

Kennlinie einer Gleichstrommaschine

White Paper

Gleichstrommotoren begegnen uns heute in vielen Lebenslagen, z.B. im Auto als Fensterheber oder als Aktuator im Schiebedach, im Haus als Türöffner in Schiebe- oder Drehtüren, usw. In Prüfständen, sowohl für die End-of-line- als auch für die entwicklungsbegleitende Prüfung, wird als Qualitätskriterium im Allgemeinen die Kennlinie des Prüflings definiert.

Die Kennlinie ist definiert als Drehzahl- und Stromverlauf über dem Verlauf des Drehmoments. Sie gibt Auskunft über das Drehzahlverhalten des Motors und die aufgenommene elektrische Leistung bei unterschiedlichen Lastfällen. In Sonderfällen werden auch nur einzelne Punkte der Kennlinie zur Verifikation der Qualität herangezogen. Die Parameter eines elektrischen Motors bestimmen die Kennlinie.

Im Folgenden wird die Abhängigkeit der Kennlinie von den Parametern eines Gleichstrommotors dargestellt. Obwohl in modernen Prüfsystemen die Kenntnis dieser Abhängigkeiten in der Regel nicht mehr notwendig ist, können die Zusammenhänge zur Verifikation und zum Verständnis von Messwerten genutzt werden.

Modellbildung zum Gleichstrommotor

Modelle sind vom Menschen kreativ geschaffene Nachbildungen von realen physikalischen Vorgängen. Sie dienen dazu komplexe, nicht bekannte Vorgänge in vereinfachte bekannte Vorgänge umzuwandeln. Eine einfache und weitverbreitete Form der Modellbildung ist die Darstellung in einer mathematischen Form. Die einfachste hierbei auftretende Form ist die Verknüpfung zweier Größen durch einen Proportionalitätsfaktor. Ein ohmscher Widerstand ist beispielsweise ein Modell, um die beiden physikalischen Größen Strom und Spannung miteinander in Verbindung zu bringen. Diese lineare Gleichung ist das Ergebnis einer Modellbildung. In der Realität können viele Vorgänge durch solche Modelle beschrieben werden. Diese Modelle können soweit ausgebaut werden, bis eine ausreichende Modellbildung für die Beschreibung eines beobachteten Vorganges gefunden wurde. Das Modell zum Gleichstrommotor [2] ist schon seit über 100 Jahren bekannt und kann mit Hilfe der folgenden Darstellung beschrieben werden.

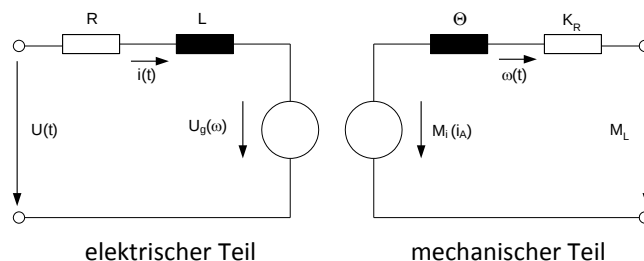


Abb. 1:
Ersatzschaltbild des dynamischen Verhaltens einer Gleichstrommaschine

Das Modell beschreibt die Verbindung des elektrischen mit dem mechanischen Teil von der Klemmspannung bis zum abgegebenen Moment. Die Drehzahl des mechanischen Kreises induziert eine drehzahlabhängige Gegenspannung im elektrischen Kreis. Der Strom des elektrischen Teils erzeugt ein inneres Moment in dem mechanischen Kreis. Dies kann als eine Momenten Quelle angesehen werden. Dieses erzeugte innere Moment wird durch das Beschleunigungsmoment und das drehzahlabhängige Reibmoment reduziert und ergibt das Lastmoment, welches an der Welle abgenommen wird. Zusätzlich wird das Modell erweitert durch die Annahme, dass sich das Lastmoment aus dem abgegebenen Moment und dem drehzahlunabhängigen Reibmoment des Motors zusammensetzt.

Das dynamische Verhalten einer Gleichstrommaschine

Für eine Gleichstrommaschine mit konstantem Magnetischen Fluss ϕ und bei konstanter Temperatur gilt:

für den elektrischen Teil:

$$u(t) = R \cdot i_A(t) + L \cdot \frac{di_A(t)}{dt} + U_g(\omega) \quad (1)$$

$$\text{mit} \quad U_g(\omega) = k \cdot \omega(t) \quad (2)$$

und für den mechanischen Teil

$$M_i(i_A) = \Theta \frac{d\omega}{dt} + K_R \cdot \omega + M_R + M_L \quad (3)$$

$$\text{mit} \quad M_i(i_A) = k \cdot i_A(t) \quad (4)$$

Die Verbindung zwischen mechanischem und elektrischem Kreis wird über den Kopplungsfaktor k hergestellt. Er setzt sich aus der Maschinenkonstante c_1 und dem magnetischen Fluss ϕ in dem Motor zusammen. Da der betrachtete Motor durch einen Dauermagneten erregt wird, kann der magnetische Fluss als konstant angenommen werden. Da somit beide Größen für einen Motor konstant sind, kann auch k als konstant angenommen werden.

Folglich gilt: $k = c_1 \cdot \phi$

Durch Einsetzen von (2) in (1) erhält man:

$$u(t) = R \cdot i_A(t) + L \cdot \frac{di_A(t)}{dt} + k \cdot \omega(t) \quad (5)$$

und (4) in (3) erhält man:

$$k \cdot i_A(t) = \Theta \frac{d\omega}{dt} + K_R \cdot \omega + M_R + M_L \quad (6)$$

Zur Überprüfung der Gleichungen wird nun eine Energiebetrachtung durchgeführt.

Hierzu wird die Gleichung(5) mit $i(t)$ multipliziert und über ein unbestimmtes Intervall integriert.

$$\int u(t) \cdot i_A(t) dt = R \int i_A(t)^2 dt + L \int i_A(t) \frac{di_A(t)}{dt} dt + k \int \omega(t) \cdot i_A(t) dt \quad (7)$$

Der erste Term der Gleichung (7) entspricht der zugeführten elektrischen Energie $E_{\text{zugeführt}}$. Der zweite Term entspricht den Verlusten des elektrischen Kreises $E_{\text{elektrische Verluste}}$. Dies sind in erster Linie Stromwärmeverluste in den Wicklungen und Übergangswiderstände an den Kohlebürsten. Der dritte Term entspricht der in der Induktivität gespeicherten Energie $E_{\text{gespeichert im Magnetfeld}}$.

Der letzte Term stellt die auf den mechanischen Kreis übertragene Energie dar $E_{\text{übertragen}}$.

Die Gleichung (6) wird mit ω multipliziert und über ein unbestimmtes Intervall auf integriert.

$$k \int i_A(t) \cdot \omega(t) dt = \Theta \int \frac{d\omega}{dt} \cdot \omega dt + K_R \int \omega^2 dt + \int M_R \cdot \omega dt + \int M_L \cdot \omega dt \quad (8)$$

Der erste Term entspricht der Energie, die vom elektrischen Kreis auf den mechanischen Kreis übertragen wird $E_{\text{übertragen}}$, der zweite Term der in der Rotation gespeicherten Energie $E_{\text{gespeichert in der Rotation}}$ und der dritte und vierte Term stellen die drehzahlabhängigen und drehzahlunabhängigen Reibungsverluste $E_{\text{Reibungsverluste}}$ dar. Der letzte Term entspricht der abgegebenen Energie $E_{\text{abgegeben}}$.

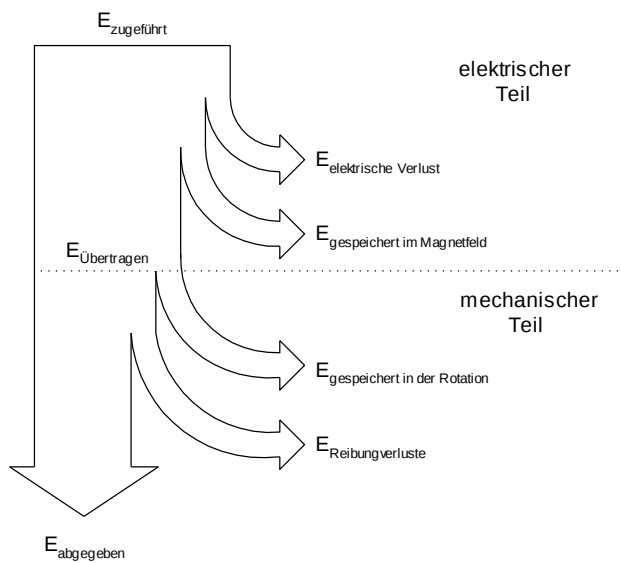


Abb. 2: Energiebetrachtung zum Gleichstrommotor

In der Abbildung 1-2 wird der genaue energetische Übergang zwischen elektrischem und mechanischem Kreis ersichtlich. In beiden Kreisen gibt es sowohl Verluste und als auch gespeicherte Energien. Die gespeicherten Energien sind insbesondere bei Übergangsvorgängen von einem stationären Arbeitspunkt in einen anderen zu beachten. Hierbei treten elektromechanische Ausgleichsvorgänge auf.

Durch das Abschalten eines Motors wird beispielsweise die gespeicherte Bewegungsenergie durch die Last einerseits und durch die inneren Verluste der Maschine andererseits abgebaut. Das führt zu einer langsamen Abnahme der Drehzahl.

Das stationäre Verhalten einer Gleichstrommaschine

Nach jedem dynamischen Belastungsstoß stellt sich ein neuer stationärer Arbeitspunkt nach einer gewissen Übergangszeit ein. Bei konstanter Last und konstanter Spannung stellt sich, in einem zeitlichen Abstand von den elektrischen und mechanischen Ausgleichsvorgängen, ein stationärer Betriebspunkt ein. Hierbei haben die veränderlichen Größen keinen Einfluss mehr.

Dadurch erhält man aus Gleichung (5) und (6) folgende Gleichungen:

$$U = R \cdot I_A + k \cdot \Omega \quad (9)$$

und

$$k \cdot I_A = K_R \cdot \Omega + M_R + M_L \quad (10)$$

Gleichung (9) nach Ω (Drehzahl) umformen

$$\Omega = \frac{U - (R \cdot I_A)}{k} \quad (11)$$

Gleichung (10) nach M_L (abgegebenes Drehmoment) umgeformt

$$M_L = k \cdot I_A - K_R \cdot \Omega - M_R \quad (12)$$

Gleichung (9) nach I_A umgestellt ergibt:

$$I_A = \frac{U - (\Omega \cdot k)}{R} \quad (13)$$

Bestimmung der

Drehzahl-Drehmomenten Beziehung

Wenn man Gleichung (13) in Gleichung (12) einsetzt, ergibt sich die allgemeine Drehzahl-Drehmomenten Beziehung.

$n = f(M_L)$

$$n = \frac{30}{\pi} \cdot \left(\frac{-R}{k^2 + K_R \cdot R} M_L + \frac{k \cdot U - M_R \cdot R}{k^2 + K_R \cdot R} \right) \quad (14)$$

Die Drehzahl-Drehmomenten Kennlinie ist eine lineare Gleichung der Form $y = m x + b$, wobei m der Anstieg ist und b der Ausgangspunkt bei $x = 0$ (Offset).

Bestimmung der

Strom-Drehmomenten Beziehung

Das Einsetzen der Gleichung (11) in Gleichung (12), ergibt die allgemeine Strom-Drehmomenten Beziehung. $I_A = f(M_L)$

$$I_A = \frac{k}{k^2 + K_R \cdot R} \cdot M_L + \frac{k \cdot M_R + K_R \cdot U}{k^2 + K_R \cdot R} \quad (15)$$

Die Ankerstrom Drehmomenten Kennlinie ist eine lineare Gleichung der Form $y = m x + b$, wobei m der Anstieg ist und b der Ausgangspunkt bei $x = 0$ (Offset).

Bestimmung der abgegebenen

Leistung-Drehmomenten Beziehung

Die abgegebene Leistung entspricht der an der Welle abgenommenen mechanischen Leistung. Sie ergibt sich aus dem Produkt des Lastmoments das mit der Winkelgeschwindigkeit Ω multipliziert wird.

Die abgegebenen Leistung-Drehmomenten-Kennlinie $P_{\text{mech}} = f(M_L)$ ergibt sich aus der Gleichung (14) multipliziert mit M_L

$$P_{\text{mech}} = \frac{-R}{k^2 + K_R \cdot R} \cdot M_L^2 + \frac{k \cdot U - M_R \cdot R}{k^2 + K_R \cdot R} \cdot M_L \quad (16)$$

Der Verlauf folgt einer Parabel zweiter Ordnung, die durch das negative Vorzeichen vor M_L^2 nach unten geöffnet ist.

Bestimmung der aufgenommenen Leistung-Drehmomenten Beziehung

Die aufgenommene elektrische Leistung als Funktion des Lastmoments ergibt sich aus Multiplikation der Gleichung (15) mit der Spannung U .

$$P_{\text{elekt}} = \frac{U \cdot k}{k^2 + K_R \cdot R} \cdot M_L + \frac{k \cdot M_R \cdot U + K_R \cdot U^2}{k^2 + K_R \cdot R} \quad (17)$$

Bestimmung der Wirkungsgrad-Drehmomenten Beziehung

Der Wirkungsgrad ist der Quotient aus der abgegebenen Leistung (16) zur aufgenommenen Leistung (17)

$$\eta = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{elekt}}} = \frac{k \cdot U - (M_L^2 + M_R)}{U \cdot (K_R \cdot U + k \cdot (M_L + M_R))} \quad (18)$$

Somit kann bei bekannten Koeffizienten die Motorkennlinie berechnet werden. Das PI-Verfahren ermittelt mit Hilfe dieser Gleichungen die Motorkennlinie. Bei den klassischen Verfahren können die gemessenen Größen direkt dargestellt werden. Der mathematische Hintergrund ist jedoch bei beiden identisch.

Variation der Prüfparameter

Die Parameter Spannung U , Ankerwiderstand R , Generatorkonstante k sowie die drehzahlabhängige und unabhängige Reibung K_R und M_R bestimmen den Verlauf der Motorkennlinie. Anhand eines Beispiels soll der Einfluss der einzelnen Parameter auf die Motorkennlinie verdeutlicht werden. Zur besseren Übersichtlichkeit beschränkt sich die Betrachtung der Motorkennlinie auf die Motordrehzahl und den Motorstrom des Prüflings. Der Wirkungsgrad und die mechanische Leistung werden nicht betrachtet, da diese sich aus den beiden anderen ergeben. Als Beispiel wurde ein Prüfling mit folgenden Parametern betrachtet.

Nennspannung	$U =$	24 V
Ankerwiderstand	$R =$	1.33 Ω
Generatorkonstante	$k =$	0.06 Vs
drehzahlabhängige Reibung	$K_R =$	3 10^{-5} Nms
drehzahlunabhängige Reibung	$M_R =$	1.5 Ncm

Aus den Gleichungen (14) und (15) ergeben sich folgende Verläufe für die Drehzahl bzw. den Strom in Abhängigkeit des Belastungsmoments.

Hinweis zu den Pfeilen in der Kennlinie:

Die Pfeile in den Kennlinien zeigen den Verlauf des Parameters, beginnend mit dem kleinsten Wert, an
(kleiner Wert $\Rightarrow$ großer Wert).

Variation der Prüfspannung

Die Nennspannung des Prüflings beträgt 24 Volt. Eine Reduzierung der Prüfspannung um jeweils 10% ergibt folgende Verläufe für die Motorkennlinien.

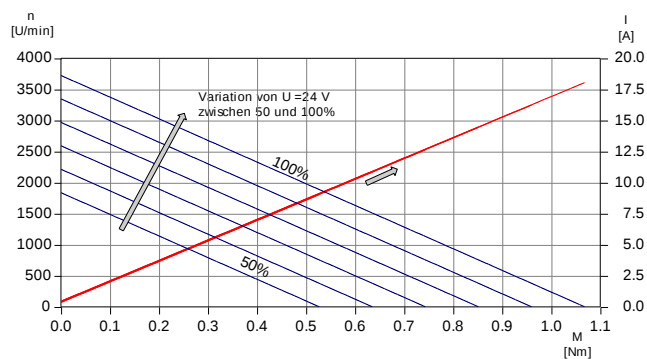


Abb. 3: Motorkennlinien bei Veränderung der Prüfspannung

Durch eine Herabsetzung der Prüfspannung um 10% ($24V \Rightarrow 21.6V$) nimmt sowohl das Anlaufmoment, der Anlaufstrom, als auch die Leerlaufdrehzahl näherungsweise um 10% ab. Oder anders gesagt, mit steigender Spannung steigen sowohl die Drehzahl, als auch das Anlaufmoment und der Anlaufstrom proportional an. Die Steigungen der einzelnen Geraden verändern sich nicht.

Variation des Ankerwiderstandes

Der Ankerwiderstand des Prüflings beträgt 1.33Ω . Eine Reduzierung um jeweils 10% ergibt folgende Verläufe für die Motorkennlinien.

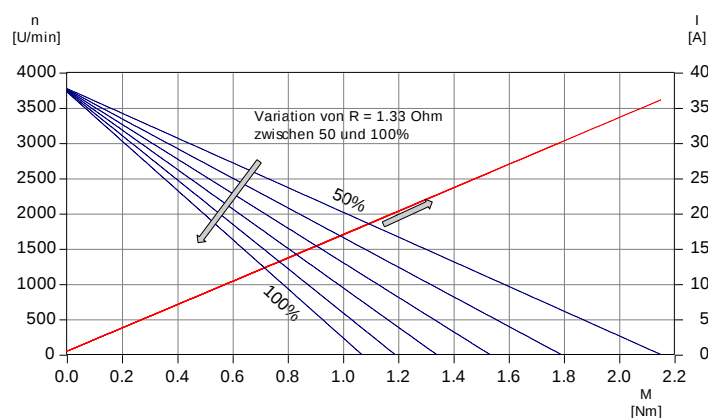


Abb. 4: Motorkennlinien bei Veränderung des Ankerwiderstands

Durch eine Herabsetzung des Ankerwiderstands um 10% ($1.33\Omega \Rightarrow 1.197\Omega$) steigt sowohl das Anlaufmoment als auch der Anlaufstrom, um 10% an.

Variation der Generatorkonstante

Die Generatorkonstante des Prüflings beträgt 0.06Vs. Eine Reduzierung um jeweils 10% ergibt folgende Verläufe für die Motorkennlinien.

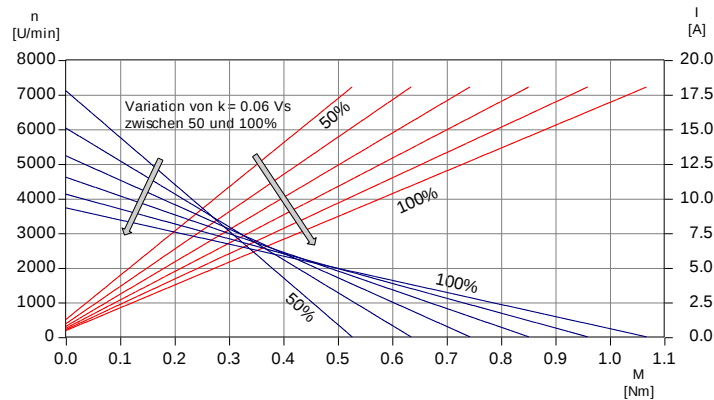


Abb. 5: Motorkennlinien bei Veränderung der Generatorkonstante

Durch eine Herabsetzung der Generatorkonstante um 10% ($0.06Vs \Rightarrow 0.054Vs$) steigt die Leerlaufdrehzahl um 10% und das Anlaufmoment fällt um 10% ab. Die Generatorkonstante k bestimmt die Steigung der Drehzahl- und Stromgeraden.

Variation der drehzahlabhängigen Reibung

Die drehzahlabhängige Reibung setzt sich aus der Dämpfungskonstanten K_R und der Drehzahl zusammen. Durch eine Änderung von K_R kann somit die drehzahlabhängige Reibung verändert werden. Das K_R des Prüflings beträgt $3 \cdot 10^{-5} Nms$. Eine Reduzierung um jeweils 10% ergab keine nennenswerten Ergebnisse, so dass ein höherer Wert für die drehzahlabhängige Reibung angenommen wird.

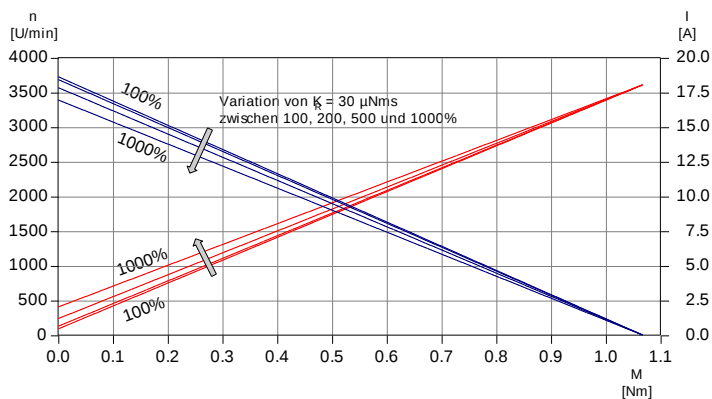


Abb. 6: Motorkennlinien bei Veränderung der drehzahlabhängigen Reibung

Wie zu erwarten war, veränderte sich im Stillstand des Motors nichts. Das Anlaufmoment und der Anlaufstrom blieben unverändert. Die Leerlaufdrehzahl hingegen nimmt mit steigendem Reibungsfaktor ab. Demzufolge steigt der Leerlaufstrom an, da er die höhere Reibung kompensieren muss.

Variation der drehzahlunabhängigen Reibung

Die drehzahlunabhängige Reibung des Prüflings beträgt 0.015Nm. Eine Reduzierung um jeweils 10% ergibt folgende Verläufe für die Motorkennlinien.

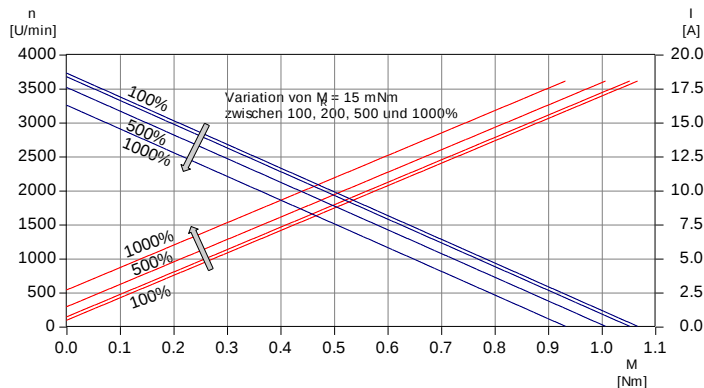


Abb. 7: Motorkennlinien bei Veränderung der drehzahlunabhängigen Reibung

Hier ist ähnlich wie bei einer Spannungsveränderung eine Verschiebung der ganzen Kennlinie zu erkennen. Es wird die Kennlinie genau um M_R auf der Abszisse verschoben. Hiermit verringert sich das Anlaufmoment um den Reibanteil und die ganze Kennlinie wird nach links verschoben.

Bestimmung einiger charakteristischer Kennlinienpunkte

Das Betriebsverhalten eines Gleichstrommotors kann zum einen durch eine Motorkennlinie dargestellt werden, oder aber auch durch eine Angabe von Messgrößen in verschiedenen charakteristischen Punkten. Hierzu zählen zum Beispiel der maximale fließende Strom, das maximale Moment usw...

Der Anlaufpunkt

Der Anlaufpunkt ist gekennzeichnet durch den Stillstand der Welle bei voll angelegter Nennspannung. Hierbei treten der maximale Strom und das maximale Moment auf.

$$n = 0 \text{ U/min} \quad \Omega = 0 \text{ 1/s}$$

Aus Gleichung (9) und (10) ergeben sich der Anlaufstrom und das Anlaufmoment.

$$I_A = \frac{U}{R} \quad (19)$$

$$M_A = \frac{k \cdot U}{R} - M_R = k \cdot I_A - M_R \quad (20)$$

Diese Werte sind aber in der Realität schwierig zu messen. Durch den großen Anlaufstrom und dem Stillstand der Welle, wird die aufgenommene Energie nicht in eine Drehbewegung umgewandelt, sondern verbleibt als Verlustleistung im Motor und führt dort zu einer starken Erwärmung der Ankerwicklung. Die Gleichungen (19) und (20) gelten dagegen bei einer konstanten Temperatur.

Der Leerlaufpunkt

Der Leerlaufpunkt ist charakterisiert durch einen Betrieb ohne externe Belastung. Der Motor muss nur die eigenen Verluste aufbringen. Dies sind in erster Linie die Lager- und Bürstenreibung. Hierbei werden die Leerlaufdrehzahl und der Leelaufstrom bestimmt.

$$M_L = 0 \text{ Nm}$$

Aus den Gleichungen (14) und (15) folgt

$$n_{Leer} = \frac{30}{\pi} \cdot \left(\frac{k \cdot U - M_R \cdot R}{k^2 + K_R \cdot R} \right) \quad (21)$$

$$I_{Leer} = \frac{k \cdot M_R + K_R \cdot U}{K^2 + K_R \cdot R} \quad (22)$$

Der Nennpunkt

Der Nennpunkt ist ein vordefinierter Arbeitspunkt des Motors. Er setzt eine vorgegebene Nennbelastung voraus, bei der sich ein Nennstrom und eine Nenndrehzahl einstellen. In der Regel liegt der Nennpunkt im Bereich des maximalen Wirkungsgrads. Aus den Gleichungen (14) und (15) folgt:

$$M_L = M_N$$

$$n_N = \frac{30}{\pi} \cdot \left(\frac{-R}{k^2 + K_R \cdot R} M_N + \frac{k \cdot U_N - M_R \cdot R}{k^2 + K_R \cdot R} \right) \quad (23)$$

$$I_{AN} = \frac{k}{k^2 + K_R \cdot R} \cdot M_N + \frac{k \cdot M_R + K_R \cdot U_N}{k^2 + K_R \cdot R} \quad (24)$$

Die abgegebene mechanische Leistung, die der Motor erbringt, verläuft nach einer Parabel zweiter Ordnung, die nach unten geöffnet ist. Daher besitzt sie 2 Nullstellen, die durch das Nullsetzen der Gleichung (16) zu berechnen sind.

Zur Vereinfachung wird folgendes angenommen:

$$a = \frac{-R}{k^2 + K_R \cdot R} \quad b = \frac{k \cdot U - M_R \cdot R}{k^2 + K_R \cdot R}$$

demzufolge lässt sich Gleichung (16) wie folgt darstellen:

$$P_{mech} = a \cdot M_L^2 + b \cdot M_L = M_L \cdot (a \cdot M_L + b) \quad (25)$$

Folglich ist $M_{L1} = 0$ die erste und $M_{L2} = -b / a$ die zweite Nullstelle.

$$M_{L1} = 0 \quad M_{L2} = \frac{k \cdot U}{R} - M_R = M_A \quad (26)$$

Sowohl im Anlauf als auch im Leerlauf ist die abgegebene Leistung Null, da einerseits bei Leerlaufdrehzahl das Drehmoment Null ist und andererseits im Anlaufmoment die Drehzahl Null ist.

Die maximale abgegebene Leistung

Die maximale abgegebene Leistung berechnet sich aus Gleichung (16), indem die erste Ableitung zu Null gesetzt wird, und das Vorzeichen der zweiten Ableitung zeigt an, ob es sich um ein Minimum oder ein Maximum handelt.

$$\frac{dP_{mech}}{dM_L} = 2a \cdot M_L + b = 0 \quad (27)$$

$$P_{mech\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{-b}{a} = \frac{1}{2} \cdot M_A$$

$$\frac{d^2 P_{mech}}{d^2 M_L} = 2a < 0 \Rightarrow \text{Maximum}$$

$$P_{mech\max} = a \cdot \frac{M_A^2}{4} + b \cdot \frac{M_A}{2} = \frac{(k \cdot U - M_R \cdot R)^2}{4 \cdot R \cdot (K_R \cdot R + k^2)} \quad (28)$$

Der maximale Wirkungsgrad

Der maximale Wirkungsgrad berechnet sich durch das Nullsetzen der ersten Ableitung und wobei das Vorzeichen der zweiten Ableitung anzeigt, ob es sich um ein Minimum oder ein Maximum handelt.

Das Ergebnis ist die nachfolgende Gleichung, die aus [2] entnommen wurde.

$$M_{L\eta\max} = -\left(\frac{U \cdot K_R}{k} + M_R\right) + \sqrt{U \cdot \left(\frac{U \cdot K_R}{k} + M_R\right) \cdot \left(\frac{K_R}{k} + \frac{k}{R}\right)} \quad (29)$$

Autor:

Dipl.-Ing. Ingo Völlmecke, imc

Weitere Informationen erhalten Sie unter:

imc Test & Measurement GmbH

Voltastr. 5
D-13355 Berlin

Telefon: +49 (0)30-46 7090-0
Fax: +49 (0)30-46 31 576
E-Mail: hotline@imc-tm.de
Internet: <http://www.imc-tm.de>

Die imc Test & Measurement GmbH ist Hersteller und Lösungsanbieter von produktiven Mess- und Prüfsystemen für Forschung, Entwicklung, Service und Fertigung. Darüber hinaus konzipiert und produziert imc schlüsselfertige Elektromotorenprüfstände. Passgenaue Sensor- und Telemetriesysteme ergänzen unser Produktportfolio.

Unsere Anwender kommen aus den Bereichen Fahrzeugtechnik, Maschinenbau, Bahn, Luftfahrt und Energie. Sie nutzen die imc-Messgeräte, Softwarelösungen und Prüfstände, um Prototypen zu validieren, Produkte zu optimieren, Prozesse zu überwachen und Erkenntnisse aus Messdaten zu gewinnen. Rund um die imc Geräte steht dafür ein

umfassendes Dienstleistungsspektrum zur Verfügung, das von der Beratung bis zur kompletten Prüfstandsautomatisierung reicht. Auf diese Weise verfolgen wir konsequent das imc Leistungsversprechen „produktiv messen“.

National wie international unterstützen wir unsere Kunden und Anwender mit einem starken Kompetenz- und Vertriebsnetzwerk.

Wenn Sie mehr über die imc Produkte und Dienstleistungen in Ihrem Land erfahren wollen oder selbst Distributor werden möchten, finden Sie auf unserer Webseite alle Informationen zum imc Partnernetzwerk:

<http://www.imc-tm.de/partner/>



Nutzungshinweis:

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Dieser Bericht darf ohne Genehmigung weder bearbeitet, abgewandelt noch in anderer Weise verändert werden. Ausdrücklich gestattet ist das Veröffentlichen und Vervielfältigen des Dokuments. Bei Veröffentlichung bitten wir darum, dass der Name des Autors, des Unternehmens und eine Verlinkung zur Homepage www.imc-tm.de genannt werden. Trotz inhaltlicher sorgfältiger Ausarbeitung, kann dieser Bericht Fehler enthalten. Sollten Ihnen unzutreffende Informationen auffallen, bitten wir um einen entsprechenden Hinweis an: marketing@imc-tm.de. Eine Haftung für die Richtigkeit der Informationen wird grundsätzlich ausgeschlossen.