

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 52 (1961)
Heft: 20

Artikel: Condensateurs au papier imprégné dans les diélectriques chlorés stabilisés à l'antraquinone
Autor: Boyer, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059083>

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: 18.01.2025

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

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Organe commun de l'Association Suisse des Electriciens (ASE)
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité (UCS)

Condensateurs au papier imprégné dans les diélectriques chlorés stabilisés à l'antraquinone

Par P. Boyer, Fribourg

621.319.4 : 621.315.614.6

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.

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.

I. Introduction

Le problème de la stabilisation des huiles et des cires chlorées utilisées pour l'imprégnation des condensateurs au papier soumis à une tension continue — condensateurs de filtrage pour toutes tensions, condensateurs pour la téléphonie par exemple — est toujours l'objet de nombreuses controverses. Il est vain de souscrire à l'une plutôt qu'à l'autre opinion car, comme il arrive fréquemment dans de semblables situations, la plupart des positions peuvent plus ou moins se justifier: les partisans de la stabilisation ont raison lorsqu'ils démontrent le rôle effectif des stabilisateurs dans le retardement de l'avarie électrochimique en courant continu, mais ils oublient que cet effet a un rayon d'action relativement limité dans le temps; les adversaires, tout en faisant le procès des inhibiteurs, soulignent, avec pertinence, l'influence néfaste des stabilisateurs sur les propriétés électriques des diélectriques chlorés, leur structure polaire les rendant particulièrement sensibles à toutes les pollutions qui tendent à accroître leur contenu ionique. Ces dernières objections constituent un obstacle sérieux à l'emploi des condensateurs imprégnés dans les diélectriques chlorés stabilisés sous tension alternative de fréquence industrielle 50 Hz par exemple. De nombreuses recherches ont été entreprises pour tenter d'apporter un remède à cette situation épineuse; elles ont, entre autres, abouti à une solution aussi bien inédite que révolutionnaire qui mettrait enfin un terme à la controverse sur les stabilisateurs par l'abandon des diélectriques chlorés pour revenir aux diélectriques non-polaires tels que les huiles minérales et les cires micro-cristallines et par la destitution du papier au profit des films polyesters, à base de téréphtalate de polyéthylène principalement.

2. Pourquoi faut-il stabiliser les diélectriques chlorés des condensateurs au papier utilisés sous tension continue?

Le choix d'une huile minérale pour l'imprégnation des condensateurs est la plupart du temps dicté par

l'établissement d'un compromis entre sa stabilité au vieillissement et sa propension à absorber des gaz sous l'influence des sollicitations thermiques et électriques. Il est connu que l'adjonction de certains inhibiteurs parvient à améliorer l'une ou l'autre de ces caractéristiques. La stabilisation des huiles et des cires chlorées présente quelques analogies avec ce mode de traitement des huiles minérales.

La détérioration électrochimique des condensateurs au papier imprégné dans les huiles et les cires chlorées soumis à une tension continue, suit une évolution qu'il est bon de rappeler pour la compréhension du sujet. La décomposition électrochimique des diélectriques chlorés dépend de la nature des électrodes (aluminium ou étain), de la composition et de la qualité du papier, du contenu ionique de l'imprégnant et, en dernier ressort, du soin apporté à la fabrication des condensateurs. La première étape de la détérioration électrochimique est la formation d'hydrogène naissant au voisinage de la cathode; la réduction du diélectrique d'imprégnation est due à ces ions d'hydrogène et s'effectue d'autant plus rapidement que la température et la densité du courant de fuite sont plus élevées; cette réduction provoque la formation d'acide chlorhydrique qui attaque principalement la cathode. L'examen des condensateurs défectueux révèle une destruction en profondeur de cette armature: en effet, la phase ultime de l'avarie électrochimique doit se produire au moment où s'est formée une «barrière d'ions» de constante diélectrique très faible au voisinage de la cathode; or, il est connu que la répartition des contraintes électriques est en raison inverse des pouvoirs inducteurs spécifiques des diélectriques en présence: il s'ensuit donc un déséquilibre qui, associé à la corrosion des électrodes, de l'imprégnant et du papier par l'acide chlorhydrique formé, conduit à la destruction du condensateur.

L'introduction dans les diélectriques chlorés de matériaux avides d'hydrogène, tels que l'antraquinone et ses dérivés, certains composés nitro, et benzoaromatiques, le soufre et l'anhydride maléique, permet

donc de freiner le mécanisme de l'avarie électrochimique déjà dans sa phase initiale. Ces produits sont dénommés stabilisateurs, le plus répandu étant l'antraquinone. Des adjonctions extrêmement faibles de stabilisateurs exercent aussitôt une influence sensible sur la longévité des condensateurs imprégnés dans les diélectriques chlorés.

3. Influence des stabilisateurs sur la longévité des condensateurs au papier imprégné dans les diélectriques chlorés

L'estimation de la longévité des condensateurs au papier imprégné aux diphenyles polychlorés (huiles) et aux polychloronaphtalènes généralement à structure cristalline (cires) stabilisés ou non est la seule méthode permettant d'apprécier assez exactement l'influence des stabilisateurs. Les épreuves peuvent avoir des formes différentes (essais d'endurance sous des sollicitations électriques et thermiques fixes ou variables dans le sens d'une aggravation périodique des conditions d'essais) mais leurs résultats sont tous concordants: l'adjonction d'antraquinone aux diélectriques chlorés prolonge la vie des condensateurs qui en sont imprégnés et qui sont soumis à une tension continue, même si leurs conditions de fabrication sont irrégulières. Les épreuves de «durée de vie» sous tension continue permettent d'adopter des contraintes relativement élevées sans dépasser le seuil d'ionisation critique; l'association d'une sollicitation thermique appropriée accélère le phénomène de dégradation électrochimique.

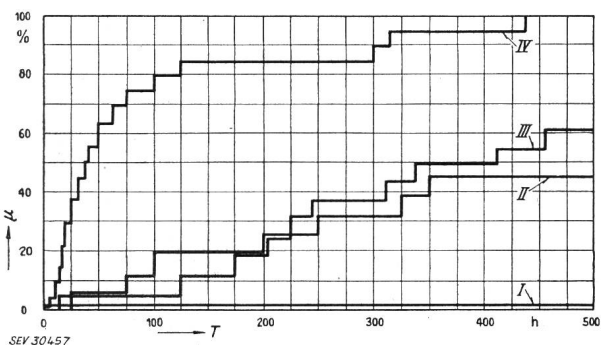


Fig. 1

Longévité sous tension continue de condensateurs au papier imprégné dans une cire chlorée

Influence de la stabilisation et des conditions de montage
Température 70 °C, sollicitation 35 kV/mm

μ distribution des avaries; T durée de vie

- I Série n° 1 (aucune avarie): imprégnation stabilisée, montage soigné;
- II Série n° 2: imprégnation stabilisée, montage médiocre;
- III Série n° 3: imprégnation non stabilisée, montage soignée;
- IV Série n° 4 (destruction totale): imprégnation non stabilisée, montage médiocre

De nombreux essais d'endurance comparatifs effectués avec des condensateurs imprégnés dans les cires chlorées à structure cristalline donnent, la plupart du temps, des résultats semblables à ceux qui sont reproduits sur la fig. 1; il est possible d'y apprécier l'influence favorable de la stabilisation.

La comparaison de la «durée de vie» moyenne de condensateurs au papier ayant rigoureusement le même bobinage et la même construction, mais imprégnés, soit dans une huile minérale, soit dans une huile chlorée normale, soit dans une huile chlorée stabilisée, est particulièrement intéressante.

Le tableau I permet de juger plus exactement les performances réalisées avec ces diélectriques d'imprégnation en concurrence.

Longévité moyenne de condensateurs au papier (capacité: 1...5 μF) imprégné dans l'huile minérale et dans les huiles chlorées stabilisées ou non à l'antraquinone (température de l'épreuve: 70 °C)

Tableau I

Papier et nombre des couches	Sollicitations kV/mm	Longévité moyenne (en heures) des lots imprégnés		
		à l'huile minérale	à l'huile chlorée	à l'huile chlorée stabilisée
A 2 couches	25	5000	1650	1850
	30	2100	800	1450
	35	700	200	750
	40	450	100	400
	45	100	20	150
B 3 couches	55	850	350	850
	60	200	150	500
	75	100	70	100
	85	50	30	70
	95	20	10	30

Les résultats consignés dans le tableau I précédent appellent quelques remarques. Les matériaux utilisés à l'intérieur de ces condensateurs étaient extrêmement purs et stables; ils avaient été soumis, au préalable, à un sévère contrôle (essais de compatibilité); la stabilisation de l'huile chlorée à l'antraquinone avait été particulièrement soignée. Toutes ces exigences sont à la base des performances accomplies avec cette classe de condensateurs aujourd'hui couramment utilisés.

Comme des essais ultérieurs l'ont confirmé, il est possible de percevoir, déjà à la lecture de ces résultats, une diminution des propriétés stabilisatrices de l'antraquinone lorsque l'épreuve se prolonge; cet effet particulièrement fâcheux est malheureusement réel et commun à la plupart des inhibiteurs. Une observation patiente et attentive permet de situer approximativement le moment de leur épuisement.

Il se pose la question s'il est possible de soumettre sans risques des condensateurs au papier imprégné dans les huiles ou les cires chlorées stabilisées et ayant une tension nominale continue, à une sollicitation, même réduite, en courant alternatif 50 Hz.

D'une manière générale, la stabilisation à l'antraquinone des diélectriques chlorés est à déconseiller pour les applications en question; l'adjonction d'un stabilisateur, à l'échelle industrielle, ne peut qu'introduire des éléments de contamination et déprécier les caractéristiques électriques de ces imprégnants. Une imprégnation effectuée dans les meilleures conditions est certainement préférable à tout apport de stabilisateur ou d'inhibiteur, quels qu'ils soient.

Une opinion unilatérale sur ce sujet n'est cependant pas justifiée car il faut soigneusement distinguer les procédés de stabilisation. Si l'introduction d'une proportion minime d'antraquinone très pure s'effectue avec les plus grandes précautions, les condensateurs ainsi stabilisés auront un comportement parfois supérieur à celui des condensateurs imprégnés dans un diélectrique chloré normal, même sous une tension alternative 50 Hz élevée. Des recherches entreprises sur la détermination de la température d'instabilité thermique de condensateurs parallépipédiques imprégnés dans une huile chlorée ont confirmé ces observations.

Le procédé de stabilisation des cires chlorées est extrêmement important. La fig. 2 révèle la différence considérable qui existe entre les facteurs de pertes $\text{tg } \delta$, relevés en fonction de la température, de deux cires chlorées pourtant identiques. Des condensateurs imprégnés avec la cire stabilisée selon le procédé A, soumis à 80 °C, à de très faibles sollicitations alterna-

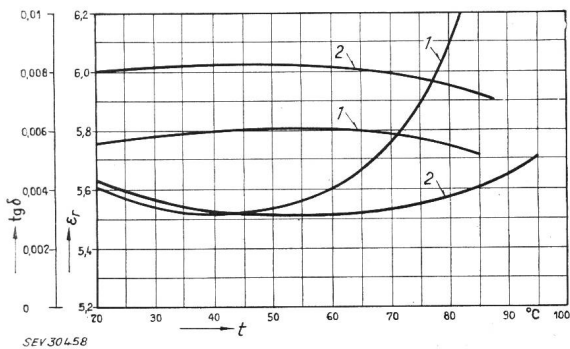


Fig. 2

Constante diélectrique résultante ϵ_r et facteur de pertes $\text{tg } \delta$ de condensateurs au papier imprégné en cires chlorées (Polychloronaphtalènes à bas point de fusion) stabilisées selon deux procédés différents

1 cire chlorée A; 2 cire chlorée B; t température
Fréquence 50 Hz, sollicitation 10 kV/mm

tives 50 Hz (5...10 kV/mm), ont été décimés par le phénomène d'emballage thermique alors que des pièces identiques mais imprégnées à la cire stabilisée selon le procédé B supportèrent, sans aucune défaillance, des sollicitations nettement supérieures à la même température.

Il est donc possible d'utiliser des condensateurs au papier imprégné dans les diélectriques chlorés stabilisés aussi bien sous tension continue que sous tension alternative 50 Hz à condition que les stabilisateurs soient très purs et que le procédé de stabilisation soit extrêmement soigné. Actuellement, aucune garantie ne pouvant être donnée sur la stabilisation, à l'échelle industrielle, des diélectriques chlorés, il est avisé de se montrer très circonspect sur l'utilisation de tels condensateurs sous une tension alternative 50 Hz, à plus forte raison si la température ambiante dépasse 50 °C.

4. Y a-t-il une autre solution ?

La stabilisation des diélectriques chlorés aussi bien que celle des huiles minérales par les inhibiteurs et que celles des huiles silicones par des additifs organiques est un problème de compromis qu'il s'agit de résoudre sur la base d'une longue expérience et en tenant compte des exigences proches ou lointaines de l'utilisateur. Les condensateurs au papier imprégné dans les diélectriques chlorés voient leur «durée de vie» prolongée par la stabilisation de leur imprégnant lorsqu'ils sont employés sous tension continue; l'effet de la stabilisation est toutefois conditionné par le degré de pureté du stabilisateur et s'atténue progressivement dans le temps. Si les mêmes condensateurs sont utilisés sous tension alternative 50 Hz, la stabilisation n'est tolérable que dès le moment où le fabricant de condensateurs est assuré et conscient que celle-ci s'est déroulée dans les meilleures conditions.

A la lumière de ces considérations, il semble donc extrêmement délicat de construire des condensateurs au papier imprégné dans les diélectriques chlorés ca-

pables de réaliser simultanément de hautes performances en courant continu et en courant alternatif 50 Hz.

Des épreuves d'endurance comparatives aussi bien sous tension continue que sous tension alternative 50 Hz ont démontré, pour des condensateurs de même capacité par unité de volume, une supériorité indiscutable d'une exécution en film polyester imprégné à l'huile minérale sur la construction traditionnelle au papier imprégné dans une huile chlorée. La Fig. 3 traduit fidèlement cette différence.

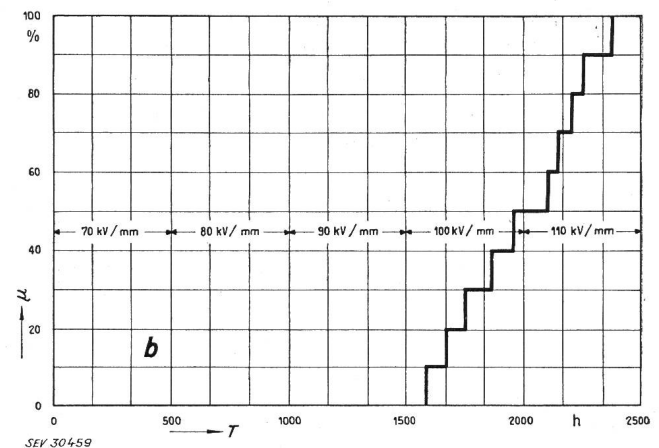
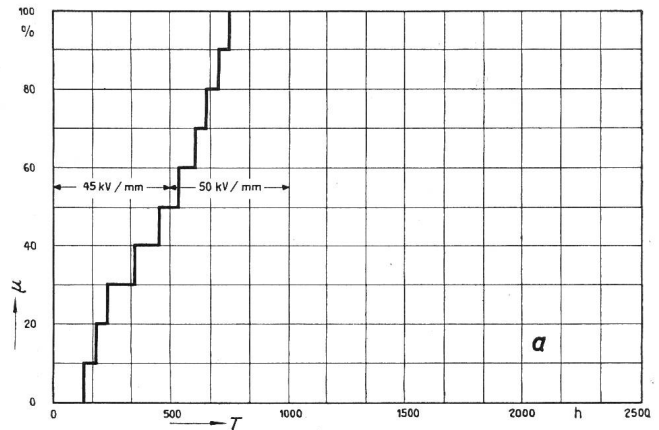


Fig. 3

Longévité de condensateurs au papier
 μ distribution des avaries; T durée de vie
Température 70 °C

- a Condensateurs au papier, imprégné à l'huile chlorée, sous tension continue (capacité 2 μF)
b Condensateurs à film polyester imprégné à l'huile minérale, sous tension continue (capacité 2 μF)

Il faut, en outre, relever que les caractéristiques électriques (capacité, facteur de pertes $\text{tg } \delta$ et résistance d'isolation) des condensateurs à film polyester sont beaucoup moins sensibles au vieillissement que celles des condensateurs au papier. L'application d'une tension alternative 50 Hz aux mêmes condensateurs à film polyester imprégnés à l'huile minérale est également possible. Les contraintes électriques se répartissant en raison inverse des pouvoirs inducteurs spécifiques, comme il l'a déjà été souligné plus haut, le choix de l'huile minérale pour l'imprégnation des condensateurs à film polyester s'est avéré particulièrement judicieux.

Si la température ambiante dépasse 85 °C, il est préférable de renoncer à l'emploi de l'huile minérale pour adopter l'huile silicone comme diélectrique d'imprégnation; parallèlement les films polyesters à base

de téréphtalate de polyéthylène affligés d'une forte augmentation de leur facteur de pertes $\text{tg } \delta$ aux environs de 90...110 °C (maximum du domaine de dispersion) seront remplacés par les films polyesters à base de polycarbonate qui sont plus stables à ces températures. La fig. 4 donne une image du comportement du facteur de pertes $\text{tg } \delta$ de ces deux classes de films polyesters en fonction de la température.

La stabilisation des diélectriques chlorés fréquemment utilisés pour l'imprégnation des condensateurs au papier ne peut être donc conseillée qu'en certaines circonstances, soit pour des condensateurs ayant:

- a) une sollicitation en service (courant continu) relativement faible,
- b) une température nominale ne dépassant pas 60 °C et
- c) une longévité moyenne garantie n'excédant pas 3...5 ans.

L'emploi de ces mêmes condensateurs sous tension alternative 50 Hz n'est, entre autres, tolérable que si le fabricant de condensateurs est assuré d'une stabilisation absolument impeccable du diélectrique d'imprégnation.

Dans tous les autres cas, il faudra adopter soit l'ancienne solution (condensateurs au papier imprégné à l'huile minérale, sous tension continue, aux huiles chlorées normales sous tension alternative 50 Hz) soit une nouvelle exécution avec les films polyesters et une imprégnation à l'huile minérale ou à l'huile silicone. Les chances de succès de cette dernière proposition sont très sérieuses; elles sont principalement dues à sa capacité spécifique ($\mu\text{F}/\text{cm}^3$) supérieure à celle des condensateurs au papier imprégné aux diélectriques chlorés (en tenant naturellement compte des gradients de tension élevés qu'ils est possible de prévoir), à la stabilité extraordinaire de l'isolation au vieillissement et à la suppression du problème épineux de la stabilisation. Les expériences acquises dans ce domaine sont toutefois encore trop récentes pour autoriser une rupture trop brusque avec la tradition des condensateurs au papier imprégné dans les diélectriques chlorés.

Adresse de l'auteur:

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

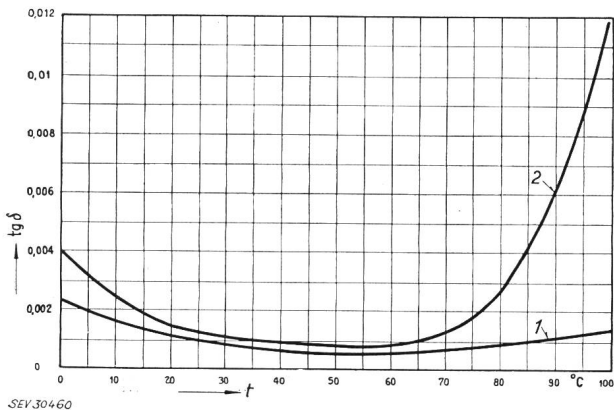


Fig. 4

Facteur de pertes $\text{tg } \delta$ de condensateurs à film polyester
Comparaison de deux qualités de film polyester
Fréquence 50 Hz, sollicitation 10 kV/mm
t température

1 Film polyester à base de polycarbonate; 2 Film polyester à base de téréphtalate de polyéthylène

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-