



Кафедра

Автоматизированные
Электрические Системы



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина

Уральский
энергетический
институт

«РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗОВ»

В.О. Самойленко

А.В. Паздерин

С.А. Ерошенко

П.М. Ерохин

О.Л. Коркунова

Кафедра Автоматизированных электрических систем

Семинар «Проблемы подключения и эксплуатации малой генерации»

Екатеринбург, 25.02.2016



Кафедра

Автоматизированные
Электрические Системы



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина

Уральский
энергетический
институт

2

НАУЧНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ



АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Субъект Федерации (Урал)	Доля распределенной генерации, %			
	Баланс мощности P		Баланс энергии W	
	по ТУ	по данным исслед.	по данным ЭСБ	по данным исслед.
Свердловская обл.*	2,0	4,9	1,9	2,9-3,1
Челябинская обл.**	5-6	8-9	5	6
Пермский край***	4-5	7	3	4
Тюменская область*	много	много	много	много
Р. Башкирия, Оренбургская обл.*	+10 СЭС = 100+ МВт СЭС со специфическим влиянием		КИУМ ~ 12-24 %	

* Расчетные данные Семинара

* Оценочные данные Семинара

** Оценочные данные Ассоциации малой энергетики Урала

*** Оценочные данные Пермского РДУ



ПРОБЛЕМАТИКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ПЛАНЕ СИСТЕМНОГО ЭФФЕКТА

Организационный, технико-экономический аспекты:

1. Значительная доля малой генерации **«скрыта» от официальных данных**: не попадает под оперативное управление и ведение СО ЕЭС, подключается во внутренние системы электроснабжения без ТУ на технологическое присоединение МРСК.

Инженерно-технический, технологический аспекты:

1. РГ не приспособлена для длительной автономной работы, что приводит к периодическим вынужденным переключениям потребительской нагрузки на внешнюю сеть, преимущественно внезапным. Вся МГ постепенно переходит на параллельную работу с энергосистемой.

2. РГ влияет на **балансы мощности** (5-8 %) и **балансы энергии** (2-5 %) в целом в зоне Урала и порядка **20-25% в отдельных энергоузлах**, в зависимости от типа (углеводородная или ВИЭ) и назначения.

3. РГ существенно влияет на характер протекания переходных режимов в нагрузочных узлах 110-220 кВ. Скрытая МГ требует учета особенностей поведения в переходных и послеаварийных режимах, учета РЗА с настройками «по умолчанию» – от производителей.



Кафедра

Автоматизированные
Электрические Системы



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина

Уральский
энергетический
институт

5

ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ НАУЧНОЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ



1991 - 2006

За последние 25 лет значимость инженерной электроэнергетической специальности 140204 «Электрические станции» в существующем виде постепенно уменьшалась.

1. В 1991-2006 в России отдельные **крупные электрические станции** в тех объемах и темпах, в которых они появлялись в Советском союзе, **практически не строились**.
2. **Потребность в специалистах** по электрическим станциям была **невелика**.
 - **Демографическая ситуация** вела к малочисленности подготавливаемых по данной специальности кадров.
 - Потребность же в специалистах по электрическим *подстанциям* покрывали более многочисленные **выпускники смежных специальностей**.
3. **Содержание** специальных образовательных дисциплин в части электрических станций **не актуализировалось**.
 - Имеющиеся **образовательные компетенции** относились к крупным блочным электростанциям.
 - **Преемственность поколений кадрового состава** в ВУЗах не была обеспечена в полной мере: со временем, его естественная ротация и отсутствие значительного интереса к генерации у нового поколения ученых и преподавателей привели к тому, что необходимые **образовательные компетенции, фактически, были утеряны**.



2006 - 2013

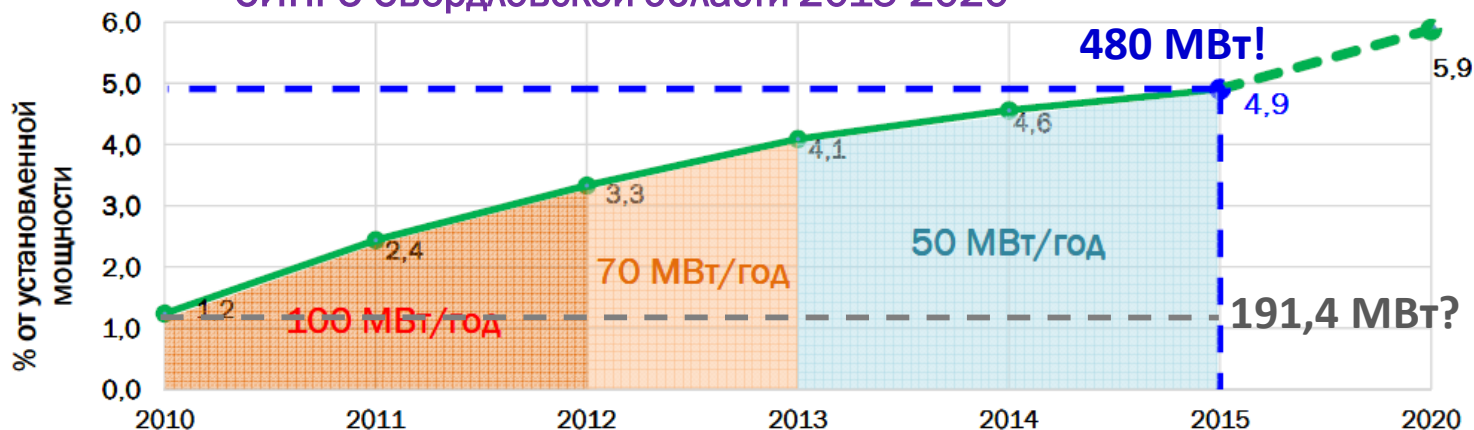
1. Стали массово вводиться **дополнительные блоки** на существующих электрических станциях, **реконструировались** устаревающие генерирующие мощности;
2. В ОЭС Центра вводилось большое количество **блок-станций** электрической мощностью до 100 МВт, вблизи **крупных городов возникали котельные** тепловой мощностью того же порядка;
3. На тепловых электрических станциях стали использоваться **современные парогазовые установки**, как правило, зарубежного производства и с высокой степенью заводской готовности:
 - в плане проектирования не требовавшей значительных трудозатрат по коррекции заводских проектов, но **требовавших привлечения кадров высокой квалификации**;
 - в плане управления и эксплуатации степень автоматизации современных ПГУ **сократила потребность в персонале** с 0,5-1 чел/МВт до 0,125 чел/МВт установленной мощности электростанции, аналогично **повысив требования к его квалификации**.



2006 – 2015. РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ

- 1. Определение:** Совокупность модульных генерирующих установок мощностью порядка нескольких МВт и Гкал/ч, вырабатывающих электрическую и тепловую энергию непосредственно в точке потребления и не использующих высоковольтные электрические сети для транспорта электроэнергии. Контекстный синоним термина «малая генерация».
- 2. Предпосылки:** рост цен на сетевую электрическую и тепловую энергию, внедрение комплексных производственных циклов, развитие энергосервиса подтолкнули предприятия среднего и крупного бизнеса к поиску **альтернатив сетевой энергии**.

СИПРЭ Свердловской области 2015-2020



- Данные исследований

- Имеющиеся данные
Минэнерго СвОбл
ОДУ Урала / СвРДУ
МРСК Урала

Динамика изменения «скрытой» установленной мощности малой генерации в Свердловской энергосистеме



2013 – 2016. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД



СЕМИНАР

Проблемы подключения
и эксплуатации малой генерации



Автоматизированные
Электрические
Системы



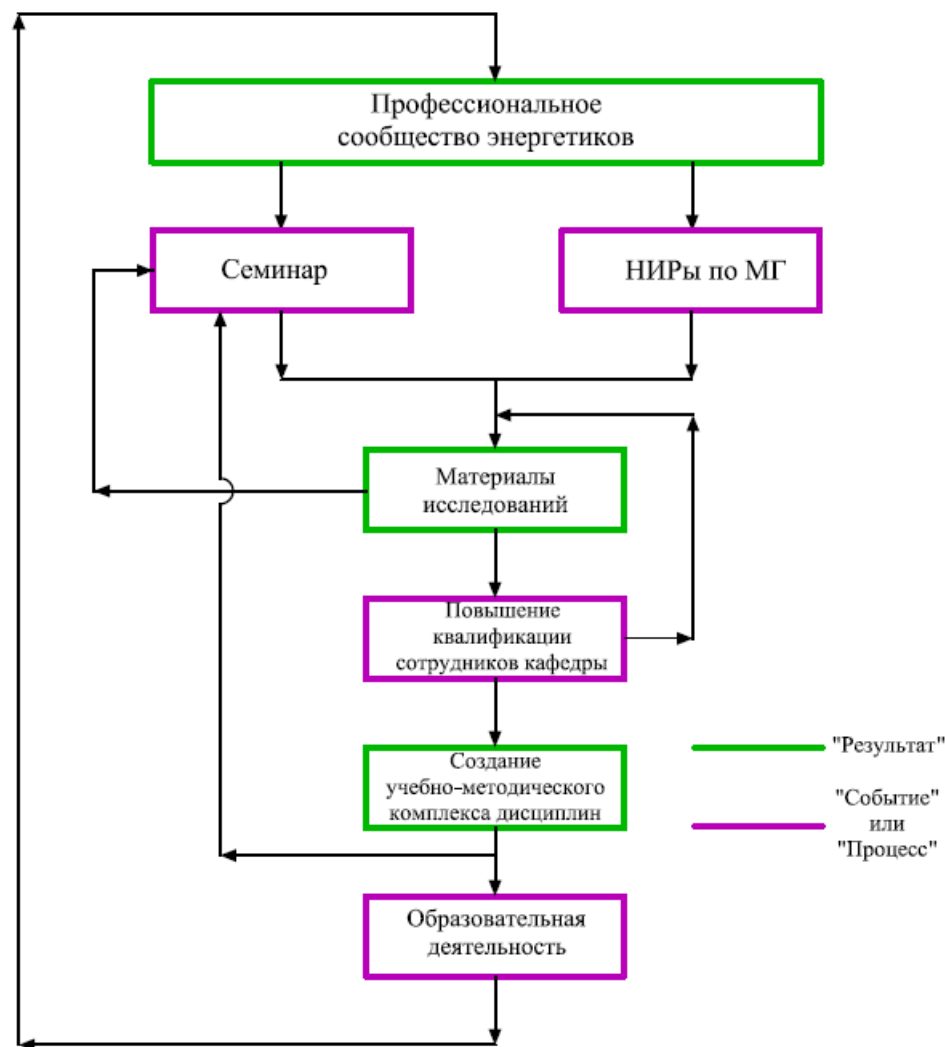
Уральский
федеральный
университет
имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина



... более 120 представителей
различных организаций



ОАО «СО ЕЭС»





2016

Новая учебная программа «Электрические станции» в рамках направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника».

- Ознакомленность с широкой агрегатной базой, как по электрической части станции, так и по части первичного привода или источника энергии. Все виды генерации: «малая», «большая»; углеводородное топливо, ВИЭ; другие виды малой энергетики; включая накопители и зарядная инфраструктура электротранспорта.
- Понимание аспектов каждого звена универсальной цепочки «проектирование – эксплуатация – управление режимами электростанции».
- Учет существующих наработок в России.
- Ориентир на системную энергетику, не на технику и технологию - поэтому программа «Электрические станции» не конкурирует с другими программами, профилями и направлениями подготовки.
- Типовая выпускная квалификационная работа.



«ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ»

	Производство ЭЭ	Накопление и хранение ЭЭ	Потребление ЭЭ
(Ко) Генерация на углеводородном топливе	+	-	-
Возобновляемые источники энергии	+	+	-
Накопители энергии	-	+	+
Малый электротранспорт	-	+	+



«ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ»

Аспекты	(Ко) Генерация на углеводородном топливе	Возобновляемые источники энергии	Накопители энергии	Малый электротранспорт
Назначение и исполнение	+	+	+	+
Графики, балансы мощности и энергии	+	+	+	+
ВСГО, СВМ	+	+	-	-
РЗА	+	+	-	-
Системный эффект	+	+	+	+



ТИПОВАЯ ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (СОДЕРЖАНИЕ С ПРИМЕРАМИ)



ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

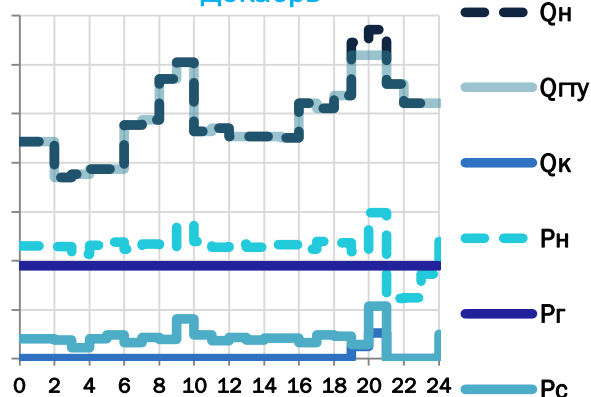
Несколько вариантов исходных данных, предполагающих:

1. Построение прогнозных суточных графиков электрической и тепловой нагрузок;
2. Составление балансов энергии, построение годовых графиков электрической и тепловой нагрузок;
3. Выбор базовых расчетных режимов работы электростанции;
4. Выбор технологий производства энергии.

Особое внимание уделяется методикам согласования противоречащих друг другу исходных данных, применения технических трендов и использования неполных (кусочных) данных.

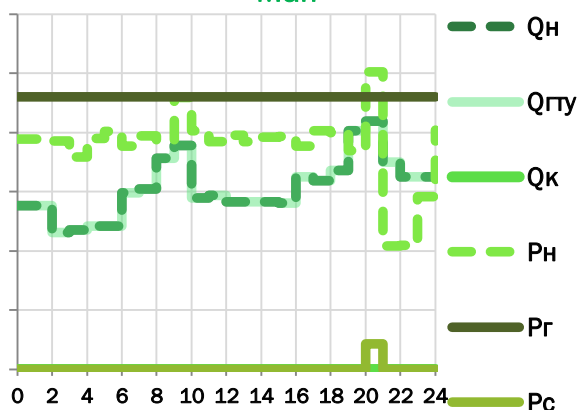
Максимум электрической и тепловой нагрузок

Декабрь



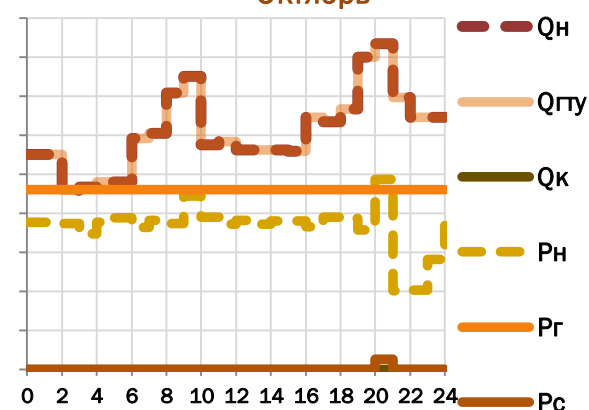
Минимум тепловой нагрузки

Май



Минимум электрической нагрузки

Октябрь





КЛЮЧЕВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ГЕНЕРАЦИИ

Важны для обеспечения балансов мощности и энергии в системе.

Характеристика	Микротурбин. уст-ки	Дизельные установки	Газопоршневые установки	Газотурбинные установки	Парогазовые установки	Паросиловые блоки КЭС, ТЭС / АЭС	Агрегаты ГЭС и ГАЭС	Фотоэлектр. модули	Ветрогенераторы
Диапазон единичных мощностей, МВт	0,005-1	0,06-20	0,06-20	1-300	1-1000	200-1600	0,05-700	0-0,1	0,1-10 (1000)
Диапазон эффект. единичн. мощностей, МВт	0,015-1	0,1-2	0,3-3,5	2-25	25-500	800-1600	0,05-700	(1100)	(1000)
Соотношение Э : Т	1 : 1,5 – 1 : 3	1 : 0,5	1 : 1 – 1 : 2	1 : 1,5 – 1 : 5	1 : 1 – 1 : 3	1 : 2 – 1 : 3	-	-	-
КПД электрический, %	23-33	35-50	30-45	25-35	35-55	20-45	(95-97)	(15-32)	(25-51)
КПД общий (КИТ), %	65-87	60-75	70-85	65-87	75-90	60-75	-	-	-
Регулировочный диапазон, %	0...100	50...100	50...100	5...100	30...100	60...100	-120...100	0...100	0...100
Скорость нагружения 0-100 %, мин	1-5	5-10	5-10	5-7	20	100	0,5-1	0	0,5-1
Максимальный сброс/наброс нагрузки, %	50-100	15-30	15-30	50-100	50	-	100	100	100
Время пуска, ч	0,08	0,08	0,5-1,5	0,5-1,5	0,5-1,5	5-48	~0	0	~0
Максимальное ЧЧИУМ, ч	6000	5000	5000	8000	8000	7100	8760	4380	8000
Уровень шума, дБ	60	90	75	50	50	50 / 0	65	0	50
Выбросы NOx, мг/м³	9-25	480	500-1000	40	40	500 / 0	0	0	0



ВЫБОР СОСТАВА ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Выбор количества и единичной мощности установок представляет собой **комплексную технико-экономическую задачу**, учитывающую:

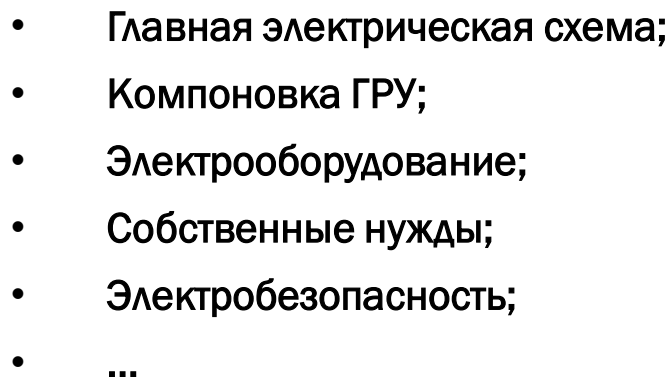
- исходные данные по балансам мощности и энергии;
- требования к обеспечению надежности;
- технологические параметры оборудования;
- технико-экономические параметры оборудования;

→ **Формализованный подход - алгоритм.**



ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Алгоритм выбора типовых схем распределительных устройств с подключением малой генерации



→ Формализованный подход - алгоритм.



РАСЧЕТ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ

Нормальные режимы:

- Максимальный режим;
- Максимальный режим (n-k);
- Минимальный режим;
- ...

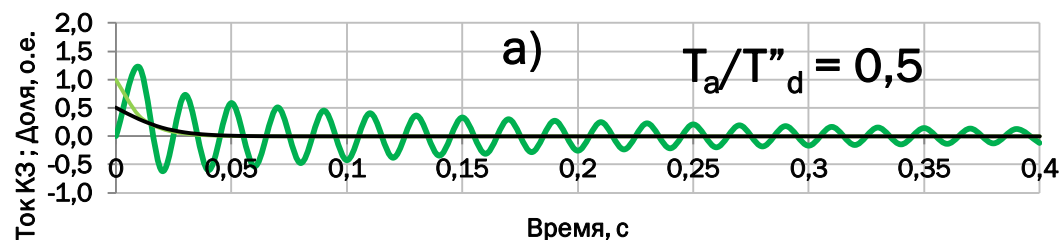
Послеаварийные или «особые» режимы:

- Отключение основного ввода от сети, в т.ч. автономная работа;
- Минимальная электрическая нагрузка при максимальной генерации;
- Режим питания электроустановок потребителя только от сети, без установленных генераторов.

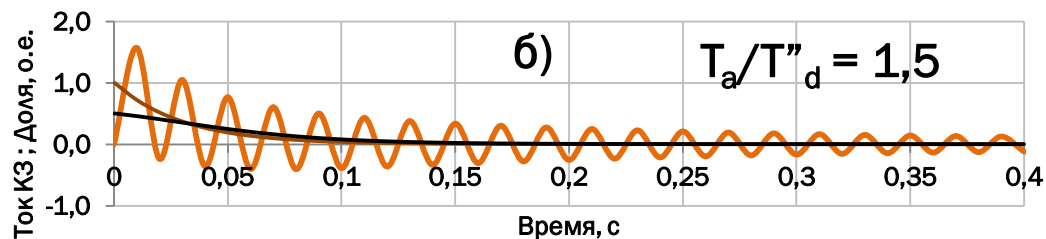


РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ.1

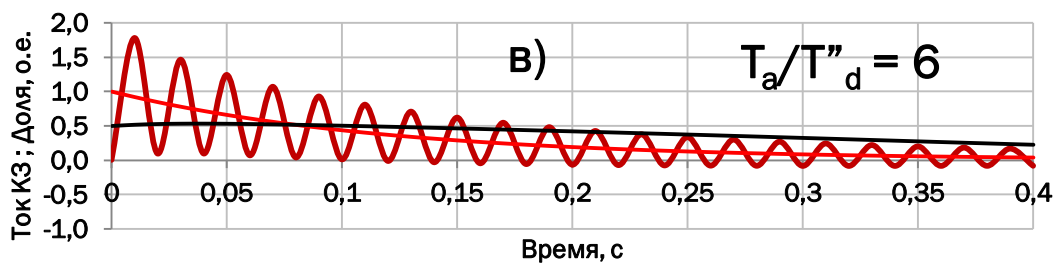
Графики тока КЗ при $T_a/T''_d = 0,5$ (а) ; 1,5 (б) ; 6 (в)



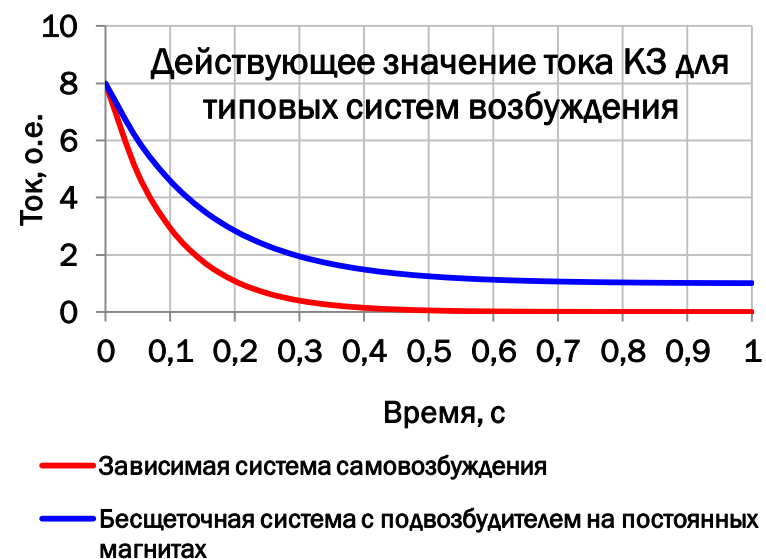
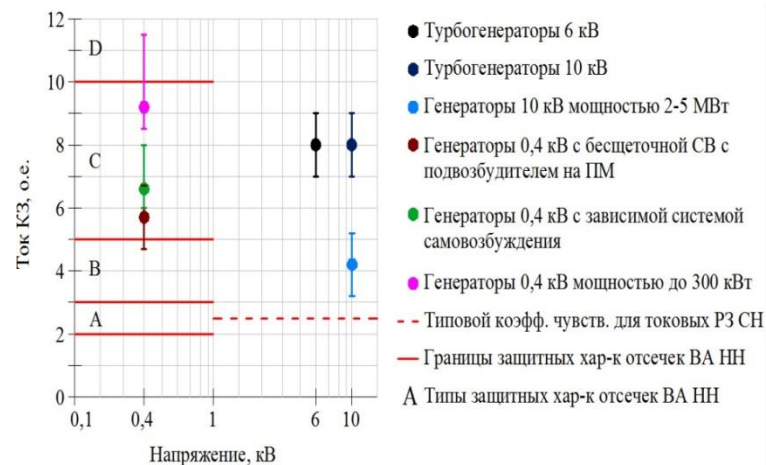
— Полный ток
— Аperiodическая составляющая
— Доля аperiodической составляющей



— Полный ток
— Аperiodическая составляющая
— Доля аperiodической составляющей



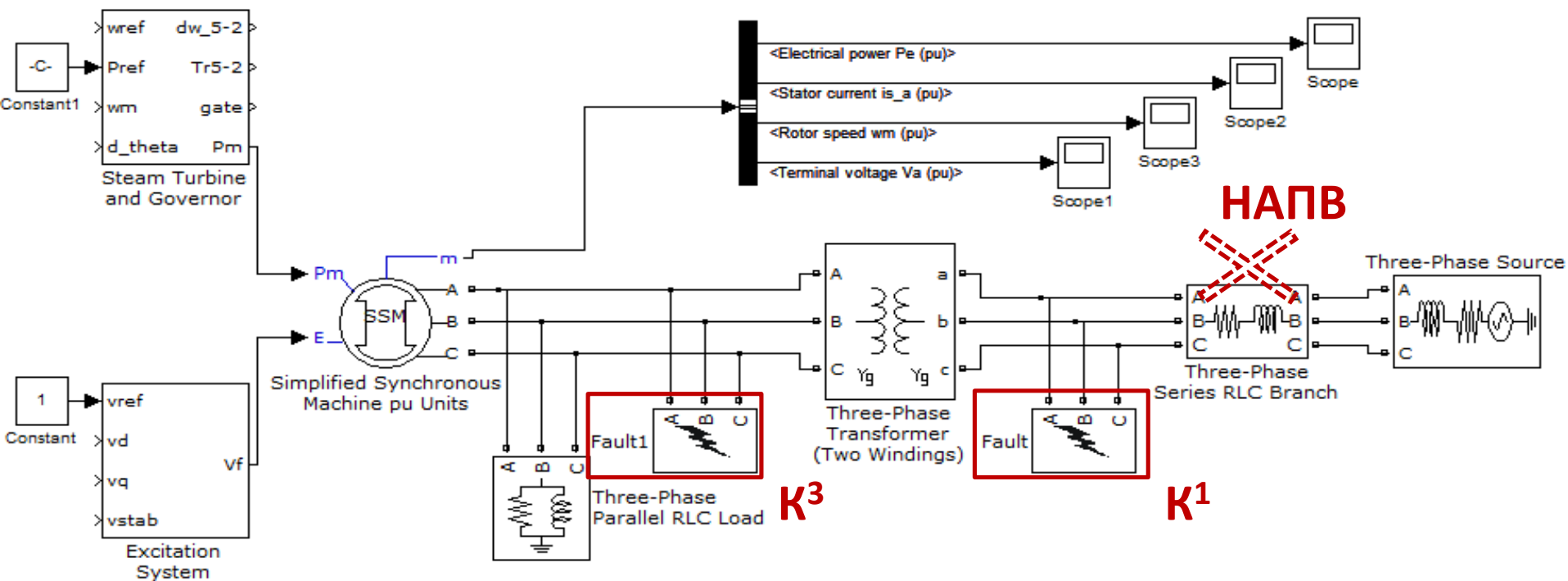
— Полный ток
— Аperiodическая составляющая
— Доля аperiodической составляющей



РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ.1

Характерные режимы:

1. Максимальная допустимая для сохранения устойчивости длительность КЗ при замыканиях в различных точках, в т.ч.:
 - Короткое замыкание на шинах генератора (**К3**);
 - Короткое замыкание на стороне 110 кВ (**К1**);
2. Несинхронное АПВ/АВР/включение генератора в сеть (**НАПВ**);
3. Режимы микросистемы «нагрузка-генерация».





РЗА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Вид защиты	0-1 МВт		1-25 МВт	
	0,4 кВ	6(10) кВ	0,4 кВ	6(10) кВ
1.1. Продольная дифференциальная токовая защита генератора	-	-	-	$I_{\text{ср}} = (0,2 - 0,3)I_{\text{ном}}$ $t_{\text{ср}} = 0 - 10 \text{ мс}$
1.2. Токовая отсечка	$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{(1,2 + 1,5)}$		-	-
1.3. Дистанционная защита	-	-	-	$Z_{\text{ср}} = (0,7 - 0,9)Z_{\text{нагр}}$
2. Поперечная дифференциальная защита	-	-	-	$I_{\text{ср}} = (0,02 - 0,3)I_{\text{ном}}$ $t_{\text{ср}} = 0,02 - 0,4 \text{ с}$
3. Защита от замыканий на землю обмотки статора генератора	$I_{\text{ср}} = 10 - 50 \text{ мА}; t_{\text{ср}} = 0,5 - 2 \text{ с}$			
4. Защита от замыкания на землю обмоток ротора	$R_{\text{г}} = 1 - 5 \text{ кОм} \quad t_{\text{ср}} = 0 - 1 \text{ с}$			
5. Защита от обратной активной мощности	$P = (-0,01 \dots - 0,5)P_{\text{ном}} \quad t_{\text{ср}} = 0 - 10 \text{ с}$			
6. Защита от симметричных перегрузок (в т.ч. с интегральным органом)	$I_{\text{ср}} = (1 - 3)I_{\text{ном}} \quad t_{\text{ср}} = 2 - 4000 \text{ с}$			
7. Защита от несимметричных перегрузок	-	-	$I_2 = (0,03 - 3)I_{\text{ном}}$	$t_{\text{ср}} = 0 - 200 \text{ с}$
8. Защита от асинхронного режима с потерей возбуждения	-	-	$U_{\text{ср}} = (0,86 - 0,87)U_{\text{ном}}$	$t_{\text{ср}} = 15 - 18 \text{ с}$
9. Защита от перевозбуждения	-	-	-	$\frac{U}{f} = 1 - 1,4; t_{\text{ср}} = 0 - 4000 \text{ с}$
10. Защита генератора от понижения и повышения напряжения	$U <: U_{\text{ср}} = (0,8 - 0,9)U_{\text{ном}}; t_{\text{ср}} = 0,2 \text{ с}$ $U >: U_{\text{ср}} = 1,15 U_{\text{ном}}; t_{\text{ср}} = 0,2 \text{ с}$ $U_{\text{ср}} \leq 0,5 U_{\text{ном}}; \text{ без выдержки времени}$ $U_{\text{ср}} \geq 1,25 U_{\text{ном}}; \text{ без выдержки времени}$			
11. Защита от изменения (повышения, снижения) частоты	-	-	$f <: f = 51,5 \text{ Гц}; t_{\text{ср}} = 0,2 \text{ с}$ $f >: f = 49 \text{ Гц}; t_{\text{ср}} = 0,2 \text{ с}$	
12. УРОВ	$I_2 = (0,02 - 0,05)I_{\text{ном}} \quad t_{\text{ср}} = 0,05 - 3 \text{ с}$			
13. Автоматика синхронизации	$\Delta\varphi = \pm 10^\circ \quad \Delta\omega = \pm 0,5 \text{ Гц} \quad \Delta U = \pm 0,1 U_{\text{ном}}$			



ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

- Основы расчета технико-экономических показателей установок.
- Оригинальная восьмикомпонентная модель затрат на выработку электроэнергии.



Для выпускника-магистра желательно наличие исследовательской составляющей, поэтому типовая часть может служить в качестве основы для углубленных исследований или дополняться **нетиповой частью**.

Наработки, полученные при подготовке ВКР, в соответствии с концепцией модульного образования готовы к применению в рамках смежных дисциплин – например, в качестве исходных данных к курсовым проектам по релейной защите (вариант с расчетом защит генератора малой мощности) и других.



ВЫВОДЫ

1. В рамках программы созданы дисциплина и типовая ВКР, удовлетворяющие одновременно требованиям ФГОС 3+, пожеланиям потенциальных работодателей и актуальным научно-техническим веяниям.
2. Публичная деятельность в области малой генерации, образовательная ценность Семинара и наличие в нем «шоу-составляющей», вовлеченность сотрудников кафедры в процесс привели к тому, что за 2 года **доля выпускников, выбравших темой своей выпускной квалификационной работы малую генерацию, увеличилась с 3 до 16 %.**
3. Задача выпускников «Электрических станций» – не пропаганда и не продвижение малой генерации любой ценой. Основная задача – **грамотная интеграция малой генерации** в энергосистему России, позволяющая различным субъектам энергетики эффективно решать свои задачи с её помощью или, **как минимум, не испытывать негативного влияния**, связанного с недостатком квалификации по её проектированию, эксплуатации и управлению, в том числе другими субъектами.
4. Конечная цель создания актуализированной программы – **рост соответствующей производственной культуры в профессиональном сообществе** энергетиков России вне зависимости от организации и должности.



Кафедра

Автоматизированные
Электрические Системы



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина

Уральский
энергетический
институт

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Докладчик:

В.О. Самойленко

vsamoylenko@yandex.ru

Семинар «Проблемы подключения и эксплуатации малой генерации»

Екатеринбург, 25.02.2016