

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: 67 (1976)

Heft: 21a: Sondernummer Elektrotechnik 1976 = Edition spéciale Electrotechnique 1976

Artikel: Hochspannungsapparate und -schaltanlagen

Autor: Roth, A.W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915231>

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: 16.01.2026

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

Hochspannungsapparate und -schaltanlagen

Von A.W. Roth

621.316.54.027.3

1. Einleitung

Die nachfolgende Charakterisierung des Standes der Technik im Hochspannungsapparatebau will sich darauf beschränken, Tendenzen festzustellen, wie sie sich aus dem Wechselspiel der oft divergierenden Anstrengungen im Bereiche der Lichtbogen- und Isolierstoff-Forschung einerseits und der Anwendererfahrung im Netzbetrieb andererseits ergeben. Die Schaltapparate mit den anwendungsverwandten Überspannungsableitern und Messwandlern bilden ein wichtiges Element der elektrischen Energieverteilungs-systeme. Vor allem die zunehmende Leistung dieser Systeme hat die entscheidenden Impulse zu Neu- und Weiterentwicklungen gegeben. Trotz der Bemühungen in Richtung des Energiesparens dürfte diese Tendenz infolge der Notwendigkeit der Substitution ökologisch ungünstiger Energieträger wie Erdöl weiterhin anhalten. Eine Reihe von gemeinsamen Entwicklungskennzeichen wie höhere Spannungen, höhere Nennströme, verbesserte Zuverlässigkeit und Schnelligkeit finden sich bei allen Apparategattungen. Daneben findet sich aber ein weiterhin zunehmendes Spektrum von Löschesystemen, Betätigungsmethoden und Isoliermaterialien, die für den Nicht-Spezialisten das verwirrende Bild einer Vielfalt von parallel verwendbaren technischen Lösungen in den letzten zehn Jahren noch verstärkt haben. Forschungsanstrengungen und dauernd verfeinerte Prüfmethode haben dazu geführt, dass das Kriterium der Zuverlässigkeit sozusagen eine Voraussetzung bildet und dass dem Kriterium der Wirtschaftlichkeit heute die eigentliche Selektionsfunktion zukommt. Je nach Art und Betriebsweise der Netze liegen aber Anschaffungs- und Unterhaltskosten in stark unterschiedlicher Relation zueinander, so dass auch von dieser Seite eine Einschränkung der konstruktiven Vielfalt nicht unmittelbar abzusehen ist. Es darf sogar festgestellt werden, dass «neue» Lösungen gerade durch die zunehmende Wichtigkeit betrieblicher und wirtschaftlicher Gesichtspunkte länger als früher vom Markt ferngehalten werden.

2. Leistungslöschesysteme für Schalter

2.1 Druckluft

Bei den heute gebräuchlichen Luft-Zweidrucksystemen oder geläufiger ausgedrückt Druckluft-Löschesystemen des Lichtbogens wird dieser in einer Düse im Augenblick des Stromnulldurchganges derart gekühlt bzw. entionisiert, dass eine Wiederzündung vermieden wird.

Die Kühlwirkung, und damit direkt verknüpft die Löschwirkung, nimmt mit steigender Dichte und Strömungsgeschwindigkeit der Luft zu. Dies hat zu Systemen mit Drücken in der Größenordnung bis 50 bar und in Sonderfällen über 100 bar geführt. Trotz dieser Entwicklung bildet die Spannungsfestigkeit in den dem Stromnulldurchgang folgenden μ s den kritischen Punkt dieses Schaltsystems. Serieschaltung von Unterbrechungsstellen und Parallelschaltung von Widerständen gestatten aber, die Grenzen weitgehend den praktischen Bedürfnissen anzupassen. Druckluftlöschesysteme werden heute in allen Bauarten verwendet, in der

Regel können bis 145 kV mit einer Schaltstelle beherrscht werden. Bei den meisten neueren Druckluftschaltern, insbesondere im oberen Spannungsbereich wird im ausgeschalteten Zustand zwischen den Schaltstrecken komprimierte Luft belassen. Die Öffnungsdistanzen können damit auch für die üblichen Nennspannungen bis zu 145 kV pro Unterbrechungsstelle nur wenige cm betragen. In letzter Zeit wurde durch Schalldämpfung und durch Steuerung der Luftmenge in Funktion des geschalteten Stromes eine Reduktion der Lärmimmission erzielt. Ebenso wurde Gewicht auf wartungsarme Kompressoren und Kleinkompressoren zur Erzeugung der Druckluft mit dem notwendigen Tröcknegrad gelegt.

2.2 Luft-Magnet-Blassystem

Bei derartigen Schaltern wird der sich zwischen dem feststehenden und sich bewegenden Kontakt bildende Lichtbogen gleichzeitig der Einwirkung eines Magnetfeldes und einer autopneumatisch erzeugten Luftströmung ausgesetzt. Dadurch dringt der Lichtbogen in die Löschkammer ein, wo er schnell verlängert und zwischen einer Vielzahl von Isolierstoffplatten gekühlt wird. Das Magnetfeld wird im allgemeinen durch Spulen erzeugt, die vom zu schaltenden Strom durchflossen werden. Dieses Löschrinzip ist bis zu Nennspannungen von 24 kV anwendbar, bei einer Ausschaltleistung in der Größenordnung von 750 MVA.

2.3 Schwefelhexafluorid

Schwefelhexafluorid (SF_6) ist ein elektronegatives Gas mit ungefähr dreimal höherer dielektrischer Festigkeit als Luft. Es besitzt darüber hinaus ausgezeichnete Lichtbogenlöscheigenschaften. Das reine Gas ist geruchlos, farblos und ungiftig. Es wird aber durch den Einfluss des Lichtbogens sowie durch Glimmentladungen zersetzt. Die Zersetzungsprodukte können Metalle und Isolatoren angreifen, wobei die Gegenwart von Restfeuchtigkeit eine grosse Rolle spielt. SF_6 verflüssigt sich bei Atmosphärendruck bei -64°C oder bei $+20^\circ\text{C}$ bei einem absoluten Druck von 22 bar.

Schwefelhexafluorid wird grundsätzlich in ähnlichen Löschesystemen angewendet wie Druckluft, mit der Ausnahme, dass die SF_6 -Schaltersysteme gegen aussen abgeschlossen sind. Wie bei den Druckluftschaltern kann das SF_6 durch einen Kompressor auf einen, gegenüber dem geschlossenen System höheren Druck komprimiert und während dem Schaltvorgang durch ein Blasventil dem zu löschenden Lichtbogen zugeführt werden. Typische Werte für die Hochdruckseite sind 15 bar mit der Tendenz, bis zum Verflüssigungsdruck zu gehen, um die Löscheigenschaften maximal auszunützen. Der Gasdruck auf der Niederdruckseite liegt im Bereich von 5 bar. Derartige Schalter mit ständiger Speicherung des SF_6 unter Hochdruck werden Zweidruckschalter genannt.

Eine andere Methode besteht darin, das Niederdruckgas erst während dem Ausschaltvorgang des Schalters zu komprimieren und unmittelbar dem zu löschenden Lichtbogen zuzuführen. Man spricht in diesem Fall von Eindruckschaltern. Die Vorteile liegen darin, dass die Kompressoreinheit

mit ihrer Steuerung sowie die Blasventile entfallen und dass wegen des geringen Gasdruckes das Verflüssigungsproblem in den Hintergrund tritt. Die für das Ausschalten notwendige Energie steigt jedoch, da neben der Energie für die Bewegung der Kontakte, verglichen mit dem Zweidruckschalter, zusätzlich noch die Energie für die Erzeugung des Löschesdruckes aufgebracht werden muss.

Neuere Untersuchungen laufen auch dahin, das Blas-system zwecks Vereinfachung und Energieeinsparung ganz wegzulassen und den Lichtbogen durch eine elektromagnetisch erzwungene Eigenbewegung im Löschgases derart zu kühlen, dass die Löschung eintritt. Der derzeitige Stand gestattet Löschesysteme bis zu 145 kV und bei mässiger Steilheit der wiederkehrenden Spannung bis zu 50 kA.

2.4 Öl

Wird ein Lichtbogen unter Öl gezogen, verdampft eine bestimmte Menge desselben. Ein Teil davon dissoziiert weiter, wobei zur Hauptsache Wasserstoff entsteht. Durch diese Vorgänge wird der Lichtbogen gekühlt. Die Kühlwirkung ist um so besser, je intensiver die Lichtbogensäule durch Wasserstoff, Dampf und Öl bestrahlt wird. Durch Schikanen verschiedenster Art wird die Bestrahlung durch Ausnutzung der sich zeitlich verändernden Druckdifferenzen, insbesondere gegen den Stromnulldurchgang hin, verstärkt. Einen wesentlichen Einfluss auf die Löscheswirkung hat der in der Lichtbogenzone während dem Stromnulldurchgang herrschende Druck. Er wird in der Regel mit zunehmendem Ausschaltstrom grösser. Damit nimmt auch die Löscheswirkung stromabhängig zu. Für kleine Ströme wird zur Verstärkung der Löscheswirkung häufig zusätzlich Öl in die Lichtbogenzone eingespritzt. Mit derartigen einfachen Löschesystemen können ausserordentlich hohe Anstiegsgeschwindigkeiten der wiederkehrenden Spannung beherrscht werden. Nennspannungen einzelner Löschesstellen von 80...145 kV, bei Nennausschaltströmen von 30...63 kA entsprechen dem heutigen Stand.

2.5 Vakuum

Das beachtliche Verhalten des Vakuums bei der Löschesung eines Stromes erklärt sich durch die Abwesenheit von Gasmolekülen zwischen den Elektroden. Die von der Kathode ausgehenden Elektronen erreichen die Anode ohne auf Widerstände zu stossen. Die Lichtbogen-spannung im Vakuum ist deshalb klein. Da es im Lichtbogen wegen der Abwesenheit von Gas keine Stossionisation gibt, ist die dielektrische Wiederverfestigung der Lichtbogenzone beim Nulldurchgang des Stromes praktisch augenblicklich. Diesem ausgezeichneten Verhalten können allerdings heisse Kathodenflecken durch Emission von Elektronen entgegenwirken. Im Vakuum genügen sehr kleine Distanzen zur Erreichung einer Spannungsfestigkeit von einigen hundert kV. Deshalb können die Öffnungsdistanzen derartiger Schalter sehr klein gehalten werden.

Die Vakuumschal-tertechnik ist alt. Wichtige Fortschritte sind aber erst in den sechziger Jahren dank der besseren Beherrschung der Vakuum-Technologie und der Herstellverfahren gasfreier Metalle erzielt worden. Schwierigkeiten bereiten noch immer die Tendenz zum Abreissen kleiner Ströme, die Tendenz zum wiederholten Lösches und Wiederzünden des dem netzfrequenten Strom überlagerten Wiederzündstromes und dem daraus resultierenden Aufbau hoher

Überspannungen, ferner das gelegentliche Auftreten von Spannungszusammenbrüchen der Schaltstrecke im geöffneten Zustand. Da die Spannungsfestigkeit nicht einfach durch Erhöhung der Distanzen verbessert werden kann, ist es besonders schwierig, Schaltelemente mit einer Nennspannung pro Unterbrechungsstelle von mehr als 36 kV zu bauen. Die Probleme im Zusammenhang mit der Serieschaltung von Vakuumunterbrechern zur Anwendung bei Hochspannungsschaltern sind noch im Studium. Trotz aller Probleme und trotz der Tatsache einer fünfzigjährigen, fast erfolglosen Entwicklungsgeschichte bietet dieses Löschesystem Vorteile, die wohl am ehesten für grosse Ströme zum Tragen kommen könnten.

3. Mittelspannungsschalter und -anlagen

Die im vorhergehenden Abschnitt besprochenen Löschesprinzipien haben in irgendeiner Form alle bei der Entwicklung und beim Bau von Mittelspannungsschaltern Eingang gefunden. Die Kurzschlußströme, die mittleren Schaltleistungen entsprechen, liegen derzeit bei 30...40 kA.

Die älteste Bauform eines auf Öl als Löschesmedium beruhenden Schalters ist der *Ölkesselschalter* mit einem für alle 3 Phasen gemeinsamen Ölkessel und 2 Durchführungen pro Phase. Der Ölinhalt liegt in der Grössenordnung von 20 l. Der Schalter besitzt meistens 2 Kontakte pro Phase, die durch eine relativ langsam bewegte Kontaktbrücke verbunden werden. Die Schwierigkeiten, Ausschaltleistungen über etwa 20...30 kA zu erreichen, sowie der grosse Kontroll- und

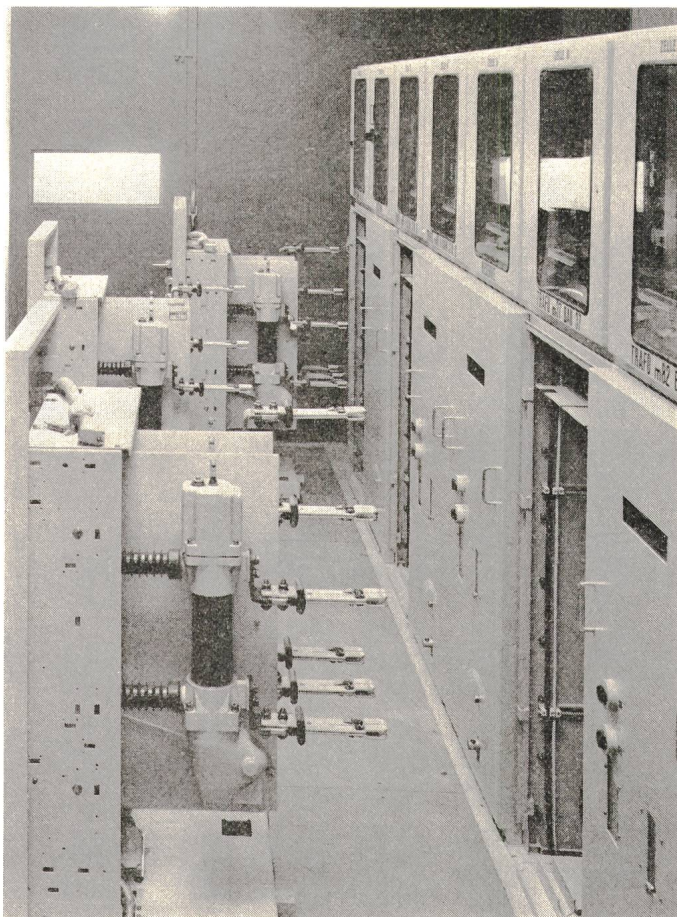


Fig. 1 Ölarmer Mittelspannungs-Leistungsschalter
Fabrikat Siemens, Deutschland

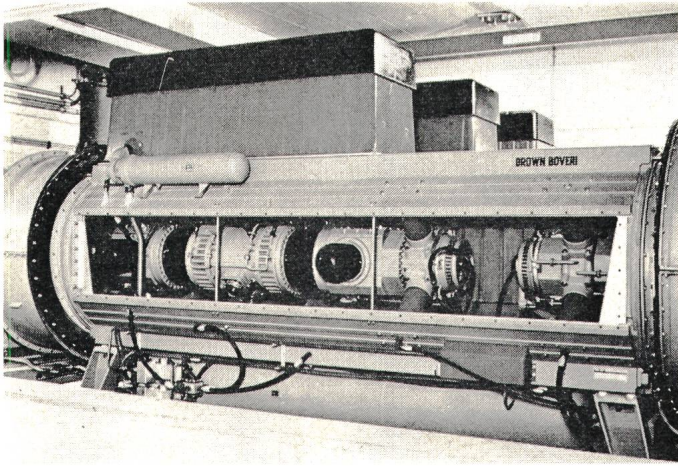


Fig. 2 Druckluft-Generatorschalter
Fabrikat Brown Boveri & Cie. AG, Schweiz

Revisionsaufwand liessen diesen Schalter, mit Ausnahme des angelsächsischen Bereiches, in den Hintergrund treten.

Vom Ölkesselschalter abgeleitet ist der *ölarmer Schalter*. Die Entwicklung der ölarmer Schalter wurde in den dreissiger Jahren an die Hand genommen. Durch stetige Weiterentwicklung und Berücksichtigung moderner Technologien, insbesondere aus dem Kunststoffsektor, konnte er den von der Netzseite her gegebenen rasch steigenden Anforderungen bezüglich Nennausschaltstrom und Ausschaltzeit in praktisch allen Fällen voll genügen und eroberte sich in Europa eindeutig den grössten Marktanteil. Die geringen Dimensionen, seine Betriebssicherheit, die einfache Wartung sowie seine Unabhängigkeit von irgendwelchen Infrastrukturen eröffnen ihm ein weites Anwendungsgebiet (Fig. 1).

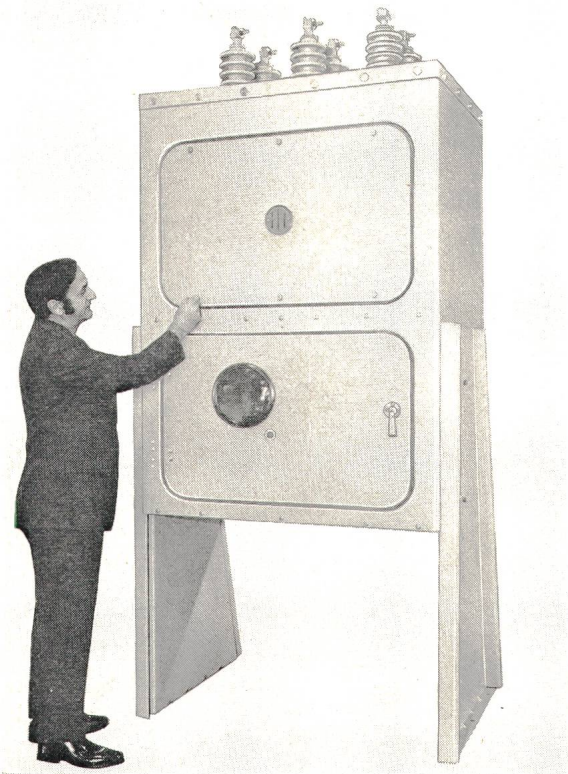


Fig. 3 Vacuum-Recloser
Fabrikat ITE, USA

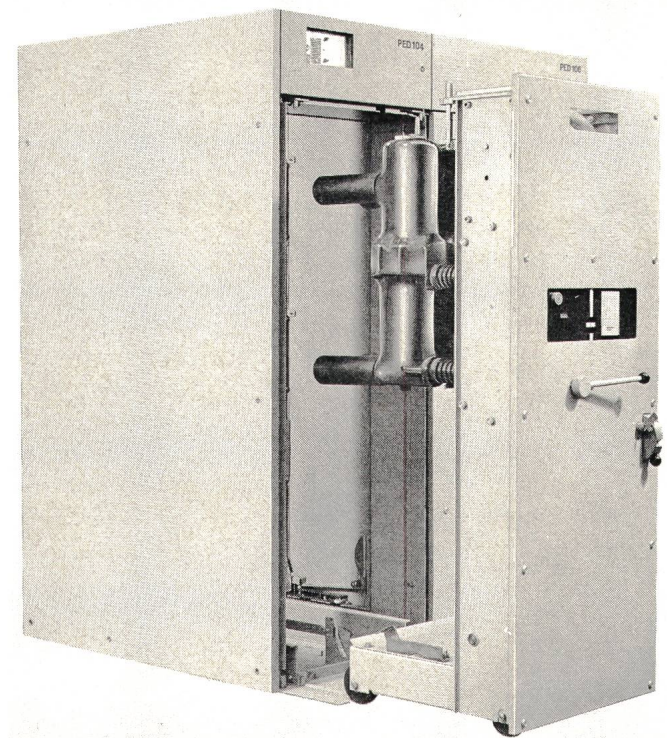


Fig. 4 Lichtbogenfeste Mittelspannungszellen, ausgerüstet mit ölarmer Leistungsschaltern und elektronischen Sekundärrelais
Fabrikat Sprecher+Schuh AG, Schweiz

Interessant ist die Verschiedenheit der Entwicklungsrichtung zwischen den USA und Europa. Entwicklungen an ölarmer Schaltern wurden in den USA nie durchgeführt, und das Schwergewicht liegt auf dem Mittelspannungsgebiet beim *Magnetblasschalter*, der dagegen in Europa vor allem seines grossen Gewichtes wegen nie grosse Marktanteile erobern konnte und eher an Bedeutung verloren hat.

Der *Druckluftschalter* ist heute prädestiniert für ausgesprochene Sonderanwendungen. Im höheren MVA-Bereich spielt er eine Rolle, obschon ihm durch die inzwischen auch für höhere Kurzschlussleistungen entwickelten ölarmer Schalter Konkurrenz erwächst. Eine interessante Ausführung stellen Druckluft-Generatorschalter dar, die heute mit Nennströmen von 40 kA und Nennausschaltströmen von gegen 250 kA bis zu den höchsten heute vorkommenden Generatorleistungen zur Verfügung stehen (Fig. 2).

Mit *Schwefelhexafluorid* als Löschmedium lassen sich Mittelspannungsschalter bauen, die bezüglich technischen Kenndaten, Dimensionen und Gewichten vergleichbar sind mit den ölarmer Schaltern. Ein eigentlicher Durchbruch ist jedoch im gegenwärtigen Zeitpunkt nicht abzusehen, da doch bezüglich Preis, Langzeitverhalten und Revisionsaufwand gewisse Vorbehalte bestehen. Anwendungen kommen vor allem dort in Frage, wo prinzipiell auf den Einsatz von Öl enthaltenen Apparaten verzichtet wird (spezielle Industrien, Bergbau).

Praktisch keinen Eingang haben in Europa die *Vakuumschalter* gefunden. Gründe sind vor allem das heutige Preisniveau und Vorbehalte gegen ein nicht revidierbares Wegwerfelement. In den USA hingegen scheint der Vakuumschalter gegenüber dem dort üblichen Magnetblasschalter konkurrenzfähig zu sein. Trotzdem Vakuumschalter seit über 10 Jahren angeboten werden, ist aber kein eigentlicher

Durchbruch erfolgt. Ein typischer Anwendungsfall ist ein Vacuum-Recloser (Fig. 3) für 15,5 kV und 12 kA Nennauschaltstrom, ausgerüstet mit Durchführungsstromwandlern zur Fehlererfassung und der Möglichkeit für vorprogrammierte Kurz- und Langunterbrechungszyklen.

Der grösste Teil aller Mittelspannungsschalter gelangt zum Kunden als Bestandteil von *Metallgekapselten Anlagen*, die aus vorfabrizierten Blechzellen bestehen. Die heutige Bauart dieser Zellen stellt einen wichtigen Schritt dar in Richtung erhöhter Betriebssicherheit und erhöhten Personenschutzes. Diesbezügliche Konstruktionsmerkmale sind:

- Verwendung von isolierten Schienen und Geräten, wobei hier der letzte Entwicklungsschritt die Anwendung von vollständig aus Kunststoff gefertigten Schalterpolgehäusen darstellt.

- Unterteilung der Zellen in getrennte Räume für Sammelschiene, Kabelendverschluss und Schalter, um die Auswirkungen eines Störlichtbogens räumlich zu begrenzen.

- Verwendung von Trennwagenschaltern mit Klappen, die bei ausgefahrenem Schalter den Zugang zum Sammelschienenraum und zum Kabelendverschluss verunmöglichen.

- Druck- und lichtbogenfeste Bauart der Zellen.

In Fig. 4 sind entsprechende Zellen dargestellt, die mit zunehmend verwendeten, elektronischen Sekundärrelais ausgerüstet sind.

Die vor zehn Jahren beobachtete Tendenz zu immer schmaleren Leistungsschalterzellen ist heute zum Stillstand gekommen. Geringe Zellenbreiten ergeben eine ungenügende Flexibilität in bezug auf die zum Einbau gelangenden Geräte (Schalter, Wandler, Kabelendverschlüsse) und eine schlechte Zugänglichkeit bei deren Montage, Kontrolle und Wartung. Auch die heutige Tendenz zu höheren Anlagennennströmen steht der Verwendung von wärmetechnisch ungünstigen Schmalzellen entgegen, die nur durch übermässige Leiterquerschnitte vor Übertemperaturen bewahrt werden können.

Diese Dimensionierungsgesichtspunkte führen dazu, dass für Leistungsschalterzellen weitgehend eine kombinierte Luft-Kunststoffisolation in explosionsgeschützenden Blechgehäusen als optimal angesehen wird. Bei Lasttrennerbausteinen kleinerer Nennströme hat hingegen die reine Kunststoffisolation ein Anwendungsfeld.

4. Hochspannungsfreiluftschalter

Die äussere Bauform der Hochspannungsfreiluftschalter hat sich in den USA und Europa sehr unterschiedlich entwickelt. In den USA beherrscht die Technik des Schalters mit geerdetem Kessel ausgerüstet mit Stromwandlerdurchführungen bis zu der Spannung von 245 kV das Feld. In neuester Zeit setzt sich diese Tendenz fort mit der Einführung von SF₆-Kessel-Schaltern für 362, 550 und auch 765 kV. Andererseits hat sich in Europa sozusagen ausschliesslich der Schalter ohne eingebauten Stromwandler mit Porzellanisolation gegen Erde für den Nennspannungsbereich von 72,5 kV an aufwärts durchgesetzt. In Abweichung davon wird derzeit in Europa und Japan die Anwendung von geerdeten Schaltblöcken untersucht, bei denen Baueinheiten von SF₆-gekapselten Anlagen, wie Schalter, Trenner, Durchführungsstromwandler in sonst konventionell gebauten Freiluftanlagen angewendet würden. Hauptvorteile sind die etwas kompakteren Anlageabmessungen und eine geringere Empfindlichkeit gegen atmosphärische Verschmutzung.

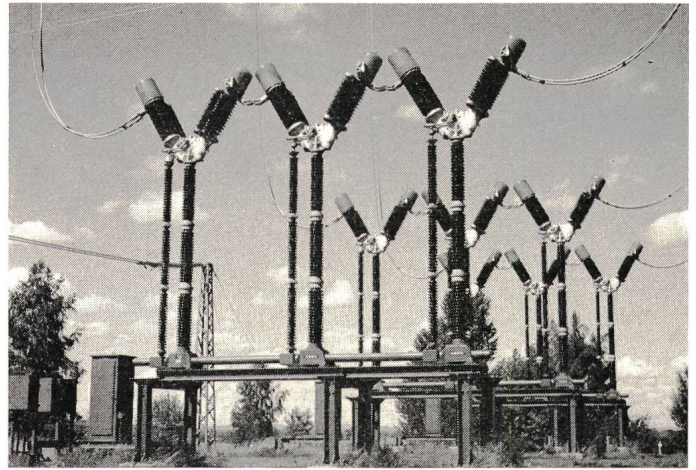


Fig. 5 Ölarmen Hochspannungsschalter 420 kV, Nennauschaltstrom 50 kA, Nennstrom 3150 A Fabrikat ASEA, Schweden

Im Gegensatz zu der unterschiedlichen Entwicklung der Bauweisen besteht weltweit Ähnlichkeit in bezug auf die angewendeten Löschesysteme. 50 kA wird heute als mittlere Schaltleistung betrachtet, während 100 kA als obere Grenze angesehen wird. *Öllöschesysteme* haben seit dem Beginn der Übertragungstechnik elektrischer Energie eine starke Verbreitung gefunden. Sie verdanken ihre Stellung der Einfachheit und der dadurch erzielbaren hohen Betriebssicherheit und, im Falle der ölarmen isolierten Schalter, auch der leichten Revidierbarkeit (Fig. 5). Ölkesselschalter in USA und ölarme Schalter in der übrigen Welt bilden das Rückgrat der Energieverteilssysteme in den Spannungsklassen 72,5 bis 245 kV. Parallel dazu werden die später entwickelten *Druckluft-Freiluftschalter* verwendet. Zurzeit besteht aber im mittleren Leistungs- und Spannungsbereich eine Tendenz zur Ablösung derselben durch ölarme Schalter und Schalter mit Schwefelhexafluorid als Löschmittel. Weitgehend unangetastet ist die Stellung der Druckluft-Freiluftschalter bei den Nennspannungen von 550 und 765 kV und bei Schaltern mit sehr hohen Nennauschaltströmen (80 kA und darüber).

Die SF₆-Hochspannungsschalter werden zur Beherrschung des Abstandskurzschlusses für hohe Nennauschaltströme im unteren Nennspannungsbereich als Zweidruckschalter gebaut. Für kleinere Nennauschaltströme im unteren Nennspannungsbereich und für mittlere Nennauschaltströme im oberen Nennspannungsbereich kommt hingegen bei den SF₆-Schaltern mehr und mehr das Eindruckprinzip zur Anwendung (Fig. 6). Es hat neben grösserer Einfachheit den zusätzlichen Vorteil, bis zu Umgebungstemperaturen zwischen -25 °C und -40 °C, je nach Wahl des Nenndruckes, ohne Heizung auszukommen. Im Falle grosser Schalthäufigkeit sind Vorbehalte gegen die gleichzeitige Verwendung des Gases zur Lichtbogenlöschung und zur Isolation am Platze.

Vakuum-Hochspannungsschalter für Nennspannungen über 72,5 kV haben bisher praktisch keinen Eingang in die Anwendungspraxis gefunden, obschon Versuchsschalter zum Teil seit vielen Jahren im Netzbetrieb sind. Die Anstrengungen zur Realisierung von Hochspannung-Vakuumschaltern gehen aber weiter. Es wird auch versucht, durch Zusammenbau von Vakuumschaltelementen mit SF₆-Schaltelementen den Vorteil der sehr hohen Anfangswiederverfestigungs-

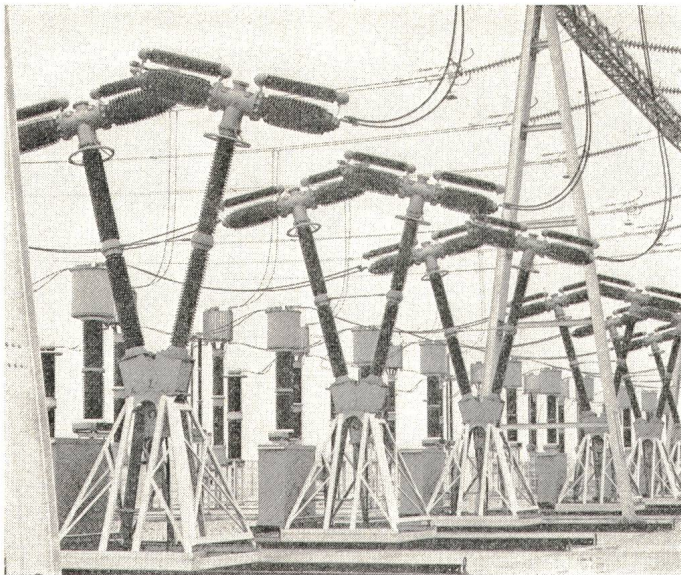


Fig. 6 SF₆-Eindruck-Hochspannungsschalter 420 kV, Nennausschaltstrom 40 kA, Nennstrom 2000 A Fabrikat Delle-Alsthom, Frankreich

geschwindigkeit im Vakuum mit den guten Löscheigenschaften im SF₆-Gas bei mittleren Anstiegsgeschwindigkeiten zu kombinieren.

5. SF₆-gekapselte Anlagen

Die Notwendigkeit, in Gebieten mit hoher elektrischer Lastdichte Anlagen im Nennspannungsbereich von 72,5 kV bis 420 kV zu errichten, hat zur Forderung geführt, derartige Anlagen in Gebäuden bei kleinstmöglichem Volumen unterbringen zu können. Schon früher wurden deshalb vollständig metallgekapselte Anlagen, bei denen Druckluft als Isoliergas zur Anwendung kam, gebaut. Bei Verwendung von Schwefelhexafluorid mit den ungefähr dreimal besseren Isoliereigenschaften als Luft, können derartige Anlagen mit tieferem Nenndruck und damit bedeutend leichter gebaut werden. Durch konsequente Anwendung quasi homogener Feldanordnungen gelingt es, bei Überdrücken von wenigen bar mit SF₆ die Isolierdistanzen mehr als zwanzigmal kleiner zu halten als in konventionellen Freiluftanlagen. Das Gesamtbauvolumen der gekapselten Anlagen kann bis auf 5...10 % des Volumens konventioneller Anlagen zurückgehen (Fig. 7), trotzdem sind sie aber meistens teurer. Die Anwendung der gekapselten Technik ist in der Regel nur gerechtfertigt, wenn kein Platz für eine Anlage konventioneller Bauart vorhanden ist oder wenn wegen starker Luftverschmutzung die gekapselte Bauweise zusätzliche betriebliche Vorteile bringt. Mit steigender Nennspannung wird der Kostenunterschied kleiner. Ob aber Anlagen für eine Nennspannung von 1100 kV in gekapselter Bauweise preisgünstiger sind als konventionelle Anlagen, steht derzeit noch nicht fest. Sehr klar ist hingegen auch hier der Trend zu hohen Nennströmen, 2000 A für Abgänge und 3000...4000 A für die Sammelschienen.

Gekapselte Anlagen für höchste Nennspannungen sind heute realisierbar. Die Grundlagen für die Entwicklung sind erarbeitet und konstruktive, material- und verfahrenstechnische Verbesserungen haben in den letzten Jahren auf diesem Gebiet zu entscheidenden Fortschritten geführt. So

sind für die ursprünglichen Probleme bezüglich Gasdichtigkeit, Trockenheit der Gasräume, Sauberkeit im Innern der Anlagen, einfache und schnelle Revidierbarkeit der Apparate sowie der Lichtbogensicherheit gute Lösungen gefunden worden. Auch die Betriebserfahrungen mit den in Betrieb stehenden Anlagen bestätigen die Ausführbarkeit solcher Projekte.

6. Strom- und Spannungswandler

Die Technik magnetischer Messwertübertragung hat sich bewährt und wird auch heute noch vorwiegend angewandt. Zur Spannungsmessung haben sich neben den induktiven Wandlertypen zum Teil auch kapazitive Wandler durchgesetzt. Die Messwandler wurden im Verlauf der Jahre wesentlich verbessert. Die erhöhten technischen Anforderungen wurden durch Fortschritte in den verwendeten Materialien und Herstellverfahren ermöglicht. Die heutigen Wandler sind bedeutend leichter und auch betriebssicherer geworden. Als Isoliermittel wird bei den eigentlichen Hochspannungswandlern fast ausschliesslich Öl, meistens mit Alterungsinhibitoren, angewendet. Seit einigen Jahren findet aber auch hier die Gasisolation Eingang. So werden beispielsweise in England und USA sehr häufig magnetische Stromwandler mit SF₆ als Hauptisolation für 245 bis 550 kV angewendet. Im Mittelspannungsgebiet kommen hauptsächlich Trockenwandler mit Giessharzisolierung zum Einsatz. Diese Technik dringt sowohl für Strom als auch für Spannungswandler zu höheren Nennspannungen vor.

Die Kombination von Strom- und Spannungswandler zu einer einzigen Baueinheit hat sich international nur vereinzelt durchgesetzt, weil damit keine entscheidende Kostenreduktion zu erreichen war.

Zurzeit werden optisch-elektronische Messwertübertragungsmethoden entwickelt und im Netz praktisch ausprobiert. Derartige Systeme erscheinen insbesondere für sehr hohe Nennspannungen attraktiv, weil der Aufwand für die Übertragung auf Erdpotential von der Nennspannung weitgehend unabhängig ist. Noch werden sie aber nicht serienmässig gebaut. Fehlende Betriebserfahrungen, vor allem aber der grosse Leistungsbedarf der heute üblichen Mess- und Schutzeinrichtungen und der dadurch bedingte geringe wirtschaftliche Fortschritt sind Gründe für die anstehende Ein-

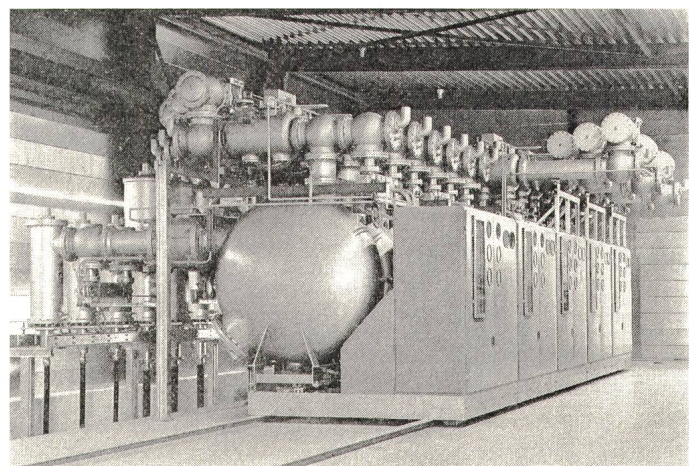


Fig. 7 245-kV-SF₆-Anlage, Nennstrom 4000 A Fabrikat Sprecher+Schuh AG, Schweiz

ing. Die Entwicklung auf diesem Gebiet könnte eine
e überspringen und zu integrierten digitalen Systemen,
Strom-, Spannungsmessung und elektronisches Relais be-
halten, führen.

Überspannungsableiter

Im unteren Nennspannungsbereich ist das Verhältnis zwi-
schen Stosshaltespannung und Betriebsspannungen grösser
als im oberen Nennspannungsbereich. Für den unteren
Nennspannungsbereich bis ca. 245 kV genügt deshalb in den
meisten Netzen ein spezifisches Schutzniveau von ca. 3. Für
erartige Anforderungen hat sich der einfache Ventilableiter
ohne zusätzliche Blashilfen bewährt. Er wird hier beinahe
ausschliesslich angewendet. Dies wird in Zukunft kaum än-
dern, um so mehr, als durch die neueren Entwicklungen die
Sichersicherheits- und die allgemeine Betriebssicherheits dieser
Typen ausgesprochen hoch sind. Als neue Technik, vom Nie-
derspannungsbereich herkommend, sind Entwicklungen im
Gange, die Ansprech- und Löschfunkenstrecken durch An-

wendung von spannungsabhängigen Widerständen mit be-
sonders scharf ausgeprägter Nichtlinearität wegzulassen.

Im höheren Nennspannungsbereich, besonders bei den
Höchstspannungen, besteht die Tendenz, das spezifische
Schutzniveau auf Faktoren bis 2,0 zu senken. Diese Senkung
bringt bei anderen Apparaten und vor allem bei den Übertra-
gungsleitungen wesentliche Kostenreduktionen. Der Schutz
gegen Schaltüberspannung ist hier neben den Blitzspannun-
gen die zweite wesentliche Aufgabe der Ableiter. Wegen der
grossen abzuführenden Ladung der langen Freileitungen
werden Ableiter mit magnetisch beblasenen Funkenstrecken
eingesetzt. Die Betriebssicherheit dieser Geräte kommt der-
zeit derjenigen der Ventilableiter recht nahe. Entsprechend
dem hohen Energieableitvermögen sind magnetische Ableiter
aber aufwendiger, so dass in naher Zukunft das Nebeneinan-
der von Ventil- und magnetischen Ableitern bestehen bleibt.

Adresse des Autors

Adrian W. Roth, Dr. E. h., Delegierter des Verwaltungsrates,
Sprecher & Schuh AG, 5001 Aarau.