



AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP H 05 H / 266 517 7

(22) 22.08.84

(44) 08.01.86

(71) Technische Hochschule „Otto von Guericke“, 3010 Magdeburg, PF 124, DD

(72) Musikowski, Hans-Dieter, Dipl.-Ing.; Scheibe, Hans-Jürgen, Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren zum energetisch angepaßten Betrieb von Gleichstromlichtbögen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum energetisch angepaßten Betrieb von Gleichstromlichtbögen, insbesondere in Plasmageneratoren, zur Anwendung bei der Gaserhitzung, der Plasmachemie, des Plasmaspritzens, des Plasmaschmelzens und ähnlichen Anwendungen. Ziel ist ein vergrößerter Anwendungsbereich bei verringertem Betriebs- und Realisierungsaufwand. Hierzu soll ein erweiterter Arbeitsbereich bei verringertem Blindleistungsanteil sowie guter Prozeßstabilität erreicht werden. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die maximale Ausgangsgleichspannung der elektrischen Versorgungseinrichtung während der mittels einer Zündeinrichtung eingeleiteten Lichtbogenzündung bis zum Erreichen eines durch diese Zündeinrichtung mit zu realisierenden Mindeststromwertes als untere Schranke eines technologischen Arbeitsbereiches einen annähernd konstanten Höchstwert behält. Anschließend wird die maximale Ausgangsgleichspannung im gesamten, durch einen maximalen Nennstrom als obere Schranke, begrenzten, technologischen Arbeitsbereich stromabhängig in ihrem funktionellen Verlauf an die stationäre Bogenspannungs-Bogenstrom-Abhängigkeit des Gleichstromlichtbogens derart angepaßt, daß sie jeweils um einen annähernd konstanten Betrag größer ist als die dem jeweils gleichen Bogenstrom zuzuordnende stationäre Bogenspannung.

Erfindungsanspruch:

1. Verfahren zum energetisch angepaßten Betrieb von Gleichstromlichtbögen, insbesondere in Plasmageneratoren, die aus regelbaren elektrischen Versorgungseinrichtungen gespeist werden und die in weiten Arbeitsbereichen mit zunehmenden Bogenstrom eine kleiner werdende Bogenspannung aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, daß die maximale Ausgangsgleichspannung der elektrischen Versorgungseinrichtung während der mittels einer Zündeinrichtung eingeleiteten Lichtbogenzündung bis zum Erreichen eines durch diese Zündeinrichtung zu realisierenden Mindeststromwertes als untere Schranke eines technologischen Arbeitsbereiches einen annähernd konstanten Höchstwert behält, und anschließend im gesamten, durch einen maximalen Nennstrom als obere Schranke begrenzten, technologischen Arbeitsbereich stromabhängig in ihrem funktionellen Verlauf an die stationäre Bogenspannung-Bogenstrom-Abhängigkeit des Gleichstromlichtbogens derart angepaßt wird, daß sie jeweils um einen annähernd konstanten Betrag größer ist, als die dem jeweils gleichen Strom zuzuordnende stationäre Bogenspannung.
2. Verfahren nach Pkt. 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Betrag der Spannungsdifferenz zwischen der maximalen Ausgangsgleichspannung der elektrischen Versorgungseinrichtung und der stationären Bogenspannung im gesamten technologischen Arbeitsbereich zweckmäßig zwischen 10 % und 30 % der Bogenspannung beim maximalen Nennstrom gewählt wird.
3. Verfahren nach Pkt. 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die erfindungsgemäße funktionelle Stromabhängigkeit der elektrischen Versorgungseinrichtung günstig durch additive Überlagerung mehrerer Teilstromrichter erzeugt wird, wobei mindestens einer regelbar ausgeführt ist und die Ausgangsgleichspannungen der nicht regelbaren Teilstromrichter zusammen stets kleiner sind, als die im gesamten technologischen Arbeitsbereich mögliche stationäre Bogenspannung.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum energetisch angepaßten Betrieb von Gleichstromlichtbögen, insbesondere in Plasmageneratoren, die aus regelbaren elektrischen Versorgungseinrichtungen gespeist werden und die in weiten Arbeitsbereichen mit zunehmendem Bogenstrom eine kleiner werdende Bogenspannung aufweisen.

Es findet Anwendung beim Betrieb von Lichtbögen und Plasmageneratoren für Zwecke der Gaserhitzung, der Plasmachemie, des Plasmaspritzens, des Plasmaschmelzens und ähnlichen Anwendungen in der Plasmatechnologie, der Plasmatechnik und der Plasmaforschung.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Lichtbögen in Plasmageneratoren, wie sie zur Erzeugung hoher Energiedichten für technologische Aufgaben eingesetzt werden, sind in ihrem elektrischen Zweipolverhalten durch eine mit zunehmendem Bogenstrom abnehmende Bogenspannung gekennzeichnet. Diese Bogenspannungs-Bogenstrom-Abhängigkeit ist nichtlinear und wird in der Regel durch eine hyperbelähnliche Funktion näherungsweise beschrieben/Rieder, W.: Plasma und Lichtbogen, Verlag Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1967/.

Zum Betreiben derartiger Plasmageneratoren werden als elektrische Versorgungseinrichtungen zunehmend netzgeführte Thyristorgleichrichter eingesetzt. Diese liefern im gesamten Arbeitsbereich unabhängig von den Lastverhältnissen eine nahezu konstante maximale Ausgangsgleichspannung. Bisher angewendete Verfahren zum Betrieb von Gleichstromlichtbögen gehen grundsätzlich von einer leistungsmäßig nach dem höchsten zu realisierenden Bogenstrom und der höchsten zu realisierenden Bogenspannung des technologischen Arbeitsbereiches ausgelegten elektrischen Versorgungseinrichtung aus. Die besondere funktionelle Bogenspannungs-Bogenstrom-Abhängigkeit des Lichtbogens findet dabei keine Berücksichtigung.

Nach der in bekannter Weise eingeleiteten Zündung, z. B. mittels Hochspannungsdurchschlag zwischen den Elektroden und Betrieb der Plasmageneratoren in einem technologischen Arbeitsbereich, wird bei Variation des Bogenstromes die Anpassung der Ausgangsgleichspannung der netzgeführten Thyristorgleichrichter an die arbeitspunktabhängige Bogenspannung mittels Phasenanschnittsteuerung, d. h. durch Veränderung des Zündverzögerungswinkels der Stromrichterventile, gewährleistet/Gerber, R.: Kombinierte elektrische Ausrüstung für Windkanalantriebe oder Plasmabrenner-Speisung, BB Mitt. (1977), H. 2, S. 83-88/.

Da für eine Vielzahl von technologischen Anwendungen in der Regel vorgegebene Bogenstromwerte möglichst exakt eingehalten werden müssen, erfolgt während des Betriebes der Plasmageneratoren eine ständige Erfassung des Bogenstromwertes und Vergleich mit dem geforderten Stromsollwert. Bei Abweichungen des Arbeitspunktes durch z. B. betriebsmäßig auftretende Schwankungen im Bogenbrennverhalten wird durch die Wirkung eines elektronischen Stromreglers in Verbindung mit der Phasenanschnittsteuerung die Ausgangsgleichspannung des Thyristorgleichrichters so verändert, daß der geforderte Bogenstrom wieder erreicht wird. Hierzu muß in jedem einzustellenden Arbeitspunkt eine ausreichende Spannungsregelreserve vorhanden sein/Musikowski, H.-D.; Scheibe, H.-J.: Zur verbrauchergerechten Anpassung der Stromversorgung an Plasmatrons mittlerer Leistung, Wiss. Zeitschrift TH Magdeburg 24 (1980) H. 6 S. 75-79/.

Die bisher angewendeten Verfahren zum Betreiben von Gleichstromlichtbögen besitzen den Nachteil, daß nach erfolgter Lichtbogenzündung mit steigendem Bogenstrom die Ausgangsgleichspannung der elektrischen Versorgungseinrichtung durch ständiges Vergrößern des Zündwinkels der Stromrichterventile entsprechend dem arbeitspunktabhängigen Bogenspannungsniveau verringert werden muß. Dadurch bedingt wird die installierte elektrische Versorgungsleistung betriebsmäßig nicht ausgelastet und es wird besonders bei großen Bogenstromwerten wegen der großen Zündverzögerungswinkel ein hoher Blindleistungsanteil erzeugt, der erhöhte Betriebskosten verursacht und zusätzlichen Schaltungsaufwand für Kompensationsmaßnahmen erfordert.

Gleichermaßen führt der Betrieb mit großen Zündverzögerungswinkeln zu einer erhöhten Welligkeit der Ausgangsgleichspannung der elektrischen Versorgungseinrichtung bzw. des Bogenstromes, so daß zur Sicherung eines stabilen Lichtbogenbetriebes und zur Gewährleistung einer gleichbleibend guten Qualität des Plasmas ein hoher Glättungsaufwand erforderlich ist.

Es erweist sich weiterhin als Mangel bisheriger Verfahren, daß bei Verringerung des Bogenstromes wegen der sich dabei vergrößernden Bogenspannung die zum Ausregeln betriebsmäßig auftretender Schwankungen im Lichtbogenbrennverhalten

erforderliche Spannungsregelreserve zwischen der arbeitspunktabhängigen mittleren Bogenspannung und der maximalen relativ konstanten Ausgangsgleichspannung der elektrischen Versorgungseinrichtung ebenfalls verringert. Das führt bei Unterschreitung gewisser Mindestwerte der Spannungsregelreserve zu sehr instabilem Lichtbogenbrennverhalten, häufigem Lichtbogenabriß und damit zur Begrenzung des technologischen Arbeitsbereiches in Richtung kleiner Bogenstromwerte. Hierdurch verkleinert sich der Anwendungsbereich bei bekannten Stromversorgungsprinzipien.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren zum energetisch angepaßten Betrieb von Gleichstromlichtbögen, insbesondere in Plasmageneratoren, die aus regelbaren elektrischen Versorgungseinrichtungen gespeist werden, zu schaffen, das bei vergrößertem Anwendungsbereich verringerte Betriebskosten und einen verminderten Realisierungsaufwand besitzt.

Wesen der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum energetisch angepaßten Betrieb von Gleichstromlichtbögen, insbesondere in Plasmageneratoren, die aus regelbaren elektrischen Versorgungseinrichtungen gespeist werden, zu entwickeln, die trotz einer Verminderung der installierten Anlagenleistung der elektrischen Versorgungseinrichtung gegenüber dem Betrieb mittels herkömmlichen netzgeführten Thyristorstromrichteranlagen, einen erweiterten Arbeitsbereich, einen verminderten Blindleistungsanteil und eine im gesamten Arbeitsbereich gute Prozeßstabilität besitzt. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die maximale Ausgangsgleichspannung der elektrischen Versorgungseinrichtung während der mittels einer Zündeinrichtung eingeleiteten Lichtbogenzündung bis zum Erreichen eines durch diese Zündeinrichtung mit zu realisierenden Mindeststromwertes als untere Schranke eines technologischen Arbeitsbereiches einen annähernd konstanten Höchstwert behält. Anschließend wird die maximale Ausgangsgleichspannung im gesamten, durch einen maximalen Nennstrom als obere Schranke, begrenzten, technologischen Arbeitsbereich stromabhängig in ihrem funktionellen Verlauf an die stationäre Bogenspannungs-Bogenstrom-Abhängigkeit des Gleichstromlichtbogens derart angepaßt, daß sie jeweils um einen annähernd konstanten Betrag größer ist als die dem jeweils gleichen Bogenstrom zuzuordnende stationäre Bogenspannung.

Für die Anwendung des Verfahrens hat es sich als besonders günstig erwiesen, wenn der Betrag der Spannungsdifferenz zwischen der maximalen Ausgangsspannung der elektrischen Versorgungseinrichtung und der mittleren stationären Lichtbogenspannung im gesamten Arbeitsbereich des Stromes auf einen Wert zwischen 10% und 30% der Bogenbrennschpannung beim maximalen Nennstrom eingestellt wird.

Ebenso ist es zweckmäßig, wenn die erfindungsgemäße funktionelle Stromabhängigkeit der elektrischen Versorgungseinrichtung durch additive Überlagerung der Ausgangsspannungen mehrerer Teilstromrichter erzeugt wird, wobei mindestens einer regelbar ausgeführt sein soll. Bei Verwendung nichtregelbarer Teilstromrichter müssen deren Ausgangsgleichspannungen zusammen im gesamten Arbeitsstrombereich stets kleiner sein als die zugehörige Lichtbogenbrennschpannung.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

In den zugehörigen Figuren zeigen

Fig. 1: das Spannungs-Stromdiagramm für das erfindungsgemäße Zusammenwirken zwischen elektrischer Versorgungseinrichtung und Lichtbogen im Plasmagenerator und

Fig. 2: eine vorteilhafte Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Gemäß Fig. 1 wird mit Hilfe einer Zündeinrichtung ein Mindeststrom 1 auf der Charakteristik der Lichtbogenspannung als Funktion eines Stromes 2 erreicht. Im Bereich zwischen dem Mindeststrom 1 und einem maximalen Arbeitsstrom 2 wird die Ausgangscharakteristik der elektrischen Versorgungseinrichtung als Funktion des Stromes 4 um einen Spannungsbetrag ΔU größer gewählt als die Bogenbrennschpannung beim maximalen Arbeitsstrom 3. Auftretende Störungen können so im gesamten Arbeitsbereich mit gleicher Sicherheit ausgeregelt werden. In der Vorzugsvariante der Verfahrensrealisierung gemäß Fig. 2 wird die Charakteristik der elektrischen Versorgungseinrichtung durch eine ausgangseitige Reihenschaltung eines nichtregelbaren sechspulsigen Gleichrichters 5 mit dem nachgeschalteten Gleichrichter eines geregelten Schwingkreisumrichters 6 mit transformatorischer, galvanisch trennender Spannungsanpassung realisiert. Dabei wird der nichtregelbare Gleichrichter 5 gleichzeitig zur Erzeugung einer erforderlichen Zwischenkreisspannung für den Schwingkreisumrichter 6 verwendet. Das Ausgangsspannungsniveau 7 in Fig. 1 des Gleichrichters 5 ist so gewählt, daß es das Niveau der Lichtbogenspannung in keinem Punkt des Arbeitsstrombereiches erreicht. Die natürlichen maximalen Ausgangskennlinien der beiden Teilstromrichter zusammen passen sich an die Charakteristik des Lichtbogens so an, daß sie nur um etwa den Spannungsbetrag ΔU voneinander abweichen.

Daraus ergibt sich ein wesentlich verminderter Anteil installierter Anlagenleistung für den regelbar ausgeführten Anteil der elektrischen Versorgungseinrichtung. Dieser ist durch den schraffierten Bereich 8 in Fig. 1 gekennzeichnet. Die Begrenzung des Regelbereiches der Betriebsstromversorgung auf den Mindeststrom 1 und die damit verbundene Fixierung der Ausgangscharakteristik 4 auf einen konstanten Spannungswert bei kleinen Strömen dient der Beschränkung der Bauelementebelastung der elektrischen Versorgungseinrichtung.

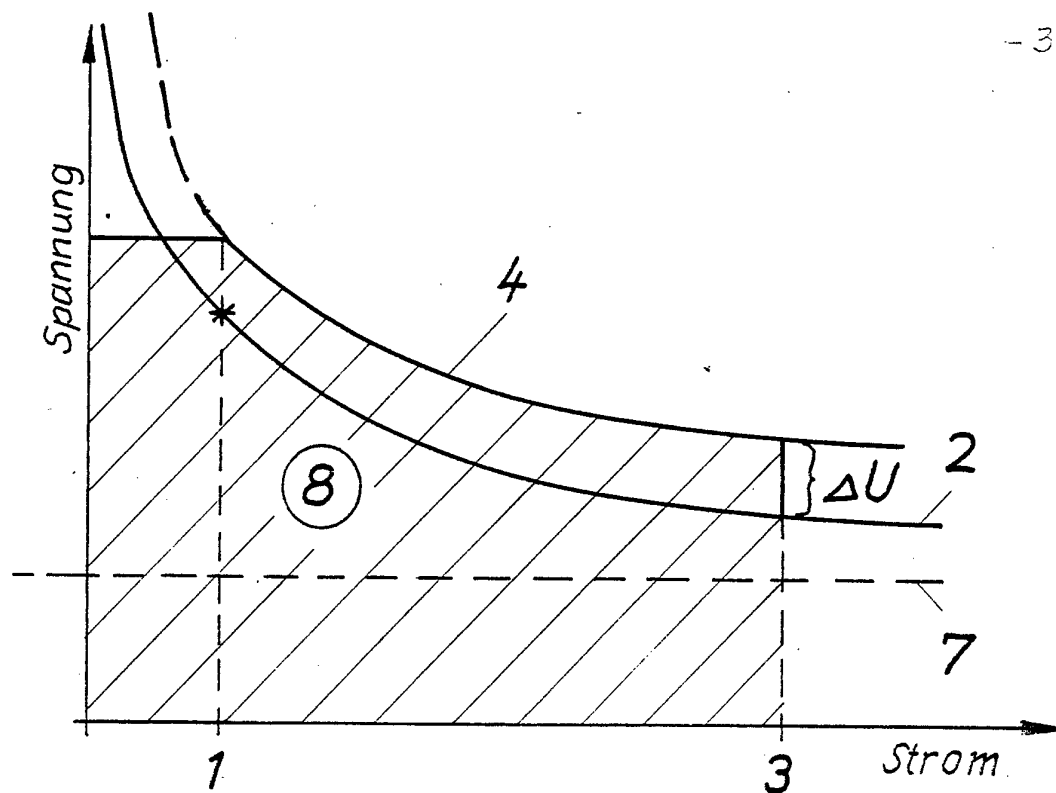


Fig. 1

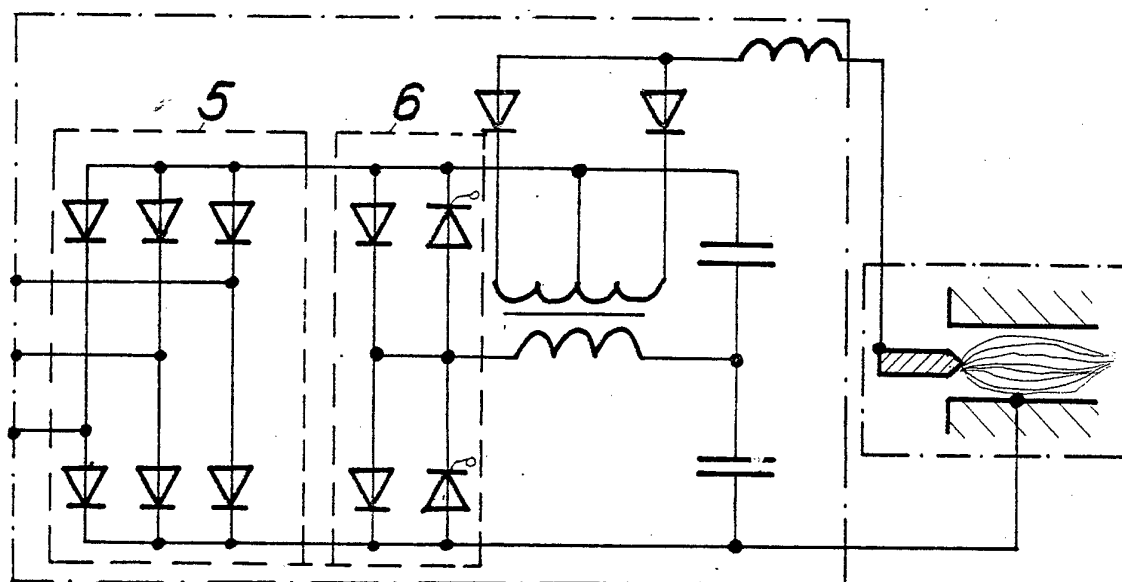


Fig. 2