

МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ И СИМУЛАЦИЈА НА УПРАВУВАЊЕТО СО МАЛИ ХИДРОЦЕНТРАЛИ

АПСТРАКТ

Во оваа докторска дисертација се развиени интегрирани симулациски линеарни и нелинеарни комплексни модели на хидроелектрична постројка и истите се применети на агрегат на конкретна мала хидроцентрала. Комплексните модели на постројката како целина ги вклучуваат репрезентациите (математичките модели) на хидродинамиката, управувачкиот систем и електроенергетскиот систем.

На почетокот од овај труд се разгледани особеностите и карактеристиките на малите хидроцентрали (МХЦ) како постројки кои користат обновлив извор на енергија. Овде е дадена дефиниција и класификација, а разгледани се и типовите на МХЦ. Посебно е даден осврт кон планирањето на шемата на МХЦ, како и осврт кон интегралното уредување и искористување на водните ресурси, а истакнати се и улогата и значењето на МХЦ.

Имајќи предвид дека енергетските постројки се состојат од поголем број објекти, во овај труд одредувањето на математичкиот модел е спроведено етапно, при што е користен методот на математичко-физичка анализа, базиран на примена на основните физички закони кои ја карактеризираат динамиката на процесот. Тоа даде можност динамиката на одделните конструктивни целини (подсистеми) да се истражува поединечно. Одделните модели, соодветно на потребите, меѓусебно се поврзуваат преку елиминација на спрегнатите променливи, формирајќи на тој начин комплексен модел на системот. Со тоа, всушност, е извршено поставување на математички модели на хидроенергетска постројка разгледувана како објект на управување. Моделите на хидроенергетска постројка во целост се проучени, како нелинеарните, така и линеаризираните и извршена е класификација на истите според нивната комплексност. Со примена на презентираниите модели е извршена идентификација на конкретна мала хидроцентрала, а спроведена е и детална компаративна анализа на различните модели. Со тоа, всушност, е формирана база на модели за хидроенергетска постројка која може да биде основа за истражување на динамичкото однесување кај различни хидроенергетски постројки, за проектирање нови закони на управување, откривање и локализација на неисправности и сл.

Во докторската дисертација развиени се и математички модели на хидроагрегатот (турбина-генератор) и тоа за работа на агрегатот во сопствена мрежа (островска работа), како и за паралелна работа. Даден е коментар на математичките модели на агрегатот, а презентирана е и симулациска шема на моделот на оптоварувањето за островска и за мрежна работа на агрегатот.

Со оглед на тоа што извршен орган на турбинскиот регулатор е системот за позиционирање на лопатките на спроводниот апарат, при

математичкото моделирање на турбинскиот регулатор, прво, детално е разгледано и математичко моделирање на електрохидрауличен актуаторски систем. Регулацијата на брзината на вртење на агрегатот вообичаено се решава со PID регулатор. Овде, даден е општ водич за оптимално подесување на засилувањата на регулаторот за единица која снабдува (поддржува) изолирано оптоварување (или мал енергетски систем). Покрај тоа, претставена е и постапка за одредеување на параметрите на регулаторот со метод на поставување на полови. Како резултат на ваквата постапка на синтеза на регулаторот се добиени аналитички изрази со помош на кои може да се пресметаат параметрите на регулаторот во широко подрачје на работа на агрегатот (отвор на спроводното коло, пад, брзина на вртење).

Со систематско интегрирање на веќе изведените математички модели на: хидроенергетската постројка, електро-хидрауличниот актуаторски систем, регулаторот на брзината на вртење на хидроагрегатот и оптоварувањето од електричниот систем на кој е поврзана постројката, формиран е комплетен модел на хидроелектрана (хидрауличен систем, турбина, генератор, електро-хидрауличен актуатор, турбински регулатор, електрично оптоварување), т.е. формиран е комплексниот модел на затвореното регулациско коло (системот на регулација). Интеграцијата на моделот е изведена со помош на софтверскиот пакет MATLAB во неговата Simulink околина, во која се реализирани и симулациите на интегрираниот модел. Одредени се линеарни и нелинеарни симулациски модели на целокупниот систем и тоа за островска работа, како и за работа во паралелна мрежа и истите се применети на агрегат на конкретна мала хидроелектрана. Презентирани се резултатите добиени со реализираните нумерички експериментални истражувања, а дадена е и компаративна анализа за проектираните регулатори со различни постапки. Извршените симулации овозможуваат подобро осознавање и разбирање на динамиката на постројката, како и дефинирање и предвидување на однесувањето на хидроцентралата при различни работни режими.

Клучни зборови: математичко моделирање, динамички модели на хидраулична турбина, регулација на хидраулични турбини, електрохидрауличен систем, симулациски модели, динамика на систем

Gordana Janevska

MATHEMATICAL MODELING AND SIMULATION OF CONTROL OF SMALL HYDRO POWER PLANTS

ABSTRACT

In this doctoral thesis, integrated simulation linear and non-linear complex models of hydropower plant are developed and the same are applied to the turbine-generator unit of the specific small hydroelectric plant. Complex models of the plant as a whole include representations (mathematical models) of the hydrodynamics, control system and electric power system.

At the beginning of this work, characteristics and features of small hydro power plant (SHPP) as a plant that use renewable source of energy are discussed. Here, the definition and classification of SHPP are given, and also the types of SHPP are reviewed. Particular emphasis is given to the planning of SHPP scheme, the integrated exploitation and utilization of the water resources are considered, too; and moreover, the role and significance of SHPP are outlined.

The power plants consist of many objects, so as, in this paper the development of the mathematical model is performed in phases, using the method of mathematical-physical analysis based on the application of basic physical laws that characterize the process dynamics. It gave an opportunity the dynamics of each constructive unit (subsystem) to be analyzed separately. After that, in accordance with the needs, mathematical models of individual components are mutually connected through the coupled variables, thus forming a complex model of the system. Therefore, in fact, the mathematical models of hydro plant as an object of control are established. The non-linear as well as linearized models of hydro plant (hydro turbine together with the hydraulic circuit) were studied in detail, and a classification of them according to their complexity has been made. The presented models have been applied to specific small hydro power plant, so as its identification has been made; moreover, a detailed comparative analysis of different models has been conducted. In that way, essentially, the base of hydro plant models has been created and it can be use as groundwork in dynamic studies for various hydro power plants, designing new control laws, fault detection and isolation and so on.

The power-unit rotor dynamics models for turbine-generator unit supplying an isolated load, as well as for unit operating in parallel with power system are also developed in the doctoral thesis. The commentary about the mathematical models of power-unit rotor dynamics is given, and simulation scheme representing the electrical subsystem model for islanding and for parallel operation of the turbine-generator unit is presented.

Having on mind that the electro-hydraulic system for positioning of the gate regulating ring is the actuator in the turbine control system, in the part where the controller design is treated, the mathematical modeling of electro-hydraulic actuator

system is considered at first. Because it is usual case, the PID controller has been used for controlling rotational speed of the turbine-generator unit. A general guide for optimum adjustment of the gains of speed governor for a unit supplying an isolated load (or a small power system) has been provided. Moreover, an analytical procedure for derivation of the controller parameters based on the pole placement method has been presented. The procedure gave analytical expressions as a result, and these expressions allowed calculating PID controller parameters in a wide operating range of the power unit (gate opening, head, speed).

The complete model of hydro power plant (hydraulic circuit, turbine, generator, electro-hydraulic actuator, turbine governor, electric power load), i.e. the complex model of the closed loop system has been established through systematic integration of already derived mathematical models of: hydro plant, electro-hydraulic actuator system, controller of the rotational speed of turbine-generator unit and electric load from connected power system. The integration of the model, as well as the simulation of integrated model has been performed using MATLAB/Simulink software package. Linear and non-linear simulation models of the entire system for a unit supplying isolated load, and for a unit operating in parallel with power system, too, have been built; and moreover, the obtained models have been adapted for a specific small hydro power plant. The results acquired by performed numerical experiments have been presented, and also the comparative analysis of the controllers designed with different procedures has been given. The benefits of executed simulations are better comprehension and understanding of the plant dynamics, as well as defining and predict the hydro power plant behavior at different operating modes.

Key words: mathematical modeling, hydraulic turbine dynamic model, hydro-turbine control, electro-hydraulic system, simulation model, system dynamics