РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Лекции: 32 ч
Практики: 24 ч
Лабораторные: 16 ч
Самост.: 108 ч

Экзамен

Васильев Алексей Сергеевич

к.т.н. доцент ОЭЭ ИШЭ

Лекция 9

Сетевая автоматика

Автоматическое повторное включение (АПВ)

Автоматическое повторное включение

Если поврежденную **ЛЭП** **быстро отключить**, т. е. снять с нее напряжение, то в большинстве случаев **повреждение ликвидируется**. При этом электрическая дуга, возникавшая в месте короткого замыкания (КЗ), **не успевает вызвать существенных разрушений** оборудования, препятствующих обратному включению линии под напряжение.

Автоматическое повторное включение (АПВ) – предназначено для быстрого восстановления питания потребителей путем автоматического включения элементов сети, отключенных устройствами РЗ.

Примеры самоустраняющихся повреждений

Примеры самоустраняющихся повреждений (70–80% от общего числа)

«Пляска» проводов при сильном ветре

Удар молнии

Ветка, заброшенная ветром

Успешные АПВ – аварийно отключившийся элемент остается в работе после однократного действия АПВ приблизительно в 70% случаев, после двукратного – в 20–30%

Область применения АПВ

ЛЭП U≥1 кВ
(воздушные и смешанные кабельно-воздушные линии)

Сборные шины,
оборудованные дифф. защитой

Трансформаторы
(понижающие) S≥1 МВА.

Двигатели,
отключенные АЧР

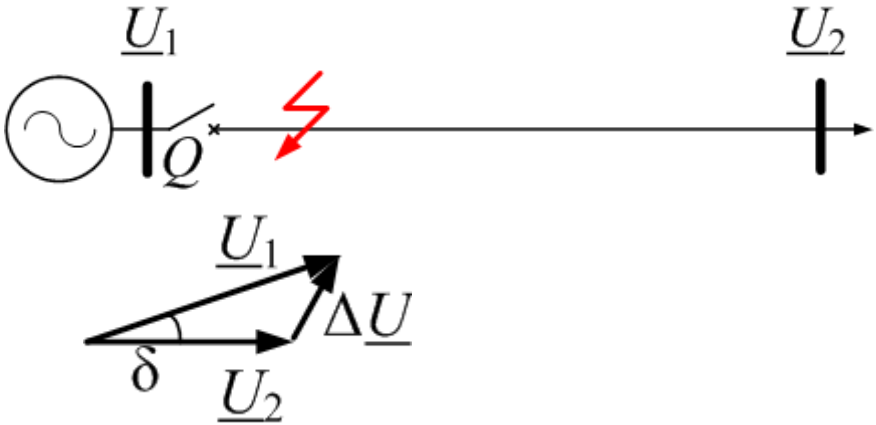
Виды АПВ

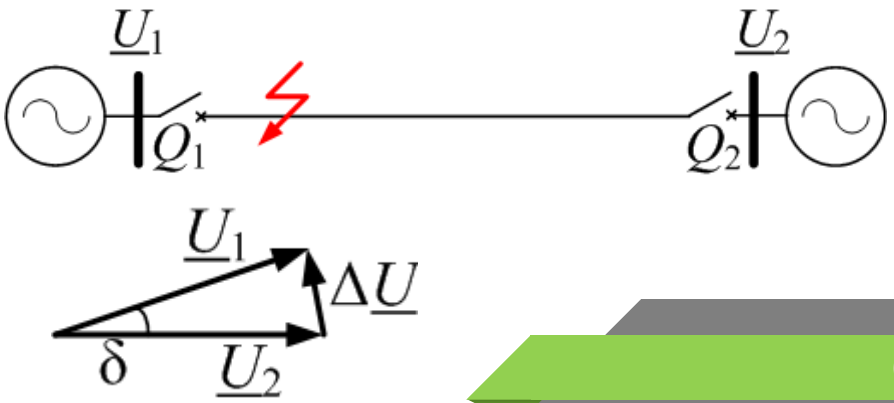
Для линий с односторонним питанием:

- простое трехфазное АПВ

Для линий с двухсторонним питанием:

- несинхронные (НАПВ)
- быстродействующие (БАПВ)
- с ожиданием синхронизма (АПВОС) и контролем отсутствия-наличия напряжения (КОН, КНН)
- с улавливанием синхронизма (АПВУС) и КОН, КНН





Общие требования к АПВ

- Постоянная готовность к действию
- Срабатывание при всех случаях аварийного отключения выключателя

(кроме случаев отключения действием РЗ после включения выключателя дежурным персоналом)

- Схемы АПВ должны допускать возможность автоматического вывода их из действия при срабатывании тех или иных защит
- Действие АПВ должно быть согласовано с действием других устройств автоматики

Общие требования к АПВ

- Не должны приходить в действие при отключении выключателя дежурным персоналом (пуск УАПВ от несоответствия положения выключателя и его ключа управления)

Ограниченно применяется также пуск УАПВ при срабатывании РЗ, однако это не обеспечивает действие АПВ при аварийном отключении ЛЭП без срабатывания РЗ.

Общие требования к АПВ

- УАПВ должны иметь минимально возможное время срабатывания для сокращения времени перерыва в питании потребителя, но при этом не менее, чем:
  - время восстановления готовности привода выключателя к включению ($t_{гп}$ обычно 0,1–0,3 с);
  - время деионизации среды в точке повреждения (0,08–0,4 с);
  - время восстановления отключающей способности выключателя ($t_{гв} < t_{гп}+t_{вв}$, $t_{вв}$ – время включения выключателя);
  - плюс время запаса $t_{зап}$= 0,4–0,5 с.

Время деионизации $t_{ДС}$ среды в месте повреждения зависит от $U_{ном}$ сети

35 кВ – **0,08** с	220 кВ – **0,25** с
110 кВ – **0,17** с	500 кВ – **0,3-0,4** с

Общие требования к АПВ

Суммарное время срабатывания УАПВ $t_{АПВ1}$=0,5–0,8 с.

В случае повышенной вероятности повреждения от падения дерева целесообразно увеличивать время срабатывания до нескольких секунд (для снижения вероятности неселективного перегорания предохранителей).

- УАПВ должны, как правило, предусматривать ускорение действия РЗ
- УАПВ должны возвращаться в состояние готовности к срабатыванию после включения выключателя

Общие требования к АПВ

- При выборе выдержки времени $t_{АПВ2}$ на возврат УАПВ в состояние готовности к срабатыванию должны выполняться следующие требования:
  - УАПВ не должны многократно включать выключатель на неустановившиеся КЗ (обеспечивается при условии если РЗ с максимальной выдержкой времени успеет отключить выключатель, включенный на КЗ, раньше, чем УАПВ вернется в состояние готовности);
  - УАПВ должно быть готово к действию не раньше, чем это допускается по условию работы выключателя после успешного включения его в работу устройством АПВ.

Временная диаграмма цикла АПВ трехфазное АПВ (ТАПВ)

Масляный выключатель

Срабатывание РЗ

Работа выключателя

Готовность привода

Время для деионизации среды

Время запаса

Работа АПВ

$t_{СЗ}$ $t_{возв.}$ t_1 $t_{ОВ}$ $t_{ВВ}$ t_2 $t_{ГП}$ t_3 $t_{ДС}$ t_4 $\Delta t_{зап}$ $t_{АПВ}$ Q t

Цикл АПВ

Пуск АПВ **Срабатывание АПВ**

$t_{сз}$= 0,02–(4) с

$t_{ОВ}$= 0,02–0,2с

$t_{ГП}$= 0,1–1 с

$t_{ДС}$= 0,08–0,4с

$t_{зап}$= 0,1–0,5с

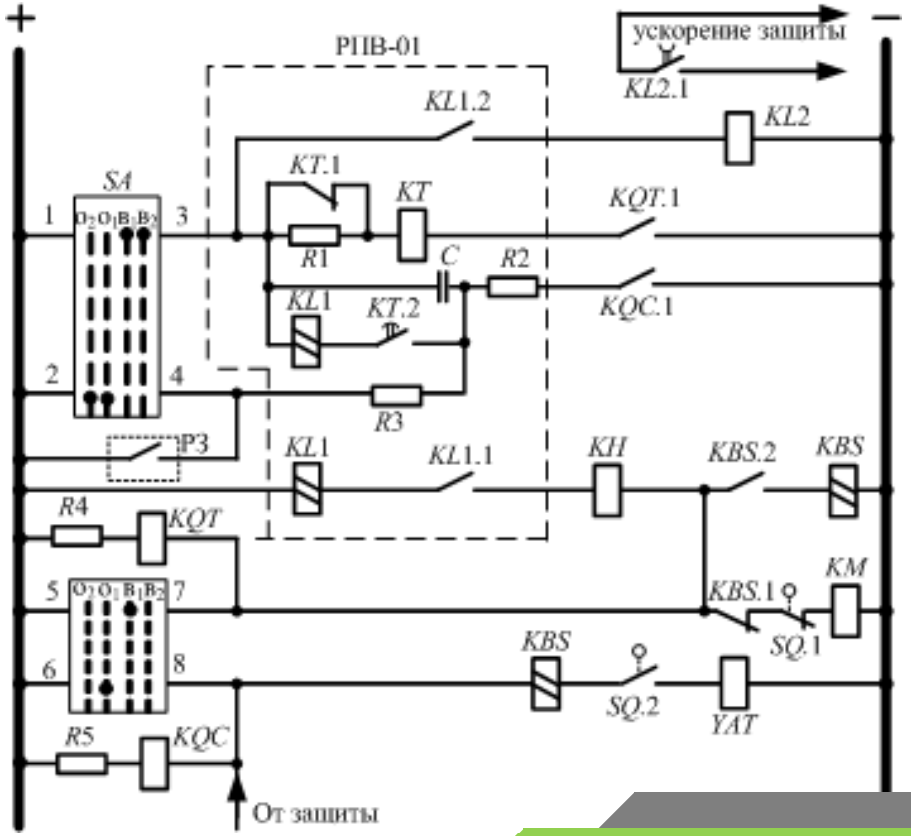
$t_{АПВ}$= $t_{ГП}$ + $t_{зап}$

$t_{АПВ}$= $t_{ДС}$ + $t_{зап}$

Простое трехфазное АПВ (ТАПВ)

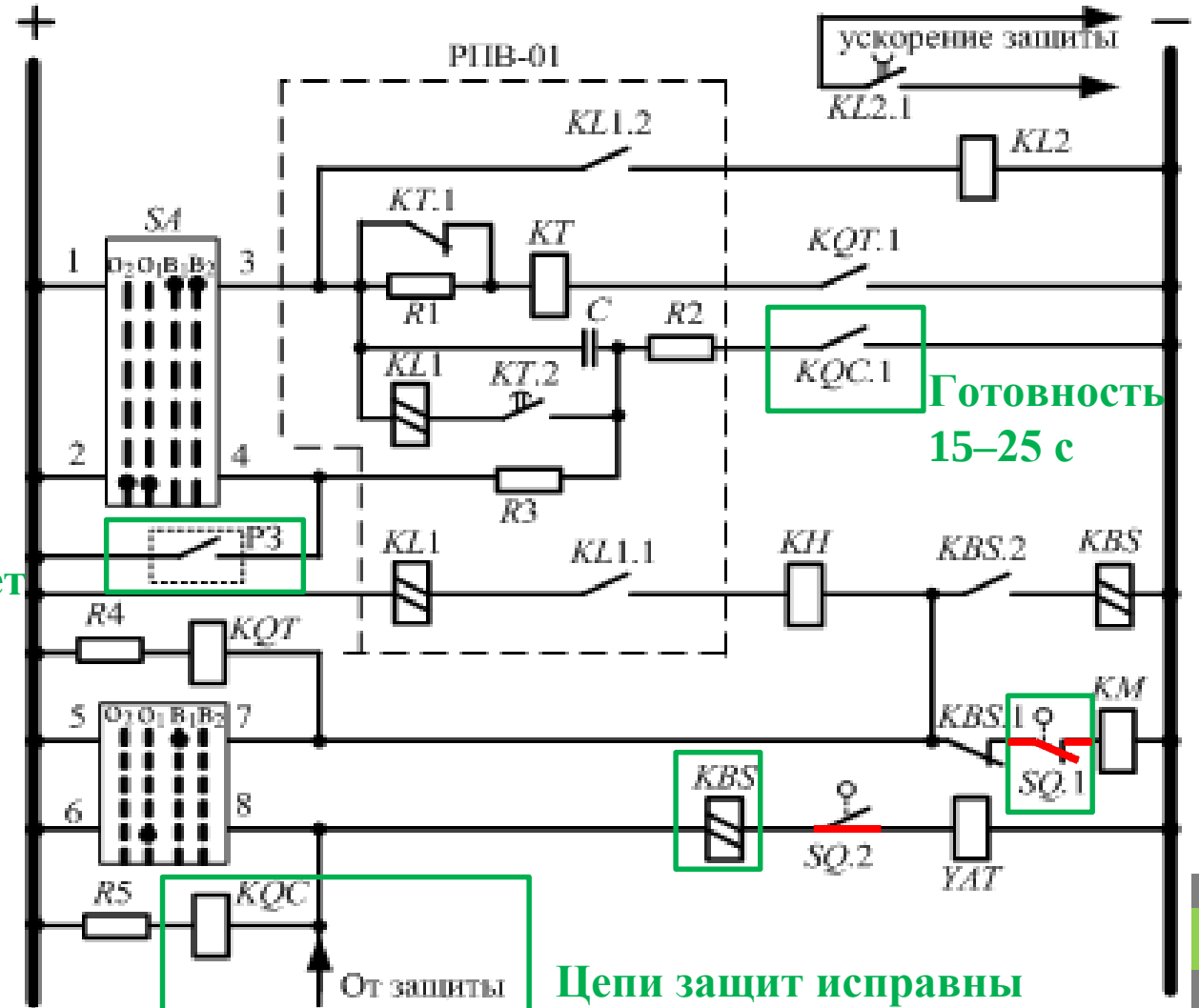
SA – ключ управления,
SQ.1, *SQ*.2 – вспомогательные контакты выключателя,
KT – реле времени,
*KL*1 – исполнительное реле с двумя обмотками,
C – конденсатор, время заряда которого обеспечивает однократность действия АПВ (15–25 с),
R_1, R_4 – токоограничивающие резисторы,
R_2 – зарядный резистор, изменение величины которого изменяет время заряда конденсатора *C*,
KQT – реле положения,
KQC -контроль исправности цепей включения,
KM – контактор
KBS – специальное исполнительное реле с двумя обмотками,
KH – указательное реле.

Схема АПВ однократного действия для линии с масляным выключателем



Простое ТАПВ

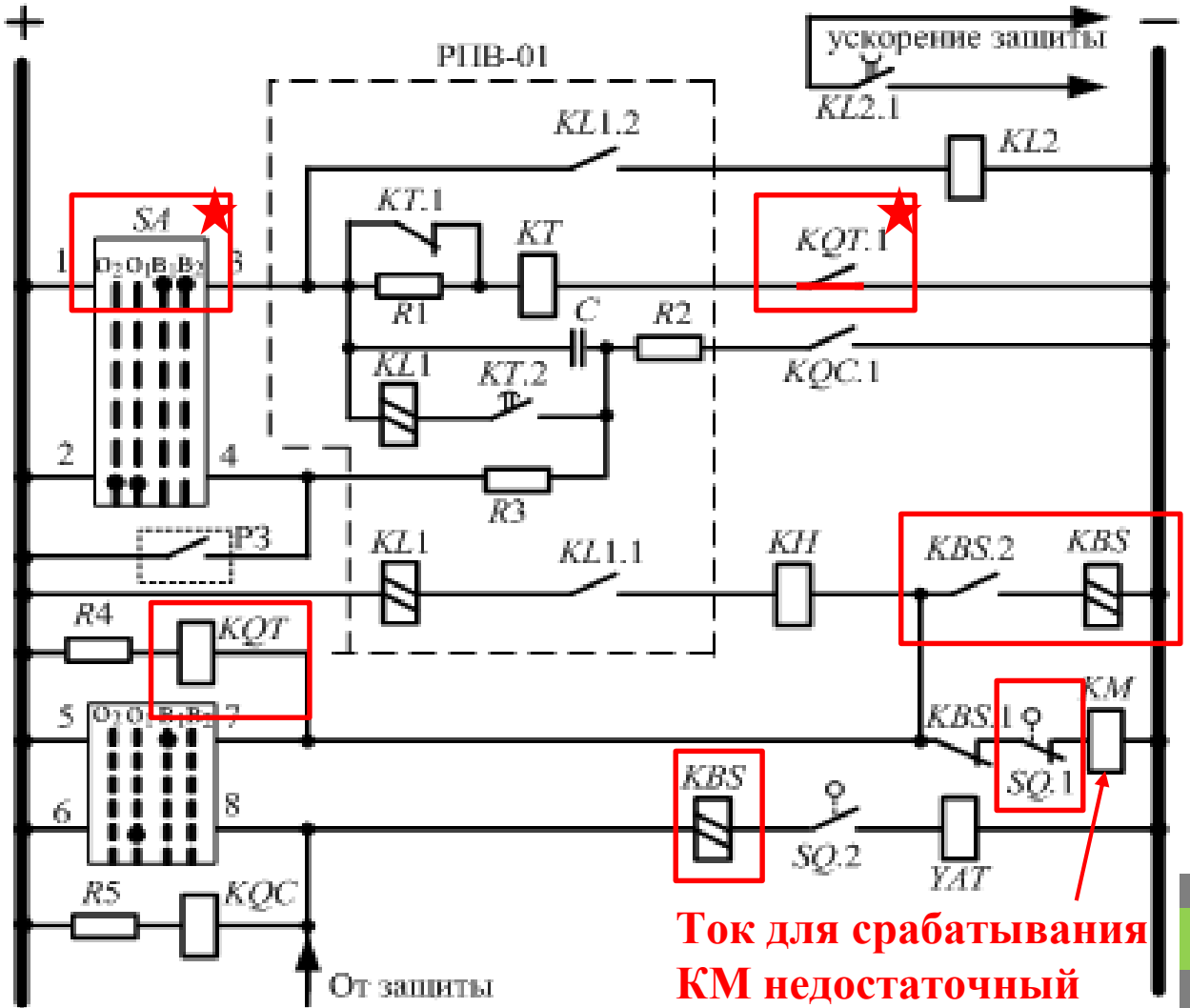
SA – ключ управления,
SQ.1, *SQ*.2 – вспомогательные контакты выключателя,
KT – реле времени,
*KL*1 – исполнительное реле с двумя обмотками,
C – конденсатор, время заряда которого обеспечивает однократность действия АПВ (15–25 с),
R_1, R_4 – токоограничивающие резисторы,
R_2 – зарядный резистор, изменение величины которого изменяет время заряда конденсатора *C*,
KQT – реле положения,
KQC -контроль исправности цепей включения,
KM – контактор
KBS – специальное исполнительное реле с двумя обмотками,
KH – указательное реле.



Простое ТАПВ

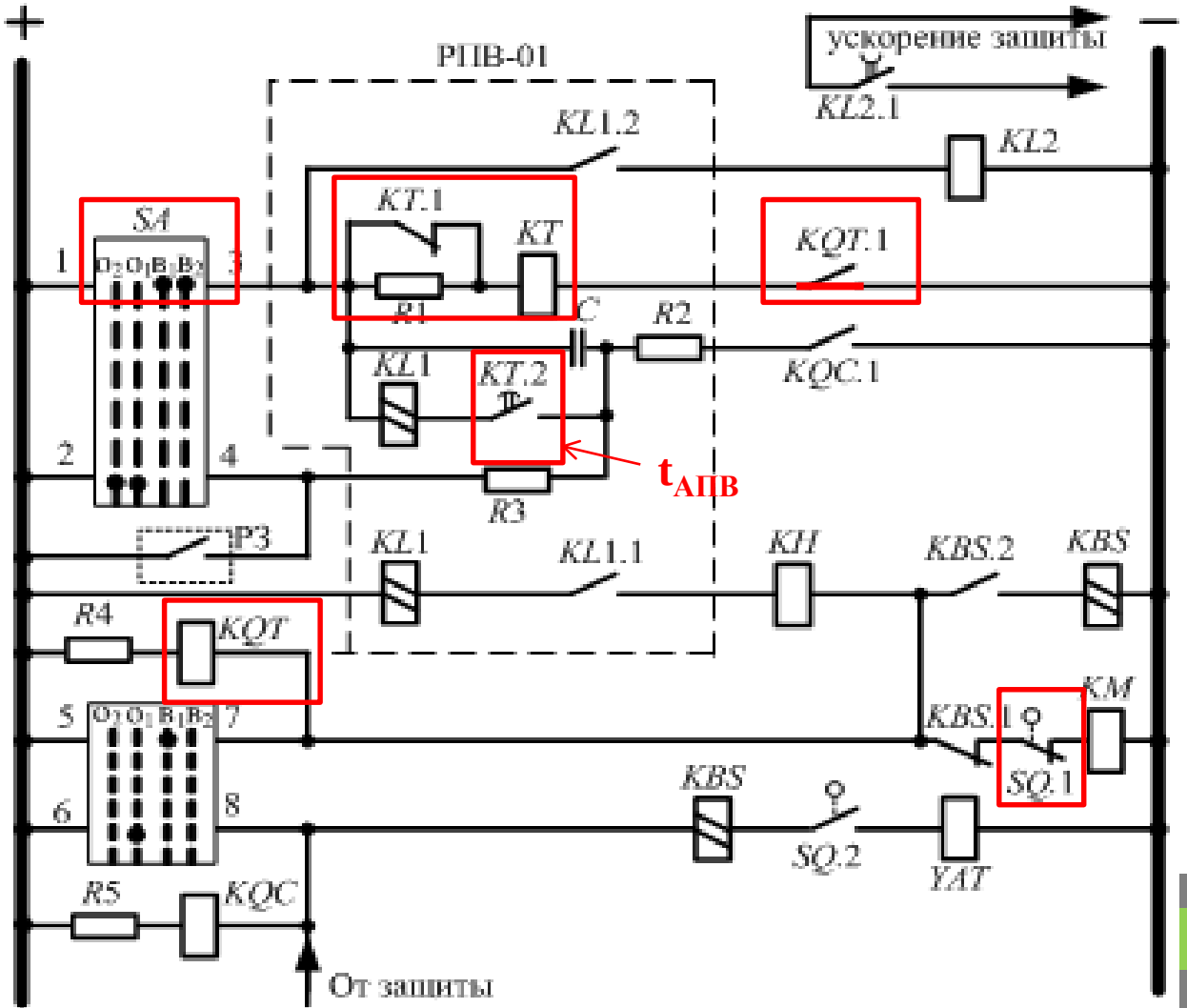
SA – ключ управления,
SQ
KM
KT
KL
обм
C – конденсатор, время заряда которого обеспечивает однократность действия АПВ (15–25 с),
R_1, R_4 – токоограничивающие резисторы,
R_2 – зарядный резистор, изменение величины которого изменяет время заряда конденсатора *C*,
KQT – реле положения,
KQC -контроль исправности цепей включения,
KM – контактор
KBS – специальное исполнительное реле с двумя обмотками,
KH – указательное реле.

★ Несоответствие положения выключателя и ключа управления



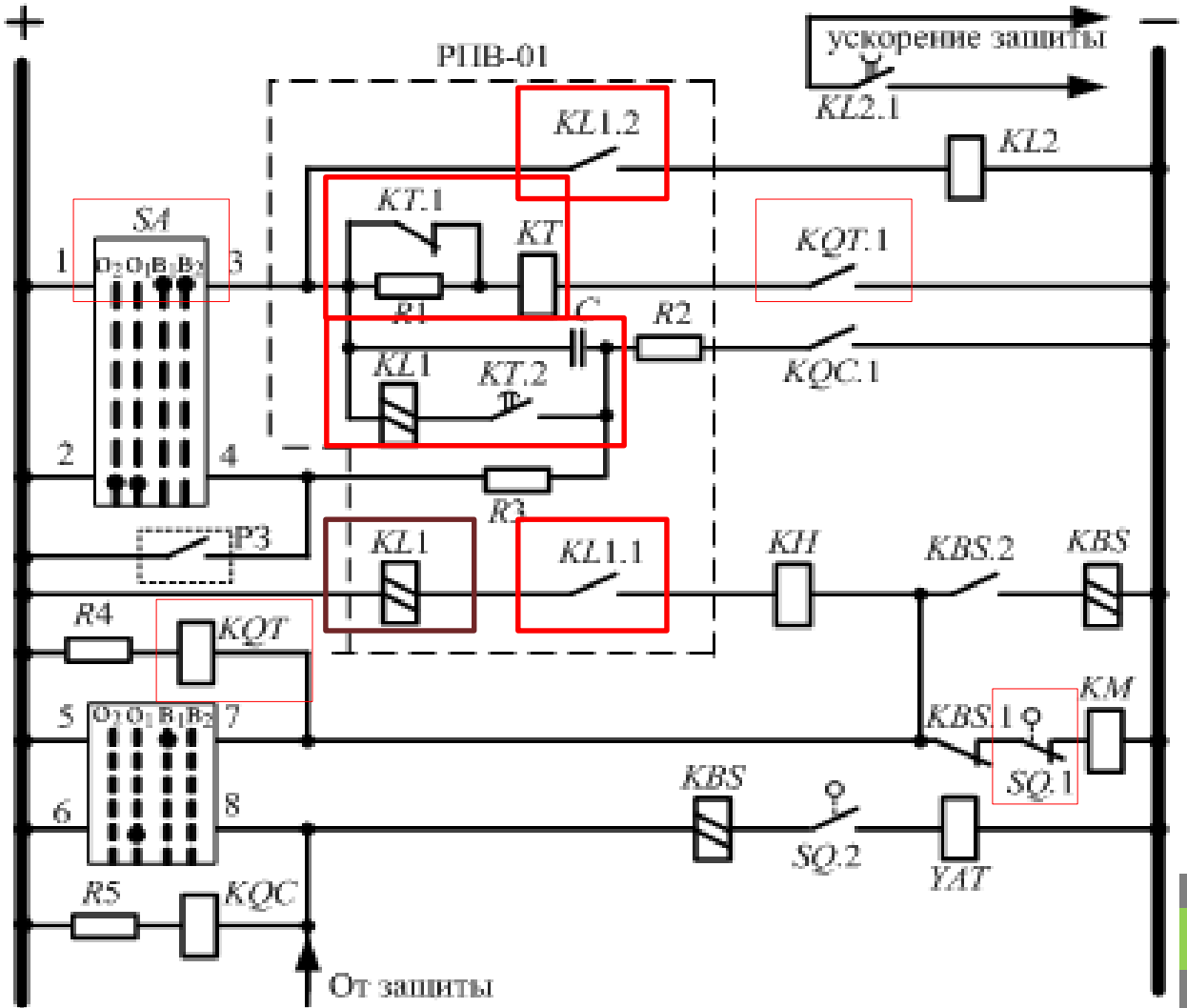
Простое ТАПВ

SA – ключ управления,
SQ.1, *SQ*.2 – вспомогательные контакты выключателя,
KT – реле времени,
*KL*1 – исполнительное реле с двумя обмотками,
C – конденсатор, время заряда которого обеспечивает однократность действия АПВ (15–25 с),
R_1, R_4 – токоограничивающие резисторы,
R_2 – зарядный резистор, изменение величины которого изменяет время заряда конденсатора *C*,
KQT – реле положения,
KQC -контроль исправности цепей включения,
KM – контактор
KBS – специальное исполнительное реле с двумя обмотками,
KH – указательное реле.



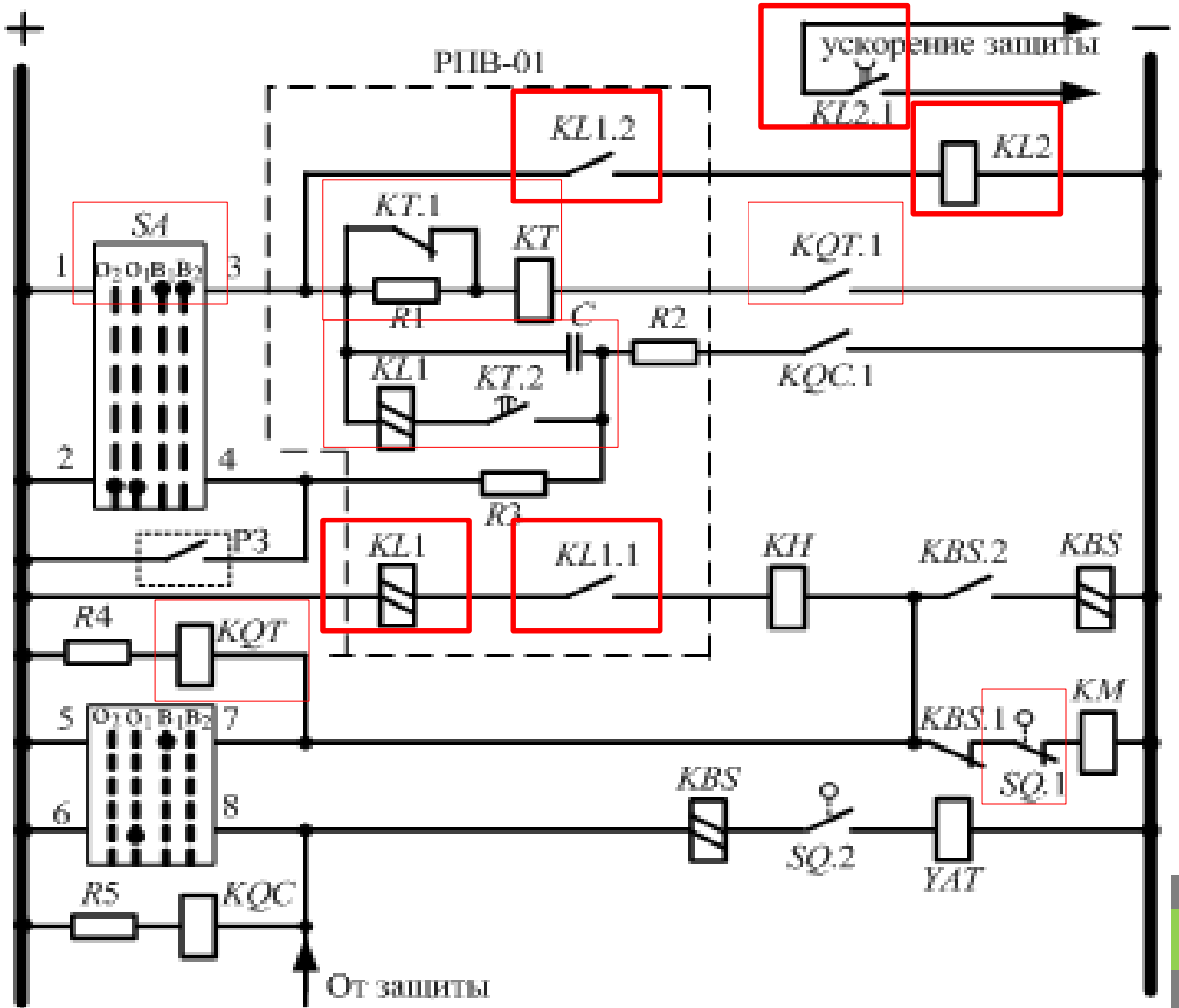
Простое ТАПВ

SA – ключ управления,
SQ.1, *SQ*.2 – вспомогательные контакты выключателя,
KT – реле времени,
*KL*1 – исполнительное реле с двумя обмотками,
C – конденсатор, время заряда которого обеспечивает однократность действия АПВ (15–25 с),
R_1, R_4 – токоограничивающие резисторы,
R_2 – зарядный резистор, изменение величины которого изменяет время заряда конденсатора *C*,
KQT – реле положения,
KQC -контроль исправности цепей включения,
KM – контактор
KBS – специальное исполнительное реле с двумя обмотками,
KH – указательное реле.



Простое ТАПВ

SA – ключ управления,
SQ.1, *SQ*.2 – вспомогательные контакты выключателя,
KT – реле времени,
*KL*1 – исполнительное реле с двумя обмотками,
C – конденсатор, время заряда которого обеспечивает однократность действия АПВ (15–25 с),
R_1, R_4 – токоограничивающие резисторы,
R_2 – зарядный резистор, изменение величины которого изменяет время заряда конденсатора *C*,
KQT – реле положения,
KQC -контроль исправности цепей включения,
KM – контактор
KBS – специальное исполнительное реле с двумя обмотками,
KH – указательное реле.



Последствия несинхронного АПВ для линий с двусторонним питанием

- включение линии сопровождается большими толчками тока и активной мощности, а также длительными качаниями;
- появляются токи и напряжения обратной последовательности;
- снижаются напряжения.

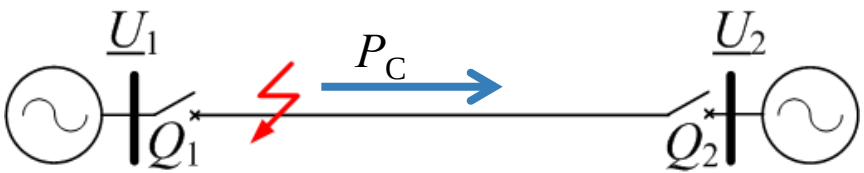
Могут избыточно срабатывать все защиты ЛЭП (кроме дифференциальной) могут действовать неправильно.

ТАПВ для линий с двухсторонним питанием

$$T_{и1}\frac{df_1}{dt} = P_{Г1} - P_{Н1}$$

$$P_{Г1} > P_{Н1}$$

$$\frac{df_1}{dt} > 0 \Rightarrow f_1 \uparrow$$



δ увеличивается

$$T_{и2}\frac{df_2}{dt} = P_{Г2} - P_{Н2}$$

$$P_{Г2} < P_{Н2}$$

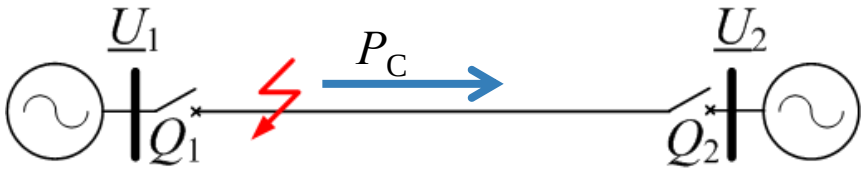
$$\frac{df_2}{dt} > 0 \Rightarrow f_2 \downarrow$$

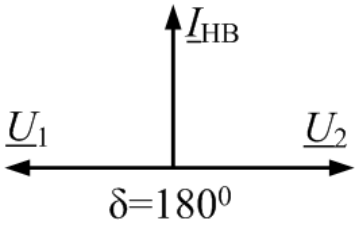
$P_C = P_{Г1} - P_{Н1} = P_{Г2} - P_{Н2}$ – сальдо перетока до КЗ

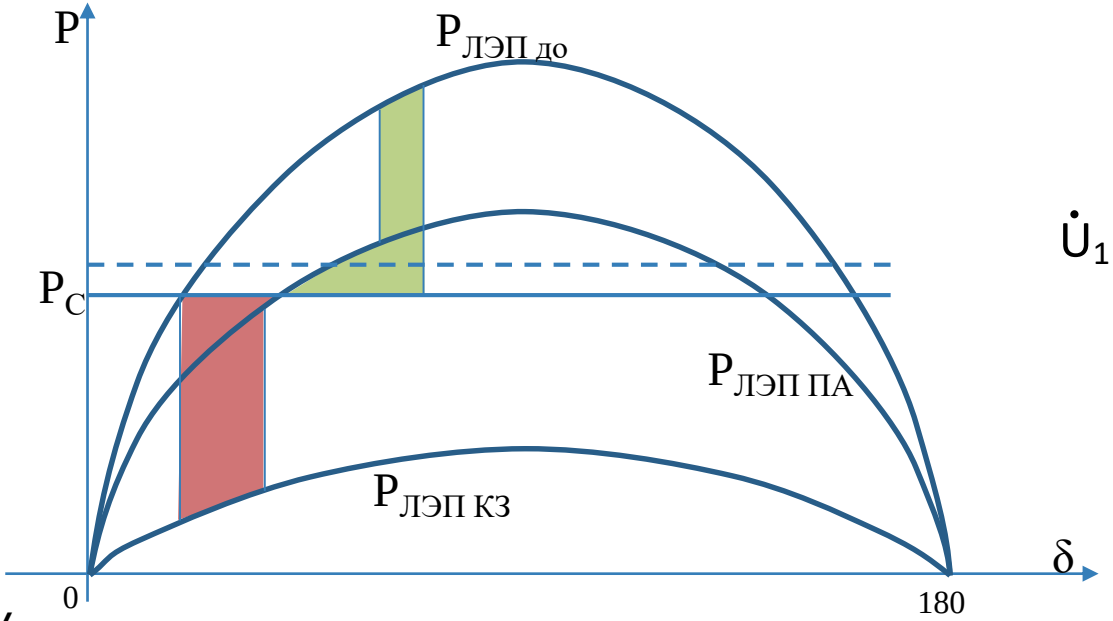
$T_И$ – постоянная инерции соответствующей ЭС

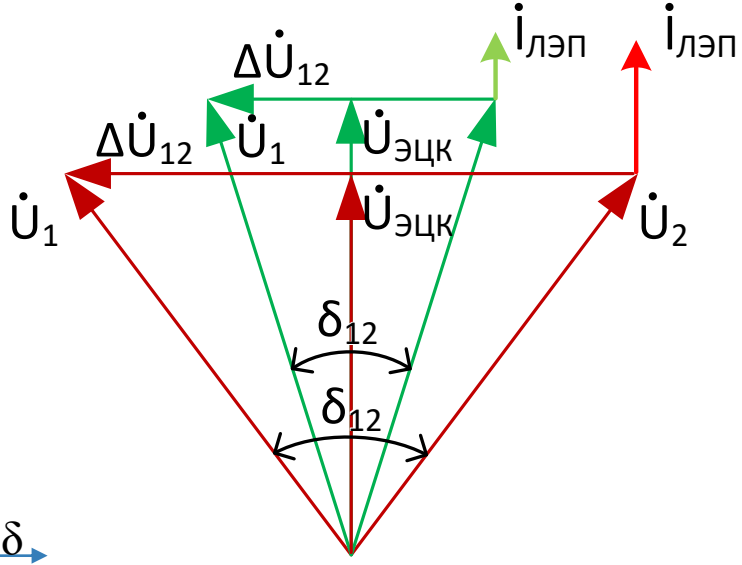
ТАПВ для линий с двухсторонним питанием

δ увеличивается



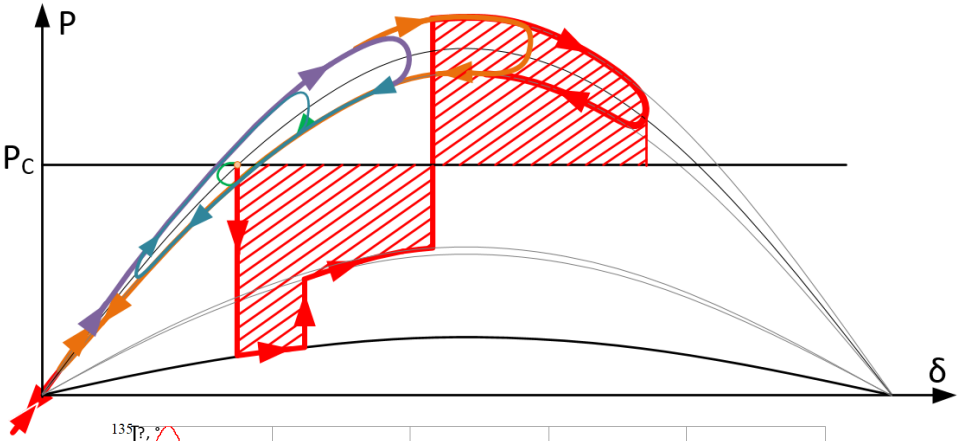


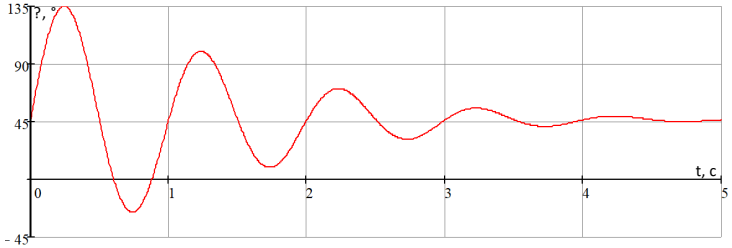


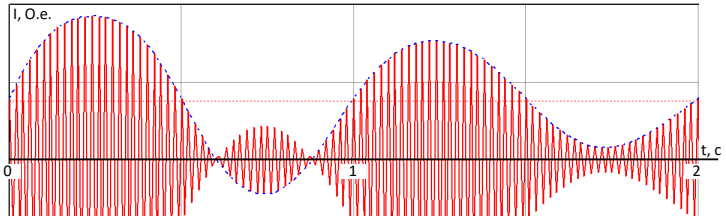


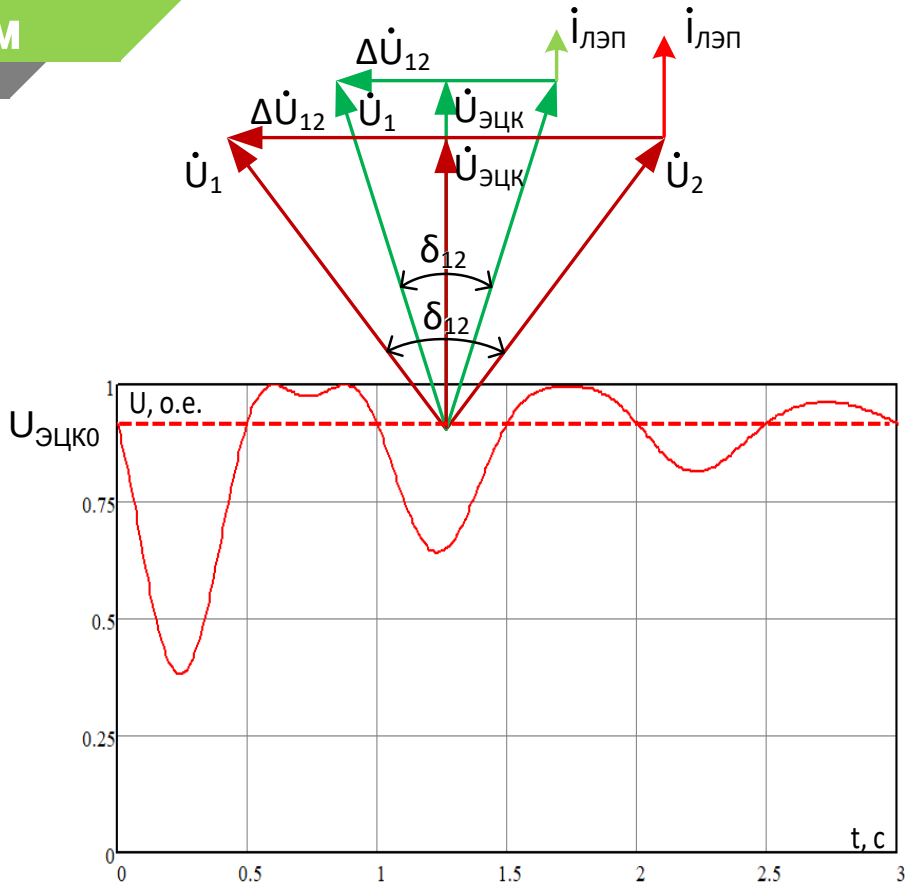
Угловая характеристика электропередачи в различных режимах работы сети и процесс развития аварии

ТАПВ для линий с двухсторонним питанием







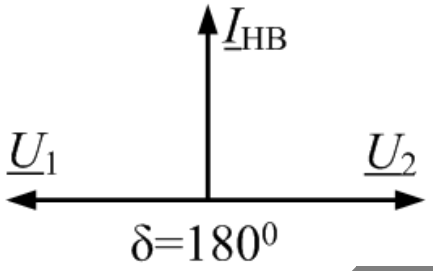


ТАПВ для линий с двухсторонним питанием

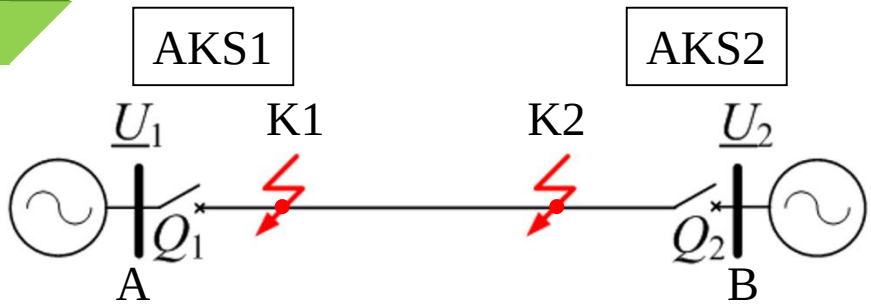
Несинхронное (НАПВ) – допускается, если включение на несинхронную работу при любом угле между напряжениями

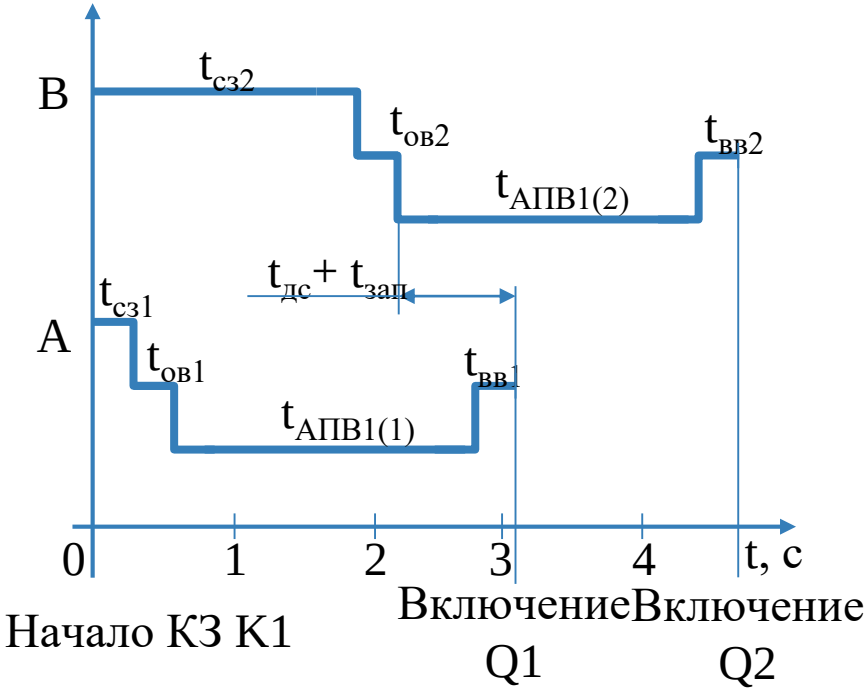
- не опасно для оборудования;
- не приводит к неправильной работе РЗ;
- не приводит к длительному асинхронному ходу.

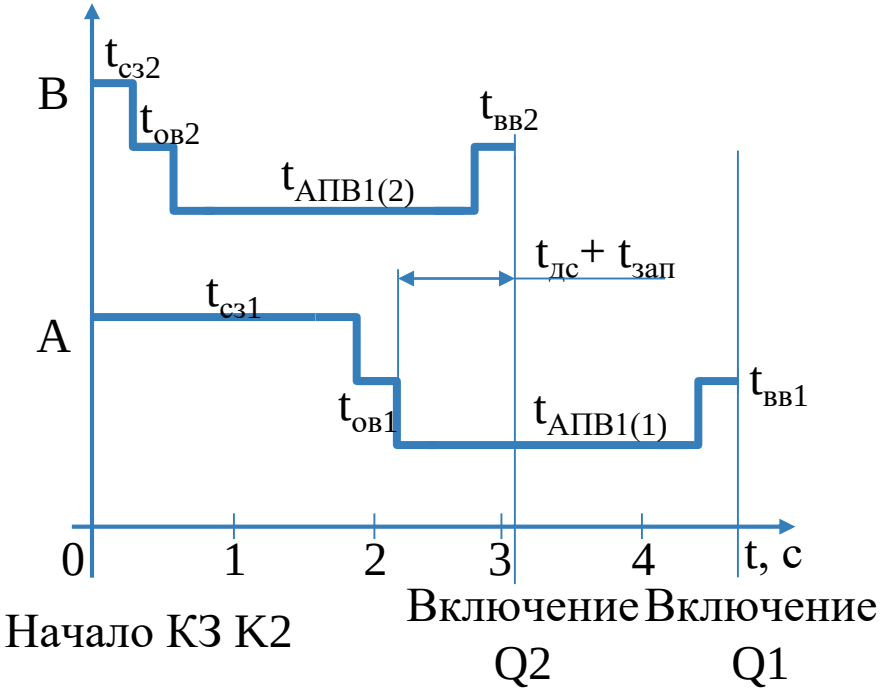
Возможно при наличии трех и более связей между частями ЭС



Выбор уставок устройств ТАПВ





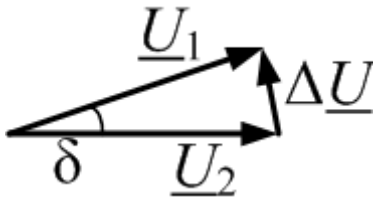


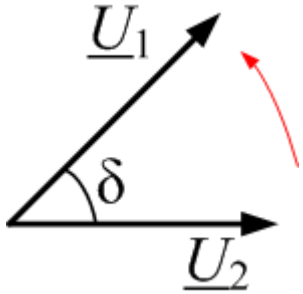
Логика срабатывания АПВ

- Целесообразно включать поочередно, второе УАПВ срабатывает только при успешном АПВ на противоположном конце линии.
- Контроль успешного АПВ с помощью реле максимального напряжения.
- При неуспешном АПВ и срабатывании РЗ на одном конце линии время действия второго АПВ должно быть больше времени действия защиты для исключения его срабатывания.

ТАПВ для линий с двухсторонним питанием

Быстродействующие (БАПВ) – допускается при наличии быстродействующих выключателей и РЗ без выдержки времени с обоих концов (цикл АПВ 0,25–0,5 с).

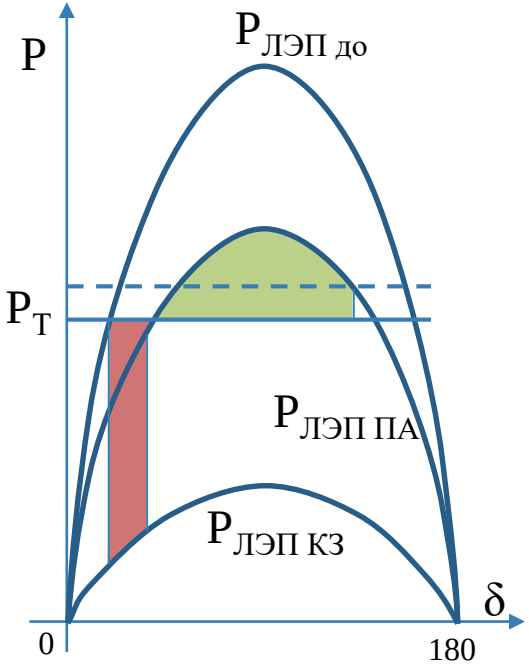




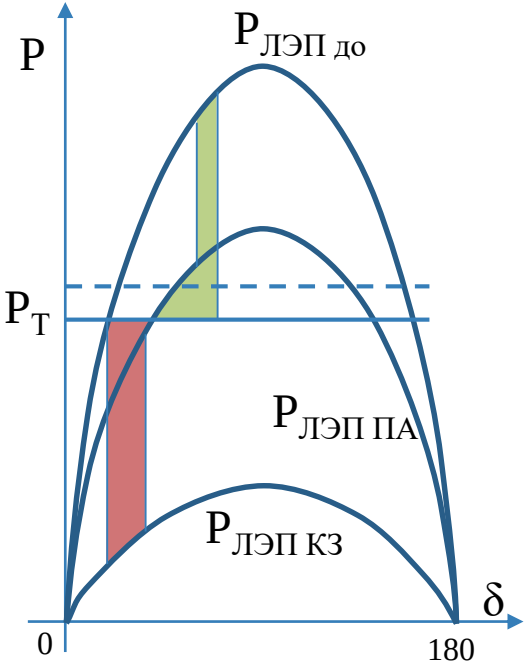
БАПВ способны повышать устойчивость энергосистемы (в том числе динамическую), однако неуспешное АПВ приводит к обратному эффекту.

Влияние АПВ на устойчивость ЭС

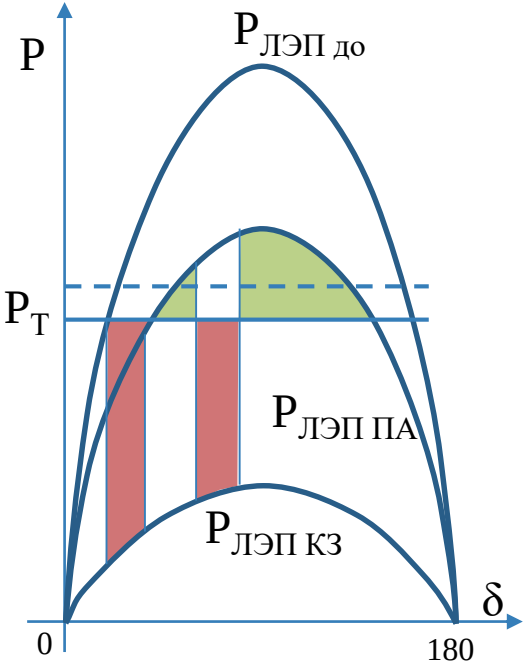
Устойчивость зависит от величины передаваемой мощности в доаварийном режиме, быстродействия РЗ и АПВ, а также успешности АПВ.



На границе устойчивости



Устойчива с запасом



Неустойчива

ТАПВ для линий с двухсторонним питанием

- с контролем наличия и отсутствия напряжения – КНН, КОН;
- с ожиданием синхронизма (АПВОС) – ожидает, когда Δf (δ) уменьшится до приемлемых значений, включает линию после $t_{АПВ}$;
- с улавливанием синхронизма (АПВУС) – действует в определенном диапазоне Δf, подает команду на включение (с учетом времени включения выключателя) с опережением момента совпадения фаз напряжений $t_{оп}$.

За счет учета времени включения выключателя у АПВУС обеспечивается больший диапазон допустимых разностей частот Δf (скольжений), чем у АПВОС.

ТАПВ для линий с двухсторонним питанием

$$t_{АПВ} = t_{защ2} - t_{защ1} + t_{ОВ2} - t_{ОВ1} + t_{ДС} - t_{ВВ1} + t_{зап}$$

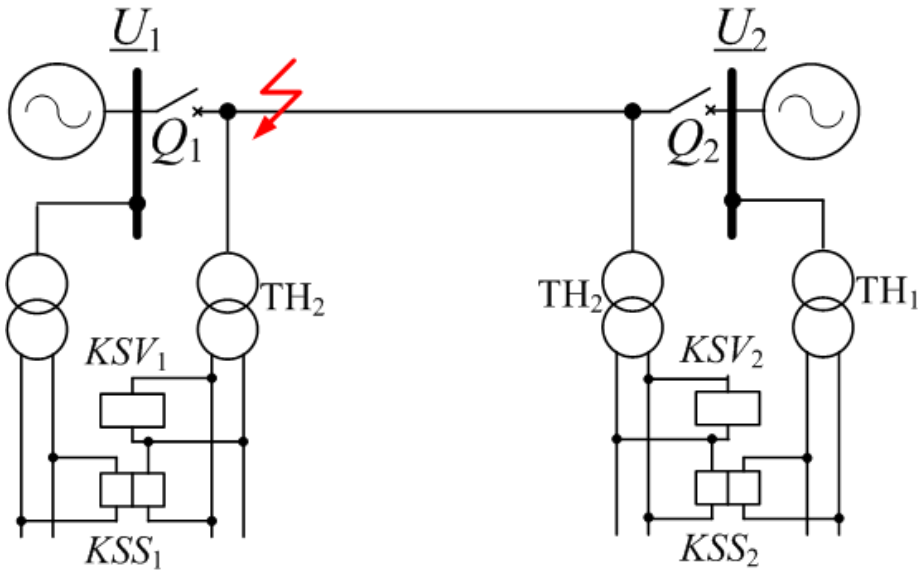
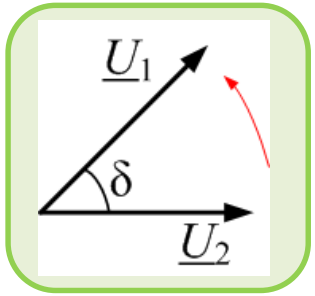
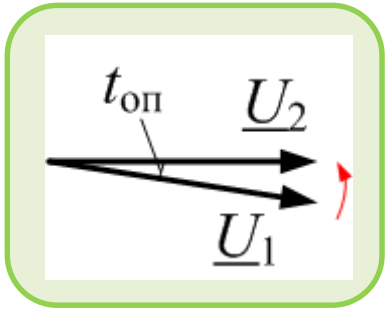


Схема включения реле КНН (KSV) и реле контроля синхронизма (KSS)



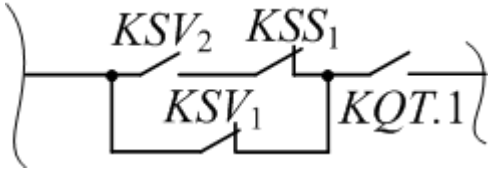
АПВОС



АПВУС

$t_{оп} = t_{ВВ}$

Фрагмент схемы ТАПВ



Требования к устройству ТАПВ

Стандарт ПАО «ФСК ЕЭС». Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА. СТО 29.120.70.241-2017. Дата введения 28.02.2017, стр. 64

Кратность ТАПВ Выключателей 330 кВ и выше Выключателей 220 кВ и ниже	 1 2
Выдержка времени - первого цикла $t_{АПВ1}$ - второго цикла	0.2-10 с, шаг 0.1с 0.2-100 с, шаг 0.1с
Пуск ТАПВ -от защит или по цепи несоответствия положения выключателя (**Q отключен**) к положению ключа управления (**SA включен**) (110-500кВ) -только по цепи несоответствия (6-35 кВ)	 + +
ТАПВ с контролем наличия, отсутствия напряжения (КНН, КОН)	+
ТАПВ с контролем синхронизма (КС), контроль разности частот между напряжениями шин и линии	Δf =0.05-2 Гц Δf <0.4 Гц(АПВОС) Δf >0.4 Гц(АПВУС)
Диапазон уставок по углу разности фаз между напряжениями шин и линии, градус	$\delta = 20 – 90^0$

Лекция 9

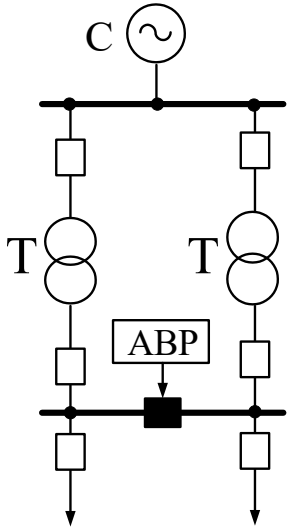
Сетевая автоматика

Автоматическое включение резерва (АВР)

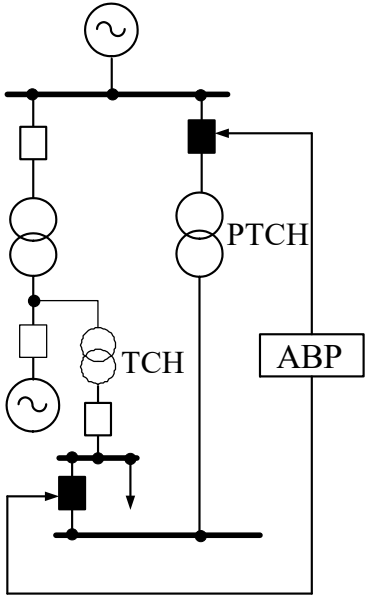
Автоматическое включение резерва

Назначение АВР – восстановление электроснабжения потребителей путем автоматического подключения их к другим источникам питания

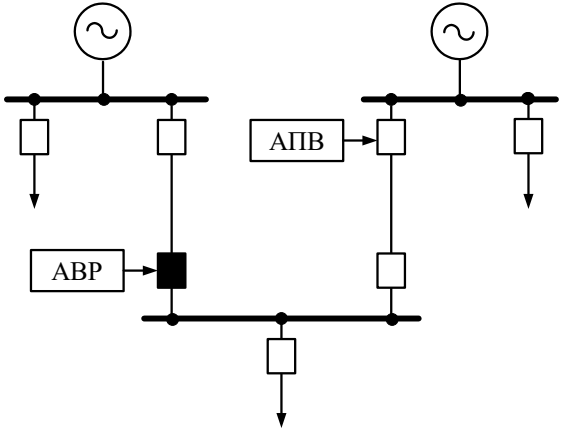
Секционирование РУНН подстанций



Резервирование питания собственных нужд ЭСТ



Радиальные сети



Требования к устройствам АВР (УАВР)

- Срабатывание при понижении напряжения на шинах потребителя ниже напряжения уставки.
- Минимально возможное время срабатывания.
- Однократность действия.
- Ускорение защиты после АВР.
- Исключение возможности опасных несинхронных включений СД.

Ложных действий АВР

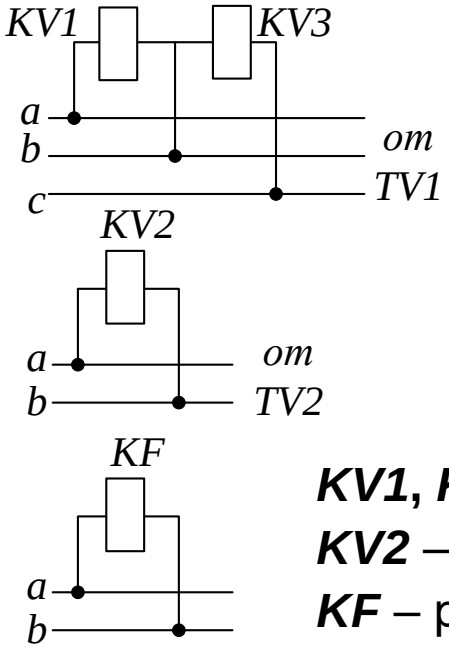
Наиболее распространенные причины ложных действий АВР

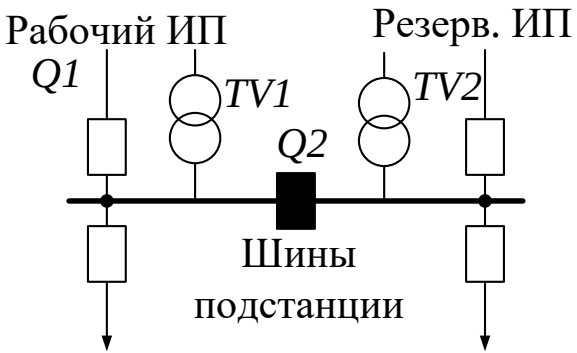
- Перегорание предохранителей,
- Неисправности в цепях трансформаторов напряжений.

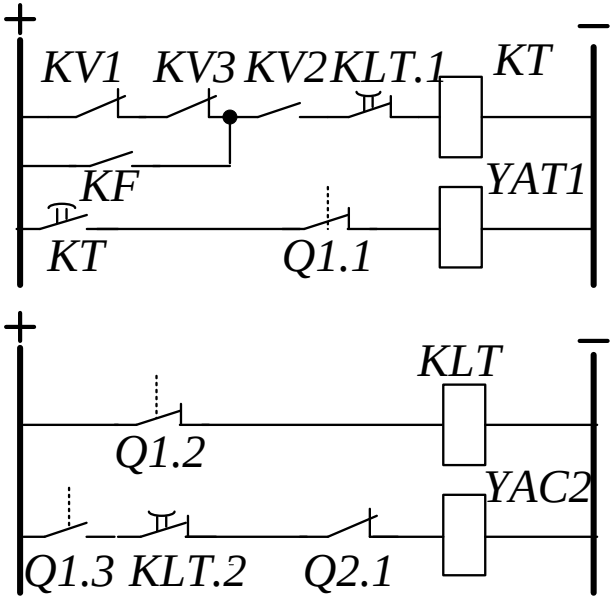
Способы предотвращения ложных действий АВР

- Использование в пусковом органе двух минимальных реле напряжений.
- В пусковой орган дополнительно вводят: реле минимальной частоты KF с уставкой 48-49 Гц, реле максимального напряжения, контролирующее наличие напряжения на резервном ИП.

Схема УАВР на постоянном токе







KV1, KV3 – реле минимального напряжения;

KV2 – реле максимального напряжения;

KF – реле минимальной частоты;

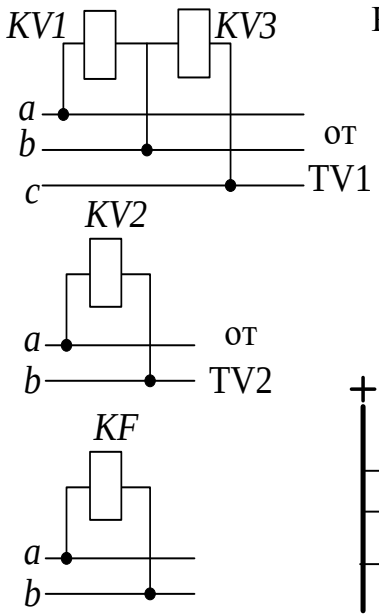
KLT – исполнительное реле, обеспечивающее однократность действия УАВР. Имеет выдержку времени $t_{АВР2}$;

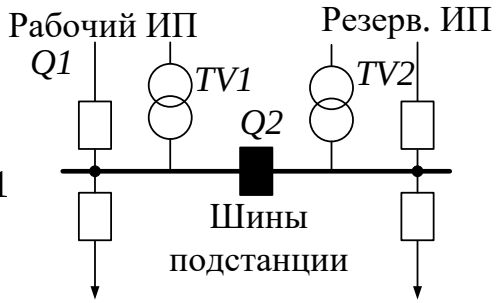
Q1.1, Q1.2, Q1.3 – вспомогательные контакты Q1;

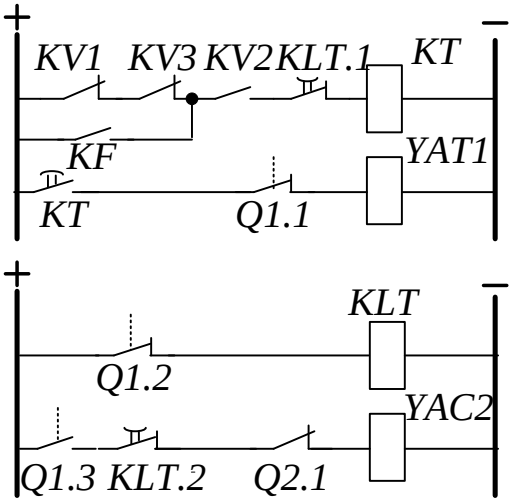
Q2.1 – вспомогательный контакт Q2.

Работа устройства АВР

- При глубоком снижении U на шинах ПС срабатывают KV1, KV3, KF.
- Если напряжение на шинах резервного источника питания больше $U_{ср}$ KV2, то контакт KV2 остается замкнутым.
- Запускается реле времени KT.
- Через $t_{АВР}$ замыкается контакт в цепи YAT1.
- Q1 – отключается, Q1.1, Q1.2 размыкаются, Q1.3 замыкается, YAC2 производит включение *Q*2.
- Если включение произошло на поврежденные шины, защита отключит линию с ускорением.
- Повторного включения не произойдет, так как KLT разомкнет контакты KLT.1 и KLT.2.







Основные условия расчета АВР

Напряжение срабатывания минимального реле напряжения $U_{СР} = (0,25 - 0,4)U_{НОМ}$

Частота срабатывания реле частоты $f_{СР} = 48 - 49\ Гц$

Напряжение срабатывания максимального реле напряжения $U_{СР} = (0,6 - 0,65)U_{НОМ}$

Выбор выдержки времени реле KLT, обеспечивающего однократность АВР

$t_{KLT} = t_{ВВ} + t_{зап}$ где $t_{ВВ}$ - время включения выключателя резервного питания.

Замедление по условию 1 может быть недостаточно при необходимости ожидания срабатывания других автоматик (ДЗ, АПВ…).
В этом случае применяют схему АВР с ожиданием (без ограничения времени) снижения напряжения ниже

$$(0,25 - 0,4)U_{НОМ}$$

Время срабатывания УАВР

1. Обеспечение срабатывания $АВР_1$ после неуспешного АПВ линий 1 и 2.
2. По условию отстройки от времени срабатывания тех защит, в зоне действия которых КЗ могут вызывать снижения напряжения ниже $U_{СР}$ минимальных реле напряжения$U_{СР}$ = (0,25 – 0,4) $U_{ном}$.

$$t_{АВР1} = (t_{СЗ} + t_{АПВ} + t`_{СЗ})_{Л1(2)} + t_{зап1} =$$
$$= 1+2+0.04 + 3 = 6 \text{ с}$$

или

$$t_{АВР1} = t_{СЗ\ Л3(4)} + \Delta t = 1.5 + 0.6 = 2.1 \text{ с}$$

$$t_{АВР2} = t_{АВР1} + t_{зап2} = 6+2.5 = 8.5 \text{ с}$$

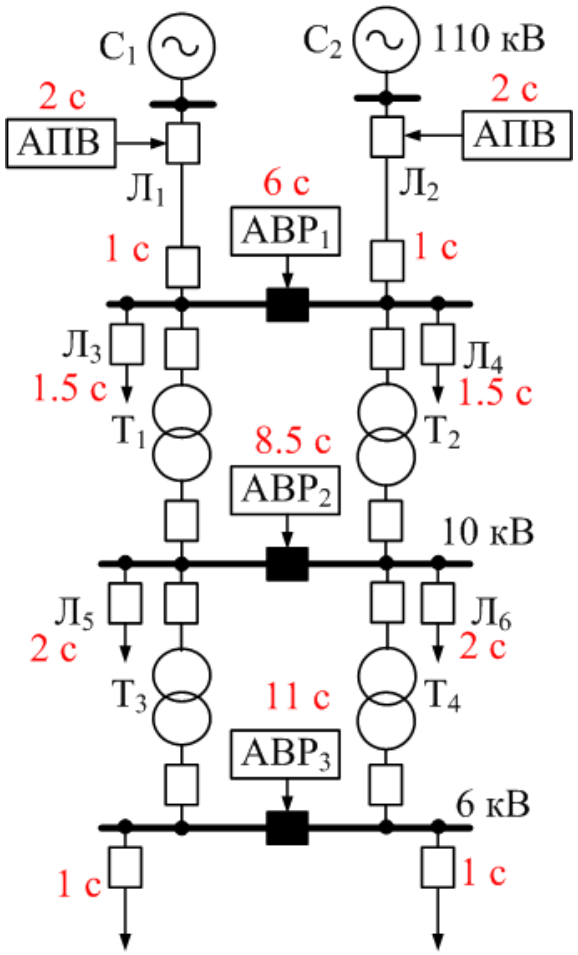
или

$$t_{АВР2} = t_{СЗ\ Л5(6)} + \Delta t = 2 + 0.6 = 2.6 \text{ с}$$

$$t_{АВР3} = t_{АВР2} + t_{зап2} = 8.5+2.5 = 11 \text{ с}$$

или

$$t_{АВР3} = t_{СЗ\ Л7(8)} + \Delta t = 1 + 0.6 = 1.6 \text{ с}$$



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Васильев Алексей Сергеевич
vasilevas@tpu.ru

ТПУ – Томск 2022 г.

ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ