

DISS. ETH Nr. 12765

Modellierung und neues Konzept für die Regelung von Laufwasserkraftwerken

ABHANDLUNG
Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der
Eidgenössischen Technischen Hochschule
Zürich

vorgelegt von
Jacques Chapuis
Dipl. El. Ing. ETH
geboren am 6.4.1965
von Bonfol JU

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. W. Schaufelberger, Referent
Prof. Dr. L. Guzzella, Korreferent
Prof. Dr. E. Badreddin, Korreferent

1998

Abstract

Automatic control of hydro power plants has attained increased attention during the last decades. Demand for higher efficiency is a challenge for automatic control systems and the requirements can hardly be met by conventional control technologies. Therefore an important Swiss supplier of automatic control systems for hydro power plants has agreed with the Swiss Federal Institute of Technology to investigate the application of fuzzy logic for control of river power plants in a research project. In the industry a cascaded control structure has been well approved. The level controller, for which simple PI controllers usually are sufficient, precedes the outflow controller. This work focuses on the outflow control loop. The characteristic of the outflow controller is, that it has to select among several turbines and weirs to control the total reservoir outflow with respect to given operation rules. Today's outflow controllers realize a standard turbine and weir regime, where modifications have to be done in an ad hoc manner. The use of fuzzy logic leads to a generalized controller scheme, which simplifies the configuration and shows a higher flexibility for complex outflow regimes. Moreover fuzzy logic allows the easy incorporation of heuristic knowledge from operators.

The performance of the presented outflow controller is shown in simulation. The base of the developed river power plant simulator are mathematical models for river sections, turbines and weirs.

Two linear dynamical models are derived from the nonlinear partial differential equations (PDE) of De Saint Venant. Both describe the unsteady flow behavior of open channels. The first is based on a spatial discretization of the linearized PDE resulting in state space models. The second arises after transforming the river section into an equivalent rectangular channel. Given two boundary conditions the analytical solution of the linearized PDE are transcendental transfer functions. The developed models are compared with the solution of the nonlinear PDE.

The introduction of a hybrid modelling approach allows to derive models for turbines and weirs incorporating both time-continuous and discontinuous system behavior. In view of implementation purposes specially the problem of exact state-event detection is considered.

The outflow controller scheme consists of individual low level flow controllers for every actuator (turbines and weirs) and of an outflow distribution unit. The task of the outflow distribution unit is to optimize the input of the flow controllers in such way, that the outflow regime is fulfilled at the best under the overall state of the power plant. Because of the difficulty to translate above optimization problem into analytical formulas, the application of fuzzy multicriteria decision making for the actuator selection is much more appropriate. Key issues to solve the decision problem are: Extract analytical features from measured process information, quantify the satisfaction degrees of criteria for every actuator and aggregate the criteria to form an overall decision function. Several criteria are defined which base on plantwide operation strategies and on turbine and weir properties. Simulation studies show how different strategies for turbine and weir operation are coded in fuzzy rule bases and how they affect the performance of the outflow control loop.

Kurzfassung

Die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Prozessanlagen durch Optimierung der Betriebsabläufe stellt neue Herausforderungen an die Automatisierungs-Einrichtungen. Ziel dieser Arbeit ist, am Beispiel der Wasserhaushalt-Automatik von Laufwasserkraftwerken zu zeigen, wie Fuzzy-Logik — als eine Möglichkeit unter anderen — diesen hohen Anforderungen gerecht wird. Als Teilaufgabe der Wasserhaushalt-Automatik wird das Problem der Abflussregulierung gewählt. Charakteristisch am Abflussregelkreis ist, dass dem Regler mehrere Aktoren (Turbinen und Wehre) zur Verfügung stehen, um den Stauraumabfluss einem vorgegebenen Abflusssollwert nachzuführen. Die hier vorgestellte Abflussreglerstruktur unterscheidet sich von bekannten Lösungsansätzen durch eine erhöhte Flexibilität bezüglich zu realisierender Betriebsvorschriften und einer vereinfachten Konfigurierung dank dem Einsatz von Fuzzy-Regelbasen.

Zum Entwurf und zur Einstellung des Abflussreglers ist ein Simulator unabdingbar. Die Nachbildung eines Laufwasserkraftwerks setzt die Entwicklung von mathematischen Modellen für den Stauraum und die Abflussorgane voraus.

Ausgehend von den nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen von De Saint Venant, die das eindimensionale Strömungsverhalten offener Gerinne beschreiben, werden zwei lineare Stauraummodelle hergeleitet: Das Gerinnemodell beruht auf einer örtlichen Diskretisierung der linearisierten De Saint Venant Gleichungen. Beim Kanalmodell wird der betrachtete Flussabschnitt zuerst mit einer Ähnlichkeitsabbildung in einen rechteckigen Kanal transformiert. Die linearisierten De Saint Venant Gleichungen können für diesen hypothetischen Kanal durch Vorgabe zweier Randbedingungen exakt gelöst werden. Ein Vergleich mit der Lösung der nichtlinearen De Saint Venant Gleichungen erlaubt, die Güte der entwickelten Stauraummodelle zu beurteilen.

Die Einführung eines hybriden Modellansatzes ermöglicht, die bei der Beschreibung von Turbinen und Wehren sowohl zeitkontinuierlich wie auch diskontinuierlich auftretenden Prozessaspekte zu modellieren. Besondere Beachtung wird der genauen Detektion von Zustandsereignissen gewidmet.

Der Abflussregler setzt sich aus konventionellen Stellkreisreglern, die je ein Abflussorgan steuern, und einer Abflussverteilung zusammen. Letztere hat dafür zu sorgen, dass die Verteilung des Abflussregelfehlers auf die Stellkreisregler unter bestmöglicher Einhaltung der Betriebsvorschriften erfolgt. Die häufig in Form von linguistischen Regeln formulierten Betriebsvorschriften erschweren die Formulierung des Verteilungsproblems in Form einer numerischen Optimierungsaufgabe. Weit besser geeignet sind Methoden, wie sie bei Mehrkriterien-Entscheidungsproblemen Anwendung finden. Die Abflussverteilung wählt denjenigen Stellkreisregler, dessen Abflussorgan die höchste Einsatzverfügbarkeit aufweist. Diese wird durch mehrere Kriterien charakterisiert, die sowohl den Betriebszustand wie auch das Einsatzvermögen (gemäß den Betriebsvorschriften) eines einzelnen Abflussorgans beurteilen. Die Entscheidungsfindung erfolgt in drei Schritten: Aus messbaren Prozessinformationen werden analytische Merkmale extrahiert. Die Bewertung von Kriterien für jedes Abflussorgan erfolgt durch Fuzzy-Systeme, die Merkmale in Erfülltheitsgrade von Kriterien transformieren. Durch gewichten und Verknüpfen der Kriterien mit Fuzzy-Operatoren wird das bestgeeignete Abflussorgan ausgewählt. Anhand von Simulationen wird gezeigt, wie sich verschiedene Ein-

satzstrategien für Turbinen und Wehre in Fuzzy-Regelbasen abbilden lassen und wie sie die Regelgüte bezüglich Abflussabweichung und Anzahl Stellbefehle beeinflussen. Zudem wird der Einfluss der Abflussverteilung auf den übergeordneten Pegelregelkreis untersucht.

Der neue Abflussregler wird gegenwärtig in das Leitsystem einer Pilotanlage implementiert.