

4.6 Spannungsrückgangsschutz (Unterspannungsauslösung)

Kurzschlüsse, Blitzschläge und ähnliche in Großnetzen kaum vermeidbare Betriebsvorfälle haben oftmals einen plötzlichen Zusammenbruch, mindestens aber einen starken Rückgang der Netzspannung zur Folge. Der Selektivschutz ist heute wohl überall so gut ausgebildet, daß er solche Störungen durch Abschaltung des kranken Netzteils bzw. der betroffenen Stelle innerhalb einer oder weniger Sekunden beseitigt und damit den ungestörten Weiterbetrieb des gesunden Netzes sichert. Es ist nun die Frage, in welchem Maße ein Motor oder ein motorischer Antrieb durch solche kurzzeitige Spannungszusammenbrüche gefährdet ist und wie er gegen ihre Auswirkungen geschützt werden kann. Da das Drehmoment eines Asynchronmotors quadratisch, das einer Synchronmaschine linear von der treibenden Netzspannung abhängt, hat eine Spannungsabsenkung bei Weiterbetrieb der Arbeitsmaschine die Aufnahme eines höheren Netzstroms zur Folge, auf den der thermische oder der Kurzschlußschutz reagiert, wenn der Motor durch die stärkere Erwärmung gefährdet erscheint. Solange die Spannungsabsenkung nicht so groß und die Erwärmungszeit nur kurz ist, so daß der Motor in Tritt bleibt, ist ein besonderer Schutz gegen ihre Auswirkung nicht vonnöten. Bleibt jedoch die Spannung völlig weg oder sinkt sie unter einen Wert, bei dem

das Restdrehmoment des Motors zum Weiterbetrieb nicht ausreicht, so kommt es zu einem starken Drehzahlabfall und nach einer durch die Verhältnisse gegebenen Zeit zum Stillstand des Antriebs. Ein hohes Gegendrehmoment der angetriebenen Maschine verkürzt die Auslaufzeit, ein großes Schwungmoment der bewegten Massen verlängert sie, weil die in ihnen gespeicherte kinetische Energie den Antrieb in Gang hält. Das Gegenmoment der angetriebenen Maschine nimmt dabei in den meisten Fällen mit sinkender Drehzahl ab, die Schwungenergie wird gleichzeitig verbraucht. Jedenfalls ist nach einer den Verhältnissen entsprechenden Zeit die Drehzahl so stark abgefallen, daß die Wiederkehr der vollen Netzspannung die gleiche Wirkung hervorruft wie der Anlaufvorgang. Es kommt zu einer mehr oder weniger hohen stoßartigen Stromaufnahme für die Beschleunigung der Massen auf die volle Betriebsdrehzahl. Da nun bei plötzlicher Spannungswiederkehr alle Motoren gleichzeitig anlaufen, ergibt sich eine starke Überlastung des Netzes mit hohen Spannungsabfällen in Transformatoren und Leitungen [4], [50], die im Sinne einer ordnungsgemäßen Betriebsführung unbedingt vermieden werden muß, schon weil sie unter Umständen zum Auslösen verschiedener Überstrom-Schutzeinrichtungen und damit zu neuen Netzstörungen führt. Dazu kommt noch, daß der unerwartete Anlauf der Maschinen die Werk tätigen in hohem Maße gefährden und Unfälle hervorrufen kann.

Man könnte aus diesem Grunde der Meinung sein, daß zu jedem Motorschutzschalter notwendigerweise auch ein Unterspannungsauslöser gehört, und man vertrat lange Zeit konsequent diesen Standpunkt. Andererseits ist es unerträglich, daß Spannungsabsenkungen von kurzer Dauer, die kaum bemerkt werden, zum Stillstand des gesamten Betriebes führen sollen. Um das zu vermeiden, muß die Auslösung verzögert erfolgen – eine Maßnahme, die das einfache Gerät kompliziert macht und doch nicht in allen Fällen richtig ist. Aus allen diesen Umständen ergibt sich die Frage, ob ein Schutz gegen Spannungsabsenkung und Spannungszusammenbruch überhaupt notwendig und ratsam ist, wie und wann er angewendet werden soll und wie er beschaffen sein muß, um tatsächlich ein Schutz und keine Störungsquelle zu sein. Bei Behandlung dieser Fragen muß, wie bereits in der Einleitung unterstrichen, der Motor mit seiner Arbeitsmaschine, der Betrieb, das Netz und die Unfallsicherheit des Bedienungspersonals gleichzeitig und gleichwertig ins Auge gefaßt werden.

Eine plötzliche Wiedereinschaltung kann nur Schleifringankermotoren oder Synchronmotoren mit Anlaßeinrichtung gefährden, wenn die Anlaßapparatur vorher nicht wieder in die Ausgangsstellung gebracht wurde, Käfigankermotoren nur dann, wenn dieser zweite ungewollte Anlauf so knapp hinter einem ersten erfolgt, daß ihn der Motor thermisch noch nicht verträgt.

Vom Standpunkt der Arbeitsmaschine aus ist zu prüfen, ob und wie lange sie einen Drehzahlabfall aushält, ohne daß sie oder der Produktionsverlauf daran Schaden nimmt. So z. B. werden Fördereinrichtungen, Bahnen, Mühlen usw. eine kurze Zeit mit verminderter Spannung gefahren werden können, nicht aber Spinnmaschinen, Papiermaschinen und andere aus der Zellstoffindustrie, bei denen ein ununterbrochener Arbeitsfortgang und völlig gleichbleibende Tourenzahl Bedingung ist. Das Netz und seine in ungestörtem Betrieb befindlichen Verbraucher müssen, wie bereits erwähnt, unbedingt vor den Auswirkungen des gleichzeitigen Selbstanlaufs zahlreicher kleiner und unter Umständen größerer, normalerweise nur durch Stern-Dreieck-Schalter oder sonst eine Anlaßvorrichtung in Gang zu setzender Motoren geschützt werden.

Das Bedienungspersonal darf vom unerwarteten Hochlauf der Maschinen nicht überrascht werden, da damit in den meisten Fällen Unfallgefahr verbunden ist.

Andererseits ist es unerträglich, Abschaltungen ganzer Betriebe mit dem unvermeidlichen Verlust an Arbeitszeit, dem Ausschluß an Werkstücken, dem Mißlingen chemischer oder technischer Vorgänge in Kauf zu nehmen, nur weil durch eine Kurzschlußfortschaltung [68], eine vorübergehende Gewitterstörung oder sonst einen mit dem Freileitungsbetrieb notwendig verbundenen Vorfall ein kurzzeitlicher Spannungszusammenbruch folgt. Die Beseitigung solcher Störungen und ihrer Auswirkungen ist Sache des Selektivschutzes, der seinen Sinn verliert und seine Kosten nicht rechtfertigt, wenn eine unrichtig oder zu ängstlich ausgelegte Unterspannungsauslösung seine Wirkung aufhebt.

Diese vielen Für und Wider erfordern also eine genaue Wertung und Abschätzung der Verhältnisse, bezogen auf Motorgröße und Motortyp, den Betriebsfall, die Häufigkeit, die Folgen der Auswirkung, und lassen sich deshalb nicht von einer allgemein gültigen Vorschrift umreißen. Um aber doch wenigstens eine Richtlinie zu geben, sollen die wichtigsten Gesichtspunkte ohne Verbindlichkeit für den Einzelfall zusammengefaßt werden:

1. Käfigankermotoren kleiner Leistung an Werkzeugmaschinen, deren gemeinsamer Wiederanlauf mit Rücksicht auf die ausreichende Leistung des vorgeschalteten Transformators oder des speisenden Netzes keine Unzuträglichkeiten mit sich bringt und bei denen eine Gefährdung des Bedienungspersonals nicht zu erwarten ist, erhalten keine Nullspannungsauslösung. Tatsächlich fallen die Stromspitzen beim Anlauf vieler kleiner Motoren, bedingt durch ihre verschiedene räumliche Lage im Netz und andere aus Bauart, Einsatz, Eigenart der Arbeitsmaschine resultierende Einflüsse, zeitlich nicht genau zusammen, so daß der Summenanlaufstrom wesentlich niedriger wird, als es die Addition der Spitzenwerte erwarten läßt. Unverzögerte Schütze, die ihre Steuerspannung vom Netz erhalten, eignen sich jedoch als Motorschutzschalter in diesem Fall nicht, weil sie, auch bei nur ganz kurzzeitiger Spannungsunterbrechung, abfallen.

2. Alle Antriebe, deren ungestörter Weiterlauf für den Gesamtbetrieb nicht von unbedingter Wichtigkeit ist, die also Abschaltungen von wenigen Minuten Dauer ertragen, sind mit Unterspannungsauslösung ohne Verzögerung oder – was in der Wirkung dasselbe ist – mit Schützen ohne Abfallverzögerung als Motorschutzschalter auszurüsten.

3. Motoren größerer Leistung werden durch verzögerte Unterspannungsauslösung geschützt. Die Verzögerungszeit ist so lang zu wählen, als das mit Rücksicht auf Arbeitsmaschine, Schwungmassen und Netzbetrieb gerade noch möglich und nötig ist, um über kurzzeitige, vorübergehende Spannungsabsenkungen ohne Abschaltung wegzukommen. Die Einstellzeit, die zwischen 0,5 und 3, bzw. 1 und 5 s liegen wird, kann zur Ersparung von Skalen oder anderen Maßnahmen ein für allemal fest eingestellt werden.

4. Bei wichtigen Antrieben großer Leistung mit Käfiganker- oder selbstanlaufenden Synchronmotoren ist eine Spannungsrückgangsauslösung mit einstellbarer Verzögerung wohl fast stets erforderlich. Sie wird am besten durch ein Spannungsrückgangsrelais mit einem nach der Kippgrenze einstellbaren Abfallwert in Verbindung mit einem präzise arbeitenden, auf die längstmögliche Verzögerung eingestellten Zeitrelais bewirkt, das mit seiner genauen Skala und der feinmechanisch viel exakteren Ausführung eine weitaus bessere Anpassung an die Verhältnisse gestattet als ein normaler Auslöser. Jedenfalls muß verhindert werden, daß solche Antriebe wegen eines vorübergehenden Spannungszusammenbruchs vom Netz getrennt werden. Der Weiter-

betrieb von Asynchronmotoren bei Spannungssenkung wird dadurch beeinflusst, daß sowohl der Ständer- als auch der Läuferstrom mit der Spannung gleichzeitig absinken, das Moment also mit dem Quadrat der Spannungsverminderung an Größe verliert. Bei 30% Spannungsabfall z. B. sinkt das Drehmoment auf knapp die Hälfte des Nennwertes ab. Unterschreitet es dabei den Wert des Gegenmoments der anzutreibenden Maschine, so fällt der Motor außer Tritt. Andererseits erfolgt ein Wiederanlauf bei zurückkehrender Spannung verhältnismäßig einfach und stoßfrei, wenn die Drehzahl nicht zu stark abgesunken war. Bei Synchronmotoren vermindert sich mit der Netzspannung nur der Ständerstrom; das Läuferfeld wird durch die fremde Gleichstromquelle aufrechterhalten. Deshalb erleidet das Drehmoment eines Motors bei 30%iger Absenkung der Netzspannung nur eine ungefähr gleiche Einbuße. Der Synchronmotor kann daher eine stärkere Spannungsminderung ertragen, seine Unterspannungsauslösung kann auf einen tieferen Wert eingestellt werden. Andererseits sind gerade Synchronmaschinen gegen kurz andauernde heftige Netzzusammenbrüche viel empfindlicher, sie fallen außer Tritt und fangen sich, wenn der Grenzwinkel einmal überschritten ist, nicht mehr wieder, trotzdem nach einem Schlupf um zwei oder vier Polteilungen theoretisch dazu die Möglichkeit gegeben wäre. Ist der Fall eingetreten, dann muß die Maschine schnellstens vom Netz getrennt werden.

Antriebe großer Leistung und Bedienung erfordern also in allen Fällen eine sorgfältige Untersuchung.

5. Alle Antriebe, die für jeden neuen Anlauf einen Anlaßvorgang bedingen, also Käfigankermotoren mit Stern-Dreieck- oder Reihenparallelschalter, Ständeranlasser in mehreren oder einer Phase (Kusa-Schaltung), Schleifring-Ankermotoren mit Läuferanlasser, Synchronmotoren mit Anlaßdrossel, Anlaßtransformator oder Teilleistungsanlauf und alle Maschinen mit Anwurfmotor erhalten Unterspannungsauslösung mit einstellbarer Verzögerung in Verbindung mit der Anlaßapparatur, die einen neuen Anlauf verhindert, bevor diese nicht wieder in die Ausgangsstellung zurückgebracht wurde. Die Wahl der Verzögerungszeit, d. h. also die Einstellung der Verzögerung, muß den Betriebsumständen angepaßt werden.

6. Es ist oftmals – wenn auch nicht immer – richtig, eine Unterspannungsauslösung mit von 3 bis 5 s eingestellter Verzögerung nur am Hauptschalter der Umspannung oder den Eingangsschaltern der Unterverteilungen anzubringen, so daß die Abschaltung tatsächlich nur bei einem definitiven Spannungszusammenbruch erfolgt. Die einzelnen Motoren erhalten dann, wie unter 1. ausgeführt, verklinkte Motorschutzschalter ohne Unterspannungsauslösung. Schaltschütze eignen sich in diesen Fällen nicht, weil sie ihren Haltestrom aus dem Netz beziehen. Eine Abschaltung durch den Spannungsrückgangsschutz wird optisch und akustisch im zuständigen Büro des Betriebes und dem Betriebselektriker gemeldet, so daß von diesen Stellen aus Vorkehrungen getroffen werden können, die Auswirkung der Betriebsstörung auf das Mindestmaß zu begrenzen und Unfälle zu verhüten.

Diese zentrale Anwendung der Schutzeinrichtung führt erstens zu nicht unbedeutenden Ersparnissen, zweitens wird durch sie in weitverzweigten Anlagen das Zurücklegen weiter Wege zur Wiedereinschaltung der einzelnen Motoren und damit ein großer Zeitverlust vermieden. Bei Zentralisierung des Schutzes auf mehrere Unterverteilungen wird bei gestaffelter Zuschaltung auch noch der Anlaufstromstoß begrenzt.

Im Vorschriftenwerk Deutscher Elektrotechniker ist über Spannungsrückgangsschutzeinrichtungen nur die eine Bestimmung enthalten, daß sie beim Absinken der

Netzspannung bis zu 70% der Auslösernennspannung nicht ansprechen, bei einem Rückgang auf 35% aber die Auslösung mit Sicherheit herbeiführen müssen (VDE 0660 § 33, Tafel 9, Zeile 7 bis 9 sowie Tafel 8 im Anhang). Die beiden Grenzwerte sind im praktischen Betrieb ermittelt und sollten streng eingehalten werden. Das geschieht im allgemeinen auch bei den marktgängigen Geräten; manchmal finden sich Motorschutzschalter, die schon bei einem Spannungsrückgang von 40 bis 50% auslösen. Das ist nicht richtig, denn je höher die untere Grenze liegt, um so leichter kommt es ohne zureichenden Grund zu einer Beunruhigung des Betriebes. Eine Zeitverzögerung ist in den Vorschriften nicht genannt. Meist wird sie in den Grenzen von 0 bis 5 s entweder fest eingestellt oder auf einer Skala wählbar vorgesehen. Von manchen Fachleuten wird eine spannungsabhängige Verzögerung für vorteilhaft gehalten, weil ja nach Art, Lage und Größe der Störung im ausgedehnten Netz Betrag und Dauer der Spannungsabsenkung und damit ihre Auswirkung recht verschieden sein kann. Es erscheint deshalb unter Umständen richtig, einer geringen Spannungsabsenkung automatisch eine längere Verzögerungszeit zuzuordnen.

Über die mechanische Ausführung der Schutzeinrichtung ist nicht viel zu sagen. Es ist in allen Fällen eine an der Netz- oder Phasenspannung liegende Magnetspule, deren Klappanker gegen den Druck einer Feder so lange festgehalten wird, bis die sinkende Spannung nicht mehr hinreicht, den Federdruck zu überwinden. Der abfallende Anker wirkt auf eine Auslöswelle oder direkt auf die Freiauslösung des Schalters. Die Verzögerungseinrichtung besteht aus einem mechanischen Hemm- oder Widerwerk, das der Öffnungsbewegung des Ankers einen entsprechend bemessenen Widerstand entgegensetzt und damit zur Folge hat, daß der Öffnungsvorgang nicht sofort, sondern nach einer fest-eingestellten Zeit von 0 bis 5 s eintritt. Das Wiedereinschalten geschieht in allen Fällen schlagartig, weil dann das Hemmwerk wirkungslos ist.

Der Anschluß des Spannungsabfallrelais ans Netz erfolgt stets einphasig, gewöhnlich zwischen zwei Netzleitern (R-S, R-T, S-T) oder zwischen einem Netzleiter und Null, und zwar auf der Motorseite des Schutzschalters, nicht wie man meinen sollte, auf der Seite, von der die Netzspannung kommt. Damit soll verhindert werden, daß die Magnetspule des Spannungsrückgangsauslösers bei ausgeschaltetem Motorschutzschalter unter Netzspannung steht. Es gibt allerdings auch Fälle, bei denen aus anderen Gründen der Anschluß auf der Netzseite erfolgt (s. Abschnitt 5).

Es soll besonders darauf hingewiesen werden, daß der Spannungsrückgangsauslöser üblicher Form nicht gegen die Auswirkung einer Unterbrechung in der Zuleitung, z. B. beim Abschmelzen einer Sicherung oder Drahtbruch, schützt, gleichgültig, ob diese vor oder hinter dem Motorschutzschalter eintritt. Er kann das auch gar nicht, denn der geringe Haltestrom, den die Magnetspule braucht, fließt ihr auch nach Unterbrechung der Zuleitung über die Motorwicklung zu. Dabei ist es gleichgültig, ob diese in Stern oder Dreieck geschaltet ist. Schaltungstechnisch stellt die Wicklung für die Magnetspule einen Vorwiderstand mit verhältnismäßig geringem Wert dar, bedingt also nur eine unbedeutende Verringerung des Haltestroms, auf den die Magnetspule mit ihrem großen Halteverhältnis (Grenzen 70% und 35% U_n) nicht reagieren kann. Voraussetzung für das Arbeiten des Spannungsrückgangsschutzes ist also die gleichzeitige und möglichst gleichwertige Absenkung der Netzspannung in allen drei Phasen, denn diese wirkt auch auf den einphasig ans Netz oder zwischen Netz und Nulleiter angeschlossenen Spannungsrückgangsmagneten. Damit ist auch die oftmals aufgeworfene Frage, ob der Schutz nicht aus Sicherheitsgründen besser mehrphasig ausgeführt werden soll, als müßig, und die Bezeichnung Nullspannungsauslösung als

falsch, zum mindesten als irreführend gekennzeichnet. Die Überwachung der einzelnen Phasen muß anderen Geräten (Phasenüberwachungsrelais) überlassen bleiben. Mit dem Motorschutz hat sie nichts zu tun.

Der Spannungsrückgangsschutz wird nur bei verlinkten Motorschutzschaltern vorgesehen. Ein Schaltschütz, das seinen Steuerstrom vom Netz bezieht (s. Abschnitt 4.1 und 5) benötigt ihn nicht, weil es beim Wegbleiben der Spannung entweder ohne Zeitverzug oder bei entsprechender mechanischer Hemmung nach einer gewissen Zeit abfällt, ohne daran gehindert werden zu können. Die Unterspannungsspule kann auch als Fernausschaltelement gebraucht werden, wenn in ihre Anschlußleitungen zum Netz ein Schalter oder Druckknopf für willkürliche Betätigung eingefügt wird (s. Abschnitt 5). Für diesen Fall wird man verständlicherweise eine unverzögerte Auslösung wählen.