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: 74 (1983)

Heft: 21

Artikel: Leistungsschalter für gasisolierte Schaltanlagen

Autor: Ragaller, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904884

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: 10.12.2025

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

Leistungsschalter für gasisolierte Schaltanlagen

K. Ragaller

Einleitend werden die Eigenschaften von SF_6 als Lösch- und Isoliergas diskutiert. Anschliessend werden die Grundlagen des Ausschaltvorgangs besprochen, insbesondere die drei wichtigsten Phasen des Löschvorgangs, Hochstromphase, Nulldurchgang und dielektrische Phase. Es folgt der Aufbau der Leistungsschalter in GIS, wobei der optimalen Gestaltung einer zweckmässigen, modularen Baureihe auch bezüglich Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit grosse Bedeutung zukommt. Den Abschluss bilden einige spezifische Probleme, die bei Freiluftschaltern nicht in dieser Form auftreten.

Les propriétés du SF_6 servant de gaz d'extinction et d'isolement sont considérées, puis les principes du processus de coupure, notamment les trois phases les plus importantes de l'extinction des arcs: phase de courant de forte intensité, passage par zéro et phase diélectrique. La constitution des disjoncteurs de sous-stations blindées isolées au gaz est décrite, l'aménagement optimal d'une série de construction modulaire ayant une grande importance, de même que la fiabilité et la facilité d'entretien. L'exposé se termine par quelques problèmes spécifiques qui ne se posent pas sous la même forme dans le cas de disjoncteurs en plein air.

Dieser Aufsatz entspricht dem Vortrag von Prof. Dr. Ragaller anlässlich der SEV-Informationstagung über «Gasisolierte Schaltanlagen» vom 13. September 1983.

Adresse des Autors

Prof. Dr. *K. Ragaller*, Forschungszentrum Dättwil, BBC Aktiengesellschaft Brown Boveri & Cie, 5401 Baden.

1. Einleitung: SF_6 als Isolier- und Löschgas

Die hohe Isolationsfestigkeit von SF_6 (etwa Faktor 3 gegenüber Luft bei gleichem Druck) bildet die technische Basis für gasisolierte Schaltanlagen (GIS). Als Schaltmedium waren zur Zeit der ersten GIS-Anlagen Öl und Luft gebräuchlich. Die ersten SF_6-gekapselten Anlagen von Calor-Emag waren deshalb noch mit ölarmen Schaltern ausgerüstet. Es war jedoch naheliegend, SF_6 auch als Löschgas im Leistungsschalter zu verwenden. Dabei zeigte sich, dass dies nicht nur möglich, sondern sogar besonders erfolgreich war. Hierfür sind zwei weitere Eigenschaften von SF_6 der Grund, nämlich einerseits die niedrige Schallgeschwindigkeit (etwa ⅓ von Luft), was den wirtschaftlichen Einsatz des Blaskolbenlöschprinzips ermöglicht, anderseits eine besonders hohe spezifische Wärme genau in dem Temperaturbereich, wo die elektrische Leitfähigkeit verschwindet. Dies führt zu einer sehr hohen Stromabschaltfähigkeit im Abstandskurzschluss (Faktor 4 höher als Luft bei gleichem Druck). Die in der ursprünglichen Verwendung als Isoliergas im Vordergrund stehende Spannungsfestigkeit ist auch im Schalter von Bedeutung, sie gilt überraschenderweise auch für den vom Lichtbogen hinterlassenen Heissgaskanal und ermöglicht eine wesentlich höhere Spannung pro Löschkammer als in Luft.

Es sind also eine ganze Reihe verschiedener Materialeigenschaften des SF_6, die für die Anwendung als Isolier- und Löschgas sehr günstige Werte aufweisen. Dies führt auch zur Frage, ob es nicht Gase oder Gasmischungen mit noch besseren Eigenschaften als SF_6 gibt. Intensive Forschungen in dieser Richtung zeigen, dass SF_6 tatsächlich eine besonders optimale Kombination von Eigenschaften aufweist. Zwar gibt es Gase mit einzelnen besseren Eigenschaften, z. B. mit höherer Durchschlagspannung. Dies ist jedoch korreliert mit einem höheren Siedepunkt und mit toxischen Eigenschaften [1; 2]; beides ist für technische Anwendungen nicht akzeptabel.

Die weit zurückliegende, nicht gerade zufällige, aber doch nicht sehr systematische Auswahl von SF_6 als Isolier- und Löschgas in GIS kann heute nach jahrelangen intensiven Grundlagenuntersuchungen als richtig und optimal bestätigt werden. Dies schliesst nicht aus, dass bei besonderen Anforderungen Zumischungen zur Verbesserung der einen oder anderen Eigenschaft Vorteile bringen können. Ein Beispiel hierfür ist die Zumischung von Stickstoff bei besonders tiefen Umgebungstemperaturen [3].

In Anbetracht der hervorragenden Eigenschaften des SF_6-Gases ist es erklärlich, dass sich das SF_6 auch für Freiluftschalter stürmisch durchsetzte, und zurzeit zeichnet sich der nächste Siegeszug, nämlich auf dem Mittelspannungsgebiet, ab. Dies ist nicht ohne Rückwirkungen auf die GIS-Anwendung, denn je breiter eine Technologie eingesetzt wird, desto schneller entstehen reife, rationelle und zuverlässige technische Lösungen.

2. Grundlagen des Ausschaltvorgangs

In den letzten Jahren wurden grosse Anstrengungen unternommen, die Grundlagen des Ausschaltvorgangs zu klären. Heute existieren klare Vorstellungen über die Effekte, die für die Dimensionierung der Leistungsschalter massgeblich sind. Rechenmodelle für die einzelnen Phasen wurden erarbeitet und durch Vergleich mit Messungen laufend weiterentwickelt.

Eine kurze Übersicht dieser Erkenntnisse soll hier die Basis schaffen für eine Diskussion des Aufbaus einzelner Schaltkammern und der jeweiligen Baureihen. Auch für die Frage einer zweckmässigen und rationellen

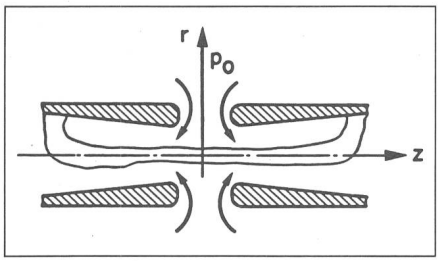


Fig. 1 Grundelement eines Hochspannungsschalters: Doppeldüsenanordnung

Prüfung der Geräte muss laufend auf die physikalischen Grundlagen zurückgegriffen werden.

Die Grundanordnung, von der sich zeigen lässt, dass sie optimal für Schaltzwecke geeignet ist, ist in Figur 1 dargestellt. Es handelt sich um die sog. Doppeldüsenanordnung. Der Lichtbogen brennt axial in den Düsen, denen ein axiales Druckgefälle durch einen Kolben aufgeprägt wird.

Als Folge des Druckgefälles wird das Lichtbogenplasma auf eine hohe Geschwindigkeit (2000 m/s) beschleunigt. Dies führt zu einem kleinen Plasmaquerschnitt, der mit einer kurzen Einstellzeitkonstante dem Stromverlauf folgen kann *(quasistationäre Hochstromphase)*, so dass im Stromnulldurchgang der Lichtbogendurchmesser weniger als 1 mm beträgt. Als Folge der hohen Plasmageschwindigkeit entsteht ferner eine heftige Turbulenz am Rand des Lichtbogens, die den dünneren Plasmakanal im Nulldurchgang sehr schnell abkühlt und damit den Strom unterbricht *(thermische Phase)*. Nach einer Stromunterbrechung klingt der vom Lichtbogen hinterbliebene Heissgaskanal unter dem Einfluss derselben Mechanismen weiter ab. Dieser Heissgaskanal bestimmt den maximal zulässigen Peak der wiederkehrenden Spannung *(dielektrische Phase)*.

Für alle drei Phasen existieren heute mehr oder weniger genaue Rechenprogramme, die für die Entwicklung und Prüfung eine fundamentale Rolle spielen.

Der quasistationäre Lichtbogendurchmesser ist massgeblich für den Düsendurchmesser sowie den stromabhängigen Massenfluss [4]. Der das Gas verdichtende Kolben arbeitet somit auf ein durch den Lichtbogen zeitvariabel verstopftes Düsensystem. Dies ergibt äusserst komplizierte Wechselwirkungen zwischen dem Antriebssystem und dem Lichtbogen. Die quantitative Erfassung des Lichtbogens ermöglicht heute, diese ganze Wechselwirkungskette auf dem Computer zu simulieren. Dies ist für eine Optimierung des Löscherfolgs über die ganze Lichtbogenzeit, aber auch für eine wirtschaftliche und zuverlässige Auslegung des Antriebs von entscheidender Bedeutung. Die heute übliche Modelliergenauigkeit zeigt Figur 2a [5] am Beispiel der zeitabhängigen Schaltstangenkraft. Figur 2b [3] zeigt, welche Fortschritte durch die genannte Optimierung für die auf die Antriebsenergie bezogene Ausschaltleistung im Laufe der Jahre möglich waren.

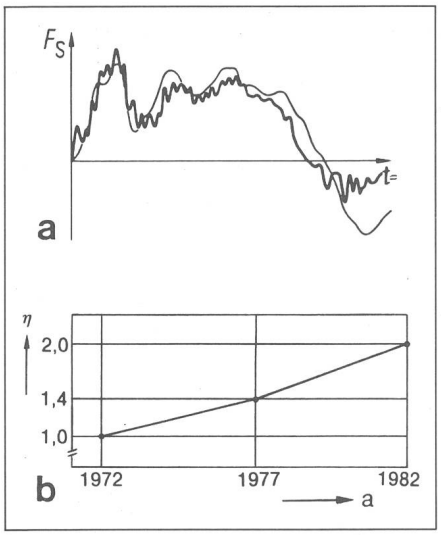


Fig. 2 Antriebssystem

a Vergleich von gemessener und gerechneter Schaltstangenkraft eines Kolbenschalters [5] Gemessen: dickerer Strich

b Entwicklungsfortschritte bezüglich des Verhältnisses η von Ausschaltleistung zur Antriebsenergie [3]

Für die thermische Ausschaltgrenze existieren Grenzkurvendiagramme, die die beiden für diesen Vorgang massgeblichen Grössen, nämlich das di/dt vor dem Stromnulldurchgang und das du/dt nach dem Stromnulldurchgang miteinander verknüpfen [6] (Fig. 3). Diese Grenzkurven hängen stark vom Gasdruck und nur schwach von anderen Parametern ab.

Es ist heute möglich, durch genaue Modellierung, vor allem des radialen Temperaturprofils, diese Grenzkurven rechnerisch recht genau zu beschreiben [7]. Damit können auch Fragen nach der Wechselwirkung Schalter/Netz im thermischen Löschbereich präzis beantwortet werden. Ein Beispiel hierzu ist die Beeinflussung des Ausschaltvermögens durch die sog. ITRV (initial transient recovery voltage). Rechnerisch konnte frühzeitig gezeigt werden, dass dieser Effekt in der in der Praxis auftretenden Grössenordnung von den heutigen Normprüfungen mit abgedeckt wird [8]. Auch der Einfluss einer zum Schalter parallel liegenden Kapazität kann rechnerisch vorhergesagt werden. Dies ist bei GIS-Schaltern wichtig, da die Kapazität der Anlage von einer ausschaltwirksamen Grössenordnung ist.

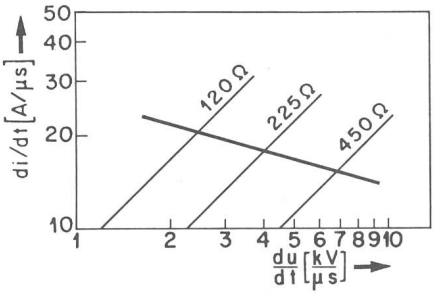


Fig. 3 Grenzkurve für das thermische Ausschaltvermögen in SF_6 bei 11 bar

Eine besonders intensive Wechselwirkung zwischen Schalter und Netz tritt beim Ausschalten kleiner induktiver Ströme auf. Für die Nachbildung solcher Vorgänge eignen sich vereinfachte Bogenmodelle, die ebenfalls intensiv verbessert und weiterentwickelt werden [9], jedoch im Unterschied zu dem genannten Rechenverfahren nur in der Umgebung eines Punktes der du/dt- di/dt-Ebene verwendet werden dürfen [10].

Die dielektrische Phase ist erst in jüngster Zeit intensiver erforscht worden [11]. Die Wiederverfestigungskurve des heissen SF_6-Kanals nach dem Stromnulldurchgang verläuft steil nach oben und erreicht ausserordentlich hohe Werte zum Zeitpunkt, wo der Peak der wiederkehrenden Spannung auftritt. Figur 4 zeigt die gemessene und gerechnete Verfestigungskurve eines Modellexperiments, die für Schalter im wesentlichen durch Druck und elektrisches Feld umskaliert werden muss.

Das steile Abbiegen der Verfestigungskurve nach der thermischen Phase erklärt, warum bei SF_6-Schaltern keine Versager zwischen der thermi-

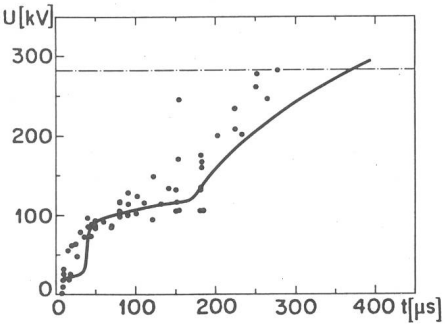


Fig. 4 Dielektrische Wiederverfestigung in einem SF_6-Modellexperiment

Ausgezogene Kurve: Theorie
Punkte: Experiment

schen und der dielektrischen Phase in Peak-Nähe beobachtet werden. Aus diesem Grund ist bei SF_6-Schaltern der Grenzstrom eines Schalters im Abstandskurzschluss nicht von der Nennspannung abhängig. Die volle Ausnutzung der Spannungsfestigkeit des Heissgaskanals gelingt nur bei entsprechender Gestaltung und Optimierung der gesamten übrigen Löschgeometrie. Hierdurch konnte die Nennspannung pro Löschkammer in den letzten Jahren beträchtlich gesteigert werden (245 kV eine Kammer, 420 kV zwei Kammern).

3. Aufbau der Leistungsschalter

Basis aller Leistungsschalteranordnungen ist die in Figur 1 gezeigte Doppeldüsenanordnung. Um daraus einen Schalter zu machen, müssen die Funktionen «Nennstromführung» und «Isolation im offenen Zustand» integriert werden. Neben der heute meist verwendeten Metall/Isolierdüsenanordnung, die in Figur 5 gezeigt ist [3], ist auch noch die Doppelmetalldüsenanordnung gebräuchlich [5]. In beiden Varianten erfolgt die Nennstromführung durch einen hierfür dimensionierten Fingerkranz. Die Isolation der offenen Strecke wird entweder zwischen Isolierdüse und Festkontakt (Fig. 5) oder zwischen den Stirnflächen der Metalldüsen gewährleistet.

Die Antriebsenergie wird den Schaltkammern über Isolierstangen zugeführt, die über spezielle Durchführungen mit dem aussenliegenden Antrieb verbunden sind. Figur 6 zeigt Beispiele von Bauformen verschiedener Hersteller. Bei Mehrkammerschaltern sitzen die Antriebe entweder an einem Ende der linearen Anordnung (6c) oder seitlich ans Schaltergehäuse angebaut, von wo aus jeweils zwei Kammern betätigt werden (6b). Als Antriebssystem hat sich weitgehend der Hydraulikantrieb durchgesetzt [5; 12], es werden aber auch Federspeicherantriebe verwendet [13]. Standardmässig werden mit SF_6-Schaltern Ausschaltzeiten von drei Perioden bis 50 oder 60 Hz erreicht. Mit speziellen Varianten, die jedoch keinen Eingriff in die Löschkammer erfordern, kann auch die Forderung nach einer Ausschaltzeit von zwei Perioden erfüllt werden.

Zur Reduktion der Überspannungen beim Einschalten auf lange Leitungen können Einschaltwiderstände an die Schaltkammern angeflanscht werden [3; 5]. Der Widerstandskontakt wird vom Antrieb des Leistungsschalters aus betätigt, so dass die optimale Voreinschaltzeit des Widerstandes zuverlässig eingehalten werden kann.

Aus dem Element «Löschkammer» können je nach Strom und Spannung verschiedene Leistungsschaltertypen aufgebaut werden. Der zweckmässigen Wahl der Grenzdaten der Löschkammer kommt dabei für die wirtschaftliche Gestaltung der modularen Baureihe eine entscheidende Bedeutung zu. Die unter 2. erläuterten Grenzkurven für das thermische Ausschalten sowie die dielektrischen Grenzkurven sind hierfür massgebend.

Für höhere Nenndaten müssen mehrere Kammern in Serie geschaltet werden. Die Spannungsgrenze vervielfacht sich dabei – abgesehen von einem Korrekturfaktor für die ungleichmässige Spannungsaufteilung – entsprechend der Kammerzahl.

Die Stromgrenze im Abstandkurzschluss kann ebenfalls durch Vergrösserung der Kammerzahl erhöht werden. Die zulässige Spannungssteilheit vervielfacht sich entsprechend der Kammerzahl; dem entspricht aber eine wesentlich geringere Zunahme des Ausschaltstromes entsprechend dem Verlauf der Grenzkurve in Figur 3. Bei sehr hohen Ausschaltströmen von 80 oder 100 kA müssen deshalb allein wegen des Abstandskurzschlusses bis zu sechs Kammern in Serie geschaltet werden [14].

Diese natürlich seit jeher im Schalterbau praktizierte Modularität hat heute durch das Dominieren der SF_6-Technologie einen sehr hohen Stand erreicht. In Freiluftschaltern und in gekapselten Schaltern werden dieselben Schaltkammern und Antriebe verwendet. Die Vorteile sind: höhere Zuver-

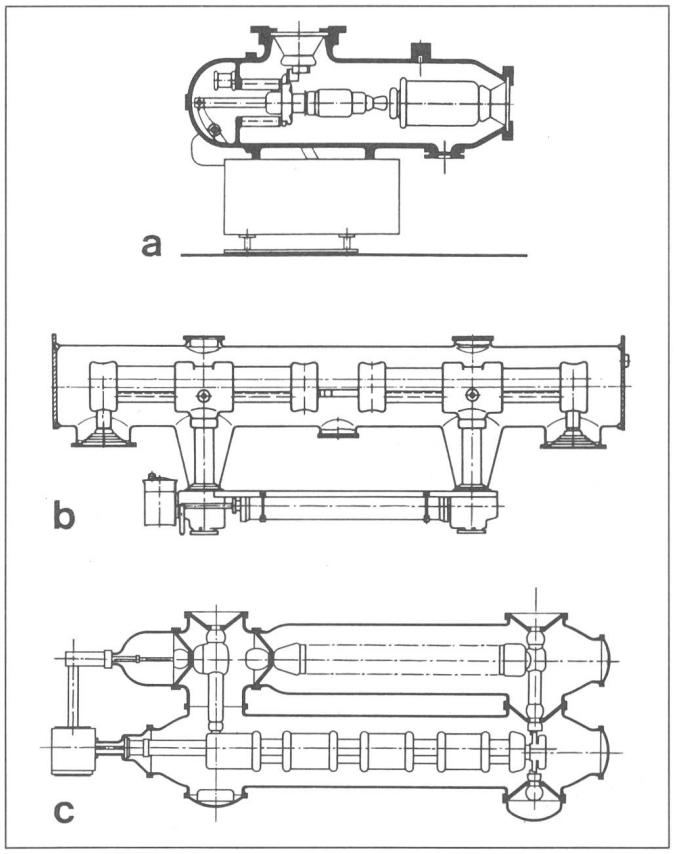


Fig. 6 Bauformen von GIS-Schaltern verschiedener Hersteller

a S & S-1-Kammerschalter mit Federspeicherantrieb 245 kV
b Siemens-4-Kammerschalter mit Hydraulikantrieb 550 kV
c BBC-4-Kammerschalter mit Hydraulikantrieb und Einschaltwiderstandskammer (oben im Bild) 800 kV

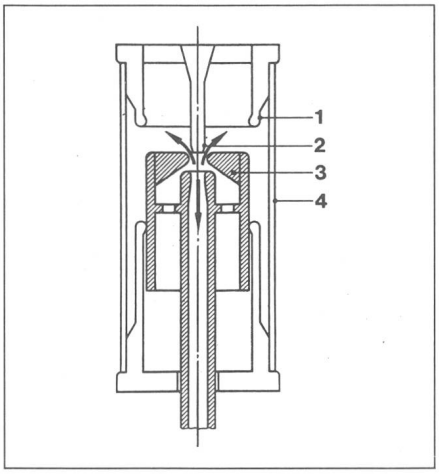
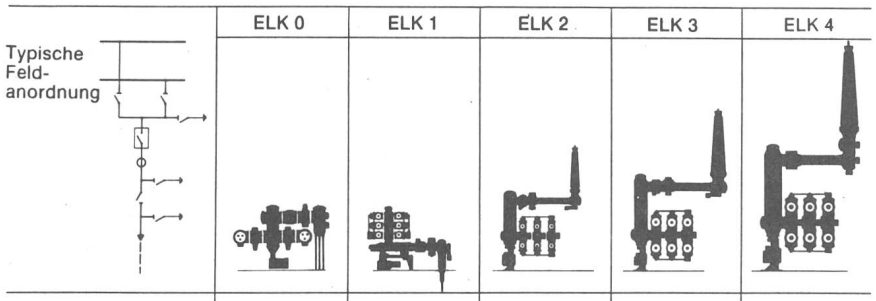


Fig. 5 Querschnitt durch GIS-Schaltkammer

1 = Nennstromkontakte
2 = fester Lichtbogenkontakt
3 = Isolierdüse
4 = Schaltkammerisolierrohr



		ELK 0	ELK 1	ELK 2	ELK 3	ELK 4
Nennspannungs-bereich	(kV)	72–145	145–245	245–362	362–550	550–800
Isolationsniveau	(kV)	650	750–1050	1050–1300	1425–1550	1800–2000
Ausschaltstrom	(kA)	40	40/50	40/63	40/63	40/50
Nennstrom	(A)	2000/3150	3150/4000	3150/4000	4000/6300	5000/6300

Fig. 7 Baureihe für GIS-Anlagen und Schalter (BBC)

lässigkeit, geringerer Entwicklungs-, Herstellungs- und Prüfaufwand. Figur 7 zeigt als Beispiel die Baureihe der BBC-GIS-Schalter.

Bis 145 kV werden in dreiphasig gekapselten Anlagen dreiphasig gekapselte Leistungsschalter verwendet. Für höhere Spannungen sind Anlagen und Schalter einphasig gekapselt, wobei die Isolationsabstände in die gezeigten Baugrössen gestuft sind. Die Anzahl Schaltkammern für die angegebenen Ausschaltströme variiert von einer Kammer bis zu 245 kV zu vier Kammern bis 800 kV. Löschkammern und Antriebe sind über den gesamten Bereich einheitlich. Nicht zuletzt aus diesem Grund weisen GIS-Leistungsschalter eine hervorragende Fehlerstatistik auf. Akkumuliert über 3900 Schalterjahre ist in der Statistik der BBC-GIS-Leistungsschalter ein einziger grösserer Fehler (im Sinne der IEC- Definition) aufgetreten.

Grosse Fortschritte sind auch bei der Verminderung des Wartungsaufwandes zu verzeichnen. Neben der erwähnten Konzentration auf eine Technologie sind die sehr günstigen Abbrandeigenschaften von SF_6 der Grund hierfür. Die kurzen Ausschaltzeiten in SF_6, spezielle SF_6-optimierte Abbrandkontakt- und Isoliermaterialien sowie der Technologie angepasste Konstruktionsprinzipien ermöglichen heute die in Figur 8 gezeigten, bis zu einer Revision zulässigen Schaltzahlen. Bevor diese Werte erreicht werden, sind keine Eingriffe in der Schaltkammer nötig. Lediglich alle fünf Jahre werden einfache externe Kontrollmassnahmen empfohlen [15].

4. Spezielle Aspekte der Leistungsschalter

Die Prüfung der Leistungsschalter erfolgt nach IEC- bzw. ANSI-Regeln, die laufend von kompetenten Gremien weiterentwickelt werden, um auf diese Weise den sicheren Einsatz der Schalter im Netz zu gewährleisten. Die von den ölarmen und Druckluftschaltern her übernommenen Normen haben sich im wesentlichen auch für SF_6-Schalter bewährt. Als einzige Anpassung ist zu beachten, dass der kritische AKS-Fall bei SF_6 bei kürzeren Leitungen liegt als bei Luft [16].

Durch den Einbau der Leistungsschalter in GIS ergeben sich einige zusätzliche Aspekte, die bei Freiluftschaltern nicht in dieser Form auftreten und deshalb hier kurz erläutert werden sollen.

Die auf Erde liegende Kapselung verbiegt alle Aquipotentiallinien der offenen Schaltstrecken nach einer Seite. Hierdurch entstehen im Prinzip an den Kontaktzonen einerseits andere Feldstärken als bei einem Einbau in Isolatoren und anderseits auch unterschiedliche Verhältnisse in verschiedenen Schaltkammern innerhalb einer Serieschaltung, selbst wenn eine gleichmässige Spannungsaufteilung durch Steuerkondensatoren erzwungen wird. Dieser Effekt ist bei der Dimensionierung und Prüfung sowohl der Spannungsfestigkeit der offenen Strecke als auch beim Peak der wiederkehrenden Spannung zu berücksichtigen, wobei es prinzipiell zwei Lösungswege gibt, nämlich entweder durch Abschirmelektroden die inneren Kontakte feldmässig von den äusseren Zonen weitgehend zu entkoppeln oder die genannten Effekte bei der Prüfung zu berücksichtigen, indem jeweils die ungünstigste Anordnung geprüft wird.

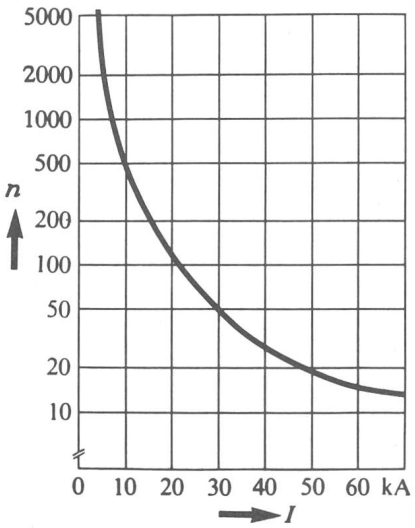


Fig. 8 Zulässige Schaltzahl bis zur Durchführung einer Revision [15] in Funktion des Ausschaltstromes

Ein weiterer Einfluss der Metallkapselung auf die Prüftechnik betrifft die Erdisolation. Als Folge eines Ausschaltvorgangs wird heisses SF_6 erzeugt, das in die Auspuffbereiche geblasen wird. Dort verteilt es sich und vermischt sich mit kaltem SF_6, wobei der Ausgleich mit dem im gesamten Schaltergehäuse eingefüllten SF_6 erfolgt. Prinzipiell erfolgt dadurch ein Eindringen von Heissgas in die Erdisolationsstrecke, womit in ungünstigen Fällen eine Reduktion der Erdisolationsfestigkeit verbunden ist. Dieser Effekt ist an sich nicht gravierend, da einerseits die Isolationsfestigkeit auch von erhitztem SF_6 ausserordentlich gut ist [11], anderseits kann er durch geschickte Gasführung praktisch vollständig vermieden werden. Zum Nachweis der vollen Erdisolation während und nach Ausschaltversuchen wurden an verschiedenen Stellen entsprechende synthetische Kreise entwickelt und erfolgreich eingesetzt, z. B. [17].

Ein ähnliches Problem tritt bei der Prüfung der dreiphasig gekapselten Leistungsschalter auf. Die heissen Auspuffgase der drei Schaltkammern können nicht nur die Erdisolation, sondern auch die Isolation zwischen den Phasen gefährden. Da der exakte Verlauf der drei Heissgasströme vom

Verlauf des Kurzschlussstromes in den drei Phasen abhängt, ist streng genommen nur eine echte dreiphasige Prüfung für den Nachweis der Spannungsfestigkeit geeignet. Der Aufwand hierfür ist jedoch beträchtlich. Eine Alternative ist eine Gasführung, die eine vollständige Entkopplung der drei Schaltkammern sicherstellt [18]. Allerdings wird hierbei die Rückwirkung des Lichtbogens auf den Antrieb nicht genau nachgebildet. Dieses Problem kann heute jedoch mit den erwähnten Rechenmethoden behandelt werden.

Dies ist ein Beispiel für eine Entwicklung, der bei BBC in Zukunft eine vermehrte Bedeutung zugemessen werden soll. Die rasche Verbesserung der Grundlagenkenntnisse über den Ausschaltvorgang, über Vorgänge der Wechselwirkung Lichtbogen/Antrieb, über Aufheiz- und Vermischungsvorgänge sowie über die elektrischen Eigenschaften von heissem SF_6 wird nicht nur zur effizienteren Entwicklung, sondern auch zu effizienteren Prüfverfahren einen entscheidenden Beitrag leisten können. Die genannten Problemkreise werden zurzeit von der CIGRE-Arbeitsgruppe 13.04 bearbeitet mit dem Ziel, einheitliche Test-Empfehlungen vorzuschlagen.

Literatur

[1] *K.P. Brand:* Dielectric strength, boiling point and toxicity of gases. Different aspects of the same basic molecular properties. IEEE Trans. EI 17(1982)5, p. 451...456.

[2] *B. Gänger:* Alternativgase für SF_6. Bull. SEV/VSE 73(1982)5, S. 209...214.

[3] *P. Leupp:* SF_6-Leistungsschalter für Freiluft- und gasisolierte Anlagen mit Nennspannungen bis 800 kV. Brown Boveri Mitt. 70(1983)1/2, S. 53...57.

[4] *W. Hermann* u.a.: Wechselwirkung zwischen dem Schaltlichtbogen und der Strömung gasförmiger Löschmittel. Brown Boveri Mitt. 61(1974)4, S. 130...134.

[5] *H. Kopplin* und *K. Zückler:* Neue physikalische Untersuchungen zur Weiterentwicklung der Siemens-BK-Schalter. Siemens Energietechnik 3(1981), Beiheft Hochspannungstechnik, S. 42...49.

[6] *G. Frind:* Experimental investigation of limiting curves for current interruption of gas blast breakers. In: Current interruption in high-voltage networks. Edited by Klaus Ragaller. New York/London, Plenum Press, 1978; p. 67...94.

[7] *W. Hermann* and *K. Ragaller:* Theoretical description of the current interruption in HV gas blast breakers. IEEE Trans. PAS 96(1977)5, p. 1546...1555.

[8] *W. Hermann* and *K. Ragaller:* Interaction between arc and network in the ITRV-regime. In: Current interruption in high-voltage networks. Edited by Klaus Ragaller. New York/London, Plenum Press, 1978; p. 205...229.

[9] *R. Schmidt:* Erweiterung phänomenologischer Lichtbogenmodelle für einen SF_6-beblasenen Schaltlichtbogen, Dissertation der Technischen Hochschule Aachen, 1981.

[10] *K. Ragaller* a.o.: Calculation methods for the arc quenching system of gas circuit breakers. CIGRE-Report 1984.

[11] *K.P. Brand* a.o.: Dielectric recovery of an axially blown SF_6-arc after current zero. Part III: Comparison of experiment and theory. IEEE Trans. PS 10(1982)3, p. 162...172.

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

[13] *C. Tschannen:* Ein neuer SF_6-Schalter BS 312 mit Federkraftantrieb für 72,5 bis 170 kV, 40 kA. Neues von Sprecher -(1977)3, S. 27...31.

[14] *H.P. Szente-Varga:* Bau und Inbetriebnahme von SF_6-Schaltanlagen für 420 kV und 525 kV Nennspannung. Brown Boveri Mitt. 66(1979)11, S. 700...709.

[15] *A. Krenicky* u.a.: Wartung von gas-isolierten Hochspannungs-Schaltanlagen und SF_6-Freiluftschaltern. Brown Boveri Mitt. 67(1970)4, S. 244...250.

[16] *T. Nakagawa* and *K. Nakanishi:* Interruption characteristics of double-break type SF_6 gas circuit breakers and their statistical considerations. Electrical Engineering in Japan 101(1981)5, p. 76...84.

[17] *E. Slamecka:* Synthetische Prüfung von Hochspannungsleistungsschaltern. Stand der Technik und Entwicklungsaspekte. ETZ 101(1980)5, S. 295...300.

[18] *V. Rees:* Contribution to the discussion. CIGRE. Proceedings of the 29th session 1982, Tome I, Group 13, p. 3...4.