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: 86 (1995)

Heft: 7

Artikel: Fehler an Leistungsschaltern : zweite internationale Cigré-Umfrage zu Fehlern und Defekten an SF6-Eindruck-Hochspannungs-Leistungsschaltern

Autor: Lanz, Werner

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902436

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

Eine der wichtigsten Eigenschaften von elektrischen Energiesystemen ist die Qualität ihres Betriebes. Diese wiederum hängt ab von der Zuverlässigkeit der Ausrüstungen und Komponenten, im speziellen von derjenigen der Leistungsschalter wegen deren wichtigen Aufgaben im Bereich des Systemschutzes. Die Entwicklung der Verteilnetze, die Zunahme der Produktion von elektrischer Energie, die Erhöhung der Betriebsspannungen und die steigende Wichtigkeit von Vernetzungen streichen den Stellenwert und die Notwendigkeit der Zuverlässigkeit der Leistungsschalter deutlich heraus. Deswegen ist ein vertieftes und besseres Verständnis der Schalterfehler, insbesondere ihrer Ursachen und Konsequenzen, von grösstem Interesse. Nur aufbauend auf solchen Kenntnissen sind Wege und Aktionen definierbar, um die notwendige Betriebszuverlässigkeit der Leistungsschalter zu gewährleisten.

Fehler an Leistungsschaltern

Zweite internationale Cigré-Umfrage zu Fehlern und Defekten an SF_6-Eindruck-Hochspannungs-Leistungsschaltern

■ Werner Lanz

Im Jahre 1970 bildete das Cigré-Studienkomitee 13 die Arbeitsgruppe 13.06 mit dem Auftrag, die Betriebszuverlässigkeit von Leistungsschaltern zu untersuchen. Im Zeitraum 1971–1985 wurden verschiedene Studien durchgeführt. Kern dieser Untersuchungen war die erste internationale Umfrage über Schalterfehler, durchgeführt von 1974 bis 1977. Die damaligen Resultate zeigten klar eine ungenügende mechanische Zuverlässigkeit der Hochspannungs-Leistungsschalter auf [1–3]. Eine unmittelbare Folge daraus war die Erhöhung der Anzahl der durchzuführenden Schaltspiele von 1000 CO auf 2000 CO (CO = Close-Open Operation) während der mechanischen Typprüfungen an Leistungsschaltern gemäss der Norm IEC 56 [4].

Eine neue Arbeitsgruppe 13.06 wurde 1986 mit Experten aus 21 Ländern ins Leben gerufen, mit der Aufgabe, eine zweite internationale Umfrage zur Zuverlässigkeit der Leistungsschalter durchzuführen. Die Resultate der nachfolgend beschriebenen zweiten internationalen Umfrage sollten die Veränderungen gegenüber der ersten Umfrage der 70er Jahre aufzeigen und klären, ob die Normen nochmals durch zusätzliche Prüfanforderungen zu ergänzen seien.

Ziele und Umfang der zweiten internationalen Umfrage

Der Vergleich der Resultate der beiden Umfragen zielte primär auf die erreichten Verbesserungen der Zuverlässigkeit und die Entwicklung der Wartungsintervalle seit der ersten Umfrage ab. Neue Ziele für die zweite Umfrage betrafen die Erfassung von allgemeinen Informationen über Antriebstypen und die Bestimmung von vergleichenden Fehlerraten bezüglich Innenraum/Aussenraum, bezüglich metallgekapselt/nicht-metallgekapselt und bezüglich zweier Inbetriebsetzungsperioden (1978–1982/1983–1991) innerhalb des Betrachtungszeitraums der zweiten Umfrage.

Ein wichtiger Unterschied liegt im festgelegten Rahmen für die beiden Umfragen. Während die erste Umfrage alle Schaltertechnologien berücksichtigte, beinhaltet die zweite Umfrage nur die SF_6-Eindruck-Schalter. Dieser Einschränkungsentscheid wurde in der Arbeitsgruppe 13.06 gefällt,

Der Autor war Mitglied der Cigré WG 13.06, Reliability of Circuit-Breakers.

Adresse des Autors:
Werner Lanz, Dipl. El.-Ing. ETH,
ABB Hochspannungstechnik AG,
Affolternstrasse 52, 8050 Zürich.

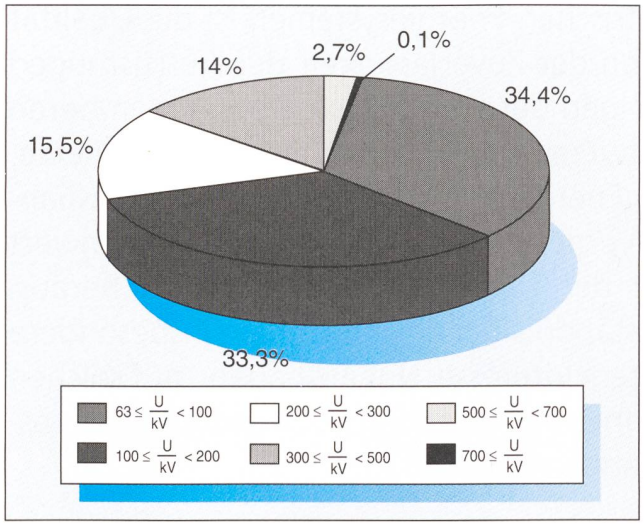

Bild 1 Gesamtpopulation aufgeteilt nach Nennspannungsebenen

Ursachen	Anteil an Störungen [%]	Anteil an Schäden [%]
Konstruktion	25,4	24,7
Fertigung	28,7	39,1
unkorrekte Anleitung	1,1	1,7
unkorrekte Aufstellung	8,2	7,1
unkorrekter Betrieb	6,0	4,5
unkorrekte Wartung	2,8	2,6
Überbeanspruchung	3,4	1,8
andere äussere Ursache	5,4	6,6
Anderes	19,0	11,9

Tabelle I Ursachen der Fehler

weil er Mitte der 80er Jahre ganz klar dem Ausbautrend der Netze entsprach. Bei der Beurteilung der Resultate darf dieser Unterschied nie vergessen werden.

Der festgelegte Nennspannungsbereich erstreckt sich grundsätzlich über alle Spannungen von 72,5 kV und darüber. Zum besseren Vergleich mit der ersten Umfrage wurden allerdings auch Nennspannungen unterhalb 72,5 kV zugelassen, wenn gleichzeitig die Betriebsspannung bei 63 kV und darüber lag.

Es wurden nur Fehler erfasst, welche am Leistungsschalter selber passierten. Hilfseinrichtungen ausserhalb (z. B. Druckluftversorgungen, Stationsleit- und Schutzsysteme) wurden nicht betrachtet. Der Zeitraum der Umfrage erstreckte sich vom 1. 1. 1988 bis 31. 12. 1991.

Organisation

Die Daten für die Umfrage wurden mittels eines zweiteiligen Fragebogens gesammelt. Der erste Teil erfasste allgemeine Informationen zur statistischen Auswertung der Schalterpopulation, während der zweite Teil, die sogenannte Fehlerkarte, die spezifischen Daten zu jedem erfassten Fehler sammelte.

Das Ausfüllen der Fragebogen erfolgte durch die an der Umfrage beteiligten Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) selber. Die ausgefüllten Bogen wurden jährlich durch einen nationalen Cigré-Vertreter in den beteiligten Ländern eingesammelt und an das die Daten verarbeitende Zentrum der Arbeitsgruppe 13.06 (Forschungszentrum der Enel in Mailand) weitergereicht.

Beteiligt an der zweiten Umfrage waren 132 EVU aus 22 Ländern (Australien, Belgien, Kanada, Finnland, Deutschland, Japan, Neuseeland, Paraguay, Schweden, England, «UdSSR», Österreich, Brasilien, «Tschechoslowakei», Frankreich, Italien, Niederlande, Norwegen, Rumänien, Schweiz, USA, «Jugoslawien»).

Im Laufe der vergangenen Jahre wurden die vorläufigen Resultate der Umfrage laufend veröffentlicht. Anlass zu entsprechenden Schriftstücken waren verschiedene Cigré-Sessionen, -Kolloquien und -Symposien [6–9]. Auf den Zeitpunkt der Cigré-Session 1994 wurde neben der Veröffentlichung von zwei Session Reports [10, 11] der Schlussbericht [12] in Form einer Cigré-Technical-Brochure veröffentlicht.

Die Population

Die Gesamtpopulation der zweiten internationalen Umfrage beträgt 70 708 Schalterjahre von SF_6-Eindruck-Schaltern in Betrieb. Diese Zahl bedeutet, dass alle an der Umfrage im betrachteten Zeitraum (1988 bis 1991) erfassten Leistungsschalter zusammen eine kumulierte Betriebsdauer von 70 708 Jahren erreichten. Mehr als zwei Drittel dieser gesamten Schalterpopulation weisen Nennspannungen unterhalb 200 kV

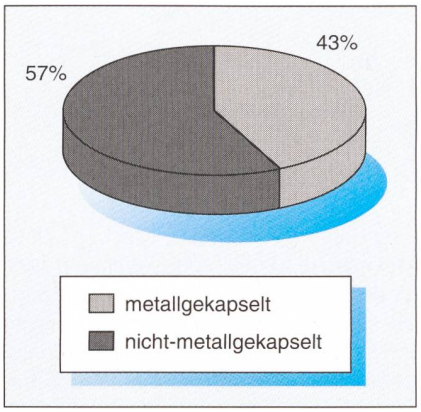

Bild 2 Gesamtpopulation aufgeteilt nach Schalterkapselungen

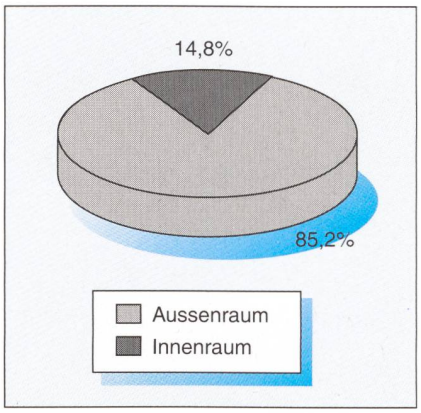

Bild 3 Gesamtpopulation aufgeteilt nach Aufstellungsort

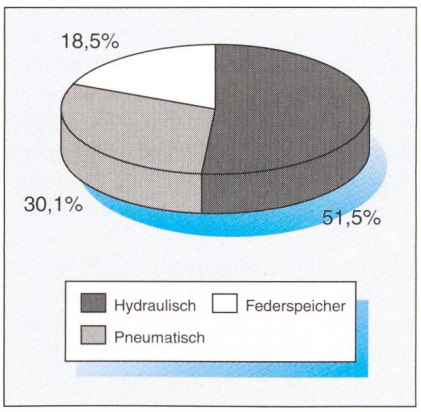

Bild 4 Die verschiedenen Antriebsarten

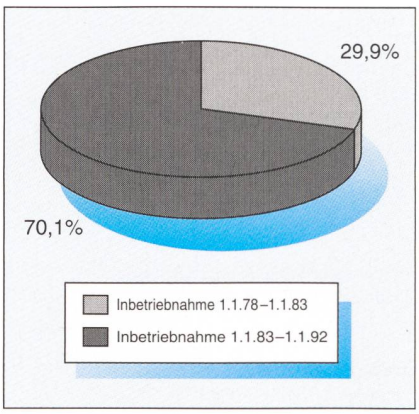

Bild 5 Zeitraum der Inbetriebnahme der Schalter

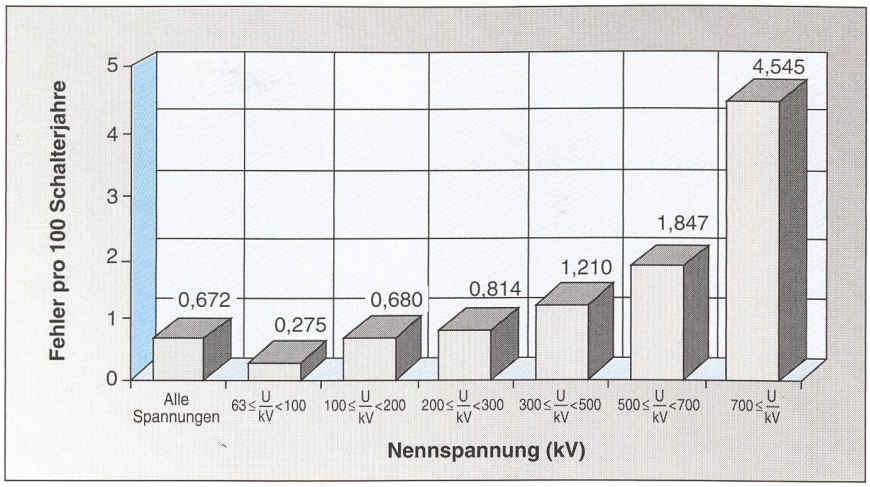

Bild 6 Störungsrate (major failure rate) für die verschiedenen Nennspannungsebenen

aus, während Nennspannungen von 500 kV und darüber weniger als 3% der Fälle ausmachen. Bild 1 gibt einen Überblick, während die Bilder 2–5 die Verteilung verschiedener Schaltermerkmale zeigen. – Zum Vergleich: Die Gesamtpopulation der ersten Umfrage betrug 77 892 Schalterjahre für alle Technologien.

Definitionen

Zum klaren Verständnis der Resultate und Folgerungen aus den Cigré-Umfragen ist die Kenntnis der folgenden wichtigsten Definitionen unerlässlich.

Fehler: Mangel einer Eigenschaft eines Teiles, die geforderte Funktion oder Funktionen auszuführen. – Bemerkung: Das Auftreten eines Fehlers bedeutet nicht notwendigerweise das Vorhandensein eines Defektes, wenn zum Beispiel die Beanspruchung oder die Beanspruchungen ausserhalb der festgelegten Werte liegen. Beispiel: Elektrischer Durchschlag bei einer Spannung über der spezifizierten Festigkeit.

Störung (eines Leistungsschalters): Totaler Fehler eines Leistungsschalters, der den Verlust von einer oder mehrerer grundsätzlicher Funktionen verursacht. – Bemerkung: Eine Störung wird eine sofortige Änderung im Betriebszustand des Netzes ergeben; zum Beispiel wird die zugehörige Schutzeinrichtung den Fehler beseitigen, oder es wird eine zwingende Ausserbetriebnahme des Leistungsschalters für eine ausserplanmässige Wartung erforderlich (Eingreifen erforderlich innerhalb von 30 Minuten). Beispiel: Blockierung des Schalters in EIN-Stellung.

Schaden (eines Leistungsschalters): Fehler eines Leistungsschalters, der keine Störung ist, oder jeder andere Fehler – sogar ein totaler Fehler an einem konstruktiven Bauteil oder einer Baugruppe –, der nicht eine Störung des Schalters verursacht. Beispiel: Drucküberwachungsalarm.

Defekt: Mangelhafter Zustand eines Teiles (oder vorhandene Schwachstelle), der sich in einem oder mehreren Fehlern am Teil selbst oder an einem anderen Teil unter bestimmten Betriebs-, Umwelt- oder Wartungsbedingungen für eine festgelegte Dauer bemerkbar machen kann. Beispiel: Gebrochener Hebel im Antrieb.

Etwas verständlicher sind vielleicht auch die englischen Begriffe: Eine Störung ist ein «major failure», während der deutsche Begriff Schaden als «minor failure» bezeichnet wird.

Allgemeine Resultate

Eine der wichtigsten Grössen zur Beurteilung von Fehlern und Zuverlässigkeiten sind die Fehlerraten, das heisst die Anzahl aufgetretener Fehler in Relation zu der entsprechenden Gesamtpopulation. Bild 6 zeigt die Störungsrate und Bild 7 die Schadenrate, aufgeteilt nach den verschiedenen Nennspannungsebenen. Besonders interessant ist die Frage, welche Komponenten der Schalter in welchem Masse für Fehler verantwortlich sind. Bilder 8 und 9 zeigen diesen Zusammenhang. Daraus ist sofort ersichtlich, dass der Antrieb die mit Abstand fehleranfälligste Komponente ist.

Ebenfalls von besonderem Interesse ist die Einteilung der Fehler nach ihrem Ursprung, wie in den Bildern 10 und 11 dargestellt. Auch dabei sticht heraus, dass die mechanischen Fehler insgesamt dominieren, gefolgt von den SF_6-Dichtigkeitsfehlern.

Schliesslich ist auch die Frage nach der Ursache der Fehler wichtig. Tabelle I zeigt deutlich, dass Fabrikation und Konstruktion die weitaus häufigsten Fehlerursachen sind, allerdings gefolgt von einem erheblichen Anteil anderer Ursachen, welche nicht eindeutig zuzuordnen waren.

Die allgemeinen Resultate lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die höchsten Risiken für eine Störung (major failure) sind: 1. Blockierung in offener oder geschlossener Stellung; 2. schliesst nicht auf Befehl.
- Die höchsten Risiken für einen Schaden (minor failure) sind: 1. eine SF_6-Leckage; 2. eine Luft- oder Hydrauliköl-Leckage am Antrieb.
- Die elektrische Überschlagsfehlerrate ist mit 0,065 Fehlern pro 100 Schalterbetriebsjahre sehr gering.
- Der Vergleich zur ersten Umfrage zeigt, dass die Störungsrate auf 40% reduziert wurde, die Schadenrate allerdings um 30% erhöht wurde. Dies ist vor allem auf neu erfasste SF_6-Undichtigkeiten und mehr Monitoring-Signale zurückzuführen.
- Wesentlich ist, dass die Antriebe nach wie vor die Hauptverantwortung für Fehler tragen.

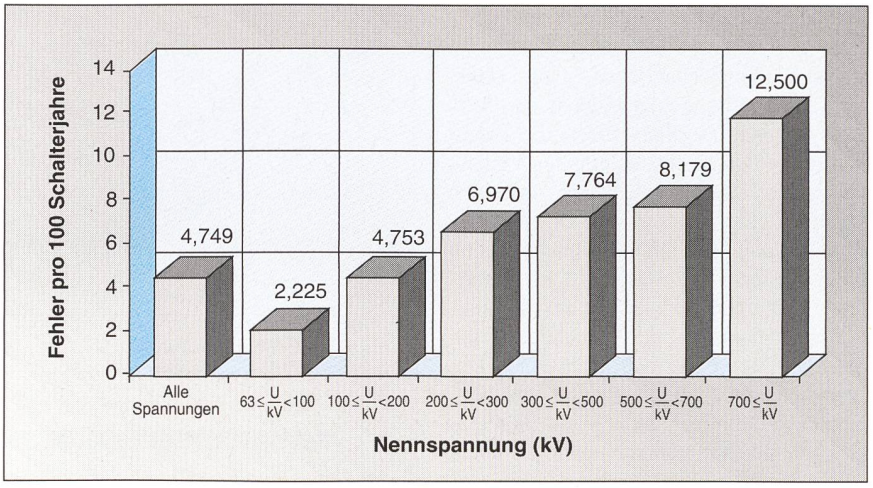

Bild 7 Schadenrate (minor failure rate) für die verschiedenen Nennspannungsebenen

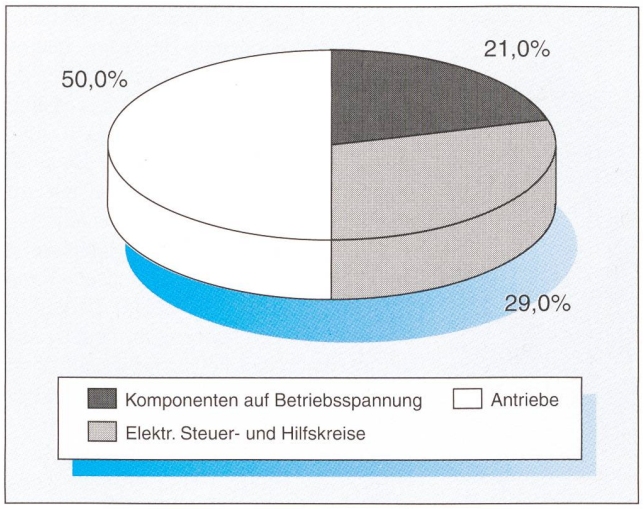

Bild 8 Verantwortung der Komponenten für Störungen (major failures)

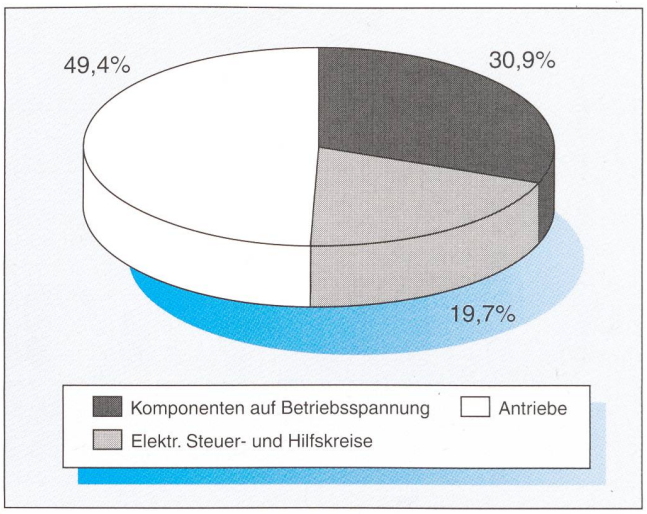

Bild 9 Verantwortung der Komponenten für Schäden (minor failures)

- Die beiden Inbetriebsetzungsperioden 1978–1982 und 1983–1991 zeigen weder für die Störungsrate noch für die Schadenrate statistisch relevante Unterschiede.
- Die Störungsrate für Aussenraumaufstellung ist etwa 1,7mal grösser als diejenige für Innenraumaufstellung. Der vergleichbare Faktor für die Schadenrate beträgt etwa 1,6.
- Eine Aussage über die Unterschiede der gekapselten und nicht-gekapselten Schalter ist schwierig. Für die gesamte Population ist die Störungsrate für nichtmetallgekapselte Schalter dreimal höher als für gekapselte. Schliesst man allerdings das Land mit der grössten und das Land mit der kleinsten Population aus, sind keine Unterschiede in den Fehlerraten zwischen gekapselt und nichtgekapselt zu finden. Die Inhomogenität der Population bringt hier also einen wesentlichen Einfluss.

SF_6-Dichtigkeit

Neben den mechanischen Fehlern (40% aller Fehler) ist die Dichtigkeit des SF_6-Gassystems (36% aller Fehler) die zweithäufigste Ursache für fehlerhaftes Verhalten. Allerdings existiert ein massiver Unterschied zwischen Störungen und Schäden. Nur gerade 7% aller Störungen (major failures) sind SF_6-Dichtigkeitsfehler, während 40% aller Schäden (minor failures) der Dichtigkeit bzw. der Undichtigkeit des SF_6-Gassystems zuzuschreiben sind. Die Erklärung dieses Ungleichgewichtes liegt eindeutig darin begründet, dass die SF_6-Gassysteme durch Dichtemonitoren überwacht werden. Damit werden Störungen (major failures) weitgehend vermieden, dafür werden durch die Signalisierung eines SF_6-Verlustes zahlreiche Schäden (minor failures) gezählt.

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Feststellung, dass die gerade erwähnten Dichtemonitoren selber für 4% aller Störungen (major failures) verantwortlich sind. Dies hängt allerdings weniger mit einem Versagen der Monitoren selber zusammen als mit der Tatsache, dass der Dichtemonitor über Hilfskontakte den Schalter in offener oder geschlossener Stellung blockiert, was wiederum einer Störung (major failure) gleichzusetzen ist.

Die Hauptursachen für Dichtigkeitsfehler liegen bei der Fertigung, gefolgt von der Konstruktion. Allerdings gibt es auch dabei eine erhebliche Anzahl von unbekannten Ursachen (rund 16%).

Antriebe

Den Antrieben kommt eine ganz besondere Bedeutung zu. Sie stellen, wie bereits aufgezeigt, die Baugruppe mit der grössten Verantwortung für Fehler dar. Ursprünglich war in der Umfrage eine Unterteilung in vier Antriebsarten vorgesehen: hydraulische Antriebe (können auch Federn enthalten), pneumatische Antriebe (können ebenfalls Federn enthalten), Federspeicherantriebe und andere Antriebe. Schliesslich wurden ausschliesslich Schalter der ersten drei Arten gemeldet, so dass die vierte Art automatisch entfällt.

Interessant ist die Betrachtung der mechanischen Fehler im Antrieb, wenn man neben der gesamten Schalterpopulation auch die Teilpopulation aller Schalter mit

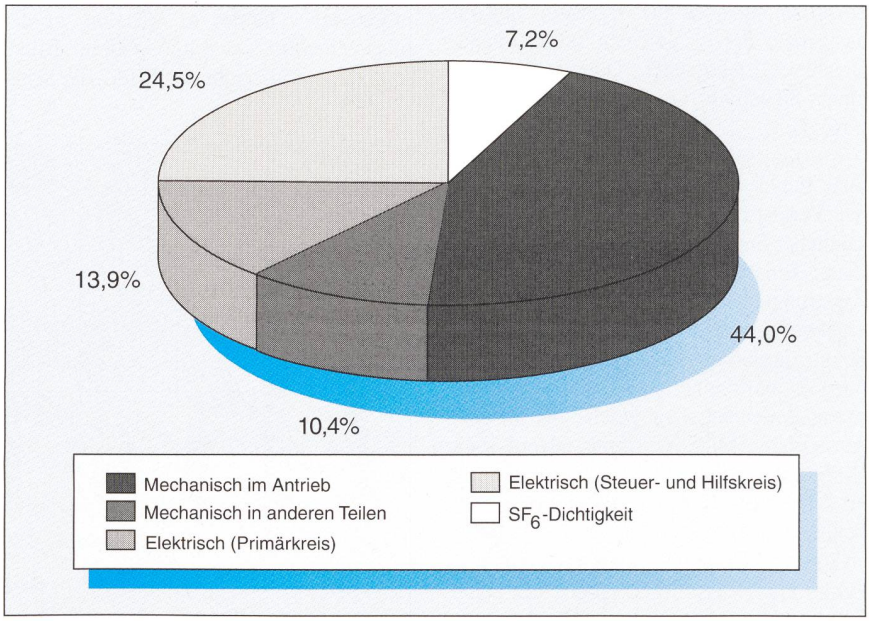

Bild 10 Ursprung der Störungen (major failures)

Nennspannungen von 200 kV und darüber betrachtet. Man beachte, dass sich die nachfolgenden Ausführungen nur auf mechanische Fehler an den Antrieben beziehen und deshalb nur eine Teil-Fehlermenge betreffen. Bild 12 zeigt die Fehlerraten für die Störungen und Bild 13 die Fehlerraten der Schäden, je aufgeteilt nach den verschiedenen Antriebstypen.

Über die ganze Population betrachtet, ist die mechanische Störungsrate (major failure rate) für alle Antriebsarten ziemlich genau gleich, die mechanische Schadenrate (minor failure rate) aber stark unterschiedlich. Insbesondere die Federspeicherantriebe zeigen ein wesentlich besseres Bild als die hydraulischen Antriebe.

Die Situation verändert sich drastisch, wenn nur die Teilpopulation der Leistungsschalter mit Nennspannungen von 200 kV und höher betrachtet wird. Hier zeigen die Federspeicherantriebe ein wesentlich schlechteres Bild bezüglich der mechanischen Störungsrate (major failure rate) als die hydraulischen Typen. Gleichzeitig weisen die Federspeicherantriebe in der angesprochenen Teilpopulation eine gleich hohe Schadenrate (minor failure rate) auf wie die Hydraulikantriebe.

Gründe für dieses Bild sind zur Hauptsache in den ungleich verteilten Einsatzgebieten der verschiedenen Antriebsarten zu finden. Federspeicherantriebe sind beispielsweise sehr häufig im Spannungsbereich unterhalb 200 kV anzutreffen und nur selten im Bereich über 200 kV, wo Hydraulikantriebe den Hauptanteil bilden.

Sucht man für die verschiedenen Antriebstypen die grössten Störungsrisiken, ergibt sich folgender Zusammenhang:

- Hydraulische und pneumatische Antriebe blockieren in offener oder geschlossener Position;
- Federspeicherantriebe funktionieren (öffnen oder schliessen) nicht auf Kommando.

Die kritischsten Bauteile an den Antrieben sind dabei Kompressoren, Motoren, Pumpen und Steuerelemente.

Schaltzahlen im Betrieb

Eine wichtige Grösse für Leistungsschalter ist die Anzahl durchgeführter Schaltoperationen. Weil nicht alle Schalter mit Zählern ausgerüstet sind, wurde diese Grösse in der Umfrage durch eine Schätzung bestimmt. Bild 14 zeigt das Ergebnis. Daraus ist ersichtlich, dass im Durchschnitt ein Schalter über eine Lebensdauer von 40 Jahren rund 1700 Schaltoperationen durchführt. Eine statistische Auswertung ergibt, dass etwa 90% aller Schalter in 25 Jahren nicht mehr als maximal 2000 Close-Open-Schaltoperationen erreichen. Diese Zahl entspricht übrigens auch der von IEC 56 [4] geforderten Schaltzahl für mechanische Dauerversuche.

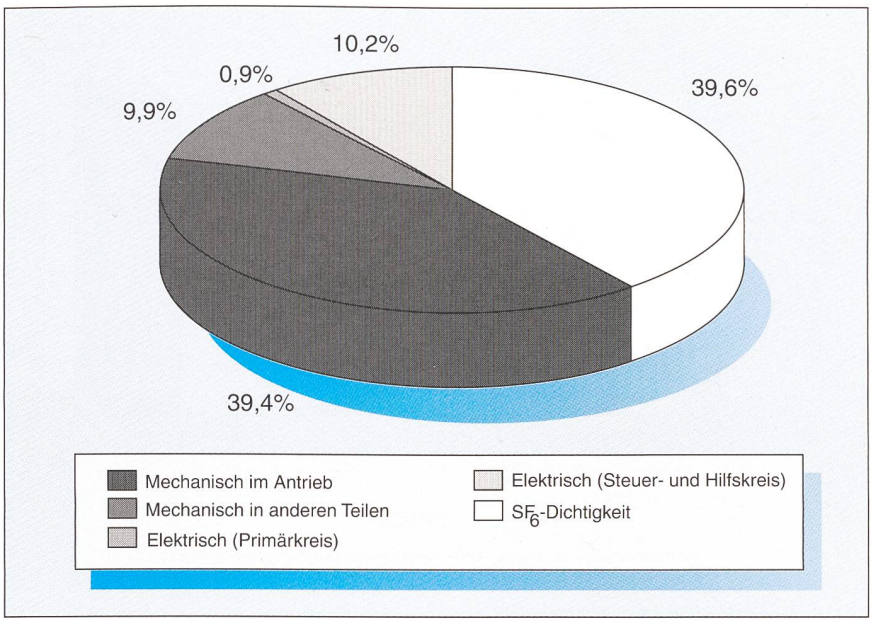

Bild 11 Ursprung der Schäden (minor failures)

Wartung und Unterhalt von Leistungsschaltern

Die Umfrage zeigt ziemlich starke Unterschiede in den Wartungs- und Unterhaltspraktiken und -philosophien der beteiligten EVU. Die gesammelten Daten lassen keine Schlüsse zu, welche der unterschiedlichen Praktiken und Philosophien die effektivsten sind, um Fehler im Betrieb zu vermeiden. Trotzdem lassen sich die Resultate wie folgt zusammenfassen:

- Der durchschnittliche Zeitraum zwischen planmässigen Wartungen beträgt in der zweiten internationalen Umfrage 8,3 Jahre. Das bedeutet gegenüber der ersten Umfrage, mit einem durchschnittlichen Zeitraum von 2,1 Jahren, eine Verbesserung um den Faktor 4.
- Der Aufwand für geplante Wartungen wurde gegenüber der ersten Umfrage um fast 40% verringert, und die durchschnittlichen Kosten für Ersatzteile wurden sogar um ungefähr 50% reduziert.

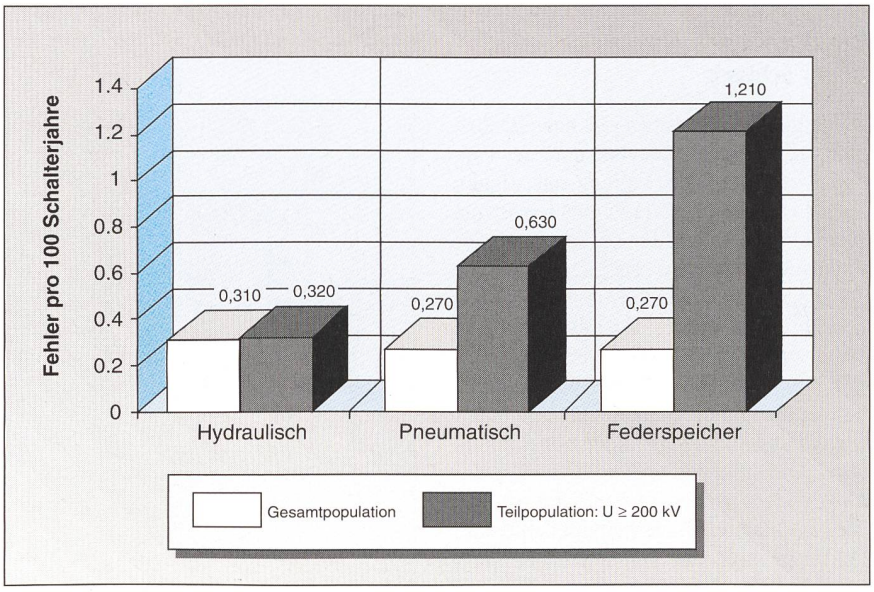

Bild 12 Mechanische Störungsrate (major failure rate) der Antriebsarten

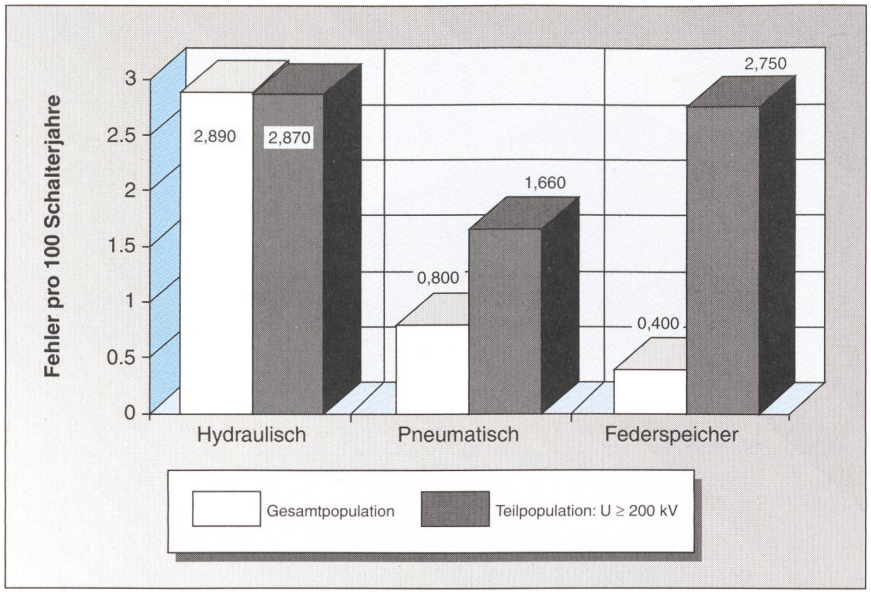

Bild 13 Mechanische Schadenrate (minor failure rate) der Antriebsarten

- Vergleichsweise wenig Fehler wurden während Wartung und Unterhalt gefunden. Dies zeigt, dass eine Erhöhung der Wartungshäufigkeit keine verbesserte frühzeitige Fehlererkennung bedeuten würde.
- Im Vergleich zur ersten Umfrage wurde eine wesentliche Reduktion der durch Wartung und Unterhalt verursachten Fehler erreicht.

Insgesamt sind sich die Experten der Arbeitsgruppe 13.06 grundsätzlich einig, dass die Wartungsintervalle in vielen Fällen ohne negativen Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Schalter über die in der Umfrage gefundenen Werte hinaus ausgedehnt werden könnten.

Die Umfrageergebnisse in der Schweiz

Für die Schweiz haben sich neun Elektrizitätsversorgungsunternehmen an der Umfrage beteiligt. Die Störungsrate (major failure rate) für die CH-Population ist um etwa 15% besser als für die internationale Population, während die schweizerische Schadenrate (minor failure rate) sogar nur gerade einen Drittel der internationalen Rate beträgt. Die Verteilung der Fehler bestätigt auch für die Schweiz die Schwäche der Antriebe klar, sie bestätigt aber in keiner Art und Weise das international gefundene Dichtigkeitsproblem. Die SF_6-Undichtigkeiten stellen in der Schweiz eine verschwindende Minderheit der Fehler dar. Die Frage nach den Fehlerursachen muss auch für die durch die schweizerischen EVU gemeldeten Fehler in den meisten Fällen mit Konstruktion und Fertigung beantwortet werden.

Die schweizerischen Wartungsintervalle liegen über dem internationalen Durchschnitt. Der am häufigsten genannte Zeitraum zwischen planmässigen Wartungen beträgt 10 Jahre; häufig werden allerdings auch Intervalle von 15 bis 20 Jahren genannt, und Intervalle unter 10 Jahren gibt es praktisch keine.

Schlussfolgerungen und Konsequenzen für die Prüftechnik

Durch die Reduktion der Störungsrate (major failure rate) für moderne SF_6-Eindruck-Leistungsschalter auf 40%, verglichen mit den Ergebnissen der ersten Umfrage, ist eine klare Zunahme der Zuverlässigkeit bei modernen Geräten erwiesen.

Trotz den Verbesserungen sind die Antriebe nach wie vor Hauptverantwortliche für Fehler. Auch SF_6-Undichtigkeit zählt zu den Hauptproblemen. Ein Vergleich der beiden Inbetriebsetzungsperioden 1978 bis 1982 und 1983 bis 1991 zeigt keine signifikanten Unterschiede in den Fehlerraten. Insbesondere kann daraus kein eindeutiger Hinweis auf gewisse Frühausfälle im Sinne des Badewannekurven-Modells bestätigt werden.

Für Zuverlässigkeitsstudien an Energieübertragungssystemen können aufgrund der tieferen Störungsraten gegenüber alten Schaltertechnologien wesentlich bessere Zahlen verwendet werden. Beispielsweise ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein moderner SF_6-Hochspannungs-Leistungsschalter auf ein Kommando nicht funktioniert (öffnet oder schliesst), um den Faktor 3,7 kleiner als für einen Schalter alter Technologie.

Besonders wichtig ist die Frage nach neuen oder veränderten Prüfanforderungen, um die Zuverlässigkeit künftig zu verbessern oder weiterhin zu gewährleisten. Dabei darf allerdings nie vergessen werden, dass Qualität und Zuverlässigkeit nicht in ein Gerät hineingeprüft werden können. Die beiden Begriffe müssen grundlegende Zielsetzungen der Konstruktion und der Fertigung sein. Trotzdem lassen sich die folgenden Aussagen klar aus der zweiten Umfrage ableiten:

- Weil Fertigung und Konstruktion Hauptursachen für Fehler darstellen, muss das Hauptgewicht auf Typ- und Routineprüfungen gelegt werden. Die Umfrage ergibt keine Notwendigkeit von veränderten oder verschärften Vor-Ort-Prüfungen im Rahmen der Inbetriebsetzung von Schaltern.
- In der Reihe der Typprüfungen an Leistungsschaltern erweisen sich aus der Umfrage die mechanischen und die kli-

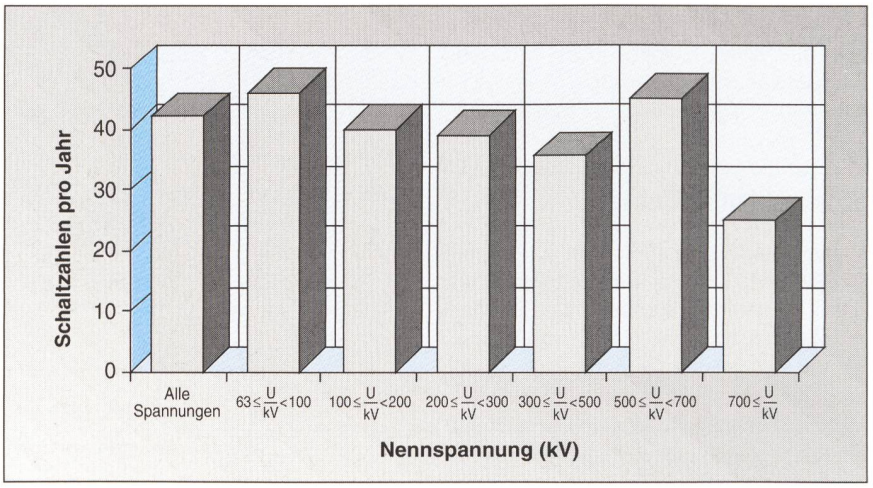

Bild 14 Geschätzte durchschnittliche Anzahl Schaltoperationen pro Jahr

matischen Prüfungen (bei Extremtemperaturen) als die kritischen. Diese beiden Prüfungsarten sind besonders für die Antriebe und die Dichtungssysteme von qualifizierender Bedeutung. In diesen Bereichen sollten weitere Untersuchungen und Überlegungen zu guten, aber vernünftigen Prüfprozessen führen. Erste Ideen weisen in Richtung von konsequenteren Dichtigkeitsprüfungen und mechanischen Requalifikationstests an zufällig ausgewählten Musterschaltern aus laufender Fabrikation. Ein weiterer, bereits international andiskutierter Weg betrifft die Kombination von verschiedenen Prüfungsarten. Zur Zeit ist diese Diskussion unter dem Begriffe «Life cycle testing» (dt. etwa Lebensdauerprüfungen) im Gange.

- Erwärmungsprüfungen erweisen sich als absolut unkritisch. Es sind extrem wenig Fehler auf eine mangelnde Stromtragfähigkeit zurückzuführen.
- Dielektrische Fehler, das heisst Überschläge, sind sicher gravierende Fehler. Sie treten gemäss Umfrage allerdings sehr selten auf und sind häufig weder auf Konstruktionsmängel noch auf Fabrikationsfehler zurückzuführen. Aus diesen Gründen ist eine Anpassung oder Verschärfung der dielektrischen Prüfanforderungen nicht notwendig.
- Für Schalter ist offensichtlich die Prüfung der Schaltleistung von herausragendem Interesse. Hier muss eindeutig festgestellt werden, dass die Resultate der Umfrage verschärfte Leistungsprüfungen nicht unterstützen können. Die Anzahl Fehler im Sinne echter Schaltversagen der Leistungskammer ist verschwindend klein, und es ist fraglich, ob die gemeldeten Fehler durch Prüfungen überhaupt hätten vermieden werden können. Die bezüglich der Schaltleistungsprüfung gefundenen Tatsachen stehen in gewissem Widerspruch zu bereits laufenden Diskussionen in IEC TC 17A, insbesondere im Hinblick auf Einführung einer elektrischen Dauerprüfung an Schaltern (Electrical endurance).

Neben Prüfungen können zur Verbesserung der Zuverlässigkeit natürlich auch Diagnosemethoden in Betracht gezogen werden. Bekanntlich ist dieser Bereich der Schaltgerätetechnik momentan einer enormen Entwicklung unterworfen. Aus den Ergebnissen der Umfrage wird klar, dass die Überwachung der Antriebe (mechanische Funktionen) und der SF_6-Dichtsysteme von prioritärer Wichtigkeit sind. Allerdings wird auch klar, dass in Anbetracht der eigentlich schon hohen Zuverlässigkeit der Schalter enorme Zuverlässigkeitsanforderungen an sämtliche Diagnosewerkzeuge gestellt sind. Nur extrem zuverlässige Monitoren sind in der Lage, Schalter mit bereits guter Zuverlässigkeit zu überwachen, mit dem Ziel, die Gesamtsysteme zu verbessern! Dies erfordert enorme Sorgfalt bei der Entwicklung von neuen Diagnose- und Überwachungssystemen.

Der Nutzen der Cigré-Umfrage zur Beurteilung von Zuverlässigkeiten und Verbesserungspotentialen ist offensichtlich. Betreiber von Schaltanlagen werden deshalb ermuntert, Fehler an Schaltgeräten systematisch zu erfassen. Die IEC-Publikation Technical Report 1208 gibt gute Anweisungen dafür [5]. Der dort vorgestellte Fehlerbericht basiert im wesentlichen auf dem Fragebogen der Cigré-Arbeitsgruppe 13.06.

Literatur

[1] *G. Mazza, R. Michaca:* The First International Enquiry on Circuit-Breaker Failures and Defects in Service. Electra No. 79, December 1981, pp. 21–91.

[2] *J. Beierer, R. Kearsley, J. Verdon:* Maintenance of Modern High Voltage Circuit-Breakers. Electra No. 102, October 1985, pp. 119–131.

[3] *R. Michaca, C. R. Heising, G. Koppl:* Summary of Cigré Working Group 13.06. Studies on the Test and Control Methods intended to assure the Reliability of High Voltage Circuit-Breakers. Electra No. 102, October 1985, pp. 133–175.

[4] IEC Standard 56 (1987): High-voltage alternating-current circuit-breakers.

[5] IEC Technical Report 1208 (1992): High-voltage alternating current circuit-breakers – Guide for maintenance.

[6] *A. Bargigia, C. R. Heising, A. L. J. Janssen, J. Maaskola, R. Michaca:* Interim Report on the Second International Enquiry on the Reliability of High Voltage Single Pressure SF_6 Circuit-Breakers. Cigré Session 1990, 23-107.

[7] *A. Bargigia, W. Degen, C. R. Heising, M. Ishikawa, A. L. J. Janssen, J. E. Maaskola, R. Michaca, M. Tudrej:* High Voltage Circuit-Breaker Reliability Data for System Reliability Studies – Interim Report Cigré 13.06 Working Group. Cigré-Symposium Montreal 1991, 2-01.

[8] *A. L. J. Janssen, W. Degen, M. Tudrej, S. Ikeda:* Application of Diagnostic Techniques for High Voltage Circuit-Breakers. Cigré Session 1992, 13-101.

[9] *A. L. J. Janssen, W. Degen, M. Tudrej, S. Ikeda:* Diagnostic Techniques for High Voltage Circuit-Breakers and their Application. Cigré-Symposium Berlin 1993, 120-07.

[10] *C. R. Heising, E. Colombo, A. L. J. Janssen, J. E. Maaskola, E. Dialynas:* Final Report on High-Voltage Circuit-Breaker Reliability Data for Use in Substation and System Studies (Report on Behalf of WG 13.06). Cigré Session 1994, 13-201

[11] *A. L. J. Janssen, W. Degen, C. R. Heising, H. Bruvik, E. Colombo, W. Lanz, P. Fletcher, G. Sanchis:* A Summary of the Final Results and Conclusions of the Second International Enquiry on the Reliability of High Voltage Circuit-Breakers. Cigré Session 1994, 13-202.

[12] *A. L. J. Janssen, W. Degen, C. R. Heising, H. Bruvik, E. Colombo, W. Lanz, P. Fletcher, G. Sanchis:* Final Report of the Second International Enquiry on High Voltage Circuit-Breaker Failures and Defects in Service. Cigré-Technical Brochure No. 83, June 1994.

Défauts des disjoncteurs de puissance

Deuxième enquête internationale Cigré sur les vices et les défauts des disjoncteurs de puissance haute tension SF_6

Une des plus importantes propriétés d'un système d'énergie électrique est la qualité de son fonctionnement. Celle-ci dépend à son tour de la fiabilité de l'équipement et des composants, en particulier de celle des disjoncteurs de puissance, à cause de leur importante fonction dans le domaine de la protection du système. En 1986, le groupe de travail 13.06 du comité d'étude Cigré 13 a été chargé de mettre sur pied une deuxième enquête internationale sur la fiabilité des disjoncteurs de puissance et de comparer les résultats avec ceux de la première enquête des années 70 (1974–1977).

Les résultats de l'enquête pour la période de 1988 à 1991 sont exposés dans le présent article. Ils montrent que par la réduction chez les disjoncteurs de puissance modernes SF_6 du quota de dérangements à 40%, en comparaison avec les résultats de la première enquête, une nette augmentation de la fiabilité de ces appareils a pu être atteinte. Malgré les améliorations atteintes, les organes de commande restent les principaux responsables des défauts. De même le manque d'étanchéité du SF_6 fait partie des problèmes principaux.

Pour entreprendre des études de fiabilité dans les systèmes de transport d'énergie, il est possible d'utiliser de meilleurs chiffres vu le quota de dérangement devenu plus faible par rapport aux anciennes technologies de commande. Par exemple, la probabilité qu'un disjoncteur de puissance moderne SF_6 ne réponde pas sur commande (s'ouvre ou se ferme), s'est réduite du facteur 3,7 par rapport à un disjoncteur de l'ancienne technologie. L'article montre quelles mesures s'imposent dorénavant quant à l'assurance qualité, suite à toutes ces nouvelles connaissances.