(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer: **0 209 714**
B1

(12) # EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der Patentschrift: **28.03.90**

(51) Int. Cl.⁴: **H02M 3/315**, B03C 3/68

(21) Anmeldenummer: **86108070.3**

(22) Anmeldetag: **12.06.86**

(54) **Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters.**

(30) Priorität: **24.06.85 DE 3522568**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.01.87 Patentblatt 87/5

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
28.03.90 Patentblatt 90/13

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB LI SE

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 034 075
EP-A- 0 146 853
DE-A- 1 923 952
DE-A- 2 929 601
FR-A- 2 191 342
FR-A- 2 385 442
US-A- 3 641 740
US-A- 3 984 215
US-A- 4 390 831

(73) Patentinhaber: **METALLGESELLSCHAFT AG,**
Reuterweg 14 Postfach 3724, D-6000 Frankfurt/M.1(DE)
Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft,**
Wittelsbacherplatz 2, D-8000 München 2(DE)

(72) Erfinder: **Mickal, Hermann, Dipl.-Ing., Falkenstrasse 49,**
D-8520 Erlangen(DE)
Erfinder: **Neulinger, Franz, Dipl.-Ing., Am Falltor 7,**
D-6106 Erzhausen(DE)
Erfinder: **Schmidt, Walter, Dipl.-Ing., Waldstrasse 22,**
D-8525 Uttenreuth(DE)
Erfinder: **Schummer, Helmut, Dipl.-Ing.,**
Gustav-Adolf-Strasse 27, D-6056 Heusenstamm(DE)

(74) Vertreter: **Fuchs, Franz-Josef, Dr.-Ing. et al,**
Postfach 22 13 17, D-8000 München 22(DE)

EP 0 209 714 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 (DE-AS 19 23 952).

Zur Abgasreinigung oder allgemeiner zur Abscheidung von Fremdstoffen aus einem strömenden Medium werden häufig Elektrofilter verwendet, deren Platten und Sprühdrähte mit einer so hohen Gleichspannung versorgt werden, daß in dem zwischen den Platten und Sprühdrähten hindurchgeführten Medium eine Ionisierung der enthaltenen Fremdstoffe und deren Abscheidung an den Platten auftritt. Im Interesse eines hohen Abscheidegrades wird die Gleichspannung (Versorgungsspannung) der Platten und Sprühdrähte möglichst hoch gewählt. Andererseits laufen bei einer hohen Versorgungsspannung auch im Gas selbst Ionisierungsvorgänge ab, die zu einer ständigen Entladung des Filters bis hin zu einer Korona-Entladung an den Sprühdrähten führen.

Steigt die Versorgungsspannung über einen Grenzwert an, so entlädt sich das Filter über kurze Durchschläge oder sogar über Spannungsdurchbrüche bis hin zu einem stationären Lichtbogen, falls der von der Spannungsversorgung gelieferte Gleichstrom nicht unterbrochen wird. Bis zum anschließenden Wiederaufbau einer hohen Gleichspannung ist dann keine nennenswerte Fremdstoff-Abscheidung möglich. Außerdem verursachen diese Vorgänge einen Verschleiß des Filters, insbesondere seiner Sprühdrähte, und geringe Standzeiten der ganzen Vorrichtung.

Die Ionisierungsvorgänge und damit der erwähnte Grenzwert der Versorgungsspannung sind von der Verteilung der elektrischen Feldstärke zwischen den Platten des Elektrofilters abhängig. Isolierende Schichten aus an den Platten abgeschiedenen Fremdstoffen müssen in bestimmten Zeitabständen - gegebenenfalls unter möglichst kurzzeitigen Abschalten der Versorgungsspannung - abgeklopft, gesammelt und entnommen werden. Ferner bilden sich durch die Ionisierung Raumladungen mit starken Verzerrungen im Potentialverlauf zwischen den Platten aus, wobei es zwischen Platten und Raumladungen sogar zu einer Umkehr des Spannungsgradienten und der Sprührichtung kommen kann.

Der erwähnte Grenzwert ist also während des Betriebes nicht konstant. Für eine gute Abscheidung sollte die Versorgungsspannung des Filters möglichst nahe an diesem sich praktisch unkontrollierbar änderndem Grenzwert gehalten werden.

Handelsübliche Elektrofilter enthalten eine Spannungsversorgung, die an zwei Phasen eines Drehstromnetzes angeschlossen ist und dem Netz über einen elektronischen Steller einen Wechselstrom entnimmt. Die Ausgangsspannung des Stellers ist über den Zündwinkel anschnittsgesteuert und liefert einen gegenüber der Eingangsspannung phasenverschobenen, netzfrequenten Wechselstrom, der dann nach Hochtransformieren und Gleichrichten als pulsierender Dauerstrom das Elektrofilter speist. Zur Annäherung an die optimalen Arbeitsbedingungen des Filters ist in der DE-AS 19 23 952 vorgeschlagen, über die Anschnittssteuerung im Steller die Spannung am Elektrofilter nach einer bestimmten Hochlauffunktion hochzufahren, bis der dem momentanen Zustand des Filters entsprechende Grenzwert erreicht ist und es zu einem Spannungsdurchschlag oder zu einer ähnlichen plötzlichen Entladung des Filters kommt.

In der Regel muß nach einem Durchschlag der Wechselstromsteller zunächst gesperrt werden, um einen Lichtbogen zu vermeiden und die Entionisierung des gebildeten Plasmas abzuwarten. Die stromlose Mindestpause ist durch die Frequenz des Stellers, also die Netzfrequenz, bestimmt. Dadurch ergibt sich, daß das Filter von einem Gleichstrom gespeist wird, der mit einer der Netzfrequenz entsprechenden Welligkeit praktisch lückenlos fließt und nacheinem Durchbruch unterbrochen ist. Für die von diesem Strom gespeiste Filterspannung ergibt sich jeweils ein bis zum Durchschlag ansteigender, welliger Verlauf.

Es sind auch schon Elektrofilter vorgeschlagen worden, bei denen darauf verzichtet ist, das Filter mit einem derartigen, praktisch lückenlos fließenden Gleichstrom zu versorgen, der von einem netzfrequenten Wechselstromsteller dem Versorgungsnetz entnommen, hochtransformiert und gleichgerichtet wird. Vielmehr wird das Filter durch eine Folge einzelner Spannungs- oder Gleichstromimpulse aufgeladen. Um jeweils bei einem Impuls die Ladung nachzuliefern, die während der Impulspausen über das Medium geflossen ist, werden Frequenz und/oder Dauer der einzelnen Impulse so vorgegeben, daß die mittlere Stromstärke dieser isolierten Gleichstromimpulse einen dem jeweiligen Filterzustand angepaßten Filterstrom-Sollwert annimmt. Dadurch entsteht eine entsprechend der Puls-Folgefrequenz wellige Filterspannung, deren Wert möglichst unterhalb der Durchschlaggrenze liegt.

Hierbei entsteht die technische Schwierigkeit, mittels der kurzen Impulse dem Filter die erforderliche Energie zur Verfügung zu stellen. Dazu ist in der US-PS 3 641 740 vorgeschlagen, mittels der gleichgerichteten Netzspannung eine Reihe von Kondensatoren aufzuladen, die dann über Thyristoren, Hochspannungstransformatoren und einen Halbwellen-Gleichrichter an das Elektrofilter gelegt werden. Die Breite der an das Elektrofilter gelangenden Stromimpulse beträgt z.B. 5 % der zwischen diesen Impulsen liegenden Impulspause.

Als optimales Verfahren wird heute eine Kombination anstrebt, bei der das Filter zunächst über einen Gleichrichter mit einer bereits verhältnismäßig hohen, praktisch konstanten Grund-Gleichspannung vorgespannt wird, der dann zur Erzeugung einer welligen Filterspannung eine Wechselspannung oder isolierte Einzel-Spannungsimpulse überlagert werden.

Nach der US-PS 39 84 215 soll deren Höhe erheblich über der Durchschlagspannung des Filters liegen, jedoch durch eine sehr kurze Impulsdauer erreicht werden, daß sich bei der Entladung des Filters kein Lichbogen ausbildet. Dauer, Form und Pulsfolgefrequenz dieser isolierten Einzelimpulse werden dem jeweiligen Belastungszustand des Fil-

ters angepaßt. Gemäß der europäischen Patentschrift 0 034 075 werden dem auf die konstante Grund-Gleichspannung vorgespannten Filter isolierte Stromimpulse zugeführt, deren Maximalamplitude entsprechend einem Sollwert für den Filterstrom so gesteuert wird, daß das Filter dadurch jeweils pulsförmig auf eine unter der Durchbruchspannung liegende Maximalspannung aufgeladen wird. Diese Stromimpulse werden einem von einem Gleichrichter gespeisten Zwischenkreis mittels eines auf die gewünschte Pulsbreite dimensionierten Schwingkreis-Umrichters bzw. eines frequenzgesteuerten Umrichters mit Zwangslöschung entnommen und hochtransformiert. Die Welligkeit der Filterspannung wird dabei auch dadurch sichergestellt, daß eine Diode jeweils eine Polarität der hochtransformierten Stromimpulse unterdrückt.

In der DE-OS 27 13 675 ist eine einfache Stromversorgung vorgeschlagen, bei der die Grundspannung von einem an zwei Phasen eines Drehstromnetzes angeschlossenen, anschnittsgesteuerten Wechselstromsteller mit nachgeschaltetem Transformator und Gleichrichter geliefert wird. Die mit der Grund-Gleichspannung versorgten Elektroden sind über einen Koppelkondensator an die Sekundärwicklung eines Hochspannungstransformators gelegt ist, dessen Primärwicklung über einen Wechselrichter in Mittelpunktschaltung von einem steuerbaren Gleichrichtergerät gespeist wird. Dadurch wird der Grundspannung eine nicht gleichgerichtete Wechselspannung mit einer belastungsabhängig zwischen 50 Hz und 2 kHz veränderbaren Frequenz überlagert wird.

Sollen diese von den Eigenschaften des Abscheidungsprozesses bestimmten Verfahren am Betriebsort des Filters eingesetzt werden, so sind aber auch die Anforderungen an das Versorgungsnetz zu beachten, für die immer strengere Bestimmungen gelten. So müssen z.B. Grenzen für die Blindstrom- und Oberschwingungs-Belastung des Netzes sowie eine unsymmetrische Belastung zwischen den Drehstromanschlüssen des Versorgungsnetzes beachtet werden. Schließlich sind auch die Installationskosten möglichst gering zu halten.

Mit der Erfindung wird nun ein Verfahren zu Verfügung gestellt, das an die sich jeweils ändernden Betriebsbedingungen möglichst optimal angepaßt werden kann und insbesondere bei Überschlägen rasch reagiert.

Da dem Filter eine verhältnismäßig hohe Leistung übertragen werden muß, wird zur Lösung dieser Aufgabe auf diejenigen bekannten Verfahren zurückgegriffen, bei denen ein mittels eines elektronischen Stellers umgerichteter Wechselstrom hochtransformiert und zur Erzeugung einer Grund-Gleichspannung über einen Brückengleichrichter gleichgerichtet wird. Das Filter wird also praktisch mit einem Dauer-Gleichstrom gespeist und weist daher bei konstantem Betrieb nur eine der Umrichterfrequenz entsprechende Oberwelligkeit seiner Versorgungspannung auf. Dieser Grundgleichspannung können noch auf bekannte Weise Hochspannungsimpulse überlagert werden, jedoch kann wegen des erfindungsgemäßen Umrichtverfahrens auf diese zusätzlichen Hochspannungsimpulse in vielen Fällen auch verzichtet werden.

Gemäß der Erfindung wird der Wechselstrom mit einer Umrichterfrequenz von einigen Kilohertz, insbesondere etwa 2 kHz oder mehr, erzeugt.

Während also beim Stand der Technik ein Frequenzumrichter nur dann verwendet wird, wenn einer Grundgleichspannung zur Erzeugung einer für den Abscheidungsvorgang angestrebten Welligkeit eine Wechselspannung mit der Umrichterfrequenz ohne Gleichrichtung oder eine Folge isolierter Einzelimpulse, die aus der umrichterfrequenten Wechselspannung mittels einer Diode durch Unterdrücken der negativen Spannungshalbwellen gebildet sind, überlagert wird, wird gemäß der Erfindung der hochfrequente Wechselstrom eingesetzt, um über den Brückengleichrichter durch einen praktisch kontinuierlichen Gleichstrom zunächst eine zunächst nur schwach oberwellenhaltigen Grund-Gleichspannung zu erzeugen.

Dies hat den Vorteil, daß bei einem Überschlag der Speisestrom des Filters entsprechend der hohen Taktfrequenz durch Sperren des Umrichtertaktes innerhalb Bruchteilen einer Millisekunde zum Erlöschen gebracht werden kann.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nach Anspruch 11 wird dieses vorübergehende Abschalten des dem Netz entnommenen, hochfrequent gepulsten Gleichstromes eingesetzt, um der Grund-Gleichspannung eine gewünschte Oberwelligkeit einzuprägen.

Eine andere Variante sieht nach den Merkmalen des Anspruchs 1 vor, als Frequenzumrichter einen Zwischenkreisumrichter zu verwenden, bei dem der an das Drehstrom-Versorgungsnetz angeschlossene Steller (z.B. ein steuerbarer Drehstrom-Gleichrichter oder insbesondere ein Drehstrom-Gleichrichter mit nachgeschaltetem Gleichstromsteller zur Steuerung des Zwischenkreis-Gleichstroms) einen Gleichstrom liefert, der zur Bildung des Wechselstromes im Takt der Umrichterfrequenz mittels eines hochfrequenten Wechselrichters mit alternierenden Vorzeichen auf die Wechselstromausgänge des Umrichters geschaltet wird. Bei einem Durchschlag braucht zum Abschalten des Filterstromes lediglich der Wechselrichter gesperrt und durch geeignete Mittel (z.B. einen Querthyristor zwischen den Gleichstromeingängen des Wechselrichters oder geeignete Zündimpulse für in Reihe liegende Wechselrichterventile) der Gleichstrom über einen Leerlaufpfad an den Wechselstromausgängen des Wechselrichters vorbei geleitet zu werden.

Bei einem derartigen Zwischenkreis-Umrichter wird der Zwischenkreisstrom vom Steller eingeprägt. Seine Amplitude ist innerhalb einer Periode des Umrichtertaktes praktisch nicht veränderlich, so daß auch bei einem Durchschlag kein wesentlicher Stromanstieg am Transformator und somit keine wesentliche Nachladung des Filters auftritt. Dadurch werden Lichtbögen verhindert und Entladungserscheinung in ihrer zeitlichen Dauer begrenzt, was zu verringertem Verschleiß der Sprühdrähte und erhöhten Standzeiten des Filters führt.

Andererseits braucht der Umrichtertakt nur für gerade so viele Taktperioden gesperrt zu werden, wie zur Entionisierung des Gases erforderlich ist. Anschließend steht der gesamte Zwischenkreisstrom wieder zur Wechselrichtung und Nachladung des Filters zur Verfügung, dessen Abscheide-Fähigkeit daher rasch wieder hergestellt ist, wodurch der Filter-Wirkungsgrad erhöht wird. Als Folge der hohen Wechselstromfrequenz wird nur ein kleinerer Transformator benötigt, wodurch sich geringere Baukosten und Leistungsverluste und ein günstigeres transientes Verhalten bei schnellen Betriebsänderungen ergibt.

Darüber hinaus bietet sich die Möglichkeit, von vornherein bereits nach mehreren Umrichtertakt-Perioden durch eine vorübergehende kurze Sperre des Stellertaktes eine derartige Entionisierungszeit vorzusehen, um die Anzahl der Durchschläge zu verringern. Der im kHz-Takt erzeugte, praktisch lückenlose Gleichstrom wird also mit einer niedrigeren Folgefrequenz in einzelne Gleichstrom-Pakete unterteilt. Die Dauer der dabei entstehenden stromlosen Pausen kann im jeweiligen Anwendungsfall an die vorliegende Entionisierungszeit angepaßt werden.

Die z.B. über die Steuerung des Zwischenkreis-Gleichstromes mögliche Amplitudensteuerung des hochfrequenten Wechselstromes bietet einen zusätzlichen Freiheitsgrad zur Steuerung der Filterspannung. So kann die Wechselrichteramplitude nach jedem Durchschlag bzw. jeder Umrichtersperre nach einer vorgegebenen Hochlauffunktion wieder hochgefahren werden.

Insbesondere kann über die Amplitudensteuerung innerhalb der erwähnten Gleichstrom-Pakete der Kurvenverlauf ganz unterschiedlichen, für den jeweiligen Anwendungsfall als vorteilhaft angesehenen Kurvenformen der Filter-Speisespannung angepaßt werden.

So kann z.B. bereits der Grundspannung U des Filters eine einstellbare Welligkeit dU/dt, z.B. in Abhängigkeit vom Fremdstoff-Restgehalt im Medium, eingegeben werden. Dies ist beispielsweise vorteilhaft, wenn das Medium bereits weitgehend von Fremdstoffen befreit und sehr hochohmig ist. In diesem Fall vermag das Medium bei konstanter Filterspannung nur einen geringen Strom zu leiten und somit nur eine geringe Leistung aufzunehmen. Durch eine höhere Welligkeit der Speisespannung kann dann jedoch die Energieaufnahme des Filters erhöht werden. Es kann auch erforderlich werden, den mittleren Pegel der Filterspannung in Abhängigkeit vom Fremdstoff-Restgehalt zu steuern; so kann bei einer höheren Filterspannung auch im ausströmenden, bereits weitgehend gereinigten Gas noch eine Abscheidung von Rest-Fremdstoffen erreicht werden.

Über die Steuerung kann in einem iterativen Suchverfahren der jeweils optimale Arbeitspunkt für die Speisung des Filters vorgegeben werden. So kann z.B. die Filterspannung durch Erhöhen des speisenden Gleichstroms selbsttätig erhöht werden, solange dadurch die Häufigkeit der auftretenden Durchschläge nicht nennenswert erhöht wird. Dadurch wird eine Abhängigkeit der Filterspannung vom Fremdstoffgehalt des einströmenden Gases selbsttätig berücksichtigt, sie kann aber auch durch eine vorgegebene Funktion für die Steuerung der Wechselstromamplitude, z.B. in Abhängigkeit von der erfaßten Durchschlagshäufigkeit, erfolgen.

Insbesondere kann über die Umrichterfrequenz auch die Periodizität des ganzen Spannungsverlaufes gesteuert und in Abhängigkeit vom Lastzustand bzw. dem Fremdstoffgehalt des einströmenden Gases geändert werden.

Für das Versorgungsnetz wirkt als Last lediglich der Steller selbst, im Fall einer ungesteuerten Drehstrombrücke mit nachgeschaltetem Gleichstromsteller also eine symmetrische Last mit einer sehr geringen Welligkeit von nur etwa 4,2 %. Der Leistungsfaktor (cos φ) ist dabei praktisch 1 und der Zwischenkreis schützt das Versorgungsnetz vor Netzrückwirkungen des Wechselrichters weitgehend.

Ferner gibt sich insgesamt eine Reduzierung der vom Elektrofilter aufgenommenen Leistung, da jeweils nach einem Überschlag die Dauer dieses Kurzschlusses wegen der geringen Zeitspanne zwischen dem Erfassen des Kurzschlusses und dem Erlöschen des hochfrequenten Wechselstromes klein ist, also auch nur wenig Energie in den Kurzschluß fließen kann.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet. Anhand von drei Figuren wird die Erfindung näher erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1 den prinzipiellen Aufbau und die Figuren 2 und 3 vorteilhafte Realisierungsmöglichkeiten einer Vorrichtung zur Durchführung der Erfindung.

In den Figuren ist mit F das Elektrofilter bezeichnet, zwischen dessen Elektroden (Platten und Sprühdrähte) das durch einen Pfeil M dargestellte Medium (z.B. Rauchgas oder ein anderes Abgas) hindurchgeführt wird und das mit einer Spannung U, die von einem Meßglied MU erfaßt wird, aus einem Versorgungsnetz N versorgt werden soll. Hierzu ist der Eingang des Filters über einen Hochspannungsgleichrichter GRH an die Sekundärwicklung WS eines Transformators angeschlossen, dessen Primärwicklung WP am Ausgang des hochfrequent getakteten Frequenzumrichters HF liegt.

Der Hochspannungsgleichrichter GRH ist als Vollwellen-Gleichrichter, insbesondere als ungesteuerte Gleichrichterbrücke, ausgebildet. Als hochfrequenzer Frequenzumrichter HF wird vorzugsweise ein Zwischenkreis-Umrichter verwendet. Im Blockschaltbild der Figur 1 ist durch einen Schalter Q ein schaltbarer Freilaufpfad angedeutet, über den bei einer Umrichtersperre auftretende induktive Ströme, z.B. der eingeprägte Zwischenkreisstrom bei Verwendung eines Stromzwischenkreises im Umrichter, weiterfließen können. Meistens kann die Amplitude des hochfrequenten Wechselstromes (ia) über einen entsprechenden Steuereingang des Wechselstromstellers HF gesteuert werden. Mit NF ist angedeutet, daß die Am-

plitudensteuerung aber auch über einen steuerbaren netzfrequenten Wechselstromsteller verstellt werden kann.

Mit PR ist in Figur 1 summarisch die Steuerung und Regelung des hochfrequenten Wechselstroms dargestellt, der neben dem Istwert U der Filter-Speisespannung noch je nach Anwendungsfall geeignete Ist- und Sollwerte eingegeben sind. Über die Ausgangssignale sind Amplitude, Frequenz sowie über die "Querzündungen" des Freilaufpfades Q die Unterbrechungen des Stromes ia am Ausgang des Wechselstromstellers HF steuerbar.

Für den Betrieb des Filters können ganz unterschiedliche Parameter berücksichtigt und in eine entsprechend schnelle Steuerung und Regelung umgesetzt werden. Der Betrieb des Filters kann daher auch in vielfacher Hinsicht optimiert werden. Diese Anpassungsfähigkeit sei an einem Beispiel in Fig. 2 erläutert, kann aber je nach Anwendungsfall auch ganz anders realisiert werden.

So können als Eingangssignale der Fremdstoff-Rohgasgehalt (Gehalt des einströmenden Mediums an Fremdstoffen) und/oder Fremdstoff-Reingasgehalt (Fremdstoffgehalt des ausströmenden Mediums) verwendet werden. Speisespannung und/oder Speisestrom des Filters sind optimierbar, insbesondere können sie nach einer vorgegebenen Spannungs/Strom-Kennlinie gesteuert werden. Diese Kennlinie kann in Abhängigkeit vom Fremdstoff-Rohgasgehalt, d.h. vom Lastzustand des Filters, verändert werden. Außerdem kann die Steuerung sehr rasch auf jeden Spannungseinbruch und auf Start und Ende eines Klopfvorgangs reagieren und es kann auch die Welligkeit der Spannung, d.h. die Schwankung der Spannung zwischen einem oberen und unteren Grenzwert, vorgegeben und optimiert werden.

In dieser Figur 2 ist schematisch die steuerbare Gleichrichteranordnung als steuerbare Drehstrom-Gleichrichterbrücke DR dargestellt, die bereits die nötigen Mittel enthält, um den Zwischenkreisstrom I (Meßglied MI) eines Zwischenkreisumrichters zu verändern und somit die Amplitude des hochfrequenten Steller-Ausgangsstromes mit einem bestimmten Regelverhalten zu regeln.

Der Zwischenkreis enthält eine Zwischenkreisdrossel ZI, die auf die Glättung des Zwischenkreisstromes ausgelegt ist und gegebenenfalls durch einen Zwischenkreiskondensator ergänzt wird.

Der nachgeschaltete Wechselrichter AR erzeugt den hochfrequenten Wechselstrom. Der hierzu geeignete, in Fig. 2 gezeigte Wechselrichter ist als Wechselrichter mit "Phasenfolgelöschung" bekannt. Es genügt eine zweiphasige Brücke, obwohl im Prinzip auch drei- und mehrphasige Brücken möglich und gegebenenfalls auch vorteilhaft sein können, um nach Hochtransformieren und Gleichrichten einen möglichst lückenlosen Gleichstrom zu erhalten.

In der normalen Phasenfolge zünden die Ventile TH1 und TH4 und die Ventile TH2 und TH3 jeweils gleichzeitig und löschen unter Umladen der Kommutierungskondensatoren K1 und K2 die zuvor gezündeten Ventile.

Als Mittel zur Querzündung ist der Querthyristor TQ vorgesehen. Bei einer derartigen Querzündung fließt der vorgegebene Zwischenkreisstrom weiterhin über die Drossel ZI, wird aber über den Freilaufpfad TQ an der Primärwicklung WP vorbei geleitet, die daher bei jeder Phasenlage des Wechselrichters rasch entregt und nach Sperren beliebig weniger Umrichter-Taktimpulse wieder mit dem vollen Zwischenkreisstrom erregt werden kann. Nach einem Durchschlag kann daher schnell wieder die erforderliche Abscheidespannung aufgebaut werden. Derartige Querzündungen können bei anderen Brückenschaltungen auch durch Zündung in Reihe liegender Ventile erfolgen. Sie können auch vorgesehen sein, um die Stromführungsdauer der in der normalen Taktfolge gezündeten Ventile gegenüber einer Halbperiode des Wechselrichter-Ausgangsstromes zu verkürzen. Der eingeprägte Zwischenkreisstrom selbst wird durch diese Schaltvorgänge praktisch nicht beeinflußt.

In der Steuerung PR wird der Arbeitspunkt der Stromversorgung dadurch festgelegt, daß ein Sollwertgeber SS einen Sollwert I* für den Zwischenkreisstrom bzw. die Amplitude des Ausgangs-Wechselstroms vorgibt, deren Regelabweichung über einen Stromregler SR den Steuersatz SDR für die steuernden Mittel der steuerbaren Gleichrichteranordnung ansteuert. Der Sollwert I* kann dabei insbesondere nach einer im Sollwertgeber SS abgespeicherten Strom/Spannungs-Kennlinie ermittelt werden, dem von einem Stromsteuer-Programmteil PS der Wert für die optimale Spannung U* vorgegeben wird. Dabei kann U* z.B. in Abhängigkeit vom Fremdstoff-Restgehalt, der an einer Rauchgassonde RG gemessen ist, periodisch verändert werden, um die erwähnte Welligkeit der Filter-Speisespannung zu erzeugen. Das optimale Grundniveau für U* kann dabei von einer Rauchgassonde EG in Abhängigkeit vom Fremdstoff-Rohgasgehalt festgelegt werden oder im Rahmen eines iterativen Suchverfahrens so verändert werden, daß einerseits ein hoher Abscheidegrad, andererseits eine geringe Häufigkeit von Durchschlägen und Spannungseinbrüchen am Meßglied MU auftreten.

Allgemein ist eine Begrenzung der Spannung auf den vorgegebenen Wert U* vorteilhaft. Hierzu wird einem Begrenzungsregler BR, der auf eine den Stromsollwert begrenzzende Begrenzungsschaltung BG arbeitet, die Soll/Istwert-Differenz der Speisespannung U aufgeschaltet. Um z.B. nach einem Durchbruch die Speisespannung nach einem vorgegebenen Kurvenverlauf hochfahren zu können, ist am Sollwerteingang des Begrenzungsreglers PR ein Hochlaufgeber HG vorgesehen, dessen Endwert (z.B. in Abhängigkeit von der Häufigkeit der am Spannungsmeßglied MU erfaßten Spannungsdurchbrüche) von einem Impulsprogrammteil PI verändert werden kann. In den beiden Programmteilen PS und PI können entsprechend der jeweils zum Abscheiden vorgesehenen Technologie weitere Ist- und Sollwert-Zusammenhänge verarbeitet werden, um durch Steuerung des Hochlaufgebers HG und/oder des Sollwertgebers SS für jeden möglichen Betriebszustand, z.B. auch bei einem Klopfvorgang (Entfernen der abgeschiedenen

Fremdstoffe), einen optimalen Eingriff in die Steuerung des Wechselstromes zu ermöglichen. Entsprechend dem jeweils vorgegebenen Arbeitspunkt auf der Filterkennlinie ermöglicht der Spannungsbegrenzungsregler BR einen stabilen Betrieb der Stromversorgung bis in die Nähe des Durchschlagpunktes, wodurch die Durchschlaghäufigkeit vermindert und die Filterstandzeit erhöht wird.

Der Impulsprogrammteil PI hat ferner die Aufgabe, die Wechselstrom-Ausgangsfrequenz und somit die Hochfrequenz des Wechselrichters AR durch ein entsprechendes betriebsabhängiges Steuersignal für den Wechselrichtersteuersatz WSt vorzugeben. Er erzeugt auch das Schaltsignal für den Freilaufpfad (Ventil TQ) und das vorübergehende Stillsetzen und Wiederanfahren des Wechselrichters nach einem Durchschlag. Außerdem kann durch periodisches Sperren des Wechselrichters der dem Hochspannungsgleichrichter GRH entnommene Gleichstrom unterbrochen werden ("Paket-Bildung") und somit ebenfalls eine Spannungswelligkeit am Filter erzwungen werden.

Durch diese Steuerung der Grund-Gleichspannung des Filters wird die Anwendung zusätzlicher, isolierter Hochspannungsimpulse weitgehend überflüssig. Der in Figur 2 dargestellte Koppelkondensator KK erleichtert jedoch auch das zusätzliche Aufschalten derartiger Impulse, die an den entsprechenden Eingangsklemmen HFI des Filters angelegt werden können.

Die verwendete Hochfrequenz des Wechselstromes ermöglicht erhebliche Einsparungen am Transformator. Ähnliche Einsparungen ergeben sich auch für die Zwischenkreisdrossel, wenn als steuerbare Gleichrichteranordnung die Schaltung nach Fig. 3 verwendet wird.

Demnach wird zur Steuerung des eingeprägten Gleichstroms I ein Gleichstromsteller mit einem Stellerventil ST und einer Freilaufdiode FD verwendet, wobei durch eine Stellerfrequenz im kHz-Bereich (z.B. 5 kHz) die Größe der Drossel FD herabgesetzt wird. Der Zwischenkreis entkoppelt das Netz N von Rückwirkungen des Wechselrichters AR.

Die Eingangsspannung des Gleichstrom-Stellers wird vorteilhaft von einer ungesteuerten Drehstrom-Gleichrichterbrücke geliefert, die somit eine symmetrische, praktisch blindstromfreie Last für das Netz N darstellt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters, wobei ein mittels eines elektronischen Stellers umgerichteter Wechselstrom hochtransformiert und zur Erzeugung einer Grund-Gleichspannung für das Filter, der ggf. Hochspannungsimpulse überlagert werden, über einen Brückengleichrichter gleichgerichtet wird, dadurch gekennzeichnet, daß der umgerichtete Wechselstrom erzeugt wird, indem im Takt einer Umrichterfrequenz von einigen kHz ein einem Zwischenkreis entnommener Gleichstrom mit alternierendem Vorzeichen auf die Wechselstromausgänge des Umrichters geschaltet wird, daß der Zwischenkreis von einer steuerbaren Gleichrichteranordnung (DR) mit einem steuerbaren Zwischenkreisstrom gespeist wird, der in einer Periode der Umrichterfrequenz praktisch unabhängig von der Aufschaltung auf die Wechselstromausgänge ist, und daß bei einem Überschlag im Filter der Gleichstrom über einen Leerlaufpfad (TQ) an den Wechselstromausgängen des Wechselrichters vorbeigeleitet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Überschlag im Filter die Umrichterfrequenz abgeschaltet und nach einer auf die Entionisierungszeit abgestimmten, kurzen Pause wieder eingeschaltet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Abschalten und Wiedereinschalten auch unabhängig vom Auftreten eines Überschlags nach jeweils mehreren Perioden des Umrichtertakts vorgenommen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Wechselstromamplitude nach einer Abschaltung der Umrichterfrequenz nach einer vorgegebenen Hochlauffunktion für die Wechselstromamplitude oder die Grund-Gleichspannung wieder hochgefahren wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch ein vorgegebenes Steuerprogramm zur Steuerung der Umrichtung während eines Klopfvorganges und/oder bei Unterspannung am Filter.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Grund-Gleichspannung durch eine Änderung der Wechselstromamplitude eine vorgegebene Welligkeit eingeprägt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Umrichterfrequenz betriebsabhängig verändert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Umrichterfrequenz in Abhängigkeit vom Lastzustand bzw. vom Fremdstoffgehalt des ins Filter einströmenden Mediums geändert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Steuerung des Wechselstroms der mittlere Pegel und/oder die Welligkeit der Grund-Gleichspannung in Abhängigkeit vom Fremdstoffgehalt des aus dem Filter ausströmenden Mediums gesteuert wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplitude des Wechselstroms durch eine Steuergröße gesteuert wird, die nach einer vorgegebenen Strom-Spannungs-Kennlinie aus einem Sollwert für die optimale Filterspannung ermittelt wird.

11. Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters, wobei ein mittels eines elektronischen Stellers umgerichteter Wechselstrom hochtransformiert und zur Erzeugung einer Grund-Gleichspannung für das Filter über einen Brückengleichrichter gleichgerichtet wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Steller ein erstes Steuersignal ($\hat{I}^*$) zur Steuerung der Wechselstromamplitude vorgegeben wird, daß der Wechselstrom mit einer Umrichterfrequenz mit einigen kHz erzeugt wird, und daß dem Steller ein zwei-

tes Steuersignal vorgegeben wird, das den Wechselstrom nach einem Überschlag im Filter und periodisch zur Erzeugung einer vorgegebenen Welligkeit der Grund-Gleichspannung jeweils vorübergehend abschaltet (Fig. 2).

Claims

1. A method for the operation of an electrostatic filter, in which an alternating current converted by an electronic regulator is stepped up and is rectified via a bridge-connected rectifier for the purpose of generating a basic direct voltage for the filter upon which high voltage pulses are superimposed if necessary, characterised in that the converted alternating current is produced by switching a direct current, with alternating sign, drawn from an intermediate circuit to the alternating current outputs of the converter in the cycle of a converter frequency of a few kHz, and in that the intermediate circuit is fed by a controllable rectifier arrangement (DR) with a controllable intermediate circuit current which in one period of the converter frequency is practically independent of the superimposition upon the alternating current outputs, and in that in the event of a flashover in the filter the direct current is conducted via a no-load path (TQ) past the alternating current outputs of the inverter.

2. A method according to claim 1, characterised in that in the event of a flashover in the filter the converter frequency is switched off and is switched on again after a short pause adapted to suit the deionisation time.

3. A method according to claim 3, characterised in that switching off and switching on again also takes place irrespective of the occurrence of a flashover following, in each case, several periods of the converter cycle.

4. A method according to claim 2 or 3, characterised in that the alternating current amplitude is brought up again, after switching off the converter frequency, according to a preset run-up function for the alternating current amplitude or the basic direct voltage.

5. A method according to one of claims 1 to 4, characterised by a preset control program for controlling the conversion during a knocking process and/or when there is undervoltage at the filter.

6. A method according to one of claims 1 to 5, characterised in that a preset ripple is impressed on the basic direct voltage by changing the alternating current amplitude.

7. A method according to one of claims 1 to 8 (sic), characterised in that the converter frequency is varied in an operationally-dependent manner.

8. A method according to claim 7, characterised in that the converter frequency is varied as a function of the load state or of the foreign substance content of the medium flowing into the filter.

9. A method according to one of claims 1 to 8, characterised in that the average level and/or the ripple of the basic direct voltage is controlled as a function of the foreign substance content of the medium flowing out of the filter by control of the alternating current.

10. A method according to one of claims 1 to 9, characterised in that the amplitude of the alternating current is controlled by a control quantity which is determined according to a preset current-voltage characteristic line from a rated value for the optimum filter voltage.

11. A method for the operation of an electrostatic filter, in which an alternating current converted by means of an electronic regulator is stepped up and is rectified via a bridge-connected rectifier for the purpose of generating a basic direct voltage for the filter, characterised in that a first control signal ($\hat{I}^*$) is given to the regulator in advance in order to control the alternating current amplitude, in that the alternating current is produced with a converter freequency of a few kHz, and in that a second control signal is given to the regulator in advance which in each case temporarily switches off the alternating current after a flashover in the filter and periodically in order to produce a preset ripple of the basic direct voltage (Fig. 2).

Revendications

1. Procédé pour faire fonctionner un électrofiltre, selon lequel un courant alternatif, qui est soumis à une conversion statique au moyen d'un régulateur électronique, est amplifié et est redressé par l'intermédiaire d'un redresseur en pont, pour fournir, pour le filtre, une tension continue de base, à laquelle sont éventuellement superposées des impulsions à haute tension, caractérisé par le fait que le courant alternatif converti est produit grâce au fait qu'un courant continu prélevé d'un circuit intermédiaire est appliqué avec un signe alternatif, à la cadence d'une fréquence d'un convertisseur statique égale à quelques kHz, aux sorties à courant alternatif du convertisseur statique, que le circuit intermédiaire est alimenté par un dispositif redresseur commandable (DR) comportant un circuit intermédiaire commandable, qui, pendant une période correspondant à la fréquence du convertisseur statique, est pratiquement indépendante de l'application aux sorties du courant alternatif, et que dans le cas d'une décharge disruptive dans le filtre, le courant continu contourne les sorties à courant alternatif de l'onduleur en empruntant une voie (TQ) de marche à vide.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que, dans le cas d'une décharge disruptive dans le filtre, la fréquence du convertisseur statique est interrompue et est à nouveau appliquée après une courte pause, réglée sur le temps de désionisation.

3. Procédé suivant la revendication 3, caractérisé par le fait que l'interruption et le rebranchement sont réalisés également indépendamment de l'apparition d'une décharge disruptive, après respectivement plusieurs périodes de la cadence du convertisseur statique.

4. Procédé suivant la revendication 2 ou 3, caractérisé par le fait que l'amplitude du courant alternatif après une interruption de la fréquence du convertisseur statique est à nouveau amplifiée confor-

mément à une fonction prédéterminée de marche à régime élevé pour l'amplitude du courant alternatif ou la tension continue de base.

5. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 4, caractérisé par un programme prédéterminé de commande servant à commander la conversion statique pendant l'opération de secouage et/ou dans le cas d'un manque de tension au niveau du filtre.

6. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait qu'une ondulation prédéterminée est imposée à la tension continue de base au moyen d'une modification de l'amplitude du courant alternatif.

7. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que la fréquence du convertisseur statique est modifiée en fonction du fonctionnement.

8. Procédé suivant la revendication 7, caractérisé par le fait que la fréquence du convertisseur statique est modifiée en fonction de l'état de charge ou de la teneur en substances étrangères du fluide pénétrant dans le filtre.

9. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que le niveau moyen et/ou l'ondulation de la tension continue de base est commandé, au moyen de la commande du courant alternatif, en fonction de la teneur en substances étrangères du fluide sortant du filtre.

10. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 9, caractérisé par le fait que l'amplitude du courant alternatif est commandée par une grandeur de commande, qui est déterminée conformément à une courbe caractéristique courbe-tension prédéterminée, à partir d'une valeur de consigne pour la tension optimale du filtre.

11. Procédé pour la mise en œuvre d'un électrofiltre, selon lequel un courant alternatif, qui est soumis à une conversion statique au moyen d'un régulateur électronique, est amplifié et est redressé par l'intermédiaire d'un redresseur en pont, pour fournir, pour le filtre, une tension continue de base, à laquelle sont éventuellement superposées des impulsions à haute tension, caractérisé par le fait qu'un premier signal de commande ($\hat{I}^*$) servant à commander l'amplitude du courant alternatif est prédéterminé pour le régulateur, que le courant alternatif est produit avec une fréquence du convertisseur statique de quelques kHz et qu'un second signal de commande est prédéterminé pour le régulateur, qui interrompt de façon transitoire le courant alternatif après une décharge disruptive dans le filtre et qui est périodiquement débranché pour la production d'une ondulation prédéterminée de la tension continue de base (figure 2).

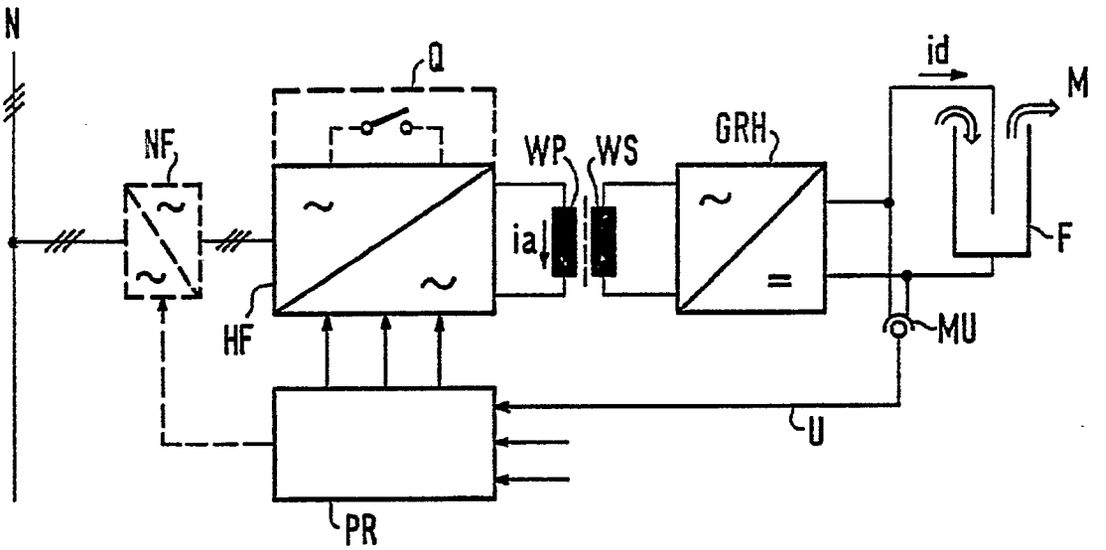


FIG 1

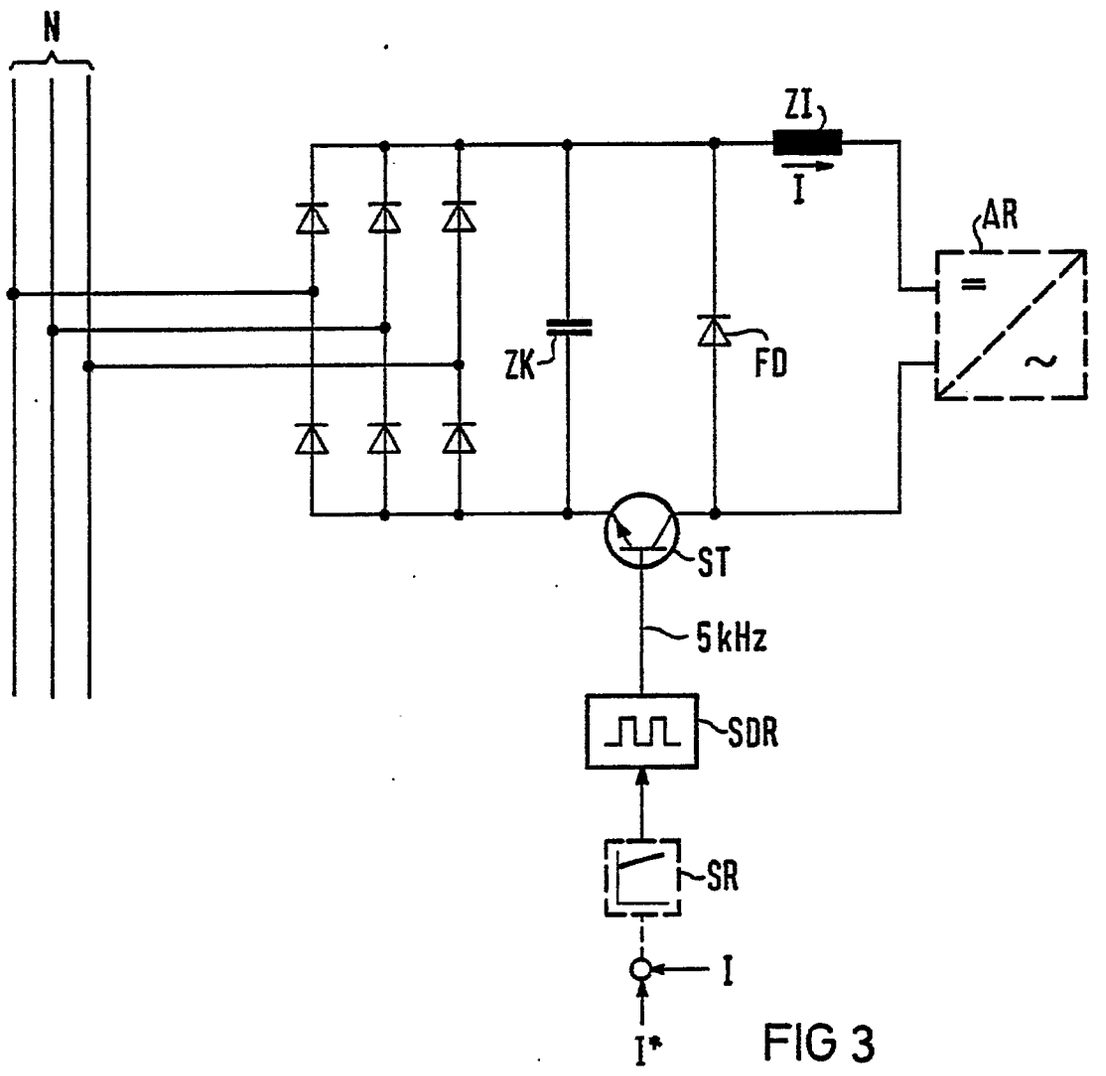


FIG 3

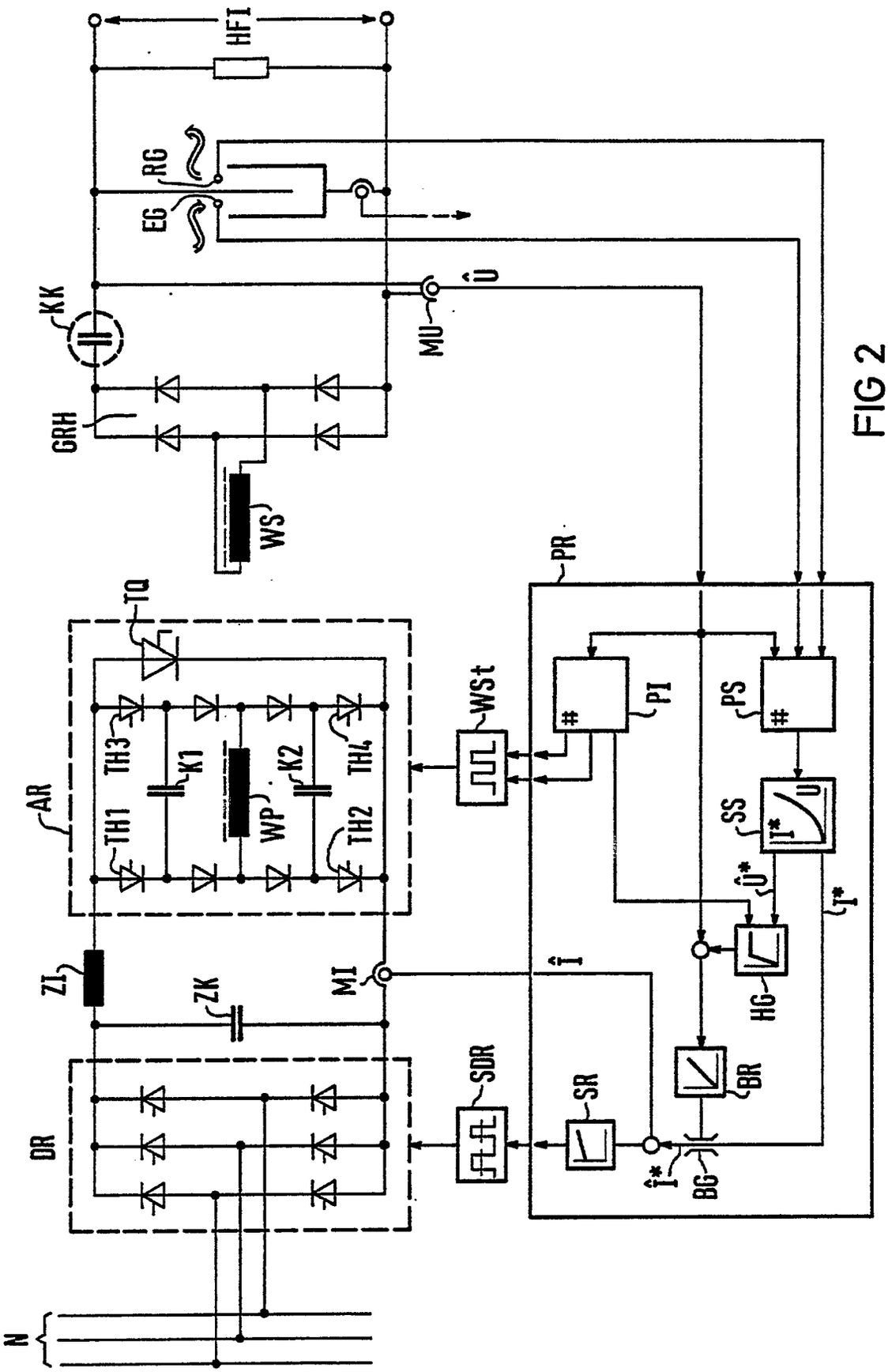

HFI
RG
EG
KK
GRH
WS
MU
û
TQ
AR
TH1
TH3
K1
WP
K2
TH4
TH2
ZL
ZK
MI
DR
N
PR
WSt
PI
PS
SS
û*
HG
BR
SR
SDR
î
î*
BG

FIG 2