

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 52 (1961)
Heft: 15

Artikel: Das Ladungshaltevermögen und die dielektrische Absorption eines Kondensators
Autor: Boyer, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916856>

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: 17.05.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Das Ladungshaltevermögen und die dielektrische Absorption eines Kondensators

Von P. Boyer, Fribourg

621.319.4

Der Autor erläutert zwei Kenngrößen, die beim Studium von Dielektrika für Kondensatoren in jüngster Zeit zu vermehrter Bedeutung gelangt sind: das Ladungshaltevermögen und die dielektrische Absorption. Er grenzt ihre Bedeutung ab, indem er sie mit den gebräuchlichen Messungen des $\tan \delta$ und des Isolationswiderstandes vergleicht und verschiedene interessante Fälle eingehender betrachtet.

L'auteur définit deux caractéristiques de plus en plus prises en considération dans l'étude des diélectriques utilisés dans les condensateurs: la «mémoire» et l'absorption diélectrique. Il situe leur importance en les comparant aux mesures usuelles du facteur de pertes $\tan \delta$ et de la résistance d'isolation en s'arrêtant à l'un ou l'autre cas particulièrement intéressant.

(Übersetzung)

Sowohl in der Anwendung wie auch der Konstruktion von elektrischen Kondensatoren ermöglicht es die Kenntnis des Verhaltens der elektrischen Eigenschaften eines Kondensators (Kapazität, Verlustfaktor $\tan \delta$, Isolationswiderstand) in Funktion von verschiedenen Parametern wie Frequenz, Temperatur und Spannung, für jeden Anwendungsfall die bestgeeignete Ausführung auszusuchen bzw. vorzuschlagen.

Die Erforschung und Entwicklung der in den Kondensatoren verwendeten Dielektrika wurde in den letzten Jahren stark gefördert und es war dadurch möglich, internationale oder auf einzelne Länder beschränkte Vorschriften aufzustellen, unter Berücksichtigung der Erfahrungen und Vorschläge der mit der Materie vertrauten Spezialisten.

Angeregt durch diese Fortschritte versuchten Forschungsingenieure aus verschiedenen Gebieten der Elektrotechnik, neue Prüfmethode zu entwickeln zur genauen Abklärung des Verhaltens von Isoliermaterialien unter verschiedenen Beanspruchungen. So entstanden neue Begriffe, die vorläufig noch nicht Allgemeingut geworden sind, da einerseits ihre Bedeutung und Nützlichkeit noch zu wenig aufgezeigt worden ist und andererseits ihr Charakter eine rasche Verbreitung nicht als erforderlich erscheinen liess.

Nebst der Erforschung der Ionisation stellen das Ladungshaltevermögen und die dielektrische Absorption eines Kondensators zwei verhältnismässig «neue» Eigenschaften dar, die es sich lohnt, etwas näher zu betrachten. Trotzdem die Ansichten hierüber auseinandergehen scheint es nicht, dass die Berücksichtigung dieser zwei neuen Eigenschaften die Beurteilung mittels der bisher gebräuchlichsten Grössen wie Verlustfaktor $\tan \delta$ und Isolationswiderstand wird verdrängen können. Es ist vorläufig richtiger, ohne ihnen damit eine zweitrangige Bedeutung zuzumessen zu wollen, sie als zusätzliche Mess- und Aussagewerte zu betrachten.

Die Definition und Beurteilung dieser zwei Eigenschaften — näheres darüber folgt in den nächsten Kapiteln — zeigen, dass das Ladungshaltevermögen eines Kondensators mehr oder weniger eng mit dem Isolationswiderstand verbunden ist, währenddem die

dielektrische Absorption ausschliesslich von der mikroskopischen Struktur des Dielektrikums abhängt. Ihre Beurteilung könnte daher als Teil oder Ergänzung der Messung des Verlustfaktors $\tan \delta$ betrachtet werden.

Ladungshaltevermögen eines Kondensators

Das Ladungshaltevermögen eines Kondensators drückt die Eigenschaft aus, eine Anfangsladung zu speichern, die der Kondensator in dem Moment enthält, wo die Speisung mittels einer bestimmten Spannung bei gleichzeitig voneinander getrennten Belägen unterbrochen wird. Dieses Haltevermögen ist mehr oder weniger ausgeprägt, entsprechend der Art und dem Aufbau des Dielektrikums, der Kondensatorkonstruktion, der Umgebungstemperatur und der Grösse der Ladespannung.

Der Zweck der Bewertung des Ladungshaltevermögens ist demnach ein ähnlicher wie derjenige der Messung des Isolationswiderstandes: Prüfen der Grössenordnung und Wirkung der Isolation durch das Dielektrikum.

Die beiden Eigenschaften, Isolationswiderstand bzw. Ladungshaltevermögen, müssen indessen klar voneinander unterschieden werden.

1. Während der Messung des Isolationswiderstandes erfolgt die Energiezufuhr kontinuierlich. Hingegen wird sie bei der Prüfung des Ladungshaltevermögens nach erfolgter Aufladung unterbrochen.

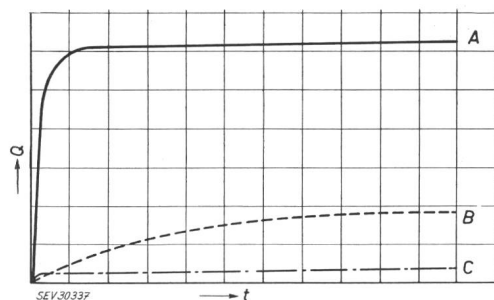
2. Die Messung des Isolationswiderstandes erfolgt normalerweise während einer kurzen Dauer (1 bis 2 min), das Ladungshaltevermögen hingegen kann über eine viel längere Dauer geprüft werden (10, 50, 250 bis 1000 h).

Die Qualität von Kondensatoren mit 1-lagigem Dielektrikum (Papier oder synthetische Folie), welches mit Zink oder Aluminium metallisiert ist, kann durch die Kontrolle des Ladungshaltevermögens viel besser beurteilt werden als durch die blossige Messung des Isolationswiderstandes. In diesem Fall, d. h. wenn die Meßspannung über der minimalen Regenerationsspannung liegt oder die Energiezufuhr über die Messeinrichtung gross genug ist, um ein Ausheilen des Kondensators zu gewährleisten, werden die Isolations-

fehler (leitende Teilchen, mikroskopische Löcher im Dielektrikum, Ionenwanderung) nicht erfasst. Die Prüfung des Ladungshaltevermögens hingegen lässt bei einem Kondensator mit metallisiertem Dielektrikum keine Zweifel über die Qualität seiner Isolation bestehen. Selbstverständlich soll die Dauer dieser Prüfung den Anforderungen im Betrieb angepasst werden.

Allgemein kann gesagt werden, dass das Ladungshaltevermögen von Kondensatoren mit synthetischen, metallisierten oder nichtmetallisierten Folien (Polystyren, Polyäthylen-Terephthalat, Polycarbonat), die leitende Stellen oder mikroskopisch kleine Löcher aufweisen, mit deren Eigenschaften bemerkenswert gut übereinstimmt. Das Gleiche kann für Papierkondensatoren nicht immer gesagt werden, da hier das Ladungshaltevermögen von der Isolation selbst, der Konstruktion und den Eigenschaften der Imprägnationsmittel stark beeinflusst wird.

Die Prüfung des Ladungshaltevermögens eines Kondensators verlangt keine kostspieligen Apparaturen; sie kann von allen Betrieben, die Kondensatoren in ihre Geräte einbauen, durchgeführt werden und wird es ihnen gestatten, Stücke die nur scheinbar gut sind, auszuscheiden.



Wird eine Gleichspannung an die Klemmen eines Kondensators angelegt, so können während dem Ladevorgang drei aufeinanderfolgende Zustände unterschieden werden.

1. Zufuhr der normalen Ladung nach der bekannten Beziehung $Q = CU$.
2. Austreten (etwas verzögert) von Ladungen aus dem Dielektrikum: die Absorptionsladungen.
3. Bildung von Ladungen, die durch das Dielektrikum fließen bei Verbindung des Kondensators mit der Spannungsquelle; die Prüfung des Ladungshaltevermögens sei hierbei weggelassen (Fig. 1).

Bei der Entladung des gleichen Kondensators werden nur zwei Zustände unterschieden:

1. Die Entladung.
2. Das Fließen eines «Abbaustromes», der identisch ist mit dem Absorptionsstrom sowohl in seiner Veränderung in Funktion der Zeit wie auch der Amplitude.

Der Absorptions- und Resorptionsstrom (dieser wird mittels einem Absorptionsmeter gemessen) ermöglichen es, sich über den Zustand des Dielektrikums ein Bild zu machen.

Die Erfahrung zeigt nun, dass die Messungen des Resorptionsstromes genügend genau reproduzierbar,

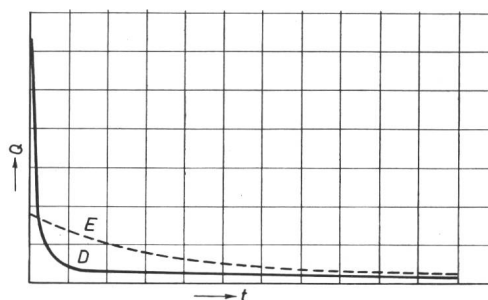


Fig. 1

Prinzip der Ladung und Entladung eines Kondensators (an Gleichspannung)

Q Ladung; t Zeit; A Ladung nach Beziehung $Q = CU$; B Absorptions-Ladung; C Ladung, die durch das Dielektrikum fließt; D Entladung; E Resorptionsladung

Dielektrische Absorption

Die Erscheinung der dielektrischen Absorption wurde in Frankreich eingehend untersucht und hat zur Konstruktion eines Messgerätes, das «Absorptiometer» genannt wird, geführt¹⁾. Dieses tragbare Gerät soll hauptsächlich den Verbrauchern von Kondensatoren zur Verbesserung des Leistungsfaktors die Kontrolle der Veränderung des Dielektrikums dieser Kondensatoren erleichtern. Die klassische Methode der Verlustfaktormessung ist unter normalen Betriebsbedingungen für diese Kondensatortypen praktisch nicht möglich.

Das Phänomen der Absorption ist eine Funktion der freien Ladungen der für die Imprägnation von Papierkondensatoren verwendeten flüssigen oder amorphen Dielektrika. Sie kann festgestellt werden durch die Messung des «Reststromes», der unmittelbar nach der Ladung oder Entladung des Kondensators fließt und der unter dem Einfluss von thermischer und elektrischer Beanspruchung des Dielektrikums eindeutig ansteigt (Alterung, Ionisation, Bildung von Gaseinschlüssen).

¹⁾ Fabre, J.: Un nouvel appareil d'essai des isolations au papier imprégné: L'absorptiomètre à récurrence. Rev. gén. Electr. 66(1957)9, S. 447...457.

aber von diskutabler Genauigkeit sind, sofern die Messung bei einer Temperatur von $20 \pm 5^\circ\text{C}$ erfolgt. Resultate von grösserem Interesse wurden erhalten bei Prüfung von Kondensatoren, die vorher einem Dauer-versuch unterworfen und anschliessend bei 100°C gemessen worden waren. Die Messung des Verlustfaktors $\text{tg } \delta$ (bei 50 und 800 Hz) und des Isolationswiderstandes erfolgte bei einem Versuch an Kondensatoren des gleichen Typs gleichzeitig bei 20°C und 100°C . Die Kontrolle des $\text{tg } \delta$ bei der höheren Temperatur, mit 50 Hz und einer Feldstärke von 1 kV/mm, lieferte hierbei eindeutigere Werte über die Alterung der geprüften Kondensatoren ($C = 10 \mu\text{F}$, Nennspannung = 1 kV...).

Es scheint auf den ersten Blick, dass die Messung der dielektrischen Absorption diejenige des Verlustfaktors nicht wird ersetzen können: sie gestattet es immerhin, die Resultate dieser zu bestätigen. Wahrscheinlich wird das Studium des Ionisationseinsatzpunktes für die verschiedenen Dielektrika zu interessanteren Resultaten führen. Die praktische Anwendung dieser Methode wird in dem Moment gesichert sein, wo entsprechende Messgeräte, die auf den Bedarf des Verbrauchers abgestimmt sein müssen, zur Verfügung gestellt werden können.

Schlussfolgerungen

Das Ladungshaltevermögen und die dielektrische Absorption von Kondensatoren stellen zwei Eigenschaften dar, die mit mehr oder weniger grosser Genauigkeit den Zustand ihrer Dielektrika wiedergeben. Die Übereinstimmung des Ladungshaltevermögens mit metallisiertem Dielektrikum ermöglicht es, die Stabi-

lität und Qualität dieser Kondensatoren zu beurteilen.

Die Messung des Absorptionsstromes gestattet die Beurteilung der Alterung von imprägnierten Papierkondensatoren, speziell wenn sie an Stücken, die hohen Temperaturen unterworfen wurden, durchgeführt wird.

Adresse des Autors:

P. Boyer, Physiker, Condensateurs Fribourg S. A., Fribourg.

Über Leit- und Widerstandslacke

Von H. Metzler, Zürich

621.315.617.4

Es wird kurz über Wesen und Anwendungsmöglichkeiten von Leit- und Widerstandslacken berichtet und auf weitere Entwicklungsmöglichkeiten hingewiesen.

L'auteur donne quelques renseignements sur la nature et les possibilités d'emploi de vernis conducteurs ou résistants, ainsi que sur les futurs développements dans ce domaine.

Über das sehr interessante Gebiet der Leit- und Widerstandslacke besteht leider nur eine spärliche Literatur. Immerhin findet man einige Hinweise in den einschlägigen Patentschriften. Es steht fest, dass Metallüberzüge auf Glas, Porzellan und Glimmer mit nachträglichem Einbrennen schon um 1895 verwendet wurden.

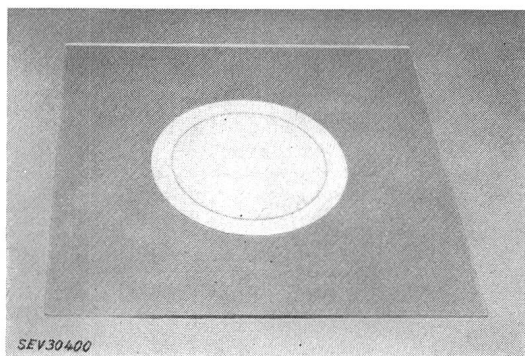


Fig. 1

Messkondensator mit Schutzring aus Leitsilber-Anstrich

Am 3. Oktober 1916 veröffentlichte J. E. Lilienfels aus Leipzig ein noch heute aktuelles Verfahren zur Herstellung von Widerstandslacken. Danach werden feinverteilter Metall oder Russ in eine Bakelit-Harz-lösung (Phenol-Formaldehyd-Mischung) gebracht und nach dem Auftragen auf Dielektrika gehärtet. Diese sog. Novolacke sind noch heute weitverbreitete Anstriche.

Im weiteren wurden schon vor Jahren in Wasser aufgeschwemmter kolloidaler Russ und China-Tusche zum Aufbringen von Halbleiterschichten auf Isolierkörper verwendet.

Leitfarben und -lacke entsprechen den üblichen Ölfarben und Lacken, wobei an Stelle von oder zusätzlich zu Farbpigmenten Graphit, Russ, colloidale Metalle, Metalloxyde oder Halbleiter in feinstverteilter Zustand treten können. Diese Zusätze werden in ein Lösungsmittel gebracht, das Weichmacher, Bindemittel und Emulgatoren enthalten kann. (Die Leitfähigkeit der Lösungsmittel wurde durch Niesen¹⁾ neuerdings bestimmt.) Je nach Feinheit des leitenden Zusatzes (Graphit, Metall, usw.), Art der Emulgatoren und Verarbeitung entstehen von einer Aufschlemmung bis zu einer beständigen Emulsion verschiedene Produkte. Dabei ist zu beachten, dass auch bei der besten Verteilung

¹⁾ Niesen, H.: Die elektrische Leitfähigkeit von Lösungsmitteln, Weichmachern und Bindemitteln. Farbe u. Lack 67(1961)5, S. 229...301.

des leitenden Zusatzes mit Entmischungsvorgängen zu rechnen ist, die sich auf die Leitfähigkeit auswirken. Der Grund dafür liegt im grösseren spezifischen Gewicht der Zusätze gegenüber den Lösungs- und Bindemitteln, das ein Absinken der Zusätze während des Trocknungsprozesses bewirkt. Das Auftragen schlecht durchgemischter Leitlacke ergibt flächenmässig ungleiche Leitfähigkeiten. Aber auch bei gut emulgierten Zusätzen in feinstverteilter Zustand muss beim Trocknen mit dickenmässig ungleichen Leitfähigkeiten gerechnet werden.

Bei der Messung der Leitfähigkeit oder des Widerstandes eines aufgetragenen Lackes muss daher — wie bereits erwähnt — mit Inhomogenitäten gerechnet werden. Es empfiehlt sich deshalb den Durchgangswiderstand, den Oberflächenwiderstand und den Widerstand zwischen zwei bestimmten sog. Stöpseln zu messen und kombiniert zu interpretieren (siehe VDE 0303).



Fig. 2

Mit Widerstandslack-Anstrich entstörter Fahrleitungsisolator

Ein moderner, gewöhnlicher Lack weist einen grösseren Widerstand auf als dies bei Leitlacken der Fall ist. Der Oberflächenwiderstand eines herkömmlichen Lackes liegt bei $10^{12} \Omega$ und der Durchgangswiderstand (bei einer Schichtdicke von 0,05 mm und einer Elektrodenfläche von 20 cm^2) bei $5 \cdot 10^4 \text{ M}\Omega$. Durch die erwähnten Zusätze ist es möglich, den Widerstand der Lacke zu verringern, bzw. deren Leitfähigkeit zu