0027]** In der Startphase des Umlaufsystems ist die Schaltung 192 während einer Zeitspanne offline, die durch Einstellung des Verzögerungsrelais 248 kontrolliert wird. Der Kontakt 246 wird offen gehalten, um den Strom in der Schaltung 192 durch den Widerstand 244 zu führen. Im Ausführungsbeispiel hat der Widerstand 244 einen Wert von zehntausend Ohm.

Der Widerstand 244 begrenzt den Strom in der Schaltung 192 ausreichend, um seine Wirkung auf den Betrieb von Spannungsregler 100 während des Aufstartens des Umlaufsystems zu begrenzen. Nachdem die eingestellte Zeitverzögerung des Verzögerungsrelais 248 abgelaufen ist, wird der Kontakt 246 geschlossen, der Widerstand 244 überbrückt und der Strom am Widerstand 244 vorbei geleitet. Die Stabilität von Spannungsregler 100 wird weiterhin durch eine Stellung des Schalters 254 gewählt. Wenn der Schalter 254 offen ist, wird Strom durch den Widerstand 256 geführt, wodurch die Wirkung vom Kondensator 260 auf die Leitungsausgleichsschaltung begrenzt wird. Wenn der Schalter 254 geschlossen ist, wird der Widerstand 256 umgangen und der gesamte Stromfluss geht durch den Kondensator 260 was die Leitungsausgleichswirkung im Spannungsregler 100 verstärkt. Im Ausführungsbeispiel ist der Widerstand 256 ein 10k $\Omega$  Widerstand, der Kondensator 258 ist ein 560 Mikrofara-Kondensator und der Kondensator 260 ist ein 640 Mikrofara-Kondensator.

**[0028]** Fig. 5 ist ein Diagramm von drei Aufzeichnungen des Ansprechens des Spannungsreglers 100 bei verschiedenen Werten der negativen Rückkopplung und der Leitungskompensation. Die Horizontalachse jeder Aufzeichnung entspricht der Zeit von einem Zeitpunkt 286, der den Anfang einer schrittweisen Änderung von 5% in der Steuerschaltung 146 bedeutet, bis zu einem Zeitpunkt 288, der die Zeit nach dem Zeitpunkt 286 darstellt, an dem der Ausgang im Wesentlichen stabil ist. Beim Ausführungsbeispiel liegt der Zeitpunkt 286 etwa bei 0 Sekunden und der Zeitpunkt 288 annähernd bei 12 Sekunden. Auf der vertikalen Achse 290 der Aufzeichnungen ist die Grösse der Ausgangsspannung von Alternator 118 dargestellt, gemessen an der Sekundärwicklung von Transformator 142. Die Aufzeichnung 262 zeigt die Grösse 292 der Systemantwort von 560 Mikrofara negativer Rückkopplung im Schaltkreis des Spannungsreglers 100. Die Aufzeichnung 272 zeigt die Grösse 294 der Systemantwort von 1120 Mikrofara an negativer Rückkopplung im Schaltkreis des Spannungsreglers 100. Die Aufzeichnung 282 zeigt die Grösse 296 der Systemantwort mit einer Leitungsausgleichskapazität von 1120 Mikrofara mit zusätzlichen 1120 Mikrofara an negativer Rückkopplung.

**[0029]** Die oben beschriebene Leitungsausgleichsschaltung ist kosteneffektiv und sehr zuverlässig. Die Leitungsausgleichsschaltung umfasst einen kapazitiven Blindwiderstand, der die Oszillationen des Umlaufsystems während des Betriebs stärker vermindert, als der vorverstärkte Reaktorkernfluss. Die Leitungsausgleichsschaltung besitzt mehrere Kondensatoren, die während des Betriebs des Umlaufsystems ein- und ausgeschaltet werden können, was Betrieb und Wartung in Kosten sparender und zuverlässiger Weise erleichtert.

## Stückliste

### [0030]

10	Kernreaktordruckgefäss (RDG)
12	Bodenwölbung
14	Haube
16	Seitenwand
18	Haubenflansch
20	Kernbereichsschutzmantel
21	Reflektor
22	Reaktorkernbereich
24	Mantelstützkonstruktion
26	abnehmbarer Schutzmantelkopf
28	Fallrohrbereich
30	Pumpdeck
32	Öffnungen
34	Strahlpumpe
36	Einlasssteigrohr
38	Übergangsaggregat
40	Einlassmischvorrichtung
42	Diffuser
44	Strahlpumpenaggregat
46	Brennstoffbündel
48	Dampftrennvorrichtung
50	Dampftrockner
52	Dampfauslass
54	Steuerstäbe
56	Steuerstab-Führungsrohre
58	Steuerstabantriebsmechanismus (SSAM)
60	Steuerstabvorrichtung
64	Kernbereichsträgerplatte
66	Steuerstabantriebsmechanismusgehäuse
100	(Reaktorumlaufsystem-Motorgeneratorgruppen-)Spannungsregler
102	Reaktorumlaufpumpe
104	Reaktorumlaufpumpenmotor
106	Reaktorumlaufsystem-Motorgeneratorgruppe (MG)

108	Induktionsantriebsmotor
110	hydraulische veränderliche Drehzahlregelung
112	Leistungseingabekopplung
114	Leistungsausgabekopplung
116	Drehzahlabtastgerät
118	regelbarer Alternator
120	Umlaufsystemdurchflußsteuerungsschaltung
122	(Alternator-)Erreger
124	Transformator
126	(ein normalerweise geschlossener) Kontakt
127	Relais
128	Stromquelle
130	Transformator
132	normalerweise offener Kontakt
134	Leistungsgleichrichterschaltung
136	Doppelweggleichrichterschaltung, Gleichrichter
138	Zündkreis
140	Feld
142	Dreiphasentransformator, Transformator
144	(erster) Eingang
146	Steuerschaltung
148	Stromversorgung
154	positive und negative Rückkopplungsschaltung
156	Phasenleitung
158, 160	Phasenleitung
162	Knoten
164, 166	Knoten
167	Dreiphasendoppelweggleichrichter
168	Gleichrichter
170	Gleichrichter
172	Gleichrichter
174	Gleichrichter
176	Gleichrichter
178	Gleichrichter
180	Knoten
182	Knoten
184	Widerstand
186	Knoten
188	Eingang einer Leitungsausgleichsschaltung
190	Widerstand
192	Leitungsausgleichsschaltung
194	Ausgang
196	Knoten
198	erste Zuleitung
200	spannungsgesteuertes Frequenztrennnetzwerk mit Potentiometer
201	Widerstand
202	zweite Zuleitung
204	dritte Zuleitung
206	Wischkontakt
208	erste Richtung
210	zweite Richtung
212	Widerstand
214	Knoten
216	Widerstand
218	Diode
220	Testpunkt
222	Widerstand
224	Testpunkt
226	Regelwicklung
228	Sättigungsdrossel
230	Diode
232	Widerstand

234	erste Zuleitung
236	zweite Zuleitung
238	erster Testpunkt
240	Schalter
242	zweiter Testpunkt
244	Widerstand
246	Kontakt
248	Verzögerungsrelais
250	Knoten
254	Schalter
256	Widerstand
258	Kondensator
260	Kondensator
262	Aufzeichnung
272, 282	Aufzeichnung
286	Zeitpunkt
288	Zeitpunkt
290	vertikale Achse
292	Grösse
294, 296	Grösse

### Patentansprüche

- Verfahren zum Regulieren der Ausgangsspannung eines Siedewasserreaktorkernkraftwerkanlagen-Umlaufsystem-Motorgenerators(106), durch Abfühlen einer Ausgangsspannung eines Alternators mittels einer Ausgangsspannungsabfühlschaltung und Übertragen eines Ausgangsspannungssignals eines Alternators zum Schaltkreis eines Spannungsreglers (100);
  - Abtasten einer Alternatordrehzahl mit einem Alternatordrehzahlabtastgerät (116) und Übertragen eines Alternatordrehzahlsignals zum Schaltkreis des Spannungsreglers (100);
  - Vergleichen des Ausgangsspannungssignals vom Alternator mit dem Alternatordrehzahlsignal mittels eines spannungsgesteuerten Frequenztrennnetzwerks (200), das elektrisch mit der Ausgangsspannungsabfühlschaltung des Alternators und dem Alternatordrehzahlabtastgerät (116) verbunden ist;
  - Einstellen eines kapazitiven Blindwiderstands (260) des Spannungsreglers mit einer Leitungsausgleichsschaltung (192), die elektrisch in Serie mit dem spannungsgesteuerten Frequenztrennnetzwerk (200) verbunden ist;
  - Einstellen eines Stroms in einer Regelwicklung (226) einer Sättigungsdrossel (228).
- Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Vergleichen des Ausgangsspannungssignals vom Alternator mit dem Alternatordrehzahlsignal ausserdem die Verwendung eines spannungsgesteuerten Frequenztrennnetzwerks (200) umfasst, das ein Potentiometer besitzt.
- Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Einstellen des kapazitiven Blindwiderstands umfasst:
  - Zuschalten der Leitungsausgleichsschaltung (192) in den Schaltkreis des Spannungsreglers (100);
  - Begrenzen des Stroms in der Aufstartphase durch Verwendung eines Widerstands (244); und
  - Überbrücken des Widerstandes am Ende der Aufstartphase.
- Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Zuschalten der Leitungsausgleichsschaltung in den Spannungsreglerschaltkreis umfasst:
  - Kopplung einer ersten Zuleitung (234) einer veränderlichen Widerstandsvorrichtung an einen ersten Testpunkt (238), der mit einer ersten Zuleitung eines Schalters (240) zum Einschalten der Leitungsausgleichsschaltung elektrisch verbunden ist;
  - Kopplung einer zweiten Zuleitung (236) der veränderlichen Widerstandsvorrichtung an einen zweiten Testpunkt (242), der mit einer zweiten Zuleitung des Schalters (240) zum Einschalten der Leitungsausgleichsschaltung elektrisch verbunden ist;
  - Verminderung des Widerstandswerts der veränderlichen Widerstandsvorrichtung auf im Wesentlichen Null Ohm;
  - Schliessen des Schalters (240) zum Einschalten der Leitungsausgleichsschaltung; und
  - Entfernen der ersten und zweiten Zuleitung der veränderlichen Widerstandsvorrichtung vom ersten bzw. zweiten Testpunkt.
- Verfahren nach Anspruch 3 zur Überbrückung eines Widerstands (244) am Ende der Aufstartphase, wobei das Überbrücken des Widerstands am Ende einer zehnminütigen Aufstartphase erfolgt.
- Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Einstellen des kapazitiven Blindwiderstands umfasst:
  - Überbrücken eines Widerstands (256) in Serie mit jedem aus einer Mehrzahl von Kondensatoren (258, 260), um den kapazitiven Blindwiderstand zu erhöhen, und Entfernen der Umgehung des Widerstands in Serie mit den Kondensatoren zur Verminderung des kapazitiven Blindwiderstands.



7. Spannungsregler zur Verwendung in einem Siedewasserreaktorkernkraftwerken-Umlaufsystem, welcher umfasst:
  - einen regelbaren Alternator (118);
  - eine Alternatorausgangsspannungsabfühlschaltung, die elektrisch gekoppelt ist an eine Steuerschaltung (146);
  - ein Alternatordrehzahlabstastgerät (116), das elektrisch gekoppelt ist an die Steuerschaltung (146);
  - ein spannungsgesteuertes Frequenztrennnetzwerk (200), elektrisch gekoppelt an die Alternatorausgangsspannungsabfühlschaltung und das Alternatordrehzahlabstastgerät (116);
  - eine Leitungsausgleichsschaltung (192), elektrisch in Serie gekoppelt an das spannungsgesteuerte Frequenztrennnetzwerk (200); und
  - eine Sättigungsdrössel (228) einschliesslich einer Regelwicklung (226), die elektrisch verbunden ist mit dem Ausgang des spannungsgesteuerten Frequenztrennnetzwerks, und eine Sekundärwicklung, die elektrisch gekoppelt ist mit einem Alternator-Erreger (122).
8. Spannungsregler nach Anspruch 7, wobei die Leitungsausgleichsschaltung (192) umfasst:
  - einen Schalter (240), der die Leitungsausgleichsschaltung mit dem Spannungsregler (100) elektrisch verbindet;
  - einen Strombegrenzungswiderstand (244), elektrisch parallel verbunden mit einem Schaltkontakt (246); und
  - mindestens einen Kondensator (258, 260).
9. Spannungsregler nach Anspruch 8, wobei der Schalter (240) im Übrigen einen ersten Testpunkt (238), der elektrisch gekoppelt ist mit einer ersten Zuleitung des Schalters und einen zweiten Testpunkt (242), der elektrisch gekoppelt ist mit einer zweiten Zuleitung des Schalters umfasst.
10. Reaktorumlauftsystem zur Verwendung in einem Siedewasserreaktor-Kernkraftwerken-Umlaufsystem, wobei das Reaktorumlauftsystem umfasst:
  - eine Motorgeneratorgruppe (106) mit regelbarem Alternator (118);
  - einen Spannungsregler (100), elektrisch gekoppelt an den Alternator;
  - eine Alternator-Ausgangsspannungsabfühlschaltung, elektrisch gekoppelt an eine Steuerschaltung (146) des Spannungsreglers (100);
  - ein Alternatordrehzahlabstastgerät (116), elektrisch gekoppelt an die Steuerschaltung (146);
  - ein spannungsgesteuertes Frequenztrennnetzwerk (200), elektrisch gekoppelt an die Ausgangsspannungsabfühlschaltung des Alternators (118) und das Alternatordrehzahlabstastgerät (116);
  - eine Leitungsausgleichsschaltung (192), elektrisch in Serie verbunden mit dem spannungsgesteuerten Frequenztrennnetzwerk (200); und
  - eine Sättigungsdrössel (228) einschliesslich einer Regelwicklung (226), die elektrisch verbunden mit dem spannungsgesteuerten Frequenztrennnetzwerk-Ausgang ist, und einer Sekundärwicklung, die in elektrischer Verbindung mit dem Alternator-Erreger (122) steht.

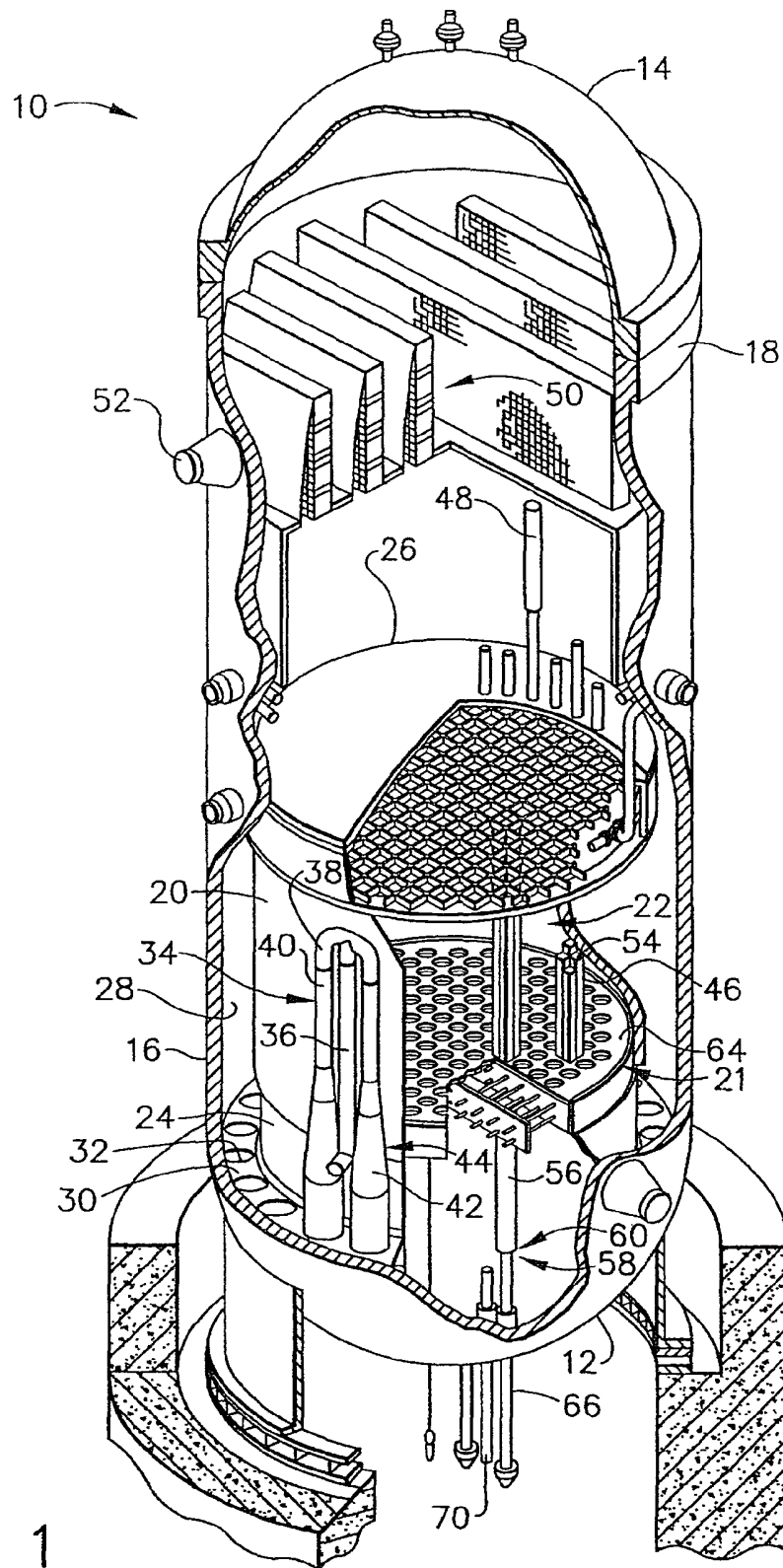


FIG. 1

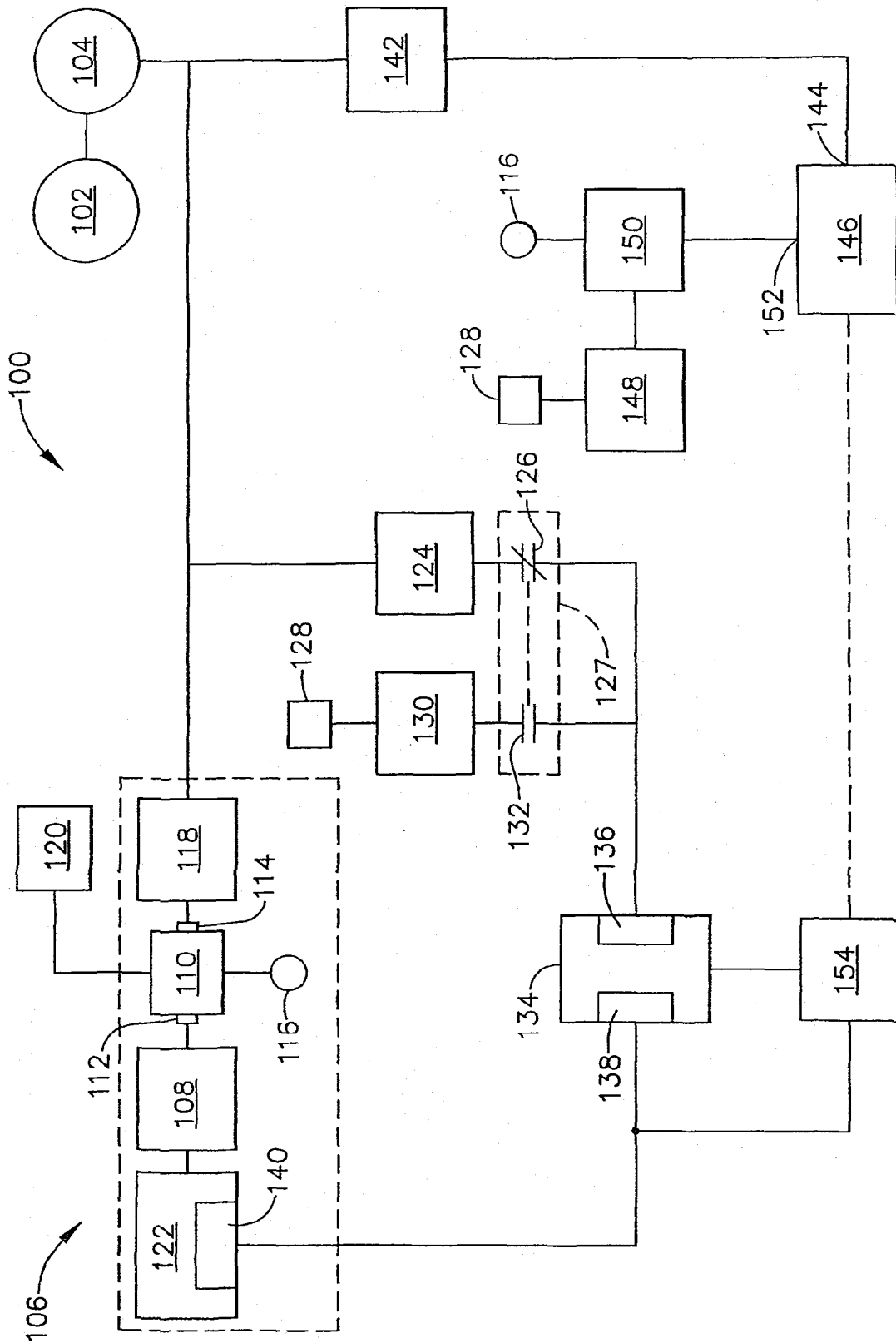


FIG. 2

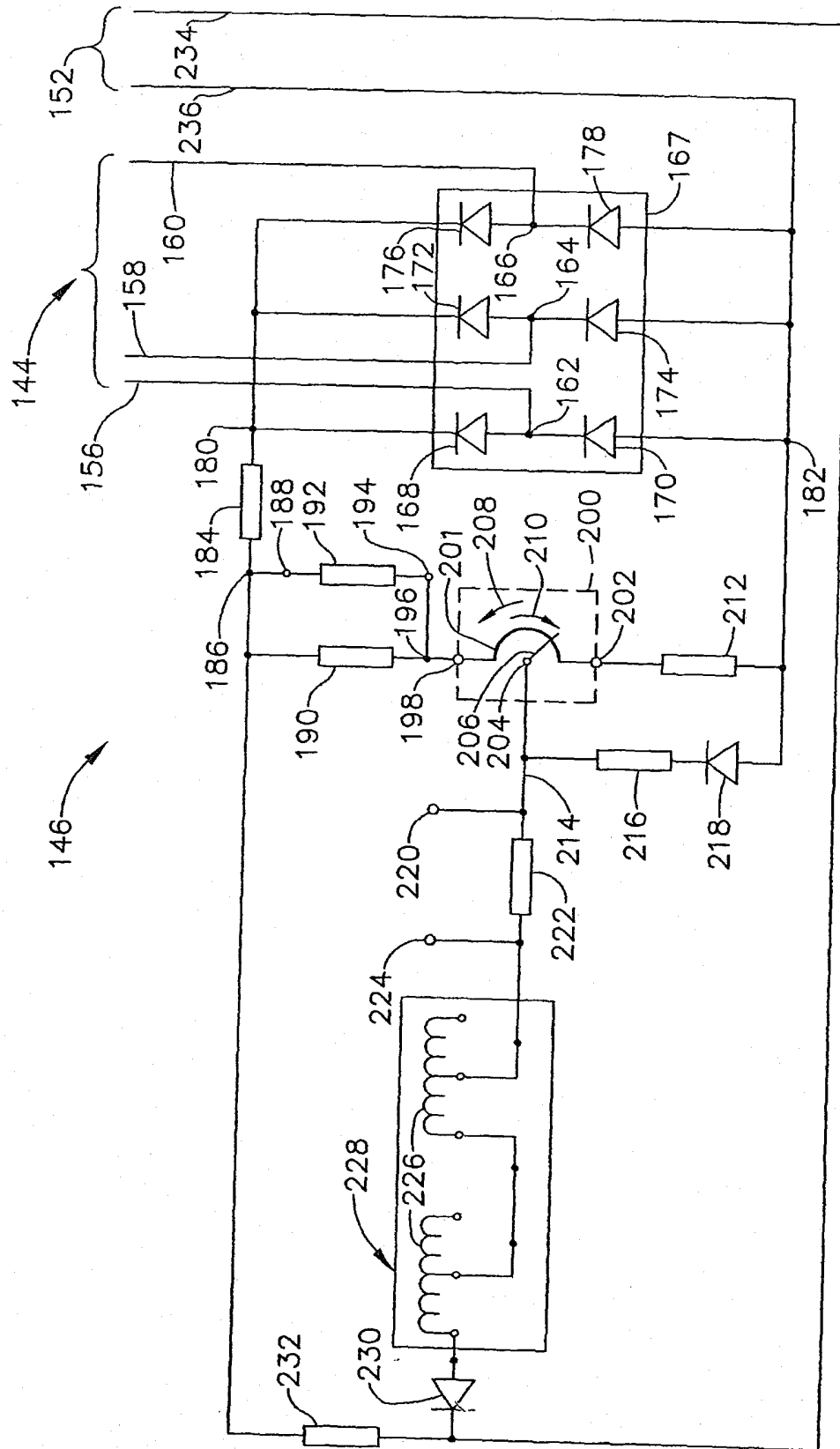


FIG. 3

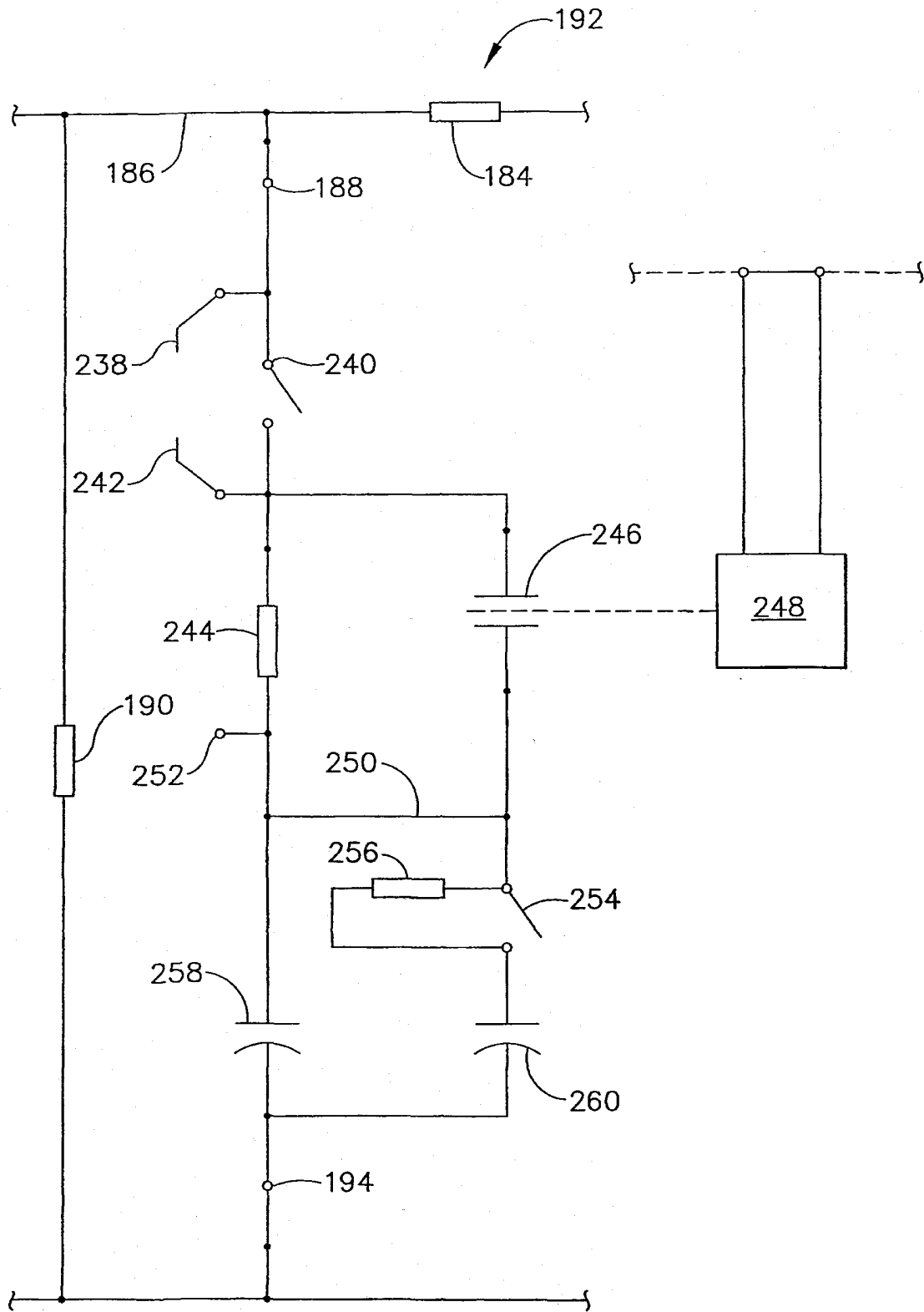


FIG. 4

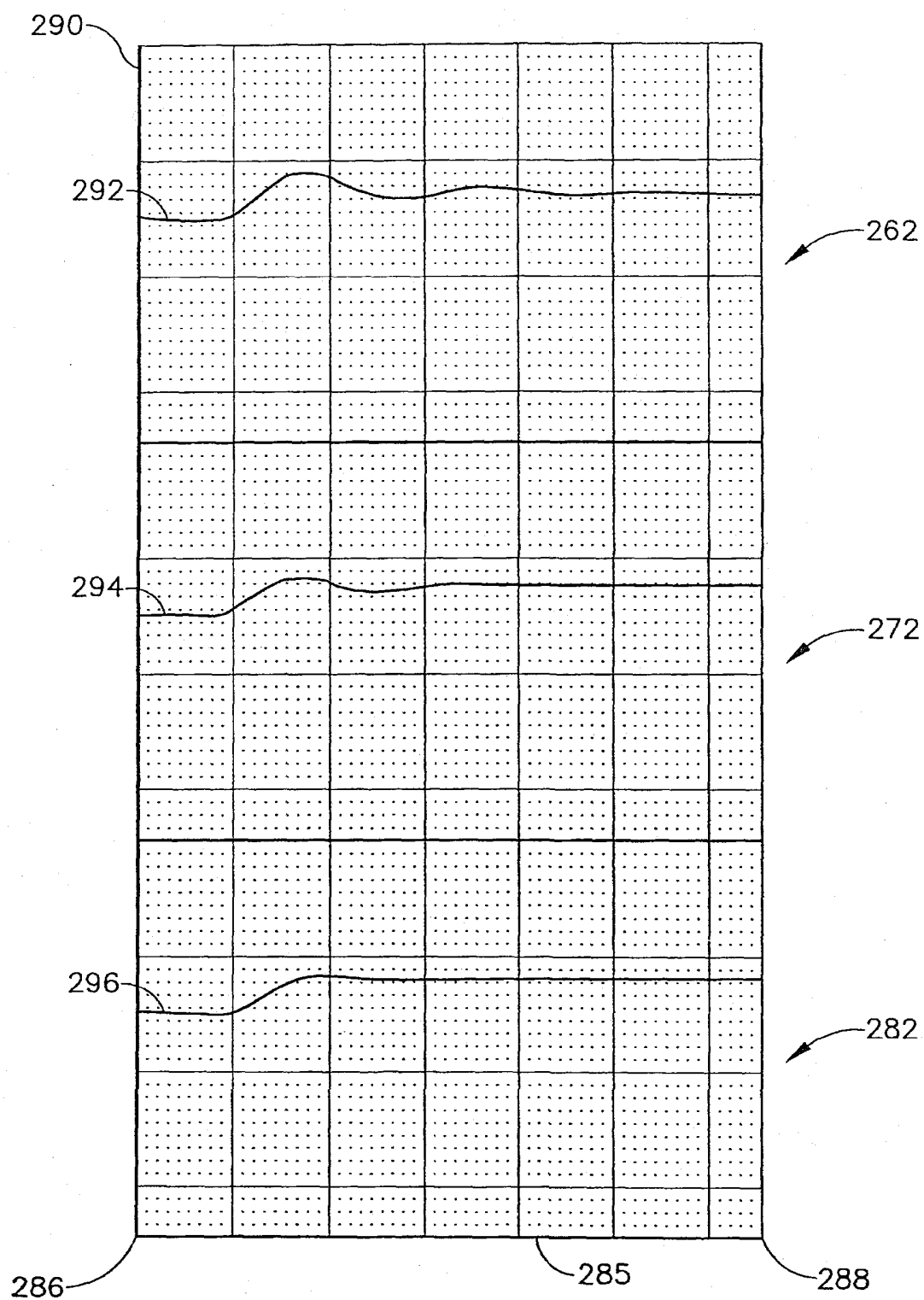


FIG. 5