

Explosionsschutz bei Umrichterantrieben

Dr.-Ing. U. Engel

Dipl.-Ing. H. Wickboldt

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

1. Einführung

2. Bau- und Errichtungsvorschriften

3. Baumusterprüfungen

4. Beispiele für Antriebe mit Konformitätsbescheinigung

5. Künftige Entwicklung

1. Einführung

Als Antriebe in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 in der Chemie, Petrochemie und Mineralölverarbeitung haben sich Drehstrom-Asynchronmotoren in explosionsgeschützter Ausführung in den Zündschutzarten "Druckfeste Kapselung" oder "Erhöhte Sicherheit" in einem weiten Leistungsbereich bewährt und befinden sich in erheblichen Stückzahlen im Einsatz. Mit den steigenden prozeßtechnischen Anforderungen einerseits und andererseits mit der fortschreitenden Entwicklung von statischen Frequenzumrichtern stellt sich immer mehr die Frage, ob und unter welchen Voraussetzungen nicht auch Drehstromantriebe in diesen Bereichen als drehzahlgeregelte Antriebe eingesetzt werden können, um an die Stelle von Gleichstrommotoren zu treten, die a priori nicht in der Zündschutzart Erhöhte Sicherheit "e" ausführbar sind.

Wenn man zu dieser Frage die harmonisierten Europäischen Normen [1] heranzieht, so zeigt sich, daß hierfür im einzelnen wenig konkrete Hilfestellung gegeben wird. Dies ist aber nur auf den ersten Blick ein Nachteil, insbesondere wenn man die rasante technische Entwicklung auf dem Gebiet der umrichtergespeisten Antriebe berücksichtigt. Diese Entwicklung würde durch zu detaillierte Festlegungen in den Normen unnötig behindert oder eingeschränkt werden. Andererseits sind durch die zulässigen Grenztemperaturen in den Normen eindeutige Kriterien für die Beurteilung derartiger Antriebe enthalten. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt prüft nach den obengenannten Bestimmungen diese Antriebe und stellt bei positivem Ergebnis Konformitätsbescheinigungen aus. Im folgenden wollen wir die Bedingungen und Prüfverfahren erläutern, unter denen auch solche Antriebslösungen das für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 erforderliche Sicherheitsniveau einhalten. Dabei stehen Antriebe in der Zündschutzart Erhöhte Sicherheit im Mittelpunkt der Betrachtungen, weil hier an die Maßnahmen zur thermischen Überwachung der Maschine die höchsten Anforderungen zu stellen sind und deshalb die sicherheitstechnischen Betrachtungen sehr umfassend sein müssen. Die Verallgemeinerung in Richtung einer Vereinfachung - wie z. B. bei der Zündschutzart Druckfeste Kapselung "d" - ist dann verhältnismäßig leicht zu vollziehen.

Wenn wir uns im heutigen Erfahrungsaustausch auf die nach der Verbreitung und Bedeutung wichtigsten Antriebe mit Drehstromasynchronmotoren konzentrieren, so gibt es auch in diesem Rahmen noch immer eine erhebliche Anzahl unterschiedlicher Kombinationen von Komponenten und sonstiger Betriebsparameter:

Motorkühlung

1. Eigenlüfter
2. Fremdlüfter,
3. Ohne Lüfter

Umrichter

1. Spannungszwischenkreisumrichter mit variabler Zwischenkreisspannung
2. Pulsumrichter (üblicherweise mit konstanter Zwischenkreisspannung)
3. Stromzwischenkreisumrichter
4. Umrichter für speziellen Antrieb mit großer Leistung
(z. B. Direktumrichter, Kaskade)

Schutzeinrichtungen:

1. Motorschutzschalter (Motorstarter)
2. Thermischer Maschinenschutz (TMS) mit in die Wicklung eingebauten Kaltleiterfühlern
3. Besondere Schutzeinrichtung für umrichter gespeiste Drehstrommotoren (Umrichtermotor-Schutzeinrichtung, UMS)

Betriebsweise am Umrichter:

1. Einmotorenbetrieb
2. Mehrmotoren- oder Gruppenbetrieb

Spannungs-/Frequenzkennlinie des Umrichters

1. Lineare Abhängigkeit der Spannung von der Frequenz
2. Im oberen Frequenzbereich konstante Spannung, d. h. ‘Feldschwächung‘
3. Quadratische Abhängigkeit der Spannung von der Frequenz

Betriebsart am Umrichter

1. Dauerbetrieb bei variablen Drehzahlen
2. Häufige Drehzahl- und Lastwechsel
 - 2.1 ohne/mit Drehrichtungsänderung
 - 2.2 ohne/mit elektrischem Bremsbetrieb

Selbstverständlich sind bisher nicht alle theoretisch möglichen Kombinationen aus den oben aufgeführten Merkmalen konkret als explosionsgeschützte Antriebe ausgeführt worden. Dennoch sind diese Merkmale ohne Ausnahme aus den bisher geprüften und bescheinigten Antrieben zusammengestellt, und sie zeigen die enorme Vielfalt der Anforderungen in der Prüfpraxis der PTB.

2. Bau- und Errichtungsvorschriften

Der umrichter gespeiste Antrieb besteht aus der Asynchronmaschine, der Überwachungseinrichtung und dem Umrichter. Dabei wird in aller Regel nur der Motor selbst in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 errichtet, während man die Überwachungseinrichtungen und den Umrichter außerhalb des gefährdeten Bereiches unterbringt. Damit unterliegt zunächst nur der Motor den Bauvorschriften nach den Harmonisierten Europäischen Normen für explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel

DIN EN 50 014	Allgemeine Bestimmungen	
DIN EN 50018	Druckfeste Kapselung ‘d‘	und/oder
DIN EN 50019	Erhöhte Sicherheit ‘e‘	

Hierzu treten die Errichtungsbestimmungen

DIN VDE 0165/02.91 Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen,

in denen die Schutzmaßnahmen für Motoren in den Zündschulzarten ‘d‘ und ‘e‘ festgelegt sind und in denen auch der Rahmen für den Betrieb der Motoren am Umrichter abgesteckt ist.

Für Motoren der Schutzart Druckfeste Kapselung heißt es dort in Abschnitt 6.1.4.4:

Elektrische Maschinen der Zündschutzart Druckfeste Kapselung "d" dürfen mit variabler Drehzahl an einem Umrichter betrieben werden, wenn dies in der Baumusterprüfbescheinigung festgelegt ist.

Für elektrische Maschinen, die in einer pauschalen Baumusterprüfbescheinigung behandelt sind, legt der Hersteller die bei Umrichterspeisung zulässigen Betriebsdaten nach entsprechender Prüfung gemäß Vereinbarung mit der Prüfstelle, die die Baumusterprüfbescheinigung ausgestellt hat, fest.

Im selben Abschnitt 6.1.4.4 ist ausgeführt:

Elektrische Maschinen der Zündschutzart Erhöhte Sicherheit "e" dürfen mit variablen Drehzahlen an einem Umrichter betrieben werden, wenn dies in der Baumusterprüfbescheinigung festgelegt ist. Motor, Umrichter und Überwachungseinrichtung sind gemeinsam geprüft und als zusammengehörig gekennzeichnet und die zulässigen Betriebsdaten sind in der gemeinsamen Prüfbescheinigung festgelegt.

Dies findet seine Entsprechung im Entwurf der 2. Ausgabe von EN 50 019, über den derzeit von CENELEC im 3-Monats-Verfahren abgestimmt wird.

3. Prüfung von Antrieben mit Umrichter

Nach der Festlegung in DIN VDE 0165/02.91 und künftig auch in DIN EN 50 01 9/2. Ausgabe bezieht sich die Prüfung von Motoren der Zündschutzart "e" auf den gesamten Antrieb einschließlich des Umrichters und der Überwachungseinrichtung, während dies bei der Zündschutzart "d" nicht in gleicher Weise zwingend festgelegt ist. Da mit den knappen Formulierungen in den Normen unmittelbar wenig Handlungsanweisungen für die Prüfungen gegeben sind, müssen wir den Vergleich zwischen dem Netzbetrieb und der Umrichterspeisung ziehen und danach entsprechend und sinngemäß vorgehen.

Der Betrieb der Maschine am Netz findet unter den folgenden Bedingungen statt:

- a) Die Frequenz ist innerhalb der sehr engen Grenzen für die Netzfrequenz konstant.
- b) Die Spannung ist praktisch sinusförmig und entspricht in der Regel der Bemessungsspannung mit einer Toleranz von $\pm 5\%$ (Bereich A nach IEC 34-1)
- c) Der Schlupf ist - abgesehen vom Anlaufvorgang - gering. Damit sind die Drehzahl sowie der Kühlluftstrom der eigenbelüfteten Motoren nahezu konstant.

Diese drei Voraussetzungen sind bei Speisung der Maschine vom Umrichter vollständig aufzugeben, und es sind die Konsequenzen zu prüfen, die sich daraus vor allem für die Erwärmungen in der Maschine ergeben. Die Folgen müssen aber keineswegs nur von Nachteil sein. Es ergeben sich im Gegenteil auch eine Reihe von Aspekten für ein günstigeres Erwärmungsverhalten. Das ist ganz wesentlich auf das Funktionsprinzip der Asynchronmaschine zurückzuführen. Die Drehmomentbildung setzt die Läuferverluste ja geradezu voraus, und diese sind bei dem großen Schlupf im Anlauf am Netz beträchtlich - aber unvermeidlich. Da die Maschine beim Frequenzhochlauf am Umrichter kaum je den Kippschlupf überschreitet, tritt hier von vornherein nur ein Bruchteil der üblichen Schlupfverluste auf.

Diese günstigen Aspekte können und dürfen natürlich nicht darüber hinwegtäuschen, daß mit der Zunahme der Freiheitsgrade bei den maßgebenden Parametern eine entsprechend komplexe sicherheitstechnische Betrachtung erforderlich ist. Dabei ist es weder sinnvoll noch nützlich, in jeder möglichen Kombination der Parameter die Grenztemperatur jeweils voll auszuschöpfen. Dieses Vorgehen wäre sehr aufwendig und im Ergebnis nutzlos, da es doch an einer entsprechend genau angepaßten Überwachungsmöglichkeit fehlt

Die zweckmäßige Vorgehensweise geht daher von folgenden Fragen aus:

- a) In welchem Bereich der Parameter und Kennwerte kann der vorgesehene Antrieb bei einer vorgegebenen Schutzeinrichtung sicher betrieben werden?
- b) Welche Überwachungsfunktionen sind bei den festgelegten Parametern zur Einhaltung der Grenztemperaturen erforderlich?

In der Praxis stellt sich natürlich auch häufig eine Kombination der beiden Vorgehensweisen ein und wegen der notwendigen Optimierung wird daraus auch manchmal ein rekursiver Vorgang.

Normalbetrieb

Als Ausgangspunkt zur Erläuterung der Probleme bei den Erwärmungen sollen die im Bild 1 dargestellten qualitativen Meßergebnisse an Drehstrom-Käfigläufer-Motoren mit Eigenlüfter bei Betrieb mit konstantem Drehmoment sowie praktisch konstantem Maschinenfluß und damit auch etwa konstantem Ständerstrom dienen.

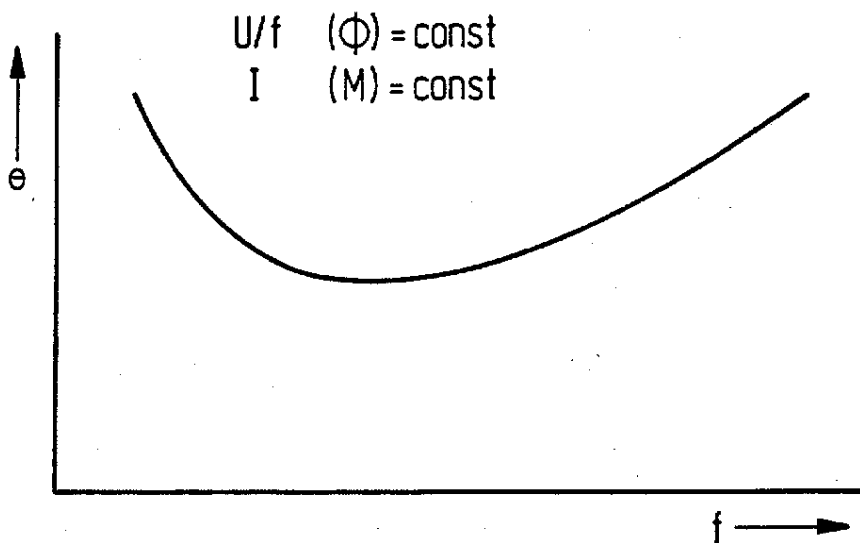


Bild 1 Übertemperatur θ eigenbelüfteter Motoren in Abhängigkeit von der Frequenz

Die Kurve gilt prinzipiell für Ständer und Läufer, die Gehäusetemperaturen liegen entsprechend unter denen der Ständerwicklung. Die Minima der Erwärmungen können je nach Ausnutzung der Maschinen, der Verlustverteilung und der Intensität der Eigenkühlung mehr oder weniger zu niedrigeren oder höheren Frequenzen verschoben sein. Meistens liegen sie zwischen 25 und 40 Hz. Vor allem zu beachten ist der steile Anstieg der Übertemperatur bei kleinen Frequenzen,

aber auch der Anstieg der Temperatur bei den höheren Frequenzen darf nicht außer acht gelassen werden. Während der Erwärmungsanstieg bei den kleinen Frequenzen trotz der geringeren Verluste (Eisen- und Reibungs- aber auch Zusatzverluste gehen zurück) auf die abnehmende Kühlung des Eigenlüfters zurückzuführen ist, wird bei den höheren Frequenzen die Kühlwirkung der Lüfter entsprechend ihrer Charakteristik nicht mehr in dem Maß gesteigert, wie die vorher erwähnten Verluste zunehmen.

Aus diesem Bild wird bereits deutlich, daß sicher nicht ohne weiteres der häufig ausgesprochenen Empfehlung gefolgt werden kann, gegenüber dem Netzbetrieb die Leistung eines Motors für Umrichterbetrieb bei Nennfrequenz um 10 % oder 20 % zu verringern und das entsprechende Drehmoment als Nennmoment für den Umrichterbetrieb zu betrachten. Mit der Drehmomentreduzierung werden zwar die Erwärmungen des Motors bei der Nennfrequenz eingehalten, es ist jedoch nicht sicher, daß dies auch für die kleinen Frequenzen im Hinblick auf die zugehörigen Erwärmungen ausreicht. Durch die Beschränkung auf einen festen Frequenzbereich könnte dann allerdings die Einhaltung der Grenztemperaturen ebenfalls erreicht werden. Der mögliche Frequenzbereich ist durch entsprechende Erwärmungsprüfungen zu bestimmen.

Einen qualitativ anderen Verlauf zeigt die entsprechende Kurve im Bild 2 für Motoren mit einer drehzahlunabhängigen Kühlung, also den Motoren ohne Lüfter oder mit einem Fremdlüfter konstanter Drehzahl. Aus dieser Kurve ist deutlich die Änderung der Verluste mit der Frequenz erkennbar.

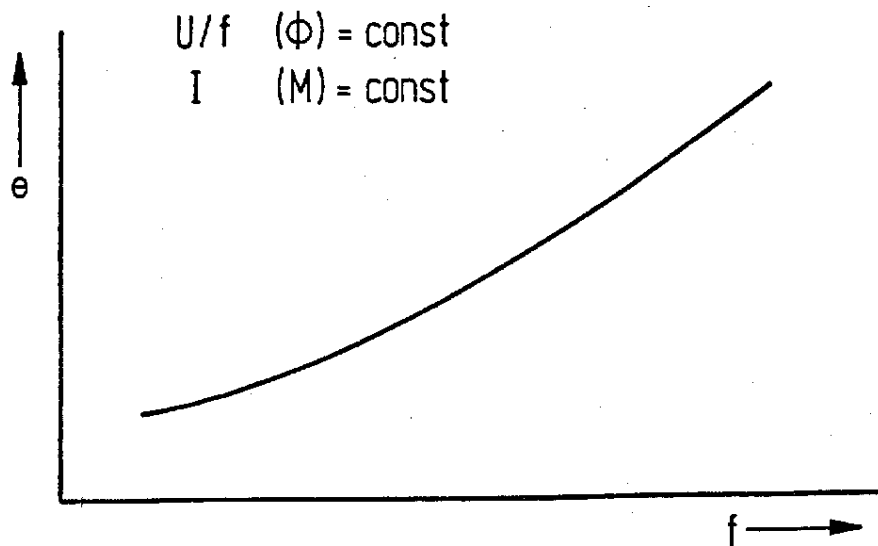


Bild 2 Übertemperatur θ drehzahlunabhängig gekühlter Motoren in Abhängigkeit von der Frequenz f

Die Änderung der Parameter U/f (ϕ) und I (M) verändert zwar die Absolutwerte der Erwärmungen jedoch nur unwesentlich den qualitativen Verlauf dieser Kurven.

Bei vielen Antrieben muß das Drehmoment M des Motors und damit der Strom (oder U/f) nicht über der Frequenz konstant sein, sondern es ändert sich mit den Frequenz z. B. bei Lüfter- oder Pumpenantrieben ($M \sim f^2$). Für die Betrachtung des thermischen Verhalten solcher Antriebe soll die vereinfachte Darstellung im Bild 3 dienen:

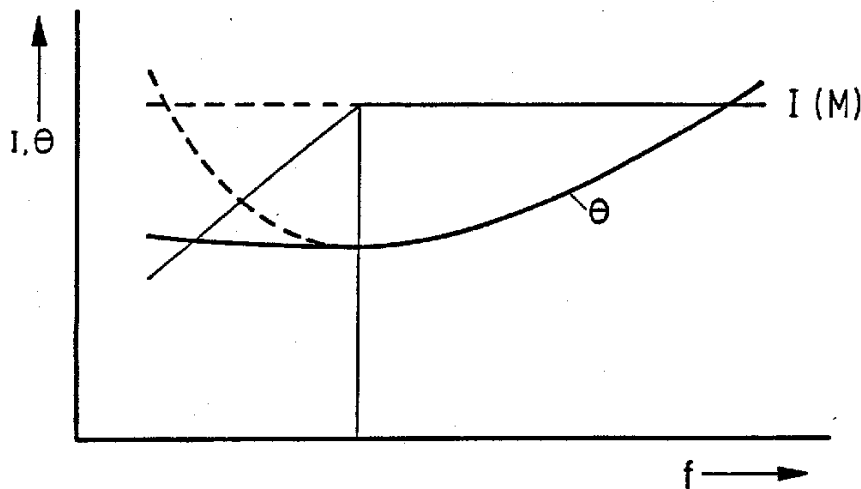


Bild 3 Übertemperatur θ bei frequenzabhängiger Belastung

So kann bei eigenbelüfteten Motoren durch die Reduktion des Motorstromes mit abnehmender Frequenz die Temperatur von Ständer und Läufer im unteren Frequenzbereich entscheidend reduziert werden. Zweckmäßigerweise beginnt die Reduktion bei einer Frequenz nahe dem Temperaturminimum.

Eine Verringerung des Maschinenflusses (durch kleineres Verhältnis U/f) erscheint nur dann vertretbar, wenn dabei auch gleichzeitig der Strom kleiner wird, so daß die Temperaturabnahme sicher ist. Aber auch die Erhöhung des Maschinenflusses durch Anheben der $U(f)$ -Kennlinie im unteren Frequenzbereich kann zu einer Reduzierung der Temperaturen führen, wenn dabei der Rückgang der Stromwärmeverluste gegenüber dem Anstieg der Eisenverluste überwiegt.

3.2 Störungsfälle

Für die Störungsfälle muß grundsätzlich unterschieden werden zwischen:

- Parallelbetrieb mehrerer Motoren an einem Umrichter
- Betrieb nur eines Motors am Umrichter

Der Parallelbetrieb mehrerer Motoren an einem Umrichter ähnelt dem Netzbetrieb. Da ein solcher Umrichter ausreichend bemessen werden muß, kann der Motor im äußersten Störfall (festgebremster Läufer, "Kurzschluß") meistens den zu der entsprechenden Frequenz aufgrund der eingestellten Spannung gehörenden Kurzschlußstrom aufnehmen, d. h. auch bei maximaler Frequenz und Spannung. Ein solcher "Kurzschluß" bei der maximalen Frequenz wäre der ungünstigste Fall; denn wegen des nahezu konstanten Verhältnisses U/f kommen die ohmschen Anteile in den Kurzschlußreaktanzen bei kleineren Frequenzen stärker zum Tragen, so daß der Kurzschlußstrom und damit die Übertemperaturen zurückgehen.

Wird aber nur ein Motor am Umrichter betrieben, so ist der Kurzschlußstrom normalerweise auf den eingestellten Grenzstrom des Umrichters beschränkt, der wegen der Anpassung des Umrichter-Leistungsteiles an den zu speisenden Motor nur wenig größer sein wird als der Motorstrom für den Umrichterbetrieb. Bei Überlastung des Motors wird vom Umrichter die Frequenz üblicherweise soweit zurückgenommen, daß der Motor mit dem Grenzstrom gerade

noch das erhöhte Lastmoment aufbringen kann oder - im Extremfall - er mit dem Grenzstrom bei sehr kleiner Frequenz (Anlauffrequenz) stehenbleibt. Wenn der Umrichter nun keine zeitliche Begrenzung für diesen Stillstand mit Grenzstrom hat, kann sich der Motor in diesem "Dauerkurzschluß" erwärmen. Bei Motoren ohne Lüfter oder mit Fremdlüfter wird - solange bei letzterem der Lüfter nicht ausfällt - keine besonders hohe Temperatur erreicht. Für den Motor mit Eigenlüfter sei auf die Temperaturen für kleine Frequenzen verwiesen, wie sie im Bild 1 dargestellt sind, d. h., es könnten die zulässigen Grenztemperaturen überschritten werden (vgl. auch Bild 8).

Ein Störfall, der nicht sofort zum Abschalten des Umrichters führen muß, sei hier besonders erwähnt, da er zu erhöhter Belastung für den Motor führen kann. Aufgrund eines Fehlers ist es möglich, daß dem Motor eine Frequenz oberhalb des vorgesehenen Frequenzbereiches angeboten wird und der Motor dadurch mit höherer Drehzahl läuft, wodurch zunächst höhere Lagererwärmungen auftreten. Bei einer erheblichen Überschreitung der vorgesehenen maximalen Frequenz kann auch eine unzulässige mechanische Belastung auftreten, wenn nicht eine Schutzeinrichtung vorher eingreift.

3.3 Schutzmaßnahmen

Die Bestimmungen für explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel sehen die Prüfung der Betriebsmittel im Zusammenhang mit der zugehörigen Temperaturüberwachungseinrichtung vor, sofern sie erforderlich ist. Nur "kurzschlußfeste" Maschinen bedürfen nach den Errichtungsbestimmungen DIN VDE 0165 keiner Überwachungseinrichtung. Daher ist es immer wichtig, daß man bei der Projektierung eines Antriebes mit explosionsgeschützten elektrischen Motoren auch eine Lösung für die erforderliche Überwachungseinrichtung findet. Die Umrichter enthalten zwar eine Reihe den Betrieb des Motors begrenzender Einrichtungen, die gegebenenfalls durch die PTB bei den Typenprüfungen an den umrichtergespeisten Motoren berücksichtigt werden können. Allerdings müßte dann jedesmal wegen dieser Begrenzungselektronik der gesamte Steuerteil des Umrichters in die Motorenprüfung und eine Betrachtung über mögliche Störfälle mit einbezogen werden. Zweckmäßiger ist es daher, an der Schnittstelle zwischen Motor und Umrichter eine geeignete, gesonderte Überwachungseinrichtung einzufügen.

Für Motoren am Netz werden als Überwachungseinrichtungen solche mit stromabhängig verzögerter Auslösung (z. B. Motorstarter) und die TMS-Einrichtungen eingesetzt. In bestimmten Fällen können diese Schutzeinrichtungen auch für die Überwachung umrichtergespeister Motoren ausreichend sein sofern eine "Selbstüberwachung" des Umrichters bei internen Störungen gewährleistet ist.

Einen umfassenderen Schutz für die umrichtergespeisten Motoren bieten allerdings Einrichtungen, die gleichzeitig mehrere Betriebsparameter der Motoren, die vom Umrichter vorgegeben werden, überwachen. Wenn solche Überwachungseinrichtungen (Umrichtermotor-Schutzeinrichtungen, UMS) eingesetzt werden, kann das Prüfverfahren für umrichtergespeiste Maschinen gegebenenfalls vereinfacht werden.

Als wichtigste Einflußgröße auf die Motorerwärmung bleibt natürlich der Strom, da mit seinem Effektivwert die Verluste der Motoren quadratisch ansteigen. Insbesondere für die verschiedenen Störfälle müssen sich entsprechende zeitliche Abhängigkeiten zuordnen lassen. Für Antriebe mit Belastungsmomenten, die mit der Drehzahl (oder Frequenz) steigen, ist die frequenzabhängige Stromüberwachung für den Dauerbetrieb günstig, d. h. Rücknahme des möglichen Betriebs-Stromes (Grenzstromes) mit abnehmender Frequenz. Für Störfälle sollte zusätzlich die frequenzunabhängige Stromgrenze mit einer kürzeren Abschaltzeit vorhanden sein.

Im Zusammenhang mit der Stromüberwachung ist es sinnvoll, durch allgemeine Überwachungseinrichtungen auch den Betrieb der Motoren mit Frequenzen unterhalb einer Minimalfrequenz zeitlich zu begrenzen, jedoch so, daß der Hochlauf sicher möglich ist. Häufig wiederkehrender oder langandauernder Betrieb mit zu niedriger Frequenz darf jedoch nicht möglich sein. Ein Betrieb mit Frequenzen über der oberen Drehzahlgrenze muß überhaupt vermieden werden.

Für alle Antriebe ist es wichtig, zusätzlich die Motorspannung in Abhängigkeit von der Frequenz zu überwachen. Zu hohe Spannungen könnten (bei entsprechend hohem Leerlaufstrom) zu hohe Eisenverluste bedeuten. Zu niedrige Spannungen dagegen bewirken möglicherweise zu hohen Schlupf mit entsprechend steigenden Verlusten.

Für die sichere Anwendung derartiger Umrichter-Schutzeinrichtungen ist eine Selbstüberwachung vorzusehen, oder die Überwachungsfunktionen müssen redundant vorhanden sein. Der Ablauf für die Prüfung einer solchen umrichterunabhängigen Einrichtung durch die PTB entspricht der Prüfung sonstiger Motorschutzeinrichtungen, z. B. TMS-Einrichtungen. Sie umfaßt die Funktionsprüfungen, Funktionssicherheitsbetrachtungen (z.B. Redundanzbetrachtungen sowie Prüfungen auf Störsicherheit im Hinblick auf elektrische oder elektromagnetische Einflüsse, z. B. bei Einbau eines solchen Gerätes in einen Umrichter.

4. Beispiele für Antriebe mit Konformitätsbescheinigungen

Um auf die wesentlichen Probleme bei der Prüfung, die auf die Einhaltung der zulässigen Temperaturen im angestrebten Betriebsbereich gerichtet ist, eingehen zu können, haben wir im Anhang eine Konformitätsbescheinigung mit den am häufigsten vorkommenden Merkmalen und mit zwei alternativen Überwachungseinrichtungen zusammengestellt. Sie soll anhand der durch Ziffern kenntlich gemachten Stellen jeweils kurz erläutert werden. Aufgrund der besonderen Bedingungen, die für alle an Umrichtern betriebenen EExe-Motoren festgelegt werden, steht hinter der Bescheinigungsnummer der Buchstabe X. Das bedeutet, daß die Bescheinigung bzw. eine Kopie am Betriebsort vorliegen muß.

- (1) Neben der mechanischen Ausführung durch die Teilbescheinigungs- Nr. Ex-91.C.3078 U wird auch die elektrische Ausführung festgelegt durch Angabe der Bescheinigungsnummer, wenn der Motor bereits bescheinigt und Unterlagen über die elektrische Ausführung somit vorliegen; sonst Angabe der Bemessungsspannung, mit der der Motor am Netz betrieben würde, vor den Daten.

Die Daten I_A / I_N und t_E haben für diese Anwendung keine Bedeutung, lediglich die Zeit t_E für die (höchste) Temperaturklasse T3 wird ggf. benötigt für die Einstellung der Schutzeinrichtung nach Blatt 2/3 (B).

- (2) Da alle Umrichterhersteller Geräte mit eigenen Charakteristiken herstellen, ist es erforderlich, den Umrichter, mit dem der Motor geprüft wurde, in der Bescheinigung festzuschreiben.

- (3) Die Angabe des zulässigen Spannungsbereiches für den Umrichtereingang wurde der Handhabung bei EExe-Motoren mit Bemessungsspannungsbereichen angepaßt. Die Umrichtereingangsspannung kann einen erheblichen Einfluß auf die Motortemperaturen haben, wie sich leicht aus den in Bild 4 im Ausschnitt dargestellten $U_A(f)$ -Kennlinien für verschiedene Eingangsspannungen U_E bzw. aus den im Bild 5 für die Eckfrequenz f_N dargestellten Abweichungen des Stromes I und der Schlupfdrehzahl n_s von der Umrichtereingangsspannung U_E ablesen läßt.

Der hier angegebene Spannungsbereich entspricht vom Umrichterhersteller angegebenen Daten für die Eingangsspannung von 380 ... 415V + 10 %/- 15%.

Die nachfolgenden Betriebsdaten gelten für eine bevorzugte Spannung des Eingangsspannungsbereiches, hier 380 V. Sie stellen daher für die Grenzwerte des Bemessungsbereiches (342 ... 415 V + 10 % / -15 % nur Richtwerte dar. Erwärmungsprüfungen müssen jedoch auch bei den Grenzwerten vorgenommen werden, da in der Regel hier der kritische Betrieb zu finden ist.

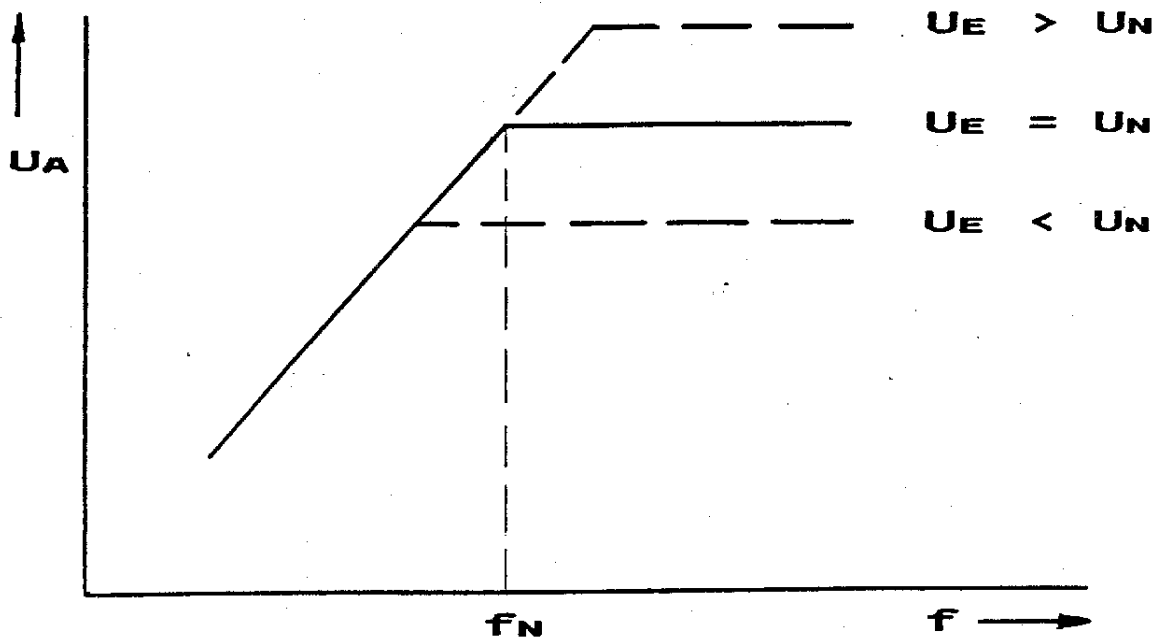


Bild 4 Beispiele für Spannungs-/Frequenzkennlinien bei von der Bemessungsspannung U_N abweichenden Umrichterspannungen U_E

- (4) Die Daten für den Einstellbereich sind in drei kleinere Bereiche unterteilt, im ersten Bereich von 5 bis 15 Hz darf der Motor mit einem maximal linear mit der Frequenz steigenden Moment belastet werden. Bei 15 Hz wird somit durch das zulässige Belastungsmoment ein Eckpunkt gebildet. Im zweiten Bereich von 15 bis 50 Hz ist ein konstantes Lastmoment zulässig. In diesem Bereich steigt die Spannung praktisch linear mit der Frequenz, während sie im ersten Bereich üblicherweise angehoben wird (vgl. Bild 8 A...C). Bei 80 Hz wird der Eckpunkt durch die Spannung bedingt, darüber, im dritten Bereich von 80 bis 100 Hz, ist nur noch die Belastung mit konstanter Leistung möglich, wodurch sich das zulässige

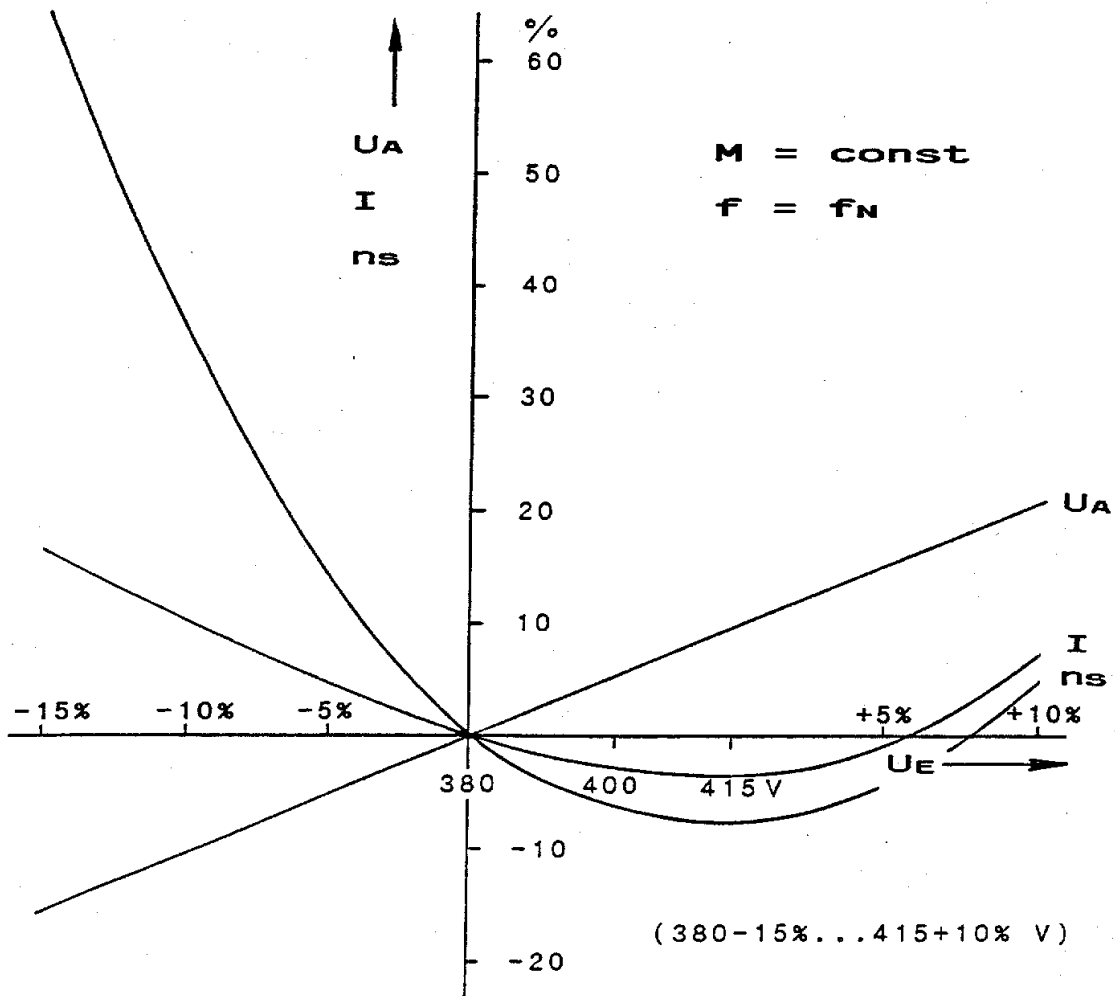


Bild 5 Beispiel für Abweichungen von Umrichterausgangsspannung U_A , Motorstrom I und Schlupfdrehzahl n_s in Abhängigkeit von der Umrichtereingangsspannung U_s bei der Eckfrequenz f_N oder darüber

zu (4) Drehmoment hyperbelförmig reduziert. Bei richtiger Einstellung des Umrichters ist der Strom in den Bereichen von 15 bis 100 Hz praktisch konstant, ebenso die Schlupfdrehzahl. Nicht selten ist es zusätzlich erforderlich, z. B. bei 51 Hz noch einen weiteren Eckpunkt festzuhalten, weil die Spannung des Umrichters tatsächlich nur bis zu dieser Frequenz steigt und nicht bis zur eingestellten Eckfrequenz (60 Hz).

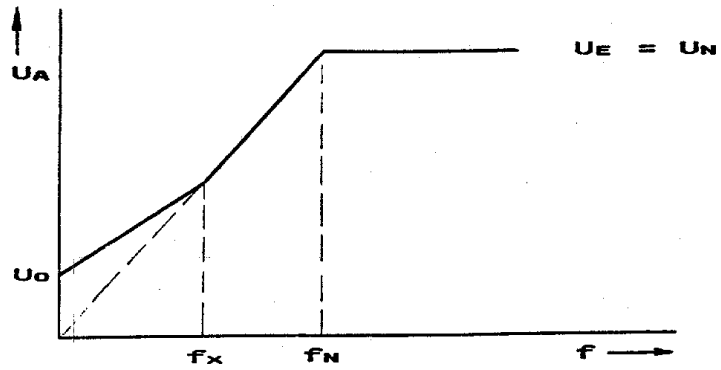


Bild 6A: Spannungsanhebung f_N bei linearer Kennlinie unterhalb einer mittleren Frequenz f_x

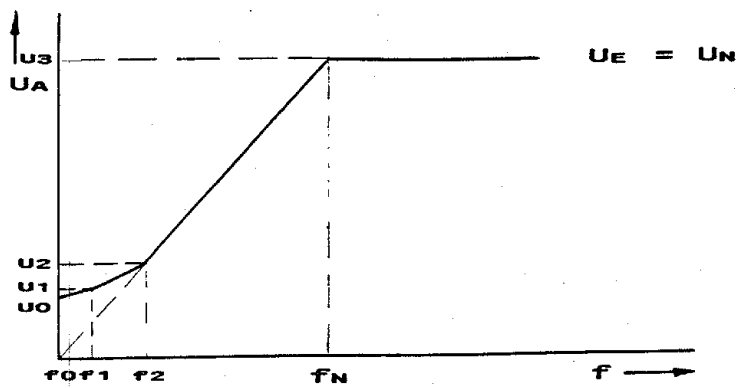


Bild 6B: Kennlinie festgelegt durch einzelne Punkte bei den Eckfrequenzen f_0 , f_1 , f_2 und f_N

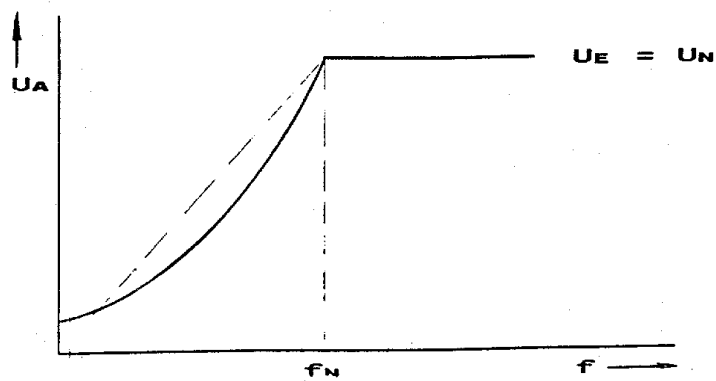


Bild 6C: Kennlinie für Lüfterbetrieb

Bilder A... C: Beispiele für Spannungs-/Frequenzkennlinien

- (5) Die Spannung wird hier als Gleichrichtmittelwert angegeben, er entspricht der Spannungszeitfläche während einer Halbperiode, die der Umrichter über sein Pulsmuster auf den Motor schaltet. Die Angabe von Effektivwerten bei Frequenzen unter der Eckfrequenz von 60 Hz ist bei den meisten Umrichtern nicht sinnvoll, da mit effektivwertmessenden Geräten je nach Typ und Meßbereich unterschiedliche Werte ermittelt werden. Lineare Kennlinien entsprechend Bild 5 ergeben sich nicht (siehe hierzu Bild 7), da die Geräte den Spitzenwert der gepulsten Spannung unterschiedlich bewerten.

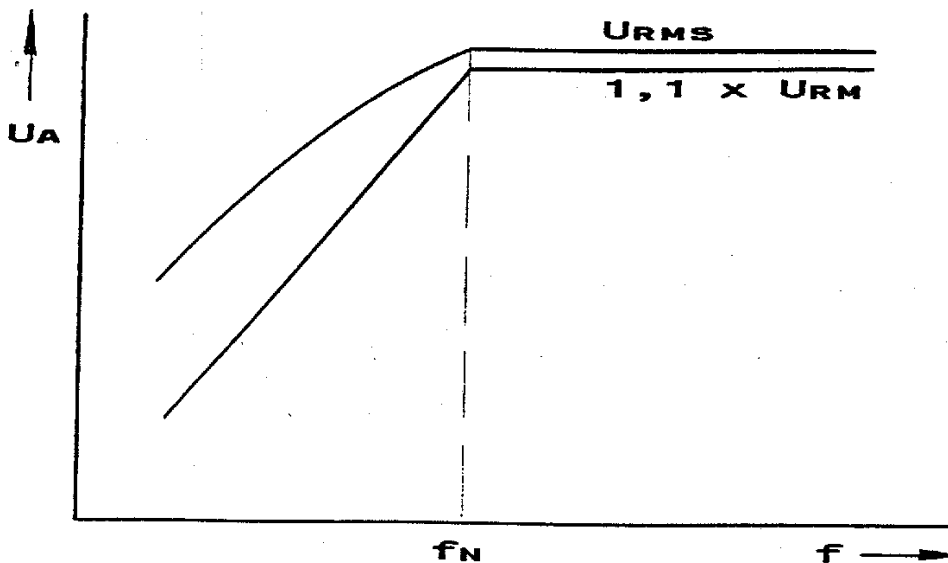


Bild 7 Abweichung der als Effektivwerte gemessenen Spannungs-/Frequenzkennlinie eines Pulsumrichters

Für die Beschreibung des Betriebsverhaltens des Motors wäre es eigentlich günstiger, den Effektivwert der Grundwelle anzugeben. Vor Ort lassen sich diese Werte mit üblichen Vielfachmeßgeräten jedoch nicht mehr nachmessen. Der dem Grundschwingungseffektivwert proportionale Gleichrichtmittelwert (Rectified Mean, RM) ist dagegen auch mit verhältnismäßig einfachen Einrichtungen zu messen: Graetzbrücke aus Spitzendioden mit Abschlußwiderstand und Gleichspannungsmeßgerät (hochohmiges Drehspulgerät oder elektronisches Gerät). Die Angabe des Gleichrichtmittelwertes wird allerdings bei Umrichtern mit hoher Pulsfrequenz auch zunehmend problematisch, da durch die hohen Spannungsein- und -ausschaltsteilheiten in den Leitungen Einschwingvorgänge entstehen die innerhalb einer Halbperiode der Grundschwingung auch zu Nulldurchgängen führen und damit den Meßwert verfälschen. Beispiel: Beim Zwischenschalten einer langen Leitung (>30 m) wird am Motor eine höhere Spannung gemessen; aber auch die Schlupfdrehzahl ist größer, was ja doch wohl auf eine kleinere "effektive" Spannung hindeutet.

- (6) Leider haben noch nicht alle Umrichter eine Anzeige der Ausgangsspannung, so daß ggf. durch diese Angabe die richtige Einstellung des Umrichters zu kontrollieren wäre und damit auf die vorgenannten Spannungsangaben - Effektivwert oder Gleichrichtmittelwert - verzichtet werden könnte. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß die Angabe ein Meßwert und nicht ein 'Rechenwert' der Software für die Umrichtersteuerung ist.

(7) Die am häufigsten für den Schutz umrichter gespeister explosionsgeschützter Motoren verwendete Einrichtung ist die direkte Temperaturüberwachungseinrichtung bestehend aus mindestens drei in die Wicklung eingebetteten Kaltleitertemperaturfühlern und einem Auslösegerät mit dem Prüfzeichen: PTB 3.53-PTC/A. Bisher nicht funktionsgeprüfte Einrichtungen des Umrichters dürfen nicht verwendet werden. Für EExe-Motoren ist gemäß Anhang A zur EN 50 019 die Schutzeinrichtung auf ihre Wirksamkeit zu prüfen, die Funktionsprüfung des Auslösegerätes wird - auch wegen der Austauschbarkeit einer gesonderten Typenprüfung unterzogen und darf dann das Prüfzeichen tragen. Auf eine andere Überwachungsmöglichkeit soll später noch eingegangen werden.

(8) Die Auslösezeit der Überwachungseinrichtung und die Prüfdaten sind Angaben für die Stückprüfung, um zu gewährleisten, daß auch bei den nachgebauten Motoren eine gleichgute Einbettung der Fühler vorgenommen wurde.

Bei größeren Motoren ist die Prüfung im festgebremsten Zustand direkt mit Netzspannung nicht mehr möglich, da dabei der Läufer zu heiß werden könnte. Das sind solche Motoren, die im Netzbetrieb nicht für einen Alleinschutz durch eine solche Einrichtung geeignet sind. Beim Betrieb am Umrichter ist trotzdem eine Überwachung auch für Störungsfälle damit möglich, da durch die Strombegrenzung des Umrichters Ströme in der Größenordnung des Anzugstromes am Netz nicht auftreten und damit die Temperaturanstiege bei plötzlicher Stromzunahme weitaus geringer sind.

(9) Da die Erwärmung der Motoren bekanntlich von vielen Parametern abhängt, ist es nicht möglich, dem Betreiber eine beliebige Einstellung des Umrichters zu gestatten. Vielmehr werden die Parameter, die sich aufgrund der Voruntersuchungen des Motorenherstellers als günstigste erwiesen haben und bereits für die Typenprüfung eingestellt waren, für den Betrieb festgeschrieben. In den besonderen Bedingungen am Ende der Bescheinigung wird noch einmal darauf hingewiesen. Wegen der besonderen Bedingungen muß ja immer ein Exemplar der Konformitätsbescheinigung am Aufstellungsort vorliegen, so daß die richtige Einstellung des Umrichters jederzeit überprüft werden kann.

(10) Als wichtigster Parameter geht die Spannungs-/Frequenzkennlinie mit einer eventuellen Anhebung bei den ganz kleinen Frequenzen in das Verhalten des Motors und seiner Erwärmung ein. Im Bild 6 waren bereits verschiedene Möglichkeiten skizziert. Bei Motoren, deren Lastdrehmoment sich quadratisch mit der Drehzahl (Frequenz) ändert, sehen manche Umrichter auch eine parabelförmige U/f-Kennlinie vor, in der Regel wird jedoch der praktisch lineare Zusammenhang zwischen Spannung und Frequenz bevorzugt.

Eine zu kleine Spannung - insbesondere bei den niedrigen Frequenzen - schränkt die Belastungsmöglichkeit des Motors ein, da die Schlupfdrehzahl, die zudem noch stark von der Erwärmung abhängt (Spannungsabfall an ohmschen Widerständen), stark ansteigen kann, womit wiederum das Drehmoment kleiner wird und ggf. dann ein Betrieb nicht mehr möglich ist.

11) Eine weitere Möglichkeit der Spannungserhöhung ist bei den meisten Umrichtern die IxR - Kompensation, deren Einfluß jedoch auch dosiert eingeplant werden muß, denn auch eine zu hoch eingestellte IxR-Kompensation kann Probleme bringen, wie die Kennlinien für den Strom, die Schlupfdrehzahl und die Gesamtverluste in Abhängigkeit vom IxR-Einstellwert im Bild 8 deutlich zeigen. Allerdings kann sich das durch ein langes Kabel bereits wieder ändern. Der Einfluß geht zudem mit der Frequenz zurück, bereits über 10 Hz ist meistens nur noch ein geringer Einfluß festzustellen.

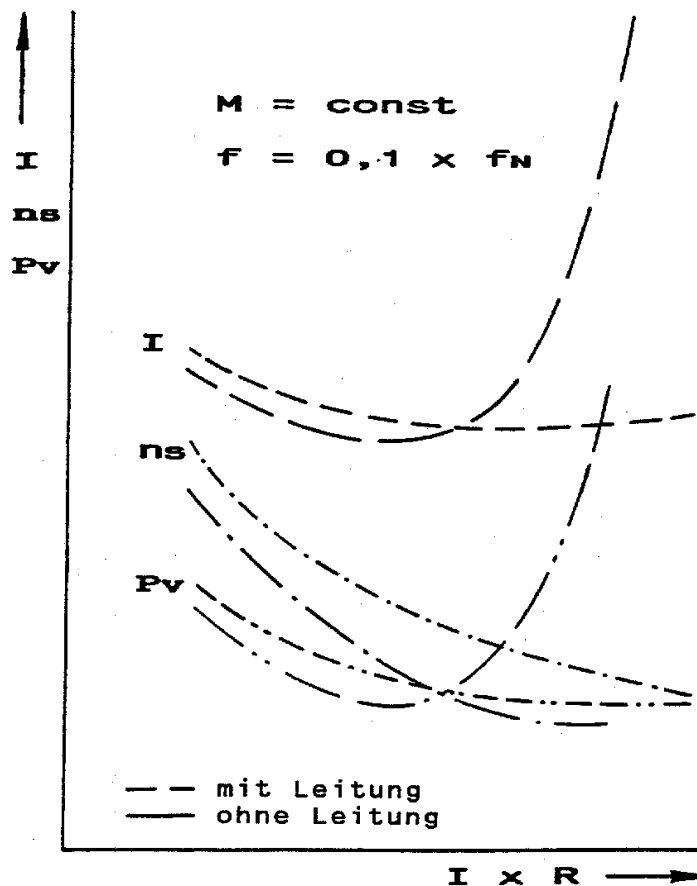


Bild 8 Beispiel für den Einfluß der $I \times R$ -Kompensation bei niedriger Frequenz auf Motorstrom I , Schlupfdrehzahl n_s und Gesamtverluste P_v

- (12) Die vorgenannte $I \times R$ -Kompensation ist bei einigen Umrichtern auch von der eingestellten Stromgrenze abhängig. Im hier vorgestellten Beispiel könnte der Grenzstrom auf $I_G = 38 \text{ A}$ eingestellt sein, dem 1,15fachen des höchsten Stromes für die Bemessungsleistung bei Umrichterbetrieb im oberen Frequenzbereich. Das entspricht der Überlastungsmöglichkeit eines EExe-Motors, der im Netzbetrieb von einem Motorstarter überwacht wird. Um dynamisch günstigere Voraussetzungen zu haben, sind die meisten Umrichter kurzzeitig auch darüberhinaus belastbar, so daß dafür die Stromgrenze nicht unnötig hoch eingestellt zu werden braucht. Derart kurzzeitige Stromüberlastungen (bis $I_{GK} < 1,5 I_G$) haben, wenn sie nicht ständig oder häufig wiederholt werden, nur geringen Einfluß auf die Motorerwärmung.
- (13) Eine maximal zulässige Dauer bis zum Erreichen der Drehzahl bei Mindestfrequenz wird nur bei Motoren großer Leistung angegeben, wenn besondere Anlaufverfahren gewählt werden müssen wegen schwieriger Anlaufverhältnisse und damit verbundener hoher Anlaufferwärmungen, insbesondere im Läufer. Im Normalfall wird der Anlaufbereich bis zur Minimalfrequenz f_{\min} in so kurzer Zeit durchfahren, daß die Anlaufferwärmungen keine besondere Rolle spielen. Andererseits soll der Umrichter - nach einer Überlast im zugelassenen Frequenzbereich - einen Betrieb unterhalb der Minimalfrequenz nicht zulassen bzw. die Überwachungseinrichtung muß abschalten bei zu hoher Erwärmung.

- (14) Die Schlupfkompensation wird nur in seltenen Fällen festgeschrieben, insbesondere dann, wenn auch zusätzliche Einflüsse auf die Motorspannung damit zusammenhängen. Normalerweise spielt sich ein Schlupfausgleich auf der Spannungs-Frequenzkennlinie ab, so daß hier kein besonderer Einfluß in thermischer Hinsicht zu beachten ist.
- (15) Für die Typenprüfung der Motoren wird der der Motorleistung entsprechende Umrichter eingesetzt. Eine große Zahl von Umrichterreihen sind so aufgebaut, daß ohne weiteres durch die Einstellung der Parameter bei einem größeren Umrichter die gleichen Charakteristiken wie bei dem Prüfmuster erzielt werden. Beim Nachweis des gleichen Verhaltens der Umrichter unterschiedlicher Größe wird daher auch die Verwendung der größeren Umrichter des gleichen Typs zugestanden.
- (16) Wenn sich bei der Typenprüfung herausstellt, daß die Grenzwerte für die Temperaturen an der Kabeleinführung oder der Aderverzweigung nicht eingehalten werden kann, was durch die Verminderung der Kühlung bei kleinen Frequenzen ggf. möglich ist, besteht die Möglichkeit, die Motoren über wärmebeständige Kabel anzuschließen, so daß sonst notwendigen Änderungen an den Motoren ausgewichen werden kann.
- (17) Die Festlegungen der Mindestwerte für die Luft- und Kriechstrecken in der Norm EN 50 019 gelten für Gleichspannung bzw. rein sinusförmige Wechselspannungen mit einem Spitzenwert von $W_2 \times$ Tabellenwert für die Spannung. Wenn nun durch die Pulsumrichter mit Pulsfrequenz zusätzliche Spannungsspitzen auftreten können, ist darauf zu achten, daß
- auch hinter langen Leitungen - ein Spitzenwert von $1,1 \times V \sim 1,05 \times$ Nennisolationsspannung des Anschlußkastens nicht überschritten wird. Das gilt selbstverständlich nicht nur bei EExe-Motoren, sondern für alle Motoren mit Anschlußkästen in der Zündschutzart "e". In diesem Beispiel hat der Anschlußkasten eine Nennisolationsspannung von 660 V.

Die Isolation der Motorwicklung muß selbstverständlich auch für diese regelmäßig auftretenden Spannungsbelastungen geeignet sein. Auch bei der Auswahl des Anschlußkabels ist auf eine ausreichende Isolation zu achten.

- (18) Alternativ zu der im Blatt 2/3 (A) dargestellten Überwachungsmöglichkeit gibt es inzwischen zwei von der PTB bescheinigte Umrichtermotorschutzeinrichtungen, die unmittelbar zwischen Umrichter und Motor geschaltet werden können, Es entfällt eine zusätzliche Leitung für den Anschluß der Kaltleitertemperaturfühler. Diese Einrichtungen überwachen frequenzabhängig auf Unterspannung und Überspannung sowie Strom $I_G(f)$ (Dauerlast). Zusätzlich werden frequenzunabhängig der Stromgrenzwert I_C und die Stromsymmetrie überwacht. Für jede einstellbare Grenze können unterschiedliche Auslösezeiten eingestellt werden., Die Überwachung eines Feldschwächbereiches ist bei den Einrichtungen derzeit noch nicht vorgesehen.
- (19) Während für die meisten Grenzkennlinien relativ lange Zeiten (z. B. 120 s) der Überschreitung zugelassen werden können, ist für die Abschaltzeit bei Überschreiten des Stromgrenzwertes I_C eine weit kürzere Zeit zu wählen, sie entspricht in etwa der für Netzbetrieb zu ermittelnden Erwärmungszeit t_E . Sie sollte daher zweckmäßigerweise auf den Wert eingestellt werden, der in der obengenannten Konformitätsbescheinigung für den Netzbetrieb des Motors festgelegt ist

Somit ist dann auch ein Schutz mehrerer an einem Umrichter betriebener Motoren möglich, die jeweils durch eine solche Einrichtung geschützt werden. Und sogar ein Netzbetrieb ist damit zu überwachen.

5. Künftige Entwicklung

Unter diesem Stichwort möchten wir die wesentlichen Aspekte aus der Sicht der Prüfungen an den explosionsgeschützten Antrieben betrachten. Dabei wird es in der Prüftechnik notwendig sein, mit der Entwicklung auf der Seite der umrichter gespeisten Antriebe Schritt zu halten, um hier keine unnötigen Hindernisse entstehen zu lassen. Dabei können wir uns - wie schon heute - nicht auf die Antriebe mit Asynchronmaschinen beschränken, sondern müssen die verschiedenen Antriebe mit Synchronmaschinen und nicht zuletzt auch die Gruppe der Servoantriebe berücksichtigen. Für alle anstehenden Fragen sind die Erkenntnisse im Rahmen der Prüfungen, die an einem bestimmten Antrag - und regelmäßig unter Zeitdruck - vorgenommen werden, allein nicht ausreichend.

Es sind deshalb Grundlagenuntersuchungen sowohl zu Querschnittsaufgaben wie auch für wichtige Detailfragen erforderlich, deren Ergebnisse auch Eingang in die einschlägigen sicherheitstechnischen Normen finden müssen. Bei CENELEC wurde vom TC 31 eine Arbeitsgruppe gebildet, in der für die PTB die Möglichkeit für eine gestaltende Mitwirkung besteht. Wir sind der Auffassung, daß sich erst mit eindeutigen Festlegungen in den Normen die Prüfungen rationell und zügig durchführen lassen, und damit wird wiederum die Dimensionierung des Antriebs unter Einhaltung der notwendigen sicherheitstechnischen Grenzwerte erleichtert.

Für die Durchführung solcher Grundlagenuntersuchungen in der PTB ist ein zusätzliches Vorhaben erforderlich, wobei der Schwerpunkt auf einer neuen Personalstelle für einen wissenschaftlichen Mitarbeiter liegt. Die notwendigen Versuchseinrichtungen sind vorhanden oder konnten in letzter Zeit im wesentlichen beschafft werden. Ein weitgehend automatisierter Prüfstand für die Messungen und Untersuchungen an den Einrichtungen zur thermischen Überwachung befindet sich derzeit im Aufbau.

Die Untersuchungen werden sich aus heutiger Sicht im wesentlichen auf die folgenden Fragestellungen konzentrieren:

- Auswahl und Bewertung von Meßeinrichtungen und Prüfverfahren
- Bestimmung der sicherheitstechnisch relevanten Einflußgrößen und Parameter
- Prüfung und Beurteilung von Überwachungseinrichtungen
- Festlegung von Standardprüfverfahren und Vorschläge für die Normung
- Untersuchung von Spannungsspitzen und notwendige sicherheitstechnische Begrenzung

Auf diesem Wege und in intensiver Zusammenarbeit mit den Herstellern sollte für Antriebe, die den heutigen und künftigen Anforderungen in den Anlagen der Chemie entsprechen, eine rationelle und sichere Prüfung erreicht werden. Dabei muß auch vermieden werden, daß auf internationaler Ebene mangelndes Verständnis zu übergroßer Vorsicht und damit zu überzogenen Anforderungen bei der Prüfung führt.

Literatur

- [1] Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche (VDE-Bestimmungen für schlagwetter- und explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel).
DIN EN 50014 bis 50 020/VDE 0170/0171 Teil 1 bis 7
- [2] *Dreier, H; Stadler, H.; Engel, U.; Wickboldt, H.* : Explosionsgeschützte Maschinen der Schutzart "Erhöhte Sicherheit" (Ex)e. PTB-Prüfregeln Bd. 3. Braunschweig: Physikalisch-Technische Bundesanstalt 1978
- [3] Prüfzeichen der PTB für TMS-Auslösegeräte zur Überwachung explosionsgeschützter Maschinen. PTB-Mitt. 91(1981), S. 122-123
- [4] *Auinger, H.* : Einflüsse der Umrichterspeisung auf elektrische Drehfeldmaschinen, insbesondere auf Käfigläufer-Induktionsmotoren. Siemens- Energietechnik 3 (1981), S.46 - 49
- [5] *Brandes, J.*: Zusätzliche Verluste bei Induktionsmaschinen mit Käfigläufer. ETZ 108 (1987), S. 31 6-321
- [6] *Dreier H. und Gehm, K.-H.*: 40 Jahre Explosionsschutz elektrischer Betriebsmittel in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. PTB-Mitt. 97 (1987), 5. 401-412
- [7] *Engel, U. und Wickboldt, H.*: Umrichtergespeiste explosionsgeschützte Drehstromantriebe. PTB-Mitt.98 (1988), S. 52-62

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



(1) **KONFORMITÄTSBESCHEINIGUNG**

PTB Nr. Ex-92.C.3789 X

(2)

(3) Diese Bescheinigung gilt für das elektrische Betriebsmittel
Drehstrommotor Typ EKM 180 L-04

(4) der Firma **ABC-Motorenwerk**
12345 Motstadt

(5) Die Bauart dieses elektrischen Betriebsmittels sowie die verschiedenen zulässigen Ausführungen sind in der Anlage zu dieser Konformitätsbescheinigung festgelegt.

(6) Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt bescheinigt als Prüfstelle nach Artikel 14 der Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 18. Dezember 1975 (76/117/EWG) die Übereinstimmung dieses elektrischen Betriebsmittels mit den harmonisierten Europäischen Normen

Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche

EN 50 014:1977 + A1...A5 (VDE 0170/0171 Teil 1/1:87) Allgemeine Bestimmungen
EN 50 019:1977 + A1...A3 (VDE 0170/0171 Teil 6/1:87) Erhöhte Sicherheit "e"

nachdem das Betriebsmittel mit Erfolg einer Bauartprüfung unterzogen wurde. Die Ergebnisse dieser Bauartprüfung sind in einem vertraulichen Prüfprotokoll festgelegt.

(7) Das Betriebsmittel ist mit dem folgenden Kennzeichen zu versehen:

EEx e II T3

(8) Der Hersteller ist dafür verantwortlich, daß jedes derart gekennzeichnete Betriebsmittel in seiner Bauart mit den in der Anlage zu dieser Bescheinigung aufgeführten Prüfungsunterlagen übereinstimmt und daß die vorgeschriebenen Stückprüfungen erfolgreich durchgeführt wurden.

(9) Das elektrische Betriebsmittel darf mit dem hier abgedruckten gemeinschaftlichen Unterscheidungszeichen gemäß Anhang II der Richtlinie des Rates vom 6. Februar 1979 (79/196/EWG) gekennzeichnet werden.

Im Auftrag

Braunschweig, (Datum)

L.S.

(Unterschrift)

Prüfbescheinigungen ohne Unterschrift und ohne Dienststempel haben keine Gültigkeit.

Die Bescheinigungen dürfen nur unverändert weiterverbreitet werden.

Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Bundesallee 100, Postfach 33 45, D-3300 Braunschweig.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

ANLAGE

zur Konformitätsbescheinigung PTB Nr. Ex-92.C.3789 X

Beschreibung des Prüfgegenstandes

Die mechanische Ausführung des Drehstrommotors

Typ EKM 180 L-04

in der Zündschutzart Erhöhte Sicherheit "e" ist festgelegt in der Teilbescheinigung PTB Nr. Ex-91.C.3078 U und den zugehörigen Nachträgen.

Die elektrische Auslegung entspricht dem unter PTB Nr. 92.C.3765 bescheinigten Motortyp für eine Bemessungsspannung von 380 V, 60 Hz, Wärmeklasse B oder F. (1)

Der Motor, dessen Drehzahl über die Frequenz einstellbar ist, wird über einen

Transistor-Pulsumrichter Typ FUKM 380/400-23 (2)
der Firma DEFU Umrichter-technik, 23456 Konvertorstadt

zum Anschluß an ein Drehstromnetz 342...435 V, 50 oder 60 Hz, gespeist. Gegenüber den vorgenannten Daten darf die Netzspannung bis zu $\pm 5\%$ - entsprechend dem Bereich A nach IEC 34-1 - schwanken. (3)

Bemessungsgrößen und Daten

Diese Bescheinigung gilt unter der Voraussetzung, daß sich die Motoren dieses Typs - ausgelegt für eine Netzspannung 380 V/60 Hz, Wärmeklasse B oder F - hinsichtlich der elektrischen und thermischen Beanspruchungen nur unwesentlich von dem geprüften Muster unterscheiden, für den Betrieb der Motoren in folgendem Einstellbereich: (4)

Frequenz:	5	...	15	...	60	...	100	Hz
Leistung:	0,55	...	3,7	...	15,7	...	15,7	kW
Spannung: *)	45	...	85	...	335 (370)	...	335 (370)	V (5)
Spannung: **)	50	...	95	...	375	...	375	V (6)
Strom:	20	...	34	...	33	...	33	A
Drehzahl:	135	...	420	...	1770	...	2765	min ⁻¹
Drehmoment:	40	...	85	...	85	...	55	Nm

Die vorgenannten Daten beziehen sich auf eine Eingangsspannung des Umrichters von 380 V. Motorspannung, -strom und -drehzahl können sich mit der Umrichter-eingangsspannung ändern. (3)

*) Gleichrichtmittelwert, gemessen am Umrichterausgang mit einem elektronischen Gerät (Rectified Mean); in Klammern sind die Effektivwerte (nur für $f \geq 60$ Hz) angegeben. (5)

***) Spannungsanzeige am Display des Umrichters (6)

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

ANLAGE

zur Konformitätsbescheinigung PTB Nr. Ex-92.C.3789 X

Überwachungseinrichtung

Gegen unzulässige Erwärmungen infolge Überlastung werden die Motoren dieses Typs durch eine Einrichtung zur direkten Temperaturüberwachung verbunden mit festgelegten Einstelldaten des Umrichters überwacht. Wegen der Besonderheiten der Umrichterspeisung und der angepaßten Überwachungseinrichtung entfallen für die Motoren mit dem Umrichterbetrieb die Angaben über das Verhältnis I_A/I_N und die Erwärmungszeiten t_E . (1)

Die Einrichtung zur direkten Temperaturüberwachung ist von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt typengeprüft und besteht aus drei in die Wicklung eingebauten Temperaturfühlern (Kaltleiter DIN 44 082-S120) sowie einem Auslösegerät mit dem Prüfzeichen PTB 3.53-PTC/A. Auf die Zusammengehörigkeit von Motor und Schutzeinrichtung wird auf den Motoren durch ein Zusatzschild hingewiesen. (7)

Vom Hersteller muß sichergestellt werden, daß die Auslösezeit von 40 s, ausgehend vom kalten Motor (20 °C), mit einer Toleranz von $\pm 20\%$ eingehalten wird, wenn bei festgebremstem Läufer die Motoren aus einem Drehstromnetz mit einer Spannung von 380 V/50 Hz, Anzugstrom 205 A, gespeist werden. (8)

Umrichtereinstelldaten (9)

In Verbindung mit der vorgenannten Überwachungseinrichtung sind die folgenden Umrichterdaten entsprechend der Betriebsanleitung Abs. E6 einzustellen und im Betrieb einzuhalten:

- Motordaten, P_N , U_N , I_N , η_N , $\cos\varphi$, I_0
(für P_N nach obiger Konformitätsbescheinigung, bzw. für " P_N " im Umrichterbetrieb)

- Spannungs- /Frequenzkennlinie $U(f)$ (10)

- Spannungsanhebung im Anfangsbereich (Boost) K_U

- IxR-Kompensation K_I (11)

- Stromgrenze (dauernd) I_G (12)

- Stromgrenze (kurzzeitig) I_{GK}

- Überlastzeit $t_{\bar{U}}$

- Minimalfrequenz f_{\min}

- Maximalfrequenz f_{\max}

- Maximal zulässige Dauer bis f_{\min} erreicht wird t_{\max} (13)

(-Schlupfkompensation K_S) (14)

Alle übrigen Einstelldaten sind den Erfordernissen des Antriebs entsprechend zu wählen.

Die Ausgangsspannung hält bei Speisung des Umrichters mit einer Spannung von 380 V eine praktisch lineare Kennlinie in Abhängigkeit von der Frequenz im Bereich $15 \text{ Hz} \leq f \leq 60 \text{ Hz}$ entsprechend den oben angegebenen Daten ein.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

ANLAGE

zur Konformitätsbescheinigung PTB Nr. Ex-92.C.3789 X

Überwachungseinrichtung

Gegen unzulässige Erwärmungen infolge Überlastung werden die Motoren dieses Typs durch eine Umrichter-motor-Schutzeinrichtung überwacht. Wegen der Besonderheiten der Umrichterspeisung und der angepassten Überwachungseinrichtung (18) entfallen für die Motoren mit dem Umrichterbetrieb die Angaben über das Verhältnis Anzugstrom zu Nennstrom und die Erwärmungszeiten.

Die Motoren werden ausschließlich durch eine Umrichter-motor-Schutzeinrichtung des Typs Calovert der Firma Loher, PTB-Bericht, Gesch.-Nr. 3.53-4424/84-Wk und 3.53/38 8.156-Wk, oder des Typs FMB 1 der Firma Eekels, PTB-Bericht, Gesch.-Nr. 3.53/38 8.151-Wk, geschützt, die die Motorspannung auf Unter- (U_U) oder Überspannung (U_V) frequenzabhängig und den Motorstrom frequenzunabhängig (I_C), frequenzabhängig (I_G) sowie auf Symmetrie (I_{AS}) überwachen, dafür gelten die folgenden Einstellwerte:

Untere Frequenz des Betriebsbereiches f_0	5	Hz
Zwischenfrequenz f_K für Stromgrenze	15	Hz
Obere Frequenz des Betriebsbereiches f_N	60	Hz
Unterspannungsgrenzwerte U_1/U_3 bei den Frequenzen f_0/f_N *)	40/300	V
Überspannungswerte U_2/U_4 bei den Frequenzen f_0/f_N *)	50/405	V
Abschaltzeit t_U bei Unterschreiten der Grenzkennlinie U_U (f)	120	s
Abschaltzeit t_V bei Überschreiten der Grenzkennlinie U_V (f)	120	s
Stromgrenzwerte I_0/I_F bei den Frequenzen f_0/f_K und f_N	22/36	A
Abschaltzeit t_F bei Überschreiten der Stromgrenzlinie I_G (f)	120	s
Frequenzunabhängiger Stromgrenzwert I_C	45	A
Abschaltzeit t_C bei Überschreiten des Stromgrenzwertes I_C	12	s (19)
Maximale Stromunsymmetrie I_{AS}	10	%
Abschaltzeit t_S für Überschreiten der Stromunsymmetriegrenze I_{AS}	120	s

*) Gleichrichtmittelwerte, vgl. Elektrische Daten

Die Einstellung ist entsprechend den Kennlinien der Überwachungsgeräte vorzunehmen.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

ANLAGE

zur Konformitätsbescheinigung PTB Nr. Ex-92.C.3789 X

Besondere Bedingungen

(9)

Die Motoren dieses Typs dürfen nur an Umrichtern des oben angegebenen Typs mit den festgelegten Einstellwerten betrieben werden und müssen durch die oben beschriebene, angepaßte Einrichtung überwacht werden.

Die Verwendung größerer Umrichter der Typenreihe FUKM 380/400 der Firma DEFU ist zulässig, diese Umrichter sind dann ebenfalls auf die oben festgelegten Daten einzustellen.

(15)

Für die Motoren müssen Anschlußkabel oder -leitungen mit erhöhter Wärmebeständigkeit und einer Grenztemperatur von mindestens 90 °C verwendet werden. Darauf wird durch ein Zusatzschild auf den Motoren hingewiesen.

(16)

Durch geeignete Beschaltung am Umrichter Ausgang ist - bei langen Zuleitungen - ggf. sicherzustellen, daß an den Motorklemmen keine Spannungsspitzen mit Pulsfrequenz des Umrichters auftreten, deren Maximalwert - gemessen zwischen zwei Motorklemmen bzw. zwischen einer Motorklemme und Gehäuse - größer ist als $U_{Sp} = 1075 \text{ V}$.

(17)

Im Auftrag

Braunschweig, (Datum)

L.S.

(Unterschrift)