

Mehr Informationen zum Titel

1 Einleitung

In Übertragungs- und Verteilungsnetzen haben Schalter die Aufgaben des betriebsmäßigen Ein-, Aus- und Umschaltens, um das Netz den jeweiligen Anforderungen anzupassen, sowie die Funktion als Sicherheitselemente, um Menschen, Netz und Einrichtungen vor Fehlern bzw. im Fehlerfall vor den Auswirkungen des Fehlers zu schützen. Jede Schalthandlung bedeutet eine Änderung des Netzzustands und hat daher einen transienten Vorgang in der Spannung und/oder im Strom zur Folge. Da die Sicherheit des Netzbetriebs ein einwandfreies und zuverlässiges Funktionieren der Schaltgeräte voraussetzt, vor allem der Leistungsschalter, ist die Kenntnis dieser transienten Vorgänge eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung, die Prüfung und den Einsatz geeigneter Schalter. Der Verlauf der transienten Vorgänge und damit die Beanspruchung der Netzkomponenten, ihrer Isolierung und des jeweiligen Schaltgeräts beim einzelnen Schaltvorgang sind abhängig vom Schaltfall, vom Aufbau und Betriebszustand des Netzes und der Last, gegebenenfalls von der Art des Fehlers und dem Fehlerort sowie von der Position des Schalters im Netz.

Dementsprechend richtet sich dieses Buch an Ingenieure in Energieversorgungsunternehmen, an Netzplaner, an Ingenieure in Prüfinstituten sowie an Entwicklungs-Ingenieure bei Herstellern von Schaltgeräten und Schaltanlagen.

Die Betrachtungen in diesem Buch beschränken sich auf Schaltvorgänge in Hochspannungsnetzen, d. h. bei Wechsel- bzw. Drehstrom-Bemessungsspannungen oberhalb 1 kV. Für den Spannungsbereich > 1 kV bis etwa 40 kV ist der Begriff „Mittelspannung“ gebräuchlich geworden und wird auch in diesem Buch benutzt.

Hochspannungs-Schaltgeräte sind beim derzeitigen Stand der Technik nur in einem natürlichen oder erzwungenen Strom-Nulldurchgang in der Lage, den Strom zu unterbrechen. Es wird aus diesem Grunde nur das Verhalten von Hochspannungs-Wechsel- bzw. -Drehstromschaltern dargestellt.

Die Technik der Hochspannungs-Schaltgeräte, vor allem der Leistungsschalter, wird sich voraussichtlich noch über längere Zeit lebhaft weiterentwickeln. Von einer Darstellung konstruktiver Details wurde daher abgesehen, denn sie hätte nach einer relativ kurzen Periode nur noch historischen Wert. Eine nähere Begründung findet sich im Abschnitt 2.1.

Im Prinzip unterscheidet man Hochspannungs-Schaltgeräte nach ihren Aufgaben in Leistungsschalter, Lastschalter sowie Trenn- und Erdungsschalter.

Leistungsschalter sollen alle Schaltaufgaben im Rahmen ihrer Bemessungswerte beherrschen. Lastschalter werden zum Abschalten von Betriebsströmen mit einem Leistungsfaktor $\cos\varphi$ ab 0,7 sowie von kleinen induktiven und kapazitiven Strömen eingesetzt. Weiterhin sollen sie in der Lage sein, auf einen bestehenden Kurzschluss einzuschalten. Trennschalter haben die Aufgabe, im offenen Zustand eine sichtbare Trennstrecke herzustellen, während Erdungsschalter zum Erden abgeschalteter Netzelemente verwendet werden. Häufig werden Schaltgeräte eingesetzt, die mehrere dieser Funktionen kombinieren.

Die in diesem Band diskutierten Schaltvorgänge sind daher im Wesentlichen Hochspannungs-Leistungsschaltern zuzuordnen, in begrenztem Umfang auch Lastschaltern. Darüber hinaus werden in eigenen Kapiteln auch Schaltaufgaben betrachtet, die spezifisch sind für Trenn- und für Erdungsschalter sowie für Hochspannungs-Sicherungen und Lastschalter-Sicherungs-Kombinationen. Neben den verschiedenen Fehlerfällen, die im Netz auftreten können und von Leistungsschaltern zu beherrschen sind, wird das Schalten der verschiedenen Betriebsströme behandelt. Die härtesten Betriebsstrom-Schaltfälle sind die, bei denen Strom und Spannung um 90° elektrisch phasenverschoben sind, d. h., wenn der Strom in seinem natürlichen Nulldurchgang unterbrochen wird, steht der Scheitelwert der treibenden Netzspannung über den nun offenen Schaltkontakten an. Wird, wie in diesem Band und allgemein üblich, das Schalten rein induktiver und rein kapazitiver Betriebsströme diskutiert, so sind damit die Beanspruchungen durch Betriebsströme mit einem günstigeren Leistungsfaktor $\cos\varphi \pm 0$ abgedeckt. Der Vollständigkeit halber wird auch ein Überblick gegeben über die Verfahren zur Prüfung des Schaltvermögens von Hochspannungs-Schaltgeräten.

Die Schaltaufgaben der Hochspannungs-Schütze werden nicht behandelt, da Hochspannungs-Schütze in vielen Fällen in ähnlicher Weise wie Niederspannungs-Schütze verwendet werden. Die im Kapitel 20 gemachten Ausführungen gelten jedoch auch für Hochspannungs-Schütze, die zum Schalten von Motoren eingesetzt werden.

Ebenfalls nicht betrachtet werden Generator-Schalter und Generator-Lastschalter.

Seit Ende der 1960er-/Anfang der 1970er-Jahre wird wegen seiner überragenden Eigenschaften weltweit in praktisch allen Hochspannungs-Leistungsschaltern der Bemessungsspannung > 52 kV das künstliche Gas Schwefelhexafluorid (SF_6) als Lichtbogen-Löschmittel und als Isoliergas eingesetzt. Seit der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre haben sich im Bereich der Mittelspannung, d. h. bei Bemessungsspannungen bis etwa 40 kV, Vakuum-Leistungsschalter durchgesetzt.

Dementsprechend basieren die aktuellen Veröffentlichungen der CIGRÉ (Conseil International des Grands Réseaux Electriques – International Council on Large Electric Systems) und der IEC (International Electrotechnical Commission), ohne

dass dies explizit ausgedrückt wird, auf dem Verhalten dieser Schaltprinzipien und ihrer Wechselwirkung mit dem Netz. Obwohl noch sehr viele Leistungsschalter im Einsatz sind, die mit den früher verwendeten Medien Öl, Druckluft oder Wasser arbeiten, wird in diesem Buch ebenfalls vom Schaltverhalten unter SF₆ oder Vakuum ausgegangen. Es ist jedoch darauf geachtet worden, dass die gemachten Aussagen allgemeingültig bleiben.

Wie in den aktuellen Normen wird die Bezeichnung „Bemessungs-“ anstelle von „Nenn-“ gebraucht. Dies sind die Größen (Spannung, Strom etc.), für die die jeweiligen Geräte dimensioniert sind. Soweit der Begriff „Nenn-“ benutzt wird, sind die so bezeichneten Werte gleich den Bemessungswerten.

Als Nennspannung wird dementsprechend jeweils die Bemessungsspannung U_r angesehen. Die Bemessungsspannung ist die maximale Spannung, mit der in der jeweiligen Spannungsebene ein Netz dauernd betrieben werden darf. Sie ist daher der Bezugswert für die Isolierung aller Netzelemente. Die Geräte müssen auf diese Spannung ausgelegt und mit Bezug auf die Bemessungsspannung geprüft werden. In den Normen sind dementsprechend nur die Bemessungsspannungen genannt. Als Beispiele seien genannt: die Bemessungsspannung für das 110-kV-Netz ist 123 kV, für das 380/400-kV-Netz 420 kV.

Die derzeit gültigen Normen für Hochspannungs-Schaltgeräte DIN EN 62271-... (VDE 0671-...) sowie die damit in Verbindung stehenden Normen für spezifische Anwendungen beziehen sich auf Geräte für Bemessungsspannungen U_r bis einschließlich 800 kV. Bei CIGRÉ laufen Untersuchungen [78], welche Daten IEC für die Normung für Bemessungsspannungsebenen $800 \text{ kV} < U_r \leq 1200 \text{ kV}$ zu empfehlen sind.

Netze für Bemessungsspannungen oberhalb 170 kV sind durchwegs wirksam geerdet, d. h. niederohmig oder sogar starr. Mittelspannungsnetze, aber auch Netze für die Spannungsebenen von 72,5 kV bis 170 kV, werden sowohl ungeerdet oder hochohmig geerdet als auch wirksam geerdet betrieben. In den Beschreibungen der einzelnen Schaltfälle werden daher, soweit erforderlich, die Beanspruchungen für beide Betriebsweisen behandelt.

Der Vollständigkeit halber finden Sie am Ende des Buchs Kapitel, die sich mit der Bemessungs(Dauer)- und Kurzschluss-Strom-Tragfähigkeit sowie mit der Isolationskoordination von Hochspannungs-Schaltgeräten befassen.

Bedingt durch einen starken Anstieg des Verbrauchs an elektrischer Energie sind seit Mitte der 1950er-Jahre die elektrischen Übertragungs- und Verteilungsnetze in Europa und weltweit erheblich ausgebaut worden. Dies ging einher mit Untersuchungen des Verhaltens solcher Netze, um deren zuverlässigen Betrieb sowie die geeignete Dimensionierung und Prüfung der eingesetzten Betriebsmittel sicherzustellen. Diese Untersuchungen betrafen zum größeren Teil Netze

der Spannungsebenen ab 362 kV. Ihre Ergebnisse wurden auf Netze ab 100 kV übertragen. Für Mittelspannungsnetze liegen kaum Messungen vor, sondern fast ausschließlich theoretische Untersuchungen. Die seinerzeit gewonnenen Erkenntnisse sind unverändert gültig. Dies schließt natürlich nicht aus, dass die damaligen Ergebnisse ergänzt werden durch neuere Arbeiten, die sich auf inzwischen gewonnene Betriebserfahrungen stützen und den fortgesetzten Ausbau der Netze berücksichtigen.

Es sollte daher den Nutzer dieses Buches nicht überraschen, einen verhältnismäßig hohen Anteil an Literatur aus den 1960er- bis 1980er-Jahren zu finden.