Einflussfaktoren auf die Zuverlässigkeit moderner Hochspannungsleistungsschalter

Autor(en): **Hux, G.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **79 (1988)**

Heft 19

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-904082

Nutzungsbedingungen

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

Haftungsausschluss

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

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

http://www.e-periodica.ch

Einflussfaktoren auf die Zuverlässigkeit moderner Hochspannungsleistungsschalter

G. Hux

Moderne Leistungsschalter werden nach international vereinbarten Regeln gebaut und geprüft. Sie weisen im allgemeinen einen hohen technischen Stand auf. Im vorliegenden Aufsatz werden verschiedene Aspekte der Zuverlässigkeit, insbesondere von SF_6-Schaltern, aus der Sicht des Herstellers und des Betreibers behandelt.

Les disjoncteurs de puissance modernes sont construits et essayés selon des règles convenues internationalement. Leurs qualités techniques sont généralement hautes. Dans cet article, on discute quelques aspects de la fiabilité des disjoncteurs, en particulier des disjoncteurs SF_6, du point de vue du fabricant et de celui de l'exploitant.

Adresse des Autors
Guido Hux, Sprecher Energie AG, Hochspannungsgeräte, 5036 Oberentfelden.

1. Einleitung

Ein Schaltgerät wird als zuverlässig bezeichnet, wenn es die ihm zugewiesene Aufgabe in hohem Masse erfüllt. Dabei werden von ihm selbst verursachte störungsbedingte Funktionsunterbrüche beurteilt, einerseits nach deren Häufigkeit in Abhängigkeit der Lebensdauer, anderseits nach den Auswirkungen auf die Verfügbarkeit (zeitlich) und die Kosten.

Wie die Erfahrung lehrt, muss bei technischen Erzeugnissen trotz allen Vorkehrungen damit gerechnet werden, dass Störungen auftreten, wenn auch nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit. Dies gilt bekanntlich auch in der Flug-, Bahn- und Automobiltechnik, bei Verkehrsmitteln also, denen wir uns in der Regel sorglos anvertrauen. Es stellt sich deshalb trotz hohem Stand der Technik die Frage, welche Einflussfaktoren die Zuverlässigkeit von Leistungsschaltern beeinflussen können.

- Was kann der Hersteller beeinflussen?
- Was kann der Planer und Betreiber beeinflussen?

2. Hauptaufgaben des Leistungsschalters im Hochspannungsnetz

Die spezifischen Einsatzfälle der Leistungsschalter (Fig. 1) sind mannigfaltig. Trotzdem kann das grosse Aufgabenspektrum summarisch wie folgt vereinfacht werden:

a) passiv (ruhend)

- Betriebsströme von 0 bis Grenzwert führen.
- Gelegentlich kleinere oder grössere Kurzschlussströme ertragen, ohne einen Schaltbefehl zu erhalten.
- Das Isolationsniveau halten, und dies bei allen Einflüssen im Innern der Apparate und von der Umwelt her.

b) aktiv (Schalthandlung)

- Vom Netzbetreiber ausgelöste Schaltungen vornehmen (Betriebsströme schalten).
- Gelegentlich, durch den Netzschutz automatisch ausgelöst, einen Kurzschlussstrom schalten, und dies innert weniger Millisekunden. Eventuell mit Schnellwiedereinschaltung (Kurzunterbrechung).

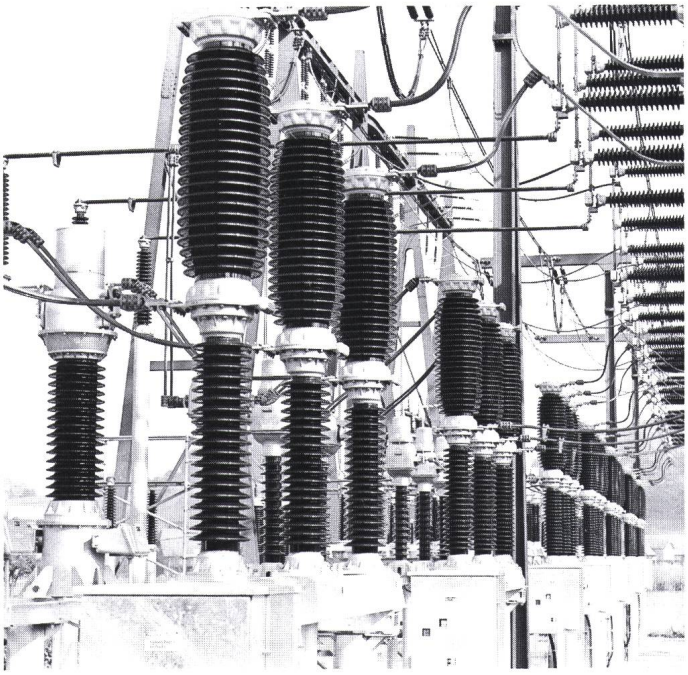
Von einem Hochspannungsleistungsschalter wird eine Lebensdauer von etwa 25 Jahren erwartet.

3. Schlüsselpunkte der Zuverlässigkeit

Es ist verständlich, dass sich der Netzbetreiber bei der Auswahl der Leistungsschalter selbst ein Bild über die zu erwartende Zuverlässigkeit machen will. Anderseits ist die Produktewahl zu einem Teil auch Vertrauenssache. Einige typische Schlüsselfragen bezüglich der Hochspannungsleistungsschalter betreffen:

- die Erfüllung der technischen Daten, Vergleich mit dem Anforderungsprofil, Prüfungen
- die Hochspannungsisolation innen und aussen, Kriechwege, Porzellan-Schirmformen
- die Wirkung der Umwelteinflüsse
- die Dichtheit der Gehäuseteile, die Leckrate, das Dichtringsystem
- die Überwachung des Isoliermediums
- die Personensicherheit
- die Wartung, Kontrollen, die Instandhaltung
- die Lebensdauer der Schaltkontakte
- das Antriebssystem, die Überwachungselemente
- das Qualitätssicherungskonzept

Vielfach sind die vom Anwender gestellten Fragen (Audit) ein Abbild seiner persönlich gesammelten Erfahrungen, oder sie betreffen ihm weniger bekannte Technologien.



Figur 1 Schaltanlage mit SF_6-Leistungsschaltern 145 kV

Im folgenden werden einige Einflussfaktoren auf die Zuverlässigkeit von Hochspannungsleistungsschaltern erläutert. Dabei wird das Schwergewicht der Aussagen auf Freiluftleistungsschalter über 36 kV und, dem heutigen Stand der Technik entsprechend, auf SF_6-Schalter gelegt.

3.1 Erfüllung der technischen Daten

Unter den technischen Daten steht das Schaltvermögen, das mit Typprüfungen nachgewiesen wird, im Vordergrund. Nach dem Abschluss umfangreicher Entwicklungsprüfungen erfolgt die Typprüfung in einem neutralen Hochleistungslabor (Fig. 2) nach einschlägigen Regeln (z.B. IEC). Internationale Fachgremien befassen sich mit den neuesten Erkenntnissen der transienten Netzphänomene, den Beanspruchungen des Leistungsschalters und der Prüftechnik und erarbeiten die entsprechenden Prüfnormen. Nach diesen Vorschriften geprüfte moderne Leistungsschalter können somit als zuverlässig bezeichnet werden.

Die Wahl eines überdimensionierten Leistungsschalters im Sinne einer Ausschaltleistungsreserve ist aus wirtschaftlichen Gründen nur gerechtfertigt, wenn am Netzeinbauort in voraussehbarer Zeit mit einem Anstieg der Kurzschlussleistung zu rechnen ist.

3.2 Hochspannungsisolation

Die Zuverlässigkeit der *inneren Isolation* von Hochspannungsfreiluftschaltern muss im Zusammenhang mit dem gewählten Löschmedium betrachtet werden.

Während bei ölarmen Schaltern und bei Druckluftschaltern das Eindringen bzw. das Kondensieren von Feuchtigkeit im Schalterinnern bei der Isolationsbemessung berücksichtigt werden muss, ist die Situation bei SF_6-Leistungsschaltern wesentlich günstiger. Hier herrschen im nach aussen völlig abgeschlossenen Gasraum klare Verhältnisse, die bei Einhaltung der Gaseinfüllvorschriften gewährleistet sind (Fig. 3).

Auch die übrigen, die innere Isolation betreffenden Veränderungen, z.B. durch das Schalten von Kurzschlussströmen, Kontaktabbrand, Zersetzungsprodukte des Löschmediums usw., müssen vom Schalterbauer bei der Dimensionierung berücksichtigt und in Lebensdauerprüfungen [1] verifiziert werden. Hochaktive Adsorber sorgen für gute SF_6 -Qualität im Leistungsschalter.

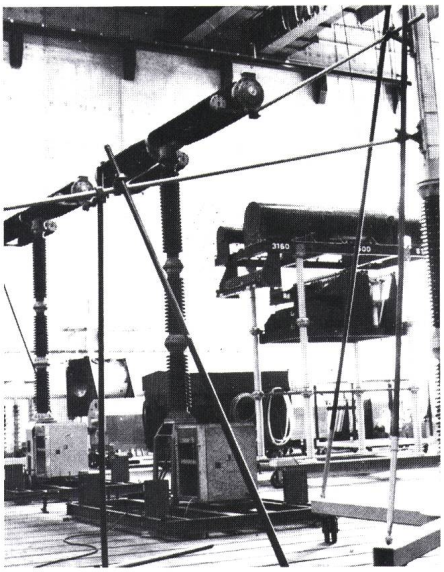
Die *äussere Isolation* wird vom Hersteller primär nach den einschlägigen Regeln und Vorschriften (z.B. IEC) dimensioniert. Ausserdem muss bei der Schalterauswahl der Einfluss der Luftverunreinigung auf die Bemessung der Isolatorkriechwege berücksichtigt werden.

3.3 Umwelteinflüsse

Fremdschichten

Die zunehmende Luftverunreinigung macht sich auch an Freiluftleistungsschaltern bemerkbar. Ablagerungen auf den Isolatoren können leitende Beläge (Fremdschichten) bilden und damit die Isolation beeinträchtigen. Gegenmassnahmen sind in verschiedenen Stufen möglich:

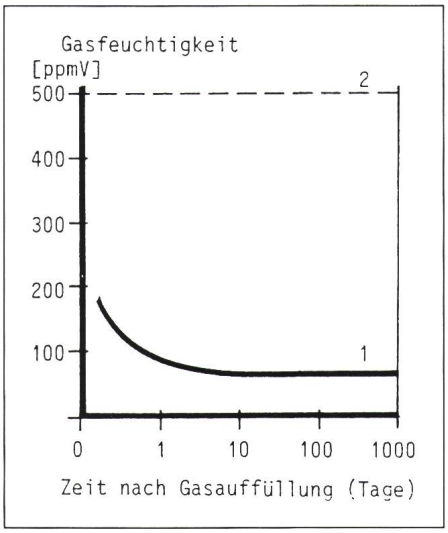
- Entsprechende Dimensionierung der Isolatorkriechwege und Gestaltung der Schirme in Freiluftanlagen (Fig. 4).
- Einbau der Schaltgeräte in ein Gebäude (Innenraumanlage).



Figur 2 Typprüfung eines 420-kV-Leistungsschalters im Hochleistungslabor der Kema, Arnhem

In der Mitte: Prüfling mit zwei Schaltkammern in Serie

Im Hintergrund: Schutzschalter



Figur 3 Gasfeuchtigkeit in SF_6-Freiluftschaltern

1 Typischer Feuchtigkeitsverlauf für Schalter mit Adsorber

2 Beispiel einer Betriebsgrenzwertangabe

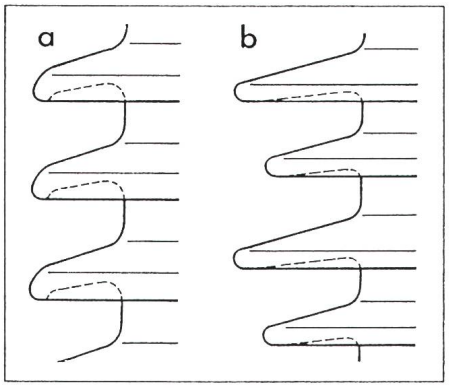
- Gekapselte, gasisolierte Schaltanlage (GIS, Innenraumaufstellung, Fig. 5)
- Verwendung von Wasserabspritzeinrichtungen in extrem situierten Freiluftschaltanlagen [2].
- Einfetten und periodische Reinigung von Freiluftisolatoren (seltene Praxis) [2; 3].

Korrosive Einflüsse

Die wichtigsten korrosiven Einflüsse aus der Luft sind Abgase, saurer Regen, Meersalz, Stickoxide und Einflüsse von nahen Autobahnen. Schwefelverbindungen greifen z. B. auch feuerverzinkte Teile an. Auch Dämpfe aus dem Boden der nahen Umgebung können die Korrosion der Anlageteile fördern.

Mit der Zunahme der korrosiven Umwelteinflüsse sind unter anderem auch die möglichen Schutzmassnahmen erweitert worden:

- Bessere Stähle (Niro)
- Bessere Kenntnisse über das Verhalten von Aluminiumlegierungen



Richtlinien für Porzellan- und Glasisolatoren, A.C. nach IEC Publ. 815 (1986)

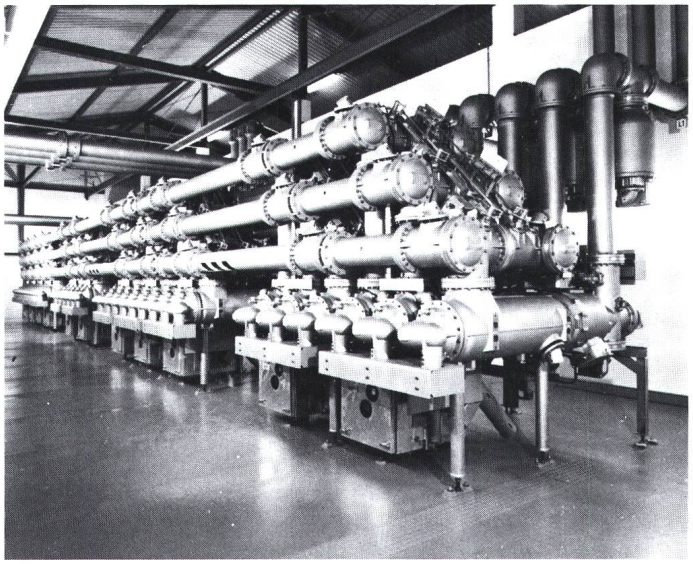
Verschmutzungsgrad	Minimaler spezifischer Kriechweg zwischen Phase + Erde mm/kV *)
I - leicht	16
II - mittel	20
III - schwer	25
IV - sehr schwer	31

*) bezogen auf verkettete Nennspannung

Figur 4 Für vertikale Isolatoren meist gebräuchliche Isolatorschirmformen

a Normalschirm mit oder ohne Tropfnase z. B. nach DIN

b Alternierende Schirme ergeben höhere spezifische Kriechwege



Figur 5 Gasisolierte gekapselte Schaltanlage Typ B212 für 123 kV

- Mittel zur Vorbeugung gegen Oberflächen- und Spaltkorrosion
- Verbesserte Schutzanstriche
- Zuverlässiges Beheizen und Belüften von Antriebs- und Steuerschränken zur Vermeidung von Kondenswasserkorrosion.

3.4 Dichtheiten

In den letzten zwei Jahrzehnten sind bezüglich der Dichtheit der Gehäuseteile erhebliche Fortschritte zu verzeichnen. Wurden die Aluminiumgiessereien schon beim Aufkommen neuerer Druckluft- und Ölschalter diesbezüglich herausgefordert, so liegen die Dichtheitsanforderungen an moderne SF_6-Schaltergehäuse noch eine Stufe höher. Die Fortschritte in den hochentwickelten Industrieländern sind derart, dass bei Anwendung moderner Qualitätsüberwachungssysteme Schalterleckraten von max. 1% pro Jahr (SF_6-Gasverlust) vorausgesetzt werden können.

Die Formgebung der *Dichtringe* unterscheidet sich nach dem Anwendungszweck, ob statisch oder dynamisch, wesentlich: statische Dichtungen für Porzellanisolatoren, Deckel, Gasanschlüsse usw., dynamische Dichtungen für drehende Wellen und Schubstangen. Die Hauptaufgaben der Dichtungen sind:

- den Dichtungsdruck langzeitig erhalten bei allen vorkommenden Temperaturen.
- dauernde Resistenz bieten gegen das Isoliermedium und seine Zersetzungsprodukte, also gegen Angriffe von innen.
- eine Langzeitbarriere bilden gegen alle von aussen wirkenden Einflüsse.

3.5 Überwachung des Isoliermediums

Während bei Ölschaltern das Niveau der Isolierflüssigkeit lediglich optisch überwacht wird, ist bei gasisolierten Leistungsschaltern eine zusätzliche elektrische Überwachung vorgesehen. Da bei diesen Schaltern der Gasdruck mit der Temperatur erheblich variiert, die Dichte aber konstant bleibt, wird diese mit einem Dichtewächter kontrolliert, einem temperaturkompensierten Druckwächter mit mindestens zwei elektrischen Signalkontakten (Fig. 6).

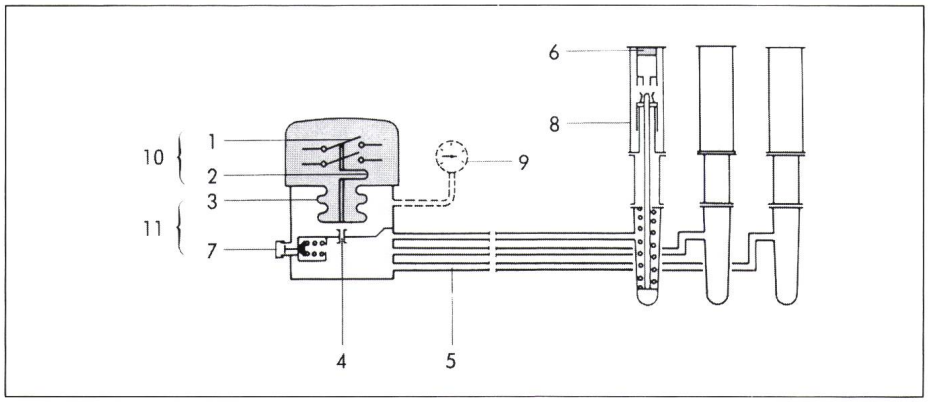
3.6 Personensicherheit

Gasschalter stehen unter Überdruck. Dies betrifft Baugruppen und Einzelteile wie Metallgehäuse, Deckel, Isolatoren usw.

Mehrere Länder-Vorschriften stellen an die SF_6-Schalter gleiche oder ähnliche Anforderungen wie an Druckkessel (Dampfkessel). In der Schweiz gelten die Regeln des Schweiz. Vereins für Druckbehälterüberwachung (SVDB). Im Rahmen der CENELEC gelten andere Standards. Die Hersteller haben entsprechende Prüfungen mit einem hohen Sicherheitsfaktor durchzuführen, wodurch bei Leistungsschaltern die gleiche Personensicherheit gewährleistet ist, wie bei anderen Druckbehältern, die uns täglich umgeben.

3.7 Lebensdauer der Schaltkontakte

Die Lebensdauer der Schaltkontakte ist bei einem bestimmten Leistungsschaltertyp von der geschalteten Stromsumme abhängig. Der Kontakt-



Figur 6 Beispiel eines Gasüberwachungssystems (schematisch)

1 Signalkontakte
2 Thermobimetall
3 Druckmessglied
4 Blende
5 Verbindungsleitung Pol-Dichtewächter
6 Adsorber
7 Nachfüllanschluss für Gas
8 Schalterpol
9 Manometer
10 Dichtewächter
11 Sockel

abbrand kann mit folgender Gleichung ausgedrückt werden:

$$\Sigma\, n_i\, I_i^{\alpha} = K$$

I_i Grösse der ausgeschalteten Ströme
n_i Anzahl der ausgeschalteten Ströme mit Grösse I_i
α Exponent (er liegt zwischen 1,5 und 2)
Für die Praxis kann zweckmässigerweise 2 gewählt werden.
K Konstante, die dem zulässigen Maximum entspricht.

Die Konstante K und der Exponent α werden für jeden Schaltertyp durch den Hersteller ermittelt.

Unter den in Übertragungs- und Verteilnetzen üblichen Verhältnissen müssen die Schaltkontakte während dem Leben eines modernen SF_6-Leistungsschalters kaum ausgewechselt werden.

3.8 Wartung

Damit der Leistungsschalter seine Aufgabe im Netz über einen langen Zeitraum voll erfüllt, sind in gewissen Zeitabständen Kontrollen oder Instandhaltungsarbeiten durchzuführen. Ausführliche, benützerfreundliche Handbücher beinhalten die für jeden Schaltertyp nötigen Instruktionen. Der vom Hersteller vorgeschriebene Wartungsaufwand nimmt mit der ständigen Weiterentwicklung der Leistungsschalter ab, mit dem Ziel der «Wartungsfreiheit».

Um den Schalter zur blossen Überprüfung seines Zustandes nicht öffnen zu müssen, werden von Schalterherstellern neuerdings auch sogenannte Diagnose-Methoden und Hilfsmittel, sowie entsprechende Serviceleistungen angeboten. Solche Mittel erlauben z. B. einen allfällig nahenden Revisionszeitpunkt mit Kontaktwechsel abzuschätzen. Dank derartigen Kontrollverfahren wird bei SF_6-Leistungsschaltern eine höhere Zuverlässigkeit erwartet, als bei häufigem Inspizieren der Polräume, wie dies bei anderen Löschmedien gelegentlich praktiziert wird. Im folgenden seien einige Möglichkeiten von Zustandskontrollen mit diagnostischen Mitteln aufgeführt.

- *Kontrolle des Abbrandkontakt-Zustandes*

Bei dieser Kontrolle wird z. B. die Veränderung der elektrischen Kontakttrennung gegenüber dem Neuzustand in Funktion des Schalthubes ermittelt und als Beurteilungsmass für den Abbrand herangezogen. Der Schalthub wird dabei ausserhalb des Schaltergasraumes am Gestänge, d. h. auf Erdpotential ermittelt (Fig. 7).

Beim von der Hochspannung abgetrennten Schalter lässt sich die Kontakttrennung feststellen, z. B.
- mit Ohmmeter bei Anwendung der «Langsamschaltmethode» (quasistatisch)
- mit elektrischem Aufzeichnungsgerät bei der dynamischen Messung. Als Wegsensor dient ein Linear- oder Drehpotentiometer.

- *Kontrolle der Hauptstrombahn*

Die Messung des Gesamtwiderstandes zwischen den Eingangs-Ausgangsklemmen des geschlossenen Schalterpoles und der Vergleich mit den zulässigen Grenzwerten gibt Anhaltspunkte über den Zustand der Stromübergänge. Bei dieser bekannten Methode dient ein Ohmmeter mit einem hohen Prüfstrom als Messmittel.

- *Kontrolle des mechanischen Schalterzustandes*

Eine bekannte Methode ist die Aufzeichnung eines Weg-Zeit-Diagramms und dessen Vergleich mit dem Neuzustand, wobei der Wegsensor wie oben auf Erdpotential angesetzt wird.

Eine weitere Möglichkeit ist die Messung der Schaltereigenzeit und der Vergleich mit den zulässigen Grenzwerten. Dabei wird z. B. die Spannung an der Auslösespule und die Trennung bzw. die Berührung der Hauptstromkontakte oszillographiert. Durch Simulation von Unterspannung an den Auslösespulen kann ferner die Auslösesicherheit des Antriebes ermittelt werden.

- *Kontrolle der Gasüberwachung*

Diese Kontrolle erfolgt z. B. durch Überprüfung der Dichtewächter-Schaltpunkte (Signale «Nachfüllen», «Sperren») mittels Simulation eines lokalen Druckabfalles im Dichtewächter ohne merklichen Gasverlust für den ganzen Schalter.

3.9 Leistungsschalterantriebe

Die Mehrzahl der von Anlagenbetreibern registrierten Störungen an Leistungsschaltern sind auf Mängel an Antrieben und deren Überwachungselementen zurückzuführen. Daher gilt das Hauptaugenmerk bei der Schalter-

Figur 7 Beispiel eines Diagnostik-Sets für die Kontrolle des Kontaktzustandes, ohne den Leistungsschalterpol öffnen zu müssen

wahl oftmals dem Antriebsprinzip, seinen Eigenschaften und den damit gesammelten Betriebserfahrungen. Während die Schaltkammern verschiedener Hersteller zumindest äusserlich ähnlich sind, fallen die grundsätzlichen Unterschiede in der Wahl des Antriebssystems auf:

- Federspeicherantriebe
- Hydraulikantriebe
- Pneumatikantriebe
- gemischte Antriebssysteme (z. B. Feder + Hydraulik oder Pneumatik)

Wie Untersuchungen zeigen, hat die Art des Antriebes einen bedeutenden Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Leistungsschalter [4].

Schalterhersteller mit traditionell starkem Know-how auf *Federspeicherantrieben* weisen z. B. auf folgende Merkmale hin (Fig. 8):

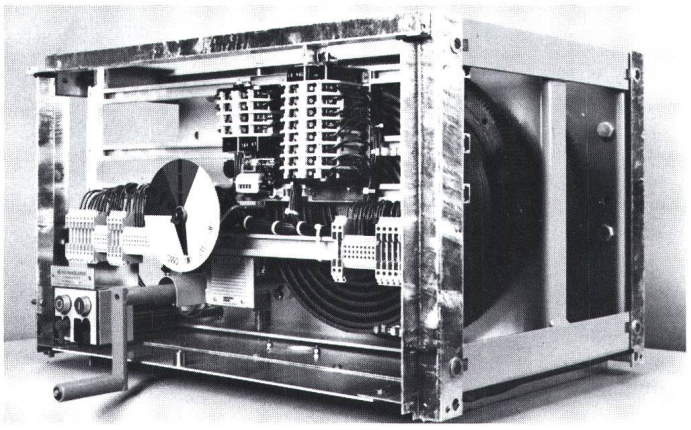
- In Federn gespeicherte Energie geht nicht verloren. Keine Überwachung nötig. Energieabgabe ist temperaturunabhängig.
- Keine Druckleitungen und Ventile. Keine Leckagen.
- Federantriebe sind werkgeprüfte Einheiten. Keine Eingriffe durch Vor-Ort-Monteur nötig.

Dieses Antriebssystem findet zunehmende Verbreitung und Anerkennung.

Hydraulik- und *Pneumatikantriebe* haben bei entsprechend aufwendiger Auslegung eine sehr kurze Ausschaltzeit resp. Eigenzeit. Ferner kann die Energieabgabe (z. B. über Druckleitungen) dezentral auf verschiedene Schaltersäulen verteilt und gesteuert werden. Diese Technik ist heute bei Spannungen von über 400 kV dominant.

Mechanische Lebensdauer: Zur Sicherstellung der mechanischen Zuverlässigkeit wird nach den IEC-Regeln eine Typprüfung mit 2000 Schaltspielen verlangt. Aus den Herstellerangaben geht hervor, dass bei den Prüfungen dieser Wert meistens weit überschritten wird. Mit Prüfungen bis 10 000 Schaltspielen können allfällige mechanische Schwachstellen erkannt und eliminiert werden.

Lebensdauerprüfung: Einen wertvollen Beitrag zur frühzeitigen Produktebeurteilung bezüglich Zuverlässigkeit stellt eine umfassende Lebensdauerprüfung dar. Sie simuliert im Zeitrafferverfahren in wenigen Monaten bis Jahren in einem gewissen Masse ein Schalterleben und gibt dem Hersteller wertvolle Hinweise für zukünftige Aktivitäten.



Figur 8
Federspeicherantrieb Typ FKF 1-2 für Leistungsschalter von Sprecher Energie
Von rechts: Spiralfeder (Speicher), Schalter- und Federstellungsanzeige, Notaufzugskurbel, Vor-Ort-Auslösetasten

3.10 Qualitätssicherungskonzept

Qualität ist der Grad der Übereinstimmung zwischen der Beschaffenheit eines Produktes und den vorgegebenen sowie vorausgesetzten Erfordernissen. Qualität ist somit auch Voraussetzung für Zuverlässigkeit.

Zur Erzeugung zuverlässiger Leistungsschalter braucht der Hersteller ein umfassendes Qualitätssicherungssystem, welches heute weit über die altbewährten Begriffe wie Prüfungen, Kontrollen usw. hinausgeht. Das Qualitätsdenken muss das ganze Unternehmen durchdringen und seine Auswirkungen zeigen, von der Konstruktion bis zum fertigen Produkt. Das Qualitätssicherungssystem wird dokumentiert durch ein «Qualitätshandbuch», das firmenspezifisch erarbeitet und angewendet wird. Ohne diesen klar dokumentierten Willen zur Erzeugung von Qualitätsprodukten würde der Hersteller durch den anhaltenden Kostendruck leicht der Versuchung zum Abbau der nötigen Reserven in der Konstruktion erliegen.

Der bei der Qualitätsfestlegung und Qualitätssicherung investierte laufende Aufwand ist nicht vernachlässigbar, ist aber ein wesentlicher Beitrag zur Zuverlässigkeit der Produkte.

3.11 Weitere Fortschritte der letzten Jahre bezüglich Zuverlässigkeit

Ein Weg zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von Apparaten führt bekanntlich über deren Vereinfachung.

So ermöglichten die hervorragenden Isolier- und Löscheigenschaften des SF_6-Gases eine Reduktion der Anzahl Unterbrechungsstellen pro Leistungsschalterpol gegenüber anderen Löschmedien. Ferner konnte gleichzeitig die Anzahl Bauteile pro Löschkammer z. B. gegenüber ölarmen Schaltern reduziert werden.

Der Energieinhalt des grössten Federspeicherantriebes konnte in den letzten fünf Jahren fast verdoppelt werden, ohne Verlust an Zuverlässigkeit. Damit stehen Federspeicherantriebe auch für hohe Nennausschaltströme (63 kA) zur Verfügung.

Anderseits wurden die Hydraulikantriebe kompakter. Die Anzahl Rohrverbindungen und die nach aussen führenden Dichtstellen sind reduziert worden.

Durch die Verwendung von Mischgas (SF_6/N_2) und durch Feinabstimmung des Dichtungs- und Überwachungssystems können SF_6-Schalter, die üblicherweise bei Umgebungstemperaturen bis −30...−40 °C eingesetzt werden, heute z. T. auch für Temperaturen bis −50 °C eingesetzt werden.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass SF_6-Leistungsschalter im allgemeinen einen hohen technischen Stand aufweisen. Fest steht auch, dass Hersteller und Betreiber gleichermassen bestrebt sind, mit einer hohen Zuverlässigkeit der Leistungsschalter einen Beitrag zur Sicherstellung der heute so wichtigen Stromversorgung zu leisten.

Literatur

[1] *R. Coccioni, H. Doessegger, R. Hunziker:* "Endurance tests with SF_6 high voltage switchgear to verify their high reliability". IEEE/CSEE Joint Conference on high voltage transmission systems in China, October 1987.

[2] IEC Publ. 815 (1986).

[3] *D.W. Rees:* «Fortschritte auf dem Gebiet der Silikon-Compounds für Schutzbeschichtungen von Isolatoren». Elektrizitätswirtschaft Jg. 75 (1976) Heft 18.

[4] *G. Hux:* "The influence of the operating mechanism on the reliability of the high voltage circuit breaker". Session paper Bombay, February 1984. International seminar on switchgear.