

Diss. Nr. 4201

**Dynamisches Grossbereichverhalten des
nichtlinearen Zweifachregelkreises Wasserturbine-
Synchrongenerator mit frequenzunabhängiger Last
im Inselbetrieb**

ABHANDLUNG

zur Erlangung
der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

RENÉ GILBERT FATTON

dipl. El.-Ing. ETH

geboren am 7. Juni 1941

von Les Verrières (Kt. Neuenburg)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. h. c. Ed. Gerecke, Referent
P.-D. Dr. H.-R. Schwarz, Korreferent

Juris Druck + Verlag Zürich
1969

ZUSAMMENFASSUNG

Bis anhin erfolgte die Untersuchung des Zweifachregelkreises Wasserturbine-Generator im Inselbetrieb unter Annahme eines wesentlich vereinfachten hydraulischen Systems oder wesentlich vereinfachten Generators. Die Arbeiten von M. Cuénod [1, 2, 3] waren ein erster Versuch, das System Turbine-Generator als Ganzes zu betrachten. Dabei beschränkten sich die Untersuchungen auf das lineare Differentialgleichungssystem, das die dynamischen Vorgänge im System um den Nennbetriebspunkt beschreibt und eine Diskussion der statischen Stabilität im eben erwähnten Punkt ermöglicht. Die Zeitkonstanten des elektrischen Subsystems wurden vernachlässigt.

In der vorliegenden Arbeit erfährt das oben zitierte rudimentäre Modell wesentliche Erweiterungen. Insbesondere wird folgenden Nichtlinearitäten Rechnung getragen:

Im hydraulischen Teilsystem ist der Wasserfluss eine nichtlineare Funktion der Schieberöffnung und des Druckes, was sich besonders auf das Turbinendrehmoment auswirkt, welches seinerseits nichtlineare Funktion des Flusses, des Druckes und der Rotationsgeschwindigkeit ist. Letzteres wirkt sich besonders bei geschlossenem Schieber - wo das Turbinendrehmoment Null ist - und bei Ueberlast aus, wo der Wasserfluss durch die maximale Schieberöffnung begrenzt wird.

Im elektrischen Subsystem wird beachtet, dass die Ausgangsgrößen (Elektrisches Moment und Klemmenspannung) nichtlinear mit der Rotationsgeschwindigkeit des Generators, der Last und den andern elektrischen Größen - wie Ströme und Flüsse - verknüpft sind.

Die auf diese Weise ergänzte Regelstrecke, mit der Rotationsgeschwindigkeit und der Klemmenspannung des Generators als Regelgrößen, wird untersucht. Die Last sei rein ohmsch, was ein ungünstiges Regelverhalten ergibt [7].

Das Bewegungsgleichungssystem, das nun die Dynamik der Gruppe in jedem Betriebspunkt beschreibt, erlaubt es, transiente Vorgänge mit geringem Aufwand durch numerische Integration auf dem Digitalrechner nachzubilden.

Dabei zeigt es sich, dass die Resultate des nichtlinearen Modells wesentlich von denjenigen des linearen abweichen: Bei Ueberlast versagt das lineare Modell wegen der begrenzten Schieberöffnung. Bei Unterlast weicht das neue Modell umso mehr vom linearen ab, je mehr der Schieber geschlossen wird. Bei geschlossenem Schieber zerfallen die Bewegungsgleichungen in ein System niedrigerer Ordnung.

Diese Abweichungen beeinflussen den Reglerentwurf wesentlich. Erst die erwähnten Begrenzungen und Nichtlinearitäten führen auf eine Begrenzung des Integralteils des Drehzahlreglers: Der Integralteil darf nicht negativ werden, da sonst der Drehzahlfehler bei geschlossenem Schieber aufintegriert würde und eine schlechte Regelung ergäbe. In analogem Sinne wird der Integralteil wegen der begrenzten Schieberöffnung auf einen Maximalwert begrenzt.

Somit erlaubt das neue Modell, extreme Betriebszustände nachzubilden, die an einer wirklichen Anlage unter grösseren Gefahren und mit mehr Aufwand untersucht werden müssten.

In einem letzten Abschnitt wird das neue Modell mit gekoppelten Reglern untersucht. Das schlechte Regelverhalten der Strecke bei ohmscher Last wird durch die Kopplung verbessert: Durch Einwirkung der Drehzahlabweichung auf die Spannungsregelung wird die Last künstlich drehzahlabhängig gemacht.

RESUME

Dans cette thèse un modèle d'une station hydroélectrique fut développé. Un calculateur électronique digital permit d'étudier le comportement dynamique de ce système et tout particulièrement l'adaptation des régulateurs de vitesse et de tension aux nonlinéarités.

Les influences du coup de bélier, de l'ouverture des vannes et tout particulièrement les caractéristiques nonlinéaires de la turbine furent traitées. Le régulateur de fréquence dut être adapté à l'état auquel les vannes sont complètement fermées.

Le système électrique se compose d'une machine synchrone travaillant sur charge ohmique et d'un exciteur. La tension aux prises du générateur est réglée.

Le modèle mathématique permit une simulation efficace du comportement du système entier après des changements rapides de la charge. Le couplage des deux régulateurs permit d'éliminer l'influence défavorable de la charge ohmique à la régulation.

SUMMARY

In this thesis a mathematical model of a hydroelectric power-station was developed. By means of a digital computer the dynamic behaviour of the system was studied and the regulators adapted to the nonlinearities.

The hydraulic system including waterhammer effect and nonlinearities in the turbine characteristics over a wide range was considered. Especially the closed-valve condition implies an adaption of the speed regulator.

The electric system consists of a synchronous generator with resistive load and the exciting dc-machine, both driven by the turbine. The terminal voltage of the synchronous-generator is governed by a regulator.

The mathematical model of the entire system allowed a very efficient simulation of the response to sudden changes of the load. The coupling of the regulators gives an adequate adaption of the latter to the unfavourable load-characteristics.