Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115/116 (1940)
Heft: 9

Inhaltsverzeichnis

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: 22.07.2025

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

INHALT: Regenerationstheorie und Stabilität von Regulierungen. — Zum Verwerfungsproblem des Eisenbahngeleises. — Holzkohlengas-Triebwagen der SNCF. — Nachtrag zum Geiser-Wettbewerb 1939 des S. I. A. über aktuelle Probleme des architekton. Wettbewerbs. — Tonisolierplatten 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 Jugoslavien. 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.

Band 115 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 9

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[1]), 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.

ω_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 Dampfraumes, entsprechend $\tau_e = L/R$. Im elektr. System die Zeit, die nötig ist, um den Dampfraum bei maximaler Dampfdurchflussmenge 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 unstabil 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 unstabil 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 allgemeinster Form von Nyquist theoretisch untersucht wurde[2]).

Die mechanisch-elektrischen Analogien sind längst bekannt[3]). Früher wurden sie vom Elektriker herangezogen, um elektrische Probleme leichter übersehen zu können[4]). 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 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 Reguliervorgang in umgekehrtem Sinn.

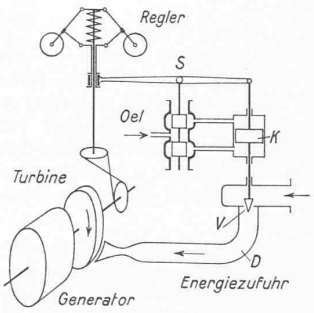

Abb. 1. Regulierung mit starrer Rückführung nach Brown-Farcot

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[5]): $m y'' + k y' + f y = P$. 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

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

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 Ano-

[1]) *J. v. Freudenreich:* Untersuchung der Stabilität von Reglervorrichtungen. Stodola-Festschrift 1929.

[2]) *H. Bartels* und *F. Schierl:* Die Arbeitsweise gegengekoppelter Verstärker. «Telefunken» Nr. 77. 18. Jahrgang, November 1937.

[3]) *Darrieux:* Les modèles mécaniques en électrotechnique, leur application aux problèmes de stabilité. «Bulletin S. F. E.» t. 9, 1929.

[4]) *S. B. Griscan:* A Mechanical Analogy to the Problem of Transmission Stability. «The Electric Journal» Vol. XXIII.

[5]) 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 Dampfräumen auf die Regulierung von Dampfturbinen, «SBZ», Bd. 108 (1936), Nr. 13, S. 137*.