

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

70-72

WARSZAWA-POZNAŃ 1976
PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

KOMITET REDAKCYJNY – EXECUTIVE EDITORS
KAZIMIERZ STELLER – REDAKTOR – EDITOR
JERZY KOŁODKO · JÓZEF ŚMIGIELSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA – EDITORIAL OFFICE
Instytut Maszyn Przepływowych PAN.
ul. Gen. Józefa Fiszer 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1976

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE – ODDZIAŁ W POZNANIU

Wydanie I. Nakład 630+90 egz. Ark. wyd. 63,25 Ark. druk. 49,25 Papier druk.
sat. kl. V. 65 g., 70×100. Oddano do składania 4 VII 1975 r. Podpisano do druku
w czerwcu 1976 r. Druk ukończono w czerwcu 1976 r. Zam. 528/118. H-16/245.
Cena zł 190,–

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

III KONFERENCJA NAUKOWA

na temat

TURBINY PAROWE WIELKIEJ MOCY

Gdańsk, 24 - 27 września 1974 r.

*

IIIrd SCIENTIFIC CONFERENCE

on

STEAM TURBINES OF GREAT OUTPUT

Gdańsk, September 24 - 27, 1974

*

III НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

на тему

ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Гданьск, 24 - 27 сентября 1974 г.

БЭНЭДЫКТ ОРДО, ЗЫГМУНТ КЛИМАЦКИ

Польша*

Система электрогидравлического регулирования

Существенной проблемой системы электрогидравлического регулирования (ЭГР) является способ связания электронной и механо-гидравлической частей системы регулирования турбины. Применяются два решения ввода выходного сигнала из электронной части системы регулирования турбины в механо-гидравлическую часть этой системы. Первое решение — это подача сигнала на электродвигатель „синхронизатора” (импульсное управление), второе решение — через аналоговый электрогидравлический преобразователь (аналоговое управление). Оба решения различаются только приборными системами в месте контакта электронной и механо-гидравлической частей. Для определения второго решения в литературе предмета принято название: электрогидравлический регулятор. Недостатком первого решения по отношению к второму является его меньшая статическая точность и большая нечувствительность. Система работает медленнее и отсюда следуют худшие динамические свойства. Кроме того для обеспечения хорошей устойчивости необходимо лучшее приспособление регулятора. Это достигается между прочим большими значениями постоянных интегрирования, напр. порядка 60 - 180 сек. Достоинством, кроме низкой себестоимости, особенно в модернизированных системах, является структуральное присутствие „механической памяти” в контуре регулирования мощности (автоторможение агрегата электродвигателя „синхронизатора”).

В новых системах почти исключительно применяется второе решение. Для того, чтобы система в целом отвечала требованиям, предъявляемым современным системам регулирования турбоагрегатов международными стандартами ИСО, элементы системы регулирования так механические, гидравлические, электрические, как и электронные должны быть наивысшего качества.

Первая польская система ЭГР, разработана перед 1968 годом, основана на первом решении. Результаты исследований, проведенных на турбоагрегатах в отечественных электростанциях, оказались отрицательными. Это склонило нас к разработке новой идеи регулятора по принципу второго решения с избеганием агрегата „двигатель — золотник синхронизатора”. Для того необходимым стало проектирование и производство электрогидравлического сервомеханизма (ЭГС), обладающего чрезвычайно хорошими статическими и динамическими свойствами, включенного

* Институт проточных машин Польской Академии Наук, Гданьск.

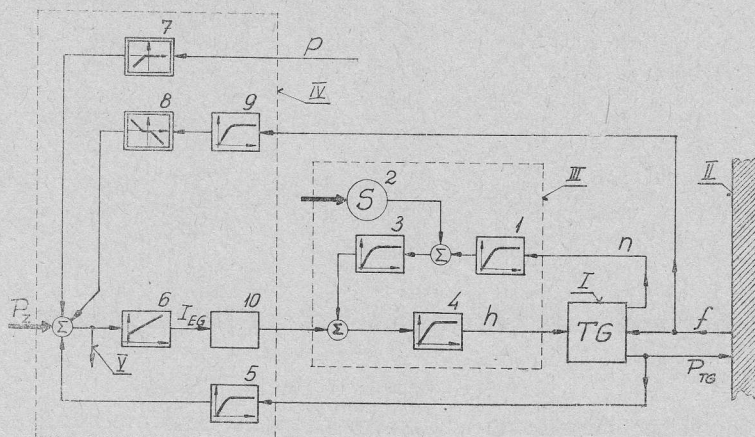


Рис. 1. Контур электрогидравлического регулирования частоты и мощности турбоагрегата
 I — объект регулирования (турбоагрегат), II — жесткая электрическая сеть, III — механо-гидравлический (классический) регулятор, IV — электрогидравлический регулятор (сделанный совместно Институтом проточных машин Польской Академии Наук в Гданьске и Гданьским отделением Института автоматики энергетических систем — Вроцлав), V — сигнал к котлу, 1 — механический датчик скорости вращения, 2 — электродвигатель синхронизатора, 3 — механо-гидравлический формирующий член, 4 — сервомотор регулирующих клапанов, 5 — датчик мощности, 6 — электронный формирующий член, 7 — корректор давления пара перед турбиной, 8 — корректор частоты, 9 — датчик частоты, 10 — электрогидравлический сервомеханизм (ЭГС), f — частота, I_{EG} — ток катушки электромеханического преобразователя, n — скорость вращения ротора турбоагрегата, P_{TG} — генерируемая мощность турбоагрегата, P_z — заданная мощность

в контур первичного регулирования частоты и мощности турбоагрегата (рис. 1). ЭГС является существенным агрегатом электрогидравлического регулятора. Между прочим должен он предохранять турбоагрегат перед следствиями аварии или ошибочного сигнала из электронной части регулятора. Например, в случае замирания электрического питания регулятора, ЭГС должен не допускать к помехам уровня отдаваемой мощности (механо-гидравлическая память ЭГС).

Блочная схема электрогидравлического механизма (ЭГС) представлена на рис. 2, а приборная схема ЭГС — на рис. 3. ЭГС по своей структуре разделяется на две системы: I — электрогидравлический сервомеханизм динамики (ЭГС-динамики), II — электрогидравлический сервомеханизм статики с механо-гидравлической па-

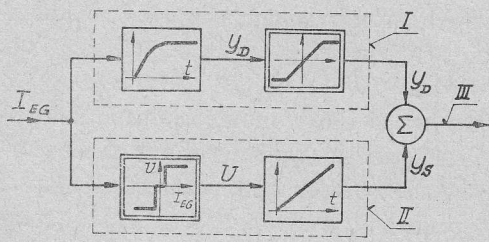


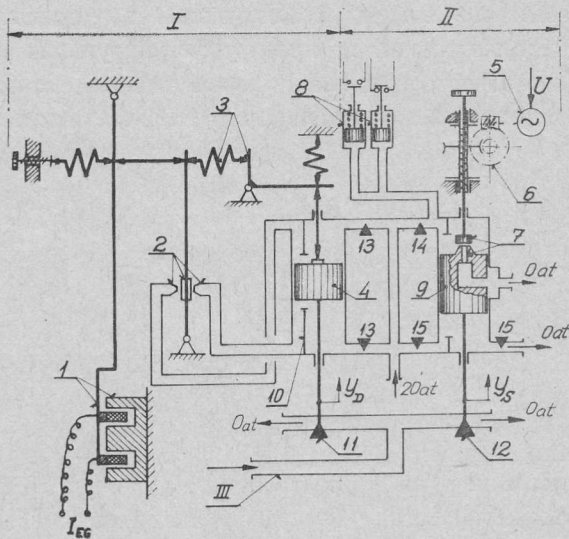
Рис. 2. Блочная схема электрогидравлического сервомеханизма

I — ЭГС-динамики, II — ЭГС-статики, III — гидравлический сигнал воздействующий на сервомотор регулирующих клапанов турбины, I_{EG} — ток катушки электромеханического преобразователя, y_d — положение золотника ЭГС-динамики, y_s — положение золотника ЭГС-статики, U — рабочее напряжение электродвигателя, t — время

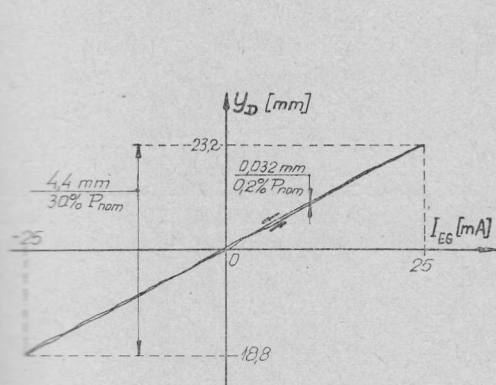
матью (ЭГС-статики). Управляющим сигналом обеих систем является электрический ток I_{EG} , подаваемый соответственно на катушку преобразователя I и на систему включающую электродвигатель 5 . Этот сигнал подвергается усилению и преобразованию в механо-гидравлической части ЭГС в перемещения золотников 4 и 9 .

Рис. 3. Приборная схема электрогидравлического сервомеханизма

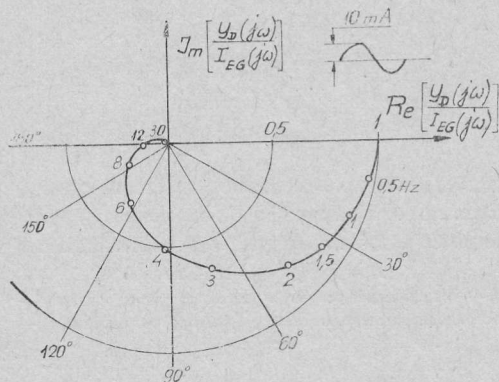
I — ЭГС-динамики, II — ЭГС-статики, III — гидравлический сигнал, воздействующий на сервомотор регулирующих клапанов турбины, I_{EG} — ток катушки электромеханического преобразователя, y_D — положение золотника ЭГС-динамики, y_S — положение золотника ЭГС-статики, U — рабочее напряжение электродвигателя, 1 — электромеханический преобразователь, 2 — состав „сопло-диафрагма-сопло“, 3 — система обратной связи, 4 — золотник ЭГС-динамики, 5 — реверсивный электродвигатель, 6 — червячная передача, 7 — состав „сопло-диафрагма“, 8 — предельные гидравлические выключатели электродвигателя 5, 9 — золотник ЭГС-статики, 10 — ограничители перемещений золотников, 11, 12 — устанавливаемые гидравлические сопротивления в форме прямоугольных отверстий, 13, 14 — постоянные гидравлические сопротивления в форме кольцевых отверстий



Этот процесс происходит следующим образом. В системе ЭГС-динамики электромагнитная сила вызывает пропорциональное напряжению электрического тока отклонение, например вправо, катушки преобразователя 1, а вместе с ней и рычага диафрагмы системы 2. Это вызывает возрастание давления под золотником 4 и перемещение его вверх до момента перестановки рычага диафрагмы и катушки преобразователя 1 через систему обратной связи 3 в серединное положение равновесия (обе щели между соплами и диафрагмами являются тогда практически одинаковыми). Таким образом перемещение золотника 4 является пропорциональным к электрическому напряжению, подаваемому на катушку преобразователя 1. В системе ЭГС-статики подача электрического напряжения на двигатель 5 вызывает перестановку с постоянной скоростью (около $5 - 6\% P_{ном}/1$ мин.) диафрагмы системы 7 и тем

Рис. 4. Статическая характеристика ЭГС, $y_D = f(I_{EG})$

y_D — положение золотника ЭГС-динамики, I_{EG} — ток катушки электромеханического преобразователя, $P_{ном}$ — номинальная мощность турбоагрегата

Рис. 5. Амплитудно-фазовая характеристика ЭГС, $y_D(j\omega)/I_{EG}(j\omega)$

j — мнимая единица, ω — угловая скорость (радиан/сек)

самым и золотника 9. Золотники 4 и 9 управляют вытеканием масла из линии воздействующей на сервомотор регулирующих клапанов турбины. Золотники ЭГС 4 и 9 имеют ограничители перемещения в форме буферов 10. В установившихся состояниях положение золотника ЭГС-статики является практически пропорциональ-

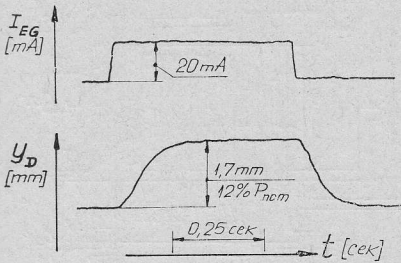


Рис. 6. Ответ положения y_D золотника ЭГС-динамики на скачок тока I_{EG} катушки
 t — время (секунда)

ным к нагрузке турбоагрегата, а золотник ЭГС-динамики находится в срединном положении между буферами. Электрический сигнал I_{EG} имеет тогда практически нулевое значение. Перемещение золотника ЭГС-динамики ограничивается до $\pm 5\% \div \pm 10\%$ номинальной мощности. Если произойдет замирание питания электронной части, тогда выходной сигнал ЭГС остается неизмененный (система запоминает состояние перед моментом возмущения). Если на входе ЭГС появятся чересчур большие значения, вызванные например повреждением в траектории электронной части, тогда выходной сигнал ЭГС скачкообразно может изменяться только на величину, следующую из ограничения перемещения золотника 4, а золотник 9 будет перемещать-

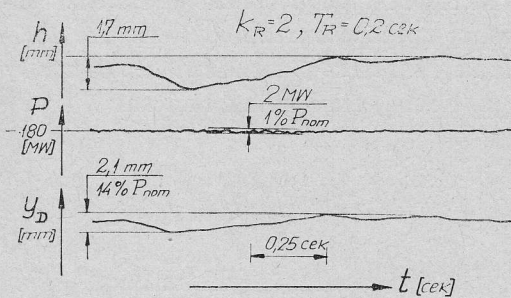


Рис. 7. Положение h сервомотора, мощность P_{TG} на зажимах генератора и положение y_D золотника ЭГС-динамики при заданной мощности

$$P_z = 92\% P_{nom} = 184 \text{ МВт}$$

k_R — коэффициент усиления регулятора мощности, T_R — постоянная интегрирования регулятора мощности, t — время

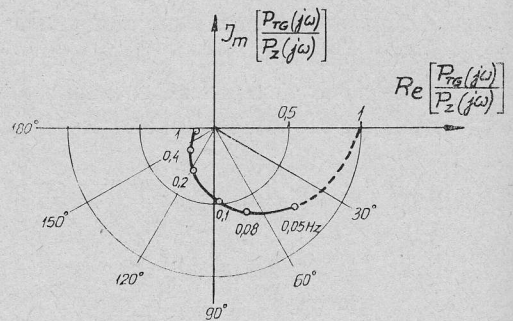


Рис. 8. Амплитудно-фазовая характеристика управления $P_{TG}(j\omega)/P_z(j\omega)$

P_{TG} — генерированная мощность, P_z — заданная мощность

ся электродвигателем 5 со скоростью безопасной для турбоагрегата, не большей, чем $5 \div 6\%$ номинальной мощности в минуту. Проведенные исследования прототипов ЭГС в лаборатории, как и в электростанциях, доказали сходимость и повторяемость результатов. Замеренные характеристики ЭГС: статическая (рис. 4), ампли-

тудно-фазовая (рис. 5) и скачкообразная (рис. 6) указывают на хорошие статические и динамические свойства ЭГС. Статическая характеристика (рис. 4), полученная за посредничестве пишущего устройства $X—Y$, обладает гистерезисом не большей чем 0,2% номинальной мощности, в это же время из характеристик на рис. 5 и 6 следует, что ЭГС работает достаточно быстро с хорошим демпфированием.

Проведенные исследования в замкнутом контуре регулирования мощности согласно со схемой на рис. 1, доказали:

а) хорошее стабилизирование мощности турбоагрегата через вырегулирование помех; колебания электрической мощности в установившихся состояниях в пределах 1% номинальной мощности (рис. 7);

б) возможность точного установления мощности турбоагрегата; чувствительность лучше чем 1% номинальной мощности;

в) достаточно быстрое поспевание мощности турбоагрегата за изменениями заданной мощности (рис. 8) (амплитудно-фазовая характеристика управления);

г) возможность издалека управления мощностью с произвольной, в рамках ограничений, вытекающих из правил эксплуатации турбоагрегата, скоростью.

Elektrohydrauliczny regulator częstotliwości i mocy

Streszczenie

Praca dotyczy obwodu elektrohydraulicznej regulacji częstotliwości i mocy turbozespołu (regulacja pierwotna). Na tle schematu obwodu (rys. 1) omówiono koncepcję i zasady rozwiązania konstrukcyjnego serwomechanizmu elektrohydraulicznego (rys. 2 i 3), opracowanego w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, stanowiącego podstawowy zespół tego obwodu. Wykonano i zainstalowano na trzech różnych turbozespołach prototypy regulatorów elektrohydraulicznych.

Wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych w laboratorium i w elektrowniach (rys. 4÷8) wskazują na dobrą jakość statyczną i dynamiczną serwomechanizmu, jak również całego obwodu regulacji mocy.

Electrohydraulic Power and Frequency Controller

Summary

The report is concerned with an electrohydraulic power and frequency control system of a turbo-generator (primary control system).

In this connection an electrohydraulic servomechanism is a basic component of a turbo-generator power and frequency controller.

Three prototypes of the above mentioned electrohydraulic controller have been made and installed in three power stations. The report presents also the main results of experiments on these prototypes.