Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 53 (1962)

Heft: 23

Artikel: Das rückzündungsfreie Schalten von Kondensatorbatterien

Autor: Thaler, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916994

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

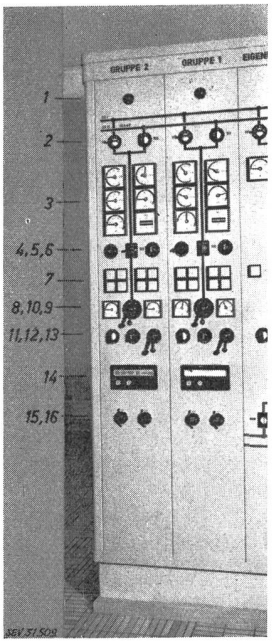
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 29.12.2025

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

Fig. 8
Vue frontale des deux panneaux de groupes
(largeur par panneau de 300 mm)

1 lampe d'alarme; *2* clés de commande des sectionneurs de choix du système de barres collectrices; *3* 6 instruments de mesure (avec 0 à l'horizontale); *4* le commutateur de choix de la synchronisation (à main, automatique en cycles séparés, entièrement automatique); *5* la clé de commande du disjoncteur principal; *6* le commutateur de choix du mode de marche (commande à main, commande automatique); *7* 8 indicateurs de danger; *8*; *9* 2 instruments de mesure de l'excitation; *10* la clé de réglage par impulsions de la puissance active; *11* le commutateur de libération de la commande à main depuis les tableaux de groupe; *12* le commutateur de choix des pompes de démarrage; *13* la clé de réglage par impulsions de la puissance réactive; *14* le bloc de commande (en haut, 7 affichage de l'état du groupe, en bas, 4 boutons-poussoirs); *15*; *16* sous couvercle de garde, les boutons-poussoirs de déclenchement de la protection CO2 et d'arrêt d'urgence



e) l'arrêt rapide et l'arrêt d'urgence des groupes ainsi que le déclenchement des protections CO_2;

d) le déclenchement des disjoncteurs de ligne;

e) l'ajustage de l'ouverture de la vanne d'entrée de la galerie *Filderich-Bergli*, la fermeture de la vanne de tête de la conduite forcée.

Sur ces panneaux figurent les appareils de mesure nécessaires au contrôle des manœuvres possibles depuis le pupitre.

Ni les régulateurs ni les organes de protection (relais, etc.) ne sont disposés dans ces panneaux. Les signaux d'alarme (indicateurs de danger et lampes d'appel) sont placés sur des panneaux séparés de même que les organes de surveillance et d'enregistrement des niveaux d'eau.

Ainsi les tableaux de groupes (fig. 8) ne comportent que 4 boutons-poussoirs pour la mise en marche en générateur ou en compensateur. Ces 4 boutons-poussoirs sont assortis de 6 éléments de signalisation annonçant:

a) «Groupe prêt»
b) «Marche en générateur»
c) «Marche en compensateur»
d) «Groupe tourne»
e) «Groupe en parallèle sur le réseau»
f) «Groupe en cours d'arrêt».

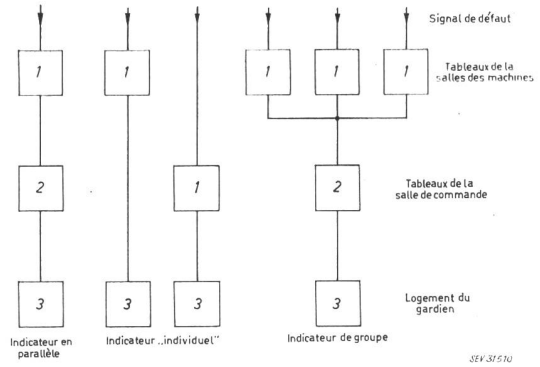


Fig. 9
Schéma de principe des dispositifs de surveillance

Le premier signal «Groupe prêt» n'apparaît que si:

a) Le niveau du bassin de compensation est suffisant;
b) La vanne de tête de la conduite forcée est ouverte;
c) Le niveau du réservoir d'eau de réfrigération est suffisant;
d) Les tensions auxiliaires (continu et alternatif) sont en ordre;
e) Le dispositif de réglage de la tension est enclenché sur commande automatique;
f) Le régulateur de tension est en position initiale;
g) La vanne principale du groupe est fermée.

Lorsque ces critères sont satisfaits, l'ordre de mise en marche en générateur ou compensateur peut être exécuté.

Un ordre d'arrêt du groupe en commande automatique ramène les organes en position initiale, de manière à permettre un nouveau démarrage.

6. Dispositif de surveillance

Une exploitation semi-automatique requiert, en raison de l'absence de personnel, un dispositif de surveillance complet.

Il doit permettre d'alerter le personnel à domicile puis de le guider vers l'organe anormalement sollicité ou défectueux, dans le plus bref délai. A cet effet, il a été prévu des indicateurs de danger signalant localement l'organe en cause. Ces indicateurs de danger sont réunis par groupe pour permettre un affichage résumé à la salle de commande. A leur tour, les signaux de la salle de commande sont repris par famille sur 7 circuits seulement et transmis au domicile du gardien de piquet (fig. 9).

Adresse de l'auteur:
J. Wahl, Petit-Lancy (GE).

Das rückzündungsfreie Schalten von Kondensatorbatterien

Von *R. Thaler*, Aarau

621.356 : 621.319.4

Die Erzeugung von Blindenergie durch Kondensatorbatterien wird immer häufiger angewandt. Zur Kupplung solcher Batterien an die Netze sind in neuester Zeit auch rückzündungsfreie Ölstrahlschalter entwickelt worden. Bei dieser Entwicklungsarbeit war es wichtig, die Bedingungen herzuleiten, unter denen einphasige Prüfungen gültig sind. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse werden mitgeteilt und durch dreiphasige Ausschaltversuche in Netzen erhärtet.

On utilise de plus en plus souvent des batteries de condensateurs pour la production d'énergie réactive. Depuis quelque temps, des disjoncteurs à jet d'huile exempts de réamorçages ont également été prévus pour le couplage de ces batteries à des réseaux. Pour leur mise au point, il importait de fixer les conditions dans lesquelles les essais en monophasé sont valables. L'auteur indique les connaissances acquises à ce sujet et confirmées par des essais de déclenchement en triphasé dans des réseaux.

1. Einleitung

Zur Deckung des jährlich steigenden Bedarfes an elektrischer Energie werden in rascher Folge neue Kraftwerke erstellt, welche durch Hoch- und Höchstspannungsleitungen mit den Verbrauchergebieten verbunden werden. Dort stellt sich oft das Problem, diese Energie über das bereits bestehende 50- oder 20-kV-Netz an die Verbraucher weiterzuleiten.

Vielerorts konnten bis heute relativ grosse Übertragungsanteile von Blindenergie in Kauf genommen

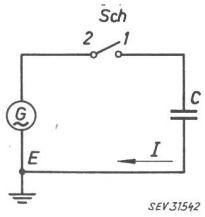


Fig. 1
Stark vereinfachtes Prinzipschema für das Ausschalten kapazitiver Ströme
Bezeichnungen siehe im Text

werden. Die erwähnte Entwicklung des Energiebedarfes zwingt nun jedoch zur Entlastung der Übertragungsmöglichkeit von Blindenergie zwecks voller Ausnützung der Leitungssysteme zur Wirkenergieübertragung. Dies wird durch Erzeugung der Blindenergie beim Verbraucher mittels Kondensatorbatterien erreicht. Die sich seit einiger Zeit abzeichnende Entwicklung war der Anstoss zur Untersuchung bestehender Schalter bezüglich des Schaltvermögens kapazitiver Ströme und zur Weiterentwicklung im Netzbetrieb bewährter Schalter in dieser Richtung. Zweck der folgenden Ausführungen ist, die dabei gewonnenen neueren Erkenntnisse über das Schalten von Kondensatorbatterien bekannt zu machen.

2. Das Ausschalten kapazitiver Ströme

Das charakteristische beim Ausschalten kapazitiver Ströme ist die Tatsache, dass unmittelbar nach Löschung des Stromes die über dem Schalter *Sch* wiederkehrende Spannung gleich null ist (Fig. 1 und 2). Alle Schalter werden deshalb den Strom I sobald eine Kontaktöffnung hergestellt ist, vorerst einmal löschen (a). Die Spannung über dem Schalter U_{12} steigt dann relativ langsam an und erreicht nach einer halben Periode (b) den doppelten Scheitelwert. Die dielektrische Beanspruchung der Isolierstrecke zwischen den sich öffnenden Kontakten ist insbesondere dann sehr gross, wenn sich die Kontakte unmittelbar vor dem Zeitpunkt a getrennt haben. Bei vielen Schaltern herkömmlicher Bauweise war die elektrische Festigkeit in diesem Falle ungenügend, die Isolierdistanz des Schalters wurde durchschlagen und die Spannungsquelle wieder mit dem Kondensator verbunden. Man spricht von «Wiederzündung», wenn die stromlose Pause kleiner ist als $^1/_4$ Periode, von «Rückzündung», wenn diese gleich oder grösser ist als $^1/_4$ Periode. Neuere Versuche und Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass Rückzündungen unter Umständen zu Überspannungen führen können, die Transformatoren und andere Anlageteile gefährden. Dies gab den Anstoss zum Bau rückzündungsfreier Ölschalter. Die vorliegende Arbeit wird deshalb auf das rückzündungsfreie Schalten beschränkt.

3. Dreiphasiger, rückzündungsfreier Ausschaltvorgang

Im folgenden wird eine normale dreiphasige Ausschaltung einer Kondensatorbatterie beschrieben. Dies geschieht an Hand eines konstruierten «Oszillogramm-

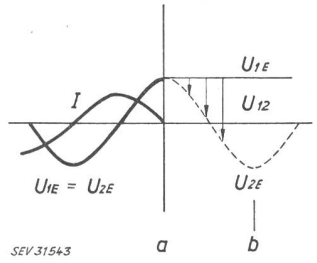


Fig. 2
«Oszillogramm» des Ausschaltvorganges von Fig. 1
U_{12} an den Klemmen des Schalters *Sch* wiederkehrende Spannung
Weitere Bezeichnungen siehe im Text

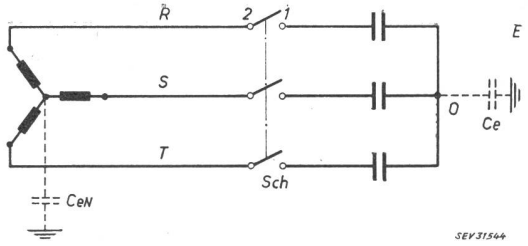


Fig. 3
Auszuschaltende Kondensatorbatterie
Sternpunkt des speisenden Netzes starr geerdet, gelöscht oder isoliert, wobei im letzten Fall gilt: $C_{eN} \gg C_e$
C_{eN} Sternpunktkapazität des speisenden Netzes; C_e Sternpunktkapazität der Kondensatorbatterie

mes» in Fig. 4, in das alle messbaren Ströme und Spannungen aufgenommen worden sind. Dieses «Musteroszillogramm» kann darüber hinaus bei der Beurteilung von tatsächlichen Ausschalt-Oszillogrammen gute Dienste leisten, da es bei Netzversuchen kaum je möglich ist, alle gewünschen Informationen durch direkte Messung zu erhalten.

Die auszuschaltende Kondensatorbatterie (Fig. 3) ist im Stern geschaltet und deren Sternpunkt wie üblich isoliert. Um klarere Spannungsverhältnisse nach der Löschung des Stromes zu erhalten, werden Entladewandler weggelassen. (Solche Wandler beeinflussen erfahrungsgemäss die Spannungsverläufe erst ca. 0,01 s nach der Löschung, so dass während der für den Ausschaltvorgang wichtigen Zeit deren Fehlen bedeutungslos ist.) Die Art der Sternpunkterdung des speisenden Netzes beeinflusst den Ausschaltvorgang nicht, weil bei isoliertem Sternpunkt die Bedingung $C_{eN} \gg C_e$ meistens erfüllt ist (C_{eN}, C_e siehe Fig. 3).

3.1 *Verlauf der Ströme*

Es wird angenommen, dass sich die Kontakte des Schalters *Sch* (Fig. 3) im Zeitpunkt a (Fig. 4) trennen. Im nächsten Nulldurchgang eines Phasenstromes, d. h. hier im Zeitpunkt b (I_R) löscht dieser. Nun sind noch die beiden Phasen S und T mit dem Netz verbunden. Der Übergang erfolgt im Zeitpunkt b durch Phasensprünge der Ströme I_S und I_T. Die Halbwelle von I_S wird um $^1/_{12}$ Periode verkürzt, diejenige von I_T um $^1/_{12}$ Periode verlängert. Dieser Strom geht $^1/_4$ Periode nach Löschung der erstlöschenden Phase durch null. Es sei angenommen, dass er in diesem Nulldurchgang auch löscht.

3.2 *Verlauf der Spannungen*

Der Sternpunkt der Kondensatorbatterie (U_{0E}) nimmt nach der Löschung des Stromes I_R das Mittelpotential der zwei Phasen ST an. Er würde mit der Amplitude $0{,}5\hat{U}$ um $+\ 0{,}5\hat{U}$ oszillieren, wenn im Zeitpunkt c der Strom in den Phasen S und T nicht unterbrochen würde. Im Zeitpunkt c wird aber die Batterie vollständig vom Netz abgetrennt. Alle Kapazitäten bleiben nun geladen und die Anschlüsse behalten die Potentiale des Zeitpunktes c bei, (U_{1E}). Der Sternpunkt bleibt auf $+0{,}5\hat{U}$ geladen.

Die Anschlüsse der Kondensatorbatterie haben gegen Erde die Spannungen U_{1E}, d. h.

erstlöschende Phase	(R)	$+1{,}5\hat{U}$
nächstfolgende Phase	(S)	$+0{,}866\hat{U}$
übernächste Phase	(T)	$-0{,}866\hat{U}$

Das Potential des Anschlusses R setzt sich dabei aus der Ladung $+\hat{U}$ der Kondensator-Phase R und der

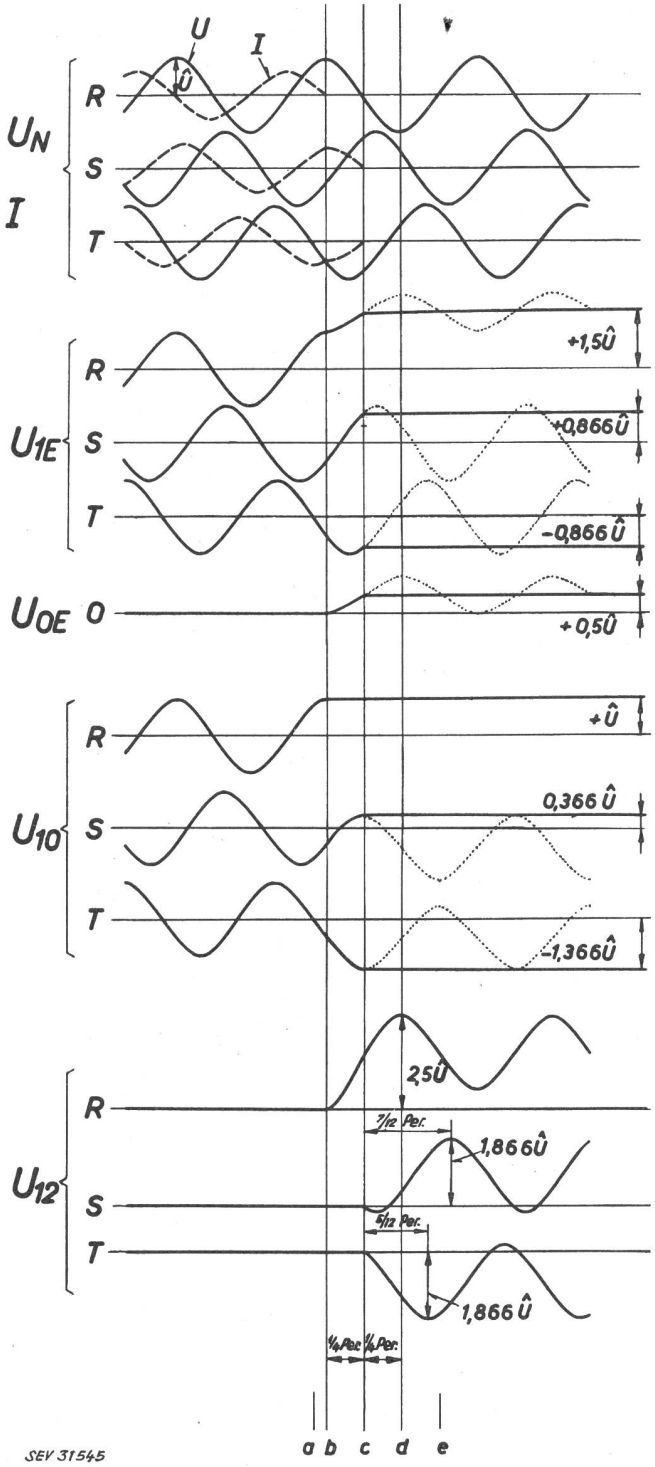


Fig. 4

Ausschaltung der Kondensatorbatterie Fig. 3 (gezeichnete Oszillogramme)

U_N Spannung des speisenden Netzes gegen Erde; U_{1E} Spannung der Kondensatorbatterie — Klemmen gegen Erde; U_{10} Spannung der Kondensatorbatterie — Klemmen gegen Batterie-Sternpunkt 0; U_{0E} Spannung des Batterie-Sternpunktes gegen Erde; U_{12} Spannungsdifferenz an den Schalterklemmen; I Ladestrom der Kondensatorbatterie

Sternpunktladung $+0{,}5\hat{U}$ zusammen. Der Verlauf der übrigen Spannungen «Batteriephase gegen Batterie-Nullpunkt» (U_{10}) ist in Fig. 4 ebenfalls dargestellt. Die Kondensatoren der letztlöschenden Phasen werden entsprechend der Stromflussdauer weniger (S) bzw. mehr (T) als auf den normalen Wert $\hat{U}$ aufgeladen.

Von besonderem Interesse sind die Spannungen «Schalter-Eingang gegen Schalter-Ausgang», d. h. $U_{12} = U_{1E} - U_N$ jeder Phase. Über dem erstlöschenden Pol R steigt die Spannung im Zeitintervall *b*—*c* als (1—cos)-Funktion mit dem Amplitudenwert $1{,}5\hat{U}$ an, um im Zeitintervall *c*—*d* nur noch mit dem Amplitudenwert $\hat{U}$ weiter zu steigen. Die maximal über dem Schalterpol auftretende Spannung beträgt $2{,}5\hat{U}$.

Für die Beurteilung von Schalterversuchen und Schaltern sind folgende Feststellungen von Bedeutung:

a) Beim rückzündungsfreien und idealen Ausschalten tritt auf der Batterieseite gegen Erde eine Überspannung gleich 1,5-facher Phasenspannung auf. Die Überspannung an einer Batterie-Phase erreicht den Wert 1,366 mal Phasenspannung.

b) Die Batterie als Ganzes bleibt gegen Erde mit 0,5facher Phasenspannung geladen. Dies auch wenn Entlade-Reaktoren parallel zu den Batterie-Phasen geschaltet sind.

c) Bei einphasiger Prüfung ist es nicht möglich, den Schalter mit einer der dreiphasigen Prüfung genau entsprechenden wiederkehrenden Spannung zu beanspruchen. In Fig. 5 sind die verschiedenen wiederkehrenden Spannungen $\hat{U}_w$ vergrössert eingezeichnet. Um bei der einphasigen Prüfung auch im Anstieg der Spannung eine genügend gute Übereinstimmung mit dem dreiphasigen Anstieg (Kurve *a*) zu haben, wird einphasig mit 1,4-facher Phasenspannung Kurve *d* geprüft [1] [1]). Diese Prüfung ist etwas schwerer als die entsprechende dreiphasige.

d) Die Gleichzeitigkeit der Kontakt-Trennung der drei Schalterpole ist beim Schalten von ungeerdeten Kondensatorbatterien besonders wichtig. Würden z. B. die Kontakte der Phasen S und T mehr als 1/4 Periode nach der Phase R öffnen, so könnte der Strom im Zeitpunkt *c* nicht unterbrochen werden. Die Löschung fände erst zur Zeit *e* statt. Über Pol R träte eine maximale wiederkehrende Spannung von $3\hat{U}$ auf (Kurve *b* in Fig. 5).

Fig. 6 zeigt die wiederkehrende Spannung der erst- und letztlöschenden Phasen in Abhängigkeit der Kontakt-Öffnungszeit, was eine Beurteilung der spezifischen Beanspruchung erlaubt. Es ist angenommen, dass die Kontakte der Schalterpole S und T 1/6 Periode (0,0033 s) später trennen als bei Pol R, was gemäss den Empfehlungen der CEI [1] gerade noch zulässig ist. Man erkennt, dass die dielektrische Beanspruchung der sich vergrössernden Isolier-Strecke bei den letztlöschenden Phasen in keinem Zeitmoment grösser ist als in der erstlöschenden. Dies

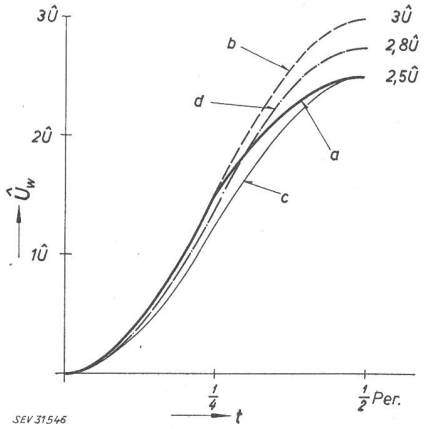


Fig. 5

Wiederkehrende Spannung $\hat{U}_w$ der erstlöschenden Phase

t Zeit nach Löschung

a bei guter Synchronisation der Schalterperiode, d. h. wenn der Strom der Phasen *S* und *T* 1/4-Periode nach Löschung in Phase *R* ebenfalls gelöscht wird

b bei schlechter Synchronisation der Schalterpole, d. h. wenn der Strom der Phase *S* und *T* nicht im nächstfolgenden Nulldurchgang löscht

c bei einphasiger Prüfung mit einer Spannung gleich 1,25 mal entsprechender Phasenspannung

Weitere Erklärungen siehe im Text

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

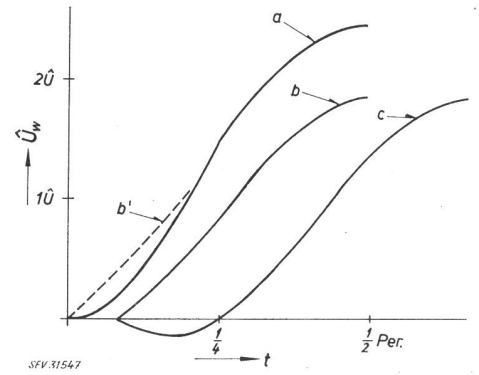


Fig. 6
Wiederkehrende Spannung $\hat{U}_w$ der drei Schalterphasen in Abhängigkeit der Kontaktöffnungszeit t
Angenommener Gleichzeitigkeitsfaktor der Kontakt-Trennungen 0,0033 s
a erstlöschende Phase (*R*); *b* letztlöschende Phase (*T*); *c* letztlöschende Phase (*S*); *b'* Phase *T* bei einem Gleichzeitigkeitsfehler von 0,005 s

wäre aber bei einem Gleichzeitigkeitsfehler von 1/4 Periode (0,005 s) nicht mehr der Fall, wie dies Kurve *b'* zeigt. Um Rückzündungen zu vermeiden, muss deshalb auch im Betrieb eine genügende Gleichzeitigkeit der Kontakttrennung erhalten bleiben.

e) Bei Schaltversuchen ist besonders darauf zu achten, dass die Sternpunkt-Spannung nicht durch Messeinrichtungen gefälscht wird. Da die Sternpunkt-Kapazität der Kondensatorbatterie normalerweise sehr klein ist (einige Tausend pF) ergibt sich z. B. auch bei Anwendung sehr hochohmiger resistiver Spannungsteiler eine unzulässige Verfälschung.

4. Schaltung der Entladereaktoren

Es erübrigt sich, hier über die Aufstellung und Schaltung von Kondensatorbatterien vollständige Angaben zu machen, da hierüber eine ausgezeichnete Broschüre besteht [2]. Dagegen scheint es wichtig, eine an sich bekannte Angabe über die Schaltung der Entlade-Spannungs-Wandler zu wiederholen, da diesbezüglich immer wieder Fehler vorkommen.

Zur Entladung der Batterie können drei Spannungs-Wandler in Stern geschaltet werden, deren Sternpunkt aber nicht geerdet sein darf, da sich dadurch Schwingkreise bilden, die zu hohen Überspannungen führen können. Gleichzeitig besteht auch die Gefahr, dass einer der letztlöschenden Pole des Schalters einen kleinen, mit Wechselstrom modulierten Gleichstrom unterbrechen muss. Bei diesem Ausschaltvorgang wird der Strom abgerissen, wodurch in den Wandlern sehr hohe Überspannungen erzeugt werden können [3]. Der Sternpunkt der Entladewandler ist deshalb mit dem Sternpunkt der Kondensatorbatterie zu verbinden. Bewährt hat sich ebenfalls die V-Schaltung von nur zwei Entladewandlern [2; 3].

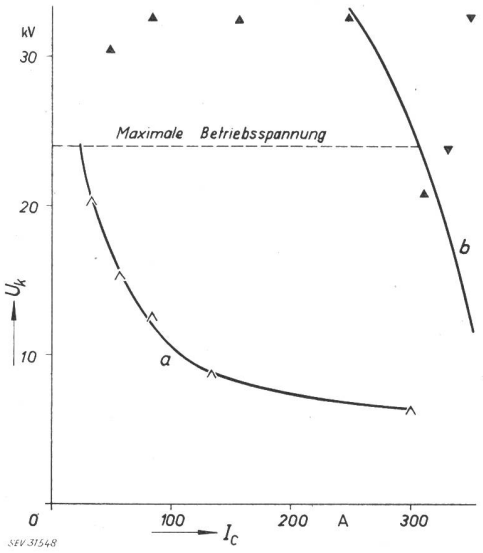


Fig. 7
Verkettete Betriebsspannung für rückzündungsfreies Ausschalten kapazitiver Ströme
U_k verkettete Betriebsspannung; I_C kapazitiver Strom
a moderner Ölstrahlschalter normaler Ausführung für 10...24 kV
∨ Versuchsserie *mit* Rückzündung;
∧ Versuchsserie *ohne* Rückzündung
b moderner Ölstrahlschalter mit zusätzlicher Öleinspritzung für 10...24 kV
▼ Versuchsserie *mit* Rückzündung;
▲ Versuchsserie *ohne* Rückzündung

5. Ölstrahlschalter als Kondensatorschalter

Im allgemeinen werden Kondensatorbatterien möglichst gut auf das gesamte Netz verteilt. Ihre Aufstellung erfolgt also oft in relativ kleinen Schaltanlagen, die meistens mit ölarmen Schaltern ausgerüstet sind. Es ist deshalb begreiflich, dass von betrieblicher Seite das Bedürfnis nach rückzündungsfreien ölarmen Schaltern immer stärker wird.

Die Durchprüfung klassischer Mittelspannungs-Ölstrahlschalter hat gezeigt, dass diese kapazitive Ströme von Kabeln oder Freileitungen rückzündungsfrei ausschalten. Kurve *a* in Fig. 7 zeigt die höchst zulässige Spannung für rückzündungsfreies Ausschalten in Abhängigkeit des kapazitiven Ausschaltstromes eines modernen 24-kV-Ölstrahlschalters. Eine überschlägige Rechnung ergibt, dass dieser Schalter bei einer Betriebsspannung von z. B. 16 kV ein Kabelnetz von 50...100 km totaler Länge (oder ein Freileitungsnetz von mehr als 1000 km totaler Länge) rückzündungsfrei ausschaltet. Diese Schalter schalten somit unter normalen betrieblichen Verhältnissen rückzündungsfrei. Dagegen würden Kondensatorbatterien üblicher Leistung (1000...5000 kVAr) nicht rückzündungsfrei geschaltet. Durch den Einbau eines mit einer Kontaktstift-Pumpe ausgerüsteten Kontaktes wird eine zusätzliche Ölströmung erzeugt. Damit ist derselbe Schalter in der Lage bedeutend grössere kapazitive Lasten rückzündungsfrei zu schalten (Kurve b in Fig. 7), beispielsweise 10 MVar bei 20 kV. Die Technik der zusätzlichen Öleinspritzung ist mit demselben Erfolg bei Schaltern aller Nennspannungen angewendet worden, so dass heute rückzündungsfreie Ölstrahlschalter für alle Kondensatorbatterien erhältlich sind.

6. Netzversuche

Die Entwicklungs- und Typenprüfungen in Bezug auf Schalten kapazitiver Ströme sind grösstenteils einphasig nach einer synthetischen Methode durchgeführt worden [4]. Zur Bestätigung der erwähnten Ergebnisse waren dreiphasige Schaltversuche unter betriebsmässigen Verhältnissen notwendig. Zwei Beispiele seien erwähnt:

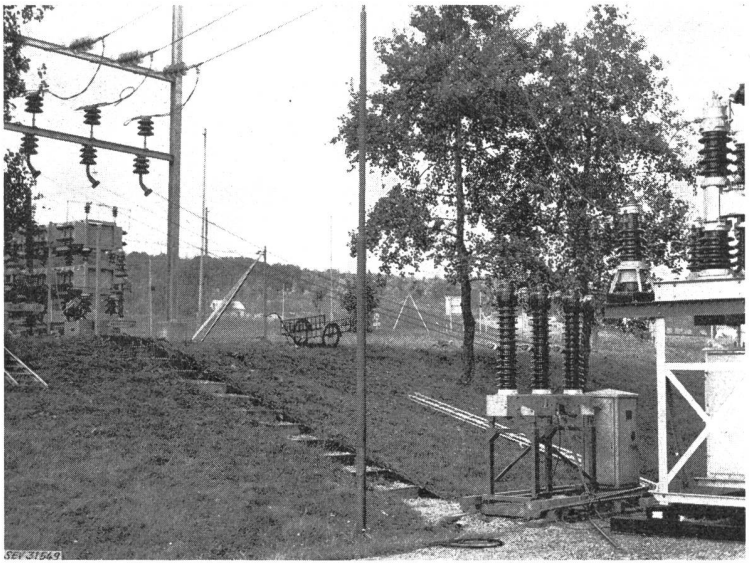


Fig. 8
Kondensator-Schaltversuche in Falköping (Schweden)
links: Teil der Kondensatorbatterie; *rechts:* geprüfter Schalter

faktor überstieg auf der Batterieseite nie den theoretischen Wert von 1,5. Die vorliegenden 3phasigen Versuche bestätigen das Resultat umfangreicher einphasiger und synthetischer Prüfungen im Laboratorium [4] nach denen der Schalter bis 52 kV verketteter Spannung rückzündungsfrei ausschaltet. Auf der Speiseseite traten keine Überspannungen auf. Gleichzeitig wurden auch Versuche gemacht, die dem Zuschalten einer Batteriehälfte entsprechen bei bereits angeschlossener zweiter Batteriehälfte. Dabei wurde ein maximaler Einschaltstrom von 7,5 kA bei einer Frequenz von 11,3 kHz ermittelt. Auch diese Prüfung hat der Schalter erfolgreich bestanden (Fig. 8 und 9).

6.1 Schaltversuche an einer Kondensatorbatterie von 44 kV, 7,8 MVar, in Falköping (Schweden) [3]

Daten:

a) Betriebsspannung . . . . . 42,5 kV
b) Kurzschlussleistung des speisenden Netzes ≈ 340 MVA
c) Kondensatorbatterie in zwei Hälften zu je 3,9 MVar
d) Entladung der Batterie durch 3 in Stern geschaltete Wandler. Wandlersternpunkt mit Batteriesternpunkt verbunden und gegen Erde isoliert.
e) Schalter: 40/48 kV, 750 MVA (Fig. 8)

Es wurden 22 Ausschaltungen bei einer Batterieleistung von 3,9 MVar und 15 Ausschaltungen bei einer solchen von 7,8 MVar durchgeführt. Alle Schaltungen erfolgten rückzündungsfrei und der Überspannungs-

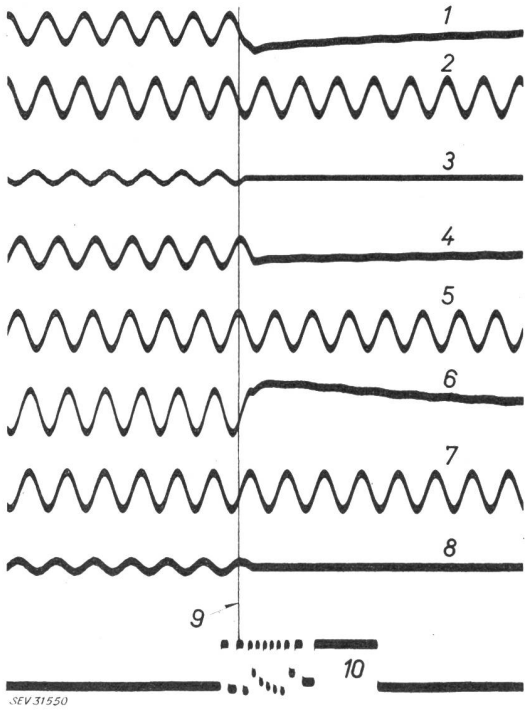


Fig. 9
Ausschaltung einer Kondensatorbatterie, 7,8 MVar, 44 kV
1 Batteriespannung, Phase *R*; *2* Schienenspannung, Phase *R*; *3* Strom, Phase *R*; *4* Batteriespannung, Phase *S*; *5* Schienenspannung, Phase *S*; *6* Batteriespannung, Phase *T*; *7* Schienenspannung, Phase *T*; *8* Strom, Phase *T*; *9* Kontakttrennung; *10* Kontaktbewegungsdiagramm

6.2 Schaltversuche an einer Kondensatorbatterie von 55 kV, 20 MVar, in Winkeln

Daten:

a) Betriebsspannung . . . . . ≈ 50 kV
b) Kurzschlussleistung des speisenden Netzes
α) Starke Speisung direkt ab Netz . . . . 1500 MVA
β) Schwache Speisung ab Transformator . . 250 MVA
c) Kondensatorbatterie in zwei Hälften zu je . 10 MVar
d) Entladung der Batterie über zwei Wandler in V-Schaltung.
e) Schalter 55/60 kV, 2500 MVA [Versuchsausführung (Fig. 10)]. Der Schalter besitzt zwei in Serie geschaltete Unter-

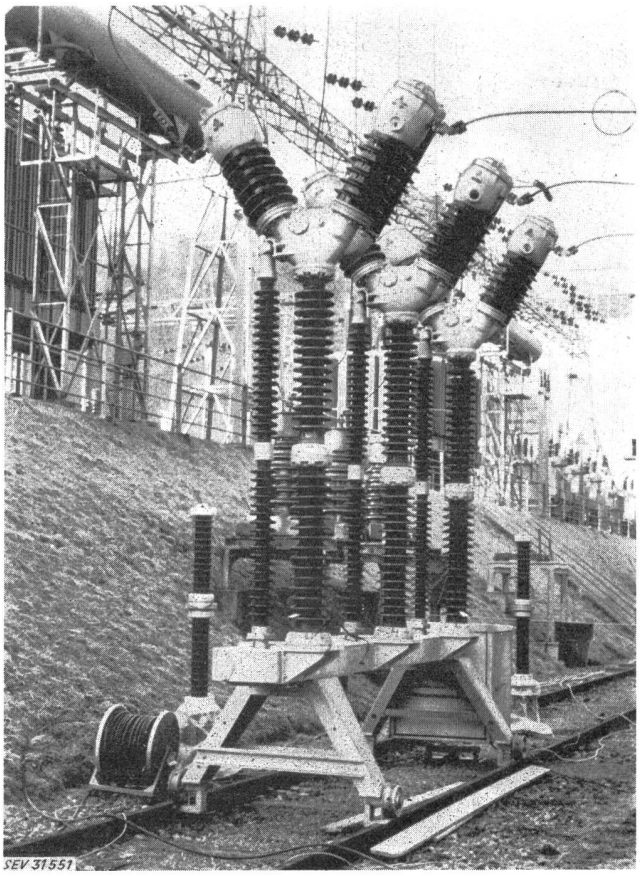


Fig. 10
In Winkeln geprüfter Kondensatorschalter
Versuchsausführung

Tabelle I

Spannungs-Verteilung des Schalters gesteuert mittels	Kurzschluss-Leistung der Speise-Seite P_k MVA	Nennleistung der Kondensator-batterie P_n MVar	Schaltfolge und Anzahl Versuche c = «Ein» o = «Aus»	Spannung bei eingeschalteter Batterie U_N kV	Spannungs-Änderung im Löschmoment %	Ladestrom der Kondensator-batterie I_Q A
Kondensatoren	1500	10	6× c+11× o	47,6	≈0,5	95
	1500	20	12 × co	48,5	1,1	196
	250	10	2×c+2×o	49,3	3,6	110
	250	20	10 × co	51,0	7,3	209
Nicht linearen Widerständen	1500	10	16 × co	48,6	≈0,5	98
	1500	20	10 × co	47,8	1,1	≈196
	250	10	10 × co	49,5	3,6	110
	250	20	10 × co	51,4	7,3	210

brechungsstellen pro Phase. Es wurden zwei verschiedene Methoden der Steuerung der Spannungsverteilung vollständig durchgeprüft, d. h.

f) Rein kapazitiv: Steuerung mittels Kondensatoren allein.

g) Rein Ohmisch: Steuerung mittels nicht linearer Widerstände.

Die Schaltversuche sind von der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH) entsprechend den Empfehlungen des CEI [1] durchgeführt worden. Die Kurzschlussleistung der Speiseseite wurde einmal möglichst gross, einmal möglichst klein gewählt und je die halbe oder die ganze Kondensatorbatterie angeschlossen. Die Schaltungen waren teils «Aus» — teils «Ein-Aus» — Schaltungen (Fig. 11). Tabelle I gibt eine Zusammenstellung der durchgeführten Versuche und Messwerte. Sämtliche 81 Ausschaltungen erfolgten rückzündungsfrei und ohne jede Störung. Die totale Ausschaltzeit überstieg nie 0,04 s. An dieser Stelle sei noch erwähnt, dass die bei schwacher Speisung im Löschmoment auftretende Änderung der Speisespannung eine Vergrösserung der minimalen Lichtbogenzeit bewirkt. Bei dreiphasigen Versuchen und starker Speisung beträgt die maximale Lichtbogenzeit theoretisch 0,0083 s. Diese Zeit wird umso grösser, je grösser die Spannungsänderung im Löschmoment ist. Sie betrug bei den vorliegenden Versuchen max. 0,009 s. Führt man einphasige Prüfungen im Laboratorium durch, so muss dies beachtet werden. Der vorliegende Schalter ist synthetisch [4] bis zu Lichtbogenzeiten von 0,017 s geprüft und danach in der Lage, kapazitive Ströme bis 550 A bei einer verketteten Spannung bis 80 kV rückzündungsfrei auszuschalten.

7. Schlussfolgerungen

Aus der durchgeführten Analyse des dreiphasigen rückzündungsfreien Ausschaltvorganges geht hervor, dass in einem Netz und nicht starr geerdetem Nullpunkt die wiederkehrende Spannung über dem erstlöschenden Pol den 2,5fachen Betrag des Scheitelwertes der Phasenspannung erreicht, sofern die Kontakttrennungen der drei Schalterpole keinen grösseren Gleichzeitigkeitsfehler als $^1/_6$ Periode aufweisen. Der Verlauf dieser Spannung weist im Moment der Löschung der letztlöschenden Phasen eine Unstetigkeitsstelle auf. Diese Tatsache wird bei der einphasigen

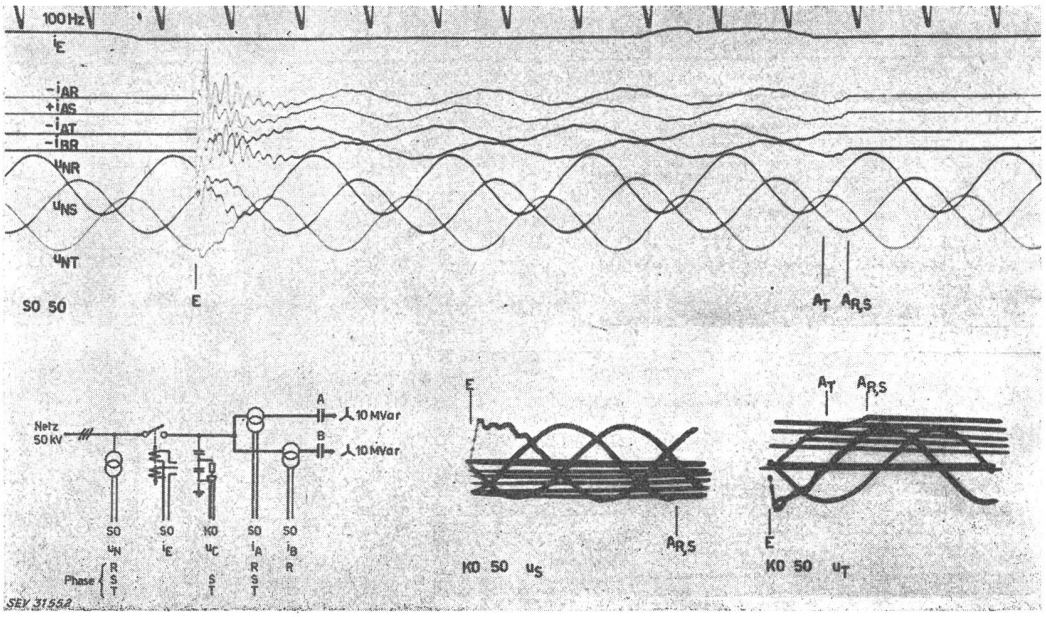


Fig. 11

Ein-Aus-Schaltung der 20-MVar-Kondensatorbatterie in Winkeln

E Einschaltmoment; *A* Ausschaltmoment

i_{AR}, i_{AS}, i_{AT} Strom der Batteriehälfte *A*, Phasen R, S, T; i_{BR} Strom der Batteriehälfte *B*, Phase R; i_E Spulenstrom; *A* Batteriehälfte *A*; *B* Batteriehälfte *B*; A_T Ausschaltmoment Phase T; $A_{R,S}$ Ausschaltmoment Phasen R, S; *E* Einschaltmoment; u_{NR}, u_{NS}, u_{NT} Spannung auf der Netzseite, Phasen R, S, T; u_C Batteriespannung; u_S, u_T Batteriespannung S, T; *SO* 50 Schleifenoszillogramm Nr. 50; *KO* 50 Kathodenstrahloszillogramm Nr. 50

Prüfung dadurch berücksichtigt, dass diese mit 1,4-facher Phasenspannung ausgeführt wird, wodurch die wiederkehrende Spannung den 2,8fachen Scheitelwert der Phasenspannung erreicht. Die so durchgeführte einphasige Prüfung ist etwas strenger als die dreiphasige Ausschaltung im Netzbetrieb.

In Netzen mit geerdetem Nullpunkt sind auch die Sternpunkte der Kondensatorbatterien geerdet. Sternpunktverschiebungen treten dann nicht auf und einphasige Versuche sind in diesem Falle mit einfacher Phasenspannung durchzuführen.

Dreiphasige Netzversuche mit zwei verschiedenen Ölstrahlschaltern haben erneut den Wert und die Zuverlässigkeit einphasiger und synthetischer Prüfungen im Laboratorium bestätigt. Voraussetzung der Nachbildung der Netzverhältnisse ist neben der Berücksichtigung der erwähnten Tatsachen und Forderungen auch die Beurteilung der Einflüsse von starkem oder schwachem Speisenetz auf die Schaltervorgänge.

Mit der Bereitstellung auch für das Schalten von Kondensatorbatterien volldurchgeprüfter Schalter hat die Industrie in der Schweiz einen wesentlichen Beitrag zu vermehrter Anwendung von Kondensatorbatterien als Blindleistungserzeuger geleistet.

Literatur

[1] *CEI:* Guide pour l'essais des disjoncteurs en ce qui concerne la manœuvre sur des batteries de condensateurs en dérivation. Supplément au chapitre I de la Publication 56 de la CEI. Genève: Bureau Central de la CEI 1959.

[2] *Anonym:* Leistungskondensatoren. Eine Richtlinie für ihre Aufstellung und ihren Betrieb in Mittel- und Niederspannungsnetzen. Frankfurt a/M.: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH.

[3] *Ahlgren, L.* und *L. R. Bergström:* Considérations sur la commande de condensateurs au moyen de disjoncteurs à petit volume d'huile de 10 A 40 kV. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 19. Session 1962, Rapp. 114.

[4] *Thaler, R.:* Méthode synthétique d'essais de disjoncteurs à haute tension pour la coupure de condensateurs et de lignes. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 18. Session 1960, Bd. 2, Rapp. 116.

Adresse des Autors:
R. Thaler, dipl. Elektrotechniker, Sprecher & Schuh AG, Aarau.

Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

Der Metall-Lack(ML)-Kondensator

[Nach Techn. Inform. Bosch Kondensatoren (1961), 1. Okt.]
621.319.4 : 621.315.617.4

1. *Allgemeines*

Papier-Kondensatoren und die durch kleine Abmessungen gekennzeichneten selbstheilenden Metallpapier(MP)-Kondensatoren lassen sich nicht mit beliebig dünnem Dielektrikum herstellen. Die geringste noch vertretbare Papierstärke führt beim MP-Kondensator etwa zu einer Nenn-Gleichspannung von 250 V bei +40 °C. Derartige Kondensatoren sind also für Betriebsspannungen unterhalb von 100 V überdimensioniert und sie erreichen nicht die für die Miniaturtechnik erwünschten besonders kleinen Abmessungen.

Für dieses Anwendungsgebiet wurde der selbstheilende «Metall-Lack(ML)-Kondensator» als echter statischer Niedervolt-Kondensator entwickelt. Sein Dielektrikum für die Nennspannungen 80 und 120 V ist nur etwa halb so dick und für die Nennspannung 63 V nur etwa $^1/_3$ so dick wie das übliche Kondensatorpapier.

2. *Aufbau*

Das Dielektrikum besteht aus zwei mehrschichtigen Lackfilmen, die beiderseits auf eine Trägerfolie aus Aluminium aufgebracht sind. Der leitende Träger dient gleichzeitig als Kondensatorbelag und die Gegenbeläge werden aus dünnen, im Vakuum auf beide Lackfilme aufgedampften Zinkschichten gebildet. Eine einzige derartig bedampfte Metall-Lack-Folie enthält alle aktiven Elemente eines Kondensators, sogar in doppelter Anordnung. Wenn sie zu einem Wickel aufgespult wird, liegen etwaige Lufteinschlüsse zwischen den Folienlagen im feldfreien Raum.

Da die Elektroden des ML-Kondensators beiderseits fest auf dem Lackdielektrikum haften, kann sich ihr Abstand weder durch mechanische noch durch thermische Einflüsse ändern. Das Lackdielektrikum ist im Gegensatz zum Kondensatorpapier porenfrei und nicht hygroskopisch, so dass die ML-Kondensatoren keine Imprägnierung benötigen und daher ein völlig homogenes Dielektrikum besitzen. Die Kondensatorbeläge werden auf beiden Stirnseiten des ML-Wickels durch aufgespritzte Zink-Kontakte angeschlossen.

3. *Eigenschaften*

a) Selbstheilung. Im Falle eines Durchschlags verdampft die dünne Zinkschicht in der Umgebung der Fehlerstelle, während die als Gegenelektrode dienende Aluminium-Folie praktisch unbeschädigt bleibt. Im MP-Kondensator dagegen verdampfen bei einem Durchschlag gleichzeitig Teilflächen von zwei dünnen Zinkbelägen beiderseits des durchschlagenen Dielektrikums. Obwohl der ML-Kondensator nur einseitig ausbrennen kann, hat er die gleichen selbstheilenden Eigenschaften wie der MP-Kondensator.

b) Isolationswert. Für den ML-Kondensator werden im Anlieferungszustand bei +20 °C Isolationswerte von 200 MΩ·μF garantiert, was für die überwiegende Mehrzahl der Anwendungsfälle bei weitem ausreicht. Die tatsächlichen Durchschnittswerte liegen um ein Mehrfaches höher.

Bei höheren Betriebstemperaturen ist der ML-Kondensator den Papier-Kondensatoren hinsichtlich des Isolations-Widerstandes dennoch überlegen, weil sich sein Isolations-Widerstand im Bereich von +20 und +70 °C nur etwa um den Faktor 5 vermindert gegenüber dem Faktor 40 bei Papier-Kondensatoren (Fig. 1).

In selbstheilenden Kondensatoren können während des Betriebs eintretende Isolationsfehler nur ausbrennen, wenn hierbei am Kondensator mindestens eine Klemmenspannung von 20 V

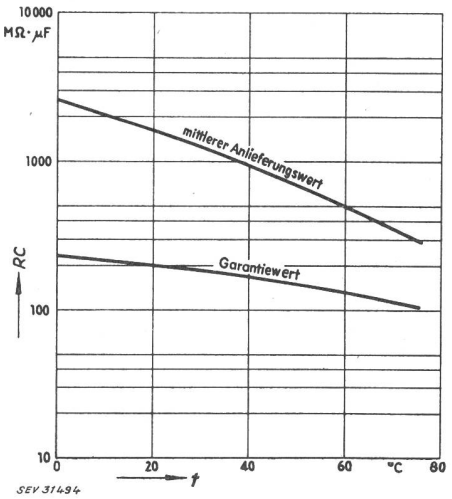


Fig. 1
Temperaturabhängigkeit des Isolationswertes (*RC*) im Anlieferungszustand
t Temperatur