



Experimental Research Centre «ELECTRODYNAMICS»

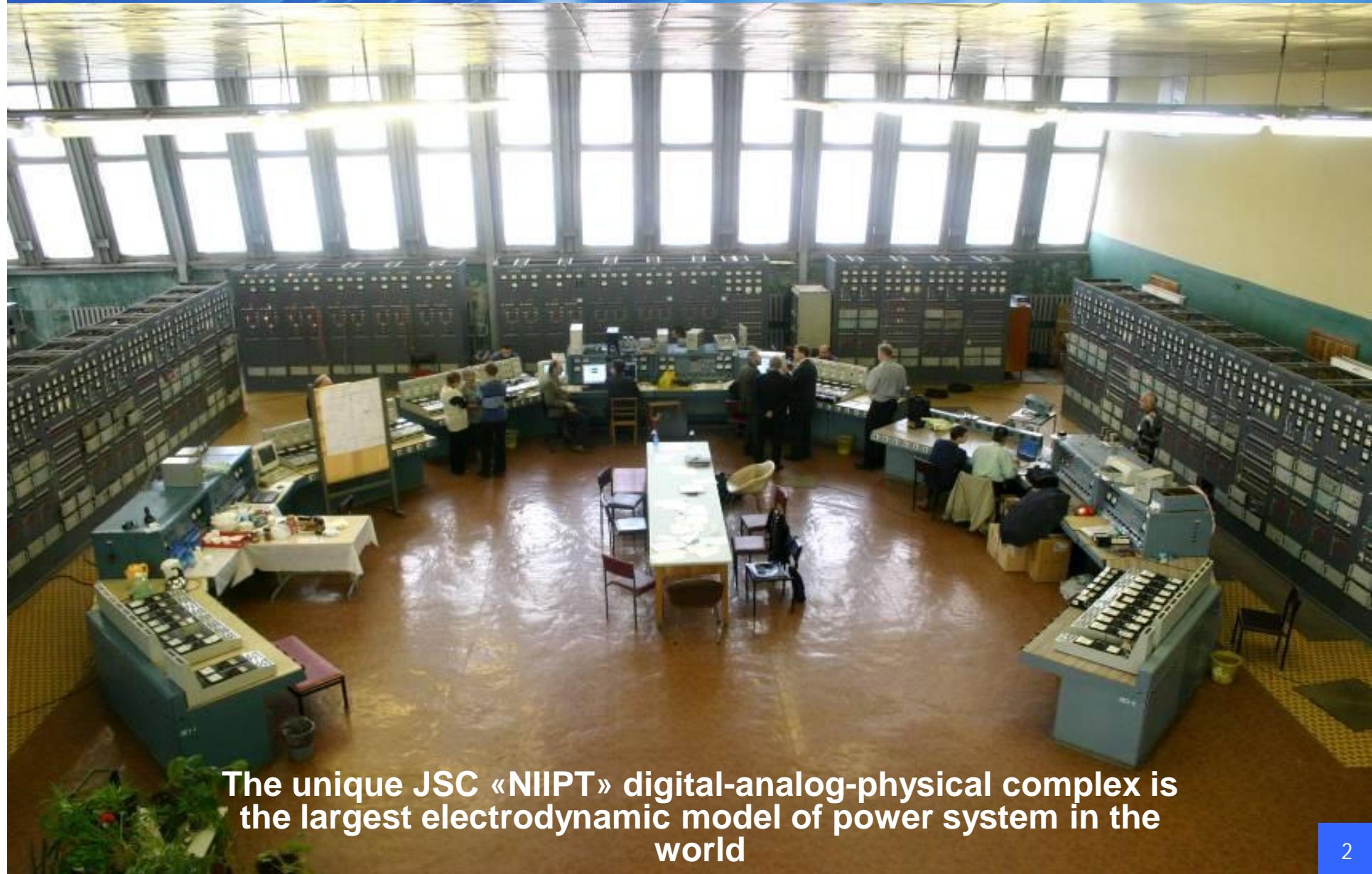


FUNCTIONING TESTS (EXPERTISE) OF AUTOMATIC VOLTAGE REGULATORS
OF SYNCHRONOUS GENERATORS USING
JSC «NIIPT» DIGITAL-ANALOG-PHYSICAL COMPLEX

Dr. Arkady H. Esipovich
Deputy Head of Experimental Research Centre
«Electrodynamics»



JSC «NIIPT» digital-analog-physical complex's control room



The unique JSC «NIIPT» digital-analog-physical complex is the largest electrodynamic model of power system in the world



JSC «NIIPT» digital-analog-physical complex comprises:



80 generators and prime movers



150 power transformers, 700 transmission lines



8 HVDC transmissions, shunt reactors, SVC, SC, STATCOM

Control room



166 complex loads



Machine room





Analog and digital parts of JSC «NIIPT» digital-analog-physical complex



- Adjustable analog and digital models of steam, hydraulic and gas turbines with its control systems
- Models of automatic voltage regulators of various modifications
- Devices of power system perturbation modeling and operation of the local and centralized emergency automation complexes
- Transducers for electric parameters (I , U , P , Q , δ , s) the signals of which are used for control, measurement and registration
- System of digital oscillographing



Basic applications of JSC «NIIPT» digital-analog-physical complex



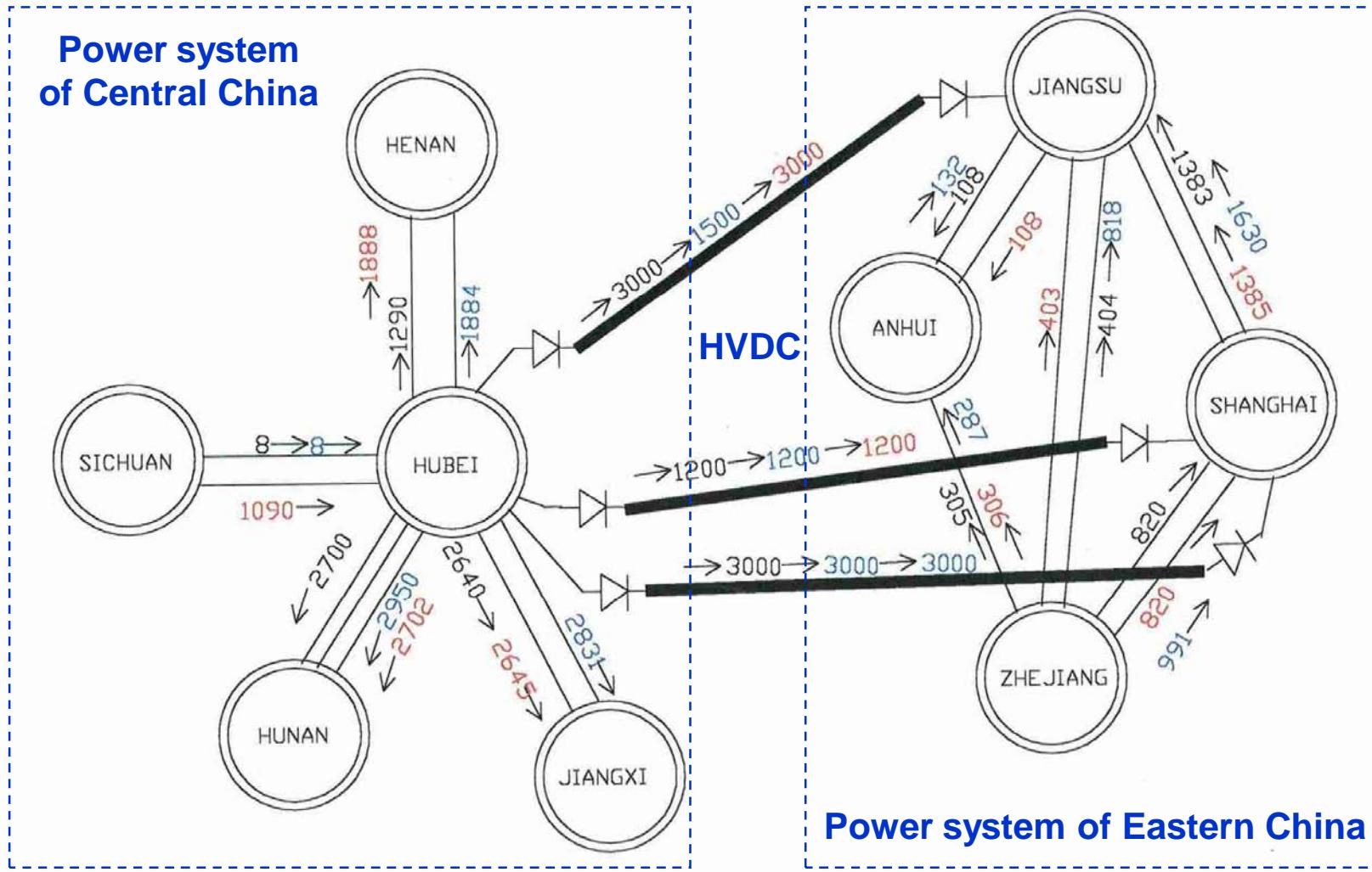
- Researches of power systems of any level of complexity
- Expertise of new automatic voltage regulators and development of recommendations about its application in the unified power system (UPS) of Russia
- Adjustment of automatic voltage regulators for concrete generators in power system «on a turn-key basis»
- Full-scale functioning tests of control devices, protection and automatics, systems of automated data management (in real time)



RESEARCHES OF POWER SYSTEMS OF ANY LEVEL OF COMPLEXITY



The «Three Gorges» power system



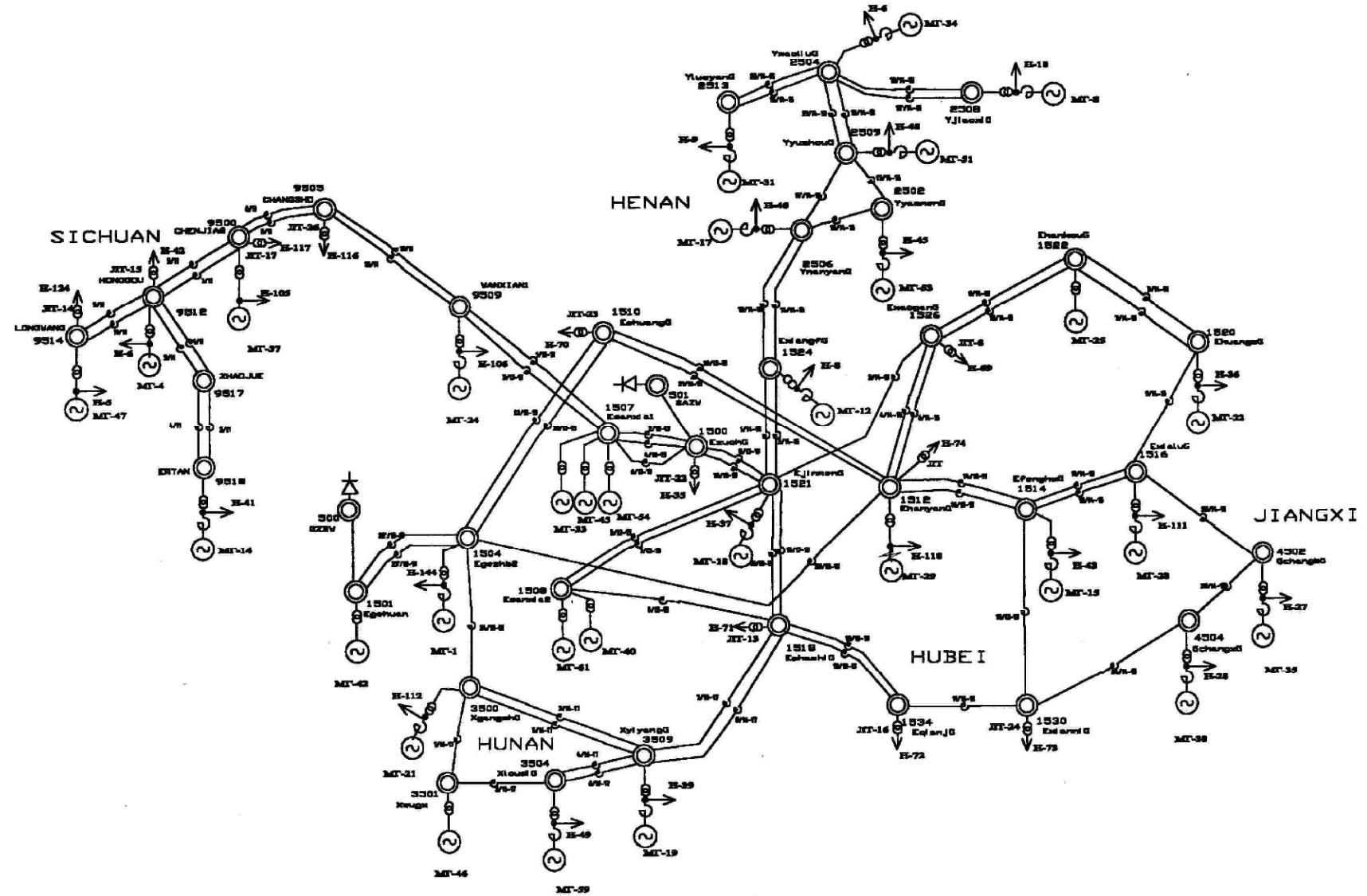
The world largest physical model was created in JSC «NIIPT» in 1997 for the «Three Gorges» (China) power system research



Power system of Central China



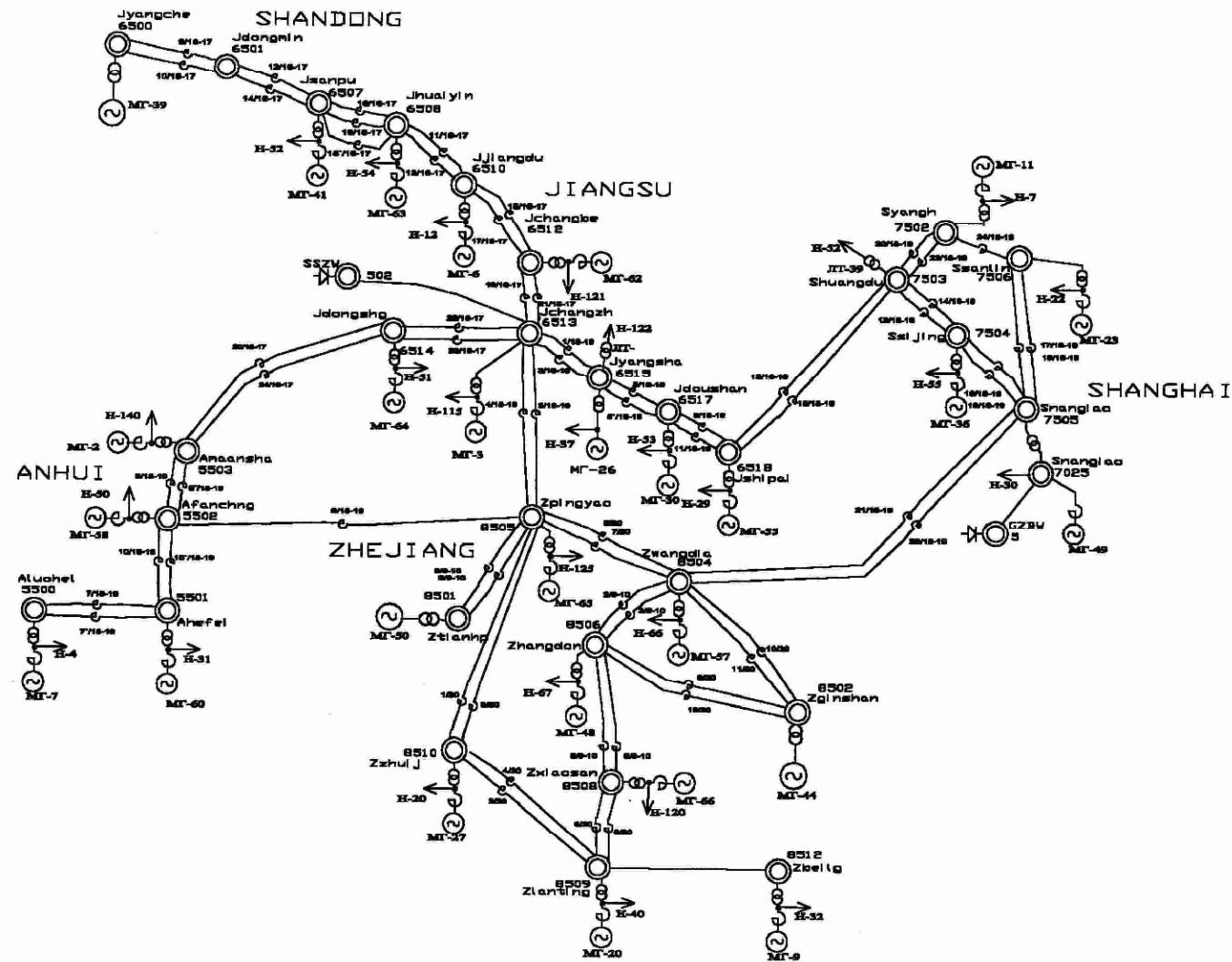
FIG. 3 EDS - SCHEME 2005 CENTRAL CHINA





Power system of Eastern China

FIG. 4 EDS - SCHEME 2005 EAST CHINA





EXPERTISE



**EXPERTISE OF AUTOMATIC VOLTAGE
REGULATORS OF SYNCHRONOUS
GENERATORS AND
DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS
ABOUT ITS APPLICATION IN UPS
OF RUSSIA**



Official letter «About application of automatic voltage regulators for generators with the capacity 63–1200 MW»



Российское открытое акционерное общество энергетики и электрификации
«ЕЭС России»

Департамент генеральной инспекции по эксплуатации электрических станций и сетей

Системный оператор - Центральное диспетчерское управление
Единой энергетической системы

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО ИП- 32- 2004(ТП)

**О применении автоматических регуляторов возбуждения
для генераторов мощностью 63–1200 МВт**

В настоящее время в ЕЭС России в эксплуатации находится большое количество морально и физически устаревших систем возбуждения с автоматическими регуляторами возбуждения сильного действия (регулирование по производным напряжения статора, частоты сети, тока ротора) типа АРВ-СД, АРВ-СДП, АРВ-СДП1, выполненных на старой элементной базе. В тоже время на ряде электростанций начинают внедряться системы возбуждения нового поколения с микропроцессорными регуляторами. Причём, кроме отечественных систем возбуждения с микропроцессорными регуляторами сильного действия в некоторых энергосистемах эксплуатируются и системы возбуждения зарубежных фирм.

Однако автоматические регуляторы возбуждения зарубежных производителей весьма существенно отличаются от отечественных как по структуре построения, законам регулирования, так и по используемым в них параметрам для стабилизации режима. В системных стабилизаторах регуляторов возбуждения зарубежного производства таких фирм, как ABB и SIEMENS, обычно используются не применяемые в энергетике РФ параметры для стабилизации режима по передаче – электрическая мощность и частота вращения вала генератора. Анализ структуры и законов регулирования указанных АРВ показывает, что они обеспечивают приемлемое качество стабилизации режима в концентрированных энергосистемах, характерных для развитых стран Запада, но оказываются недостаточно эффективными при использовании в ЕЭС России.

Например, проведенные в 2002 году системные испытания по включению энергоблока №1 Северо-Западной ТЭЦ на параллельную работу с Финляндской показали, что стабилизация режима по линии 330/400 кВ Северо-Западная ТЭЦ – Yulikkala эффективно осуществляется только установленным на генераторе паровой турбины регулятором возбуждения типа АРВ-СДП1, а системные стабилизаторы ST-1A фирмы SIEMENS, установленные на генераторах газовых турбин, принципиально не приспособлены для демпфирования низкочастотных (0.25 – 0.35 Гц) составляющей относительного движения роторов. Испытания также показали, что и сами системы возбуждения генераторов газовых турбин фирмы SIEMENS существенно уступают отечественным тиристорным системам по быстродействию и кратности форсировки по напряжению.

В 1997-98г.г. ОАО «НИИПТ» проводило сравнительный анализ системного стабилизатора типа PSS (ABB) и АРВ-СД в рамках исследований энергосистемы «Гри щелья» (КНР). Результаты исследования показали, что стабилизатор типа PSS имеет более низкую эффективность демпфирования низкочастотных колебаний в энергосистеме по сравнению с АРВ-СД как в случае выдачи мощности по протяженным ВЛ в сложной схеме энергосистемы, так и в других схемно-режимных ситуациях.

В большинстве отечественных микропроцессорных АРВ, поставляющихся с системами возбуждения ОАО «Электросила» (АРВ-М) и ФГУП «НИИЭлектромаш» (УНИРЕГ) применяются измененные традиционные законы управления, ранее

реализованные в регуляторах возбуждения типа АРВ СД, АРВ-СДП1, АРВ-СДП1М и хорошо зарекомендовавшие себя в течение многолетней эксплуатации.

Кроме того, ОАО «ЭЛСИБ» разработал и предлагает к поставке системы возбуждения с микропроцессорным регулятором, реализующим алгоритмы теории нечеткой логики.

По заданию Департамента научно-технической политики и развития ОАО РАО «ЕЭС России», в ОАО «НИИПТ» была разработана программа системных испытаний регулятора возбуждения АРВ-М, собрана модель ОЭС Сибири и проведены испытания, позволившие оценить его эффективность по условиям стабилизации режима как при малых возмущениях, так и при демпфировании больших постлеварийных колебаний. Испытания позволили существенно сократить время ввода АРВ-М на станции, так как настройка каналов АРВ-М была выполнена в условиях физической модели. По результатам испытаний выпущены научно-технические рекомендации по использованию на электростанциях регулятора возбуждения АРВ-М, утвержденные Департаментом научно-технической политики РАО «ЕЭС России». Первые серийные образцы регуляторов возбуждения установлены на Красноярской ГЭС, Волгодонской АЭС, Бурейской ГЭС и на ряде других электростанций.

В настоящее время ОАО НИИПТ совместно с другими институтами отрасли разработала типовую схему модели энергосистемы и типовую программу комплексных системных испытаний головных образцов регуляторов возбуждения синхронных генераторов (АРВ) в этой схеме, которая утверждена Департаментом научно-технической политики и развития и СО «СО-ЦДУ-ЕЭС».

В целях обеспечения системной надежности Единой Энергетической Системы Департамент научно-технической политики совместно с ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС» рекомендует применять системы возбуждения отечественного производства. В случае принятия решения о установке регулятора возбуждения зарубежного производства, необходимо провести испытания в соответствии с типовой программой утвержденной Департаментом научно-технической политики, и осуществить согласование с ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС».

Первый заместитель
начальника

М.И. Львов

Директор по управлению
режимами ЕЭС- главный диспетчер
ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС»

А.Ф. Бондаренко

Шейко 710 51 78
Левандовский 927 94 95
Рассыпается: 4.1, 5, 6.1, 6.3, 6.4, 8.1, 8.2, 8.3, 8.5

В целях обеспечения системной надежности Единой Энергетической Системы Департамент научно-технической политики совместно с ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС» рекомендует применять системы возбуждения отечественного производства. В случае принятия решения о установке регулятора возбуждения зарубежного производства, необходимо провести испытания в соответствии с типовой программой утвержденной Департаментом научно-технической политики, и осуществить согласование с ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС».



Typical test program for expertise of digital AVR of synchronous generators



Российское акционерное общество энергетики и электрификации
«ЕЭС России»

СОГЛАСОВАНО:

Директор по управлению
режимами ЕЭС-главный диспетчер
ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС»

А.Ф.Бондаренко
« » 2004 г.

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель начальника
Департамента научно-технической
политики и развития
РАО «ЕЭС России»

А.В.Бобылев
2004 г.

Заместитель Генерального
директора по научной работе
ОАО «Институт
ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

Н.Л.Новиков
« » 2004 г.

Научный руководитель
ОАО «НИИПТ»

Л.А.Кошев
« 17 » июня 2004 года

**ПРОГРАММА
КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ
РЕГУЛЯТОРОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ
ГЕНЕРАТОРОВ
(ТИПОВАЯ).**

Зав. отделом электроэнергетических систем
ОАО «НИИПТ»
А.С.Зекель

Руководитель работы,
зам.зав. отделом электроэнергетических систем
ОАО «НИИПТ»
А.Х.Есипович

Санкт-Петербург, 2004г.



Minutes of the meeting



103

Approved
JSC NIIP research manager



L. Koshcheev
18 May 2006.

Утверждаю

научный руководитель ОАО «НИИПТ»,



Л.А.Кошев
18.05.2006г.

ПРОТОКОЛ СОВЕЩАНИЯ
по результатам испытаний автоматических регуляторов
возбуждения UNITROL, изготавляемых компанией ABB, по
«Программе комплексных системных испытаний
микропроцессорных автоматических регуляторов возбуждения
синхронных генераторов» на цифро-аналого-физическом комплексе
ОАО «НИИПТ».

ABB UNITROL регуляторы возбуждения, изготавляемые ABB, соответствующие IEEE Std 421.5 и "Computer Models for Representation of Digital-Based Excitation Systems", опубликованным в IEEE Transactions on Energy Conversion том 11, издание 3, сентябрь 1996, тип ST5B и UNITROL системный стабилизаторов, изготавляемых ABB, соответствующими IEEE Std 421.5 и "Computer Models for Representation of Digital-Based Excitation Systems", опубликованным в IEEE Transactions on Energy Conversion том 11, издание 3, сентябрь 1996, тип PSS2B, прошли комплексные испытания на соответствие требованиям ОАО РАО «ЕЭС России» по устойчивости параллельной работы и надежности электроснабжения по «Программе комплексных системных испытаний микропроцессорных автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов» на цифро-аналого-физическом комплексе ОАО «НИИПТ», признаны соответствующими вышеуказанным требованиям и могут быть рекомендованы для использования на электростанциях Российской Федерации.

От ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС»:

руководитель Центра инновационных технологий
управления режимами



A.B.Левандовский

От ОАО «НИИПТ»:

зав. отделом электроэнергетических систем



A.C.Зеккель

зам. зав. отделом электроэнергетических систем,
руководитель проекта



A.X.Есипович

Minutes of the meeting
by the results of tests of ABB UNITROL voltage regulators, being manufactured by ABB, according to the "Program for integrated system tests of microprocessor based automatic voltage regulators for synchronous generators" on the NIIP OJSC's digital-analogue-physical complex

The ABB UNITROL voltage regulators being manufactured by ABB in compliance with IEEE Std 421.5 and "Computer Models for Representation of Digital-Based Excitation Systems" published in IEEE Transactions on Energy Conversion, Volume 11, Issue 3, September 1996, type ST5B, and UNITROL power system stabilizers manufactured by ABB in compliance with IEEE Std 421.5 and "Computer Models for Representation of Digital-Based Excitation Systems" published in IEEE Transactions on Energy Conversion, Volume 11, Issue 3, September 1996, type PSS2B, have passes integrated tests for conformity to the requirements of RAO UES of Russia as to the stability of parallel operation and power supply reliability according to the "Program for integrated system tests of microprocessor based automatic voltage regulators for synchronous generators" on the NIIP OJSC's digital-analogue-physical complex have been considered conformant to the above-mentioned requirements and can be recommended for the use at power plants in the Russian Federation.

On behalf of JSC "SO CDO for UES"
the head of the Center of innovative
technologies of management of modes



A. Levandovsky

On behalf of NIIP OJSC:



A. Zekkel

Head of the Power System department



A. Esipovich

Deputy head of the Power System department,
project manager



Scientific and technical recommendations for AVR application



Российское акционерное общество энергетики и электрификации
«ЕЭС России»

ОАО Научно-исследовательский
институт по передаче электроэнергии
постоянным током высокого
напряжения
(ОАО НИИПТ)

Департамент научно-технической
политики и развития



Ю.Н. Кучеров

«25» 03 2002г

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АРВ-М

Заместитель
Генерального директора
ОАО НИИПТ
по научной работе



Л.А.Кошев

Заведующий
НИО-3 ОАО НИИПТ



А.С.Зеккель

Главный специалист Департамента
научно-технической политики и
развития

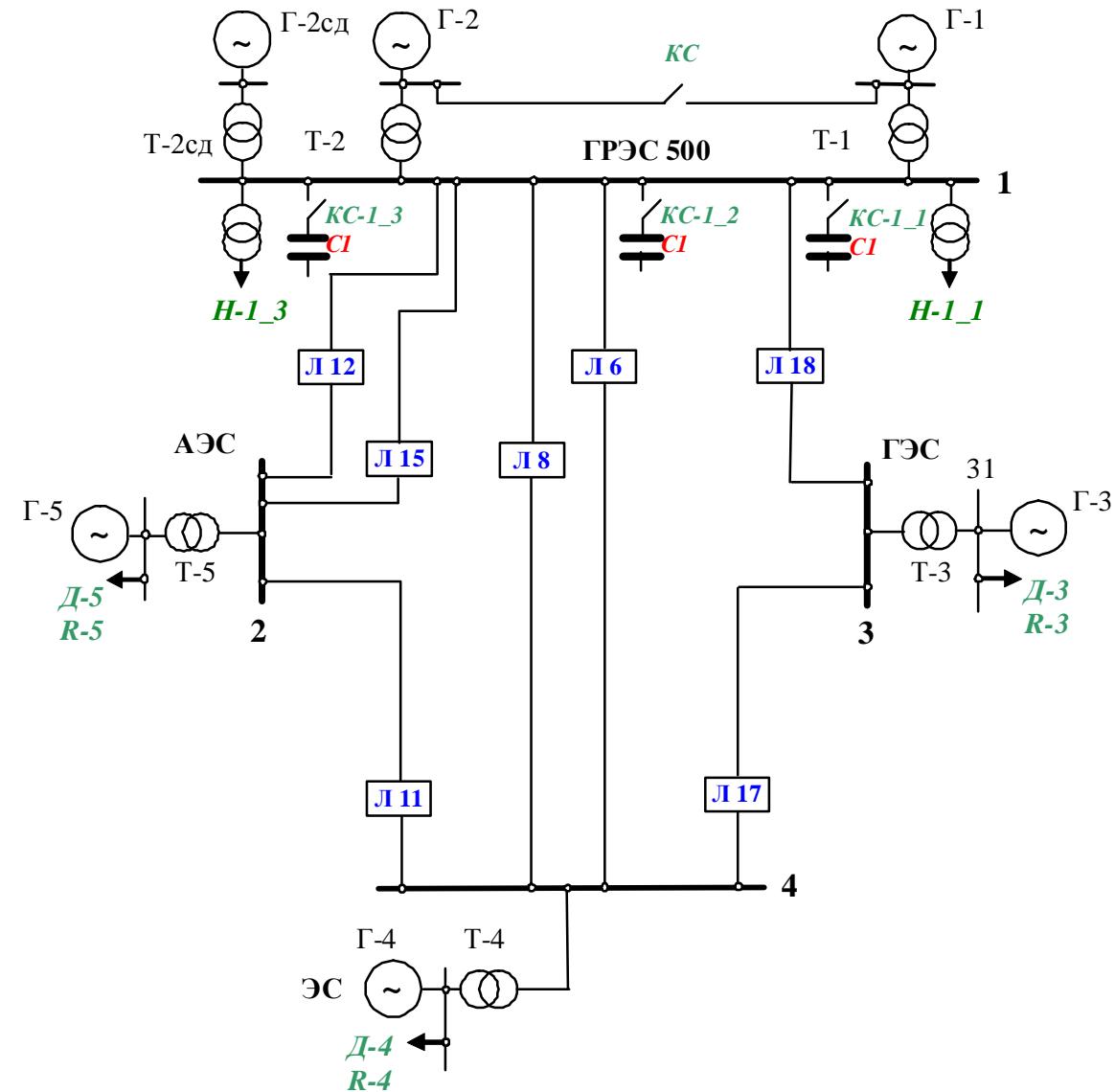


П.А.Шейко

Санкт-Петербург 2002

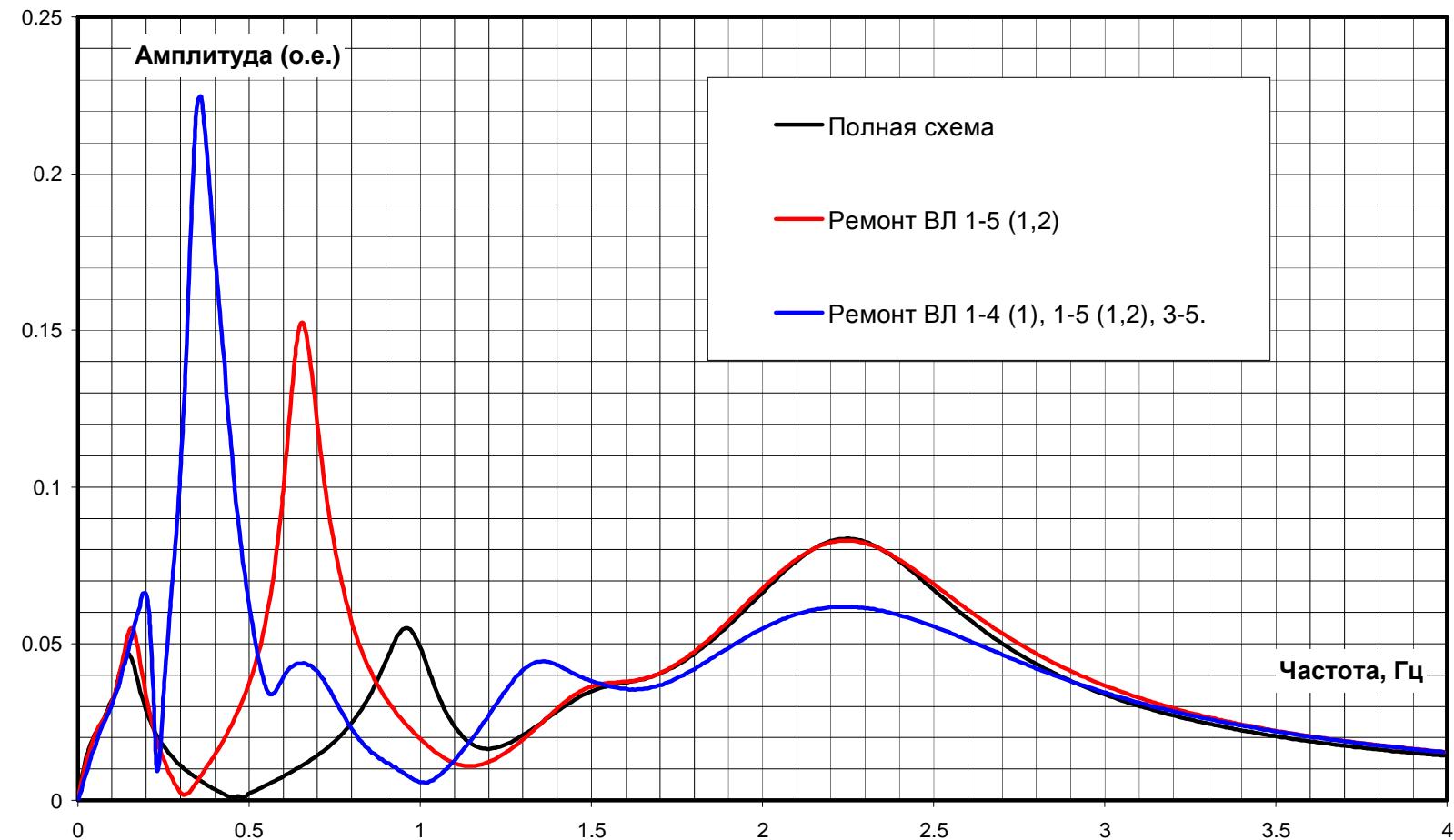


Test scheme of the electrodynamic model for AVR expertise



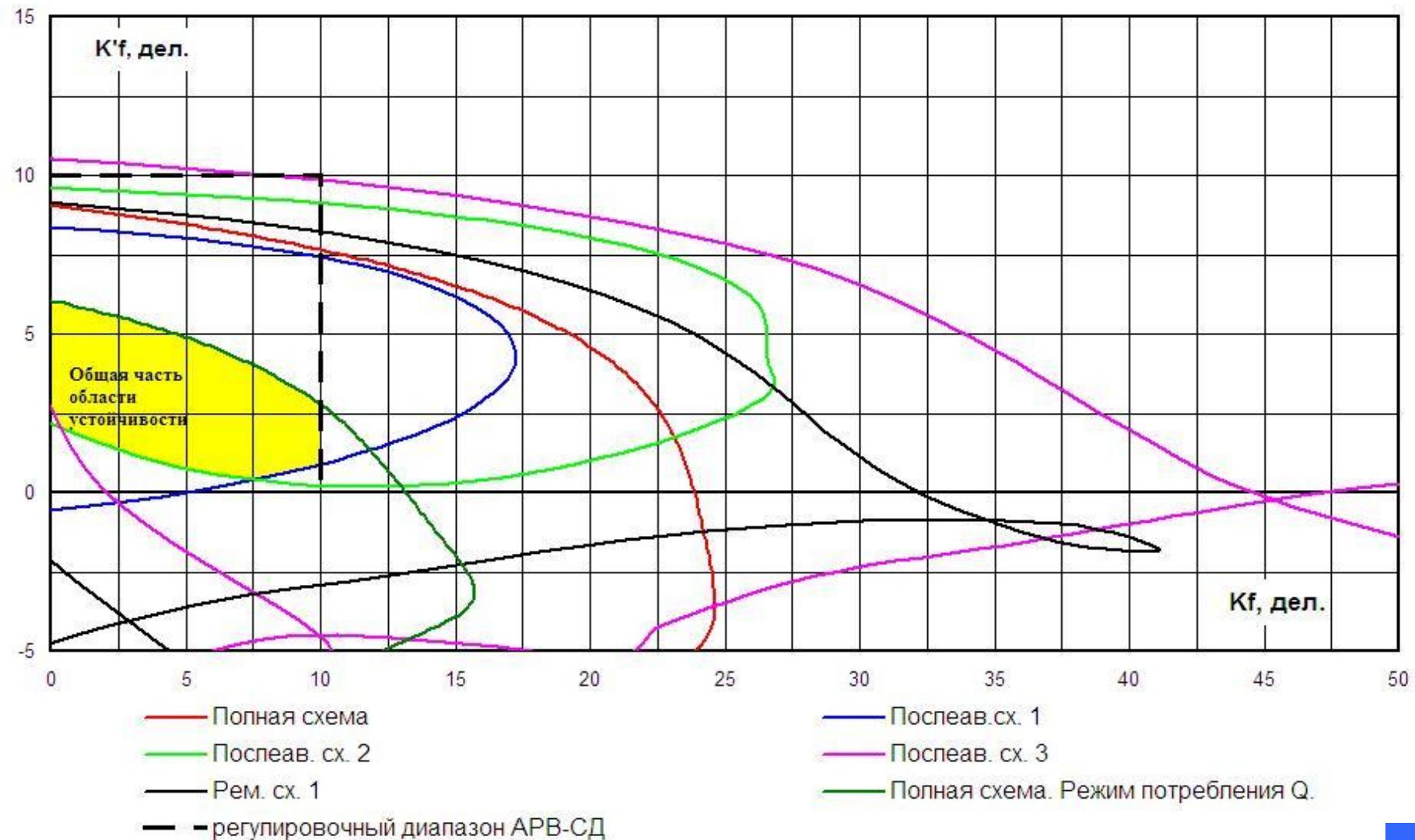


Test scheme of the electrodynamic model. Frequency characteristics





Test scheme of the electrodynamic model. Generators' areas of oscillatory stability





Test scheme of the electrodynamic model



The test scheme of the electrodynamic model completely meets the demands of typical test program for expertise of digital AVR

The following AVR were examined in the test scheme:

- ARV-M, ARV-2M, ARV-3M (JSC «Power Machines», Russia)
- AVR-2 (JSC «Energocomplect», Russia)
- UNITROL-5000 (ABB, Switzerland)
- DESC-400 (Basler electric, USA)
- ARV-NL (JSC «Elsib», Russia)
- KOSUR-C (JSC «NIIElectromash», Russia)
- REM and REM-700 (JSC «Ruselprom-Electromash», Russia)
- P320 AVR V2 and CONTROGEN V3 (ALSTOM, France)

April 2010 – tests of UNITROL-6000 (ABB).

The Protocol about the test of SIEMENS AG AVR in NIIPT's scheme has been signed.

Negotiations are carrying out with:

- AEG (Germany)
- JSC «Preobrazovatel» (Ukraine)



ARV-2M tests (JSC «Power Machines», Russia)



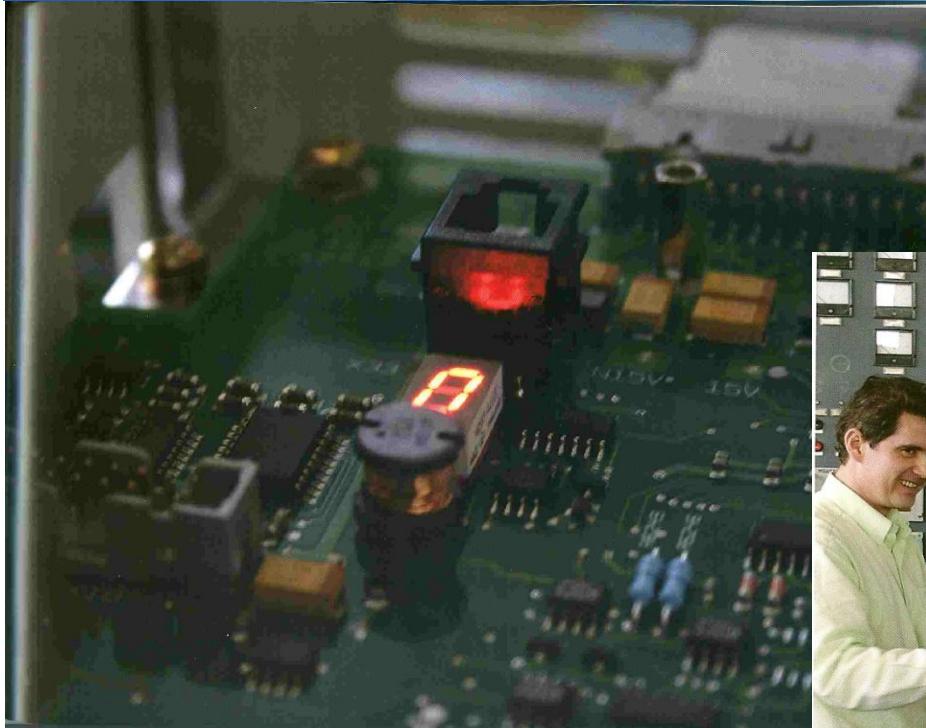
ARV-2M tests



During tests



UNITROL-5000 tests (ABB, Switzerland)



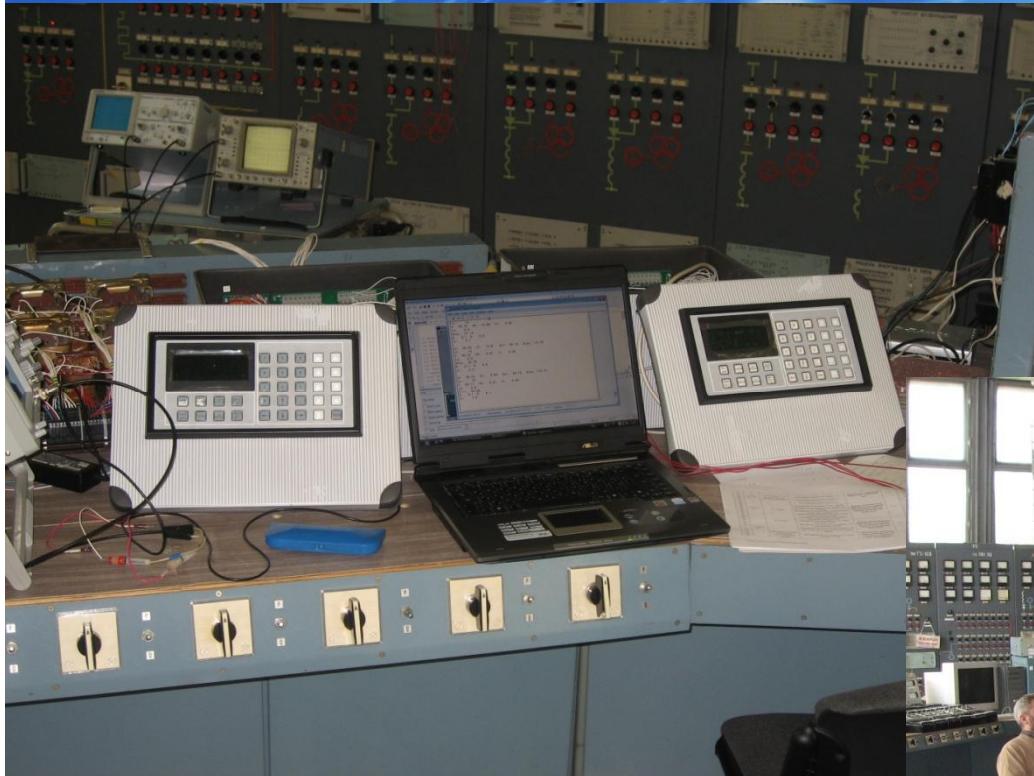
Tests of UNITROL-5000
regulator



Connection of UNITROL-5000 regulator
to the test scheme of the physical model
of the power system



ARV-NL tests (JSC «ELSIB»)



ARV-NL tests



Discussion of the tests results



DECS-400 tests (Basler electric, USA)



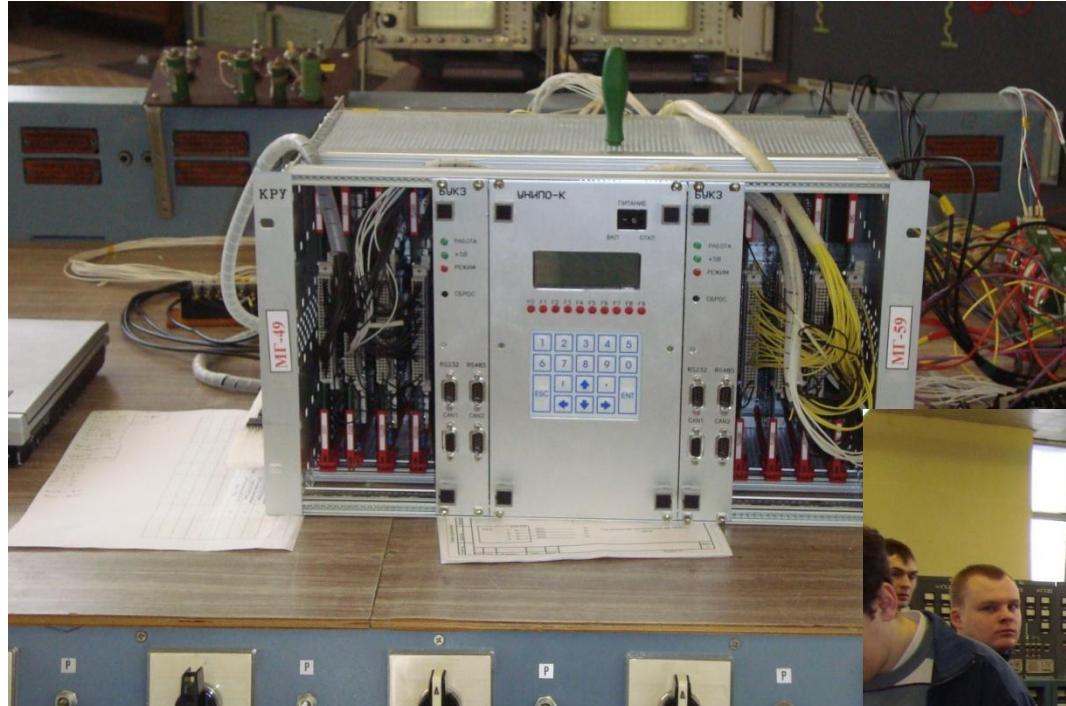
Regulator DECS-400 tests



Team of testers



KOSUR-C tests (NIIElectromash, Russia)



Regulator KOSUR-C tests



Preparations before the experiment



P320 AVR V2 and CONTROGEN V3 tests (ALSTOM, France)



P320 AVR V2 and CONTROGEN V3



Discussion of the experiment



The business visit of Siemens AG (Germany) and ENKA (Turkey) to NIIPT on 29 October, 2009



**Discussion of the order for regulator's
test in the «Yayva TPP» project**

Getting acquainted with the Centre



Stages of the expertise. Program of tests



STAGES OF THE EXPERTISE

- Development of the individual test program for AVR
- Holding tests
- Development of the scientific and technical recommendations concerning AVR application in UPS of Russia

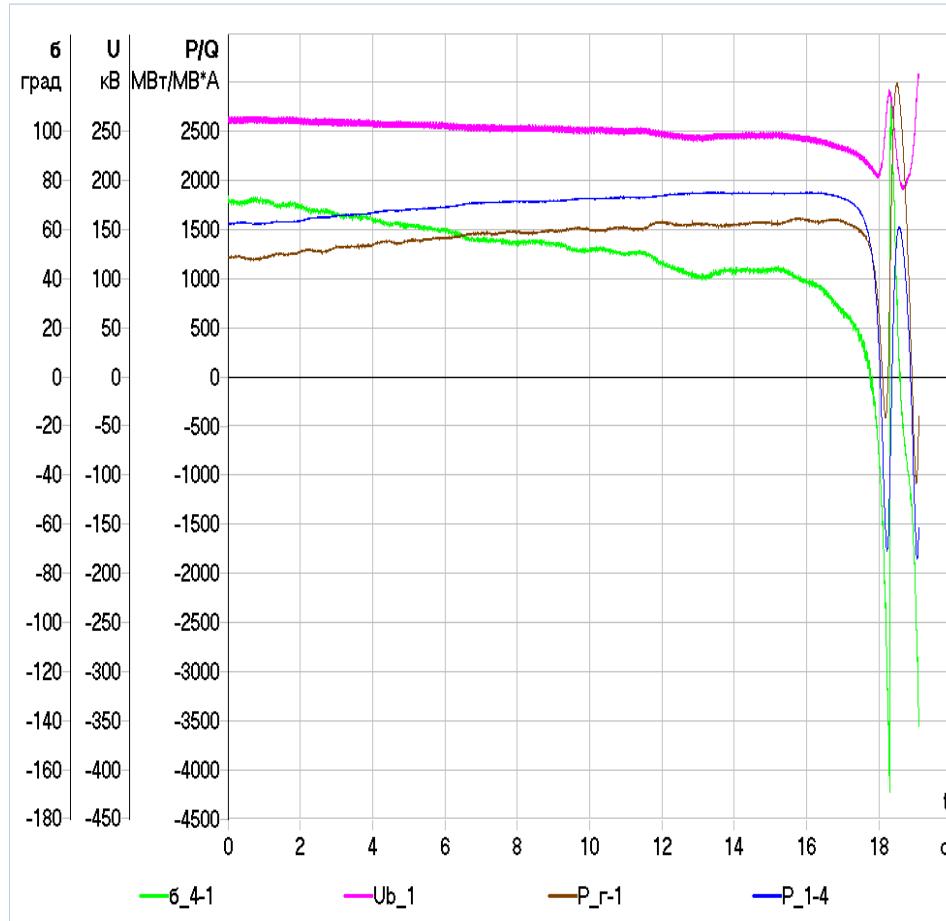
PROGRAM OF TESTS

PSS efficiency is checked by means of oscillation damping estimation during the small-signal disturbances.

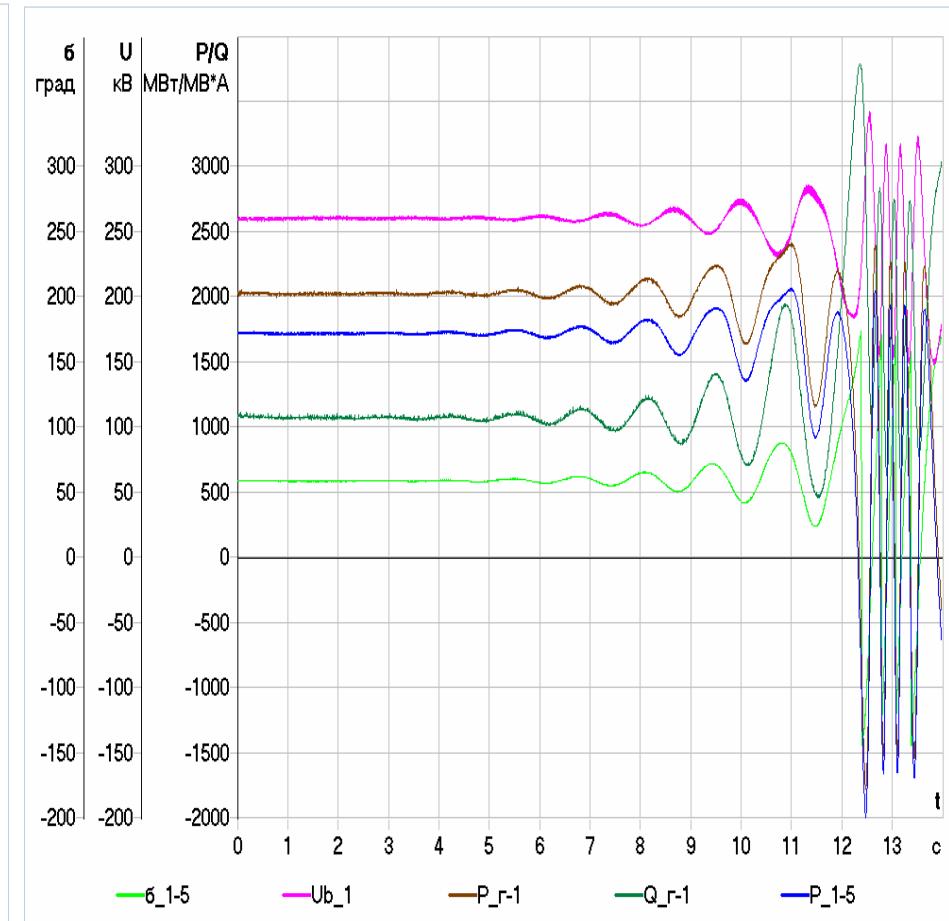
Various operating conditions
of generators/station are examined.



Estimation of PSS2B UNITROL-5000 (ABB) settings quality by the character of instability



Aperiodic character of instability



PSS is switching off



Estimation of postemergency oscillations damping quality

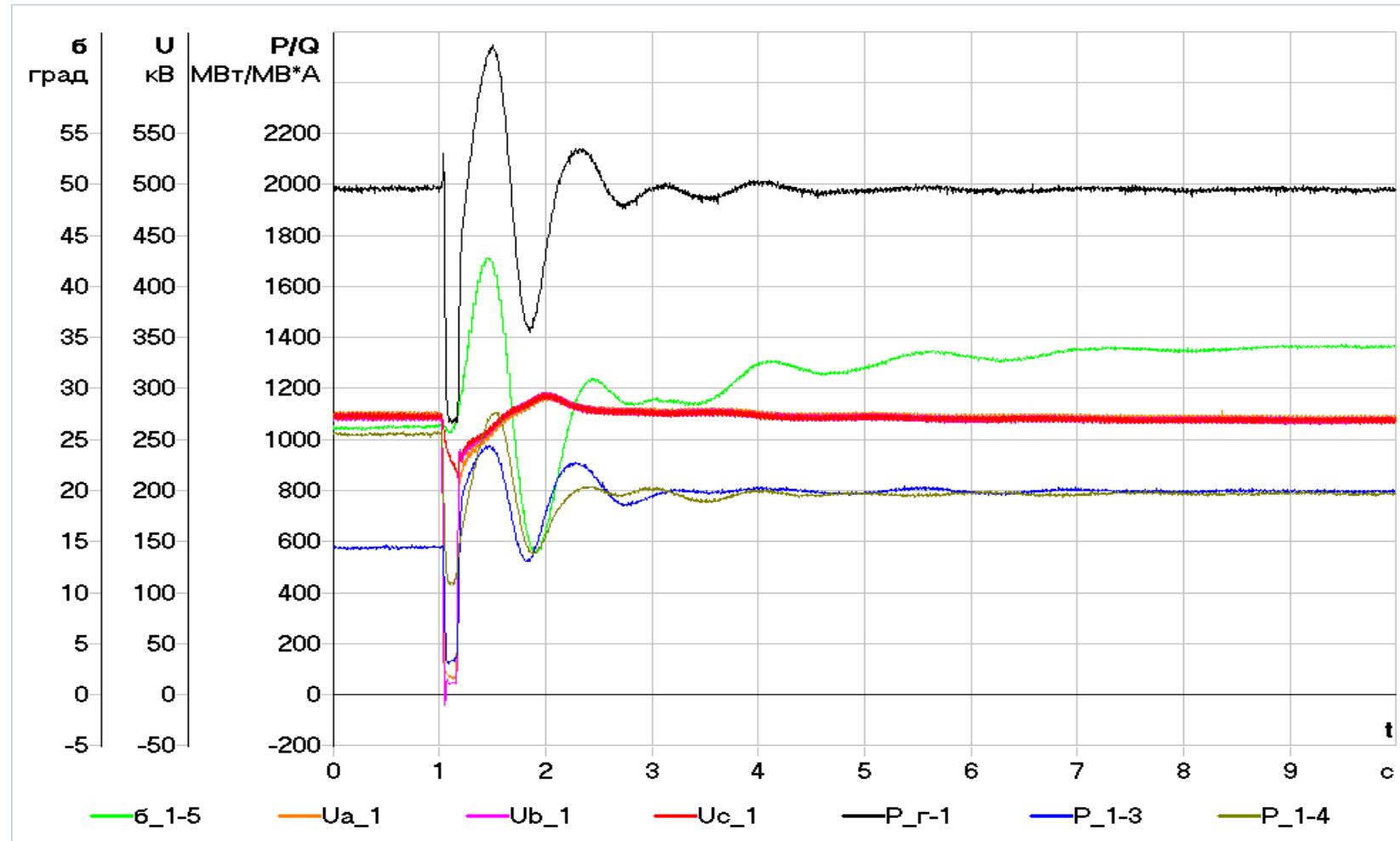


Estimation of postemergency oscillations damping quality and performance capabilities of the power part of excitation systems are carried out during rated disturbances, according to «Method power system stability directions» (Order of Department of Energy Russian Federation):

- Emergency power imbalances
- Transmission line tripping
- 1-phase, 2-phase (to earth), 3-phase short circuits with transmission line tripping
- Successful 1-phase and 3-phase automatic reclosing
- Unsuccessful automatic reclosing on transmission lines under all kinds of short circuits with one phase of a breaker failure and breaker fail protection operation

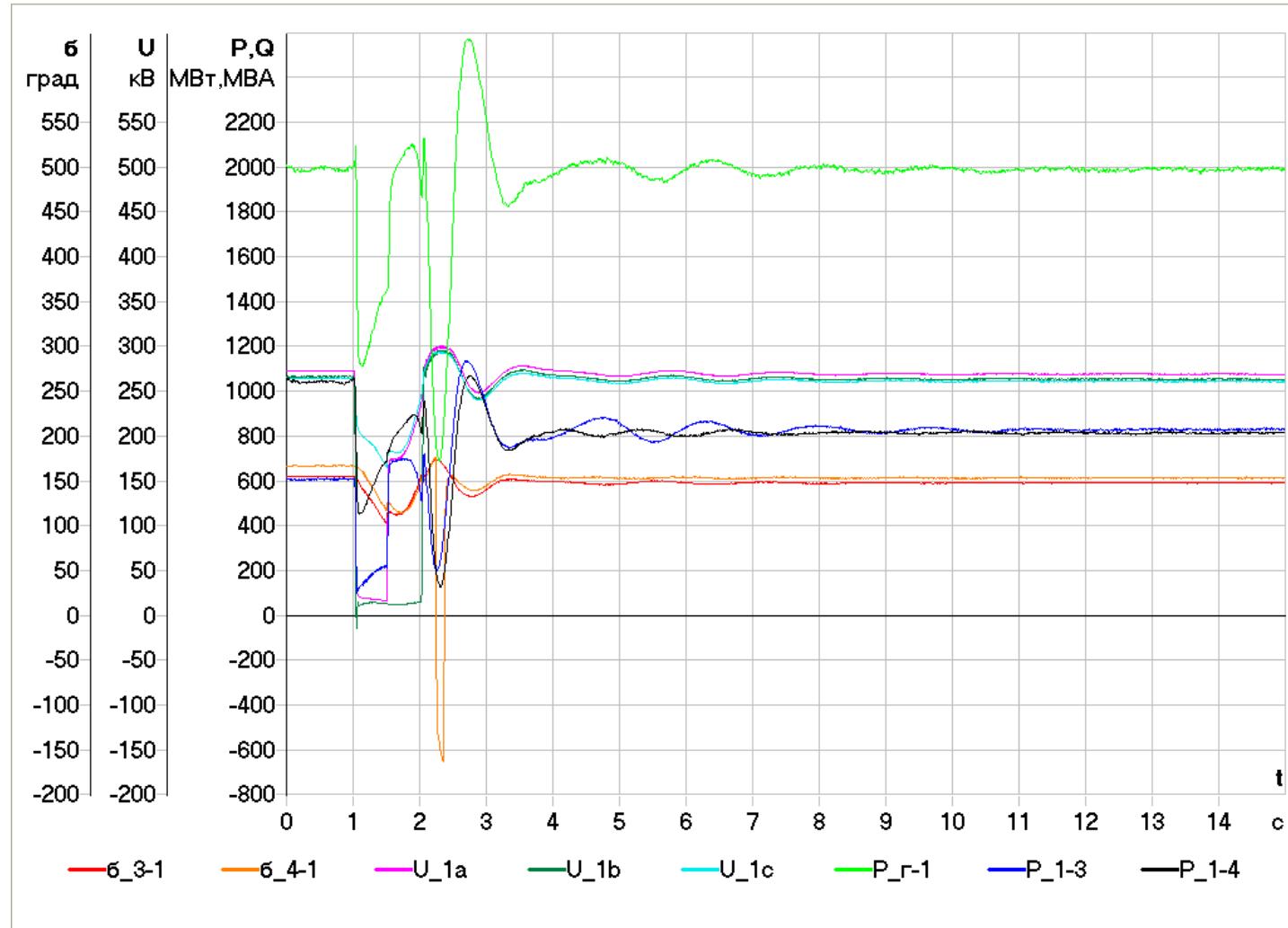


2-phase short circuit on line (1-4) near APP 500 kV buses with the line switching. $P_{gen} = P_{rated}$. PSS is in operation. (Unitrol-5000)



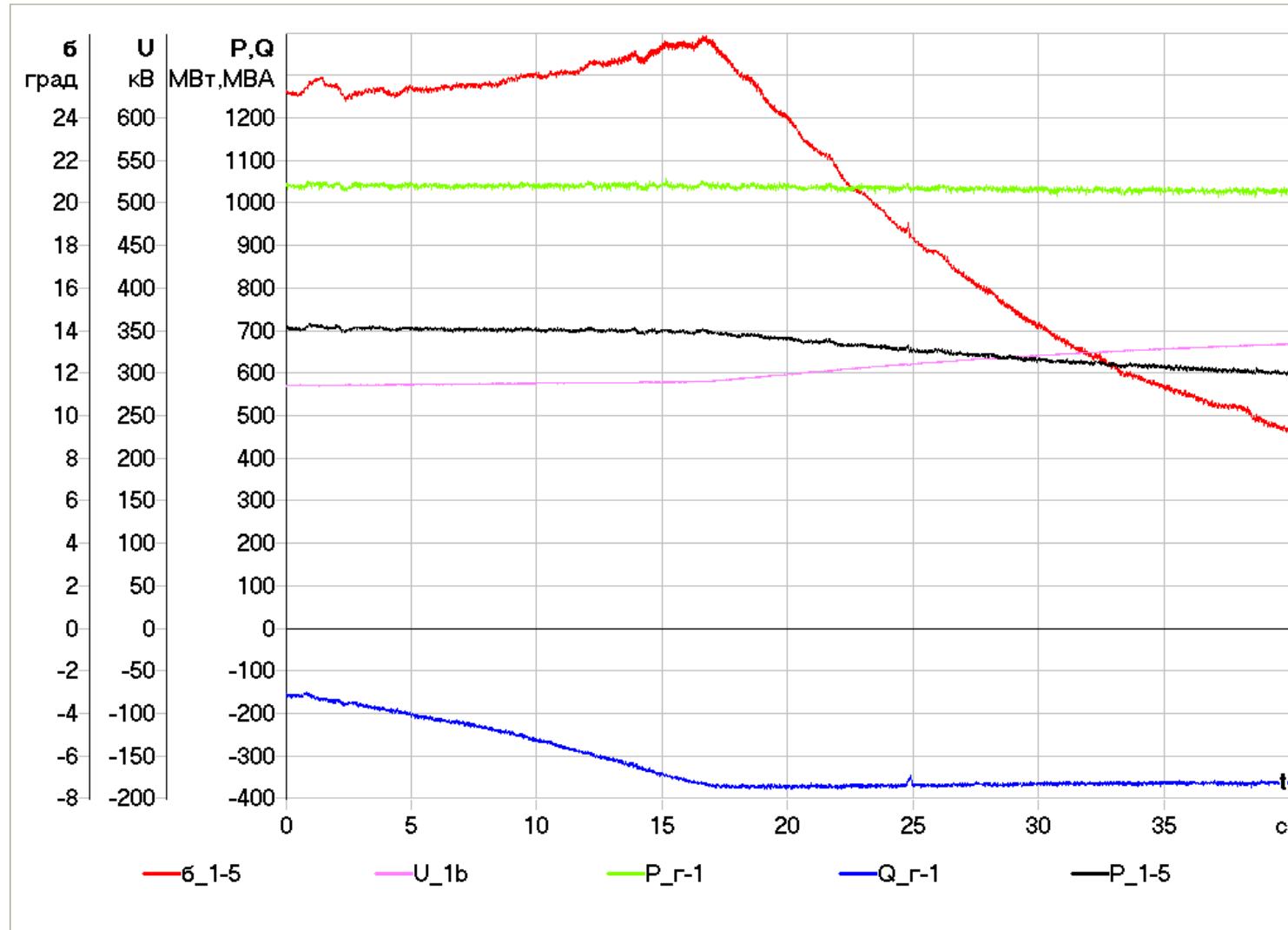


2-phase short circuit on transmission line near APP buses with breaker fail protection operation (DECS-400)





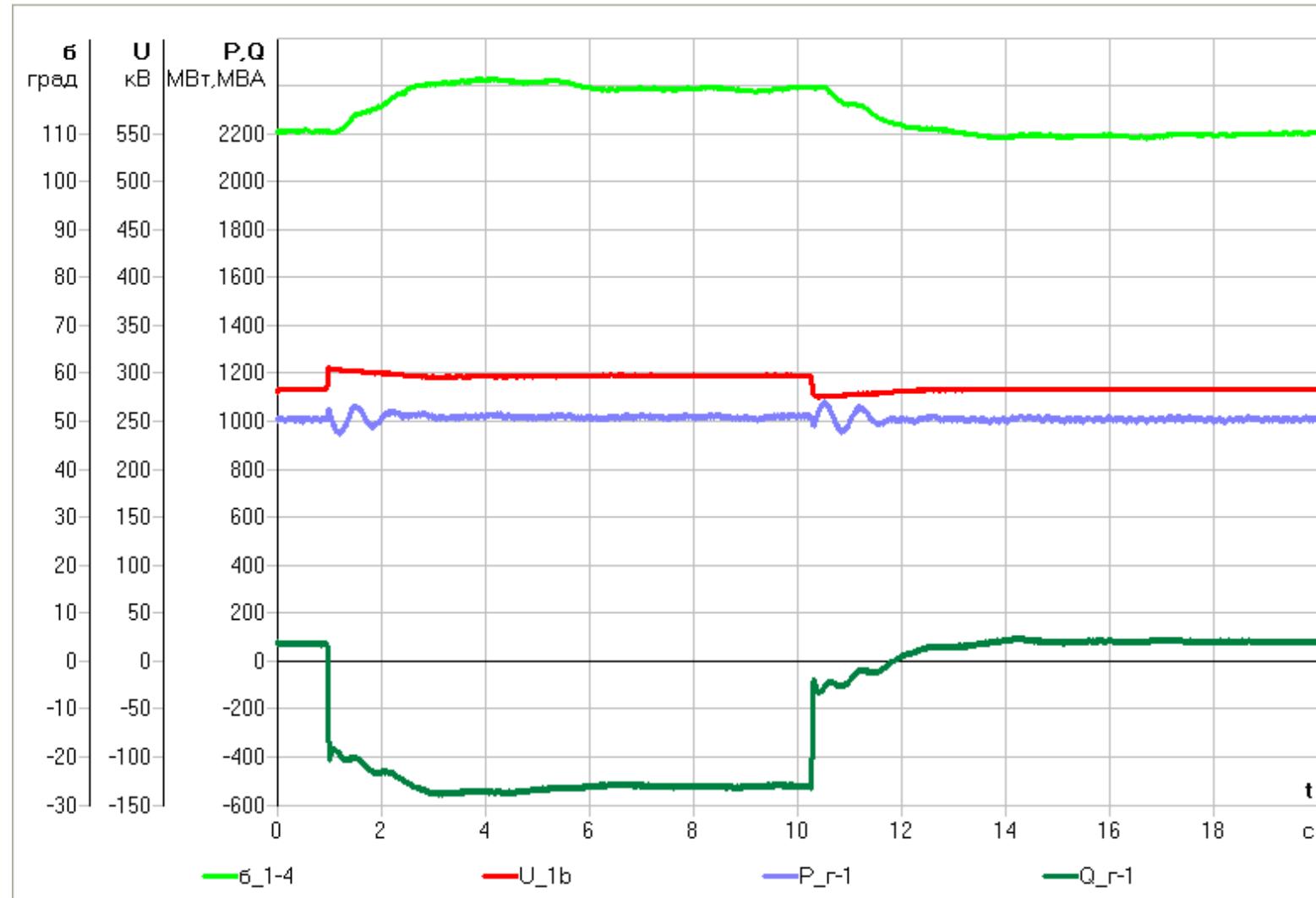
Under excitation limiter test (DECS-400)



Entering UEL zone during the slow voltage increasing in the system



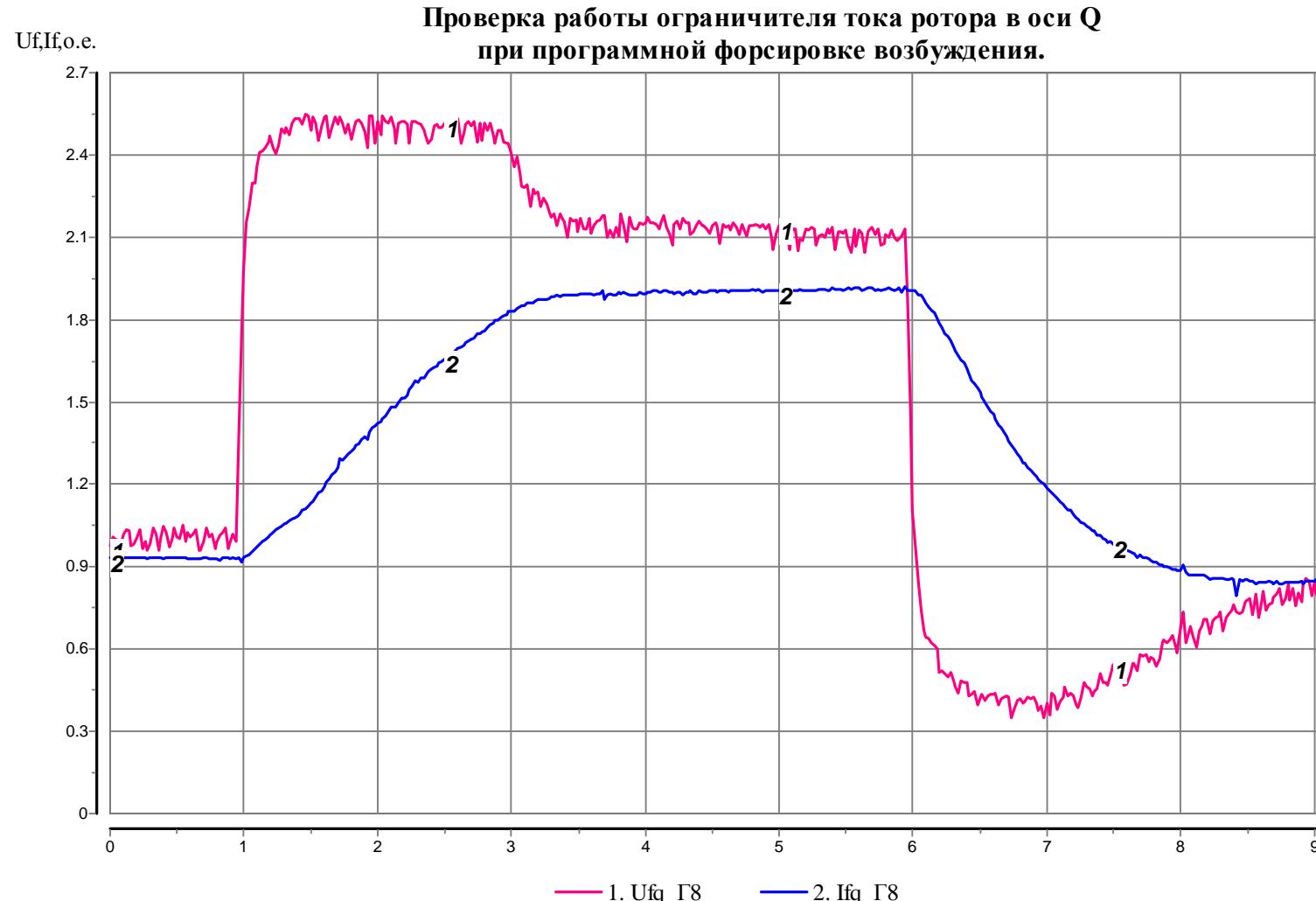
Under excitation limiter test. (CONTROGEN V3, ALSTOM)



Entering and leaving UEL zone during the switching on
(and off in 9 sec) the capacitors on the APP buses

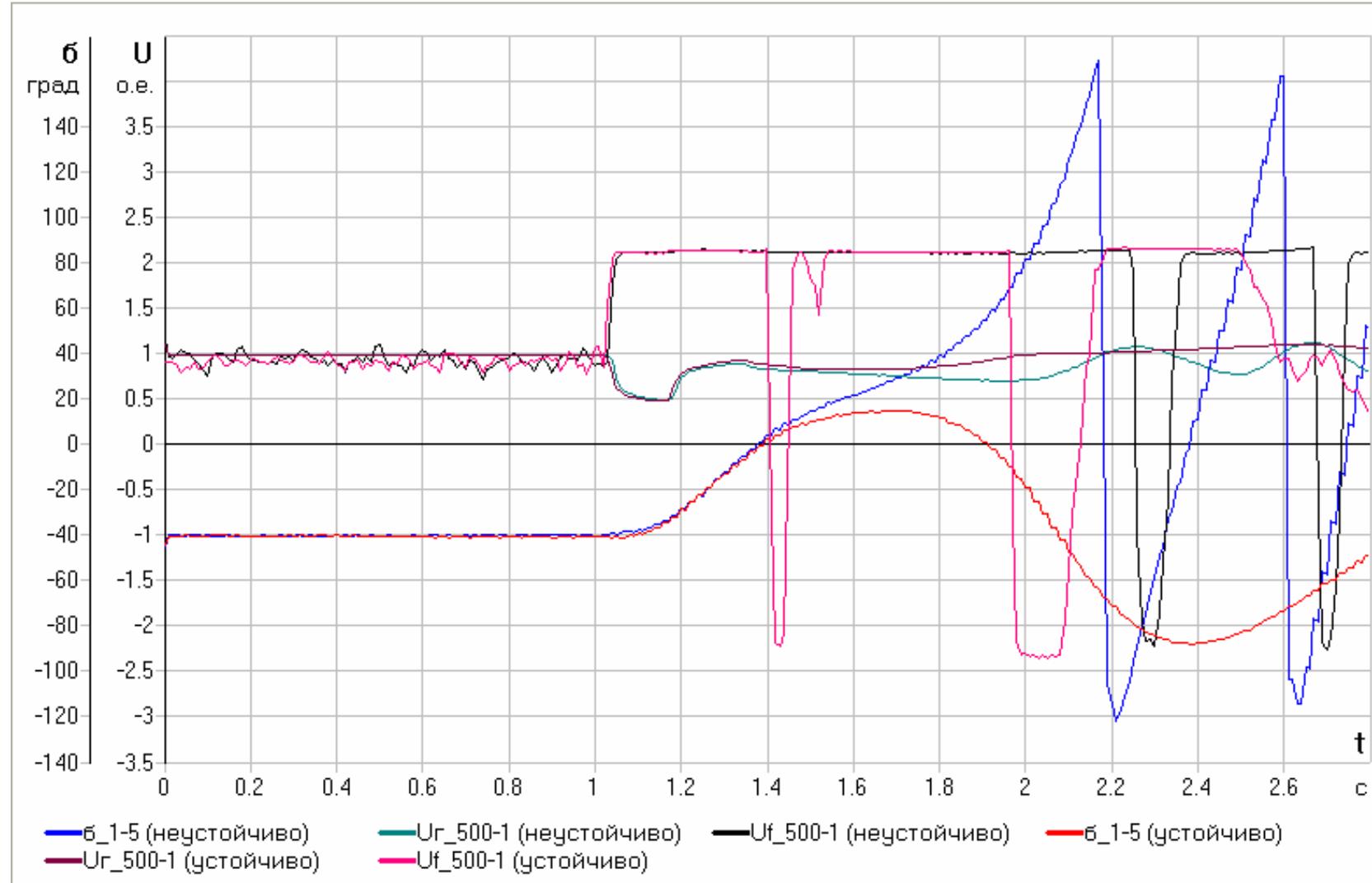


Over excitation limiter tests (ARV-MA)



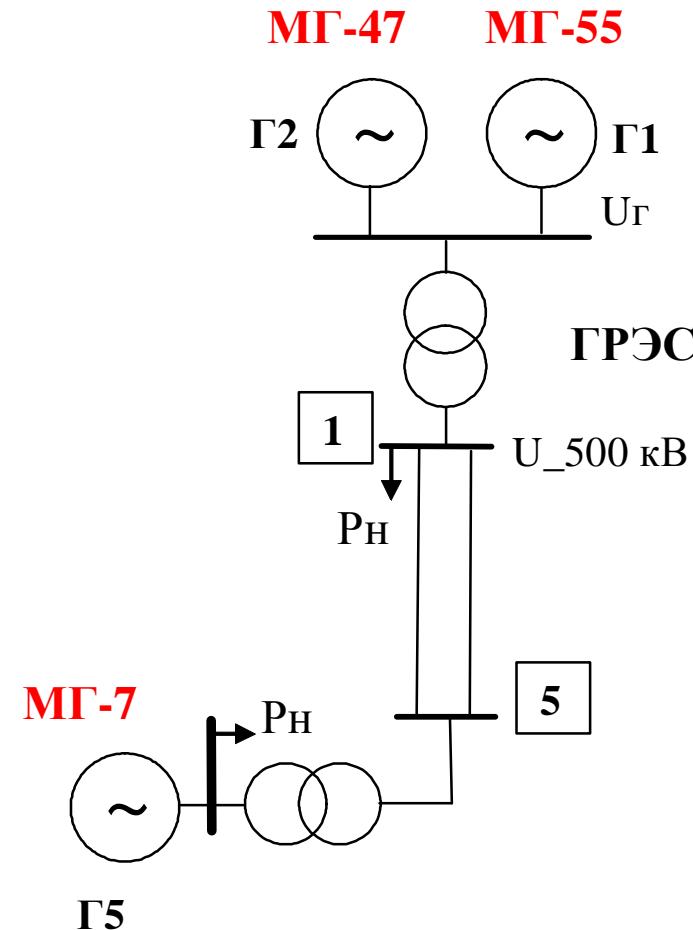


AVR-2 efficiency check



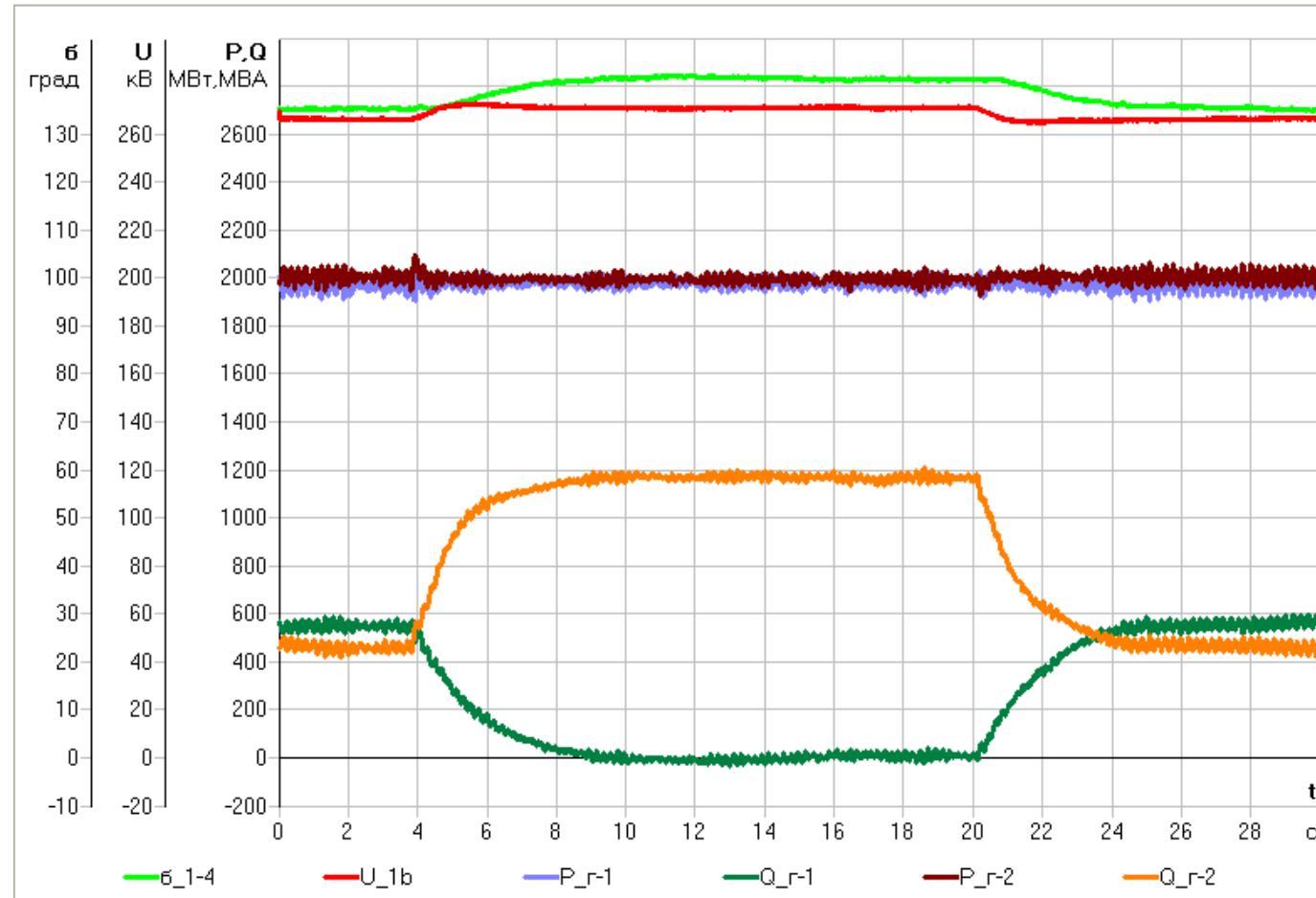


Check the efficiency of the AVR operation in the scheme of the doubled unit





Check the efficiency of the AVR operation in the scheme of the doubled unit (CONTROGEN V3, ALSTOM)



Voltage set point (of one of the generators in doubled unit)
is increased for some time in the underexcitation mode



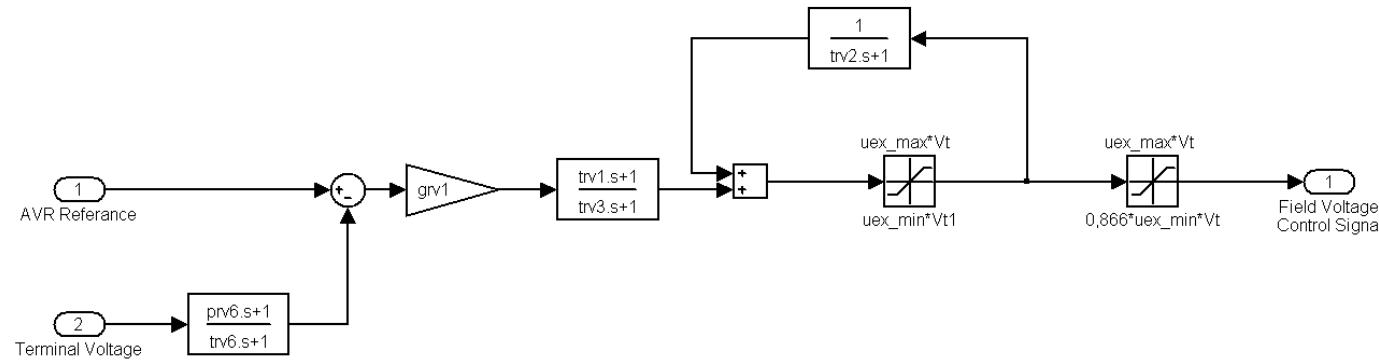
Development and verification of regulator digital models



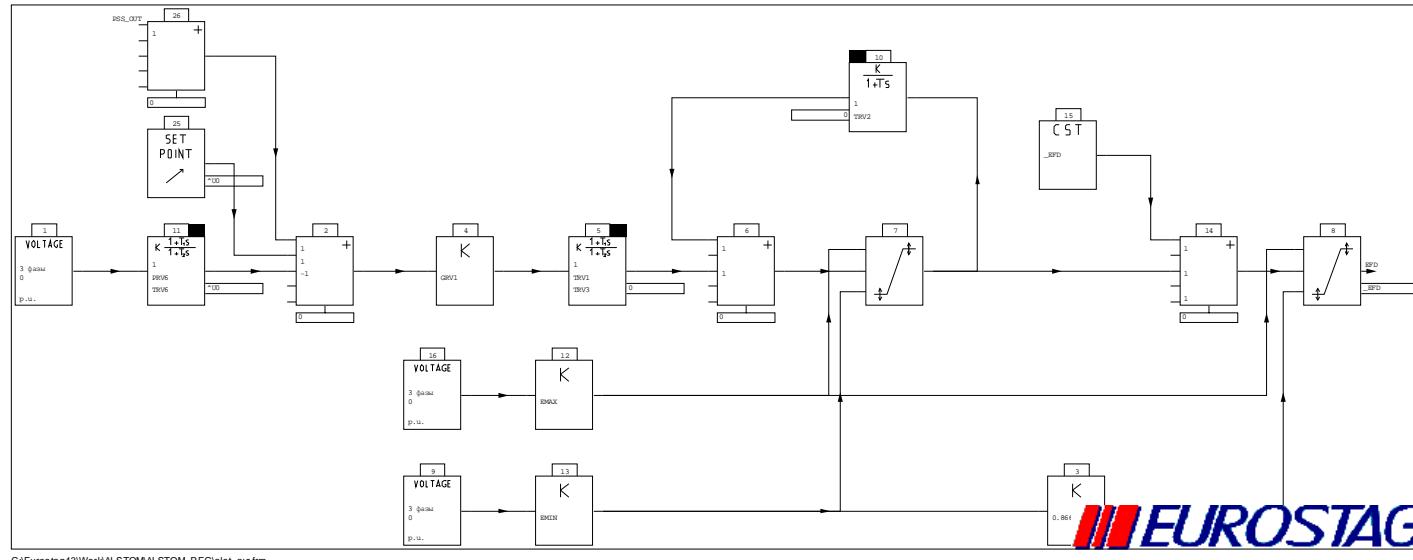
**The aim is
to develop adequate digital models of AVR
and its transfer to System Operator for AVR
settings quality check**



Model of the regulator P320 AVR V2 (ALSTOM)



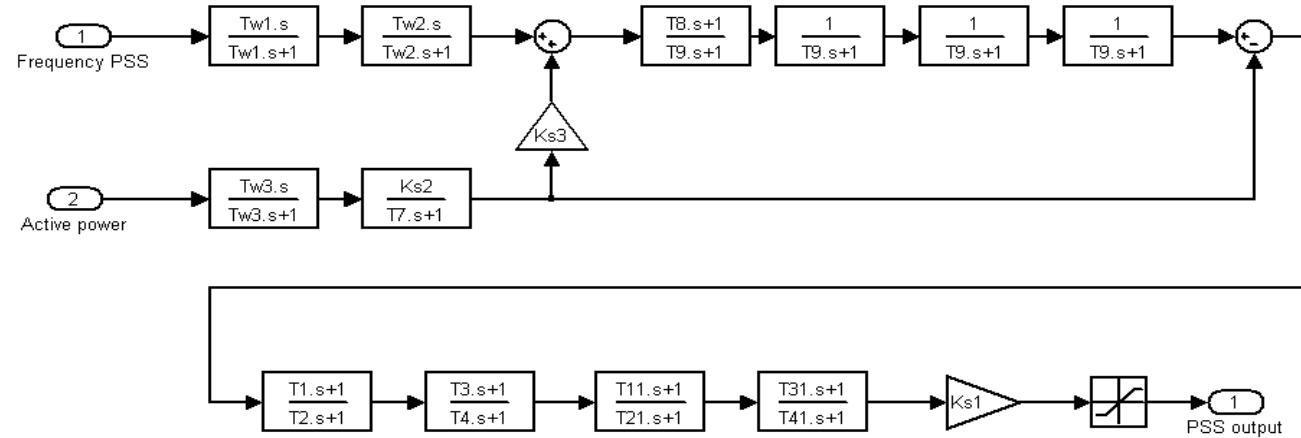
Mathematical model of voltage regulator (type ST7B)



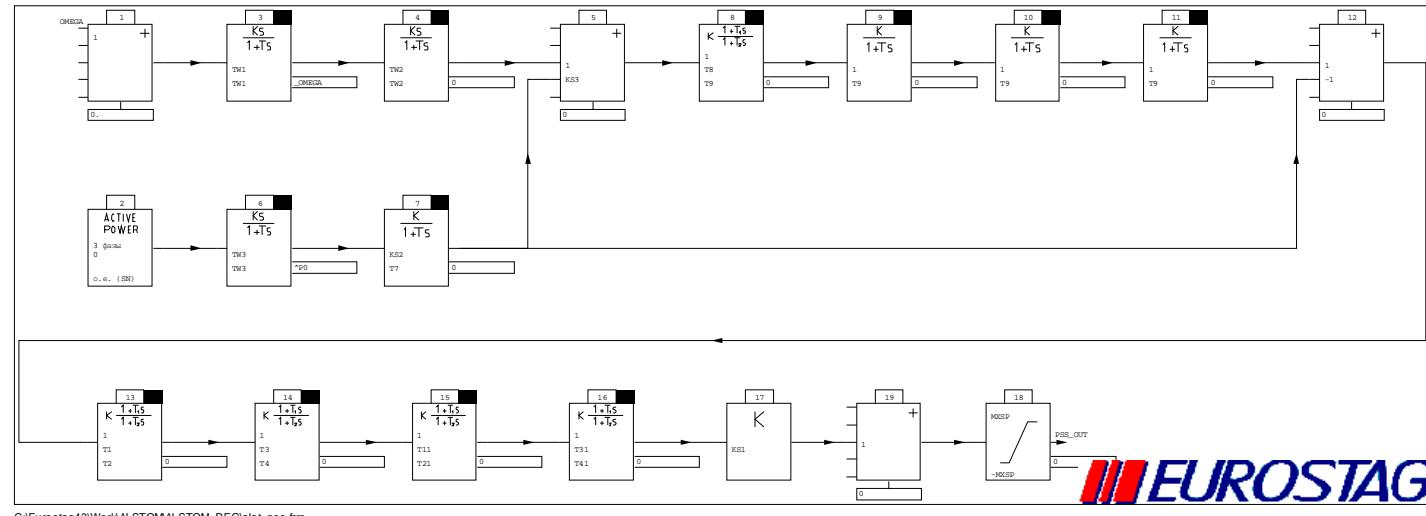
Digital model of voltage regulator (type ST7B)
implemented in EUROSTAG



Model of the regulator P320 AVR V2 (ALSTOM)



Mathematical model of power system stabilizer (type PSS2B)



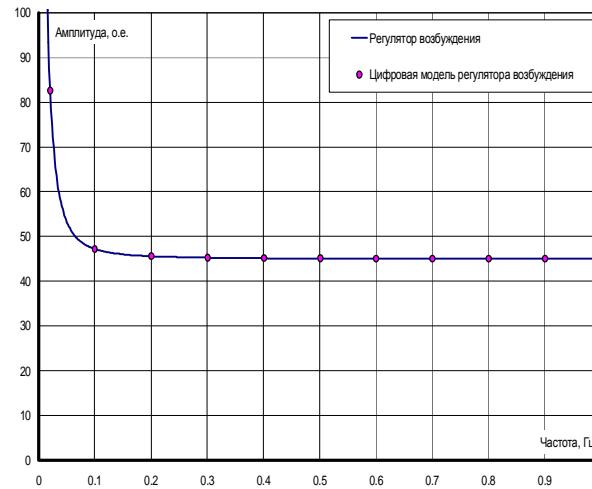
Digital model of the power system stabilizer (type PSS2B)
implemented in EUROSTAG



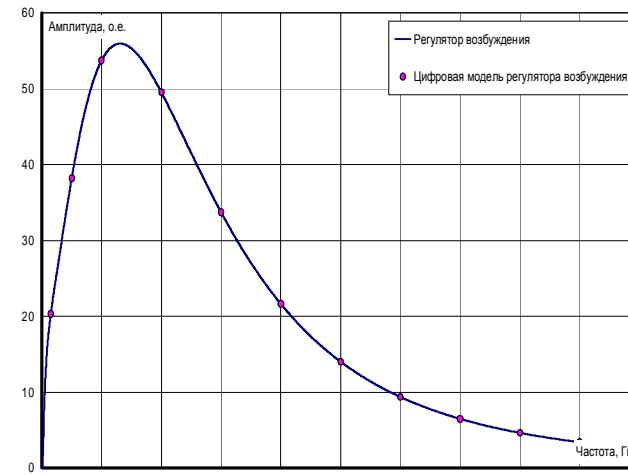
Regulator P320 AVR V2 (ALSTOM) model verification



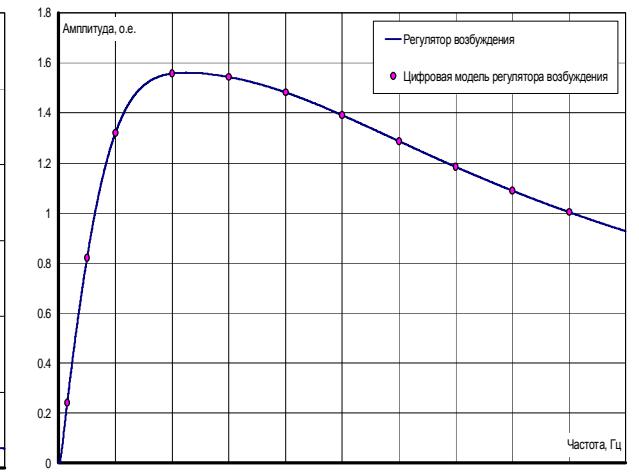
ST7B



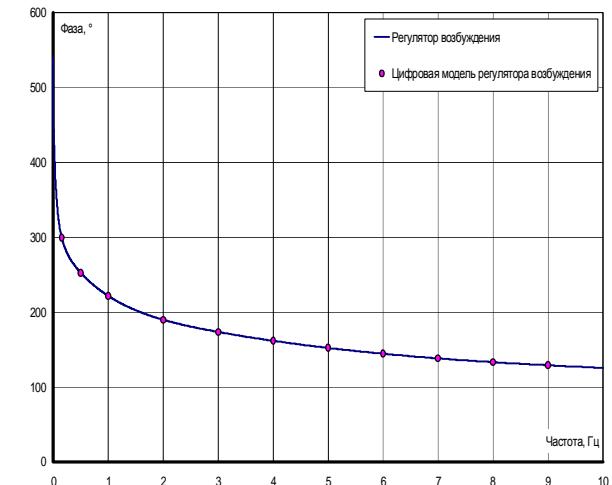
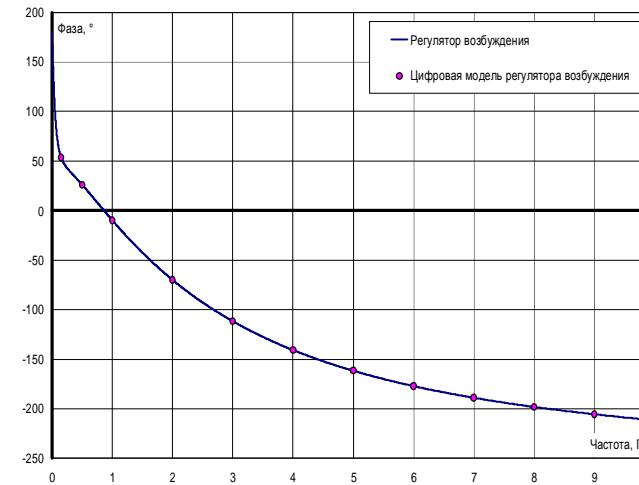
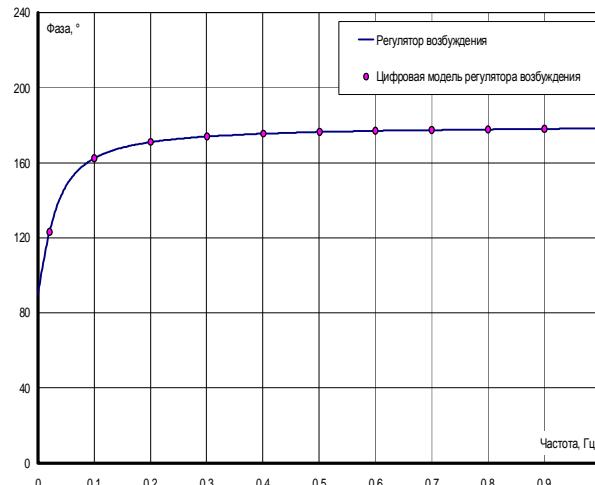
PSS2B
 ΔP stabilization channel



PSS2B
 $\Delta\omega$ stabilization channel



Amplitude-frequency characteristic



Phase-frequency characteristic



METHODOLOGY OF DIGITAL AVR TESTS



METHODOLOGY OF DIGITAL AVR TESTS USING ELECTRO DYNAMIC SIMULATOR (EDS).

**AVR ADJUSTMENT FOR CONCRETE POWER
INSTALLATIONS «ON A TURN KEY BASIS»**



Methodology of digital AVR tests

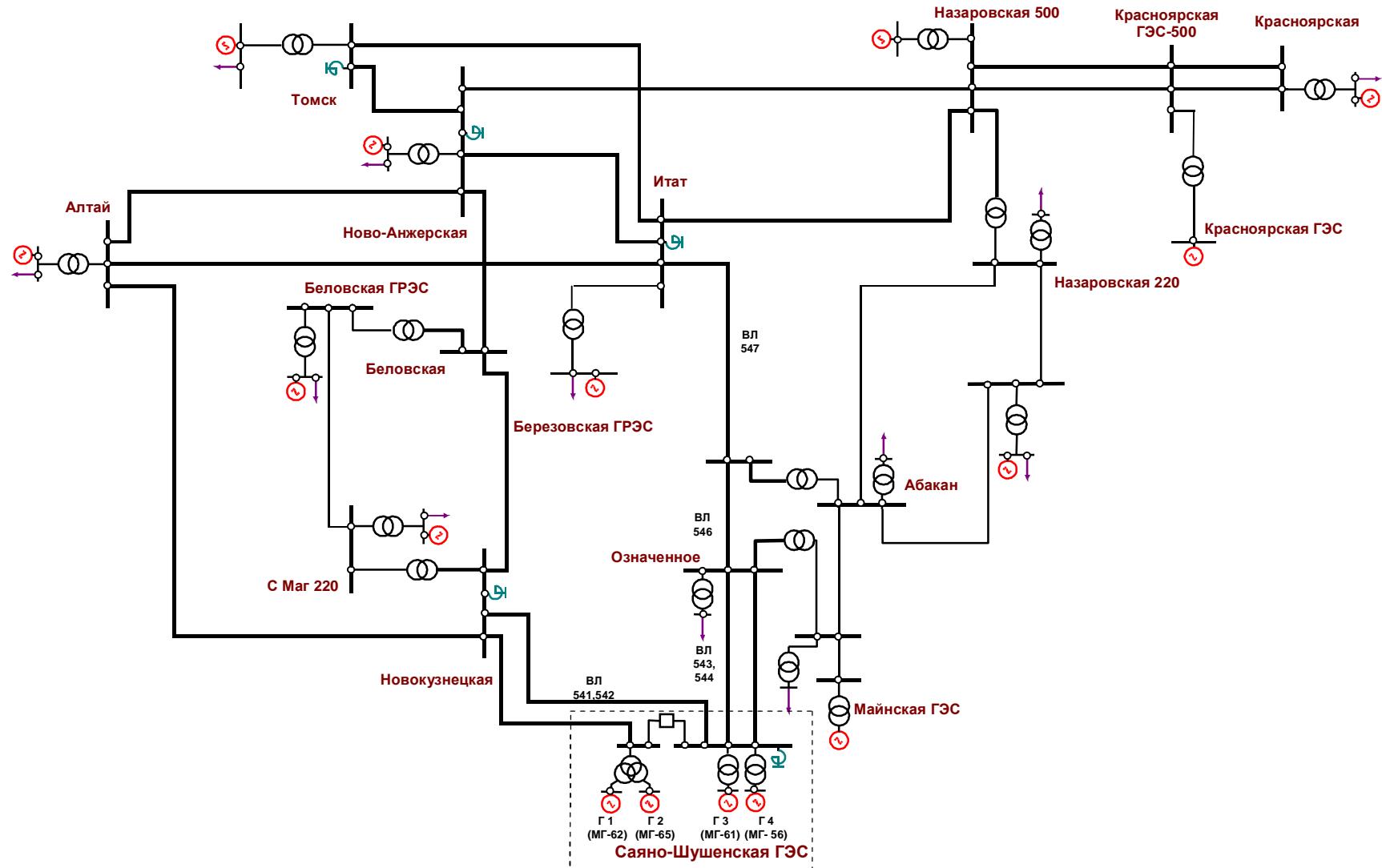


Methodology comprises the following steps:

- **Using EDS, physical model of the power system is created**
- **Program of tests is developed**
- **AVR and PSS tests and adjustments «on the turn key basis»**



Physical model of Siberian power system implemented for digital AVR tests of Sayano-Shushenskaya HPP





Program of system tests and AVR adjustments is coordinated with JSC «SO UPS» and approved by Customer.

It comprises:

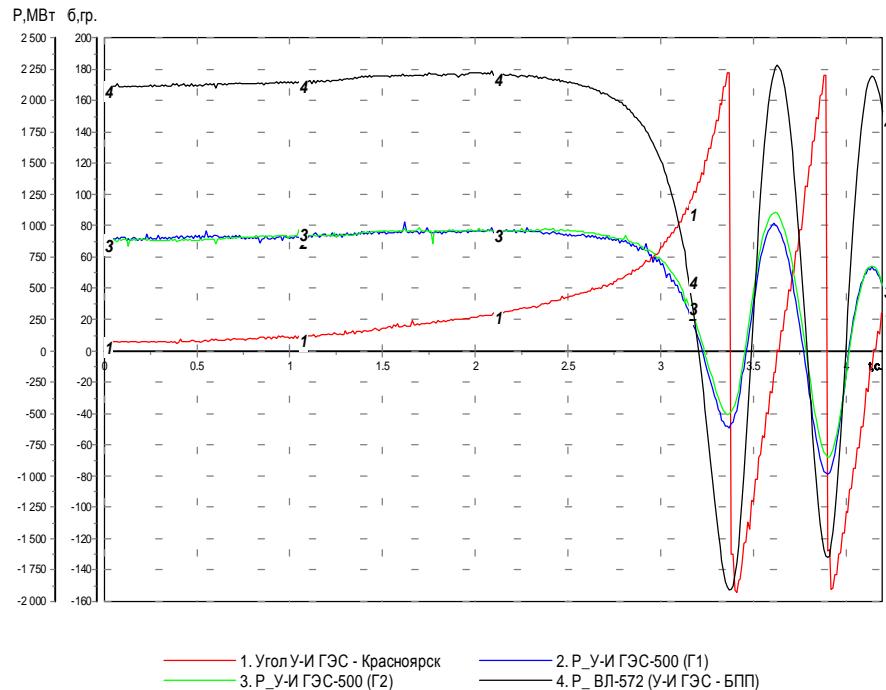
- Estimation of oscillation damping in different schemes and conditions of power system during small-signal disturbances and AVR settings adjustment
- Checking AVR efficiency during rated emergency disturbances
- Estimation of intraplant oscillation damping (for multiunit power stations)
- Checking AVR operation in specific conditions during large-signal disturbances



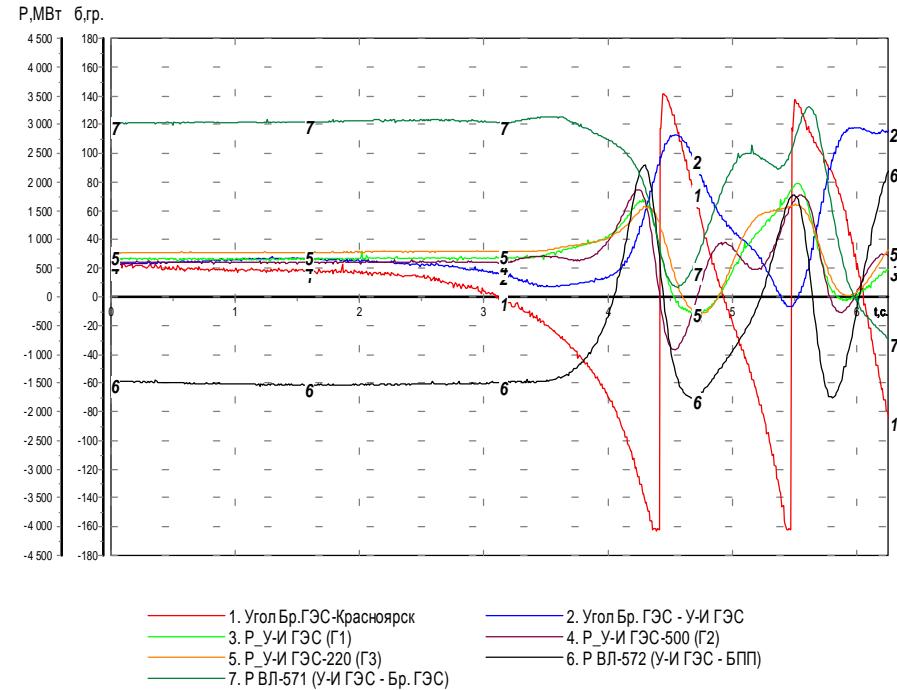
Efficiency of the chosen AVR settings



Character of instability (transmission capacity limit is reached)



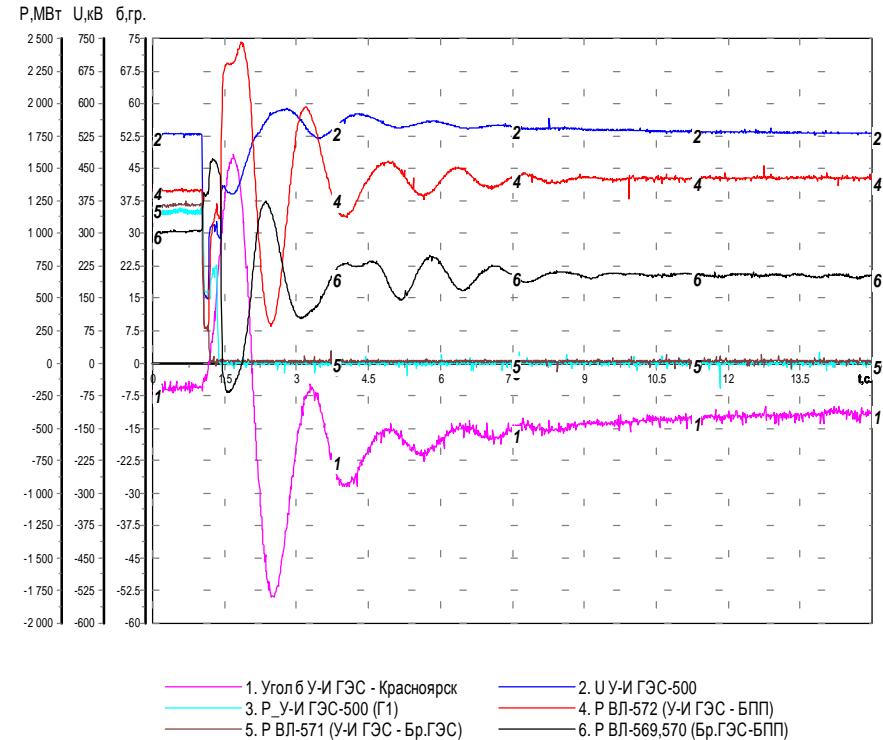
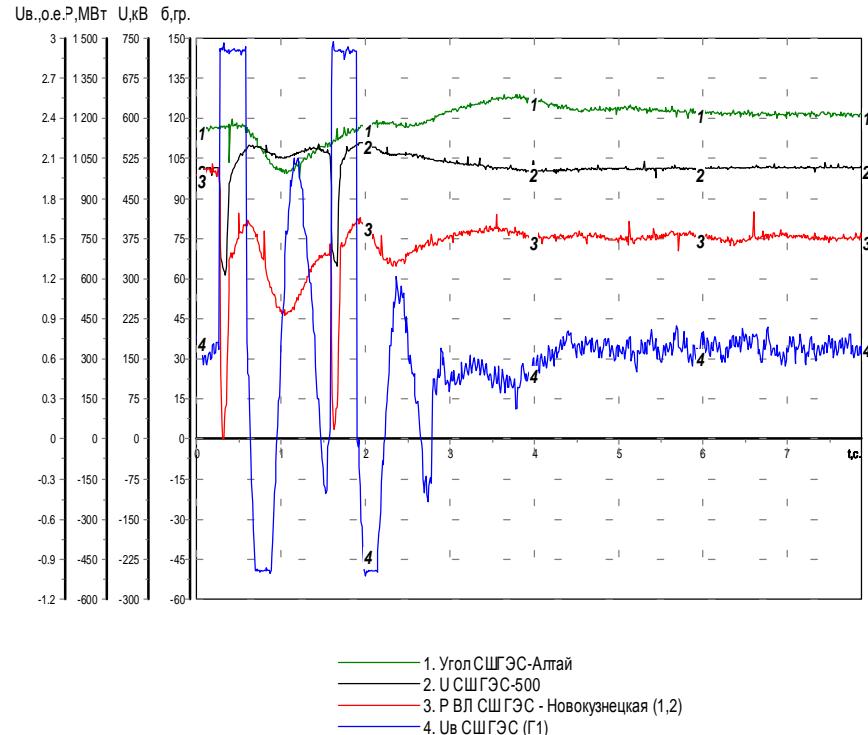
Character of instability during the increasing of power flow from Ust-Ilimskaya HPP to Krasnoyarsk power system. Lines 560, 571, 570, 569 are switched off



Character of instability during the increasing of power flow from Krasnoyarsk power system to Bratskaya HPP. Lines 560, 570, 569 are switched off



Estimation of AVR efficiency during rated disturbances (emergency automation operation is taken into account)

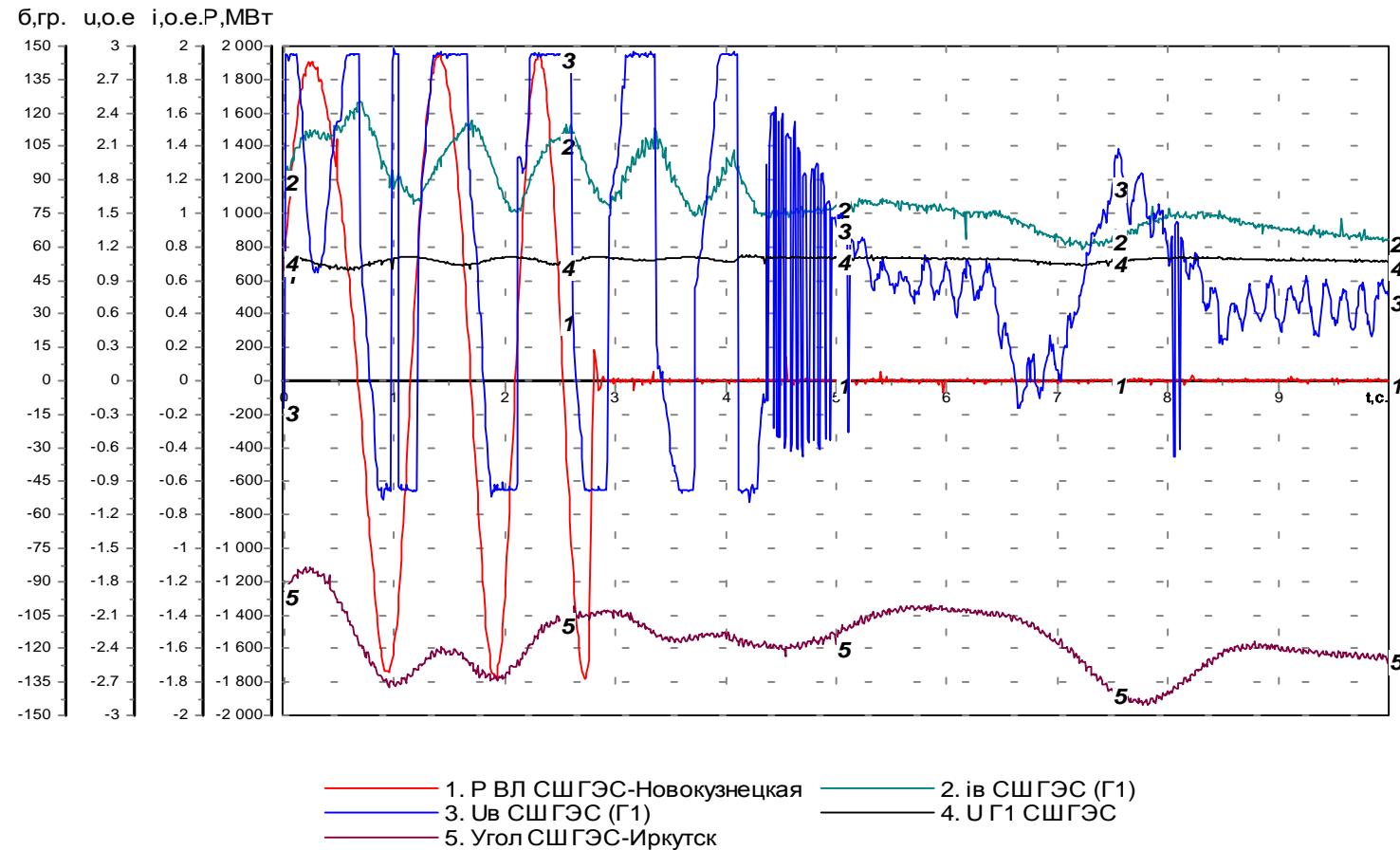


Single phase short circuit near 500 kV buses
of Sayano-Shushenskaya HPP
with an unsuccessful single phase automatic
reclosing of the line

Double phase short circuit near 500 kV buses
of Ust-Ilimskaya HPP with a closing
of the line 571, breaker failure



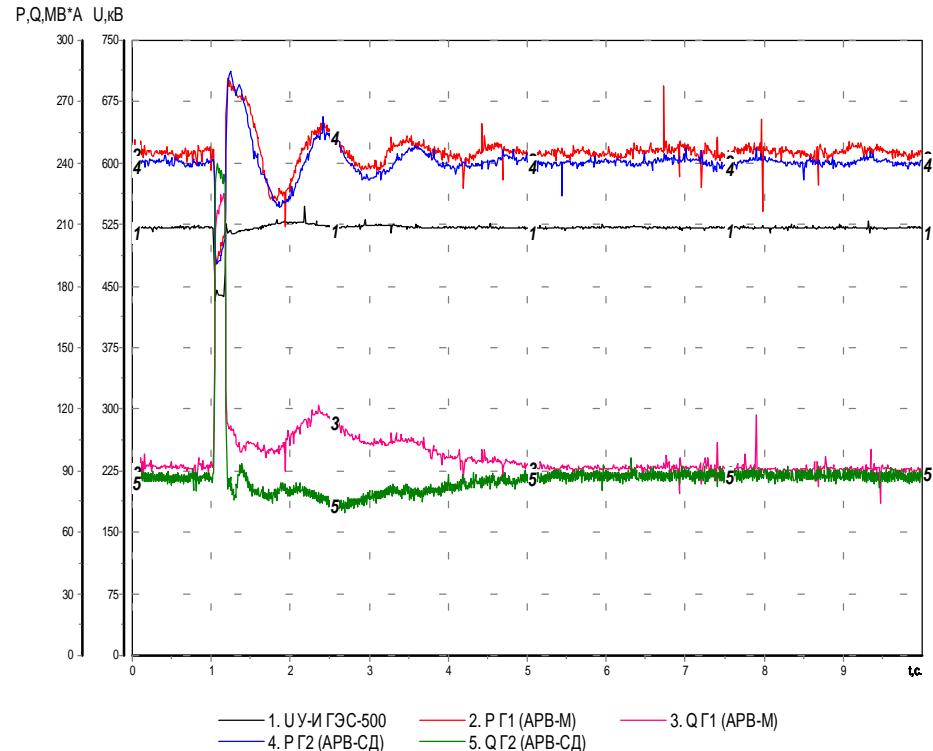
Estimation of AVR efficiency operation during liquidation of system failures' consequences



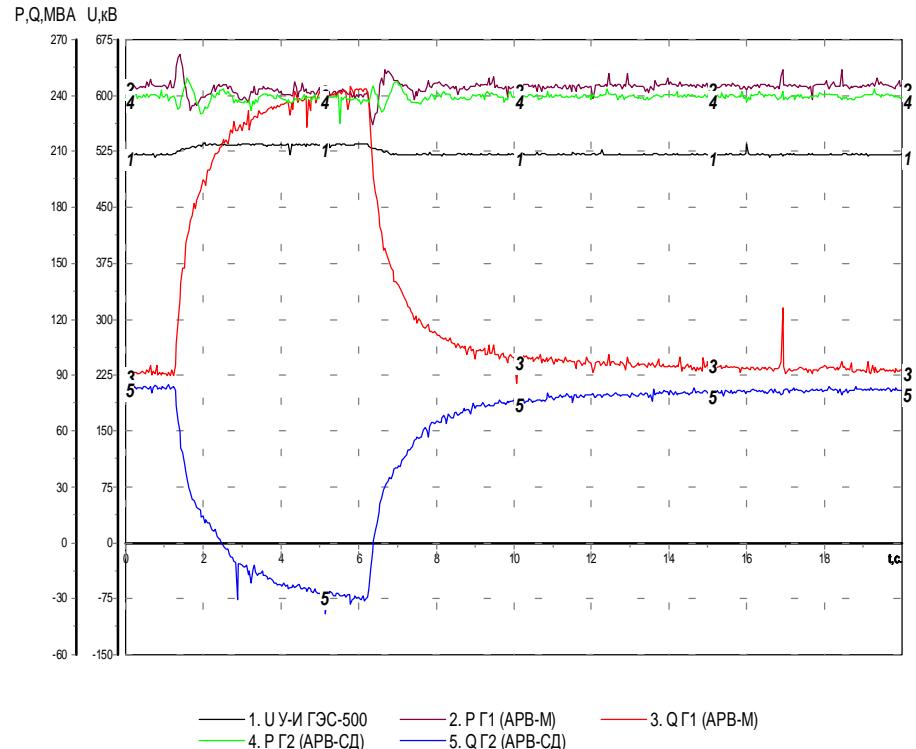
**Liquidation of the asynchronous motion.
Operation of ARV-M regulator installed on Sayano-Shushenskaya HPP**



Stepwise reconstruction of power station



Single phase short circuit ($t = 0.12$ sec) on 500 kV buses of the doubled unit of Ust-Ilim HPP. Combined operation of ARV-M and ARV-CD



Voltage setpoint of ARV-M is changed on 5% in 5 sec. Combined operation of ARV-M and ARV-CD in the scheme of doubled unit of Ust-Ilim HPP



Tuning on the «turn key» bases is produced for significant objects of the power system (HPPs and NPPs of large rated power)



- **Sayano-Shushenskaya HPP (6.4 GW)**
- **Ust-Ilimskaya HPP (3.5 GW)**
- **Zagorskaya HAPP (1.2 GW)**
- **Kolskaya NPP (1.44 GW)**
- **Kalininskay NPP (3 GW) – January 2010**
- **Boguchanskaya HPP (3 GW) – February 2010**
- **Smolenskaya NPP (3 GW) – March 2010**



Conclusions



Tests held according to the «Program...» provide AVR and PSS efficiency assessment and their adaptation to the conditions of operation in UPS of Russia.

Correctness and efficiency of AVR and PSS tuning is checked using digital and physical models of the power systems.

