

TRANSIENTES VERHALTEN VON THERMISCHEN ÜBERSTROMAUSLÖSERN UND RELAIS

Von

K. SZANDTNER

Institut für Starkstromtechnik, Abteilung Elektrogeräte und -anlagen,
Technische Universität, Budapest

Eingegangen am 5. Oktober, 1979
Vorgelegt von Prof. Dr. P. O. GESZTI

Das Fortschreiten des Motorschutzes verläuft parallel mit jenem der Motorkonstruktion und Antriebstechnik. Im Laufe der Zeit haben sich verschiedene Typen der Motorschutzeinrichtungen entwickelt, die jedoch grundlegend auf zwei Lösungen zurückführbar sind. Bei der einen wird der die Erwärmung des Motors verursachende Motorstrom durch ein außerhalb des Motors befindliches Gerät kontrolliert. Bei der anderen wird die Temperatur der Motorspulentwicklung von solchen Temperatursensoren registriert, die sich im Spulenkopf befinden. Außerdem gibt es noch verschiedene Kombinationen der zwei Grundlösungen [1, 2]. Neuerlich berichtet man über Versuche zur Entwicklung von thermisch angesetzten analogen elektronischen Simulatoren durch Anwendung der Schutztheorie durch Simulation [3].

1. Praktische Lösungen des Motorschutzes; Temperaturkompensation

Zu den verbreitetsten stromabhängigen Schutzeinrichtungen gehören die bei den Motorschutzschaltern und -unterbrechern angewandten bimetallischen, thermischen Überstromauslöser und -relais [4]. Aufgabe dieser Einrichtungen ist die Registrierung der den nominellen Strom des Motors übertreffenden sog. Überlastungsstromes, der z. B. durch Windungs- oder Spulenschluß verursacht wird und entsprechender Eingriff innerhalb einer von den Normvorschriften gegebenen Zeit, z. B. Abschaltung des Motors von der Stromzuleitung. Diese Maßnahme ist notwendig, um die Isolierung des sich infolge des Überlastungsstromes erwärmenden Motors zu schützen, damit der Motor nicht betriebsunfähig werde.

Im folgenden wird ein mit Kontakten zusammenbaubares dreipoliges Überstromrelais (Abb. 1) [5] und eingehender ein bei Stromunterbrechern anwendbarer einpoliger Überstromauslöser (Abb. 2) [6] untersucht. Bei

beiden Schutzeinheiten verursacht die Abneigung des unmittelbar oder mit Hilfe eines Stromwandlers durch den Motorstrom geheizten Bimetalls diejenige Bewegung des Auslösungsarms die Kontakt oder mechanische Riegel schließt oder öffnet.

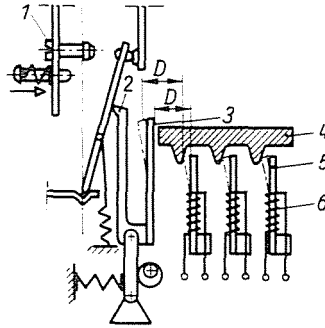


Abb. 1. Aufbauprinzip eines dreipoligen Überstromrelais mit Temperaturkompensation
1. Reglerschraube; 2. Auslösegriff; 3. kompensierendes Bimetal; 4. Schubgriff; 5. geheiztes Bimetal;
6. Heizspule

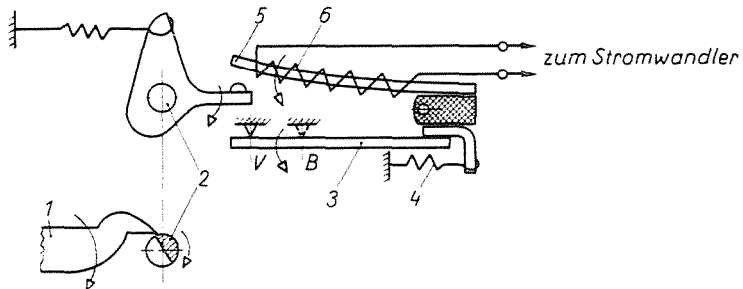


Abb. 2. Aufbauprinzip eines einpoligen Überstromauslösers mit Temperaturkompensation
1. Auslösegriff; 2. Halbwellle; 3. kompensierendes Bimetal; 4. Bimetalleinheitfeder; 5. geheiztes Bimetal;
6. Heizspule, V und B Unterstützungen

Die in Abb. 3 sichtbare, aus kaltem Betriebszustand ausgehende Auslöseungskennkurve bezieht sich, entsprechend den Normvorschriften KGSZ 45.3154-71 [7] und VDE 0660 (8) auf $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ Raumtemperatur. Die Beziehungstemperatur muß immer angegeben werden, da die Raumtemperatur die Abweichung des Bimetalls, folglich die Auslösezeiten beeinflusst. Je höher die Raumtemperatur ist, umso geringer darf die stromverursachte Erwärmung sein. Das Problem besteht darin, daß der bimetalliche Sensor die Temperatur (ϑ) registriert, die Stromänderung sich hingegen in Erwärmung (τ) ergibt. Laut [5] z. B. kann sich bei $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ Raumtemperatur der Auslösegrenzstrom um 40%, damit die Auslösezeit um 50% vermindern. Bei Raumtemperaturen unter $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ wächst die stromverursachte Erwärmung.

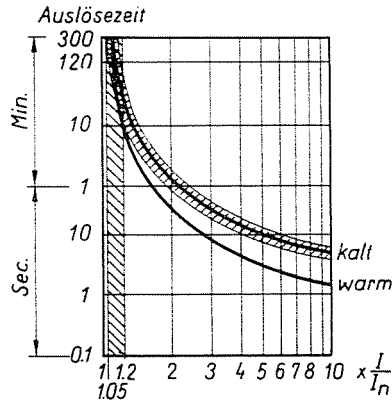


Abb. 3. Auslösungs-Charakterkurve nach Normvorschrift

Die Abhängigkeit der Auslösungszeit von der Raumtemperatur hätte Vorteile, wenn sich Überstromauslöser und Motor immer in gleicher Raumtemperatur befänden. Praktisch kommt dies jedoch kaum vor, da die Überstromauslöser meistens in der Schalteinrichtung, in den Kassetten der Verteilungseinrichtung eingebaut sind, wo infolge der Verlustleistungen anderer Einheiten, wie Schalter, Spulen, Widerstände eine höhere, bis zu $+50^\circ\text{C}$ steigende Temperatur vorliegt. Sind jedoch die Raumtemperaturen von Motor und Überstromauslöser verschieden, so bedeutet die Temperaturhängigkeit des Auslösers große Nachteile, da er unter bestimmten Umständen seine Schutzfunktion nicht ausüben kann.

Dies ist die Ursache, weshalb Überstromrelais und -auslöser mit Wärmegradkompensation versehen werden (Abb. 1 und 2). Wie in Abb. 2 zu sehen ist, ist die um die Achse drehbare Bimetalleinheit mit Hilfe des Kompensationsbimetalls fixiert, dessen Abneigung nur durch die Raumtemperatur beeinflusst wird. Das Kompensationsbimetall biegt sich bei einer gegebenen Raumtemperatur annähernd gerade so, wie das geheizte Bimetall. Auf diese Weise muß das geheizte Bimetall von der Raumtemperatur unabhängig stets gleichen Weg zurücklegen und braucht derart immer beinahe die gleiche Zeit zum Auslösen. Um jedoch die optimalste Temperaturkompensation zu finden, muß man deren transientes Verhalten unbedingt kennen.

2. Untersuchung des transienten Verhaltens der Temperaturkompensation

Zu den Untersuchungen wurden Überstromauslöser der nominellen Stromgebiete 250—400 und 630—1000 A (im folgenden 400 und 1000 A) eines Niederspannungsstromunterbrechers von 1000 A benützt (Abb. 2). Zur Messung der Erwärmung bzw. Temperaturverteilung der Seitenplatte und der

inneren Umgebung des gegen Überstrom schützenden Bimetalls und des Kompensationsbimetalls wurden Chromel Alumel Thermoelemente von $2 \times 0,1$ mm Durchmesser angewandt. Die Meßanordnung ist in Abb. 4 dargestellt.

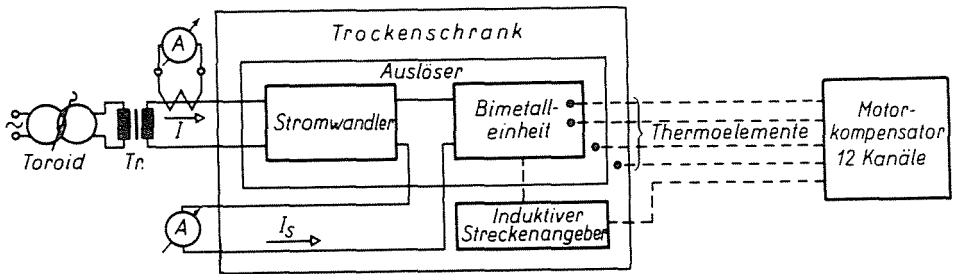


Abb. 4. Bimetalleinheit Meßanordnung

Unsere Meßaufgabe ist eigentlich die Prüfung des funktionellen Zusammenhangs

$$f_r = f(\tau_{gh}, I_s, \tau_{ko}, t, F_{aus}, R_{bi}, \Delta f)$$

wobei f_r — die resultierende Abneigung der Bimetalleinheit,

τ_{gh} — die gleichwertige Erwärmung des geheizten Bimetalls,

I_s — der Sekundärstrom (der Strom des geheizten Bimetalls),

τ_{ko} — die gleichwertige Erwärmung des kompensierenden Bimetalls,

t — die Zeit der Erwärmung (der Heizung),

F_{aus} — die notwendige Kraft für die Auslösung,

R_{bi} — der Widerstand des Bimetalls,

Δf — die fiktive Abneigung (wegen der mechanischen Fehler und der nicht erwarteten Formänderungen).

Zu berücksichtigen waren bei den Messungen die Erwärmung und Auslösungszeiten betreffenden Normvorschriften [7, 8] weiterhin der Umstand, daß nicht nur die Kenntnis der resultierenden Abneigungswerte der Bimetalleinheit zur Analyse des Problems nötig ist, sondern die separat gemessenen Abneigungen der Konstituenten, d. h. des geheizten und des kompensierenden Bimetalls auch bekannt sein müssen. Eine weitere Meßaufgabe bedeutete das Ausprobieren von mit konstantem Sekundärstrom erfolgter Heizung und von verschiedenen Kompensierbimetallen bzw. Bimetalleinheiten.

Die Versuche erfolgten nach folgenden Gruppierungen:

Gruppe I: Außer der Primärseitenheizung ($1,05 I_{n_f} = 1050$ A) der Bimetalleinheit wurden die Erwärmung und freie Abneigung (f_{gh}) des geheizten Bimetalls (τ_{gh}), des kompensierenden Bimetalls (τ_{ko}) und der

Sekundärstrom des Stromwandlers (I_s) gemessen. Heizzyklus: 2 Stunden Heizung, 1 Stunde Kühlen und 1 Stunde wiederholte Heizung.

Gruppe II: Gemessen wurden die Sekundärseitenheizung der Bimetalleinheit, die Werte von τ_{gh} und f_{gh} .

Gruppe III: Gemessen wurden die äußere Heizung der Bimetalleinheit (Trockenschrank), die Werte von τ_{gh} und f_{gh} .

Gruppe IV: Neben der Heizung nach I. und II. der Bimetalleinheit wurden τ_{ko} , weiterhin die Abneigung des kompensierenden Bimetalls (f_{ko}) in der Wirkungslinie des geheizten Bimetalls bei viererlei Kompensationen gemessen.

Gruppe V: Gemessen wurden neben Heizung der Bimetalleinheit nach I, die Werte von τ_{gh} und τ_{ko} , weiterhin die resultierende Abneigung der Bimetalleinheit (f_r) gegen Federkraftbelastung.

Gruppe VI: Neben primärseitlicher Heizung der Bimetalleinheit wurden die Werte von τ_{gh} , τ_{ko} und f_r in Unterbrecher montiert gemessen.

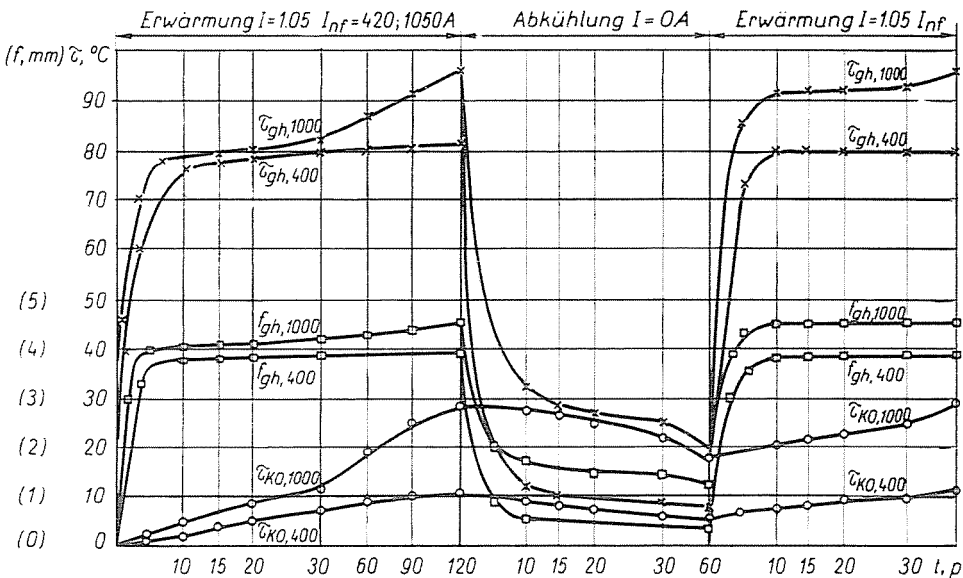


Abb. 5. Geheiztes Bimetall: Materie: Cs 145, MaB.: 4 Stück $0,3 \times 10 \times 37$ mm
 Kompensierendes Bimetall: Materie: Cs 145, MaB.: 1 Stück $0,8 \times 13 \times 38$ mm

Bei Gruppen I—V setzte man die Auslöser in Trockenschrank. Die Lufttemperatur betrug in jedem Fall $\vartheta_k = 24 - 28$ °C. Weitere Einzelheiten der Untersuchungen sind in [6] ausführlicher zu lesen.

Von den Resultaten der Untersuchungen in Gruppe I sind die an 400 und 1000 A Auslösern gemessenen Beziehungen $\tau_{gh}(t)$, $\tau_{ko}(t)$ und $f_{gh}(t)$ in Abb. 5 dargestellt.

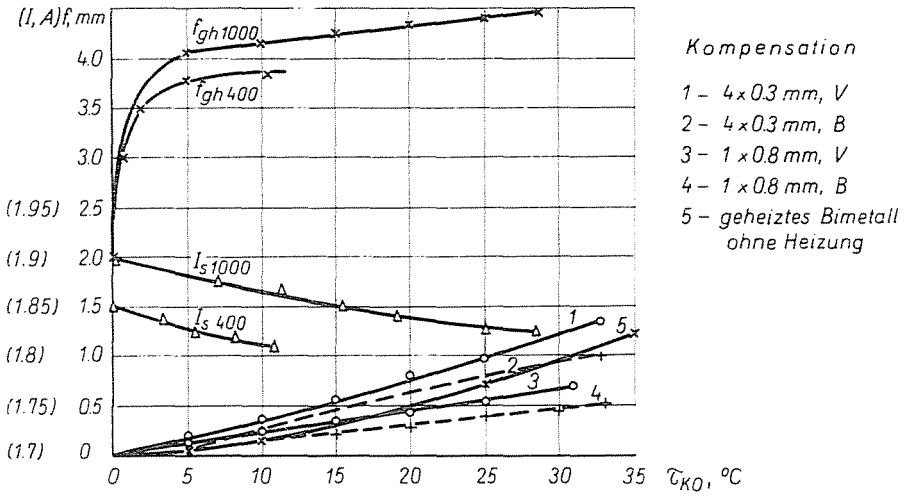


Abb. 6.

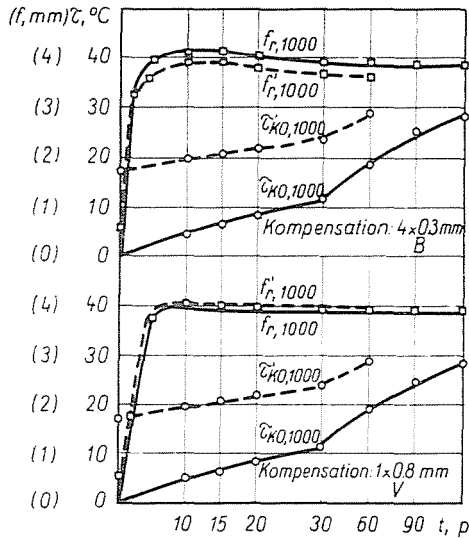


Abb. 7

Von den Ergebnissen der Gruppen I, III und IV wurden zwecks Vergleichbarkeit die Funktionen $f_{gh}(\tau_{ko})$, $I_s(\tau_{ko})$, $f_{ko}(\tau_{ko})$ und $f_{gh}(\tau_{ko})$ (ohne Heizung) in Abb. 6 aufgezeichnet.

In Abb. 7 sind auf Grund der Untersuchungen nach V die sich auf die in Betracht kommenden zweierlei Kompensationsmethoden beziehenden Kenn-

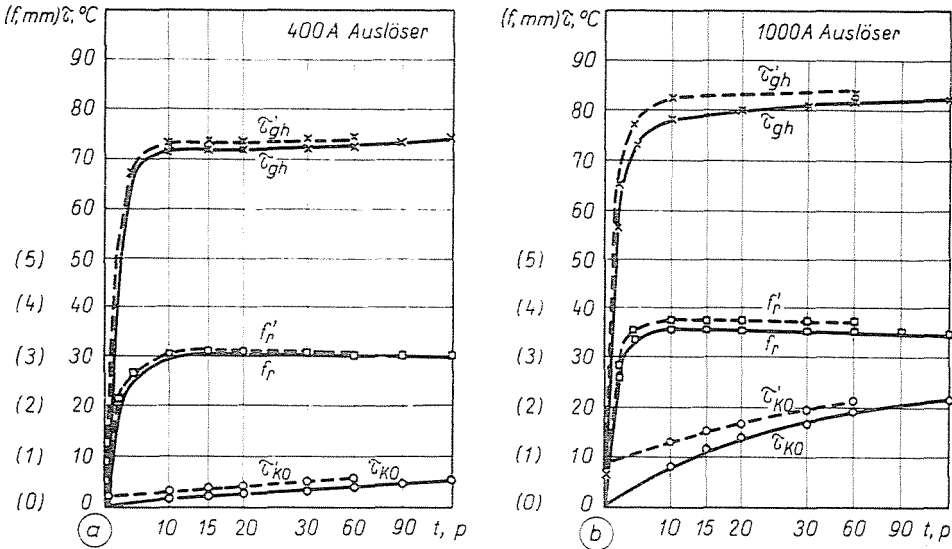


Abb. 8

kurven der Funktionen $f_r(t)$ und $\tau_{ko}(t)$ dargestellt. Die Kühlungskurve wurde außer acht gelassen, da sie nur für uns uninteressante Informationen vermittelt.

Abb. 8 zeigt Untersuchungsergebnisse der 400 und 1000 A Auslöser nach Gruppe VI und zwar $\tau_{gh}(t)$, $f_r(t)$ und $\tau_{ko}(t)$.

Folgerungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen nach Gruppe I bewiesen unsere Annahme, der nach das geheizte Bimetall in verhältnismäßig kurzer Zeit die Endtemperatur annähert, hingegen sich die Temperatur des kompensierenden Bimetalls während dieser Zeit kaum ändert. In der zehnten Minute nach Stromeinschaltung erreicht die Temperatur des geheizten Bimetalls 82—96% der Endtemperatur, hingegen erwärmt sich das kompensierende Bimetall nur um 3,5—5,5 °C etwa auf 20—30% der Endtemperatur.

Die freie Abneigung des ohne Federkraftbelastung geheizten Bimetalls betrug von der Stromgrenze abhängig (nur auf 1,05 I_{nf} Strom der oberen Stromgrenzen bezogen) 3,85—4,48 mm.

Infolge der zweistündigen Erwärmung der sekundären Spulen des Stromwandlers zeigt die Verminderung der nominellen sekundären Ströme (bezogen auf 1,05 I_{nf} Strom) laut Abb. 6 beim Auslöser von 1000 A 3,95%, beim Auslöser von 400 A 2,3%. Mit Messungen nach Gruppe II wurde angestrebt, die Wirkung der erwähnten Verminderung des sekundären Stromes auf die

Abneigung des Bimetalls zahlenmäßig zu ermitteln. Die freien Abneigungen der Bimetalle betragen um 0,22—0,34 mm mehr bei Heizung mit konstantem Sekundärstrom als bei Heizung mit konstantem primärem Strom.

Mit den Versuchen der Gruppe III und IV war bezweckt, die entsprechende Auswahl des kompensierenden Bimetalls zum gegebenen geheizten Bimetall zu erleichtern. Wie in Abb. 6 zu sehen ist, aus kaltem Betriebszustand ausgehend und gleichen Heizanlauf voraussetzend, scheint ein innerhalb $4 \times 0,3$ mm unterstütztes Bimetall zur Kompensation geeignetst. Im Lauf der Erwärmungstransiente ändert sich jedoch der Charakter der Kompensation.

Die Meßergebnisse nach Gruppe V sind in Abb. 7 dargestellt. Man sieht, daß, wenn sowohl das geheizte wie das kompensierende Bimetall aus gleicher Umgebungstemperatur ausgehen, im Heizzyklus zur steigenden Umgebungstemperatur eine ständig größere resultierende Abneigung gehört, d. h. das System ist unterkompensiert. Während der transienten Erwärmung schneidet die aus dem der Abkühlung folgenden warmen Betriebszustand ausgehende Abneigungskurve die aus kaltem Betriebszustand ausgehende resultierende Abneigungskurve und bleibt auch längere Zeit hindurch unter deren Wert, d. h. die Art der Kompensation ändert sich während des Betriebs, es erfolgt eine Überkompensation. Ursache der Überkompensation im warmen Zustand ist der Umstand, daß geheiztes und kompensierendes Bimetall bei ungleichen Betriebstemperaturen arbeiten. Dazu kommt noch die ungleichmäßige Temperaturverteilung des geheizten Bimetalls, die die Steilheit der Abneigung des Bimetalls ebenfalls beeinflußt. Folge von all diesem ist, daß das geheizte Bimetall bei höherer Temperatur auf Einwirkung von gleicher Erwärmung weniger abneigt als in kaltem Zustand. Diese Nichtlinearität zeigt sich beim kompensierenden Bimetall wegen der niedrigeren Betriebstemperatur nicht, d. h. gleiche Erwärmung verursacht eine stärkere Abneigung des kompensierenden Bimetalls als die des geheizten Bimetalls.

In Abb. 7 ist in Funktion der Zeit die Verminderung der resultierenden Abneigung nach Erreichen eines maximalen Wertes zu beobachten. Verursacht wird diese Erscheinung einerseits durch die Stromverminderung infolge der Spulenerwärmung, andererseits durch die erhebliche Abweichung der Erwärmungszeitkonstanten des geheizten Bimetalls und der Auslösungseinheit (als System). Das Kompensationsbimetall registriert nämlich nur die Erwärmung der letzteren. Beide Wirkungen lassen sich durch gewisse Unterkompensation ausgleichen.

Laut Vorgeführten scheint im Fall vom Auslöser 1000 A das beim 0,8 mm breiten Ende unterstützte Bimetall in betriebswarmen Zustand die beste Kompensation zu geben. Aus Abb. 7 geht hervor, daß während des transienten Betriebs die Verminderung der resultierenden Abneigung gering ist (in 60 Minuten 0,03 mm).

Mit den Versuchen der Gruppe VI wurde die ausgewählte Kompensationsmethode in Unterbrecher montierten Auslösern unter normalen Betriebsverhältnissen kontrolliert. Die in Abb. 8 dargestellten resultierenden Abneigungskurven beweisen, daß bei den 400 A Auslösern nach der ersten Aufheizung eine vollständige Kompensation erreicht wurde, hingegen sich bei den 1000 A Auslösern eine geringfügige Überkompensation zeigte. Die resultierende Abneigung des der Abkühlung folgenden zweiten Heizzyklus verlief um 2—3% über die Kurve der aus kaltem Zustand ausgehenden Messungen. Dies bedeutet, daß die Auslöser in transientem Zustand geringe Unterkompensation aufweisen. In höherer Raumtemperatur läßt sich folglich eine Verkürzung der Auslösezeiten erwarten.

Zusammenfassung

Eine wärmetechnische Analyse des Bimetallauslöser ist zwecks richtiger Auswahl der Temperaturkompensationsmethode und wegen der den Normvorschriften entsprechenden Eichung notwendig. Es wurde gefunden, daß eine unter statischen Verhältnissen befriedigende Temperaturkompensation in transientem Betriebszustand gegebenenfalls eine fehlerhafte Funktion des Motorschutzes hervorrufen kann.

Eine Prüfung auf Grund der Messung der Kenndaten der Temperaturkompensation und der geheizten Bimetalleinheit und eine Analyse der Erwärmungserscheinungen ermöglicht die Wahl und Planung der optimalsten Schutzseinheit mit verlässlichstem Betrieb.

Es wurden der thermische Einfluß und Wirkungsmechanismus dieser Parameter ermittelt. Man berichtete über die zyklischen Erwärmungsmessungen (Erwärmung, Gestaltung des sekundären Stroms) und ihre Ergebnisse an selbständigen und in 1000 A Unterbrecher montierten Auslösern unter Betriebsverhältnissen.

Literatur

1. BODNÁR, GY.: A motorvédelem lehetőségei hagyományos és újabb megoldásokkal. (Herkömlische und neuere Motorschutzmöglichkeiten.) Villamosság, 20 (1972) 65.
2. BLASCHKE, H.: Motorvédelem. (Motorschutz.) Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976. 52.
3. IMRE, L.—MÁTHÉ, I.: Elektronikus motorvédő szimulátorok. (Elektronische Motorschutzsimulatoren), Elektrotechnika, 68 (1975) 362.
4. MOLNÁR, I.—VIMI, J.: Villamos készülékek felépítése és működése. (Aufbau und Betrieb elektrischer Geräte) Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977. 128.
5. Motorschutz für die Praxis. SIEMENS Ag., Best.-Nr. E22 G/120 a, 12.
6. A HGA 1000 típusú hőkioldóegység fejlesztése II. és III. rész. (Entwicklung der Wärmeauslöserseinheit Typ HGA 1000, Teil I und III) Institut für Starkstromtechnik, Technische Universität, Budapest. 1975., 1976.
7. Normvorschrift KGSZ 45. 3154-71
8. Normvorschrift VDE 0660

Károly SZANDTNER, H-1521 Budapest