

Bedingt durch die im Energieversorgungsnetz vorhandenen Impedanzen führen die beim direkten Einschalten auf das Netz auftretenden hohen Ströme zu einem Spannungseinbruch. Ist das Netz sehr „weich“ ausgeführt (lange Leitungen, Transformator mit großem Wert für U_k), so kann es beim Anlaufvorgang zu großen Spannungsabsenkungen kommen. Aus der Praxis wurde an einer größeren Maschine (Baugröße 315) z.B. eine Spannungsabsenkung um 20 % bezogen auf die Bemessungsspannung festgestellt.

Welche Auswirkungen hat das auf den Motor?

Eine Auswirkung auf den Motor ist eine Absenkung des Anzugstromes in erster Näherung linear mit der Spannungsreduzierung und eine Reduzierung des Anzugdrehmomentes mit quadratischem Verlauf. Dieses kann bei entsprechend großem Gegenmoment dazu führen, dass die Maschine nicht mehr anläuft. Dieser Fall muss sicher ausgeschlossen werden und soll hier nicht betrachtet werden. Generell wird sich die Anlaufzeit verlängern. Eine weitere Annahme für die folgende Betrachtung ist, dass die Klemmenspannung des Motors nach dem Anlauf wieder im Bereich A um die Bemessungsspannung liegt (max. - 5 % Abweichung nach unten).

Auswirkungen auf den Explosionsschutz

Hier muss zunächst unterschieden werden, auf welche Art der Motor gegen Überlastung geschützt wird. Erfolgt der Schutz über Kaltleiter mit zugehörigem Auslösegerät, so ist der Motor auch bei Nichtanlauf geschützt, da der Kaltleiter den Motor bei einer absoluten Temperaturgrenze in der Statorwicklung abschaltet. Wird der Motor hingegen über einen zeitabhängigen Überstromschutz gegen unzulässige Erwärmung geschützt, so muss im Einzelfall überprüft werden, ob der Schutz vor unzulässigen Temperaturen noch gewährleistet ist. Dieses ist auch erforderlich, wenn der Motor mittels den Anzugsstrom begrenzenden Softstarter eingeschaltet wird.

Sicherstellen des Explosionsschutzes bei Anlauf mit verminderter Spannung

Für eine überschlägige Betrachtung kann der Anzugsstrom I_A als linear abhängig von der Spannung an den Motorklemmen angesehen werden. Z_{Motor} ist dabei die Impedanz der Maschine:

$$I_A \approx \frac{U_1}{Z_{Motor}} \quad (1)$$

Die Ursache für die während des Anlaufes auftretenden Erwärmungen liegt zum fast ausschließlichen Teil in den Stromwärmeverlusten begründet, für welche geschrieben werden kann:

$$P_V \approx R_i \cdot I_A^2 \quad (2)$$

R_i ist dabei der im Stillstand wirksame Innenwiderstand des Motors.

Für die Erwärmung eines Körpers mit der Wärmekapazität c kann allgemein geschrieben werden:

$$\Delta \vartheta = \frac{1}{c} \cdot \int_{t=0}^{t=t_E} P_V(t) dt \quad (3)$$

Es folgt daraus, dass sich die Erwärmung in einer definierten Zeitspanne für diese Annahme quadratisch mit dem Verhältnis aus der verminderten Spannung beim Anlauf und der Bemessungsspannung des Motors verringert. Hieraus resultiert eine entsprechende Verlängerung der Zeitspanne bis zum Erreichen einer definierten Übertemperatur. Dieses ist die Zeit t_{EB} .

Erstellt von	Weitere Infos:	Ausgabe	Seite
AG 3.72	http://www.ptb.de/cms/fachabteilungen/abt3/fb-37/ag-372.html	April 2009	1 von 3

$$t_{EB} = \frac{t_E}{\left(\frac{U_{1,min}}{U_1}\right)^2} \quad (4)$$

Um unter diesen Gegebenheiten einen sicheren Betrieb zu ermöglichen, muss die Abschaltzeit des Motorschutzrelais immer kürzer sein, als der berechnete Wert t_{EB} , für U_{1min}

Legt man für den Motorschutzschalter die Auslösekennlinie gemäß EN 60079-7 zugrunde, so ergibt sich das folgende Bild:

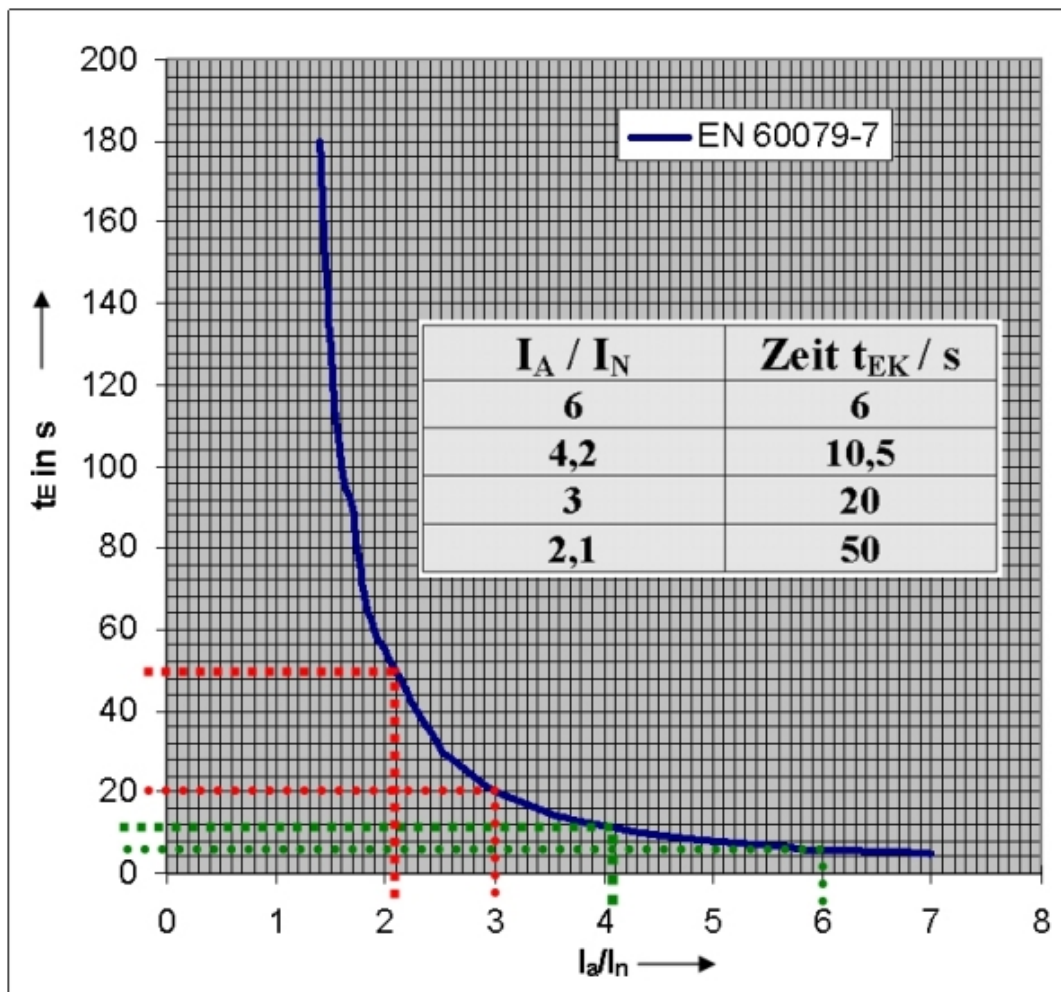


Bild1: Auslösekennlinie für Motorschutzschalter gemäß IEC / EN 60079-7

Um den Schutz der Maschine sicherzustellen, muss die Abschaltung immer, auch bei verminderter Spannung und reduziertem Anzugsstrom, innerhalb der Zeit t_{EB} erfolgen.

Dieses ist gemäß der Kennlinie des Überstromzeitschutzes für alle Spannungsabsenkungen gegeben, bei denen die Zunahme der Abschaltzeit t_{EK} aus der Kennlinie in Bild 1 kleiner ist als die Zunahme der Zeit t_{EB} gemäß Gleichung 4.

An zwei Beispielen soll dieses verdeutlicht werden:

Beispiel 1: Das Verhältnis I_A / I_N der Maschine hat einen Wert von **6**. Spannungseinbruch um **30 %**. Das Verhältnis I_A / I_N mit abgesenkter Spannung beträgt jetzt 4,2. Aus der Auslösekennlinie ergibt sich eine Zunahme der Abschaltzeit t_{EK} um den Faktor 1,75. Gemäß Gleichung 4 verlängert sich die maximal zulässige Abschaltzeit t_{EB} um den Faktor 2,04. Der Motor ist geschützt.

Beispiel 2: Das Verhältnis I_A / I_N der Maschine hat einen Wert von **3**. Spannungseinbruch um **30 %**. Das Verhältnis I_A / I_N mit abgesenkter Spannung beträgt jetzt 2,1. Aus der Auslösekennlinie ergibt sich eine Zunahme der Abschaltzeit t_{EK} um den Faktor 2,5. Gemäß Gleichung 4 verlängert sich die maximal zulässige Abschaltzeit t_{EB} nur um den Faktor 2,04. Der Motor ist **nicht** geschützt.

Folgerungen für die Praxis

Aus diesen theoretischen Betrachtungen folgt, dass mit Schwierigkeiten bezüglich des Schutzes bei kleinen Verhältnissen I_A / I_N und großen Spannungseinbrüchen zu rechnen ist.

Im allgemeinen ist der Schutz des Motors bei einem Verhältnis von $\frac{I_A}{I_N} \geq 3$ und Spannungseinbrüchen beim Einschalten kleiner 20 % gewährleistet. Bei einem Verhältnis von $\frac{I_A}{I_N} < 3$ oder

Spannungseinbrüchen größer als 20 % ist eine detaillierte rechnerische Betrachtung zur Beurteilung erforderlich. Der Motor ist dann vor unzulässigen Temperaturen geschützt, wenn die Bedingung

$$t_{EB} \geq t_{EK}$$

erfüllt ist.

t_E	Abschaltzeit des Motors in s bei Bemessungsspannung
t_{EB}	Berechnete maximale Abschaltzeit bei verminderter Spannung
t_{EK}	Abschaltzeit des Schutzgerätes bei reduzierter Spannung (reduzierter Motoranlaufstrom)
U_1	Klemmenspannung des Motors
I_A	Anzugstrom des Motors bei Bemessungsspannung
I_N	Bemessungsstrom des Motors
U_{1min}	Minimale Klemmenspannung des blockierten Motors nach dem Einschalten
U_k	Kurzschlussspannung des speisenden Transformators. Ein großer Wert bewirkt ein „weiches“ Verhalten des Transformators mit einem größeren Spannungseinbruch bei Belastung. Angabe in % der Bemessungsspannung

Erstellt von AG 3.72	Weitere Infos: http://www.ptb.de/cms/fachabteilungen/abt3/fb-37/ag-372.html	Ausgabe April 2009	Seite 3 von 3
-------------------------	---	-----------------------	------------------