

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 46 (1955)
Heft: 4

Artikel: Statische Kondensatoranlagen in den USA
Autor: Minder, Peter M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060910>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

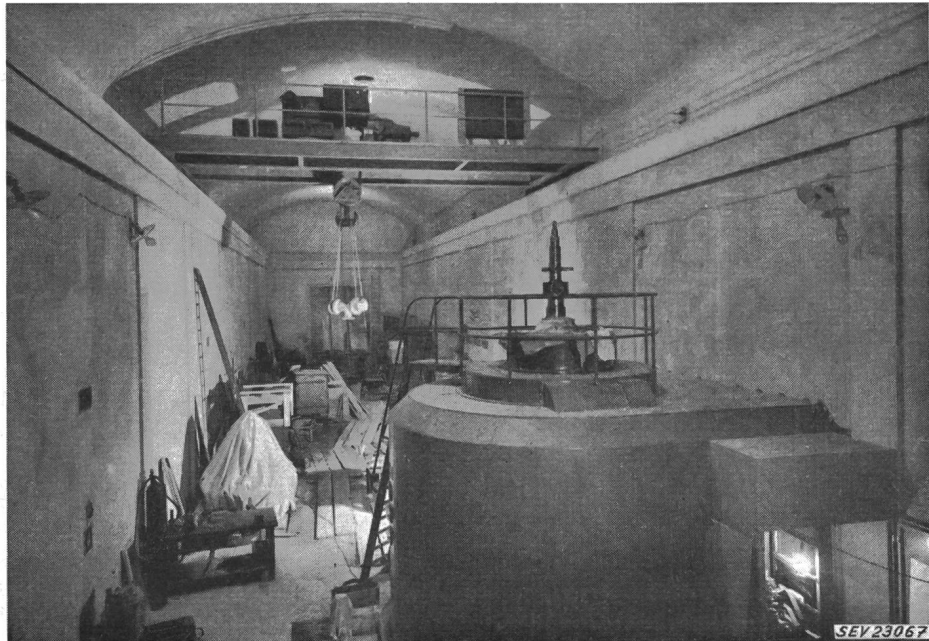
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

excédent d'eau éventuel, par abaissement de sa température à l'aide d'un compresseur frigorifique; il est ensuite mélangé à de l'air chauffé par les alternateurs, puis injecté dans la salle des machines; finalement il est refoulé à l'extérieur par le canal de fuite. Des circuits d'air spéciaux, avec dispositifs de chauffage électrique, assurent une ventilation indépendante pour la salle de commande et les locaux annexes.

E. Protection contre l'incendie

A la suite des expériences faites lors des incendies de Montcherand et de Chandoline, d'importantes mesures de protection ont été prises contre le feu: tout d'abord des dispositions préventives par utilisation d'appareillage à 40 et à 13 kV dépourvu d'huile, par isolement des trois transformateurs de puissance et des deux transformateurs auxiliai-

Fig. 13
Usine souterraine
Etat des travaux en
décembre 1954



res dans des cellules séparées, complètement closes, avec écoulements d'huile indépendants; puis des mesures de défense active par protections à gaz carbonique, munies de commandes automatiques pour les trois alternateurs et les cinq transformateurs précités, ainsi que pour la halle de décufrage, mesures complétées par un réseau d'hydrants, avec lances à brouillard, et par des extincteurs portatifs.

F. Considérations générales

1. Coût des travaux et production d'énergie

Le coût total des travaux est devisé à environ fr. 22 000 000, soit sensiblement fr. 915.— par kW installé, pour une production moyenne d'environ 94 GWh par an contre 45 GWh produits par les

anciennes usines. De plus, la production de l'usine de Montcherand sera accrue d'une façon appréciable par une exploitation coordonnée avec celle de la nouvelle centrale.

2. Etudes et réalisation du projet

Les études du projet et la direction des travaux sont assumées, pour la partie relative au génie civil, par la Compagnie d'Entreprises et de Travaux Pu-

blics à Lausanne, et pour la partie mécanique et électrique, par le Service technique de la Compagnie vaudoise. La perforation des galeries et l'excavation de l'usine (fig. 13) — facilitées par la rencontre de calcaires portlandiens d'excellente tenue sur la majeure partie du tracé — ont été rapidement menées à chef, si bien qu'à l'heure actuelle, les travaux de génie civil sont, à peu de chose près, terminés. En ce qui concerne les installations électriques et mécaniques, celles du poste de transformation sont achevées et celles de l'usine souterraine, en cours d'exécution. Quant à la mise en service des groupes générateurs, elle est prévue pour le 1^{er} semestre de 1955.

Adresse de l'auteur:

Jean Grivat, ingénieur, 12, Av. de Collonges, Lausanne.

Statische Kondensatoranlagen in den USA

Von Peter M. Minder, Milwaukee

621.319.4(73)

Der Autor gibt einen Überblick über den derzeitigen Stand der statischen Kondensatoranlagen in den USA. Solche Anlagen bilden in Amerika, im Gegensatz zu Europa, einen wichtigen Bestandteil der elektrischen Netze. Der Artikel erläutert die heute vorherrschenden Formen der Anwendung von statischen Kondensatoren, sowie die damit zusammenhängenden Probleme.

Aperçu de l'état actuel des installations de condensateurs statiques aux Etats-Unis. Contrairement à la pratique européenne, ces installations constituent un élément important des réseaux américains. Exposé des modes d'application des condensateurs statiques les plus fréquents actuellement et des problèmes qui s'y rattachent.

1. Allgemeines

Statische Kondensatoren werden in den USA sehr vielseitig und in grosser Zahl verwendet. Die totale

installierte Leistung im ganzen Gebiet der Vereinigten Staaten wurde anfangs 1954 auf etwa 30 Millionen kVar geschätzt. Allein im Jahre 1953 wurden

etwa 4 Millionen kVar installiert. Manche Elektrizitätsgesellschaften haben ganze Netze soweit kompensiert, dass das Verhältnis zwischen totaler installierter Leistung des Netzes und der Nennleistung aller statischen Kondensatoren 2 : 1 beträgt. Es scheint daher angezeigt, diese phänomenalen Aufwendungen etwas genauer zu betrachten.

Alle Kondensatorenanlagen werden zur Spannungs- oder Leistungsfaktor-Verbesserung oder zu damit zusammenhängenden Zwecken angewendet. Die Theorie darüber dürfte als bekannt vorausgesetzt werden.

2. Die Kondensator-Einheit

Jede moderne Kondensatorenbatterie in Amerika, gleichviel ob es sich um 45 kVar oder 20 000 kVar handelt, besteht aus Einheiten (capacitor units) von 25 oder 15 kVar, wobei die zweite Grösse bereits stark in den Hintergrund getreten ist. Es soll daher zuerst der einzelne Kondensator, die Kondensator-Einheit, kurz beschrieben werden.

Jeder Kondensator besteht aus einer Anzahl von Wickeln (packs), welche je nach Nennspannung der Einheit in einer bestimmten Serie-Parallelkombination untereinander verbunden sind. Die einzelnen Wickel werden für Spannungen zwischen 800 und 1200 V dimensioniert. Sie bestehen aus zwei Aluminiumfolien, zwischen denen 4 bis 6 Lagen Spezialpapier von etwas mehr als ein μm Dicke eingelegt sind. Für die 15- und 25-kVar-Einheiten sind nur die Breite der Wickel und daher die Kapazitätswerte verschieden. Die rundgewickelten und nachher flachgedrückten Wickel werden isoliert, in ein Stahlgefäss eingeordnet und untereinander verbunden. Nachdem der Deckel mit den beiden Hochspannungsklemmen aufgeschweisst ist, werden die Einheiten evakuiert und mit chloriertem Diphenyl als Dielektrikum (unbrennbar, hohe Dielektrizitätskonstante) gefüllt. Die Nennspannungen der Einheiten sind 2,4, 2,77, 3,81, 4,16, 4,8, 6,64, 7,2, 7,62, 7,96, 12,5 und 13,8 kV. Die Dimensionen der Stahlgefässe betragen ungefähr: 12 cm Dicke, 35 cm Breite und 24 cm (15 kVar) bzw. 36 cm (25 kVar) Höhe. Diese Werte variieren jedoch stark zwischen den einzelnen Fabrikaten und auch etwas zwischen verschiedenen Nennspannungswerten. Die Verluste einer Einheit müssen gemäss NEMA-Standards¹⁾ kleiner sein als 0,33 % der Nennleistung, d. h. etwa 50...75 W für eine 25-kVar-Einheit.

3. Geschichtliche Entwicklung und heutiger Stand

Brauchbare Starkstromkondensatoren (power capacitors) erschienen erstmals in den 20er Jahren auf dem amerikanischen Markt. Es waren mineralölgefüllte Einheiten von 15 kVar. Vor dem Zweiten Weltkrieg wurden neue Typen entwickelt mit chloriertem Diphenyl als Dielektrikum statt Mineralöl. Dies brachte sofort eine Senkung von Grösse, Gewicht und Preis der Einheiten und ermöglichte die Konstruktion von 25-kVar-Einheiten, was eine weitere Reduktion des Preises und des Gewichts pro kVar zur Folge hatte. Heute beträgt der Preis

pro kVar einer 25-kVar-Einheit der 8,7-kV-Klasse etwa 5 Dollars. Bis 1946 wurden Kondensatoren hauptsächlich in kleinen Batterien von 45 bis 180 kVar dreiphasig in Verteilsystemen von 2,4 kV bei Dreieckschaltung und bis 7,96/13,8 kV bei Sternschaltung angewendet. Dann wurden grössere Installationen von einigen tausend kVar ausgeführt, welche meistens in Unterwerken aufgestellt und an der Unterspannungsseite (unter 15 kV) angeschlossen wurden. In den Jahren vor 1948 wurden im ganzen Gebiet der USA nur etwa fünf Kondensatorenanlagen für Hochspannung (über 15 kV) gebaut. Heute sind es deren weit über hundert.

Im Laufe der Entwicklung war es natürlich, dass vorerst alle Batterien fest ans Netz angeschlossen wurden (fixed capacitor banks). Mit der immer grösser werdenden verlangten Scheinleistung bei Vollbelastung des Netzes ergab es sich, dass in Perioden leichter Belastung untragbare Spannungserhöhungen entstanden. Dies war der Grund für den Bau von schaltbaren Kondensatorenbatterien (switched capacitor banks). Heute werden mehr schaltbare Anlagen erstellt als feste. Die letzte Entwicklung in dieser Richtung sind die mehrstufigen Kondensatorenanlagen (multi-step capacitor banks), welche eine feine Abstufung der am Netz angeschlossenen Kapazität gestatten.

Während für die Verteilspannungen (distribution voltages) und für die Hochspannungen (transmission voltages) die gleichen Einheiten als Elemente der ganzen Anlage gebraucht werden, sind in den letzten Jahren spezielle Kondensatoren für Niederspannung auf den Markt gekommen. Diese Einheiten werden entweder in Batterien bei grösseren Verbrauchern oder als kleine 3- bis 5-kVar-Einheiten direkt bei den Verteiltransformatoren auf einem Mast angebracht. Im ersten Fall werden sie meistens zusammen mit der Belastung (Fabrik usw.) geschaltet und im zweiten Fall sind sie ständig angeschlossen. Obwohl die Kosten pro kVar für Niederspannungskondensatoren (240 V) bedeutend höher sind als jene für Kondensatoren für Verteilspannungen, werden sie zu Zehntausenden jährlich fabriziert und verkauft.

4. Hochspannungs-Kondensatorenanlagen

Hochspannungs-Kondensatorenbatterien für Spannungen von 25 bis 115 kV sind gewaltig im Aufstieg, wie schon bemerkt wurde. Die Gründe für ihre Aufstellung sind die Kompensation der durch die Blindleistung verursachten Verluste in den Hochspannungsleitungen (transmission lines) und in den grossen Hochspannungstransformatoren mit hoher Kurzschlussimpedanz, sowie die Spannungshaltung und Steuerung des Blindleistungsflusses in Verbundleitungen. Hochspannungskondensatorenbatterien bestehen aus den normalen Einheiten mit den erwähnten Nennspannungen in Serie-Parallel-Schaltanordnung, wobei jede Seriegruppe (series group) aus einer gewissen Anzahl paralleler Einheiten besteht. Diese Anlagen sind immer in Stern geschaltet, und der Sternpunkt ist meistens nicht geerdet (floating neutral). Solche Anlagen haben öfters eine Blindleistung von 20 000 und

¹⁾ NEMA = National Electrical Manufacturers Association.

mehr kVar und bestehen daher aus mehreren hundert Einheiten. Da es unerwünscht wäre, wenn eine solch grosse Anlage bei Versagen einzelner Einheiten ausser Betrieb gesetzt werden müsste, sind alle Kondensatoren individuell abgesichert. Ohne diese individuellen Sicherungen würde bei Kurzschluss in einer Einheit eine ganze Seriegruppe kurzgeschlossen, was erhebliche Überspannungen in den andern Seriegruppen der gleichen Phase zur Folge hätte. Mit individuellen Sicherungen entstehen an den restlichen Einheiten der Seriegruppe, welche eine Einheit verloren hat, nur geringe Überspannungen, sofern eine gewisse Minimalzahl paralleler Einheiten angewendet wird.

Neuerdings werden fast alle grossen Installationen aus sogenannten Block-Einheiten (capacitor assembly blocks), bestehend aus 10 bis 24 Kondensatoren (250 bis 600 kVar), zusammengesetzt. Diese Block-Einheiten werden fertig zusammengestellt und verdrahtet ab Fabrik geliefert und sind genormt. Jede Grossanlage kann daher durch eine passende Serie-Parallelschaltung solcher Block-Einheiten zusammengestellt werden. Die Kosten solch grosser Anlagen betragen etwa 8...10 Dollars pro kVar, inklusive Schalter, Sicherungen, Steuerung und Relaischaltungen.

5. Beschreibung der Figuren

Die Figuren 1...5 zeigen verschiedene Arten von Kondensatorbatterien. Fig. 1 zeigt eine in der Fabrik fertig erstellte Batterie von 300 kVar an

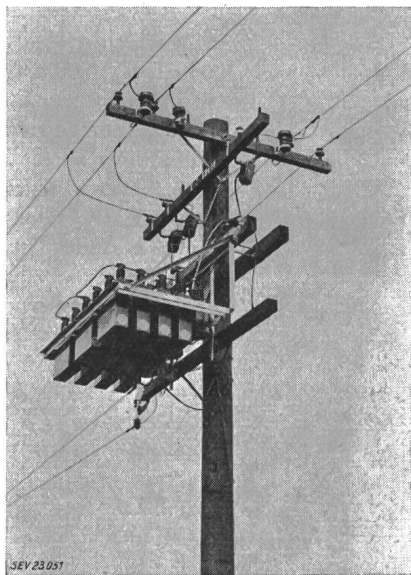


Fig. 1

300-kVar-Kondensatorbatterie auf einem Leitungsmast einer 2,4/4,16-kV-Leitung
(Näheres siehe in Abschnitt 5)

einem Leitungsmast (pole mounted rack), verbunden mit einer 2,4/4,16-kV-Leitung. Rechts, gegen den Mast zu ist ein kleiner Ölschalter ersichtlich, wovon drei Stück zur gesamten Batterie gehören. Der Steuerapparat befindet sich am Fusse des Mastes und ist mit den Schaltern durch das sichtbare Kabel verbunden. Die 3 Porzellangehäuse sind

Sicherungsautomaten zur Absicherung der drei Kondensatorengruppen (group fuses). Solche «Racks» werden zu Tausenden installiert.

Fig. 2 zeigt eine Block-Einheit mit 16 Kondensatoren (400 kVar), jeder mit seiner individuellen

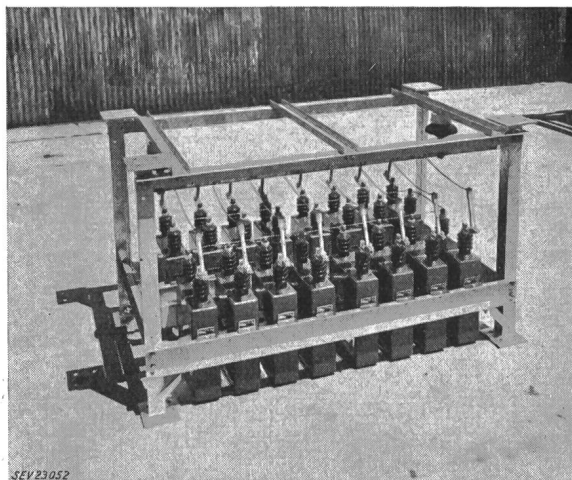


Fig. 2

400-kVar-Block-Einheit mit 16 Kondensatoren
(Näheres siehe in Abschnitt 5)

Sicherung. Diese von den Fabriken gelieferten Block-Einheiten sind die Bauelemente für die meisten modernen Grosskondensatoranlagen. Bei Anlagen mit mehreren Seriegruppen werden Isolatoren zwischen den Gestellen montiert. Bis zu vier Block-Einheiten können übereinander aufgebaut werden.

Fig. 3 zeigt eine verschaltete Kondensatorbatterie (capacitor housing) von 5400 kVar, 7,2/12,5 kV. Diese «Housings» enthalten alle Kondensatoren,

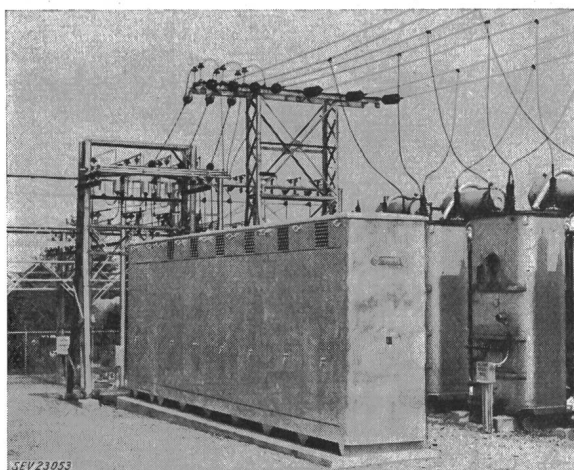


Fig. 3

Verschaltete Kondensatorbatterie von 5400 kVar, 7,2/12,5 kV
(Näheres siehe in Abschnitt 5)

den Ölschalter, Steuerapparate, Kontrollinstrumente, Wandler, Ventilatoren usw. Sie sind in Grössen von 600, 900, 1200, 1800, 2700 und 5400 kVar und für alle Verteilspannungen (bis 15 kV) erhältlich.

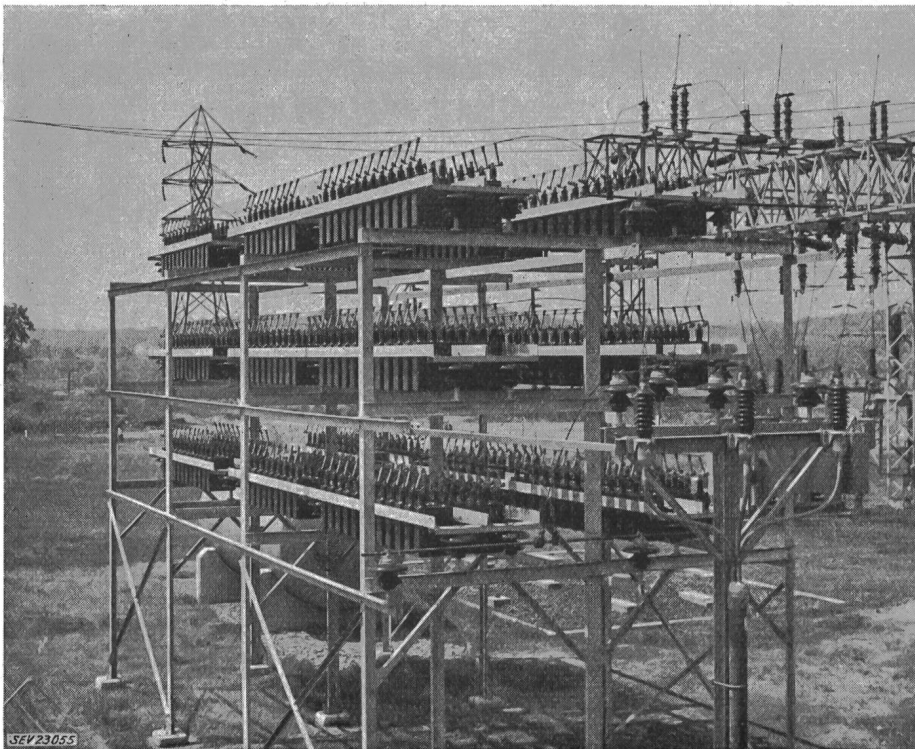
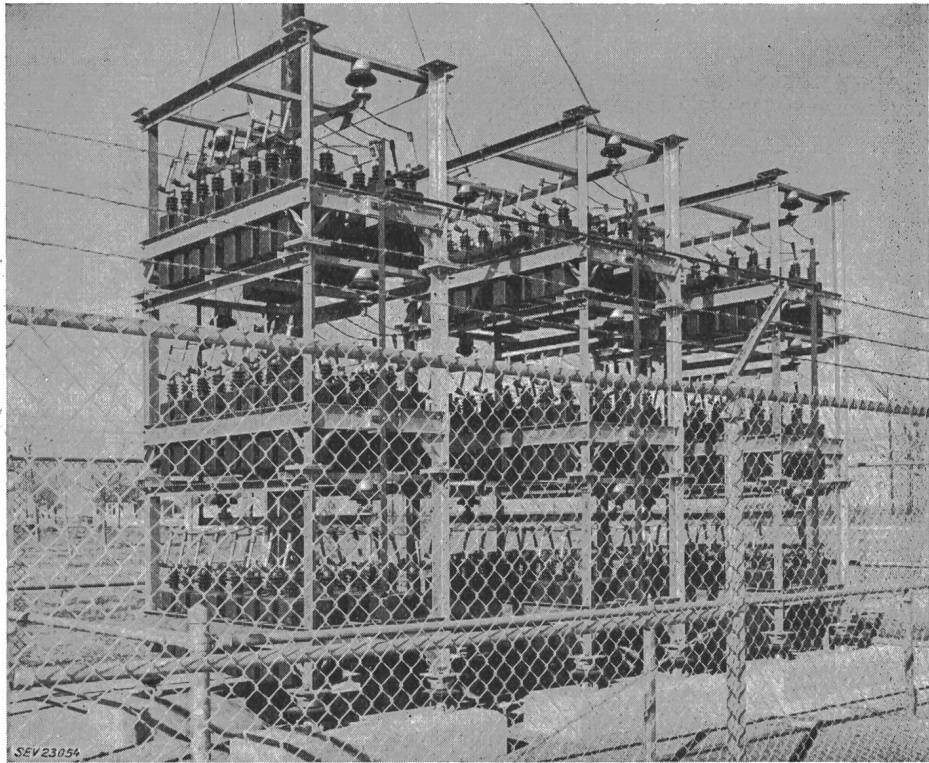
Fig. 4 zeigt eine aus 9 Block-Einheiten bestehende 3600-kVar-Anlage. Die Gestelle sind direkt

zusammengeschraubt, ohne Einbau von Isolatoren. Jedoch ist die Gesamtheit aller Gestelle durch Isolatoren am Fusse der zusammengesetzten Gestelle gegen Erde isoliert. Jede der drei Gruppen repräsentiert eine Phase, und alle Kondensatoren einer Phase sind parallel geschaltet. Da diese Anlage aus nur einer Seriegruppe pro Phase besteht, werden keine Isolatoren zwischen den Block-Einheiten benötigt.

Fig. 5 zeigt eine 10 800-kVar-Anlage in einem 26-kV-Netz in «offener» Bauart, d. h. ohne die Verwendung von Block-Einheiten. Die Anlage besteht aus zwei Seriegruppen in jeder Phase. Jede Phase ist auf einer eigenen Etage angeordnet.

Fig. 4

3600-kVar-Anlage, bestehend aus 9 Block-Einheiten
(Näheres siehe in Abschnitt 5)



Bei grösseren Anlagen von einigen Tausend kVar werden die Kondensatoren fast immer individuell abgesichert. Das genügt jedoch nicht, vielmehr muss noch ein Relais-system eingeordnet werden, welches schadhafte Spannungsungleichheiten innerhalb der Batterie aufdeckt. Bei dauernder Überspannung von mehr als 10 % an irgend einer Seriegruppe muss das «Unbalance-Detection»-System ansprechen. Dies wird fast immer indirekt, d. h. durch Messung der Verschiebung des freien

Fig. 5

10 800-kVar-Anlage in einem 26-kV-Netz ohne Verwendung von Block-Einheiten
(Näheres siehe in Abschnitt 5)

6. Elektrischer Schutz von Kondensatoranlagen

Kleinere Batterien von einigen hundert kVar werden nur durch die Gruppensicherungen geschützt. Bei einem Defekt einer Einheit wird die

Sternpunktes erreicht. Dieses Schutzsystem wirkt auf den Ölschalter der gesamten Kondensatorbatterie. Öfters werden auch Überstromrelais in jeder Phase eingebaut. Dieses System ist jedoch weniger empfindlich als das vorgenannte.

7. Das Schalten von Kondensatoren-batterien

Weitaus das wichtigste und interessanteste Spezialproblem im Zusammenhang mit Kondensatoren-anlagen ist deren Ein- und Ausschalten. Ohne auf die Theorie einzugehen sei erwähnt, dass das Einschalten wegen des sehr hohen Einschaltstromes (inrush current) und das Ausschalten wegen der Möglichkeit von Rückzündungen (restrikes) Probleme stellt. Die Nachbarschaft von weiteren Kondensatoren-batterien verschärft diese Probleme, speziell die hochfrequenten Einschaltströme können dann auf den über hundertfachen Wert des Normalstromes ansteigen.

Wegen der grossen Zahl von Kondensatoren-batterien, die in den USA in Betrieb stehen, sind spezielle Kondensatorschalter (capacitor switch) für die 15-kV-Klasse auf dem Markt. Es sind relativ kleine, leichte Ölschalter mit sehr schnell sich bewegenden Kontakten (zur Vermeidung von Rückzündungen), ohne Kurzschlussabschaltvermögen. Der Nennstrom schwankt je nach Typ zwischen 100 und 400 A. Ein Solenoid oder ein kleiner Motor-Feder-Mechanismus dient zur Fernschaltung.

Für sehr grosse Anlagen in grossen Unterstationen werden meistens grosse Ölschalter mit Kurzschlussabschaltvermögen angewendet. Deren relativ langsame Kontakte haben manchmal zu Schwierigkeiten geführt, bis geeignete Mittel zu deren Bekämpfung gefunden wurden. Öfters muss auch die Impedanz zwischen benachbarten, individuell geschalteten Batterien künstlich vergrössert werden, z. B. durch Leitungsschleifen oder eine den Einschaltstrom vermindernde Drosselspule (inrush current limiting reactor).

Für mehrstufige Hochspannungsbatterien ist der Aufwand an Hochspannungsschaltern recht kostspielig. Es wurden daher Methoden entwickelt zur Schaltung von Kondensatoranlagen bis zu 220 kV mit einer grösseren Anzahl kleiner 15-kV-Ölschalter. Eine solche Methode reduziert die Kosten für Schalter und Steuerapparate auf etwa einen Drittel der Kosten eines entsprechenden Hochspannungsschalters.

8. Teilresonanz und Harmonische

Ein Problem, welches hin und wieder im Zusammenhang mit Kondensatoren-batterien auftaucht, ist Teilresonanz, d. h. Resonanz wegen Oberwellen von 60 Hz, wodurch unter gewissen Umständen die Spannung am Kondensator erheblich erhöht wird. Dies ist der Fall, wenn das Netz einen grossen Gehalt an höhern Harmonischen aufweist. Durch einen isolierten Sternpunkt werden die dritte, neunte usw. Harmonische als Störherde eliminiert. Für die andern Harmonischen (fünfte, siebente usw.) ist aber nur in seltenen Fällen die entsprechend erhöhte induktive Serireaktanz ungefähr gleich der entsprechend verringerten kapazitiven Reaktanz, was unter Umständen schädliche Ströme zur Folge hat. Im grossen und ganzen sind jedoch Resonanz und Harmonische keine ernststen Probleme; ihr Einfluss kann relativ leicht behoben werden, wenn sie auftreten.

9. Steuerapparate für Kondensatoren-batterien

Weitaus die meisten Kondensatoren-batterien werden automatisch geschaltet und durch einen der folgenden Apparate gesteuert: Zeitschalter, Kontakt-Voltmeter, Kontakt-Ampèremeter und Kontakt-Voltampèremeter. Falls täglich das gleiche Schaltprogramm gilt, ist ein Zeitschalter das einfachste und billigste Mittel. Ist die Spannung das ausschliessliche Kriterium, was meistens der Fall ist, so ist ein Kontakt-Voltmeter weitaus das geeignetste und logische Mittel zur Steuerung. In Netzen wo die Spannung mittels Regulatoren konstant gehalten wird, ist ein VA- oder ein Varmeter erwünscht; im praktischen Fall tut aber ein Kontakt-ampèremeter den gleichen Dienst bei kleinerem Kostenaufwand. Die Batterie wird dann bei grossem Strom eingeschaltet und bei kleinem Strom ausgeschaltet. Manchmal werden auch Kombinationen der oben erwähnten Steuerapparate verwendet, wie stromkompensierte Spannungssteuerung oder Zeit-Spannungs-Steuerung.

Adresse des Autors:

Peter M. Minder, Dipl. Ing., 1653 N. Prospect Ave., Milwaukee, Wis., USA.

Zur Frage des Isolationswiderstandes von Schuhen

Von G. Irresberger, Gmunden¹⁾

621.316.933.8 : 614.825 : 646.4

Die Arbeit behandelt das elektrische Verhalten von gewöhnlichem Schuhwerk bei Niederspannung; es werden dabei die verschiedenen Einflüsse, welche den Schutzwert der Fussbekleidung in weiten Grenzen zu ändern vermögen, besprochen. Die Verhältnisse bei Hochspannung und die speziellen Isolierschuhe, welche über dem normalen Schuhzeug getragen und in Hochspannungsanlagen verwendet werden, stehen — ebenso wie die Unfallverhütungsschuhe mit Stahlkappe und Mittelfussknochenschutz — nicht zur Diskussion.

L'auteur traite de la question de la résistance d'isolement des chaussures dans le cas de la basse tension et montre que différents facteurs peuvent grandement influencer la valeur de protection des chaussures. Cette étude ne concerne pas les conditions dans le cas de la haute tension, notamment les bottes isolantes enfilées sur des chaussures ordinaires par les personnes travaillant dans des installations à haute tension et les chaussures de protection contre les accidents, avec bout d'acier et protection du cou-de-pied.

Unter den elektrischen Unfällen kennen wir zwei Hauptgruppen: Berührung zwischen zwei Leitern verschiedenen Potentials (vornehmlich mit beiden Händen) und Berührung eines spannungsführenden Leiters mit Stromdurchfluss durch

den Körper gegen Erde. Während für den ersten Fall der Standort des Verunglückten praktisch belanglos ist, kommt ihm bei der zweiten Gruppe eine erhöhte Bedeutung zu.

Den nachstehenden Ausführungen liegt nur die zweite Unfallmöglichkeit zugrunde und hier soll von den verschiedenen Widerständen in diesem Stromkreis (Widerstand der Handbekleidung, Hautwiderstand, Körperwiderstand, Widerstand der Fussbekleidung sowie Erdübergangswiderstand)

¹⁾ Vortrag gehalten auf der 8. Arbeitstagung der Sicherheitstechniker der Arbeitsgruppe der Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmen Österreichs am 14. Oktober 1954 im Technischen Museum in Wien.