

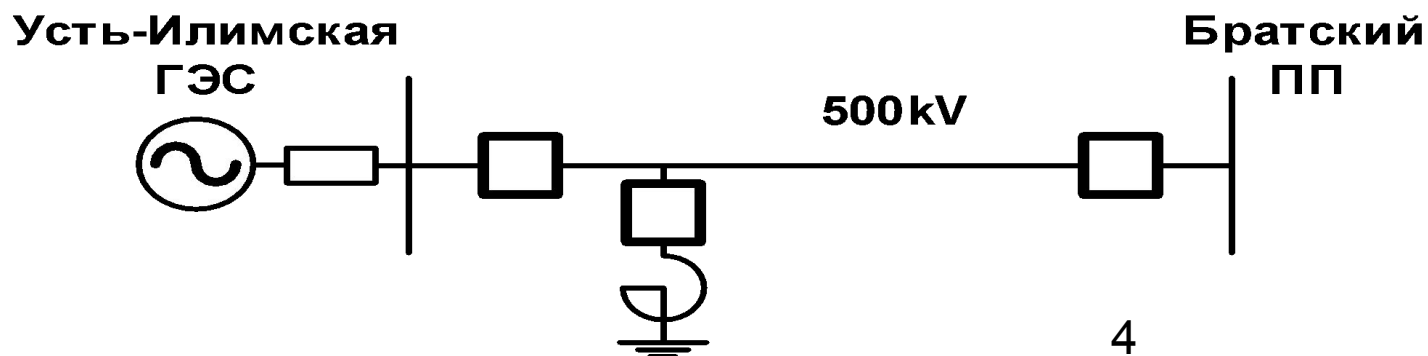
Линейная Автоматика

Автоматическое повторное включение (АПВ)

- ТАПВ – Трехфазное АПВ
- ОАПВ – Однофазное АПВ
- БАПВ – Быстродействующее АПВ
- АПВНН – с проверкой наличия напряжения
- АПВОС – с ожиданием синхронизма
- АПВУС – с улавливанием синхронизма
- и т.д.

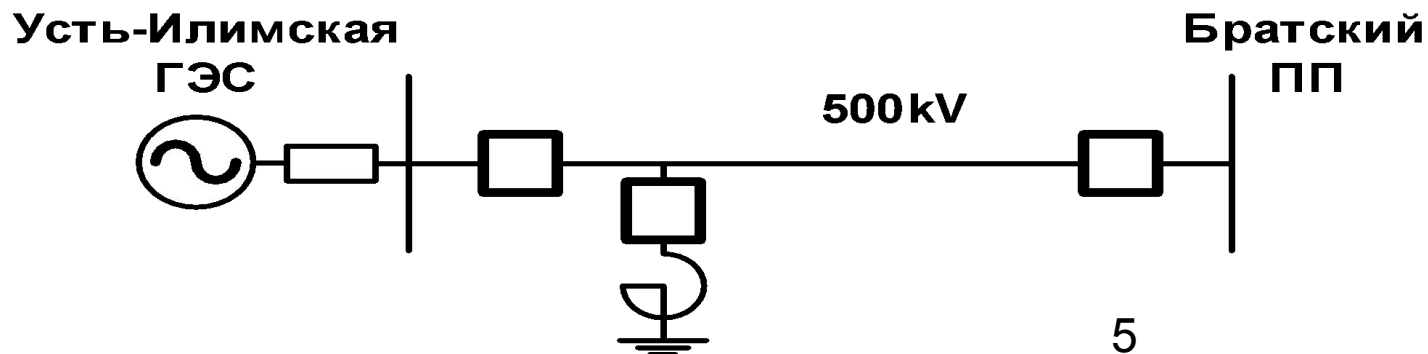
Алгоритм ОАПВ

- ОАПВ на ВЛ-500 кВ Усть-Илимская ГЭС – Братский ПП (№572):
 - **Момент времени $t=0.1$ сек.** Момент возникновения КЗ. Одновременно по сигналу избирателя фаз подается команда на отключение линейных выключателей поврежденной фазы ВЛ-572 с двух сторон (со стороны Усть-Илимской ГЭС и со стороны Братского ПП).
 - **Момент времени $t+0.12$ сек.** Отключение выключателей поврежденной фазы ВЛ с двух сторон (со стороны Усть-Илимской ГЭС и со стороны Братского ПП), где 0,12 сек. – гарантированное время отключения выключателей с обеих сторон.
 - **Момент времени $t+0.12+0.8=t+0.92$ сек.** По истечении бестоковой паузы ОАПВ включается линейный выключатель поврежденной фазы со стороны ПП Братского ПП.
 - **Момент времени $t+0.12+0.9=t+1.2$ сек.** С задержкой порядка 100 мс. включается линейный выключатель поврежденной фазы со стороны Усть-Илимской ГЭС.

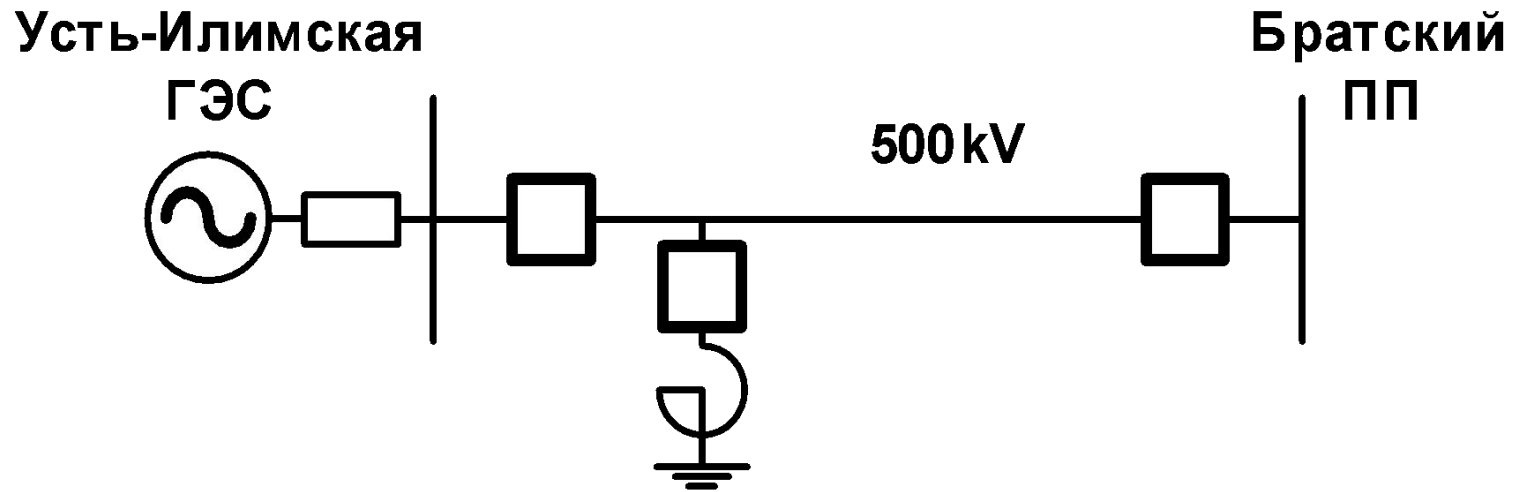


Алгоритм ТАПВ

- ТАПВ на ВЛ-500 кВ Усть-Илимская ГЭС – Братский ПП (№572):
 - **Момент времени $t=0.1$ сек.** По факту возникновения КЗ, подается команда на отключение линейных выключателей ВЛ-572 с двух сторон (со стороны Усть-Илимской ГЭС и со стороны Братского ПП).
 - **Момент времени $t+0.12$ сек.** Отключение выключателей ВЛ с двух сторон (со стороны Усть-Илимской ГЭС и со стороны Братского ПП), где 0,12 сек. – гарантированное время отключения выключателей с обеих сторон.
 - **Момент времени $t+0.12+0.5=t+0.62$ сек.** По истечении бестоковой паузы ТАПВ включается линейный выключатель со стороны Братского ПП.
 - **Момент времени $t+0.12+0.6=t+0.72$ сек.** С задержкой порядка 100 мс. включается линейный выключатель со стороны Усть-Илимской ГЭС.



С какой стороны выполнять опробование ВЛ?

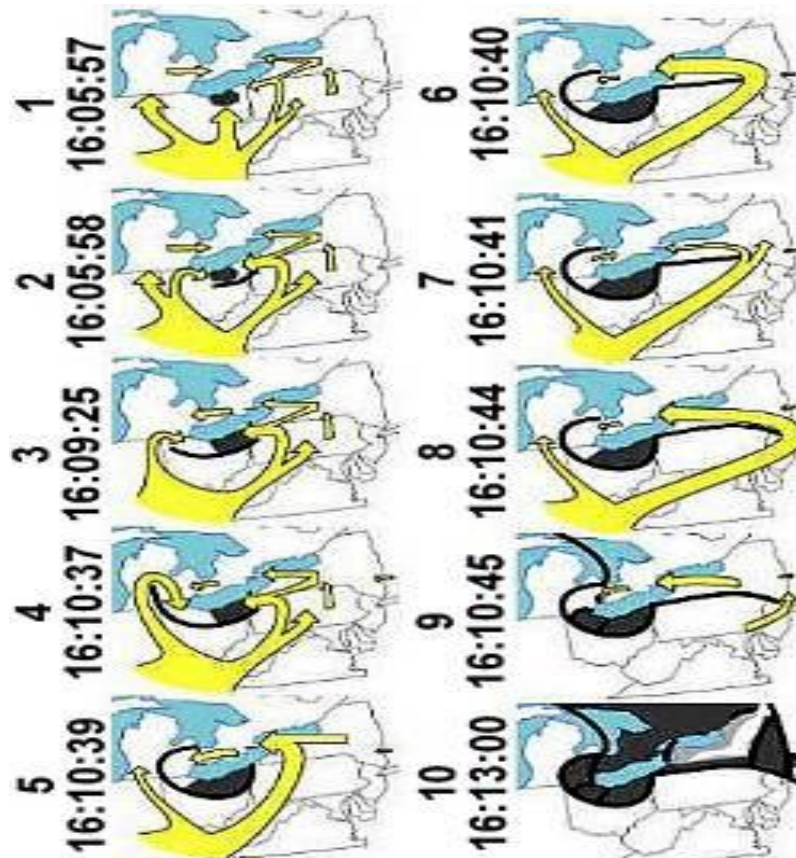
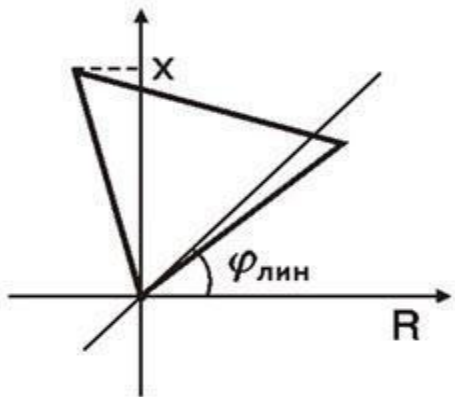
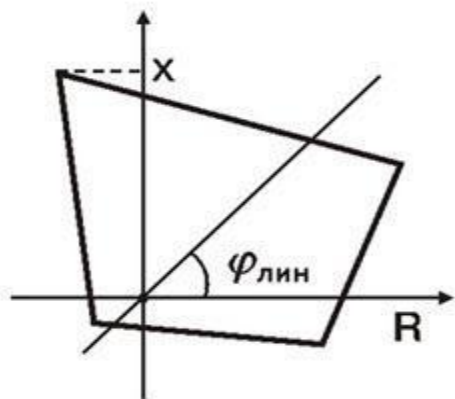


Чем определяется выдержка времени АПВ?

- Больше времени готовности привода
- Больше времени деионизации (погасания дуги) и времени срабатывания РЗ
 - Необходима отстройка от действия РЗ (вплоть до третьей ступени токовой направленной защиты).
- Необходимо учитывать требования обеспечения устойчивости параллельной работы генераторов.
- Выбор времени бестоковой паузы – это всегда конфликт интересов релейщиков и противоаварийщиков.

Крупные системные аварии и АПВ

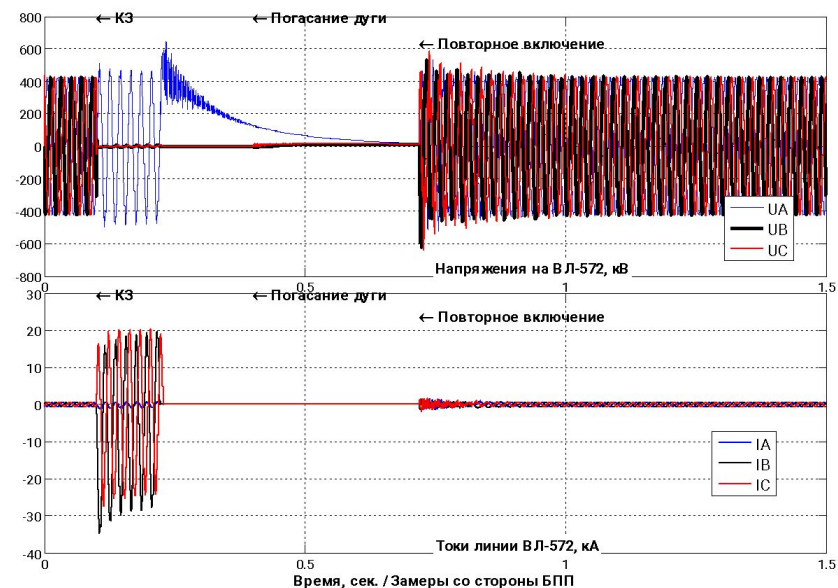
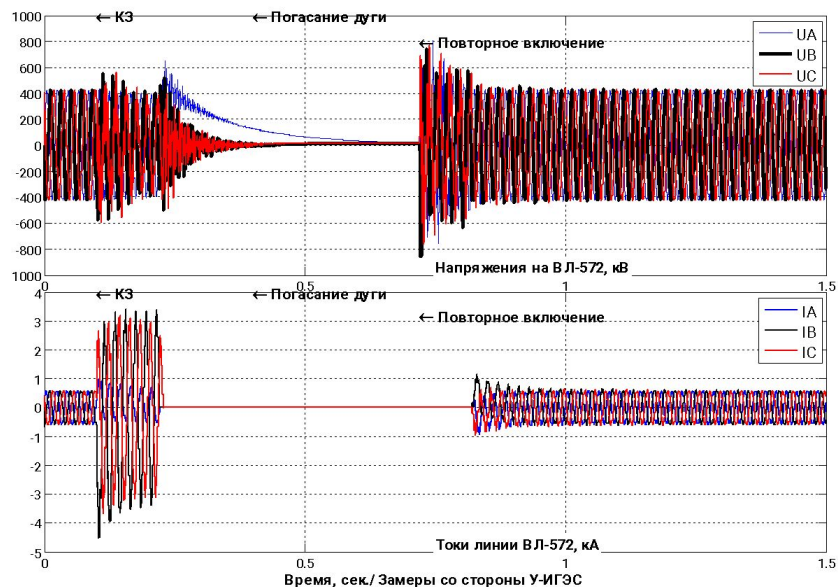
- Причины возникновения каскадного отключения линий?
- Почему не действовало АПВ на линиях?



Время погасания дуги для **ТАПВ**

- **Опытным путем** было установлено, что минимальное время деионизации электрической дуги в цикле бестоковой паузы **ТАПВ** для ВЛ 500кВ составляет 0.35 – 0.5 сек. Поэтому повторное включение линии под напряжение должно производиться не ранее указанного времени.

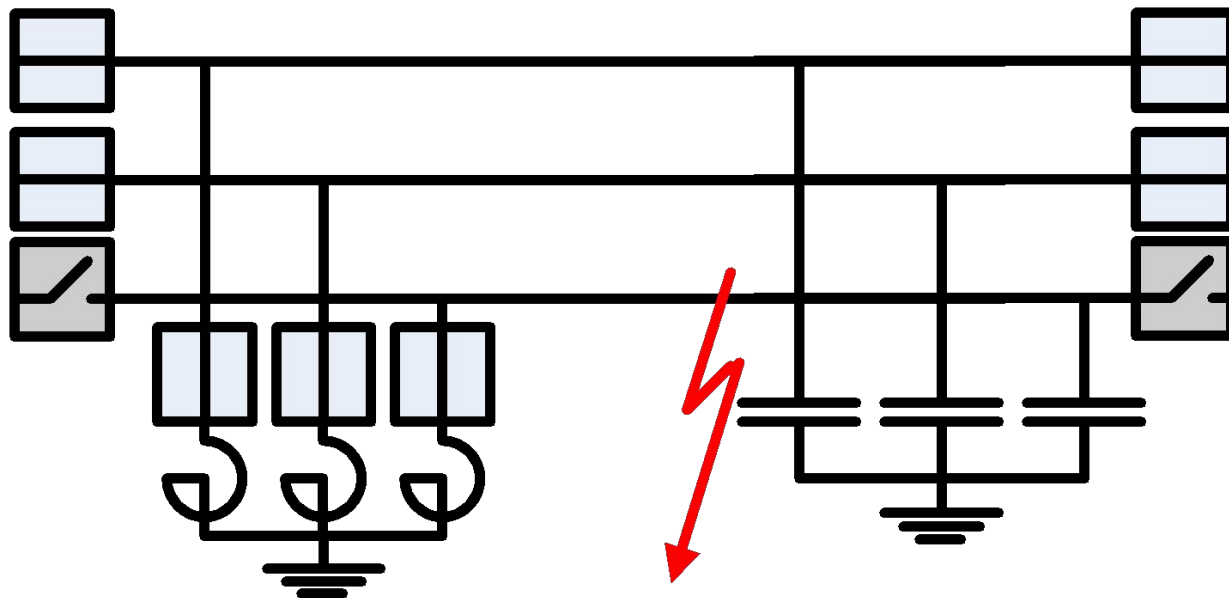
Цикл ТАПВ на ВЛ У-ИГЭС - БПП



- Реализация вышеприведенного алгоритма ТАПВ на ВЛ-572. Двухфазное КЗ на землю на ВЛ-572 вблизи Братского ПП. **Включение выключателей трех фаз по истечению бестоковой паузы ТАПВ со стороны Братского ПП.**

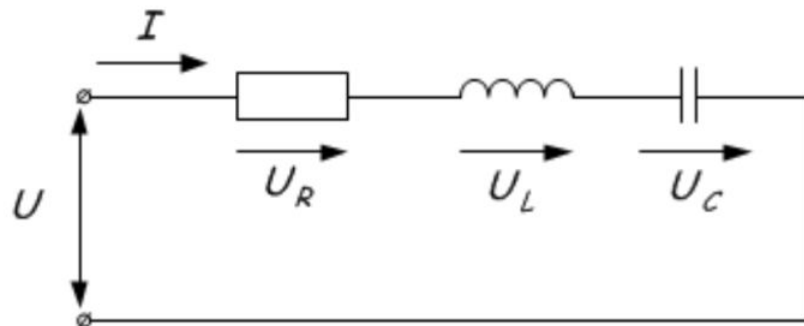
Погасание дуги в цикле ОАПВ ЦЕЛЫЙ НОВЫЙ МИР!!!

В цикле бестоковой паузы поврежденная фаза взаимодействует с двумя неповрежденными, получая от них энергию через емкостные и индуктивные связи.



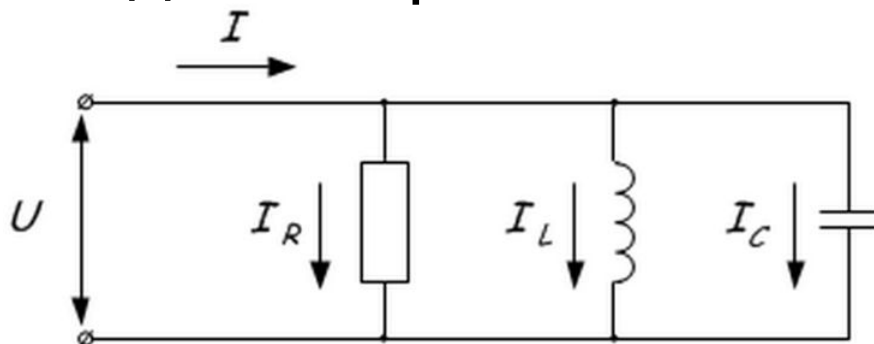
Резонанс токов и напряжений

- Резонанс напряжений возникает в последовательной RLC цепи



- Максимальный ток + перенапряжения!!!

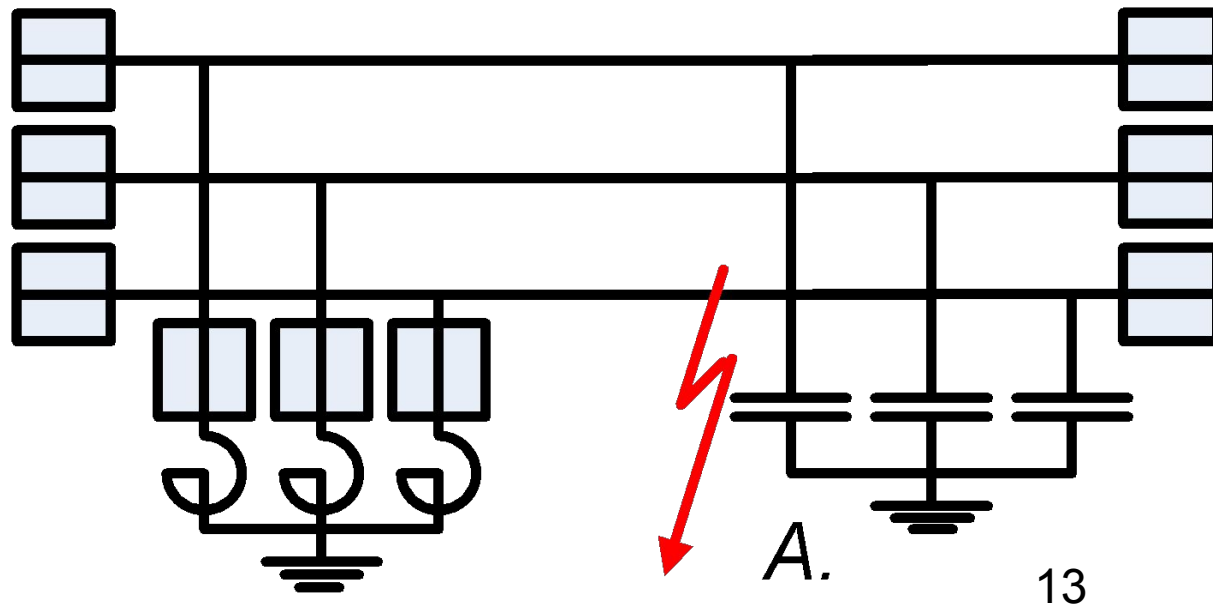
- Резонанс токов возникает в параллельно соединенными катушкой, резистором и конденсатором



- Теоретически бесконечное индуктивное сопротивление!!!

Компенсация реактивной мощности линии

- Компенсация реактивной мощности, генерируемой емкостью линии. **Сколько?**
- **Хотелось бы** скомпенсировать полностью, чтобы не гонять лишнюю реактивную мощность по системе. **Но!!!** это приводит к резонансной настройке.



Погасание дуги в цикле ОАПВ

- В настоящее время возможность осуществления ОАПВ рассматривают **исходя из установившегося тока подпитки и возвращающегося напряжения (установившееся значение напряжения на дуговом промежутке после погасания дуги)**
- При этом ориентируются на данные уникальных экспериментов, проводимых на реальных электропередачах (в СССР)

Токи подпитки ВЛ-572 У-ИГЭС - БПП

Результаты расчета тока подпитки бестоковой паузы ОАПВ.
Исследование однофазных КЗ на ВЛ-500 кВ Усть-Илимская ГЭС –
Братский ПП (№572)

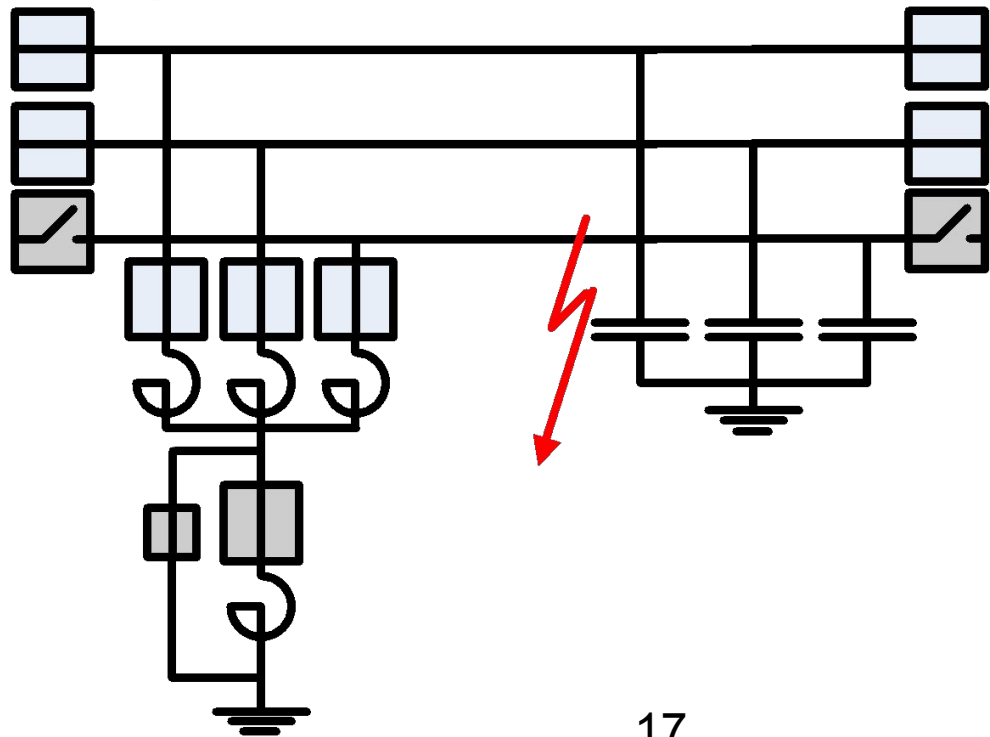
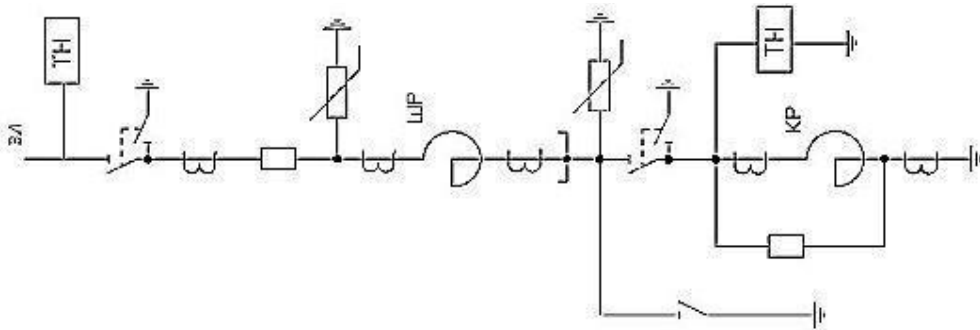
Расчетные условия	Действующее значение величины тока подпитки дуги, А
Однофазное КЗ на ВЛ 572 вблизи шин Усть-Илимской ГЭС. Нагрузочный режим. Угол по передаче $\delta=75^{\circ}$.	42
Однофазное КЗ на ВЛ 572 вблизи шин 500 кВ Братский ПП. Нагрузочный режим. Угол по передаче $\delta=75^{\circ}$.	40
Однофазное КЗ в середине ВЛ 572. Режим холостого хода (ХХ) ВЛ 500 кВ	35

Токи подпитки ВЛ-572 У-ИГЭС - БПП

- Для величины тока 40-50А длительность бестоковой паузы принимается равной порядка 0.8-0.9 сек.
- Если ток подпитки слишком велик, то приходится увеличивать длительность бестоковой паузы.
- Что делать, если ее нельзя увеличивать по условию обеспечения устойчивости параллельной работы?

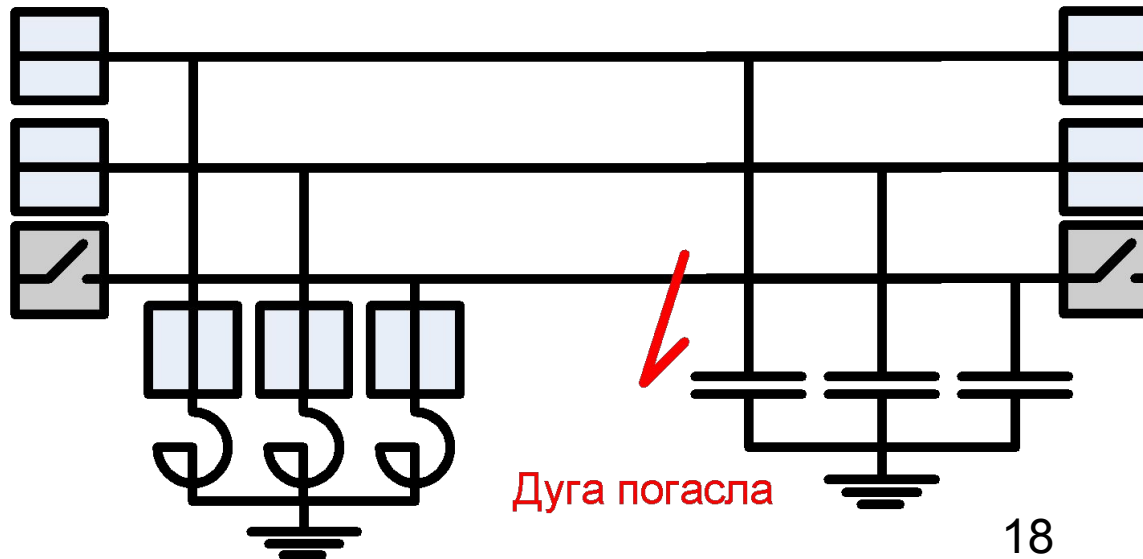
Снижение тока подпитки

- Используем компенсационный реактор.

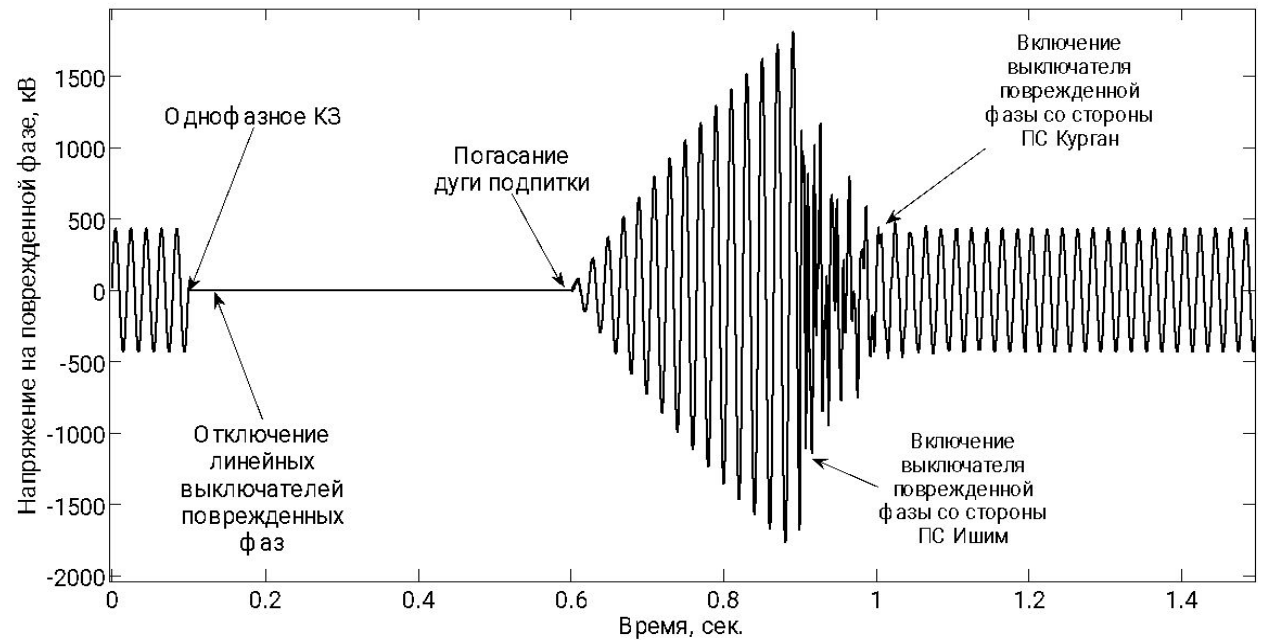
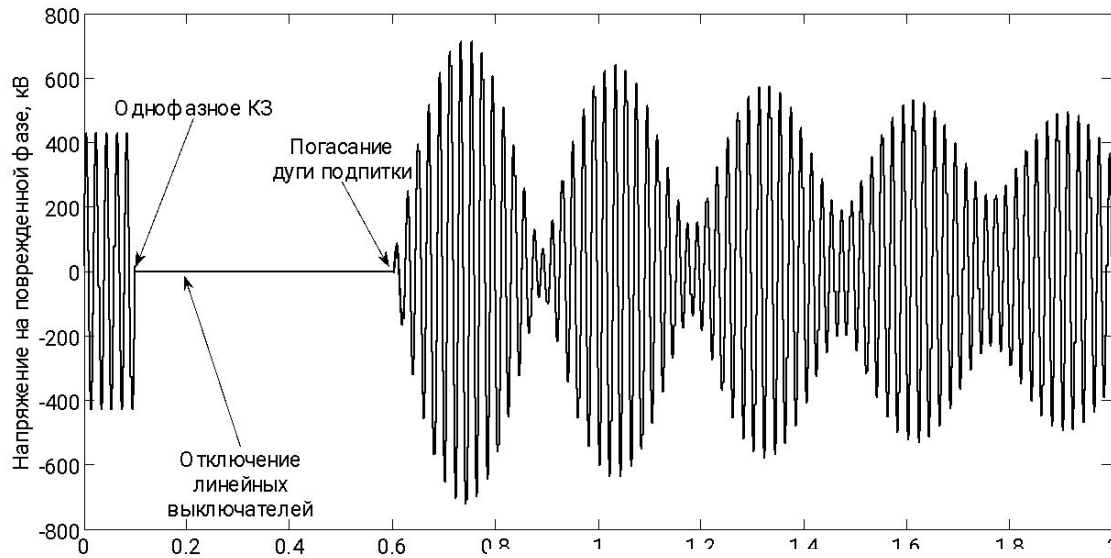


После погасания дуги

- При компенсации реактивной мощности близкой к резонансу, после погасания дуги поврежденная фаза будет находиться в состоянии близком к резонансу напряжений.
- Накачка мощностью будет происходить с соседних фаз через емкостные и индуктивные связи.

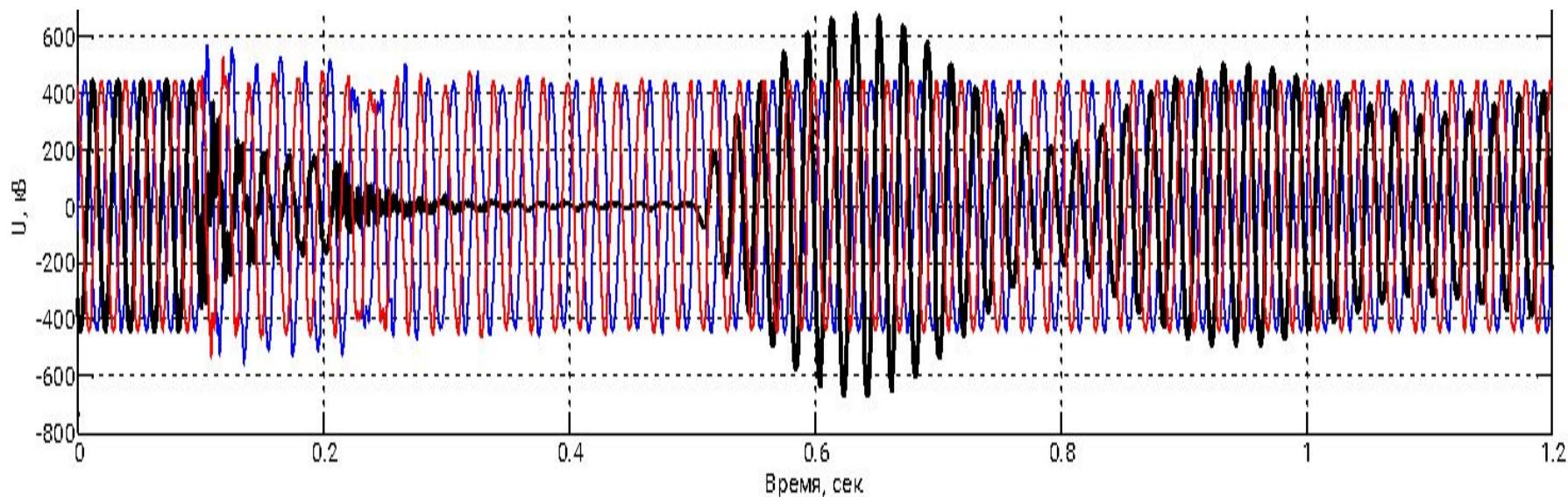


После погасания дуги



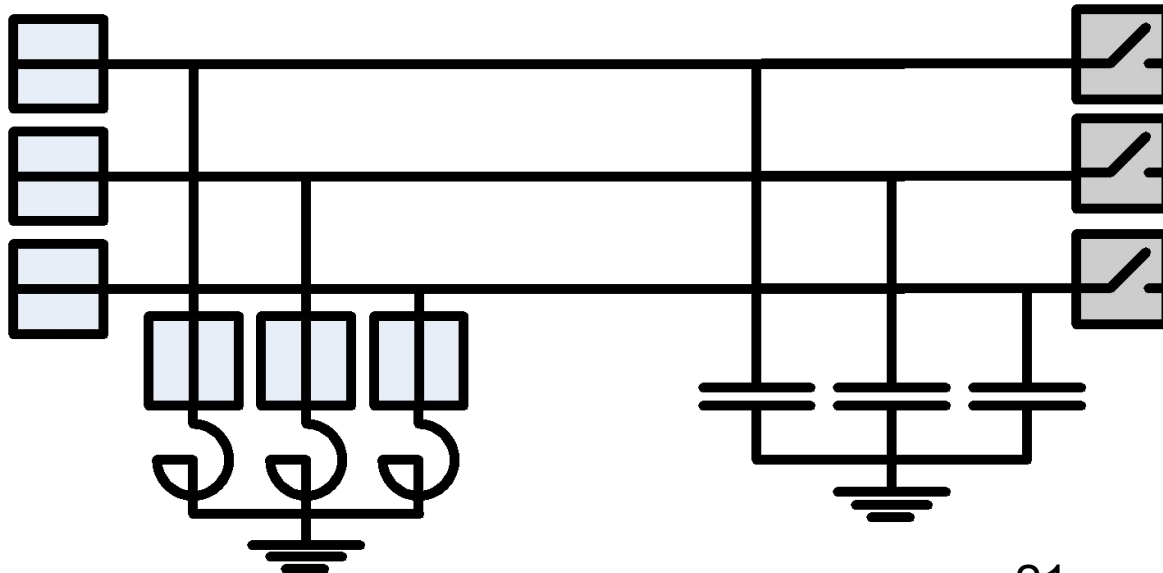
Резонансные перенапряжения после погасания дуги. Что делать?

- Отключать реактор в цикле ОАПВ. Если этого не делать, перенапряжения приведут к повторному зажиганию дуги.
- То есть при наличии резонансной настройки ВЛ в цикле бестоковой паузы, мы просто не сможем реализовать цикл ОАПВ.

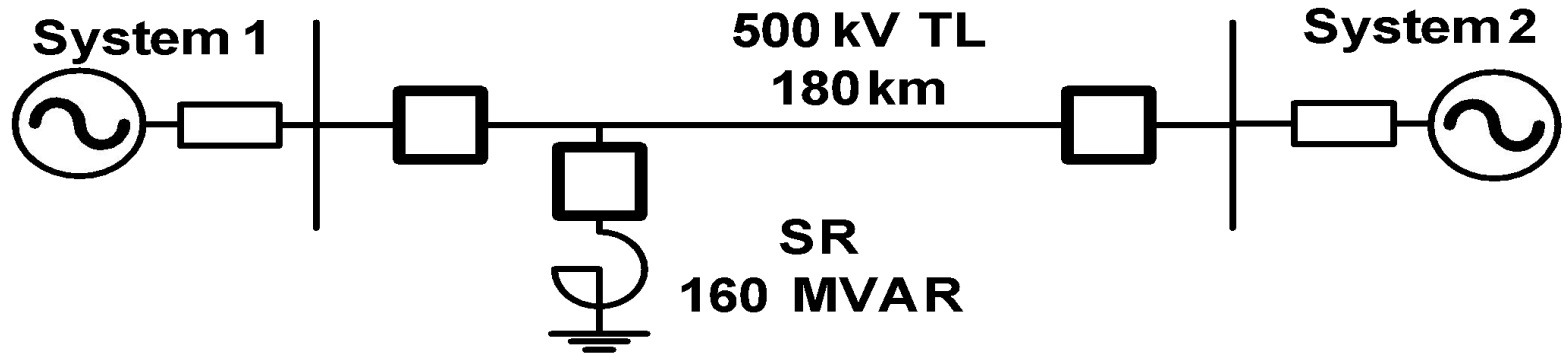


Повторное включение резонансно настроенной ВЛ в цикле ТАПВ/ОАПВ. Опробование ВЛ.

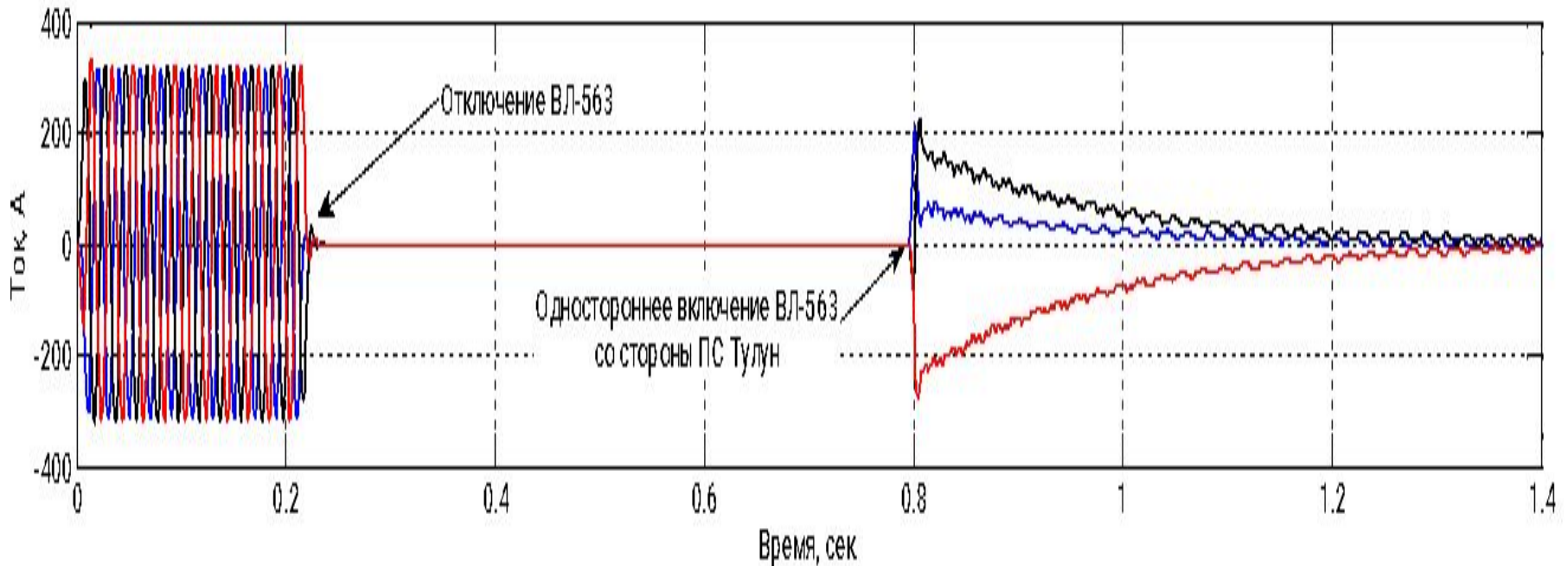
- Скомпенсированная линия, включаемая с одного конца, попадает в ситуацию резонанса напряжений.
- Резонанс напряжений сопряжен с наличием теоретически бесконечного индуктивного сопротивления для резонансной частоты (50Гц), **однако для других частот сопротивление линии не будет равно бесконечности.**



Повторное включение резонансно настроенной ВЛ в цикле ТАПВ/ОАПВ. Опробование ВЛ.



Токи линейного выключателя ВЛ1 ВЛ-563



Что делать?

- **Синхронизатор.** Не всегда удастся, так как настройка в резонанс сопровождается перенапряжениями. При степени компенсации порядка 0.7, использование синхронизатора затруднительно.
- **Предвключаемые резисторы.** Вводятся в работу кратковременно до включения линии. Рассеивают энергию апериодической составляющей тока.
- **Отключать реактор до коммутации линии.**