

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	83/84 (1924)
Heft:	24
Artikel:	Die Komoundierung des Seriemotors für die Nutzbremsung auf Gleichstrombahnen
Autor:	Kummer, W.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-82808

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: 09.02.2026

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

INHALT: Die Kompoundierung des Seriemotors für die Nutzbremsung auf Gleichstrombahnen. — Hydrodynamische Zeitkurven. — Die Wiederherstellung der brandbeschädigten Fabrik Sarotti durch das Betonspritzverfahren. — Was bewecken die S.I.A.-Vorschriften für Einrichtung und Betrieb von Aufzügen? — Miscellanea: Schweizer Schleppschiffahrts-Genossenschaft. Eisenbahnbrücke bei Mallow (Irland). Kraftwerk

Eglisau. Bauausstellung Stuttgart 1924. Beschäftigung von Ingenieuren im Strassenbau in Nordamerika. Verbesserung der Telegrafen-Verbindung Bern-Zürich. Die Deutsche Gesellschaft für Metallkunde. Schweizerische Naturforschende Gesellschaft. — Literatur: Materialprüfung und Baustoffkunde für Maschinenbau. Literar. Neuigkeiten. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 83. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur auf Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 24.

Die Kompoundierung des Seriemotors für die Nutzbremsung auf Gleichstrombahnen.

Von Prof. Dr. W. Kummer, Ingenieur, Zürich.

Unser, vor drei Jahren in dieser Zeitschrift veröffentlichter Aufsatz: „Ueber Betriebskurven und Betriebssicherheit verschiedener Verfahren der Nutzbremsung bei elektrischen Bahnen“¹⁾ hat in seinem, der Kompoundierung des Gleichstromseriemotors gewidmeten Teil, insbesondere auch wegen unseres Kommentars zu dem im Jahre 1920 erfolgten schweren Unfall bei Gleichstromnutzbremsung auf der „Chicago, Milwaukee & St. Paul Ry“²⁾ die Aufmerksamkeit englischer Fachleute gefunden. Es hat nämlich Prof. Dr. S. P. Smith, London, die von uns aufgestellte Theorie durch M. G. Say und durch H. G. Frampton auf experimentellem Wege kontrollieren lassen, wobei gleichzeitig der Theorie eine für die experimentelle Kontrolle äusserst glückliche Formulierung gegeben wurde. Auf Grund der bezüglichen, im „Journal of the Institution of Electrical Engineers“³⁾ erschienenen Arbeit mögen daher der Zusammenhang der neuen Arbeit mit der unsrigen und die neuen Beziehungen hier kurz dargelegt werden.

Auf Grund der in Abbildung 1 nochmals veranschaulichten grundsätzlichen Schaltung der Gleichstrommaschine mit Verbunderregung⁴⁾ fanden wir vor drei Jahren die mechanische Charakteristik bei Verlustlosigkeit der Maschine in der Form:

$$D \omega^2 = D_n \omega_n m^2 \frac{\omega_n - \alpha \omega}{1 - \alpha}$$

wobei D und ω die variablen Werte, D_n und ω_n die Werte bei Normallast, von Drehmoment und Winkelgeschwindigkeit, m den Parameter der Serieparallelenschaltung, und α den Parameter der Verbundwirkung, gemäss:

$$\alpha = \frac{\omega_n}{\omega_0}$$

Abb. 1.

darstellten, wobei ferner ω_0 die Winkelgeschwindigkeit bei Stromlosigkeit $J = 0$ bedeutet. Wir interpretierten die mechanische Charakteristik auf Grund der verschiedenen Werte, die α , sowie ω_n und D_n gleichzeitig im Rückgewinnungsbetrieb annehmen können, und gelangten so zur Erkenntnis des kleinen, normal nur bei hohen Geschwindigkeiten vorhandenen Regulierbereichs der Bremsschaltung.⁵⁾

In der genannten englischen Arbeit findet sich unsere Theorie insofern glücklich umgeformt, als die mechanische Charakteristik nicht auf Grund unseres Parameters α , sondern auf Grund der Stromstärke J_c der die Kompoundierung bewirkenden Sondererregung interpretiert wird, wobei allerdings die von uns seinerzeit erstrebte und erreichte völlige Unabhängigkeit von jeder rein elektrischen Grössenbemessung zunächst verloren geht; für eine experimentelle Nachprüfung ist dies jedoch von vornherein nicht anders möglich. Wir erhalten auch in unserer Darstellungs-

¹⁾ Vergl. Seiten 139 und 151 von Band 77 (26. März und 2. April 1921), sowie auch die Fussnote 2 auf Seite 281 von Band 81 (9. Juni 1923).

²⁾ Vergl. Seite 20 von Band 77 (8. Januar 1921) und die Fussnote 1 auf Seite 142 von Band 77 (26. März 1921), sowie Seite 154 von Band 77 (2. April 1921).

³⁾ Vergl. Seite 863 von Band 61 des J. I. E. E., London (Aug. 1923).

⁴⁾ Entsprechend Abb. 5 auf Seite 141 von Band 77.

⁵⁾ Entsprechend Abb. 6 auf Seite 142 von Band 77, bezw. der oberen Kurvengruppe in der vorliegenden Abb. 3.

weise sofort die in der englischen Arbeit verwendete Art der Formulierung, wenn wir in der vorhin für die Charakteristik angegebenen Gleichung die Grösse α mittels der Beziehung $\alpha = \omega_n / \omega_0$ eliminieren, und wenn wir weiter berücksichtigen, dass nach dem Induktionsgesetz bei geradliniger Magnetisierungskurve die Beziehungen gelten:

Für $J = 0$: $E = C J_c \omega_0$

Für $J > 0$ und entgegen J_c wirkend: $E = C (J_c - J) \omega$ welche zwei Beziehungen den Zusammenhang:

$$C (J_c - J) \omega = C J_c \omega_0$$

oder also:

$$\frac{J}{J_c} = \frac{\omega - \omega_0}{\omega} \quad \dots \quad (1)$$

ergeben; bei Normallast lautet diese Beziehung:

$$\frac{J_n}{J_c} = \frac{\omega_n - \omega_0}{\omega_n} \quad .$$

Es folgt nun für die Charakteristik:

$$D \omega^2 = D_n \omega_n m^2 \frac{\omega_n}{\omega_0 - \omega_n} (\omega_0 - \omega)$$

oder also:

$$D = \frac{D_n \omega_n}{J_n} J_c \frac{\omega - \omega_0}{\omega^2} m^2$$

Weil: $D_n \omega_n / 9,81 = E_n J_n$

folgt mit:

$$D = \frac{m^2 E_n}{9,81} J_c \frac{\omega - \omega_0}{\omega^2} \quad \dots \quad (2)$$

die Charakteristik in der englischen Art der Formulierung. Es ist einleuchtend, dass sich für eine experimentelle Kontrolle die Formeln (1) und (2) vorzüglich eignen. Aus (2) lässt sich durch die Differentiation:

$$\frac{d D}{d \omega} = 0$$

nachweisen, dass je für eine gegebene Verbunderregung, wobei sowohl ω_0 als auch J_c Konstante sind, das Maximum von D je für:

$$\omega = 2 \omega_0$$

eintritt, und dass:

$$D_{\max} = m^2 \frac{D_n \omega_n}{J_n} J_c \frac{1}{4 \omega_0} \quad \dots \quad (3)$$

wird, bezw., dass mit Rücksicht auf:

$$E = C J_c \omega_0$$

der Wert von D_{\max} proportional zu J_c^2 ausfällt.

Um nun auch auf Grund der neuen Formeln (1), (2) und (3) eine Beurteilung a priori vorzunehmen, wie wir sie vor drei Jahren auf Grund der damaligen Ansätze durchführten, diene wieder das Beispiel:

$$D_n = 450 \text{ mkg} ; \quad \omega_n = 60 \text{ sek}^{-1}$$

Weiter sei als zulässig bei $m = 1$ festgesetzt:

$$\omega_{0 \min} = \frac{1}{2} \omega_n = 30 \text{ sek}^{-1} ;$$

damit folgen aus (2) und aus (3) zugehörige Werte:

$$\frac{J_n}{J_c} = \frac{1}{2}, \quad \text{sowie: } D_{\max} = D_n \omega_n \frac{2}{1 - 2 \omega_n} = 450 \text{ mkg}$$

Mit der Gleichung (2), für die $D_{\max} = 450 \text{ mkg}$ bei $\omega = 60 \text{ sek}^{-1}$ eintritt, ergibt sich dann die in Abb. 2 (S. 276) dargestellte Kurve für $J_c = 2 J_n$. Wenn weiter noch:

$$J_c = 1,8 J_n$$

gesetzt wird, folgen zugehörige Werte:

$$\begin{cases} D_{\max} = 450 \left(\frac{1,8}{2} \right)^2 = 364 \text{ mkg} \\ \omega_0 = \frac{450 \cdot 1,8 \cdot 4 \cdot 30}{364 \cdot 2 \cdot 4} = 33,3 \text{ sek}^{-1} \end{cases}$$

für eine neue Regulierkurve, die ebenfalls in Abbildung 2 ersichtlich ist, wie auch noch zwei weitere Regulierkurven für:

$$J_c = 1,6 J_n \quad \text{und} \quad J_c = 1,4 J_n$$

Solche Kurven haben nun M. G. Say und H. G. Frampton für einen besonders hergerichteten Gleichstrom-Motor von 10 PS experimentell aufgenommen und mit-

tels der hier mitgeteilten Beziehungen a priori berechneten Kurven verglichen. Angesichts der Kleinheit des Versuchsobjekts, dessen wenn auch verhältnismässig grosse Eigenverluste doch nur wenig störend auftreten, ist eine bemerkenswerte Uebereinstimmung von Berechnung und von Versuch festzustellen. In den praktisch wichtigen Schlussfolgerungen, insbesondere in der Beurteilung des erwähnten Unfalls auf der „Chicago, Milwaukee & St. Paul Rd.“, gehen die genannten Autoren mit den von uns im früheren Aufsatz enthaltenen Urteilen völlig einig. Weitere, ebenfalls bemerkenswerte Einzelheiten der englischen Arbeit mögen ihr direkt entnommen werden.¹⁾

Zum Schluss möge noch das Unterscheidende zwischen der neuen und unserer früheren Darstellung beleuchtet werden, das im wesentlichen darin liegt, dass wir früher auf Grund des Parameters:

$$\alpha = \frac{\omega_n}{\omega_0}$$

die Beurteilung der Betriebskurven vornahmen, während die neuere Darstellung dies an Hand des Parameters:

$$\beta = \frac{\omega_n}{\omega_n - \omega_0} = \frac{J_c}{J_n}$$

besorgt. Mit dem Parameter α verwirklicht man in erster Linie den für die Erkenntnis belangreichen Vorteil, die Komoundmaschine als die Allgemeindynamo zu erkennen, die auch die Sonderfälle der Serie-Erregung und der Fremderregung umfasst. Mit dem Parameter β wird dagegen dem messtechnischen Bedürfnis, verschiedene Regulierkurven ohne weiteres nach der verwendeten Stromstärke der Sondererregung zu gruppieren, aufs Beste gedient.

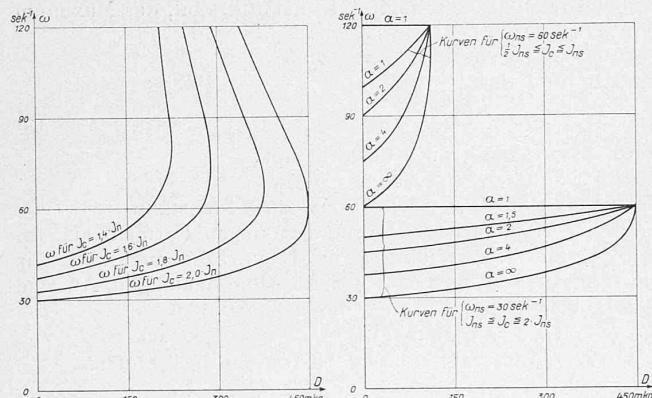


Abb. 2.

Abb. 3

In Bezug auf die Befriedigung der praktischen Bedürfnisse des Fahrbetriebs dürften Regulierkurven, die auf Grund des Parameters α gebildet sind, den Vorzug vor Regulierkurven auf Grund des Parameters β verdienen, wie an Hand der Abbildungen 2 und 3 dargelegt werden kann. Die Abbildung 3, die nach unserer Methode auf Seite 142 von Band 77 Regulierkurven für verschiedene Werte α , für die verlustlose Maschine (mit Wirkungsgrad $\eta_n = 1$), auf Grund der Gleichung:

$$D \omega^2 = D_n \omega_n m^2 \frac{\omega_n - \alpha \omega}{1 - \alpha}$$

mit den Zusatzbeziehungen (bei $\alpha = \infty$ zwecks Elimination von α):

¹⁾ Ein eingehendes Referat über diese Arbeit findet sich übrigens auf Seite 66 von Band XV der «Revue Générale de l'Electricité» (vom 12. Januar 1924).

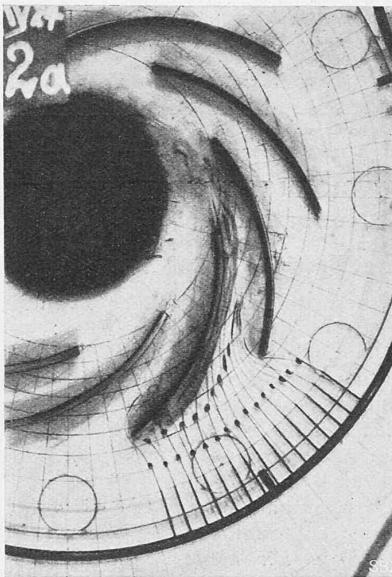


Abb. 1.

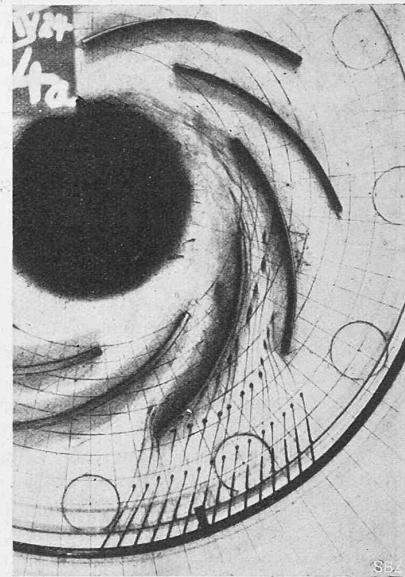


Abb. 2.

$$\left. \begin{array}{ll} \alpha < \infty & \omega_n = (1 + \alpha) \omega_{ns} \\ \alpha = \infty & \omega_{ns} = \omega_0 = \frac{1}{\alpha} \omega_n \end{array} \right\}$$

darstellt, berücksichtigt zwei Gruppen von Regulierkurven, nämlich die höher gelegene, mit $\omega_{ns} = 60 \text{ sec}^{-1}$, und die tiefer gelegene, mit $\omega'_{ns} = 30 \text{ sec}^{-1}$ je für dieselben Normaldaten, die auch der Abbildung 2 zu Grunde liegen. Je für $\alpha = \infty$ ist J_c konstant, die betreffende Kurve also zugleich auch dem Reguliersystem mit konstantem β angehörend.¹⁾ Für alle $\alpha < \infty$ dagegen ist J_c variabel, und zwar mit wachsendem Drehmoment ebenfalls zunehmend, von einem Anfangswerte bei $D = 0$ beginnend bis zum gemeinsamen Schnittpunkt aller Kurven derselben Gruppe, der für $\omega_{ns} = 60 \text{ sec}^{-1}$ je ein $J_c = J_{ns}$, für $\omega'_{ns} = 30 \text{ sec}^{-1}$ je ein $J_c = 2 J_{ns}$ bedingt.²⁾ Dass die Regulierkurven nach Abbildung 3 auf variable Werte der Sondererregung aufgebaut sind, während doch, bei der Ableitung der mechanischen Charakteristik ursprünglich, gemäss der Wahl einer Konstanten C_0 , bzw. eines Wertes ω_0 , von einer jeweils unveränderlichen Sondererregung ausgegangen wurde, beruht darauf, dass die in letzter Linie eingeführte Zusatzbeziehung für $\alpha < \infty$ tatsächlich die Elimination von ω_0 aus der Gleichung der mechanischen Charakteristik bewirkte.

Regulierkurven, wie sie in unserer Abbildung 3 dargestellt sind, lassen sich natürlich nach Belieben bilden; die Gruppe für $\omega_{ns} = 60 \text{ sec}^{-1}$ ist indessen dadurch ausgezeichnet, dass keine höhere Stromstärke als $J_c = J_{ns}$ auftritt, während der Gruppe für $\omega'_{ns} = 30 \text{ sec}^{-1}$ ein Maximalstrom $J_c = 2 J_{ns}$ entspricht; es sind also Erwärmungsrücksichten, die hier einschränkend auftreten. Als den Bedürfnissen des praktischen Fahrbetriebs besonders angemessen, müssen nun die aus Abbildung 3 hervorgehenden, nur leicht ansteigenden Regulierkurven mit kleineren Werten des Parameters α bezeichnet werden, weil bei einem solchen Kurvenverlauf die höchstmögliche Stabilität der Rückgewinnung zu erwarten ist. Bei ausschliesslicher Regulierung auf Grund des Parameters β , d. h. mittels konstant gehaltener Erregerströme, ist die Bedingung guter Stabilität ausschliesslich an höhere Werte von J_c , d. h. an stärkere Wärmeverluste in den Magnetspulen und im Ankereisen gebunden, wie ein Blick auf Abbildung 2 lehrt.

¹⁾ Bei $\omega'_{ns} = 60 \text{ sec}^{-1}$ ist dabei $J_c = J_{ns}$, bei $\omega'_{ns} = 30 \text{ sec}^{-1}$ ist $J_c = 2 J_{ns}$.

²⁾ Der an der Serie-Charakteristik erinnernde Index s bringt im vorliegenden Fall die Parameter α und β derart in Uebereinstimmung, dass je für $\alpha = \infty$ zugleich $\beta = 1$ ist.