

4.53 Der Bimetallstreifen

4.531 Bau- und Wirkungsweise

Er besteht, wie schon der Name sagt, aus zwei Metallen mit verschiedenen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Früher verwandte man dazu Messing und Stahl, jetzt ausschließlich zwei hochwertige, besonders für diesen Zweck geeignete Nickelstähle, die durch Warmwalzen, Warmpressen oder Schweißen fest miteinander verbunden sind. Dieser zweischichtige Metallstab oder Metallstreifen erleidet bei Erwärmung je nach seiner Grundform eine Krümmung oder eine Streckung und ist daher in der Lage, einen Kontakt zu betätigen oder seine geringe Kraftwirkung auf einen Mechanismus zu übertragen, der dann die Auslösung bewirkt. Um alle Neben- und Nachwirkungen, z. B. jede Federung des Streifens, auszuschließen, wird dem Element in fertiggeformtem Zustand durch eine lange Wärmebehandlung und künstliche Alterung jede Elastizität genommen, so daß es lediglich auf den Einfluß der Meßstromwärme reagiert.

Bild 47, a stellt das Bimetallelement (ältere Ausführung) eines Motorschutzschalters kleiner Nennstromstärke bis 10 A der EAW J. W. Stain, Berlin-Treptow, dar, und zwar links bei normaler Belastung, rechts nach dem Ansprechen durch Überstrom, also im gestreckten Zustand. Der U-förmig gebogene Bimetallstreifen k ist mit einer vom Betriebsstrom durchflossenen Heizwicklung k_1 aus Chromnickelband eng umwickelt (Bild 48 links) und mit dieser metallisch verbunden, so daß Heizwicklung und Bimetall im Stromkreis hintereinandergeschaltet sind. Der Motorstrom durchfließt demnach Heizwicklung *und* Streifen, erwärmt also das Bimetall indirekt und direkt. Die Isolationsschicht zwischen Heizwicklung und Auslöseelement ist so dünn und der Wärmewiderstand so gering, daß eine Wärmestauung mit merkbarer zeitlicher Verzögerung nicht eintritt.

Bei genügend hohem Überstrom von ausreichender Dauer wird der Bimetallstreifen k in der Richtung des Pfeiles aufgebogen, sein Ende erreicht den Auslösestift l , hebt

diesen auf und bewirkt damit eine Drehung der Auslösewelle *o*, die die Verklüpfung des Motorschutzschalters aushebt. Mit dieser Einrichtung ist gleichzeitig ein selbstwirkender Schutz gegen Überlastung des thermischen Gliedes gegeben. Wird nämlich der Bimetallstreifen bei fortgesetztem Wiedereinschalten auf höhere Überströme, mehr

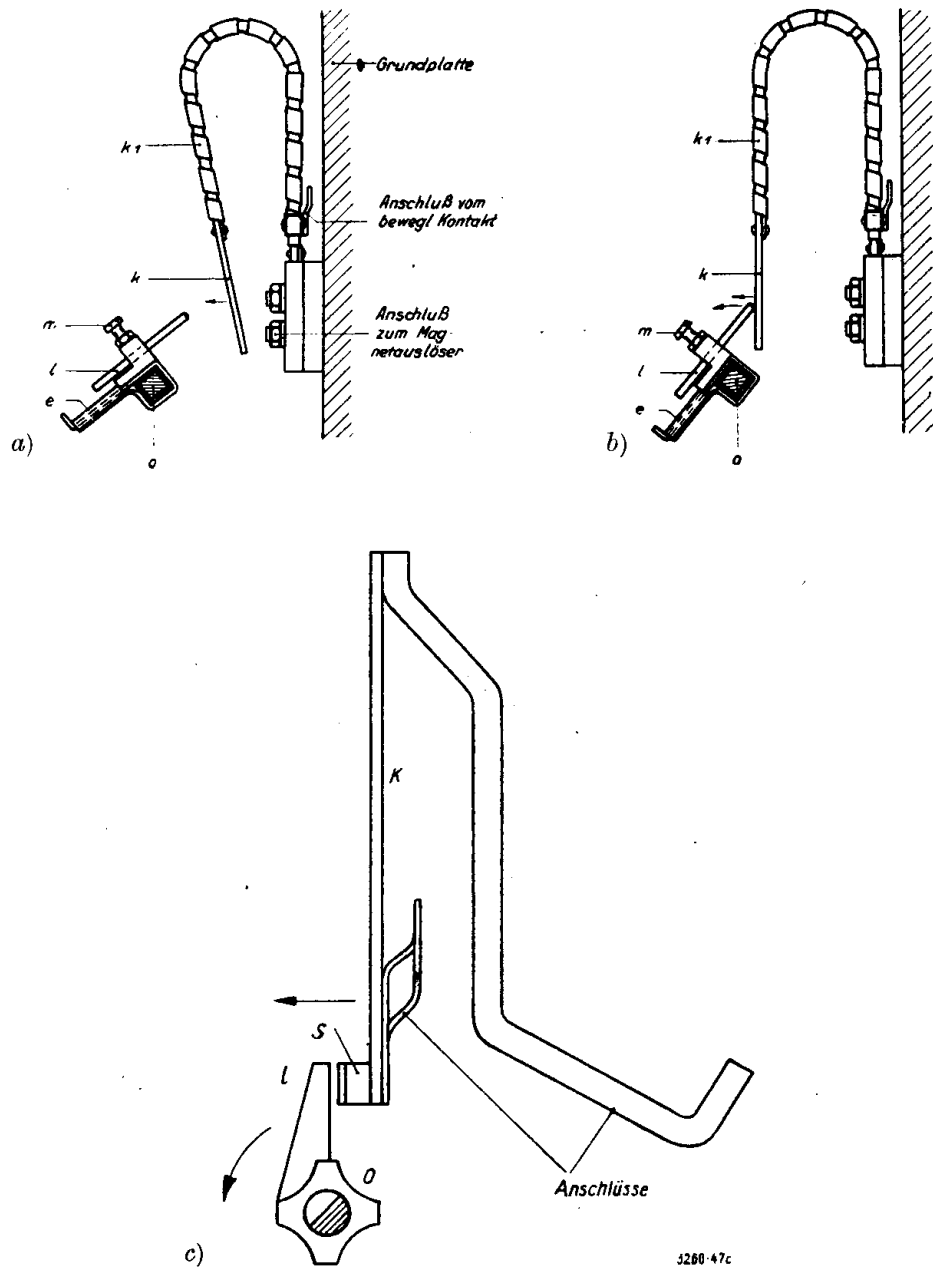


Bild 47. Schematische Darstellung der Wirkungsweise eines Bimetallelements für kleine Nennströme

a) Betriebsfall; b) nach dem Ansprechen durch Überstrom

k Bimetallstreifen; *l* Kontaktstift; *e* Einstellskala; *s* Stellblech; *k*₁ Heizwicklung; *m* Kordelschraube; *o* Auslösewelle

noch bei wiederholtem Anlaufversuch, so heiß und seine Durchbiegung so groß, daß durch seinen kontinuierlichen Druck auf den Auslösestift l die Auslösewelle o in ihrer äußersten Endlage festgehalten wird, so ist ein Verklappen der Freiauslösung und ein weiteres Zuschalten unmöglich. Durch Verstellung des Stiftes l nach Lösen der Rändelschraube m kann der Weg zwischen dem Bimetallement und dem Auslösestift verlängert oder verkürzt und damit die Höhe des Auslösestroms I_a gewählt werden. Die

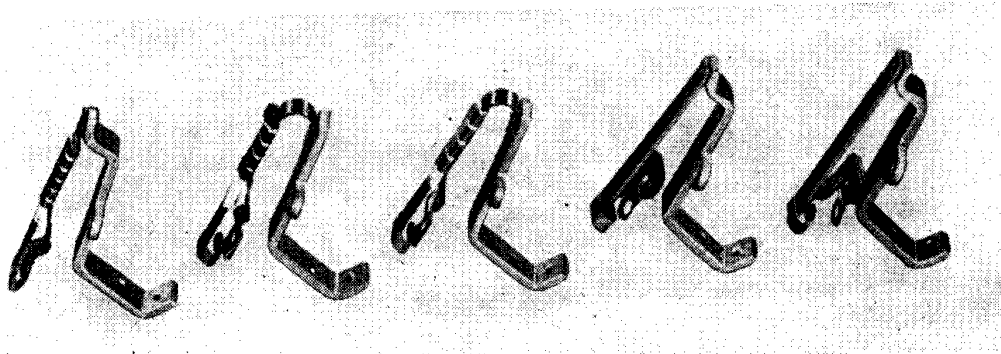


Bild 48. Direkt und indirekt beheizte thermische Elemente für verschiedene Einstellbereiche beim MSB 25 von den EAW J. W. Stalin, Berlin-Treptow

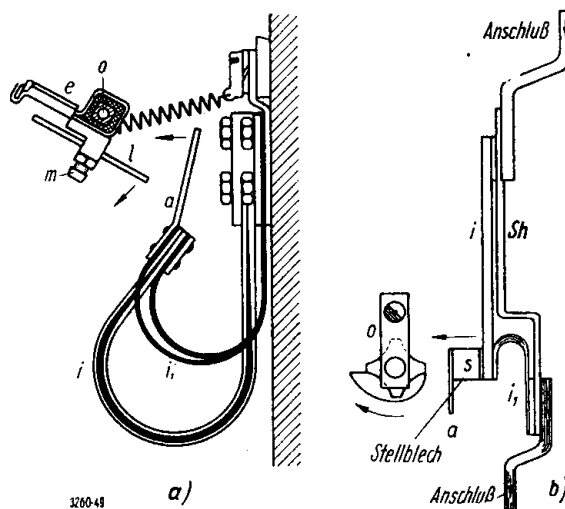


Bild 49. Bild und Wirkungsweise von Bimetallementen für höheren Nennstrom

i Bimetalstreifen; i_1 Flexible Stromzuführung; Sh Shunt; a Ansatz des Bimetalstreifens; m Einstellkordel; e Einstellskala; l Kontaktstift; s Stellblech o Auslösewelle

Skala e ist deshalb entweder direkt nach dem Einstellstrom I_e oder im Verhältnis I_e/I_{na} (Einstellstrom zu Auslösenennstrom) geeicht. Der Wert I_e entspricht dabei dem Nennstrom I_{nM} des zu schützenden Motors. Der Grenzstrom I_g , bei dem die Auslösung nach unendlich langer Zeit, praktisch nach 1 bis 2 Stunden erfolgt, liegt um 15% höher als der Einstellstrom bzw. der Motornennstrom. Bild 47, b und 48 stellen Auslöseelemente neuer Bauart für 10 und 16 A dar.

Der in Bild 49, a dargestellte Bimetalstreifen älterer Bauart für höheren Nennstrom, ebenfalls von den EAW J. W. Stalin, Berlin-Treptow, ist im Prinzip gleichartig gebaut; er

hat nur keine Heizwicklung, sondern wird vom Meßstrom selbst durchflossen, also nur *direkt* beheizt. Der Anschluß an den Stromkreis erfolgt über ein hochflexibles Band i_1 , das die mechanische Verformung des thermischen Gliedes weder hindert noch beeinflußt. Bei einer bestimmten Erwärmung erfolgt, wie schon geschildert, Berührung des Kontaktstiftes l und Drehung der Auslösewelle o . Die Einstellung der Weglänge, die der Ansatz a des Bimetalls zurückzulegen hat, um durch Berührung des Auslösestiftes l die Drehung von o einzuleiten, d. h. also praktisch, der Einstellstrom I_e läßt sich, wie oben bereits angegeben, auf der Skala e wählen. Diese ist entweder in Ampere oder im Verhältnis I_e/I_n geeicht. Bei $I_{nM} = 52$ A kommt z. B. der thermische Auslöser mit dem Einstellbereich 40 bis 64 A zur Verwendung. Der Zeiger wird auf 52 A oder auf $52/40 = 1,3$ gestellt. Bild 49, b zeigt die neuartige Form eines Bimetallelements für höhere Stromstärke mit geshuntetem Streifen. Die Wirkungsweise ist die gleiche. Die Überstrom-Zeit-Kennlinie eines solchen Auslösers ist in Bild 50 dargestellt. Aus ihr ist zu erkennen, daß die Kennlinie für den oberen Einstellstrom der Skala I_{eo} von dem für den unteren Einstellstrom I_{eu} verschieden ist. Das ist bei der Verwertung der Kennlinien zu beachten. Die Rückstellzeit normaler Formen beträgt 10 bis 30 s, ist also wesentlich kürzer als die theoretisch auf Grund der VDE-Werte für den Motor ermittelte (s. Abschnitt 4.514).

4.532 Genauigkeit und natürliche Fehlerquellen [40]

Sollen Bimetallelemente oder Dehnungsbänder im Betrieb zufriedenstellend funktionieren, so muß, abgesehen von einer präzisen Verarbeitung allerbesten, technologisch sorgfältig ausgewählten Materials, vor Verwendung eine sachgemäße Eichung vorgenommen werden. Diese ist oftmals zeitraubender und kostspieliger als die Herstellung selbst. Und trotzdem bleiben dann immer noch die Auswirkungen einiger natürlicher Fehlerquellen und unvermeidbarer Fehler bestehen. Diese sind außer der Streuung, bedingt durch Materialtoleranzen (kleine Dickenunterschiede, Abweichungen im Elastizitätsmodul, spezifischer Widerstand, Abstrahlungskoeffizienten), meist durch den Umstand hervorgerufen, daß der Überstrom in ein, zwei und drei Phasen gleichzeitig auftreten kann, wie das bei starker einphasiger Überlastung, Zweiphasenlauf usw. ohne weiteres betriebsmäßig möglich ist. Da die Stromstärke der Auslöseelemente die Temperatur der unmittelbaren Umgebung bestimmt und diese wieder eine starke Rückwirkung auf den Auslöseweg und damit auf die Auslösezeit hat, ist es nicht gleichgültig, ob die Erwärmung des Geräts nur von einem oder von drei Elementen her erfolgt. Es tritt also ein Fehler durch die *Temperaturschwankung* auf, der bei Bimetallauslösern 5 bis 7%, bei Dehnungsbändern 3 bis 5% betragen kann. Der Unterschied ist dadurch hervorgerufen, daß die tatsächliche Temperaturschwankung von 0 bis 5° C sich auf die Höchsttemperatur des Bimetallstreifens von 60 bis 70° C stärker auswirkt als auf die bei rund 200° C liegende des Dehnungsbandelements.

Weiterhin ist es nicht gleichgültig, ob die mechanische Kraft zur Drehung des Auslöseschalters nur vom Bimetallstreifen oder Dehnungsband einer einzigen Phase aufgebracht werden muß oder von allen drei Elementen gemeinsam. Da die Eichung des Schutzgeräts bei gleichzeitiger Überlast in allen drei Phasen erfolgt, treten bei Überlastung von nur einer oder zwei Phasen durch die mechanische Überbeanspruchung des arbeitenden Wärmegliedes Verformungen auf, die den Schaltweg verkleinern. Die Folge davon ist, daß ein höherer Strom aufgebracht werden muß, um die Auslösung zu bewirken. Es können deshalb an zusätzlichen *Verformungsfehlern* bei Bi-

metall rund 5 bis 7%, bei Dehnungsband rund 3 bis 5% dazukommen. Die Werte gelten für gute Konstruktion und können praktisch noch stark überschritten werden. Der Einwand, daß auch der Motor bei nur einphasiger oder zweiphasiger Belastung eine höhere Erwärmung der betroffenen Wicklung aushält, weil sich ein gewisser Temperaturengleich zu den kalt gebliebenen Teilen des Motors einstellt, so daß dadurch eine Reduktion des angegebenen Fehlers entsteht, ist richtig, doch hat er wenig praktische Bedeutung. Wenn nur die Stromerwärmung selbst betrachtet und die Wirkung

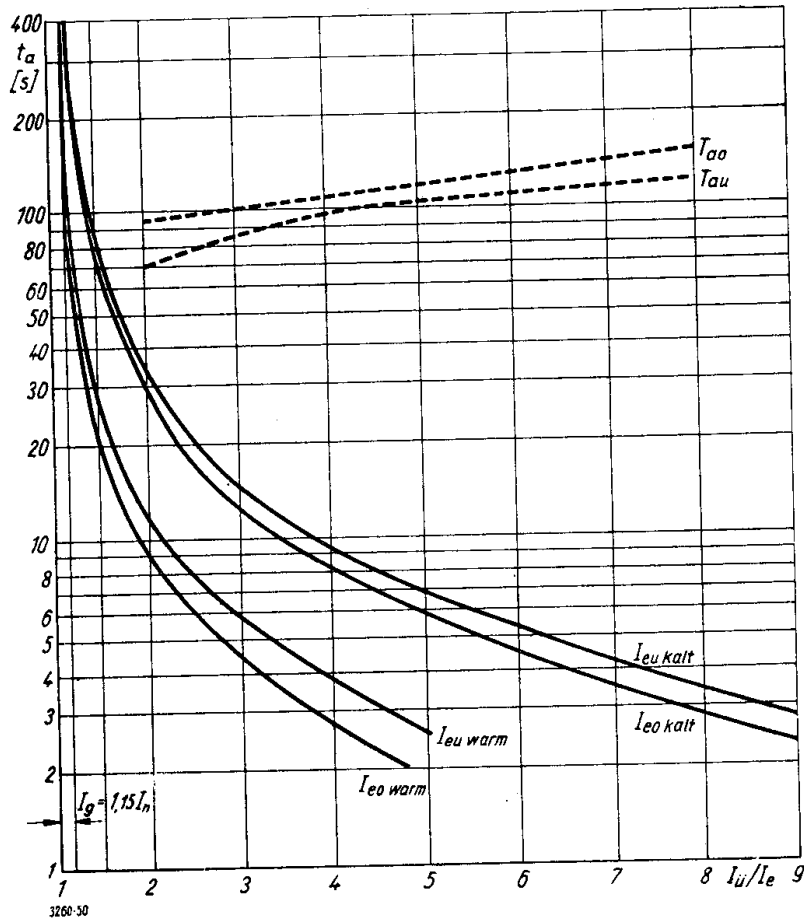


Bild 50. Überstrom-Zeit-Kennlinie eines Bimetallelements

der zusätzlichen Verlustwärmequellen außer acht gelassen wird, so könnte der Motor mit nur einer stromdurchflossenen Phase die dreifache Stromerwärmung, also den $\sqrt{3}$ -fachen Strom ($1,73 I_n$), bei zweiphasigem Stromdurchfluß analog die $3/2$ -fache Erwärmung also den $\sqrt{1,5} = 1,225$ -fachen Nennstrom aufnehmen, ohne die zulässige Höchsttemperatur zu überschreiten. Der einphasige Überlastungsfall kommt nur bei Nullpunktserdung, der zweiphasige bei Unterbrechung einer Zuleitung vor (s. Abschnitt 3,2). Die genannten Werte reduzieren sich praktisch auf 1,2 bzw. 1,1, so daß der Einfluß auf den angegebenen Fehler nur von untergeordneter Bedeutung ist.

Die Arbeitsweise des Bimetallstreifens bringt es mit sich, daß sich die Krümmung oder Streckung, der allmählichen Erwärmung folgend, nur schleichend vollzieht, so daß der Druck am Anfang der Berührung nur schwach ist und erst mit zunehmender

Erwärmung stärker wird. Die elektrische Kontaktgabe durch einen Bimetallstreifen ist deshalb unsicher, schwankend und kann zu Unterbrechungen und Fehlbetätigungen, ja sogar zu Verschmorungen an den Kontakten führen. Deshalb vermeidet man den Einsatz von Bimetallgliedern für die elektrische Kontaktgabe und läßt sie auf mechanische Auslöseorgane wirken, wie das in Bild 47 und 49 zu erkennen ist. Man kann auch durch besondere konstruktive Maßnahmen erreichen, daß die allmähliche Durchbiegung des Streifens zu einer sprunghaften, plötzlichen Betätigung der nachgeordneten Arbeitselemente führt, wie es aus Bild 52 deutlich hervorgeht.

4.533 Einfluß der Umgebungstemperatur

Die Eichung der Schutzglieder in bezug auf den Zusammenhang von Ansprechstrom und Auslösezeit erfolgt vorschriftsmäßig bei 20° C. Im praktischen Betrieb schwankt

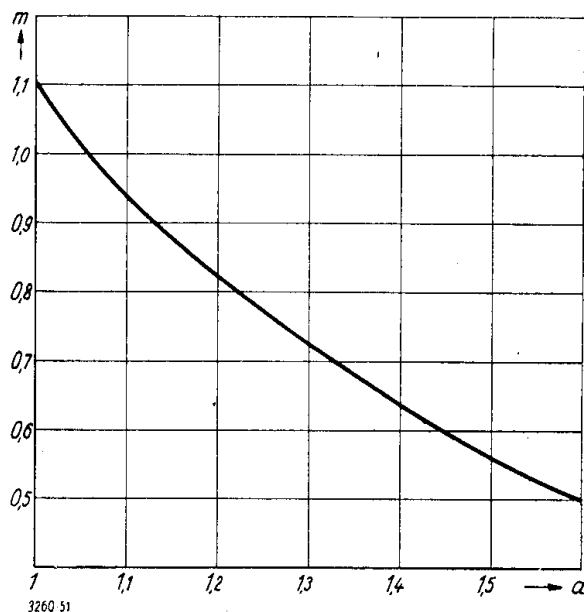


Bild 51. Mittlere prozentuale Grenzstromverminderung je °C steigender Raumtemperatur abhängig von der Skaleneinstellung a

Bei Skaleneinstellung $a = 1,4$ und 50° C Raumtemperatur beträgt die Grenzstromverminderung (50-20)° C $\cdot m = 30 \cdot 0,64 = 19,2 \approx 20\%$.

die Raumtemperatur, d. h. die Umgebungstemperatur von Motor und Schutzeinrichtung, jedoch zwischen + 5° und + 50° C, also um - 15° C nach unten und + 30° C nach oben. Mit ihr wechselt bei Festhalten der in den VDE 0530 vorgeschriebenen Temperaturhöchstwerte $\tau_0 + \tau_{\max}$ die dem Motor zumuthbare Strombelastung und die von ihr abhängige Erwärmung τ . Wenn sich Motor und Schutzgerät im gleichen Raum befinden, also unter dem Einfluß der gleichen Umgebungstemperatur stehen, sich mit dem τ_0 gleichzeitig das ϑ_0 ändert, so erreicht auch das thermische Element seine Endtemperatur gleichzeitig mit dem Motor bei einem kleineren oder größeren Überstrom, das Zusammenwirken von Motor und Schutz ist also gewährt. Praktisch trifft das jedoch nicht zu, denn erstens kommt es sehr häufig vor, daß der Motorschutzschalter auf einer Schalttafel unter völlig anderen Temperaturverhältnissen untergebracht ist, zweitens wird zur Erzielung größerer Skalenslängen, d. h. einer genaueren Einstellbar-

keit, die Arbeitstemperatur des Auslösers viel höher gewählt als die des Motors, so daß der Einfluß der Raumtemperaturschwankung ein relativ ganz anderer ist, drittens liegt in der Arbeitsweise des üblichen thermischen Schutzgliedes selbst noch eine Fehlerquelle. Bei den eben beschriebenen marktgängigen Auslöseeinrichtungen wird die Einstellung des Auslösestroms durch eine Veränderung des Arbeitsweges (s. Bild 47, 49), also der diesem Wege zugeordneten Arbeits- bzw. Auslösetemperaturen, bewirkt. Damit aber ergibt sich zwangsläufig eine gewisse Abhängigkeit der Auslösetemperatur von der Skalenstellung. Es ist demnach höchstens für einen, nicht aber für alle Punkte der Skala zu erreichen, daß die Auslösetemperaturen den Motorwicklungstemperaturen präzise entsprechen, für alle anderen Punkte muß eine gewisse Abweichung in Kauf genommen werden. Zu umgehen ist dieser Übelstand nur dann, wenn die Stromeinstellung unabhängig vom Arbeitsweg gemacht, also durch einen Nebenschluß oder durch einen Regeltransformator bewirkt wird. Bei den möglichst einfachen, für die normalen Motorschutzschalter verwendeten thermischen Gliedern mit Arbeitswegeinstellung muß man sich mit der Tatsache abfinden, daß zwischen Raumtemperatur und Grenzstrom eine gewisse Abhängigkeit besteht, die sich so auswirkt, daß abhängig von der Skalenstellung der Grenzstrom mit steigender Raumtemperatur sich vermindert, wie das Bild 51 rein instruktiv darstellt [29].

4.534 Vermeidung der Fehler durch konstruktive Maßnahmen

Das nachstehend beschriebene thermische Element eines Sekundärrelais vermeidet diese Abhängigkeit von der Raumtemperatur in hohem Maße, weil durch einen thermischen Kompensationsstreifen ihr unmittelbarer Einfluß ausgeschaltet wird und die AuslösestromEinstellung durch einen Nebenschluß erfolgt. Bild 52 gibt ein schematisches Bild der thermischen Auslöseeinrichtung des Bimetallüberstromzeitrelais RSZt der EAW J. W. Stalin, Berlin-Treptow.

Der Bimetallstreifen *1*, das eigentliche Arbeitselement des Relais, ist in der Achse *3* drehbar gelagert und mit dem zur Raumtemperaturkompensation dienenden Bimetallstreifen *4* fest verbunden. Der Streifen *1* wird indirekt durch die vom Sekundärstrom eines Wandlers durchflossene Heizwicklung *2* erwärmt. Das obere Ende des Streifens liegt unter der Klinke *5*, die mit dem Kontakthebel *6* um die Achse *7* drehbar ist. Bei Überschreitung des Nenn- bzw. Einstellstroms biegt sich der Streifen *1* nach rückwärts so weit durch, daß sein oberstes Ende von der Klinke *5* abrutscht. Feder *8* zieht in diesem Augenblick den mit *5* verbundenen Kontaktflügel *6* an und bewirkt schlagartige Kontaktgabe. Es wird damit die als nachteilige Eigenschaft der thermischen Relais erwähnte schleichende, daher unsichere Wirkungsweise völlig vermieden. Bei Abkühlung biegt sich der Streifen *1* wieder gerade. Da das obere Ende an der Klinke *5* gehalten wird, muß eine Drehung des unteren Endes um die Achse *3* erfolgen. Der mit *3* fest verbundene Streifen *4* macht die Drehung mit, hebt dabei den Flügel *6* und die Klinke *5* an, bis der Streifen *1* unter diese rutschen kann. Dabei aber wird der Kontakt *4* mit Hilfe der Feder *9* ebenfalls schlagartig und nicht schleichend wieder geöffnet.

Der Streifen *4*, der den gleichen Querschnitt wie Streifen *1* hat, krümmt sich unter dem Einfluß der Außentemperatur genau wie dieser und veranlaßt dabei eine Drehung des ganzen Systems um die Achse *3*, so daß trotz wechselnder Außentemperatur der Verklüpfungsweg des Streifens *1* an Hebel *5* der gleiche bleibt und die Auslösezeit von der Temperaturschwankung nicht beeinflusst wird.

Die Einstellung des Auslösestroms wird nicht wie bei dem früher beschriebenen Bimetallement durch Veränderung der Länge des Auslöseweges bewirkt, sondern durch

Einstellung des Nebenschlußwiderstandes *10*, der zur Heizwicklung parallelgeschaltet ist und je nach der Wahl der Stromabgriffe einen mehr oder minder großen Teil des Wandler-Sekundärstroms durch die Heizwicklung fließen läßt. Damit wird aber die eben als typische Fehlerquelle des Bimetallauslösers beschriebene Abhängigkeit des Ansprechstromes von der Länge des Kontrollweges vermieden.

Das beschriebene Relais stellt also eine sehr vollkommene Form des thermischen Auslösegerätes dar.

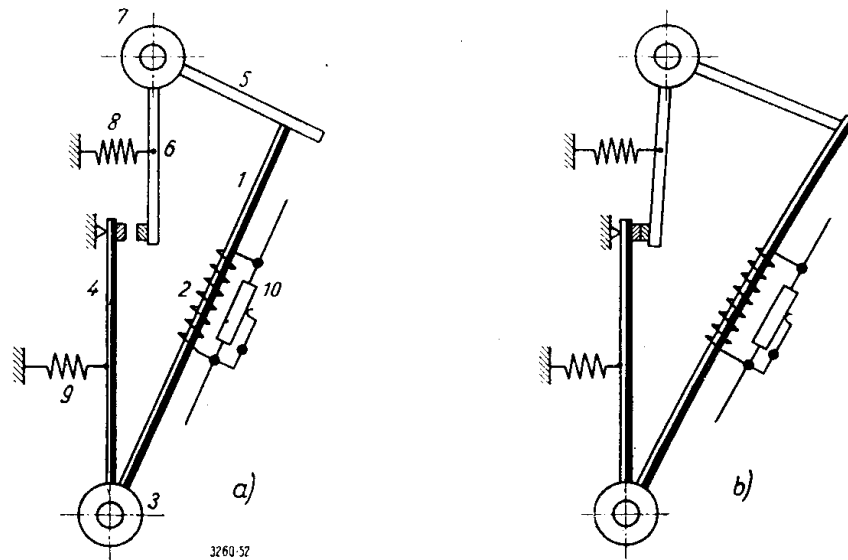


Bild 52. Prinzip und Wirkungsweise des thermischen Gliedes eines RSZ *t*-Relais der EAW J. W. Stalin, Berlin-Treptow

a) Betriebsfall; b) nach dem Ansprechen