Das Wanderungs- und Löschverhalten magnetisch beblasener Lichtbögen auf ringförmigen Elektroden in ruhendem SF6

Autor(en): **Zhang, S.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **73 (1982)**

Heft 21

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905033

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Das Wanderungs- und Löschverhalten magnetisch beblasener Lichtbögen auf ringförmigen Elektroden in ruhendem SF_6

S. Zhang

621.316.92:

Es wird über Untersuchungen des Wanderungs- und Löschverhaltens magnetisch beblasener Lichtbögen auf ringförmigen Elektroden in ruhendem SF_6 berichtet. Die Auswahl des Parameterbereiches ist vorzugsweise an Überspannungsableiter-Löschfunkenstrecken orientiert. Eine Reihe von typischen Effekten im Zusammenhang mit rotierenden Lichtbögen wird erläutert. Die Löschfähigkeit von konzentrischen und exzentrischen Ringelektroden wird verglichen.

Il s'agit d'un compte rendu de recherches sur le comportement de déplacement et d'extinction d'arcs soufflés magnétiquement entre électrodes toroïdales dans du SF_6 en repos. Le domaine des paramètres a été choisi plus particulièrement pour des distances disruptives de parasurtensions. Une série d'effets typiques, en relation avec des arcs tournants, sont expliqués. Le pouvoir d'extinction d'électrodes toroïdales concentriques est comparé à celui d'électrodes excentriques.

1. Einführung

Für den Überspannungsschutz von metallgekapselten SF_6-Anlagen mit geringer räumlicher Ausdehnung genügt es, konventionelle Ableiter am Freileitungseingang ausserhalb der Anlage zu installieren. Wegen des begrenzten Schutzbereiches des Überspannungsableiters ist es jedoch notwendig, bei ausgedehnten, gekapselten SF_6-Anlagen auch innerhalb der Anlagen Überspannungsableiter anzuordnen [1]. In diesen Fällen weist der herkömmliche N_2-isolierte Ableiter eine Reihe von Nachteilen auf. Eine denkbare Alternative sind Überspannungsableiter mit SF_6-isolierten Löschfunkenstrecken. Dafür sind genaue Kenntnisse über das Wanderungs- und Löschverhalten des Lichtbogens in ruhendem SF_6 notwendig.

Um ein konstantes Ansprechverhalten und eine lange Lebensdauer der Ableiter-Löschfunkenstrecke zu gewährleisten, muss man dafür sorgen, dass der nach dem Ansprechen des Ableiters zwischen den Funkenstrecken ausgebildete Lichtbogen sofort von der Ansprechstelle wegbewegt und bis zu seiner Löschung in kontinuierlicher Bewegung gehalten wird. Eine ringförmige Elektrodenanordnung, die für den Lichtbogen eine in sich geschlossene, praktisch unendlich lange Laufbahn bildet, bietet gegenüber anderen Elektrodenformen besondere Vorteile. Mit Hilfe der magnetischen Beblasung kann der Lichtbogen nach seiner Entstehung sofort in eine rasche Rotationsbewegung entlang der kreisförmigen Umlaufbahn versetzt werden und bis zu seiner Löschung in Bewegung bleiben. Dadurch wird der Elektrodenabbrand auf ein Minimum begrenzt und eine Beschädigung der Elektrodenoberfläche vermieden. Durch die schnelle Lichtbogenwanderung erhält man eine Relativbewegung zwischen Lichtbogen und Gas und dadurch eine intensive Kühlung des Lichtbogens.

Das Löschverhalten der Funkenstrecke im Stromnulldurchgang ist für das Gelingen der Stromunterbrechung entscheidend. Es ist deshalb erforderlich, das Ausschaltvermögen der ringförmigen Elektrodenanordnung in diesem Bereich eingehender zu untersuchen.

2. Versuchseinrichtungen

Die Anordnung der verwendeten Versuchselektroden zeigt Figur 1. Die ringförmigen Elektroden können konzentrisch oder exzentrisch angeordnet werden. Durch Veränderung des Elektroden-Durchmessers kann der Elektrodenabstand variiert werden. Es wurden überwiegend Kupferelektroden verwendet.

Für die Untersuchung des Lichtbogenwanderungsverhaltens wurde ein rechteckiger Stromstoss mit einem Scheitelwert von 1 bis 5 kA und einer Zeitdauer von etwa 6,5 ms verwendet; dieser Lichtbogenstrom wurde durch einen LC-Kettenleiter geliefert. Das magnetische Blasfeld (bis maximal etwa 400 mT) wurde durch ein Helmholtz-Spulenpaar erzeugt. Die vereinfachte Versuchsschaltung ist in Figur 2 dargestellt.

Um genaue Aussagen über die Gestalt und Bewegungsweise des rotierenden Lichtbogens zu ermöglichen, wurde der Lichtbogen während des Wanderungsvorganges mit einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt. Ausserdem wurden Wanderungsgeschwindigkeit und Umlaufdauer mit Hilfe einer optoelektronischen Schaltung gemessen.

Das Löschverhalten der ringförmigen Elektrodenanordnung wurde mit einer synthetischen Prüfschaltung nach dem Prinzip der gesteuerten Stromüberlagerung untersucht.

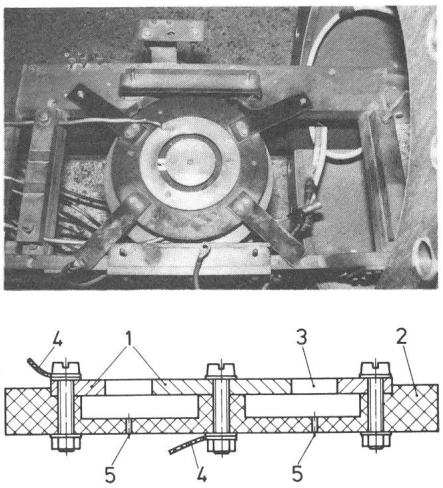

Fig. 1 Versuchsanordnung der ringförmigen Elektroden
Oben: Foto der Elektrodenanordnung
Unten: schematisches Schnittbild
1 Ringelektroden
2 Elektrodenträger
3 Ringspalt
4 Stromführung
5 Bohrung für Lichtleiter

Diese Arbeit hat der Autor als Stipendiat der Heinrich-Hertz-Stiftung am Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Hochspannungstechnik (Prof. Dr.-Ing. K. Möller) der RWTH Aachen verfasst.

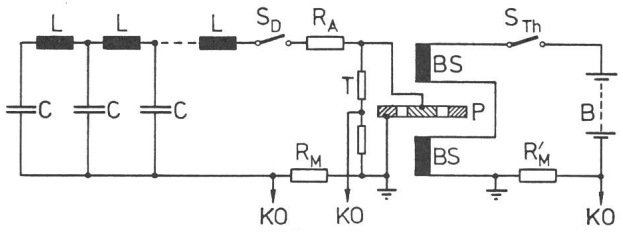

Fig. 2 Schaltung für Lichtbogenwanderungsversuche

L, C	Kettenleiterelemente	BS	Blasspulen
S_D	Draufschalter	S_{Th}	Thyristorschalter
R_A	Abschlusswiderstand	R'_M	Mess-Shunt
R_M	Messwiderstand	B	Akkumulatorenbatterie
T	Tastkopf	P	Prüfling

Der 50-Hz-Lichtbogenstrom wird von dem Hochstromkreis geliefert, während die wiederkehrende Spannung nach dem Stromnulldurchgang von einem Hochspannungskreis erzeugt wird. Um einen einwandfreien zeitlichen Ablauf des Versuchs zu gewährleisten, werden die einzelnen Kreise zueinander synchronisiert (Fig. 3).

3. Wanderungsverhalten

Ein typischer Effekt bei den auf Ringelektroden rotierenden Lichtbögen ist die Zunahme der Wanderungsgeschwindigkeit mit der Umlaufzahl. Aus Figur 4 ist ersichtlich, dass die Geschwindigkeit im zweiten Umlauf wesentlich grösser ist als die des ersten Umlaufs. Der weitere Geschwindigkeitszuwachs wird stetig kleiner, so dass nach einigen Umläufen eine nahezu konstante Geschwindigkeit erreicht wird. Der Grund dafür liegt in der grossen Abhängigkeit der Wanderungsgeschwindigkeit von der Gasdichte. Das umgebende Gas wird durch den rotierenden Lichtbogen entlang der Umlaufbahn stark erhitzt, so dass die Gasdichte und damit der Strömungswiderstand kleiner werden.

Bei der Lichtbogenwanderung in SF_6 wurde kein Einfahreffekt [2] wie in Luft festgestellt. Der sich auf den beanspruchten Cu-Elektrodenoberflächen gebildete Kupfersulfid-Belag zerfällt bereits bei Temperaturen, die deutlich unterhalb der Schmelztemperatur des Kupfers liegen [3]. Im Gegensatz dazu haben Oxydschichten einen höheren Schmelzpunkt als Kupfer und dadurch einen Einfluss auf

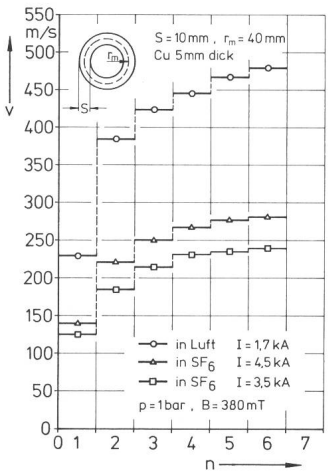

Fig. 4 Wanderungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Umlaufzahl

die Wanderungsgeschwindigkeit [4]. Die Geschwindigkeitssteigerung beim rotierenden Lichtbogen in SF_6 ist daher nur auf die Temperatur-Erhöhung und die Gasdichte-Erniedrigung entlang der kreisförmigen Umlaufbahn zurückzuführen.

Aus Figur 4 ist im übrigen zu erkennen, dass die Geschwindigkeiten in SF_6 wegen des Dichteunterschiedes viel niedriger liegen als in Luft bei sonst gleichen Bedingungen. Um die Lichtbogenwanderungsgeschwindigkeit in SF_6 zu vergrössern, muss die magnetische Beblasung verstärkt werden. Dazu ist ein Fremd-Magnetfeld notwendig.

Mit steigender Blasfeldstärke wachsen die antreibende Lorentz-Kraft und damit auch die Wanderungsgeschwindigkeit des Lichtbogens. Mit zunehmender Wanderungsgeschwindigkeit wird die Kühlung des Bogens intensiver, dadurch werden der Bogendurchmesser und folglich der Strömungswiderstand kleiner. Bei rascher Lichtbogenwanderung ist die thermische Belastung der Elektrodenoberflächen geringer, die Bogenfusspunkte sind beweglicher. Die gemessene Abhängigkeit zwischen Wanderungsgeschwindigkeiten und Blasfeldstärke kann durch Geraden approximiert werden (Fig. 5).

Wegen des unterschiedlichen Kreisumfanges von Aussen- und Innenelektrode und durch die unterschiedlichen Beweglichkeiten des Kathoden- und Anodenfusspunktes wird der auf Ringelektroden rotierende Lichtbogen während des Wanderungsvorganges verformt. Aufgrund der

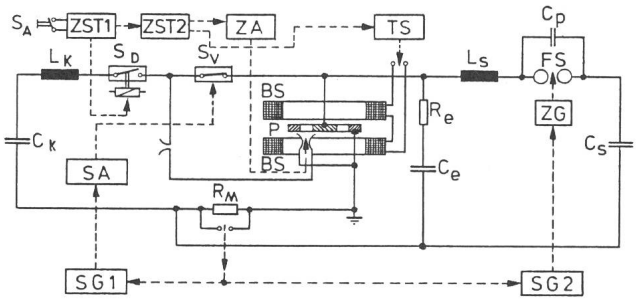

Fig. 3 Steuerung der synthetischen Versuchsanlage

S_A	Auslöser	ZST	Zeitsteuerung
TS	Thyristorschaltung	SG	Steuerungsgerät
SA	Stossauslöser	R_M	Messwiderstand
ZA	Zündanlage	ZG	Zündgerät

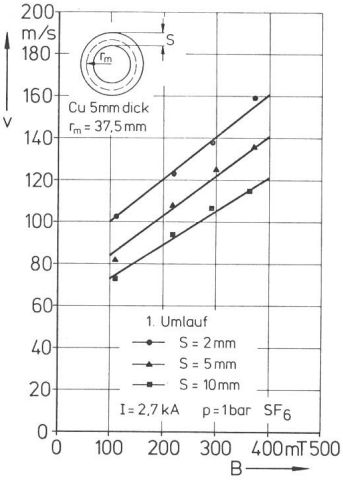

Fig. 5 Abhängigkeit der Wanderungsgeschwindigkeit vom magnetischen Blasfeld

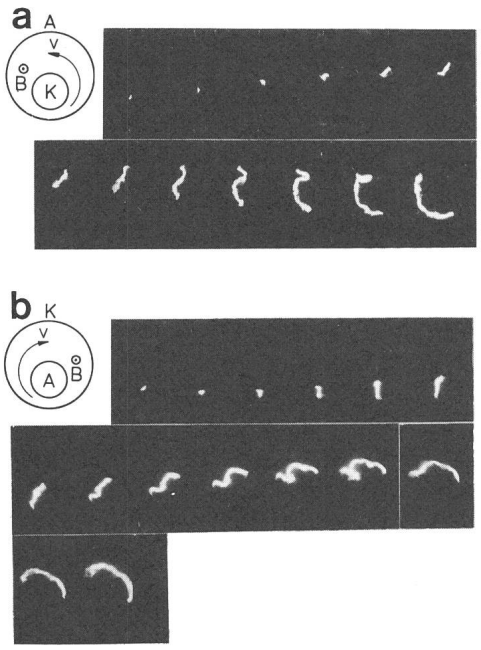

Fig. 6 Filmaufnahmen des rotierenden Lichtbogens auf exzentrischen Ringelektroden in SF_6

a Kathode als Innenelektrode, Lichtbogen linksdrehend $I = 1{,}0$ kA, $B = 109$ mT, $p = 1$ bar; Bildfrequenz 5000 B/s

b Anode als Innenelektrode, Lichtbogen rechtsdrehend, alle Daten wie bei a.

geometrischen Verhältnisse ist die Verformung des Bogens bei exzentrischer Elektrodenanordnung stärker als bei konzentrischer [5]. Ausschnitte aus zwei Hochgeschwindigkeits-Aufnahmereihen sind in Figur 6 wiedergegeben.

Der Lichtbogen wird an der engsten Stelle des Ringspaltes gezündet und läuft vom Zündort weg; seine Bewegungsrichtung wird dabei von der Polarität der Elektroden bestimmt. Der Fusspunkt auf der Innenbahn hat eine wesentlich grössere Winkelgeschwindigkeit und eilt dem auf der Aussenbahn sich bewegenden Fusspunkt mehr und mehr voraus. Dabei verlängert sich die Bogensäule. Es kommt schliesslich zur Neuzündung an einer engeren Stelle des Ringspaltes. Der Wechsel von Neuzündung und Verlängerung des Lichtbogens kann auch bei der Brennspannung beobachtet werden.

Der in SF_6 rotierende Lichtbogen hat grundsätzlich eine in Bewegungsrichtung vorgewölbte Form; daraus ist zu erkennen, dass die Wanderungsgeschwindigkeit durch das Fusspunktverhalten begrenzt wird und nicht durch das aerodynamische Verhalten der Bogensäule. Häufig sind die Verformungen der wandernden Lichtbögen jedoch in Einzelheiten noch komplizierter [5].

Die senkrecht aus den Elektrodenoberflächen austretenden Plasmastrahlen werden infolge der magnetischen Beblasung nach vorn gebogen. Die überbrückende Bogensäule ist sehr beweglich und leicht ablenkbar. Sie neigt durch Magnetfeldeinfluss und thermischen Auftrieb zur Schleifenbildung. Diese Erscheinung ist in SF_6 besonders ausgeprägt, weil der SF_6-Bogen im Vergleich zu Luft einen kleineren Durchmesser hat und das umgebende Gas eine höhere elektrische Festigkeit besitzt. Als Beispiele sind Ausschnitte aus den Filmaufnahmen in Figur 7 dargestellt. Um

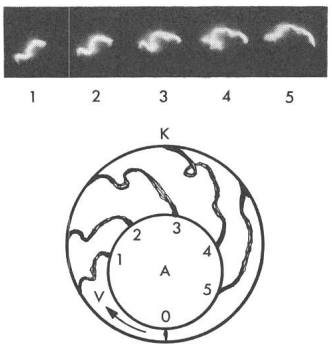

Fig. 7 Schleifenbildung des rotierenden Lichtbogens

Oben: Bogenaufnahmen
Unten: entsprechende Skizzen-Darstellung

die abgebildete Lichtbogenstruktur besser hervorzuheben, werden die Fotografien auch als Skizze dargestellt. Die Schleifenbildung erfolgt schrittweise während des Wanderungsvorganges. An der Stelle 4 ist eine ausgeprägte Bogenschleife entstanden. Kurz danach verschwindet sie durch Schleifenkurzschluss wieder.

Die Bewegungsweise der beiden Bogenfusspunkte ist in dem untersuchten Parameterbereich grundsätzlich unterschiedlich. Der Kathodenfusspunkt führt bei der ständigen Suche nach Stellen mit günstigen Emissionsbedingungen eine ungerichtete Bewegung und gleichzeitig infolge der magnetischen Beblasung eine nach vorn gerichtete Wanderung aus. In der Überlagerung dieser beiden Bewegungsmechanismen ergibt sich eine kontinuierliche Bewegung, bei der fein verästelt längliche Spuren auf der Kathodenoberfläche entstehen. An der Anode sind punktförmige, voneinander getrennte Spuren zu erkennen. Dies deutet darauf hin, dass sich der Anodenfusspunkt nur sprunghaft fortbewegen kann. Die Bogenfusspunkte setzen vorzugsweise an den Kanten der Elektroden an. Bei kleinerem Elektrodenabstand sind die Fusspunktspuren auf der oberen und unteren Kante gleichmässig verteilt. Mit zunehmender Ringspaltweite werden die beiden Fusspunkte verstärkt die obere Kante bevorzugen, bis schliesslich die Unterkante völlig verlassen wird. Die Auswertungen der Messergebnisse zeigen, dass die Polarität der Elektroden auf die Verformung und auf das Wanderungsverhalten des Lichtbogens einen Einfluss hat. Zusammenfassend ist zu bemerken:

- Die Verformung und Verlängerung des Bogens tritt stärker in Erscheinung, wenn die Anode Innenelektrode ist.
- Unter sonst gleichen Bedingungen brennt der Lichtbogen insgesamt ruhiger und seine mittlere Brennspannung ist niedriger, wenn die Innenelektrode Kathode ist (Fig. 8).
- Die Wanderungsgeschwindigkeit des rotierenden Lichtbogens wird höher, wenn die Innenelektrode Kathode ist (Fig. 9).
- Die Stärke des Polaritätseinflusses hängt mit den Abmessungen der Elektrodenanordnung zusammen. Bei einem bestimmten Elektrodenabstand wird der Polaritätseinfluss um so stärker, je grösser das Radienverhältnis von Aussen- und Innenelektrode ist, da der relative Längenunterschied zwischen Aussen- und Innenumlaufbahn ebenfalls grösser wird.
- Aufgrund der geometrischen Abmessungen ist bei exzentrischen Ringelektroden ein stärkerer Polaritätseinfluss als bei konzentrischen zu beobachten.

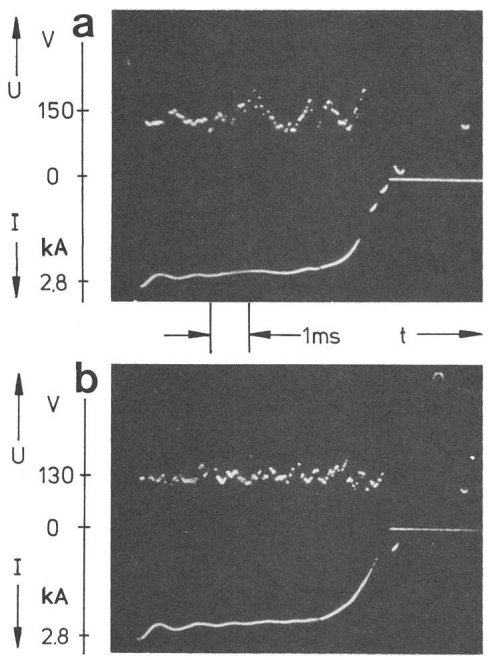

Fig. 8 Spannungs- und Stromoszillogramme von rotierenden Lichtbögen auf konzentrischen Ringelektroden in SF_6

a Anode als Innenelektrode
- S = 15 mm
- r_m = 27,5 mm
- I = 2,8 kA
- B = 220 mT
- p = 1 bar

b Kathode als Innenelektrode
alle Daten wie bei (a)

4. Lichtbogenspannung

Unter sonst vergleichbaren Bedingungen haben wandernde Lichtbögen eine höhere Brennspannung als stillstehende Lichtbögen, da der Lichtbogen bei der Bewegung intensiv gekühlt und dadurch zusätzliche Leistung entzogen wird. Eine Steigerung der Lichtbogen-Wanderungsgeschwindigkeit wird im allgemeinen auch eine Erhöhung der Bogen-Brennspannung bewirken.

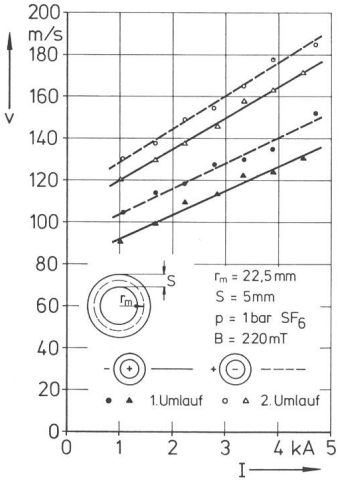

Fig. 9 Wanderungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Lichtbogenstrom bei unterschiedlicher Polarität der Elektroden

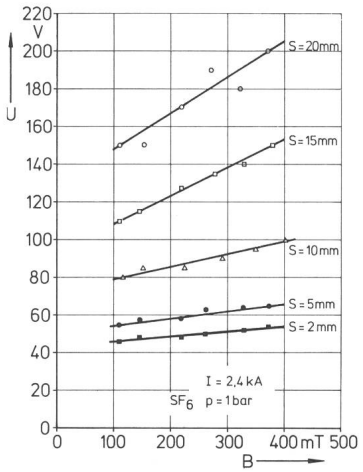

Fig. 10 Abhängigkeit der Brennspannung vom magnetischen Blasfeld

Figur 10 zeigt die Abhängigkeit der Brennspannung von der Induktion des magnetischen Blasfeldes. Aus diesem Bild ist zu erkennen:

- Die Brennspannung steigt mit zunehmender magnetischer Blasfeldstärke an.
- Die Steilheit der Brennspannungserhöhung ist vom Elektrodenabstand abhängig. Je grösser der Elektrodenabstand ist, desto steiler ist auch die Zunahme der Bogen-Brennspannung.
- Bei konstanter Blasfeldstärke und konstantem Lichtbogenstrom kann man durch Vergrösserung des Elektrodenabstandes eine erhebliche Steigerung der Brennspannung erreichen.

Die Kühlungswirkung infolge der magnetischen Beblasung ist vor allem auf die Bogensäule wirksam. Je länger der Lichtbogen wird, desto intensiver wird auch die brennspannungserhöhende Wirkung der magnetischen Beblasung. Dagegen sind die Spannungsabfälle in den Fusspunktgebieten nur geringfügig vom magnetischen Blasfeld abhängig. Bei konstantem Lichtbogenstrom von 2,4 kA und veränderlichen Blasfeldstärken von 100 bis 400 mT beträgt die Änderung der Spannungen in den Fallgebieten weniger als 5 V. Die Verformung und Verlängerung des Lichtbogens besonders bei grossen Ringspaltweiten bewirkt eine Verstärkung der Spannungserhöhung.

Mit zunehmendem Gasdruck wird die Beweglichkeit der Ladungsträger kleiner. Dies bewirkt eine Erniedrigung der Leitfähigkeit des Lichtbogens und damit eine Erhöhung seiner Spannung. Die Kühlung des Lichtbogens wird bei höherem Druck und damit bei höherer Dichte intensiver, was auch zur Erhöhung der Bogenspannung beiträgt.

Beim wandernden Lichtbogen ist noch zu berücksichtigen, dass die Wanderungsgeschwindigkeit mit wachsendem Druck abnimmt aufgrund des erhöhten Strömungswiderstandes. Dies würde zu einer Erniedrigung der Bogenspannung führen. Im untersuchten Parameterbereich überwiegt jedoch die spannungserhöhende Wirkung bei absinkender Wanderungsgeschwindigkeit. Das bedeutet, dass der SF_6-Bogen infolge der hohen Gasdichte bereits bei niedrigen Geschwindigkeiten sehr intensiv gekühlt wird. Zur Ver-

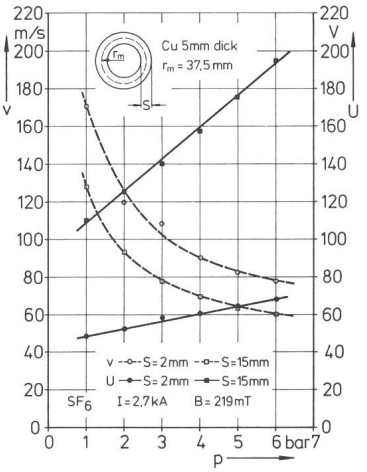

Fig. 11
Brennspannung und Wanderungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Gasdruck

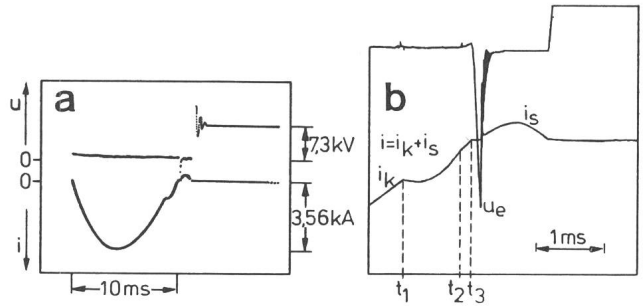

Fig. 13 Zeitlicher Verlauf der Ströme und Spannungen bei einer erfolglosen Stromunterbrechung an einer konzentrischen Ringelektrodenanordnung
a Oszillogramm des gesamten Schaltvorganges
b Oszillogramm des Stromnulldurchgangsbereiches

deutlichung sind in Figur 11 Bogenspannung und Wanderungsgeschwindigkeit gleichzeitig als Funktion des Gasdruckes aufgetragen. Trotz einer erheblichen Verringerung der Wanderungsgeschwindigkeit steigt die Bogenspannung bei höheren Drücken an.

Die Bogenspannung verändert sich mit der Umlaufzahl praktisch nicht; die Einflüsse von abnehmender Gasdichte und zunehmender Wanderungsgeschwindigkeit kompensieren sich weitgehend.

5. Das Löschverhalten von ringförmigen Elektrodenanordnungen

Das Gelingen der Stromunterbrechung hängt hauptsächlich von folgenden Faktoren ab: Höhe des zu unterbrechenden Stroms, Steilheit der wiederkehrenden Spannung, Druck des Löschgases, Stärke des magnetischen Blasfeldes sowie Geometrie und Abmessungen der Elektrodenanordnung.

Die Figuren 12 und 13 zeigen die zeitlichen Verläufe der Ströme und Spannungen mit konzentrischer Ringelektrodenanordnung. Der Lichtbogen wird im Zeitpunkt t_3 vorläufig gelöscht. Die Spannung an der Schaltstrecke schwingt von der niedrigen Bogenspannung auf die hohe wiederkehrende Spannung ein. Wenn der Wiederverfestigungsprozess der Schaltstrecke so schnell vor sich geht, dass die Schaltstrecke die wiederkehrende Spannung halten kann, ist die Stromunterbrechung endgültig gelungen, wie dies aus Figur 12 zu sehen ist. Falls die Anstiegsgeschwindigkeit der Einschwingspannung grösser ist als die der dielektrischen Wiederverfestigung, ist die Schaltstrecke nicht mehr in der Lage, die Einschwingspannung zu halten. Der bereits verlöschte Lichtbogen zündet wieder. Figur 13 zeigt das Beispiel einer misslungenen Stromunterbrechung.

Die Löschfähigkeit von konzentrischen Ringelektroden sinkt mit zunehmendem Ausschaltstrom und steigt mit wachsender Blasfeldstärke. Mit steigender Einschwingfrequenz verschlechtert sich das Löschverhalten der Ringelektrodenanordnung.

Die exzentrischen Ringelektroden zeigen eine charakteristische Abhängigkeit des Löschverhaltens vom magnetischen Blasfeld. Die Löschfähigkeit dieser Elektrodenanordnung wird durch eine Steigerung der Blasfeldstärke verschlechtert.

Der Vergleich des Löschverhaltens von konzentrischen und exzentrischen Elektrodenanordnungen bringt ein interessantes Ergebnis. In Figur 14 sind die Grenzkurven für gelungene Stromunterbrechungen von den beiden Elektrodenanordnungen mit vergleichbaren Abmessungen gegenübergestellt. Beim Vergleich kann man folgendes feststellen:

- Die Löschfähigkeit der konzentrischen Ringelektroden steigt mit zunehmender Blasfeldstärke an. Bei exzentri-

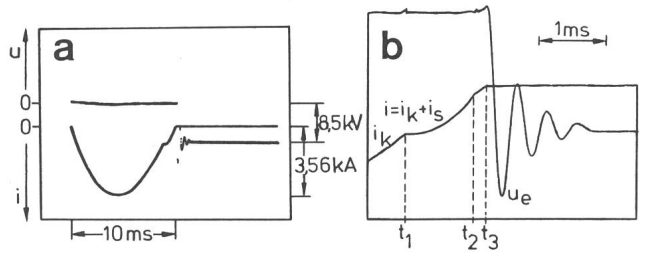

Fig. 12 Zeitlicher Verlauf der Ströme und Spannungen bei einer gelungenen Stromunterbrechung an einer konzentrischen Ringelektrodenanordnung
a Oszillogramm des gesamten Schaltvorganges
b Oszillogramm des Stromnulldurchgangsbereiches

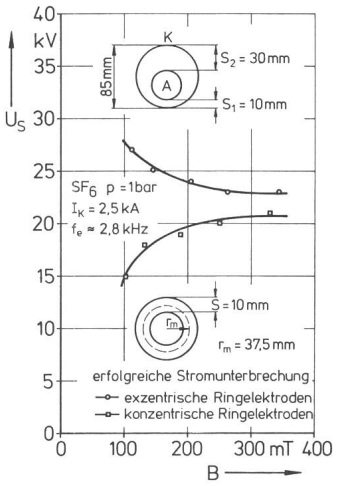

Fig. 14
Vergleich der Löschfähigkeiten konzentrisch und exzentrisch angeordneter Ringelektroden

scher Elektrodenanordnung verhält sich diese Abhängigkeit genau umgekehrt.

- Die Löschfähigkeit der exzentrischen Ringelektroden ist der der konzentrischen in dem ganzen Untersuchungsbereich überlegen. Diese Überlegenheit ist um so stärker, je kleiner das magnetische Blasfeld ist. Bei $B \approx 100$ mT ist die Löschfähigkeit der exzentrischen Elektrodenanordnung etwa 87 % höher als die der konzentrischen.

Für die Entwicklung von Überspannungsableiter-Löschfunkstrecken mit SF_6-Füllung scheint somit die exzentrische Ringelektrodenanordnung die bessere Lösung zu sein.

Literatur

[1] *B. Wahlström, B. Holmborn* and *A. Schei:* Protection contre les surtensions des postes au SF_6 enveloppe métallique. Philosophie de la coordination de l'isolement et caractéristiques des parafoudres. Rapport CIGRE No. 33-03, 1976.

[2] *D. Hesse:* Über den Einfluss des Laufschienenmaterials auf die Wanderungsgeschwindigkeit von Lichtbögen. Arch. Elektrotechn. 46(1961)3, S. 149...172.

[3] *J. Frost:* Lichtbogenwanderung im ruhenden SF_6. Bull.SEV/VSE, 72(1981) 3, S. 132...136.

[4] *G. Burkhard:* Über den Einfluss von Oxidschichten auf die Lichtbogenbewegung im Magnetfeld. Elektrie 20(1966)6, S. 229...232.

[5] *S. Zhang:* Das Wanderungs- und Löschverhalten magnetisch beblasener Lichtbögen auf ringförmigen Elektroden in ruhendem SF_6. Dissertation der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 1982.

Adresse des Autors

Dr.-Ing. *Shouyi Zhang*, Dozent an der Chekiang-Universität, Hangzhou, VR China.