Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 31 (1940)

Heft: 8

Artikel: Der Parallelismus mechanischer Kennlinien elektrischer und nichtelektrischer Motoren

Autor: Kummer, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061361

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Der Parallelismus mechanischer Kennlinien elektrischer und nichtelektrischer Motoren.

Von *W. Kummer*, Zürich.

621.01

Bei Speisung mit Energie von konstantem Potential liefern sowohl die elektrischen als auch die nichtelektrischen Motoren mechanische Betriebskennlinien, die entweder vom Typus der Reihenschluss-Charakteristik oder vom Typus der Nebenschluss-Charakteristik sind; bei den nichtelektrischen Motoren entstehen diese Charakteristiken als unreguliertes, bzw. als reguliertes Betriebsverhalten. Durch einfache Kurvenbilder und Formeln gelangen die Kennlinien zu einer leicht übersichtlichen Darstellung.

Lors d'alimentation en énergie sous potentiel constant, les moteurs électriques comme les moteurs non électriques fournissent des caractéristiques mécaniques du type série ou du type shunt; pour les moteurs non électriques, ces caractéristiques résultent soit du service sans régulateur (série), soit du service avec régulateur (shunt). Par des courbes et des formules simples, il est possible de donner une représentation claire des caractéristiques.

Das Verhalten von Maschinen bei verschiedenen, durch die Eigenart des Betriebs variierten Betriebszuständen wird zweckmässig mittels charakteristischen Kurven, sog. «Kennlinien», zum Ausdruck gebracht; diese Kennlinien erlauben die Vorhersage des Betriebsverhaltens für alle Betriebslagen. Den Gebrauch von Kennlinien hat insbesondere die Starkstromtechnik von jeher gepflegt und damit die allgemeine Maschinentechnik befruchtet. Die wichtigste Kennlinie des Betriebsverhaltens in rein mechanischer Hinsicht ist bei Motoren der jeweilige Zusammenhang des abgegebenen Drehmoments mit der gerade herrschenden Winkelgeschwindigkeit, wobei sich für elektrische und für nichtelektrische Motoren ein auffallender Parallelismus feststellen lässt. Dieser besteht darin, dass man bei Speisung der Motoren mit Betriebsenergie (Elektrizität, Wärme, Schwerkraft) von konstantem Potential stets entweder eine Kennlinie vom Typus der sog. Reihenschluss-Charakteristik oder eine solche vom Typus der sog. Nebenschlusscharakteristik vorfindet. Die Namen dieser Charakteristiken weisen deutlich auf ihre Herkunft aus der Starkstromtechnik, bzw. aus der Entwicklungsepoche der Gleichstrommotoren hin.

Die von uns hier, zunächst in abstrakt einfachsten schematischen Formen, und alsdann in, dem tatsächlichen Verlauf mehr und mehr angenäherten Bildern gegebenen Kennlinien erscheinen stets in Koordinationssystemen, deren Abszissen durch relative Winkelgeschwindigkeiten und deren Ordinaten durch relative Drehmomente gemessen werden, bei Bezugnahme entsprechender Absolutwerte je auf Werte des sog. «Nennbetriebs». Für die Winkelgeschwindigkeiten messen wir also, mit ω_n als Nennwert, in Massgrössen ω/ω_n; analog wird bezüglich der Drehmomente mit Massgrössen M/M_n operiert. Als Merkpunkt des Nennbetriebs erscheint daher in diesen für jede Motorgrösse brauchbaren Kennlinien stets der durch das Koordinatenpaar

$$\frac{\omega}{\omega_n} = 1; \qquad \frac{M}{M_n} = 1$$

gegebene Punkt der Kennlinie.

In Fig. 1 ist durch die schräge Gerade $P_0 P_n P_b$ die aufs äusserste schematisierte *Reihenschluss-Charakteristik* dargestellt, über deren Merkpunkte folgendes zu sagen ist: P_0 ist der Ort des Leerlaufs, dessen Absolutwert ω_0 der Winkelgeschwindigkeit des Leerlaufs, d. h. des sog. «Durchgehens» («Durchbrennens») des Motors entspricht; P_n ist der Ort des Nennbetriebs, P_b kennzeichnet die sog. Festbremsung, mit $\omega = 0$. Die Gerade wird durch die Gleichung

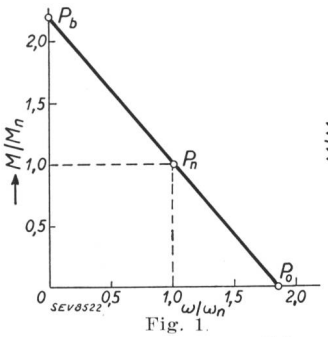

Fig. 1.

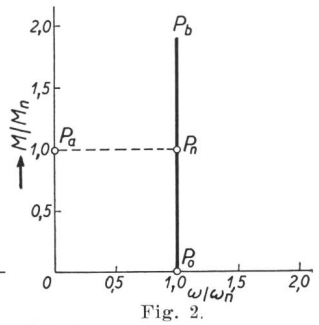

Fig. 2.

Schematisierte Reihenschluss-Charakteristik. Schematisierte Nebenschluss-Charakteristik.

$$\frac{M}{M_n} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0 - \omega_n}$$

befriedigt. Der Zahlenwert der Abszisse bei P_0 vom Ausdruck

$$\frac{\omega_0}{\omega_n} = \psi,$$

der in der Regel nahe bei 2 liegt, wenn es sich um nichtelektrische Motoren handelt, erlaubt eine andere, ebenfalls bedeutungsvolle Form der Gleichung der Geraden, die beim Einsatz $\omega_0 = \psi \cdot \omega_n$ nun

$$\frac{M}{M_n} = \frac{\psi}{\psi - 1} - \frac{1}{\psi - 1} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}$$

lautet.

Fig. 2 zeigt die durch die vertikale Gerade $P_0 P_n P_b$ aufs äusserste schematisierte *Nebenschluss-Charakteristik*, wobei der Punkt P_b ins Unendliche gewandert erscheint. Die Gleichung der Geraden

$$\frac{\omega}{\omega_n} = 1$$

lässt den Ort P_n des Nennbetriebs unbestimmt. Er kann aber durch Beistellung einer zweiten, simultan gültigen Gleichung bestimmt werden; diese zweite Gleichung, die weiterhin einen Ersatz für den in unendliche Ferne gewanderten Punkt P_b schafft, kennzeichnet den mit einem «Anlasser» bewerkstelligten Anlassvorgang und lautet für die

Gerade $P_a P_n$ des Anlassens mit dem Nenndrehmoment

$$\frac{M}{M_n} = 1.$$

Allgemeiner ist eine Gleichung des Anlassens, in der die Zahl 1 durch eine Zahl $K \gtreqless 1$ für alle möglichen Anlassvorgänge ersetzt ist. Zur vollständigen analytischen Darstellung des Verhaltens der Nebenschluss-Motoren dienen also die zwei simultanen Gleichungen

$$\frac{\omega}{\omega_n} = 1; \qquad \frac{M}{M_n} = K.$$

Zum Uebergang von den beiden aufs äusserste schematisierten Kennlinien nach Fig. 1 und 2 zu jenen wirklicher elektrischer und nichtelektrischer Motoren bemerken wir, dass wir eine völlig strenge Wiedergabe der Kennlinien der wirklichen Motoren nicht geben werden, einerseits, weil eine solche, übrigens sehr verwickelte, kaum grössere Motorenbereiche zu umfassen vermöchte, anderseits, weil ein praktisches Bedürfnis hiezu nicht einmal vorliegt. Dem praktischen Bedürfnis der Gebraucher von Maschinen, für die die Kenntnis der Kennlinien hauptsächlich wertvoll ist, genügt es nämlich durchaus, wenn die Vorausbestimmung im Betriebe zu erwartender Betriebsdaten der Maschinen auch nur approximativ vorgenommen werden kann. Bei einer nur mehr oder weniger strengen Festlegung der Kennlinien lassen sich diese dann je durch relativ einfache analytische Gleichungen kennzeichnen. Für die Ableitung a priori solcher Gleichungen, wie wir sie im folgenden hinschreiben werden, verweisen wir Leser, denen diese einfachen Ausdrücke nicht ohne weiteres schon evident sind, auf unser kleines, für unsere Schüler an der ETH herausgegebenes Lehrbuch «Das physikalische Verhalten der Maschinen im Betrieb» [1]).

Im Anschluss an Fig. 1 betrachten wir nun zunächst die durch eine Reihenschluss-Charakteristik gekennzeichneten elektrischen Motoren, d. h. die kurzweg als *Reihenschluss-Elektromotoren* bezeichneten. Sie sind für alle technisch relevanten Stromsysteme, also für Gleichstrom, für Einphasenstrom und für Drehstrom praktisch im Gebrauch. Ihre mechanische Kennlinie erscheint der Geraden $P_0 P_n P_b$ in Fig. 1 dann am stärksten angenähert, wenn es sich um kleine, mit relativ grossen mechanischen und magnetischen Verlusten behaftete Wechselstrom-Reihenschlussmotoren handelt; ohne dass dann die Punkte P_0 und P_b mit P_n wirklich genau in eine Gerade fallen, ist bedeutungsvoll, dass P_0 und P_b je auf ihren Axen dem Ursprung O des Koordinatenfeldes viel näher liegen als im Allgemeinfall des Verhaltens von Reihenschluss-Elektromotoren. Den andern Grenzfall des Verhaltens solcher Motoren, wobei die Punkte P_0 und P_b je ins Unendliche fallen, liefert der Idealtypus des verlustlosen und durch eine geradlinige Magnetisierungskurve ausgezeichneten Gleichstrom-Reihenschluss-Motors, mit der durch die Hyperbelgleichung

$$\frac{M}{M_n} = \left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2$$

gegebenen mechanischen Kennlinie, die in Fig. 3 dargestellt wird; ebenso wie im Falle der Fig. 2 kommt zur Motorkennlinie eine Anlasser-Kennlinie, gemäss der Geraden $P_a P_n$ oder einer zu dieser parallelen Geraden, mit der Gleichung

$$\frac{M}{M_n} = K,$$

mit $K \gtreqless 1$, weiterhin in Betracht, um das Betriebsverhalten des Motors auch bei $\omega = 0$ darzustellen. Die mechanischen Kennlinien der praktisch hauptsächlich benutzten Reihenschluss-Elektromotoren weisen gegenüber jenen der Fig. 1 und 3, die ihnen

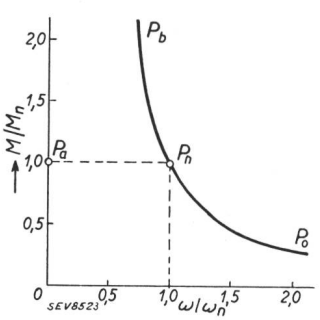

Fig. 3.
Idealer Gleichstrom-Reihenschlussmotor.

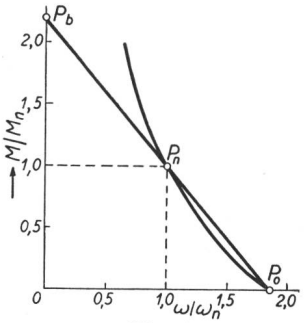

Fig. 4.
Allgmeine Idealturbine.

bezüglich ihrer Lage im Koordinatenfeld als ungefähre Grenzfälle gegenüberstehen, einen viel allgemeineren analytischen Charakter auf und sind etwa auch durch Wendepunkte ausgezeichnet. Da man aber die Elektromotoren der Praxis für möglichst kleine Effektverluste ausbildet, liegen ihre Kennlinien jener nach Fig. 3 meistens viel näher als jener nach Fig. 1.

Zu den *Nebenschluss-Elektromotoren* der Praxis übergehend, stellen wir fest, dass die ideale Kennlinie der Fig. 2 unverändert für Synchronmotoren gilt, die mit einphasigem oder mehrphasigem Wechselstrom betrieben werden. Der normale Gleichstrom-Nebenschlussmotor und der bei kleinen Schlüpfungen arbeitende einphasige oder mehrphasige Asynchronmotor liefern statt der vertikalen Geraden $P_0 P_n P_b$ eine leicht geneigte Linie durch den Punkt P_n, derart, dass ihr Fusspunkt P_0 auf der Abszissenaxe statt bei 1,00 etwa bei 1,02 bis 1,05 steht. Wenn man als Verluste solcher Motoren nur die im Rotor auftretenden Stromwärmeverluste nach Massgabe eines partiellen Wirkungsgrades berücksichtigt, der mit η im allgemeinen und mit η_n bei Nennleistung bezeichnet sein möge, wird die leicht geneigte mechanische Kennlinie durch die Gleichung

$$\left(1 - \eta_n \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right) \cdot M_n = (1 - \eta) \cdot M$$

als Gerade analytisch festgelegt.

[1]) Mit 105 Seiten (15 × 21 cm) und 40 Abbildungen im Text; Aarau 1937, Verlag H. R. Sauerländer & Co.

Die *nichtelektrischen Motoren* der Praxis sind entweder Turbinen, je für Betrieb mit Wasser, Dampf, sowie Gas, oder dann Kolbenkraftmaschinen für gleiche Betriebsstoffe, da ja auch die sog. Verbrennungskraftmaschinen stets wesentlich erst bei gasförmigem Zustand des Brennstoffs Wärme in Arbeit umsetzen. Es gilt nun, dass man für solche Motoren stets die Reihenschluss-Charakteristik im regulatorfreien Betrieb, die Nebenschluss-Charakteristik dagegen bei Vornahme der Regulierung erhält. Bekanntlich schätzt man die Reihenschluss-Charakteristik für den Betrieb von Fahrzeugen und Hebezeugen, während man für den Betrieb von Transmissionen und vor allem auch für den Betrieb elektrischer Generatoren stets die Nebenschluss-Charakteristik fordert, und zwar im letztgenannten Fall in der idealen Form der Fig. 2; dieser Forderung vermögen nun die modernen Regulatoren durchaus zu genügen. Ein zufälliges Versagen der Regulierung der zum Antrieb elektrischer Generatoren verwendeten Wasserkraft- oder Wärmekraft-Motoren stellt für diese sofort wieder die Reihenschluss-Charakteristik her, wodurch gefährliche Betriebsstörungen entstehen können. Unter Benutzung der, wie wir noch sehen werden, ausreichend genauen Kennlinien-Gleichung des Reihenschluss-Verhaltens

$$\frac{M}{M_n} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0 - \omega_n}$$

ist dann das bezügliche elektromechanische besondere Problem berechenbar, wie wir in einem Aufsatz: «Die Verhinderung elektromechanisch bedingter Erschütterungen der Maschinenwellen elektrischer Kraftwerke» darlegten, der am 21. April 1928 in der «Schweiz. Bauzeitung» erschien.

Für *Turbinen* ist die Kennlinie nach Fig. 1, als gerade Linie, gemäss der Gleichung

$$\frac{M}{M_n} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0 - \omega_n},$$

oder auch, wie wir darlegten, gemäss

$$\frac{M}{M_n} = \frac{\psi}{\psi - 1} - \frac{1}{\psi - 1} \cdot \frac{\omega}{\omega_n},$$

eine besonders im Gebiete der Werte $\frac{\omega}{\omega_n} > 1$ relativ starke Näherungsform der Hyperbelgleichung

$$\frac{M}{M_n} = \left[\frac{\psi^2}{\psi^2 - 1} \cdot \left(\frac{\omega_n}{\omega} \right)^2 - \frac{1}{\psi^2 - 1} \right]^{1/2}.$$

Diese Gleichung stellt nämlich die mechanische Kennlinie von Turbinen dar, die wohl die normale Flüssigkeitsreibung, im übrigen aber keine weitern Verluste aufweisen. In Fig. 4 sind die Gerade und die Hyperbel für Zahlenwerte entsprechend

$$\psi = \frac{\omega_0}{\omega} = 1{,}82$$

abgebildet. Das oberhalb des Geradenstücks $P_n P_b$ sich ins Unendliche erstreckende Hyperbelstück ist in Wirklichkeit ausgeschlossen und wegen der in der Hyperbelgleichung nicht berücksichtigten zusätzlichen Verluste durch ein Kennlinienstück zu ersetzen, das in der Nähe der Geraden $P_n P_b$ gelegen ist. Demnach darf man nun die Gerade $P_0 P_n P_b$ in ihrem ganzen Verlauf als hinreichend genaue Darstellung der mechanischen Kennlinie unregulierter Turbinen betrachten.

Für *Kolbenkraftmaschinen* ist die Kennlinie des unregulierten Betriebs in hohem Masse von konstruktiven Einzelheiten, insbesondere von der Ausbildung und Funktion der Steuerung abhängig. Näherungsweise genügt dann die Gleichung der Geraden

$$\frac{M}{M_n} = \frac{\psi}{\psi - 1} - \frac{1}{\psi - 1} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}$$

durchaus stets für die Darstellung der mechanischen Kennlinie, wobei für die Verbrennungskraftmaschinen aber nur Werte ω oberhalb jenen der Zünddrehzahl, d. h. also solche, die grösser als etwa $0{,}25 \cdot \omega_n$ sind, in Betracht kommen. Die Gerade $P_0 P_n P_b$ ist als solche nur zufällig als Kennlinie verwirklicht; meist sind es krumme Linien $P_0 P_n P_b$, wobei die Krümmung nach unten bald konvex, bald konkav erscheint. Im ganzen und grossen kann aber die Gerade $P_0 P_n P_b$ immer als genügend genau betrachtet werden.

Wir dürfen also für die unregulierten, nichtelektrischen Motoren stets Fig. 1 benutzen.

Unsere Untersuchung wirklicher elektrischer und nichtelektrischer Motoren bestätigt also den eingangs erwähnten Parallelismus der mechanischen Kennlinien.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Forschungen über Fluoreszenz und Phosphoreszenz.

535.37

Unter Fluoreszenz versteht man die von einem festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffe abgegebene Lichtstrahlung, welche durch eine auf den fluoreszierenden Körper fallende erregende Strahlung einer kritischen Wellenlänge oder eines kritischen Wellenbandes angeregt wird. Wenn die Lichtemission andauert, nachdem die erregende Strahlung nicht mehr vorhanden ist, so spricht man von Phosphoreszenz. Es gibt sehr viele Stoffe, welche eine geringe Fluoreszenz aufweisen, wie z. B. Holz, Milch, Eier, Mineralien usw. Die Fluoreszenzerscheinung hat für die einzelnen Stoffe gewisse charakteristische Merkmale, so dass in neuerer Zeit die Fluoreszenz in der Mikroanalyse ein wertvolles Hilfsmittell für den Nachweis verschiedener Metalle und organischer Verbindungen geworden ist. Eine praktische Anwendung haben fluoreszierende feste Stoffe neuerdings für die Korrektur des Spektrums der von Metalldampflampen abgegebenen Strahlung erlangt. Besonderes Interesse bringt man gegenwärtig den *künstlich hergestellten fluoreszierenden Stoffen* entgegen.

Bei der Erforschung künstlicher fluoreszierender Stoffe trifft man zwei auffallende gemeinsame Merkmale:

1. Die meisten dieser fluoreszierenden Stoffe enthalten fremde Beimengungen in sehr geringer Konzentration. Bei den festen anorganischen Leuchtstoffen sind diese Beimengungen meist Metalle in einer Konzentration von 1 % oder noch weniger. In organischen fluoreszierenden festen oder