Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 65 (1974)

Heft: 16

Artikel: Wechselwirkung zwischen dem Schaltlichtbogen und der Strömung gasförmiger Löschmittel

Autor: Hermann, W. / Horst, R. / Ragaller, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915442

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Wechselwirkung zwischen dem Schaltlichtbogen und der Strömung gasförmiger Löschmittel

Von W. Hermann, R. Horst, K. Ragaller, M. Sanders

621.316.5.014.31 : 621.316.5.064.4

In dem vorliegenden Artikel werden die physikalischen Prozesse beschrieben, die die Wechselwirkung zwischen einem Schaltlichtbogen und der intensiven axialen Strömung eines gasförmigen Löschmittels bestimmen. Ausgehend von diesen Grundkenntnissen lässt sich ein theoretisches Modell erstellen, mit dem sich der Lichtbogenquerschnitt sowie das Löschmittelströmungsfeld in der Düsenzone abhängig vom Bogenstrom, Absolutdruck, Differenzdruck, Düsengeometrie und Gaseigenschaften berechnen lassen. Diese Zusammenhänge liefern wichtige Aussagen für die Gestaltung der Düsenzone, der Zuströmgeometrie sowie des Antriebs eines Kompressionskolbenschalters bzw. des Gasreservoirs eines Zweidruckschalters.

Dans cet article sont décrits les processus physiques qui déterminent l'interaction entre un arc de manœuvre et l'écoulement axial intensif d'un agent d'extinction gazeux. Ces connaissances fondamentales permettent d'établir un modèle théorique, à l'aide duquel on peut calculer la section de l'arc, ainsi que le champ d'écoulement de l'agent d'extinction dans la zone de la tuyère, en fonction du courant d'arc, de la pression absolue, de la pression différentielle, de la géométrie de la tuyère et des propriétés du gaz. Ces relations fournissent d'importantes indications pour l'aménagement de la zone de la tuyère et la géométrie du flux, ainsi que pour l'utilisation d'un interrupteur à piston de compression ou du réservoir de gaz dans le cas d'un interrupteur à double pression.

1. Einleitung

Die ständig steigenden Anforderungen an die Hochspannungsschalter machen es nötig, bei der Entwicklung neuer sowie der Verbesserung bestehender Anordnungen alle vorhandenen Hilfsmittel einzusetzen. Dies bedeutet, dass man in immer grösserem Ausmass auch die grundlegenden physikalischen Kenntnisse über Lichtbogenplasmen ausnutzt, um theoretisch Aussagen über das Verhalten eines Lichtbogens in einer speziellen Schaltanordnung zu gewinnen. Der dabei erhaltene Zusammenhang zwischen dem Bogenverhalten und verschiedenen konstruktiven Massnahmen gibt wesentliche Hilfen beim Dimensionieren und Optimieren des Schalters. Als Beispiel für die Anwendung physikalischer Grundlagen wird in diesem Artikel gezeigt, wie die Wechselwirkung zwischen dem Schaltlichtbogen und der Löschmittelströmung in Gasschaltern theoretisch ermittelt werden kann und wie die dabei gewonnenen Aussagen in der Schalterentwicklung eingesetzt werden.

Sowohl in Druckluft als auch in SF_6-Schaltern wird der Lichtbogen durch eine intensive Längsströmung des gasförmigen Löschmittels beblasen. Diese muss einerseits in der Hochstromphase eine Zerstörung der Schaltstrecke durch den Lichtbogen verhindern, andererseits in der Nähe des Stromnulldurchgangs die leitfähige Plasmasäule schnell genug abbauen, um ein Wiederzünden des Lichtbogens bei wiederkehrender Spannung zu verhindern.

Solch eine Längsströmung erzeugt man, indem man das Löschgas aus einem Hochdruckreservoir oder Kompressionsvolumen durch eine oder mehrere Düsen, in deren Achse der Lichtbogen brennt, auf Niederdruck expandieren lässt. Dieses Grundprinzip ist an der in Fig. 1 gezeigten Anordnung zu erkennen, die eine Versuchsanordnung zur detaillierten Untersuchung von Schaltlichtbögen darstellt [1] [1]). Man erkennt den Lichtbogen, der zwischen zwei Metallkontakten in der Achse einer hier aus Quarz gefertigten Düse brennt. Diese Düse ragt in ein Hochdruckgefäss, in dem das Löschgas unter einem Druck von mehreren Atmosphären gespeichert ist. Das Gas strömt von rechts in die Düse und expandiert längs der Düse auf den Druck in einem Auspuffgefäss, das sich links anschliesst. Dabei bildet sich bei genügend hohem Druckunterschied eine Überschallströmung aus, die den Lichtbogen stabilisiert und kühlt.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Artikels.

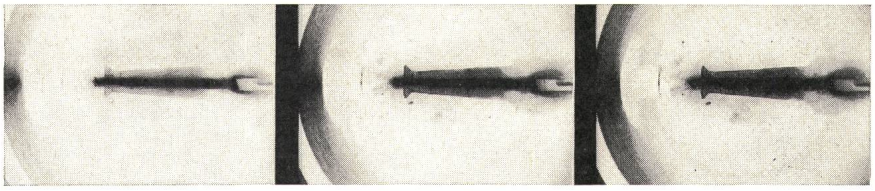
Die Form und der Durchmesser des Lichtbogens werden stark durch die Gasströmung bestimmt. Auf der anderen Seite beeinflusst der Lichtbogen sehr stark die Löschmittelströmung; im Falle der sog. «Düsenverstopfung» kann er diese fast vollständig zum Erliegen bringen. Es besteht also eine starke Wechselwirkung zwischen Bogen und Gasströmung, die für das Schaltvermögen von ausschlaggebender Bedeutung sein kann.

Ähnlich wie man den Lichtbogen als ein Element des elektrischen Kreises behandeln kann, wenn man den Zusammenhang zwischen dem Bogenverhalten und den elektrischen Grössen wie Bogenspannung und Bogenstrom kennt, kann man die Lichtbogenzone als Teil des Strömungssystems im Schalter behandeln, wenn die Wechselwirkung zwischen Lichtbogen und Gasströmung bekannt ist. Das ist ganz besonders wichtig im Fall des Kompressionskolbenschalters, da bei diesem die Bewegung des Antriebs, der Druckaufbau und die Löschmittelströmung im Lichtbogenbereich besonders stark gekoppelt sind. Die Berechnung der Wechselwirkung zwischen Gasströmung und Lichtbogen ist dort deshalb ein wesentliches Hilfsmittel bei der Dimensionierung des Antriebs und der Strömungsgeometrien. Doch auch beim Zweidruckniveau-Schalter sind diese Kenntnisse eine grosse Hilfe bei der Auslegung des Gasreservoirs und der Strömungsquerschnitte.

2. Der Schaltlichtbogen in axialer Löschmittelströmung

Beim Öffnen eines jeden Schalters unter Belastung entsteht zwischen den sich trennenden Kontakten ein Lichtbogen, der Zerstörungen an der Schaltstrecke anrichten kann. Deshalb wird er durch eine intensive Gasströmung längs des Lichtbogens gekühlt und stabilisiert. Unabhängig davon, ob es sich um einen Doppel- oder Einfachdüsenschalter, einen Metall- oder Isolierdüsenschalter handelt, brennt der Lichtbogen längs der Achse von einer oder mehreren Düsen (Fig. 2). Durch diese Düsen expandiert Gas aus einem Hochdruckvolumen in ein Auspuffvolumen, wobei darauf geachtet wird, dass das Druckverhältnis möglichst überkritisch ist, die Löschmittelströmung also nach dem Düsenengnis der Düse Überschallgeschwindigkeit erreicht. In der Kontaktzone der Fig. 2 ist der zwischen den Kontakten in der Düsenachse brennende Lichtbogen und der Weg der Gasströmung (gebrochene Linie) am Beispiel eines Kompressionskolbenschal-

Fig. 1
Versuchsapparatur zur Untersuchung von Schaltlichtbögen in Düsenströmungen



ters skizziert. Ohne Lichtbogen wird das Löschgas entsprechend der anliegenden Druckdifferenz und der konvergent-divergenten Form der Düse beschleunigt. Brennt ein Lichtbogen in der Strömung, so wird auch im Lichtbogen Gas beschleunigt. Dieses Gas dringt aus der Löschmittelströmung in den Lichtbogen ein und wird dabei auf die Plasmatemperatur aufgeheizt. Da die Gasdichte in dem heissen Bogen sehr klein ist, ist die dort strömende Masse gering, verglichen mit dem ausserhalb des Lichtbogens vorhandenen Massenfluss, der auch in der Düse seine ursprüngliche niedrige Temperatur beibehält. Daher wirkt der Lichtbogen auf die Löschmittelströmung wie ein Hindernis, das die Strömung auf den Querschnitt ausserhalb des Bogens beschränkt. Mit zunehmendem Bogenradius wird die Löschmittelströmung immer mehr verkleinert. Erreicht der Lichtbogenquerschnitt den Durchmesser der Düse, so wird die Gasströmung fast vollständig zum Erliegen gebracht, man spricht dann von Düsenverstopfung.

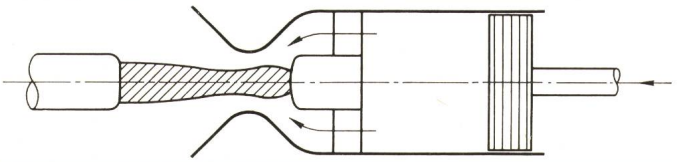


Fig. 2 Prinzipskizze eines Kompressionskolbenschalters

Ebenso wie der Lichtbogen die Strömung stark beeinflusst, entscheidet die Löschmittelströmung über den Querschnitt des Lichtbogens. Der Druckverlauf in der Kaltgasströmung bestimmt die Beschleunigung des Gases innerhalb des Lichtbogens und dadurch die Gasmenge, die aus der Kaltströmung in den Bogen eindringt. Die Temperatur und der Radius des Lichtbogens stellen sich nun gerade so ein, dass diejenige Energiemenge über den Bogenrand nach aussen fliesst, die benötigt wird, um das Gas aufzuheizen, das in den Bogen eindringt. Dabei spielen die Formen des Energietransports aus dem Bogenkern nach aussen eine grosse Rolle, wie Wärmeleitung, Strahlung oder in bestimmten Düsenbereichen die turbulente Mischung. Diese Prozesse hängen stark von den Gaseigenschaften und dem Gasdruck ab. Damit werden die Temperatur und der Querschnitt des Lichtbogens bei einem bestimmten Bogenstrom durch die Gaseigenschaften, den absoluten Druck und den Druckabfall in der Löschmittelströmung bestimmt.

Die hier geschilderten Zusammenhänge können durch mathematische Formeln ausgedrückt werden. Formt man diese in geeigneter Weise um, so erhält man einen Ausdruck für die Abhängigkeit des Bogendurchmessers vom Bogenstrom, dem Druckabfall über eine bestimmte Länge, dem Gasdruck und von Gaseigenschaften wie elektrischer Leitfähigkeit, Abstrahlung, Dichte und Enthalpie. In den folgenden zwei Abschnitten wird an Beispielen gezeigt, wie die geschilderten Zusammenhänge bei der Gestaltung der Kontaktzone und der Auslegung des Druckreservoirs bzw. des Antriebs beim Kompressionskolbenschalter benutzt werden.

3. Anwendung auf die Gestaltung der Kontaktzone

Ist die Düsengeometrie mit einem bestimmten Stand der beweglichen Kontakte vorgegeben und kennt man den Lichtbogendurchmesser, so kann man für den Kaltgasbereich das Strömungsfeld ermitteln. Im wesentlichen ist dieses bestimmt durch die anliegende Druckdifferenz und durch den Verlauf der Querschnittsflächen zwischen Düsenwand und Lichtbogen, den die Löschmittelströmung vorfindet. Beschrieben wird das Strömungsfeld durch den Verlauf einzelner Strömungslinien. Wichtige Aussagen erhält man zusätzlich durch Darstellen der Isobarenflächen, d. h. der Flächen bzw. Linien konstanten Druckes, auf denen die Strömungslinien senkrecht stehen. Als Beispiel gibt Fig. 3 das Strömungsfeld in einer besonderen Düsenvariante wieder. Man erkennt die Isolierdüse und die Kontur des feststehenden sowie des beweglichen Kontakts. Längs der Achse der Anordnung brennt der Lichtbogen, dessen Durchmesser einem bestimmten Bogenstrom entspricht. Die Strömungslinien geben den Weg einzelner herausgegriffener Gaselemente wieder. Das Löschgas strömt von rechts oben in den Düsenbereich. Aus der Variation der Strömungsquerschnitte erhält man die Druckvariation längs der Strömung. Die einzelnen eingezeichneten Isobarenflächen sind durch Zahlen gekennzeichnet, die zugehörigen Druckwerte können direkt berechnet werden. Ausserdem lassen sich die jeder Isobare entsprechenden Strömungsgeschwindigkeiten und die Laufzeiten eines imaginären Teilchens von der Isobare 1 zu der jeweils betrachteten Isobare angeben. Das gezeichnete Strömungsfeld und die zugehörigen Verläufe von Druck und Geschwindigkeit ändern sich mit dem Lichtbogendurchmesser und mit der Position des beweglichen Schaltstiftes.

Aus dem gezeichneten Strömungsbild und den zugehörigen Zahlenwerten lassen sich eine ganze Reihe von Aussagen gewinnen, die zu einer Optimierung der Düsenzone herangezogen werden können:

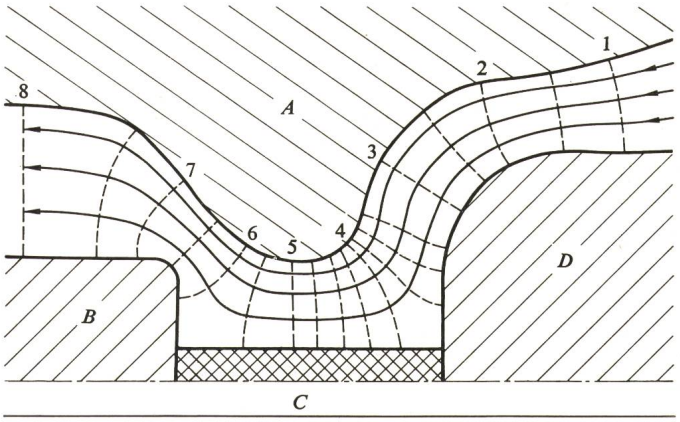


Fig. 3 Löschmittelströmungsfeld im Düsenbereich

A Düse
B beweglicher Kontakt
C Lichtbogen
D Festkontakt
1...8 Isobarenflächen

Nach dem Trennen der Kontakte brennt der Lichtbogen im allgemeinen zunächst seitlich zwischen den Kontakten. Von dort soll er durch die Gasströmung möglichst schnell in die Achse eingezogen werden. Die Dauer dieses Einziehvorganges hängt stark von der Geschwindigkeitsverteilung des Gases in der Fusspunktgegend ab. Die Stellen, an denen die Lichtbogenfusspunkte nach der Kontakttrennung standen, sind während dieses Prozesses besonders stark belastet worden und daher mit Abbrandmaterial verseucht. Diese Verschmutzung muss durch intensive Bespülung der gefährdeten Stelle durch die Gasströmung behoben werden. Teile des abgebrannten Materials werden in das Umgebungsgas zum Teil in den Zuströmkanal geschleudert. Mit Hilfe der Laufzeit lässt sich abschätzen, nach welcher Zeit diese Verschmutzungsteile aus verschiedenen Gebieten in besonders gefährdete Zonen hereingeschwemmt werden.

Der absolute Druck im Staupunkt sowie der Druckabfall zwischen Staupunkt und Düseneinlauf, die sich aus dem Strömungsbild ablesen lassen, bestimmen einerseits den Bogenquerschnitt, der einem speziellen Bogenstrom entspricht. Damit lässt sich für einen gegebenen Maximalstrom der mögliche engste Düsenquerschnitt festlegen. Andererseits bestimmen Absolutdruck und Druckabfall die Geschwindigkeit, mit der in der Umgebung des Nulldurchganges die leitfähige Bogensäule abgebaut wird, sie beeinflussen also das Verhalten bezüglich thermischer Wiederzündung. Wichtig für das dielektrische Verhalten ist die Länge des Lichtbogens im Hochdruckteil. Auch diese Länge, über die der Druck nicht wesentlich von dem Staupunktswert abgefallen ist, lässt sich aus dem Strömungsbild entnehmen.

Das momentane Strömungsfeld bestimmt den momentanen Lichtbogenquerschnitt. Andererseits beeinflusst der Bogendurchmesser und seine Variation mit dem Bogenstrom und der Geometrie die Löschmittelströmung sehr stark. Zur Klärung vieler Fragen ist es wichtig, die zeitliche Variation des Bogenquerschnittes bei gegebenem Verlauf des Bogenstroms und der Kontaktbewegung zu kennen. Der Vergleich eines theoretisch aus der Wechselwirkung zwischen Lichtbogen und Löschmittelströmung ermittelten zeitlichen Verlaufs des Bogenquerschnitts mit Messwerten an einem Schalter des Typs ELK [2] ist in Fig. 4 gezeigt. Aufgetragen ist der Lichtbogenradius über die Zeit für zwei verschiedene Stromeffektivwerte. Die zeitliche Variation des Bogenradius

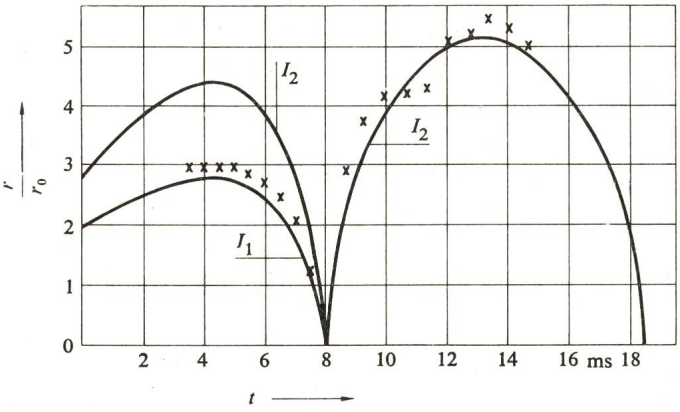


Fig. 4 Zeitliche Variation des Lichtbogenradius r für zwei verschiedene Stromeffektivwerte I_1 und I_2
Vergleich zwischen Experiment (×) und Theorie

ist gegenüber dem sinusförmigen Stromverlauf verzerrt, da der Radius stark von der Düsenzonen-Geometrie abhängt, die sich mit der Bewegung des Schaltstiftes verändert. Die Kreuze in der Zeichnung geben Messwerte wieder, die aus Schmieraufnahmen des Bogenquerschnittes an einem ELK-Schalter gewonnen wurden. Die Messungen wurden für einen Prüffall durchgeführt, bei dem Phasenwinkel und Amplitude des Stromverlaufs sowie die Geschwindigkeit des Schaltstiftes mit den in der Rechnung benutzten Werten übereinstimmten. Wie man sieht, geben die theoretischen Kurven die wirklichen Verläufe des Bogendurchmessers sehr gut wieder. Somit ist durch den Vergleich mit den Messergebnissen die Brauchbarkeit und Güte des theoretischen Modells bestätigt worden. Man kann nun die theoretischen Kurven zur Gewinnung weiterer Aussagen heranziehen und sie auch auf andere Probleme oder Geometrien anwenden. Die hier gezeigte Ergänzung von Messmethode und theoretischem Modell bewährt sich bei der Lösung vieler Probleme in der Schalterentwicklung. Durch Messungen wird die Theorie bzw. die Abweichung der Wirklichkeit von dem theoretisch beschriebenen Idealfall getestet. Danach können mit Hilfe der Theorie zahlreiche Fragen und Probleme untersucht werden, die durch das Experiment bzw. durch Versuchsreihen nicht oder nur mit grossem Aufwand geklärt werden können.

4. Anwendung auf die Auslegung der Zuströmgeometrie und des Antriebs

Der Druckabfall im Vorratsgefäss eines Zweidruckniveauschalters ebenso wie der Druckaufbau im Kompressionsvolumen eines Kompressionskolbenschalters hängen stark von der Löschmittelmasse ab, die durch die Düsengeometrie abströmt. Diese Gasströmung wird benötigt, um den Lichtbogen zu kühlen, seinen Querschnitt zu begrenzen und ihn nach dem Nulldurchgang schnell zu löschen.

Die Massenflussdichte im Lichtbogen ist vernachlässigbar klein gegen den Kaltgasbereich. Deshalb ist für den Massenfluss praktisch nur der Strömungsquerschnitt der Kaltgasströmung wirksam. Der Lichtbogen beeinflusst also den Massenverlust durch die Düsen sehr stark, da sein mit dem Bogenstrom variierender Durchmesser den Strömungsquerschnitt der Düse mehr oder weniger verkleinert. Der Düsenquerschnitt wird normalerweise so gross ausgelegt, dass der Bogen auch bei den maximal auftretenden Strömen noch gut beblasen wird. Bei diesen hohen Strömen ist der Massenfluss durch die Düsen auf sehr kleine Werte reduziert. Bei kleinen Stromwerten dagegen steht der Strömung ein sehr grosser Querschnitt zur Verfügung und es geht sehr viel Löschgas verloren. Diese Zusammenhänge zeigt Fig. 5, in dem der Massenfluss durch das der Fig. 3 entsprechende Düsensystem für einen bestimmten Druck im Hochdruckvolumen in Abhängigkeit vom Bogenstrom aufgetragen ist. Mit wachsendem Strom verkleinert der Lichtbogen den Querschnitt der Düse, entsprechend sinkt der Massenfluss ab. Der Knick in der Kurve entspricht dem Stromwert, bei dem der Lichtbogen gerade den Düsenquerschnitt ausfüllt. Der Massenfluss bei noch höheren Strömen gibt die Massenströmung durch den heissen Lichtbogen wieder. Dieser ist sehr klein gegen den Massenfluss durch die Düse ohne Bogen. Bei der sinusförmigen Variation des Bogenstromes wird die Kurve innerhalb einer Halbwelle von links nach rechts bis zum

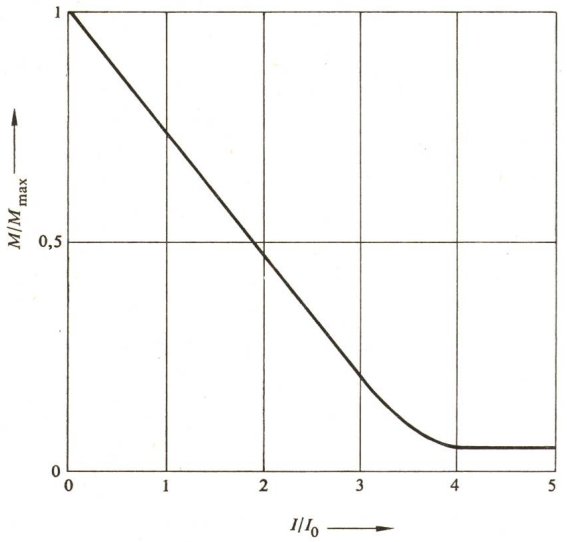


Fig. 5 Löschmittelfluss M durch das Düsensystem in Abhängigkeit vom Bogenstrom I

Maximalstrom und zurück zur Ordinate durchlaufen. Durch Aufsummieren der momentanen Werte des Massenflusses erhält man den gesamten Verlust an Löschmittel.

Welche Bedeutung die Kenntnis dieser Zusammenhänge für die Auslegung der Druckversorgung hat, soll im folgenden am Beispiel des Kompressionskolbenschalters gezeigt werden. Die Wirkungsweise dieses Schaltertyps ist in der Prinzipskizze von Fig. 2 dargestellt. Durch den Antrieb wird ein Kolben in Bewegung gesetzt, der auf der Hochdruckseite ein Volumen verkleinert und dadurch das Löschmittelgas, hier SF_6, in diesem komprimiert. Diese Kompression beginnt bereits vor Öffnen der Kontakte, so dass im Augenblick der Kontakttrennung eine geforderte Druckdifferenz zwischen beiden Seiten der Düsenzone vorhanden ist. Diese führt bei der Freigabe der Düse durch den beweglichen Kontakt zum Einsetzen einer intensiven Gasströmung aus dem Kompressionsvolumen durch die Düsen, die den Lichtbogen axial bebläst und dadurch kühlt und stabilisiert. Durch diese Löschmittelströmung geht dem Kompressionsvolumen Masse verloren, so dass der Druckaufbau bei gleichbleibender Kompression verlangsamt wird. Das Anwachsen des Druckes im Konpressionsvolumen ergibt sich also aus der Bilanz zwischen der Volumenverkleinerung durch den Kolben auf der einen Seite und dem Massenverlust durch die Löschmittelströmung auf der anderen Seite. Letzterer wird jedoch sehr stark von dem Lichtbogen beeinflusst, wie in Fig. 5 zu erkennen ist. Somit wirkt sich der Querschnitt des Lichtbogens und seine Variation auf den Druckaufbau im Kompressionsvolumen aus, indem er durch Veränderung der freien Strömungsquerschnitte in den Düsen den Massenabfluss steuert. Auf der anderen Seite hängt der Lichtbogenquerschnitt neben dem Bogenstrom stark vom Absolutdruck und dem Druckabfall im Düseneinlaufgebiet und damit vom Druck im Kompressionsvolumen ab. Ist der Druck im Kolbenvolumen sehr hoch gegenüber dem Auspuffdruck, so ist der Bogendurchmesser relativ klein und es kann viel Masse abströmen. Ist dagegen der Druck im Kolbenvolumen verhältnismässig klein, so ergibt sich ein grösserer Bogenquerschnitt und der Massenabfluss wird stärker reduziert. So steuert einerseits der Lichtbogen über den Massenabfluss den Druckaufbau, andererseits beeinflusst der erzeugte Druck durch die Löschmittelströmung den Lichtbogen. Ein weiterer Zusammenhang besteht dadurch, dass die Beschleunigung des Kolbens und damit seine Geschwindigkeit durch den im Kompressionsvolumen aufgebauten Gegendruck bestimmt wird. Damit ergibt sich eine starke Beziehung zwischen der Wirksamkeit des Antriebs und dem Verhalten des Lichtbogens in der Düsenzone. Aus diesem Grund lässt sich der Antrieb des Kolbens nur dann optimal dimensionieren, wenn die genannten Zusammenhänge bekannt sind und berechnet werden können. Die gesamte Wechselwirkung der einzelnen Prozesse lässt sich mathematisch formulieren und für spezielle Anordnungen berechnen, wenn der Zusammenhang zwischen Löschmittelströmung und Lichtbogen bekannt ist, z. B. in der in Fig. 5 gezeigten Form.

Ein Ergebnis für den Druckaufbau mit Berücksichtigung der genannten Wechselwirkung ist in Fig. 6 gezeigt. Dort ist der Druck im Kompressionsvolumen in Abhängigkeit von der Zeit für verschiedene Effektivwerte des Bogenstromes aufgetragen. Nach Kontakttrennung ist der Druckanstieg um so langsamer, je kleiner der Effektivwert des Stromes ist. Man erkennt die Welligkeit der Druckkurve, die dem zeitlichen Verlauf der Stromkurve entspricht. Entsprechende Kurven sind der Ausgangspunkt für die Optimierung des Kolbenantriebs.

5. Schlussbemerkungen

Die beschriebenen Zusammenhänge und ihre Anwendbarkeit auf konkrete Schalterprobleme stellen ein spezielles Beispiel für den Einsatz physikalischer Methoden in der

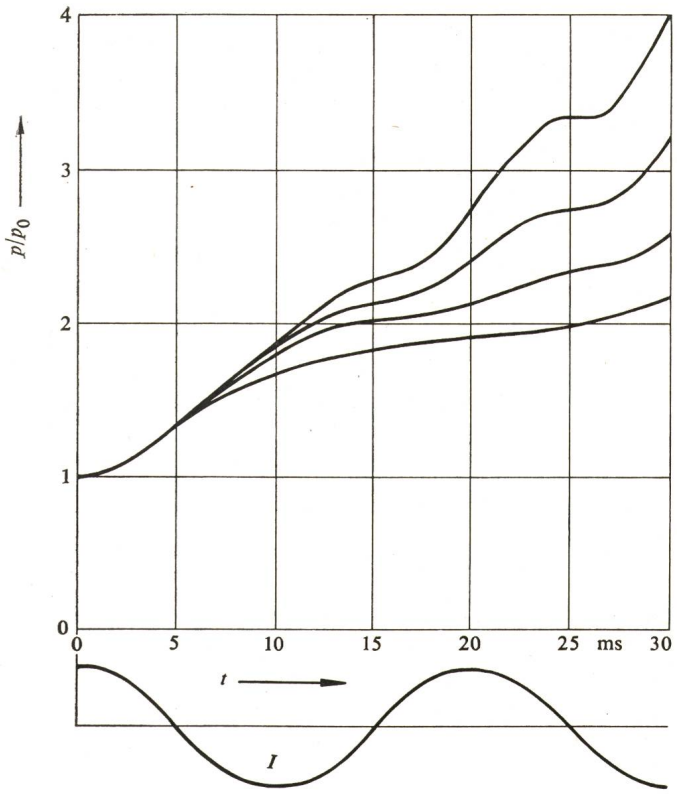


Fig. 6 Zeitlicher Druckverlauf p–t im Kompressionsvolumen des Kompressionsschalters für verschiedene Effektivwerte des Bogenstromes

I Stromverlauf

Schalterentwicklung dar. In entsprechender Weise lassen sich an ähnlichen, zum Teil umfassenderen Problemstellungen weitere Grundlagen erarbeiten, die wesentliche Hinweise für die Dimensionierung der Schaltergeometrie und die Wahl verschiedener Parameter liefern und die Frage nach der Ursache typischer Versager-Eigenschaften beantworten helfen. Ein Beispiel dafür ist die Berechnung des Abklingens der Schaltlichtbogensäule in der Umgebung des Stromnulldurchganges, bei der von den verschiedenen wirksamen physikalischen Prozessen ausgegangen wird, um das Lösch- bzw. Wiederzündverhalten des Lichtbogens in Abhängigkeit von den Gaseigenschaften, der Geometrie und dem Druck sowie den Belastungsgrössen wie Stromeffektivwert und wiederkehrender Spannungssteilheit zu ermitteln.

Wesentlich für die optimale Anwendung solcher theoretischen Methoden ist, dass sie immer wieder durch experimentelle Beobachtung des Schaltlichtbogenverhaltens mit Hilfe hochqualifizierter Messmethoden ergänzt werden. Damit wird jeweils die Basis der theoretischen Berechnung gesichert bzw. kann das Abweichen von dem idealisierten Modell festgestellt werden, so dass unter Umständen das Modell entsprechend ergänzt werden kann.

Literatur

[1] *K. Ragaller:* Anwendungen der Lichtbogenphysik im Schalterbau. Brown Boveri Mitt. 59(1972)4, S. 190...194.

[2] *G. Mauthe* u. a.: Der Leistungsschalter Typ ELK für SF_6-isolierte, metallgekapselte Schaltanlagen. Brown Boveri Mitt. 61(1974)4, S. 152...166.

Adresse der Autoren:

Dr. *W. Hermann, R. Horst,* Dr. *K. Ragaller* und *M. Sanders,*
BBC AG Brown, Boveri & Cie., 5401 Baden.

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Sitzungen des SC 23E, Disjoncteurs et appareillage similaire pour usage domestique, vom 24. bis 28. Juni 1974 in Brüssel

Dieses Subkomitee des CE 23, Petit appareillage, tagte unter der Leitung von P. Sandell und behandelte Probleme der Fehlerstromschutzschalter und Leistungsschalter.

Im vorliegenden Bericht wird nur über die Sitzungen vom 24. bis 26. Juni 1974 berichtet, an welchen Probleme der Fehlerstromschutzschalter zur Sprache kamen. Über die Sitzungen zur Besprechung der Leistungsschalter, welche am 27. und 28. Juni stattgefunden haben, wird von einem Delegierten des FK 204 berichtet.

Das Protokoll der ersten Tagung des SC 23E vom 4. bis 7. November 1972 in Athen wurde mit einer geringfügigen Änderung gutgeheissen.

Der erste Verhandlungspunkt führte zu einer regen Diskussion über die Abschaltcharakteristiken der Fehlerstromschutzeinrichtungen, die anhand einer vom Sekretariat ausgearbeiteten Zusammenfassung der Kommentare zum Dokument *23E(Secretariat)7* Shockhazard protective devices – Part 1: Requirements for residual current operated devices, durchgeführt wurde.

Zuerst wurden für zwei Gruppen von Nennfehlerströmen neue Werte für die maximalen Abschaltzeiten festgelegt.

Es wurde beschlossen, das CE 64 darauf hinzuweisen, dass beim Schutz gegen elektrischen Schlag durch Fehlerstromschutzschalter mit $I_{\Delta N} < 0{,}03$ A der Erdwiderstand Werte aufweisen muss, die wesentlich unter dem maximalen Wert liegen, der sich aus der Beziehung $\frac{50\ \text{V}}{I_{\Delta N}}$ ergibt.

Bei der weitern Behandlung des Dokumentes 23E(Secretariat)7 wurde relativ viel Zeit für die Diskussion der Einrichtungen mit Hilfsenergie verwendet. Es wurde beschlossen, die Anforderungen und Prüfbestimmungen für solche Einrichtungen immer so festzulegen, dass auch die Zuverlässigkeit elektronischer Komponenten angemessen überprüft wird.

Anschliessend an die Diskussion von Vorschlägen Deutschlands, Frankreichs und Italiens und eines noch während der Sitzung von der Schweizerdelegation eingerichteten Vorschlages, wurde entschieden, die zu berücksichtigende Anzahl Typen zu reduzieren.

Das Sekretariat wird im neuen Dokument den Abschnitt über die Fehlerstromschutzeinrichtungen mit Hilfsquellen im Sinne dieser Beschlüsse neu redigieren. In diesem Dokument wird ferner festgehalten, dass der korrekte und sichere Gebrauch solcher Einrichtungen mit Hilfsquellen durch spezielle Installationsempfehlungen des CE 64 geregelt sein muss.

Eine provisorische Abstimmung zeigte, dass nur die Länder F, I, UK, USA und SA Fehlerstromschutzeinrichtungen mit Hilfsquellen zulassen werden.

Es wurden verschiedene Vorschläge zur Diskussion gestellt für eine Änderung des Geltungsbereichs dieser CEI-Normen für Fehlerstromschutzschalter. Nach längeren Beratungen wurde beschlossen, den Geltungsbereich auf 500 V und 200 A zu erweitern. Es wurde auch entschieden, für Stecker und Steckdosen mit eingebauten Fehlerstromschutzeinrichtungen zusätzliche Empfehlungen zu schaffen.

Die Delegierten stimmten darauf in einem Vorschlag zu, bei der Überprüfung der maximalen Abschaltleistung die Vorschrift wegzulassen, dass mit Hilfe eines Synchronschalters eingeschaltet werden müsse.

In bezug auf die Koordination mit Überstromschutzeinrichtungen wurde festgelegt, dass die Operationscharakteristik der zugehörigen Überstromschutzeinrichtungen so sein müsse, dass die Fehlerstromschutzeinrichtungen bei allen Überströmen, welche ihr Ein- und Ausschaltvermögen übersteigen, geschützt sind.

Der Nachmittag des letzten Verhandlungstages stand unter sehr grossem Zeitdruck, so dass leider eine seriöse Besprechung der noch recht zahlreichen Kommentare nicht mehr möglich war.

Zu einer längeren Diskussion führte ein Vorschlag für eine Änderung des Abschnittes über die Prüfung der Auslöseempfindlichkeit mit langsam ansteigendem Fehlerstrom. Die Mehrheit der Delegierten votierte für eine Verschärfung der Prüfung. Es müssen nun alle 5 gemessenen Werte innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen liegen. Für den Kurzschlussversuch und die Überprüfung des Ein- und Ausschaltvermögens wurde hingegen die Erleichterung zugestanden, dass nach diesen Versuchen die Auslösung mit $1{,}25 \times I_{\Delta N}$ erfolgen darf.

Die Behandlung des unter dem nächsten Traktandum zur Diskussion stehenden Dokumentes *23E(Secretariat)8,* Condition of safe use of residual current devices with respect to the kind of source of tripping energy and to the power system, in welchem die Nationalkomitees über die weitere Behandlung spezieller Regeln für die korrekte Anwendung der Fehlerstromschutzeinrichtungen angefragt wurden, erfuhr zufolge der vorgeschrittenen Zeit ebenfalls keine einwandfreie Behandlung mehr. Da relativ viele Nationalkomitees der Meinung waren, dass solche Anwendungsregeln eindeutig in den Tätigkeitsbereich des CE 64 fallen, wurde beschlossen, diese Aufgabe ans CE 64 weiterzugeben, sobald das Dokument in eine befriedigende Form gebracht ist.

Der nächste Verhandlungspunkt befasste sich mit der Zuverlässigkeit von nicht elektromagnetischen Komponenten und deren Einfluss auf die Zuverlässigkeit von Fehlerstromschutzeinrichtungen. Die Behandlung dieses Traktandums wurde auf die nächste Tagung verschoben.

W. Huber