

4.4 Die Formen des elektromagnetischen Schutzes

Um die Übelstände der Schmelzsicherungen – das sind einpolige Unterbrechung dreiphasiger Stromkreise, Ersatz des Auslöseorgans nach jedem Ansprechen, die damit verbundene Betriebsunterbrechung, nicht zuletzt die Gefährdung der Bedienungsmannschaft – auszuschließen, wurden als Schutzeinrichtung schon sehr früh die verschiedenartigsten elektromagnetischen Auslöser, Relais und Schutzschalter gebaut und mit Erfolg verwendet. Ihr Prinzip ist sehr einfach und besteht darin, daß ein vom überwachten Betriebsstrom direkt oder unter Zwischenschaltung von Stromwandlern indirekt durchflossener Magnet seinen Platten- oder Klappanker anzieht, wenn eine bestimmte Stromstärke erreicht oder überschritten wird. Dieser Anker löst dann unmittelbar oder über Zwischenorgane eine Verklüpfung (Schloß, Freilaufkupplung), die den Stromkreisschalter ohne Verzug zum Herausfallen bringt. Die Ansprech- bzw. Auslösestromstärke ist entweder durch Verstärkung oder Abschwächung des Zuges einer Feder, die den Anker vom Magnetkern wegzieht oder durch Einstellung des Abstandes von Magnetkern und Anker wählbar.

Im Laufe der Zeit haben sich, um speziellen Forderungen und Wünschen zu entsprechen, verschiedene Formen von magnetischen Auslösern mit bestimmten Auslösekennlinien entwickelt.

4.41 Die stromunabhängige Form

Dieser magnetische Auslöser spricht an, wenn der Motorstrom einen einstellbaren Auslösestrom, ganz gleich, ob nur geringfügig (schwache Überlast) oder um ein Vielfaches (Kurzschluß) überschreitet. Die Auslösung erfolgt in beiden Fällen plötzlich ohne Zeitverzögerung. Ist eine solche notwendig, so muß der Überstromauslöser mit einem unabhängig wirkenden Zeitwerk kombiniert werden, das die Auslösung nach einer einstellbaren Zeit bewirkt. In jedem Fall ist aber, wie schon der Name des Relais angibt, die Auslösezeit unabhängig von der Stärke des zu überwachenden Stromes.

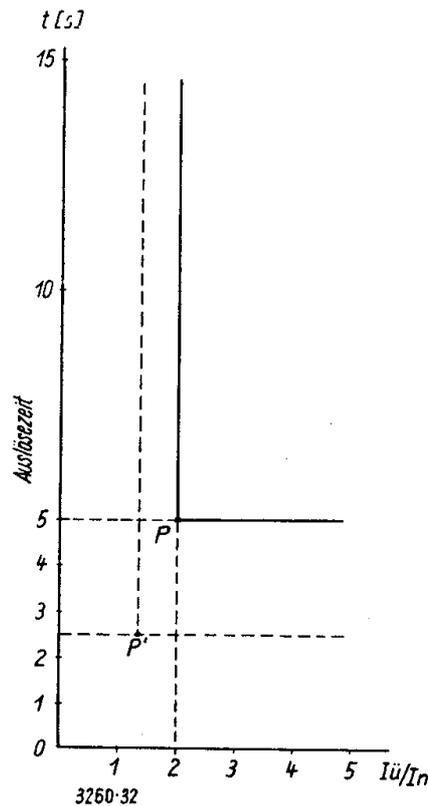


Bild 32. Kennlinie eines magnetischen Überstrom-Zeitrelais mit unabhängiger Charakteristik
 P Einstellung auf 2fachen Nennstrom und 5 s; P' Einstellung auf 1,4fachen Nennstrom und 2,5 s

Die Auslösecharakteristik (Bild 32) setzt sich aus zwei Linien zusammen: die des Stromrelais selbst wird durch eine zur Zeitachse parallele Gerade dargestellt und besagt, daß die Abschaltung bei Erreichung des eingestellten Stromwertes zeitunabhängig erfolgt; die Kennlinie des Zeitwerks bringt durch ihren zur Stromachse parallelen Verlauf zum Ausdruck, daß, unabhängig von der Höhe des Überstromes, die Abschaltung in allen Fällen nach Ablauf der eingestellten Zeit vor sich geht, wenn das Stromrelais angesprochen hat und das Ausschaltkommando die Einstellzeit über aufrechterhalten bleibt. Den Schnitt der beiden charakteristischen Linien bildet der Arbeitspunkt P. Er muß oberhalb der Anlaufkennlinie des Motors liegen. Bei diesem Vergleich ist die Umformung der Anlaufkennlinie des Motors nach Abschnitt 4.2 nicht nötig, weil sie genau wie diese, eine reine Stromzeitabhängigkeit darstellt.

Wenn die Einrichtung auch mit großer Präzision arbeitet, so ist sie doch für den Motorschutz allein nicht geeignet, weil sie die Hauptbedingung – das ist die Anpassung an die tatsächlichen Erwärmungsverhältnisse des Motors – noch schlechter erfüllt als die Schmelzsicherung und weder den Anlauf noch eine ganz kurzzeitige Überlastung zuläßt, wenn sie nicht auf so hohe Ansprechstromstärke oder eine so lange Auslösezeit eingestellt ist, daß sie den Motor gegen eine gefährliche Dauerüberlastung bzw. eine hohe Stoßbeanspruchung nicht schützt. Auch die Kombination mit einem Zeitwerk bringt demnach keine vollkommene Lösung. Sie verhindert zwar die Abschaltung durch den Anlaufstrom oder eine kurzzeitige Überlastung, nicht aber, daß der Motor bei einem mißglückten Anlaufvorgang oder bei einem heftigen Kurzschluß zu Schaden kommt, versagt also sowohl im Bereich der niedrigen als auch der hohen Überströme.

Ein Vorteil der starren Auslösezeit ist die zwanglose Eingliederungsmöglichkeit in Schaltungen des selektiven Anlagenschutzes; bei ihnen kommt es darauf an, daß das Schutzgerät, das in der Strombahn dem Kraftwerk näher liegt, jeweils die längere Auslösezeit hat, damit immer das der Fehlerstelle am nächsten liegende Relais die Trennung bewirkt und nur den kranken Teil vom Netz trennt, ohne den Betrieb des gesunden zu stören. Diese für den selektiven Netzschutz unerläßliche Bedingung ist aber für den Motorschutz als solchen uninteressant; deshalb werden, wie oben bereits erwähnt, Überstromauslöser mit stromunabhängiger Kennlinie allein für diesen Zweck nicht verwendet. In Verbindung mit thermischen Schutzgliedern jedoch spielen sie eine maßgebliche Rolle; denn sie stellen einen idealen Kurzschluß- und Katastrophenschutz dar, wenn ihnen nur die Aufgabe zugedacht wird, beim Auftreten eines hohen Störstroms schnell und mit großer Zeitgenauigkeit abzuschalten. Bei der Behandlung des Selektivproblems (Abschnitt 4.8) und der Darstellung des Motorschutzschalters (Abschnitt 5) wird davon noch ausführlich die Rede sein.

4.42 Der stromabhängige Auslöser

Wird das Zeitwerk so gebaut, daß die mit der Höhe des Überstroms wachsende Zugkraft des Magneten eine Verkürzung der Ablaufzeit zur Folge hat, so entsteht eine Auslösekennlinie, wie in Bild 33. Die Zeit bis zur Abschaltung des gefährdeten Motors steht im umgekehrten Verhältnis zum wirkenden Strom. Der Auslösestrom ist auf der Stromskala des Geräts einstellbar, gewöhnlich als Verhältniswert zwischen den 1,2- (1,4-) bis 2fachen Nennstrom. Die diesen Auslösewerten koordinierten Anfangszeiten lassen sich mit Hilfe eines Zeigers auf der Zeittafel wählen, so daß sich die in Bild 33 eingetragenen, je nach Strom und Zeiteinstellung verschiedenen Kennlinien ergeben. Beim Erreichen oder Überschreiten eines bestimmten Stromwerts, der je nach Höhe des gewählten Auslösestroms zwischen dem 4- und dem 6fachen Nennstrom liegt, erfolgt Schnellauslösung, die Verzögerungszeit wird Null. Praktisch erzielt man das dadurch, daß der Anker das Zeitwerk durchreißt.

Es ist leicht einzusehen, daß diese Art des magnetischen Auslösers sich den Betriebsbedingungen eines Motors besser anpaßt als die unter 4.41 beschriebene stromunabhängige Form. Da aber die Länge der Auslösezeit von der Stromstärke und nicht von deren quadratischem Wert abhängt, also die Erwärmungsverhältnisse nur unvollkommen berücksichtigt, ist auch mit dieser Einrichtung kein idealer Schutz zu erzielen. Abgesehen davon, liegt bei diesen Auslösern der niedrigste Ansprechwert meist beim 1,4fachen, selten beim 1,2fachen Nennstrom des Motors. Bei diesen für den Dauerbetriebsschutz des Motors schon bedenklich hohen Werten ist die Auslösezeit

sehr lang. Eine Einstellung auf niedrigeren Nennstrom verbietet sich aber wegen des Anlaufs und mit Rücksicht auf die Vermeidung von Betriebsunterbrechungen von selbst. Es ist deshalb verständlich, daß das früher auch für den Motorschutz häufig angewendete Gerät nach der Einführung des thermischen Auslösers auch bei Hochspannungsmotoren seine Bedeutung fast ganz verloren hat.

Beim Leitungsschutz hat es nach wie vor sein Anwendungsgebiet. Weil es im Kurzschlußfall ohne Verzug trennt, eine sichere Zeitstaffelung also nicht zuläßt, wurde eine dritte Form geschaffen.

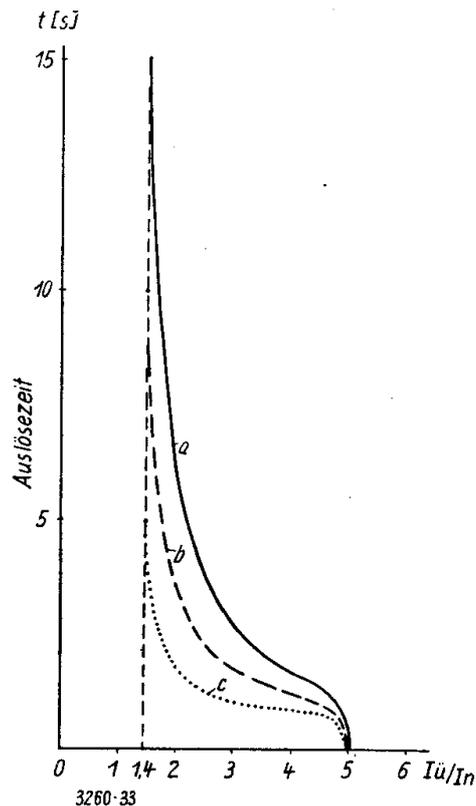


Bild 33. Kennlinie eines magnetischen Überstrom-Zeitauslösers mit stromabhängiger Charakteristik

- a Einstellung auf 1,4fachen Nennstrom und 15 s; b Einstellung auf 1,4fachen Nennstrom und 10 s;
c Einstellung auf 1,4fachen Nennstrom und 5 s

4.43 Der begrenzt (gemischt) abhängige Auslöser

Dieser Auslöser vereinigt die Eigenschaften des unabhängigen und des abhängigen Geräts. Wie Bild 34 zeigt, verläuft bis zum 4- bis 5fachen Nennstrom die Kennlinie wie bei 4.42, also stromzeitabhängig, im Gebiet der höheren Stromstärken jedoch wie bei 4.41, also mit konstanter, einstellbarer Auslösezeit. Für den Motorschutz selbst hat das untergeordnete Bedeutung, wohl aber für den selektiv gestaffelten Netzschutz in Verbindung mit Motorstromkreisen, von dem noch die Rede sein wird (s. Abschnitt 4.7).

Die Kurzschlußfestigkeit elektromagnetischer Auslöseeinrichtungen ist relativ hoch. Die durch thermische und dynamische Beanspruchung gefährdeten Wicklungen müssen auf Grund der geltenden Vorschriften so bemessen werden, daß sie allen im

Anwendungsbereich auftretenden Beanspruchungen gewachsen sind. Das läßt sich praktisch auch erfüllen, ohne daß diese Massenfabrikate zu groß und zu teuer werden.

Aus den vorstehenden Betrachtungen ist leicht ersichtlich, daß die elektromagnetischen Schutzeinrichtungen, welche Charakteristik sie auch haben mögen, nicht alle Bedingungen erfüllen, die der Motor von ihnen fordern muß. Als Teilgerät mit beschränkter Aufgabe sind sie jedoch unentbehrlich und ermöglichen in Verbindung mit den thermischen Einrichtungen erst die vollkommene Lösung der Aufgabe (s. Ab-

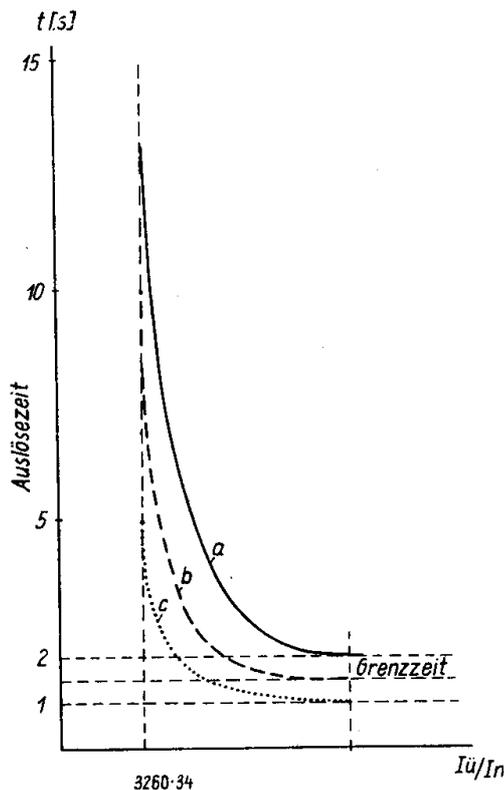


Bild 34. Kennlinie eines magnetischen Überstrom-Zeitauslösers mit begrenzt abhängiger Charakteristik

a Einstellung auf 2 s, b auf 1,5 s, c auf 1 s Grenzzeit

schnitt 4.8). Die elektromagnetischen Schutzeinrichtungen werden entweder als *Auslöser* oder *Relais* im Sinne der Ausführungen unter 4.1 gebaut und in der jeweils zweckmäßigsten Form angewendet. Das „Vorschriftenwerk Deutscher Elektrotechniker VDE“ enthält folgende allgemeingültige Regeln für elektromagnetische Schutzgeräte:

Einstellbereich für Überstromauslösung (nach VDE 0660/12.52 Tafel IX) 1 bis 4, (s. Tafel 8 im Anhang) 0670 § 30, 31)

bei unverzögerter Form: 1,2- bis 2facher Nennstrom. Zulässige Abweichung des Auslösestroms vom Einstellstrom:

± 7,5%.

Zulässige Abweichung der Auslösezeit vom Einstellwert:

± 0,3 s bei 0 bis 3 s

± 10% bei längeren Auslösezeiten.

Rücklauf, ohne daß Auslösung erfolgt, muß mit Sicherheit eintreten, wenn innerhalb von zwei Drittel der eingestellten Auslösezeit der Überstrom auf den Wert des Nennstroms zurückgeht. Die Rücklaufzeit darf dabei nicht größer als 0,5 s sein.

Halteverhältnis (Anzugsstrom: Abfallstrom eines Elektromagneten) darf nicht größer als 1,4 sein.

Spannungsgrenzen für Auslösemagneten: + 10% und - 25%.

Bei den marktgängigen Fabrikaten, besonders bei denen maßgeblicher Herstellerfirmen, werden diese Toleranzwerte oft erheblich unterschritten, weil die neuzeitlichen Steuer-, Schutz- und Überwachungseinrichtungen wesentlich genaueres Arbeiten voraussetzen. Das gilt namentlich für Überstrom- und Zeit-Relais.

4.44 Der magnetische Schnellauslöser

Die in Verbindung mit dem Motorschutz weitaus gebräuchlichste Form des magnetischen Elements ist der nur stromeinstellbare Schnellauslöser ohne Zeiteinstellungsmöglichkeit. Sein Wirkungsbereich ist das Gebiet der hohen Über- und Kurzschlußströme, die eine Abtrennung des Stromkreises vom speisenden Netz mit dem geringsten Zeitverzug nötig machen. Andererseits darf der magnetische Schnellauslöser auf betriebsmäßige Überströme, z. B. den Anlaufstromstoß, nicht reagieren. Sein Einstellbereich beginnt daher beim 4- bis 5fachen und reicht bis zum 10- bis 12fachen Nennstrom.

Bild 35 zeigt den grundsätzlichen Aufbau und die Wirkungsweise eines magnetischen Schnellauslösers, Teil des thermisch-magnetischen Sekundärrelais RSZt der EAW J. W. Stalin, Berlin-Treptow, sehr deutlich. Dem Anregemagnet 1 mit seinem weichen Eisenkern von geringer magnetischer Remanenz steht ein Eisenanker 3 gegenüber, der in einer Achse 7 drehbar gelagert und durch die Feder 5 mit dem Einstellelement 4 verbunden ist. Mit Hilfe dieses Einstellelements, dessen flügelähnlicher Ansatz als Zeiger ausgebildet ist, kann der Weg des Eisenankers 3 verkleinert oder vergrößert werden. Dadurch läßt sich auf einer Skala diejenige Stromstärke in Ampere (bezogen auf den gebräuchlichen Stromwandler-Sekundärstrom von $5 \text{ A} = I_g$) einstellen, bei der die Schnellauslösung erfolgen soll. Wird der Zeiger nach oben in den Bereich größerer Ströme verschoben, dreht sich 4 um seine Achse 6 und bewirkt, daß die Nase des Ankers an der unteren Fläche nach links gleitet. Da sich dabei der Anker 3 um die Achse 7 dreht, vergrößert sich der Abstand des Flügels vor dem Magnetkern. Der dadurch entstehende längere Anzugsweg bedingt eine höhere Stromstärke zu seiner Überwindung. Die Grenzen des Weges liegen bei 3 und 11 mm, die der Stromwandlereinstellung bei 7 und $10 I_g$. Durch das schlagartige Anziehen des Flügels 3 werden die Relaiskontakte 2 geschlossen (Stellung im rechten Bild) und damit die Auslösung elektrisch vollzogen. Es steht natürlich nichts im Wege, den Anker mechanisch auf eine Auslösewelle wirken zu lassen.

Die Wirkungsweise der magnetischen Schnellauslöser aller Motorschutzschalter entspricht im Prinzip dieser Form. Durch Austausch der Wicklung des Anregemagneten kann der Einstellbereich geändert werden. Die Ansprechzeiten der magnetischen Elemente selbst sind sehr kurz und bewegen sich in der Regel zwischen 10 bis 60 ms, liegen also in der Größenordnung von $\frac{1}{2}$ bis 3 Perioden des Wechselstroms von 50 Hz. Schnellauslöser mit Schlaganker, deren Zugkraft von der Stärke des wirkenden Stroms abhängig ist, können bei starken Kurzschlüssen Eigenzeiten erreichen, die den Schmelzzeiten üblicher Sicherungen entsprechen, also bei 5 ms liegen oder diesen Wert

noch unterschreiten. Die tatsächliche Unterbrechung des Stromkreises richtet sich aber nach der Eigenzeit des Schaltgeräts zuzüglich der Lichtbogendauer (s. Abschnitt 5.6 und 6.4), die bei normalem Motorschutzschalter im Mittel 0,03 bis 0,05 s, bei modernen Hochspannungsschaltern 0,1 bis 0,25 s, bei alten Konstruktionen, z. B. Ölschaltern, 0,3 bis 0,5 s betragen kann. Motor, Stromkreis, thermisches Glied und natürlich auch die Spule des magnetischen Schnellauslösers müssen den die Ursache der Auslösung bildenden Überstrom bzw. Kurzschlußstrom diese Zeit hindurch aushalten können, ohne Schaden zu nehmen, also kurzschlußfest sein (s. Abschnitt 5.6). Aus

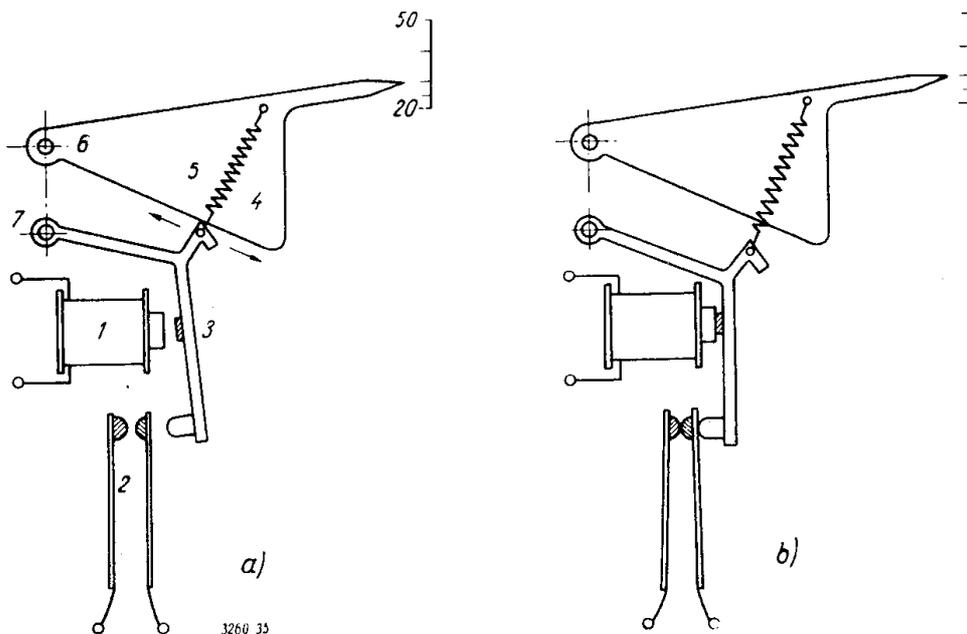


Bild 35. Wirkungsweise eines magnetischen Schnellauslösers (schematische Darstellung)

a) vor dem Ansprechen; b) nach dem Ansprechen

Gründen der Selektivität ist es unter Umständen notwendig, die extrem kurzen Abschaltzeiten der magnetischen Glieder zu verlängern. Das geschieht dann meist durch mechanische Mittel, z. B. Hemmwerke (schwingende Pendel), die die Ausschaltbewegung des Ankers verzögern. Die Zeit vom Eintritt der Bewegung bis zum Schließen des Relaiskontaktes bzw. der mechanischen Freigabe der Auslösewelle wird dadurch auf das ungefähr 5- bis 10fache vergrößert.