

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 39 (1948)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Schaltung eines Gleichstromgenerators zur Erzielung einer geknickten Stromkennlinie ohne bewegte Schaltkontakte  
**Autor:** Förster, S.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059264>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

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

## Schaltung eines Gleichstromgenerators zur Erzielung einer geknickten Stromkennlinie ohne bewegte Schaltkontakte

Von S. Förster, Brühl (Deutschland)

621.314.6.06 : 621.313.126

Eine Erregermaschine kann mit Hilfe einer Gleichrichteranordnung und einer äusseren Stromquelle derart betrieben werden, dass der von der Erregermaschine erzeugte Gleichstrom eine geknickte Kennlinie aufweist. Ein solcher Erregerstrom kann für die Speisung der Feldspulen von Gleichstrom- oder Synchronmotoren verwendet werden, wenn besondere Betriebsbedingungen, z. B. für Regulierprobleme, verlangt werden. Der Autor beschreibt einige Schaltungsvarianten und erklärt ihre Wirkungsweise.

Une excitatrice peut fonctionner, à l'aide d'un dispositif à redresseur et d'une source de courant étrangère, de manière que le courant continu produit présente une caractéristique coudée. Un tel courant d'excitation peut servir à l'alimentation des bobines de champ de moteurs à courant continu et de moteurs synchrones qui doivent satisfaire à des conditions de service particulières, par exemple pour la régulation. L'auteur décrit différents couplages et en explique le fonctionnement.

Es wird eine Schaltung beschrieben, welche die in Fig. 1 dargestellte geknickte Kennlinie eines Gleichstromes  $I_e$  durch einen Widerstand  $R$ , in Funktion eines Gleich- oder Wechselstromes  $I_1$ , zu erzielen gestattet. Für  $I_1 < I_{1n}$  soll der Strom  $I_e$  unabhängig von  $I_1$ , z. B. proportional der Spannung  $U$  einer Spannungsquelle sein; für  $I_1 > I_{1n}$  dagegen soll  $I_e$  proportional mit  $I_1$  ansteigen.

erregter Synchronmotor mit erhöhtem Kippmoment.

Die geknickte Stromkennlinie wird nach Fig. 1 ohne bewegte Schaltkontakte durch eine Gleichrichteranordnung im  $I_e$ -Kreis erreicht, über die auch der Aussenstrom  $I_1$  oder, wie in Fig. 3 dargestellt, ein ihm proportionaler Strom geführt ist.

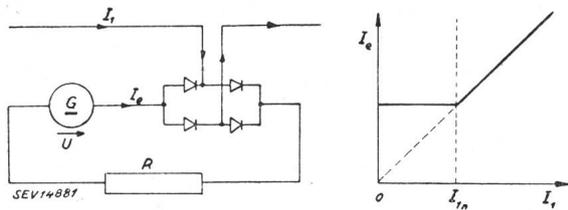


Fig. 1

Prinzipschaltbild und Stromkennlinie

$G$  Gleichstrommaschine (z. B. Erregermaschine),  $I_e$  Erregerstrom,  $U$  Spannung,  $R$  Verbraucherwiderstand (z. B. Feldwicklung eines Gleichstrom- oder Synchronmotors),  $I_1$  Strom einer äusseren Stromquelle (Gleich- oder Wechselstrom)

Wenn  $I_1$  den Ankerstrom,  $I_e$  den Erregerstrom eines Gleichstrommotors und  $U$  die abgegebene Spannung eines Gleichstromgenerators bedeuten (Fig. 2), liegt nach der beschriebenen Kennlinie ein Gleichstrommotor vor, der bei einem Belastungsstrom unterhalb des Nennstromes  $I_{1n}$  als fremderregte Maschine und bei höherem Belastungsstrom als Reihenschlussmotor mit entsprechender Drehzahlkennlinie arbeitet.

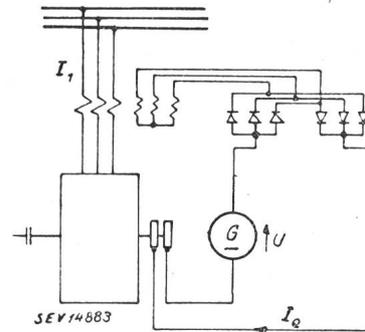


Fig. 3  
Anwendung der Schaltung zur Erregung eines Synchronmotors (Bezeichnungen wie in Fig. 1)

In den Fig. 1 bis 3 ist eine Brückenschaltung der Gleichrichter gewählt, die bezüglich  $I_1$  sowohl für Gleich- als auch Wechselstrom möglich ist. Nach Fig. 4 kann jedoch auch eine Mittelpunktschaltung der Gleichrichter in dem Falle ausgeführt werden, wo  $I_1$  ein Wechselstrom ist.

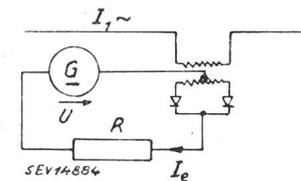


Fig. 4  
Prinzipschema mit Gleichrichteranordnung in Mittelpunktschaltung  
 $I_1$  ist in diesem Fall ein Wechselstrom

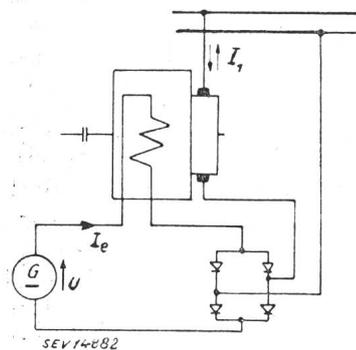


Fig. 2  
Anwendung der Schaltung zur Speisung der Feldwicklung eines fremderregten Gleichstrommotors

(Bezeichnungen wie in Fig. 1)

Ein zweites Anwendungsbeispiel wäre der Fall eines Synchronmotors.  $I_1$  sei der Ankerstrom,  $I_e$  der Erregerstrom des Synchronmotors und  $U$  die Spannung der Erregermaschine (Fig. 3). Der Synchronmotor verhält sich dann bei einem Belastungsstrom unterhalb des Wertes  $I_{1n}$  als konstant erregte Maschine und bei  $I_1 > I_{1n}$  als reihenschluss-

Die Wirkungsweise der Schaltung sei in Fig. 5 erläutert. Bei der folgenden Betrachtung sei  $I_1$  ein Gleichstrom,  $U$  konstant, und die vier Gleichrichter mögen Trockengleichrichter sein, die in Durchlassrichtung je den kleinen Eigenwiderstand

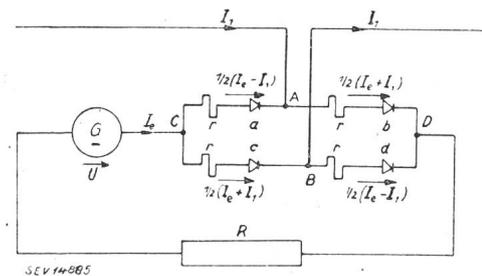


Fig. 5

Detailliertes Prinzipschema zur Erklärung der Wirkungsweise (Bezeichnungen wie in Fig. 1)

$r$  haben. Mit Hilfe des Ueberlagerungssatzes lässt sich leicht nachweisen, dass für  $I_1 < U/(R+r)$  der Strom  $I_e$  unabhängig von  $I_1$ , lediglich durch die Spannung  $U$  bestimmt ist. Der Ueberlagerungssatz darf in diesem  $I_1$ -Bereich angewendet werden, da nach der Ueberlagerung alle Gleichrichter noch stromführend sind und somit in der Ersatzschaltung durch den kleinen Widerstand  $r$  ersetzt werden dürfen.

Denkt man sich in der Gesamtschaltung zunächst die Spannung  $U$  allein wirksam und die Spannungsquelle im  $I_1$ -Kreis durch einen Kurzschlussdraht ersetzt, so wird nur im  $I_e$ -Kreis ein Strom fließen. Die Spannungsquelle  $U$  kann keinen Strom in den  $I_1$ -Kreis schicken, da die Knotenpunkte  $A$  und  $B$  elektrisch potentialgleich sind. Im  $I_e$ -Kreis beträgt daher die Stromstärke  $I_e = U/(R+r)$ , wobei  $I_e$  je zur Hälfte über die beiden Gleichrichterzweige fließt.

Da sich die Spannungsquelle  $U$  im  $I_1$ -Kreis nicht bemerkbar macht, so ist umgekehrt bei  $U=0$  zu erwarten, dass die Spannungsquelle im  $I_1$ -Kreis, die dort den Strom  $I_1$  zur Folge hat, sich im  $I_e$ -Kreis nicht auswirkt. Dies ist auch tatsächlich der Fall. Der Strom  $I_1$  teilt sich im Knotenpunkt  $A$  in zwei gleiche Teile und fließt über die beiden Gleichrichterzweige unmittelbar nach  $B$ . Im  $I_e$ -Kreis kann kein  $I_1$ -Teilstrom fließen, da diesmal die Knotenpunkte  $C$  und  $D$  potentialgleich sind.

Nach der Ueberlagerung fließen in den Gleichrichterzweigen  $a$  und  $d$  bei der angegebenen  $I_1$ -Richtung die Ströme  $I_a = I_d = (I_e - I_1)/2$  und in den Zweigen  $b$  und  $c$  die Ströme  $I_b = I_c = (I_e + I_1)/2$ . Bei der angegebenen  $I_1$ -Fließrichtung sind also die Gleichrichter  $b$  und  $c$  immer stromführend; die Gleichrichter  $a$  und  $d$  dagegen nur so lange als  $I_1 < I_e$  ist. In diesem  $I_1$ -Bereich ist daher  $I_e$  unverändert gleich  $U/(R+r)$ .

Uebersteigt  $I_1$  den Wert  $U/(R+r)$ , so sperren je nach der  $I_1$ -Fließrichtung entweder die Gleichrichter  $a$  und  $d$  oder die Gleichrichter  $b$  und  $c$ . Der Strom  $I_1$  wird dann über das jeweils stromführende Gleichrichterpaar immer nur im ursprünglichen  $I_e$ -Richtungssinn den  $I_e$ -Kreis und damit den Widerstand  $R$  durchfließen, so dass nunmehr  $I_e = I_1$  ist.

Zusammenfassend ergibt sich also beim Beispiel von Fig. 5 für  $I_1 < U/(R+r)$  der Strom  $I_e$  unabhängig von  $I_1$  mit dem Wert  $I_e = U/(R+r)$ ; für  $I_1 > U/(R+r)$  dagegen ist  $I_e = I_1$ . Damit ist die Knickung der  $I_e$ -Kennlinie bewiesen.

Da die geknickte  $I_e$ -Kennlinie unabhängig von der  $I_1$ -Fließrichtung ist, kann die Anordnung auch für Wechselstrom  $I_1$  angewendet werden, wie in den Beispielen Fig. 3 und 4 gezeigt wurde. Für das Beispiel Fig. 2 bedeutet diese Tatsache, dass beim Uebergang vom motorischen in den generatorischen Betrieb (Bremsen) der Gleichstrommaschine keine Umschaltung des  $I_1$ -Anschlusses an die Gleichrichteranordnung erforderlich ist.

Was die Spannungsverteilung im  $I_e$ -Kreis von Fig. 5 betrifft, so liefert die Spannungsquelle dau-

ernd die konstante Spannung  $U$ . Solange  $I_1 < U/(R+r)$  ist, tritt zwischen den Knotenpunkten  $A$  und  $B$  nur eine geringe Spannung  $U_v$  entsprechend der unterschiedlichen Strombelastung der Gleichrichter auf:

$$U_v = r \left( \frac{I_e + I_1}{2} - \frac{I_e - I_1}{2} \right) = r I_1$$

In diesem  $I_1$ -Bereich stellt die Gleichrichteranordnung gewissermassen eine Kurzschlussverbindung für den Strom  $I_1$  dar. Erst wenn  $I_1$  den Wert  $U/(R+r)$  übersteigt und durch den Widerstand  $R$  geleitet wird, entsteht zwischen den Klemmen  $A$  und  $B$  die Differenzspannung  $RI_1 - U$  zuzüglich der Gleichrichter-Verlustspannung:

$$U_v = (R + 2r) I_1 - U$$

Für die Bemessung der Gleichrichter ist die Sperrspannung  $U_s$  wichtig. Für die Gleichrichter  $a$  und  $d$  erhält man aus Fig. 5:

$$U_s = (R + r) I_1 - U$$

Andererseits ist jeder der vier Gleichrichter für den Strom  $I_1$  zu bemessen. Entsprechende Ueberlegungen sind für den Fall anzustellen, dass  $I_1$  ein Wechselstrom ist.

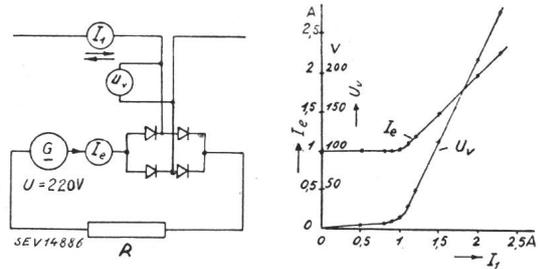


Fig. 6

Schalterschema einer Versuchsanordnung an einem Einphasen-Wechselstromnetz und zugehörige Kennlinien

Zwei *Laboratoriumsversuche*, deren Ergebnisse in den Fig. 6 und 7 dargestellt sind, bestätigten die obigen Ueberlegungen in allen Punkten. Der Knick der  $I_e$ -Kennlinie ergab sich verhältnismässig scharf ausgeprägt. Beim Versuchsbeispiel nach Fig. 7, bei welchem  $I_1$  als Drehstrom gewählt wurde, ist zu beachten, dass der Knick der  $I_e$ -Kennlinie eintritt, wenn der *Höchstwert* des Stromes  $I_1$  in einer Zulieferungsphase den Betrag  $U/(R+r)$  übersteigt.

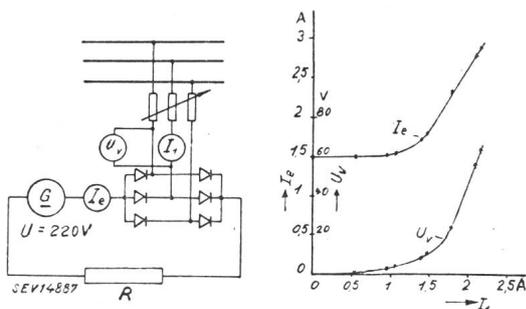


Fig. 7

Schalterschema einer Versuchsanordnung an einem Dreiphasen-Wechselstromnetz und zugehörige Kennlinien

Die Anwendung der beschriebenen Anordnung zur Erreichung einer geknickten Stromkennlinie ist selbstverständlich nicht auf die angegebenen Beispiele beschränkt, sondern kann in der Rege-

lungs- und Steuerungstechnik weitere Verwendungen finden.

Adresse des Autors:  
S. Förster, dipl. Ing., Auguste-Viktoria-Strasse 10, (22c) Brühl b, Köln (Deutschland).

## Inbetriebnahme des Ennskraftwerkes Staning der Oesterreichischen Kraftwerke A.-G.

Von H. von Molnár, Wien

621.311.21(436)

Am 19. November 1946 wurde die erste Maschinengruppe des Wasserkraftwerkes Staning an der Enns der Oesterreichischen Kraftwerke A.-G., des ersten der zahlreichen im Bau befindlichen oder geplanten Enns-Kraftwerke, in Betrieb gesetzt. Bei einer mittleren nutzbaren Wassermenge von  $180 \text{ m}^3/\text{s}$  und einem mittleren Gefälle von  $13,5 \text{ m}$  beträgt die Höchstleistung des Werkes  $33\,000 \text{ kW}$ , verteilt auf 3 Maschinengruppen. Die Jahresarbeit erreicht  $170 \text{ GWh}$ , wovon  $67,5 \text{ GWh}$  im Winter (6 Monate) und  $102,5 \text{ GWh}$  im Sommer. Nach einer kurzen Beschreibung der baulichen Anlage werden die Ereignisse geschildert, welche als Folge der Kriegshandlungen sowohl die Fertigstellung der Turbinen und Generatoren als auch die Montage im Werk selbst immer wieder verzögerten, und zu deren Ueberwindung ungewöhnliche Vorkehren getroffen werden mussten.

Le 19 novembre 1946, le premier groupe de machines de l'usine hydroélectrique de Staning sur l'Enns, appartenant à l'Oesterreichische Kraftwerke A.-G., a été mis en service. Il s'agit de la première des nombreuses usines de l'Enns en construction ou projetées. Pour un débit moyen utile de  $180 \text{ m}^3/\text{s}$  et une chute moyenne de  $13,5 \text{ m}$ , la puissance maximum de cette usine atteindra  $33\,000 \text{ kW}$ , fournis par trois groupes de machines. La production annuelle sera de  $170 \text{ GWh}$ , dont  $67,5$  pendant les 6 mois d'hiver et  $102,5$  en été. Après une brève description des installations, l'auteur expose quelles furent les difficultés sans nombre qui, par suite de la guerre, retardèrent sans cesse la construction des turbines et des alternateurs, de même que le montage, et qui obligèrent d'avoir recours à des moyens exceptionnels.

Am 19. November 1946 wurde die erste Maschine des Wasserkraftwerkes Staning an der Enns, welches der Oesterreichischen Kraftwerke A.-G., Linz (OEKA) gehört, in Betrieb genommen (Fig. 1).

haupt, verdient um so eher hervorgehoben und näher beschrieben zu werden, als es sich hier nicht nur um den weiteren erfolgreichen Ausbau der Wasserkraftenergien in Oesterreich handelt, son-



Fig. 1  
Das Wasserkraftwerk Staning  
Ansicht von der Unterwasserseite

Die Tatsache der Inbetriebnahme des ersten Generators in Staning, des ersten Maschinensatzes in der Reihe der vielen geplanten und teilweise im Bau befindlichen Wasserkraftwerke an der Enns über-

dern um die Indienststellung des ersten grossen Wasserkraftgenerators in Oesterreich nach Beendigung des zweiten Weltkrieges, wobei Schwierigkeiten technischer, wirtschaftlicher, ja sogar politi-