

# Проблемы цифровизации управления системами с распределенной генерацией

Илюшин Павел Владимирович

# Влияние распределенной генерации на алгоритмы работы устройств автоматики энергосистем

2

Интеграция РГ в системы содействует электрическому приближению ГУ к нагрузке, следовательно, переходные процессы для них становятся общими, а параметры этих процессов в значительной мере зависят от технических характеристик как ГУ, так и нагрузки



Существенное влияние РГ на режимы работы систем 0,4-35 кВ приводит к необходимости выполнения корректировки алгоритмов (разработке новых) и параметров настройки устройств **сетевой**, **противоаварийной** и **режимной автоматики** на основании результатов расчетов электрических режимов

■ Автоматическое повторное включение (АПВ)

■ Автоматический ввод резерва (АВР)

■ Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)

■ Автоматика ограничения снижения напряжения (АОСН)

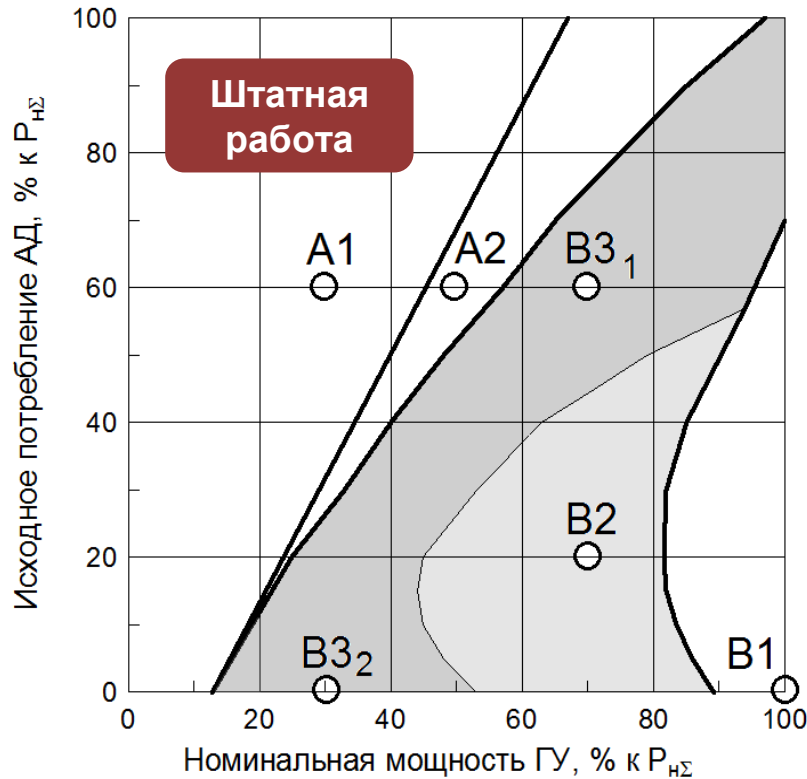
■ Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР)

■ Автоматическое регулирование частоты вращения (АРЧВ) ГУ

■ Автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) ГУ

# Особенности функционирования АВР в системах с РГ

3

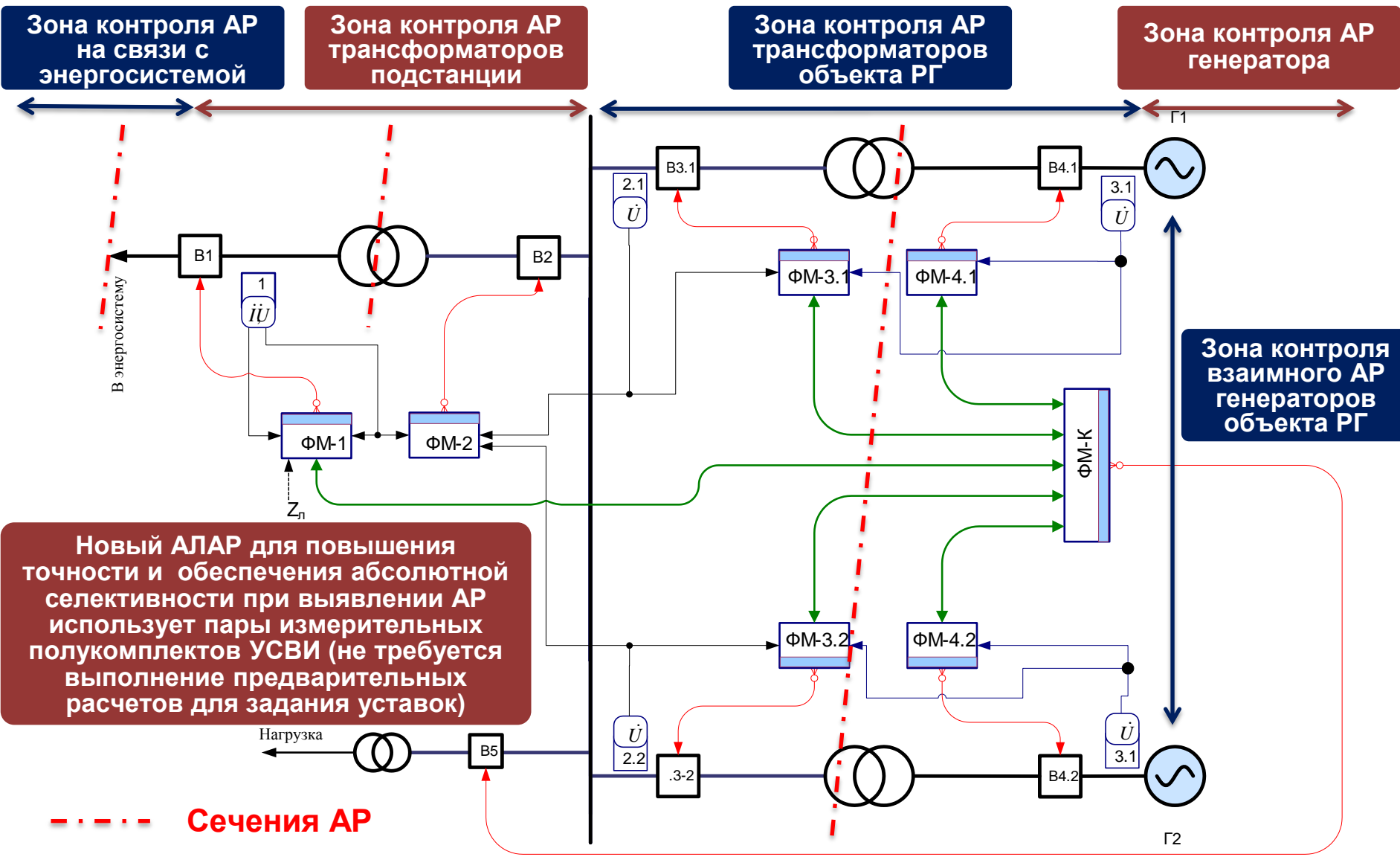


- Нормальное срабатывание (Область A1)
- Замедленное срабатывание т.к. АВР ГУ повышают напряжение (Область A2)
- Несрабатывание АВР (Область B1), т.к. допустимые уровни  $U$  и частоты (снижение мощности, потребляемой АД и статической нагрузкой) – ограничены допустимой длительностью форсировки возбуждения ГУ и работой АЧР
- Несрабатывание АВР (Область B2), т.к.  $f$  снижается, а  $U$  выше критического - форсировка возбуждения ГУ
- Лавина напряжения (Область B3)



1. Пуск АВР по факту снижения напряжения, отстроенные от времени срабатывания устройств РЗ на резервируемом участке сети, не отвечает требованиям по быстродействию, необходимому при наличии в сети ГУ
2. Комбинированный пуск АВР по  $U$  и  $f$  при наличии объектов РГ эффективен
3. Повышение быстродействия АВР возможно за счет уменьшения времени отключения поврежденного участка – быстродействующих устройств РЗА

# Особенности применения АЛАР в системах с РГ



# Особенности эффективного применения накопителей электроэнергии в системах с РГ

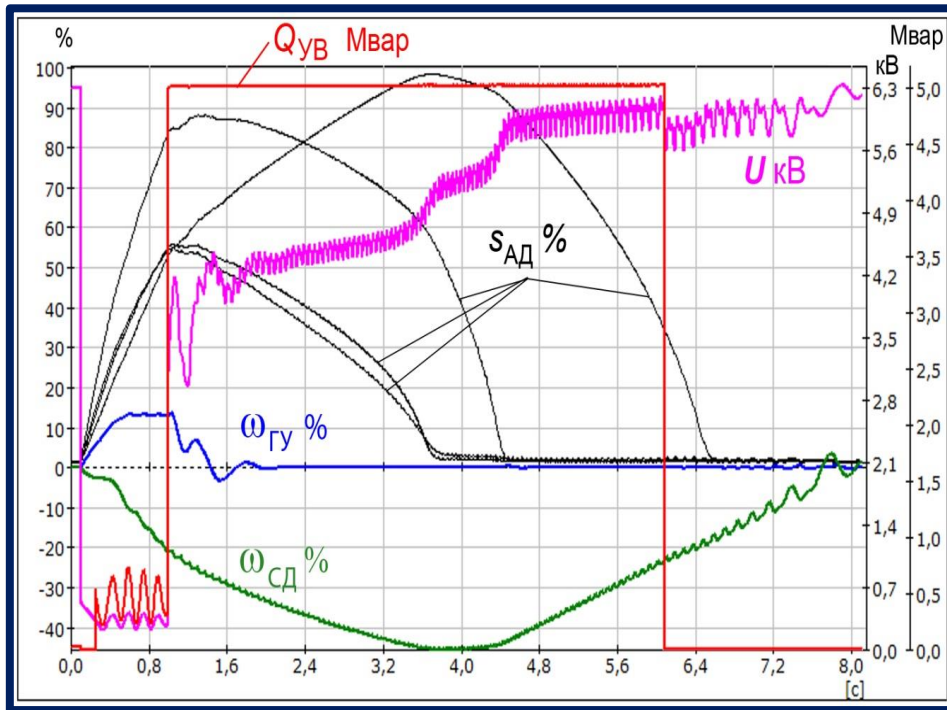
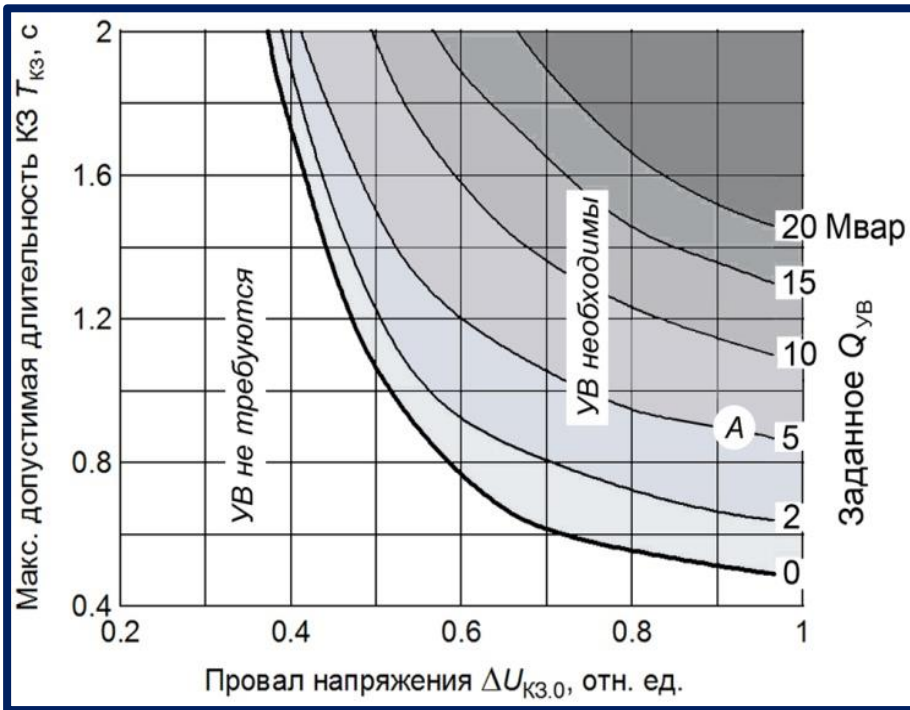


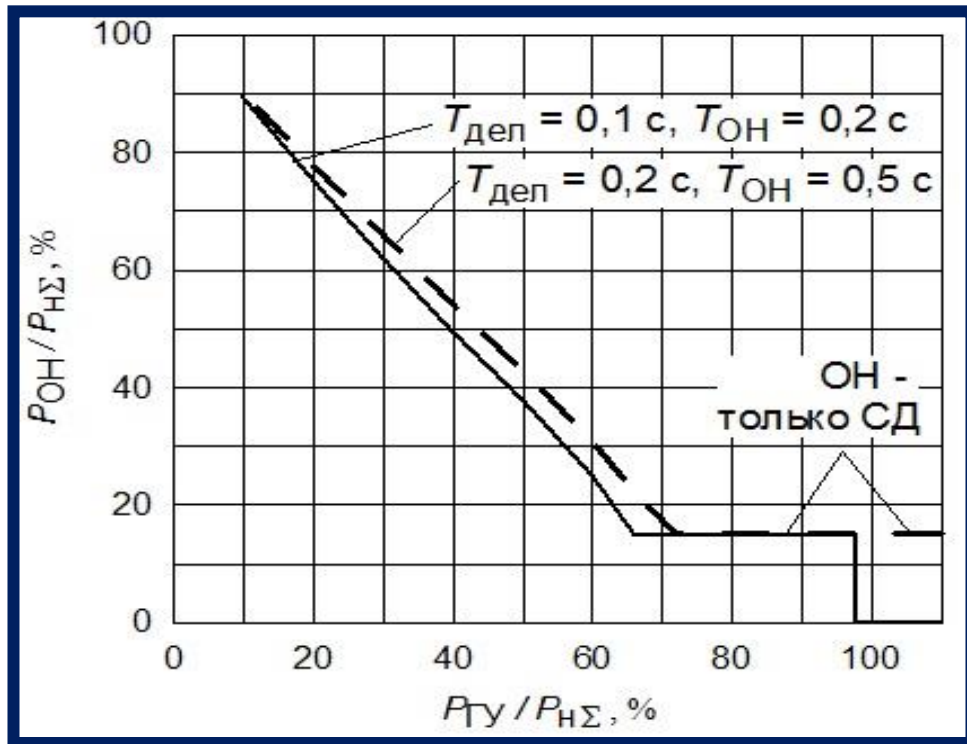
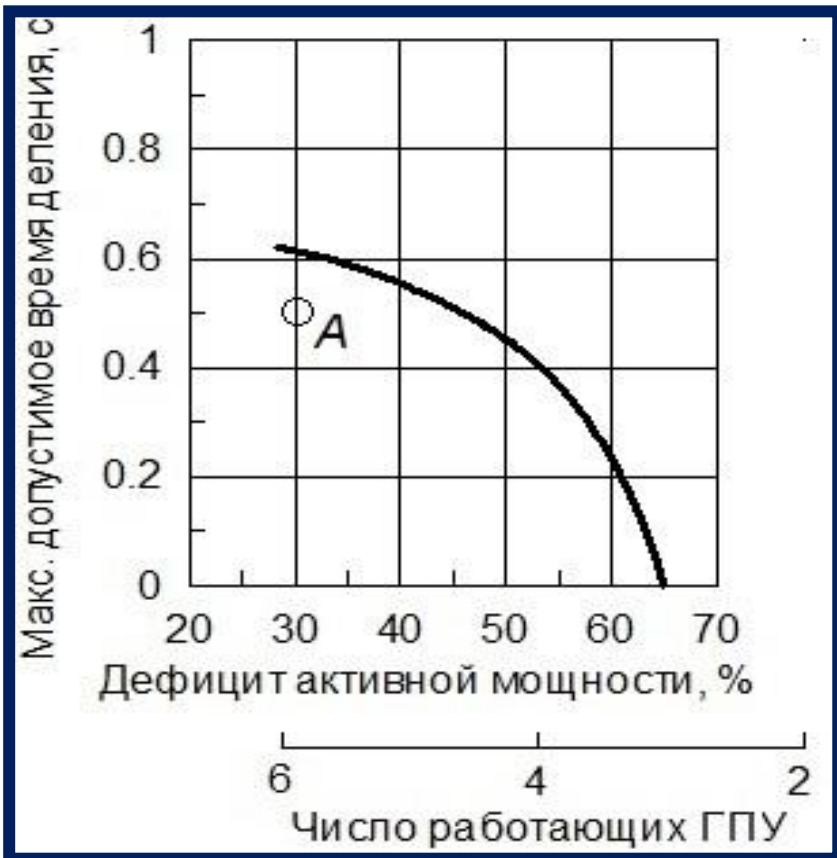
Рис. 1. Длительности КЗ(3), максимально допустимые в сети 6 кВ, при отсутствии УВ и при разных величинах  $Q_{УВ}$

Рис. 2. Успешный переходный процесс при  $Q_{УВ} = 5$  Мвар,  $\Delta U_{КЗ.0} = 0,91$ ,  $T_{КЗ} = 0,92$  с



Реализация УВ на НЭЭ производилась после ликвидации КЗ через 30 мс, при этом время отклика НЭЭ для современных устройств составляет  $\approx 5$  мс, однако в случаях, когда КЗ происходит вне зоны, контролируемой системой автоматического управления СНЭЭ, получение быстрой и надежной информации о его ликвидации вызывает значительные трудности

# Особенности реализации многопараметрической делительной автоматики в системах с РГ



Необходимые объемы ОН при различных суммарных мощностях ГУ

1. Время деления от начала возмущения в сети внешнего электроснабжения рассматривается как допустимое, если на объекте, в результате действия МДА, не возникает ни лавины напряжения, ни отключений ГУ
2. Приемлемое время срабатывания МДА можно получить в том случае, если начальный дефицит активной мощности в энергорайоне не превышает 40-60%

# Доступные к реализации алгоритмы управления инверторами ГУ, СЭС, ВЭУ, НЭЭ

7

- Абсолютное ограничение активной мощности
- Относительное ограничение активной мощности
- Ограничение скорости изменения активной мощности
- Компенсация реактивной мощности по функции  $Q(U)$
- Компенсация реактивной мощности по функции  $\cos\varphi(P)$
- Функция регулирования активной мощности при изменении частоты в сети  $P(f)$
- Функция ограничения выдачи активной мощности при повышении напряжения  $P(U)$
- Функция подхвата при низком и высоком напряжении
- Функция подхват при низкой и высокой частоте
- Функция выдачи максимальной реактивной мощности за счет разгрузки инвертора по активной мощности
- Плавное увеличение активной мощности при отключении инвертора и повторном включении в сеть

# Первоочередные шаги для комплексного решения вопросов создания современных систем с РГ

1

Разработка Типовых ТТ к ГУ РГ мощностью до 1 МВт (включая ВИЭ), подключаемых к шинам 0,4 кВ, а также от 1 до 5 МВт (включая ВИЭ), подключаемых к шинам напряжением 6 – 35 кВ

2

Разработка Типового ТЗ на разработку основных технических решений (включая выполнение комплексных расчетов электрических режимов) по технологическому присоединению ГУ (включая ВИЭ) мощностью до 5 МВт, подключаемых к сетям напряжением 0,4 – 35 кВ

3

Разработка Упрощенного порядка рассмотрения и согласования основных технических решений по технологическому присоединению ГУ объектов РГ мощностью до 5 МВт, подключаемых к сетям 0,4 – 35 кВ

4

Разработка методических основ для выбора алгоритмов управления и параметров настройки инверторов РИЭ для стабилизации параметров режима и предотвращения отключений электроустановок потребителей в аварийных и послеаварийных режимах

5

Разработка автоматики управления нормальными и аварийными режимами систем с РГ, включая устройства адаптации с САУ, с реализацией пилотных проектов (типовая и промышленная нагрузка)



# Этапы создания автоматики управления нормальными и аварийными режимами систем с РГ

9

- Разработка принципиально новых алгоритмов автоматики управления нормальными и аварийными режимами систем с РГ, имеющей локальный, координирующий и централизованный уровни управления
- Разработка малогабаритных УСВИ для сетей 0,4-35 кВ (датчиков), позволяющих на основе синхровекторов тока и напряжения рассчитывать необходимые параметры по основной гармонике для каждого присоединения и всей системы в целом
- Разработка типовых автоматических устройств, позволяющих осуществлять свободную интеграцию новых участников, реализующих технологию *plug-and-play*
- Разработка типовых технических решений по реализации автоматики управления нормальными и аварийными режимами на отечественной элементной базе на безтерминальной основе на базе отечественных промышленных компьютеров с использованием специализированного программного обеспечения
- Разработка отечественных программно-аппаратных комплексов, позволяющих проводить расчеты установившихся и переходных процессов в режиме *on-line*

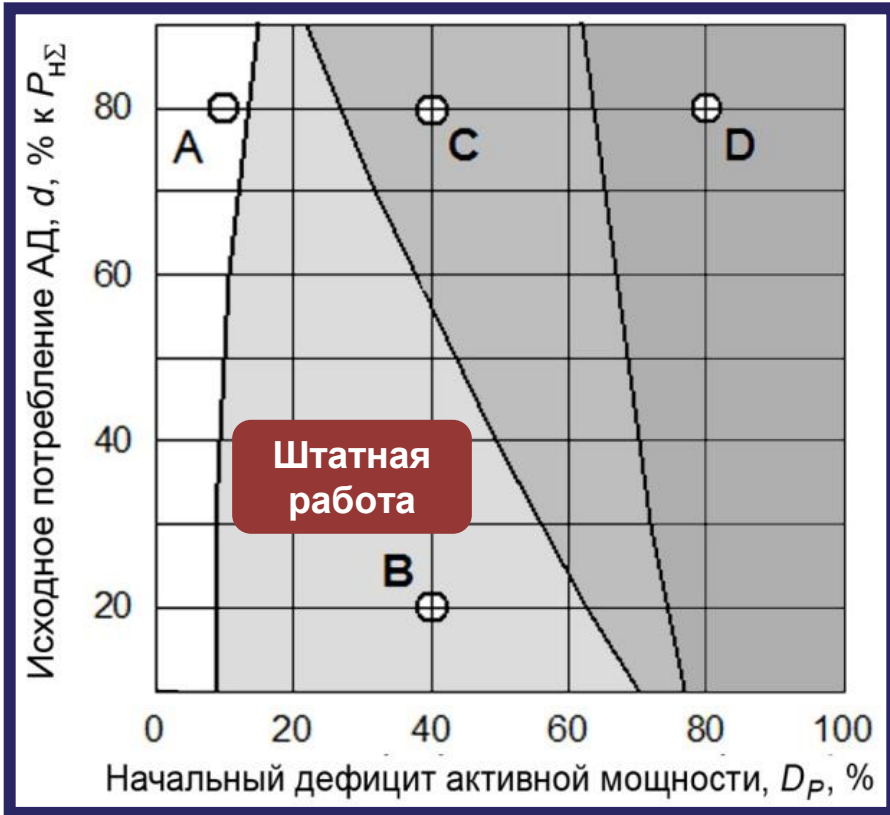
**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!**

**Илюшин Павел Владимирович**



# Особенности работы АЧР в системах с РГ

12



- Установившийся режим с параметрами  $U > 0,8U_{ном}$ ,  $f > 49$  Гц (Область A)
- Нормальная работа АЧР –  $U$  выше критического,  $f$  снижается (Область B)
- Работа АЧР в условиях значительного понижения  $U$ , обусловленного ростом потребления АД  $Q$  по мере снижения  $f$  (Область C)
- Быстрое возникновение лавины  $U$  в связи со значительном начальным дефицитом мощности, суммарная нагрузка снижается, частота нормализуется (Область D)



1. В случаях, когда дефицит мощности в выделенном энергорайоне велик и в нагрузке преобладают АД скорость разгрузки оказывается решающей
2. В условиях, когда лавина  $U$  возможна, скорость разгрузки действием АЧР1 может оказаться недостаточной – необходимо применение ДАР
3. Объем разгрузки должен быть больше, чем величина предаварийного дефицита мощности на 10% (должно быть обосновано расчетами)

# Особенности реализации АОСН в системах с РГ

13

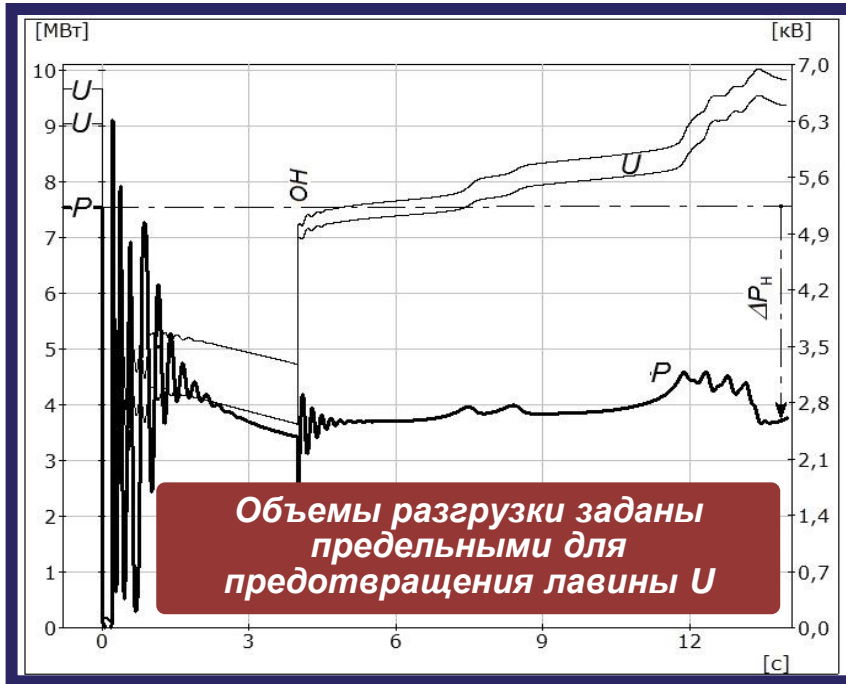


Рис. 1. Запоздывание разгрузки от начала КЗ на 4 с (6-22 с)

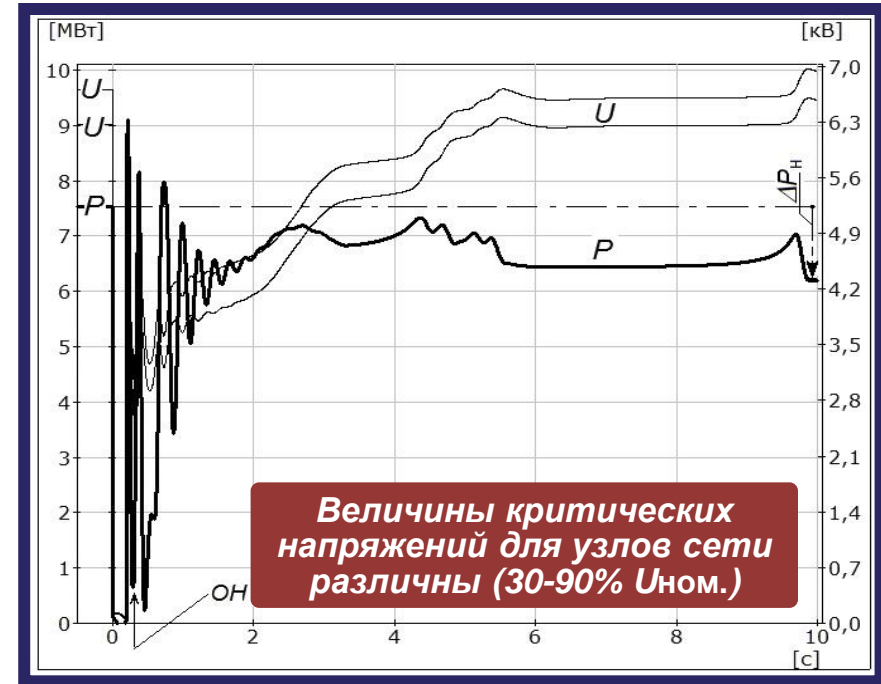
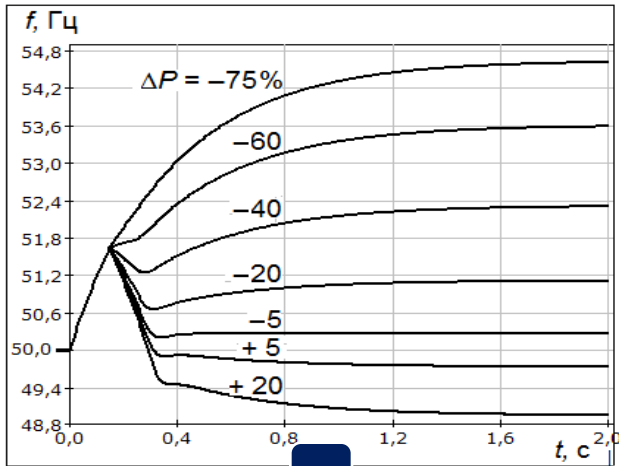


Рис. 2. Запоздывание разгрузки от начала КЗ на 0,3 с

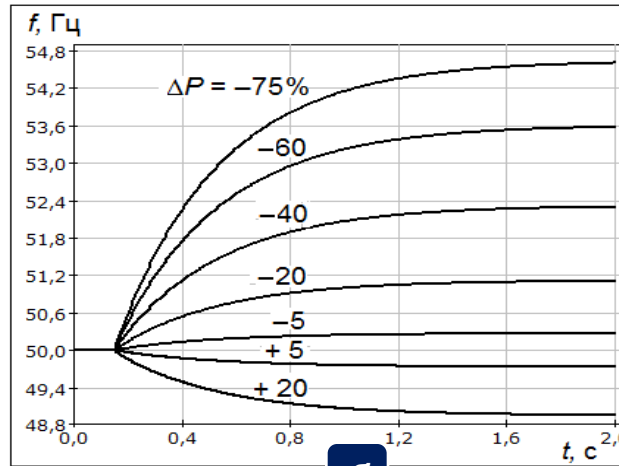
- 1. АОСН перестает быть локальной ПА, требуется изменение алгоритма с контролем схемно-режимных условий в прилегающей сети
- 2. Возможна реализация УВ от АОСН для повышения напряжение в системах с РГ за счет перевода ГУ в режим загрузки до  $Q_{max}$  и разгрузкой по  $P$
- 3. Для усиления эффекта регулирования  $U$  возможна подача напряжения контролируемого узла на вход АРВ ГУ РГ

# Особенности функционирования АРЧВ ГУ

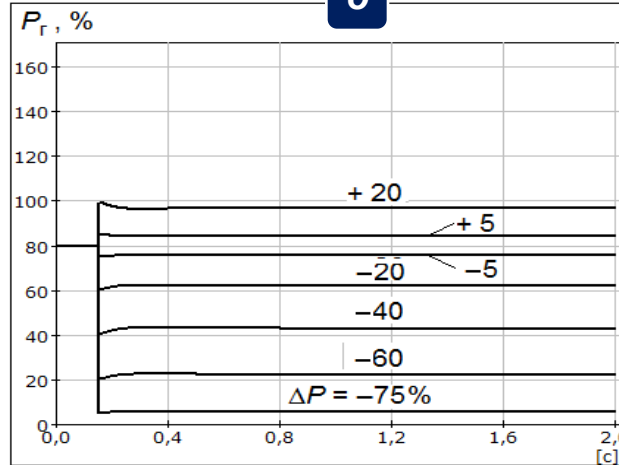
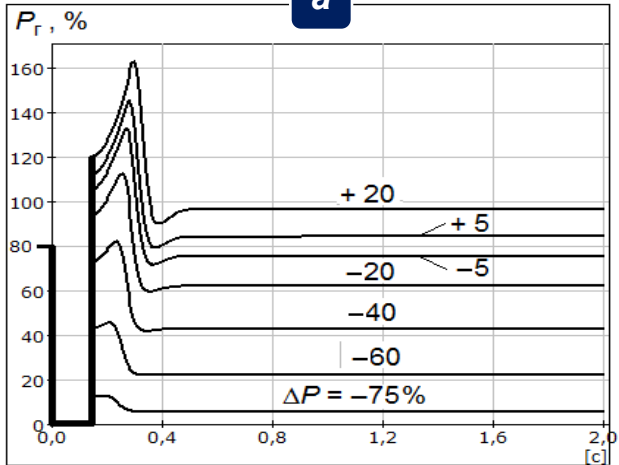
14



**а**



**б**



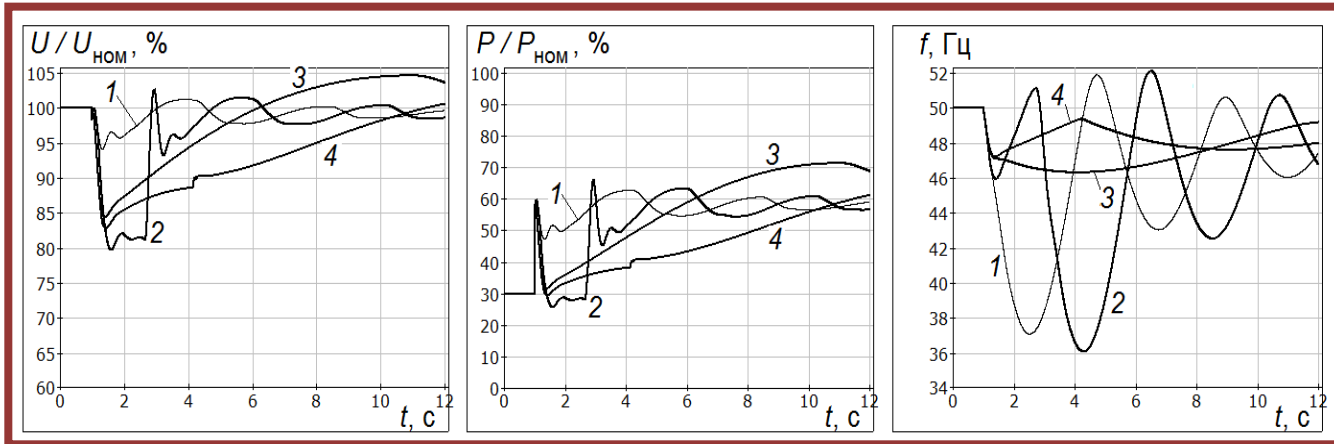
САУ фиксирует переход к автономному режиму, если  $\Delta P$  равны  $-60\%$  и  $-75\%$ , включая алгоритм регулирования частоты, в остальных остается регулирование мощности

Если при отделении от энергосистемы нагрузка ГТУ снижается ( $\Delta P$  от  $-40\%$  до  $-5\%$ ), частота повышается, а регулятор мощности пытается вернуть генерацию активной мощности к исходной, увеличивая подачу топлива, еще больше повышая частоту. При набросах нагрузки ( $+5\%$ ,  $+20\%$ ) действия регулятора мощности усиливает понижение частоты

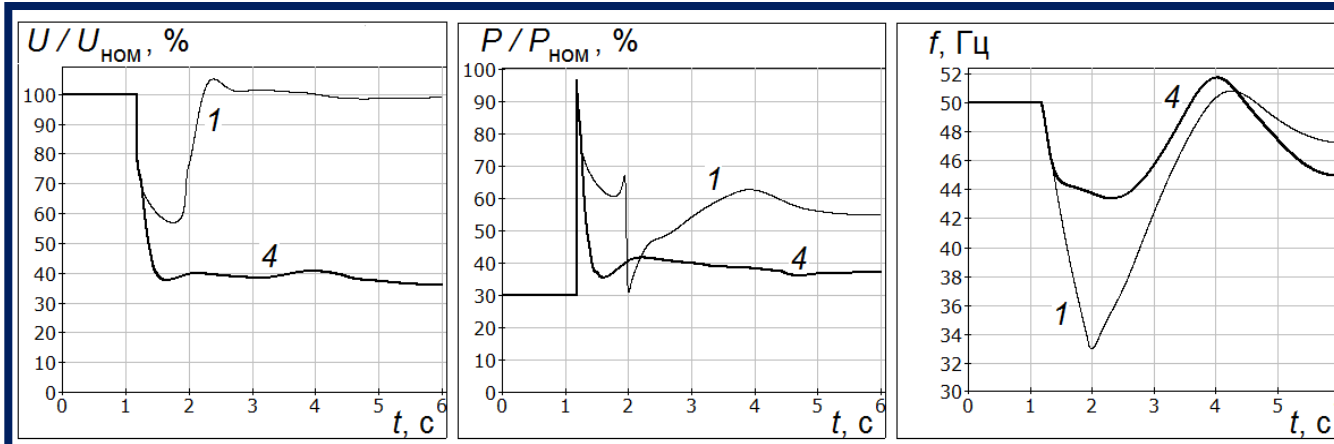
Частота и генерируемая мощность при отделении от сети многовальной ГТУ без регулирования подачи топлива, с разными сбросами и набросами нагрузки  $\Delta P$ : а – при трехфазном КЗ, б – без КЗ

# Особенности функционирования АРВ ГУ

15



Переходный процесс при набросе мощности на автономно работающую ГУ. Нагрузка имеет регулирующий эффект  $K_{РУ} \approx 1,9$  отн. ед. (5% - АД, остальное – статическая нагрузка)



Переходный процесс при набросе мощности после бестоковой паузы 0,18 с (АВР). Нагрузка имеет регулирующий эффект  $K_{РУ} \approx 0,1$  отн. ед. (95% - АД, остальное – статическая нагрузка)

**!** Применение модуля может спровоцировать лавину напряжения в узлах промышленной нагрузки с большой долей асинхронных двигателей (быстродействие АОСН недостаточно), а допустимость применения модуля должна определяться расчетами электромеханических переходных процессов