



Anhang

Inhaltsverzeichnis

Kenngrößen, Umrechnungen und Formeln technischer Maßeinheiten	16/2
Projektierungshinweise	16/4

Kenngrößen, Umrechnungen und Formeln Technischer Maßeinheiten

in SI-Maßeinheiten (Systeme Internationale d'Unité)

Leistung

1 kW = 1,36 PS = 102 kpm/s = 1000 Nm/s
1 PS = 0,736 kW = 75 kpm/s = 736 Nm/s

Arbeit

1 kWh = 3,6 x 10⁶ J = 3,6 x 10⁶ Nm
= 0,367 x 10⁶ kpm
1 Ws = 1 J = 1 Nm = 0,102 kpm

Kraft

1 N = 0,102 kp
1 kp = 9,81 N

Drehmoment

1 Nm = 0,102 kpm = 1 Ws
1 kpm = 9,81 Nm = 9,81 Ws

Druck

1 Pa = 1 N/m²
1 bar = 10⁵ Pa
1 mm Wassersäule = 9,81 Pa

Temperatur/Temperaturdifferenzen

1 grad = 1 K = 1 °C

Trägheitsmoment

1 kgm² = 1 Ws² = 1 Nms² = 0,102 kpm²

Kenngrößen der Antriebstechnik

P_1 ... aufgenommene Leistung [kW]
 P_2 ... abgegebene Leistung [kW]
 P_B ... Bemessungsleistung [kW]
 P ... Wirkleistung [kW]
 S ... Scheinleistung [kVA]
 Q ... Blindleistung [kvar]
 U ... Spannung [V]
 U_U ... untere Spannungsgrenze [V]
 U_B ... Bemessungsspannung [V]
 U_O ... obere Spannungsgrenze [V]
 I_B ... Bemessungs- [Nenn-] strom [A]
 f_B ... Bemessungsfrequenz
 $\cos\varphi$... Leistungsfaktor [-]
 $\cos\varphi_B$... Bemessungsleistungsfaktor [-]
 η ... Wirkungsgrad [%]
 η_B ... Bemessungswirkungsgrad [%]
 n_S ... Synchrondrehzahl [min⁻¹]
 n_B ... Bemessungs- [Nenn-] drehzahl [min⁻¹]
 M_B ... Bemessungs- [Nenn-] moment [Nm]
 M_A ... Anlaufmoment [Nm]
 M_S ... Sattelmoment [Nm]
 M_K ... Kippmoment [Nm]
 I_A ... Anlaufstrom [A]
 s_B ... Bemessungsschlupf [%]
 J ... Motorträgheitsmoment [kgm²]

Ersatzschaltbilddaten

R_{1W} ... betriebswarmer Wirkwiderstand der Ständerwicklung in Ohm [bei 120 °C Wicklungstemperatur]
 R_{2W} ... betriebswarmer Wirkwiderstand der Läuferwicklung, bezogen auf Ständerseite, in Ohm [bei 120 °C Wicklungstemperatur]
 R_{Fe} ... ohmscher Ersatzwiderstand [auch Eisenersatzwiderstand]
 X_{1s} ... Streureaktanz der Ständerwicklung in Ohm
 X_{2s} ... Streureaktanz der Läuferwicklung in Ohm, bezogen auf Ständerseite
 X_{1h} ... Hauptreaktanz der Ständerwicklung

Bezogene Größen

M_A/M_B ... relatives Anlaufmoment [-]
 M_S/M_B ... relatives Sattelmoment [-]
 M_K/M_B ... relatives Kippmoment [-]
 I_A/I_B ... relativer Anlaufstrom [-]

Formeln aus der Antriebstechnik

aufgenommene Leistung

$$P_1 = U \times I \times \cos\varphi \times \sqrt{3} \times$$

abgegebene Leistung

$$P_2 = P_1 \times \eta / 100 \text{ [kW]}$$

Verlustleistung

$$P_V = P_1 - P_2 \text{ [KW]}$$

Wirkleistung

$$P = \frac{P_2 \times 100}{\eta} \text{ [kW]}$$

Scheinleistung

$$S = \frac{U \times I \times \sqrt{3}}{1000} \text{ [kVA]} \text{ oder } S = \frac{100 \times P_2}{\eta \times \cos\varphi} \text{ [kVA]}$$

Blindleistung

$$Q = \frac{P_1 \times \tan\varphi \times 100}{\eta} \text{ [kvar]}$$

Stromaufnahme

$$I = \frac{P_w \times 1000}{U \times \cos\varphi \times \sqrt{3}} \text{ [A]} \text{ oder } I = \frac{P_2 \times 1000 \times 100}{U \times \eta \times \cos\varphi \times \sqrt{3}} \text{ [A]}$$

Bemessungsschlupf

$$s_B = \frac{n_s - n_B}{n_s} \times 100 \text{ [%]}$$

Bemessungsmoment

$$M_B = 9,55 \times P_B \times \frac{1000}{n_B} \text{ [Nm]}$$

Leistungsbedarf einiger Arbeitsmaschinen

Hubbewegung

$$P = \frac{F \times v}{\eta} \times 10^{-3} \text{ [kW]}$$

Drehbewegung

$$P = \frac{M \times n}{9550 \times \eta} \text{ [kW]}$$

Lüfterantrieb

$$P = \frac{V \times p}{\eta} \times 10^{-3} \text{ [kW]}$$

Pumpenantrieb

$$P = \frac{V \times p}{\eta} \times 10^{-3} \text{ [kW]}$$

P ... Leistung [kW]

F ... Kraft [N]

v ... Geschwindigkeit [m/s]

η ... Wirkungsgrad

M ... Drehmoment [Nm]

n ... Drehzahl [min^{-1}]

V ... Fördermenge [m^3/s]

p ... gesamter zu überwindender Gegendruck [N/m^2]

Drehmomente

Umrechnung von Drehmomenten bei Unter- oder Übersetzung

$$M_2 = \frac{M_1 \times n_1}{n_2}$$

n_1 ... Motordrehzahl [min^{-1}]

M_1 ... Motordrehmoment [Nm]

n_2 ... Arbeitsdrehzahl [min^{-1}]

M_2 ... Drehmoment bei n_2 [Nm]

Trägheitsmoment

Beziehung zum Schwungmoment

$$J = \frac{GD^2}{4}$$

J ... Trägheitsmoment [kgm^2]

GD^2 ... Schwungmoment [kpm^2]

Umrechnung von Trägheitsmomenten auf eine andere Drehzahl bei Unter- oder Übersetzung

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

n_1 ... Motordrehzahl

J_1 ... Trägheitsmoment bei n_1

n_2 ... Arbeitsdrehzahl

J_2 ... Trägheitsmoment bei n_2

Trägheitsfaktor

$$F_I = \frac{J_{\text{mot}} + J_{\text{fremd}}}{J_{\text{mot}}}$$

J_{mot} ... Trägheitsmoment Motor [kgm^2]

J_{fremd} ... Trägheitsmoment Arbeitsmaschine [kgm^2]

$$J_{\text{ges}} = J_{\text{fremd}} + J_{\text{mot}}$$

Anlaufzeit

$$t_A \approx \frac{J_{\text{ges}} \cdot n_B}{9,55 \times M_{\text{b,m}}} \text{ in [s]}$$

J_{ges} = zu beschleunigendes Gesamtträgheitsmoment in kgm^2

n_B = Bemessungsdrehzahl in min^{-1}

$M_{\text{b,m}}$ = Beschleunigungsmoment in Nm

Formeln aus der Akustik

Schalldruckpegel

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ [dB]}$$

Bezugsschalldruck $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ [Pa]

Schalleistungspegel

$$L_w = 10 \log \frac{P}{P_0} = L_p + L_s \text{ [dB]}$$

Bezugsschalleistung $P_0 = 10^{-12}$ [W]

Messflächenmaß

$$L_s = 10 \log \frac{S}{S_0} \text{ [dB]}$$

Bezugsfläche $S_0 = 1 \text{ m}^2$

L_p ... Schalldruckpegel [dB]

P ... Schalldruck [Pa]

P_0 ... Bezugsschalldruck [Pa]

L_w ... Schalleistungspegel [dB]

P ... Schalleistung [W]

P_0 ... Bezugsschalleistung [W]

L_s ... Messflächenmaß [dB]

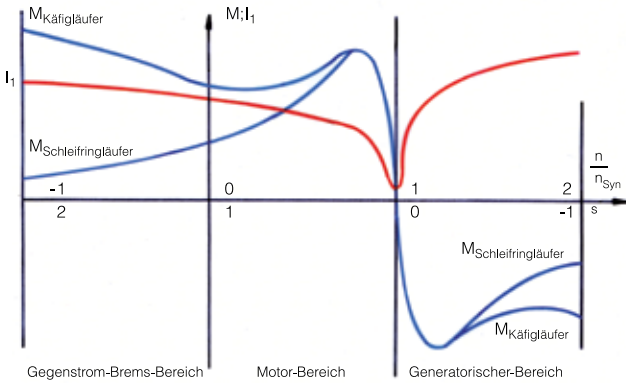
S ... Messfläche [m^2]

S_0 ... Bezugsfläche [m^2]

Projektierungshinweise

1. Drehmomentverhalten und Anlaufstrom

Das charakteristische Verhalten von Drehmoment und Strom bei Asynchronmaschinen für alle praktisch interessierenden Bereiche wird im Bild 1 angegeben.



- M = Drehmoment
- I_1 = Ständerstrom
- n/n_{Syn} = Verhältnis Drehzahl zur Synchronzahl
- s = Schlupf

Bild 1: Charakteristischer Verlauf von Drehmoment und Strom bei Drehstrom-Asynchronmotoren

Die Drehmomentcharakteristika von Käfig- und Schleifringläufermotoren weichen im Bereich $1,2 < n/n_s < 0,8$ wesentlich voneinander ab, da bei Käfigläufermotoren infolge der Käfiggestaltung der Effekt der Stromverdrängung gezielt in Erscheinung tritt. Das charakteristische Stromverhalten der beiden Maschinentypen ist dagegen praktisch gleich.

Für den Motor-Bereich sind aus diesen Kennlinien die für Drehstrommotoren charakteristischen Größen festgelegt. Anhand der prinzipiellen Kennlinie für den Käfigläufermotor werden diese in Bild 2 erläutert.

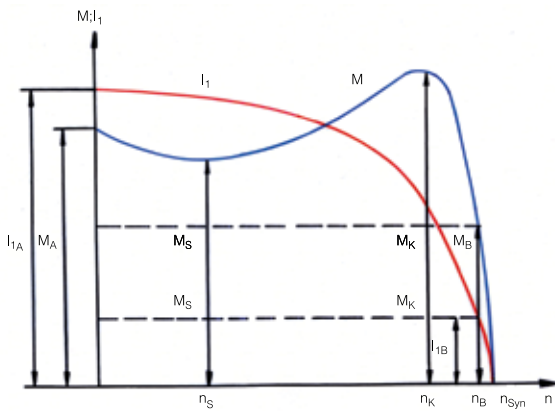


Bild 2: Charakteristische Verläufe von Drehmoment und Strom eines Käfigläufermotors

- I_A = **Anzugsstrom**
(auch Anlauf- oder Kurzschlussstrom genannt).
Höchster Strom, den der mit Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz gespeiste, stillstehende Motor bei allen möglichen Läuferstellungen nach Abklingen der Ausgleichsvorgänge aufnimmt.
- M_A = **Anzugsmoment**
(auch Anlauf- oder Stillstandsmoment genannt).
Kleinstes Drehmoment, das am Wellenende des mit Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz gespeisten, stillstehenden Motors bei allen möglichen Läuferstellungen nach Abklingen der Ausgleichsvorgänge auftritt.
- M_S = **Sattelmoment** (auch Hochlaufmoment genannt).
Kleinstes Drehmoment, das am Wellenende des mit Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz gespeisten Motors im Bereich zwischen Stillstand und Kippdrehzahl bei langsamer Änderung der Drehzahl auftritt.
- n_S = dem Sattelmoment zugehörige **Satteldrehzahl**
- M_K = **Kippmoment**
Erstes Maximum des Drehmomentes am Wellenende der mit Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz gespeisten Maschine, wenn die Drehzahl, ausgehend von der Synchronzahl, langsam verringert wird.
- M_B = **Bemessungsdrehmoment**
- n_B = **Bemessungsdrehzahl**
- n_{Syn} = **Synchronzahl**

Es ist üblich, die Größen für Drehmomente und Strom auf die Bemessungsdaten des Motors zu beziehen:

Relativer Anzugsstrom $i_A = \frac{I_A}{I_B}$

Relatives Anzugsmoment $m_A = \frac{M_A}{M_B}$

Relatives Sattelmoment $m_S = \frac{M_S}{M_B}$

Relatives Kippmoment $m_K = \frac{M_K}{M_B}$

2. Betriebskennlinien

Unter Betriebskennlinien wird der Verlauf wesentlicher Betriebswerte eines Motors im stabilen Arbeitsbereich zwischen Leerlauf und dem Bereich um die Bemessungsleistung verstanden. Diese Werte werden allgemein in Abhängigkeit von der abgegebenen Leistung aufgetragen (Bild 3).

Die Betriebskennlinien sind ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurteilung von Antrieben, besonders bezüglich des Teillastverhaltens und auch bei Überlastung. Die Teillastwerte für Leistungsfaktor $\cos\varphi$ und Wirkungsgrad η der Standardmotoren finden Sie in den Tabellen der Motorauswahldaten dieses Kataloges. Durch Messung der aufgenommenen Leistung oder des Ständerstromes sind alle weiteren Betriebswerte, insbesondere die abgegebene Leistung und damit die tatsächliche Belastung, leicht zu ermitteln. Die Betriebskennlinien finden Sie für die Standardmotoren in unserem elektronischen Katalog VEMeKAT, oder Sie können sie im Bedarfsfall vom Motorhersteller anfordern.

Die wesentlichsten Betriebswerte wie Wirkungsgrad η und Leistungsfaktor $\cos\varphi$ sind von der Motorprojektion her so festgelegt, dass sie bei Bemessungsleistung P_{2B} ein Optimum erreichen.

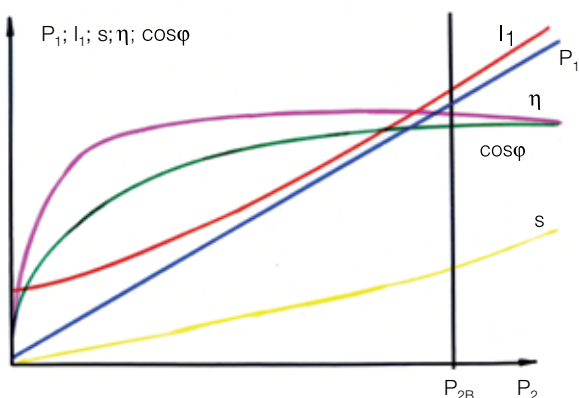


Bild 3: Betriebskennlinien eines Asynchronmotors

Mindestwerte für relative Kipp-, Sattel- und Anzugsmomente für Drehstrommotoren sind in IEC/EN 60034-12, festgelegt.

Die tatsächlich erreichten Kennwerte moderner Standardmotoren übertreffen im Allgemeinen deutlich diese Mindestanforderungen. Für Käfigläufermotoren werden die charakteristischen Daten des Strom- und Drehmomentverhaltens in den technischen Informationen angegeben. Damit ist es möglich, mit genügender Genauigkeit die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie, z. B. zum Zweck der Anlaufbeurteilung für Käfigläufermotoren, zu konstruieren.

Dabei unterliegt der Wirkungsgrad in einem relativ weiten Bereich nur geringen Schwankungen. Beim Leistungsfaktor muss jedoch im Teillastbereich mit einem wesentlichen Abfall gerechnet werden. Eine zahlenmäßige Einschätzung lassen für die meisten Fälle die Bilder 4 und 5 zu.

Die Bemessungswerte der Betriebsdaten können den jeweiligen technischen Informationen oder dem Leistungsschild eines Motors entnommen werden. Für Motoren, bei denen der Wirkungsgrad nicht auf dem Leistungsschild angegeben ist, kann er aus den üblichen Daten nach folgender Beziehung bestimmt werden:

$$\eta_B = \frac{P_{2B}}{\sqrt{3} \cdot U_{1B} \cdot I_{1B} \cdot \cos\varphi_B} \cdot 100 \%$$

In den Betriebskennlinien wird meistens der Schlupf s angegeben. Die dazugehörige Drehzahl ist damit wie folgt zu ermitteln:

$$n = n_{Syn} (1 - s)$$

n_{Syn} = Synchrondrehzahl

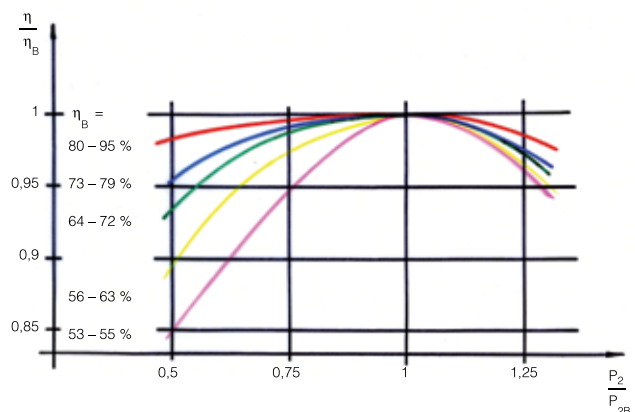


Bild 4: Wirkungsgrade im Teil- und Überlastbereich

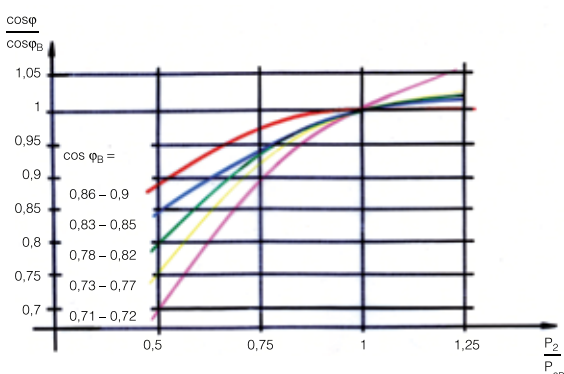


Bild 5: Leistungsfaktoren im Teil- und Überlastbereich

3. Polumschaltbare Motoren

Die polumschaltbaren Motoren entsprechen in ihrem mechanischen Aufbau den Käfigläufermotoren der Grundausführung. Die An- und Einbaumaße sind demzufolge dieselben, mit Ausnahme einiger Ausführungen mit drei und vier Drehzahlen, bei denen ein größerer Klemmenkasten erforderlich ist. In diesen Ausführungen ändern sich die Maße HD (p) und O (r) gegenüber den Maßzeichnungen der Grundausführung.

Die Polumschaltung wird durch entsprechende Auslegung der Ständerwicklung erreicht. Motoren mit zwei Drehzahlen, die im Verhältnis 1:2 stehen, erhalten vorzugsweise eine Dahlanderwicklung. Bei zwei Drehzahlen in anderen Drehzahlverhältnissen wird der Motor mit zwei getrennten Wicklungen ausgestattet. Bei drei und mehr Drehzahlen sind zwei Wicklungen notwendig, von denen eine oder auch beide als Dahlanderwicklung gefertigt sind.

Polumschaltbare Motoren sind für direkte Einschaltung ausgelegt (niedrigste Drehzahlstufe). Die Einschaltung einer höheren Drehzahl soll grundsätzlich über die davorliegenden, niedrigeren Drehzahlstufen erfolgen. Für das Zurückschalten (Bremsen) sind die Hinweise unter Punkt 10. zu beachten.

Die Bezeichnung der Anschlussklemmen erfolgt nach IEC/EN 60034-8.

Beispielklemmenpläne sind im Bild 6 dargestellt.

Für polumschaltbaren Motoren gelten, bezogen auf die einzelnen Pol- bzw. Drehzahlen, die in 1. getroffenen Aussagen mit Ausnahme der Forderungen bezüglich der Mindestwerte für relative Kipp-, Sattel- und Anzugsmomente, die ausdrücklich aus der IEC/EN 60034-12 ausgenommen sind.

Polumschaltbare Käfigläufermotoren eignen sich z.B. für den Antrieb von Werkzeugmaschinen. Durch ihren Einsatz können sie Schaltgetriebe ersetzen oder den Regelbereich eines solchen wesentlich erweitern.

Sie können in vielen Antriebsfällen auch Schleifringläufermotoren ersetzen, wobei sie den Vorteil eines höheren Wirkungsgrades bei niedrigen Drehzahlstufen haben.

Die polumschaltbaren Motoren verbinden die einfachen und robusten Eigenschaften des Käfigläufermotors mit einer stufenweise steuerbaren Drehzahl. Nicht zuletzt deswegen werden sie für viele Sonderantriebe verwendet:

- Hebezeugmotoren (genaues Einfahren auf Flurhöhe mit niedriger und Fahren mit hoher Drehzahl)
- Supportverstellungen (Anstellen mit niedriger und Zurückfahren mit hoher Drehzahl)
- Hobelmaschinen (Arbeitsgang niedrige und Rücklauf hohe Drehzahl)
- Pumpen, Gebläse, Textilmaschinen und ähnliche Antriebe

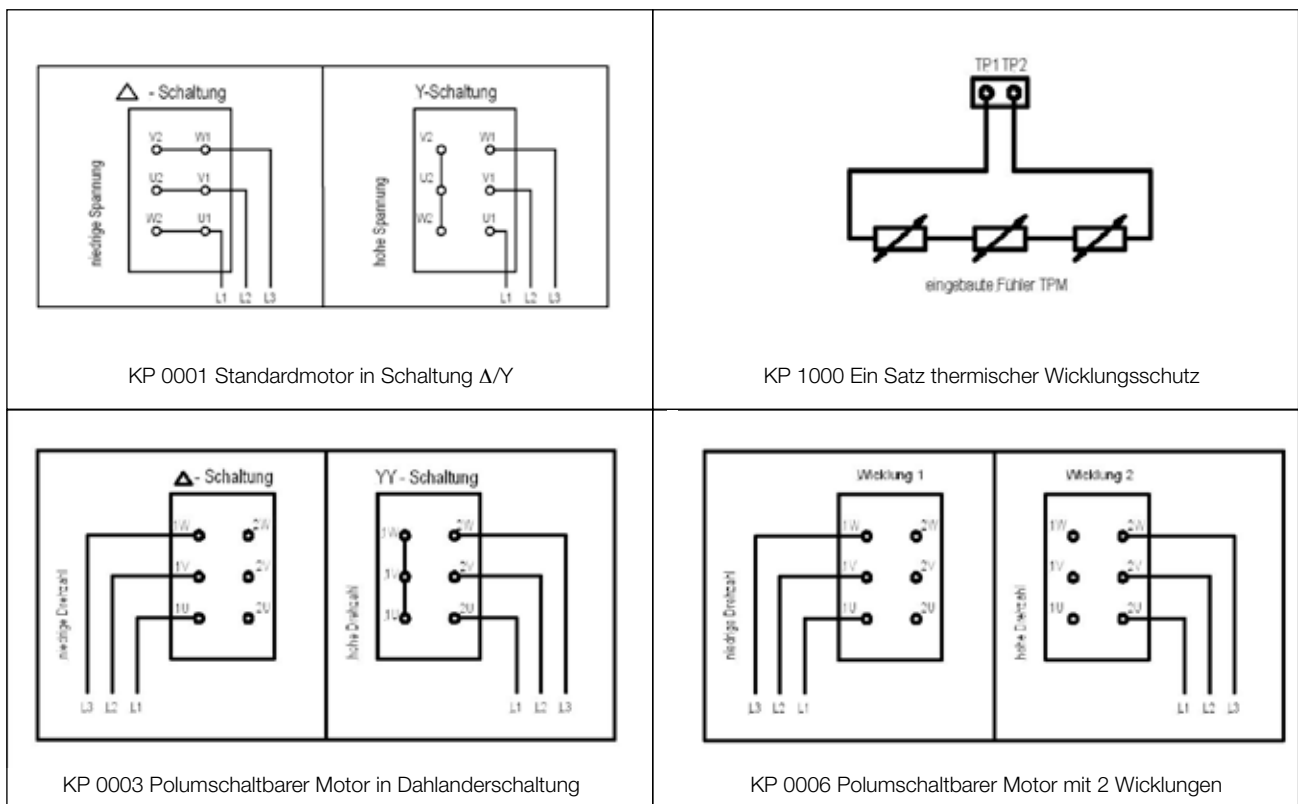


Bild 6: Klemmenpläne (Beispiele)

In immer größerem Umfang werden Kurzschlussläufermotoren zur Drehzahlsteuerung bzw. beim Einsatz eines Motors für unterschiedliche Drehzahlen am Frequenzumrichter betrieben. Über eine entsprechende Programmierung des Frequenzumrichters kann der Antrieb für jeden Drehzahlpunkt optimal angepasst und ausgelegt werden.

So ist es beispielsweise bei Pumpen und Ventilatoren möglich, den Betriebspunkt des Antriebs dem jeweils geforderten Volumenstrom anzupassen. Gegenüber der Volumenstromsteuerung über Drosseln oder polumschaltbare Motoren tritt damit gleichzeitig ein hoher Effekt bei der Einsparung von Elektroenergie auf.

4. Spannungsumschaltbare Motoren

Spannungsumschaltbare Motoren können bei gleicher Bemessungsleistung an Netzen unterschiedlicher Spannung betrieben werden.

Sie entsprechen in ihrem konstruktiven Aufbau den Motoren in Grundausführung. Die An- und Einbaumaße sind folglich die gleichen bis auf einige Baugrößen, die wegen des benötigten Klemmensockels mit 12 Anschlussbolzen einen größeren Klemmenkasten brauchen. Bei diesen Ausführungen ändern sich die Maße HD (p) und O (r) gegenüber den Maßzeichnungen der Grundausführung. Die Spannungsschaltung wird durch entsprechende Auslegung der Ständerwicklung erreicht. Dazu wird die Wicklung in zwei Gruppen hergestellt, die je nach Erfordernis in Reihe oder parallel geschaltet werden. Üblich sind folgende Spannungskombinationen:

- **400/690 V in der Wicklungsschaltung Δ/Y**
Diese Ausführung entspricht der Grundausführung. Sie ist einsetzbar bei:
400 V für direkte bzw. Y/ Δ -Einschaltung
690 V nur für direkte Einschaltung
Es tritt hierbei keine Leistungsminderung auf.
- **230/400 V in der Wicklungsschaltung Δ/Y**
analog 400/690 V in Wicklungsschaltung Δ/Y
- **230/460 V in der Wicklungsschaltung Δ/Δ**
analog 230/400 V in der Wicklungsschaltung Δ/Δ jedoch ohne Leistungsreduzierung

Andere Spannungsverhältnisse erfordern eine Anfrage an das Herstellerwerk.

Der Einsatz von spannungsumschaltbaren Elektromotoren bewährt sich in erster Linie für ortsveränderliche Aggregate (z. B. Schiffsbau), bei denen der Anschluss an Netze unterschiedlicher Spannungen betriebsbedingt ist.

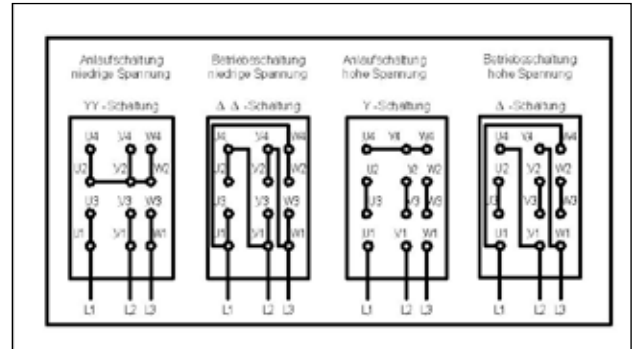


Bild 7: Klemmenpläne für 2 Spannungen und Y- Δ -Anlauf

5. Einsatz normaler Drehstrom-Asynchronmotoren als Einphasenmotoren

Prinzipiell kann jeder Drehstrom-Käfigläufer-Motor auch am Einphasennetz betrieben werden, wenn man mittels eines Betriebskondensators für eine notwendige Phasenverschiebung sorgt („Steinmetzschtaltung“). Die Schaltung ist Bild 8 zu entnehmen.

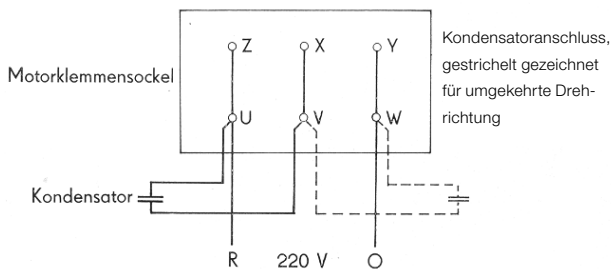


Bild 8: Anschluss eines Drehstrommotors 230/400 V als Einphasenmotor mit Betriebskondensator

Die Größe des Kondensators ist wichtig für einen störungsfreien Betrieb. Um ein entsprechendes Anlaufmoment zu erhalten, wird zur Phasenverschiebung des Kurzschlussstroms eine große Kapazität benötigt. Um eine dem

Bemessungsbetrieb des Motors angepasste Phasenverschiebung zu erreichen, darf die Kapazität des Kondensators nicht zu groß gewählt werden. Zur Verbesserung des Anlaufverhaltens kann dem Betriebskondensator ein Anlaufkondensator parallel geschaltet werden, der nach erfolgtem Hochlauf abgeschaltet wird. Wird die Kondensatorgröße an Hand der nachstehenden Tabelle gewählt, erreicht man folgendes Betriebsverhalten:

- Leistung maximal 70 % der Drehstromleistung
- Anzugsmoment etwa 20 – 30 % des Bemessungsmomentes bei Einphasenbetrieb

Wegen des geringen Anzugsmomentes und der ungünstigen Hauptcharakteristik können diese Motoren nur bei entlastetem Anlauf eingesetzt werden, z. B. Lüfterantriebe. Die Motorbetriebskondensatoren sind in der Regel für eine Dauerbetriebsspannung von 1,2-1,5-mal Netzspannung auszulegen, d. h. bei 230 V Netz für mindesten 276 V. Bei anderen Netzspannungen ist die Kondensatorgröße im umgekehrten Verhältnis des Quadrates der Netzspannung umzurechnen.

Der Einsatz von Drehstrommotoren mit Dauerbetriebskondensator als Einphasenmotor ist aus technisch-ökonomischen Gründen nur bis etwa 1 bis 2 kW Einphasenleistung sinnvoll.

Abgegebene Leistung P_2 bei Einphasenbetrieb in kW	Kapazität C in μF	
	bei 3000 min ⁻¹	bei 1500 und 1000 min ⁻¹
0,2	16 – 20	20 – 30
0,4	25 – 40	30 – 40
0,6	40 – 50	50 – 60
0,8	60 – 80	70 – 90
1,0	80 – 100	90 – 100
1,2	100 – 120	120 – 140
1,4	120 – 140	140 – 160

6. Die Auswahl eines Motors

Die Projektierung des Antriebs und die Auswahl des richtigen Motors bestimmen entscheidend das Aufwand-Nutzen-Verhältnis, verhindern Fehlschläge beim Einsatz und beeinflussen entscheidend die ökonomische Effizienz. Bei der Auswahl sind alle wirksamen Einflussfaktoren wie Leistungsbedarf, Betriebsart, Drehzahl, Netzverhältnisse, Anlauf-, Brems- und Steuerungsbedingungen, Lager- und Wellenbelastungen sowie Umgebungsbedingungen im Komplex zu beachten.

7. Gegendrehmoment und Leistungsbedarf, Trägheitsmoment

Die durch eine angetriebene Maschine geforderte mechanische Leistung bei Dauerbetrieb oder während der Beharrungsphase bei einer beliebigen Betriebsart wird grundsätzlich bestimmt durch die Beziehung

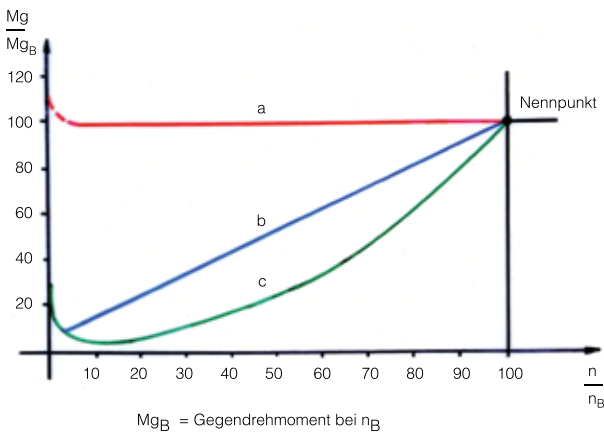
$$P_A = \frac{M_g \cdot n_A}{9550} \text{ in kW}$$

mit M_g = Gegendrehmoment der angetriebenen Maschine in Nm
 n_A = Drehzahl der angetriebenen Maschine in min^{-1}

Bei direkt gekuppelten Antrieben ist dies auch gleichzeitig der vom Motor geforderte Leistungsbedarf ($P_A = P_2$). Ist zwischen Arbeitsmaschine und Antriebsmotor ein Drehmomentwandler (Getriebe, Riemenantrieb) geschaltet, ergibt sich der Leistungsbedarf für den Motor zu

$$P_2 = \frac{P_A}{\eta_G} = \frac{M_g \cdot n_A}{9550 \cdot \eta_G} \text{ in kW}$$

mit η_G = Wirkungsgrad des Drehmomentwandlers



Bei entsprechender Auswahl kann häufig die Grundauführung eingesetzt werden. Deshalb wird bei den verschiedenen Betriebsarten davon ausgegangen, dass eine Rückführung auf Betriebsart S1 (Dauerbetrieb) und damit der Einsatz von Motoren mit der Grundbetriebsart erfolgt.

Während die zuvor genannten Beziehungen für rein rotatorische Bewegungsabläufe gelten, ist das Gegenmoment bei Arbeitsmaschinen mit geradlinigen Bewegungen wie folgt zu bestimmen:

$$M_g = 9,56 \cdot \frac{F_A \cdot v}{n_M \cdot \eta_G} \text{ in Nm}$$

mit F_A = Belastungskraft in N
 v = Geschwindigkeit in m/s
 n_M = Motordrehzahl in min^{-1}

Das Gegendrehmoment bzw. der Leistungsbedarf von Arbeitsmaschinen ist im Allgemeinen drehzahlabhängig. Für eine bessere Verständigung zwischen Motorhersteller und -anwender sollen einige charakteristische Gegenmomentverläufe angegeben und beschrieben werden (Bild 9).

- **Drehmoment praktisch konstant über der Drehzahl (a)**
 Dieses Verhalten findet man z. B. bei Hebezeugen, Winden, Förderbändern, Verdichtern, bei Förderung gegen konstante Drücke u. ä.
- **Drehmoment steigt linear mit der Drehzahl (b)**
 z. B. beim Antrieb von elektrischen Generatoren gegen konstante Belastung, Frequenzumformern u. ä.
- **Drehmoment steigt mit einer bestimmten Potenz (z. B. parabelförmig) der Drehzahl (c)**
 Dieses Verhalten findet man beim Antrieb von Lüftern, Kreiselpumpen, Zentrifugen u. ä.

Bild 9: Charakteristische Gegenmoment-Kennlinien von Arbeitsmaschinen

In der Praxis sind weitere Drehmomentverläufe möglich, die jedoch von untergeordneter Bedeutung oder auf die erläuterten Kennlinien zurückzuführen sind. Zu beachten ist, dass im Drehzahlbereich um 0 erhöhte Reib- oder Haftmomente, sog. Losbrechmomente, auftreten können, die z. T. eine erhebliche Größe (z. B. Anlauf eines Kolbenverdichters bei Kälte) aufweisen. Diese Losbrechmomente müssen möglichst genau bekannt sein und bei der Beurteilung des Anlaufs berücksichtigt werden.

Das Gesamtträgheitsmoment eines Antriebs setzt sich zusammen aus

$$J = J_M + J_F$$

mit J_M = Trägheitsmoment des Motors (aus den technischen Informationen der jeweiligen Motorreihe zu entnehmen)
 J_F = auf die Motordrehzahl bezogene Summe der Trägheitsmomente der angetriebenen Teile

Ist das Trägheitsmoment einer angetriebenen Maschine nach bekannten Verfahren für die Drehzahl dieser Maschine bestimmt, so lässt sich wie folgt auf die Drehzahl der Motorwelle umrechnen:

$$J_F = \left(\frac{n_A}{n_M} \right)^2 J_A$$

mit J_A = Trägheitsmoment der angetriebenen Maschine bei n_A

8. Die Motorauswahl bei verschiedenen Betriebsarten

In diesem Abschnitt soll die Motorauswahl bezüglich der elektrischen/thermischen Beanspruchung behandelt werden. Für die Bestimmung der Motorleistung ist nicht allein die Belastung während des Beharrungszustandes maßgebend. Auch die dynamischen Vorgänge müssen entsprechende Berücksichtigung finden. Kriterium ist dabei letztlich die Einhaltung der zulässigen Wicklungserwärmung.

Voraussetzung für die Zuordnung zu einer Betriebsart ist das Belastungsdiagramm oder Arbeitsspiel, das die vom Antrieb geforderten Drehmomente oder Leistungen, bezogen auf die gewünschte Motordrehzahl, in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf darstellt.

8.1. Motorleistung bei Dauerbetrieb (Betriebsart S1)

Aufgrund unveränderlicher oder nur schwankender Belastung ist die Motorauswahl einfach. Aus den technischen Informationen ist der Motor auszuwählen, dessen Leistung gleich oder größer als die konstante oder effektive Belastung ist. Bei konstanter Belastung gilt also für die Motorauswahl

$$P_{2B} \geq P_A = \frac{M_g \cdot n_A}{9550}$$

mit M_g = Gegendrehmoment der Arbeitsmaschine in Nm
 P_{2B} = Motorbemessungsleistung (Listenleistung) in kW
 P_A = Leistungsbedarf einer Arbeitsmaschine in kW
 n_A = Drehzahl der Arbeitsmaschine in min^{-1}

Bei schwankender Belastung ist die Auswahl nach folgenden Kriterien vorzunehmen:

$$P_{2B} \geq P_{Am} = \frac{M_{geff} \cdot n_A}{9550}$$

$$\text{mit } M_{geff} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots + M_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

M_{geff} = effektives Gegenmoment in Nm
 P_{Am} = mittlere Leistungsbedarf der Arbeitsmaschine in kW

Die einzelnen Belastungsabschnitte müssen dabei genügend klein sein, d. h. $t_n < 1$ oder $t_n \ll 2$, wobei 1 und 2 die thermischen Zeitkonstanten des Motors darstellen. Ist t_n größer, so ist der Motor nach dem höchsten auftretenden Belastungsabschnitt auszuwählen.

Bei der Auswahl des Motors für Dauerbetrieb ist wichtig, dass

- die Bemessungsleistung des gewählten Motors möglichst dicht oberhalb des Leistungsbedarfes liegt, da stark unterbelastete Motoren mit schlechten Betriebswerten arbeiten, andererseits Überlastungen wegen der hohen Ausnutzung moderner Motoren nur in sehr geringem Umfang zulässig sind
- die Häufigkeit des Einschaltens des Antriebes zu beachten ist. Treten, je nach Schwere des Anlaufs z. B. mehrere Einschaltungen pro Stunde auf, ist Rücksprache mit dem Hersteller erforderlich. Die Projektierung ist nach den im Folgenden abgegebenen Regeln für Schaltbetrieb vorzunehmen. Es handelt sich nicht mehr um S1-Betrieb.

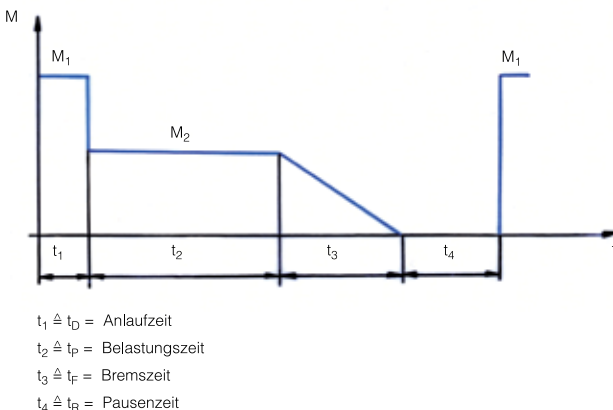


Bild 10: Beispiel eines Arbeitsspiels

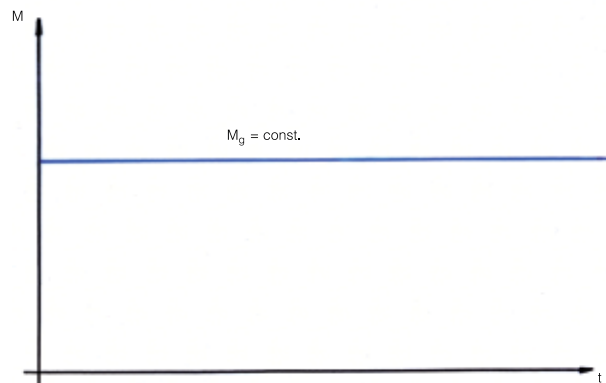


Bild 11: Gegenmoment bei Dauerbetrieb S1

8.2. Motorleistung bei Kurzzeitbetrieb (Betriebsart S2)

Mit dem aus den vorigen Beziehungen ermittelten Leistungsbedarf P2 für die Belastungsphase bei S1 ist zunächst eine Motorauswahl zu treffen. Dann sind die Bedingungen für das Vorliegen der Betriebsart S2 zu überprüfen. Dafür gilt:

Betriebszeit $t_P < 3 \cdot \tau_2$
 Pausenzeit $t_R > 3 \cdot \tau_{2St}$
 mit τ_2 = thermische Zeitkonstante des Motors im Betrieb
 τ_{2St} = thermische Zeitkonstante des Motors im Stillstand (Abkühlung)

Im Allgemeinen sind die Bedingungen für Kurzzeitbetrieb S2 für Betriebszeiten bis zu etwa 60 min und entsprechend größer bemessenen Pausenzeiten erfüllt. Vorzugswerte für die Betriebszeit sind in nachfolgender Tabelle gegeben. Die für den ausgewählten Motor zulässige Leistung PS2 bei Betriebsart S2 ist nach folgender Beziehung zu bestimmen:

$$P_{S2} = P_{2B} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{K_1}{K_2}\right) \cdot q - \frac{K_1}{K_2}}$$

$$q = \left(1 - \frac{\Theta_2}{\Theta} \cdot e^{-\frac{t_{S2}}{\tau_2}}\right)^{-1}$$

- mit q = Verlustgrößenfaktor
- P_{2B} = Motorbemessungsleistung bei S1 laut technischer Information
- K_1/K_2 = Verhältnis von Leerlauf- zu Lastverlusten beim Bemessungsbetrieb des Motors
- Θ_2/Θ = Verhältnis der Übertemperatur des mit 2 ablaufenden Vorgangs zur Gesamtübertemperatur
- t_{2S} = Belastungszeit bei S2

Die Motorauswahl wurde richtig getroffen, wenn $P_{S2} \geq P_A$, wobei P_A der tatsächliche Leistungsbedarf ist. Gegebenenfalls ist die Nachrechnung mit den nächstliegenden Motorengrößen zu wiederholen.

Die Leistung bei Kurzzeitbetrieb S2 liegt höher als die Motorbemessungsleistung P_{2B} . Als weitere Grenzbedingung ist deshalb das relative Kippmoment zu beachten. Entsprechend IEC/EN 60034-1 gilt:

$$\frac{M_K}{M_{BS2}} \geq 1,6$$

- mit M_K = Kippmoment des gewählten Motors
- M_{BS2} = Bemessungsmoment des Motors bei P_{S2}

Wird diese Bedingung nicht eingehalten, ist, unabhängig von der thermischen Auslastung ein größerer Motor zu wählen.

Kurzzeichen	Bemessungsdaten	
	Art	Vorzugswert
S1	Betriebszeit	dauernd
S2	Betriebszeit	0,5; 1; 3; 5; 10; 30; 60; 90 min
S3 S6	Spieldauer	10 min
S4 S5 S7 S8	Schalzhäufigkeit	60, 90, 120 240, 600 c/h
S3 S4 S5 S6	Relative Einschaltdauer	15 %; 25 %; 40 %, 60 %
S4 S5 S7 S8	Trägheitsmomentenfaktor FI	1,2; 1,6; 2; 2,5; 4

8.3. Motorleistung bei Schaltbetrieb (Betriebsart S3, S4, S5, S7)

Ausgehend von einem bezüglich der Übergangsvorgänge eventuell unvollständigen Belastungsdiagramm (Arbeitspiel) muss zunächst eine überschlägige Motorauswahl getroffen werden. Dazu kann das bereits aufgeführte Effektivmomentverfahren angewendet werden.

$$M_{geff} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3 + \dots + M_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}}$$

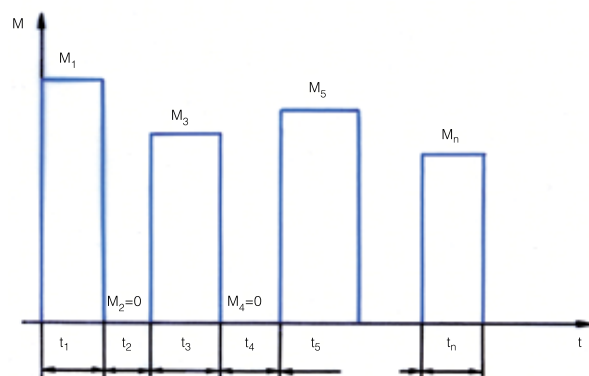


Bild 12: Vereinfachte Gegenmomentverläufe bei Aussetz- bzw. Schaltbetrieb

Trapez- und dreieckförmige Abschnitte des Arbeitsspiels können dabei wie folgt auf ein konstantes Moment während der Belastungsphase umgerechnet werden:

$$M_{Tr} = \sqrt{\frac{M_a^2 + M_a \cdot M_b + M_b^2}{3}}$$

$$M_{Dr} = \frac{M_a}{\sqrt{3}}$$

Die überschlägige Leistung ergibt sich dann zu

$$P_A = \frac{M_{geff} \cdot n_A}{9550} \text{ in kW}$$

Eventuell ist mit Rücksicht auf häufige Übergangsvorgänge bereits ein größerer Motor auszuwählen. Nun kann die zulässige Schalthäufigkeit des ausgewählten Motors unter den vorliegenden Bedingungen nachgerechnet werden.

$$Z_{zul} = \frac{1}{FI} \cdot f_b \cdot f_s \cdot Z_0 \quad FI = (J_M + J_F) / J_M$$

mit Z_{zul} = zulässige Schalthäufigkeit
 FI = Trägheitsmomentenfaktor
 f_b = Belastungsfaktor
 f_s = Schaltungsfaktor für die Art der Schaltung
 Z_0 = Leerschalthäufigkeit in c/h

Der Belastungsfaktor f_b berücksichtigt die relative Einschaltdauer (ED) des Antriebes und den Verlustfaktor f_v des ausgewählten Motors. Er ist definiert zu

$$f_b = (1 - m_g^2) \frac{ED}{100\%} + f_v (1 - \frac{ED}{100\%})$$

Der Schaltungsfaktor f_s berücksichtigt insbesondere die Art der angewandten Bremsung.

$$f_s = 1 - \frac{m_g}{\bar{m}_A} \quad \text{für Schaltbetrieb mit mechanischer Bremsung (z. B. S4)}$$

$$f_s = 1 - \left(\frac{m_g}{\bar{m}_R} \right)^2 \quad \text{für Schaltbetrieb mit Gegenstrombremsung oder Reversierbetrieb (z. B. S5 und S7)}$$

$$f_s = 1,08 \frac{(1 + \frac{m_g}{\bar{m}_B})(1 - \frac{m_g}{\bar{m}_A})}{2 + \frac{m_g}{\bar{m}_B} - \frac{m_g}{\bar{m}_A}} \quad \text{für den Schaltbetrieb mit Gleichstrombremsung}$$

Für den Fall, dass das Gegenmoment während des Anlaufs bzw. Hochlaufs kleiner ist als während des Betriebes mit Bemessungsdrehzahl, muss wie folgt verfahren werden:

- Der Schaltungsfaktor f_s ist mit dem mittleren relativen Gegenmoment während des Hochlaufs zu berechnen.
- Der Belastungsfaktor f_b wird mit dem bei Bemessungsdrehzahl auftretenden relativen Gegenmoment bestimmt.

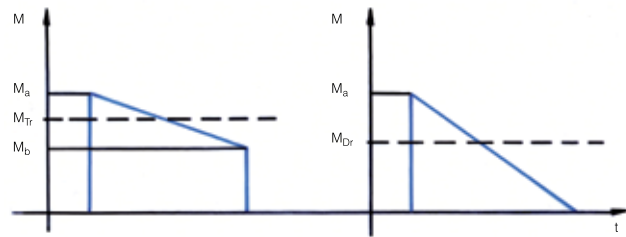


Bild 13: Trapez- und dreieckförmig verlaufende Gegenmomente

Für Z_0 ist bei Schaltbetrieb mit mechanischer Bremsung und Gleichstrombremsung der Wert Z_{0A} bei Schaltbetrieb mit Gegenstrombremsung und Reversierschaltung der Wert Z_{0R} zu verwenden.

m_g = relatives Widerstandsmoment (Lastmoment), bezogen auf das Bemessungsmoment des Motors

ED = relative Einschaltdauer in %

f_v = Verlustfaktor

\bar{m}_A = mittleres relatives Anlaufmoment

\bar{m}_R = mittleres relatives Reversiermoment

\bar{m}_B = mittleres relatives Gleichstrom-Bremsmoment

Zur Vervollständigung des Belastungsdiagramms und zur genauen Berechnung der relativen Einschaltdauer ED sind die Zeiten für die Übergangsvorgänge wie folgt zu bestimmen:

Anlaufzeit $t_D = T_{AN} \frac{FI}{\bar{m}_A - m_g}$

Reversierzeit $t_{Rev} = 2T_{AN} \frac{FI}{(\bar{m}_R - m_g)(1 + m_g / \bar{m}_R)}$

Bremszeit $t_F = T_{AN} \frac{FI}{\bar{m}_B + m_g}$

mit $T_{AN} = \frac{J_M \cdot n_B}{9,55 \cdot M_B}$ = Normalanlaufzeit des Motors in s

J_M = Trägheitsmoment des Motors in Nm^2

n_B = Bemessungsdrehzahl in min^{-1}

M_B = Bemessungsdrehmoment in Nm

Die Größe von \bar{m}_B richtet sich nach der verwendeten Bremsschaltung und der Höhe des Erregerstromes und lässt sich nicht allgemein angeben (siehe auch Punkt 10.).

Abschließend ist die Einhaltung einer genügenden Drehmomentüberlastbarkeit zu prüfen.

Es muss gelten $\frac{M_K}{M_{gmax}} \geq 1,6$

mit M_K = Kippmoment des gewählten Motors
 M_{gmax} = maximales Gegenmoment im Arbeitsspiel

Speziell bei der Aussetzbetriebsart S3 genügt zur Bestimmung der erforderlichen Motorleistung die Anwendung des Effektivmomentverfahrens. Definitionsgemäß brauchen Schaltvorgänge hierbei nicht berücksichtigt zu werden.

$$M_{\text{geff}} = \sqrt{\frac{M_g^2 \cdot t_p}{t_p + t_R}}$$

mit t_p = Belastungszeit
 t_R = Pausenzeit

Für die Motorauswahl gilt dann $P_{2B} \geq P_A = \frac{M_{\text{geff}} \cdot n_A}{9550}$ in kW

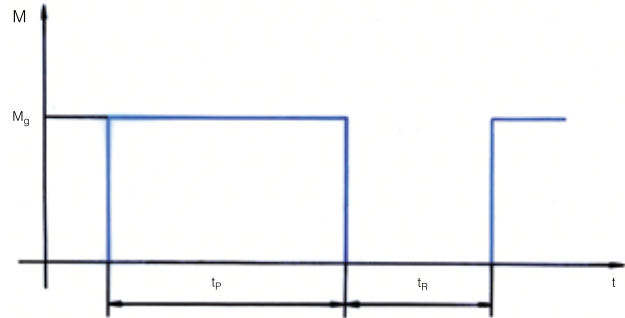


Bild 14: Arbeitsspiel bei Betriebsart S3

8.4. Motorleistung bei ununterbrochenem periodischem Betrieb (Betriebsart S6)

Zur Bestimmung der erforderlichen Motorleistung ist das Effektivmomentverfahren geeignet. Die in der Leerlaufphase auftretenden Verluste sind dabei zu berücksichtigen. Nach Vorauswahl eines Motors ergibt sich das Effektivmoment zu:

$$M_{\text{geff}} = \sqrt{\frac{M_g^2 \cdot t_p + (f_0 \cdot M_B)^2 \cdot t_v}{t_p + t_v}}$$

mit M_g = Gegenmoment (Lastmoment)
 M_B = Motorbemessungsmoment
 t_p = Belastungszeit

t_v = Leerlaufzeit
 f_0 = Verhältnis Leerlaufverluste zu Gesamtverluste bei Bemessungsmoment (kann allgemein mit 0,4 bis 0,5 angesetzt werden)

Für die richtige Auswahl gilt $P_{2B} \geq P_A = \frac{M_{\text{geff}} \cdot n_A}{9550}$ in kW.

Die Überprüfung auf Drehmomentenüberlastung ist wie unter Punkt 8.3. vorzunehmen.

8.5. Motorleistung bei ununterbrochenem periodischem Betrieb mit Last-/Drehzahländerungen (Betriebsart S8)

Zur Auswahl eines Motors für diese Betriebsart lassen sich keine allgemeingültigen Gesetzmäßigkeiten angeben, da die Übergangsvorgänge infolge der hohen thermischen Belastung wesentlich die Motorgröße beeinflussen. Es ist deswegen eine Anfrage im Herstellerwerk mit folgenden Angaben notwendig:

- Arbeitsmaschine
- Vollständiges Arbeitsspiel (Gegenmomente und Betriebszeiten bei den jeweilig vorgesehenen Motordrehzahlen)
- Trägheitsmoment der Arbeitsmaschine einschließlich Übertragungselemente unter Angabe der Bezugsdrehzahl
- Einschaltdauer pro Arbeitsspiel und vorgesehene Schalthäufigkeit
- Angaben zu eventuellen Bremsvorgängen am Ende des Arbeitsspiels; Bremsart und Bremsmoment

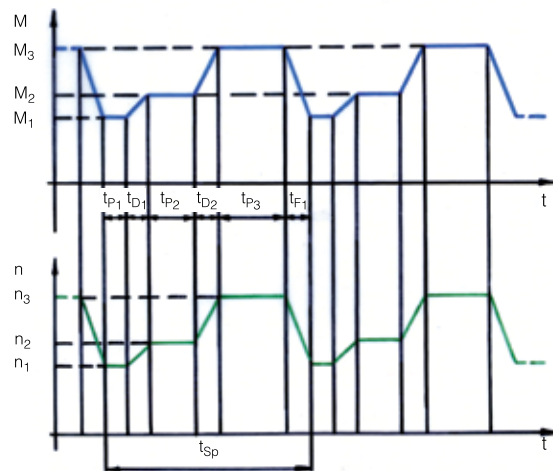


Bild 15: Arbeitsspiel bei Betriebsart S8

8.6. Umrichterbetrieb, Betrieb mit nichtperiodischen Last- und Drehzahländerungen (Betriebsart S9) und Betrieb mit einzelnen konstanten Belastungen (S10)

Für diese Betriebsart wird ein entsprechender Motor mit konstanter Belastung entsprechend Betriebsart S1 unter Berücksichtigung der bei diesem Betrieb häufig auftretenden Überlastungen ausgewählt.

9. Anlassen beim Käfigläufermotor

Direkte Einschaltung

Bei der direkten Einschaltung wird der Motor unmittelbar auf das Netz entsprechend der Bemessungsspannung des Motors geschaltet. Diese Methode ist als einfachste und zuverlässigste Einschaltart für Käfigläufermotoren vorrangig anzuwenden. Dabei kann die volle Leistungsfähigkeit des Motors bezüglich des Hochlaufverhaltens genutzt werden. Die Wärmebelastung für den Motor ist bei dieser Einschaltart gewöhnlich am geringsten. Anläufe gegen konstante oder stark ansteigende Gegendrehmomentverläufe in Abhängigkeit von der Drehzahl sowie die Beschleunigung großer Schwungmassen (Schweranlauf) erfordern zwingend diese Einschaltart.

Beim direkten Einschalten wird natürlich das Netz mit dem vollen Anzugsstrom des Motors belastet, der im Allgemeinen, abhängig von Baugröße und Polzahl des Motors, das 4- bis 8-fache des Motorbemessungsstromes betragen kann. Man kann bei den heute vorhandenen stabilen Netzen davon ausgehen, dass diese günstige Einschaltart in fast allen Fällen anwendbar ist.

Für Netzverhältnisse und Antriebsbedingungen, die eine direkte Einschaltung nicht zulassen, werden einige Anlassverfahren in den folgenden Punkten angeführt.

Stern-Dreieck-Einschaltung

Für die Anwendung der Y/Δ-Einschaltung sind nur Motoren geeignet, deren Betriebswicklung in Δ geschaltet ist und alle 6 Wicklungsenden an das Klemmenbrett herausgeführt sind (also z. B. 230 Δ, 400 Δ, 500 Δ). Beim Einschalten wird die Wicklung zunächst in Y-Schaltung an das Netz gelegt. Der Anzugsstrom, aber auch das Anzugsmoment sinken dabei auf etwa 30 % ihres Bemessungswertes ab. Nach erfolgtem Hochlauf bis nahe der Bemessungsdrehzahl wird dann die Wicklung auf die betriebsmäßige Δ-Schaltung umgeschaltet. Bei der Anwendung der Y/Δ-Einschaltung ist in jedem Fall Folgendes zu beachten:

- Wegen des auf ca. 30 % reduzierten Anzugsmomentes (das betrifft gleichzeitig den gesamten Drehmomentverlauf des Motors) darf der Anlauf nur entlastet oder mit entsprechend geringem Gegenmoment erfolgen, sodass noch ein ausreichendes Beschleunigungsmoment für den Hochlauf zur Verfügung steht. Das Motormoment sollte in jedem Punkt der Hochlaufkurve etwa das Doppelte des jeweils anstehenden Gegenmomentes betragen, um vertretbare Anlaufzeiten zu erhalten und eine unzulässige Erwärmung der Motorwicklung zu vermeiden.
- Die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie eines Motors kann im Zweifelsfall beim Hersteller angefordert werden (evtl. Rückfrage).

Die Umschaltung von Y auf Δ darf erst nach Hochlauf auf annähernd Bemessungsdrehzahl erfolgen. Bei zu früher Umschaltung geht der Effekt der Anzugsstromverringerung verloren.

Zu langes Verharren in der Y-Stufe ist jedoch ebenfalls zu vermeiden, da sonst eine unzulässige Erwärmung der Motorwicklung auftreten kann. Der Umschaltzeitpunkt ist nach der Anlaufzeitberechnung (nachfolgend angegeben) mittels Versuch oder nach Strommessung (bei Handumschaltung) zu bestimmen.

Die Y/Δ-Einschaltung kann entweder über handbetätigte Schalter oder über Schützsteuerung vorgenommen werden. Entsprechende Schaltbilder können der einschlägigen Fachliteratur entnommen werden.

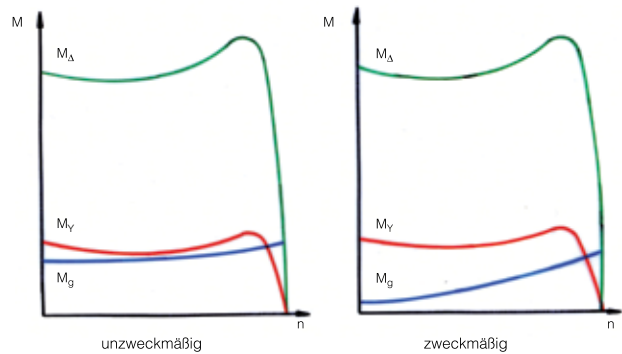


Bild 16: Unzweckmäßiger und zweckmäßiger Y/Δ-Anlauf bei verschiedenen Gegenmomenten

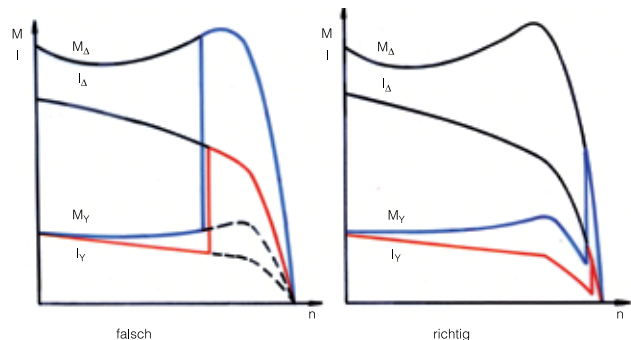


Bild 17: Richtige Wahl des Umschaltzeitpunktes bei Y/Δ-Schaltung

Sanftanlaufgeräte (Soft starter)

Über Drehstromsteller wird die Grundschwingung der Motorklemmenspannung so gesteuert, dass sich eine Reduzierung des Anlaufstromes ergibt. Dabei ist eine Anpassung an die Lastkennlinie in bestimmtem Maß möglich. Aufgrund der reduzierten Momente während des Anlaufs gelten die gleichen Hinweise wie beim Y-Δ-Anlauf. Eine Überprüfung des Anlaufs ist auch hier zwingend erforderlich. Für Standardmotoren können die Angaben zu den Momenten den technischen Listen bzw. dem elektronischen Katalog VEMeKAT entnommen werden. Im elektronischen Katalog sind dafür auch die Kennlinien abrufbar. Für Sonderauslegungen sind die Werte im Herstellerwerk zu erfragen.

Anlassen mit Frequenzumrichter

Beim Hochlauf von Motoren am Frequenzumrichter kann über eine optimale U/f-Zuordnung der Antrieb frequenzproportional bis zur Bemessungsdrehzahl beschleunigt werden. Beim Hochlauf mit Bemessungsstrom steht im gesamten Drehzahlbereich das Bemessungsmoment zur Verfügung. In Abhängigkeit vom verwendeten Frequenzumrichter und dessen Programmierung sind höhere Werte möglich.

Berechnung der Anlaufzeit

In vielen Antriebsfällen wird sich die Anlaufzeit über ein mittleres Beschleunigungsmoment bestimmen lassen, das sich aus dem Drehmomentverlauf des Motors und dem Gegendrehmomentverlauf ergibt. Mit diesen Werten beträgt die angenäherte Anlaufzeit

$$t_D \approx \frac{J_{ges} \cdot n_B}{9,55 \times M_{b,m}} \text{ in [s]}$$

mit J_{ges} = zu beschleunigendes Gesamtträgheitsmoment in kgm^2

n_B = Bemessungsdrehzahl in min^{-1}

$M_{b,m}$ = mittleres Beschleunigungsmoment in Nm

Die Anlaufzeit ist proportional dem Gesamtträgheitsmoment und umgekehrt proportional dem Beschleunigungsmoment. Das Gesamtträgheitsmoment J_{ges} des Antriebes ergibt sich dabei aus dem Trägheitsmoment des Motors und dem auf die Antriebswelle bezogenen Fremdträgheitsmoment. Die mittleren Motor- und Gegendrehmomente können durch geeignete Verfahren der arithmetischen Mittelwertbildung bestimmt werden.

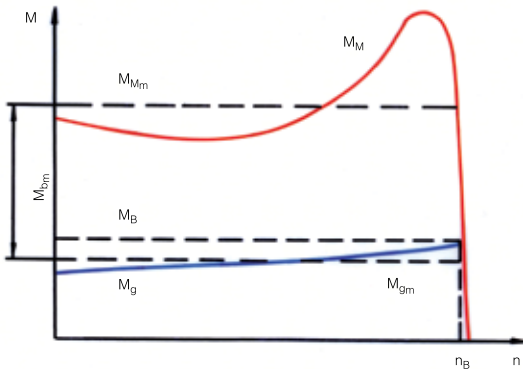


Bild 18: Vereinfachte Bestimmung der Anlaufzeit

Für viele praktische Einsatzfälle kann das mittlere Beschleunigungsmoment mit hinreichender Genauigkeit nach folgender Formel bestimmt werden:

$$M_{b,m} \approx \frac{M_A + M_K + 4 \times M_S}{6}$$

In bestimmten Fällen, z. B. bei speziellen Gegenmomentverläufen und geringem Beschleunigungsmoment, reicht dieses Verfahren der Anlaufzeitberechnung nicht mehr aus. Dann ist die Anlaufzeit in Einzelabschnitten zu ermitteln.

Die Anlaufzeit ergibt sich dann aus

$$t_D = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta t_{D,i} \text{ mit } \Delta t_{D,i} \approx \frac{J_{ges} \cdot \Delta n_i}{9,55 \times M_{b,m,i}}$$

$\Delta t_{D,i}$ = Anlaufzeit in Abschnitt Δn_i in s

Δn_i = Drehzahlabschnitt in min^{-1}

$M_{b,m,i}$ = mittleres Beschleunigungsmoment im Abschnitt Δn_i in Nm

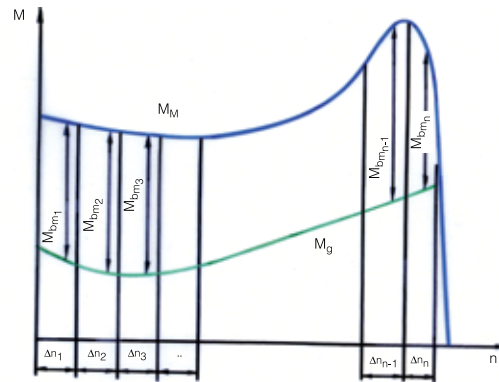


Bild 19: Genaue Bestimmung der Anlaufzeit

Der Drehmomentverlauf des Käfigläufermotors kann aus den in technischen Informationen angegebenen Werten für M_A , M_S und M_K mit ausreichender Genauigkeit konstruiert werden. Gegebenenfalls ist eine Rücksprache mit dem Hersteller erforderlich.

10. Bremsen

Für bestimmte Antriebsfälle ist es nicht zulässig, dass der Motor oder die Antriebseinheit Motor-Arbeitsmaschine beim Stillsetzen sich selbst überlassen werden. Aus Gründen der Sicherheit ist es notwendig, Antriebe schnell abzubremsten. Es bestehen folgende Möglichkeiten, ein Antriebssystem zum Stillstand zu bringen:

- freier Auslauf
- mechanisches Bremsen
- elektrisches Bremsen
- Kombination mehrerer Bremsverfahren (z. B. Gegenstrombremsung in Verbindung mit einer mechanischen Bremse)

Für alle Bremsverfahren gilt der gleiche technische Zusammenhang, in der die Bremszeit dem resultierenden Bremsmoment umgekehrt proportional ist. Die Bremszeit ergibt sich aus

$$t_F = \frac{J_{ges} \cdot n_B}{9,55 \cdot M_{Br,Res}} \text{ in s}$$

mit J_{ges} = Gesamtträgheitsmoment in Nm^2

n_B = Bemessungsdrehzahl in min^{-1}

$M_{Br,Res}$ = mittleres resultierendes Bremsmoment in Nm

Grundsätzlich hat jede Bremsmethode ihre Vor- und Nachteile. Es ist nicht möglich, generelle Aussagen zu treffen. Beim Projektieren eines Antriebes ist daher nach den vorliegenden Betriebsbedingungen zu entscheiden, welche Bremsart zur Anwendung kommt.

10.1. Freier Auslauf und mechanisches Bremsen

Das Bremsmoment bei diesen Bremsverfahren wird durch das mittlere Gegenmoment der Arbeitsmaschine, die mechanischen Verluste des Motors und durch die mechanische Bremse aufgebracht. Die Anwendung bei diesen

10.2. Elektrisches Bremsen

Bei den elektrischen Bremsverfahren wirkt das aufgebrauchte Bremsmoment in der gleichen Richtung wie das Gegenmoment der Arbeitsmaschine. Das resultierende Bremsmoment ergibt sich damit zu:

$$M_{\text{BrRes}} = M_{\text{BRM}} + M_{\text{g}}$$

mit $M_{\text{Brm}} =$ mittleres Bremsmoment

Um elektrische Bremsungen auslegen zu können, müssen folgende Werte bekannt sein:

- größtes auftretendes Belastungsmoment
- abzubremsendes Trägheitsmoment
- Bremszeit
- Drehzahl, Schalthäufigkeit, Spannung, Frequenz

Diese Bremsverfahren arbeiten verschleiß- und wartungsfrei. Es ist keine besondere Bremse notwendig, allerdings erhöht sich der Schaltaufwand.

Bei der Projektierung ist zu beachten, dass die Motoren zusätzlich thermisch belastet werden.

Gegenstrombremsung

Dieses Verfahren kann bei Käfig- und Schleifringläufermotoren verwendet werden. Es ist in einfacher Weise dadurch zu realisieren, dass zwei der drei Drehstrom-Anschlussleitungen untereinander vertauscht werden. Während sich die Schwungmassen des Antriebes noch in der alten Richtung weiterbewegen, arbeitet das Drehmoment bereits entgegengesetzt. Wenn die Drehzahl Null erreicht ist, muss der Motor elektrisch abgeschaltet werden, um einen Hochlauf in entgegengesetzter Richtung zu verhindern (Einsatz eines Drehzahlwächters). Die Bremskennlinien hängen von der Ausführung des Läufers ab.

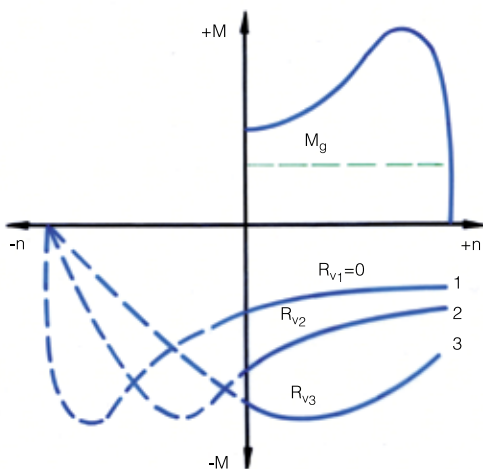


Bild 20: Kennlinien bei Gegenstrombremsung

beiden Bremsverfahren wirkt sich nicht auf die Projektierung des Motors aus, da die auftretenden Verluste keine thermische Beanspruchung des Motors zur Folge haben.

- Bei Käfigläufermotoren

ist besonders die Läuferform für den Verlauf der Kennlinien verantwortlich. Aus diesem Grund wird diese Bremsart in der Fachliteratur verschieden beurteilt. Die Wertungen reichen von „mäßiger“ bis „sehr starker“ Bremswirkung. In praktischen Fällen ist es zweckmäßig, Versuche durchzuführen.

- Bei Schleifringläufermotoren

werden die Kennlinien durch die Zusatzwiderstände beeinflusst, wobei Anlass- und Steuerwiderstände benutzt werden können. Der größte Bremsseffekt tritt ein, wenn die Widerstände während des Bremsens verändert werden.

Bezüglich der thermischen Beanspruchung des Motors muss darauf hingewiesen werden, dass die zusätzliche Erwärmung etwa 2- bis 3-mal so hoch ist wie bei einem Anlauf, insbesondere bei Käfigläufermotoren, wohingegen beim Schleifringläufermotor der größte Teil der Wärme außerhalb des Motors im Zusatzwiderstand auftritt. Wird der Bremsvorgang in Verbindung mit der Betriebsart S5 vorgenommen, sind die Ausführungen unter Punkt 8.3. zu beachten. Bei gelegentlicher Gegenstrombremsung sollte die Bremszeit 10 s nicht überschreiten.

Gleichstrombremsung

Bei dieser Bremsart wird der Ständer des Motors vom Drehstromnetz getrennt und nach einer kurzen Pause mit Gleichstrom gespeist. Die sich ergebenden Schaltmöglichkeiten sind im Bild 21 dargestellt. Die Bremswirkung kann durch die Wahl des Gleichstromes verändert werden. Empfehlenswert ist ein Gleichstrom in Höhe des 2- bis 2,5-fachen Motorbemessungsstromes.

Die notwendige Erregerspannung ergibt sich zu:

$$U_{\text{G}} = I_{\text{G}} \cdot R_{\text{ges}} \cdot 1,3$$

mit $I_{\text{G}} =$ Erregergleichstrom

$R_{\text{ges}} =$ Gesamtwiderstand entsprechend der Bremsschaltung (Bild 21)

$R_{\text{Ph}} =$ Phasenwiderstand (Bild 21)

Die Bremskennlinie kann aus den Motorkennlinien $M = f(n)$ und $I_1 = f(n)$ punktweise konstruiert werden.

Das Bremsmoment ergibt sich zu:

$$M_{\text{Br}} = M \left(\frac{K \cdot I_{\text{G}}}{I_1} \right)^2$$

mit $M =$ Motordrehmoment

$K =$ Faktor der Bremsschaltung (Bild 21)

$I_1 =$ Motorstrom

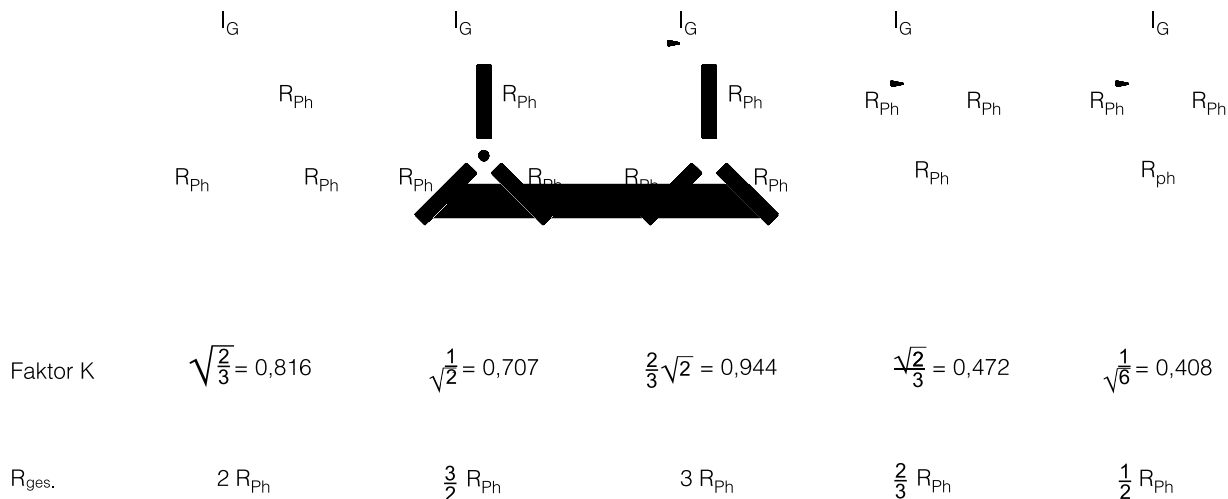


Bild 21: Schaltungen der Wicklung bei Gleichstrombremsung

Die Bremswirkung setzt sanfter als bei der Gegenstrombremsung ein, Stöße auf Getriebe bzw. Kupplung werden vermieden, ein Anlauf in Gegenrichtung erfolgt nicht. Eventuell ist gegen Ende des Bremsvorganges eine mechanische Zusatzbremsung erforderlich. Ob die Bremsung bei Gleichstrom besser als bei Gegenstrom ist, kann nur im speziellen Fall entschieden werden. Thermisch ist sie ohne Zweifel günstiger, da die entstehenden Verluste etwa denen eines Anlaufes entsprechen. Bei Gleichstrombremsung in Verbindung mit Betriebsart S5 ist bei der Projektierung Punkt 8.3. zu beachten.

Übersynchrones Bremsen

Drehstrom-Asynchronmotoren arbeiten im übersynchronen Bereich, wenn

- eine durchziehende Last den Motor über dessen synchrone Drehzahl hinaus beschleunigt
- die Netzfrequenz plötzlich herabgesetzt wird
- bei polumschaltbaren Motoren eine Umschaltung von einer höheren auf eine niedrigere Drehzahl erfolgt.

Infolge des Überganges in den generatorischen Bereich tritt oberhalb der Synchrondrehzahl eine Bremswirkung ein. Ein Abbremsen bis zum Stillstand erfolgt nicht.

Im Bild 23 ist für einen 2-fach polumschaltbaren Motor der Verlauf der Bremskennlinie dargestellt. Liegt die untere Drehzahl schon recht niedrig, kann der absolute Stillstand durch anschließende mechanische Bremsung bewirkt werden. Für die übersynchrone Bremsung ist es von Vorteil, dass die generatorischen Bremsmomente höher als die Drehmomente im Motorbetrieb liegen. Durch Läuferzusatzwiderstand oder Änderung in der Schaltung der Ständerwicklung sind weitere Einflussmöglichkeiten gegeben. Beim Zurückschalten polumschaltbarer Motoren von der höheren auf die niedrige Drehzahl können kurzzeitige Bremsmomente auftreten, die das Bemessungsmoment erheblich überschreiten. Eine Absenkung dieser Bremsmomente ist durch das Zurückschalten über die Stufe „0“, eventuell mit Zeitverzögerung, möglich.

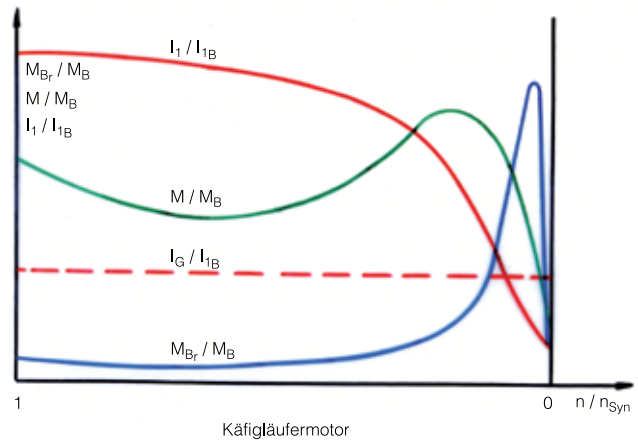


Bild 22: Kennlinien bei Gleichstrombremsung eines Käfigläufermotors

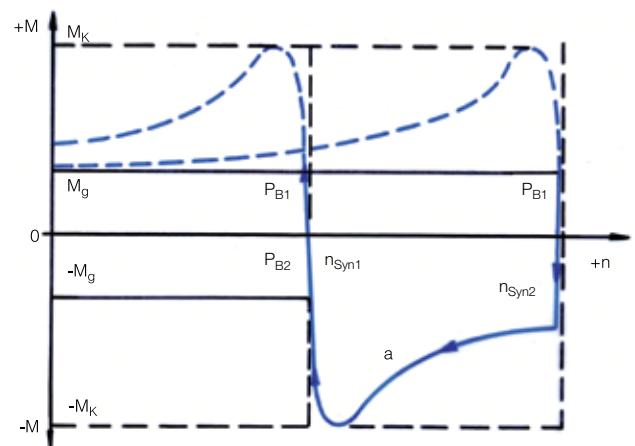


Bild 23: Übersynchrone Bremsung

Untersynchrones Bremsen

Untersynchrone Bremserschaltungen werden durchweg mit Schleifringläufermotoren ausgeführt. Ihr Anwendungsgebiet liegt vor allen Dingen im Kranbetrieb. Bei diesem Einsatz ist es unbedingt erforderlich, dass stets zwei Phasen des Motors am Netz liegen, damit keine Freilaufstellung entsteht. Bekannt sind folgende Möglichkeiten:

– **Einphasen-Bremsschaltung oder untersynchrone Senkbremmung:**

Die drei Phasen werden entsprechend Bild 24 zusammengeschaltet und an zwei Netzleiter angeschlossen. Der Läufer ist dabei an einen dreiphasigen Widerstand angeschlossen.

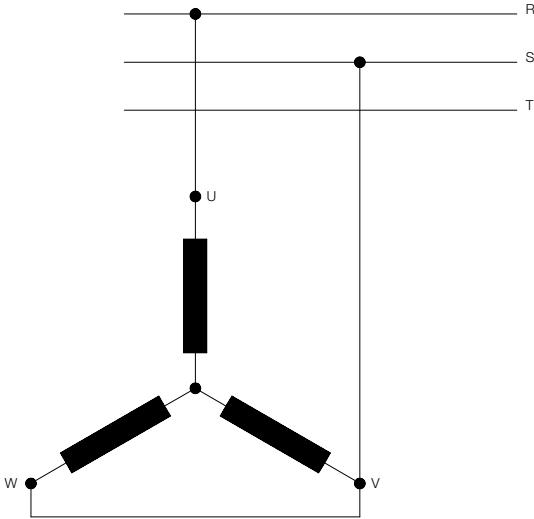


Bild 24: Einphasenbremsschaltung der Ständerwicklung

– **Doppelmotorschaltung:**

Zwei Drehstrommaschinen arbeiten zusammen, von denen die eine als treibender Motor, die andere als bremsender Generator wirkt.

– **Unsymmetrische Dreiphasen-Bremsschaltung (Bild 25):**

Hier ist das Prinzip der Doppelmotorschaltung in einer Maschine vereinigt. Bei der in Dreieck geschalteten Ständerwicklung werden bei einer Phase Anfang und Ende vertauscht.

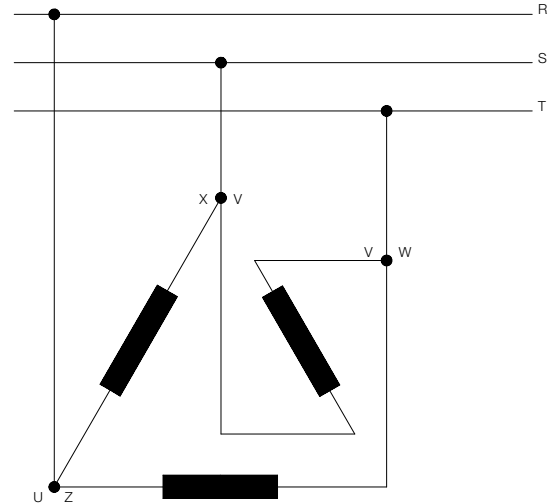


Bild 25: Unsymmetrische Dreiphasen-Bremsschaltung

11. Generatoren

Übersteigt die Asynchronmaschine ihre synchrone Drehzahl, geht sie in den Generatorbetrieb über. Das antreibende Moment kann z. B. durch eine Wasserkraftmaschine, ein Dieselaggregat usw. aufgebracht werden. Das Moment hängt von der Höhe des übersynchronen Schlupfes ab und besitzt wie das Drehmoment bei Motorbetrieb einen Höchstwert, der etwas größer ist als das Motorkippmoment.

Zum Betrieb des Käfigläufermotors als Asynchrongenerator sind ein spannungsführendes Netz oder die Erregung über Kondensatoren erforderlich, die den zur Magnetisierung nötigen Blindstrom liefern.

Beim Betrieb am Netz stimmen die Frequenz und die Spannung des Generators mit den entsprechenden Netzdaten überein. Die Wirkleistungsabgabe hängt nur von der Drehzahl ab. Diese stellt sich, falls das Antriebsmoment nicht das generatorische Kippmoment überschreitet, ganz automatisch entsprechend der zur Verfügung stehenden

Antriebsleistung ein. Die Drehzahl liegt etwa 1 bis 3 % über der Synchrondrehzahl. Beim Betrieb am öffentlichen Stromversorgungsnetz ist die Einspeisung vorab mit dem Netzbetreiber zu klären. Weitergehende Hinweise sind in „Technische Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz (TAB 2000)“ zu finden.

Beim Inselbetrieb liefern Kondensatoren den Magnetisierungsstrom. Die Größe der Kondensatoren ist abhängig vom Blindleistungsbedarf des Generators und der Größe und Art der zu versorgenden Verbraucher. Weiterhin ist die Spannungsfestigkeit der Kondensatoren entsprechend ihrer Schaltung auf den Scheitelwert der erzeugten Spannung festzulegen. Da das System (Generator – Kondensator – Last) auf Veränderungen der Drehzahl und der Last mit starken Schwankungen der Spannung und der Frequenz reagiert, ist hier eine sorgfältige Projektierung notwendig.

12. Mechanische Übertragungselemente

Zur Erreichung eines ruhigen, erschütterungsfreien Laufes ist sorgfältiges Aufstellen des Motors auf genau ebener Fläche und gutes (dynamisches) Auswuchten der auf das Wellenende aufzubringenden Übertragungselemente Voraussetzung. Wird dieses nicht beachtet, so müssen als Folge davon zusätzliche Belastungen der Lager und Beschädigungen der Wälzlager eintreten.

Die Übertragung der Leistung vom Motor auf die Arbeitsmaschine erfolgt im Wesentlichen durch

- Kupplungen
- Riemen
- Ketten
- Zahnräder.

Es obliegt dem Konstrukteur, unter Beachtung der konstruktiven und ökonomischen Gründe, die optimale Lösung für den jeweiligen Antriebsfall zu finden. Grundsätzlich gilt für alle auf dem Motorwellenende aufzubringenden Übertragungselemente, dass ihre äußeren Konturen zum Motor hin nicht über die Wellenendschulter überstehen dürfen. Prinzipiell sollten nur standardisierte Übertragungselemente verwendet werden. Werden in Ausnahmefällen Eigenkonstruktionen zum Einsatz gebracht, so gelten für diese hinsichtlich Fertigungs-

12.1. Kupplungsantrieb

Treibende und anzutreibende Maschinen werden meist direkt gekuppelt. Hierzu sollen grundsätzlich nur elastische Kupplungen oder elastisch-kraftschlüssige Sonderkupplungen verwendet werden. Bei Verwendung von Kupplungen müssen die Einzelmaschinen sehr sorgfältig ausgerichtet werden, d. h. die Wellenmitten müssen miteinander fluchten.

Wenn auch in Abhängigkeit von der Art der Kupplung bestimmte Ungenauigkeiten der Einzelmaschinen durch die Kupplungen ausgeglichen werden können, haben diese Ausrichtungsgenauigkeiten zur Folge, dass unter Umständen erhebliche Lager- und Wellenbelastungen sowie ungleichmäßiger und unruhiger Lauf auftreten. Die Folge hiervon sind mehr oder weniger starke Zerstörungen von Lagerung und Welle des Motors sowie der Übertragungselemente der Kupplungen. Je genauer also die durch die Kupplung verbundenen Maschinen vorher ausgerichtet sind, je kleiner sind diese zusätzlichen Belastungen und umso größer ist die Funktionssicherheit.

Starre Kupplungen sollen grundsätzlich nicht verwendet werden, da sie nicht dazu in der Lage sind, auch kleinste Ausrichtfehler auszugleichen. Da bei Motoren eine Längenausdehnung der Welle vom kalten zum betriebswarmen Zustand auftritt, kommt es bei Verwendung von starren Kupplungen nach kurzer Zeit zur Zerstörung der Lagerung des Motors oder der anzutreibenden Maschine.

12.2. Riemenantrieb

Riemenantriebe werden im Wesentlichen dort angewendet, wo zwischen Antriebs- und Arbeitsmaschine

- unterschiedliche Drehzahlen notwendig sind
- die Wellen nicht in einer Ebene liegen
- elastische Kraftübertragung erforderlich ist
- stoß- und schwingungsdämpfende Wirkung erreicht werden soll.

Zur Verwendung kommen hauptsächlich Flachriemen und Keilriemen der verschiedensten konstruktiven und werkstoffmäßigen Ausführungen. Welcher der beiden Riemenarten der Vorzug zu geben ist, hängt von ihren spezifischen Eigenschaften ab und kann der Fachliteratur entnommen werden.

Grundsätzlich sollte bei der Projektierung von Riemenantrieben Folgendes beachtet werden:

- Die Riemenvorspannung muss verstellbar sein, was durch Spannschienen, Spannrollen oder Wippen konstruktiv realisiert werden kann.
- Die Wellen von Antriebs- und Arbeitsmaschinen müssen genau parallel liegen.
- Werden mehrere Riemen auf einer Scheibe verwendet, so empfiehlt sich die Verwendung endloser Riemen. Solche Riemen sollten immer satzweise als Reserve gehalten und auch nur satzweise ausgetauscht werden.

genauigkeit, Wuchten, Einsatzgrenzen usw. die Festlegungen der analogen Standards. In den folgenden Abschnitten wird der Einfluss der Massen der Antriebselemente hervorgerufenen Kräfte (F_G in N) auf die Radial (F_r) und Axialkräfte (F_a) bei horizontaler und vertikaler Welle angegeben. In den Fällen, in denen die Motorachse um einen Winkel $>15^\circ$ aus der Waagerechten bzw. Senkrechten geneigt liegt, ist die durch die Masse der Antriebselemente hervorgerufene Kraft (F_G) geometrisch anteilmäßig auf F_r und F_a aufzuteilen.

Die Verwendung starrer Kupplungen wird deshalb vom Motorenhersteller abgelehnt. Bei Verwendung von drehelastischen Kupplungen (z. B. Scheiben- und Bolzenkupplungen) ist zu beachten, dass diese zusammen mit den durch sie verbundenen Massen ein schwingfähiges System mit einer bestimmten Eigenfrequenz bilden. Die Eigenfrequenz wird durch weichere Kupplungen herabgesetzt, durch härtere erhöht. Bei Antrieben, bei denen periodisch wiederkehrende Stoßmomente auftreten, ist darauf zu achten, dass die Frequenz der Stoßmomente nicht mit der Eigenfrequenz zusammenfällt. Bei Resonanz oder bei Resonanznähe kann das System zu großen Schwingungsausschlägen und Beanspruchungen führen.

Bei der Größenauswahl der Kupplung wird von dem an der Motorwelle auftretenden Bemessungsdrehmoment ausgegangen.

$$M_B = \frac{9550 \cdot P_{2B}}{n_B}$$

mit M_B = Bemessungsdrehmoment des Motors [Nm]
 P_{2B} = Bemessungsleistung des Motors [kW]
 n_B = Bemessungsdrehzahl [min^{-1}]

Betriebsmäßig auftretende Beanspruchungen werden durch entsprechende Größenauswahl der Kupplung berücksichtigt.

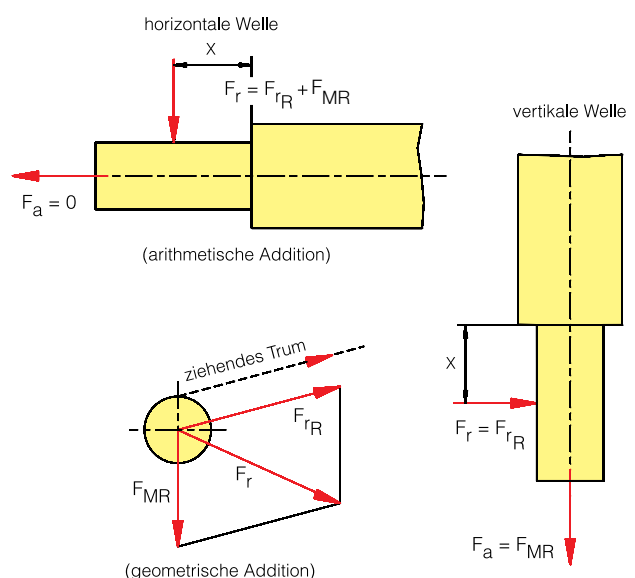


Bild 26: Wellenbelastungen bei Riemenantrieb

Unter Beachtung der eben genannten Maßnahmen kann einer unkontrollierten Lebensdauerherabsetzung des Übertragungselementes „Riemen“ sowie einer unkontrollierbaren Wellenenden- und Lagerbelastung entgegengewirkt werden, die oft Ursache eines vorzeitigen Schadens an Antriebs- und Arbeitsmaschine sind.

Bestimmung der Riemenscheiben-Abmessungen

Die Dimensionierung der Riemenscheiben muss so erfolgen, dass die zulässigen Werte F_r und F_a am Wellenende nicht überschritten werden. Die Radialkraft F_{rR} setzt sich beim Riemenantrieb aus Riemenzug und Riemenvorspannung zusammen. Die Riemenvorspannung wird durch den Faktor c_v bei der Ermittlung von F_{rR} berücksichtigt.

Er beträgt näherungsweise

- 2...2,5 für Keilriemen
- 2,5...3 für normale Flachlederriemen mit Spannrolle
- 4...5 für normale Flachlederriemen, Gummiriemen usw. ohne Spannrolle

Die Radialkraft bei gegebener Riemenscheibe lässt sich ermitteln zu:

$$F_{rR} = 2 \cdot 10^7 \frac{P_{2B} \cdot c_v}{n_B \cdot D}$$

12.3. Kettenantriebe

Im Gegensatz zu Riemenantrieben sind Kettenantriebe formschlüssige Übertragungselemente, bei denen auch bei kleinen Achsabständen und großen Übersetzungsverhältnissen kein Schlupf auftreten kann. Gegenüber dem Zahnradantrieb ist dem Kettenantrieb eine gewisse Elastizität eigen. Er kann ebenfalls größere Achsabstände ohne Zwischenräder überbrücken.

Die Ermittlung der auf das Motorwellenende wirkende Radialkraft ergibt sich zu:

$$F_{rKe} = 2 \cdot 10^7 \frac{P_{2B}}{n_B \cdot D} \cdot c_k \cdot c_d$$

- mit
- F_{rKe} = Radialkraft [N]
 - P_{2B} = Bemessungsleistung des Motors [kW]
 - c_k = Faktor, der die im Kettengeräte selbst entstehende Zusatzkraft berücksichtigt

- mit
- F_{rR} = Radialkraft [N]
 - P_{2B} = Bemessungsleistung des Motors [kW]
 - c_v = Vorspannfaktor des Riemens
 - n_B = Bemessungsdrehzahl des Motors [min⁻¹]
 - D = Durchmesser der verwendeten Riemenscheibe [mm]

Die Massekraft ergibt sich zu:

$$F_{MR} = m_R \cdot g$$

- mit
- F_{MR} = Massekraft [N]
 - m_R = Masse der Riemenscheibe [kg]
 - g = Erdbeschleunigung [9,81 ms⁻²]

Bei sehr großen Riemenscheiben kann die Addition auch geometrisch erfolgen. Die Wirkrichtung von F_{rR} liegt immer in Richtung des ziehenden Trums. Die Wellenbelastungen F_r und F_a ergeben sich entsprechend dem Bild 28. Das Maß x entspricht dem Abstand Mitte Riemenscheibe zur Wellenschulter. Mit den Werten für F_r , F_a und x kann die Zulässigkeit der Belastung entsprechend den „Technischen Erläuterungen“ überprüft werden.

Wird die zulässige Belastung überschritten und kann durch Wahl eines anderen Riemens mit anderer Vorspannung keine wesentliche Änderung der Belastung erreicht werden, muss eine Riemenscheibe mit größerem Durchmesser gewählt werden.

- c_d = Faktor, der die von der Arbeitsmaschine herrührende Zusatzkraft berücksichtigt
- n_B = Bemessungsdrehzahl des Motors [min⁻¹]
- D = Teilkreisdurchmesser des verwendeten Kettenrades [mm]

Die Wirkrichtung von F_{rKe} liegt immer in Richtung des ziehenden Trums.

Bei Motoren mit horizontaler Welle ist $F_a=0$, bei Motoren mit vertikaler Ausrichtung $F_a=F_{MKe}$. Für die Ermittlung von F_r , F_a und x gilt analog die Darstellung nach Bild 28.

$$F_{MKe} = \text{Massekraft des Kettenrades [N]}$$

Wird die zulässige Wellenbelastung überschritten, so ist der Teilkreisdurchmesser des Kettenrades zu vergrößern.

Anzahl der Eingriffe	Art der Zähne	Faktor c_k
1	Präzisionszahnrad (Teilungs- oder Formfehler < 0,02 mm)	1,05 ... 1,1
	Gewöhnlich gehobelte oder gefräste Zahnrad sowie Kettenrad (Fehler 0,02 – 0,10 mm)	1,1 ... 1,3
	Gewöhnlich gehobelte oder gefräste Zahnrad sowie Kettenrad (Fehler 0,02 – 0,10 mm)	1,5 ... 2,2
2	Präzisionszahnrad	0,6 ... 0,7
	Gewöhnlich gehobelte oder gefräste Zahnrad	0,7 ... 0,8

Die niedrigeren Werte gelten bei niedrigen Zahngeschwindigkeiten $v \leq 2$ m/s

Faktor c_k für Ketten- und Zahnradantriebe

Maschinenart	c_d
Kraftmaschinen	
Elektromaschinen, Turbinen	1,0 ... 1,1
Elektrische Fahrmotoren in Lokomotiv-Rahmen	1,1 ... 1,2
Elektrische Fahrmotoren in Tatzlagern, Verbrennungsmotoren, Kolbendampfmaschinen	1,2 ... 1,5
Transmissionen	
zum Antrieb größerer Gruppen von Arbeitsmaschinen	1,1 ... 1,3
Fördermittel und Hebezeuge	
Förderbänder, Seilbahnen, Kreiselpumpen, Gebläse, Turbokompressoren	1,0 ... 1,2
Grubventilatoren	1,1 ... 1,3
Aufzüge, Krane	1,2 ... 1,3
Kolbenkompressoren	1,2 ... 1,5
Kolbenpumpen, je nach Auswuchtung	1,5 ... 1,6
Schachtförderanlagen	1,5 ... 1,8
Schwingförderer	1,5 ... 2,5

Faktor c_d für Ketten und Zahnradantriebe

12.4. Zahnradantrieb

Zahnradantriebe zeichnen sich durch eine schlupflose Leistungs- und Drehzahlübertragung aus und finden vor allem dort Anwendung, wo bei kleinerem Achsabstand unterschiedliche Drehzahlen zwischen Antriebs- und Arbeitsmaschine notwendig sind.

Im Wesentlichen unterscheidet man

- Geradzahnstirnräder, d. h. Zahnräder, an denen bei der Leistungsübertragung nur Radialkräfte auftreten
- Schrägzahnstirnräder, Kegelräder usw., d. h. Zahnräder, an denen bei der Leistungsübertragung Radial- und Axialkräfte auftreten.

Antrieb über Geradzahnstirnräder

Die auftretende Radialkraft F_{rZg} wird ermittelt zu

$$F_{rZg} = 2 \cdot 10^7 \cdot \frac{P_{2B}}{n_N \cdot D_T} \cdot c_k \cdot c_d$$

- mit F_{rZg} = Radialkraft [N]
 P_{2B} = Bemessungsleistung des Motors [kW]
 c_k = Faktor, der die im Zahngetriebe selbst entstehende Zusatzkraft berücksichtigt
 c_d = Faktor, der die von der Arbeitsmaschine herrührende Zusatzkraft berücksichtigt
 n_B = Bemessungsdrehzahl des Motors [min⁻¹]
 D_T = Teilkreisdurchmesser des Zahnrades [mm]

Die Wirkungsrichtung der Radialkraft F_{rZg} ist aus Bild 27 ersichtlich.

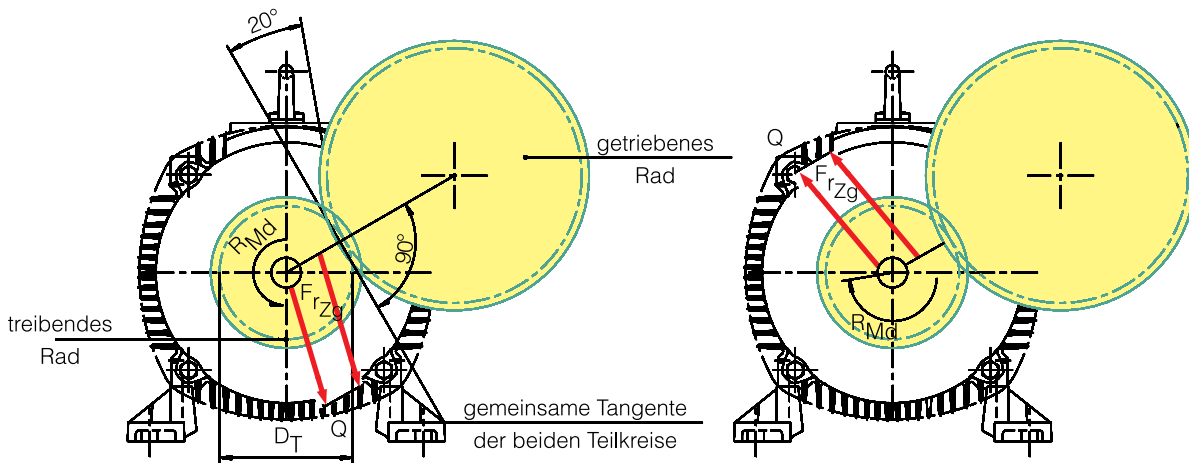


Bild 27: Wirkungsrichtung der Radialkraft bei Geradzahnstirnrädern

Die bei Geradzahnstirnrädern auftretende Radialkraft F_{rZg} liegt stets unter 20° zur gemeinsamen Tangente der Teilkreise von treibendem und getriebenem Rad.

Unter Berücksichtigung der Massenkraft des Zahnrades F_{MZ} ergeben sich folgende Belastungsschemata:

Bei Zahnrädern mit großen Massenkraften kann die Addition von F_{rZg} und F_{MZ} auch geometrisch durchgeführt werden.

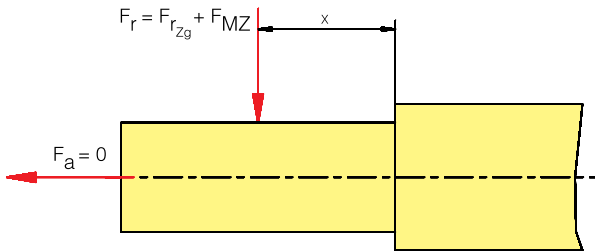


Bild 28: Kraftantrieb bei horizontaler Welle (Geradzahnstirnräder)

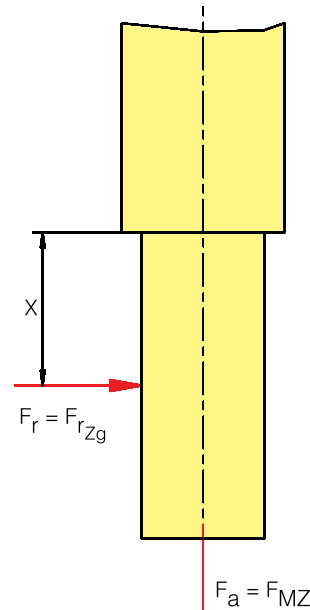


Bild 29: Kraftantrieb bei vertikaler Welle (Geradzahnstirnräder)

Antrieb über Schrägzahnstirnräder

Bei Schrägzahnradern treten Radial- und Axialkräfte immer gleichzeitig auf, die Axialkräfte greifen aber nicht in der Motorwellenachse an.

Kommen Kegelräder usw. zur Anwendung, sind ebenfalls beim Motorhersteller Rückfragen unter Angabe analoger Werte, so für Schrägzahnstirnräder, notwendig.

Allgemein muss beim Zahnradantrieb beachtet werden:

- Die Wellen beider Maschinen müssen genau parallel zueinander liegen.
- Ritzel und Gegenrad müssen genau rund laufen.
- Die Zähne des Ritzels dürfen in keiner Stellung im Gegenrad klemmen.

Beachtet man diese Punkte nicht, sind unzulässige Beanspruchungen der Lager, Schwingungen, Erschütterungen und lästige Geräusche zu erwarten. Durch Einlegen eines Papierstreifens zwischen Ritzel und Gegenrad von der Breite derselben zeichnen sich beim Durchdrehen auf diesem die Stellen des falschen Eingriffes ab. Dabei muss beachtet werden, dass sich die Prüfung auf alle Zähne beider Räder erstreckt. Je nach Ergebnis dieser Prüfung muss die Maschine so lange ausgerichtet werden, bis ein gleichmäßig guter Eingriff der Zahnräder erreicht ist.

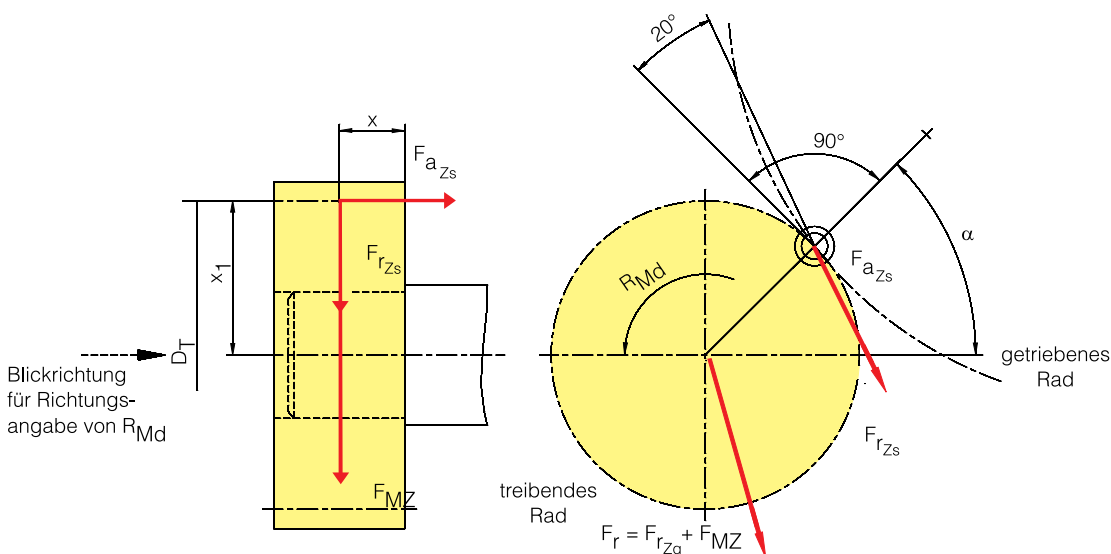


Bild 30: Kraftangriff bei Schrägzahnstirnrädern und dazugehörige Erläuterungen

13. Schleifringläufer

13.1 Anlassen beim Schleifringläufermotor

Das Anlassen von Schleifringläufermotoren erfolgt praktisch ausschließlich über Zusatzwiderstände im Läuferkreis, und zwar über sogenannte Anlasser.

Das Anzugsmoment lässt sich bei entsprechender Dimensionierung des Anlasswiderstandes beliebig einstellen. Das höchsterreichbare Anzugsmoment liegt in Höhe des Kippmomentes des Motors, wobei die zulässigen Toleranzen für das Kippmoment nach IEC/EN 60034-1 zu beachten sind.

Die für die Bemessung der Anlasswiderstände erforderlichen Größen, Läuferstillstandspannung und Läuferbemessungsstrom, können den gültigen technischen Informationen entnommen werden. Bei von der Listenleistung abweichendem tatsächlichem Leistungsbedarf kann der Läuferstrom nach folgender Beziehung umgerechnet werden:

$$I_2 = I_{2B} \frac{P_2}{P_{2B}}$$

mit I_2 = Läuferstrom bei tatsächlichem Leistungsbedarf
 I_{2B} = Läuferbemessungsstrom
 P_2 = tatsächlicher Leistungsbedarf
 P_{2B} = Bemessungsleistung

Der beim Anlauf auftretende Läuferstrom ist angenähert proportional dem dabei vorhandenen Anzugsmoment und lässt sich somit nach folgender Beziehung bestimmen:

$$I_{2A} = I_{2B} \frac{M_A}{M_B}$$

mit I_{2A} = Anzugsstrom im Läufer
 M_A = Anzugsmoment
 M_B = Motorbemessungsmoment

Die Gesamtgröße des Läuferzusatzwiderstandes wird wie folgt errechnet:

$$R_V = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \cdot I_{2B}} \cdot \frac{M_B}{M_A} - R_2$$

13.2.2. Elektrisches Bremsen

Bei den elektrischen Bremsverfahren wirkt das aufgebraachte Bremsmoment in der gleichen Richtung wie das Gegenmoment der Arbeitsmaschine. Das resultierende Bremsmoment ergibt sich damit zu:

$$M_{BrRes} = M_{Brm} + M_g$$

mit M_{Brm} = mittleres Bremsmoment

Um elektrische Bremsungen auslegen zu können, müssen folgende Werte bekannt sein:

- größtes auftretendes Belastungsmoment
- abzubremsendes Schwungmoment
- Bremszeit
- Drehzahl, Schalthäufigkeit, Spannung, Frequenz

Diese Bremsverfahren arbeiten verschleiß- und wartungsfrei. Es ist keine besondere Bremse notwendig, allerdings erhöht sich der Schaltaufwand.

Bei der Projektierung ist zu beachten, dass die Motoren zusätzlich thermisch belastet werden.

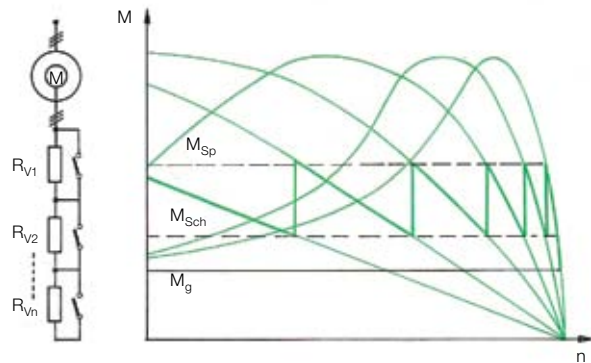


Bild 31: Anlassen von Schleifringläufermotoren mittels Zusatzwiderständen im Läuferkreis

mit U_{20} = Läuferstillstandspannung (aus technischer Information)
 R_2 = Wirkwiderstand

Für Kranmotoren mit Schleifringläufer wird R_2 in den technischen Informationen angegeben. Sonst kann im Allgemeinen R_2 vernachlässigt, beim Hersteller erfragt oder nach folgender Beziehung angenähert werden:

$$R_2 \approx \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \cdot I_{2B}} \cdot \frac{n_s - n_B}{n_s}$$

mit n_s = Synchrodrehzahl
 n_B = Bemessungsdrehzahl

Der Anlass- oder Läuferzusatzwiderstand wird während des Hochlaufs allgemein in Stufen abgeschaltet (von Hand oder über Schützensteuerung). Stufenzahl und Schaltzeitpunkt sollen dabei möglichst so gewählt werden, dass geringe Strom- und Drehmomentspitzen auftreten. Dazu ist eine Vielzahl von Verfahren sowohl symmetrischer als auch unsymmetrischer Anlasserschaltungen bekannt. Einzelheiten sind der einschlägigen Fachliteratur zu entnehmen.

Gegenstrombremsung

Dieses Verfahren kann bei Käfig- und Schleifringläufermotoren verwendet werden. Es ist in einfacher Weise dadurch zu realisieren, dass zwei der drei Drehstrom-Anschlussleitungen untereinander vertauscht werden. Während sich die Schwungmassen des Antriebes noch in der alten Richtung weiterbewegen, arbeitet das Drehmoment bereits entgegengesetzt. Wenn die Drehzahl Null erreicht ist, muss der Motor elektrisch abgeschaltet werden, um einen Hochlauf in entgegengesetzter Richtung zu verhindern (Einsatz eines Drehzahlwächters). Die Bremskennlinien hängen von der Ausführung des Läufers ab.

- Bei Schleifringläufermotoren

werden die Kennlinien durch die Zusatzwiderstände beeinflusst, wobei Anlass- und Steuerwiderstände benutzt werden können. Der größte Bremseffekt tritt ein, wenn die Widerstände während des Bremsens verändert werden.

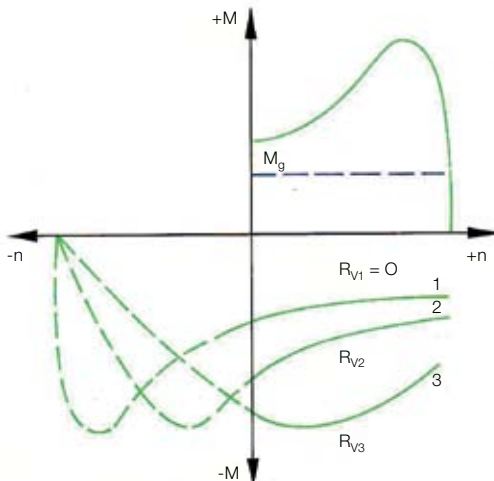


Bild 32: Kennlinien bei Gegenstrombremsung

Bezüglich der thermischen Beanspruchung des Motors muss darauf hingewiesen werden, dass die zusätzliche Erwärmung etwa 2- bis 3-mal so hoch ist wie bei einem Anlauf, insbesondere bei Käfigläufermotoren, wohingegen beim Schleifringläufermotor der größte Teil der Wärme außerhalb des Motors im Zusatzwiderstand auftritt. Wird der Bremsvorgang in Verbindung mit der Betriebsart S5 vorgenommen, sind die Ausführungen unter Punkt 8.3. zu beachten. Bei gelegentlicher Gegenstrombremsung sollte die Bremszeit 10 s nicht überschreiten.

Gleichstrombremsung

Bei dieser Bremsart wird der Ständer des Motors vom Drehstromnetz getrennt und nach einer kurzen Pause mit Gleichstrom gespeist. Die sich ergebenden Schaltmöglichkeiten sind im Bild 33 dargestellt. Die Bremswirkung kann durch die Wahl des Gleichstromes verändert werden. Empfehlenswert ist ein Gleichstrom in Höhe des 2- bis 2,5-fachen Motorbemessungsstromes.

Die notwendige Erregerspannung ergibt sich zu:

$$U_G = I_G \cdot R_{ges} \cdot 1,3$$

mit I_G = Erregergleichstrom
 R_{ges} = Gesamtwiderstand entsprechend der Bremsschaltung
 R_{Ph} = Phasenwiderstand

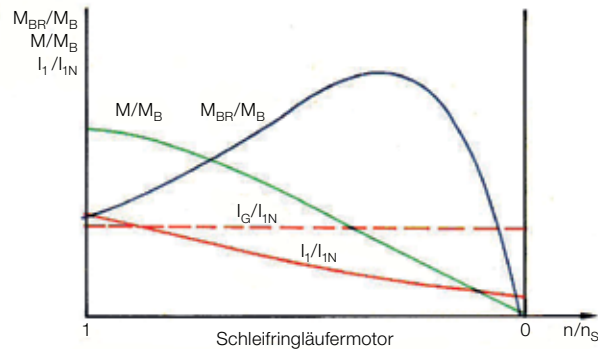


Bild 33: Kennlinien bei Gleichstrombremsung eines Schleifringläufermotors

Die Bremskennlinie kann aus den Motorkennlinien $M = f(n)$ und $I_1 = f(n)$ punktweise konstruiert werden. Das Bremsmoment ergibt sich zu:

$$M_{Br} = M \left(\frac{K \cdot I_G}{I_1} \right)^2$$

mit M = Motordrehmoment
 K = Faktor der Bremsschaltung
 I_1 = Motorstrom

Beim Schleifringläufermotor lassen sich durch Einschalten von Zusatzwiderständen in den Läuferkreis größere mittlere Bremsmomente erzielen als beim Käfigläufermotor.

Die Bremswirkung setzt sanfter als bei der Gegenstrombremsung ein, Stöße auf Getriebe bzw. Kupplung werden vermieden, ein Anlauf in Gegenrichtung erfolgt nicht. Eventuell ist gegen Ende des Bremsvorganges eine mechanische Zusatzbremsung erforderlich. Ob die Bremsung bei Gleichstrom besser als bei Gegenstrom ist, kann nur im speziellen Fall entschieden werden. Thermisch ist sie ohne Zweifel günstiger, da die entstehenden Verluste etwa denen eines Anlaufes entsprechen. Bei Gleichstrombremsung in Verbindung mit Betriebsart S5 ist bei der Projektierung Punkt 8.3. zu beachten.

13.3. Drehzahlsteuerung

Steuerung durch Zusatzwiderstände im Läuferkreis
 Drehzahlgesteuerte Schleifringläufermotoren können vorzugsweise für die Stellbereiche 25 %, 50 % und 75 % bei einem Gegenmoment von $M_g = \text{konstant}$, $M_g = \text{linear fallend}$ und $M_g = \text{quadratisch fallend}$ geliefert werden. Durch den schlechteren Wirkungsgrad sowie durch verminderte

Belüftung sind bei Drehzahlen unterhalb der Bemessungsdrehzahl die listenmäßigen Leistungen nicht in jedem Falle einzuhalten. Die erforderlichen Reduzierungen der Standardleistung in Abhängigkeit von den genannten Parametern können nachfolgender Tabelle entnommen werden.

Drehzahlverminderung in %	Leistungsverminderung in % der Standardleistung bei einem Gegenmomentverlauf (bezogen auf ungestellten Betrieb)		
	konstant	linear fallend	quadratisch fallend
25	10	0	0
50	20–25	10	0
75	45–50	25–30	0

Die Drehzahlstellung mit einer Leistungsreduzierung bis zu 10 % kann mit Schleifringläufermotoren in Grundausführung erfolgen. Motoren, die mehr als 10 % in der Leistung zurückgesetzt werden müssen, erhalten eine Sonderauslegung und sind speziell hierfür zu bestellen.

Der für den Stellbereich erforderliche Läuferzusatzwiderstand ist unter Beachtung von Bild 34 nach folgender Beziehung zu bestimmen:

$$R_V = \left(\frac{s_r}{s} - 1 \right) \cdot R_2$$

mit s_r = Schlupf bei Stellbereich
 s = Schlupf für ungestellten Betrieb

für Motoren mit Standardauslegung und -leistung

$$s = s_B = \frac{n_s - n_B}{n_s}$$

für Motoren mit Standardauslegung und herabgesetzter Leistung

$$s = s_B = \frac{M}{M_B}$$

In den meisten Fällen kann mit genügender Genauigkeit $s = s_B$ gesetzt werden.

für Motoren mit Sonderauslegung und herabgesetzter Leistung

$$s = s_{Bh} = \frac{n_s - n_{Bh}}{n_s}$$

mit s_B = Bemessungsschlupf
 n_s = Synchrondrehzahl
 n_B = Bemessungsdrehzahl (aus technischer Information)
 M = Drehmoment
 M_B = Bemessungsdrehmoment
 s_{Bh} = Bemessungsschlupf bei herabgesetzter Leistung und Sonderauslegung
 n_{Bh} = Bemessungsdrehzahl bei herabgesetzter Leistung (Leistungsschild entnehmen oder Rückfrage erforderlich)
 R_2 = Wirkwiderstand der Läuferwicklung (bei Standardauslegung siehe technische Information, bei Sonderauslegung Rückfrage)
 $R_{2\text{betriebswarm}} \approx 1,3 \cdot R_2$

In Bild 35 werden als Beispiel die Kennlinien eines 6-poligen Schleifringläufermotors bei 25 % Drehzahlstellung und einem linear fallenden Drehmoment angegeben.

Eine moderne Sonderausführung der Drehzahlstellung mit Läuferzusatzwiderständen stellt die leistungselektronische Steuerung durch gepulsten Läuferwiderstand dar. Die prinzipielle Schaltung einer solchen Steuerung wird in Bild 36 angegeben. Die Änderung der Motordrehzahl erfolgt hier durch periodisches Kurzschließen des Läuferzusatzwiderstandes, was mit einer kontinuierlichen Änderung der Größe dieses Widerstandes gleichzusetzen ist.

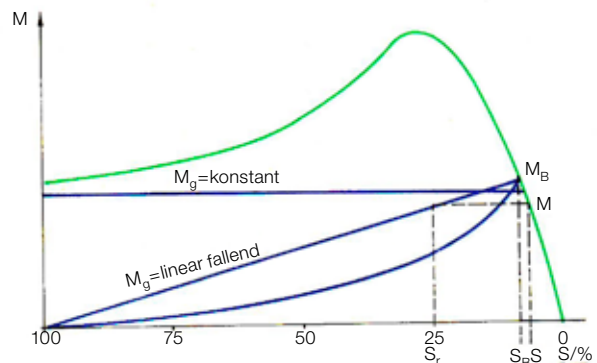


Bild 34: Charakteristische Drehmomentverläufe bei Schleifringläufermotoren für Drehzahlsteuerung

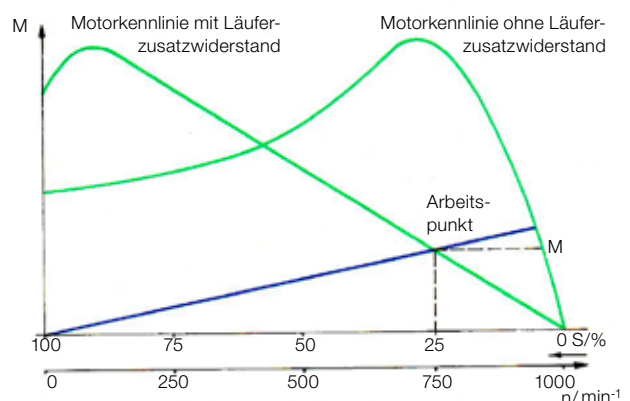


Bild 35: Beispiel einer Motorcharakteristik bei Steuerung durch Läuferzusatzwiderstand

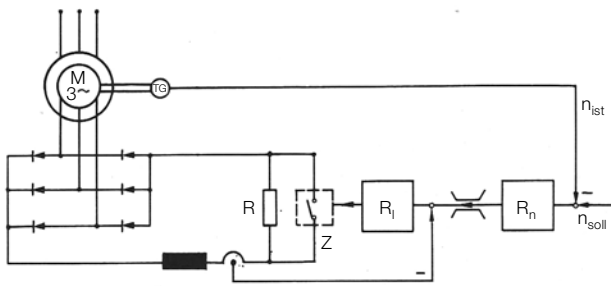


Bild 36: Regelung der Motordrehzahl durch gepulsten Läuferzusatzwiderstand

Durch entsprechende Regelung (Drehzahlregelung mit unterlagerter Zweipunktstromregelung) kann jeder Arbeitspunkt zwischen den Grenzkennlinien für ständig kurzgeschlossenen und ständig eingeschalteten Zusatzwiderstand eingestellt werden. Der relativ hohe Aufwand ist nur dort gerechtfertigt, wo eine anspruchsvolle Technologie hohe Drehzahlkonstanz verlangt.

Steuerung durch Läuferzusatzspannungen

Die Drehzahl eines Schleifringläufermotors kann bei veränderlicher Belastung dadurch beliebig nach unten oder oben verschoben werden, indem man den Schleifringen

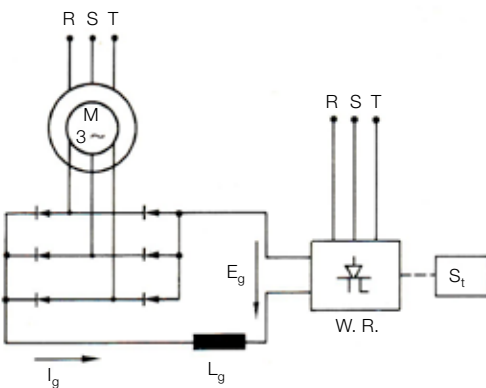


Bild 37: Prinzipschaltung der unsynchronen Stromrichter-kaskade

von außen her eine Spannung mit Schlupffrequenz zuführt, die in Phase bzw. in Gegenphase zur Läufer Spannung liegt. Dieses Prinzip ist für elektrische Maschinen seit Langem bekannt und wird z. B. praktisch ausgeführt im Drehstromnebenschlussmotor, der die erforderliche Läuferzusatzspannung über einen Kommutator selbst erzeugt.

Beschränkt man die Drehzahlsteuerung auf den unsynchronen Bereich, sind wesentliche Vereinfachungen möglich. Es ist ausreichend, dem Läufer Energie zu entziehen. Die frequenzabhängige Läufer Spannung kann z. B. über ein leistungselektronisches Gerät mit Gleichstromzwischenkreis zur Verfügung gestellt werden. Durch dieses Gerät wird die Läuferenergie über einen netzgeführten Wechselrichter in das Netz zurückgespeist. Die prinzipielle Schaltung einer solchen Anordnung ist in Bild 37 angegeben.

Die prinzipiellen Belastungskennlinien der vorgenannten unsynchronen Stromrichter-kaskade sind in Bild 38 dargestellt. Das Drehzahl-Drehmomentverhalten ist charakterisiert durch parallel verschobene Kennlinien, wobei praktisch nur auf dem geradlinigen Teil gefahren wird.

Bei der Projektierung drehzahlgestellter Antriebe wird in den meisten Fällen eine entsprechende Konsultation unter möglichst genauer Angabe aller den Antrieb bestimmenden Daten mit dem Hersteller erforderlich sein.

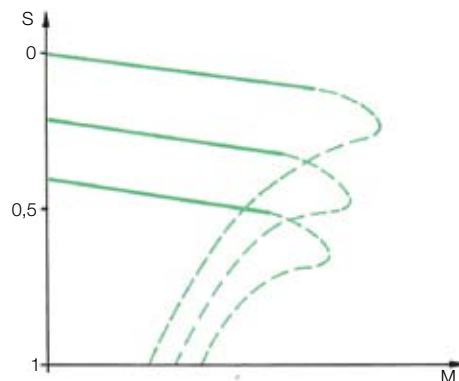


Bild 38: Belastungskennlinie der unsynchronen Stromrichter-kaskade

13.4. Betrieb von Schleifringläufermotoren mit geringer Belastung

Wird ein Schleifringläufermotor mit einer Belastung von weniger als 70 % über einen längeren Zeitraum betrieben, muss eventuell mit einem erhöhten Bürstenverschleiß gerechnet werden. Deshalb sind Schleifringläufermotoren so zu projektieren, dass sie möglichst nicht mit einer Belas-

tung von weniger als 70 % der Bemessungsleistung über einen längeren Zeitraum betrieben werden. In Ausnahmefällen sind Vereinbarungen mit dem Hersteller zu treffen. Dabei sind das Arbeitsspiel und die Einsatzbedingungen anzugeben. Eventuell sind Erprobungen notwendig.

13.5. Elektrische Welle

Bei räumlich ausgedehnten Anlagen, zum Supportantrieb von Drehbänken, bei Verladebrücken usw. besteht die Aufgabe, getrennte Teilantriebe im Gleichlauf zu halten. Eine mechanische Verbindungswelle ist wegen der konstruktiven Gegebenheiten vielfach nicht ausführbar. Sie wird durch eine sogenannte elektrische Welle ersetzt.

Diese entsteht durch ständer- und läuferseitiges gleichphasiges Zusammenschalten zweier oder auch mehrerer Schleifringläufermotoren. Je nach Anforderungen bezüglich der Leistungsübertragung, Winkelherstellung usw. sind zwei Anordnungen gebräuchlich, die als Arbeitswelle (Bild 39) und Ausgleichswelle (Bild 40) bezeichnet werden.

Für die richtige Projektierung einer elektrischen Gleichlauf-einrichtung ist eine möglichst genaue Kenntnis der gesamten Anlage und vor allem der mit der elektrischen Welle zusammenwirkenden Elemente des Antriebes erforderlich. Dieser Gesamtüberblick ist für die Beurteilung der dynamischen Stabilität unerlässlich.

Die elektrische Welle stellt eine elastische Verbindung zwischen den Maschinengruppen dar, deren Drehmassen auf diese Weise wie durch Torsionsfedern gekuppelt sind und daher Drehschwingungen ausführen können.

Eine Überprüfung der dynamischen Verhältnisse ist unerlässlich, da bei Auftreten von Resonanzen oder bei ungenügender Dämpfung von gegenseitigen Schwingungen der Antriebsgruppen ein einwandfreier Betrieb der Gleichlauf-anordnung nicht mehr gewährleistet ist.

Es gibt eine Reihe von Schaltungsmöglichkeiten für elektrische Wellen mit verschiedenen stationären und dynamischen Eigenschaften, die aus der Fachliteratur zu ersehen sind.

Dynamische Störanfälligkeit ist nicht nur auf die elektrische Welle zurückzuführen, sondern kann sich aus Resonanzerscheinungen des Gesamtsystems ergeben. Durch konstruktive Veränderungen z. B. gezieltes Anbringen von Schwungmassen, kann die Störanfälligkeit eventuell behoben werden. Um aus dem vorhandenen Typenprogramm für Schleifringläufermotoren geeignete Wellenmaschinen auswählen zu können, sind bei Bestellung folgende zusätzliche Angaben zu machen:

- Beschreibung der gesamten Anlage nach Art, Aufbau, Wirkungsweise und Betriebsbedingungen, soweit die elektrische Welle damit in Beziehung steht
- Beschreibung des Arbeitsspiels mit Angabe der maximal kurzzeitig oder dauernd von der elektrischen Welle zu übertragenden Drehmomente mit den zugehörigen Drehzahlen einschließlich eventuell vorhandener Ungleichförmigkeiten im Drehmoment
- Angaben über die Art des Hauptantriebsmotors, insbesondere über dessen Hochlaufeigenschaften und die Geschwindigkeit der Drehzahlregelung
- maximal zuverlässige Verdrehungswinkel zwischen Geber und Empfänger
- Angabe zur Art der Synchronisierung (Stillstand oder Lauf)
- Größe der mit den Wellenmaschinen bei den verschiedenen Betriebszuständen gekuppelten Drehmassen.

Bei eigener Vorauswahl sollten noch folgende Hinweise beachtet werden:

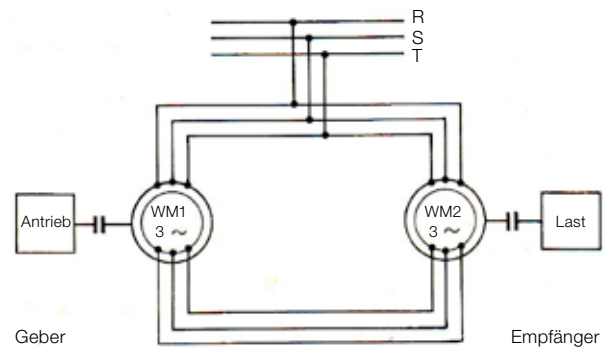


Bild 39: Elektrische Welle

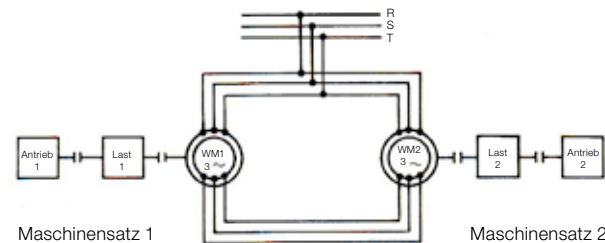


Bild 40: Elektrische Ausgleichswelle

Für die Drehrichtung zieht man bei Ausgleichswellen vorzugsweise den Lauf gegen das Drehfeld vor, da sich hierbei die beste Typenausnutzung ergibt. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die dynamische Stabilität der Anlage gewährleistet bleibt. Aus diesem Grunde wird unter Umständen der Betrieb mit dem Drehfeld vorgezogen, wenn die äußere Dämpfung sehr klein ist und keine andere Stabilisierungsmöglichkeit als die Verwendung von Dämpfungswiderständen möglich ist. Für elektrische Arbeitswellen ist der Lauf im Sinne des Drehfeldes vorzuziehen. Nur in Sonderfällen, wenn sehr hohe Drehzahlen bis zu synchronen und darüber hinaus vorkommen, oder bei Reversierbetrieb, wo eine Drehfeldumkehr im Stillstand nicht möglich ist, werden auch Arbeitswellen bei Lauf entgegen der Drehfeldrichtung betrieben.

Wenn die elektrische Welle gegen das Drehfeld betrieben wird, erreichen die Läuferfrequenzen und die Läuferspannung Werte, die sonst im Normalbetrieb nicht vorkommen. Dadurch entstehen im Läufer höhere Eisenverluste als üblich. Besondere Beachtung erfordern in jedem Fall die Erwärmungsverhältnisse der Wellenmaschinen. Normale Schleifringläufermotoren haben normalerweise Eigenbelüftung, deren Intensität natürlich mit sinkender Drehzahl stark abnimmt. Bei niedrigen Drehzahlen sind die abführbaren Verluste wesentlich kleiner als im Normalbetrieb. Die zulässige Belastung muss aus diesem Grund oft stark eingeschränkt werden. Bei der Projektierung von Gleichlaufschaltungen jeglicher Art ist es ratsam, den Hersteller zu konsultieren. In vielen Fällen wird die Erprobung unumgänglich sein.

Die hier dargestellten Projektierungs- und Anwendungshinweise erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie sollen dem Nutzer helfen, Antriebsprobleme zu verstehen und mit Sachverstand eine zum Antriebsfall passende Vorauswahl des Drehstrom-Elektromotors zu treffen. Alle Ausführungen wurden mit größter Sorgfalt erstellt und geprüft. Für eventuell auftretende Fehler oder Unstimmigkeiten können wir jedoch keine Haftung übernehmen.

Wo immer unsere Kunden Bedarf an elektrischen Maschinen haben, stehen wir als Partner zur Seite und unterstützen und begleiten ihre Vorhaben. Dabei ist es gleich, ob Sie sich in Europa, im Nahen und Mittleren Osten, in Afrika oder Asien, in Amerika oder Australien engagieren. Um dem wachsenden Marktanteil von VEM außerhalb Deutschlands gerecht zu werden, bauen wir unser Vertriebsnetz durch eigene Gesellschaften und strategische Allianzen weiter aus. Bereits heute finden unsere Kunden rund um den Globus fachkundige und erfahrene Ansprechpartner in ihrer Nähe, die sich ihrer Wünsche annehmen. Dafür stehen die VEM-Tochterunternehmen in Finnland, Großbritannien, Norwegen, Österreich und Singapur ebenso zur Verfügung wie ein dichtes Vertriebs- und Servicenetz mit Vertretungen in mehr als 40 Ländern.

VEM Holding GmbH

Pirnaer Landstraße 176
01257 Dresden
Deutschland

VEM Vertrieb

Fachbereich Niederspannung

Tel. +49 3943 68-3127
Fax +49 3943 68-2440
E-Mail: niederspannung@vem-group.com

Fachbereich Hochspannung

Tel. +49 351 208-3237
Fax +49 351 208-1108
E-Mail: hochspannung@vem-group.com

Fachbereich Antriebssysteme

Tel. +49 351 208-1180
Fax +49 351 208-1185
E-Mail: antriebssysteme@vem-group.com

VEM Kundendienst

Tel. +49 351 208-3237
Fax +49 351 208-1108
E-Mail: service@vem-group.com



Ausführliche Informationen
finden Sie auf unserer Homepage.

www.vem-group.com