

Objektyp: **TableOfContent**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **79/80 (1922)**

Heft 2

PDF erstellt am: **20.09.2024**

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

### **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*  
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, [www.library.ethz.ch](http://www.library.ethz.ch)

<http://www.e-periodica.ch>

**INHALT:** Ueber das Pendeln von parallel geschalteten Wechselstrom-Generatoren. — Die eisernen Ueberbauten der Centovalli-Bahn, Ferrovia Locarno-Domossola. — Wettbewerb zum Wiederaufbau von Sent. — Schifffahrt auf dem Oberrhein. — Miscellanea: Die unfreiwillige vorzeitige Ausrüstung einer Eisenbeton-Bogenbrücke. Schiffs-Dieselmotor mit grossem Hub. Eidgen. Technische Hochschule. Kraftgas aus

Kläranlagen. Wiederaufbau in Frankreich. Ausfuhr elektrischer Energie. Elektrifizierung der Chilenischen Staatsbahn. — Konkurrenzen: Neue Fünfzigfranken-Banknote der Schweizerischen Nationalbank. Erweiterung des Friedhofes Friedental in Luzern. Entwürfe für Linoleum-Muster. Neues Münzbild für das schweizerische Fünf frankenstück. — Nekrologie: J. Sulzer-Imhoof. — Korrespondenz. — Literatur. — Stellenvermittlung

**Band 79.**

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

**Nr. 2.**

**Ueber das Pendeln von parallel geschalteten Wechselstrom-Generatoren.**

Von J. Fischer-Hinnen, Oerlikon.

Die bekannte Erscheinung des Pendelns von parallel laufenden Wechselstrommaschinen, mit deren Untersuchung sich die Elektrotechniker seit rund 30 Jahren befassen, hat auch heute noch nichts an Aktualität eingebüsst. Wohl schien es, als ob die ganze Frage durch die Einführung der Dampfturbinen endgültig erledigt sei, dafür mehrten sich aber die Schwierigkeiten bei Maschinen, die von Explosionsmotoren angetrieben sind. Wenn auch zugegeben werden muss, dass wir der Frage, ob ein Parallelbetrieb möglich sei oder nicht, dank der inzwischen veröffentlichten, zahlreichen Arbeiten<sup>1)</sup> über diesen Gegenstand, insbesondere aber den Untersuchungen von *Benischke* und *Punga* nicht mehr so hilflos wie früher gegenüberstehen, so gehen die Ansichten über die eigentlichen Ursachen der Störungen und die daraus zu ziehenden praktischen Schlüsse doch noch stark auseinander. Ja es hat beinahe den Anschein, als ob wir augenblicklich auf einem toten Punkte angelangt wären. Sicher ist nur, dass sich die Erscheinungen lange nicht so einfach abspielen, wie man früher annahm, und dass zu ihrer Untersuchung ein mathematischer Apparat erforderlich ist, der nicht jedem Techniker zur Verfügung steht.

Die nachstehende Abhandlung soll nun als Versuch gelten, der Aufgabe auf etwas elementarerem Wege beizukommen, sofern eben eine Untersuchung, die mit Differentialgleichungen zu operieren genötigt ist, überhaupt noch auf die Bezeichnung „elementar“ Anspruch erheben darf. Immerhin werde ich bemüht sein, mich in dem mathematischen Teil so kurz zu fassen, als für das Verständnis des Ganzen unumgänglich ist.

*1. Das Vektordiagramm.*

Um die Aufgabe nicht gleich von Anfang an unnötig zu erschweren, werden wir zunächst den einfachen Fall betrachten, wo eine Maschine zu einer bereits im Betrieb befindlichen Gruppe gleichartiger Maschinen von verhältnismässig grosser Leistung und sehr grossem Gleichförmigkeitsgrad parallel geschaltet wird. Unter dieser Voraussetzung dürfen wir annehmen, dass weder eine merkliche Beeinflussung der Massen untereinander noch der Klemmenspannung stattfindet. Ebenso kann der Vektor der Netzspannung *E* als konstant und im Vektordiagramm als stillstehend angesehen werden.

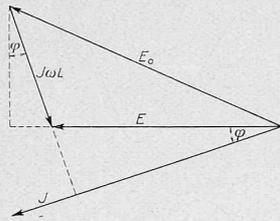


Abb. 1.

Mit Vernachlässigung des ohm'schen Spannungsverlustes *J<sub>r</sub>*, der ja höchstens 1/15 bis 1/30 des induktiven Spannungsabfalles beträgt, ergibt sich sodann das bekannte Vektordiagramm Abbildung 1, in dem bedeuten: *E*<sub>0</sub> die EMK bei voller Erregung (pro Phase), *E* die Klemmenspannung (pro Phase),

<sup>1)</sup> Siehe unter Anderem: *Boucherot*, Lum. Electr., Bd. 45, 1902. — *Blondel*, Lum. Electr., Bd. 45 und 46, 1902. — *Kapp*, E. T. Z. 1899. — *Görges*, E. T. Z. 1900 und 1902. — *Fischer-Hinnen*, Electr. World 1901 sowie E. u. M. 1902. — *Rosenberg*, E. T. Z. 1902, 1903 und Z. V. D. I. 1904. — *Benischke*, E. T. Z. 1903 sowie E. u. M. 1907. — *Sommerfeld*, E. T. Z. 1904. — *Fleischmann*, E. T. Z. 1906, 1912 sowie E. u. M. 1908. — *Punga*, E. T. Z. 1911 und 1914. — *Weisshaar*, E. u. M. 1908. — *Sarfert*, Diss., Dresden 1908. — *Schüler*, E. T. Z. 1911.

*J* den von der Maschine an das Netz abgegebenen Strom, *φ* den Phasenwinkel zwischen *E* und *J*, *ω = 2 π c* die Winkelgeschwindigkeit des Wechselstromes, *c* die Periodenzahl des Wechselstromes, und *ωL* den induktiven Widerstand bei der Phasenverschiebung *φ*.  
Ferner seien *p* die Polzahl und *m* die Phasenzahl.

Die gesamte von der Maschine ans Netz abgegebene Leistung ist somit

$$W = m E J \cos \varphi \dots \dots \dots (1)$$

Dieser Ausdruck lässt sich indessen noch in eine andere für unsern Zweck bequemere Form bringen. Aus Abb. 1 folgt nämlich

$$\omega L J \cos \varphi = E_0 \sin \beta,$$

oder

$$J \cos \varphi = \frac{E_0}{\omega L} \sin \beta.$$

Dabei ist zu beachten, dass der induktive Widerstand *ωL* keine konstante Grösse ist, sondern mit der Phasenverschiebung zunimmt. Derselbe ist am grössten bei Kurzschluss, d. h. *cos φ = 0* und beträgt bei *cos φ = 1* noch etwa 60 % davon. Bezeichnen wir daher mit

$$\omega L_k = \frac{E_0}{J_k}$$

den aus der EMK und dem Kurzschlussstrom *J<sub>k</sub>* berechneten Wert, so muss derselbe für irgend einen andern *cos φ* noch mit einem Reduktionsfaktor *ρ* multipliziert werden, der sich mit genügender Genauigkeit durch die empirische Formel

$$\rho = 1 - 0,4 \cos \varphi$$

darstellen lässt. Auffallender Weise wird diese Tatsache, auf die der Verfasser bereits vor 24 Jahren (E. T. Z. 1897) aufmerksam machte und die auch der hauptsächlichste Grund war, warum die damalige Art der Berechnung des Spannungsabfalles so häufig versagte, in den meisten der bisherigen Theorien übersehen.

Der gefundene Wert von

$$J \cos \varphi = \frac{E_0}{\omega L_k \rho} \sin \beta$$

in die Gleichung (1) eingeführt gibt

$$W = m E \frac{E_0}{\omega L_k} \frac{\sin \beta}{\rho} = m E J_k \frac{\sin \beta}{\rho} \dots \dots (2)$$

Hier stellt *β* den elektrischen Winkel dar, um den der Vektor *E*<sub>0</sub> der Netzspannung vorseilt. Wir sehen sofort, dass *W* für *β = π/2* einen grössten Wert

$$W_{max} = m \frac{E J_k}{\rho} \dots \dots \dots (3)$$

erreicht, der etwa das 4 bis 5 fache der Normalleistung beträgt, worauf die Leistung wieder abnimmt. Bei Ueberschreitung dieses Winkels muss also die Maschine unfehlbar „aus dem Tritt“ fallen.

Lassen wir den Winkel *β* um den unendlich kleinen Betrag *dβ* zunehmen, so nimmt auch die Leistung um

$$dW = m E J_k \frac{\cos \beta}{\rho} d\beta$$

zu. Nun handelt es sich bei allen derartigen Vorgängen nicht um unendlich kleine, sondern um messbare, aber immerhin verhältnismässig kleine Aenderungen des Winkels *β*, so dass man unbedenklich an Stelle des Differentiales

$$\Delta W = m E J_k \frac{\cos \beta}{\rho} \epsilon \dots \dots \dots (4)$$

setzen kann, worin jetzt *ε* die kleine Abweichung aus der Mittellage bedeutet. Dieser Leistungsänderung entspricht bei der mittleren Geschwindigkeit *v* (bezogen auf den Schwungmassenmittelpunkt) eine bestimmte „synchronisierende Kraft“

$$P_s = \frac{\Delta W}{9,81 v} = \left( \frac{m E J_k \cos \beta \rho}{9,81 \rho 2 \pi n} \right) \frac{\epsilon}{r} = \frac{h}{r} \epsilon \text{ kg} \dots (5)$$