

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:	79 (1988)
Heft:	19
Artikel:	Vakuum-Leistungsschalter im Netzbetrieb
Autor:	Müller, A. / Raas, B.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-904085

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: 22.02.2026

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

Vakuum-Leistungsschalter im Netzbetrieb

A. Müller, B. Raas

Vakuum-Leistungsschalter sind heute für den gesamten Leistungsbereich der Mittelspannung verfügbar. Verschiedene Baureihen berücksichtigen die unterschiedlichen Anforderungen für Netze der öffentlichen Stromversorgung, Industrie und Bahnen. Der Artikel beschreibt Schaltaufgaben und berichtet über Betriebserfahrungen. Außerdem wird die Schaltrohre und ihr Löschrinzip vorgestellt. Der einfache Aufbau des Vakuumschalters ermöglicht seine hohe Zuverlässigkeit.

Les disjoncteurs sous vide sont aujourd'hui disponibles dans toute la gamme des puissances utilisées en moyenne tension. Plusieurs séries de construction permettent de tenir compte des exigences différentes posées dans les réseaux de distribution publique, industriels et ferroviaires. L'article décrit les cas de fonctionnement et certaines expériences d'exploitation vécues. On y présentera, de plus, les tubes sous vide ainsi que le principe d'extinction de l'arc. La simplicité de la construction du disjoncteur sous vide permet une haute fiabilité d'exploitation.

Mittelspannungsschaltanlagen sind Knotenpunkte der Energieverteilungsnetze. Die dort eingesetzten Leistungsschalter müssen hohe Anforderungen erfüllen. Sie sollen induktive und kapazitive Betriebsströme von wenigen Ampere bis hin zu grossen Kurzschlussströmen von z.B. 63 kA beherrschen. Die Anforderungen sind sowohl grosse Schalthäufigkeit in Industrienetzen als auch lange Standzeiten in Energieversorgungsnetzen, dies bei gleichzeitig hoher Zuverlässigkeit und geringem Wartungsaufwand. Der Vakuum-Leistungsschalter (V-Schalter) erfüllt diese Anforderungen. Er hat sich in der Mittelspannung bis 36 kV durchgesetzt; sein Marktanteil auf dem Weltmarkt liegt inzwischen bei 50%. Mehr als 40 Hersteller fertigen weltweit Vakuumschalter.

1. Einsatzbereich und Schaltaufgaben

Siemens liefert zwei Baureihen von Vakuumschaltern (Tabelle I, Fig. 1). Die Reihe 3AF umfasst den gesamten Leistungsbereich und alle kundenspezifischen Ausrüstungsvarianten. Die Reihe 3AG ist den speziellen Anforderungen des unteren Leistungsbereiches angepasst und wird damit z.B. den im Netzbetrieb auftretenden Bedingungen der Energieversorgungsunternehmen gerecht. Ausserdem gibt es die Baureihe 3AF als einpolige Schalter,



Figur 1 Vakuum-Leistungsschalter 12 kV, 63 kA, 2500 A

die speziell auf die Bedingungen in Bahnstromnetzen zugeschnitten sind (Tabelle II).

In Tabelle III sind die häufigsten Schaltfälle zusammengefasst, die ein Leistungsschalter beherrschen muss. Diese Schaltaufgaben stellen sehr unterschiedliche, z.T. sogar gegensätzliche Anforderungen an den Schalter. Da nicht alle Forderungen gleich gut erfüllt werden können, sind die einzelnen Schalterlösungen mehr oder weniger gute Kompromisse. Die Schaltfälle lassen sich neben dem Schalten von Kurzschlussströmen physikalisch in folgende Gruppen einteilen [1]:

- kapazitive Ströme
- kleine induktive Ströme (bis etwa 20 A)

Nennspannung	Nennkurzschlussausschaltstrom		Nennbetriebsstrom	
Reihe	3AF	3AG	3AF	3AG
7,2 kV	bis 63 kA	20 kA	bis 4000 A	bis 1250 A
12 kV	bis 63 kA	20 kA	bis 4000 A	bis 1250 A
15 kV	bis 63 kA	20 kA	bis 4000 A	bis 1250 A
24 kV	bis 25 kA	16 kA	bis 2000 A	bis 1250 A
36 kV	bis 31,5 kA	16 kA	bis 2500 A	bis 1250 A

Tabelle I Baureihen

Adressen der Autoren

Ansgar Müller, Siemens AG,
Bereich Schalttechnik E769,
Postfach 3240, D-8520 Erlangen.

Bruno Raas, Siemens-Albis AG,
Freilagerstrasse 28, 8047 Zürich.

- induktive Ströme (etwa 20 A bis zum Nennbetriebsstrom).

Kapazitive Ströme: Hierunter fällt neben dem Schalten von Kondensatoren vor allem das Ausschalten von unbelasteten Kabeln und Freileitungen. Diesen Schaltfall beherrschen die Vakuumschalter ohne Rückzündungen und damit ohne Überspannungen. Herkömmliche Schalter verursachen hierbei häufig hohe Überspannungen durch Rückzündungen.

Kleine induktive Ströme: Bei diesem Schaltfall handelt es sich vor allem um das Ausschalten unbelasteter Transformatoren. Hier können hohe Überspannungen durch Stromabriß auftreten. Vakuumschalter älterer Bauart, die aber auch heute noch gefertigt werden, können Abreissströme bis zu 20 A haben. Beim Einsatz dieser älteren Schalter sind beim Schalten von Transformatoren Schutzbeschaltungen zur Verhinderung unzulässiger Überspannungen notwendig.

Dagegen sind bei moderneren Vakuumschaltern die Abreissströme so klein (unter 5 A), dass auch beim schwierigsten induktiven Schaltfall, dem Ausschalten unbelasteter Transformatoren, die Überspannungen sehr gering bleiben und damit keinerlei Beschaltungen notwendig sind.

Induktive Ströme: In diesen Bereich fallen im wesentlichen zwei Einsatzfälle, das Schalten von Kompensationsspulen und das Ausschalten festgebremster oder anlaufender Motoren bis zu einer bestimmten Motorgrösse. Bei diesen Sonderfällen können unter bestimmten Voraussetzungen höhere Überspannungen infolge multipler Wiederzündungen auftreten. Um diese Schaltaufgaben sicher beherrschen zu können, wurden umfangreiche Schaltversuche mit Kompensationsspulen im Betrieb und systematische Versuche mit Motoren im Anlauf durchgeführt [2].

Mit den bei bestimmten Anwendungen notwendigen Schutzbeschaltungen hat der Vakuumschalter auch für diese Schaltfälle Vorteile gegenüber anderen Löschprinzipien, da einerseits die möglichen Beanspruchungen der zu schaltenden Betriebsmittel genau bekannt und beherrschbar sind und andererseits die zulässige Anzahl der Schaltspiele (je nach Betriebsstrom und Schaltertyp bis zu 30 000 Schaltspiele) von keinem Schalter mit anderem Löschprinzip erreicht wird.

Nennspannung	Frequenz	Nennkurzschluss-ausschaltstrom	Nennbetriebsstrom
17,5 kV	16 $\frac{2}{3}$ Hz	bis 40 kA	bis 2500 A
27,5 kV	50/60 Hz	bis 25 kA	bis 2000 A

Tabelle II Bahnschalter 3AF

Nr.	Schaltfall	Strom	$\cos \phi$
1	Kurzschluss im Netz	bis Nennkurzschluss-ausschaltstrom	0,15 induktiv
2	unbelastete Kabel und Freileitungen	bis 100 A	kapazitiv
3	unbelastete und belastete Transformatoren	bis 120% Transformatornennstrom	< 0,3 induktiv; 0,7 bis 1 ind.
4	Aus- und Einschalten von Kondensatoren, Parallelschalten	bis 135% Kondensatornennstrom 15 × Kondensatornennstrom	kapazitiv
5	Lichtbögen-, Reduktions- und Induktionsofen	bis 2 × Transformator-nennstrom	0,2 bis 0,9 ind.
6	Kompensationsspulen	bis 2000 A	< 0,15 ind.
7	Motoren im Normalbetrieb, im Anlauf oder blockiert	Motornennstrom bis 6 × Motornennstrom	0,8 bis 0,9 ind. 0,2 bis 0,3 ind.
8	Bahnstromversorgung	bis Nennkurzschluss-ausschaltstrom	16 $\frac{2}{3}$ Hz induktiv

Tabelle III Einsatz von Leistungsschaltern

Eine CIGRE-Arbeitsgruppe hat sich bereits vor Jahren mit diesem Schaltfall beschäftigt [3]. Dabei wurden die höchsten Überspannungen (bis $k = 9,8$) beim Schalten mit einem ölarmen Schalter festgestellt.

Bei einigen in letzter Zeit aufgetretenen Motorschäden beim Schalten mit ölarmen Schaltern konnte außerdem festgestellt werden, dass die höchsten Überspannungen nicht durch multiple Wiederzündungen bei Anlaufabschaltungen, sondern beim betriebsmässigen Ausschalten laufender Motoren durch Stromabriß auftraten. Da bei konventionellen Schaltern der Abreissstrom mit zunehmender Parallelkapazität stark ansteigt, sind besonders solche Motoren gefährdet, die über längere Kabel angeschlossen sind. Bei Vakuumschaltern dagegen steigt der Abreissstrom mit zunehmender Parallelkapazität nur sehr geringfügig an [4].

2. Betriebserfahrungen

In zahlreichen Feldversuchen wurde das Verhalten des V-Schalters im rea-

len Netzbetrieb untersucht. Die in Tabelle III genannten Schaltfälle und gesammelte Betriebserfahrungen [5] werden nachfolgend kurz beschrieben:

1. Kurzschluss im Netz

Der Hauptvorteil des Vakuumschalters liegt in seiner Fähigkeit, Betriebs- und Kurzschlussströme mit einer hohen Anzahl von Ausschaltungen zu unterbrechen. So kann der Nenn-Kurzschlussausschaltstrom je nach Schalttyp bis zu 100mal oder mehr ausgeschaltet werden.

2. Unbelastete Kabel und Freileitungen

Bei einem süddeutschen EVU wurde ein unbelastetes Kabel mit einer Länge von 2500 m und auch ein Kabel mit Erdenschluss in einer Phase geschaltet. Die Nennspannung betrug 24 kV, der Strom der Erdchlusslöschspule im Erdenschlussfall wurde in Stufen von 27 bis 200 A eingestellt. Bei keiner Ausschaltung traten Unregelmässigkeiten auf. Der maximale Überspannungsfaktor lag bei einem Wert von 1,2.

3. Unbelastete und belastete Transformatoren

Im Prüffeld wurden unbelastete Transformatoren mit Magnetisierungsströmen bis zu 16 A und bei Betriebsspannungen zwischen 6 kV und 36 kV einige hundert Mal ausgeschaltet. Der höchste gemessene Überspannungsfaktor betrug $k = 3,1$ bei 12 kV. Bei allen anderen Betriebsspannungen war er kleiner.

In Netzversuchen mit einem 12,5-MVA-Transformator und 24 kV Betriebsspannung konnte kein grösserer Überspannungsfaktor als 1,4 gemessen werden. In der 10-kV-Ebene wurden Versuche mit einem unbelasteten und einem belasteten Maschinentransformator mit einer Leistung von 50 MVA durchgeführt. Je nach Erregung des Transformators betrug der Strom 24 bis 100 A. Anlagenseitig war eine Kapazität von 150 nF vorhanden. Mit maximal 1,5 lag der gemessene Überspannungsfaktor in einem unkritischen Bereich.

4. Ein-, Aus- und Parallelschalten von Kondensatoren

Bei Einschaltversuchen mit Kondensatorbatterien wurden Stromsteilheiten von $1000 \text{ A}/\mu\text{s}$ bei einer Frequenz von 4,2 kHz erzielt; der maximale Strom betrug dabei 40 kA. Die Spannungsbeanspruchung der Röhre entsprach dabei der im 36-kV-Netz. Insgesamt wurden mehr als 500 Versuche durchgeführt. Der Zustand der Kontakte nach den Versuchen zeigte, dass auch noch eine grössere Anzahl von Schaltungen sicher möglich sind. Es war deshalb auch ein gutes Ergebnis bei Netzversuchen mit einer 3,6-MVar-Kondensatorbatterie bei 12 kV (Strom 105 A) zu erwarten. Der maximale Überspannungsfaktor beim Einschalten betrug 2,4, bei einem zu Vergleichszwecken unter denselben Netzbedingungen geschalteten ölarmen Leistungsschalter 2,6. Beim Ausschalten traten mit dem Vakuumschalter keine Überspannungen auf.

5. Schalten von Lichtbogen-, Reduktions- und Induktionsöfen

Dieser Schaltfall ist wegen seiner grossen Schalthäufigkeit und der dadurch notwendigen häufigen Wartung des Leistungsschalters für die meisten Schalterarten schwierig. Hier hat der Vakuumschalter deutliche Vorteile, weil z.B. 30 000 Schaltspiele mit einem Satz Schaltröhren zulässig sind.

Nennspannung	27,5 kV	27,5 kV	17,5 kV	17,5 kV
Nennfrequenz	50/60 Hz	50/60 Hz	16 $\frac{2}{3}$ Hz	16 $\frac{2}{3}$ Hz
Nenn-Steh-Blitzstossspannung gegen Erde	170 kV	250 kV	125 kV	125 kV
über Schaltstrecke	170 kV	250 kV	150 kV	150 kV
Nennkurzschluss-Ausschaltstrom	16 kA	25 kA	25 kA	40 kA
Nennkurzschluss-Einschaltstrom	40 kA	63 kA	63 kA	100 kA
Nennbetriebsstrom	1250 A	2000 A	2000 A	2500 A

Tabelle IV Technische Daten der Bahnschalter 3AF

Netzversuche mit Ofentransformatoren mit einer Leistung von 10,5 bzw. 15 MVA mit der üblicherweise vorhandenen RC-Beschaltung wurden mit Strömen zwischen 20 und 550 A durchgeführt. Bei kleiner Ein- oder Ausschaltung traten höhere Überspannungsfaktoren als 2,6 auf.

Drei Vakuumröhren, die bei einem Kunden 30 000mal geschaltet hatten, wurden zur Befundaufnahme geöffnet. Die Ströme im Lichtbogenofenbetrieb betrugen zwischen 100 A und > 2000 A. Bei 6 kV Spannung war der Summenstrom der 30 000 Schaltspiele ungefähr 8000 kA. Die Kontakte wiesen keinen erkennbaren Abbrand auf.

6. Schalten von Kompensationsspulen

Auch dieser Schaltfall stellt für die meisten herkömmlichen Schalter eine hohe Beanspruchung dar. Da die Kompensationsspulen im Durchschnitt mindestens einmal je Tag geschaltet werden und die Ströme bis 2000 A betragen können, ist der Vakuumschalter auch hier besser geeignet als die bisher eingesetzten Schalter. Netzversuche mit einer 100-MVar-Drossel und in einem anderen Fall mit zwei parallelgeschalteten 50-MVar-Drosseln in der 30-kV-Spannungsebene haben dies bewiesen. Mit Einsatz eines RC-Gliedes lag der Überspannungsfaktor unter 1,6, ohne Beschaltung betrug er maximal 2,6.

7. Motoren

Hier lagen bereits umfangreiche und langjährige Erfahrungen mit Vakuum-schützen vor. Das betriebsmässige Ein- und Ausschalten von Motoren ist unkritisch. Es wird daher hier nur auf den schwierigen Schaltfall, nämlich das Abschalten von anlaufenden Motoren, eingegangen. Bei diesem Schalt-

fall beträgt der Strom etwa das Sechsfache des Motornennstromes bei $\cos \Phi = 0,2...0,3$ (Tabelle IV).

Mit Grundlagenuntersuchungen und praxisgetreuen Schaltversuchen wurde die Beanspruchung der Motorisolierung beim Schalten im Anlauf eingehend untersucht. Ein 10-kV-Motor wurde in verschiedenen Netzkonfigurationen insgesamt etwa 2500mal im Anlauf ausgeschaltet. Damit konnten statistisch abgesicherte Erkenntnisse über die beim Schalten auftretenden Isolationsbeanspruchungen gewonnen werden. Der Motor (400 kW) war mit einem Kabel an die Schaltanlage angeschlossen. Die Kabel auf der Speiseseite wurden durch eine konzentrierte Kapazität von $0,8 \mu\text{F}$ mit 0Ω Wellenwiderstand nachgebildet (Fig. 2), so dass die volle Stosswelle auf den Motor zuläuft. In der Praxis teilt sich die Stossspannungswelle im Verhältnis der Wellenwiderstände zwischen Netz- und Lastseite auf, so dass im Betrieb eine geringere Beanspruchung auftritt.

Die Auswertung aller Versuche zeigte, dass für die Schaltungen mit multiplen Wiederzündungen eine statistisch abgesicherte Pegelsicherheit von $\gamma = 1,62$ für die Beanspruchung der Hauptisolierung, die eine Stossspannungsfestigkeit von 50 kV hat, besteht. Für die besonders zu beachtende Weitüberschlagsfestigkeit (Festigkeit der Windungsisolierung innerhalb einer Spule) der ersten Spule im gealterten Zustand gilt 40 kV. Unter Berücksichtigung der im Betrieb möglichen ungünstigsten Parameter kann an der Eingangsspule eine Beanspruchung von 32 kV (2%-Wert) mit $1,7 \mu\text{s}$ Anstiegszeit auftreten. Damit verbleibt zwischen der Beanspruchung von 32 kV und der elektrischen Festigkeit von 40 kV eine Pegelsicherheit von $\gamma = 1,25$. VDE 0111 fordert eine Pegelsicherheit von $\gamma = 1,62$.

cherheit von 1,15. Damit ist auch im Sonderfall der Anlaufausschaltung von kleinen Hochspannungsmotoren der Betrieb als sicher zu bewerten.

Wie in Figur 2 angedeutet ist, werden die Abzweige kleiner Motoren mit Überspannungsbegrenzern in der Schaltzelle ausgerüstet. Größere Motoren mit Anlaufströmen über 600 A benötigen keine Beschaltung, da höhere Überspannungen infolge multipler Wiederzündungen nur unter 600 A auftreten. Betriebsmässige Ausschaltungen des Motors aus dem Last- oder Leerlaufzustand geschehen ohne Überspannung aufgrund des kleinen Abreissstromes der Vakuumsschalter.

8. Bahnstromversorgung

Die heute zur Verfügung stehenden Bahnschalter zeigt Tabelle IV. In Bahnenetzen herrschen andere Einsatzbedingungen als in Netzen der öffentlichen Energieversorgung [6; 7]. Bahnsysteme werden meistens mit 15 kV bei 16 $\frac{2}{3}$ Hz oder 25 kV bei 50/60 Hz betrieben (Fig. 3). Die speziellen Anforderungen ergeben sich aus dem einphasigen Betrieb, der niedrigeren Frequenz (bei 16 $\frac{2}{3}$ Hz) und den besonderen Bedingungen des Bahnbetriebs. So sind die Lichtbogenzeiten für einen einpoligen Schalter schon bei 50 Hz länger als im Drehstromsystem. Noch härter ist die Beanspruchung bei 16 $\frac{2}{3}$ Hz. Entsprechend gross ist die Kontaktbeanspruchung, wenn häufig Kurzschlussströme ausgeschaltet werden. In Fahrleitungsnetzen ist die Zahl von – meistens vorübergehenden – Kurzschlägen wesentlich grösser als

in EVU-Netzen. Der V-Schalter ist wegen seiner hohen zulässigen Stromsumme hierfür besonders geeignet. Obwohl der Energieumsatz in der Schaltstrecke grösser wird als in Drehstromschaltern, bleibt er beim V-Schalter wegen der geringen Lichtbogenspannung erheblich niedriger als bei konventionellen Schaltern. Die aufgrund der thermischen Belastbarkeit der Oberleitung geforderten kurzen Ausschaltzeiten werden durch die Verringerung der mechanischen Eigenzeit und im Zusammenwirken mit dem dynamisch wirkenden Schnellauslöser erreicht.

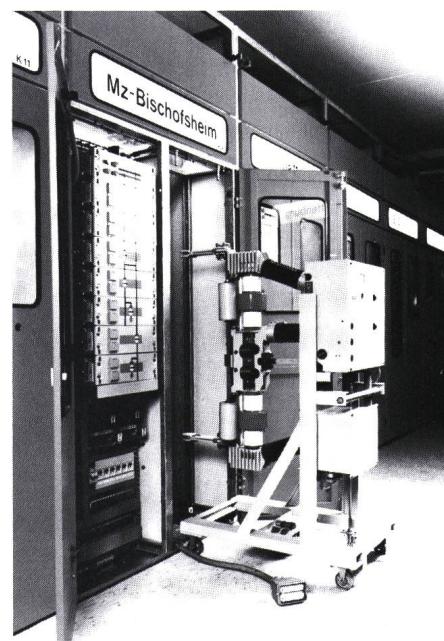
Eine beim Bahnbetrieb gegenüber EVU-Netzen mögliche grössere Beanspruchung der Isolationsstrecken erfordert z.T. höhere Isolationspegel.

3. Wartung und Lebensdauer

Vakuumsschalter verlangen nur geringen Wartungsaufwand; beispielsweise müssen nur folgende Arbeiten durchgeführt werden:

- Schmieren des Antriebs nach 10 000 Schaltspielen oder nach 10 Jahren Standzeit
- Austausch der Schaltröhren und einiger Verschleisssteile nach 30 000 mechanischen Schaltspielen.

Der Schalter hat insgesamt eine Lebensdauer von 60 000 mechanischen Schaltspielen. Dabei gibt es für Antrieb und Schaltröhren keine zeitliche Begrenzung. Da diese grossen Schaltspielzahlen nur in wenigen Einsatzfällen



Figur 3 Einpoliger Bahnschalter 3AF für 17,5 kV, 40 kA, 2500 A, 16 $\frac{2}{3}$ Hz

in Anspruch genommen werden, ist der V-Schalter – abgesehen vom Schmieren – praktisch wortungsfrei.

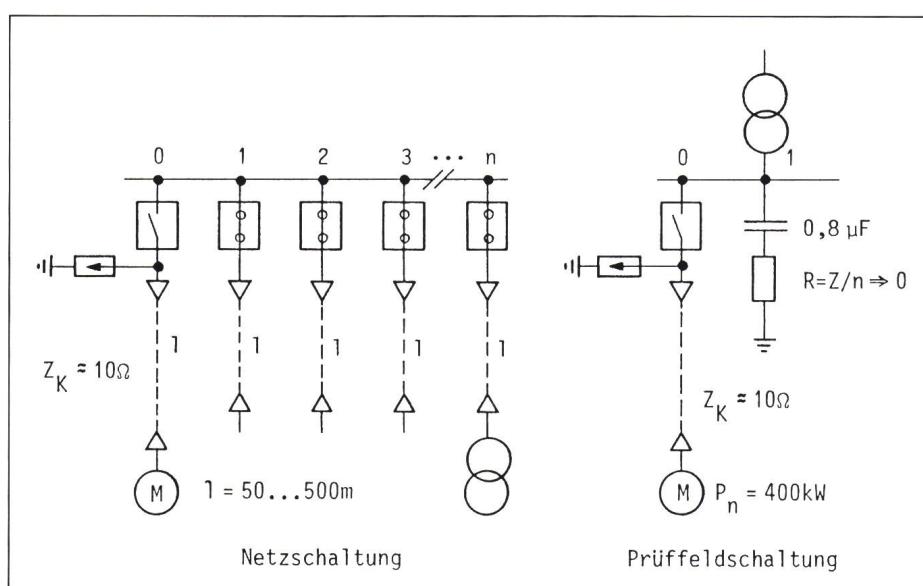
4. Vakuum-Schaltröhre

Die genannten Merkmale des V-Schalters ergeben sich aus den Eigenschaften der Vakuumsschaltröhre. Sie muss gleichzeitig folgende Forderungen erfüllen:

- grosses Kurzschlussstromschaltvermögen
- grosse dielektrische Festigkeit
- kleiner Abreissstrom
- geringer Schaltstückabbrand
- kleiner Kontaktübergangswiderstand.

Bei grossen Ausschaltströmen (ab etwa 10 kA) wird aus dem diffusen, über die ganze Schaltstückoberfläche verteilten Lichtbogen infolge seines Eigenmagnetfeldes ein kontrahierter Lichtbogen. Um eine lokale Überhitzung der Schaltstücke zu vermeiden, muss sich der Lichtbogen bewegen. Durch ein radiales Zusatzmagnetfeld, das durch Schlitzung der Schaltstücke erzeugt wird, entsteht eine Kraft, die den Bogen auf den Laufringen der Schaltstücke umlaufen lässt.

Schaltröhren für Ausschaltströme über 50 kA werden mit Axialmagnetfeldkontakte ausgerüstet, die den Lichtbogen im gesamten Strombereich diffus halten. Der diffuse Lichtbogen besteht aus vielen Teillichtbögen, die über die Kontaktfläche verteilt sind.



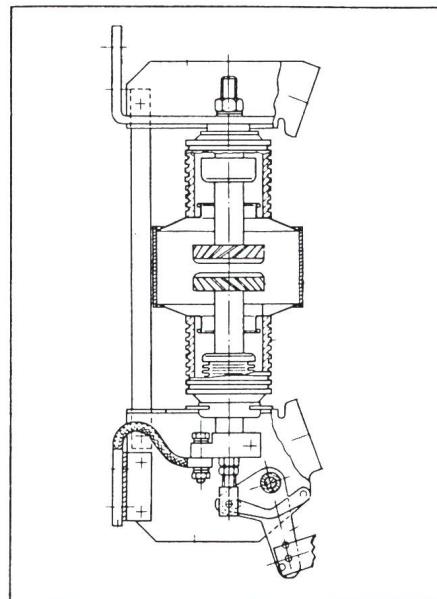
Figur 2 Anlagekonfiguration für Motoren im Netz und mit entsprechendem Prüffeldaufbau

Beim Öffnen des Kontakts entsteht eine Metalldampf-Bogenentladung. Bis zum nächsten Nulldurchgang fliesst der Strom durch das Metalldampfplasma. Dann kondensiert der leitfähige Metalldampf innerhalb weniger μ s auf den Schaltstückoberflächen; damit wird die Schaltstrecke sehr schnell dielektrisch wiederverfestigt. Der stationäre Druck in einer Schaltrohre beträgt weniger als 10⁻⁹ bar. Für eine hohe dielektrische Festigkeit genügen deshalb Schaltstückabstände zwischen 6 mm und 25 mm.

Das Metalldampfplasma hat eine hohe Leitfähigkeit. Die Lichtbogenspannung (nur etwa 20...200 V) und damit auch der Energieumsatz in der Schaltstrecke sind sehr gering. Die hohe Leitfähigkeit, zusammen mit dem geringen Energieumsatz und den kurzen Lichtbogenzeiten sind die Gründe für den geringen Schaltstückabbrand und die lange elektrische Lebensdauer der Vakuumsschaltröhren.

Die Kontaktüberflächen im Vakuum sind rein und frei von Fremdschichten. Es werden Werkstoffe mit grossem Leitwert verwendet. Damit erreicht man kleine Übergangswiderstände. Sie betragen zwischen den beiden äusseren Anschlüssen einer Röhre etwa 10 $\mu\Omega$. Deshalb bleibt die Verlustleistung klein.

Die stromführenden Innenteile der Schaltröhren sind hartgelötet und damit dauerhaft und elektrisch gut leitend verbunden. Um bei den Gehäusen die Isolatoren und Metalle mechanisch fest und vakuumdicht miteinander zu verbinden, wird für die Siemens-Vakuumsschaltröhren die bewährte Metall-Keramik-Hartlöttechnik der Senderöhrenfertigung angewendet. Dazu werden Keramikteile aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) metallisiert und mit den thermisch angepassten Flanschen aus einer Einschmelz-



Figur 4 Anzahl der Polteile beim V-Schalter

Anzahl der Polteile	22
Bewegbare Polteile	9
Bewegbare Polteile in der Löschkammer	2

legierung aus Eisen, Nickel und Kobalt verlötet. Die Montage- und Verschlussverschweissungen an den Endflanschen und der Schaltkammer werden nach einem speziellen Verfahren ausgeführt. Die Ränder der Faltenbälge, die nur eine geringe Dicke aufweisen, werden mit den Anschlussteilen zuverlässig vakuumdicht plasmaschweisst. Bei diesen Verbindungen tritt keine Alterung auf. Daher bleibt die Vakuumdichtheit während der gesamten Lebensdauer erhalten.

5. Zuverlässigkeit

Die Hauptaufgabe eines Leistungsschalters ist das Abschalten von ge-

störten Netzteilen, um angeschlossene Betriebsmittel zu schützen. Daraus resultiert die Forderung nach hoher Zuverlässigkeit. Ein Mass für die Zuverlässigkeit eines Gerätes ist die Ausfallrate. Diese ist etwa proportional zur Zahl der Einzelteile, aus denen ein Schalter gebaut ist.

Der V-Schalter benötigt nur einen einfachen Antrieb mit kleinem Arbeitsvermögen, da zur Lichtbogenlöschung keine Löschmittelströmung gebraucht wird und der Schaltstückhub sowie die Schaltgeschwindigkeit klein sind. Auch der Schalterpol besteht nur aus wenigen Teilen (Fig. 4). Besonderes Augenmerk fällt hier auf die Anzahl der bewegten Teile, da sie naturgemäß eine grössere Ausfallrate haben als feststehende. Die Auswertung von entsprechenden Fehlerstatistiken zeigt die hohe Zuverlässigkeit der Vakuumsschalter.

Literatur

- [1] F. Battiwala u.a.: Vakuum-Leistungsschalter 3AF und Vakumschütze 3TL im Netzbetrieb. Siemens-Energietechnik 3(1981) Beif. «Vakumschalttechnik für Mittelspannung» S. 46...54.
- [2] A. Luxa und A. Priess: Schalten von Motoren im Anlauf. Siemens Energie und Automation 7(1985)2, S. 87...91.
- [3] M. E. Slamecka: Coupure des faibles courants induktifs. Chapitre 3, partie A. Electra -(1981)75, p. 5...30.
- [4] P. Beesly: Vacuum switchgear for medium voltage applications. GEC Engineering 1(1983)-, p. 37...46.
- [5] H. Betteg u.a.: Betriebserfahrungen mit Vakuum-Leistungsschaltern 3AF. Elektrizitätswirtschaft 83(1984)17/18, S. 784...787.
- [6] N. Steinemer und D. Maul: Vakuum-Leistungsschalter 3AF für Bahnstromnetze hoher Kurzschlussleistung. Elektrische Bahnen 82(1984)5, S. 142...146.
- [7] H. Schramm und V. Witke: Vergleich der Anforderungen und Auslegungen der Hochspannungs-Betriebsmittel für 16 $\frac{2}{3}$ Hz und 50 Hz. Elektrische Bahnen 85(1987)4, S. 105...109.