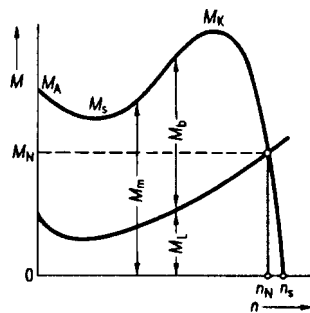
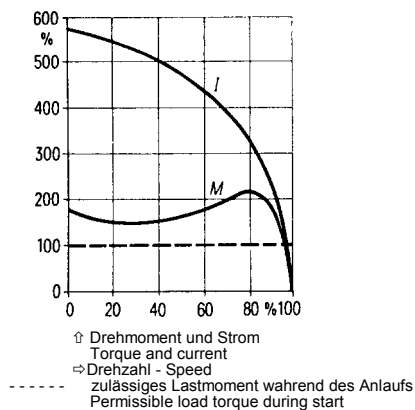


Drehmomentenkennlinie

Das von einem Drehstrommotor an seiner Welle entwickelte Drehmoment ist im Drehzahlbereich von $n = 0$ bis $n = n_s$ in seiner Größe sehr unterschiedlich. Den charakteristischen Verlauf des Drehmomentes über der Drehzahl eines Drehstrommotors mit Käfigläufer (KL) zeigt das Diagramm.



Die Werte für Anzugs- und Kippmoment sowie für den Anzugsstrom eines bestimmten Motors können dem jeweiligen Katalog entnommen werden.



Momentenverlauf für direktes Einschalten Torque characteristic for direct start

Wichtig ist, daß das Anzugsmoment genügend hoch über dem Losbrechmoment der Arbeitsmaschine und das Motormoment während des Anlaufes bis zur Betriebsdrehzahl stets über dem Lastmoment liegen.

Das Nennmoment läßt sich wie folgt errechnen:

$$M_N = 9,55 \cdot P_N \cdot \frac{1000}{n_N}$$

M_N Nennmoment in Nm
 n_N Nenndrehzahl in min^{-1}
 P_N Nennleistung in kW

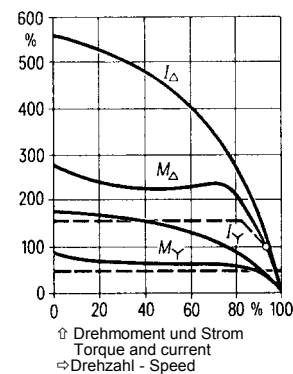
Die Nenndrehzahl des Motors unterscheidet sich durch den Nennschlupf S_N von der synchronen Drehzahl.

Characteristic torque curve

The torque that an AC motor develops at its shaft varies considerably over the speed range from $n = 0$ to $n = n_s$. The characteristic torque curve for an AC-motor is shown in the figure.

M_N	Nennmoment	Rated torque
M_m	Motormoment	Motor torque
M_L	Lastmoment	Operating torque
M_O	Beschleunigungs- moment	Acceleration torque
M_A	Anzugsmoment	Starting torque
M_K	Kippmoment	Overload torque
M_s	Sattelmoment	Saddle torque
n_N	Nenndrehzahl	Rated speed
n_s	Synchrone Drehzahl	Synchron speed

The value for the starting torque and the overload torque for a motor can be found in the motor manufacturers catalogues.



Momentenverlauf für direktes Einschalten und Sterndreieck-Anlauf

Torque characteristic for direct and star-delta start

It is important, that the starting torque is sufficiently higher than the starting torque of the fan and that the motor torque during the start up to the operating speed is above the load moment.

The rated torque can be calculated as follows:

M_N Rated torque in Nm
 n_N Rated speed in min^{-1}
 P_N Rated Power in KW

The rated speed of the motor differs from the synchron speed with the rated slip of the motor S_N .

Es ist

It is defined as:

$$S_N = \frac{n_s - n_N}{n_s} \cdot 100$$

S_N Nennschlupf in %
 n_s synchrone Drehzahl in min^{-1}

S_N Rated slippage in %
 n_s Synchron Speed in min^{-1}

Berechnung der Anlaufzeit bei Direkteinschaltung

Mit dem mittleren Beschleunigungsmoment kann die Anlaufzeit von $n = 0$ auf $n = n_o$ angenähert bestimmt werden:

Calculation of starting for direct starting

With a median acceleration torque the starting time from $n = 0$ to $n = n_o$ is approximately:

$$t_a = \frac{\Sigma J \cdot n_o}{9,55 \cdot M_{b m}}$$

t_a Anlaufzeit in Sekunden
 J Gesamtträgheitsmoment in kgm^2
 n_o Betriebsdrehzahl in min^{-1}
 $M_{b m}$ mittleres Beschleunigungsmoment in Nm

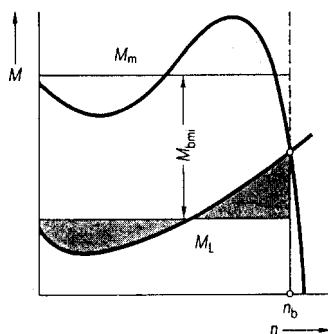
t_a Start up time in seconds
 J Total moment of inertia in kgm^2
 n_o Operating speed in min^{-1}
 $M_{b m}$ Median acceleration torque in Nm

Eine einfache Methode zur relativ genauen Bestimmung des mittleren Beschleunigungsmoments zeigt die Abbildung, wo das Beschleunigungsmoment grafisch ermittelt wird.

The median acceleration torque can relatively easily be quantified graphically as shown in the figure below.

Das Gesamtträgheitsmoment setzt sich zusammen aus Motorträgheitsmoment plus Trägheitsmoment von Laufrad und Kupplung bzw. Riemenscheiben, umgerechnet auf die Drehzahl der Motorwelle.

The total moment of inertia is the combination of the moment of inertia of the motor, the impeller and couplings, v-belt drives etc. calculated at the speed of the motor shaft.



M_m Motormoment Motor torque
 M_L Lastmoment Operating (load) torque
 $M_{b m}$ Mittleres Beschleunigungsmoment Median acceleration torque
 n_b Betriebsdrehzahl Operating speed

Bestimmung des mittleren Beschleunigungsmomentes Quantification of median acceleration torque

Kann wegen großen Trägheitsmomentes und/oder hohen Lastmomentes kein einwandfreier Anlauf erreicht werden, so kann ein Sonderläufer (Widerstandsläufer) oder ein größerer Motor, der dann aber bei Normalbelastung schlecht ausgenutzt ist, gewählt werden. Weitere Möglichkeiten sind ein Drehstrommotor mit Schleifringläufer und Anlasser oder ein statischer Frequenzumformer; diese können auch mit Rücksicht auf die Stromversorgung erforderlich sein. Eine mechanische Lösung zur Bewältigung des Schweranlaufes ist die Verwendung einer Anlaufkupplung, deren Einsatzbegrenzung in ihrer Wärmeaufnahmefähigkeit liegt.

If due to high moment of inertia or load torque a problem free start cannot be achieved, a larger motor with inadequate efficiency at operating speed or a motor with a special rotor be used. In addition a slipping AC-motor with a starting motor, a frequency converter or a soft start be used. This can also become necessary due to restriction in the power supply. A mechanical solution to overcome the high moments of inertia is the use of a start-up coupling. It's use is limited to it heat absorption capacity.

Anlaßverfahren bei Drehstrommotoren mit Käfigläufer

Drehstrommotoren mit Käfigläufer sollen möglichst direkt eingeschaltet werden.

Sterndreieck-Anlauf von Motoren mit Käfigläufer ist anzuwenden, wenn kleine Anzugsströme (z. B. in den Anschlußbedingungen des Elektrizitätswerkes) oder besonders niedriges Motormoment (Sanftanlauf) verlangt werden. Anzugsmoment, Kippmoment und alle anderen Momentenwerte sowie der Anzugsstrom betragen 25 bis 30 % der Werte bei direkter Einschaltung.

Das Motormoment muß während des Anlaufes in der Y-Stufe genügend weit über dem Lastmoment liegen. Die Umschaltung von Stern auf Dreieck darf erst in der Nähe der Betriebsdrehzahl erfolgen.

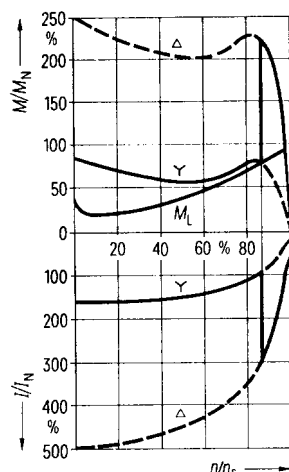
Das linke Diagramm zeigt einen Fall, in dem Sterndreieck-Anlauf nicht zweckmäßig ist, da durch das zu hohe Lastmoment die vorzeitige Umschaltung einen hohen Momenten- und Stromstoß zur Folge hat, der das Sterndreieck-Einschalten zwecklos macht.

Für größere Motoren bietet sich der mehrstufige Sterndreieck-Anlauf an, bei dem durch Wicklungsanzapfungen noch zwei Zwischenstufen zwischen Stern und Dreieck möglich sind.

Mittels Anlaßtransformator oder Anlaßwiderständen kann die Momentenkurve etwa mit dem Quadrat und die Stromkurve etwa linear mit der Spannung gesenkt werden.

Am Umrichter kann ein Anlauf mit Nennstrom erfolgen.

Sanftanlauf kann auch mit einem elektronischen Motorstarter verwirklicht werden, der das Drehmoment und den Strom während des Hochlaufs begrenzt.



Ungünstiger Sterndreieck-Anlauf
unfavourable star-delta start

Start up procedure for AC-motors

AC-motors should if possible be started directly on-line.

Star-delta start of motors is to be used if small starting currents (e. g. due to restrictions in the power supply) or a low motor torque is required. Starting torque, overload torque and all other torque's are 25 - 30 % of the directly value when starting.

The motor torque during start-up in the star-phase must be sufficiently high over the load torque. The switching to the delta-phase may only be done when close to the operating speed.

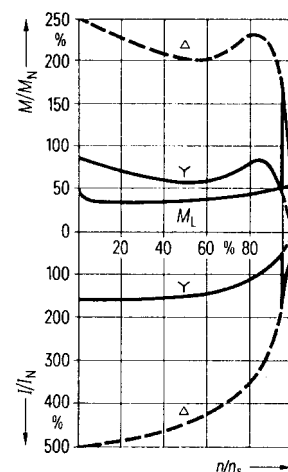
The left diagram shows the case when a star-delta start is not recommended. The high load torque will result in a high current and torque surge, which negates the purpose of a star-delta start.

For larger motors a multiple stage star-delta start can be used, where by multiple winding extraction's two intermediate steps between star and delta is possible.

By using starting transformers or starting resistance's the torque curve can be reduced by the square root and the current linear to the motor voltage.

On a frequency converter the start can be done at the operating current.

Soft start can also be achieved by using an electronic motor starter that limits the torque and the current during start-up.



Richtiger Sterndreieck-Anlauf
Correct star-delta start