Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 29 (1938)

Heft: 12

Artikel: Die thermische Abbildung elektrischer Maschinen als Grundlage eines Ueberlast-Schutzrelais

Autor: Stösser, J. / Bernhardt, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059383

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

tatsächlich austretende Wassermenge bereits katastrophal wirken kann.

4. Als — wenigstens theoretisch — einzig sicherer Schutz kann eigentlich nur ein Differentialschutzsystem angesehen werden (Etzelwerk). Erfahrungen damit fehlen noch, wären aber sehr wertvoll! Die notwendigerweise komplizierte Apparatur und die nötigen Verbindungsleitungen dürften wohl gewisse Schwierigkeiten bieten, namentlich für die Verhinderung des Ansprechens gegen Apparaturfehler, das auch eine Gefahr in sich schliesst.

5. Die Fernsteuerung der Abschlussorgane hat sich bewährt und sollte überall angewandt werden, denn sie erlaubt, die Leitungen rasch zu schliessen, auch wenn die Automaten nicht ansprechen, oder keine vorhanden sind. Dies setzt aber voraus, dass die Fernsteuerleitung in ihrer ganzen Ausdehnung ausserhalb des Einflussbereiches der Druckleitung verläuft und dass periodische Probebetätigungen ausgeführt werden können, damit man sicher ist, dass die Apparatur, wenn sie einmal funktionieren soll, dies auch wirklich tut!

Die thermische Abbildung elektrischer Maschinen als Grundlage eines Ueberlast-Schutzrelais.

Von *J. Stösser* und *E. Bernhardt*, Baden.

621.316.925.44

Der Ueberlastungsschutz elektrischer Anlageteile ist vorwiegend ein Wärmeproblem. Die zweckmässigste Lösung ist das thermische Abbild. Es werden die Anforderungen behandelt, denen eine thermische Abbildung genügen muss, und anschliessend ein neues Ueberlast-Schutzrelais beschrieben, das diese Forderungen praktisch verwirklicht.

La protection contre les surcharges d'installations électriques est essentiellement un problème thermique. La solution idéale est l'image thermique. Les auteurs examinent les conditions auxquelles doit satisfaire une image thermique et décrivent un nouveau relais de protection contre les surcharges qui y satisfait.

Die wirtschaftliche Verwendung elektrischer Maschinen und Leitungen erfordert die Zulassung betriebsmässiger Ueberlastungen. Ist aber die Ueberlastung von unzulässiger Grösse und Dauer, so überschreitet das betroffene Objekt die zulässige Grenztemperatur und wird dadurch gefährdet. Aufgabe des Ueberlastungsschutzes ist, solche gefährliche Erwärmungen durch rechtzeitige Abschaltung zu verhindern, ohne jedoch die Ueberlastungsfähigkeit des Anlageteiles einzuschränken. Der Ueberlastungsschutz ist also vorwiegend ein Wärmeproblem, das im folgenden näher behandelt wird.

Der Temperaturverlauf elektrischer Anlageteile setzt sich zusammen aus Uebergangs- und Beharrungszuständen. Jeder Uebergangszustand beginnt mit einer Belastungsänderung und endigt mit dem Erreichen der Beharrungstemperatur. Eine Einrichtung, die diese Uebergangs- und Beharrungszustände so wiedergibt, wie sie an der betrachteten Maschine auftreten, nennt man thermisches Abbild. Den meisten Schutzapparaten gegen Ueberlast liegt der Gedanke der thermischen Abbildung zugrunde, wenn er auch praktisch bisher nur andeutungsweise verwirklicht ist.

Im folgenden werden die Bedingungen, denen ein thermisches Abbild genügen soll, näher behandelt.

Es bedeuten:

- ΣP Summe der Verluste in Watt.
- t Zeit in Sekunden.
- A gesamte Kühlfläche in cm².
- α Wärmeübergangszahl in W/cm²·°C·s.
- ϑ Uebertemperatur in °C.
- ϑ_{max} Beharrungsübertemperatur in °C.
- G Gewicht des Körpers in kg.
- c spez. Wärme in W/°C·kg.
- T Zeitkonstante in Sekunden.

In erster Linie wird von einem thermischen Abbild verlangt, dass bei verschiedenen Belastungen die Beharrungstemperaturen von Schutzobjekt und Abbild gleich oder proportional sind.

Beharrung tritt ein, wenn die erzeugte Wärmemenge gleich der abgegebenen ist:

$$\Sigma P \cdot t = A \cdot \alpha \cdot \vartheta_{max} \cdot t \qquad (1)$$

Für die Beharrungstemperatur gilt dann für Schutzobjekt und Abbild:

$$\vartheta_{max} = \frac{\Sigma P}{A \cdot \alpha} \qquad (2)$$

Während der Beharrungszustand nur durch die beiden Grössen Verluste und Abkühlung bestimmt ist, muss für den Uebergangszustand noch das Wärmespeichervermögen berücksichtigt werden. Die in einem Zeitmoment erzeugte Wärmemenge wird zum Teil vom Körper aufgespeichert und zum Teil an die Umgebung weitergegeben. Es gilt für einen homogenen Körper:

$$\underbrace{\Sigma P \cdot \mathrm{d}t}_{\text{zugeführte Wärmemenge}} = \underbrace{G \cdot c \cdot \mathrm{d}\vartheta}_{\text{aufgespeicherte Wärmemenge}} + \underbrace{A \cdot \alpha \cdot \vartheta \cdot \mathrm{d}t}_{\text{abgegebene Wärmemenge}}$$

oder:

$$\mathrm{d}\vartheta = \frac{\Sigma P - A \cdot \alpha \cdot \vartheta}{G \cdot c} \cdot \mathrm{d}t$$

$$\mathrm{d}\vartheta = \frac{\vartheta_{max} - \vartheta}{\dfrac{G \cdot c}{A \cdot \alpha}} \cdot \mathrm{d}t\,.$$

Allgemein setzt man:

$$T = \frac{G \cdot c}{A \cdot \alpha} = \text{Zeitkonstante} \qquad (3)$$

Somit wird:

$$\mathrm{d}\vartheta = \frac{\vartheta_{max} - \vartheta}{T} \cdot \mathrm{d}t\,. \qquad (4)$$

Integriert man Gl. (4) und setzt die Bedingung $t = 0$, $\vartheta = 0$ ein, so bekommt man:

$$\vartheta = \vartheta_{max} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \qquad (5)$$

Nach Gl. (5) steigt beim homogenen Körper die Temperatur bei konst. Heizleistung und konst. Kühlungsverhältnissen nach einer Exponentialfunktion (Fig. 1). Die Zeitkonstante ist nach Gl. (5), wenn man $t = T$ setzt, diejenige Zeit, die es braucht, um 63,2 % der Endtemperatur zu erreichen.

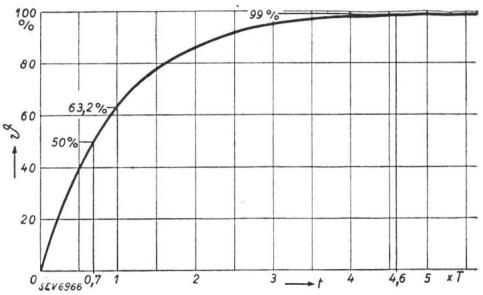

Fig. 1.
Exponentialfunktion.
Ordinate: Temperatur ϑ in % der Beharrungstemperatur.
Abszisse: Zeit t im Vielfachen der Zeitkonstanten T.

Messungen an Maschinen und Kabeln zeigen indessen, dass ihre Erwärmungskurven bei konst. Heizleistung erheblich von der Exponentialfunktion abweichen. Der Anstieg gemessener Erwärmungskurven *1* (Fig. 2) ist ganz allgemein wesentlich steiler als derjenige der Exponentialfunktion *3*. Dies erklärt sich dadurch, dass Maschinen, Kabel usw. keine homogenen Körper sind. Sie bestehen im Gegenteil aus verschiedenen Materialien, die für sich verschiedene thermische Eigenschaften besitzen. Diese Materialien sind sodann in jeder

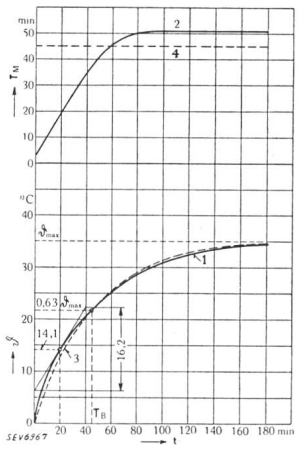

Fig. 2.
Kurve 1: Mit Thermoelement im Kupfer gemessene Erwärmungskurve eines Kabels.
Kurve 2: Verlauf der Momentanzeitkonstanten $T_M = f\ (t)$ für Kurve *1*.
Kurve 3: Exponentialfunktion mit $T = T_B = 45$ min.
Kurve 4: Verlauf der Zeitkonstanten $T = f\ (t)$ für Kurve 3.

Maschine verschiedenartig miteinander thermisch gekoppelt. Die zusammengesetzten Körper können daher keine exponentiell verlaufende Erwärmungskurve mehr besitzen. Ihr Temperaturverlauf wird vielmehr durch die Kombination aller Einzel-Erwärmungskurven mit verschiedenen Beharrungstemperaturen, verschiedenen Zeitkonstanten und verschiedenem zeitlichem Beginn der Erwärmung gegeben. *Infolgedessen verliert auch der Begriff «Zeitkonstante» die ursprüngliche Bedeutung.* Um den Charakter einer gegebenen Erwärmungskurve dennoch beurteilen zu können, lässt sich folgender Weg einschlagen.

Auf der gegebenen Erwärmungskurve wird der Kurvenpunkt mit 63,2 % der Endtemperatur ermittelt. Die zugehörige Zeit definieren wir als «*Beharrungszeitkonstante*» T_B; sie soll in Anlehnung an die theoretische Definition eine gemessene Erwärmungskurve der *Grössenordnung* nach kennzeichnen. Der Charakterisierung eines beliebigen Kurvenpunktes einer gemessenen Erwärmungskurve dient die «*Momentan-Zeitkonstante*» T_M. Wir definieren sie wie folgt: Die Momentan-Zeitkonstante T_M ist derjenigen Exponentialkurve zugeordnet, die im betrachteten Zeitpunkt mit der gemessenen Erwärmungskurve zusammenfällt, d. h. gleiche Temperatur, gleichen Temperaturanstieg und denselben Anfangspunkt besitzt. Jeder Punkt der gemessenen Kurve hat somit seine eigene Zeitkonstante.

Für jeden Kurvenpunkt ist demnach die entsprechende Exponentialfunktion gegeben durch den Kurven-Anfangspunkt und die Tangente im betrachteten Punkt.

Aus Gl. (5) bestimmt man:

$$\vartheta_{max} = \frac{\vartheta}{1 - e^{-\frac{t}{T_M}}} \qquad (6)$$

und

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{\vartheta_{max}}{T_M} \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}$$

daraus

$$\vartheta_{max} = \frac{d\vartheta/dt \cdot T_M}{e^{-\frac{t}{T_M}}} \qquad (7)$$

Aus Gl. (6) und (7) folgt zur Bestimmung des gesuchten T_M:

$$\frac{\vartheta}{d\vartheta/dt} = T_M \cdot (e^{\frac{t}{T_M}} - 1) \qquad (8)$$

Mit Hilfe von Gl. (8) ist es möglich, aus einer vorliegenden Erwärmungskurve in jedem Punkt die Momentanzeitkonstante T_M zu bestimmen. Der Einfachheit halber ist die Gl. (8) in Fig. 3 dargestellt. Die Ordinate $\frac{\vartheta}{d\vartheta/dt}$, die Abszisse T_M und die Zeit t ist Parameter.

Die Beharrungstemperaturen ϑ_{max} für die einzelnen Exponentialfunktionen bestimmen sich aus Gl. (7) zu:

$$\frac{\vartheta_{max}}{d\vartheta/dt} = T_M \cdot e^{\frac{t}{T_M}} \qquad (9)$$

Gl. (9) ist in Fig. 3 durch die gestrichelten Kurven angegeben mit $\frac{\vartheta_{max}}{d\vartheta/dt}$ als Ordinate, T_M als Abszisse und t als Parameter.

Gl. (9) hat ein Minimum bei $\frac{\vartheta_{max}}{d\vartheta/dt} = T_M \cdot e$. Der Vollständigkeit halber ist die Verbindungslinie aller dieser Minima für die verschiedenen Para-

meter t durch die Gerade in Fig. 3 dargestellt. Sie ist eine reine Exponentialfunktion.

Das Vorstehende soll nun auf die gemessene Erwärmungskurve Fig. 2 angewendet werden, um den

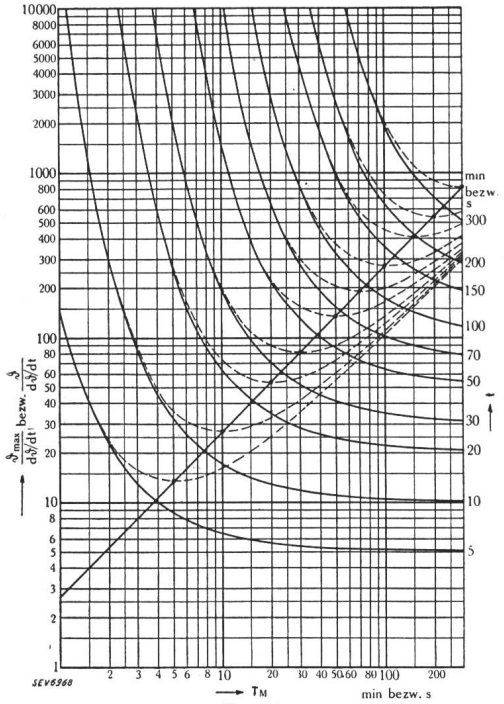

Fig. 3.
Rechnungstafel zur Bestimmung der Momentanzeitkonstanten T_M in einem beliebigen Punkt einer gegebenen Erwärmungskurve.

——— $\frac{\vartheta}{d\vartheta/dt}$ als Ordinate, T_M als Abszisse, t als Parameter.

..... $\frac{\vartheta_{max}}{d\vartheta/dt}$ als Ordinate, T_M als Abszisse, t als Parameter.

Verlauf der Momentan-Zeitkonstanten T_M zu bestimmen. Für den Punkt $t = 20$ min; $\vartheta = 14{,}1°$ C ist:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{16{,}2\,^0\ C}{40\ min} = 0{,}405\,^0\ C/min$$

und

$$\frac{\vartheta}{d\vartheta/dt} = \frac{14{,}1\,^0\ C/min}{0{,}405\,^0\ C} = 35\ min.$$

Nach der ausgezogenen Kurve in Fig. 3 wird für $t = 20$ min und $\frac{\vartheta}{d\vartheta/dt} = 35$ min die gesuchte Momentan-Zeitkonstante $T_M = 19{,}5$ min.

Die zugehörige Beharrungstemperatur wird der gestrichelten Kurve mit Parameter 20 min für $T_M = 19{,}5$ min entnommen zu:

$$\frac{\vartheta_{max}}{d\vartheta/dt} = 54\ min;\ \text{daraus}$$

$$\vartheta_{max} = 54 \cdot 0{,}405 = 22°\ C.$$

In Kurve 2 der Fig. 2 sind zur gezeichneten Erwärmungskurve alle T_M nach obiger Methode bestimmt und aufgetragen. Man erkennt, dass die Momentanzeitkonstante zur Zeit 0 mit $T_M = 3$ min beginnt und bis zur Beharrungstemperatur auf den Wert 51 min ansteigt, während die Beharrungszeitkonstante $T_B = 45$ min beträgt.

Dieses Resultat, das qualitativ für alle Erwärmungskurven elektrischer Maschinen und Kabel Gültigkeit hat, zeigt vor allem, dass der Erwärmungsverlauf elektrischer Anlageteile nicht einfach durch *eine* Zeitkonstante gekennzeichnet werden kann. Praktisch wirkt sich diese Veränderlichkeit der Zeitkonstante so aus, dass der Temperaturanstieg z. B. einer Motorwicklung bei einer Ueberlastung viel rascher erfolgt, als nach der Zeitkonstanten T_B zu erwarten wäre. Für eine thermische Abbildung ist die richtige Anwendung dieser Erkenntnis von grundlegender Wichtigkeit; insbesondere muss ein Ueberlastungsschutz nach dem thermischen Abbild dem Verlauf der Momentan-Zeitkonstanten des Schützlings Rechnung tragen.

Die beschriebenen Gesichtspunkte zur Erreichung einer getreuen thermischen Abbildung wurden erstmalig der Konstruktion eines Hauptstrom-Thermorelais zugrunde gelegt, das in Fig. 4 dargestellt ist. Das Relais ist bestimmt zum Schutze elektrischer Maschinen und Kabel gegen schädliche Erwärmung als Folge von Ueberlastungen und wird, wie die bekannten Hauptstromzeitrelais, direkt auf

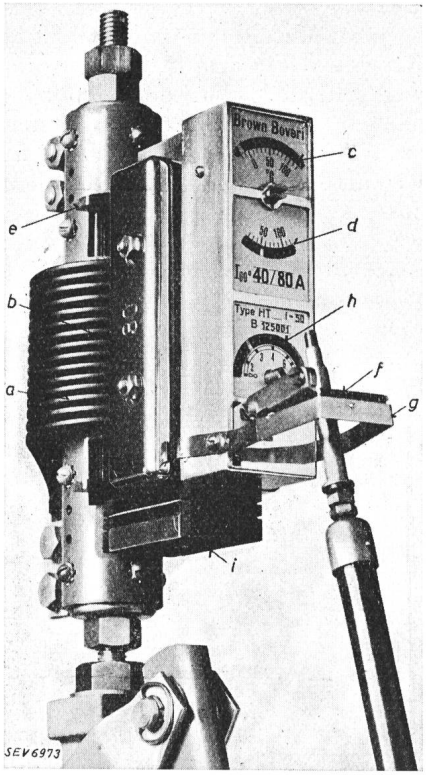

Fig. 4.
Hauptstrom-Thermorelais Typ HT.
a Stromspule. *b* Wärmeträger. *c* Anzeige der Uebertemperatur. *d* Einstellskala der Auslöse-Uebertemperatur. *e* Keile zur Strom- bzw. Temperatureinstellung. *f* Auslösehebel. *g* Auslösesignal. *h* Grenzstrom-Auslösung. *i* Kompensation der Umgebungstemperatur.

den Leistungsschalter aufgebaut. Es unterscheidet sich gegenüber den bekannten Maximalstromrelais durch das Fehlen einer Ansprechstrom-Einstellung, da es zur Erfassung der Vorbelastung dauernd vom Betriebsstrom beeinflusst werden muss. Ferner sind

keine Zeiteinstellungen vorhanden, da die Auslösezeit durch die gewählte Zeitkonstante, die eingestellte Auslösetemperatur, die Vorbelastung vor Eintritt einer Ueberlast und durch die Grösse der Ueberlast gegeben ist. Die Stromspule *a* wird vom Strome des Schutzobjektes durchflossen und heizt transformatorisch den aktiven Relaisteil. Die erzeugte Wärme wird durch ein Messglied auf Skala *c* angezeigt. Die Beharrungszeitkonstante T_B kann durch Aufsetzen verschiedener Wärmeträger *b* in den Grenzen 15, 30 und 45 min gewählt und damit der Zeitkonstanten des Schutzobjektes angepasst

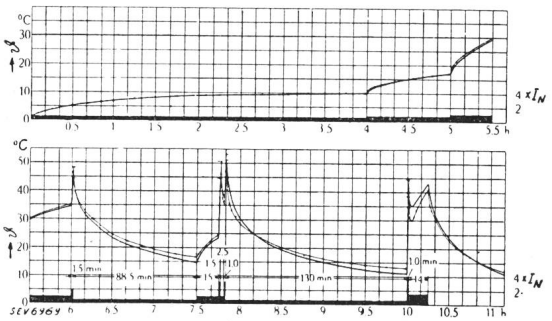

Fig. 5.
Hauptstrom-Thermorelais HT als thermisches Abbild eines 8-kV-Kabels, 3 × 16 mm².
——— Temperatur des Kabelkupfers, mit Thermoelement gemessen.
-x-x-x- Ablesepunkte der Temperaturanzeige des Thermorelais.
▬▬ Belastungsstrom in f *(t)*.

werden. Von besonderem Interesse ist die konstruktive Einbeziehung der Momentanzeitkonstanten T_M, die in ihrem Kurvenverlauf so festgelegt wurde, dass der Temperaturanstieg des Relais bei gefährlich grossen Ueberlastungen die wirklichen Verhältnisse aus Sicherheitsgründen noch etwas übertreibt. Die thermische Abbildung eines 8-kV-Kabels mit dem HT-Relais wurde an der Kabeltagung des SEV in Biel vom 27. November 1937 gezeigt und ist der Vollständigkeit halber in Fig. 5 dargestellt.

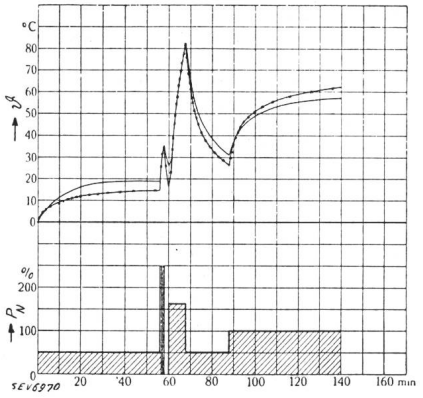

Fig. 6.
Motor dauernd laufend.
——— Temperatur des Motors, gemessen mit Thermoelement, eingebaut in der Wicklung, Mitte Eisen, Motor 140 kW, 500 V, 1500 U/min, 50 Per./s.
-x-x-x- Temperaturanzeige des Thermorelais HT, 200 A, T_B = 15 min, P_N = Nennlast.

Nicht minder interessant ist die Anwendung des Thermorelais als Ueberlastungsschutz elektrischer Maschinen, wie das Beispiel der folgenden Versuchsergebnisse zeigt. Ein Dreiphasenmotor von 140 kW, 500 V, 1500 U/min, wurde zur Messung der Temperatur im Innern einer Statorspule mit Thermoelementen versehen. In die Speiseleitung war ein Thermorelais mit Zeitkonstante 15 Minuten eingebaut. Der Motor wurde verschiedenen Belastungszuständen unterworfen und jeweils die Temperatur des Motors und die am Thermorelais angezeigte Temperatur gleichzeitig aufgetragen. Fig. 6 zeigt die Messwerte bei dauernd laufendem Motor.

Während 0 bis 55 min mit Halblast erreichen Motor und Relais Beharrungstemperatur. Die Motortemperatur ist etwa 5° C höher als die Relaisanzeige, weil bei schwacher Last die Eisenverluste einen grösseren Anteil an den Gesamtverlusten ausmachen. Im Zeitpunkt 60 min setzt 160 % Last während 8 min ein. Motor und Relais steigen übereinstimmend auf 81° C, da für den Versuch die Abschaltung absichtlich durch Höhereinstellung der Auslösetemperatur verhindert wurde. Würde die Auslösetemperatur des Relais z. B. auf 70° C eingestellt, so wäre, wie die Kurve zeigt, die Abschaltung nach 6 min erfolgt. Im Zeitabschnitt 68 bis 88 min

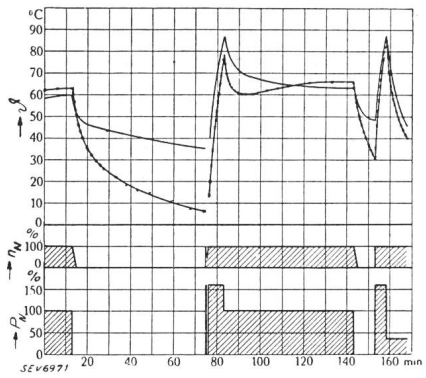

Fig. 7.
Motor intermittierend laufend.
——— Temperatur des Motors, gemessen mit Thermoelement, eingebaut in der Wicklung, Mitte Eisen, Motor 140 kW, 500 V, 1500 U/min, 50 Per./s.
-x-x-x- Temperaturanzeige des Thermorelais HT, 200 A, T_B = 15 min, P_N = Nennlast, n_N = Nenndrehzahl.

bei Halblast kühlen sich Motor und Relais ab und streben wieder dem Beharrungszustand für Halblast zu. Im Zeitabschnitt 88 bis 140 min bei Vollast wird nahezu die Vollast-Beharrungstemperatur erreicht. Das Relais übersteigt nunmehr die Motortemperatur um etwa 5° C; es ist dies eine durch die gewählte Relaiseinstellung gegebene Sicherheit.

Der Versuch zeigt die temperaturgetreue Wirkung des Thermorelais, welche mit gleicher Sicherheit die Ueberschreitung einer gefährlichen Temperatur verhindert, wie sie anderseits die volle Ueberlastbarkeit der Maschine ermöglicht.

Das Verhalten des Motors bei intermittierendem Laufe zeigt Fig. 7. Im Zeitmoment 13 min wird der Motor ausgeschaltet und steht nach 2 min still. Bis zum Zeitmoment 75 min, also ca. 1 Stunde, kühlen sich Motor und Relais ab, der Motor nun aber viel langsamer als das Relais, weil beim stillstehenden Motor die Ventilation fehlt und deshalb eine vielfach höhere Zeitkonstante als im Lauf in Erscheinung tritt. Die Temperaturanzeige des

Relais ist in diesem Zeitabschnitt wesentlich kleiner als die Temperatur des Motors, und es entsteht die Frage, ob das Relais beim Eintritt einer Ueberlast in diesem ungünstigstmöglichen Falle eine unzulässig hohe Uebertemperatur des Motors verhindern kann. Im Zeitpunkt 75 min wurde der Motor zur Klärung dieser Frage mit 160 % belastet. Fig. 7 zeigt die bemerkenswerte Tatsache, dass das Relais den Temperaturunterschied sofort einholt. Wäre die Auslösetemperatur des Relais auf 70° C eingestellt, so würde der Motor im Zeitpunkt 82 min mit einer Temperatur von 80° C abgeschaltet. Im Zeitpunkt 83 min wurde die Belastung auf 100 % reduziert, die Temperaturen des Motors und des Relais nähern sich wieder auf ca. 3° Unterschied. Die anschliessende Wiederholung des Versuches mit kürzerer Stillstandsdauer im Zeitmoment 153 min zeigt in diesem weniger ungünstigen Falle praktische Uebereinstimmung der beiden Temperaturen. Der Ueberlastschutz des Motors ist somit, dank der erwähnten Charakteristik der Momentanzeitkonstanten auch bei intermittierendem Betrieb sichergestellt.

Ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet des HT-Relais ist der Schutz von Transformatoren. Wohl ist die Zeitkonstante der Transformatoren meist erheblich grösser als die Zeitkonstante des HT-Relais, wodurch die Genauigkeit der Temperatur-Anzeige bei stark wechselnder Last reduziert wird. Hinsichtlich Sicherheit gegen schädliche Erwärmung wirkt sich indessen der Unterschied in der Zeitkonstante stets günstig aus. Welcher Spielraum dabei für betriebsmässige Ueberlasten ermöglicht wird, mögen folgende Messresultate zeigen: Anschliessend an 10 Stunden dauernde 80%ige Belastung eines Transformators von 200 kVA, 10 000/240 V, erlaubt das Relais 20 % Ueberlast während 48 Minuten (64 min), 60 % Ueberlast während 12 Minuten (14 min) und 100 % Ueberlast während 5 Minuten (7,5 min). Die eingeklammerten Zeitwerte würde der Transformator zur Erreichung von 70° C Uebertemperatur im Kupfer benötigen. Bei kleinerer Vorbelastung als 80 % sind die entsprechenden Zeitwerte grösser; bei 50 % Vorbelastung z. B. betragen sie etwa das Doppelte.

Die vom Relais auf Skala *c* angezeigte Temperatur ist die Uebertemperatur des Schutzobjektes, da der Einfluss der Umgebungstemperatur durch eine Kompensationseinrichtung *i* aufgehoben ist. Die Auslösetemperatur des Relais kann auf Skala *d* eingestellt werden. Sobald der Zeiger *c* die auf Skala *d* eingestellte Temperatur erreicht, erfolgt die Auslösung. Fig. 8 zeigt als Beispiel die Auslösezeiten des Relais mit Zeitkonstante $T_B = 15$ min in Abhängigkeit der Ueberlast bei verschieden eingestellten Auslösetemperaturen, wenn die Belastung vom kalten Zustande aus erfolgt. Die Zeiten verkürzen sich um so mehr, je höher die Temperatur des Schutzobjektes vor Eintritt der Ueberlast war. Die Auslösezeiten des HT-Relais werden erst bei Ueberstrom oberhalb ca. 5fachem Nennstrom durch Sättigungseinfluss verlängert; alle betriebsmässig auftretenden Ueberlastungen liegen somit im temperaturgetreuen Gebiete. Bei Auftreten von höheren Ueberströmen liegt eine Kurzschlussstörung vor, die meist sofortige Abschaltung verlangt. Zu diesem Zwecke ist das HT-Relais durch

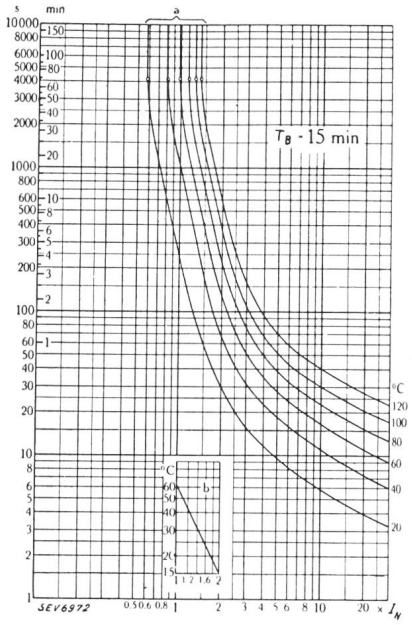

Fig. 8.
Hauptstrom-Thermorelais Typ HT.
a Auslösezeiten vom kalten Zustand aus in Abhängigkeit des Ueberstromes für verschiedene Einstellungen der Auslöse-Uebertemperatur. $T_B = 15$ min.
b Anzeige-Uebertemperatur bei Speisung mit I_N in Abhängigkeit der Keilstellung.

eine magnetisch wirkende Grenzstrom-Momentauslösung *h* ergänzt mit einem Einstellbereich zwischen 2- bis 10fachem Nennstrom für Momentanauslösung. Bei Blockierung der Grenzstromauslösung erfolgt die Auslösung nur nach der thermischen Charakteristik.

Diese Ausführungen geben einen Einblick in die physikalischen Grundlagen und die Wirkungsweise des Thermorelais. Die Beispiele zeigen die erreichbare Genauigkeit der Temperaturnachbildung und Anzeige. Die Wärmeschutzeinrichtungen waren bis anhin nur für grosse Objekte wirtschaftlich tragbar [1]). Es fällt nicht in den Aufgabenkreis des Thermorelais, diese Präzisionsmesseinrichtungen zu ersetzen. Dagegen ermöglicht die leichte Anwendbarkeit und einfache Konstruktion des neuen Schutzelementes, den Ueberlastungsschutz, ähnlich wie den Kurzschlußschutz, in der allgemeinsten Form anzuwenden.

[1]) Vgl. Bull. SEV 1932, Nr. 3, S. 74.