

Schutz eines Motors mit einer Leistung bis 200 kW

■ 1. Einleitung

Antriebsmaschinen spielen für das Funktionieren eines Produktionsprozesses häufig eine entscheidende Rolle. Schäden und Ausfälle von Motoren führen nicht selten auch zu Folgeschäden und Produktionsausfällen die in der Höhe die Reparaturkosten des Motors um ein Vielfaches übersteigen. Eine optimale Auslegung des Motorschutzes stellt sicher, dass Schäden in Folge von thermischer Überlastung vermieden werden und es dadurch nicht zu einer Verringerung der normalen Lebensdauer kommt. Bei auftretenden Kurz-, Erd- und Windungsschlüssen können Folgefehler minimiert werden.

Die Bandbreite bei Motoren reicht von kleinen Niederspannungsmotoren mit einigen wenigen kW bis hin zu Hochspannungsmotoren mit einigen MW. Für die Auslegung des Schutzsystems sollten die Leistungsgröße des Motors, die Bedeutung des Antriebes für den technologischen Prozess, die Betriebsbedingungen und die Anforderungen des Motorherstellers zu Grunde gelegt werden.

Im Folgenden wird die Einstellung eines SIPROTEC-Schutzgerätes als Motorschutz am Beispiel eines Hochspannungsmotors (10 kV) beschrieben.

■ 2. Die Aufgaben des Motorschutzes

Motoren besitzen hinsichtlich ihrer Betriebsbedingungen einige markante Besonderheiten. Diese sind für das Verständnis der vielfältigen Fehlerursachen wichtig und müssen bei der Auslegung des Schutzsystems berücksichtigt werden.

2.1 Schutz des Stators vor thermischer Überbeanspruchung

Die vom Motor während des Betriebes aus dem Energienetz aufgenommene Leistung wird an der Welle als mechanische Leistung an die Arbeitsmaschine abgegeben. Die bei dieser Energieumwandlung in der Wicklung auftretende Verlustleistung ist maßgeblich für die entstehenden Motortemperaturen verantwortlich. Die Verlustwärme ist dabei dem Quadrat des Stromes proportional. Der zeitliche Verlauf der Erwärmung des Motors wird durch seine Wärmespeicherefähigkeit und das Wärmeabgabevermögen bestimmt und durch die thermische Zeitkonstante τ charakterisiert.

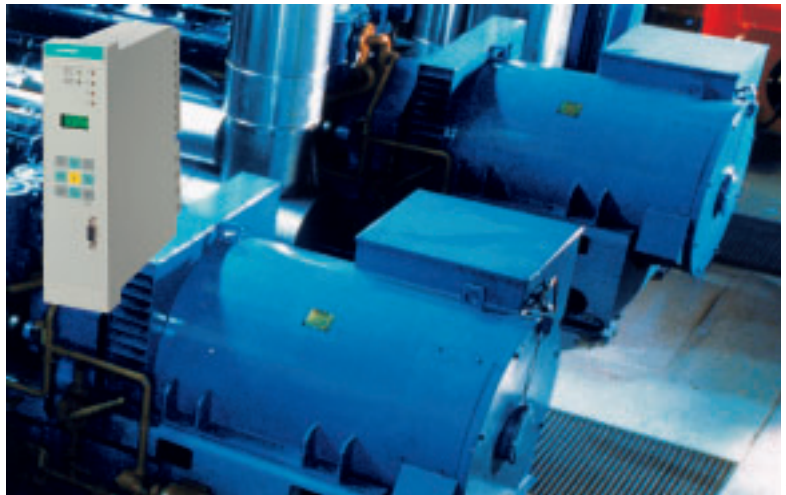


Bild 1 Multifunktionsschutz SIPROTEC 7SJ602

Insbesondere elektrische Maschinen sind durch länger andauernde Überlastungen gefährdet. Eine thermische Überlastung des Motors führt zu einer Schädigung der Isolierung und damit zu Folgefehlern bzw. Herabsetzung der Gesamtlebensdauer des Motors. Diese Überlastungen können und dürfen durch einen Kurzschlusschutz nicht erfasst werden da hier die möglichen Verzögerungszeiten sehr kurz gewählt werden müssen.

Der Überlastschutz verhindert eine thermische Überbeanspruchung des zu schützenden Motors. Das Gerät 7SJ602 erfasst wahlweise Beanspruchungen bereits vor Eintritt von Überlast (Überlastschutz mit vollständigem Gedächtnis = thermisches Abbild) oder erst nach Überschreiten eines parametrierbaren Anreghostromes (Überlastschutz ohne Gedächtnisfunktion).

■ Überlastschutz ohne Gedächtnis

Im Falle der Wahl des Überlastschutzes ohne Gedächtnis wird die Auslösezeit nach einer einfachen Formel berechnet. Vorbelastungen werden nicht berücksichtigt da die Ströme nur erfasst werden, wenn diese größer als das 1,1-fache des Einstellwertes sind.

$$t = \frac{35}{(I / I_B)^2 - 1} \cdot t_{6IB} \quad \text{für } I > 1,1 I_B$$

t	Auslösezeit
I	Überlaststrom
I_B	parametrierter Schwellenwert
t_{6IB}	parametrierter Zeitfaktor (16-Zeit = Auslösezeit bei Anlegen des 6-fachen des parametrierten Schwellenwertes I_B)

- **Überlastschutz mit Gedächtnis**
Das Gerät errechnet die Übertemperatur gemäß einem thermischen Einkörpermodell nach einer thermischen Differentialgleichung. Dadurch kann die Vorlast mit allen Lastspielen richtig vom Gerät erfasst und ausgewertet werden. Ein solches thermisches Abbild lässt sich an die Überlastbarkeit des geschützten Betriebsmittels optimal anpassen.

2.2 Schutz des Rotors vor thermischer Überlastung

Zu den vielfältigen Ursachen für die Entstehung stromverursachter Übertemperaturen bei Motoren gehört schließlich eine unzulässig lange Anlaufzeit bzw. im Grenzfall die Blockierung des Läufers. Solche Zustände werden durch ein zu großes mechanisches Gegenmoment hervorgerufen, wie es z.B. bei überschütteten Mühlen und Brechern oder überlasteten Zentrifugen usw. entstehen kann

- **Anlaufzeitüberwachung**
Das Schutzgerät verfügt über eine Anlaufzeitüberwachung, die eine sinnvolle Ergänzung des Überlastschutzes von elektrischen Maschinen darstellt. Die Auslösezeit ist stromabhängig. Damit werden auch verlängerte Anlaufzeiten bei verringertem Anlaufstrom infolge von Spannungseinbrüchen beim Zuschalten des Motors richtig bewertet. Die Anlaufzeitüberwachung wird beim Überschreiten eines einzustellenden Stromwertes gestartet. Die Auslösezeit ist abhängig vom tatsächlichen gemessenen Anlaufstrom. Ist die zulässige Festbremszeit kleiner als die Anlaufzeit, so muss zusätzlich über einen Binäreingang die Drehzahl (Motor steht oder dreht sich) abgefragt werden.
- **Wiedereinschaltsperr**
Die Wiedereinschaltsperr verhindert eine Wiedereinschaltung des Motors, wenn bei diesem Anlauf eine Überschreitung der zulässigen Läufererwärmung zu erwarten ist.
Die Läufererwärmung eines Motors liegt im Allgemeinen sowohl während des Normalbetriebs als auch bei erhöhten Lastströmen weit unterhalb seiner zulässigen Grenztemperatur. Dagegen wird bei Anläufen und damit verbundenen hohen Anlaufströmen der Läufer wegen seiner kleineren thermischen Zeitkonstanten thermisch stärker gefährdet als der Ständer. Ein erneutes Einschalten des Motors muss verhindert werden, wenn bei diesem Anlauf eine Überschreitung der zulässigen Läufererwärmung zu erwarten ist. Dies ist Aufgabe der Wiedereinschaltsperr.

Da der Läuferstrom nicht direkt messbar ist, wird auf die Ständerströme zurückgegriffen, aus denen die Läufererwärmung indirekt berechnet wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass die thermischen Grenzwerte für die Läuferwicklung bei den vom Motorhersteller angegebenen Daten für den Nenn-Anlaufstrom, die maximal zulässige Anlaufzeit und die Anzahl der zulässigen Anläufe aus kaltem (n_k) und aus betriebswarmen (n_w) Zustand gerade erreicht werden. Das Gerät berechnet daraus die für das thermische Läuferabbild maßgeblichen Größen und gibt so lange einen Sperrbefehl, bis das thermische Abbild des Läufers einen Wert unterhalb der Wiedereinschaltgrenze erreicht hat und somit ein erneuter Anlauf zulässig wird. Solange ein Sperrbefehl ansteht, wird ein Einschalten über die integrierte Schaltersteuerung des Gerätes verhindert. Eine Rangierung des Sperrbefehls der Wiedereinschaltsperr auf ein Kommandorelais oder eine externe Verknüpfung mit der Schaltersteuerung ist in diesem Falle nicht erforderlich. Wenn der Motor jedoch von einer anderen Stelle her eingeschaltet werden kann, muss ein Ausgangsrelais mit dem Sperrbefehl rangiert und dessen Kontakt in den Einschaltkreis eingeschleift werden.

2.3 Schiefkastschutz

Beim Schutz von Motoren kommt dem Schiefkastschutz eine besondere Bedeutung zu. Unsymmetrische Belastungen erzeugen in Motoren ein Gegendrehfeld, welches mit doppelter Frequenz auf den Läufer wirkt. Auf der Oberfläche des Läufers werden Wirbelströme induziert, welche zu lokalen Übererwärmungen im Läufer führen.

Bei Absicherung des Motors über Sicherungen ist eine in der Praxis häufige Störung der Ausfall einer Leiterspannung. Der Ständerwicklung wird bei diesem Störfall über die beiden ungestörten Leiter die verkettete Spannung zugeführt. Durch den Motor wird je nach Belastung ein mehr oder weniger kreisförmiges Drehfeld aufrechterhalten, so dass der Motor unter erhöhter Stromaufnahme ein ausreichendes Drehmoment entwickeln kann.

Ferner besteht die Gefahr einer thermischen Überlastung bei unsymmetrischer Netzspannung. Schon kleine Spannungsunsymmetrien führen wegen der kleinen Gegenreaktanzen zu großen Schiefkastströmen.

Der Schiefastschutz des 7SJ602 filtert aus den zugeführten Leiterströmen die Grundwelle heraus und zerlegt sie in symmetrische Komponenten (Gegensystem I_2 und Mitsystem I_1). Zur Erkennung der Schiefast wird das Verhältnis „Gegensystem/Nennstrom (I_2/I_N)“ ausgewertet. Der Schiefastschutz ist zweistufig aufgebaut. Nach Erreichen einer ersten, einstellbaren Schwelle $I_{2>}$ wird eine Zeitstufe $TI_{2>}$ gestartet, nach Erreichen einer zweiten, einstellbaren Schwelle $I_{2>>}$ die Zeitstufe $TI_{2>>}$ gestartet. Nach Ablauf einer der Kommandozeiten wird ein Auslösekommando gebildet. Der Schwellwertvergleich kann nur dann durchgeführt werden, wenn der größte der drei Phasenströme mindestens 10 % des Nennstromes beträgt.

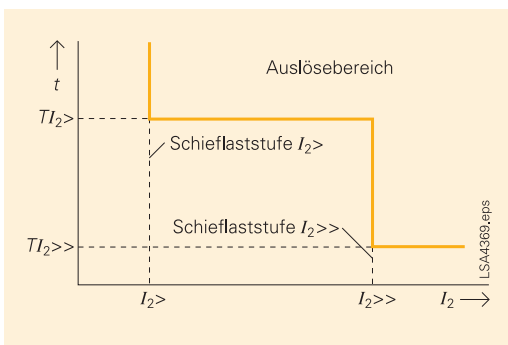


Bild 2 Kennlinie des Schiefastschutzes

2.4 Erdfehlerschutz

Bei der Auslegung des Erdfehlerschutzes ist es wichtig zu wissen, wie der Sternpunkt des Energienetzes beschaltet ist. Auch bei der Auswahl der Schutzgerätehardware muss darauf Rücksicht genommen werden. Hier gibt es das 7SJ602 in zwei Bestellvarianten, die sich in der Gestaltung der Wandlereingänge unterscheiden.

7SJ6021.. / 7SJ6025.. für niederohmig geerdete Netze.

Das Gerät verfügt über einen vierten Eingangsübertrager mit „normaler“ Empfindlichkeit für die Erdstromerfassung. Dieser kann in die Sternpunktzuführung des Stromwandlersatzes oder an einen gesonderten Kabelumbauwandler angeschlossen werden.

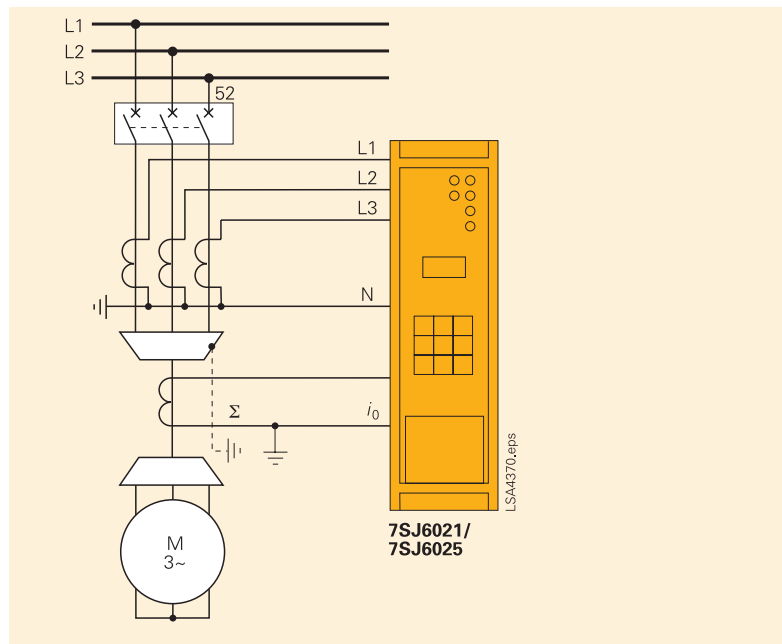


Bild 3 Anschlussbild für niederohmig geerdete Netze

7SJ6022.. / 7SJ6026.. für gelöschte, isolierte oder hochohmig geerdete Netze

Das Gerät verfügt über zwei Phasen-Stromwandler, einen empfindlichen Erdstromeingang und einen Spannungseingang z.B. zur Erfassung der U_{en} Spannung.

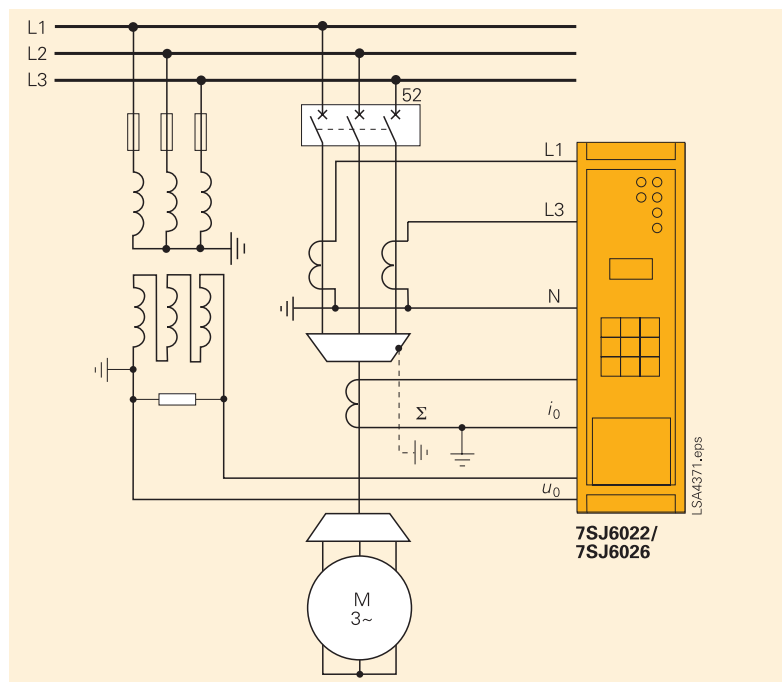


Bild 4 Anschlussbild für gelöschte oder isolierte Netze

Der Erdfehlerschutz erfasst Erdfehler in der Ständerwicklung von Dreiphasenmaschinen. Da Motoren üblicherweise direkt über eine Sammelschiene an das Energienetz geschaltet sind (Sammelschienenschaltung) ist es wichtig zu erkennen, ob der Erdschluss sich im Maschinenabzweig oder auf einem anderen Sammelschienenabzweig befindet.

Bei geerdeten Netzen kann dies üblicherweise anhand der Höhe des Erdstromes eindeutig erkannt werden. Bei einem Fehler in der Maschine fließt der gesamte vom Netz getriebene Erdkurzschlussstrom über die Messstelle des Schutzes. Die Maschine muss schnellstmöglich vom Netz getrennt werden um größere Schäden zu vermeiden. Bei Netzerdfehlern ist der erfasste Erdstrom im Wesentlichen durch die Maschinenkapazitäten bestimmt und damit erheblich kleiner, eine Auslösung darf nicht erfolgen.

In kompensierten, isolierten und niederohmig geerdeten Netzen sollte die Ausführung mit dem empfindlichen Erdstromeingang und der empfindlichen Erdfehlererfassung gewählt werden. Die hochempfindliche Erdfehlererfassung ersetzt dann die Erdstromstufe des Überstromzeitschutzes. Wegen ihrer hohen Empfindlichkeit ist sie nicht geeignet zur Erfassung von Erdkurzschlüssen mit großen Erdströmen (über etwa $1,6 \cdot I_N$ an den Klemmen für empfindlichen Erdstromanschluss); hier ist der Überstromzeitschutz für Erdstrom einzusetzen.

Ist der Betrag des Erdstromes ausreichend für die Bestimmung des Erdfehlers wird kein Spannungseingang benötigt. Das 7SJ602 verfügt über eine zweistufige Strom/Zeit-Kennlinie die mit den Beträgen des Erdstromes arbeiten. Sie sind daher dort sinnvoll, wo die Höhe des Erdstromes eine Aussage über die Lage des Erdfehlers erlaubt. Dies kann z.B. der Fall sein, bei Maschinen an niederohmig geerdeten Netzen (mit Erdstrombegrenzung).

Bei Maschinen in Sammelschienenschaltung an isolierten Netzen, muss sichergestellt sein, dass die Netzkapazität des vorgelagerten Netzes einen ausreichend großen Erdstrom liefert aber der Erdstrom am Relaisbauort bei netzseitigen Erdschlüssen im Verhältnis klein ist. Anhand des Betrages des Erdstromes kann dann eine Entscheidung über die Lage des Fehlerortes getroffen werden.

Ist dies nicht der Fall, sollte an der Sammelschiene eine zusätzliche Erdstromerzeugungseinrichtung installiert werden. Diese erzeugt bei Erdschluss einen definierten Erdstrom. Mit Hilfe der angeschlossenen Verlagerungsspannung kann dann eine Richtungsentscheidung getroffen werden.

Wird eine Belastungseinrichtung (Erdstromerzeugungseinrichtung) eingebaut, sollte auch nur diese bei der Auslegung der Einstellung angesetzt werden, um unabhängig von Schaltzuständen im Netz zu sein. Bei Maschinen in kompensierten Netzen wird eine Belastungseinrichtung und die Messung der Verlagerungsspannung immer empfohlen um einen sicheren Erdschlussentscheid treffen zu können.

2.5 Kurzschlusschutz

Die Aufgabe des Kurzschlusschutzes besteht darin, bei auftretenden Kurzschlüssen durch eine schnelle Abschaltung sowohl eine Ausweitung des Schadens am Motor (Zerstörung des Eisenpaketes usw.) zu verhindern als auch die Auswirkungen auf das Elektroenergiesystem mit den angeschlossenen Verbrauchern (Spannungsunsymmetrie, Spannungseinbrüche usw.) zu minimieren.

Der Überstromzeitschutz im 7SJ602 kann sowohl als unabhängiger Überstromzeitschutz (UMZ) als auch als stromabhängiger Überstromzeitschutz (AMZ) eingesetzt werden. Für AMZ-Schutz steht wahlweise eine Reihe von in IEC 60255-3 definierten Kennlinien oder von in ANSI-Normen definierten Kennlinien zur Verfügung. Den gewählten Überstromkennlinien kann eine Hochstromstufe $I_{>>}$, die immer mit stromunabhängiger Kommandozeit arbeitet, überlagert werden. Darüber hinaus kann in den Phasenzweigen noch eine unverzögerte Schnellauslösestufe $I_{>>>}$ überlagert werden. Dadurch lässt sich die Auslösekennlinie optimal an das Anlaufverhalten eines Motors anpassen.

Um bei stromstarken Fehlern in der Maschine schnell abschalten zu können verfügt das 7SJ602 über eine spezielle Schnellauslösestufe. Die $I_{>>>}$ -Stufe muss sicher oberhalb des Einschaltstromes des Motors eingestellt werden, damit nicht bereits eine Einschaltung des Motors zu einer Auslösung führt. Erfahrungswerte zeigen, dass die Einschaltströme etwa das 1,5- bis 1,6-fache des Anlaufstromes betragen können.

Die $I_{>>}$ -Stufe sollte oberhalb des Motoranlaufstromes eingestellt werden, damit sie nicht durch diesen zur Auslösung kommt. Mit der Verzögerungszeit $TI_{>>}$ muss die Dauer des Einschaltstromes berücksichtigt werden. Da der Einschaltstrom nur einige ms andauert, kann $TI_{>>}$ mit ca. 50 ms gewählt werden.

Bei der Funktion des Überstromschutzes sollte eine abhängige Kennlinie gewählt werden, da diese besser an das Betriebsverhalten des Motors angepasst werden kann.

Der abhängige Kurzschlusschutz $I_p >$ dient zum Schutz des Motors vor Kurzschlüssen während des Betriebes im eingeschwungenen Zustand (nach Hochlauf). Je höher der Kurzschlussstrom ist, desto schneller wird ausgelöst. Als Auslösekennlinie sollte die Extrem invers Kennlinie gewählt werden.

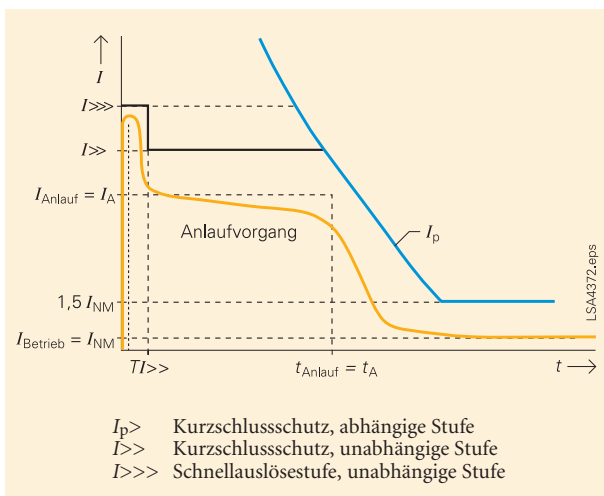


Bild 5 Stromkennlinie bei Motoranlauf

3. Einstellungen

Berechnungsbeispiele orientieren sich an den folgenden Motordaten:

Motor-/Anlagendaten

Stromwandler Phase I_{NPRI}/I_{NSEK}	100 A/1 A
Stromwandler Erde (60/1) I_{EE}/I_{PH}	0,6 (Kabelumbauwandler)
Spannungswandler	10 kV/100 V
Motornennstrom I_{NM}	74 A
max. zulässige Schiefast	10 %
zulässige Schiefastdauer	15 s
therm. dauernd zul. Strom I_{Max}	$1,1 \cdot I_{NM}$
thermische Ständerzeitkonstante τ_{th}	40 min
Verlängerungsfaktor Stillstand k_τ	5
Anlaufstrom I_A	$5 \cdot I_{NM}$

Bei den Anlagendaten werden Daten der Anlage bzw. des zu schützenden Betriebsmittel eingegeben. Einige die im Besonderen die Motorschutzfunktionen betreffen sind hier nochmals kurz herausgegriffen.

Für einige Schutzfunktionen ist es wichtig zu erkennen, ob der Leistungsschalter geschlossen oder geöffnet ist. Als Kriterium hierfür wird das Über- bzw. Unterschreiten einer Stromschwelle verwendet. Der Einstellwert gilt für alle drei Phasen. Wird in einer Phase der parametrisierte Stromwert überschritten, wird der LS als geschlossen angesehen.

Bei Maschinen muss dieser Wert kleiner als der minimale Leerlaufstrom der Maschine gewählt werden.

Motordaten sind im Allgemeinen auf Motornennstrom bezogen. Damit die Einstellungen für Motorschutzfunktionen direkt als bezogene Größen angegeben werden können, muss dem 7SJ602 in den Anlagendaten ein Anpassfaktor mitgeteilt werden.

Beispiel:

Stromwandler 100 A/1 A
 Motornennstrom $I_{NM} = 74$ A

- Verhältnis Motornennstrom zu Wandlernennstrom
 $I_m = I_{NM}/I_{WDLN} = 0,74$ [aus Wandlerdaten]
 Ebenfalls bereits in den Anlagendaten wird der Anlaufstrom des Motor im 7SJ602 voreingestellt. Der Anlaufstrom wird als ein auf den Motornennstrom (I_{NM}) bezogener Wert vorgegeben.
 Er hängt von Größe und Beschaffenheit des Motors ab und liegt bei einem normalen lastfreien Anlauf in der Größenordnung von $5 \cdot I_{NM}$.

- Motoranlaufstrom bezogen auf Motornennstrom
 $I_a = 5$ [aus Motor-Datenblatt]
 Im 7SJ602 wird die Anlaufzeit des Motors in den Anlagendaten voreingestellt. Nach dieser Zeit muss der Anlaufstrom sicher unterschritten sein.
- Motoranlaufzeit
 $t_{ANL} = 4,3$ s [aus Motor-Datenblatt]

3.1 Der Überlastschutz

Für den Überlastschutz soll die Belastung vor Eintritt der Überlast berücksichtigt werden. D.h. es muss die Überlastfunktion mit vollem Gedächtnis verwendet werden.

Das Gerät errechnet die Übertemperatur gemäß einem thermischen Einkörpermodell nach der thermischen Differentialgleichung:

$$\frac{d\Theta}{dt} + \frac{1}{\tau_{\eta}} \cdot \Theta = \frac{1}{\tau_{th}} \cdot I^2$$

- Θ aktuelle Übertemperatur bezogen auf die Endtemperatur bei maximal zulässigem Leitungsstrom $k \cdot I_N$
- τ_{th} thermische Zeitkonstante der Erwärmung des Schutzobjektes
- I aktueller effektiver Strom bezogen auf den maximal zulässigen Strom $I_{max} = k \cdot I_N$

Nachfolgende Parameter müssen eingestellt werden:

- Einstellwert des k-Faktors = $I_{\max}/I_{\text{NWandler}}$
 I_{\max} = therm. dauernd zulässiger maximaler Strom = $1,1 \cdot I_{\text{NM}} = 81,4 \text{ A}$
 $k = 0,82$
- Einstellwert der thermischen Zeitkonstanten τ_{th} in Minuten
 $\tau_{\text{th}} = 40 \text{ min}$ [aus Motor-Datenblatt]

Für Motoren wird häufig anstelle der Zeitkonstanten die t_6 -Zeit, d.h. die zulässige Zeit beim 6-fachen des zulässigen Dauerstromes, angegeben. Daraus kann wie folgt das τ_{th} errechnet werden:

$$\text{Einstellwert } \tau_{\text{th}} [\text{min}] = \frac{t_6}{60} \cdot 36 = 0,6 \cdot \frac{t_6}{s}$$

- Verlängerungsfaktor k_{τ} zwischen Zeitkonstante bei Stillstand und Lauf des Motors
 $k_{\tau} = 5$ entsprechend Motorangabe
- Warnübertemperatur in Prozenten der Auslöseübertemperatur $\Theta_{\text{WARN}}/\Theta_{\text{AUS}}$
 $\Theta_{\text{WARN}} = 90 \%$ [Voreinstellung]

Zusätzlich bietet das 7SJ602 die Möglichkeit eine externe Thermobox an das Gerät anzuschließen. Dadurch besteht die Möglichkeit die Kühlmittel- bzw. Umgebungstemperatur des Schutzobjektes über die serielle Schnittstelle in das Gerät einzukoppeln und in der Überlastberechnung mit zu berücksichtigen.

3.2 Anlaufzeitüberwachung

Die Anlaufzeitüberwachung interpretiert das Überschreiten des Stromwertes $I_{a>}$ als Motoranlauf. Demzufolge muss dieser Wert so gewählt werden, dass er während des Motoranlaufs unter allen Last- und Spannungsbedingungen vom tatsächlichen Anlaufstrom sicher überschritten wird, aber bei zulässiger, kurzzeitiger Überlast nicht erreicht wird außerdem muss er oberhalb des maximalen Laststromes projektiert werden. Der Einstellwert bezieht sich auf den Motornennstrom. Üblich ist etwa der halbe Wert des Nennanlaufstromes. Wenn der Anlaufstrom also $5 \cdot$ Motornennstrom (I_{NM}) beträgt, wird $I_{a>}$ auf $2,5 \cdot$ Motornennstrom eingestellt. Die Auslösezeit berechnet sich quadratisch nach der Stromhöhe:

$$t_{\text{aus}} = t_{\text{ANL}} \cdot \left(\frac{I_a}{I} \right)^2 \quad \text{mit } I > I_{a>}$$

t_{aus}	tatsächliche Auslösezeit zum fließenden Strom I
t_{ANL}	max. Anlaufzeit
I	tatsächlich fließender Strom (Messgröße)
I_a	Nenn-Anlaufstrom des Motors

Nachfolgende Parameter müssen eingestellt werden:

- Anlaufstromschwelle $I_{a>}$ für die Anlaufzeitüberwachung, bezogen auf Motornennstrom I_{NM}
 Mit $I_a = 5 \cdot I_{\text{NM}}$ Motorendaten – eingegeben bei Anlagendaten
 $I_{a>} = 0,5 \cdot I_a = 2,5 \cdot I_{\text{NM}}$

Sollte die Anlaufzeit die Auslösezeit des Überstromzeitschutzes überschreiten, besteht die Möglichkeit während des Anlaufs nach 70 ms den Überstromzeitschutz zu blockieren.

- Blockierung der $I>/I_p$ Stufen bei Anlauf
 NEIN

Ist die zulässige Festbremszeit kleiner als die Anlaufzeit, so muss zusätzlich über einen Binäreingang die Drehzahl (Motor steht oder dreht sich) abgefragt werden.

3.3 Wiedereinschaltsperr

Maßgebend für die Wiedereinschaltgrenze ist die Nachbildung der Läuferfermentperatur. Die dazu notwendigen Kenngrößen, wie Anlaufstrom, Motornennstrom und maximal zulässige Anlaufzeit werden bei den Anlagendaten projektiert.

Nachfolgende Parameter müssen bei der Wiedereinschaltsperr zusätzlich noch eingestellt werden:

- Läuferfermentperatur Ausgleichszeit
 Da die thermische Zeitkonstante des Läufers bedeutend geringer ist als die des Ständers, ist für die Läuferfermentperaturausgleichszeit meist ein Wert von 1 min (Voreinstellung) praktikabel.
 $t_{\text{AUSG}} = 1 \text{ min}$ [Erfahrungswert]
- Anzahl der maximal zulässigen Warmanläufe
 $nW = 2$ [Erfahrungswert]

Sind keine Vorgaben aus dem Motor-Datenblatt vorhanden kann hier der Erfahrungswert 2 eingestellt werden

- Differenz zwischen der Anzahl maximal zulässiger Kaltanläufe und der Anzahl maximal zulässiger Warmanläufe
 $nK - nW = 1$ [Erfahrungswert]
 Sind keine Vorgaben aus dem Motor-Datenblatt vorhanden kann hier der Erfahrungswert 1 eingestellt werden
- Faktor für die thermische Abkühlzeit des Läufers bei Stillstand der Maschine
 Die verringerte Kühlung während des Motorstillstandes bei Motoren mit Eigenbelüftung wird durch den Faktor $k_{\tau\text{STI}}$ (bezogen auf die Zeitkonstante bei Leerlauf) berücksichtigt. Als Kriterium für den Stillstand des Motors gilt das Unterschreiten der Stromschwelle, die bei den Anlagendaten als LS $I>$ eingestellt worden ist.

Bei fremdbelüfteten Motoren kann 1 eingestellt werden.

$$k_{\tau\text{STI}} = 5 \quad [\text{Erfahrungswert}]$$

Sind keine Vorgaben aus dem Motor-Datenblatt vorhanden kann hier der Erfahrungswert 5 eingestellt werden

- Faktor für die thermische Abkühlzeit des Läufers bei laufender Maschine
 Dieser Faktor berücksichtigt die unterschiedliche Abkühlung eines belasteten, laufenden Motors gegenüber der eines abgeschalteten Motors. Er ist wirksam, sobald der Strom $I_2 >$ (eingestellt unter Anlagendaten) überschreitet. Bei $k_{\tau\text{BET}} = 1$ ist Erwärmungs- und Abkühlzeitkonstante unter Betriebsbedingungen gleich.
 $k_{\tau\text{BET}} = 2$ [Erfahrungswert]
 Sind keine Vorgaben aus dem Motor-Datenblatt vorhanden kann hier der Erfahrungswert 2 eingestellt werden
- Mindestsperrzeit für die Wiedereinschaltung
 Der Wert für die Mindestsperrzeit t_{SPER} richtet sich nach den Vorgaben des Motorherstellers bzw. den Betreiberforderungen. Er muss größer als die Ausgleichszeit t_{AUSG} sein.
 $t_{\text{SPER}} = 6 \text{ min}$ [Annahme]

3.4 Schiefastschutz

Bei elektrischen Maschinen kommt dem Schiefastschutz eine besondere Bedeutung zu.

Die unabhängige Charakteristik ist zweistufig aufgebaut. Nach Erreichen einer ersten, einstellbaren Schwelle $I_2 >$ wird eine Anregemeldung abgegeben und eine Zeitstufe $T I_2 >$ gestartet, nach Erreichen einer zweiten Stufe $I_2 >>$ eine weitere Meldung abgesetzt und die Zeitstufe $T I_2 >>$ gestartet. Nach Ablauf einer der Verzögerungszeiten wird ein Auslösebefehl abgegeben. Die $I_2 >>$ Stufe ist bei einer geringen Empfindlichkeit und einer sehr kurzen Auslösezeit z.B. gut geeignet auf Fehler im sekundären Wandlerkreis.

Die voreingestellten Werte für Anregung und Zeitverzögerung sind meist ausreichend. Falls vom Maschinenhersteller Werte über die dauernd zulässige Schiefast und die Dauer der Belastbarkeit in Abhängigkeit von der Höhe der Schiefast vorliegen, sind diese zu bevorzugen.

Die Prozentwerte beziehen sich auf den Nennstrom des Wandlers.

- Ansprechwert der Stufe $I_2 >$ (bezogen auf den Wandlernennstrom I_N)
 $I_2 > = 10 \%$ [aus Motor-Datenblatt]
- Auslöseverzögerung der Stufe $I_2 >$
 $T I_2 > = 15 \text{ s}$ [aus Motor-Datenblatt]

- Ansprechwert der Stufe $I_2 >>$
 $I_2 >> = 50 \%$ [Voreinstellung]
- Auslöseverzögerung der Stufe $I_2 >>$
 $T I_2 >> = 1 \text{ s}$ [Voreinstellung]

3.5 Erdschlussschutz

Der Erdschlussschutz erfasst Erdschlüsse in der Ständerwicklung von Dreiphasenmaschinen. Die Gestaltung des Erdfehlerschutzes ist davon abhängig wie der Sternpunkt des Energienetzes beschaltet ist. Der Sternpunkt des Motors soll im Folgenden immer isoliert aufgebaut sein. Das 7SJ602 ist sowohl für Netze mit geerdetem Sternpunkt als auch für Netze mit isoliertem, kompensiertem oder niederohmig geerdetem Sternpunkt geeignet. Zwei Hardware-Varianten decken all diese Netzformen ab. Dies muss bei der Bestellung berücksichtigt werden.

Im Folgenden soll die Einstellung des Erdschlussschutzes für einen Motorabzweig in einem isoliert aufgebauten 10 kV-Netz veranschaulicht werden.

Da es sich um ein isoliertes Netz handelt sollte die Variante mit einer empfindlichen Erdfehlererkennung gewählt werden.

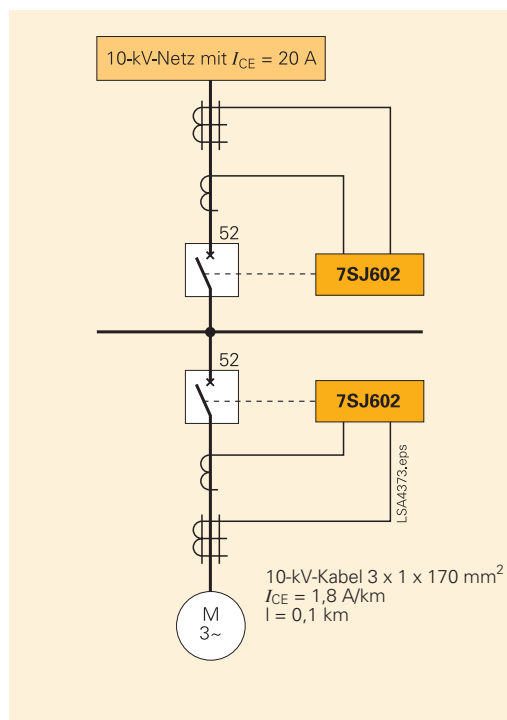


Bild 6 Applikationsbeispiel Motorschutz

In unserem Beispiel wird angenommen, dass das einspeisende 10-kV-Energienetz eine entsprechende Größe aufweist und bei Erdschluss ein kapazitiver Erdschlussstrom I_{CE} von ca. 20 A zur Fehlerstelle fließt. Die Information über die Höhe des kapazitiven Erdschlussstromes muss vom Netzbetreiber erfragt werden. Natürlich liefert auch der Motorabzweig einen Erdschlussstrom. Der Motorabzweig soll über ein 100 m langes 10-kV-Kabel angeschlossen sein. Der Erdschlussstrom des Motorabzweiges errechnet sich wie folgt:

$$I_{CE\text{Kabel}} = I'_{CE} \cdot l$$

$$I'_{CE} = 1,8 \text{ A/km (aus Datenblatt des Kabels)}$$

$$l = 0,1 \text{ km}$$

$$I_{CE\text{Kabel}} \approx 0,20 \text{ A}$$

Dadurch ergibt sich nachfolgend dargestellte Erdschlussstrom Verteilung

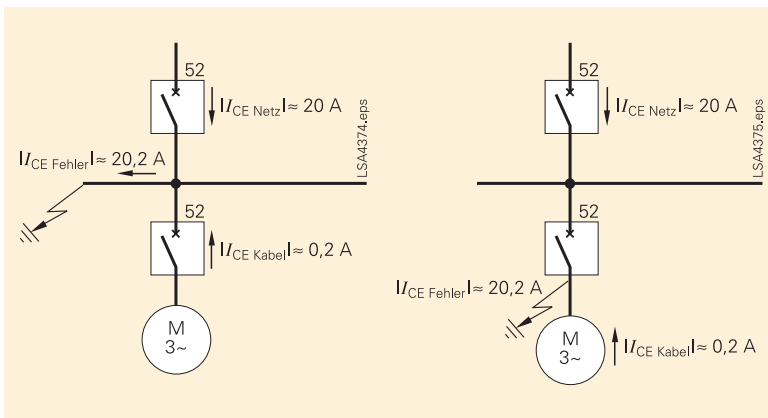


Bild 7 Erdschluss-Stromverteilung in Abhängigkeit vom Fehlerort

Aus den Stromverteilungen kann man erkennen, dass anhand der Beträge des Erdschlussstromes bereits eine eindeutige Fehlerlokalisierung möglich ist.

Bei Erdschluss auf der Sammelschiene soll nur das 7SJ602 im Einspeisefeld anregen. Befindet sich die Fehlerstelle im Motorabzweig soll sowohl das 7SJ602 im Einspeisefeld als auch im Motorabgang anregen. Dadurch kann in diesem Beispiel nur über die Höhe des Erdstromes eine Aussage über die Lage erfolgen.

Als Anregeschwelle ergibt sich für den Motorabgang folgender Einstellvorschlag: Aus Sicherheitsgründen sollte nicht von I_{CEges} ausgegangen werden, da sich dieser z.B durch Netzabschaltungen verkleinern kann. Als Ansatz kann hier $I_{EE>} \approx 0,5 \cdot I_{CE}$ gewählt werden

Soll ein Erdschluss nicht zu einer Auslösung führen, kann die Funktion $I_{EE>}$ auch nur auf Melden eingestellt werden. Wenn keine zweite Anregeschwelle benötigt wird kann $I_{EE>>}$ auf unwirksam gestellt werden.

Ist der Betrag des Erdstromes für die Fehlerortbestimmung nicht ausreichend kann eine Erdschlussrichtungsbestimmung projektiert werden. In diesem Fall ist ein Spannungseingang (U_{en}) zwingend erforderlich.

Bei der empfindlichen Erdfehlerrichtungsbestimmung ist nicht der Betrag des Stromes maßgebend, sondern der Anteil des Stromes senkrecht zu einer einstellbaren Richtungskennlinie (Symmetrieachse). Für die Richtungsbestimmung ist das Überschreiten der Verlagerungsspannungsstufe U_E und eines ebenfalls parametrierbaren, die Richtung bestimmenden Stromanteils (Wirk- $[\cos \varphi]$ oder Blindanteil $[\sin \varphi]$), Voraussetzung.

Bei elektrischen Maschinen in Sammelschienen-schaltung am isolierten Netz kann man $\cos \varphi$ für die Messart einstellen und einen Korrekturwinkel von etwa $+45^\circ$, da hier der Erdschlussstrom oft aus einer Überlagerung des kapazitiven Erdschlussstromes vom Netz und dem ohmschen Strom eines Belastungswiderstandes zusammengesetzt ist.

3.6 Kurzschlusschutz

Der Kurzschlusschutz ist die Haupt-Schutzfunktion des 7SJ602. Er besitzt insgesamt drei Stufen für Leiterströme und zwei Stufen für den Erdstrom. Die Überstromstufe ($I>$) kann wahlweise mit stromunabhängiger (UMZ) oder mit stromabhängiger (AMZ) Kommandozeit arbeiten. Die Hochstromauslösung ($I>>$) und die Schnellauslösung ($I>>>$) arbeitet immer mit einer stromunabhängigen Kommandozeit.

Für den Kurzschlusschutz eines Motors ist zu beachten, dass der Einstellwert $I>>>$ kleiner als der kleinste (2-polige) Kurzschlussstrom und größer als der größte Anlaufstrom sein muss. Da der maximal auftretende Einschaltstrom in der Regel auch bei ungünstigen Verhältnissen unter $1,6 \times$ Nennanlaufstrom liegt, ergibt sich für die Kurzschlussstufe $I>>>$ folgende Einstellbedingung:

$$1,6 \times I_{\text{Anlauf}} < I>>> < I_{k2\text{pol}}$$

Als Sicherheitsabstand sollte der Einstellwert etwa 30 % oberhalb des zu erwartenden Anlaufstroms gewählt werden.

$$I>>> = 2,0 \cdot I_A = 2,0 \cdot 5 \cdot I_{NM} = 2,0 \cdot 5 \cdot 74/100 \cdot I_N \approx 7,4 I_N$$

- Ansprechwert der Schnellauslösestufe $I>>> = 7,4 \cdot I_N$

Die Einstellung der $I_{>>}$ orientiert sich am Motoranlaufstrom. Damit ein ordnungsgemäßer Anlauf sicher nicht zur Auslösung führt, sollte hier ein Sicherheitsfaktor von ca. 1,5 angesetzt werden.

$$1,5 \cdot I_{\text{Anlauf}} < (I_{>>}) < (I_{>>>})$$

Die $I_{>>}$ sollte oberhalb des Motoranlaufstromes eingestellt werden, damit sie nicht durch diesen zur Auslösung kommt.

$$I_{>>} = 1,5 \cdot I_A = 1,5 \cdot 5 \cdot I_{NM} = 1,5 \cdot 5 \cdot 74/100 \cdot I_N \approx 5,5 I_N$$

- Ansprechwert der Hochstromstufe

$$I_{>>} = 5,5 \cdot I_N$$

Die Verzögerungszeit für die Hochstromstufe sollte solange verzögert werden bis der max. Einschaltstrom sicher abgeklungen ist. Werte aus dem Motor-Datenblatt sind den in dieser Applikation getroffenen Annahmen bzw. verwendeten Erfahrungswerten immer vorzuziehen

- Auslöseverzögerung der Hochstromstufe

$$T_{I_{>>}} = 50 \text{ ms}$$

Bei der Funktion des Überstromschutzes sollte eine abhängige Kennlinie gewählt werden, da diese besser an das Betriebsverhalten des Motors angepasst werden kann.

Der abhängige Kurzschlusschutz I_p dient zum Schutz des Motors vor Kurzschlüssen während des Betriebes im eingeschwungenen Zustand (nach Hochlauf). Je höher der Kurzschlussstrom ist, desto schneller wird ausgelöst. Als Auslösekennlinie sollte die Extrem invers Kennlinie gewählt werden.

Für die Einstellung der Überstromstufe I_p ist vor allem der maximal auftretende Betriebsstrom maßgebend. Anregung durch Überlast muss ausgeschlossen sein, da das Gerät in dieser Betriebsart mit entsprechend kurzen Kommandozeiten als Kurzschlusschutz, nicht als Überlastschutz arbeitet.

$$I_p = 1,5 \cdot I_{NM}/1,1 = 1,5/1,1 \cdot 74/100 \cdot I_N \approx 1,0 I_N$$

- Zeitmultiplikator für die Phasenströme

$$T_p = 1,5 \text{ s}$$

- Einstellwert der Überstromstufe I_p für die Phasenströme

$$I_p = 1,0 I_N$$

■ 4. Zusammenfassung

An diesem Einstellbeispiel ist ersichtlich dass mit einem SIPROTEC Schutzgerät ein umfassender Schutz eines Motors realisiert werden kann, und damit neben dem eigentlichen Schutz des Betriebsmittels auch ein Schutz des übrigen Energienetzes vorhanden ist.

Aus schutztechnischer Sicht bietet das Gerät neben dem Kurzschlusschutz auch weitergehende Schutzfunktionen für Motoren kleiner Leistungsklassen. Da alle Schutzfunktionen in einem Gerät vorhanden sind wird der Aufwand für Anschluss und Prüfung minimiert.

Die Voreinstellungen des Gerätes sind so gewählt, dass der Anwender viele Werte, wenn nicht besser bekannt, übernehmen kann. Für die Einstellung benötigte Werte sind im wesentlichen Daten des Motordatenblattes was die Einstellung sehr erleichtert.

