

Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Kurzschlussläufer

Der Drehstrom-Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer (kurz: Kurzschlussläufer ASMKL) ist billig, wartungsfrei und robust. Diese Vorteile machten ihn zum verbreitetsten elektrischen Motor. Nachteilig wirken sein hoher Anlaufstrom und das kräftige Anlaufdrehmoment. Die Folgen sind andere Verbraucher störende Spannungseinbrüche im Netz (Netzurückwirkungen) und eine hohe mechanische Belastung des Antriebsstranges. Spezielle Anlassschaltungen senken diese Beanspruchungen.

Grundsätzliches zum Anlauf von Kurzschlussläufern

Befindet sich der Motor im Stillstand, wird bei Direkteinschaltung ein hoher Anlaufstrom (6- bis 8-facher Nennstrom) vom Netz aufgenommen. Gleichzeitig sinkt das Anlaufdrehmoment. Diesen Strom, dessen Größe in hohem Maße auch von Form und Material der Ankerstäbe (Rund-, Hoch-, Keil-, Doppelstäbläufer u. ä.) abhängt, gilt es zu senken. Er verursacht nämlich unangenehme Netzurückwirkungen und Zusatzbeanspruchungen im Motor bzw. des Antriebs. Um sie zu vermeiden, also den Anlaufstrom zu begrenzen, muss die Klemmenspannung an der Maschine vermindert werden. Leider sinkt mit der Spannung ebenfalls das Anlaufdrehmoment. Näherungsweise hängt das Moment vom Quadrat der Stromes im Motor ab. Und der Motorstrom sinkt immer stärker als die Spannung.

Wenn nun z. B. die Anlaufspannung halbiert wird, fließen nur noch ca. 40% des Stromes bei Nennspannung. Weil aber das Quadrat des Stromes und nicht das der Spannung das Drehmoment beeinflusst, beträgt das Drehmoment lediglich noch 16% und nicht 25%, wie oft irrtümlich angenommen.

Zum Anlassen des ASMKL, also zum Absenken und anschließenden definierten Erhöhen der Spannung bis zum Bemessungswert, stehen eine Reihe von z. T. bekannten Methoden zur Verfügung. Die Auswahl richtet sich nach den Netzverhältnissen und den Erfordernissen des Antriebs. Erwünscht ist ein stossfreier Hochlauf, der mit Rücksicht auf die zusätzliche Wärmebeanspruchung des Motors in ausreichend kurzer Zeit (Sekundenbereich) abgeschlossen sein soll.

Der Stern-Dreieck Anlauf

Die einfachste Anordnung zum Senken der Motorspannung während des Hochlaufs ist die bekannte Stern-Dreieck-Schaltung. Gegenüber dem Nennbetriebswert 400 V wird die Spannung an den Motorspulen im Verhältnis $\sqrt{3}:1$ abgesenkt. Gleichzeitig vermindert sich der Anlaufstrom. Das Anlauf-Drehmoment beträgt auch nur noch etwa 25 - 28% des Drehmomentes bei voller Spannung. Strom bzw. Moment bei Sternschaltung (230 V Phasenspannung) erreichen immer weniger als 1/3 des Wertes bei Dreieckschaltung (400 V Phasenspannung)

Dieser niedrige Wert reicht bei leichten Anlaufbedingungen aus. Dazu zählen z. B. Antriebe, die nur Schwungmassen zu beschleunigen haben, und bei denen die Anlaufzeit keine Rolle spielt.

Beim Umschalten von Stern auf Dreieck müssen wenigstens 80% der Nenndrehzahl erreicht sein,

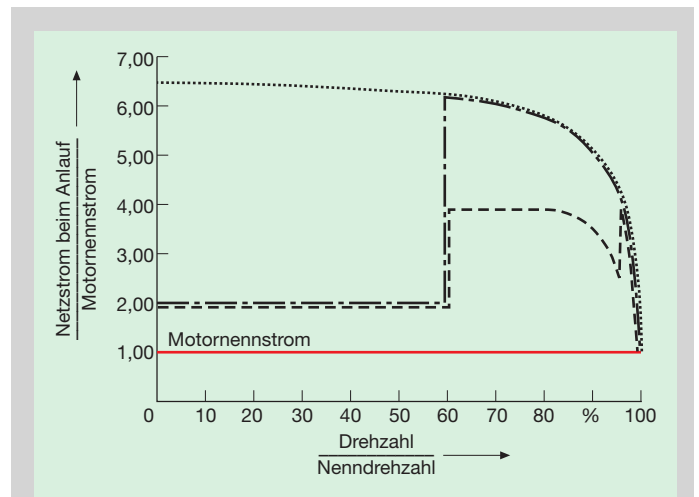
sonst übersteigt der Umschaltenden Einschaltstrom wesentlich und der Drehmomentsprung führt zu einer mechanischen Überlastung des Antriebsstrangs.

Läuft der Motor gegen die Last an, wird die erforderliche Umschaltedrehzahl nicht erreicht. Das Umschalten muss bei geringeren Drehzahlen erfolgen. Umschaltstrom und Drehmomentsprung nehmen unzulässig hohe Werte an.

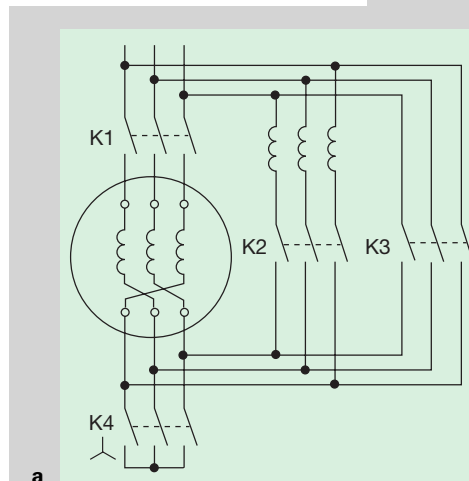
Der Umschaltstrom erreicht unter Umständen gleiche Werte wie beim Direkteinschalten im Dreieck. Für solche Antriebe ist der herkömmliche Stern-Dreieck-Anlauf ungeeignet. Dazu zählen beispielsweise Kreiselpumpen, Lüfter, also Arbeitsmaschinen, bei denen das Drehmoment quadratisch mit der Drehzahl steigt.

Dreistufiger Stern-Dreieck-Anlauf

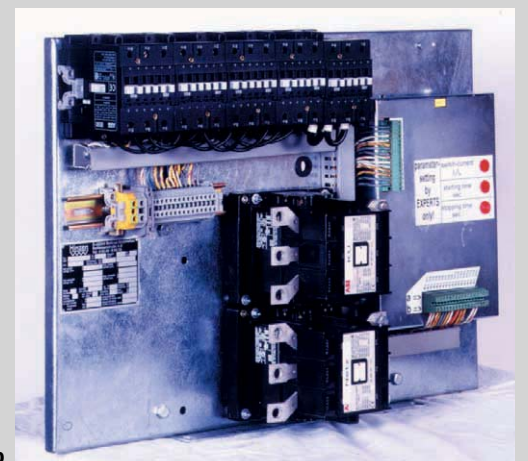
Diese Nachteile beseitigt ein elektronisch gesteuerter, dreistufiger Stern-Dreieck-Anlauf. Die Schaltung (Bild 1) setzt mit einer Zusatzdrossel die Motorklemmenspannung befristet auf einen Betrag zwischen Stern- und Dreieckwert herab. Die Größe der Induktivität mit Eisenkern und Luftspalt hängt von der Motorleistung ab. Die Drossel wird in der letzten Stufe kurzgeschlossen. Eine Unterbrechung des Motorstromes erfolgt dabei nicht. Die zum Steuern der Schaltvorgänge eingesetzte Elektronik ermöglicht auch den dreistufigen Auslauf oder die Ansteuerung eines Moduls für Gleichstrombremsung. An- und Auslaufzeiten sind getrennt einstellbar. So wird eine optimale Schaltfolge ohne Stromspitzen bei



2 Stromverlauf in Abhängigkeit von der Drehzahl
 Direkteinschalten
 - - - - konventionelle Stern-Dreieck-Schaltung
 - · - · - dreistufige Stern-Dreieck-Schaltung



1 Dreistufige Stern-Dreieck-Anlassschaltung
 a Prinzip b elektronisches Steuergerät



(Foto: Hinzen)

geringer Kontaktbelastung erreicht.

Gegenüber dem herkömmlichen Stern-Dreieck-Starter ergeben sich folgende Vorteile:

- kein hoher Stromstoß beim Umschalten (Bild 2)
- An- und Auslauf mit einstellbaren Zeiten
- extrem oberwellenarmer Anlaufstrom
- Temperatur-Vollschutz für die Drossel mit der Möglichkeit, den Motor in den Schutzkreis einzubeziehen
- bedarfsweise Ansteuerung des Bremsmoduls, der für eine kurze und definierte Auslaufzeit sorgt.

Da die Kontrolle der Bremszeit über die zentrale Steuerelektronik erfolgt, reduziert sich der Aufwand für das Bremsen auf ein zusätzliches Schütz und einen Gleichrichter mit Transformator. Die Anordnung (Bild 1) stellt eine kostengünstige Alternative für viele Anlaufprobleme dar. Eingeschlossen sind solche, bei denen der herkömmliche Stern-Dreieck-Anlauf versagt und ein leistungselektronischer Motorsanftstarter [1] eingesetzt werden muss.

Die auch einzeln lieferbare Drossel mit oder ohne Steuerelektronik kann nachträglich in jede bestehende Stern-Dreieck-Anlassschaltung eingefügt werden. Um sie korrekt zu bemessen und die Steuerelektronik richtig einzustellen, sind lediglich Leistung bzw. verlangtes Motormoment anzugeben. Die genaue Anpassung erfolgt vor Ort durch Verändern des Luftspaltgröße des Eisenkerns der Induktivität.

Transformatorischer Mehrstufenanlauf

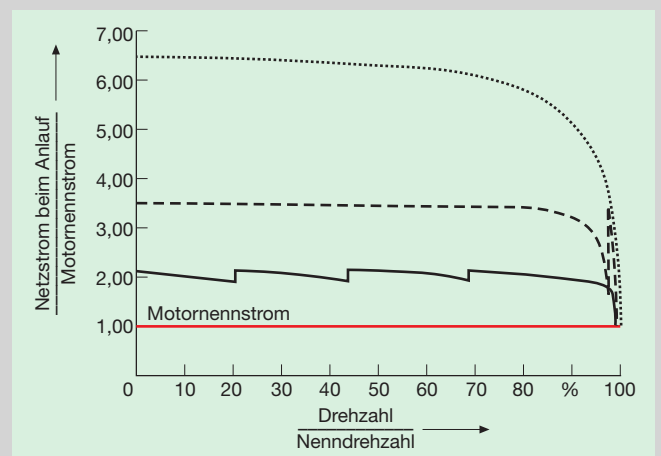
Eine weitere Möglichkeit, die Motorspannung während des Anlaufs zu senken, bietet der Transformator. Vor allem bei großen Motorleistungen im Mittelspannungsbereich und bei ungünstigen Netzverhältnissen muss der Betreiber den Anlaufstrom niedrig halten. Der Transformator ermöglicht bei kleinerem, extrem oberwellenarmen Netzstrom einen höheren, momentenwirksamen Motorstrom. Mit dem Transformator lassen sich die Anlaufströme auf einen Wert senken, der für den leistungselektronischen Sanftanlauf aus physikalischen Gründen unerreichbar ist.



3 Mehrstufige Transformator-Anlassschaltung

(Foto: Hinzen)

Leistung 1300 kW bei 11 kV, Abmessungen LxTxH = 1400x600x1900 mm³, Masse 1200 kg



4 Stromverlauf in Abhängigkeit von der Drehzahl

- Direkteinschalten
- zweistufiger Transformator-Anlauf
- mehrstufiger Transformator-Anlauf
- Strom bei Nennmoment

Tafel 1 Gegenüberstellung der Anlaufströme bei leistungselektronischem und Transformator-Anlauf
Beispiel: 4poliger Normmotor beliebiger Leistung, 6facher Anlaufstrom bei Direkteinschaltung

Verhältnis Netzstrom zu Motor-Nennstrom	Anlaufdrehmoment bei Anlauf-Spannung zum Anlaufdrehmoment bei Nennspannung in %		Drehmoment-Verstärkungsfaktor Transformator zu Sanftanlauf
	leistungselektronischer Sanftanlauf	transformatorischer Anlauf	
1	2,8	14,8	5,3
1,5	6,25	23,5	3,7
2	11,1	33,4	3,0
2,5	17,4	41,8	2,4
3	25,0	51,5	2,1
3,5	34,0	61,4	1,8
4	45,0	72,5	1,6

Die bisherige Einschränkung auf eine Schaltstufe bei herkömmlichen Anlauftransformatoren überwindet ein neuartiges Schaltgerät (Bild 3). Mit ihm gelingt es, die Ausgangsspannung des Transformators unter Last unterbrechungsfrei im Zehntelsekundenbereich mehrfach umzuschalten. Diese Technik gestattet erstmals einen mehrstufigen Anlauf, bei dem durch richtige Spannungsstufung das Motordrehmoment dem Drehmoment der angetriebenen Arbeitsmaschine optimal angepasst werden kann.

Der transformatorische Anlauf besitzt ein wesentlich günstigeres Verhältnis von Netzstrom zu Drehmoment als der leistungselektronische Sanftanlauf. Bei ihm führen Motor und Netz den gleichen Strom. Mit transformatorischen Anlauf ist durch die Übersetzung der Motorstrom höher als der Netzstrom. Dadurch erzeugt diese Anlassschaltung bei gleichem Netzstrom ein wesentlich größeres Drehmoment. Die Tafel 1 verdeutlicht diesen Sachverhalt.

Mit dieser Lösung ist es möglich, für jeden Antrieb während des Hochlaufs den kleinsten Anlaufstrom des Motors bei kürzester Anlaufzeit zu erreichen. Die erzielte Vergleichmäßigung des Anlaufstromes (Bild 4) gilt ohne Spannungs- und Leistungsbegrenzung für den Motor.

Eine Mikroprozessorsteuerung schaltet die Transformatorstufen in Abhängigkeit vom Motorstrom und sorgt so für ein optimales Verhältnis von Anlaufstrom zu Anlaufzeit. Wird bei einer Schaltstufe die vorgesehene Anlaufzeit überschritten, weil eine mechanische Störung vorliegt oder durch mangelnde Kenntnis der Drehmomentverläufe von Motor und an-

getriebener Maschine die günstigste Anpassung noch nicht erreicht ist, meldet diesen Zustand ein Zeitrelais. Der Anwender kann dann zwischen Anlaufabbruch oder Weiterschalten in die nächste Stufe wählen. Dadurch ist vor Ort bei unbekanntem Drehmomentverläufen der niedrigste Anlaufstrom bei kürzester Anlaufzeit einstellbar.

Diese Schaltung gestattet die Versorgung mehrerer Starter aus einem Transformator. Für Anlagen mit mehreren Motoren ergeben sich bedeutende Kosteneinsparungen. Zudem kann der gleiche Transformator andere, beliebige Verbraucher speisen.

Die Anlauftransformatoren besitzen ebenfalls Temperaturvollschutz. Bei Mittelspannungsantrieben ist dieser unter Verwendung von Lichtleitern zum Beherrschen der Isolationsprobleme ausgeführt. Der Anlauftransformator kann um eine Startsperrung ergänzt werden. Sie verhindert den Neustart immer dann, wenn die Temperaturreserve des Trafos für einen vollständigen Anlauf nicht mehr ausreicht. Ein Anlaufabbruch wird so sicher vermieden. Bedienungsfehler sind übrigens ausgeschlossen.

Dieses bisher unbekanntes, zum Patent angemeldete Verfahren erschließt dem Kurzschlussläufer neue Anwendungsgebiete, für die er bisher wegen seines hohen Anlaufstromes nicht einsetzbar war. Dazu zählen vor allem Antriebe großer Leistung wie z. B. Kreiselpumpen, Lüfter, Turbokompressoren.

Literatur:

- [1] Böke, W.: Elektronische Motorsanftstarter schonen Antriebe. Elektropraktiker, Berlin 54(2000)1, S. 58-59 M. Striewe ■