



Идентификация узловых параметров для задач управления режимами энергосистем

МЫШЛЯННИКОВ Д.А., ФИШОВ А.Г., ФРОЛОВ М.Ю.

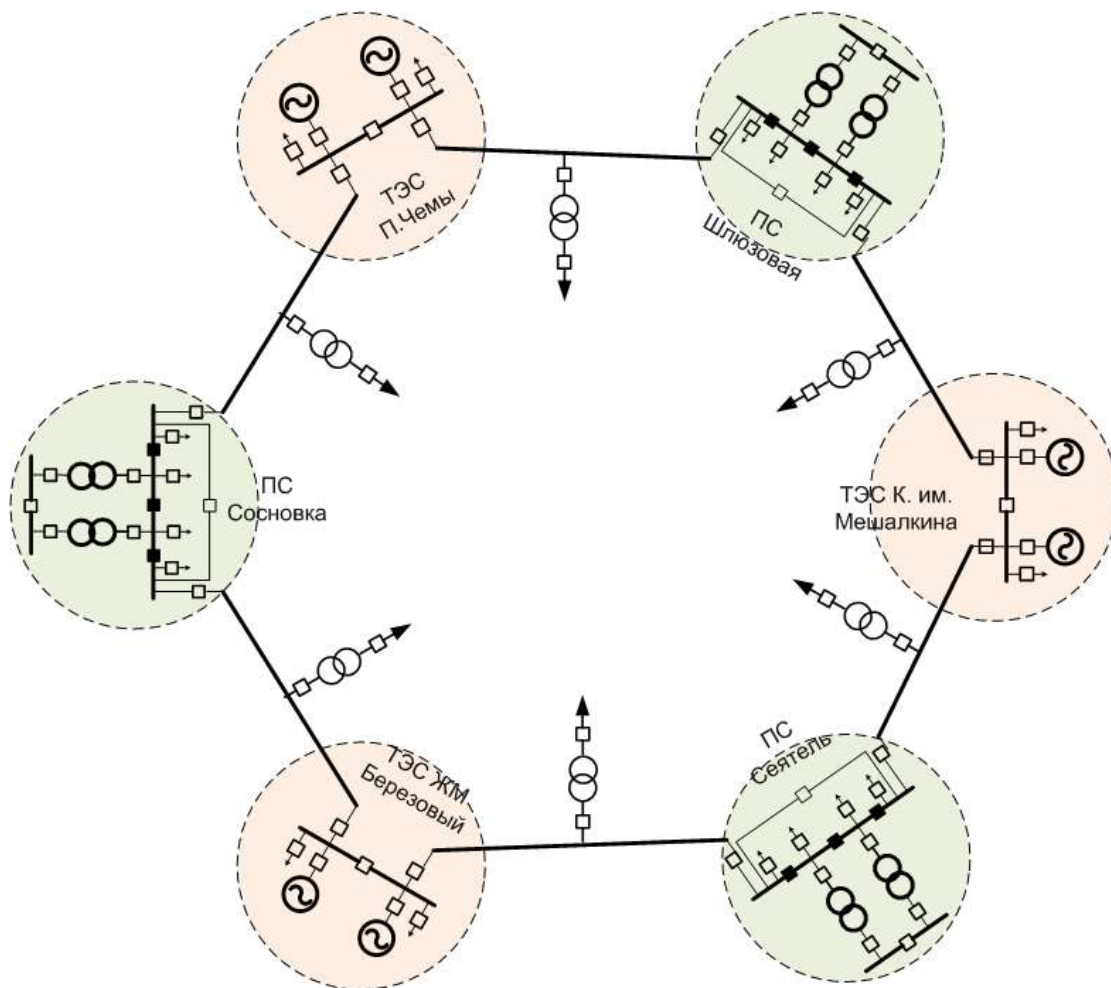
ФБГОУ ВО Новосибирский государственный технический
университет
Россия
fishov@ngs.ru

г. Сочи, 2015

Цель

Разработка и исследование способов определения параметров синхронных машин при эксплуатации для технологической и противоаварийной автоматик

Новосибирский
проект
изолированно
работающей
энергосистемы на
базе “островов” с
МГ



Часть 1. Идентификация внутреннего сопротивления синхронной машины

Способы определения

- Классический (испытательный, опыт ХХ и КЗ)
- При включении генератора в сеть (в эксплуатационном режиме)
- При изменении режима генератора, включенного в сеть (в эксплуатационном режиме)

Уравнение, связывающее параметры установившегося режима и сопротивление СМ

$$E = \sqrt{\left(U + \frac{Qx}{U}\right)^2 + \left(\frac{Px}{U}\right)^2}$$

Е - ЭДС генератора

U - напряжение на выводах генератора

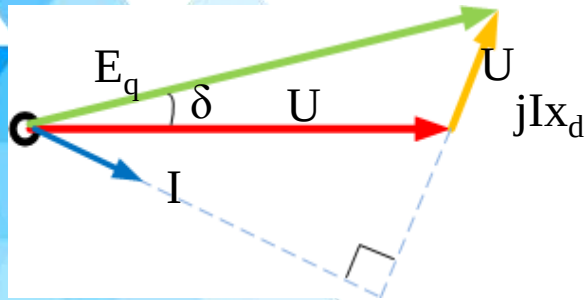
P - активная мощность синхронной машины

Q – реактивная мощность синхронной машины

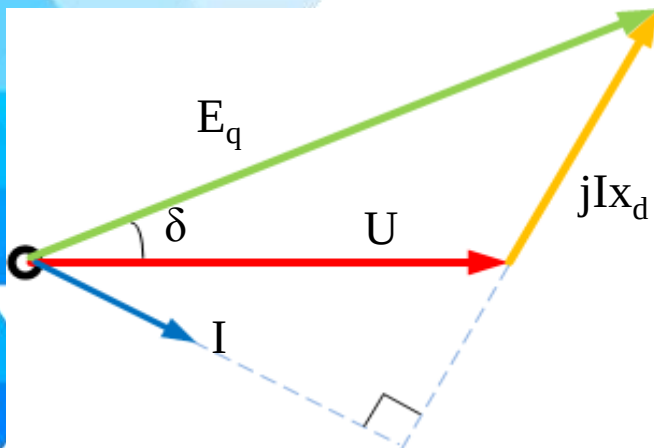
x - сопротивление синхронной машины по
продольной оси

2. Способ определения внутреннего сопротивления СМ при ее включении в сеть

1) Отключение АРВ и синхронное включение в сеть E_q



2) Загрузка по активной мощности и включение АРВ



3) Желаемый режим работы СМ

- В уравнении остаётся одна неизвестная — X

$$E = \sqrt{\left(U + \frac{Qx}{U}\right)^2 + \left(\frac{Px}{U}\right)^2}$$



$$x_{1,2} = \frac{-Q^2 \pm \sqrt{Q^2 - \left(\frac{P^2 + Q^2}{U^2}\right)(U^2 - E^2)}}{\left(\frac{P^2 + Q^2}{U^2}\right)}$$

3. Способ определения внутреннего сопротивления СМ при работе в сети с ее частичной разгрузкой

Не требуется прямое измерение ЭДС

$$\begin{cases} E_{q1} = \sqrt{\left(U_1 + \frac{Q_1 x_d}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{P_1 x_d}{U_1}\right)^2} \\ E_{q2} = \sqrt{\left(U_2 + \frac{Q_2 x_d}{U_2}\right)^2 + \left(\frac{P_2 x_d}{U_2}\right)^2} \end{cases}$$

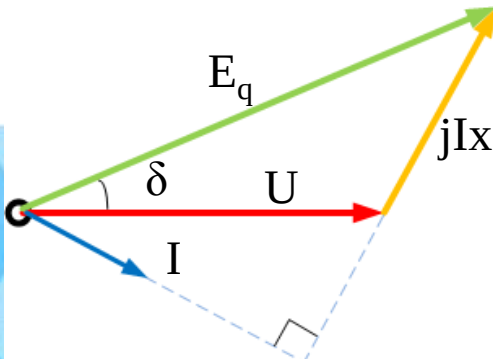
$$E_{q1} = E_{q2}$$



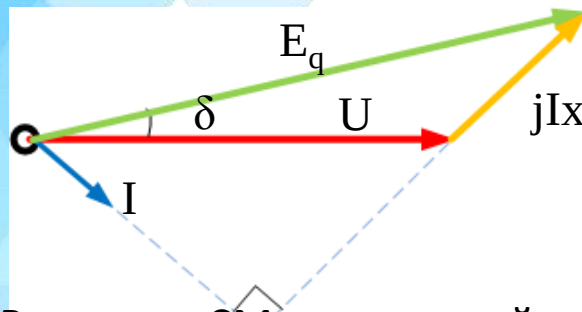
$$x_{d1,2} = \frac{-(Q_1 - Q_2) \pm \sqrt{(Q_1 - Q_2)^2 - \left(\frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} - \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2}\right)(U_1^2 - U_2^2)}}{\left(\frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} - \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2}\right)}$$

Для достоверизации можно использовать МНК и несколько промежуточных режимов

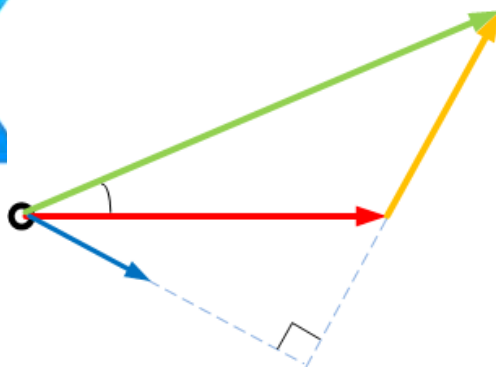
1) Исходный рабочий режим



2) Разгрузка СМ по активной мощности при выведенном регуляторе возбуждения



3) Восстановленный режим работы СМ

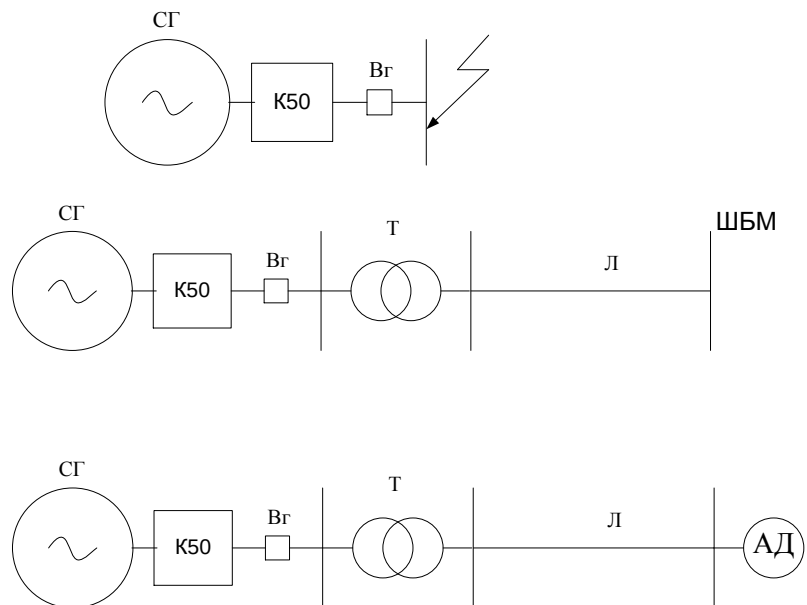


Проверка способов на физической модели ЭС (НГТУ)

ЭДМ



Испытательные схемы



Сопротивление СМ по результатам экспериментов

	Режимы	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4	МНК
Работа на ШБМ	Е1	24,1	19,8	19,3	18,1	19	19,2	19,9
	Е2	18,9	19,8	19,3	20,2	19,9	19,2	19,9
Изолир. работа	49 Гц	22,3	22,6	19,2	23,9	20,8	18,1	21
	50 Гц	17,8	20,7	-	25,7	-	-	21,4
	51 Гц	21,1	20,3	-	18,8	-	-	20,1

Часть 2. Идентификация статических характеристик нагрузки (СХН)

Почему нужны новые методы определения СХН?

- Повышение требований к оптимальности управления.
- Изменение поведения узлов нагрузки (насыщение активными элементами (МГ, компенсаторы Q , нормализаторы U , системы управления спросом)).
- Тенденция от offline управления режимами (на основе планирования) к online (по текущим условиям).

Предпосылки развития новых методов определения СХН

Развитие систем мониторинга режимных параметров (АИИСКУЭ, РАСы, СМПР)

Виды и модели СХН

Комплексная модель СХН

$$P = P_0(a_0 + a_1 * U + a_2 * U^2) * (b_0 + b_1 * f + b_2 * f^2)$$
$$Q = Q_0(a_0 + a_1 * U + a_2 * U^2) * (b_0 + b_1 * f + b_2 * f^2)$$

Частные модели

- СХН по напряжению (при условии $f = const$)

$$P = P_0(a_0 + a_1 * U + a_2 * U^2)$$
$$Q = Q_0(a_0 + a_1 * U + a_2 * U^2)$$

- СХН по частоте (при условии $U = const$)

$$P = P_0(b_0 + b_1 * f + b_2 * f^2)$$
$$Q = Q_0(b_0 + b_1 * f + b_2 * f^2)$$

Линеаризованные

$$(K_{Pf} = \Delta P / \Delta f, K_{Qf} = \Delta Q / \Delta f, K_{Pu} = \Delta P / \Delta U, K_{Qu} = \Delta Q / \Delta U)$$

Текущие (в данный момент) и усредненные (статистические)

Необходимое дополнение классификации СХН

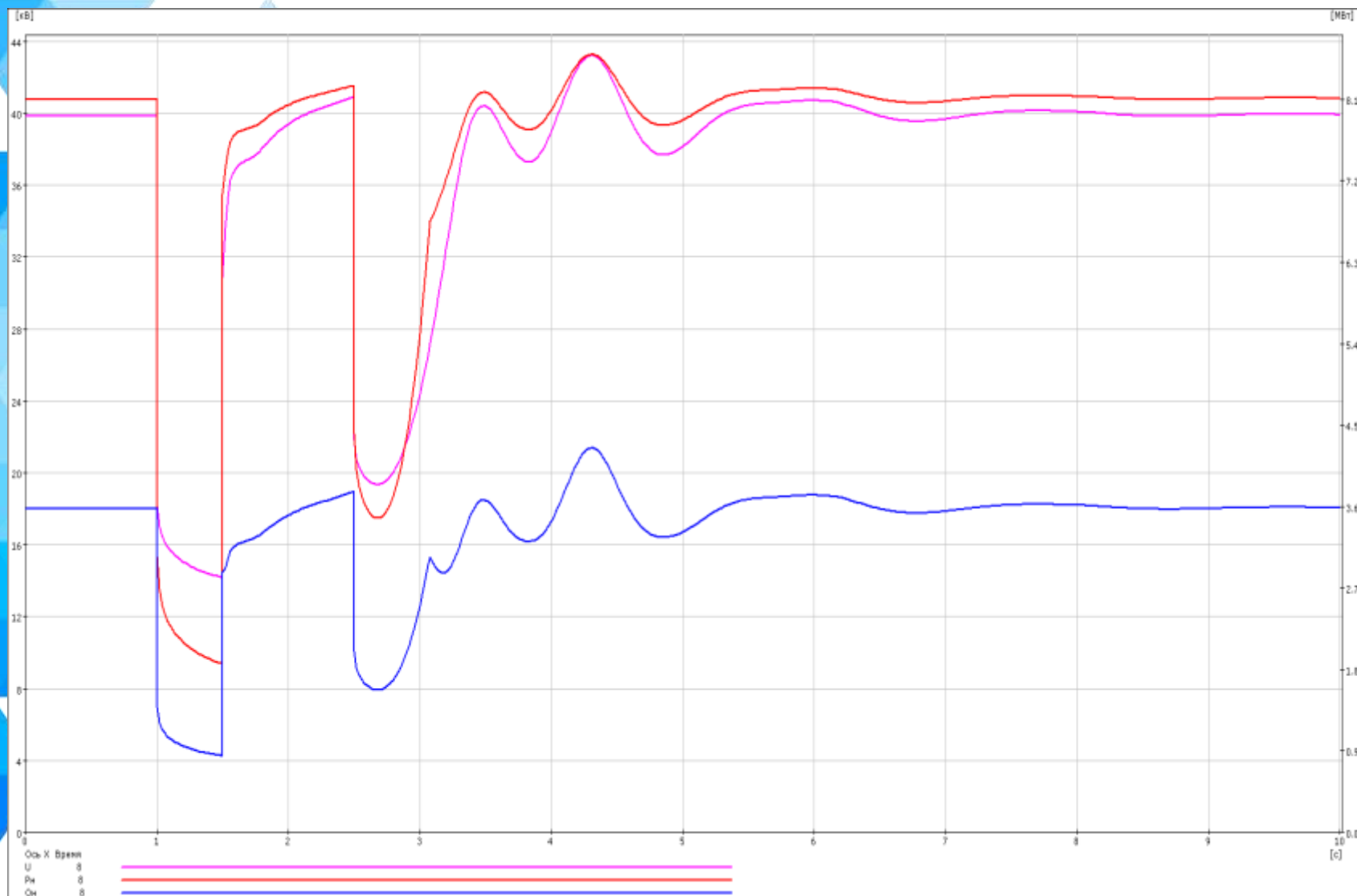
1. **СХН пассивной нагрузки** (определяются физическими процессами в электроприемниках)
2. **СХН активной нагрузки для квазиустановившихся режимов** (при кратковременных изменениях входных параметров с учетом обратной связи быстрых регуляторов нагрузки)
3. **СХН активной нагрузки для установившихся режимов** с учетом обратной связи медленных регуляторов нагрузки

Условия определения или идентификации СХН

- При проведении **натурных экспериментов**
- При мониторинге **установившихся режимов** узлов нагрузки
- При мониторинге **переходных режимов (низкочастотных колебаний)** в узлах нагрузки

Определение характеристик СХН из возмущенных режимов

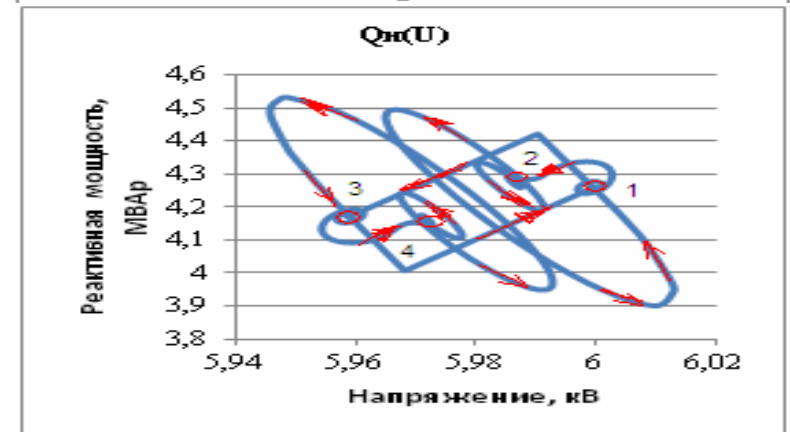
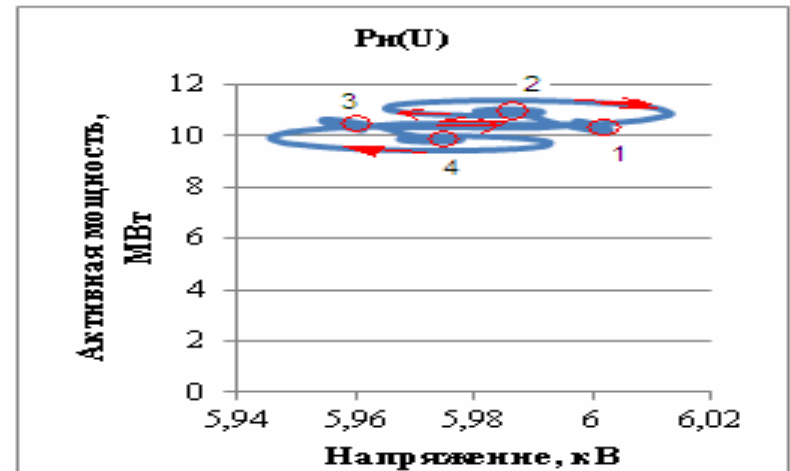
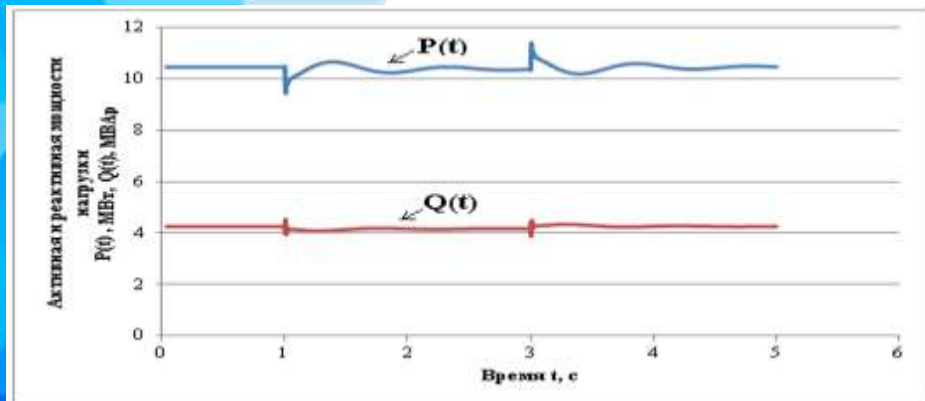
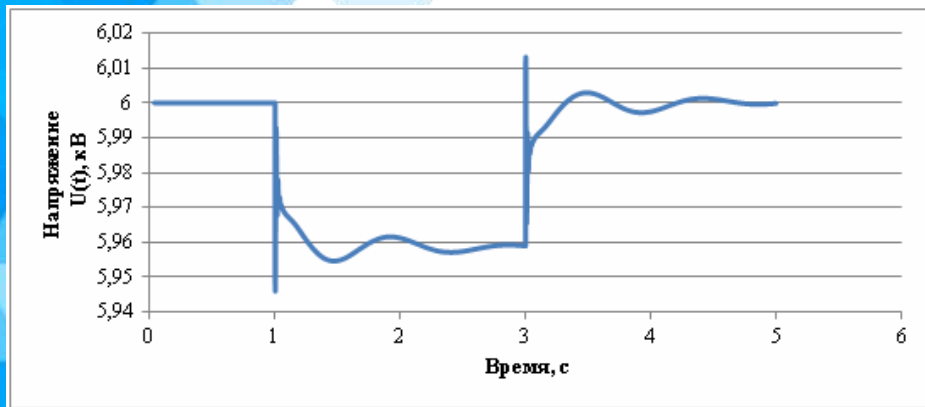
Переходный процесс в узле нагрузки при затяжном удаленном трехфазном КЗ с успешным АПВ ВЛ 110 кВ



Определение характеристик СХН (коэффициентов крутизны СХН) из возмущенных режимов

Процессы узла комплексной нагрузки при затажном внешнем КЗ

Фазовые портреты процессов узла комплексной нагрузки



Характерные точки, соответствующие статическим характеристикам, и полученные по “регистраграммам” переходных процессов коэффициенты крутизны

Вид нагрузки	Точки, соответствующие статическим характеристикам, и полученные из динамических процессов нагрузки						Коэффициенты крутизны характеристик нагрузки	
	U _н уст, кВ		P _н уст, МВт		Q _н уст, МВар		ΔP _н /ΔU _н , МВт/кВ	ΔQ _н /ΔU _н , МВар/кВ
шунт	5,9631	5,3787	1,0000	0,8136	0,4300	0,3498	0,319	0,137
АД	5,8056	4,5573	0,4540	0,4563	0,4078	0,2804	-0,00184	0,102
АД с шунтом	5,9265	5,3728	1,6524	1,4762	0,8812	0,7474	0,318	0,242
СД	6,0000	5,9599	5,0000	5,0043	5,9420	5,9323	-0,107	0,242
комплексная нагрузка	6,0000	5,9588	10,4536	10,3733	4,2601	4,1692	1,949	2,206



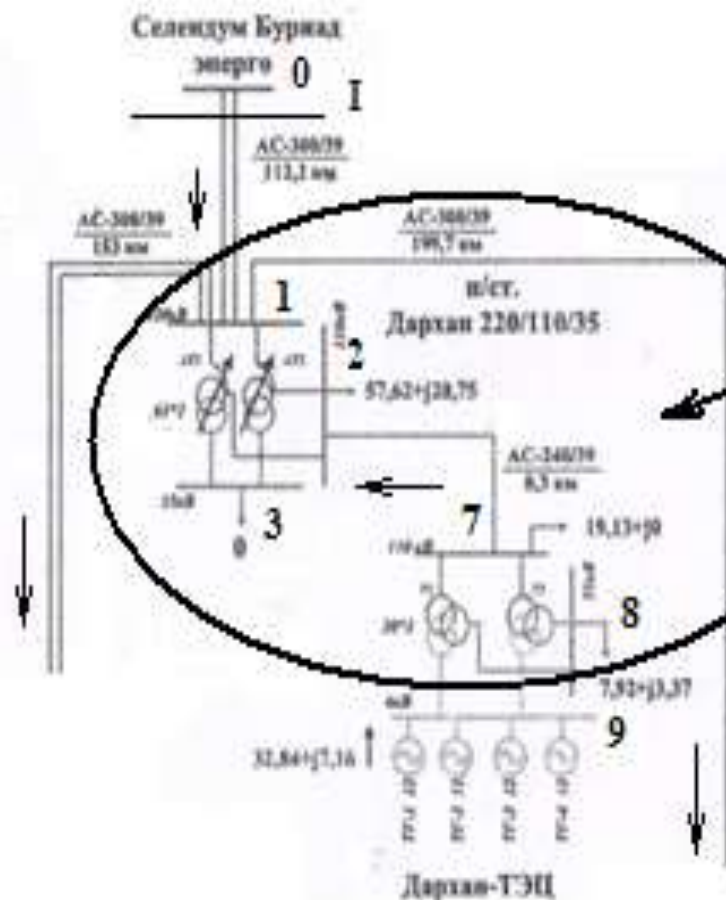
Идентификация СХН из динамических процессов

$$U(t) = U_{\text{СВ}} + U_{\text{ВЫН}}$$

$$P(t) = P_{\text{СВ}} + P_{\text{ВЫН}}$$

$$Q(t) = Q_{\text{СВ}} + Q_{\text{ВЫН}}$$

Пример



Участок электрической сети с исследуемыми узлами нагрузки для определения их СХН

Аппроксимирующие функции для напряжения, активной и реактивной мощности

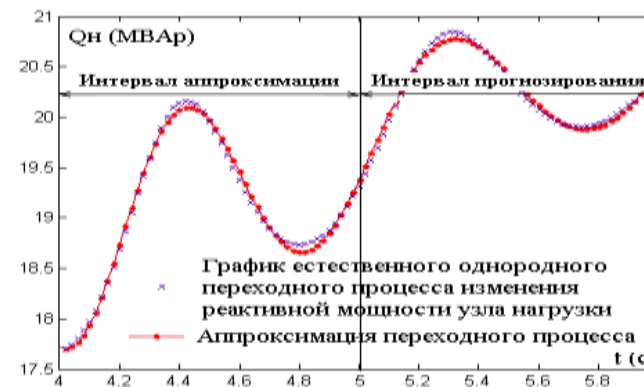
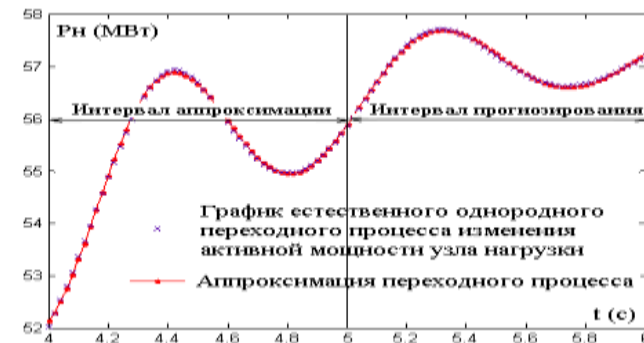
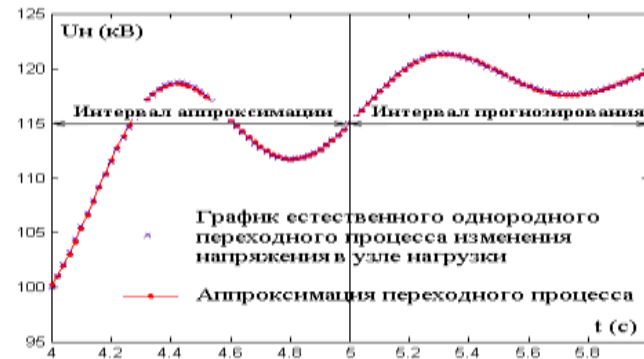
$$U(t) = ae^{-bt}\sin(ct + d) + et^2 + ft + g$$

$$P(t) = ae^{bt}\sin(ct^2 + dt + e) + ft^2 + gt + h$$

$$Q(t) = ae^{-bt}\sin(ct^2 + dt + e) + ft^2 + gt + h$$

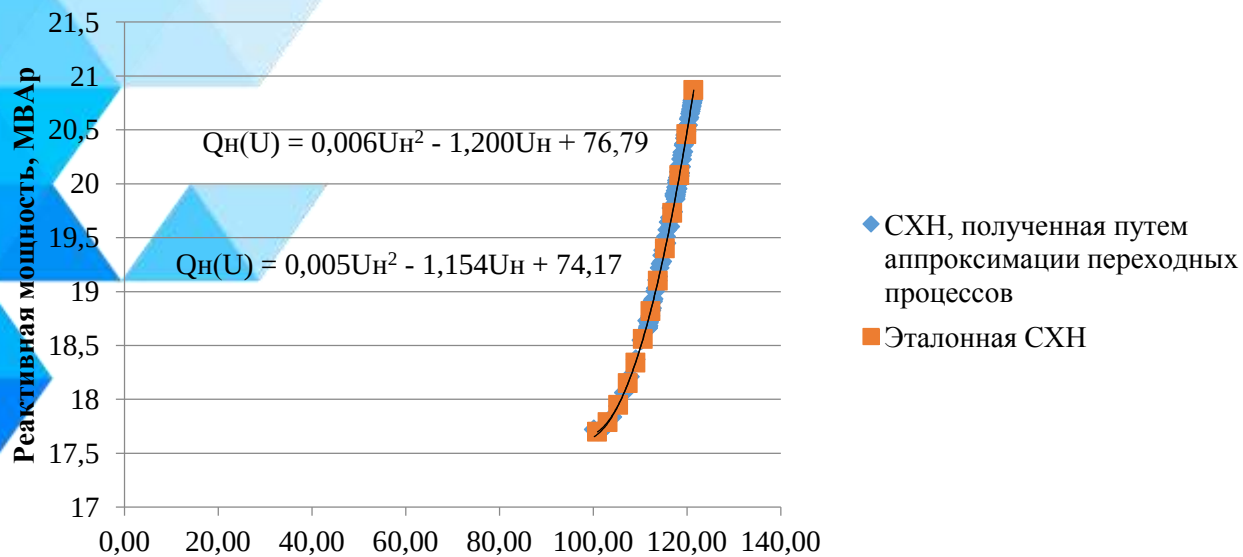
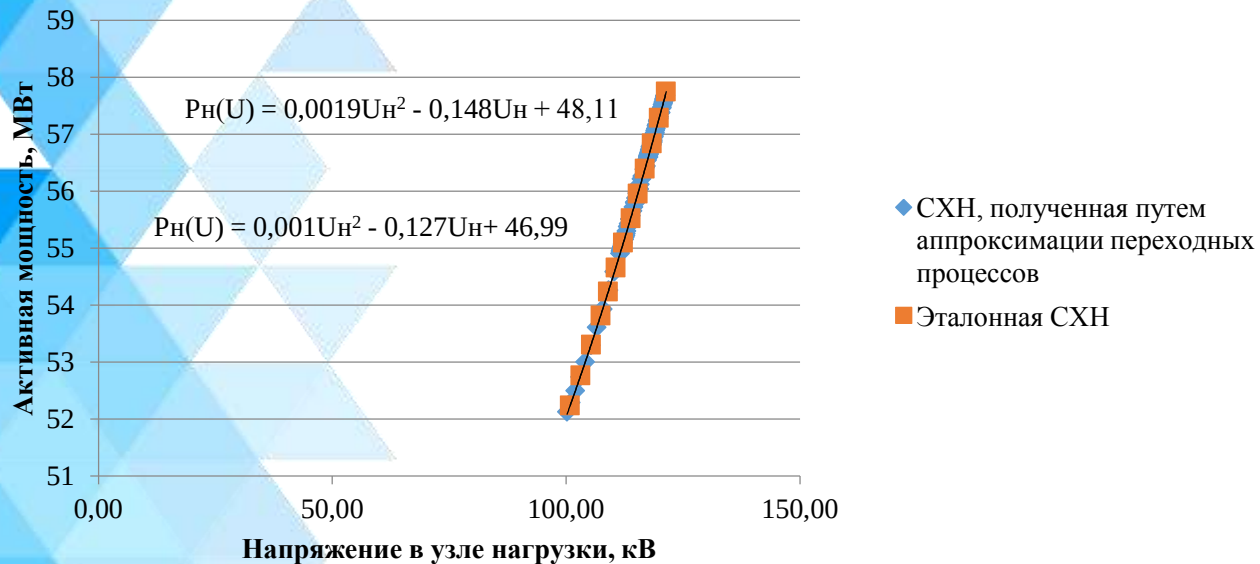
Аппроксимация переходного процесса в узле нагрузки с его последующим прогнозированием

- Напряжение
- Активная мощность
- Реактивная мощность



Пример результатов при имитационном моделировании

Статические характеристики нагрузки по напряжению в узле 2



коэффициенты СХН узла нагрузки 2 электрической сети

Коэффициенты аппроксимирующего полинома					
по активной мощности			по реактивной мощности		
a_2	a_1	a_0	b_2	b_1	b_0
эталонной СХН узла					
0.0019	- 0.1477	48.111	0.0061	- 1.2007	76.791
СХН узла путем аппроксимации переходных процессов узла нагрузки					
0,001	- 0,127	46,99	0,005	- 1,154	74,17

Выводы

- Развитие малой генерации, многообразие систем на ее основе требуют высокоавтоматизированного управления (практически автоматического) режимами с определением всех необходимых для него параметров и моделей из регистрограмм процессов в ЭС.
- Развитие систем регистрации и мониторинга переходных процессов в ЭС позволяет ставить и решать задачу идентификации параметров расчетных моделей ЭС для решения задач технологического и противоаварийного управлений.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

МЫШЛЯННИКОВ Д.А., ФИШОВ А.Г., ФРОЛОВ М.Ю.

ФБГОУ ВПО Новосибирский государственный технический
университет
Россия
fishov@ngs.ru