

Комплексный подход к решению задачи сохранения динамической устойчивости в энергосистеме

О.В. Ким, Н.С. Стручкова, А.Н. Федосов,
Б.А. Осак

ЗАО «Институт Автоматизации
Энергетических Систем»

Институт систем энергетики им. Л.А.
Мелентьева СО РАН
Россия

ЗАО ИАЭС

Пример влияния допущений при анализе электромагнитных переходных процессов

1. Исследование динамической устойчивости при несимметричных возмущениях производится в схеме прямой последовательности. Считается, что движение роторов генераторов и двигателей, обусловлено моментами, создаваемыми токами прямой последовательности.
2. Рассматриваются при расчетах металлические короткие замыкания.

Одна из эмпирических формул определения сопротивления дуги:

$$r_d = K * l_d / I_d \text{ [Ом]}$$

где K - постоянная величина равная 1200-1500 [Ом*А/м];

l_d – длина дуги в метрах;

I_d – ток дуги в амперах.

Исходя из параметров ВЛ можно определить:

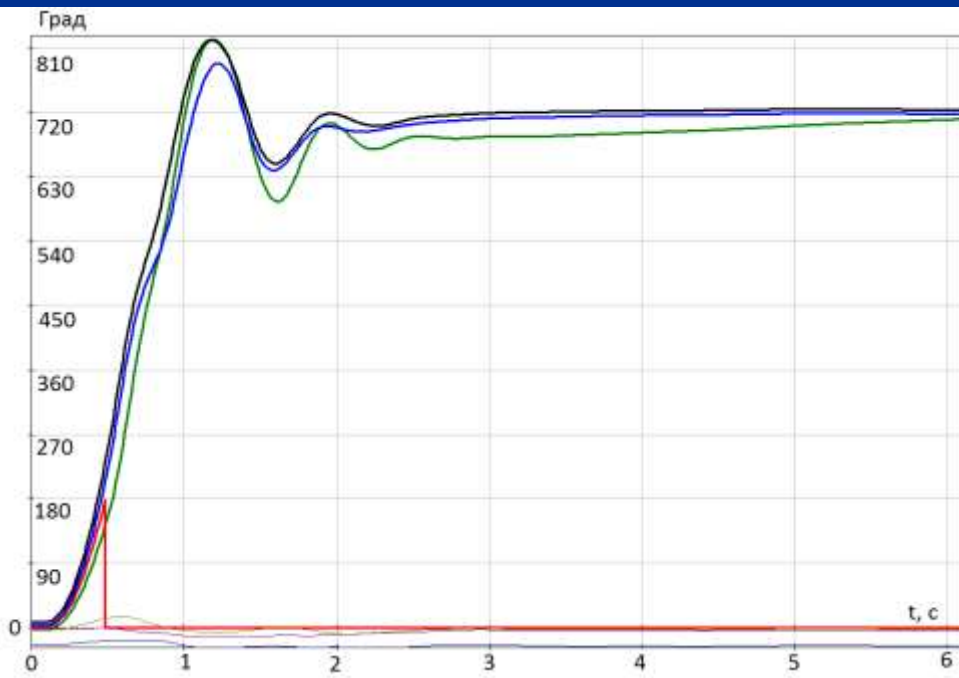
$$r_d = 1,1 - 1,5 \text{ Ом (ВЛ или ОРУ 110 кВ)}$$

$$r_d = 2 - 4 \text{ Ом (ВЛ или ОРУ 220 кВ)}$$

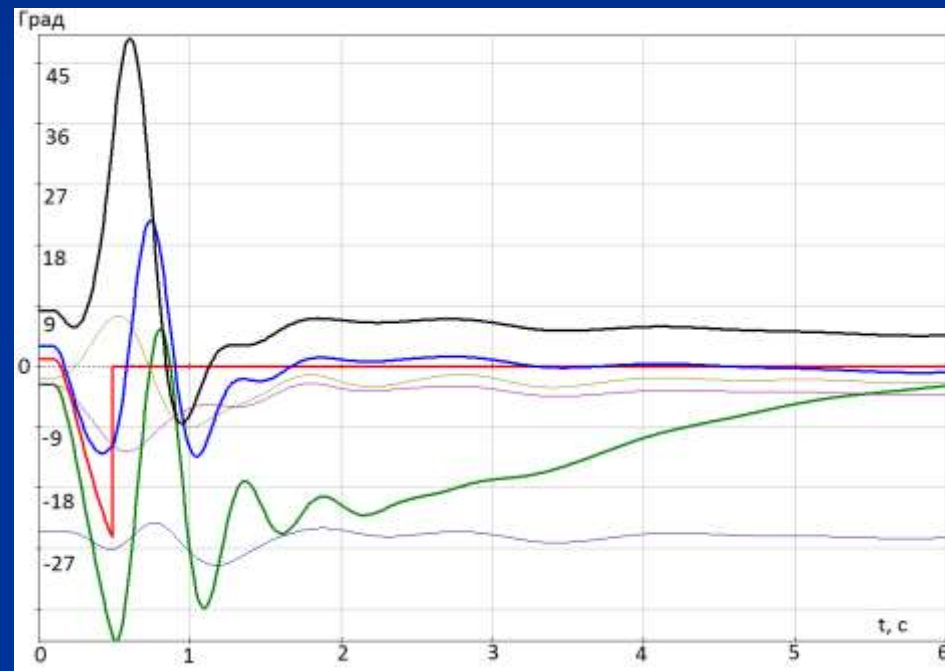
Выводы:

- *металлическое КЗ возможно только в случае его специальной подготовки с помощью болтового соединения проводников или при включении на специализированные заземляющие устройства;*
- *при аварийном замыкании токоведущих частей проводящими предметами либо при пробое или повреждении изоляции возникает дуговое КЗ.*

Абаканская ТЭЦ при КЗ на шинах 220 кВ, III группа возмущений – «близкое» трехфазное КЗ к шинам станции с отказом выключателя, время УРОВ 0,3 секунды.



Углы роторов генераторов без учета активного переходного сопротивления (сопротивления дуги) в месте КЗ (нарушение устойчивости всех генераторов).



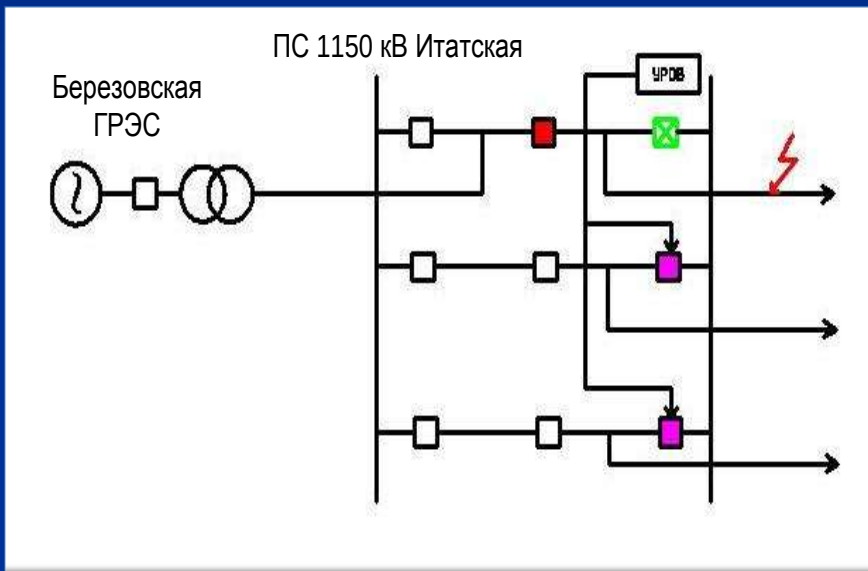
Углы роторов генераторов при сопротивлении дуги равном 1,5 Ом (устойчивая работа всех генераторов)

Выводы о принципе построения устройства сохранения динамической устойчивости

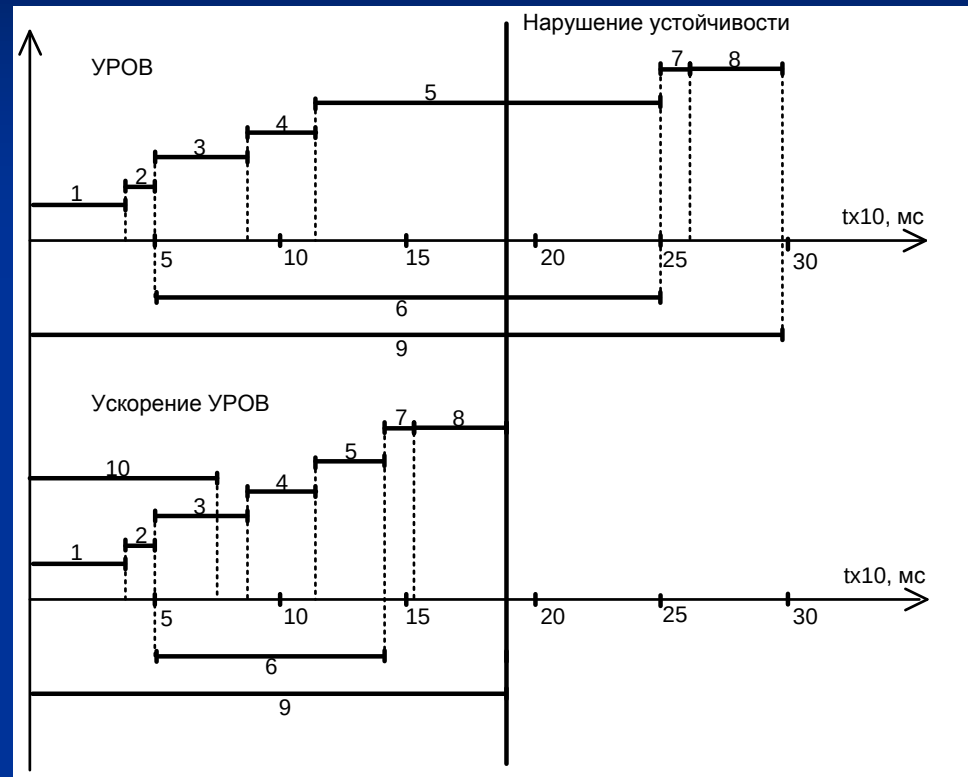
1. Основными параметрами при аварийной ситуации являются фактическое сопротивление шунта короткого замыкания и время существования повреждения.
2. Параметры аварийной ситуации имеют случайный характер и не могут точно быть смоделированы при расчетах динамической устойчивости;
3. Во время аварии момент торможения на валу генератора должен определяться исходя из фактической величины активной составляющей мощности, а не по параметрам, приведенным к прямой последовательности.

Ускорение устройства резервирования отказа выключателя (У-УРОВ)

Упрощенная схема выдачи мощности Берёзовской ГРЭС.



Временная диаграмма УРОВ и У-УРОВ.



1 – время срабатывания РЗ, 2 – задержка сигнала «Пуск УРОВ» («антидребезг»), 3 – время отключения выключателя, 4 – возврат токовых органов УРОВ, 5 – время запаса УРОВ, 6 – выдержка времени УРОВ, 7 – время срабатывания выходных реле защит смежных присоединений, 8 – время отключения выключателя смежных присоединений, 9 – время ликвидации КЗ, 10 – разрешение сигнала «У-УРОВ» (с учетом времени «антидребезга»).

Условия обеспечивающие правильное действие УРОВ

«Руководящие указания по релейной защите. Устройство резервирования при отказе выключателей 35-500 кВ» :

$t_{\text{уров}} = t_{\text{откл.в.}} + t_{\text{возвр.уст.}} + t_{\text{погр.}} + t_{\text{зап.}}$, (1), где

$t_{\text{уров}}$ – время выдержки УРОВ,

$t_{\text{откл.в.}}$ – время отключения выключателя,

$t_{\text{возвр.уст.}}$ – время возврата устройства (реле РЗ, пускающей УРОВ или реле контроля тока через выключатель УРОВ),

$t_{\text{погр.}}$ – время погрешности реле времени УРОВ, разброс времени реле,

$t_{\text{зап.}}$ – время запаса.

Основной проблемой при задании выдержки времени УРОВ в устройствах на электромеханической базе была погрешность реле времени и время возврата этого реле. При применении современного оборудования и устройств РЗА, из формулы можно исключить $t_{\text{погр.}}$, уменьшить $t_{\text{возвр.уст.}}$, но целесообразно включить время программного цикла расчета $t_{\text{ц.}}$. Это время обусловлено различной логикой описания программного обеспечения. Данные мероприятия позволяют снизить время до 0,2с.

$t_{\text{уров}} = t_{\text{откл.в.}} + t_{\text{возвр.уст.}} + 3t_{\text{ц.}} + t_{\text{зап.}}$

Принцип действия У-УРОВ

Функциональная схема алгоритма У-УРОВ



Применение современных устройств позволяет снизить время выдержки УРОВ в два раза, и тем самым позволяет улучшить условия сохранения динамической устойчивости станции. Даже столь малое время может быть критичным в задаче сохранения динамической устойчивости. Дальнейшее снижение выдержки времени УРОВ можно добиться путем уменьшения времени запаса.

Ускорение действия УРОВ (У-УРОВ) требует дополнительно контролируемый параметр, который оценивает опасность возмущения и разрешает работу У-УРОВ в ситуациях угрожающих потерей динамической устойчивости, а также в зависимости от тяжести повреждения определяет допустимое время его отключения.

Развитие устройств по сохранению динамической устойчивости

АРБЗКЗ на электромеханической и микроэлектронной элементной базе

1. Малое (ограниченное) количество ПО;
2. Выбор наиболее тяжелых режимов для настроек автоматики при сохранении полного объема расчетов;
3. Контроль косвенных параметров режима;
4. Сравнительно низкое быстродействие;
5. Габаритные размеры.

Результат применения

- Перерегулирование;
- Необоснованные ограничения СВМ станции.

АРБЗКЗ (ФТКЗ) на базе КПА-М

1. Возможность задания большого количества уставок, но при сохранении полного объема расчетов;
2. Полноценный контроль параметров режима (фиксация процесса по снижению U и не симметрии токов, а определение сброса мощности по фактическому замеру);
3. Сравнительно высокое быстродействие;
4. Малые габаритные размеры.

Результат применения

- Минимизация перерегулирования;
- Увеличение МДП СВМ станции.

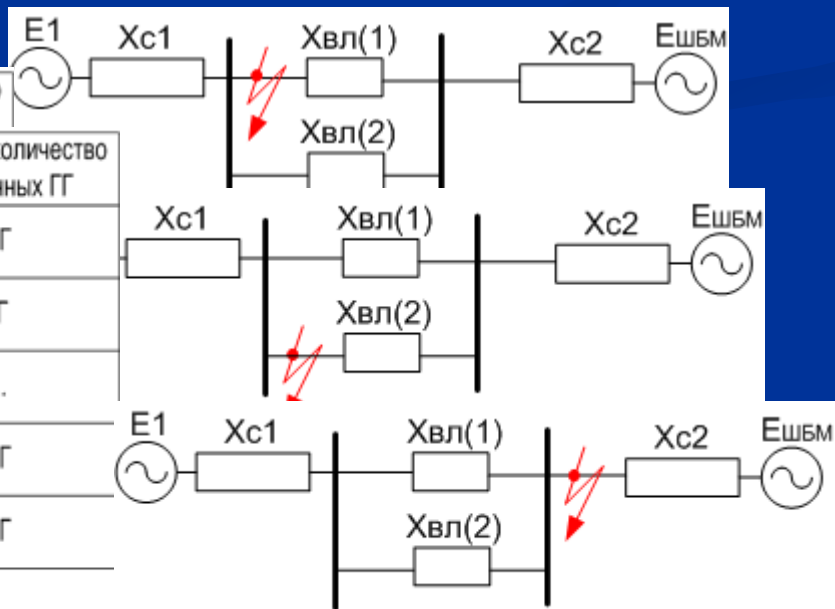
1. Большое количество ПО (ограниченное количеством выходов);

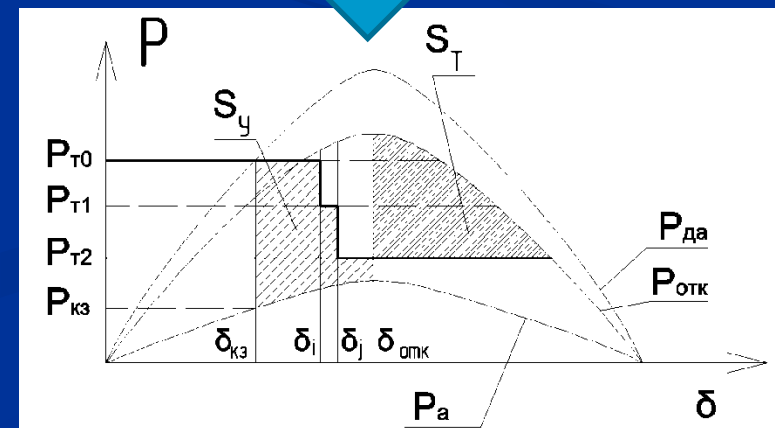
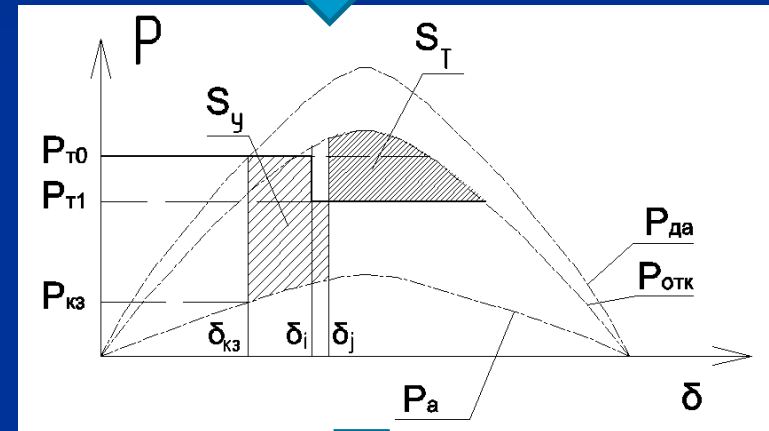
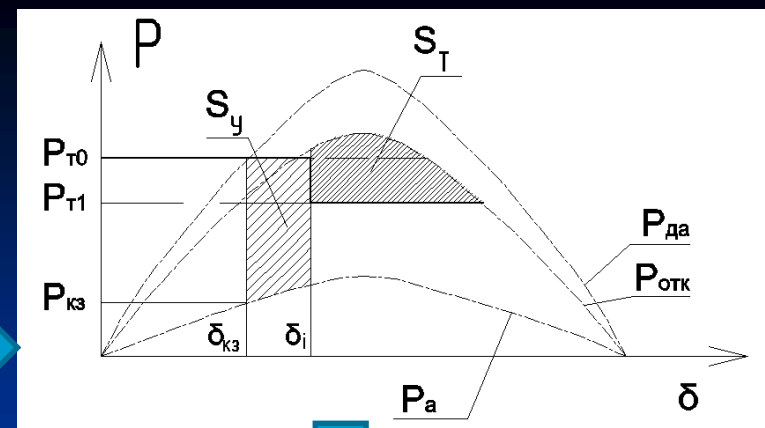
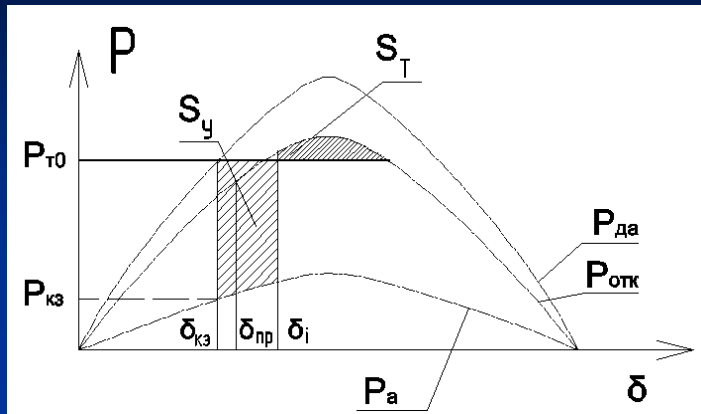
Принцип действия ФТКЗ

В данное время применяемые устройства АПНУ на объектах электроэнергетики имеют достаточно обширную систему сбора доаварийной информации. Рассмотрев возможность совмещения УВК АДВ производства ЗАО «ИАЭС» и ФТКЗ стала очевидной необходимость выполнения адаптивного устройства сохранения динамической устойчивости выполняющего следующие функции:

1. Определение текущей моментно – угловой характеристики станции;
2. Построение зависимостей ΔP с заданным значением от текущей и послеаварийной моментно – угловой характеристики станции;
3. Выбор УВ исходя из расчетного ΔP по времени существования КЗ.

$\Delta P \downarrow$	УВ						Суммарное количество отключенных ГГ
10%	$\Delta P \downarrow$	УВ					Суммарное количество отключенных ГГ
15%	10%	$\Delta P \downarrow$	УВ				Суммарное количество отключенных ГГ
...	15%	10%	-	-	-	...	0 ГГ
95%	...	15%	-	-	-	...	ГГ№3 1 ГГ
99%	95%	...	-	-	-	...	
$\Delta t \rightarrow$	99%	95%	-	ГГ№2	ГГ№5	...	ГГ№7 4 ГГ
	$\Delta t \rightarrow$	99%	-	ГГ№5	ГГ№2	...	ГГ№7 5 ГГ
	$\Delta t \rightarrow$		60	70	80	...	310





Р_{да} – моментно-угловая характеристика станции доаварийная;

**Ра - моментно-угловая характеристика
станции аварийная;**

Ротк - моментно-угловая характеристика станции послеаварийная;

$P_{т0}$ – мощность турбины в доаварийном режиме;

$R_{кз}$ – мощность, выдаваемая станцией при коротком замыкании

Возможное взаимодействие с ЦСПА

Учитывая формирование расчетной модели непосредственно в стационарном устройстве, возникает необходимость более точно учитывать ряд условий с целью минимизации УВ:

1. Эквивалентное сопротивление системы до шин бесконечной мощности;
2. Допустимые небалансы при отключении генерирующего оборудования;
3. Располагаемые ступени (объемы) отключаемой нагрузки.

В случае корректировки данных параметров в расчетной модели стационарного устройства и выходного алгоритма выдачи управляющих воздействий существует возможность значительно минимизировать УВ при тяжелых аварийных ситуациях.

Технические выводы

1. Необходима установка автоматики действующей на ускорение ликвидации КЗ опережающей действие УРОВ (в некоторых условиях ОГ мало эффективно так как при трехфазном металлическом КЗ снимается полностью момент торможения).
2. Необходимо максимально точно определять фактический сброс активной составляющей мощности при реальной аварийной ситуации для применения У-УРОВ или иных управляющих воздействий для эффективного сохранения динамической устойчивости.
3. Минимизировать риск перерегулирования, что может приводить к нарушению динамической устойчивости вследствие торможения.

Экономический эффект

1. Минимизация объемов реконструкции и как следствие капитальных вложений в дорогостоящее первичное оборудование. При реконструкции первичного оборудования отсутствие ограничений по конструктивному (пофазный привод или трехфазный) применению коммутационных аппаратов, что приводит к минимизации капитальных вложений и способствует созданию условий к импортозамещению;
2. При практическом отсутствии «запертых мощностей» на станции создаются условия к работе генерирующего оборудования с максимальным КПД и как следствие к рациональному использованию энергоносителя (топлива или гидроресурса);
3. Во многих случаях отказ от действия на ОГ тепловых станций и как следствие отсутствие затрат на последующий пуск генерирующего оборудования;
4. Значительное снижение рисков возникновения условий для развития аварийных ситуаций вследствие «человеческого фактора» на этапах выбора настроек, проведении пусконаладочных работ, в ходе текущей эксплуатации;
5. Минимизация трудозатрат технологов ОАО «СО ЕЭС» и собственников объекта на изменение настроек в период эксплуатации устройства.

Спасибо за внимание

- Институт Автоматизации Энергетических систем
- Адрес – 630091 Новосибирск,
- ул. Железнодорожная 12/1
- Новосибирск 91, а/я 162
- E-mail: iaes@iaes.ru
- Сайт: www.iaes.ru
- Т/ф: (383)-363-0265