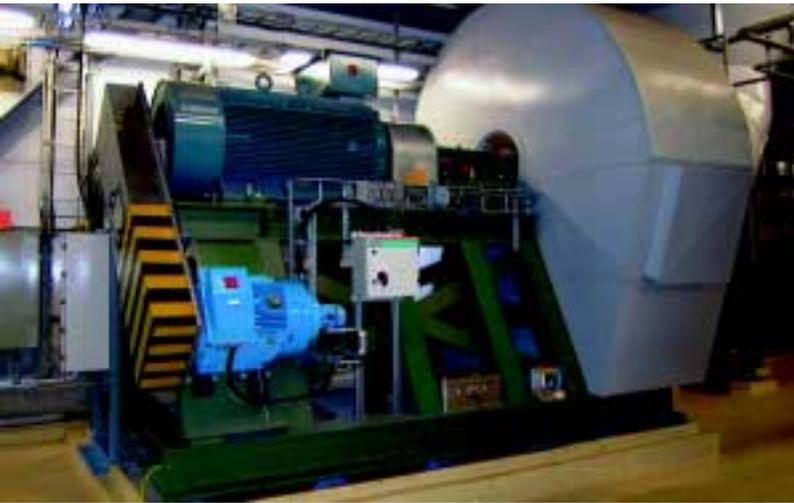


Dimensionierung eines Antriebssystems



1.	Einleitung	5
2.	Antriebssystem	6
3.	Allgemeine Darstellung der Dimensionierung	7
4.	Der Drehstrommotor	9
4.1	Grundlagen	9
4.2	Motorstrom	11
	4.2.1 Konstantflussbereich	12
	4.2.2 Feldschwächungsbereich	13
4.3	Motorleistung	14
5.	Gesetze der Mechanik	15
5.1	Drehbewegung	15
5.2	Getriebe und Trägheitsmoment	18
6.	Lasttypen	20
7.	Motorbelastbarkeit	23
8.	Auswahl von Frequenzumrichter und Motor ..	24
8.1	Pumpen- und Lüfter-Applikation (Beispiel)	25
8.2	Konstantmoment-Applikation (Beispiel)	27
8.3	Konstantleistungs-Applikation (Beispiel)	29
9.	Eingangstransformatoren und Eingangsgleichrichter	33
9.1	Eingangsgleichrichter	33
9.2	Eingangstransformatoren	34
10.	Index	36

Kapitel 1 - Einleitung

Allgemeines

Die Dimensionierung eines Antriebssystems ist eine Aufgabe, bei der alle Einflussfaktoren genau beachtet werden müssen. Die Dimensionierung setzt Kenntnisse über das gesamte System mit elektrischer Spannungsversorgung, angetriebene Maschinen, Umgebungsbedingungen, Motoren und Regelgeräte usw. voraus. Mit einer sorgfältigen Dimensionierung lassen sich Kosten sparen.

Kapitel 2 - Antriebssystem

Ein einzelnes AC-Antriebssystem besteht typischerweise aus einem Eingangstransformator oder einer elektrischen Einspeisung, einem Frequenzumrichter, einem Drehstrommotor und der Last. Innerhalb des Frequenzumrichters gibt es einen Gleichrichter, den Gleichspannungs-Zwischenkreis und eine Wechselrichtereinheit.

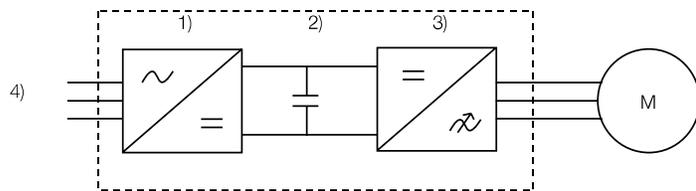


Bild 2.1 Ein Frequenzumrichter besteht aus 1) Gleichrichter, 2) Gleichspannungs-Zwischenkreis, 3) Wechselrichter und 4) Spannungsversorgung.

In Multi-Drive Systemen wird normalerweise eine separate Gleichrichtereinheit verwendet. Die Wechselrichter werden direkt an die Sammelschiene des Gleichspannungs-Zwischenkreises angeschlossen.

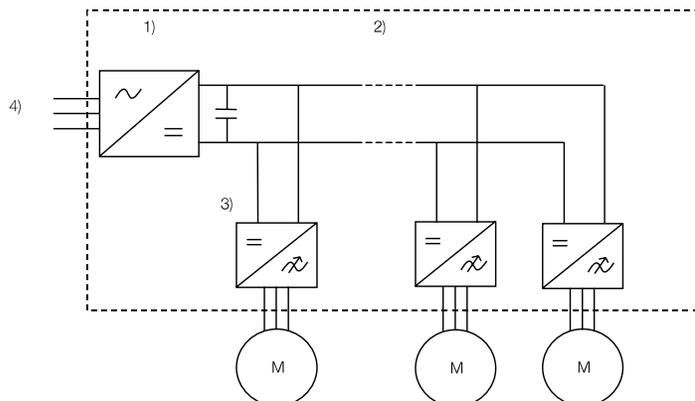


Bild 2.2 Ein Antriebssystem besteht aus 1) einer separaten Einspeiseeinheit, 2) Gleichspannungs-Zwischenkreis, 3) Antriebseinheiten und 4) Spannungsversorgung.

Kapitel 3 - Allgemeine Darstellung der Dimensionierung

In diesem Kapitel wird schrittweise die Dimensionierung des Motors und des Frequenzumrichters dargestellt.

1) Prüfung der Ausgangsbedingungen

Um den richtigen Frequenzumrichter und Motor auszuwählen, sind der Netzspannungsbereich (380 V ... 690 V) und die Frequenz (50 Hz ... 60 Hz) zu prüfen. Die Frequenz der Netzspannung schränkt den Drehzahlbereich der Applikation nicht ein.

2) Prüfung der Prozessanforderungen

Wird ein Anlaufmoment benötigt? In welchem Drehzahlbereich wird gearbeitet? Welcher Lasttyp liegt vor? Die Lasttypen werden später noch dargestellt.

3) Auswahl des Motors

Ein Elektromotor ist als Drehmoment-Quelle zu betrachten. Der Motor muss auch im Überlastbereich des Prozesses störungsfrei arbeiten und genau das erforderliche Drehmoment erzeugen. Die thermische Überlastfähigkeit des Motors darf nicht überschritten werden. Bei der Dimensionierung ist es notwendig, für das maximale Motormoment eine Reserve von etwa 30% über dem maximalen geplanten Arbeitsmoment zu berücksichtigen.

4) Auswahl des Frequenzumrichters

Der Frequenzumrichter wird entsprechend den Ausgangsbedingungen und passend zum vorgesehenen Motor ausgewählt. Der Leistungsbereich des Frequenzumrichters sollte hinsichtlich der erforderlichen Strom- und Leistungsabgabe geprüft werden. Die Vorteile der möglichen Überlastbarkeit von Frequenzumrichtern bei zyklischer Überlast sollten genutzt werden.

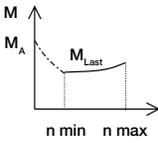
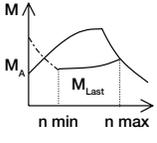
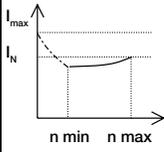
Dimensionierungsphasen	Netzanschluss	Umrichter	Motor	Last
				
1) Prüfung der Ausgangsbedingungen von Netzanschluss und Last	$f_N = 50\text{Hz}, 60\text{Hz}$ $U_N = 380 \dots 690\text{V}$			
2) Auswahl des Motors entsprechend: <ul style="list-style-type: none"> • Thermischer Belastung • Drehzahlbereich • Erforderlichem Drehmoment 				
3) Auswahl des Frequenzumrichters entsprechend: <ul style="list-style-type: none"> • Lasttyp • Dauer- und Höchststrom • Netzanschluss 				

Bild 3.1 Allgemeine Darstellung der Dimensionierung.

Kapitel 4 - Der Drehstrommotor

Drehstrommotoren werden in der Industrie in großer Zahl eingesetzt. Einige der grundlegenden Merkmale werden in diesem Kapitel beschrieben.

4.1 Grundlagen

Ein Drehstrommotor wandelt elektrische Energie in mechanische Energie. Die Energiewandlung erfolgt durch elektromagnetische Induktion. Bedingt durch die Induktion hat der Induktionsmotor einen Schlupf.

Der Schlupf wird oft am Motor-Nennpunkt definiert (Frequenz (f_N), Drehzahl (n_N), Moment (M_N), Spannung (U_N), Strom (I_N) und Leistung (P_N)). Am Nennpunkt ist der Schlupf nominal:

$$s_N = \frac{n_s - n_N}{n_s} * 100 \% \quad (4.1)$$

wobei n_s die Synchron-Drehzahl ist:

$$n_s = \frac{2 * f_N * 60}{\text{Polzahl}} \quad (4.2)$$

Wird ein Motor an eine Versorgung mit konstanter Spannung und Frequenz angeschlossen, hat die Momentkurve folgenden Verlauf:

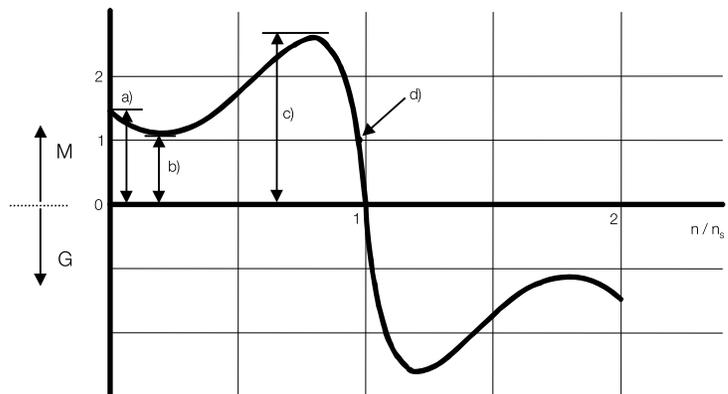


Bild 4.1 Typische Moment-/Drehzahlkurve eines Drehstrommotors bei direktem Netzanschluss (D.O.L., Direct-On-Line). Im Bild sind a) das Anlaufmoment, b) das Sattelmoment, c) das maximale Motormoment, M_{max} und d) ist der Nennpunkt des Motors.

Bei einem Drehstrom-Kurzschlussläufermotor beträgt das maximale Moment (M_{\max} , Kippmoment) normalerweise das Zwei- bis Dreifache des Nennmoments. Das maximale Moment besteht bei Schlupf s_{\max} , der größer als der Nennschlupf ist. Für den effizienten Einsatz eines Drehstrommotors sollte der Schlupf im Bereich $-s_{\max} \dots s_{\max}$ liegen. Das kann durch die Regelung von Spannung und Frequenz erreicht werden. Für die Regelung werden üblicherweise Frequenzumrichter eingesetzt.

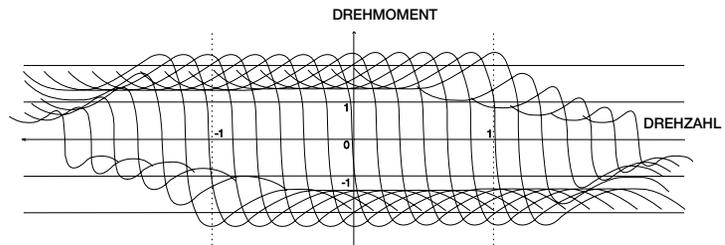


Bild 4.2 Drehmoment-/Drehzahlkurven eines Induktionsmotors, gespeist durch einen Frequenzumrichter. M_{\max} wird bei kurzzeitigen Lastspitzen unterhalb des Feldschwächpunkts erreicht. Frequenzumrichter begrenzen jedoch typischerweise das maximal nutzbare Moment auf 70% von M_{\max} .

Der Frequenzbereich unterhalb der Nennfrequenz wird Konstantflussbereich genannt. Oberhalb der Nennfrequenz/-drehzahl dreht der Motor im Feldschwächungsbereich. Im Feldschwächungsbereich kann der Motor mit konstanter Leistung drehen, deshalb wird der Feldschwächungsbereich auch Konstantleistungsbereich genannt.

Das maximale Moment eines Drehstrommotors ist proportional zum Quadrat des magnetischen Flusses ($M_{\max} \sim \psi^2$). Daraus folgt, dass das maximale Drehmoment innerhalb des Konstantleistungsbereiches einer Konstanten entspricht. Oberhalb des Feldschwächpunktes nimmt das maximale Drehmoment umgekehrt proportional zum Quadrat der Frequenz ab.

$$\left(M_{\max} \sim \left(\frac{f_N}{f} \right)^2 \right).$$

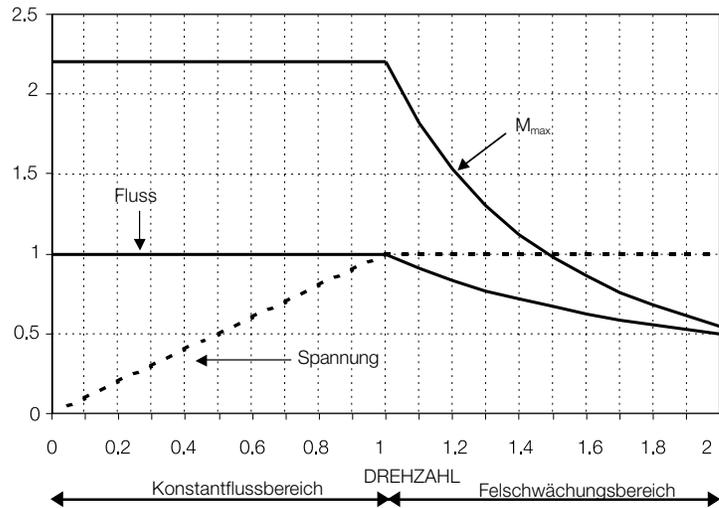


Bild 4.3 Maximales Drehmoment, Spannung und Fluss als Funktion der relativen Drehzahl.

4.2 Motorstrom

Der Strom des Drehstrommotors hat zwei Komponenten: Blindstrom (i_{sd}) und Wirkstrom (i_{sq}). Der Blindstrom ist der Magnetisierungsstrom (i_{magn}) und der Wirkstrom erzeugt das Drehmoment. Die Komponenten Blind- und Wirkstrom bilden einen rechten Winkel.

Der Magnetisierungsstrom (i_{magn}) bleibt im Konstantflussbereich (unterhalb des Feldschwächpunktes) annähernd konstant. Im Feldschwächungsbereich nimmt der Magnetisierungsstrom proportional zur Drehzahl ab. Ein guter Schätzwert für den Magnetisierungsstrom im Konstantflussbereich ist der Blindstrom (i_{sd}) am Motor-Nennpunkt.

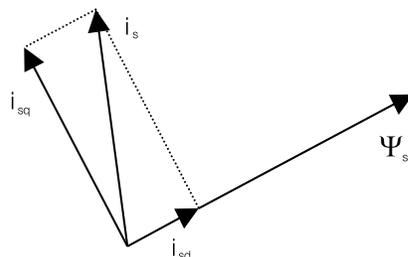


Bild 4.4 Statorstrom (i_s) wird aus dem rechtwinkligen Verhältnis von Blindstrom (i_{sd}) und Wirkstrom (i_{sq}) gebildet. Der Statorfluss wird ψ_s bezeichnet.

4.2.1 Konstant-flussbereich

Unterhalb des Felschwächpunktes werden die Komponenten des Stroms mit der folgenden Näherungsrechnung ermittelt:

$$I_{sd} = I_N \left[\sin(\varphi_n) + \cos(\varphi_n) \left[\sqrt{\left(\frac{M_{max}}{M_N}\right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{M_{max}}{M_N}\right)^2 - \left(\frac{M_{Last}}{M_N}\right)^2} \right] \right] \quad (4.3)$$

$$I_{sq} = I_n \left(\frac{M_{Last}}{M_N} \right) \cos(\varphi_n) \quad (4.4)$$

Der gesamte Motorstrom beträgt:

$$i_m = \sqrt{I_{sd}^2 + I_{sq}^2} \quad (4.5)$$

Es wird gezeigt, dass bei Motormoment Null die Wirkstrom-Komponente Null ist. Bei höheren Momentwerten ist der Motorstrom proportional zum Drehmoment. Eine gute Näherungsrechnung für den gesamten Motorstrom ist:

$$i_m = \frac{M_{Last}}{M_N} * I_N, \text{ wenn } 0,8 * M_N \leq M_{Last} \leq 0,7 * M_{max} \quad (4.6)$$

Beispiel 4.1:

Der Nennstrom eines 15 kW Motors ist 32 A und der Leistungsfaktor beträgt 0,83. Wie ist der Näherungswert für den Magnetisierungsstrom am Nennpunkt? Wie hoch ist annäherungsweise der Gesamtstrom bei 120 % Drehmoment unterhalb des Felschwächpunktes?

Lösung 4.1:

Der Näherungswert für den Magnetisierungsstrom am Nennpunkt beträgt:

$$I_{sd} = I_N \sin(\varphi_n) = 32 * \sqrt{1 - 0,83^2} = 17,8 \text{ A}$$

Mit der Formel des Näherungswertes für den gesamten Motorstrom bei 120 % Moment ergeben sich:

$$i_m = \frac{M_{Last}}{M_N} * I_N = 1,2 * 32 \text{ A} = 38,4 \text{ A}$$

Die Näherungsformel wurde angewendet, da das Moment die Bedingung $0,8 * M_N \leq M_{Last} \leq 0,7 * M_{max}$ erfüllt.

4.2.2 Feldschwächungsbereich

Oberhalb des Feldschwächpunktes sind die Stromkomponenten auch von der Drehzahl abhängig.

$$I_{sd} = I_N \left(\frac{n_N}{n} \left(\sin(\varphi_n) + \cos(\varphi_n) \sqrt{\left(\frac{M_{max}}{M_N} \right)^2 - 1} - \cos(\varphi_n) \sqrt{\left(\frac{M_{max}}{M_N} * \frac{n_N}{n} \right)^2 - \left(\frac{M_{Last}}{M_N} * \frac{n}{n_N} \right)^2} \right) \right) \quad (4.7)$$

$$I_{sq} = I_N \left(\frac{M_{Last}}{M_N} * \frac{n}{n_N} \right) \cos(\varphi_n) = I_N \left(\frac{P_{Last}}{P_N} \right) \cos(\varphi_n) \quad (4.8)$$

Der gesamte Motorstrom beträgt:

$$i_m = \sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2} \quad (4.9)$$

Der Motorstrom kann innerhalb eines bestimmten Arbeitsbereiches annähernd genau berechnet werden. Der Motorstrom wird zur relativen Leistung proportional. Eine Näherungsformel für Strom ist:

$$i_m = \frac{M_{Last}}{M_N} * \frac{n}{n_N} I_N = \frac{P_{Last}}{P_N} I_N \quad (4.10)$$

Die Näherungsformel kann verwendet werden, wenn gilt:

$$0,8 * \frac{n_N}{n} * M_N \leq M_{Last} \leq 0,7 * \left(\frac{n_N}{n} \right)^2 * M_{max} \quad (4.11)$$

und

$$0,8 * P_N \leq P_{Last} \leq 0,7 * \frac{n_N}{n} * P_{max} \quad (4.12)$$

Der zusätzliche Strom im Feldschwächungsbereich, der erforderlich ist, ein bestimmtes Drehmoment zu erzeugen, ist proportional zur relativen Drehzahl.

Beispiel 4.2:

Der Motornennstrom beträgt 71 A. Wieviel Strom ist erforderlich, ein Drehmoment von 100 % bei 1,2-facher Nenndrehzahl ($M_{max} = 3 * M_N$) zu erzeugen?

Lösung 4.2:

Der Strom kann mit der Näherungsformel berechnet werden:

$$i_m = \frac{M_{Last}}{M_N} * \frac{n}{n_N} I_N = 1 * 1,2 * 71 \text{ A} = 85,2 \text{ A}$$

4.3 Motorleistung

Die Leistungsabgabe (mech.) des Motors kann mit folgender Formel aus der Drehzahl und dem Moment berechnet werden:

$$P_{ab} \text{ [W]} = T \text{ [Nm]} * \omega \text{ [rad/s]} \quad (4.13)$$

Weil die Motorleistung meistens in *Kilowatt* (1 kW = 1000 W) und die Drehzahl in 1/min (revolutions per minute = Umdrehungen pro Minute) angegeben ist,

1 1/min = $\frac{2 \pi}{60}$ rad/s), kann folgende Formel verwendet

werden:

$$P_{ab} \text{ [kW]} = \frac{T \text{ [Nm]} * n \text{ [rpm]}}{9550} \quad (4.14)$$

Die Leistungsaufnahme des Motors kann aus der Spannung, dem Strom und dem Leistungsfaktor berechnet werden:

$$P_{auf} = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi) \quad (4.15)$$

Der Wirkungsgrad des Motors ergibt sich aus der Leistungsabgabe dividiert durch die Leistungsaufnahme:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{auf}} \quad (4.16)$$

Beispiel 4.3:

Die Motornennleistung beträgt 15 kW und Nenndrehzahl ist 1480 1/min. Wie hoch ist das Nennmoment des Motors?

Lösung 4.3:

Das Motornennmoment wird wie folgt berechnet:

$$M_N = \frac{9550 * 15}{1480} \text{ Nm} = 96,8 \text{ Nm}$$

Beispiel 4.4:

Wie hoch ist der Nenn-Wirkungsgrad eines 37 kW Motors ($P_N = 37 \text{ kW}$, $U_N = 380 \text{ V}$, $I_N = 71 \text{ A}$ und $\cos(\varphi_n) = 0,85$)?

Lösung 4.4:

Der Nenn-Wirkungsgrad beträgt:

$$\eta_N = \frac{P_{ab}}{P_{auf}} = \frac{P_N}{\sqrt{3} * U_N * I_N * \cos(\varphi_n)} = \frac{37000}{\sqrt{3} * 380 * 71 * 0,85} \approx 0,931$$

Kapitel 5 - Gesetze der Mechanik

5.1 Drehbewegung

Eine der grundlegenden Gleichungen eines Induktionsmotors beschreibt das Verhältnis von Massenträgheitsmoment (J [kgm^2]), Winkelgeschwindigkeit (ω [rad/s]) und Drehmoment (M [Nm]). Dies ist die Gleichung:

$$\frac{d}{dt} (J \omega) = J \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{dJ}{dt} = M - M_{\text{Last}} \quad (5.1)$$

In der Gleichung oben gilt die Annahme, dass sich die Frequenz und das Massenträgheitsmoment ändern. Oft wird die Formel auch so angegeben, dass die Annahme gilt, das Massenträgheitsmoment sei konstant:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_{\text{Last}} \quad (5.2)$$

Das Drehmoment M_{Last} stellt die Last an der Welle des Motors dar. Die Last besteht aus Reibung, Trägheit und der Last selbst. Bei Drehzahländerung des Motors weicht das Motormoment von M_{Last} ab. Das Motormoment besteht aus einer dynamischen Komponente und einer Lastkomponente:

$$M = M_{\text{dyn}} + M_{\text{Last}} \quad (5.3)$$

Sind Drehzahl und Trägheitsmoment konstant, ist die dynamische Komponente (M_{dyn}) Null.

Die dynamische Komponente des Moments, verursacht durch Beschleunigung/Verzögerung eines konstanten Massenträgheitsmoments (Änderung der Motordrehzahl um Δn [$1/\text{min}$] in der Zeit Δt [s], J ist konstant), ist:

$$M_{\text{dyn},n} = J * \frac{2\pi}{60} * \frac{\Delta n}{\Delta t} \quad (5.4)$$

Die dynamische Komponente des Moments, verursacht durch ein veränderliches Trägheitsmoment bei konstanter Drehzahl n [$1/\text{min}$] ist:

$$M_{\text{dyn},J} = n * \frac{2\pi}{60} * \frac{\Delta J}{\Delta t} \quad (5.5)$$

Ändert sich das Massenträgheitsmoment bei gleichzeitiger Beschleunigung des Motors, kann die dynamische Komponente des Moments durch Verwendung eines bestimmten diskreten Abfrageintervalls berechnet werden. Unter thermischen Gesichtspunkten wird bei der Dimensionierung jedoch oftmals das durchschnittliche Trägheitsmoment während der Beschleunigung verwendet.

Beispiel 5.1:

Das gesamte Trägheitsmoment, 3 kgm^2 , wird in 10 Sekunden von Drehzahl 500 1/min auf 1000 1/min beschleunigt. Wie hoch ist das insgesamt benötigte Moment, wenn das konstante Lastmoment 50 Nm beträgt?

Wie schnell bremst der Motor auf Drehzahl 0 1/min ab, wenn die Spannungsversorgung des Motors abgeschaltet wird?

Lösung 5.1:

Das gesamte Trägheitsmoment ist konstant. Die dynamische Komponente des Drehmoments, das für die Beschleunigung benötigt wird, ist:

$$M_{\text{dyn}} = 3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{1000 - 500}{10} \text{ Nm} = 15.7 \text{ Nm}$$

Das gesamte Moment während der Beschleunigung beträgt:

$$M = M_{\text{dyn}} + M_{\text{Last}} = (15.7 + 50) \text{ Nm} = 65.7 \text{ Nm}$$

Wenn die Spannungsversorgung des Motors bei 1000 1/min abgeschaltet wird, verzögert der Motor wegen des konstanten Lastmoments (50 Nm). Es gilt:

$$3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{0 - 1000}{\Delta t} = - M_{\text{Last}}$$

Verzögerungszeit von 1000 1/min auf 0 1/min:

$$\Delta t = 3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{1000}{50} \text{ s} = 6,28 \text{ s}$$

Beispiel 5.2:

Die Beschleunigung eines Lüfters auf Nenndrehzahl erfolgt bei Nennmoment. Bei Nenndrehzahl beträgt das Moment 87 %. Das Trägheitsmoment des Lüfters beträgt 1200 kgm^2 und das Motorträgheitsmoment 11 kgm^2 . Die charakteristischen Lastwerte des Lüfters M_{Last} sind in Bild 5.1 dargestellt.

Die Motornennleistung beträgt 200 kW und die Nenndrehzahl ist 991 1/min.

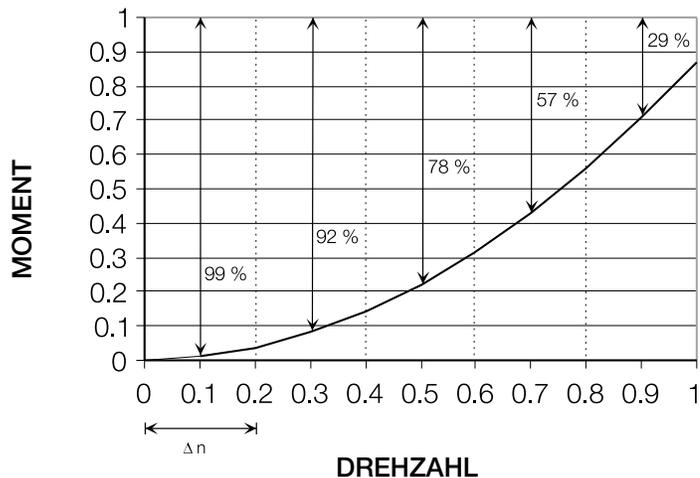


Bild 5.1 Charakteristischer Momentverlauf eines Lüfters. Drehzahl und Drehmoment sind als Relativwerte dargestellt.

Berechnung der Hochlaufzeit von Drehzahl Null auf Nenndrehzahl.

Lösung 5.2:

Das Motornennmoment beträgt:

$$M_N = \frac{9550 \cdot 200}{991} \text{ Nm} = 1927 \text{ Nm}$$

Für die Berechnung der Hochlaufzeit wird der Drehzahlbereich in fünf Sektoren aufgeteilt. Für jeden Sektor (198,2 1/min) wird ein konstantes Moment angenommen. Als Moment für jeden Sektor wird das Moment der Sektormitten gewählt. Dies ist akzeptabel, weil man die quadratische Funktion innerhalb des Sektor linear annähern kann.

Die Beschleunigungszeit des Motors (Lüfter) mit Nennmoment kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$\Delta t = \frac{2 \pi}{60} \cdot \frac{J_{\text{ges}} \cdot \Delta n}{M_N - M_{\text{Last}}}$$

Die Beschleunigungszeiten für die einzelnen Drehzahlbereiche sind:

$$0-198,2 \text{ 1/min} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198,2}{0,99 * 1927} \text{ s} = 13,2 \text{ s}$$

$$198,2-396,4 \text{ 1/min} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198,2}{0,92 * 1927} \text{ s} = 14,3 \text{ s}$$

$$396,4-594,6 \text{ 1/min} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198,2}{0,78 * 1927} \text{ s} = 16,7 \text{ s}$$

$$594,6-792,8 \text{ 1/min} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198,2}{0,57 * 1927} \text{ s} = 22,9 \text{ s}$$

$$792,8-991 \text{ 1/min} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198,2}{0,29 * 1927} \text{ s} = 45,0 \text{ s}$$

Die gesamte Hochlaufzeit 0-991 1/min beträgt etwa 112 Sekunden.

5.2 Getriebe und Trägheitsmoment

Getriebe werden in Antriebssystemen häufig verwendet. Bei der Berechnung von Motormoment und -drehzahlbereich müssen Getriebe berücksichtigt werden. Die Verringerung der Last für den Motor durch Getriebe berechnet sich nach folgenden Gleichungen (siehe auch Bild 5.2):

$$M_1 = \frac{M_2}{\eta} * \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (5.6)$$

$$J_1 = J_2 * \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (5.7)$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \quad (5.8)$$

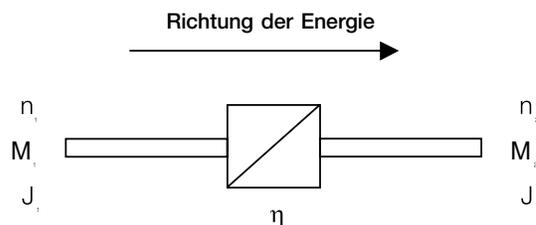


Bild 5.2 Getriebe mit Wirkungsgrad η . Getriebeverhältnis ist $n_1 : n_2$

Alle Trägheitsmomente (J [kgm^2]) innerhalb des Systems müssen bekannt sein. Wenn sie nicht bekannt sind, ist die genaue Berechnung schwierig. Die erforderlichen Daten erhält man normalerweise von den Maschinenherstellern.

Beispiel 5.3:

Ein Zylinder ist die typische Form einer Last (Rollen, Trommeln, Kupplungen, usw.). Wie hoch ist das Massenträgheitsmoment eines drehenden Zylinders (Masse=1600 kg, Radius=0,7 m)?

Lösung 5.3:

Das Massenträgheitsmoment eines drehenden Zylinders (mit Masse m [kg] und Radius r [m]) wird wie folgt berechnet:

$$J = \frac{1}{2} mr^2 = \frac{1}{2} * 1600 * 0,7^2 \text{ kgm}^2 = 392 \text{ kgm}^2$$

Bei Einsatz eines Getriebes wird das Trägheitsmoment an der Motorwelle reduziert. Das folgende Beispiel zeigt die Reduzierung bei Hubapplikationen. Technische Lehrbücher enthalten weitere Formeln zur Berechnung.

Beispiel 5.4:

Reduzierung des Massenträgheitsmoments an der Motorwelle des Hubantriebssystems.

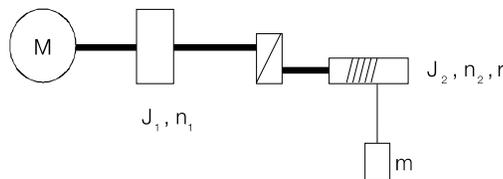


Bild 5.3 Hubantriebssystem wie in Beispiel 5.4.

Lösung 5.4:

Das gesamte Massenträgheitsmoment beträgt $J_1=10 \text{ kgm}^2$, $J_2=30 \text{ kgm}^2$, $r=0,2 \text{ m}$ and $m=100 \text{ kg}$.

Das Trägheitsmoment J_2 und Masse m sind nach einem Getriebe mit der Übersetzung $n_1:n_2=2:1$ angeordnet.

Das Trägheitsmoment J_2 wird durch Multiplikation mit dem Quadrat des inversen Werts der Übersetzung reduziert. Die Masse m wird durch Multiplikation mit dem Quadrat des Radius r und, wegen der Anordnung hinter dem Getriebe, auch noch durch Multiplikation mit dem Quadrat des inversen Werts der Übersetzung reduziert.

Damit ergibt sich als Gesamt-Trägheitmoment des Systems:

$$J_{\text{red}} = J_1 + \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 [J_2 + mr^2] = 18,5 \text{ kgm}^2$$

Kapitel 6 - Lasttypen

In der Industrie wird mit bestimmten Lasttypen gearbeitet. Die Kenntnis des Lastprofils (Drehzahlbereich, Moment und Leistung) ist bei der Auswahl eines geeigneten Motors und Frequenzumrichters für die Applikation wichtig.

Einige allgemeine Lasttypen werden hier dargestellt. Es kann auch Kombinationen von Lasttypen geben.

1. Konstantes Moment

Bei der Handhabung feststehender Volumina liegt der Lasttyp mit konstantem Moment vor. Schraubenverdichter, Rohrleitungssysteme und Förderanlagen sind Beispiele für typische Applikationen mit konstantem Moment. Das Moment ist konstant und die Leistung ist linear proportional zur Drehzahl.

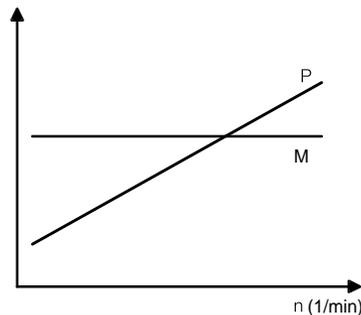


Bild 6.1 Typische Moment-/Leistungskurve bei einer Applikation mit konstantem Moment.

2. Quadratisches Moment

Der Lasttyp mit quadratischem Moment liegt sehr häufig vor. Typische Applikationen sind Kreiselpumpen und Lüfter. Der Momentverlauf ist quadratisch und die Leistung ist in der dritten Potenz proportional zur Drehzahl.

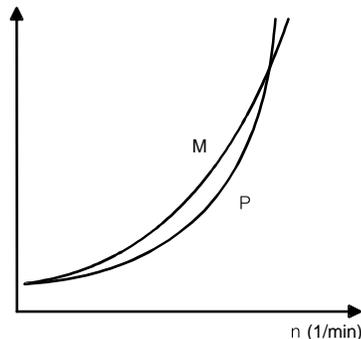


Bild 6.2 Typische Moment-/Leistungskurve bei einer Applikation mit quadratischem Moment.

3. Konstante Leistung

Last mit konstanter Leistung liegt bei Wickelmaschinen vor, bei denen sich Durchmesser der Wicklung ändern. Die Leistung ist konstant und das Drehmoment ist umgekehrt proportional zur Drehzahl.

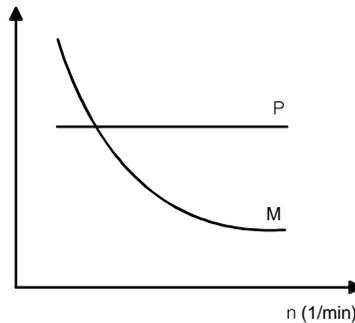


Bild 6.3 Typische Drehmoment-/Leistungskurve bei einer Applikation mit konstanter Leistung.

4. Konstante Leistung/Konstantmoment

Dieser Lasttyp kommt häufig in der Papierindustrie vor. Dabei handelt es sich um eine Kombination der Lasttypen von konstanter Leistung und konstantem Drehmoment. Dieser Lastyp liegt vor, wenn die Dimensionierung eines Systems eine bestimmte Leistung bei hoher Drehzahl erfordert.

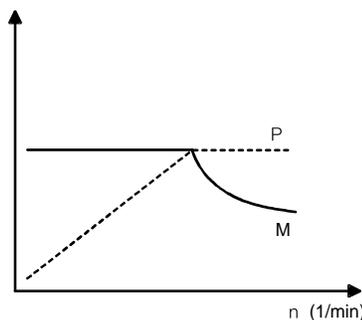


Bild 6.4 Typische Moment-/Leistungskurve bei einer Applikation mit konstanter Leistung/Drehmoment.

5. Anforderungen an Start-/ Anlaufmoment

In einigen Applikationen ist ein hohes Drehmoment bei niedrigen Frequenzen erforderlich. Dies muss bei der Dimensionierung berücksichtigt werden. Typische Applikationen mit diesem Lasttyp sind zum Beispiel Extruder.

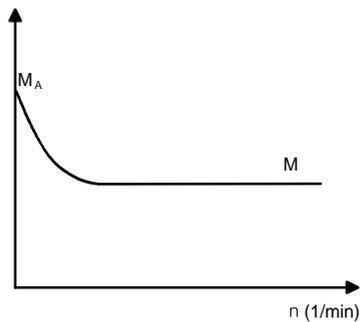


Bild 6.5 Typische Drehmomentkurve einer Applikation hohem Anlaufmoment.

Es gibt noch einige andere Lasttypen, die in einer allgemeinen Darstellung schwieriger zu beschreiben sind. Diese sind, um einige zu nennen, verschiedene symmetrische (Walzen, Krane, etc.) und unsymmetrische Lasten. Symmetrie/Unsymmetrie des Drehmomentverlaufs können zum Beispiel Funktionen abhängig von Winkel oder Zeit sein. Diese Lasttypen erfordern eine sorgfältige Dimensionierung unter Berücksichtigung, sowohl der Überlastbarkeitsbereiche von Motor und Frequenzumrichter, als auch des mittleren Drehmoments des Motors.

Kapitel 7 - Motorbelastbarkeit

Die thermische Belastbarkeit des Motors muss bei der Dimensionierung eines Antriebssystems genau beachtet werden. Die thermische Belastbarkeit definiert die maximale Dauerbelastbarkeit des Motors.

Ein Standard-Drehstrommotor ist eigenbelüftet. Durch die Eigenbelüftung nimmt die thermische Belastbarkeit in dem Maß ab, wie die Drehzahl verringert wird. Dadurch wird bei niedrigen Drehzahlen das verfügbare Dauerdrehmoment begrenzt.

Ein Motor mit Fremdbelüftung kann auch bei niedrigen Drehzahlen belastet werden. Die Kühlung wird meist so dimensioniert, dass die Kühlleistung den Nennpunkt-Anforderungen entspricht.

Bei Eigenbelüftung und Fremdlüftung ist das Drehmoment thermisch im Felschwächungsbereich begrenzt.

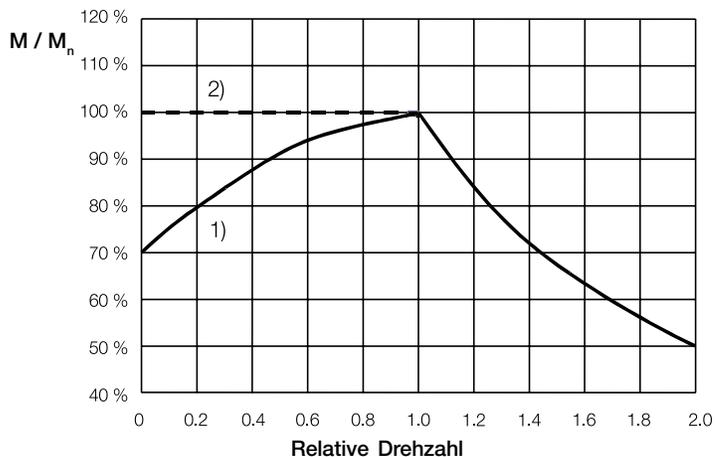


Bild 7.1 Typische Belastbarkeit eines Standard-Drehstrommotors mit frequenzgeregeltem Antrieb 1) ohne Fremdlüftung und 2) mit Fremdlüftung.

Ein Drehstrommotor kann periodisch kurzzeitig ohne Überhitzungsgefahr überlastet werden. Die Kurzzeit-Überlastungen werden durch M_{\max} begrenzt (Sicherheitsspanne prüfen).

Generell sind jedoch kurzzeitige Überlastungen bei Frequenzumrichtern meist kritischer als bei Motoren. Bei Motoren reicht die Temperatur-Anstiegszeit abhängig von der Motorgröße normalerweise von 15 Minuten (kleine Motoren) bis zu mehreren Stunden (große Motoren). Bei Frequenzumrichtern sind die Temperatur-Anstiegszeiten (normalerweise wenige Minuten) in den Produkt-Handbüchern angegeben.

Kapitel 8 - Auswahl von Frequenzumrichter und Motor

Der Motor wird entsprechend den grundlegenden Informationen über den Prozess ausgewählt. Drehzahlbereich, Drehmomentverlauf, Art der Kühlung und Motorüberlastbarkeit sind die Bestimmungsgrößen für die Motorauswahl. Es ist empfehlenswert, mehrere verschiedene Motoren zu vergleichen, weil die Auswahl des Motors für die Größe des Frequenzumrichters bestimmend ist.

Bei der Auswahl des Frequenzumrichters sind mehrere Punkte zu beachten. Die Hersteller von Frequenzumrichtern haben Auswahltabellen, in denen die typischen Motorleistungen für jede Stromrichtergröße angegeben werden.

Der Strom als Dimensionierungsgröße kann auch berechnet werden, wenn der Drehmomentverlauf bekannt ist. Die entsprechenden Stromwerte lassen sich aus dem Momentprofil errechnen und mit den Stromgrenzwerten des Umrichters abgleichen. Der Nennstrom des Motors ist dabei eine wichtige Größe. Er ist jedoch nicht immer das beste Dimensionierungskriterium, weil reduzierte Kenndaten angegeben sein können (z.B. Einschränkungen hinsichtlich Umgebungstemperatur, Gefährdungsbereich, usw.).

Vor Auswahl des Frequenzumrichters muss die verfügbare Versorgungsspannung geprüft werden. Spannungsschwankungen wirken sich auf das Motordrehmoment aus. Ist die Versorgungsspannung niedriger als die Nennspannung, wird der Feldschwächungspunkt zu einer niedrigeren Frequenz verschoben und das verfügbare maximale Motormoment ist niedriger.

Das maximal verfügbare Drehmoment wird oft durch den Frequenzumrichter begrenzt. Dies muss bereits bei der Auswahl des Motors berücksichtigt werden. Der Frequenzumrichter kann das Motormoment schon früher begrenzen, als in den Datenblättern des Motorenherstellers angegeben ist.

Das maximal verfügbare Drehmoment wird auch durch Transformatoren, Drosseln, Kabel, usw. beeinflusst, die einen Spannungsabfall und damit ein verringertes Drehmoment verursachen können. Die Leistungsverluste des Systems sind durch Auswahl des richtigen Frequenzumrichters auszugleichen.

8.1 Pumpen- und Lüfterapplikation (Beispiel)

Dimensionierungsstufen von Pumpen- und Lüfter-Applikationen:

- Drehzahlbereich prüfen und die Leistung bei höchster Drehzahl berechnen.
- Ermittlung des erforderlichen Anlaufmoments.
- Polzahl des Motors wählen. Die wirtschaftlichste Betriebsfrequenz liegt meist im Feldschwächungsbereich.
- Motorleistung so wählen, dass sie bei höchster Drehzahl verfügbar ist. Die thermische Belastbarkeit beachten.
- Frequenzumrichter auswählen. Pumpen- und Lüfter-Kenndaten verwenden. Liegen sie nicht vor, den Frequenzumrichter nach dem Profil des Motorstroms auswählen.

Beispiel 8.1:

Eine Pumpe hat eine Last von 150 kW bei einer Drehzahl von 2000 1/min. Ein Anlaufmoment wird nicht benötigt.

Lösung 8.1:

Das erforderliche Drehmoment bei 2000 1/min beträgt:

$$M = \frac{9550 \cdot 150}{2000} \text{ Nm} = 716 \text{ Nm}$$

Als Alternativen könnten 2-polige oder 4-polige Motoren für diese Applikation gewählt werden.

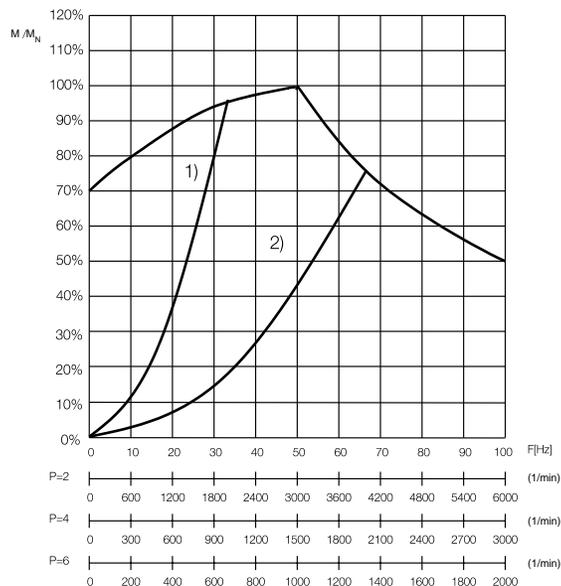


Bild 8.1 Motorbelastbarkeits-Kurven einer Pumpen- und Lüfter-Applikation. Vergleich von 1) 2-poligen und 2) 4-poligen Motoren.

1) Motor p = 2

Bei einem 2-poligen Motor liegt die Belastbarkeit bei 2000 1/min gemäß Belastbarkeitskurve bei etwa 95 %. Das Nennmoment des Motors beträgt mindestens:

$$M_N \geq \frac{716}{0,95} \text{ Nm} = 754 \text{ Nm}$$

Die entsprechende Nennleistung ist demnach mindestens:

$$P_N \geq \frac{754 * 3000}{9550} \text{ kW} = 237 \text{ kW}$$

Ein Motor mit 250 kW (400 V, 431 A, 50 Hz, 2975 1/min und $\cos \varphi$ 0,87) wird gewählt. Das Nennmoment des Motors beträgt:

$$M_N = \frac{250 * 9550}{2975} \text{ Nm} = 803 \text{ Nm}$$

Der Motorstrom bei Drehzahl 2000 1/min (Konstantflussbereich) beträgt:

$$i_m = \frac{M_{\text{Last}}}{M_N} * I_N = \frac{716}{803} * 431 \text{ A} = 384 \text{ A}$$

Der Dauerstromwert für den Frequenzumrichter beträgt mindestens 384 A.

2) Motor p=4

Bei einem 4-poligen Motor liegt die Belastbarkeit bei 2000 1/min bei etwa 75 %.

Das Nennmoment des Motors beträgt mindestens:

$$M_N \geq \frac{716 \text{ Nm}}{0,75} = 955 \text{ Nm}$$

Die Mindestleistung eines 4-poligen Motors beträgt:

$$P_N \geq \frac{955 * 1500}{9550} \text{ kW} = 150 \text{ kW}$$

Ein 160 kW Motor (400 V, 305 A, 50 Hz, 1480 1/min und $\cos \varphi$ 0,81) erfüllt die Bedingungen. Bei einer Drehzahl von 2000 1/min (66,7 Hz) beträgt der Strom annähernd:

$$i_m = \frac{M_{\text{Last}}}{M_N} * \frac{n}{n_N} I_N = \frac{P_{\text{Last}}}{P_N} * I_N = \frac{150}{160} * 305 \text{ A} = 286 \text{ A}$$

Der Stromwert muss genau berechnet werden, wenn der Nennstrom des gewählten Frequenzumrichters nahe am näherungsweise errechneten Motorstromwert liegt.

Ein 4-poliger Motor benötigt am Arbeitspunkt der Pumpe weniger Strom. Er kann eine wirtschaftlichere Lösung sein als ein 2-poliger Motor.

8.2 Konstantmoment-Applikation (Beispiel)

Dimensionierungsstufen einer Applikation mit Konstantmoment:

- Prüfen des Drehzahlbereichs.
- Ermittlung des erforderlichen Konstantmoments.
- Prüfen der möglichen Beschleunigung. Wird eine bestimmte Beschleunigung gefordert, die Massenträgheitsmomente prüfen.
- Prüfen ob das erforderliche Anlaufmoment ausreicht.
- Einen Motor wählen, bei dem das Moment unterhalb der thermischen Grenzkurve erreicht wird (Fremd-/Eigenkühlung?). Die Nenndrehzahl des Motors sollte in der Mitte des verwendeten Drehzahlbereiches liegen.
- Den geeigneten Frequenzumrichter entsprechend dem bei der Planung errechneten Strom auswählen.

Beispiel 8.2:

Ein Extruder arbeitet im Drehzahlbereich von 300-1200 1/min. Bei 1200 1/min beträgt die Last 48 KW. Als Anlaufmoment sind 200 Nm erforderlich. Die Beschleunigungszeit von Drehzahl Null bis auf 1200 1/min beträgt 10 Sekunden. Der Motor ist eigenbelüftet, die Nennspannung beträgt 400 V.

Lösung 8.2:

Das erforderliche Konstantmoment beträgt:

$$M = \frac{9550 \cdot 48}{1200} \text{ Nm} = 382 \text{ Nm}$$

Ein 4-poliger oder ein 6-poliger Motor sind geeignet.

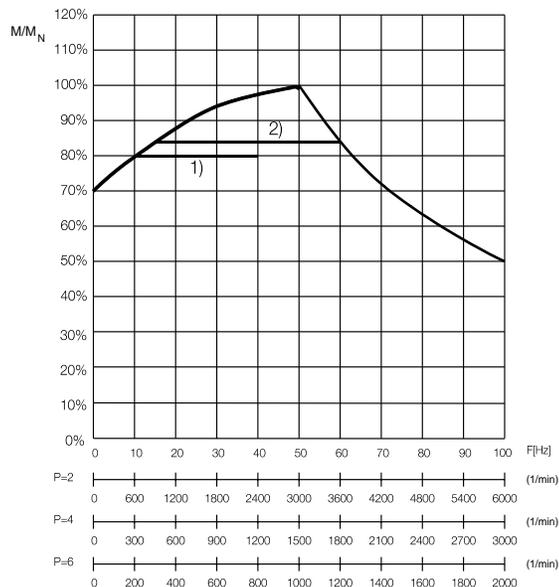


Bild 8.2 Motorbelastbarkeitskurven einer Konstantmoment-Applikation, Vergleich von 1) 4-poligen und 2) 6-poligen Motoren.

1) Motor p=4

Bei Drehzahl 300 1/min beträgt die thermische Belastbarkeit 80 %. Das Mindestnennmoment ist:

$$M_N \geq \frac{382}{0,8} \text{ Nm} = 478 \text{ Nm}$$

Die Mindestnennleistung des Motors beträgt:

$$P_N \geq \frac{478 * 1500}{9550} \text{ kW} = 75 \text{ kW}$$

Ein geeigneter Motor ist beispielsweise ein 75 kW Motor (400 V, 146 A, 50 Hz, 1473 1/min und $\cos \varphi$ 0,82). Das Motornennmoment ist:

$$M_N = \frac{75 * 9550}{1473} \text{ Nm} = 486 \text{ Nm}$$

Der Motorstrom beträgt ungefähr ($M/M_N \approx 0,8$):

$$i_m = \frac{M_{\text{Last}}}{M_N} * I_N = \frac{382}{486} * 146 \text{ A} = 115 \text{ A}$$

Für den so berechneten Motorstrom kann ein geeigneter Frequenzumrichter für das Konstantmoment gewählt werden.

Der Motor erbringt ohne Probleme das erforderliche Anlaufmoment (200 Nm).

Bei einem Massenträgheitsmoment des Motors von $0,72 \text{ kgm}^2$ beträgt das dynamische Moment bei der Beschleunigung:

$$M_{\text{dyn}} = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1200}{10} * 0,72 \text{ Nm} = 9 \text{ Nm}$$

Das gesamte Drehmoment während der Beschleunigung beträgt 391 Nm und liegt damit unterhalb des Motornennmoments.

2) Motor p=6

Bei Drehzahlen von 300 1/min und 1200 1/min beträgt die minimale Motor-Belastbarkeit 84 %. Daraus ergibt sich für den 6-poligen Motor ein Mindest-Nennmoment von:

$$M_N \geq \frac{382 \text{ Nm}}{0,84} = 455 \text{ Nm}$$

Die Motornennleistung beträgt mindestens:

$$P_N \geq \frac{455 * 1000}{9550} \text{ kW} = 48 \text{ kW}$$

Ein Motor mit 55 kW (400 V, 110 A, 50 Hz, 984 1/min und $\cos \varphi$ 0,82) könnte geeignet sein. Das Motornennmoment ist:

$$M_N = \frac{55 \cdot 9550}{984} \text{ Nm} = 534 \text{ Nm}$$

Der Strom lässt sich bei Drehzahl 1200 1/min näherungsweise wie folgt berechnen:

$$i_m = \frac{M_{\text{Last}}}{M_N} \cdot \frac{n}{n_N} \cdot I_N = \frac{P_{\text{Last}}}{P_N} \cdot I_N = \frac{48}{55} \cdot 110 \text{ A} = 96 \text{ A}$$

Der Nenn-(Dauer-)Strom des Frequenzumrichters muss mehr als 96 A betragen.

Das erforderliche Anlaufmoment liegt unter dem Motornennmoment.

Bei einem Masenträgheitsmoment des Motors von 1,2 kgm² beträgt das dynamische Moment bei der Beschleunigung:

$$M_{\text{dyn}} = \frac{2 \pi}{60} \cdot \frac{1200}{10} \cdot 1,2 \text{ Nm} = 15 \text{ Nm}$$

Das gesamte Drehmoment während der Beschleunigung beträgt 397 Nm und liegt damit unterhalb des Motornennmoments.

Bei einem 6-poligen Motor ist der Strom 19 A geringer als bei einem 4-poligen Motor.

Die endgültige Auswahl von Frequenzumrichter und Motor ist von Prozessanforderung (z.B. Bypassbetrieb), Baugröße und Preis abhängig.

8.3 Konstantleistungs-Applikation (Beispiel)

Dimensionierungsstufen für eine Konstantleistungs-Applikation:

- Prüfung des Drehzahlbereiches.
- Berechnung der erforderlichen Leistung. Wickelmaschinen sind typische Konstantleistungs-Applikationen.
- Motor so dimensionieren, dass der Feldschwächungsbereich genutzt wird.

Beispiel 8.3:

Eine Drahtziehmaschine wird von einem Frequenzumrichter gesteuert. Die Umfangsgeschwindigkeit der Spule beträgt 12 m/s mit einer Zugspannung von 5700 N. Die Spulendurchmesser sind 630 mm (Leerspule) und 1250 mm (Vollspule). Es ist ein Getriebe mit der Übersetzung $n_2 : n_1 = 1:7,12$ und einem Wirkungsgrad von 0,98 vorhanden.

Wählen Sie einen geeigneten Motor und Frequenzumrichter für diese Applikation.

Lösung 8.3:

Der Grundgedanke einer Wickelmaschine ist, bei wechselndem Durchmesser die Bahngeschwindigkeit und die Spannung konstant zu halten.

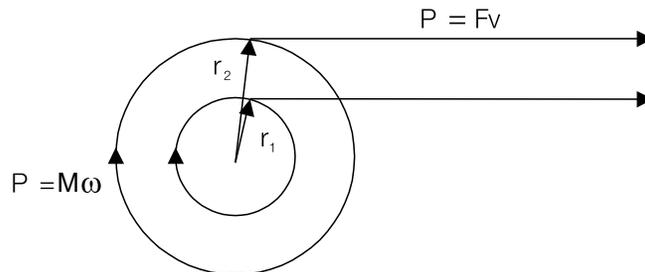


Bild8.3 Prinzipdarstellung einer Wickelmaschine.

Leistung in geradliniger Bewegung: $P = Fv$

Leistung in Drehbewegung: $P = M\omega$

Die Relation von Bahn- und Winkelgeschwindigkeit ist:

$$v \text{ [m/s]} = \omega * r = \frac{2 \pi * n \text{ [1/min]} * r}{60} \Leftrightarrow n \text{ [1/min]} = \frac{60 * v}{2 \pi * r}$$

Drehmoment ist ein Produkt aus Kraft und Radius: $M=Fr$

Unter Verwendung der oben genannten Formeln kann der geeignete Motor auf folgende Weise berechnet werden:

$$P = 5700 \text{ N} * 12 \text{ m/s} = 68,4 \text{ kW}$$

$$M_1 = 5700 \text{ N} * \frac{0,63}{2} \text{ m} = 1796 \text{ Nm}$$

$$n_1 = \frac{12 * 60}{\pi * 0,63} \text{ 1/min} = 383,8 \text{ 1/min}$$

$$M_2 = 5700 \text{ N} * \frac{1,25}{2} \text{ m} = 3563 \text{ Nm}$$

$$n_2 = \frac{12 * 60}{\pi * 1,25} \text{ 1/min} = 183,3 \text{ 1/min}$$

Vor der Bestimmung des Motors ist das Getriebe bei der Berechnung zu berücksichtigen. Drehzahlen, Drehmomente und Leistung müssen bestimmt werden:

$$P = \frac{P}{\eta_{\text{Getriebe}}} = \frac{68,4}{0,98} \text{ kW} = 69,8 \text{ kW}$$

$$M_1 = \frac{1796}{0,98} * \frac{1}{7,12} \text{ Nm} = 275 \text{ Nm}$$

$$n_1 = 363,8 * 7,12 \text{ 1/min} = 2590 \text{ 1/min}$$

$$M_2 = \frac{3563}{0,98} * \frac{1}{7,12} \text{ Nm} = 511 \text{ Nm}$$

$$n_2 = 183,3 * 7,12 \text{ 1/min} = 2590 \text{ 1/min}$$

1) Motor p=2

Bei Auswahl eines 2-poligen Motors beträgt die Belastbarkeit bei einer Drehzahl von 1305 1/min etwa 88 % und 97 % bei 2590 1/min. Die Mindestnennleistung des Motors beträgt:

$$P_N \geq \frac{511 * 3000}{0,88 * 9550} \text{ kW} = 182 \text{ kW}$$

Ein 200 kW Motor (400 V, 353 A, 50 Hz, 2975 1/min und $\cos \varphi = 0,86$) wird gewählt. Das Nennmoment des Motors ist:

$$M_N = \frac{200 * 9550}{2975} \text{ Nm} = 642 \text{ Nm}$$

Der Strom wird für ein Drehmoment von 511 Nm berechnet:

$$i_m = \frac{M_{\text{Last}}}{M_N} * I_N = \frac{511}{642} * 353 \text{ A} = 281 \text{ A}$$

2) Motor p=4

Wird ein 4-poliger Motor gewählt, ist aus der Belastbarkeitskurve ersichtlich, dass die Belastbarkeit bei einer Drehzahl von 1305 1/min etwa 98 % und etwa 60 % bei 2590 1/min beträgt. Die Mindestnennleistung des Motors beträgt:

$$P_N \geq \frac{511 * 1500}{0,98 * 9550} \text{ kW} = 82 \text{ kW}$$

Es wird ein 90 kW Motor (400 V, 172 A, 50 Hz, 1473 1/min und $\cos \varphi = 0,83$) gewählt. Das Nennmoment des Motors beträgt:

$$M_N = \frac{90 \cdot 9550}{1473} \text{ Nm} = 584 \text{ Nm}$$

Die Dimensionierung wird in diesem Fall für den Motorstrom bei 1305 1/min vorgenommen. Der Motorstrom beträgt:

$$i_m = \frac{M}{M_N} I_N = \frac{511}{584} \cdot 172 \text{ A} = 151 \text{ A}$$

Bei einem 2-poligen Motor würde der Feldschwächungs- (Konstantleistungs-) Bereich nicht genutzt und als Folge wäre eine unnötige Überdimensionierung nötig. Ein 4-poliger Motor ist für diese Applikation die bessere Alternative.

Kapitel 9 - Eingangstransformatoren und Eingangsgleichrichter

Es gibt verschiedene Typen von Eingangsgleichrichtern. Der jeweilige Einsatzfall entscheidet über die Wahl der Eingangsgleichrichter.

Ein konventioneller Gleichrichter ist eine 6- oder 12-pulsige Diodenbrücke. Diodengleichrichter unterstützen nur motorische Lasten mit Leistungsfluss in nur einer Richtung.

In bestimmten Prozessen kann die Last auch generatorisch wirken und die Bremsenergie muss vom Umrichter aufgenommen werden. Für kurzzeitige generatorische Lasten wird üblicherweise ein Bremswiderstand verwendet, der die generatorische Energie in Wärme umwandelt. Wirkt die Last ständig generatorisch, wird ein echter 4-Quadranten-Gleichrichter benötigt.

Beide, der Eingangstransformator und der Gleichrichter werden entsprechend der Motorwellenleistung und Systemverluste dimensioniert. Wird zum Beispiel ein hohes Moment bei niedriger Drehzahl erzeugt, ist die mechanische Leistung dennoch relativ niedrig. Somit sind hohe Überlasten aus der Sicht des Gleichrichters nicht gleichbedeutend mit einer hohen Leistung.

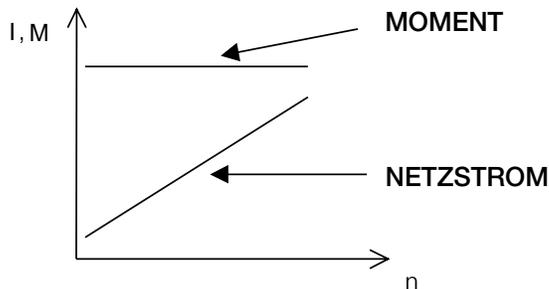


Bild 9.1 Netzstrom bei einer Applikation mit konstantem Moment. Der Netzstrom ist bei niedriger Drehzahl gering.

9.1 Eingangsgleichrichter

Gleichrichter werden nach der Motorwellenleistung dimensioniert. Ein Eingangsgleichrichter eines Einzelantriebs kann mit folgender Näherungsformel berechnet werden:

$$S_{FU} = \frac{P_{Motor}}{0,9} \quad (9.1)$$

In Antriebssystemen mit einer Gleichspannungs-Sammelschiene, können motorische und generatorische Leistungen gleichzeitig auftreten. Die Leistung des Gleichrichters wird dann näherungsweise wie folgt berechnet:

$$S_{FU} = \frac{\sum P_{Motor}}{0,9} - 0,9 \sum P_{Generator} \quad (9.2)$$

9.2 Eingangs- transformatoren

Die Leistung eines Eingangstransformators kann wie folgt berechnet werden:

$$S_{\text{Transformator}} = P_{\text{gesamt}} * \frac{1,05}{k} * \frac{1}{\eta_r} * \frac{1}{\cos(\alpha)} * \frac{1}{\eta_c} * \frac{1}{\eta_i} * \frac{1}{\eta_{\text{Mot}}} \quad (9.3)$$

In den oben dargestellten Formeln sind:

P_{gesamt} die Motorwellengesamtleistung

k die Belastbarkeit des Transformators (k-Faktor)

1,05 steht für Transformator-Spannungsänderung

η_{FU} ist der Wirkungsgrad des Gleichrichters

$\cos(\alpha)$ ist der Steuerwinkel des Gleichrichters (=1,0 bei Diodengleichrichtern)

η_c ist der Wirkungsgrad der AC-Drossel (falls vorhanden)

η_c ist der Wirkungsgrad des Wechselrichters

η_{Mot} ist der Wirkungsgrad des Motors

Üblicherweise wird die Gesamtwellenleistung mit einem Koeffizienten von 1,2 - 1,35 multipliziert.

Beispiel 9.1:

Bei einer Applikation mit Konstantmoment beträgt die maximal erforderliche Wellenleistung 48 kW bei einer Drehzahl von 1200 1/min. Ein Motor mit 55 kW und ein Wechselrichter mit 70 kVA wurden gewählt.

Bestimmen Sie Gleichrichter und Eingangstransformator. Eine 6-pulsige Diodeneinspeisung wird verwendet (Wirkungsgrad 0,985), im Gleichspannungs-Zwischenkreis befindet sich eine DC-Drossel, der Wirkungsgrad des Wechselrichters ist 0,97 und der Wirkungsgrad des Motors ist 0,95.

Lösung 9.1:

Die Leistung des Gleichrichters beträgt näherungsweise:

$$S_{\text{FU}} = \frac{48}{0,9} \text{ kVA} = 53,3 \text{ kVA}$$

Der Wirkungsgrad der Drossel ist im Wirkungsgrad des Wechselrichters enthalten. Für die Dioden-Einspeiseeinheit gilt $\cos(\alpha) = 1$. Die Leistung des Eingangstransformators ($k=0,95$) wird nach folgender Formel berechnet:

$$S_{\text{Transformator}} = 48 * \frac{1,05}{0,95} * \frac{1}{0,985} * \frac{1}{0,97} * \frac{1}{0,95} \text{kVA} = 58,4 \text{ kVA}$$

Kapitel 10 - Index

4-Quadranten-Antrieb 33

A

Anlaufmoment 7, 9

B

Beschleunigung 18

Blindstrom 11

D

DC-link 6

Diodenbrücke 33

Drehmoment 9, 10

Drehstrom 9

Drehstrommotor 6, 9

Drehzahl 9

Drehzahlbereich 7

E

eigenbelüftet 23

Eingangstransformator 6

Eispeisung 6, 7

F

Fremdkühlung 23

Feldschwächungsbereich 10

Flussbereich 10

Frequenz 7, 9

Frequenzrichter 6

G

Getriebe 18, 19

generatorisch 33

Gleichrichter 33

Gleichrichtereinheit 6

K

Kilowatt 14

Kippmoment 10

Konstantflussbereich 10

Konstantleistung 10, 21

Konstantmoment 20

Kreiselpumpen 20

kubisch 20

Kupplung 19

L

Last 6

Lastprofile 20

Lasttypen 20

Leistung 9, 14

Leistungsfaktor 12

Lüfter 16, 20

M

Massenträgheitsmoment 15

maximales Moment 10

Motor 9

Motordrehmoment 24

motorisch 33

N

Nennpunkt 9, 12

Q

quadratisch 20

quadratisches Moment 20

R

Reibung 14

Rollen 19

S

Sattelmoment 9

Schlupf 9

Spannung 9

Spannungsversorgung 6

Start-/Anlaufmoment 21

Spannungsversorgung 7, 24

T

thermische Belastbarkeit 23

Transformator 6

Trommel 19

U

Überlastbarkeit 7

V

verzögern 16

W

Wechselrichter 34, 35

Winkelgeschwindigkeit 14

Wirkstrom 11

Wirkungsgrad 14

Z

zyklische Last 7



ABB Automation Products GmbH

Standard Antriebe

Dudenstrasse 44-46

D - 68167 Mannheim

Hotline Vertrieb 0180 - 33 22 400

Supportline 01805 - 78 73 44

Telefax 0621 381 - 1777

Internet <http://www.abb-drives.de>



Copyright © ABB Automation Group Ltd. 2000 3BFE 644.131.80 R0103 Änderungen vorbehalten.
DE 30.11.2000