

Auslegung von Softstartern



EATON

Powering Business Worldwide

Alle Marken- und Produktnamen sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Titelhälter.

Störfallservice

Bitte rufen Sie Ihre lokale Vertretung an:

<http://www.eaton.com/moeller/aftersales>

oder

Hotline After Sales Service:

+49 (0) 180 5 223822 (de, en)

AfterSalesEGBonn@eaton.com

Originalbetriebsanleitung

Die deutsche Ausführung dieses Dokuments ist die Originalbetriebsanleitung.

Übersetzung der Originalbetriebsanleitung

Alle nicht deutschen Sprachausgaben dieses Dokuments sind Übersetzungen der Originalbetriebsanleitung.

1. Auflage 2000, Redaktionsdatum 06/00

2. Auflage 2003, Redaktionsdatum 08/03

siehe Änderungsprotokoll im Kapitel „Zu diesem Handbuch“

© 2000 by Eaton Industries GmbH, 53105 Bonn

Autor: Rainer Günzel

Redaktion: Michael Kämper

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, vorbehalten.

Kein Teil dieses Handbuches darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Zustimmung der Firma Eaton Industries GmbH, Bonn, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Änderungen vorbehalten.

Inhalt

	Zu diesem Handbuch	3
	Abkürzungen und Symbole	3
	Änderungsprotokoll	4
1	Anwendungen	5
	Allgemeines	5
	Besonderheiten bei einem Start am Softstarter	7
	– Massenträgheiten	7
	– Leitungslänge	8
	– Kompensationskondensatoren	8
	– In-Delta Anschluss	9
	– Drehrichtungsumkehr	9
	– Dahlandermotoren	9
	– Generatorischer Betrieb	10
	– Softstop bei Pumpenantrieben	10
	– Betrieb an einem Generator	10
	Starten mehrerer Motoren	11
	– Gleichzeitiger Start	11
	– Kaskadierter Start	11
	– Startdaten	12
2	Motoren	17
	Standardmotoren	17
	Kleine Last, kleine Motoren	18
	Motoren mit interner Bremse	18
	Alte Motoren	19
	Schleifringläufermotoren	19
	Motoren mit hohem Sattelmoment	19
	Anlaufzeit und Überstrom	20

3 Auswahlgrößen	21
Auslegung für „normale“ Anwendungen	21
Auslegung bei großen Massenträgheiten/ Schweranlauf	22
Überlastfähigkeit	24
– Überlastfähigkeit, Umrechnung auf andere Startzyklen	24
– Erhöhte Starthäufigkeit	25
– Umrechnung der Überlastfähigkeit auf niedrigere Überströme	26
Auslegung für „Grenzfälle“	27
– Rechnerische Ermittlung der Hochlaufdaten	27
– Beispielrechnung	32
– Auswahl des richtigen Softstarters	43
Startspannung	45
Startzeit (Rampenzeit)	46

Glossar	49
----------------	----

Stichwortverzeichnis	51
-----------------------------	----

Zu diesem Handbuch

In diesem Handbuch stehen die speziellen Informationen die Sie benötigen, um den Softstarter richtig auszulegen und mit Parametern auf Ihre Anforderungen einzustellen.

Die Angaben in diesem Handbuch beziehen sich auf die angegebene Hard- und Software Versionen.

Das Handbuch gilt für alle Baugrößen der Softstarter-Reihen von Eaton. Unterschiede und Besonderheiten der einzelnen Leistungsgrößen sind entsprechend vermerkt.

Abkürzungen und Symbole

In diesem Handbuch werden Symbole und Abkürzungen eingesetzt, die folgende Bedeutung haben:



macht Sie aufmerksam auf interessante Tipps und Zusatzinformationen



Achtung!

warnt vor leichten Sachschäden.



Vorsicht!

warnt vor schweren Sachschäden und leichten Verletzungen.



Warnung!

warnt vor schweren Sachschäden und schweren Verletzungen oder Tod.

Folgende Angaben sind in der DIN EN 60947-4-2 definiert und werden hier benutzt. Die zugehörigen Werte sind in der Gerätedokumentation beschrieben:

- X: Überstrom, der für den Startvorgang benötigt wird in Vielfachen des Gerätenennstromes
- Tx: Zeit, die der Überstrom X während eines Starts anstehen soll
- F: Einschaltdauer bezogen auf den Gesamtzyklus
- S: Starthäufigkeit pro Stunde

Für eine gute Übersichtlichkeit finden Sie auf den linken Seiten im Kopf die Kapitelüberschrift und auf den rechten Seiten den aktuellen Abschnitt.

Änderungsprotokoll

Redaktions- datum	Seite	Stichwort	neu	Ände- rung	ent- fällt
08/03	23	Zeit t_a und Zeit für 1 105 A		✓	

1 Anwendungen

Softstarter sind seit ca. 20 Jahren im Einsatz und werden an nahezu jeder Last zum Start eingesetzt. Sie sind robust und einfach in der Handhabung. Softstarter dienen zum sanften Start von Drehstrom-Asynchronmotoren (Käfigläufer-Motoren). Der Softstarter liegt funktional zwischen dem Frequenzumrichter und dem elektromechanischen Schütz. Für den problemlosen Start sind einige Dinge zu beachten, die in der Art des Startes selbst begründet liegen. Der Softstart ist ein Start mit reduzierter Motorspannung. Dies führt zu einem reduzierten Motordrehmoment. Dieses Handbuch gibt Ihnen Hinweise, wie Sie den richtigen Softstarter für Ihre Anwendung auswählen können.

Allgemeines

Prinzipiell können alle Anwendungen mit einem Softstarter gestartet werden. Jedoch sind die Besonderheiten des Softstarts zu berücksichtigen, eventuell sind auch andere Startlösungen besser geeignet (z. B. bei Schweranlauf, extremen Massenträgheiten etc.). Die Anwendung selbst bestimmt die Größe des erforderlichen Softstarters, ohne genaue Kenntnis ist eine korrekte Auslegung nicht möglich.

Folgende Lasten können Sie grundsätzlich mit einem Softstarter starten:

- schnell startende Lasten mit einem niedrigen Anlaufmoment
- Antriebe, die im Leerlauf starten
- Anwendungen, die mit einer Stern-Dreieck-Kombination gestartet werden können
- Anwendungen, die ein anderes spannungsreduzierendes Startverfahren nutzen (Anlasstrafo, Widerstandsanlasser o. ä.)

Die grundlegende Funktion des Softstarters ist es, das Drehmoment des Motors durch Spannungsreduktion zu verringern. Dadurch startet der Antrieb sanfter, als dies bei einem Direktstart bzw. einer anderen Anlaufmethode möglich ist. Aus diesem Grund kann ein Motor am Softstarter nicht mehr Drehmoment entwickeln, wie im direkten Netzbetrieb.

Da sich das für den Antrieb erforderliche Drehmoment durch die Last ergibt, ist auch der nötige Strom vorgegeben – dieser steht in einem linearen Verhältnis zum erforderlichen Drehmoment. Als Folge davon kann der Motor nicht mit Bemessungsstrom oder weniger gestartet werden.



Erfahrungsgemäß können Antriebe mit Last nicht mit weniger als zweifachem Motorbemessungsstrom gestartet werden. Meist ist sogar dreifacher Motorbemessungsstrom erforderlich.



Anwendungen, bei denen schon verschiedene andere Startverfahren zu Problemen geführt haben, können in der Regel nicht mit einem Softstarter gestartet werden.



Antriebe, die über 5,5 kW mit Direkteinschaltung gestartet werden, können in den meisten Fällen nicht mit einem Softstarter gestartet werden.

Besonderheiten bei einem Start am Softstarter

Massenträgheiten

Die meisten Anwendungen haben so geringe Anforderungen an den Start und die Massenträgheiten des Antriebs sind so gering, dass keine weiteren Überlegungen für den Start am Softstarter erforderlich sind. In diesem Fall muss der Softstarter gleich oder geringfügig mehr Strom liefern können, als auf dem Motortypenschild beschrieben ist.

Auch die Polpaarzahl des Motors hat einen Einfluss auf das Startverhalten. Mit größerer Polpaarzahl kann der Motor aufgrund seines höheren Drehmomentes auch eine größere Massenträgheit überwinden. Folgende Tabelle gibt an, in welchem Verhältnis die Massenträgheit des Motors (J_M) zur Massenträgheit der Last (J_L) stehen sollte, wenn Softstarter eingesetzt werden sollen:

Polpaarzahl	2	4	6	8
Synchrone Drehzahl	3000	1500	1000	750
J_L/J_M kleiner als	5	15	20	25

Bei Anwendungen mit hohem Trägheitsmoment der Last, wie z. B. Zentrifugen, Axiallüfter, Schwungradpressen, muss sicher ein größerer Softstarter eingesetzt werden. Dies ist erforderlich, um den Startstrom über eine längere Zeit liefern zu können und eine Überhitzung des Softstarters zu vermeiden. Bei extremen Verhältnissen ist es erforderlich, alle Antriebsdaten zu analysieren, um den richtigen Softstarter auswählen zu können. Derartige Lasten können auch nicht mehr mit einem gewöhnlichen Motorschutzrelais geschützt werden. Bei Auslöseklassen größer Class 15 ist in der Regel ein elektronischer Motorschutz erforderlich, der entsprechend für Schweranlauf eingestellt werden kann.

Leitungslänge

Die maximale Motorleitungslänge sollte 100 m nicht überschreiten. Bei größeren Leitungslängen kann es vorkommen, dass durch die Leitungsinduktivität und Reflexionen der Stromfluss nicht aufgebaut werden kann bzw. wieder gelöscht wird. Außerdem ist der Spannungsabfall in der Leitung zu berücksichtigen.

Als Abhilfe kann eine Grundlast in Softstarternähe installiert werden (z. B. Parallelinduktivitäten) oder ein anderer Leitungsquerschnitt benutzt werden. Folgende Faktoren beeinflussen das Verhalten der Leitung:

- Leitungslänge
- Verlegeart
- elektrische Daten des Motors

Aus diesen Gründen gibt es keine genaue Aussage über die Möglichkeit von Leitungslängen über 100 m.

Kompensationskondensatoren

Kondensatoren schließen Sie grundsätzlich auf der Netzseite des Softstarters an. Die Kondensatoren sollten immer durch den Softstarter kontrolliert werden, d. h. sie werden erst nach erfolgtem Hochlauf zugeschaltet und vor dem Softstop wieder abgeschaltet. Um einen besseren Thyristorschutz zu gewährleisten, empfehlen wir das Vorschalten von Drosseln an Kompensationskondensatoren.



Achtung!

Es ist sehr wichtig, dass automatische Kompensationen nicht stark überkompensieren. Dies kann zu Schwingungen und gefährlichen Überspannungen führen.

In-Delta Anschluss

Softstarter wie z. B. der DM4-340 können auch „In-Delta“ angeschlossen werden. Bei dieser Anschlussart wird jede Softstarterphase in Reihe mit der Motorwicklung geschaltet. Dabei ist es wichtig, dass der Softstarter phasenrichtig angeschlossen wird, anderenfalls startet der Motor nicht. Falls der Motor in die falsche Richtung dreht, drehen Sie die Phasen am Netzschütz, anstelle den Softstarter neu zu verdrahten. Die Auslegung des Softstarters erfolgt dann auf den Phasenstrom, dieser ist um $\sqrt{3}$ kleiner als der auf dem Motortypenschild beschriebene Bemessungsbetriebsstrom.

Drehrichtungsumkehr

Wenn Sie vor dem Softstarter eine elektromechanische Drehrichtungsumkehr benutzen (Wendeschutzschaltung), dann sollte vor dem Zuschalten der anderen Drehrichtung eine Pause von 150 bis 350 ms eingehalten werden. In dieser Zeit kann sich der Motor vollständig entmagnetisieren. Spannungsspitzen werden so wirkungsvoll unterdrückt.

Dahlandermotoren

Dahlandermotoren können mit dem Softstarter gestartet werden. Softstarter der Reihe DM4-340 bieten dafür zwei unterschiedliche Parametersätze an. Damit können Sie für jede Drehzahl die notwendigen Parameter einstellen. Dabei sollte die aktuelle Motordrehzahl immer unter der für die aktuelle Schaltungsart gültigen synchronen Drehzahl liegen. Das ist dann wichtig, wenn von der hohen auf die niedrigere Drehzahl umgeschaltet wird. Sonst wird der Motor generatorisch und es kann es zu Spannungsspitzen kommen, die den Thyristoren schaden oder sie zerstören.

Generatorischer Betrieb

Wenn der Antrieb betriebsmäßig generatorisch wird, dann schalten Sie eine eventuell aktive $\cos\phi$ -Optimierung aus. Sonst kann es zu Spannungsspitzen auf der Motorseite kommen, die je nach Höhe den Thyristoren schaden oder sie zerstören.

Softstop bei Pumpenantrieben

Um bei Pumpenantrieben den sog. „Wasserschlag“ zu vermeiden, ist es erforderlich die Softstop-Rampe auf möglichst lange Stoppzeiten zu setzen. Bei zu schnellem Stopp wird es weiterhin zum Wasserschlag kommen. Die erforderliche Zeit ist vom Medium und dem Leitungssystem abhängig. Als Richtwert können vier Minuten als Softstop-Zeit angenommen werden.

Betrieb an einem Generator

Wird der Softstarter von einem Generator gespeist, dann muss dieser den Startstrom für die gesamte Startzeit liefern können, in der Regel $3,5 \times I_e$ für 30 s. Bei einer Neuauslegung muss der Generator entsprechend bemessen werden. Da vorhandene Generatoren normalerweise auf Motorbemessungsstrom ausgelegt sind, ist ein Start mit einem Softstarter nicht möglich. In diesem Fall muss ein Frequenzumrichter eingesetzt werden, da so der Start mit Bemessungsstrom möglich ist.

Starten mehrerer Motoren **Gleichzeitiger Start**

Der Softstarter muss so groß bemessen sein, dass er den gesamten Strom aller Motoren führen kann.

Kaskadierter Start

Beim kaskadierten Start ist nicht nur die Motorgröße, sondern auch die zeitliche Abfolge der Starts von Bedeutung. Wenn die Zeit zwischen zwei Starts zu kurz wird, dann muss der Softstarter größer dimensioniert werden. Der Startzyklus wird dann so bestimmt, dass im gewünschten Raster beliebig viele Starts nacheinander durchgeführt werden können.

Beispiel:

Motoren sollen im Abstand von einer Minute gestartet werden. Der Hochlauf dauert 30 s und es wird dreifacher Überstrom benötigt.

Für die Starterauslegung wird folgender Zyklus angenommen: dreifacher Überstrom für 30 s, 60 Starts pro Stunde (abgeleitet aus dem Abstand von einer Minute, hochgerechnet auf eine Stunde). Diese Auslegung wird einen relativ großen Starter ergeben.

Alternative Auslegung:

Der Abstand zwischen zwei Starts wird so verlängert, dass er in das normale Raster der Starthäufigkeit für einen Starter passt. Für einen Starter mit den Angaben dreifacher Überstrom für 30 s bei zehn Starts pro Stunde wird die Zeit zwischen zwei Starts auf sechs Minuten erhöht. In diesem Fall ist keine Überdimensionierung erforderlich. Der Anwender muss die Pausenzeit überwachen.

Wenn mehrere Starts direkt aufeinander folgen, sollte der Umschaltaußenblick auf den nächsten Motor mit dem Top-of-Ramp-Relais kontrolliert werden. Damit ist sichergestellt, dass das Bypass-Schütz im stromlosen Zustand schaltet und es nicht zu Umschalttransienten kommt.

Startdaten

In der folgenden Tabelle sind die häufigsten Softstarteranwendungen mit den wichtigsten Startparametern aufgeführt. Es handelt sich dabei um typische Werte, die je nach Anwendung schwanken können. Zugrunde liegt ein Motor mit 280 % Anlaufmoment und ein minimales Beschleunigungsmoment von 15 %:

Anwendung	t_{Start}	t_{Stopp}	U_{Start}	I_{StartMin}	Losbrechmoment	Bemerkungen
	s	s	%	%	%	
Axialverdichter			48	350	50	
Bandsäge			42	300	35	
Bohrmaschine, unbelastet			29	300	10	
Brecher, beim Start leer			56	450	75	hohe Trägheit möglich
Carding machine (Baumwolle kämmen/reinigen)			64		100	
Fördermittel, horizontal, belastet			76	300	150	
Fördermittel, horizontal, unbelastet			48	300	50	
Fördermittel, vertikal heben, belastet			82	300	175	
Fördermittel, vertikal heben, unbelastet			59	300	85	
Fördermittel, vertikal senken, belastet			37	300	25	

Anwendung	t_{Start}	t_{Stopp}	U_{Start}	I_{StartMin}	Losbrech- moment	Bemerkungen
	s	s	%	%	%	
Fördermittel, vertikal senken, unbelastet			44	300	40	
Hammermühle			70	400	125	exzentrische Last. Motor mit hohem Anlaufmoment erforderlich (Soft- starter-Betrieb)
Kältekompressor	5,00		37	350	25	
Kolbenverdichter, Start unbelastet	10,00		64	450	100	
Kreissäge			48	300	50	evtl. hohe Träg- heit
Kugelmühle			48	400	50	Exzentrische Last
Mehlmühle			44	400	50	
Mischer für Flüssig- keiten			37	350	40	
Mischer für plasti- sche Massen			70	350	125	Motor mit hohem Anlaufmoment von Vorteil
Mischer für pulve- rige Massen			70	350	125	Motor mit hohem Anlaufmoment von Vorteil
Mischer für Trocken- material			56	350	75	
Pelletisierer			64		100	
Pumpe, Verdränger- kolben	25,00	240,00	82	450	175	Motor mit hohem Anlaufmoment von Vorteil

Anwendung	t_{Start}	t_{Stopp}	U_{Start}	I_{StartMin}	Losbrech- moment	Bemerkungen
	s	s	%	%	%	
Pumpe, zentrifugal	10,00	240,00	37	300	25	
Rollsteig, unbelastet			37	300	25	
Rolltreppe			48	350	50	
Rotationsverdichter, unbelastet			42	300	35	
Rührwerk			42	350	35	
Schleifmaschine, unbelastet			37		25	hohes Trägheits- moment möglich
Schneckenförderer			82		175	Motor mit hohem Anlaufmoment erforderlich (Soft- starter-Betrieb)
Schraubenver- dichter, unbelastet			40	350	30	
Schwungradpresse			76	400	150	Motor mit hohem Anlaufmoment von Vorteil
Trockenautomat, rotierend			64		100	
Ventilator, Axial- gebläse, Klappen geschlossen	40,00	0,00	37	375	25	
Ventilator, Axial- gebläse, Klappen offen	30,00	0,00	37	350	25	
Ventilator, Zentrifu- galgebläse, Ventile geschlossen	40,00	0,00	42	375	35	

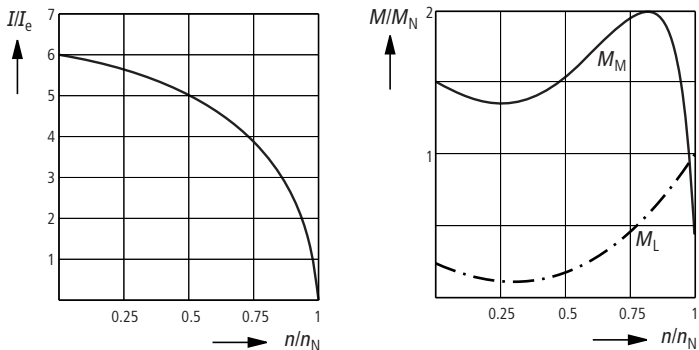
Anwendung	t_{Start}	t_{Stopp}	U_{Start}	I_{StartMin}	Losbrech- moment	Bemerkungen
	s	s	%	%	%	
Ventilator, Zentrifugalgebläse, Ventile offen	30,00	0,00	35	350	20	
Vibrationsförderer			76		150	Motor mit hohem Anlaufmoment erforderlich (Softstarter-Betrieb)
Vibrationssieb			51		60	Motor mit hohem Anlaufmoment erforderlich (Softstarter-Betrieb)
Walzwerk			48		50	
Waschmaschine			64		100	hohe Getriebeübersetzung
Zentrifuge			61		90	Hohe Trägheit, lange Rampen

2 Motoren

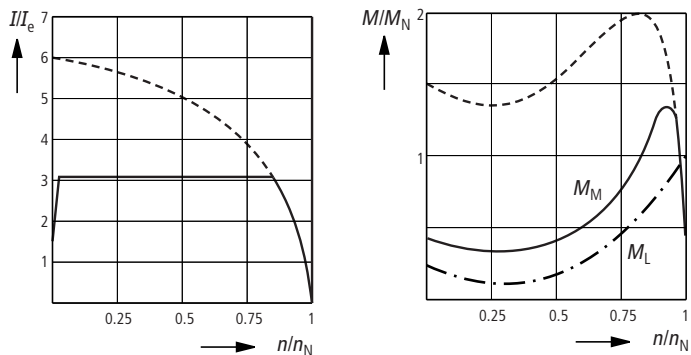
Standardmotoren

Drehstromasynchronmotoren sollen vom Start bis zur Nenn-drehzahl ein ausreichendes Drehmoment zur Verfügung stellen. Wichtig für einen erfolgreichen Start ist, dass das Drehmoment des Motors in jedem Betriebspunkt größer ist als das Lastmoment. Die meisten modernen Motoren haben einen Kennlinienverlauf, der einen Start am Softstarter ermöglicht.

Drehzahl-/Drehmomentverlauf bei Direktstart



Drehzahl-/Drehmomentverlauf bei Softstart



Motoren mit einem niedrigen Sattelmoment können bei Softstarterbetrieb eventuell nicht genug Drehmoment

aufbauen. Als Folge startet der Antrieb nicht wie gewünscht, sondern bleibt bei einer bestimmten Drehzahl hängen – wohingegen er beim Direktstart am Netz wie gewünscht anläuft.

Motoren mit sehr kleiner Leistung (unter 0,75 kW) und mit geringer Last können zu Problemen in Verbindung mit Softstartern führen. Der Strom der Motoren ist zu gering, um den Haltestrom der Thyristoren aufzubauen, was zu Fehlfunktionen des Softstarters führt.

Um auf der sicheren Seite zu sein, sollte der Laststrom nicht unter 0,5 A liegen.

Kleine Last, kleine Motoren

Motoren mit geringer Last und geringer Leistung (kleiner 2 kW), die im Stern verdrahtet sind, können beim Abschalten durch das Netzschütz hohe Spannungen induzieren. Da diese Spannungen den Softstarter zerstören können, sollten Sie den Motor vor dem Abschalten mit dem Softstarter und der Softstop Funktion herunterfahren.

Motoren mit interner Bremse

Einige Motoren besitzen Bremsen, die durch die Netzspannung geöffnet werden. Diese Motoren können nur dann mit dem Softstarter gestartet werden, wenn die Bremse extern versorgt wird. Anderenfalls öffnet die Bremse beim Start nicht, da sie nur mit der reduzierten Startspannung des Softstarters versorgt wird.

Alte Motoren

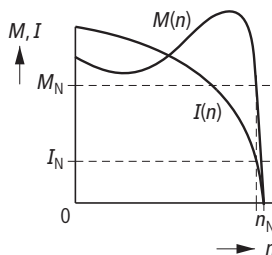
Sehr alte Motoren (vor 1980 gebaut) können Probleme beim Betrieb am Softstarter verursachen. Der Grund sind Oberschwingungen, die beim Start entstehen. Neuere Motoren haben Konstruktionsmerkmale in ihren Wicklungen, die diese Schwingungen unterdrücken. Fehlt dieses Merkmal im Motor, kann dies zu einem unregelmäßigem Rundlaufverhalten führen.

Schleifringläufermotoren

Schleifringläufermotoren benötigen immer einen Widerstand in der Läuferwicklung, um ein ausreichendes Drehmoment aufbauen zu können. Dieser Widerstand kann nach erfolgtem Rampenende (Softstart beendet, Nennspannung erreicht) problemlos mit einem elektromechanischen Schütz kurzgeschlossen werden.

Motoren mit hohem Sattelmoment

Neuere Motoren haben einen nahezu konstanten Drehzahl-/Drehmomentverlauf bis zum Kippmoment. Dies kann zu instabilem Verhalten führen, wenn die $\cos\varphi$ -Optimierung aktiviert ist. Falls einstellbar kann die Optimierungsrate verändert werden, anderenfalls muss die $\cos\varphi$ -Optimierung deaktiviert werden.



Anlaufzeit und Überstrom

In der Regel wird der Motor mit Nennstrom gar nicht hochlaufen. Durch Vorgabe eines höheren Startstromes kann die Anlaufzeit wesentlich verkürzt werden. Der Startstrom ist jedoch nur eine begrenzte Zeit verfügbar, abhängig von der thermischen Überlastfähigkeit des verwendeten Softstarters. Die Strombegrenzung ist nur während der Startrampe aktiv. Je nach Gerätereihe können Sie einstellen, ob nach einer wählbaren Zeit eine Abschaltung oder Fortführung der Rampe erfolgt.

Mit der Einstellung $3,5 \times I_N$ und 5 bis 10 s Hochlaufzeit lässt sich praktisch jeder Antrieb, der für Softstarter geeignet ist, in einer dem Stern-Dreieck-Anlauf vergleichbaren Zeit starten. Bei höherer Starthäufigkeit reduziert sich der verfügbare Gerätestrom. Zusätzlich ist dann bei der Auslegung der Abschnitt „Überlastfähigkeit“, Seite 24, zu berücksichtigen.

3 Auswahlgrößen

Um einen Softstarterantrieb korrekt zu dimensionieren sind folgende Daten erforderlich:

- Art der Anwendung
- Motordaten
- Startzeit bei Direktstart
- Ersatz für Stern-Dreieck?
- Massenträgheiten von Anlage und Motor
- gewünschte Startzeiten und Startströme
- Lastzyklusdaten der in Frage kommenden Softstarter

Aus der Anwendungstabelle, Seite 12, lassen sich Anhaltswerte für den Start ablesen.

Auslegung für „normale“ Anwendungen

Antriebe, die von Stern-Dreieck-Startern umgerüstet werden, bzw. die erfahrungsgemäß problemlos damit zu starten sind, können ebenso problemlos mit einem Softstarter gestartet werden. Der Softstarter wird dann entsprechend der Motor-Bemessungsleistung ausgewählt.

Zu jedem Softstarter gibt es eine Angabe, bei welcher Netzspannung welche Motorleistung angeschlossen werden kann. Dies dient der einfacheren Zuordnung Motor – Softstarter. Die tatsächlich bemessenden Größen sind dabei der Motorstrom und der Softstarterstrom. Der Strom muss immer dann herangezogen werden, wenn mehrere Motoren gleichzeitig gestartet werden sollen oder wenn der Softstarter an anderen Netzspannungen betrieben wird.

Wenn Startzeiten bei Direktstart bekannt sind, dann sollten diese nicht über fünf bis zehn Sekunden liegen. Falls dies der Fall ist, liegt ein Schweranlauf vor.

Der Softstarter muss dann derart stark überdimensioniert werden, dass u. U. der Einsatz eines Frequenzumrichters sinnvoller ist. Das gleiche gilt bei Anwendungen, in denen mehr als 30 mal die Stunde gestartet wird. Bei Zykluszeiten unter zwei Minuten kann sich der Kühlkörper nicht mehr vollständig abkühlen, was ebenfalls zu einer erheblichen Überdimensionierung führen würde. Auch hier ist der Einsatz eines Frequenzumrichters sinnvoller (Energieeinsparung durch niedrigeren Anlaufstrom).

**Auslegung bei großen
Massenträgheiten/
Schweranlauf**

Bei Schweranlauf (Lüfter mit großen Massenträgheiten haben auch Schweranlauf!) wird der Antrieb auch bei höherer Stromgrenze sehr langsam hochlaufen. Meist ist zwar dreifacher Motornennstrom ausreichend, bei großen Massenträgheiten verlängern sich jedoch die Startzeiten. Wie lange der Softstarter einen bestimmten Überstrom liefern kann, entnehmen Sie bitte der gerätespezifischen Dokumentation.

Anhand von einem Beispiel soll gezeigt werden, wie der Softstarter dimensioniert und eingestellt werden muss: Der Beispiel-Softstarter kann dreifachen Strom für ca. 30 s liefern. Wenn der Antrieb in dieser Zeit nicht die Nenndrehzahl erreicht hat, muss ein größerer Softstarter gewählt werden. Dieser kann dann den gleichen Strom für eine längere Zeit liefern, da dreifacher Motornennstrom beim nächst größeren Gerät nur ca. zweifachen Strom bedeutet. Dieser kann dann für 60 s geliefert werden (genaue Werte dem Gerätehandbuch entnehmen!):

Beispiel:

Motor mit Schweranlauf und bekannten Startdaten bei Stern-Dreieck-Betrieb

$$U_N = 400 \text{ V}$$

$$P_M = 200 \text{ kW}$$

$$I_N = 368 \text{ A}$$

$$t_a = 60 \text{ s bei } 3 \times I_N = 1104 \text{ A}$$

Der Typ DM4-340-200K (zugeordneter Softstarter für Motoren mit 200 kW bei 400 V) liefert 1 110 A für maximal 35 s.

Das Gerät ist zu klein.

Nächst größerer Typ:

Der Typ DM4-340-250K liefert 1 500 A für max. 30 s bzw. 1 105 A für 65 s (Werte gemäß Dokumentation zum DM4-340: AWB8250-1341D)

Einstellung der Strombegrenzung auf dem DM4-340-250K:

$$1104 \text{ A} / 500 \text{ A} = 2,2$$



Achtung!

Bei Lüftern über 37 kW (große Massenträgheit) sollten Sie unbedingt nachrechnen, welcher Softstarter erforderlich ist. Notwendig sind dazu Motor und Lastmomentkennlinie über der Drehzahl sowie das Massenträgheitsmoment der Maschine (auf Motorwelle bezogen).

Überlastfähigkeit

Überlastfähigkeit, Umrechnung auf andere Startzyklen

Die folgenden Tabellen zeigen die Kennwerte für die Überlastfähigkeit des Softstarters gemäß der Produktnorm IEC/EN 60947-4-2.

Überlastfähigkeit ohne Bypass (Belastung nach AC-53a)

X	Höhe des zugrundeliegenden Überstromes in Vielfachen des Geräte-Bemessungsstromes
Tx	Die Dauer des Überstromes in Sekunden in Vielfachen des Geräte-Bemessungsstromes
F	Einschaltdauer innerhalb des Lastzyklus in %
S	Anzahl der zulässigen Starts pro Stunde

Überlastfähigkeit mit Bypass (Belastung nach AC-53b)

X	Höhe des zugrundeliegenden Überstromes in Vielfachen des Geräte-Bemessungsstromes
Tx	Die Dauer des Überstromes in Sekunden in Vielfachen des Geräte-Bemessungsstromes
Aus	Minimale (stromlose) Zeit zwischen zwei Starts

Erhöhte Starthäufigkeit

Die Softstarter sind für eine festgelegte Starthäufigkeit ausgelegt. Muss mit einer höheren Zahl Starts pro Stunde gefahren werden, wählen Sie den Softstarter entsprechend größer aus.

Die entsprechenden Tabellen mit Starthäufigkeit und Startströmen stehen in der jeweiligen Dokumentation zur Gerätereihe. Eine Umrechnung auf andere Starthäufigkeiten ist nicht ohne weiteres möglich, da diverse thermische Größen des Softstarters betrachtet werden müssen. Fragen Sie in diesem Fall den Hersteller.

Ein Sonderfall ist, wenn Starthäufigkeit und Überstromzeit in gleichem Maße geändert werden. In diesem Fall bleibt der Gesamt- I^2t -Wert konstant.

Für eine Umrechnung kann folgender Ansatz gemacht werden:

X muss konstant bleiben!

$$Tx_{\text{alt}} \times S_{\text{alt}} = Tx_{\text{neu}} \times S_{\text{neu}}$$

Z. B. sind folgende Werte gleich:

$$X = 3, Tx = 30 \text{ s}, S = 10$$

und

$$X = 3, Tx = 15 \text{ s}, S = 20$$

Umrechnung der Überlastfähigkeit auf niedrigere Überströme

Der angegebene Zyklus kann für niedrigere Überströme umgerechnet werden, nicht für höhere!

Um die neue Zeit zu berechnen, wird folgende Formel benutzt:

X_{neu} = benötigter Überstrom (muss kleiner sein als der angegebene Wert)

$T_{x_{\text{neu}}}$ = zulässige Zeit für den neuen Überstrom X_{neu} .

$$T_{x_{\text{neu}}} = \frac{X^2 \times T_x}{X_{\text{neu}}^2}$$

Beispiel:

für $X = 3$ ist $T_x = 35 \text{ s}$

Berechnen Sie T_x für $X = 2,5$

$$T_{x_{\text{neu}}} = \frac{3^2 \times 35 \text{ s}}{2,5^2} = 50 \text{ s}$$

Auslegung für „Grenzfälle“

Rechnerische Ermittlung der Hochlaufdaten

Wenn Startzeiten nicht bekannt sind oder wenn mit großen Massenträgheiten gearbeitet werden muss, rechnen Sie genau nach, wie der Antrieb mit einem Softstarter hochläuft.

Dazu müssen Sie die Trägheitsmomente von Motor und Maschine sowie vorhandene Getriebeübersetzungen kennen. Weiter müssen Kennlinien über das Drehzahl-Drehmomentverhalten des Motors und der Last vorhanden sein.



Ohne diese Angaben und Kurven ist eine rechnerische Ermittlung der Anlaufkurve nicht möglich. Bei Unsicherheiten in der Dimensionierung muss dann die „Try and error-Methode“ benutzt werden. Der notwendige Softstarter lässt sich nur durch Versuch ermitteln.

Für die Ausrechnung benötigen Sie folgende Formeln.

Rechnen Sie alle Massenträgheiten auf die Motorwelle zurück und bestimmen Sie die Gesamtmasenträgheit:

$$J = J_M + J_L$$

J gesamtes Massenträgheitsmoment (auf die Motorwelle zurückgerechnet)

J_L Massenträgheitsmoment der Last (auf die Motorwelle zurückgerechnet)

J_M Massenträgheitsmoment des Motors

Das Motordrehmoment ist sowohl von der Drehzahl als auch von der Motorspannung abhängig:

$$M_{M(U,n)} = M(n) \times \frac{U_M^2}{U_N^2}$$

$M_{M(U,n)}$ Motordrehmoment in Abhängigkeit von der aktuellen Spannung und der aktuellen Drehzahl

$M(n)$ Drehmoment bei einer Drehzahl n

U_M Motorspannung

U_N Netzspannung

Aus den Drehzahl-/Drehmomentkurven von Motor und Last ermitteln Sie in der folgenden Rechnung das zu jeder Drehzahl gültige Drehmoment. Das für die Beschleunigung wirksame Drehmoment ergibt sich aus:

$$M_B = M_M - M_L$$

M_B Beschleunigungsmoment

M_M Motormoment

M_L Lastmoment

Die Ausgangsspannung wird linear von der Startspannung auf 100 % Netzspannung hochgefahren:

$$\Delta t = \frac{t_S}{k}$$

$$\Delta U = \frac{(U_N - U_S)}{k}$$

$$U(t) = U_S + \text{Minimum aus} \begin{bmatrix} i \times \Delta U \\ U_N - U_S \end{bmatrix}$$

Δt Zeitabschnitt von einem zum nächsten Iterationsschritt

t_S Rampenzeit, Geräteparameter t-Start

k Anzahl der Schritte, in die die Startrampe zerlegt wird

ΔU Betrag, um den die aktuelle Spannung im nächsten Iterationsschritt erhöht wird

U_N Netzspannung

U_S Startspannung

$U(t)$ Ausgangsspannung zum Zeitpunkt t

i Index, der den aktuellen Iterationsschritt angibt (kann je nach Anlaufverhältnissen größer werden wie „ k “)



Es muss das Minimum genommen werden, da $U(t)$ maximal Netzspannung erreichen kann. Der Hochlaufvorgang kann aber deutlich länger dauern als die Startrampe.

Aus dem Drehzahl-/Stromdiagramm des Motors errechnen Sie den resultierenden Motorstrom:

$$I_M = I(n) \times \frac{U(t)}{U_N}$$

I_M Motorstrom bei der Drehzahl n in Abhängigkeit von der abgelaufenen Startzeit

$I(n)$ Motorstrom bei der Drehzahl n

$U(t)$ Ausgangsspannung zum Zeitpunkt t

U_N Netzspannung

Die Strombelastung des Softstarters ergibt sich aus:

$$I^2 t_i = I_M^2 \times \Delta t$$

I_M Motorstrom bei der Drehzahl n in Abhängigkeit von der abgelaufenen Startzeit

Δt Zeitabschnitt von einem zum nächsten Iterationsschritt

Für die Drehzahländerung ergibt sich folgende Formel:

$$n_{i+1} = n_i + \frac{\Delta t \times M_{B(i)}}{J \times 2\pi}$$

n_{i+1} Drehzahl im nächsten Iterationsschritt

n_i Drehzahl im Iterationsschritt i

Δt Zeitabschnitt von einem zum nächsten Iterationsschritt

$M_{B(i)}$ Beschleunigungsmoment im Iterationsschritt i

J gesamtes Massenträgheitsmoment (auf die Motorwelle zurückgerechnet)

Für den gesamten Zyklus ermitteln Sie die Summe aller $I^2 t_i$ -Werte:

$$I^2 t = \sum_i I^2 t_i$$

- t_i Dauer des Iterationsschrittes i , normalerweise konstant und gleich Δt
- i Index, der den aktuellen Iterationsschritt angibt (kann je nach Anlaufverhältnissen größer werden wie „ k “)

Für den Zeitbereich nach dem Hochlauf nehmen Sie Nennstrom des Motors an.

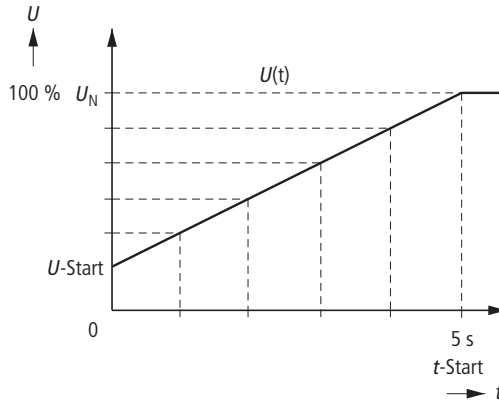
Das Rechenverfahren geht nun iterativ vor, für die Anfangsdrehzahl Null ermitteln Sie ein Beschleunigungsmoment. Wenn diese Beschleunigung eine vorgegebene Zeit wirkt, dann ergibt sich daraus die neue Drehzahl n_{i+1} . Je kleiner Sie die Zeit wählen, um so genauer wird das Ergebnis – ebenso steigt aber auch der Rechenaufwand an. Zu der neuen Drehzahl ermitteln Sie aus den beiden Diagrammen neue Werte für Drehmomente und Strom. Mit den neuen Daten führen Sie dann den nächsten Iterationsschritt durch. Dieses Verfahren wiederholen Sie, bis die Nenndrehzahl erreicht wird. Das folgende Beispiel zeigt eine Rechnung mit fünf Zeitintervallen.



Für eine Geräteauslegung sollten Sie mit mindestens zehn, besser mit 20 Intervallen rechnen, um einigermaßen verlässliche Werte zu erhalten. Zur Beschreibung des Verfahrens wurden hier im Beispiel nur fünf Intervalle gewählt.

Beispielrechnung

Die Spannungsrampe verläuft linear mit der Zeit und ist unabhängig von allen Lastgrößen (keine Strombegrenzung).



Für den ersten Iterationsschritt steht der Motor. Der Softstarter gibt eine Spannung von 20 % der Netzspannung ab. Der Beispiel-Motor hat folgende Daten:

$$n_N = 1475 \text{ min}^{-1}$$

$$P = 55 \text{ kW}$$

$$I_N = 99 \text{ A}$$

Der angetriebene Lüfter hat folgende Daten:

$$n_N = 1470 \text{ min}^{-1}$$

$$P = 46 \text{ kW}$$

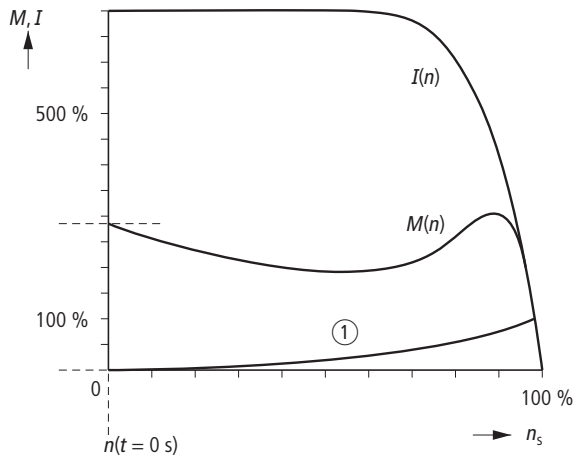
n_N = Nenndrehzahl, Bemessungsdrehzahl (Motor bzw. Last)

P = Nennleistung, Bemessungsleistung (Motor bzw. Last)

I_N = Nennstrom, Bemessungsstrom (Motor)

Wichtig für eine korrekte Betrachtung ist die Leistungsaufnahme und Nenndrehzahl der Last. Während für den Motor die Diagramme bezogen auf seine Synchrondrehzahl vorliegen, wird bei der Last die Nenndrehzahl als Bezugspunkt genommen. Wenn die Nennleistung der Last niedriger ist als die Motorleistung, dann kann der Motor über seine Nenndrehzahl hinaus beschleunigen. Der Unterschied liegt zwar im Bereich von 1 % seiner Nenndrehzahl, jedoch müssen für eine korrekte Betrachtung alle Kurven auf die synchrone Drehzahl bezogen werden. Die Last-Kennlinie müssen Sie in diesem Fall über ihren Nennpunkt hinaus interpolieren.

Bei Direktstart am Netz hätte der Motor ein Startmoment von 280 % des Nennmomentes, durch die quadratische Beziehung $M \sim U^2$ reduziert sich das effektive Drehmoment aber auf 11 % Nennmoment.



① Last

Es ergeben sich folgende Werte nach dem ersten Iterationsschritt (Zeitbereich 0 bis 2 s):

$$t = 0 \text{ s}$$

$$U = 20 \% (\text{aus Diagramm})$$

$$M_L = \sim 0 \% (\text{aus Diagramm})$$

$$M_M = 280 \% \times (20/100)^2 = 11 \%$$

$$M_B = \sim 11 \%$$

$$n_{0s} = 0$$

$$n_{2s} = 7 \%$$

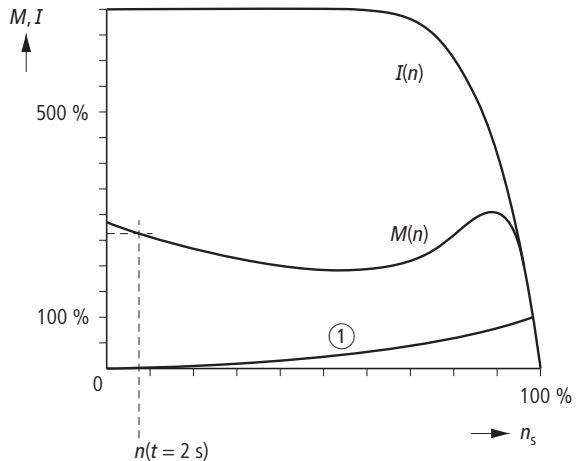
$$I = 7 \times 20 \% = 140 \% (\text{aus Diagramm})$$

$$M_L \text{ Lastmoment}$$

$$M_M \text{ Motormoment}$$

$$M_B \text{ Beschleunigungsmoment}$$

Für den zweiten Iterationsschritt steigt die Spannung auf 36 %, wodurch ein höheres Drehmoment erzeugt wird:



① Last

Es ergeben sich folgende Werte nach dem zweiten Iterationsschritt (Zeitbereich 2 bis 4 s):

$$t = 2 \text{ s}$$

$$U = 36 \% \text{ (aus Diagramm)}$$

$$M_L = 5 \%$$

$$M_M = 260 \% \times (36/100)^2 = 34 \%$$

$$M_B = 29 \%$$

$$n_{2 \text{ s}} = 7 \%$$

$$n_{4 \text{ s}} = 7 \% + 21 \% = 28 \%$$

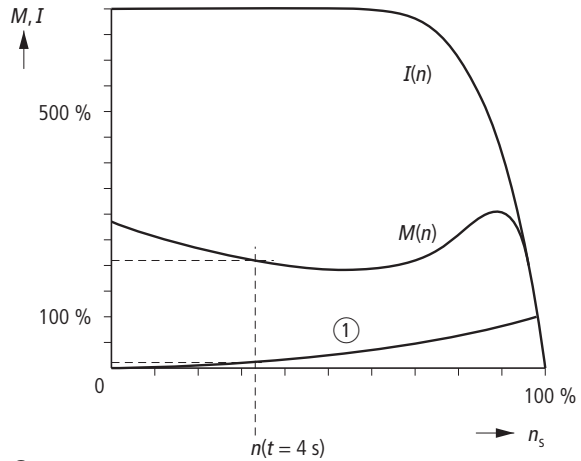
$$I = 7 \times 36 \% = 252 \%$$

$$M_L \text{ Lastmoment}$$

$$M_M \text{ Motormoment}$$

$$M_B \text{ Beschleunigungsmoment}$$

Den dritten Iterationsschritt führen Sie genauso durch:



① Last

Es ergeben sich folgende Werte nach dem dritten Iterationsschritt (Zeitbereich 4 bis 6 s):

$$t = 4 \text{ s}$$

$$U = 52 \%$$

$$M_L = 10 \%$$

$$M_M = 210 \% \times (52/100)^2 = 57 \%$$

$$M_B = 47 \%$$

$$n_{4 \text{ s}} = 28 \%$$

$$n_{6 \text{ s}} = 28 \% + 29 \% = 57 \%$$

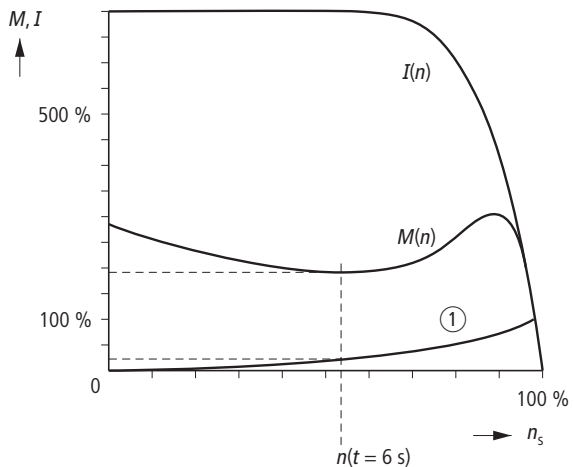
$$I = 7 \times 52 \% = 364 \%$$

$$M_L \text{ Lastmoment}$$

$$M_M \text{ Motormoment}$$

$$M_B \text{ Beschleunigungsmoment}$$

Für den vierten Iterationsschritt:



① Last

Es ergeben sich folgende Werte nach dem vierten Iterationsschritt (Zeitbereich 6 bis 8 s):

$$t = 6 \text{ s}$$

$$U = 68 \%$$

$$M_L = 20 \%$$

$$M_M = 190 \% \times (68/100)^2 = 88 \%$$

$$M_B = 68 \%$$

$$n_{6 \text{ s}} = 57 \%$$

$$n_{8 \text{ s}} = 57 \% + 42 \% = 99 \%$$

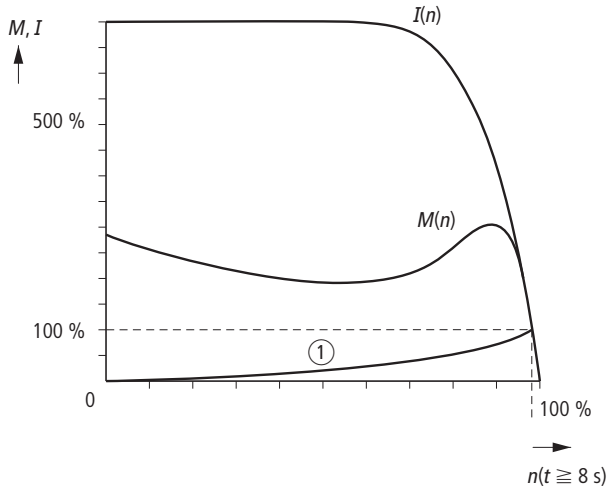
$$I = 7 \times 68 \% = 476 \%$$

M_L Lastmoment

M_M Motormoment

M_B Beschleunigungsmoment

Der fünfte Iterationsschritt:



Es ergeben sich folgende Werte nach dem fünften Iterationsschritt (Zeitbereich 8 bis 10 s):

$$t = 8 \text{ s}$$

$$U = 84 \%$$

$$M_L = 99 \%$$

$$M_M = 99 \% \times (84/100)^2 = 68 \%$$

$$M_B = -31 \%, \text{ benutzt wird } 0 \% \text{ (Hier handelt es sich um eine Rechengenauigkeit)}$$

$$n_{8 \text{ s}} = 99 \%$$

$$n_{10 \text{ s}} = 99 \%$$

$$I = 90 \%$$

$$M_L \text{ Lastmoment}$$

$$M_M \text{ Motormoment}$$

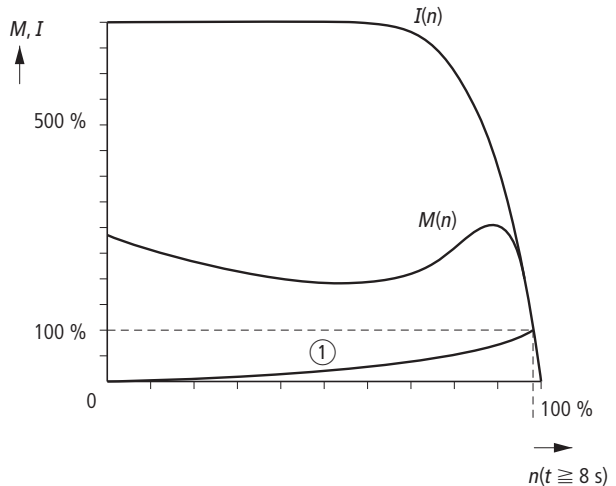
$$M_B \text{ Beschleunigungsmoment}$$

Das negative Beschleunigungsmoment ergibt sich aus den groben Iterationsschritten. Tatsächlich wird der Motor zwischen dem letzten positiven M_B und den Werten für 8 s hängen bleiben – der Startvorgang wird sich entsprechend verlängern. Trotzdem ergibt sich ein einigermaßen brauchbares Endergebnis.



Ergibt sich rechnerisch ein negatives M_B , dann wird nicht mit dem negativen Wert sondern mit Null weitergerechnet.

Eine weitere Iteration ergibt (Zeitbereich 10 bis 12 s):

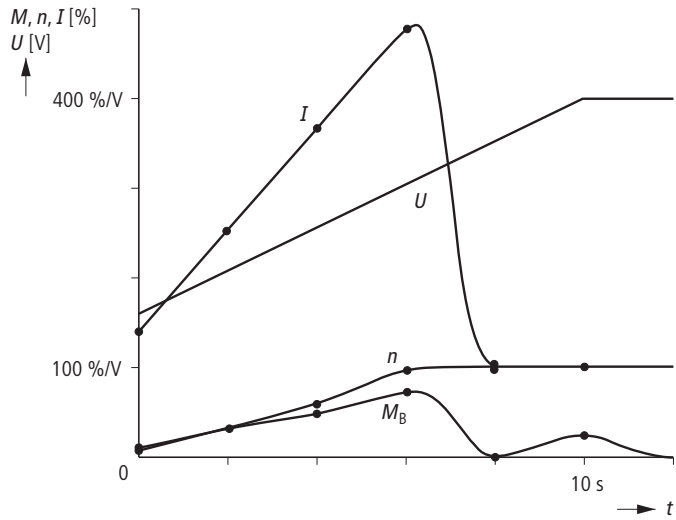


$$\begin{aligned}
 t &= 10 \text{ s} \\
 U &= 100 \% \\
 M_L &= 40 \% \\
 M_M &= 100 \% \times (100/100)^2 = 100 \% \\
 M_B &= 60 \% \\
 n_{10 \text{ s}} &= 80 \% \\
 n_{12 \text{ s}} &= 80 \% + 25 \% > 100 \% \\
 &= 100 \%
 \end{aligned}$$

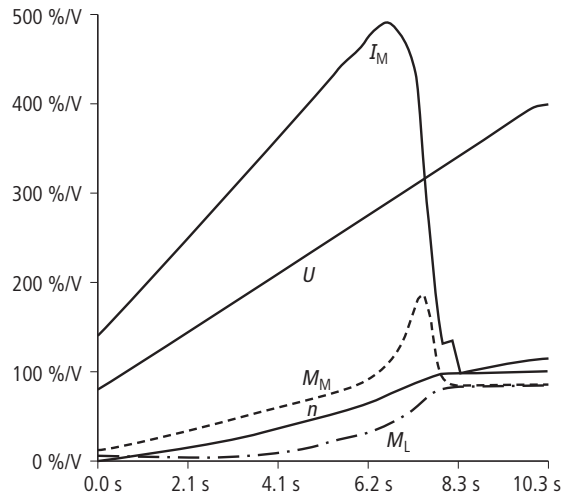
Der Antrieb beschleunigt maximal auf Synchrondrehzahl, das Ergebnis $> 100 \%$ beruht auf den groben Iterationsschritten

$$\begin{aligned}
 I &= 100 \% \\
 M_L &\text{ Lastmoment} \\
 M_M &\text{ Motormoment} \\
 M_B &\text{ Beschleunigungsmoment}
 \end{aligned}$$

Die zeitliche Darstellung der berechneten Größen sieht für diesen Beispielfall wie folgt aus:



Mit einem entsprechenden Rechenprogramm wurde folgendes Bild für den gleichen Antrieb berechnet. Hierbei wurde die Rampe in 250 Inkremente (zum Vergleich: die Beispielrechnung hat 5 Inkremente) zerlegt.



I_M : I_{Motor}

M_M : M_{Motor}

M_L : M_{Last}

Nach ca. 7,5 s wird die Nenndrehzahl nahezu erreicht, der eigentliche Hochlaufvorgang ist nach 9 s abgeschlossen ($M_{\text{Motor}} = M_{\text{Last}}$), das Rampenende ist nach 10 s erreicht.

Die Fehler in der Beispielrechnung entstehen, weil zwischen Kippmoment und synchroner Drehzahl sowohl die Drehmomentkurve wie auch die Stromkurve sehr steil verlaufen. Kleine Änderungen in der Drehzahl bedeuten sehr große Veränderungen aller anderen Größen. Zur Verbesserung der Genauigkeit sollten Sie daher oberhalb der Kipp-Drehzahl in kleineren Intervallen rechnen.

Wenn der Motor einen bestimmten Strom nicht übersteigen soll, berücksichtigen Sie noch einen weiteren Faktor. Wenn der Motor in die Stromgrenze läuft, dann wird die Ausgangsspannung nicht weiter erhöht. Dies ist bei der Drehmomentermittlung zu berücksichtigen. Die resultierende Rampenzeit verlängert sich dadurch.



Die Softstarter der Reihe DM4-340 besitzen eine Höchstdauer der Funktion Strombegrenzung, um eine Überhitzung des Softstarters zu vermeiden. Nach Ablauf dieser Zeit wird wahlweise abgeschaltet oder ohne Strombegrenzung weitergefahren.

Auswahl des richtigen Softstarters

Aus der sich ergebenden Anlaufkurve können Sie sehr einfach den notwendigen Strombedarf ablesen. Diesen vergleichen Sie mit den Gerätedaten, um den richtigen Softstarter auszuwählen. Die zulässigen Überlastwerte sind der gerätespezifischen Dokumentation zu entnehmen.

Ermitteln Sie den Strombedarf aus dem I^2t -Wert, bis der Strom auf den Nennstrom abfällt. Bezugswert für den Überstrom ist jeweils der höchste erreichte Strom während des Anlaufvorgangs. Mit den Daten der Beispielrechnung ergibt sich:

	<i>t</i>				
	0 s	2 s	4 s	6 s	8 s
<i>n</i>	0 %	7 %	28 %	57 %	99 %
<i>I</i>	140 %	252 %	364 %	476 %	83 %

Als Summe ergibt sich:

$$I^2t = (140 \%)^2 \times 2 \text{ s} + (252 \%)^2 \times 2 \text{ s} + (364 \%)^2 \times 2 \text{ s} + (476 \%)^2 \times 2 \text{ s} + (83 \%)^2 \times 2 \text{ s}$$

$$t = I^2t / I_{\max}^2$$

In der Beispielrechnung wird nach 8 s fast die Nenndrehzahl erreicht. Damit ergibt sich folgender Strombedarf:

$t = 4 \text{ s}$ bei 476 % Motornennstrom

Bereits diese grobe Näherung liefert brauchbare Werte, die Sie jedoch im Einzelfall ($M_B = -31 \%$) interpretieren müssen.

Das Rechenprogramm hat für den gleichen Fall folgende Werte ermittelt:

$t = 3,98 \text{ s}$ bei 498 % Motornennstrom

Der Softstarter muss so ausgelegt werden, dass er (aufgerundet) 4 s den 5-fachen Motornennstrom liefern kann.

Startspannung

Stellen Sie die Startspannung so ein, dass der Motor von Anfang an ein Beschleunigungsmoment liefern kann. Das gewünschte Beschleunigungsmoment ist anwendungsabhängig, sollte aber 15 % nicht unterschreiten – zum Vergleich: eine Stern-Dreieck-Kombination mit einem Motor mit $M_{M(i=0)} = 270 \%$ liefert beim Start 90 % Nennmoment. Bei einer typischen Lüfterlast bleiben ca. 70 % als Beschleunigungsmoment beim Einschalten.

Durch Variieren von M_B können Sie mit folgender Formel die gewünschte Startspannung ermitteln:

$$M_B \geq 15 \%$$

$$U_S = \sqrt{\frac{U_N^2}{M_{M(n=0)}} \times (M_B + M_{L(n=0)})}$$

M_B Beschleunigungsmoment

U_S U_{Start}

U_N U_{Netz}

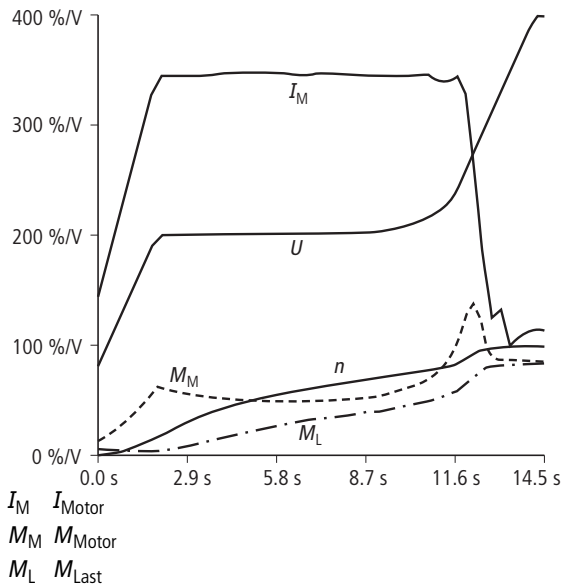
M_M Motormoment

M_L M_{Last}

n Drehzahl

Startzeit (Rampenzeit)

Wählen Sie die Rampenzeit möglichst kurz. Durch Verlängern der Rampenzeit kann zwar das Beschleunigungsmoment weiter reduziert werden, jedoch wird der Motor zusätzlich erwärmt. Je nach Lastverhältnissen wird der Motor bei einer langen Rampenzeit bereits vorher seine Nenndrehzahl erreichen. Zum Vergleich zwei Hochlaufberechnungen mit kurzer und langer Rampe bei gleicher Last:



Einstellungen:

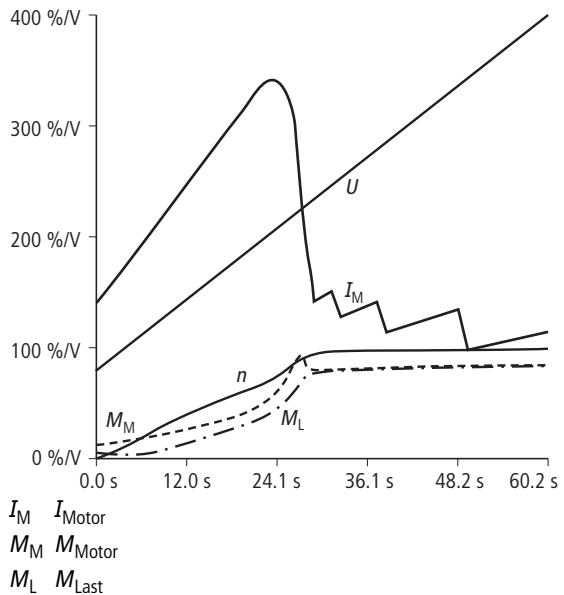
Rampenzeit 5 s

Strombegrenzung 3,5-fach Motorbemessungsstrom

Hochlaufzeit ca. 14 s

Nenndrehzahl nach ca. 13 s erreicht

Während der Strombegrenzungsphase wird die Startspannung konstant gehalten. Vorteil ist jedoch der schnelle Hochlauf bei reduziertem Drehmoment, das bis nahezu 80 % Drehzahl noch unter dem Anlaufmoment einer Stern-Dreieck-Schaltung liegt und 130 % nicht übersteigt. Der Motor kann kontinuierlich beschleunigen.



Einstellungen:

Rampenzeit 60 s

Strombegrenzung 3,5-fach Motorbemessungsstrom – wird aber nicht erreicht

Hochlaufzeit 54 s

Nenn Drehzahl nach ca. 30 s erreicht

Wie aus den Bildern zu erkennen ist verlängert sich die Zeit, in der Überstrom bereitgestellt werden muss, um den Faktor fünf. Die letzten 30 s der Rampe wird der Motor mit ca. 1,3-fachem Strom erwärmt, ohne spürbar schneller zu werden. Der Grund liegt in der niedrigen Spannung und dem quadratischen Zusammenhang für das Drehmoment. Oberhalb der Kippdrehzahl des Motors fällt das Drehmoment stark gegen das Nennmoment ab – der Motor muss warten, bis die Spannung soweit angestiegen ist, das wieder ein Beschleunigungsmoment bereitgestellt werden kann.

Wenn es die Anwendung erlaubt, sollte die Rampenzeit kürzer oder gleich lang der Hochlaufzeit der Anlage sein.

Glossar

Bypass-Schütz	Nach erfolgtem Hochlauf kann der Softstarter mit dem Bypass-Schütz überbrückt werden: Dies bietet zwei Vorteile: • geringere Verlustleistung • Funkstörgrad „B“ wird nicht erreicht.
Rampe	Zeitlich geführte Änderung der Motorspannung von einem Anfangswert (Startspannung) auf 100 % der Netzspannung.
Rampen-Ende	Bei Rampenende ist 100 % der Netzspannung erreicht.
Softstart	Bei einem Softstart fährt der Antrieb auf der eingestellten Rampe von der Startspannung bis 100 % Netzspannung.
Softstop	Rampe, ausgehend von 100 % Netzspannung auf die Stoppspannung. Diese liegt in der Regel zwischen 0 % und 40 % Netzspannung. Nach Erreichen der Stoppspannung wird der Softstarter abgeschaltet und der Motor trudelt aus.
Top-of-Ramp	Ist die Rampe beendet und Netzspannung erreicht, spricht man von Top-of-Ramp oder TOR.
Umschalttransienten	Beim Schalten von induktiven Lasten (z. B. Motoren) kommt es zu Spannungsspitzen. Diese heißen auch Umschalttransienten.

Stichwortverzeichnis

A	Allgemeines	5
	Anlaufzeit	20
	Anwendungen	5
	Auslegung für „normale“ Anwendungen	21
	Auswahl des richtigen Softstarters	43
	Auswahlgrößen	21
B	Betrieb an einem Generator	10
D	Dahlandermotoren	9
	Drehrichtungsumkehr	9
G	Generator	10
	Generatorischer Betrieb	10
I	In-Delta Anschluss	9
K	Kompensationskondensatoren	8
L	Last, kleine	18
	Leitungslänge	8
M	Massenträgheit, große	22
	Massenträgheiten	7
	Motor	
	alt	19
	klein	18
	mit hohem Sattelmoment	19
	mit interner Bremse	18
	Schleifringläufer-	19
	Motoren, mehrere starten	11

P	Pumpenantrieb	10
R	Rampenzeit	46
S	Schleifringläufermotor	19
	Schweranlauf	22
	Softstop bei Pumpenantrieb	10
	Standardmotoren	17
	Start	
	am Softstarter	7
	-daten	12
	gleichzeitiger	11
	-häufigkeit, erhöhte	25
	kaskadierter	11
	-spannung	45
	-zeit	46
	-zyklen, Umrechnung bei Überlast	24
	Starten mehrerer Motoren	11
U	Überlastfähigkeit	24
	Umrechnung	26
	Überstrom	20
W	Wasserschlag	10