

---

ABB ANTRIEBSTECHNIK

# Technische Anleitung Nr. 7

## Dimensionierung eines Antriebssystems



---

## **Dimensionierung eines Antriebssystems**

**Bei der Dimensionierung eines Antriebssystems müssen alle erdenklichen Einflussfaktoren auf das System genauestens beachtet werden. Ein Antriebssystem zu dimensionieren setzt daher Kenntnisse über das gesamte System, bestehend aus elektrischer Spannungsversorgung, angetriebenen Maschinen, Umgebungsbedingungen, Motoren und Frequenzumrichter usw. voraus. Mit einer sorgfältigen Dimensionierung lässt sich eine erhebliche Kosteneinsparung erzielen.**

---

# Inhalt

## **05      Antriebssystem**

## **06–07    Allgemeine Darstellung der Dimensionierung**

## **08–13    Asynchronmotor**

08      Grundlagen

10      Motorstrom

11      Konstantflussbereich

12      Feldschwächungsbereich

13      Motorleistung

## **14–18    Gesetze der Mechanik**

14      Drehbewegung

17      Getriebe und Trägheitsmoment

## **19–21    Lasttypen**

## **22      Motorbelastbarkeit**

## **23–31    Auswahl von Frequenzumrichter und Motor**

24      Pumpen- Lüfter-Applikation (Beispiel)

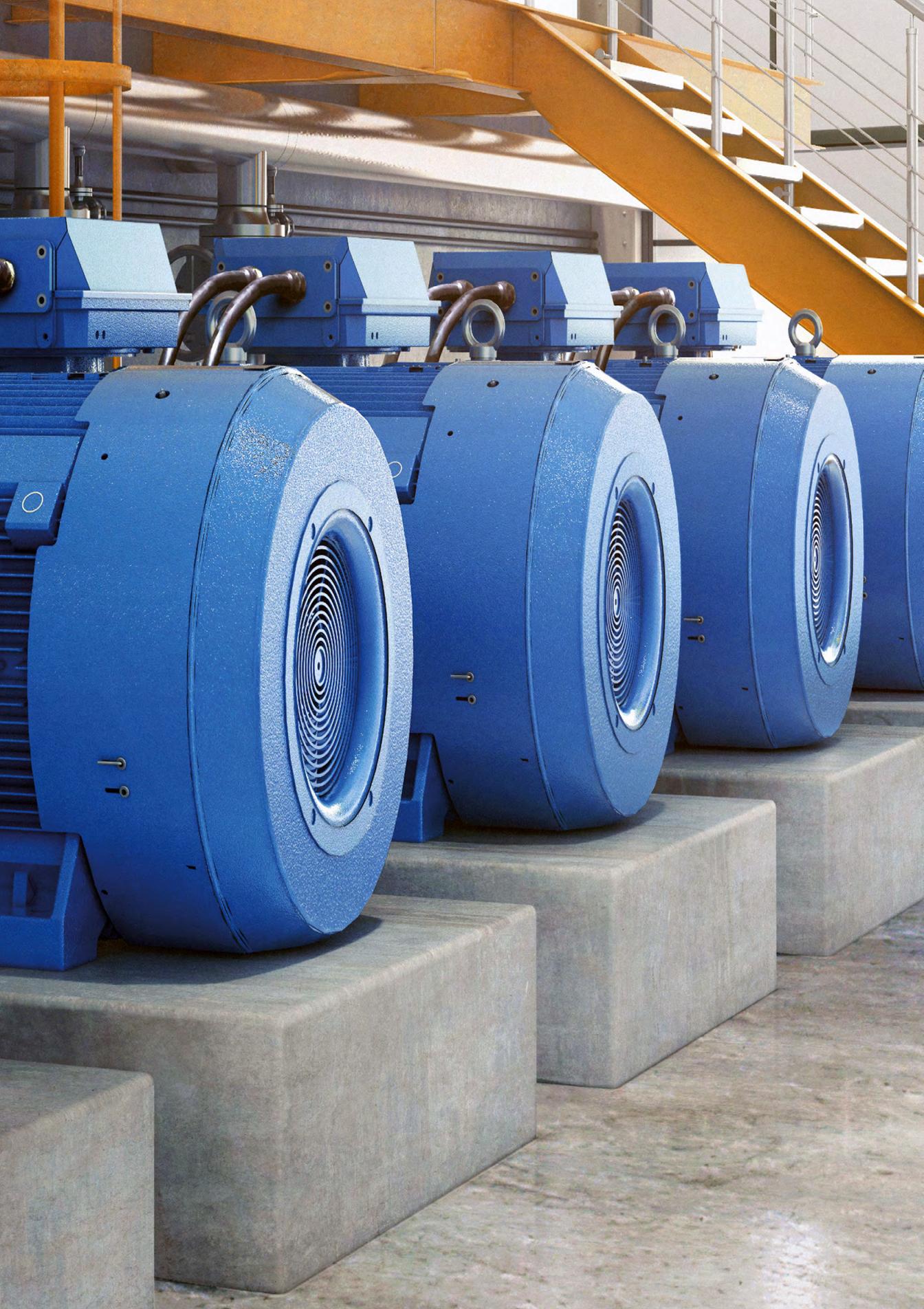
26      Konstantmoment-Applikation (Beispiel)

29      Konstantleistungs-Applikation (Beispiel)

## **32–33    Eingangstransformatoren und Eingangsgleichrichter**

32      Gleichrichter

33      Transformator



# Antriebssystem

Ein einzelnes AC-Antriebssystem besteht typischerweise aus einem Eingangstransformator oder einer elektrischen Einspeisung, einem Frequenzumrichter, einem Drehstrommotor und der Last. Der Frequenzumrichter selbst wiederum besteht aus einem Gleichrichter, einem DC-Zwischenkreis und einem Wechselrichter.

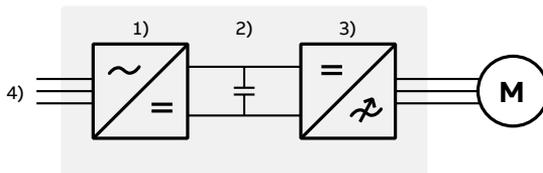


Bild 1.1. Ein Frequenzumrichter besteht aus 1) Gleichrichter, 2) DC-Zwischenkreis, 3) Wechselrichter und 4) Spannungsversorgung..

In Mutli-Drive-Systemen wird normalerweise eine eigenständige und getrennte Gleichrichtereinheit verwendet. Die Wechselrichter werden direkt an die Sammelschiene des DC-Zwischenkreises angeschlossen.

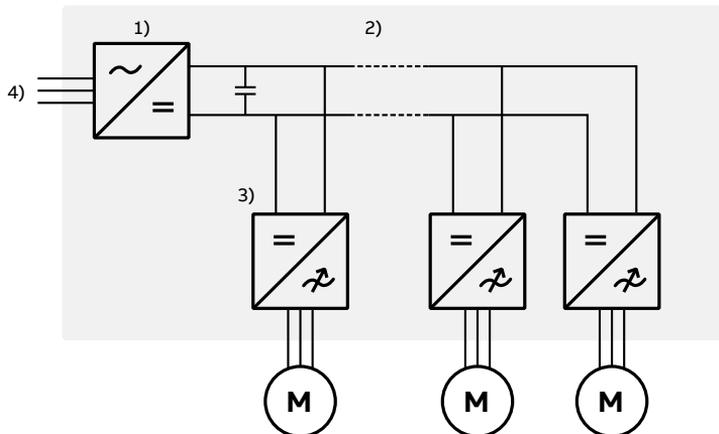


Bild 1.2. Ein Antriebssystem besteht aus 1) einer separaten Einspeiseeinheit, 2) DC-Zwischenkreis, 3) Antriebseinheiten und 4) Spannungsversorgung.

---

# Allgemeine Beschreibung der Dimensionierung

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

## 1) Prüfung der Ausgangsbedingungen

Um den passenden Frequenzumrichter und die passende Kombination aus FU und Motor auszuwählen, sind der Netzspannungsbereich (380 V bis 690 V) und die Frequenz (50 Hz bis 60 Hz) zu prüfen. Die Netzfrequenz der Netzspannung schränkt den Drehzahlbereich der Applikation nicht ein.

## 2) Prüfung der Prozessanforderungen

Muss ein Anlaufmoment überwunden werden? In welchem Drehzahlbereich wird gearbeitet? Welcher Lasttyp liegt vor? Einige gängige Lasttypen werden an anderer Stelle beschrieben.

## 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 können. Die thermische Überlastfähigkeit des Motors darf dabei nicht überschritten werden. Bei seiner Dimensionierung ist es daher notwendig, eine Reserve des maximalen Motormoments von etwa 30% über dem maximal vorgesehenen Arbeitsmoment zu berücksichtigen.

## 4) Auswahl des Frequenzumrichters

Der Frequenzumrichter wird entsprechend den vorliegenden System- und Rahmenbedingungen 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 kurzzeitiger, zyklischer Überlast sollten genutzt werden.

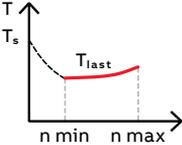
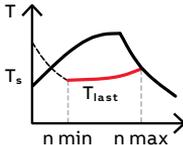
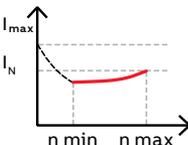
Dimensionierungsphasen	Netz	Umrichter	Motor	Last
				
<p>1) Prüfung der Ausgangsbedingungen von Netzanschluss und Last</p>	<p><math>f_N = 50 \text{ Hz, } 60 \text{ Hz}</math>  <math>U_N = 380 \text{ bis } 690 \text{ V}</math></p>			
<p>2) Auswahl des Motors entsprechend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermischer Belastbarkeit</li> <li>• Drehzahlbereich</li> <li>• maximalem, erforderlichlichem Drehmoment</li> </ul>				
<p>3) Auswahl des Frequenzumrichters entsprechend:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lasttyp</li> <li>• Dauer- und Höchststrom</li> <li>• Netzbedingungen</li> </ul>				

Bild 2.1. Allgemeine Darstellung der Dimensionierung.

# Asynchronmotor

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

## Grundlagen

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

Der Schlupf wird oft am Motor-Nennpunkt definiert (Frequenz ( $f_n$ ), Drehzahl ( $n_n$ ), Drehmoment ( $T_n$ ), Spannung ( $U_n$ ), Strom ( $I_n$ ) und Leistung ( $P_n$ )). Am Nennpunkt beträgt der Schlupf nominal:

$$(3.1) \quad s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} * 100\%$$

wobei  $n_s$  die Synchron-Drehzahl in rpm ist:

$$(3.2) \quad n_s = \frac{2 * f_n * 60}{\text{Polanzahl}}$$

Wird ein Motor an eine Versorgung mit konstanter Spannung und Frequenz angeschlossen, hat seine Drehzahl-Drehmomentkurve folgenden Verlauf:

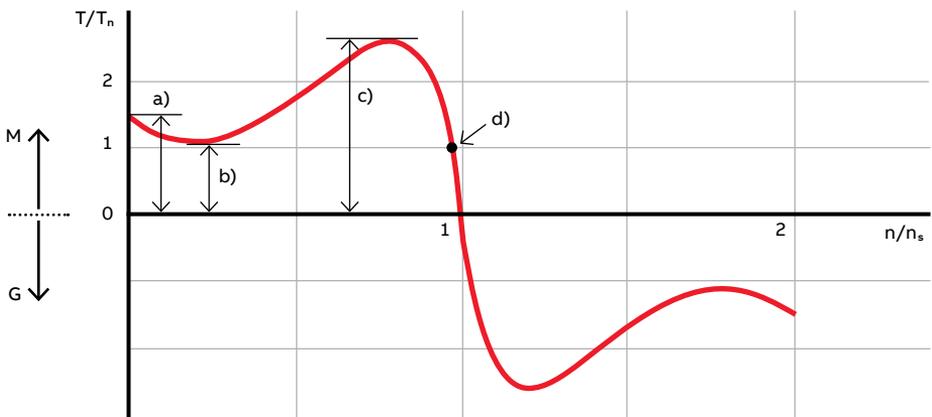


Bild 3.1. Typische Drehmoment-/Drehzahlkurve eines Asynchronmotor bei direktem Netzanschluss (D.O.L., Direct-On-Line). Im Bild sind a) das Anlaufmoment, b) das Sattelmoment, c) das maximale Motormoment,  $T_{max}$  und d) der Nennpunkt des Motors.

Bei einem Standard-Asynchronmotor beträgt das maximale Drehmoment ( $T_{\max}$ , auch Kippmoment) normalerweise das Zwei- bis Dreifache des Nennmoments. Das maximale Drehmoment wird bei maximalem Schlupf erreicht. Dieser ist größer als der Nennschlupf. 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.

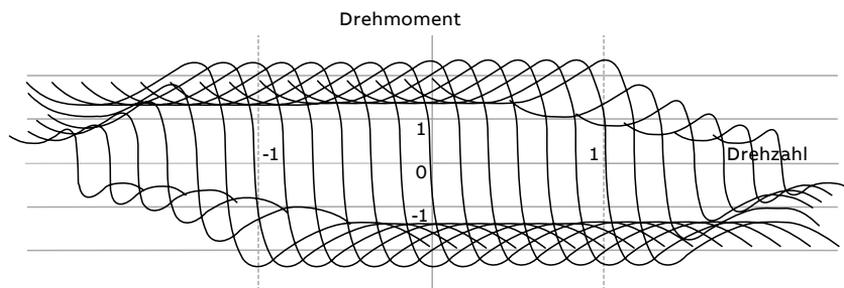


Bild 3.2. Drehmoment-/Drehzahlkurven eines Asynchronmotors, gespeist durch einen Frequenzumrichter.  $T_{\max}$  wird bei kurzzeitigen Lastspitzen unterhalb des Feldschwächpunktes erreicht. Frequenzumrichter begrenzen jedoch typischerweise das maximal nutzbare Drehmoment auf 70 % von  $T_{\max}$ .

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

Das maximale Drehmoment eines Asynchronmotors ist proportional zum Quadrat des magnetischen Flusses ( $T_{\max} \sim \psi^2$ ). Daraus folgt, dass das maximale Drehmoment innerhalb des Konstantflussbereichs konstant ist. Oberhalb des Feldschwächpunktes nimmt das maximale Drehmoment umgekehrt proportional zum Quadrat der Frequenz ab.

$$T_{\max} \sim \left( \frac{f_n}{f_{\text{act}}} \right)^2$$

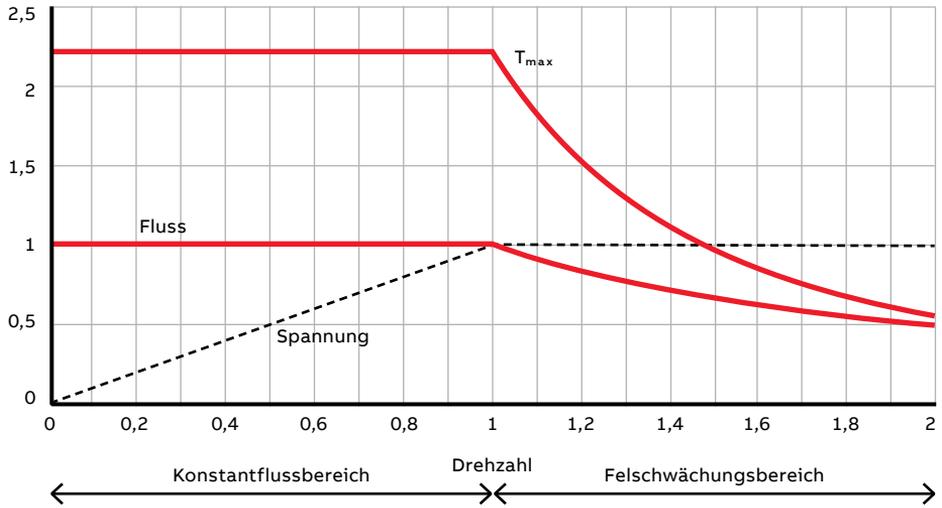


Bild 3.3. Maximales Drehmoment, Spannung und Fluss als Funktion der relativen Drehzahl.

## Motorstrom

Den beiden Stromkomponenten kommen verschiedene Aufgaben zu. Der Blindstromanteil wird zum größten Teil durch den Magnetisierungsstrom ausgemacht, der für die magnetische Drehfeldbildung zuständig ist. Der Wirkstromanteil dient der Erzeugung des Drehmoments.

Der Magnetisierungsstrom ( $i_{\text{mag}}$ ) 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 ( $i_{\text{sd}}$ ) am Motor-Nennpunkt.

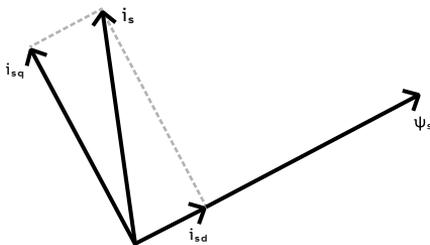


Bild 3.4. Statorfluss ( $i_s$ ) wird aus dem rechtwinkligen Verhältnis von Blindstrom ( $i_{\text{sd}}$ ) und Wirkstrom ( $i_{\text{sq}}$ ) gebildet. Der Start wird mit  $\psi_s$  bezeichnet.

## Konstantflussbereich

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

$$(3.3) \quad I_{sd} = I_n \left[ \sin(\varphi_n) + \cos(\varphi_n) \left[ \sqrt{\left(\frac{T_{max}}{T_n}\right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{T_{max}}{T_n}\right)^2 - \left(\frac{T_{load}}{T_n}\right)^2} \right] \right]$$

$$(3.4) \quad I_{sq} = I_n \left( \frac{T_{load}}{T_n} \right) \cos(\varphi_n)$$

Der gesamte Motorstrom beträgt:

$$(3.4) \quad i_m = \sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2}$$

Gleichung (3.4) zeigt, dass bei Motormoment Null die Wirkstrom-Komponente Null ist. Bei größeren Momentwerten ist der Motorstrom proportional zum Drehmoment. Eine gute Näherungsrechnung für den gesamten Motorstrom ist:

$$(3.6) \quad i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * I_n, \text{ wenn } 0,8 * T_n \leq T_{last} \leq 0,7 * T_{max}$$

### Beispiel 3.1:

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

### Lösung 3.1:

Der Näherungswert für den Magnetisierungsstrom am Nennpunkt beträgt:

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

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

$$i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * I_n = 1,2 * 32 \text{ A} = 38,4 \text{ A}$$

Die Näherungsformel wurde angewendet, da das Drehmoment die Bedingung  $0,8 * T_n \leq T_{last} \leq 0,7 * T_{max}$  erfüllt.

## Feldschwächungsbereich

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

(3.7)

$$I_{sd} = I_n \left( \frac{n_n}{n} \left( \sin(\varphi_n) + \cos(\varphi_n) \sqrt{\left( \frac{T_{max}}{T_n} \right)^2 - 1} \right) - \cos(\varphi_n) \sqrt{\left( \frac{T_{max}}{T_n} * \frac{n_n}{n} \right)^2 - \left( \frac{T_{load}}{T_n} * \frac{n_n}{n} \right)^2} \right)$$

$$(3.8) \quad I_{sq} = I_n \left( \frac{T_{load}}{T_n} * \frac{n_n}{n} \right) \cos(\varphi_n) = I_n \left( \frac{P_{load}}{P_n} \right) \cos(\varphi_n)$$

Der gesamte Motorstrom beträgt weiterhin:

$$(3.9) \quad i_m = \sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2}$$

Der Motorstrom kann innerhalb eines bestimmten Arbeitsbereiches sehr genau angenähert werden. In diesem Arbeitsbereich verhält er sich proportional zur auf die Nennleistung bezogenen Wellenleistung. Die Näherungsformel für den Strom ist:

$$(3.10) \quad i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * \frac{n_n}{n} I_n = \frac{P_{load}}{P_n} I_n$$

Sie kann verwendet werden, wenn gilt:

$$(3.11) \quad 0.8 * \frac{n_n}{n} * T_n \leq T_{load} \leq 0.7 * \left( \frac{n_n}{n} \right)^2 * T_{max}$$

und

$$(3.12) \quad 0.8 * P_n \leq P_{load} \leq 0.7 * \frac{n_n}{n} * P_{max}$$

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

### Beispiel 3.2:

Der Motorstrom beträgt 71 A. Wie viel Strom ist erforderlich, ein Drehmoment von 100 % bei 1,2-facher Nenndrehzahl ( $T_{max} = 3 * T_n$ ) zu erzeugen?

### Lösung 3.2:

Der Strom kann mit der Näherungsformel berechnet werden:

$$i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * \frac{n_n}{n} I_n = 1 * 1.2 * 71 = 85.2 \text{ A}$$

## Motorleistung

Die mechanische Ausgangsleistung kann mit folgender Formel aus der Drehzahl und dem Drehmoment berechnet werden:

$$(3.13) \quad P_{\text{out}} [\text{W}] = T [\text{Nm}] * \omega [\text{rad/s}]$$

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

$$1 \text{ U/min} = \frac{2 \pi}{60} \text{ rad/s, kann auch folgende Formel verwendet werden:}$$

$$(3.14) \quad P_{\text{out}} [\text{kW}] = \frac{T [\text{Nm}] * n [\text{rpm}]}{9550}$$

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

$$(3.15) \quad P_{\text{in}} = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi)$$

Der Wirkungsgrad des Motors ergibt sich aus dem Verhältnis der mechanischen Ausgangsleistung zur elektrischen Eingangsleistung:

$$(3.16) \quad \eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

### Beispiel 3.3:

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

### Lösung 3.3:

Das Motornennmoment wird wie folgt berechnet:

$$T_n = \frac{9550 * 15}{1480} \text{ Nm} = 96.8 \text{ Nm}$$

### Beispiel 3.4:

Wie hoch ist der Nennwirkungsgrad 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 3.4:

Der Nennwirkungsgrad beträgt:

$$\eta_n = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * I_n * \cos(\varphi_n)} = \frac{37000}{\sqrt{3} * 380 * 71 * 0.85} \approx 0.931$$

# Gesetze der Mechanik

## Drehbewegung

Eine der grundlegenden Gleichungen eines Induktionsmotors beschreibt das Verhältnis von Massenträgheitsmoment ( $J$  [ $\text{kgm}^2$ ]), Winkelgeschwindigkeit ( $\omega$  [ $\text{rad/s}$ ]) und Drehmoment ( $T$  [ $\text{Nm}$ ]).

$$(4.1) \quad \frac{d}{dt} (J \omega) = J \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{dJ}{dt} = T - T_{\text{load}}$$

In der Gleichung oben gilt die Annahme, dass sich die Frequenz und das Massenträgheitsmoment ändern. Oft wird die Formel auch in einer Form angegeben, in der ein konstantes Massenträgheitsmoment angenommen wird.

$$(4.2) \quad J \frac{d\omega}{dt} = T - T_{\text{load}}$$

Das Drehmoment  $T_{\text{load}}$  stellt die Last an der Welle des Motors dar. Die Last besteht aus Reibung, Trägheit und der Belastung durch die Arbeitsmaschine. Bei einer Drehzahländerung des Motors weicht das Motormoment von  $T_{\text{load}}$  ab. Das Motormoment besteht aus einer dynamischen Komponente und einer Lastkomponente:

$$(4.3) \quad T = T_{\text{dyn}} + T_{\text{load}}$$

Sind die Drehzahl und das Trägheitsmoment konstant, ist die dynamische Komponente ( $T_{\text{dyn}}$ ) Null.

Die dynamische Komponente des Drehmoments, verursacht durch Beschleunigung/Verzögerung eines konstanten Massenträgheitsmoments (Änderung der Motordrehzahl um  $\Delta n$  [ $\text{U/min}$ ] in der Zeit  $\Delta t$  [ $\text{s}$ ],  $J$  ist konstant) berechnet sich anhand:

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

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

$$(4.5) \quad T_{\text{dyn},J} = n * \frac{2 \pi}{60} * \frac{\Delta J}{\Delta t}$$

Ändert sich das Massenträgheitsmoment bei gleichzeitiger Beschleunigung des Motors, kann die dynamische Komponente des Drehmoments durch Verwendung eines bestimmten diskreten Abfrageintervalls berechnet werden. Unter thermischen Gesichtspunkten reicht es bei der Dimensionierung jedoch oftmals aus, das durchschnittliche Trägheitsmoment während der Beschleunigung zu verwenden.

**Beispiel 4.1:**

Das gesamte Trägheitsmoment,  $3 \text{ kgm}^2$ , wird in 10 Sekunden von Drehzahl 500 U/min auf 1000 U/min beschleunigt. Wie hoch ist das insgesamt benötigte Drehmoment, wenn das konstante Lastmoment 50 Nm beträgt?

Wie schnell entschleunigt der Motor wieder auf Drehzahl 0 U/min, wenn die Spannungsversorgung des Motors abgeschaltet wird?

**Lösung 4.1:**

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

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

Das gesamte Drehmoment während der Beschleunigung beträgt:

$$T = T_{\text{dyn}} + T_{\text{load}} = (15.7 + 50) \text{ Nm} = 65.7 \text{ Nm}$$

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

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

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

$$\Delta t = 3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{1000}{50} \text{ s} = 6.28 \text{ s}$$

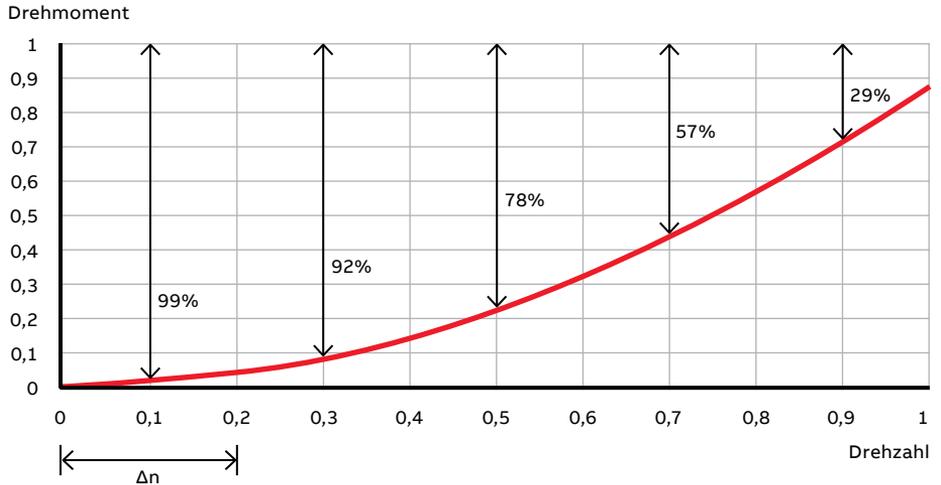


Bild 4.1. Charakteristischer Momentverlauf eines Lüfters. Drehzahl und Drehmoment sind als Relativwerte dargestellt.

#### Beispiel 4.2:

Die Beschleunigung eines Lüfters auf die Nenndrehzahl erfolgt mit dem Nennmoment. Bei Nenndrehzahl beträgt das Drehmoment 87 %. Das Trägheitsmoment des Lüfters beträgt  $1200 \text{ kgm}^2$  und das des Motors  $11 \text{ kgm}^2$ . Die Lastkurve des Lüfters  $T_{\text{load}}$  ist in Bild 4.1 dargestellt.

Die Motornennleistung beträgt  $200 \text{ kW}$  und die Nenndrehzahl  $991 \text{ U/min}$ .

Es soll die Hochlaufzeit von Drehzahl Null auf Nenndrehzahl berechnet werden.

#### Lösung 4.2:

Das Motornennmoment beträgt:

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

Für die Berechnung der Hochlaufzeit wird der Drehzahlbereich in fünf Sektoren aufgeteilt. Für jeden Sektor ( $198,2 \text{ U/min}$ ) wird ein konstantes Drehmoment angenommen. Als Moment für jeden Sektor wird das Drehmoment der Sektorenmitten gewählt. Diese vereinfachende Annahme ist anwendbar, weil die quadratische Funktion innerhalb eines Sektors linear angenähert werden kann.

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

$$\Delta t = \frac{2 \pi}{60} \cdot \frac{J_{\text{tot}} \cdot \Delta n}{T_n - T_{\text{load}}}$$

Die Beschleunigungszeiten für die einzelnen Drehzahlbereiche sind:

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

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

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

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

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

Die gesamte Hochlaufzeit 0 auf 991 U/min beträgt etwa 112 Sekunden.

## 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 4.2):

$$(4.6) \quad T_1 = \frac{T_2}{\eta} * \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$(4.7) \quad J_1 = J_2 * \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

$$(4.8) \quad P_1 = \frac{P_2}{\eta}$$

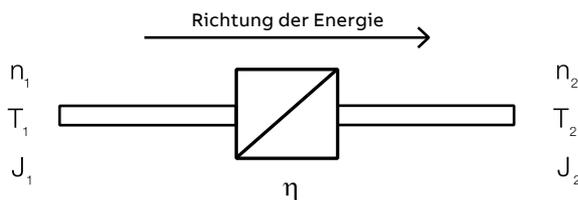


Bild 4.2. Getriebe mit Wirkungsgrad  $\eta$ . Das Getriebeverhältnis ist  $n_1 : n_2$ .

Alle Trägheitsmomente ( $J$  [ $\text{kgm}^2$ ]) 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 4.3:**

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 4.3:**

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 4.4:**

Reduzierung des Massenträgheitsmoments an der Motorwelle des Hubantriebssystems.

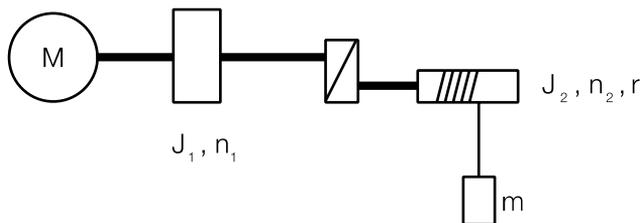


Bild 4.3. Hubantriebssystem wie in Beispiel 4.4.

Das gesamte Massenträgheitsmoment beträgt  $J_1 = 10 \text{ kgm}^2$ ,

$J_2 = 30 \text{ kgm}^2$ ,  $r = 0,2 \text{ m}$  und  $m = 100 \text{ kg}$ .

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

**Lösung 4.4:**

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:

$$J_{\text{red}} = J_1 + \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 [J_2 + mr^2] = 18.5 \text{ kgm}^2$$

# Lasttypen

Die Kenntnis des Lastprofils (Drehzahlbereich, Drehmoment 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 Drehmoment

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

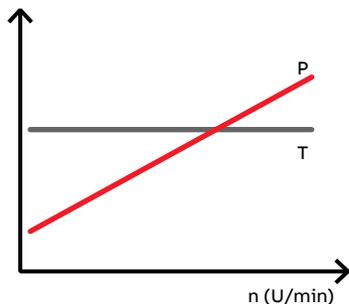


Bild 5.1. Typische Drehmoment-/Leistungskurve bei einer Applikation mit konstantem Drehmoment.

## 2. Quadratisches Drehmoment

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

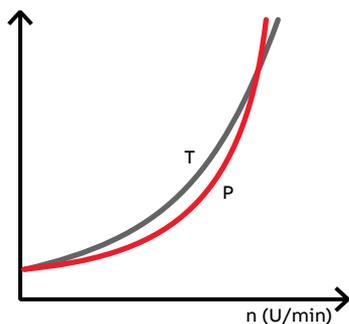


Bild 5.2. Typische Drehmoment-/Leistungskurve bei einer Applikation mit quadratischem Drehmoment.

### 3. Konstante Leistung

Eine 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.

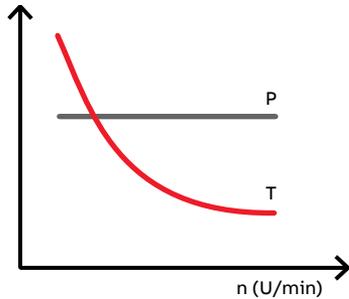


Bild 5.3. Typische Drehmoment-/Leistungskurve bei einer Applikation mit konstanter Leistung

### 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 Lasttyp liegt vor, wenn die Dimensionierung eines Systems eine bestimmte Leistung bei hoher Drehzahl erfordert.

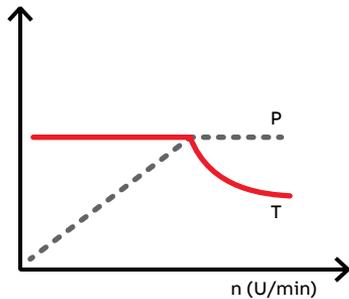


Bild 5.4. Typische Drehmoment-/Leistungskurve bei einer Applikation mit konstanter Leistung/Drehmoment.

### 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 und Schneckenpumpen.

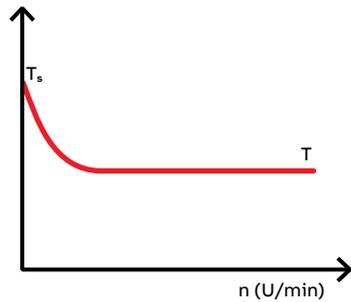


Bild 5.5 Typische Drehmomentkurve einer Applikation hohem Anlaufmoment

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 der jeweiligen Überlastbereiche von Motor und Frequenzumrichter und des mittleren Drehmoments des Motors.

# Motorbelastbarkeit

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

Ein Standard-Asynchronmotor ist eigenbelüftet. Aufgrund der Eigenbelüftung nimmt die thermische Belastbarkeit des Motors mit sinkender Drehzahl ab. 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 im Feldschwächungsbereich thermisch begrenzt.

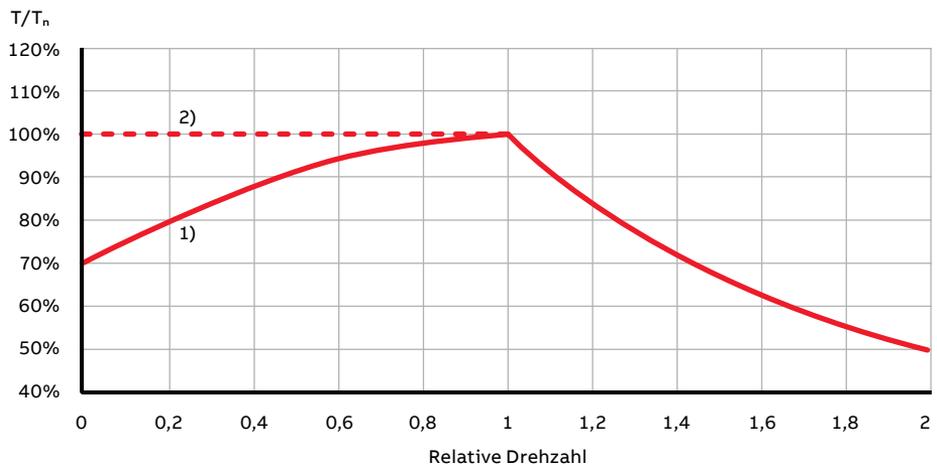


Bild 6.1. Typische Belastbarkeit eines Standard-Käfigläufer-Asynchronmotors mit frequenzgeregeltem Antrieb  
1) ohne Fremdlüftung und 2) mit Fremdlüftung.

Ein AC-Motor kann periodisch kurzzeitig ohne Überhitzungsgefahr überlastet werden. Die Kurzzeit-Überlastungen werden durch  $T_{max}$  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, in der Regel 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.

# 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 bei der 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 Größe 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, da reduzierte Kenndaten gültig sein können.

Vor der Auswahl des Frequenzumrichters muss die verfügbare Versorgungsspannung geprüft werden. Spannungsschwankungen wirken sich auf das verfügbare Motordrehmoment aus. Ist die Versorgungsspannung niedriger als die Nennspannung, wird der Feldschwächungspunkt zu einer niedrigeren Frequenz verschoben und das verfügbare Motordrehmoment 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, da sie einen Spannungsabfall und damit ein verringertes Drehmoment verursachen können. Die Leistungsverluste des Systems sind durch Auswahl des richtigen Frequenzumrichters auszugleichen.

## Pumpen- und Lüfterapplikation (Beispiel)

Dimensionierungsschritte 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 7.1:

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

### Lösung 7.1:

Das erforderliche Drehmoment beträgt bei 2000 U/min :

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

Es könnten 2-polige oder 4-polige Motoren für diese Applikation gewählt werden

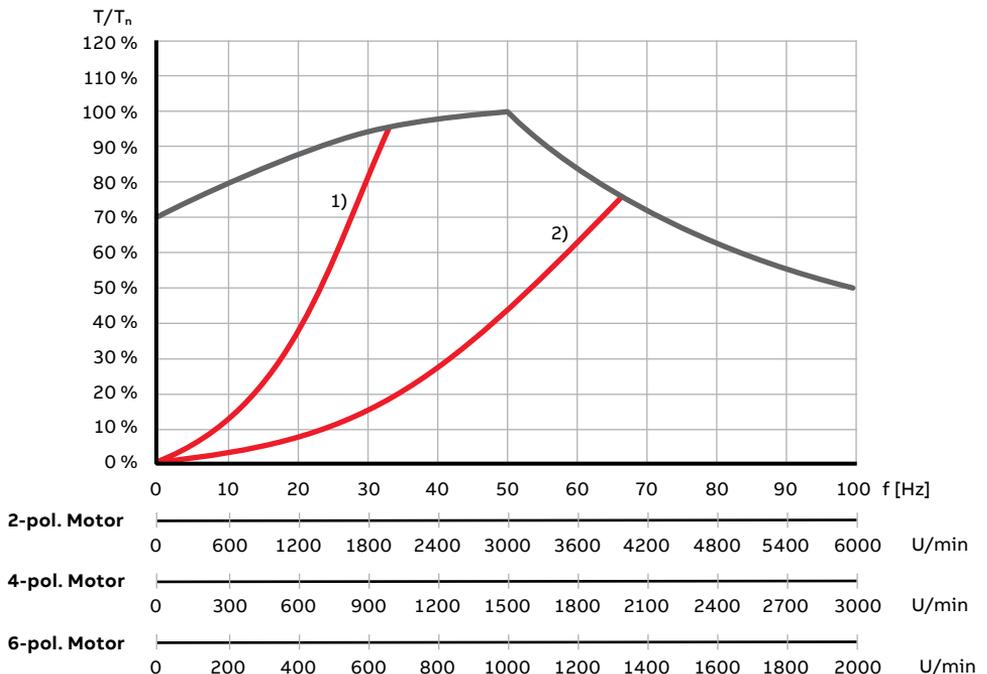


Bild 7.1 Motorlastbarkeitskurven einer Pumpen- und Lüfterapplikation. Vergleich von 1) 2-poligen und 2) 4-poligen Motoren.

**1) Motor p = 2**

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

$$T_n \geq \frac{716}{0.95} \text{ Nm} = 754 \text{ Nm}$$

Bei 50 Hz beträgt die Synchrondrehzahl eines 2-poligen Motors 3000 U/min. Die entsprechende Nennleistung muss also mindestens betragen:

$$P_n \geq \frac{754 \cdot 3000}{9550} \text{ kW} = 237 \text{ kW}$$

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

$$T_n = \frac{250 \cdot 9550}{2975} \text{ Nm} = 803 \text{ Nm}$$

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

$$i_m = \frac{T_{\text{load}}}{T_n} \cdot i_n = \frac{716}{803} \cdot 431 \text{ A} = 384 \text{ A}$$

**2) Motor p = 4**

Bei einem 4-poligen Motor liegt die Belastbarkeit bei 2000 U/min bei 75 %. Das Nennmoment des Motors muss daher mindestens betragen:

$$T_n \geq \frac{716 \text{ Nm}}{0.75} = 955 \text{ Nm}$$

Bei 50 Hz liegt die Synchrondrehzahl eines 4-poligen Motors bei 1500 U/min. Die Mindestleistung eines 4-poligen Motors beträgt:

$$P_n \geq \frac{955 \cdot 1500}{9550} \text{ kW} = 150 \text{ kW}$$

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

$$i_m = \frac{T_{\text{load}}}{T_n} \cdot \frac{n}{n_n} \cdot i_n = \frac{P_{\text{load}}}{P_n} \cdot i_n = \frac{150}{160} \cdot 305 \text{ A} = 286 \text{ A}$$

Wenn der Nennstrom des Frequenzumrichters im Bereich des berechneten Näherungswertes des Motorstroms liegt, sollte der Motorstrom exakt ausgerechnet werden.

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

## Konstantmoment-Applikation (Beispiel)

Dimensionierungsschritte einer Applikation mit Konstantmoment:

- Prüfen des Drehzahlbereichs.
- Ermittlung des erforderlichen Konstantmoments.
- Prüfen der Massenträgheitsmomente, wenn eine bestimmte Beschleunigung gefordert wird.
- Prüfen, ob das erforderliche Anlaufmoment ausreicht.
- Einen Motor wählen, bei dem das Drehmoment 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 7.2:

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

### Lösung 7.2:

Das erforderliche Konstantmoment beträgt:  $T = \frac{9550 \cdot 48}{1200} \text{ Nm} = 382 \text{ Nm}$

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

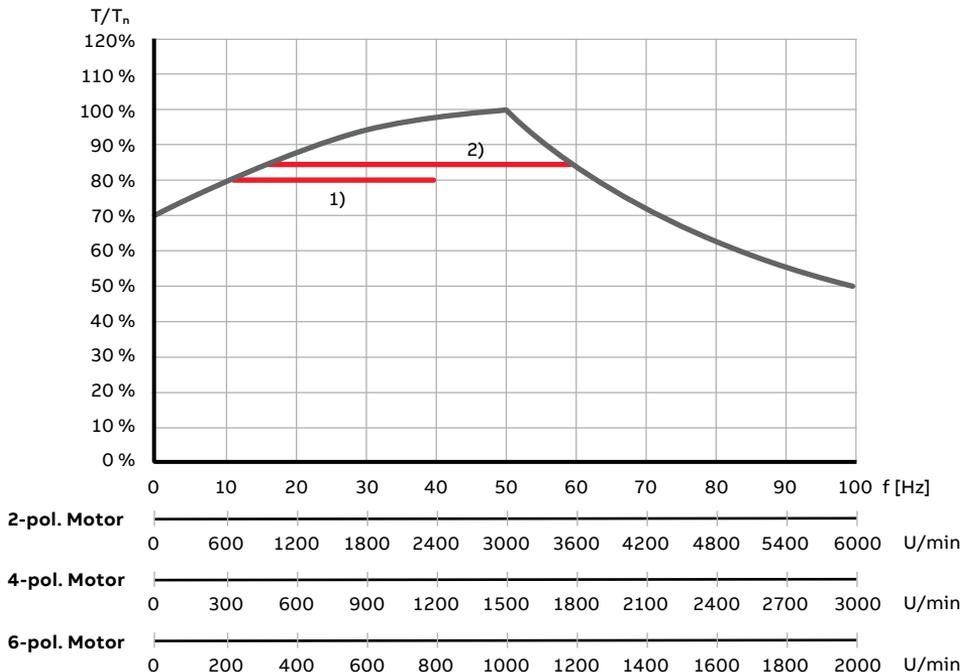


Bild 7.2. Motorbelastbarkeitskurven einer Konstantmoment-Applikation, Vergleich von 1) 4-poligen und 2) 6-poligen Motoren.

**1) Motor p = 4**

Bei Drehzahl 300 U/min beträgt die thermische Belastbarkeit 80 %.

Das Mindestnennmoment ist:

$$T_n \geq \frac{382}{0.8} \text{ Nm} = 478 \text{ Nm}$$

Die Mindestnennleistung des Motors beträgt:

$$P_n \geq \frac{478 \cdot 1500}{9550} \text{ kW} = 75 \text{ kW}$$

Ein geeigneter Motor ist beispielsweise ein 75 kW (400 V, 146 A, 50 Hz, 1473 U/min und 0,82). Sein Nennmoment beträgt:

$$T_n = \frac{75 \cdot 9550}{1473} \text{ Nm} = 486 \text{ Nm}$$

Der Motorstrom beträgt ungefähr ( $T/T_n \approx 0,8$ ):

$$i_m = \frac{T_{\text{load}}}{T_n} \cdot I_n = \frac{382}{486} \cdot 146 \text{ A} = 115 \text{ A}$$

Für den auf diese Weise 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 kgm<sup>2</sup> beträgt das dynamische Drehmoment bei der Beschleunigung:

$$T_{\text{dyn}} = \frac{2 \pi}{60} \cdot \frac{1200}{10} \cdot 0.72 \text{ Nm} = 9 \text{ Nm}$$

Das gesamte Drehmoment während der Beschleunigung beträgt 391 Nm (= 9 Nm + 382 Nm) und liegt damit unterhalb des Motornennmoments.

**2) Motor p = 6**

Bei Drehzahlen von 300 U/min und 1200 U/min beträgt die Motorbelastbarkeit 84 %.

Daraus ergibt sich für den 6-poligen Motor ein Mindestnennmoment von:

$$T_n \geq \frac{382 \text{ Nm}}{0.84} = 455 \text{ Nm}$$

Die Motornennleistung beträgt mindestens:

$$P_n \geq \frac{455 \cdot 1000}{9550} \text{ kW} = 48 \text{ kW}$$

Ein Motor mit 55 kW (400 V, 110 A, 50 Hz, 984 U/min und 0,82) könnte geeignet sein.  
Sein Motornennmoment beträgt:

$$T_n = \frac{55 * 9550}{984} \text{ Nm} = 534 \text{ Nm}$$

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

$$i_m = \frac{T_{\text{load}}}{T_n} * \frac{n}{n_n} \quad I_n = \frac{P_{\text{load}}}{P_n} * I_n = \frac{48}{55} * 110 \text{ A} = 96 \text{ A}$$

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

Das erforderliche Anlaufmoment liegt unter dem Motornennmoment.

Bei einem Massenträgheitsmoment des Motors von 1,2 kgm<sup>2</sup> beträgt das dynamische Moment bei der Beschleunigung:

$$T_{\text{dyn}} = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1200}{10} * 1.2 \text{ Nm} = 15 \text{ Nm}$$

Das gesamte Drehmoment während der Beschleunigung beträgt 397 Nm (= 15 Nm + 382 Nm) und liegt damit unterhalb des Motornennmoment.

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 der Baugröße und dem Preis abhängig.

## Konstantleistungs-Applikation (Beispiel)

Dimensionierungsschritte 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 7.3:

Eine Drahtziehmaschine wird von einem Frequenzumrichter gesteuert. Die Umfangsgeschwindigkeit der Spule beträgt 12 m/s mit einer Zugspannung von 5700 N. Der Spulendurchmesser beträgt 630 mm bei Leerspule und 1250 mm bei 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 7.3:

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

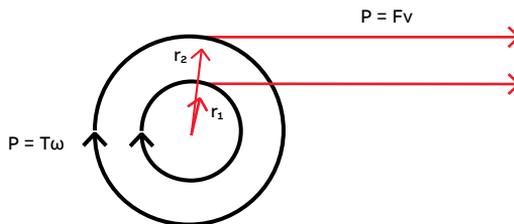


Bild 7.3. Prinzipdarstellung einer Wickelmaschine.

Leistung bei geradliniger Bewegung:  $P = Fv$

Leistung bei Drehbewegung:  $P = T\omega$

Der physikalische Zusammenhang von Bahn- und Winkelgeschwindigkeit ist:

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

Das Drehmoment ist das Produkt aus Kraft und Radius:  $T = Fr$

Der Motor kann anhand der obigen Formeln ausgewählt werden:

$$P = 5700 \text{ N} * 12 \text{ m/s} = 68.4 \text{ kW}$$

$$T_1 = 5700 \text{ N} * \frac{0.63}{2} \text{ m} = 1796 \text{ Nm}$$

$$n_1 = \frac{12 * 60}{\pi * 0.63} \text{ rpm} = 363.8 \text{ rpm}$$

$$T_2 = 5700 \text{ N} * \frac{1.25}{2} \text{ m} = 3563 \text{ Nm}$$

$$n_2 = \frac{12 * 60}{\pi * 1.25} \text{ rpm} = 183.3 \text{ rpm}$$

Bei der Wahl des Motors muss das Getriebe entsprechend berücksichtigt werden. Drehzahlen, Drehmomente und Leistung müssen angepasst werden:

$$P = \frac{P}{\eta_{\text{gear}}} = \frac{68.4}{0.98} \text{ kW} = 69.8 \text{ kW}$$

$$T_1 = \frac{1796}{0.98} * \frac{1}{7.12} \text{ Nm} = 275 \text{ Nm}$$

$$n_1 = 363.8 * 7.12 \text{ rpm} = 2590 \text{ rpm}$$

$$T_2 = \frac{3563}{0.98} * \frac{1}{7.12} \text{ Nm} = 511 \text{ Nm}$$

$$n_2 = 183.3 * 7.12 \text{ rpm} = 1305 \text{ rpm}$$

### 1) Motor p = 2

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

$$P_n \geq \frac{511 * 3000}{0.88 * 9550} \text{ kW} = 182 \text{ kW}$$

Ein 200 kW (400 V, 353 A, 50 Hz, 2975 U/min und 0,86) Motor wird ausgewählt. Das Nennmoment des Motors ist:

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

Der Strom wird für ein Drehmoment von 511 Nm berechnet:

$$i_m = \frac{T_{\text{load}}}{T_n} * I_n = \frac{511}{642} * 353 \text{ A} = 281 \text{ A}$$

**2) Motor p = 4**

Wird ein 4-poliger Motor gewählt, ist aus der Belastbarkeitskurve ersichtlich, dass die Belastbarkeit bei einer Drehzahl von 1305 U/min etwa 98 % und etwa 60 % bei 2590 U/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 U/min und 0,83) gewählt.

Das Nennmoment des Motors beträgt:

$$T_n = \frac{90 * 9550}{1473} \text{ Nm} = 584 \text{ Nm}$$

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

$$i_m = \frac{T}{T_n} I_n = \frac{511}{584} * 172 \text{ A} = 151 \text{ A}$$

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

# Eingangstransformatoren und Eingangsgleichrichter

Es gibt verschiedene Typen von Eingangsgleichrichtern. Der Gleichrichtertyp kann den Betrieb einschränken. Ein konventioneller Gleichrichter ist eine 6- oder 12-pulsige Diodenbrücke. Diodengleichrichter unterstützen nur motorische Lasten mit Leistungsfluss in nur eine Richtung. In bestimmten Prozessen kann die Last auch generatorisch wirken und Bremsenergie muss vom Umrichter aufgenommen werden. Für kurzzeitig generatorische Lasten wird üblicherweise ein Bremswiderstand verwendet, der die generatorische Energie in Wärme umwandelt. Wirkt die Last ständig generatorisch, wird ein 4-Quadranten-Gleichrichter benötigt.

Sowohl der Eingangstransformator als auch der Gleichrichter werden entsprechend der Motorwellenleistung und den Systemverlusten dimensioniert. Wird zum Beispiel ein hohes Drehmoment 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.

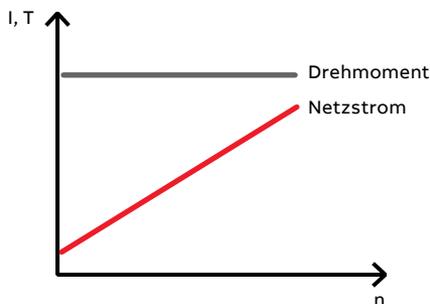


Bild 8.1. Netzstrom bei einer Applikation mit Konstantmoment. Der Netzstrom ist bei niedriger Drehzahl gering.

## Gleichrichter

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

$$(8.1) \quad S_{\text{rectifier}} = \frac{P_{\text{motor}}}{0.9}$$

In Antriebssystemen mit einem DC-Zwischenkreis können motorische und generatorische Leistungen gleichzeitig auftreten. Die Leistung des Gleichrichters wird dann näherungsweise wie folgt berechnet:

$$(8.2) \quad S_{\text{rectifier}} = \frac{\sum P_{\text{motoring}}}{0.9} - 0.9 \sum P_{\text{generating}}$$

## Transformator

Die Leistung eines Eingangstransformators kann wie folgt berechnet werden:

$$(8.3) \quad S_{\text{transformer}} = P_{\text{total}} * \frac{1,05}{k} * \frac{1}{\eta_r} * \frac{1}{\cos(\alpha)} * \frac{1}{\eta_c} * \frac{1}{\eta_i} * \frac{1}{\eta_m}$$

In den oben dargestellten Formeln sind:

$P_{\text{total}}$  ist die Motorwellengesamtleistung

$k$  ist die Belastbarkeit des Transformators (k-Faktor)

1,05 steht für Transformator-Spannungsänderung

$\eta_r$  ist der Wirkungsgrad des Gleichrichters

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

$\eta_c$  ist der Wirkungsgrad der AC-Drossel (falls vorhanden)

$\eta_i$  ist der Wirkungsgrad des Wechselrichters

$\eta_m$  ist der Wirkungsgrad des Motors

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

### Beispiel 8.1:

Bei einer Applikation mit Konstantmoment beträgt die maximal erforderliche Wellenleistung 48 kW bei einer Drehzahl von 1200 U/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) und im DC-Zwischenkreis befindet sich eine DC-Drossel. Der Wirkungsgrad des Wechselrichters beträgt 0,97 und der des Motors 0,95.

### Lösung 8.1:

Die Leistung des Gleichrichters beträgt näherungsweise:

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

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:

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





—  
Weitere Informationen erhalten Sie von Ihrer  
ABB-Vertretung oder im Internet:

**[new.abb.com/drives/de](https://new.abb.com/drives/de)**

**[new.abb.com/drives/de/drivespartners](https://new.abb.com/drives/de/drivespartners)**

