

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117/118 (1941)
Heft: 6

Inhaltsverzeichnis

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: 16.05.2025

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

INHALT: Eine neue Methode zur Bestimmung der Stabilität von Regulierungen. — Wettbewerb für eine neue Bahnhofbrücke in Olten. — Das Problem Schiene/Strasse. — Mitteilungen: Vereinigung schweizerischer Strassenfachmänner. Balkenbemessung trümmersicherer Luftschutzräume. Selbsttätiges Wiedereinschalten von Ueberlandleitungen. Feinst-

messtechnik. Das Kunstlicht im Innenraum. Einheitsstrassenbahnwagen. Infrarotlampen für Heizung und Trocknung. In einer Nut geleimte Holzbalken. Persönliches. Das Jenner Kinderspital in Bern. — Nekrologe: Dr. h. c. Sidney W. Brown. — Literatur. — Gesellschaft Ehemaliger Studierender der Eidgen. Technischen Hochschule.

Band 118

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung

Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 6

Eine neue Methode zur Bestimmung der Stabilität von Regulierungen

Von Ing. Dr. RENÉ FEISS, Winterthur

Die Bestimmung der dynamischen Stabilität von mittelbaren Regulierungen anhand des Kriteriums von Hurwitz führt zu oft unübersichtlichen Determinanten-Ungleichungen¹⁾. Es wurde daher schon verschiedentlich versucht, das Ziel auf eine anschaulichere Art, mit mechanischen^{2) 3) 4)} oder elektrischen⁵⁾ Modellen, zu erreichen. Die im nachfolgenden Aufsatz dargelegte Methode erlaubt unter Anwendung der Regenerationstheorie, mit Hilfe des Vektorbildes der Regelung deren Stabilität zu bestimmen⁶⁾.

Wirkt in einem Regulierungssystem der zu regulierende Energiefluss auf die Regulierung zurück, d. h. ist das Regulierungssystem in sich 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 Systems hervorruft. Instabil heisst ein System, dessen Reaktionsschwingung sich aufschauelt oder auch harmonisch weiterschwingt. Im letzten Falle heisst dies, dass die zugeführte Energie gerade ausreicht, um die Schwingung zu erhalten. Um das Problem zu vereinfachen, bedienen wir uns der Analogie zwischen den Regelungen und den in jüngster Zeit in der Hochfrequenz- und Schwachstromtechnik viel besprochenen, gegengekoppelten Verstärkersystemen^{7) 8)}, deren Stabilitätsproblem in allgemeiner Form von Nyquist^{9) 10) 11)} theoretisch untersucht worden ist.

Der Anschaulichkeit halber soll die neue Methode anhand eines praktischen Beispiels erläutert werden, nämlich der Druckregulierung (Isobarregulierung) eines Zwangsdurchlaufkessels moderner Bauart, wie er in vielen Ausführungen im Betrieb ist (Abb. 1).

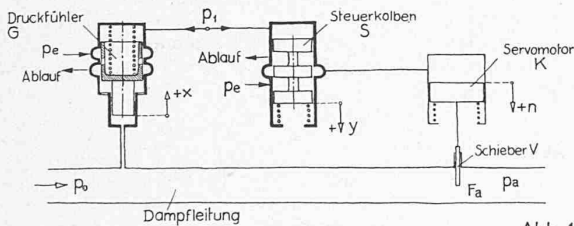


Abb. 1

Schema der Druckregulierung eines Zwangsumlaufkessels

Die Wirkungsweise des Reglers ist in kurzen Zügen die folgende: Steigt der Druck p_0 in der Dampfleitung zufolge veringert Dampfverarbeitung seitens des Verbrauchers, so steigt der Kolben des Druckfühlers G . Drucköl tritt unter dem Druck p_e so lange über den Kolben, bis der Druck p_1 dem veränderten Druck p_0 das Gleichgewicht hält. Unter dem Einfluss des steigenden Druckes p_1 bewegt sich der Steuerkolben S nach unten und öffnet den Oelabfluss des Servomotorkolbens K . Dieser

geht unter dem Einfluss der Feder nach oben und vergrössert den Querschnitt F_a des Schiebers in der Dampfleitung, wodurch der Druck p_0 absinkt. Der Regelvorgang ist beendet, sobald der Steuerkolben in seiner Mittellage verharrt, was dann der Fall ist, wenn der Druck p_0 seinen ursprünglichen Wert angenommen hat.

Jede Regulierung besteht aus Schwingungsgliedern und Kopplungsgliedern. Als Schwingungsglieder bezeichnet man jene Regulierungsbestandteile, denen eine bestimmte Funktion zugewiesen ist, und an denen Massen-, Reibungs- oder Federkräfte einzeln oder gemeinsam wirksam sind. Im vorliegenden Fall unterscheiden wir folgende Schwingungsglieder: 1. Druckfühler, 2. Kraftgetriebe (Steuerschieber S , Servomotor K , Schieber V), 3. Rohrstrang zwischen Druckfühler und Schieber V . Als Kopplungsglieder bezeichnet man die Verbindung zwischen den einzelnen Schwingungsgliedern; schwingungstechnisch sind sie meist ohne Bedeutung. Kopplungsglieder sollen Regelimpulse nur in einer Richtung übertragen, um störende Rückwirkungen zu vermeiden; solche Verbindungen bezeichnet man als einseitige Kopplungen. In der Praxis hat sich wiederholt gezeigt, dass gegenseitige Kopplungen zwischen einzelnen Schwingungsgliedern eine Regulierung unbrauchbar machen können¹²⁾. Wird diese zu wenig beachtete Tatsache beim Entwurf berücksichtigt, so kann man die Vorgänge leicht überblicken und insbesondere bei Unstabilität im Betrieb sofort Abhilfe schaffen, indem keine Sekundäreffekte zufolge örtlicher Rückkopplung auftreten können.

Wir treten an die Analyse der einzelnen Bestandteile der Regulierung heran, indem wir uns bei der Aufstellung der Gleichungen an die im Werk von Tolle angegebenen Grundsätze halten¹³⁾.

1. Der Druckfühler G besteht aus einem sog. Glockenkolben, der mit Masse behaftet ist. Von aussen wirken auf ihn ein: die Reibungskraft, die Federkraft und der Oeldruck. Seine Bewegungsgleichung lautet daher:

$$m_1 \frac{d^2x}{dt^2} + k_1 \frac{dx}{dt} + \alpha x = \Delta p_0 F_0 - \Delta p_1 F_1 \quad (1)$$

Dabei bedeuten: x die Auslenkung des Glockenkolbens aus der Mittellage; F_0 bzw. F_1 die Fläche des Kolbens, auf die p_0 bzw. p_1 wirkt; Δp_0 bzw. Δp_1 die momentane Abweichung des Druckes von p_0 bzw. p_1 ; m_1 , k_1 , α drei die Trägheit, flüssige Reibung und Federkraft kennzeichnende Koeffizienten; $\Delta p_0 F_0$ bzw. $\Delta p_1 F_1$ ist die Kraft, herrührend von der Oeldruckabweichung am Kolben. Ist die auf der rechten Seite von (1) stehende Störkraft harmonisch, von der Kreisfrequenz ω , und $x(t)$ eine harmonische Schwingung der selben Frequenz, so kann man bekanntlich sowohl die Störkraft, als auch jeden der drei linksstehenden Terme durch einen Vektor darstellen. Der dritte der drei letztgenannten Vektoren ist gegen den zweiten, dieser gegen den ersten um 90° verdreht; ihre Resultierende ist nach Gl. (1) dem die Störkraft darstellenden Vektor gleich. Projiziert man das ebene Vektorpolygon, das die der Gl. (1) entsprechende Vektorgleichung veranschaulicht, auf eine mit der Winkelgeschwindigkeit ω in der Ebene des Polygons rotierende Zeitachse, so erhält man zwischen den bezüglichen Vektorkomponenten den durch (1) ausgedrückten Zusammenhang.

2. Das Kraftgetriebe besteht zunächst aus dem Steuerkolben S , der mit Masse behaftet ist. An äusseren Kräften wirken auf ihn: die Reibungskraft, die Federkraft und der Oeldruck. Der Kolben bewegt sich gemäss der Gleichung:

$$m_2 \frac{d^2y}{dt^2} + k_2 \frac{dy}{dt} + \beta y = \Delta p_1 F_2 \quad (2)$$

Dabei bedeuten: y die Abweichung des Steuerschiebers aus der neutralen Lage; m_2 , k_2 , β wiederum drei die Trägheit, flüssige Reibung und Federkraft kennzeichnende Koeffizienten; F_2 die Fläche des Steuerkolbens, auf den der Druck p_1 wirksam ist. Der Servomotorkolben K bewegt sich proportional der zu- bzw. abfliessenden Oelmenge, die ihrerseits proportional der Auslenkung des Steuerschiebers aus der Mittellage ist. Die Oelabflussgleichung lautet:

$$-(y/y_{\max}) Q_{\max} = (V_{\max}/u_{\max}) \frac{dn}{dt}$$

¹²⁾ M. Lang: Regeltheoretische Untersuchung über die Selbststeuerung von Wärmesystemen, «Wärme» Bd. 60 (1937), S. 8/13 und 23/26.

¹³⁾ M. Tolle: Die Regelung der Kraftmaschinen, Berlin 1921, S. 756/63.

¹⁾ A. Stodola: Ueber die Regulierungen von Turbinen, «SBZ» Bd. 22 (1893), S. 113/17, 121/22, 126/28, 134/35 und Bd. 23 (1894), S. 108/12 und 115/17.

²⁾ J. v. Freudenreich: Untersuchung der Stabilität von Regeleinrichtungen. In: E. Honegger, Stodola-Festschrift, Zürich 1929, S. 172/79.

³⁾ S. P. Grison: A mechanical analogy to the problem of transmission stability, «Electr. J.» Bd. 23 (1926), S. 230.

⁴⁾ M. Darrieus: Les modèles mécaniques en électrotechnique, leur application aux problèmes de stabilité, «Bull. Soc. Franç. Electr.» Bd. 9 (1929), S. 794/809.

⁵⁾ R. Feiss: Regenerationstheorie und Stabilität von Regulierungen, «SBZ» Bd. 115 (1940), Nr. 9, S. 97/99.

⁶⁾ R. Feiss: Untersuchung der Stabilität von Regulierungen anhand des Vektorbildes, Diss. E. T. H. Zürich 1939.

⁷⁾ H. Bartels und F. Schierl: Die Arbeitsweise gegengekoppelter Verstärker, «Telefunkenztg.» Bd. 18 (1937), Nr. 77, S. 9/23.

⁸⁾ B. D. H. Tellegen: Gegenkopplung, «Philips Techn. Rundschau», Bd. 2 (1937).

⁹⁾ H. Nyquist: Regeneration theory, «Bell Syst. Techn. J.» Bd. 11 (1932), S. 126/47 und «Ann. Postes Télégr. Téléph.» Bd. 23 (1934), S. 1010/16.

¹⁰⁾ E. Peterson, J. G. Kreer und L. A. Ware: Regeneration theory and experiments, «Proc. Inst. Radio Engrs.» Bd. 22 (1934), S. 1191/1210 und «Bell System Techn. J.» Bd. 13 (1934), S. 680/700.

¹¹⁾ D. G. Reid: Necessary conditions for stability (or selfoscillation) of electrical circuits, «Wireless Engrs.» Bd. 14 (1937), S. 588/96.