

Objekttyp: **TableOfContent**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **115/116 (1940)**

Heft 9

PDF erstellt am: **21.09.2024**

### **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: Regenerationstheorie und Stabilität von Regulierungen. — Zum Verwerfungsproblem des Eisenbahngleises. — Holzkohlengas-Triebwagen der SNCF. — Nachtrag zum Geiser-Wettbewerb 1939 des S. I. A. über aktuelle Probleme des architekton. Wettbewerbs. — Tonisierplatten als Unterlage für Dacheindeckungen. — Villaggio Sanatoriale di Sondalo. — Mitteilungen: Turbulenz und Röntgenstreubild. Der Akademische Ingenieurverein an der E. T. H. Die Wärme in unserer Energiewirtschaft. Das

Elektrofahrzeug im Krieg. Das Verhalten des Langschienengeleises unter dem Betrieb. Die hölzerne Bogenbrücke von 85 m Spannweite bei Kranj in Jugoslawien. Aluminiumfragen. VII. Internat. Ausstellung für dekorative und industrielle Kunst und moderne Architektur in Mailand. — Eidg. Techn. Hochschule. — Wettbewerbe: Schulhaus in Bex. — Nekrologe: Willy Dürler. Ernst Kohler. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

## Regenerationstheorie und Stabilität von Regulierungen

Von Ing. Dr. sc. techn. RENÉ FEISS, Winterthur

Die Bestimmung der dynamischen Stabilität von mittelbaren Regulierungen erfolgte bisher anhand einer analytischen Methode. Das Kriterium von Hurwitz führt aber bei Differentialgleichungen höherer Ordnung auf unübersichtliche Determinanten-Ungleichungen. Verschiedentlich wurde versucht, diese mathematische Methode zu umgehen und auf eine anschaulichere Art, z. B. mit mechanischen Modellen<sup>1)</sup>, das Ziel zu erreichen. Im nachfolgenden Aufsatz soll unter Anwendung der Regenerationstheorie ein solcher Versuch erläutert werden. Dabei sollen die folgenden Bezeichnungen gelten:

- $y$  = Abstand der augenblicklichen Muffenstellung von der neuen Gleichgewichtslage.
- $y_{max}$  = Ganzer Muffenhub entsprechend dem Ungleichförmigkeitsgrad des Reglers.
- $\eta$  =  $\frac{y}{y_{max}}$  relative Reglerabweichung.
- $m$  = Augenblicklicher Abstand des Servomotorkolbens  $K$  von der neuen Gleichgewichtslage.
- $m_{max}$  = Ganzer Weg des Servomotorkolbens von Leerlauf bis Vollast.
- $\mu$  =  $\frac{m}{m_{max}}$  relative Servomotorabweichung.
- $p$  = Augenblicklicher Ueberdruck im Dampfraum über den Druck in der neuen Gleichgewichtslage.
- $p_{max}$  = Druck im Dampfraum, der der Vollast entspricht.
- $\psi$  =  $\frac{p}{p_{max}}$  relative Druckabweichung im Dampfraum.
- $\omega_m$  = Mittlere Winkelgeschwindigkeit des Reglers und der Maschinengruppe.
- $\delta$  =  $\frac{\omega_o - \omega_u}{\omega_m}$  Ungleichförmigkeitsgrad.
- $\varphi$  =  $\frac{\Delta \omega}{\omega_m}$  relative Geschwindigkeitsabweichung entsprechend der Spannungsänderung am Widerstand  $R_1$ .
- $s$  = Abstand des Steuerschiebers von der Mittellage.
- $s_{max}$  = Grösster Ausschlag des Steuerschiebers aus der Mittellage.
- $\sigma$  =  $\frac{s}{s_{max}}$  relative Steuerungsverstellung.
- $T_s$  = Schlusszeit des Hilfsmotors, entsprechend  $\tau_s = L/R$ , im elektr. System.
- $T_e$  = Füllzeit des Dampfdruckraumes, entsprechend  $\tau_e = L_f/R$ . Im elektr. System die Zeit, die nötig ist, um den Dampfdruck bei maximaler Dampfdruckflussmenge ganz aufzufüllen.
- $T_a$  = Anlaufzeit der Maschinengruppe, entsprechend  $\tau_a = RC$ , im elektr. System.
- $P$  = Störkraft am Regler.
- $S_x$  = Dynamische Steilheit der Röhren.
- $e$  = Wechselanteil der elektr. Spannung.
- $i$  = Wechselanteil des elektr. Stromes.

Wirkt in einem Reguliersystem der zu regulierende Energiefluss auf die Regulierung zurück, d. h. ist das Reguliersystem geschlossen, so kann dieses System entweder stabil oder instabil sein. Als stabil wird das System dann bezeichnet, wenn eine kleine einmalige Initialstörung, die in das System hineingebracht wird, eine abklingende Reaktionsschwingung des Systemes hervorruft. Entsprechend wird als instabil ein System bezeichnet, dessen Reaktionsschwingung sich aufschaukelt oder auch harmonisch weiterschwingt. Im letzten Fall heisst dies, dass die zugeführte Energie gerade ausreicht, um die Schwingung zu erhalten. Um das Problem durchsichtiger zu gestalten, kann man eine Analogie herstellen mit dem in der Hochfrequenz- und Schwachstromtechnik in letzter Zeit so viel besprochenen gegengekoppelten Verstärkersystem, dessen Stabilitätsproblem in allgemeiner Form von Nyquist theoretisch untersucht wurde<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> J. v. Freudenreich: Untersuchung der Stabilität von Reglerapparaturen. Stodola-Festschrift 1929.

Die mechanisch-elektrischen Analogien sind längst bekannt<sup>3)</sup>. Früher wurden sie vom Elektriker herangezogen, um elektrische Probleme leichter übersehen zu können<sup>4)</sup>. Hier wird der umgekehrte Weg beschritten, um zu einer Messmethode zu gelangen, die erlaubt, an einem elektrischen Modell die Stabilitätsverhältnisse einer Regulierung zu untersuchen.

Um das elektrische Modell einer Regulierung zu finden, muss diese in ihre schwingungstechnischen Elemente zerlegt werden, für die alsdann die entsprechenden elektrischen Grössen einzusetzen sind. Wir wollen diese Umformung am praktischen Beispiel, der klassischen Regulierung von Brown und Farcot, erläutern, die zur Regelung einer Dampfturbine mit angekuppeltem Generator verwendet werden kann (Abb. 1). Sie

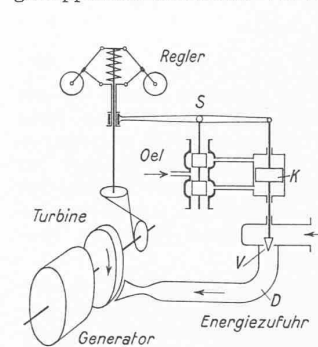


Abb. 1. Regulierung mit starrer Rückführung nach Brown-Farcot

arbeitet folgendermassen: Wird der Generator z. B. plötzlich entlastet, so beschleunigt sich das Turboaggregat, die Reglergewichte fliegen nach aussen und heben die Muffe an, worauf der Steuerkolben  $S$  den Oelzutritt zum Servomotor  $K$  freigibt. Dieser schliesst das Ventil  $V$  und führt gleichzeitig den Steuerkolben wieder in seine Mittellage zurück; damit steht aber der Servomotorkolben still. Entspricht nun die Energiezufuhr der Belastung, so herrscht stationärer Zustand, andernfalls wiederholt sich der Regulierungsvorgang in umgekehrtem Sinn.

Jede Regulierung besteht aus Schwingungsgliedern und Kopplungsgliedern. Im vorliegenden Fall unterscheiden wir folgende Schwingungsglieder: 1. Fliehkraftregler, 2. Kraftgetriebe bestehend aus Steuerschieber  $S$ , Servomotor  $K$  und Energiedosierungsorgan  $V$ , 3. Energiezufuhrleitung  $D$  zwischen Ventil und Maschine, 4. Maschinengruppe. Als Kopplungsglieder bezeichnet man die Verbindungsglieder zwischen den Schwingungsgliedern; schwingungstechnisch sind sie ohne Bedeutung, dagegen haben sie die Eigenart, Störungen, die das System durchlaufen, nur in einer Richtung zu übertragen, so ist z. B. eine Rückwirkung des Energiezuflusses durch das Ventil  $V$  auf den Servomotor  $K$  ausgeschlossen, wogegen die Bewegungen des Ventiles den Energiezustrom steuern. Eine derartige Kopplung können wir als einseitig bezeichnen.

Der Fliehkraftregler besteht aus einer federbelasteten Masse, angetrieben durch eine, der Abweichung von der stationären Winkelgeschwindigkeit proportionalen Kraft  $P$ , behindert durch laminare Reibung. Die Bewegungsgleichung eines solchen Gebildes lautet<sup>5)</sup>:  $m y'' + k y' + f y = P$ . In praktischen Ausführungen kann der Regler aber als masse- und reibungslos angenommen werden. Dann fallen die ersten beiden Glieder weg und es bleibt:  $f y = P$  oder unter Einführung der dimensionslosen Grössen

$$\eta = \frac{1}{\delta} \varphi \dots \dots \dots (1)$$

Damit beschränkt sich aber die Funktion des Reglers auf diejenige eines Kopplungsgliedes. Eine elektrische Analogie hierfür wird geliefert durch eine Elektronenröhre (Abb. 2), die bei konstanten Anoden- und Gitterspannungen einen konstanten Anodenstrom liefert.

<sup>2)</sup> H. Bartels und F. Schierl: Die Arbeitsweise gegengekoppelter Verstärker. «Telefunken» Nr. 77. 18. Jahrgang, November 1937.

<sup>3)</sup> Darrieux: Les modèles mécaniques en électrotechnique, leur application aux problèmes de stabilité. «Bulletin S. F. E.» t. 9, 1929.

<sup>4)</sup> S. B. Griscan: A Mechanical Analogy to the Problem of Transmission Stability. «The Electric Journals» Vol. XXIII.

<sup>5)</sup> Die folgenden mechanischen Differentialgleichungen sind ausführlich abgeleitet in dem Buch von M. Tolle: Regelung der Kraftmaschinen, S. 756 ff (3. Aufl., Springer 1921), mit Ausnahme von Gl. (3), die im Wesentlichen von F. Weiss stammt: Der Einfluss von Dampfdrücken auf die Regulierung von Dampfturbinen, «SZ», Bd. 108 (1936), Nr. 13, S. 137\*.