

Papierkondensatoren, imprägniert mit stabilisierten, chlorierten Dielektrika

Autor(en): **Boyer, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **52 (1961)**

Heft 20

PDF erstellt am: **01.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916874>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

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

Papierkondensatoren, imprägniert mit stabilisierten, chlorierten Dielektrika

Von P. Boyer, Fribourg

621.319.4 : 621.315.614.6

Nach einer Beschreibung des elektrochemischen Zerstörungsvorganges von chlorierten Ölen und Wachsen in Kondensatoren, die an Gleichspannung angeschlossen sind, erläutert der Autor die Vor- und Nachteile der Stabilisierungsverfahren. Er stützt sich dabei auf die Resultate zahlreicher Untersuchungen und langer Erfahrungen auf dem Gebiete der Papierkondensatoren, welche mit stabilisierten oder nichtstabilisierten Dielektrika imprägniert und mit Gleichspannung oder 50-Hz-Wechselspannung beansprucht wurden. Am Schluss wird eine für dieses relativ komplexe Problem neue Lösung vorgeschlagen.

Après avoir décrit le mécanisme de dégradation électrochimique des huiles et des cires chlorées dans les condensateurs soumis à une tension continue, l'auteur passe en revue les avantages et les inconvénients des procédés de stabilisation en se basant sur les résultats de nombreuses recherches et d'une longue expérience dans le domaine des condensateurs au papier imprégné dans les diélectriques chlorés stabilisés ou non, sollicités aussi bien sous tension continue que sous tension alternative 50 Hz. Une solution inédite à ce problème relativement complexe est finalement proposée.

(Übersetzung)

1. Einleitung

Das Problem der Stabilisierung von chlorierten Ölen und Wachsen, die der Imprägnierung von Gleichspannungs-Papierkondensatoren (Filterkondensatoren, Telephoniekondensatoren) dienen, bildete seit jeher den Gegenstand zahlreicher Auseinandersetzungen. Es wäre nutzlos, sich der einen oder andern Meinung anzuschließen, da, wie oft in ähnlichen Fällen, verschiedene Ansichten auch hier mehr oder weniger berechtigt sind. Die Anhänger der Stabilisierung sind im Recht, wenn sie auf die Rolle der Stabilisatoren bei der Verzögerung der elektrochemischen Zerstörung des Dielektrikums hinweisen. Sie übersehen jedoch, dass die Dauer dieses Effektes relativ beschränkt ist. Die Gegner ihrerseits heben mit Recht den negativen Einfluss der Stabilisatoren auf die Eigenschaften von chlorierten Dielektrika hervor. Die polare Struktur der Stabilisatoren macht sie ausserordentlich empfindlich für Verunreinigungen aller Art, welche zu einer Vermehrung des Ionengehaltes führen können. Dieser Umstand ist es auch, der ein ernstes Hindernis darstellt für die Verwendung von stabilisierten chlorierten Dielektrika bei Wechselspannungs-Kondensatoren. In zahlreichen Untersuchungen wurde versucht, der unerfreulichen Lage beizukommen, was unter anderem zu einer ebenso neuen wie umwälzenden Lösung führte, die der Diskussion um die Stabilisatoren endlich ein Ende bereiten könnte. Dies geschieht durch Verzicht auf die Verwendung von chlorierten und Rückkehr zu den nicht polarisierten Dielektrika, wie Mineralölen und mikro-kristallinen Wachsen, sowie Ersatz des Papiers durch Polyesterfolien auf der Basis von Polyäthylen-Terephthalat.

2. Warum müssen die chlorierten Dielektrika von Papierkondensatoren, die an Gleichspannung angeschlossen sind, stabilisiert werden?

Die Wahl eines Mineralöls für die Imprägnierung von Kondensatoren wird meist durch den Kompromiss

beeinflusst, den man eingehen muss zwischen Alterungsbeständigkeit und Gasaufnahmevermögen unter dem Einfluss der thermischen und elektrischen Beanspruchungen. Es ist bekannt, dass die Beigabe gewisser Inhibitoren die eine oder andere dieser Eigenschaften zu verbessern vermag. Die Stabilisierung der chlorierten Öle und Wachse weist mit der erwähnten Behandlung der Mineralöle gewisse Analogien auf.

Die elektrochemische Zerstörung von Papierkondensatoren, die mit chloriertem Öl oder Wachs imprägniert und einer Gleichspannungsbeanspruchung unterworfen wurden, erfolgt nach einer Gesetzmässigkeit, die hier nochmals in Erinnerung gerufen werden soll. Die elektrochemische Zersetzung von chlorierten Dielektrika hängt ab von der Art der Elektroden (Zinn oder Aluminium), der Zusammensetzung und Art des Papiers, vom Ionengehalt des Imprägniermittels und nicht zuletzt von der bei der Fabrikation der Kondensatoren angewendeten Sorgfalt. Die erste Stufe der elektrochemischen Zerstörung beginnt vorerst in der Umgebung der Kathode mit der Bildung von Wasserstoffionen. Diese bewirken eine Reduktion des Imprägnierdielektrikums, die um so schneller vor sich geht, je höher die Temperatur und der Reststrom sind. Die Reduktion hat wiederum die Bildung von Salzsäure zur Folge, welche hauptsächlich die Kathode angreift. Prüfungen von auf diese Art defekt gewordenen Kondensatoren zeigen eine tiefgehende Zerstörung dieses Belages. Dazu ist zu bemerken, dass sich die letzte Phase der elektrochemischen Zerstörung in jenem Moment abspielt, in welchem sich eine «Ionen-Barriere» mit sehr kleiner Dielektrizitätskonstante in der Umgebung der Kathode bildet. Nun ist bekannt, dass sich die Feldstärken im umgekehrten Verhältnis mit der spezifischen Leitfähigkeit des entsprechenden Dielektrikums verteilen. Es erfolgt somit eine Verschiebung des Gleichgewichtes, die zusammen mit der durch die Salzsäure verursachten Korrosion der Elektroden, des Imprägniermittels und des Papiers zur Zerstörung des Kondensators führt.

Die Beimischung von Wasserstoff aufnehmenden Zusätzen zu den chlorierten Dielektrika, wie Anthrachinon und seine Derivate, gewisse nitro- und benzoaromatische Kompositionen, Schwefel und Maleinsäure-Anhydrid, ermöglicht es, den elektrochemischen Zerstörungsvorgang schon in seiner Ausgangsphase zu bremsen. Diese Produkte werden Stabilisatoren genannt. Der am meisten verbreitete ist das Anthrachinon. Schon ausserordentlich geringe Zusätze von Stabilisatoren beeinflussen die Lebensdauer der mit chlorierten Dielektrika imprägnierten Kondensatoren sehr beträchtlich.

3. Einfluss der Stabilisatoren auf die Lebensdauer von chlorierten Gleichspannungskondensatoren

Die Beurteilung der Lebensdauer von Papierkondensatoren, die mit stabilisierten oder nichtstabilisierten polychlorierten Diphenylen (Ölen) und Polychloronaphtalenen meist kristalliner Struktur (Wachsen) imprägniert wurden, ist die einzige Methode, die es gestattet, den Einfluss der Stabilisatoren abzuschätzen. Diese Versuche können verschiedener Art sein (Dauer-versuch mit konstanter elektrischer und thermischer Beanspruchung oder variable Zyklen in dem Sinne, dass die Versuchsbedingungen periodisch verschärft werden), ihre Resultate jedoch stimmen überein: die Beifügung von Anthrachinon zu den chlorierten Dielektrika verlängert die Lebensdauer der damit imprägnierten und an Gleichspannung angeschlossenen

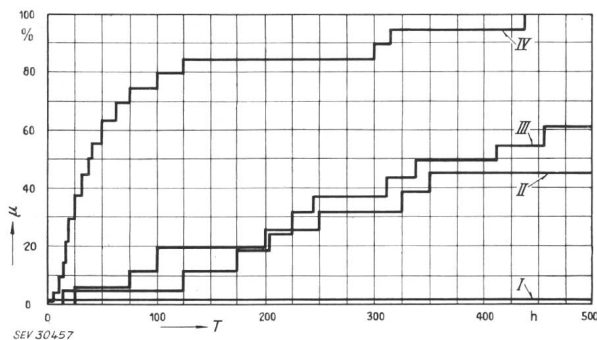


Fig. 1

Lebensdauer von mit chloriertem Wachs imprägnierten Papierkondensatoren unter Gleichspannung
Einfluss der Stabilisierung und der Montagebedingungen
Temperatur 70 °C, Feldstärke 35 kV/mm

μ Verteilung der Durchschläge; T Lebensdauer

I Serie Nr. 1 (kein Ausfall): stabilisierte Imprägnierung, sorgfältig montiert; II Serie Nr. 2: stabilisierte Imprägnierung, unsorgfältig montiert; III Serie Nr. 3: nichtstabilisierte Imprägnierung, sorgfältig montiert; IV Serie Nr. 4 (totaler Ausfall): nichtstabilisierte Imprägnierung, unsorgfältig montiert

Kondensatoren sogar dann, wenn die Herstellungsbedingungen nicht optimal waren. Die Dauerversuche mit Gleichspannung erlauben die Anwendung relativ hoher Feldstärken, ohne dass der kritische Ionisations-einsatzpunkt überschritten würde. Das gleichzeitige Auftreten einer hohen thermischen Beanspruchung beschleunigt das Phänomen der elektrochemischen Beschädigung. Zahlreiche Dauerversuche vergleichbarer Art mit Kondensatoren, die mit chlorierten Wachsen kristalliner Struktur imprägniert wurden, ergaben Resultate gemäss Fig. 1; der vorteilhafte Einfluss der Stabilisierung ist daraus leicht ersichtlich.

Der Vergleich der mittleren Lebensdauer von Papierkondensatoren mit genau gleichen Wickeldaten und gleicher Konstruktion, jedoch imprägniert in

einem Mineralöl, einem normalen chlorierten Öl bzw. einem stabilisierten chlorierten Öl, ist ausserordentlich interessant.

Die Tabelle I ermöglicht es, die durch die verschiedenen Imprägniermittel erzielten Resultate besser zu beurteilen.

Mittlere Lebensdauer von Papierkondensatoren mit verschiedenen Ölen imprägniert
(Kapazität 1...5 μ F; Versuchstemperatur 70 °C)

Tabelle I

Papiermuster und Zahl der Lagen	Feldstärke kV/mm	Mittlere Lebensdauer der Versuchsserien, imprägniert mit:		
		Mineralöl h	chloriertem Öl h	stabilisiertem chloriertem Öl h
A	25	5000	1650	1850
	30	2100	800	1450
	35	700	200	750
	40	450	100	400
	45	100	20	150
B	55	850	350	850
	60	200	150	500
	75	100	70	100
	85	50	30	70
	95	20	10	30

Die Werte in Tabelle I bedürfen einiger Erklärungen. Die im Innern der geprüften Kondensatoren verwendeten Materialien waren extrem rein und stabil; sie wurden vorgängig der Prüfung einer strengen Kontrolle unterworfen (Eignungsprüfung). Auch die Stabilisierung des chlorierten Öls mit Anthrachinon erfolgte sehr sorgfältig. Die Erfüllung dieser Forderungen ist eine unbedingte Voraussetzung für alle Anstrengungen auf dem Gebiet dieser heute laufend verwendeten Kondensatoren.

Beim Studium dieser Resultate, die auch durch andere Versuche bestätigt wurden, kann eine Verminderung der stabilisierenden Eigenschaften des Anthrachinons wahrgenommen werden, sofern der Versuch länger dauert. Diese ungünstige Eigenschaft haben leider fast alle Inhibitoren. Erst lange und genaue Untersuchungen gestatten es, den Moment abzuschätzen, in welchem sie unwirksam werden.

Es stellt sich nun die Frage, ob Papierkondensatoren, die mit einem stabilisierten chlorierten Wachs oder Öl imprägniert und für Gleichspannung konstruiert waren, einer Beanspruchung (wenn auch mit reduzierten Werten) durch eine 50-Hz-Wechselspannung unterworfen werden können?

Allgemein darf festgestellt werden, dass die Stabilisierung von chlorierten Dielektrika mit Anthrachinon für Wechselspannungskondensatoren vermieden werden sollte. Das Hinzufügen eines Stabilisators in industriellem Maßstab bewirkt eine zusätzliche Verunreinigung und damit eine Veränderung der elektrischen Eigenschaften des Dielektrikums. Eine unter besten Bedingungen durchgeführte Imprägnierung ist einer Beimischung von Stabilisatoren und Inhibitoren, gleich welcher Art, vorzuziehen.

Es ist indessen nicht angezeigt, sich eine einheitliche Meinung über diesen Punkt zu bilden, da die verschiedenen Stabilisierungsverfahren streng voneinander unterschieden werden müssen. Wird Anthrachinon von grösster Reinheit, unter Beachtung aller Vor-sichtsmassnahmen, dem Imprägniermittel in einem geringen Verhältnis beifügt, so können derart imprägnierte Kondensatoren, selbst unter einer hohen 50-

Hz-Wechselspannung, oft ein besseres Verhalten aufweisen, als solche, die mit einem normalen chlorierten Imprägniermittel behandelt wurden. Versuche an rechteckigen, mit chloriertem Öl imprägnierten Kondensatoren zur Bestimmung der Temperatur, bei welcher die thermische Instabilität eintritt, bestätigten diese Beobachtungen.

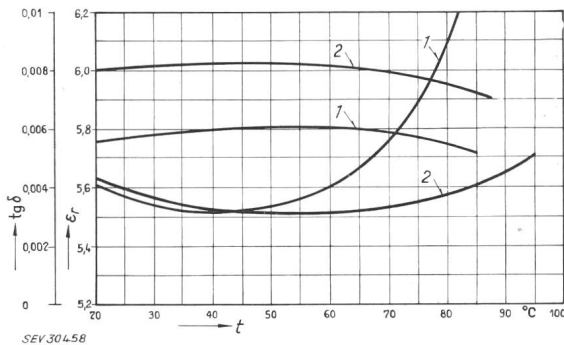


Fig. 2

Resultierende Dielektrizitätskonstanten ϵ_r und Verlustfaktoren $\text{tg } \delta$ von Papierkondensatoren, welche mit chlorierten Wachsen (Polychloronaphthalene mit tiefem Schmelzpunkt) imprägniert und nach zwei verschiedenen Verfahren stabilisiert wurden
1 chloriertes Wachs A; 2 chloriertes Wachs B; t Temperatur
Frequenz 50 Hz, Feldstärke 10 kV/mm

Die Art der Stabilisierung von chlorierten Wachsen ist von grösster Wichtigkeit. Fig. 2 zeigt die bedeutenden Differenzen zwischen den Verlustfaktoren von Kondensatoren in Funktion der Temperatur. Diese Prüflinge waren bis auf die Stabilisierung mit identischen chlorierten Wachsen imprägniert. Die nach Verfahren A mit stabilisiertem Wachs imprägnierten Kondensatoren wurden unter 80 °C bei sehr schwacher Beanspruchung von 50-Hz-Wechselspannung (bei 5...10 kV/mm) durch thermische Instabilität zerstört. Ähnliche Prüflinge, mit dem nach Verfahren B stabilisierten Wachs imprägniert, ertrugen ohne jegliche Beschädigung eine wesentlich höhere Beanspruchung.

Es ist daher möglich, Kondensatoren, welche mit stabilisierten chlorierten Dielektrika imprägniert wurden, sowohl unter Gleich- wie auch Wechselspannung zu verwenden, sofern die Stabilisatoren von grösster Reinheit sind und die Stabilisierung selbst mit äusserster Sorgfalt erfolgte. Im gegenwärtigen Zeitpunkt, wo für industriell durchgeführte Stabilisierung von chlorierten Dielektrika noch keinerlei Garantie abgegeben werden kann, ist es angezeigt, mit dem Einsatz solcher Kondensatoren unter 50 Hz, speziell bei einer 50 °C übersteigenden Umgebungstemperatur, vorsichtig zu sein.

4. Ist eine andere Lösung möglich?

Die Stabilisierung der chlorierten Dielektrika sowie der Mineralöle mit Inhibitoren und der Silikonöle durch organische Zusätze ist ein Kompromiss, auf welchen auf Grund langer Erfahrungen bzw. Anforderungen, die an das Produkt gestellt werden, eingegangen werden muss. Papierkondensatoren, mit chlorierten Dielektrika imprägniert, erhalten eine längere Lebensdauer durch die Stabilisierung des Imprägniermittels, sofern die Kondensatoren an Gleichspannung angeschlossen werden. Der Stabilisierungseffekt wird bestimmt durch die Reinheit des Stabilisators und strebt mit der Zeit progressiv einem Endzustand entgegen. Werden aber die gleichen Kondensatoren bei 50-Hz-Wechselspannung eingesetzt, so kann die Stabilisie-

rung nur dann wirksam bleiben, wenn sie unter den besten Voraussetzungen durchgeführt wurde.

Unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, scheint es daher ausserordentlich schwer zu sein, Papierkondensatoren mit chlorierten Dielektrika zu konstruieren, die gleichzeitig hohen Beanspruchungen von Gleichspannungen wie auch von 50-Hz-Wechselspannungen zu genügen vermögen.

Vergleichende Dauerversuche mit Gleichspannung bzw. 50-Hz-Wechselspannung, durchgeführt an Kondensatoren gleicher Kapazität pro Volumeneinheit, führten zu einer eindeutigen Überlegenheit der mit Mineralöl imprägnierten Konstruktion aus Polyesterfolien gegenüber der üblichen Ausführung mit Papierwickeln, die in einem chlorierten Öl imprägniert wurden. Aus Fig. 3 ist die Differenz deutlich ersichtlich.

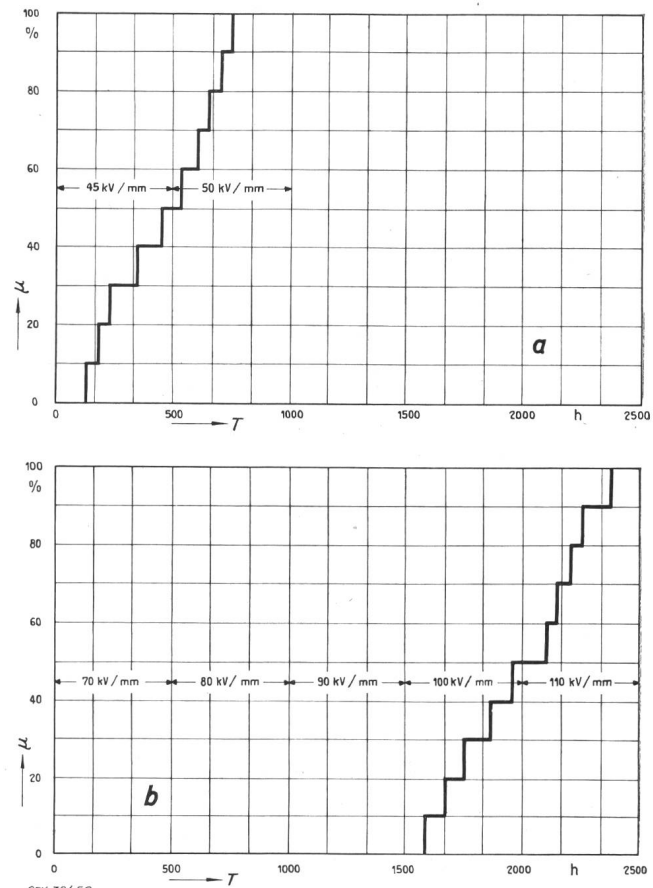


Fig. 3

Lebensdauer von Kondensatoren
 μ Verteilung der Durchschläge; T Lebensdauer
Temperatur 70 °C

- a Papierkondensatoren mit chloriertem Öl imprägniert und an Gleichspannung angeschlossen. Kapazität 2 μF
b Polyesterfolien-Kondensatoren mit Mineralöl imprägniert und an Gleichspannung angeschlossen. Kapazität 2 μF

Im weiteren ist hervorzuheben, dass der Verlustfaktor $\text{tg } \delta$ und der Isolationswiderstand von Polyesterfolien-Kondensatoren bedeutend weniger alterungsanfällig sind, als dies bei Papierkondensatoren der Fall ist. Ebenso ist das Anlegen einer 50-Hz-Wechselspannung an mit Mineralöl imprägnierte Polyesterfolien-Kondensatoren ohne weiteres möglich. Da sich die Feldstärkenverteilung umgekehrt proportional zu den spezifischen Leitfähigkeiten verhält, wie dies bereits betont wurde, drängt sich Mineralöl für die Imprägnierung von Kondensatoren mit Polyesterfolien geradezu auf.

Übersteigt die Umgebungstemperatur 85 °C, so sollte an Stelle von Mineralöl ein Silikonöl als Imprägniermittel verwendet werden. Gleichzeitig sind die Polyesterfolien auf der Basis von Polyäthylen-Terephthalat, deren Verlustfaktor $\operatorname{tg} \delta$ bei Temperaturen von 90...110 °C zu hoch wird, durch Polyesterfolien auf der Basis von Polycarbonat, die bei diesen hohen Temperaturen stabiler sind, zu ersetzen. In Fig. 4 ist der Verlauf des Verlustfaktors $\operatorname{tg} \delta$ der beiden Klassen von Polyesterfolien in Funktion der Temperatur dargestellt.

Das Stabilisieren der meistverwendeten chlorierten Dielektrika für die Imprägnierung von Papierkonden-

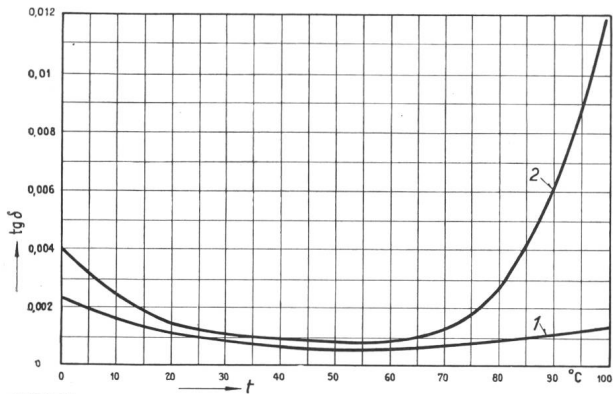


Fig. 4

Verlustfaktor $\operatorname{tg} \delta$ von Polyesterfolien-Kondensatoren
Vergleich zweier Qualitäten von Polyesterfolien
Frequenz 50 Hz, Feldstärke 10 kV/mm
 t Temperatur

1 Folie aus Polyester auf Basis von Polycarbonat; 2 Folie aus Polyester auf Basis von Polyäthylen-Terephthalat

satoren kann nur unter gewissen Voraussetzungen empfohlen werden, nämlich für Kondensatoren mit:

- relativ kleiner Feldstärke (Gleichspannung),
- einer Umgebungstemperatur nicht über 60 °C und
- einer garantierten mittleren Lebensdauer von nicht mehr als 3...5 Jahren.

Die Verwendung der gleichen Kondensatoren bei einer 50-Hz-Wechselspannung ist unter anderem nur dann zulässig, wenn sich der Fabrikant über die absolut einwandfreie Stabilisierung des Imprägnierungs-Dielektrikums versichert hat. In allen andern Fällen wird man entweder die bisherige Technik anwenden müssen (für Gleichspannung mineralölprägnierte und für 50-Hz-Wechselspannung mit normalem chloriertem Öl imprägnierte Papierkondensatoren) oder dann eine neue Konstruktion mit Polyesterfolien und Mineral- oder Silikonölprägnierung wählen. Die Erfolgsaussichten dieser neuen Konstruktion sind bewiesen; sie stützen sich auf eine gegenüber den mit chlorierten Dielektrika imprägnierten Papierkondensatoren grössere spezifische Kapazität ($\mu\text{F}/\text{cm}^3$, wobei selbstverständlich der höher wählbaren Feldstärke Rechnung getragen ist), auf die ausserordentlich gute Alterungsstabilität sowie auf das Wegfallen der Stabilisierung. Dennoch wäre es, angesichts der auf diesem neuen Gebiet noch ungenügenden Erfahrungen, verfrüht, vollständig mit den bisherigen traditionellen chlorierten Papierkondensatoren zu brechen.

Adresse des Autors:

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

Halbleiter-Temperaturfühler zum Vollschutz von Motoren

Von B. Böhme, Erlangen

621.316.91 : 621.316.825 : 621.313.13

Elektromotoren sollen einerseits voll ausgenutzt werden, weil sie dann wirtschaftlicher arbeiten, andererseits aber sicher gegen Überlastung geschützt sein, um einen ungestörten Betrieb zu gewährleisten, also Produktionsausfälle durch Motorschäden zu vermeiden. Beide Bedingungen gemeinsam zu erfüllen, machte in der Praxis bisher einige Schwierigkeiten, da entsprechende Einrichtungen verhältnismässig teuer waren.

Nun haben die Siemens-Schuckertwerke ein wirksames und zugleich wirtschaftliches Verfahren für den überall geforderten vollkommenen Schutz von Motoren entwickelt. Dieser sog. Motorvollschutz arbeitet mit temperaturabhängigen Widerständen auf Halbleiterbasis als Temperaturfühler innerhalb der Motorwicklung in Verbindung mit einem Messblock und einem Auslöserrelais (Fig. 1). Da diese Temperaturfühler nicht viel grösser als ein Streichholzkopf sind, lassen sie sich auch in kleinere Motoren einbauen, um die Wicklungstemperatur unmittelbar zu überwachen (Fig. 2).

Dank dieser neuartigen Einrichtung (Fig. 3), die ein erhöhtes Ausnutzen von normalen Niederspannungs-Drehstrommotoren mit Käfigläufer erlaubt und Bimetallrelais oder -auslöser erspart, ist erstmalig ein Vollschutz bei allen denkbaren Ursachen möglich,

die zu einer unzulässigen Erwärmung der Maschine führen. Dazu gehören sowohl Überlastungen im Dauer- oder Aussetzbetrieb als auch langdauerndes Anlaufen oder Bremsen, hohe Schalzhäufigkeit, Einphasenlauf, Unterspannung, Festbremsen, erhöhte Raumtemperatur und behinderte Kühlmittelströmung.

Die Wirkungsweise des Verfahrens beruht darauf, dass sich ein Strom, der durch die Temperaturfühler fliesst, mit der Wicklungstemperatur ändert. Solange diese Temperatur unter dem zulässigen Wert bleibt, ist der Magnet des Auslöserrelais so weit erregt, dass er seinen Anker angezogen hält. Steigt sie jedoch über den im Messblock festgelegten Ansprechwert hinaus, wird der Erregerstrom des Auslöserrelais durch die Widerstandsänderung der Halbleiter so weit vermindert, dass der Anker abfällt und einen Auslösekontakt betätigt. Dieser wiederum wirkt z. B. auf den Spannungsauslöser eines Selbstschalters oder unterbricht den Steuerstromkreis eines Schützes. Da Temperaturfühler und Wicklung eine verhältnismässig grosse Berührungsfläche für den Wärmeübergang, also einen innigen Wärmekontakt haben und die Wärmekapazität der Fühler klein ist, ergibt sich ein nur geringer Wärmenachlauf, also ein fast genaues Abbild der Motorerwärmung. Auch bei sehr schnellem Temperaturanstieg wird deshalb die Wicklungsisola-