Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 82 (1964)

Heft: 25

Artikel: Einfluss der Elastizität auf die optimale Reglereinstellung von Wasserturbinen: Berichtigung zum Aufsatz von T. Stein und D. Hinze

Autor: Lein, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-67529

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: 24.12.2025

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

auf dem Weg einer vertrauensvollen Zusammenarbeit zwischen den drei Anliegerstaaten erreicht werden, wobei die technischen und finanziellen Fragen unter Wahrung der berechtigten Interessen aller Beteiligten geregelt werden müssen.

Im Sinne einer solchen Zusammenarbeit haben die Wasserwirtschaftsverbände mit ihrem Memorandum auf die Aufgaben hingewiesen, die alle Anliegerstaaten in gleichem Masse sich zu eigen machen müssten. Sie haben damit gezeigt, dass sie entschlossen sind, nicht nur in der Theorie, sondern auch in der Praxis für eine Abstimmung der verschiedenen Wassernutzungen am Bodensee einzutreten. Dabei muss auch in der Zukunft die Reinhaltung des Bodensees mit allen damit zusammenhängenden Fragen als eine der vordringlichsten internationalen wasserwirtschaftlichen Aufgaben angesehen und in jeder Hinsicht gefördert werden.

Einfluss der Elastizität auf die optimale Reglereinstellung von Wasserturbinen

DK 621.24:621-531.9

Berichtigung zum Aufsatz von T. Stein und D. Hinze [1])

Von Dr.-Ing. **G. Lein**, Heidenheim/Brenz, Deutschland

Die Verfasser leiten allgemeine Formeln zur Bestimmung der optimalen Einstellung der Regler von Wasserturbinen ab. Solche Faustformeln sind für regelungstechnisch normale Anlagen sehr wertvoll. Für regeltechnisch schwierige Anlagen wird es sich jedoch empfehlen, die Stabilitätsuntersuchungen ohne Vereinfachungen und Vernachlässigungen durchzuführen, damit das Verhalten bei den verschiedenen Lasten möglichst genau beurteilt werden kann. Dabei zeigen sich dann die verschiedenen Möglichkeiten, das Stabilitätsverhalten zu verbessern, auch wenn der Einstellbereich des Reglers erschöpft ist. Die von den Verfassern erwähnte Einführung einer zusätzlichen Statik zwischen Spannung und Frequenz ist nur eine dieser Möglichkeiten. Auch eine ausführliche Stabilitätsrechnung erfordert bei einem Digitalrechner nur geringen Zeitaufwand.

Im Abschnitt 11 scheint den Verfassern ein Irrtum unterlaufen zu sein.

1. Bei Eingabe einer ungedämpften Eingangsschwingung ist bei einem aufgeschnittenen Regelkreis die Ausgangsgrösse ebenfalls eine ungedämpfte Schwingung.

2. Der aufgeschnittene Regelkreis lässt sich nur dann schliessen, wenn Eingangs- und Ausgangsgrösse amplituden- und phasengleich sind und gleiche Dämpfung haben. Das heisst, bei ungedämpfter Eingangsgrösse ist ein Schliessen nur möglich, wenn der Eigenvorgang des Regelkreises ungedämpft ist, d. h. an der Stabilitätsgrenze verläuft. Ist der Regelkreis jedoch eindeutig stabil, so lässt sich der aufgeschnittene Regelkreis nur schliessen, wenn die Eingangsschwingung mit der Eigenfrequenz und der Eigendämpfung erfolgt [2]).

Das gleiche gilt auch für den inversen Frequenzgang des aufgeschnittenen Regelkreises. Es ist also nicht zulässig, den Frequenzgang des aufgeschnittenen Regelkreises F_0 mit dem Glied $i\omega/(-\delta + i\omega)$ zu multiplizieren, um die Kennwerte des Eigenschwingungsvorganges ω_e und δ_e zu berechnen. Das lässt sich aus der Bedingungsgleichung (35) ebenfalls ableiten:

Setzt man den Wert δ aus der zweiten Gleichung in die erste ein, so erhält man $R_0 = 1$. Zu $R_0 = 1$ gehört ein bestimmter Wert ω, für den aber $I_0 \neq 0$ ist, wenn es sich nicht um einen Regelkreis an der Stabilitätsgrenze handelt. Dieser Wert ω ist *nicht* gleich der Eigenschwingungsfrequenz. Also ist auch δ nicht gleich der Eigendämpfung.

Das soll an einem einfachen Beispiel gezeigt werden. Es handelt sich um einen Regelkreis, bestehend aus einer Francis-Turbine (Elastizität von Wasser und Wasserführung vernachlässigt) und einem PI-Regler. Die Reglereinstellung ist etwa «optimal» gewählt, so dass der Regelkreis stabil ist. Der Frequenzgang des aufgeschnittenen Regelkreises F_0 lautet für diesen Fall

$$F_0 = \frac{-0{,}475 - 1{,}38\,p + 19{,}4\,p^2}{6{,}05\,p + 45{,}8\,p^2 + 50{,}8\,p^3}$$

Die mit dem Ansatz $p = i\omega - \delta$ aus $F_0 = 1$ (Bedingung dafür, dass der Regelkreis geschlossen werden kann) ermittelten Werte ω_e und δ_e sind

$$\omega_e = 0{,}25, \qquad \delta_e = 0{,}216$$

Sie bilden den Eigenvorgang des Regelkreises. Mit den Bedingungsgleichungen (35) des Aufsatzes Stein-Hinze lässt sich für das Beispiel kein Wert ω finden, für den $R_0(\omega) = 1$ ist, wie es die Kombination beider Gleichungen verlangt. Es ist also unklar, wie die Berechnung in einem solchen Fall vor sich geht. Es wurde nicht weiter untersucht, ob sich die «optimale» Einstellung des Reglers mit den richtigen Werten ω_e und δ_e wesentlich ändert.

Stellungnahme der Verfasser

Der Einfluss von Elastizität und Reglereinstellung auf ω_e und δ_e wurde zunächst unter Zuhilfenahme graphischer Methoden ermittelt. Um zu versuchen, hiefür mit dem Computer allein auszukommen, wurden als erste Näherung die dargestellten Beziehungen verwendet, die auf dem Computer keine wesentlich veränderten Endergebnisse für die optimale Reglereinstellung ergaben. Dabei ist der vom Frequenzgang abhängige Phasen-Voreilungswinkel durch die Abklinggrösse δ ersetzt, die durch die Voreilung hervorgerufen wird. An der Stabilitätsgrenze ist der Voreilwinkel und auch die Abklinggrösse δ null, und beide Werte wachsen mit zunehmender Dämpfung. Bei kleinen Voreilwinkeln besteht annähernd Proportionalität zwischen Voreilwinkel und der vom vertikalen Abstand der Ortskurve vom kritischen Punkt abhängigen Abklinggrösse δ, gemessen im Masstab der Frequenzteilung auf der Ortskurve im Fusspunkt dieser Vertikalen. Die Proportionalität besteht annähernd, solange das ω, δ-Netz noch nicht stark verzerrt ist und der Masstab der Frequenzteilung der abklingenden Schwingung der Stabilitätsgrenze gegenüber noch nicht stark abweicht.

Es wurde aber für die Programmierung des Computers mit Iteration, die im Aufsatz nur andeutungsweise behandelt ist, eine weitere Ableitung entwickelt, die ohne solche Einschränkungen die Abklinggrösse δ_e und die Eigenfrequenz ω_e auch direkt durch den Computer ermittelt. Dies Rechen-Programm, das ebenso die Zuhilfenahme graphischer Methoden für die Ermittlung der Reglereinstellung erübrigt, hat inzwischen die ersten Resultate ergeben, wobei die Rechenzeit sehr kurz ist. Es ist ferner in dem Sinn erweitert, dass es für alle hydraulischen Turbomaschinen, also auch für Pumpen gültig ist. Es gestattet in gleicher Weise, wie im Aufsatz dargestellt, die Beurteilung des Abklingvorgangs durch die Abklingzeit $T_{1/10}$ und die Anzahl Ausschläge $a_{1/10}$. Dieses Rechen-Programm mit seinem Fluss-Schema einschliesslich Iteration wird in einem folgenden Aufsatz in dieser Zeitschrift ausführlich behandelt werden.

[1]) SBZ 1964, H. 13, S. 199.

[2]) *A. Leonhard:* Die selbsttätige Regelung, 2. Auflage, Springer 1957, S. 252 ff.

G. Hutarew: Regelungstechnik, 2. Auflage, Springer 1961, S. 171/172.