Технологическая и противоаварийная автоматика в электроэнергетике

Лекция 1.1

ЕЭС России – самый большой объект автоматизации на земном шаре!

В ЕЭС 7 ОДУ

ОДУ Северо – Запада (7 РДУ)

113

87% ТЭС и АЭС

24000 МВт

1552 ЛЭП 110-750 кВ

46445 км

1145

91945 МВА

8 РЭС

Норвегия, Финляндия, Белоруссия, Литва, Латвия, Эстония

ОЭС Урала

ОЭС Центра

ОДУ Центра (12 РДУ)

142

Высокая доля АЭС

52447 МВт

2719 ЛЭП 110-750 кВ

88558 км

2249

ОЭС Северо-Запада

Белоруссия, Украина

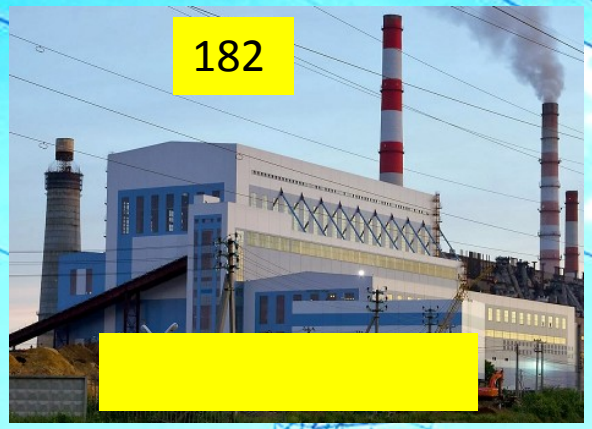
18 РЭС

ОЭС Урала

ОЭС Средней Волги

ОЭС Юга

ОДУ Юга (7 РДУ)



182

2192 ЛЭП 110-500 кВ

62143 км

1758

ОЭС Центра

24280 МВт

ОЭС Средней Волги

Украина

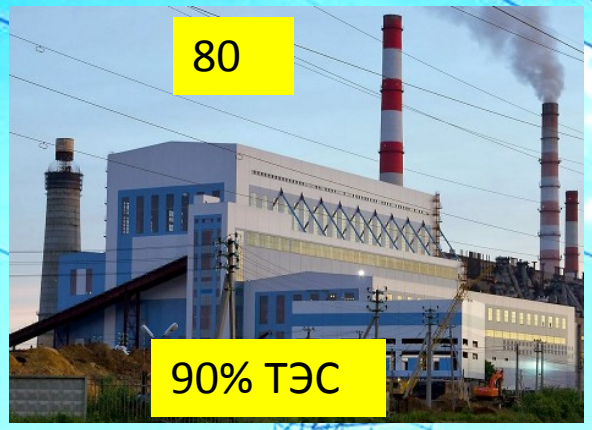
13 РЭС

Казахстан

Азербайджан

Грузия

ОДУ Средней Волги (5 РДУ)



80

90% ТЭС

27600 МВт

1070 ЛЭП 110-500 кВ

35086 км

776

9 РЭС

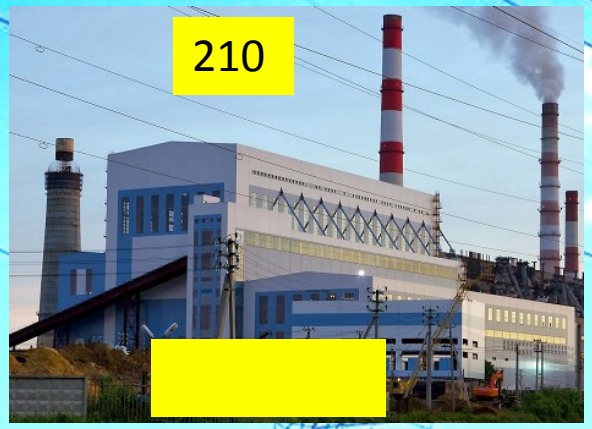
ОЭС Центра

ОЭС Урала

Казахстан

ОЭС Юга

ОДУ Урала (6 РДУ)



210

53614 МВт

2784 ЛЭП 110-1150 кВ

123600 км

1616

9 РЭС

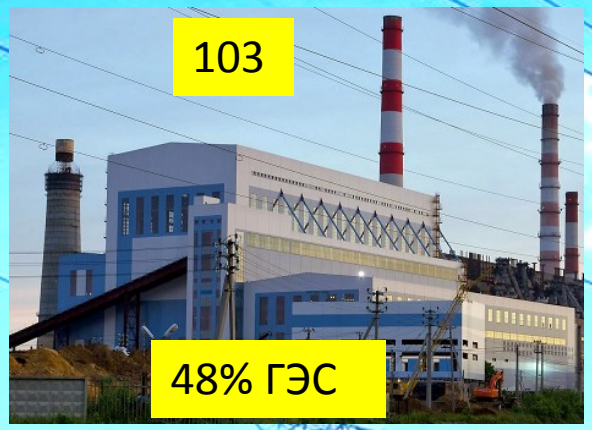
ОЭС Центра

ОЭС Средней Волги

ОЭС Сибири

Казахстан

ОДУ Сибири (9 РДУ)



103

48% ГЭС

51861 МВт

ЛЭП 110-1150 кВ

101288 км

10 РЭС

ОЭС Урала

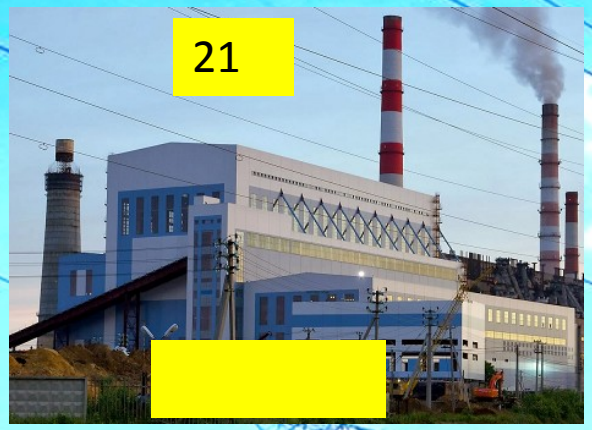
ОЭС Сибири

Китай

Казахстан

Монголия

ОДУ Востока (4 РДУ)



21

11264 МВт

627 ЛЭП 110-500 кВ

33025 км

545

38800 МВА

4 РЭС

ОЭС Сибири

Китай

ЕЭС-объект технологической автоматики

Причины, определяющие высокую значимость системы ТА ЕЭС России

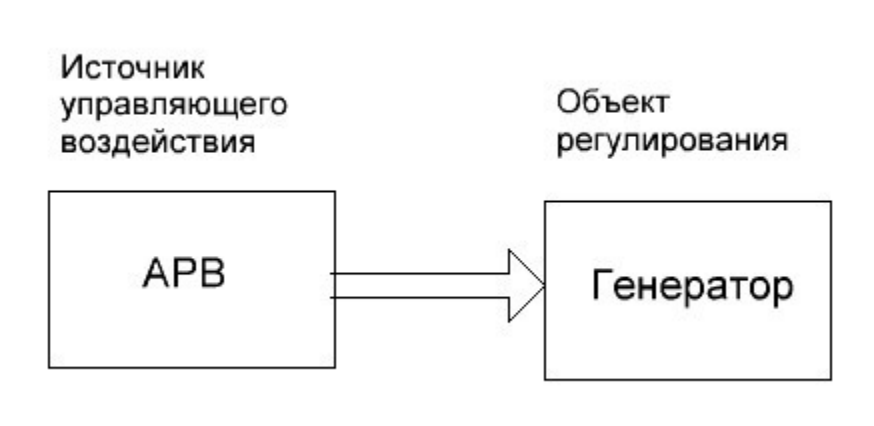
Особенности ЕЭС России

- реверсивность потоков активной мощности
- ограничение режимов условиями устойчивости
- необходимость передачи больших объемов электроэнергии на большие расстояния
- необходимость управления при нормативных возмущениях

2. Автоматическое регулирование возбуждения, напряжения и реактивной мощности синхронных генераторов

Лекция 2.1.

2.1. Основные функции АРВ (ч.1)



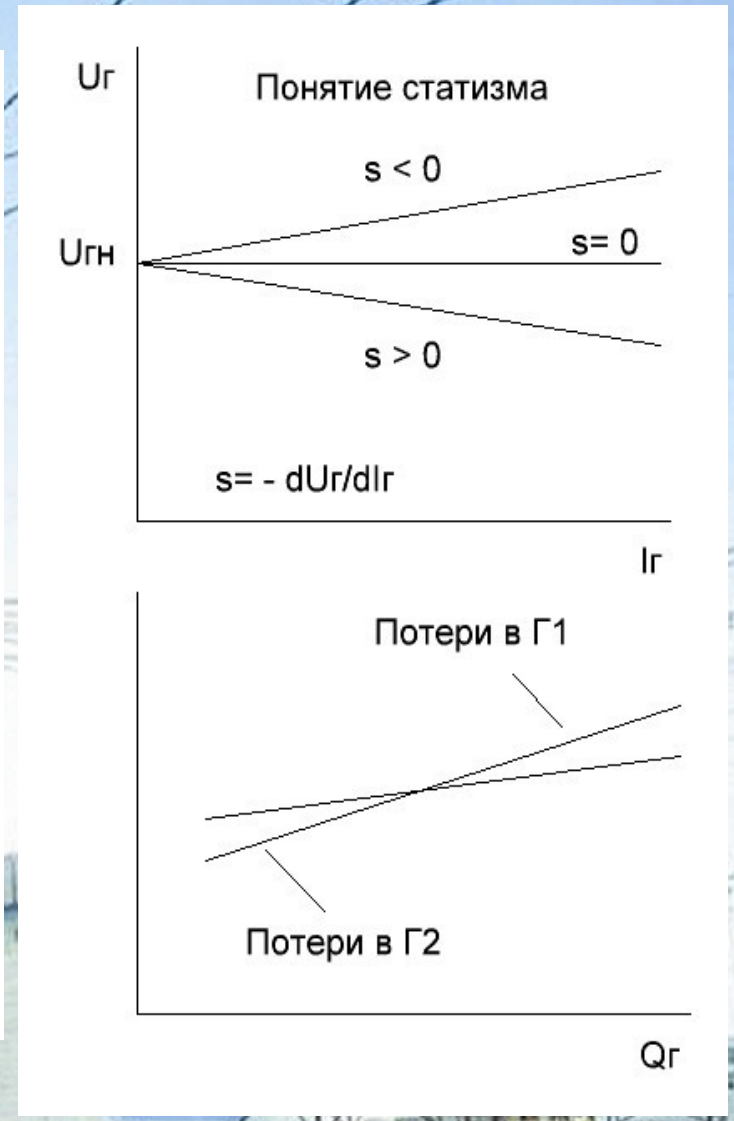
Основные равнения объекта регулирования

1. $I_f = U_f / R_f$
2. $E_q = c I_f$
3. $\dot{U}_\Gamma = \dot{E}_q - \dot{I}_\Gamma j x_d$

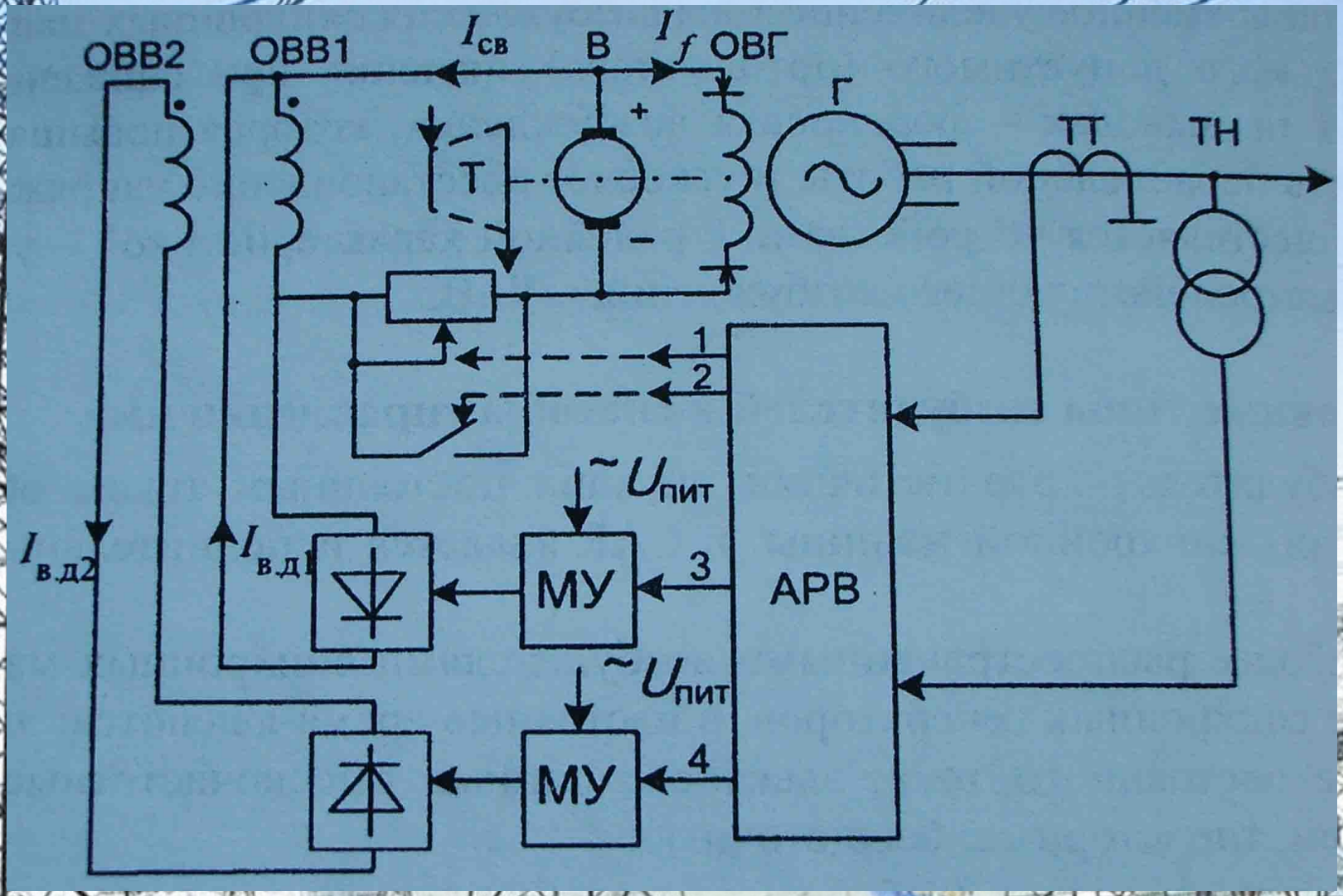
   $U_\Gamma \approx E_q - I_{\Gamma.P} x_d$
4. $U_Ш \approx U_\Gamma N_T - I_{\Gamma.P} x_T / N_T$
5. $I_{\Gamma.P.n} = \frac{E_{q.n} - U_Ш}{x_d}$
6. $Q_\Gamma = \sqrt{3} U_\Gamma I_{\Gamma.P}$

2.1. Основные функции АРВ (ч.2)

- АРН – Автоматическая регулировка напряжения с заданным статизмом и без зоны нечувствительности.
- АРРМ – Автоматичское регулирования распределения Q между генераторами для минимизации потерь.
- АФВ –Автоматическая форсировка возбуждения для сохранения параллельной работы генераторов и быстрого восстановления напряжения в аварийных режимах.



Управление электромашинным возбудителем



Автоматическое регулирование напряжения на шинах электростанции и реактивных мощностей генераторов

Лекция 2.2

Уравнения характеристик регулирования

$$U_{\Gamma} = U_0 - k_C I_{\Gamma.Р}$$

При $U_0 = const$ справедливо $\Delta U_{\Gamma} + k_C \Delta I_{\Gamma.Р} = 0$

Статизм регулирования

$$S = -\frac{\Delta U_{\Gamma *}}{\Delta I_{\Gamma.Р *}} = \frac{\Delta U_{\Gamma}}{U_{\Gamma.ном}} * \frac{I_{\Gamma.ном}}{\Delta I_{\Gamma.Р}} = k_C \frac{I_{\Gamma.ном}}{U_{\Gamma.ном}}$$

Характеристики регулирования

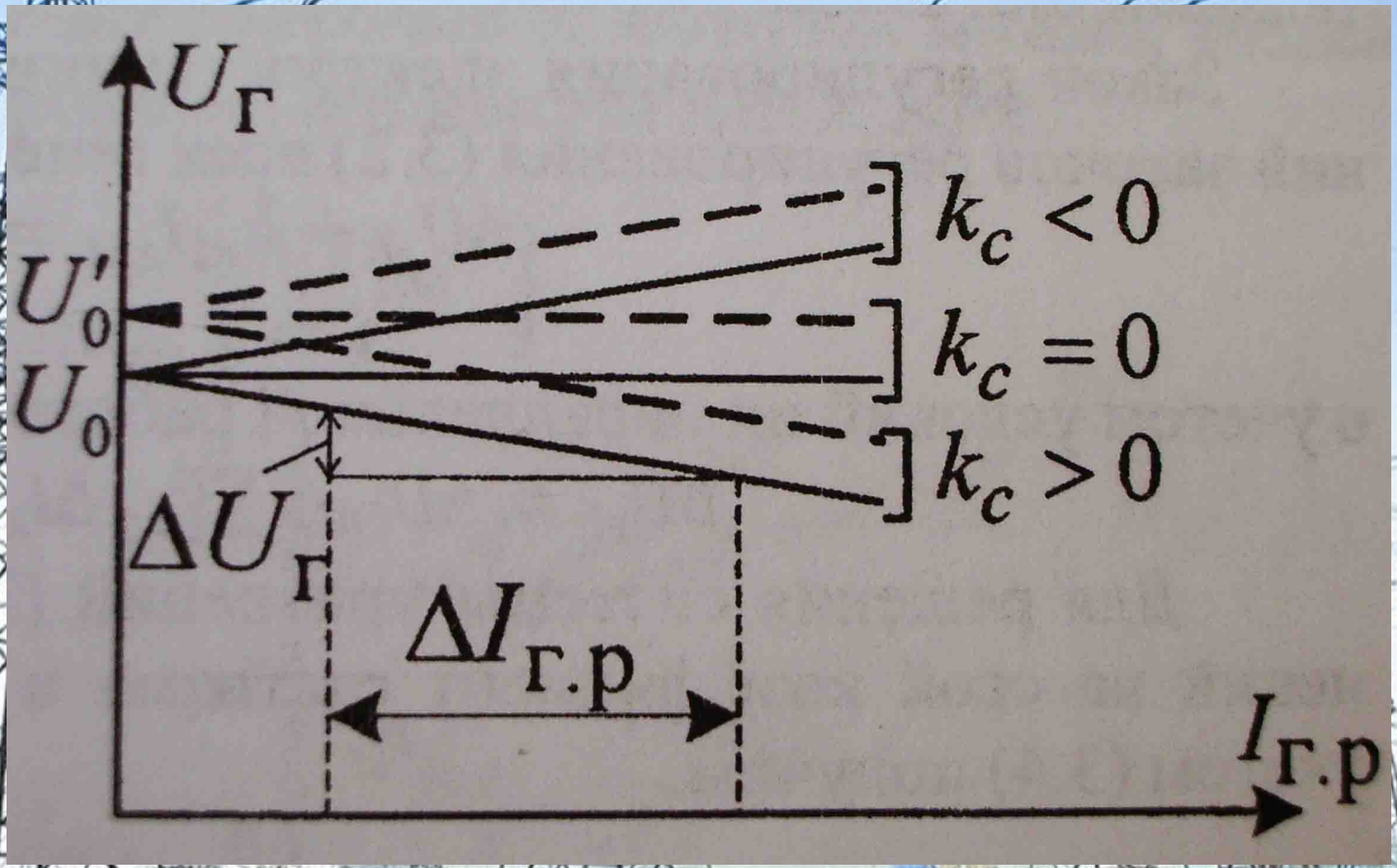
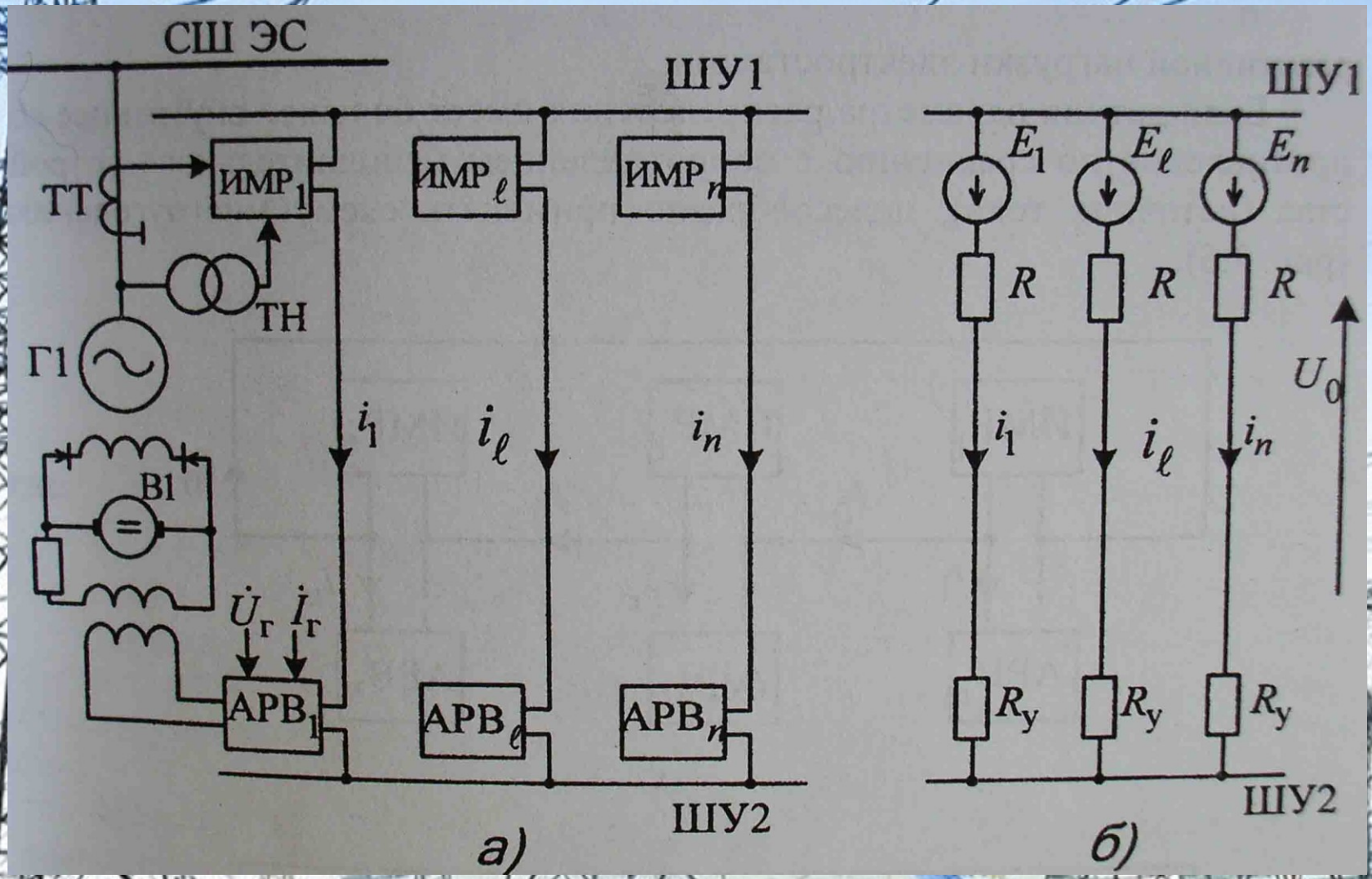
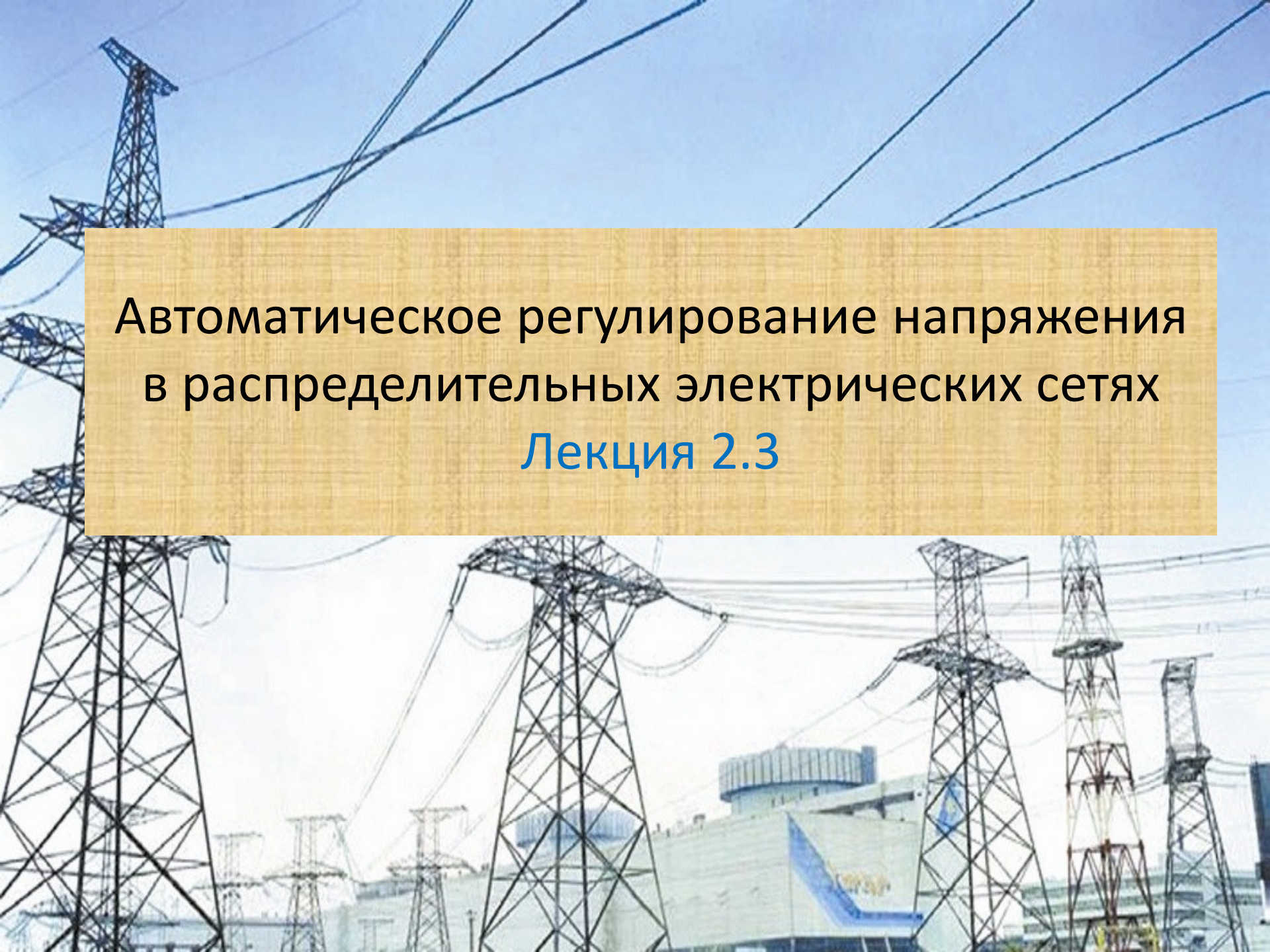


Схема многолучевой звезды для уравнивания реактивных мощностей





Автоматическое регулирование напряжения в распределительных электрических сетях

Лекция 2.3

Регулятор напряжения трансформатора с РПН

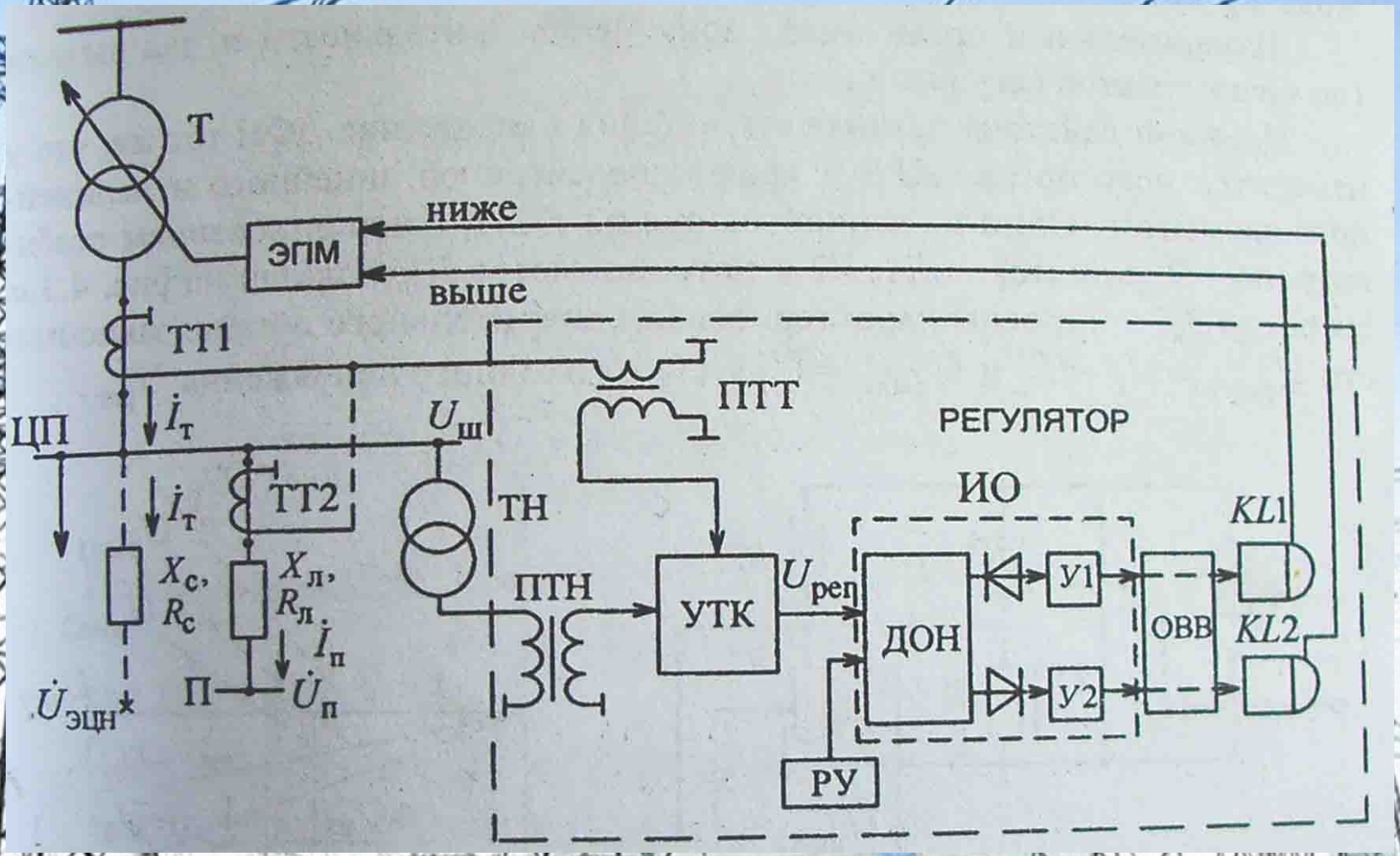
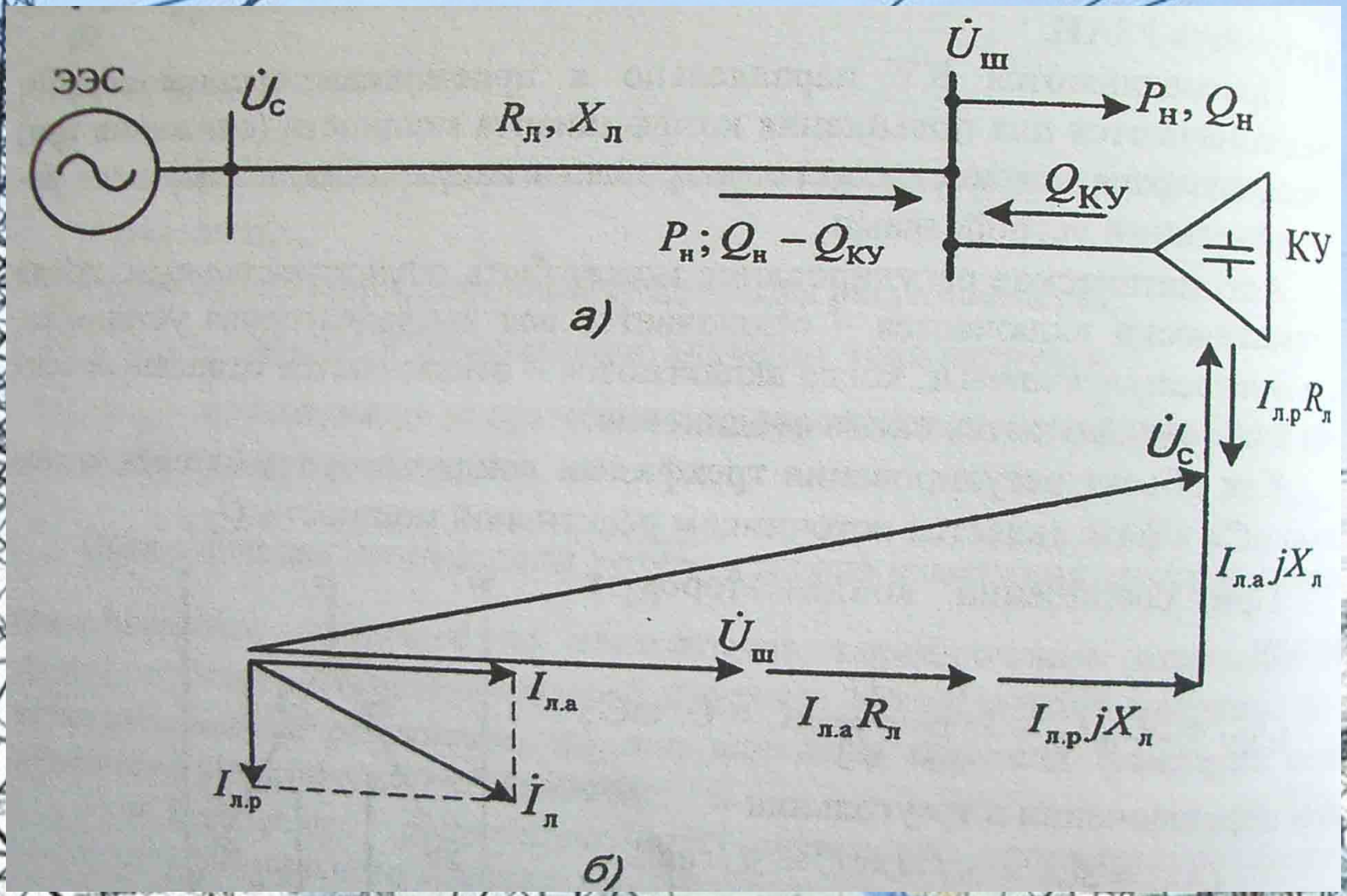


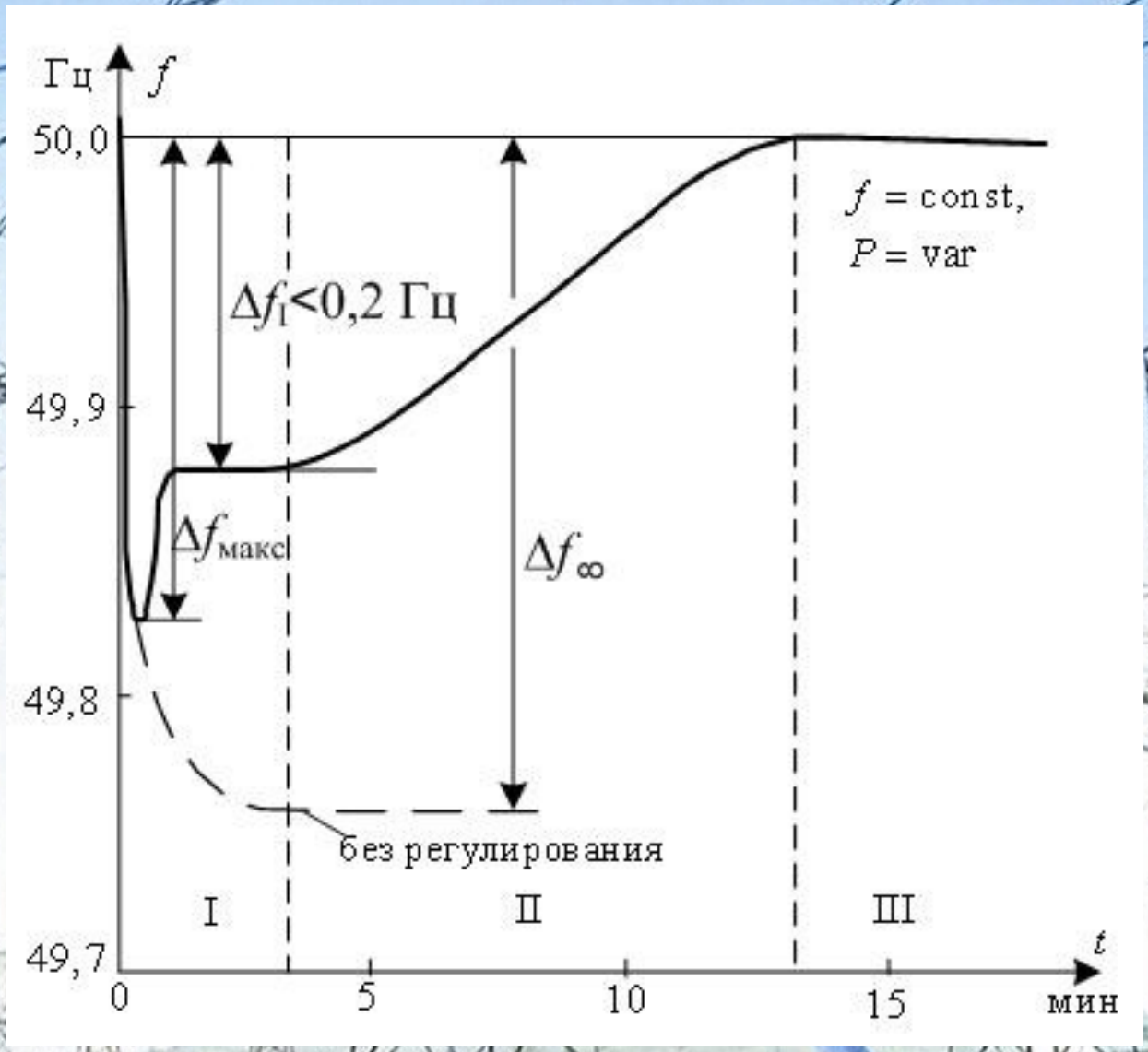
Схема сети и векторная диаграмма компенсации реактивной мощности



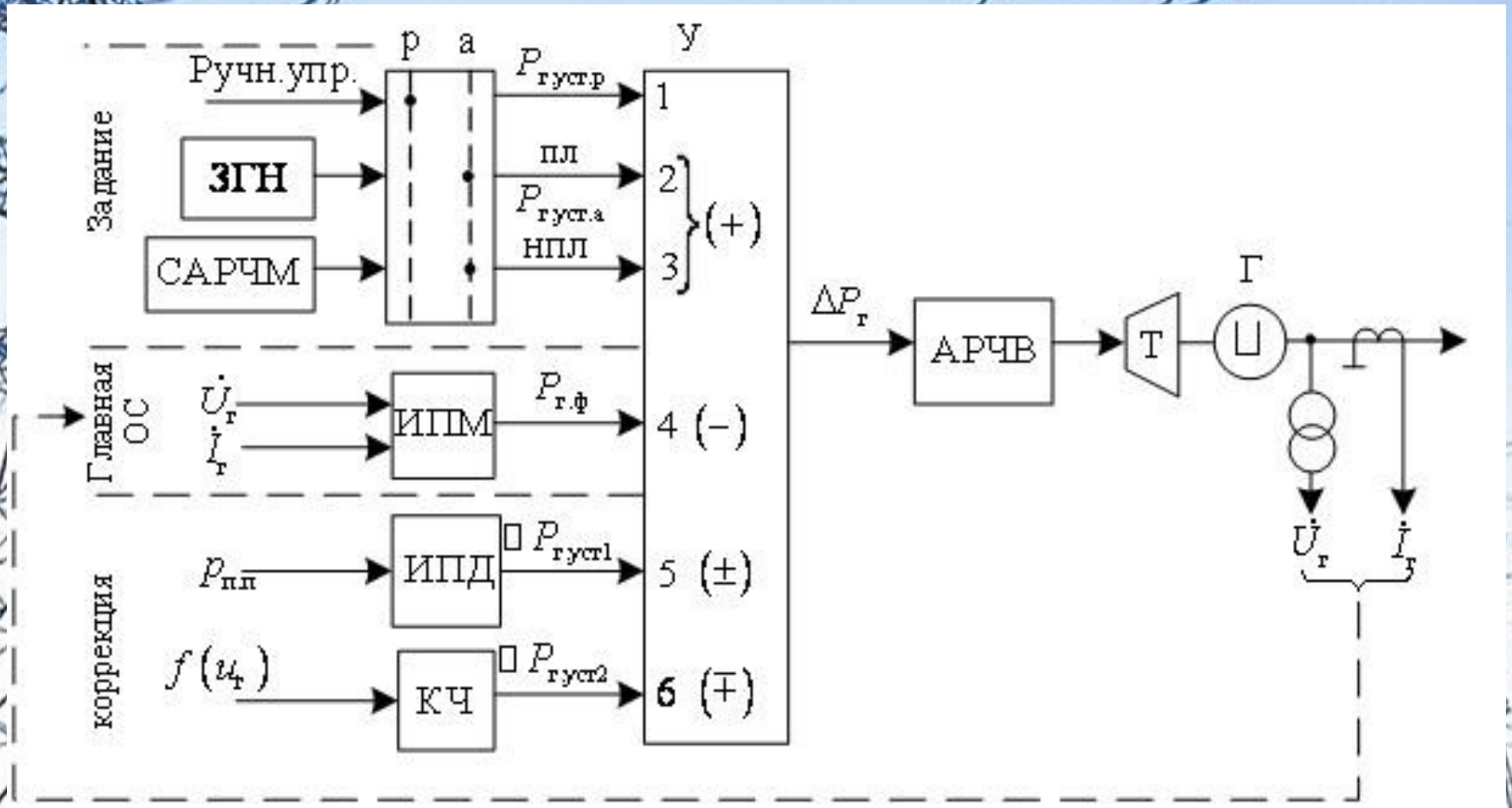
Автоматическое регулирование частоты и активной мощности

Лекция 2.4.

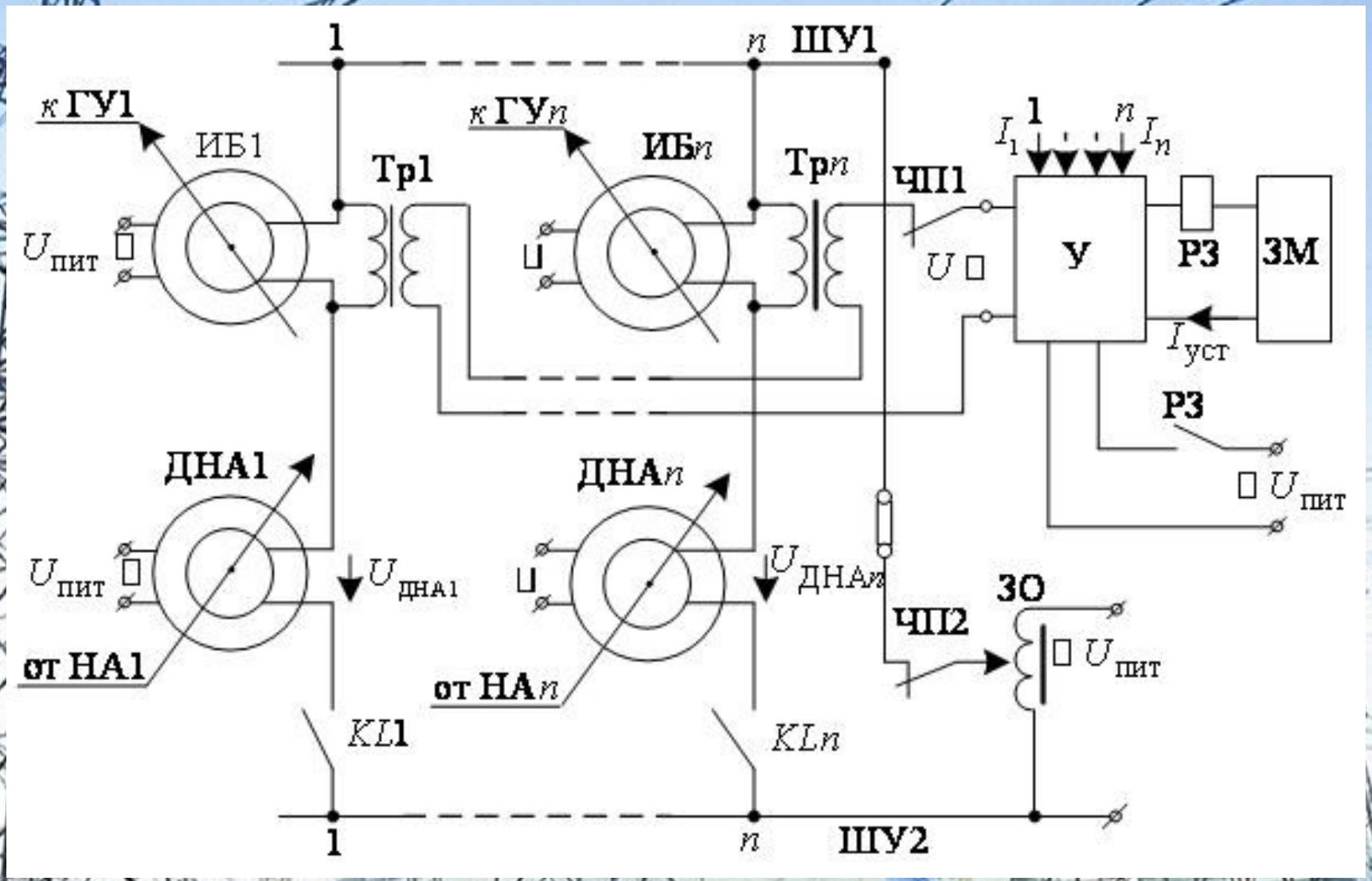
Стадии процесса регулирования



Автоматический регулятор мощности турбогенератора



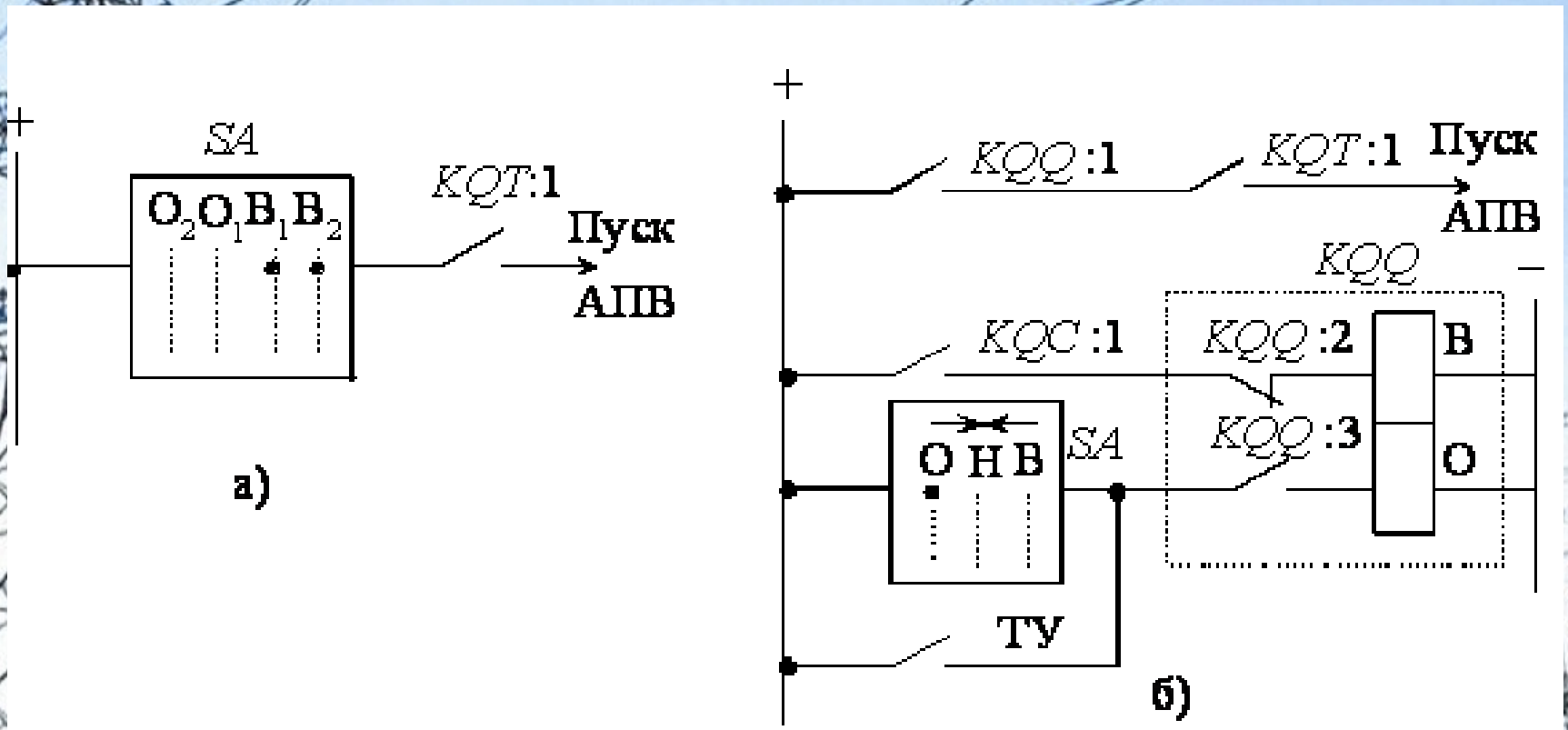
Групповой регулятор частоты и мощности электростанции



Автоматическое повторное включение

Лекция 3.1.

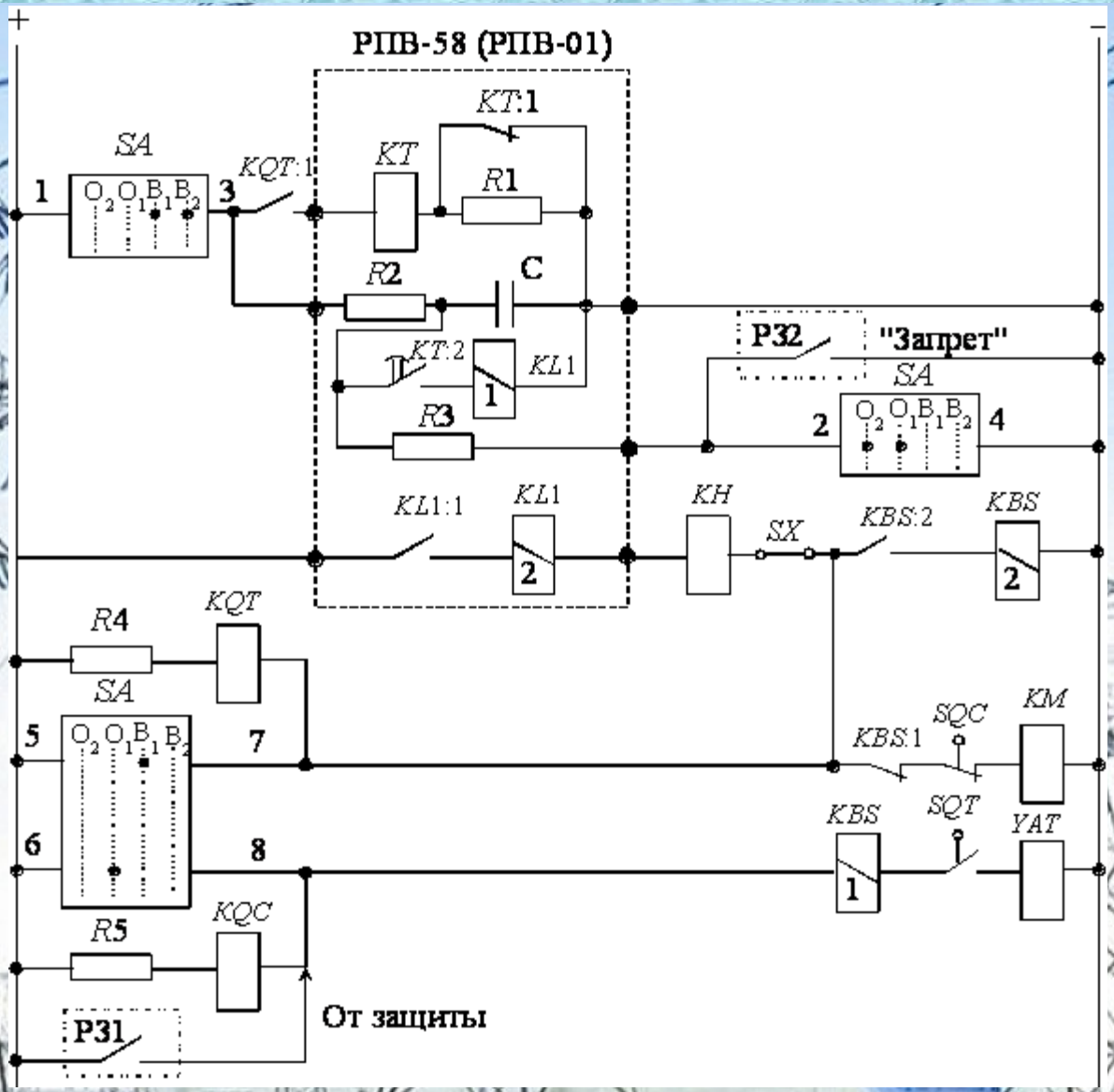
Схемы пусковых цепей АПВ



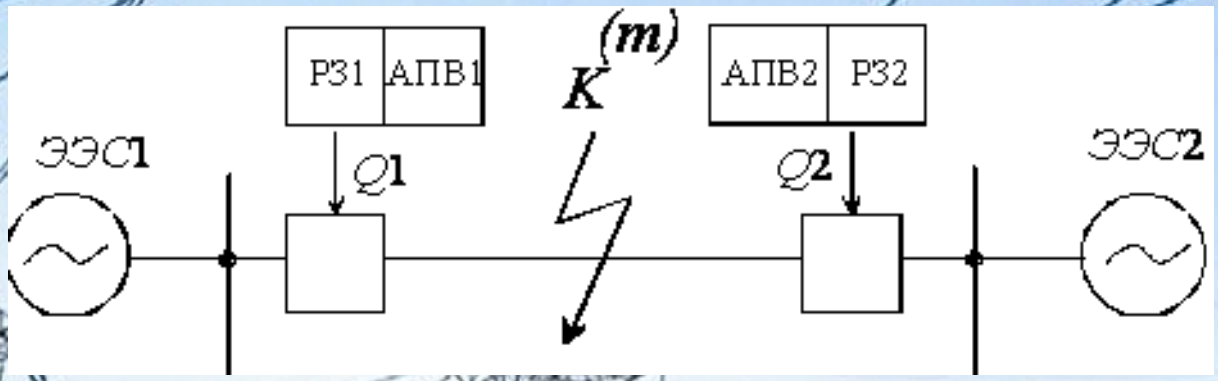
Трехфазное АПВ линий с односторонним питанием

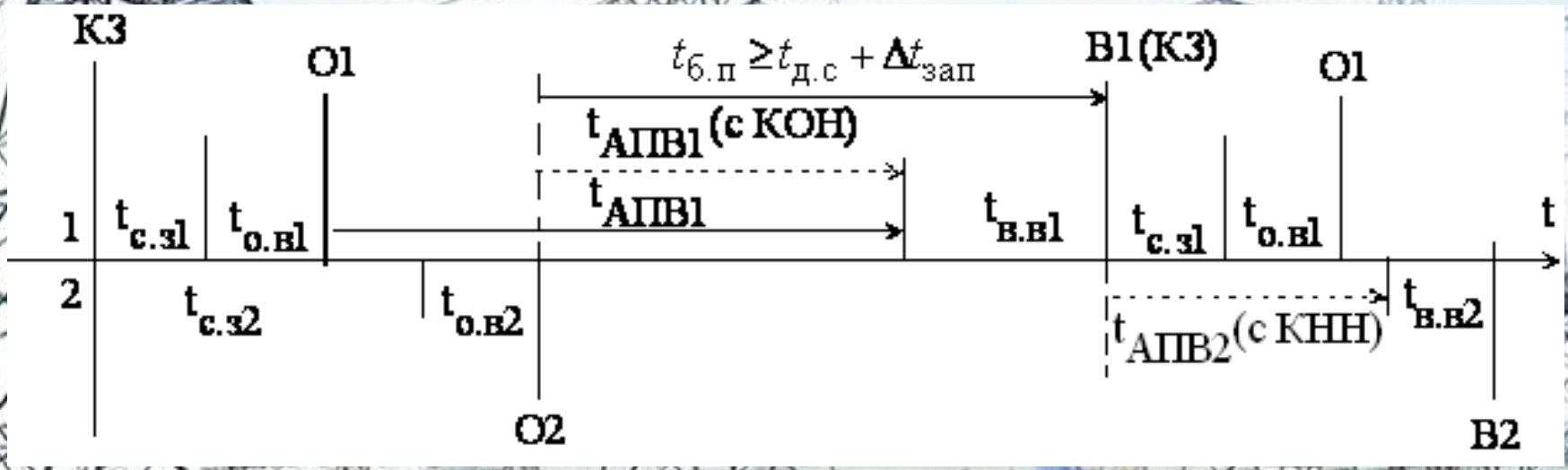
№ включения	Поддиапазон	Уставки выдержек времени, с		
		Диапазон $t_{АПВ}$	Ступень регулировки	Время готовности $t_{подг}$
На 1-ое включение (РПВ-01, РПВ-02)	1	0,5 – 5,0	0,25	15 и 30
	2	1 – 10	0,5	30 и 60
На 2-ое включение (РПВ-02)	1	5,0 – 50	2,5	30 и 60
	2	10 – 100	5	60 и 120

Схема АПВ однократного действия для присоединения с маслянным выключателем



Трехфазное АПВ линий с двухсторонним питанием





Автоматическое включение резервного питания и оборудования (АВР)

Лекция 3.2.

Назначение и эффективность АВР

Для электроприемников 1-й категории

- Кольцевая сеть
- Радиально-секционированная сеть с АВР

Преимущества

- Снижение токов КЗ
- Удешевление электрооборудования
- Снижение потерь электроэнергии
- Упрощение релейной защиты

Область применения

- Распределительные сети 6-35 кВ
- Собственные нужды электростанций

Успешность АВР - 90% и более

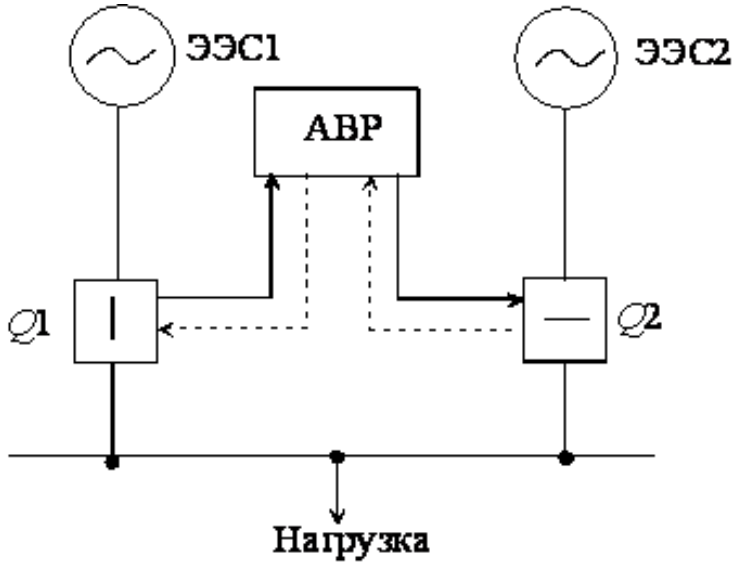


Схема действия устройства АВР

ЭЭС1 - рабочий источник питания
ЭЭС2 - резервный источник питания
При потери питания АВР действует на Q2

Пунктирная линия - меняются роли источников питания

Классификация и требования

Классификация устройств АВР

По типу резервного оборудования

- АВР трансформаторов
- АВР линий электропередач
- АВР секций шин
- АВР агрегатов собственных нужд

По направлению действия

- АВР одностороннего действия
- АВР двустороннего действия

По виду резерва

- АВР явного резерва (без нагрузки)
- АВР неявного резерва (источники ЭЭС1 и ЭЭС2 включены на нагрузку)

По виду источника питания

- АВР на постоянном оперативном ток
- АВР на переменном оперативном то

Требования к устройствам АВР

1. Действует от пускового органа при потере питания по любой причине, включая КЗ. Исключение - отключение нагрузки от АЧР.

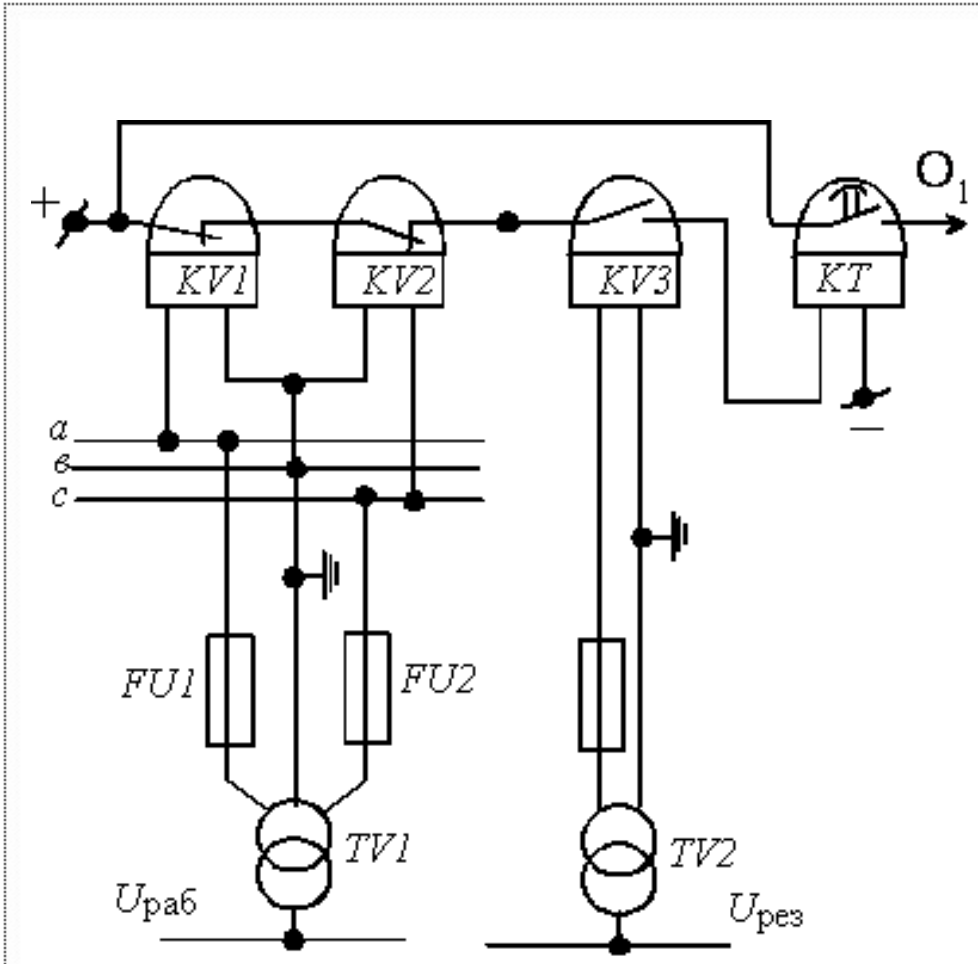
2. Включение резервного источника осуществляется после отключения выключателя рабочего источника для предотвращения:
   - неуспешного АВР при неустойчивом КЗ на шинах потребителя или в рабочем источнике;
   - несинхронного включения двух источников.

3. Действие АВР должно быть однократным. Что бы не включать многократно на устойчивое КЗ.

4. Ускорение действия РЗ резервного источника после АВР, важно при включении на КЗ

5. Обеспечивать нормальные условия самозапуска электродвигателей после АВР. Или предусматривать автоматическое отключение потребителей с последующим их АПВ.

Пусковой орган АВР одностороннего действия



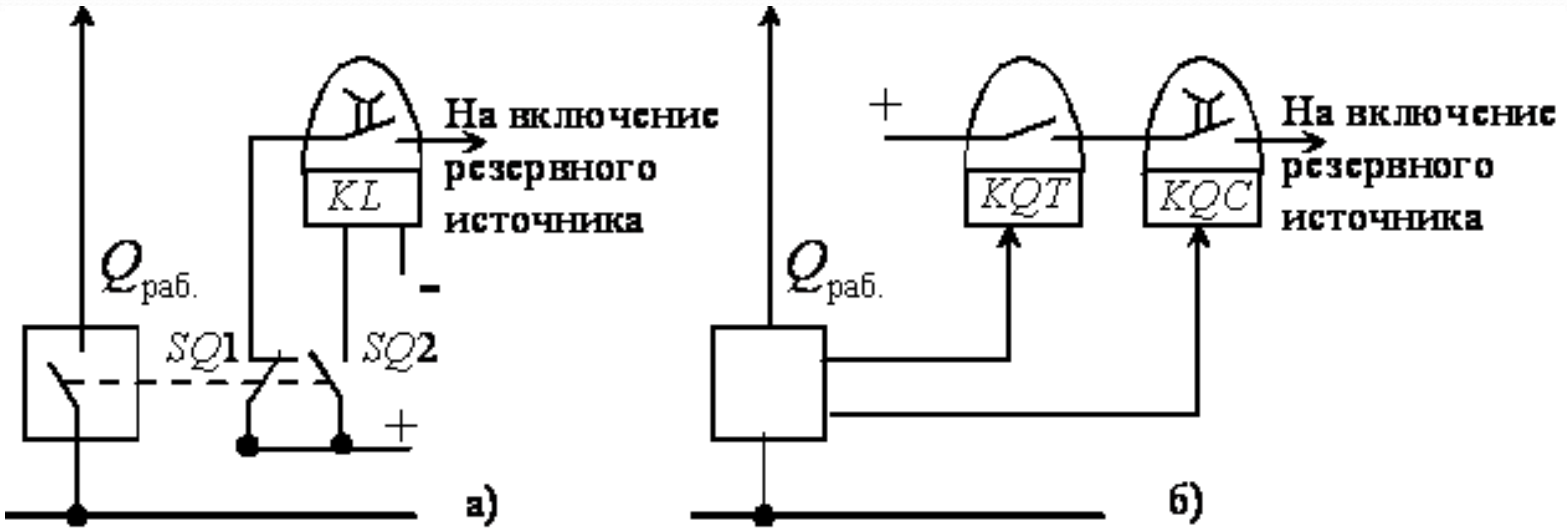
Пусковые органы АВР отключают выключатель рабочего источника при потере питания потребителей по любой причине.

Пусковые органы контролируют напряжения источников, не реагируют на неисправность ТН, отстроены по времени от РЗ и АПЕ

Отключение выключателя раб. источника будет от ПОН при замыкании контактов миним. реле напряжения KV1 и KV2, при замыкании контакта максим.реле KV3,т.е. при наличии напряжения и срабатывания реле времени KT

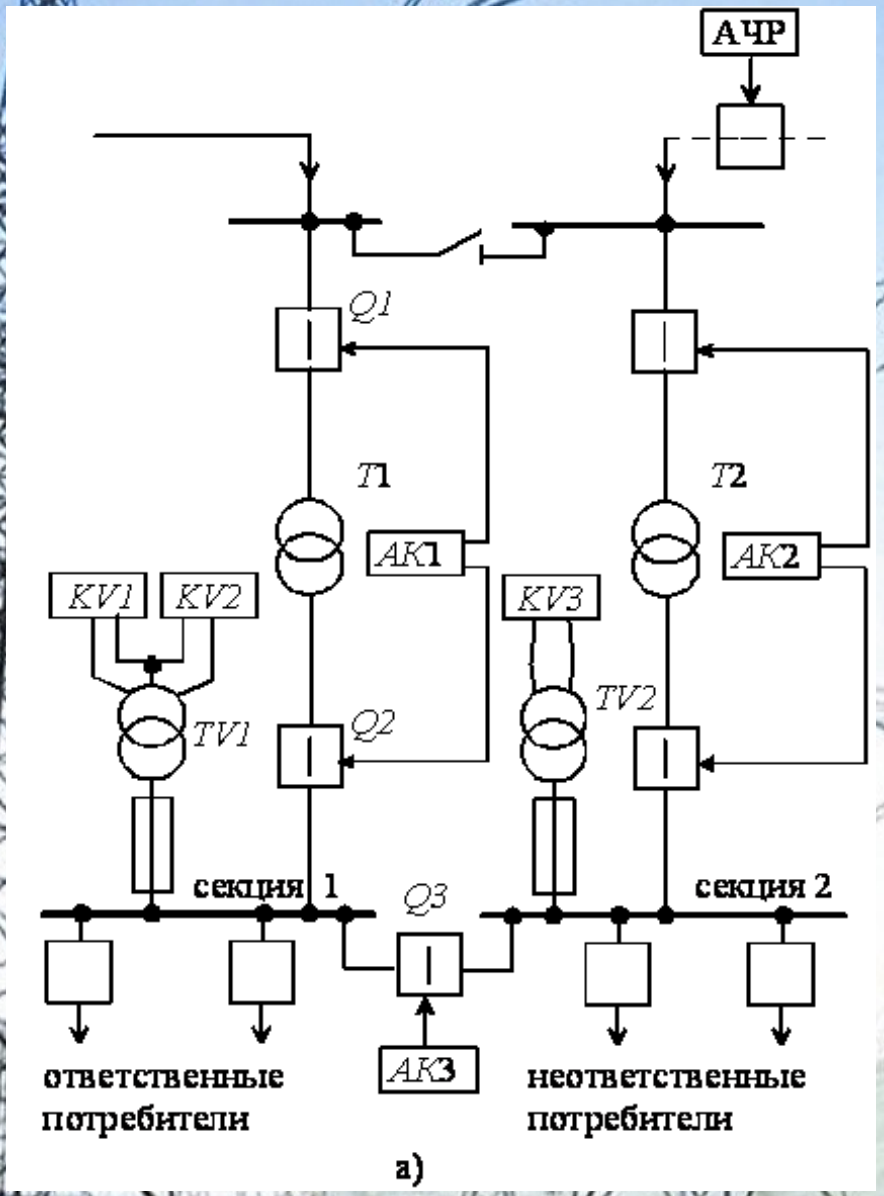
При повреждении вторичных цепе TV1 и перегорании одного из FU1 или FU2 замкнется контакт тольк одного реле реле KV1 или KV2. Так осуществляется контроль исправности вторичных цепей ТН

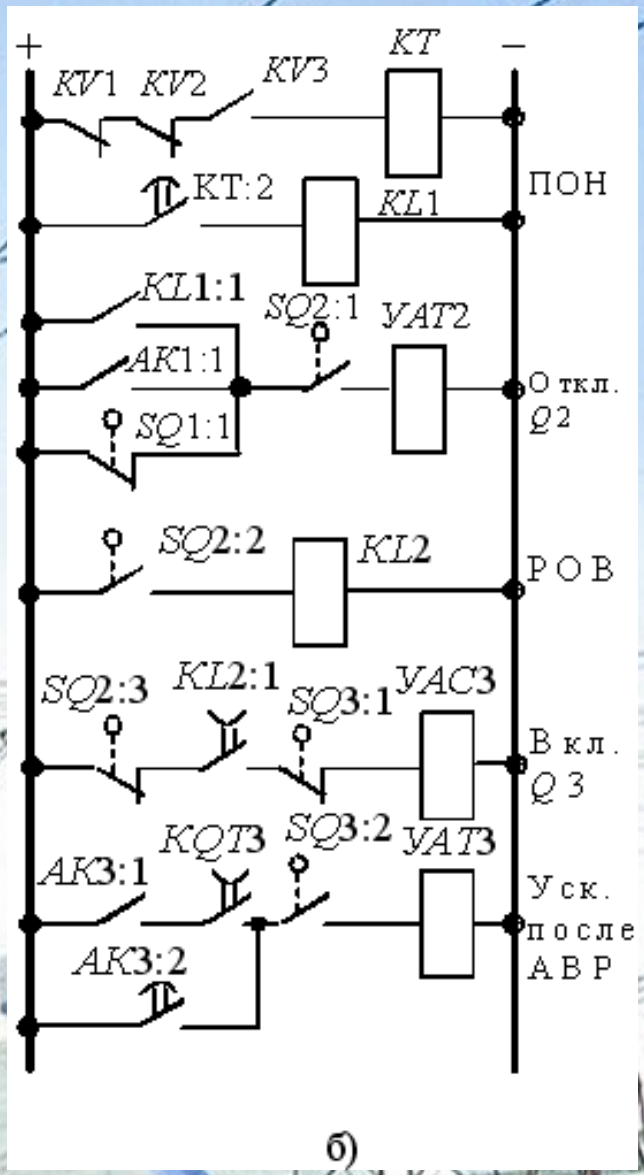
Включение резервного источника



Подача команды на включение резервного источника производится от вспомогательного контакта выключателя рабочей цепи SQ1 (а) или от контакта реле положения отключено KQT этого выключателя (б) при его отключении по любой причине, в том числе и от пускового органа. При этом обеспечивается однократность подачи команды благодаря размыканию цепи контактом реле KL (а) или KQC (б), имеющими замедление при возврате. Выдержка времени при возврате должна быть достаточной для надежного включения выключателя резервной цепи, но должна быть ограничена, чтобы не допустить повторное включение этого выключателя при устойчивом КЗ на шинах.

АВР двухтрансформаторной подстанции





Автоматическая частотная разгрузка энергосистем (АЧР)

Лекция 3.3

Назначение АЧР

АЧР входит в систему АОСЧ (автоматика ограничения снижения частоты)

Граница допустимых значений частоты f и времени их существования $t_{доп}$ по действующим руководящим материалам определяется характеристикой:

f_c, Гц	48,5	47	46	45
$t_{доп}$, с	<60	<20	<10	0

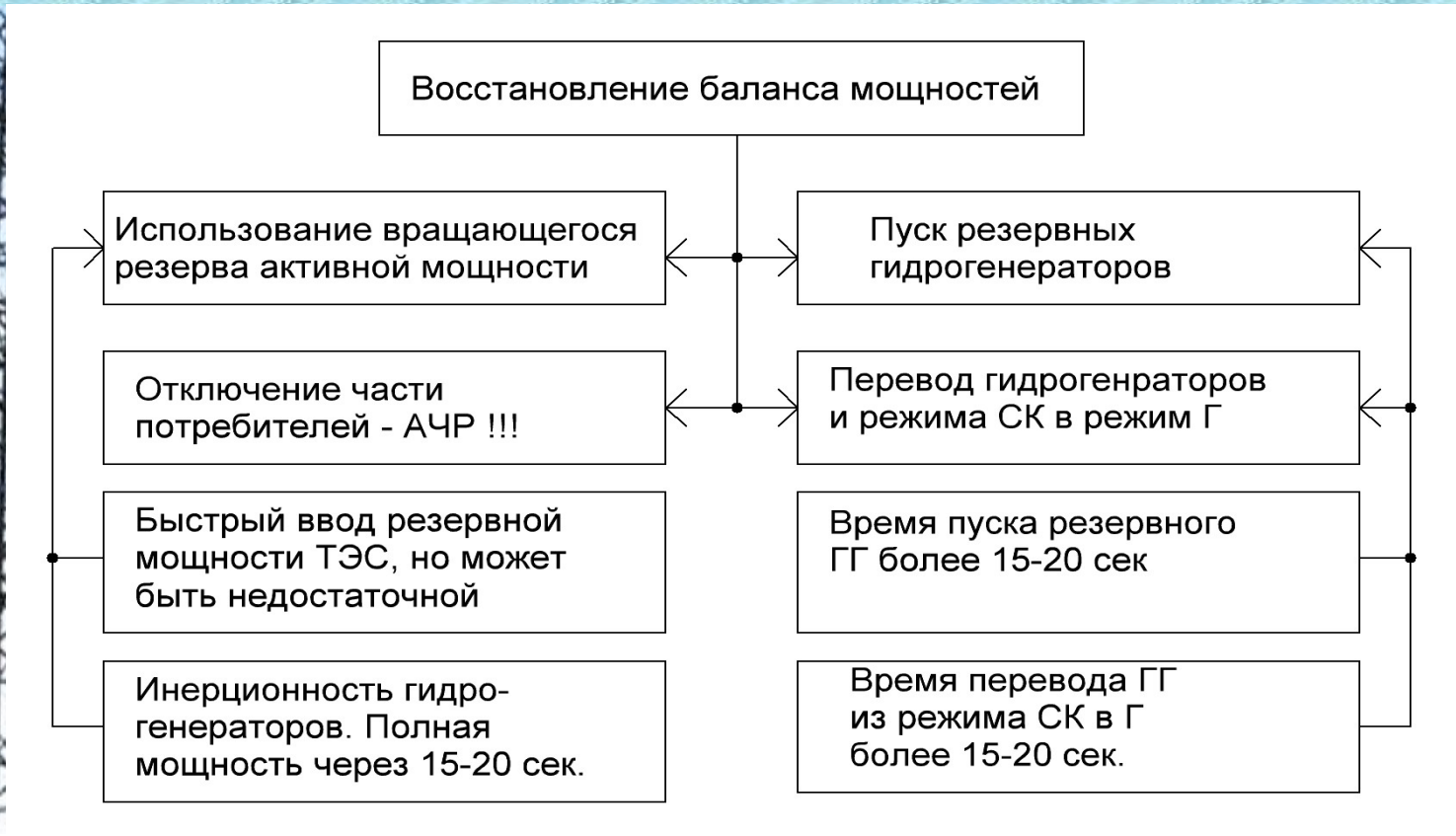
В изменившихся условиях работы энергосистем (ввод в работу маломаневренных крупных энергоблоков ТЭС и АЭС, изменение структуры электропотребления) рекомендована следующая граница:

f_c, Гц	48,0	47,5	47,0
$t_{доп}$, с	<30	<10	0

После действия АЧР частота должна восстанавливаться до значения, превышающего 48,5 (в новых условиях 49,2)Гц.

АОСЧ осуществляет АЧР с целью предотвращения лавины частоты и напряжения. АОСЧ выделяет электростанции со сбалансированной нагрузкой (деление системы) и выделяет генераторы на питание собственных нужд электростанции. АОСЧ восстанавливает питание потребителей, отключенных АЧР, при восстановлении частоты (частотное АПВ).

Мероприятия по предотвращению аварий, связанных со снижением частоты.

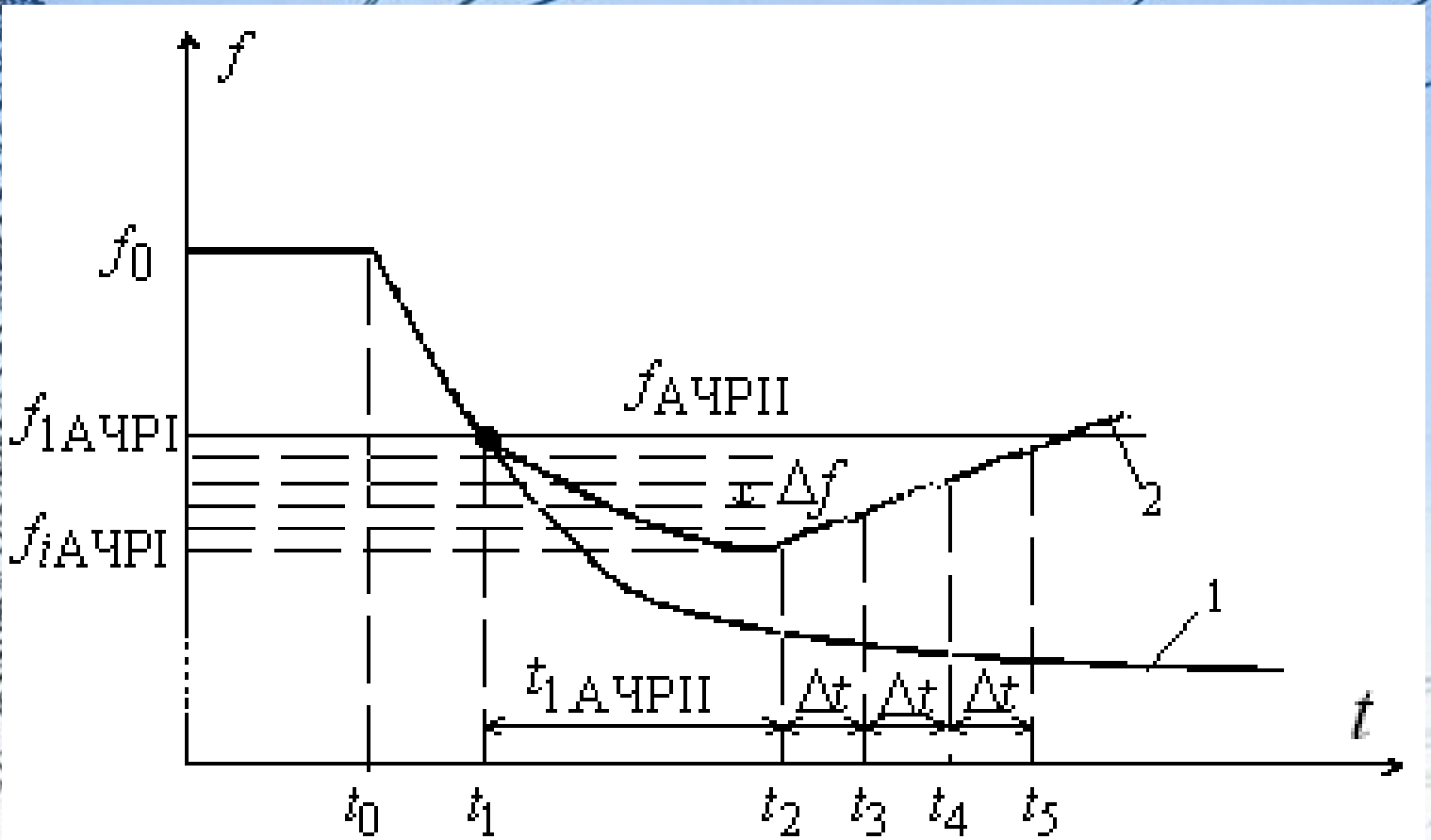


Резерв активной мощности ГЭС эффективен для восстановления частоты.
Частотна разгрузка → ущерб у потребителей.
Но предотвращает значительно больший ущерб , вызванный развалом энергосистемы.

Требования к системе АЧР

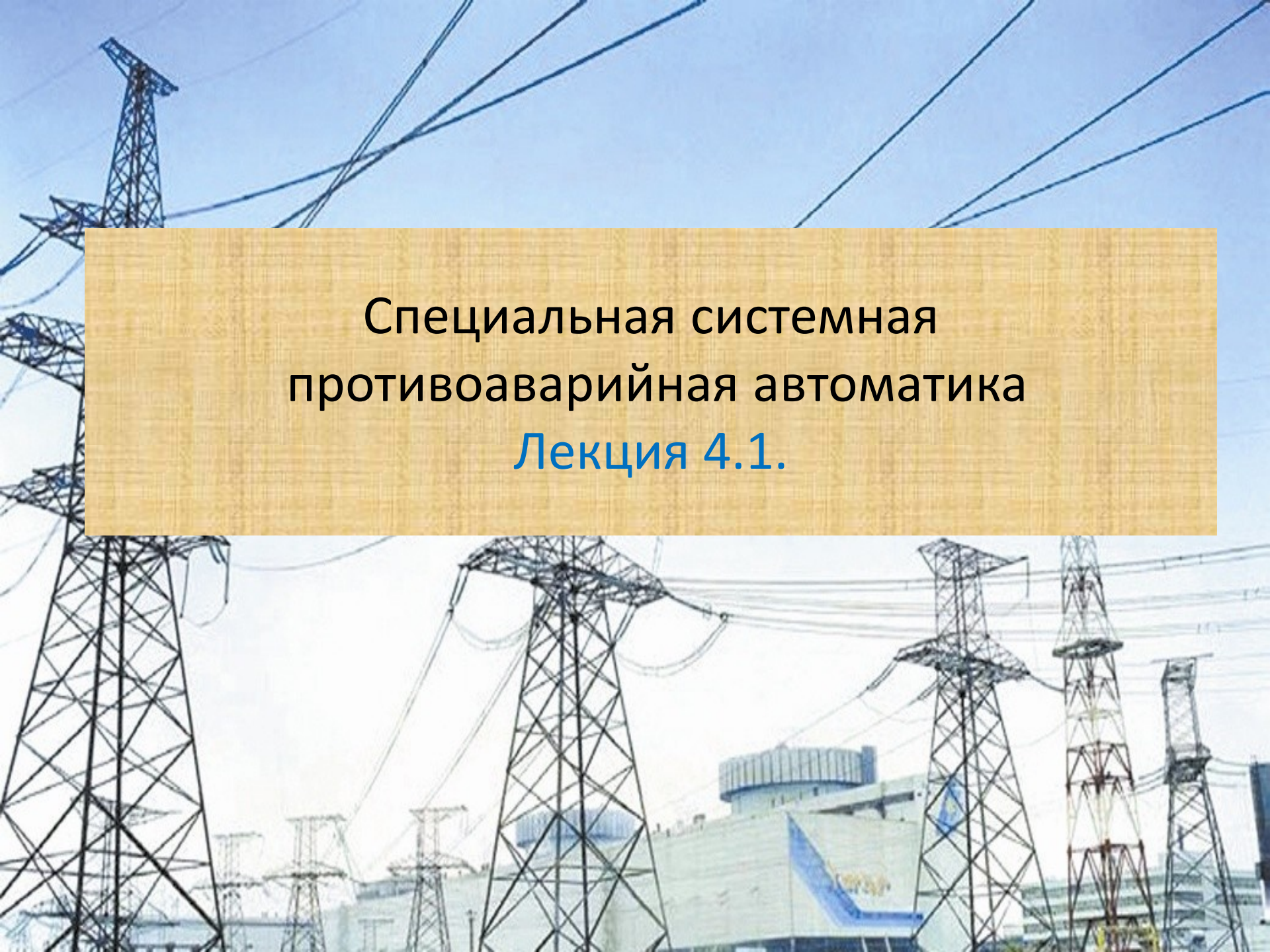
- Суммарная мощность нагрузки для отключения АЧР, должна быть достаточной для ликвидации максимального возможного дефицита мощности.
- Система АЧР должна обеспечивать соответствие между суммарной мощностью, отключаемой АЧР, и возникшим дефицитом (это самонастройка).
- Должна обеспечиваться очередность отключения потребителей, определяемая их ответственностью или договорными обязательствами.
- Устройства АЧР должны обеспечить ликвидацию любого дефицита мощности независимо от места его возникновения без перегрузки линий электропередачи.
- Устройства АЧР не должны допускать снижение частоты ниже границы допустимых значений частоты и времени.
- После действия АЧР частота должна восстанавливаться, как правило, до 49-49.5 Гц. Дальнейший подъем частоты осуществляется путем автоматического регулирования мощности и пуска резервных ГГ или же действиями диспетчеров.
- Действия устройства АЧР должны быть приоритетными для АПВ и АВР с тем, чтобы исключить возможность восстановления питания потребителей.
- Устройства АЧР не должны ложно срабатывать при КЗ, их отключении от РЗ, в циклах АПВ и АВР.

Принцип построения АЧР



1 – при отсутствии АЧР;

2 – при наличии АЧРI и АЧРII



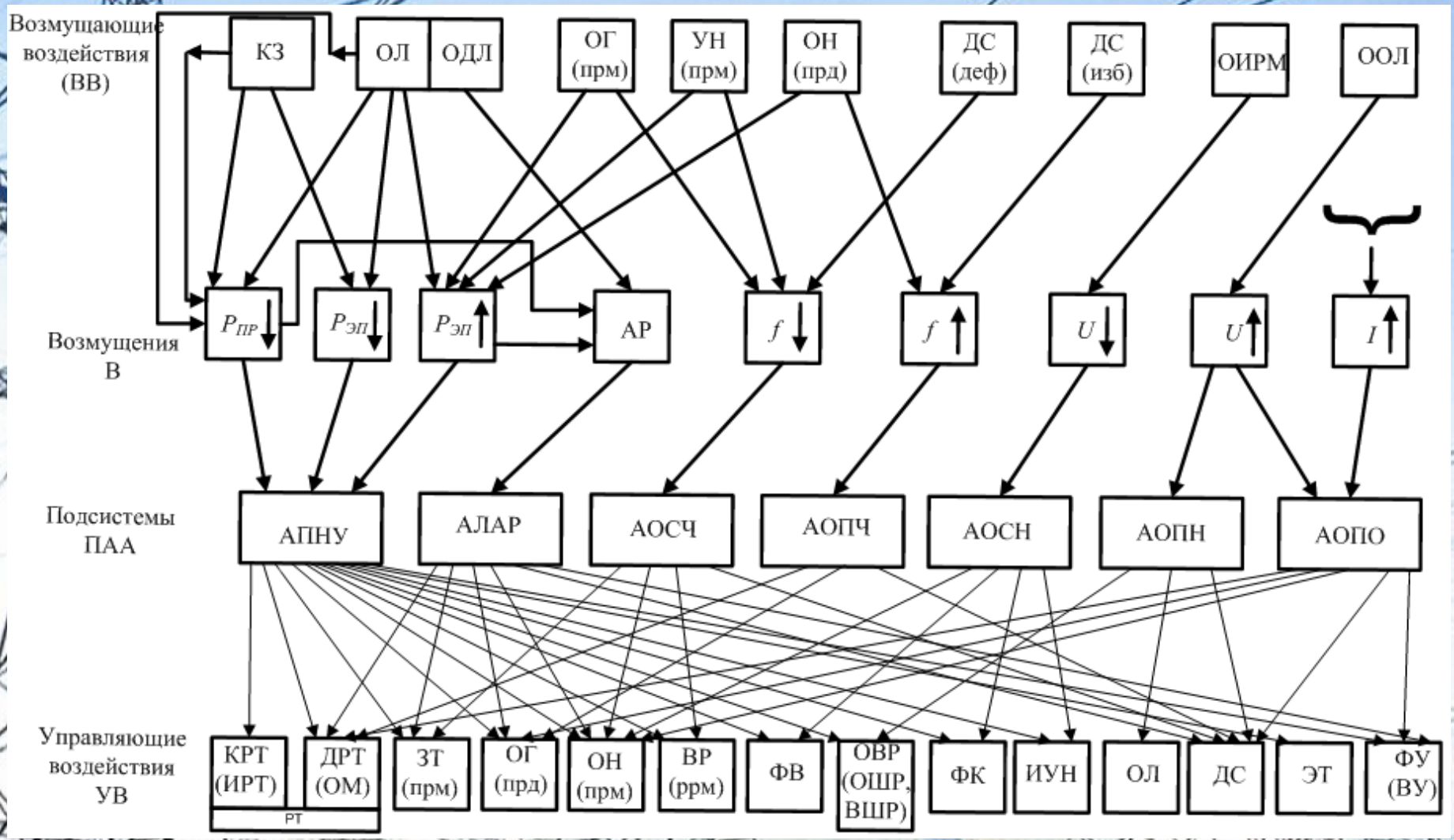
Специальная системная противоаварийная автоматика

Лекция 4.1.

Назначение и виды противоаварийной автоматики

- Противоаварийная автоматика (ПАА) выполняет следующие **функции**:
- автоматическое предотвращение нарушения статической и динамической устойчивости энергосистемы – АПНУ (или автоматическое управление мощностью электростанций с целью сохранения устойчивости энергосистемы – АУМСУ);
- автоматическая ликвидация асинхронного режима – АЛАР (раньше – автоматическое прекращение асинхронного хода – АПАХ);
- автоматическое ограничение отклонений (снижения и повышения) частоты и напряжения сверх допустимых пределов – АОСЧ, АОПЧ, АОСН, АОПН;
- автоматическое ограничение перегрузки оборудования – АОПО (автоматическая разгрузка оборудования – АРО).

Возмущающие и управляющие воздействия в ЭЭС



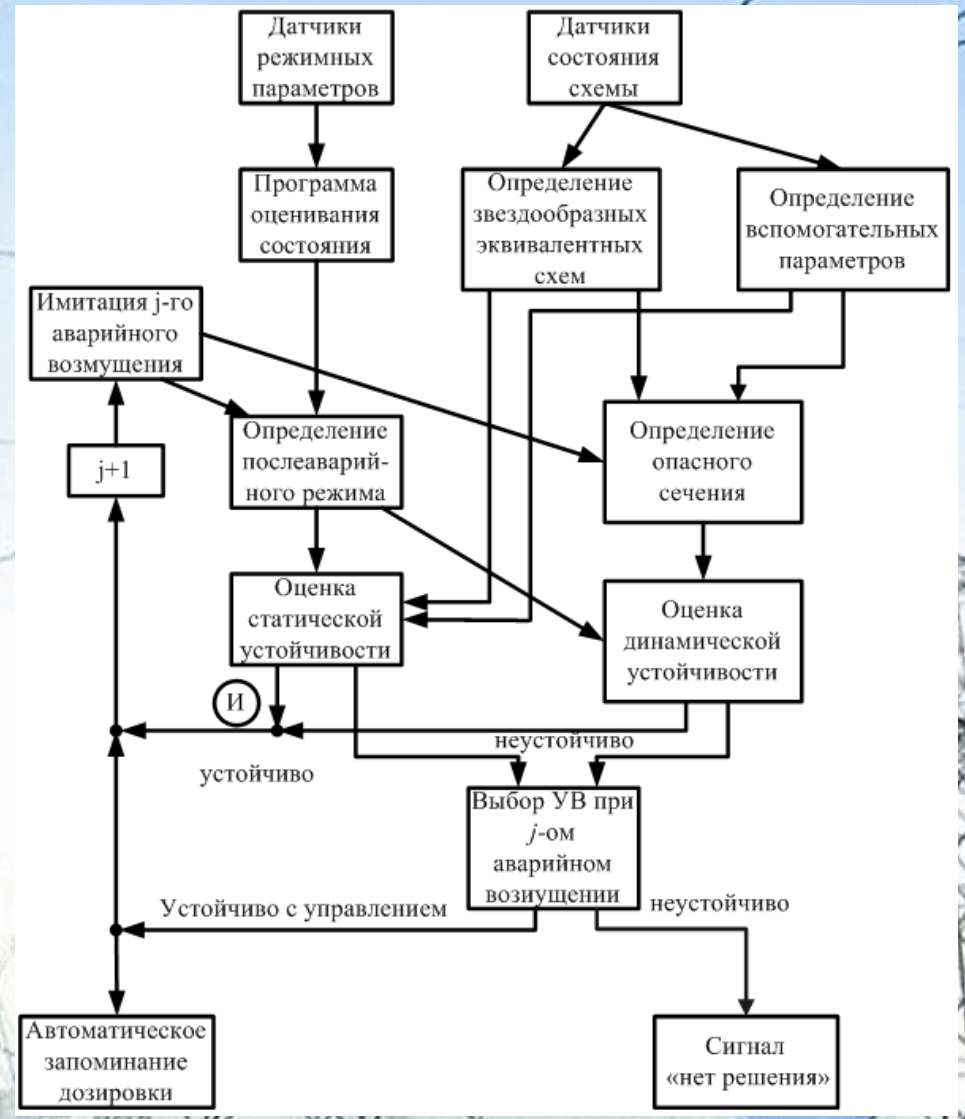
Автоматическое предотвращение нарушения устойчивости

Лекция 4.2.

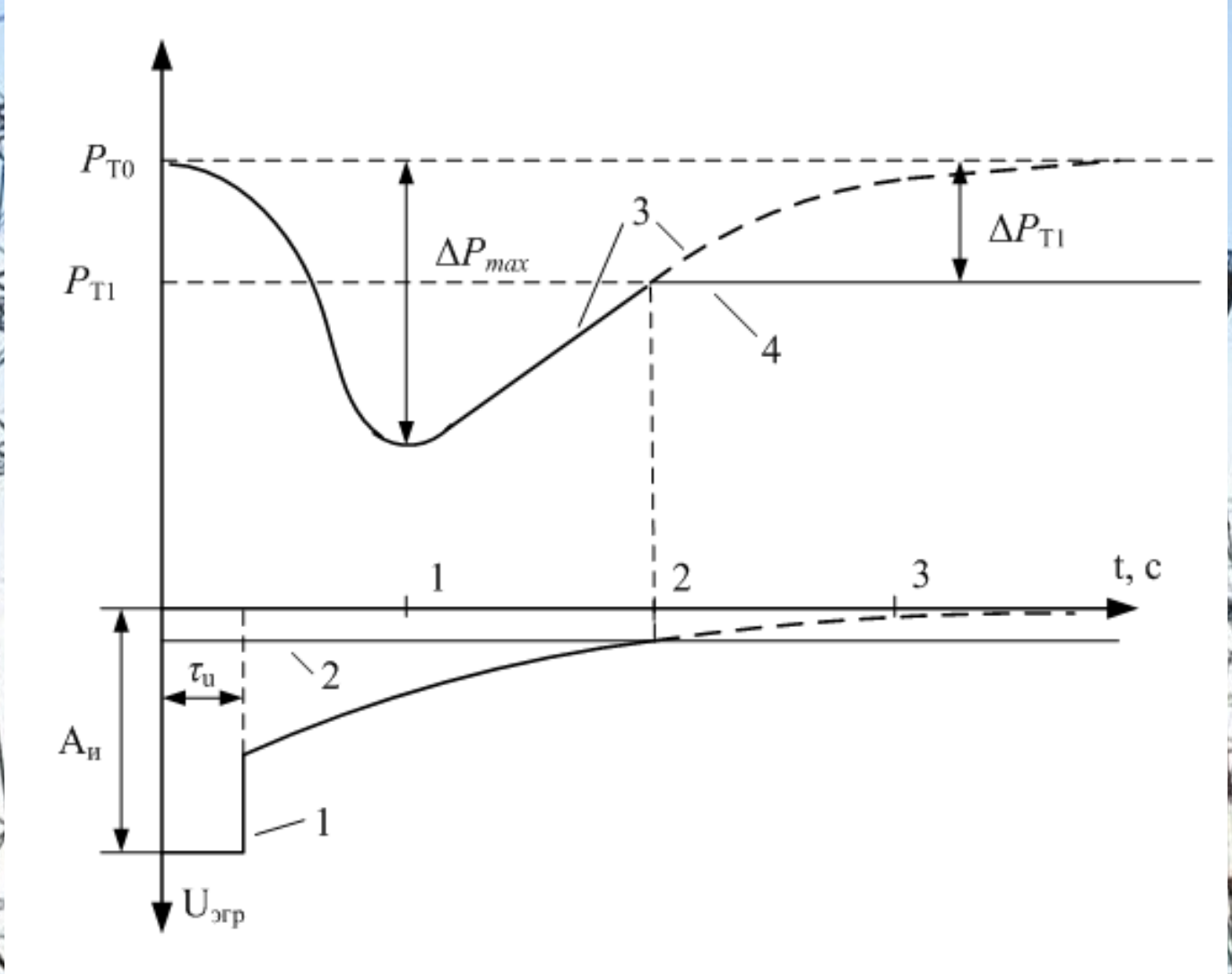
Структура АПНУ

•АПНУ предотвращает нарушения ДУ и СУ и обеспечивает нормативный запас СУ в послеаварийном режиме.
•АПНУ фиксирует возмущающее воздействие и вырабатывает дозированное управляющее воздействие.
•**Локальные** устройства АПНУ:
•АРОЛ – автоматика разгрузки при отключении линии электропередачи;
•АРОГ – автоматика разгрузки при отключении генератора;
•АРСП, АРДП – автоматика разгрузки при статической и динамической перегрузке электропередачи;
•АРБКЗ, АРЗКЗ – автоматика разгрузки при *близких* КЗ, *затяжных* КЗ.
•**Централизованные** комплексы контролируют режим региона, и передают управляющие воздействия на исполнительные устройства.

Блок-схема адаптивного алгоритма дозировки управляющих воздействий



Сигналы на разгрузку и процесс снижения мощности P_T паровой турбины



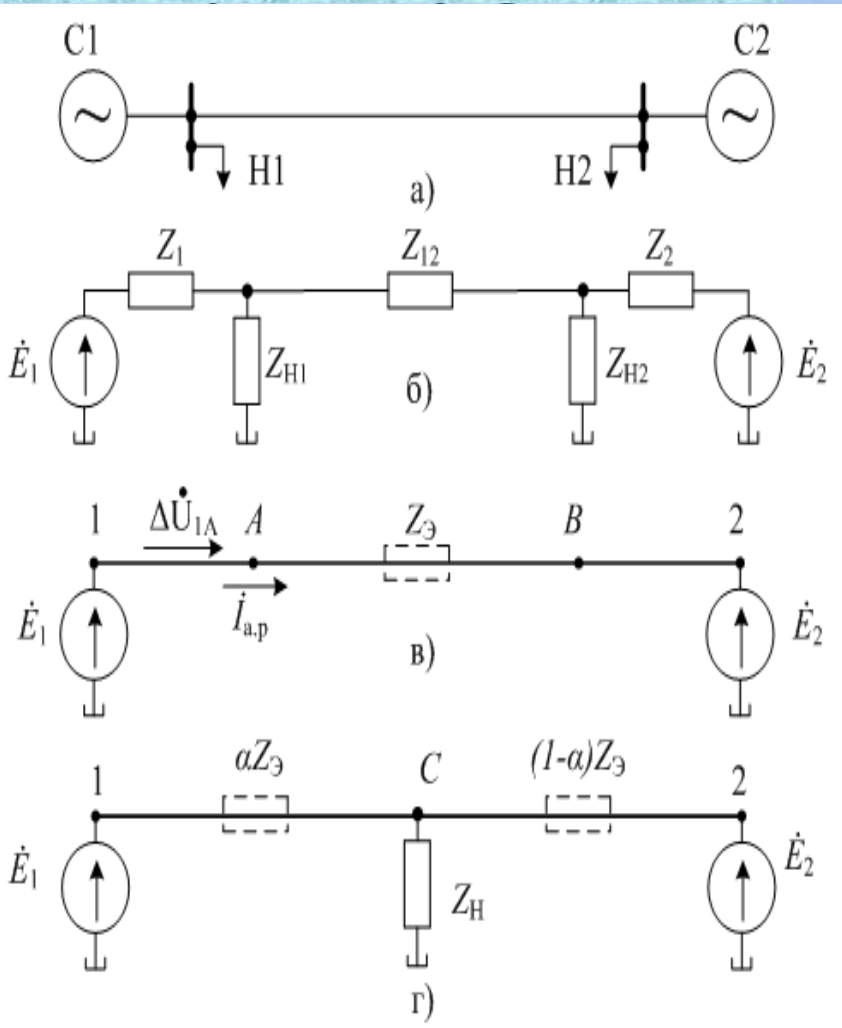
Автоматическая ликвидация асинхронного режима (АЛАР)

Лекция 4.3.

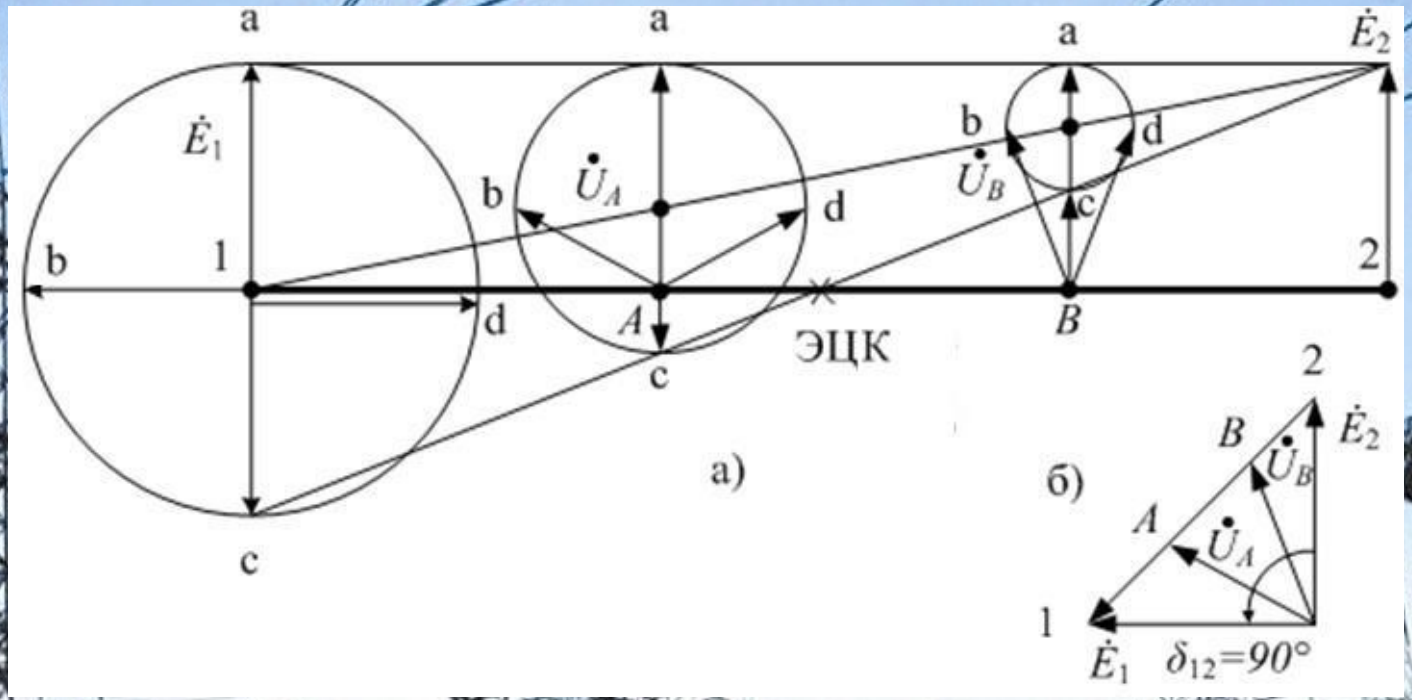
Основные сведения и назначение АЛАР

Причины асинхронного режима:
а) нарушение параллельной работы генераторов;
б) потеря возбуждения СГ.
Назначение АЛАР:
Устройства АЛАР предназначены для выявления и ликвидации асинхронного режима генераторов. Если асинхронный режим многомашинный, то отключают группы генераторов сохранивших синхронизм и сводят многомашинный асинхронный режим к двухмашинному.
При асинхронном режиме угол между ЭДС несинхронных источников δ12 изменяется периодически от 0 до 360 градусов с частотой скольжения fs1=f1-f2.

При синхронных качаниях взаимное скольжение периодически меняет знак, колеблясь около нуля. А угол δ12 изменяется от -180 градусов до +180 градусов.



Признаки асинхронного режима, ч.1



Вектор E1 вращается. Вектор E2 неподвижен.
Вектор напряжения в точке А вращается и периодически изменяет свою величину.
Вектор напряжения в точке В изменяет свою величину и колеблется.
В электрическом центре колебаний (ЭЦК) напряжений вектор напряжения тоже колеблется и изменяет свою величину. И он становится равен нулю при δ12=180 градусов между E1 и E2.
Векторная диаграмма на рис. б) поясняет построение векторов UA и UB при δ12=90.

Алгоритмы ликвидации асинхронного режима

1. АР недопустим. АЛАР должна действовать на деление асинхронно работающих частей ЭЭС.
2. АР допустим; АЛАР выполняет ресинхронизацию путем восстановления баланса мощностей:
-- В дефицитной части ЭС набор мощности турбин или отключение части потребителей.
-- В избыточной части ЭС уменьшение генерируемой мощности или отключение части генераторов.
-При неудаче после заданного числа качаний переход на деление “”С/
3. АР допустим в частях ЭЭС; АЛАР осуществляет деление ЭЭС на части, выполняет ресинхронизацию в частях ЭЭС. При неудаче выполняет деление в частях ЭЭС.

После деления ЭЭС должен быть восстановлен баланс мощностей в каждой из разделившихся частей с использованием системы автоматического регулирования частоты и мощности (САРЧМ). Включение линий электропередачи производится устройствами АПВ с контролем синхронизма.

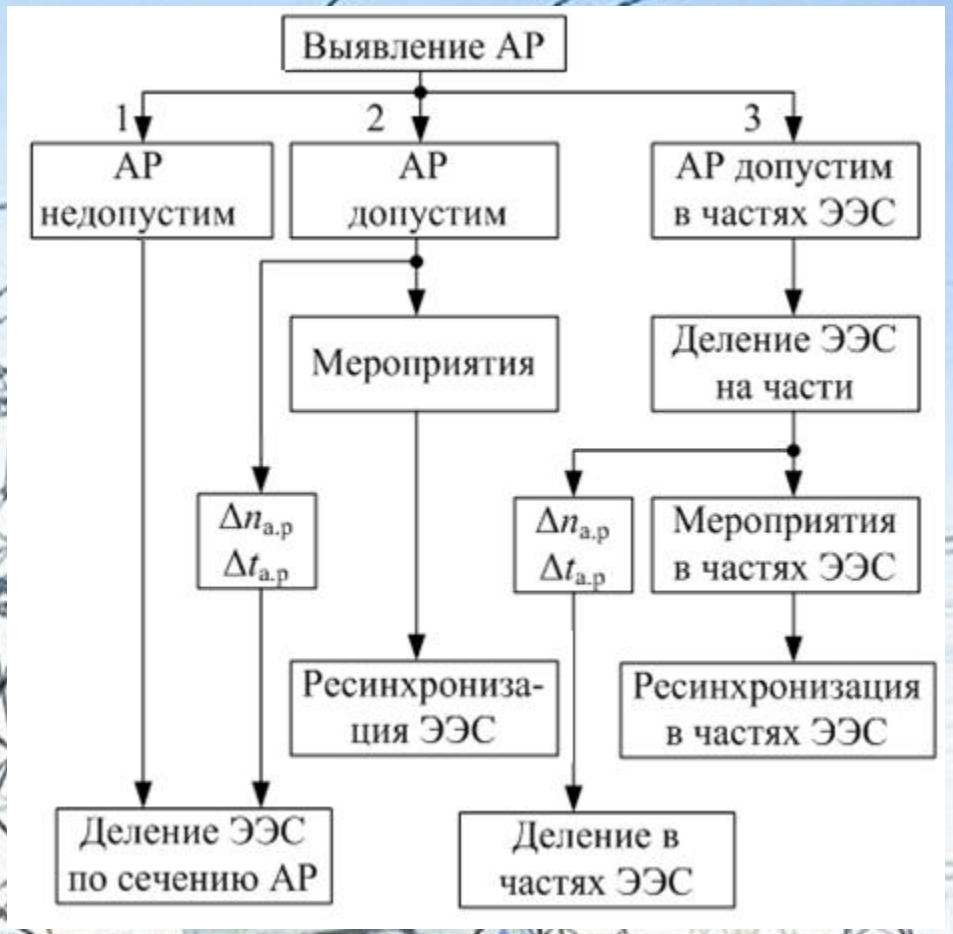
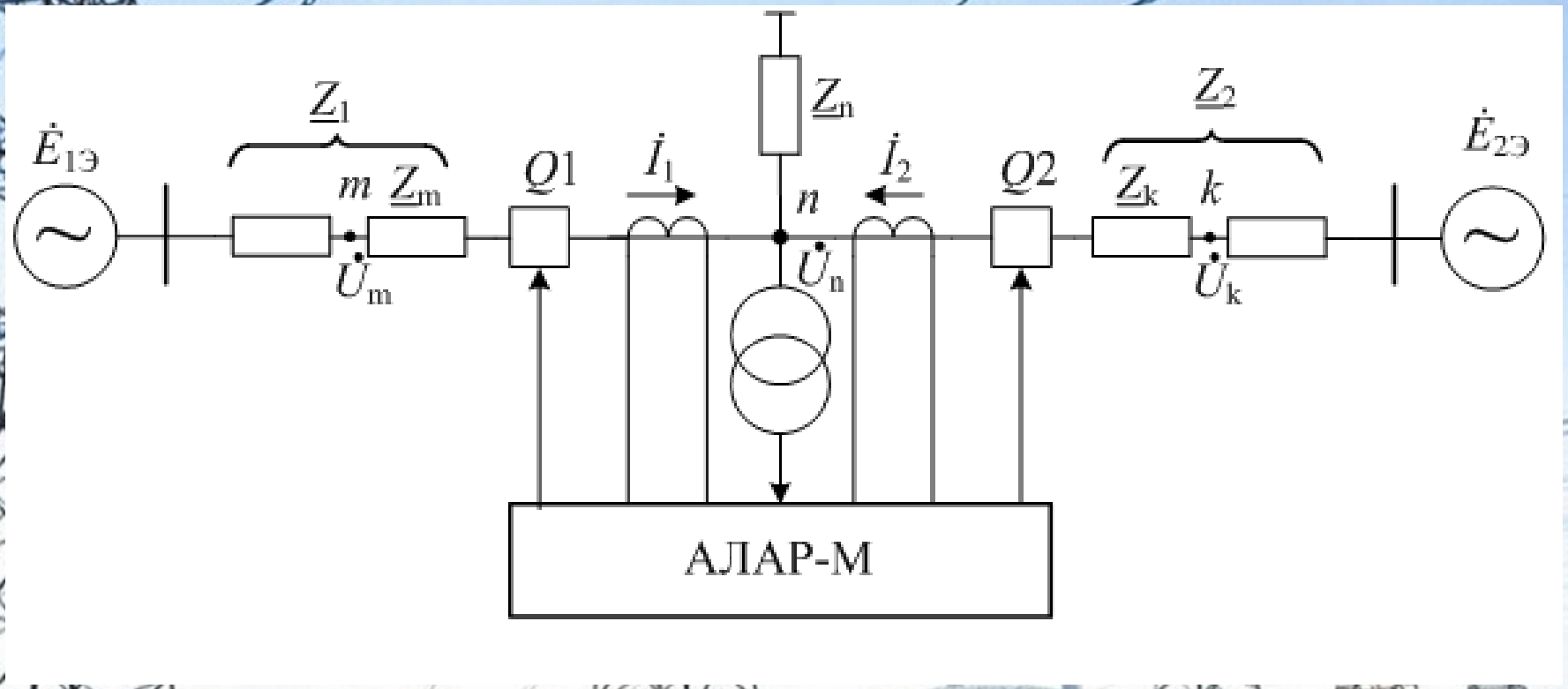


Схема подключения АЛАР-М



Автоматическое ограничение отклонений параметров режима

Схема замещения – а и векторная диаграмма – б электропередачи, отключенной с одной стороны

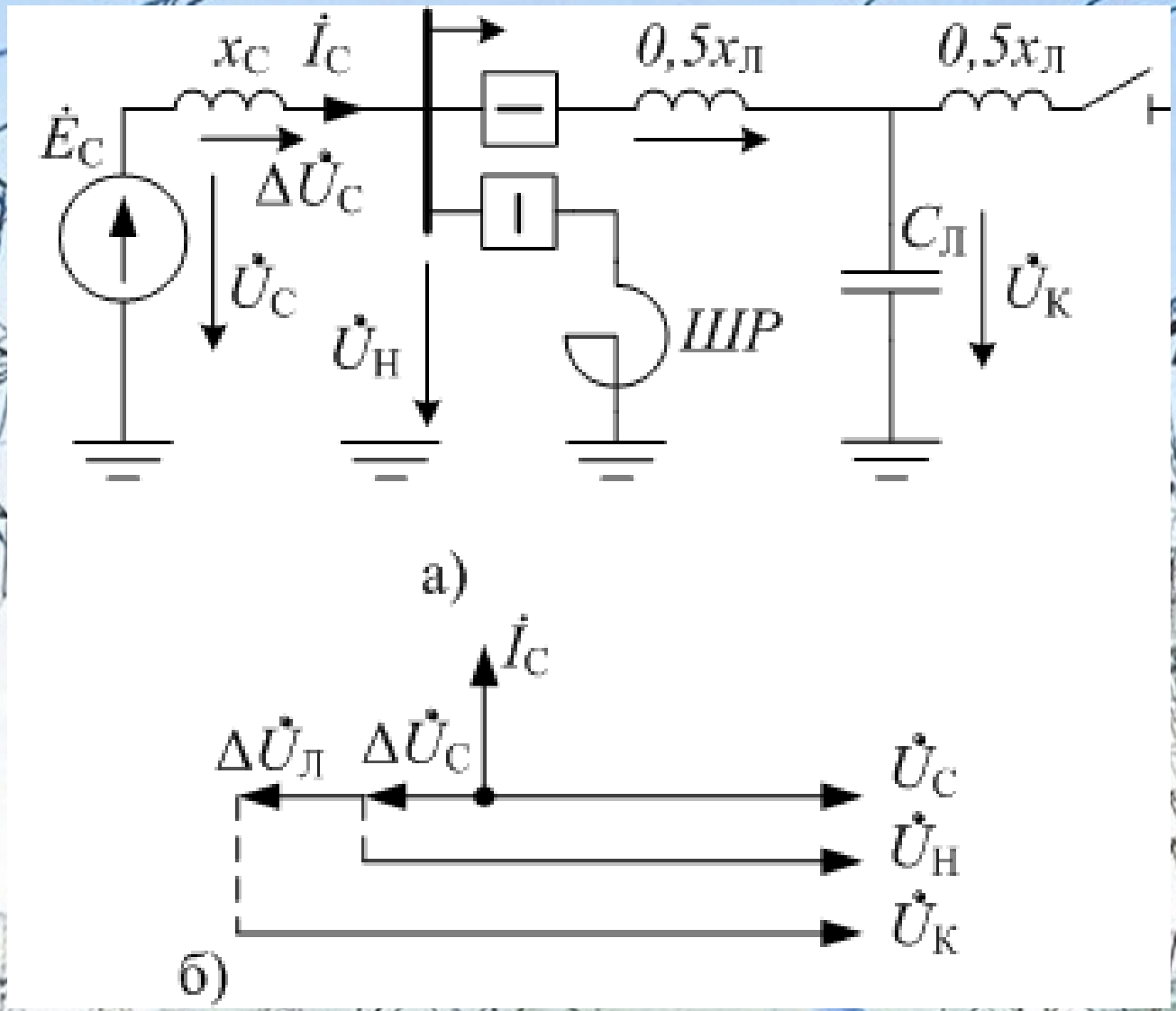
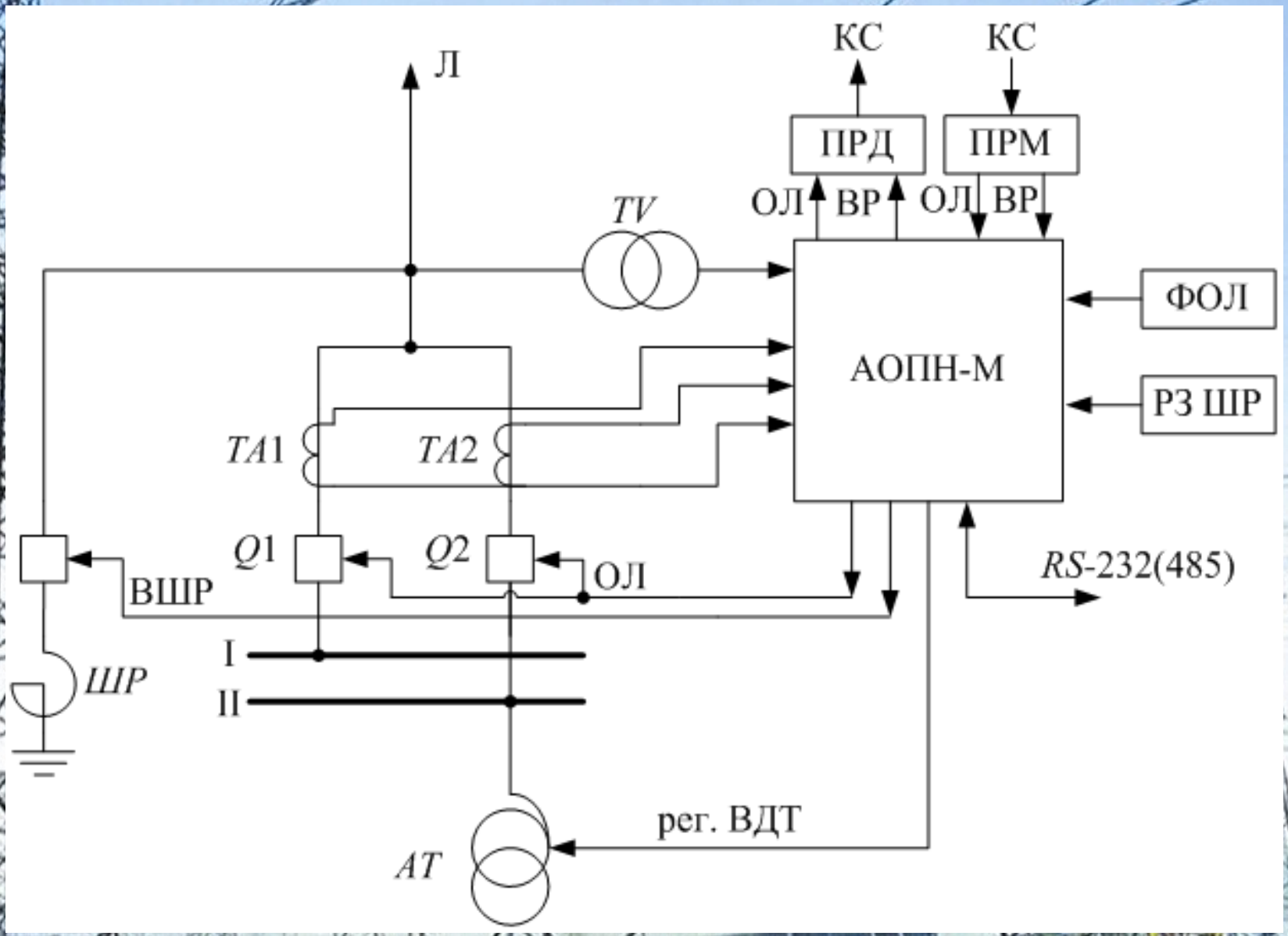


Схема подключения устройства АОПН-М



БУДУЩЕЕ ЭНЕРГЕТИКИ
ЗАВИСИТ ОТ ВАС !