



Решение задачи выявления и ликвидации резонансных процессов в неполнофазных режимах ЛЭП сверхвысокого напряжения.

А.Н. Федосов, С.В. Нешумов

ЗАО „Институт автоматизации энергетических систем“, Новосибирск



Резонансные режимы

Положительные моменты:

1. Коммутации линии происходит при токах, близких к нулю, а не при токах, имеющих чисто реактивный характер. Данное обстоятельство значительно уменьшает влияние горения дуги и увеличивает ресурс выключателя;
2. В режиме холостого хода линии, напряжение одинаково в начале и конце линии.

Отрицательные моменты:

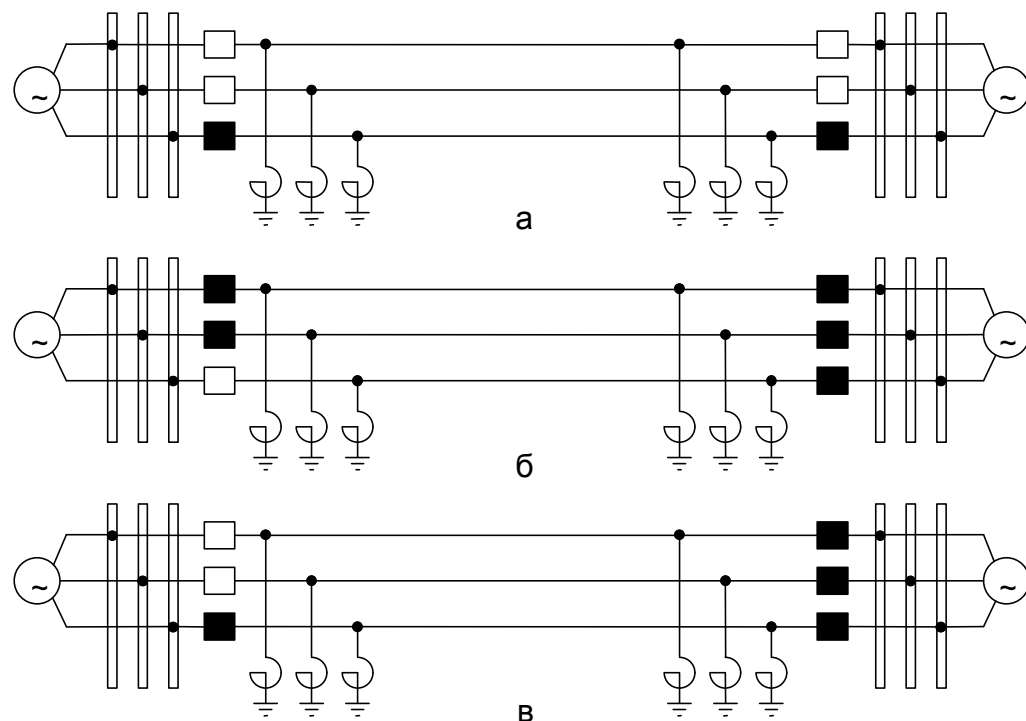
1. В неполнофазных режимах возникают опасные перенапряжения;
2. При отказе выключателя не работоспособны УРОВ (т.к. величина тока близка к нулю);
3. Так же не работоспособны и традиционные методы реализованные в современных устройствах АОПН (например, невозможно измерить направление реактивной мощности отключенной фазы, а кроме того в неполнофазном режиме может быть блокирующее направление мощности. Вследствие этого вопрос селективности не может быть однозначно решен)
4. возможно самопроизвольное включение выключателя даже на полностью отключенной линии (в том числе в резонансном режиме при меньшей частоте при недокомпенсация емкостной составляющей)



Режим негативного проявления резонанса

Параметры электропередачи всегда таковы, что в симметричных режимах резонанс не возникает из-за сравнительно малой величины сопротивления системы. Однако в неполнофазных режимах работы этой же электропередачи не исключена возможность появления резонансных перенапряжений. Как например:

- Двухсторонне отключение одной фазы от релейной защиты в цикле ОАПВ после погасания дуги короткого замыкания (в бестоковой паузе ОАПВ) (рисунок 1а);
- Отказ одной фазы выключателя линии при оперативном снятии напряжения с линии (рисунок 1б);
- Отказ одной фазы выключателя линии при оперативной постановке под напряжение ВЛ (рисунок 1в);
- Самопроизвольное включение одной фазы выключателя линии из-за механических повреждений привода (рисунок 1б)



Для линий 330 – 750 кВ значения резонансной степени компенсации изменяется в зависимости от вида несимметрии в диапазоне 70 – 90%.



Анализ процесса на примере ВЛ 500 кВ Итат-Алтай.

Краткая характеристика ВЛ

Воздушная линия ВЛ-1106 построена в габаритах 1150 кВ, но эксплуатируется под напряжением 500 кВ. Длина линии 444,5 км. К линии подключаются четыре шунтирующих реактора (по два с каждой стороны) номинальной мощностью 3х300 МВАр при 1150 кВ каждый.

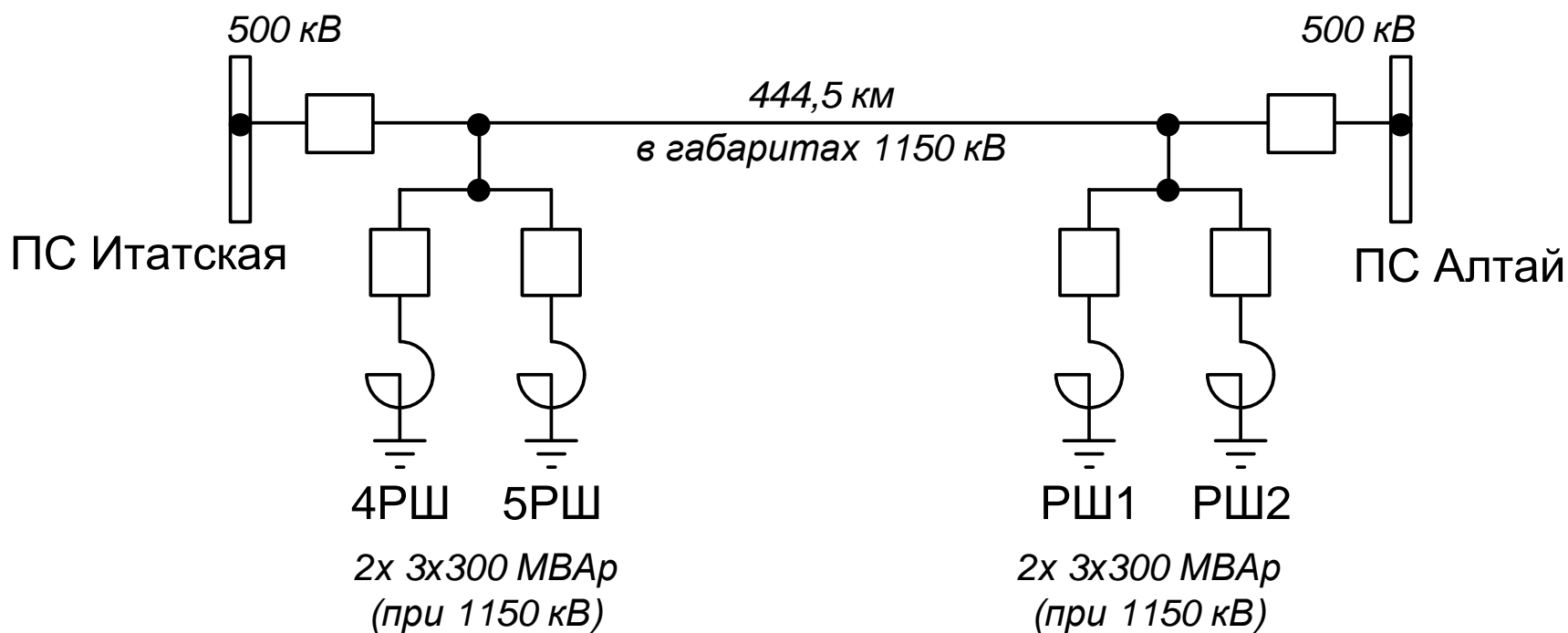
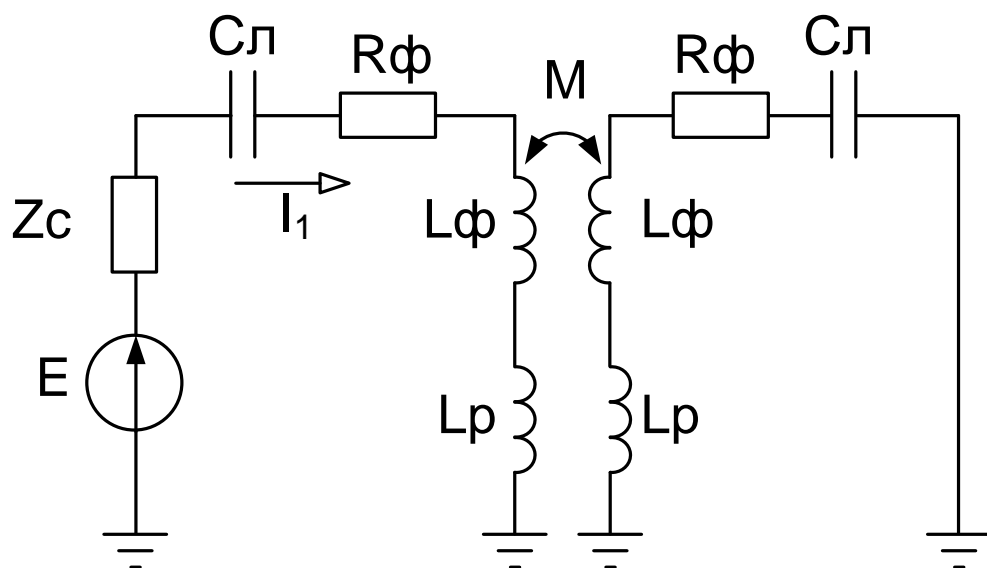


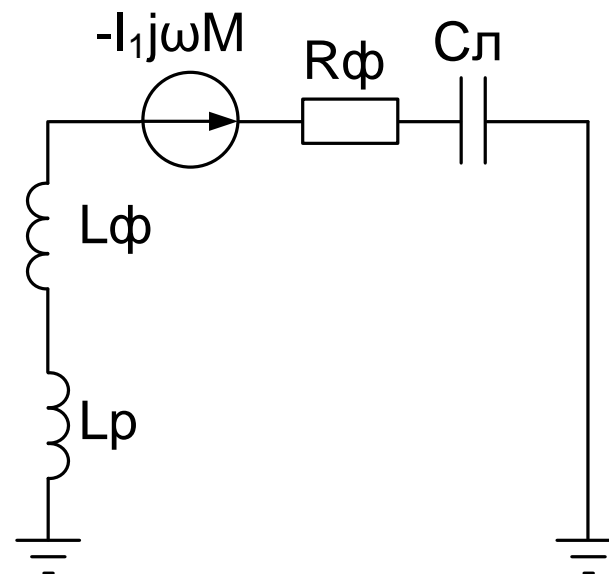


Схема замещения

Принимаем для приближенных расчетов резонансных частот в неполнофазных режимах



или



Параметры схемы замещения резонансного контура:

- $C_{л} = 6,49 \text{ мкФ}$;
- $L_{р} = 4,78 \text{ Гн}$;
- $L_{\phi} = 0,0223 \text{ Гн}$;
- $R_{\phi} = 3,3 \text{ Ом}$.

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_k C_k}}$$

где L_k – суммарная индуктивность контура;
 C_k – суммарная емкость контура

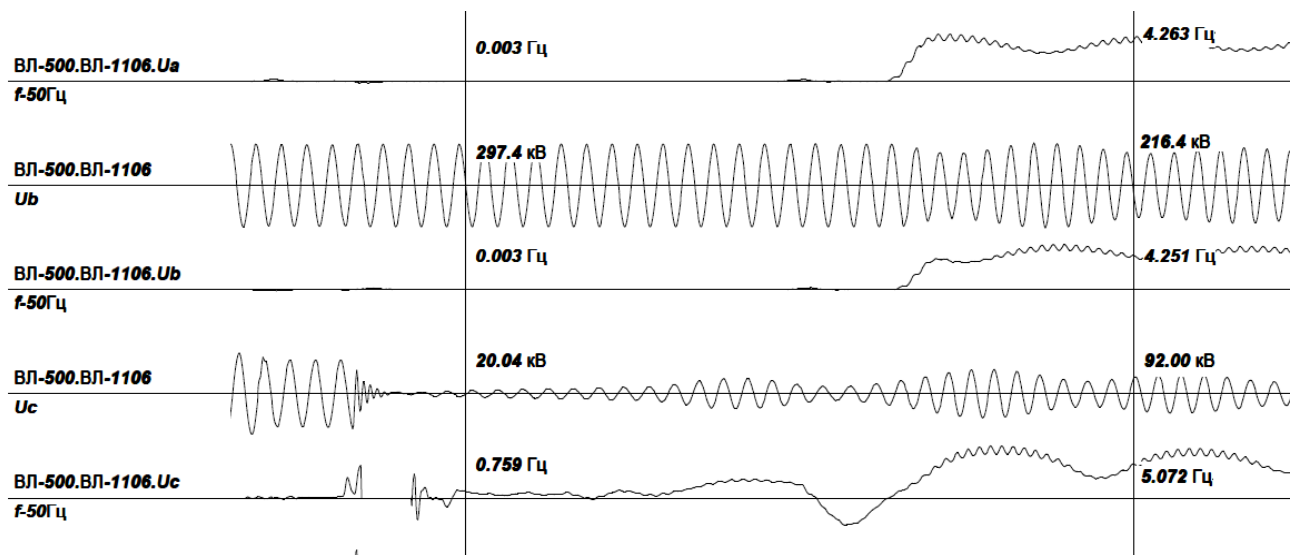
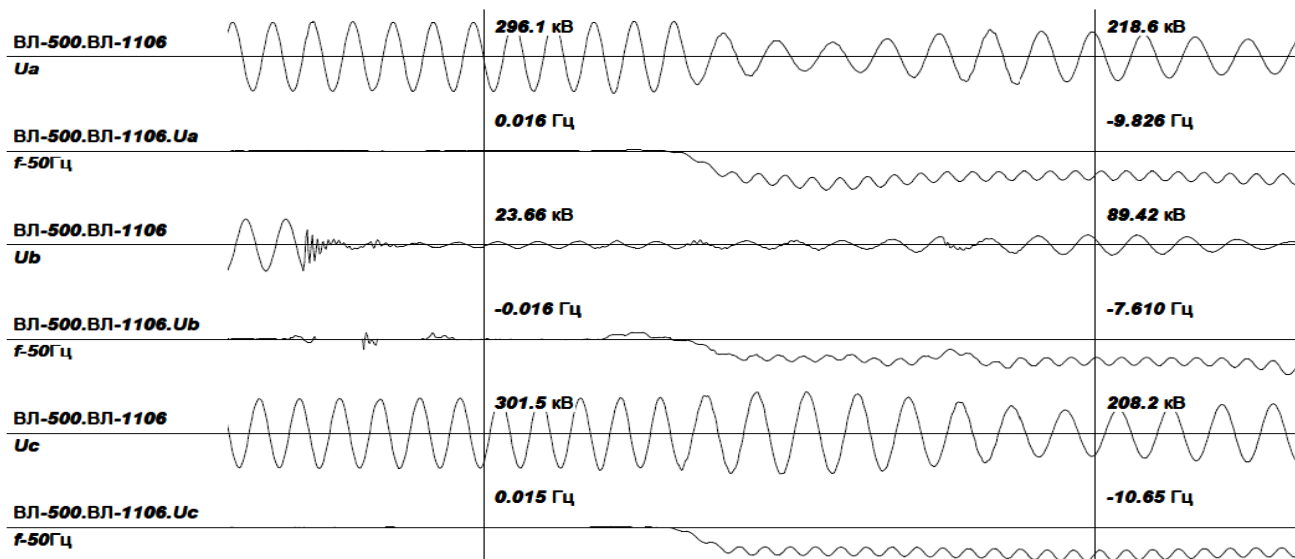
В зависимости от числа подключенных к линии реакторов резонансные частоты:

- при 2-х подключенных реакторах $f_p = 40 \text{ Гц}$;
- при 3-х подключенных реакторах $f_p = 49,3 \text{ Гц}$;
- при 4-х подключенных реакторах $f_p = 57 \text{ Гц}$.



Данные РАС ВЛ-1106

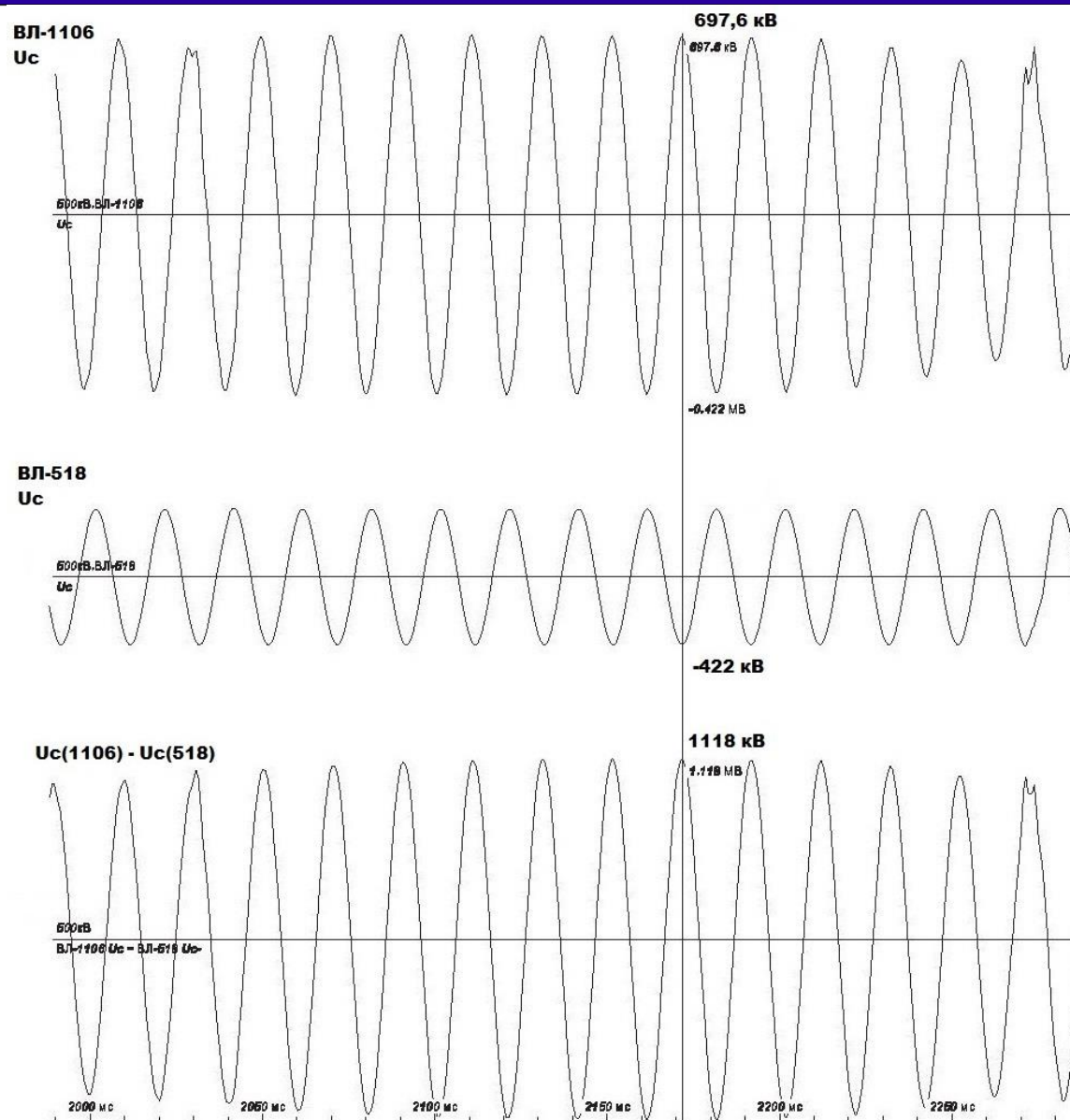
Резонансная частота на отключенной ВЛ с 2-мя включенными РШ при отключении 3-х фаз (по данным РАС ≈ 41 Гц)



Резонансная частота на отключенной ВЛ с 4-мя включенными РШ при отключении 3-х фаз (по данным РАС ≈ 56 Гц)

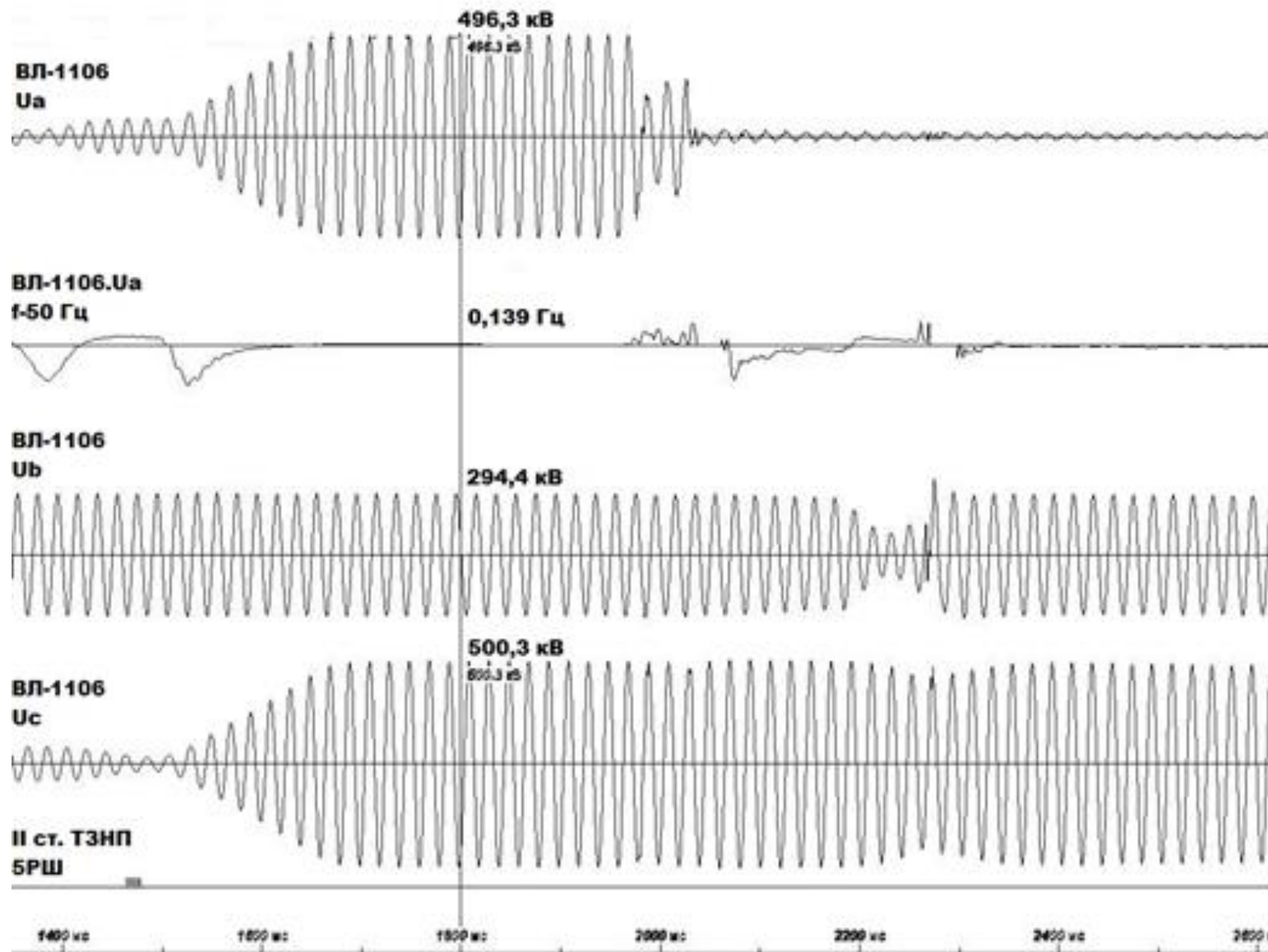


Осциллограммы напряжений фазы «С» ВЛ-СШ





Осциллограммы напряжений ВЛ-1106 после отключения 5РШ





Возможные причины отказа типовой АОПН

Устройства АОПН и УРОВ АОПН, выполненные по классическому принципу (т.е. по типовым решениям 80-х годов), не способны надежно функционировать при резонансных перенапряжениях и ликвидировать их.

- Отсутствие фиксации отключения + неработоспособность контролей по активной и реактивной мощности;
- в неполнофазных режимах и цикле ОАПВ по алгоритму ОК с действием на ТО ВЛ с противоположной стороны, нельзя считать правильной (приведет к срыву цикла ОАПВ).
- в прочих неполнофазных режимах ТО от АОПН не будет иметь никакого эффекта, т.к. с противоположной стороны линия уже отключена.
- УРОВ АОПН не способен функционировать при полной компенсации емкости линии, т.к. ток, протекающий по включенной фазе выключателя, стремится к нулю.



Методы борьбы

- При фиксации цикла ОАПВ - действие на упреждающее отключение РШ. (вводится оперативно)

Не работоспособность при трехфазном отключении с отказом выключателя, а также при ошибке оперативного персонала.

- Автоматика основанная на контроле напряжения в фазах и нулевой последовательности.

В случае отключения последнего реактора на отключенном конце ВЛ будет недопустимое повышение напряжения, что может приводить к развитию ситуации.

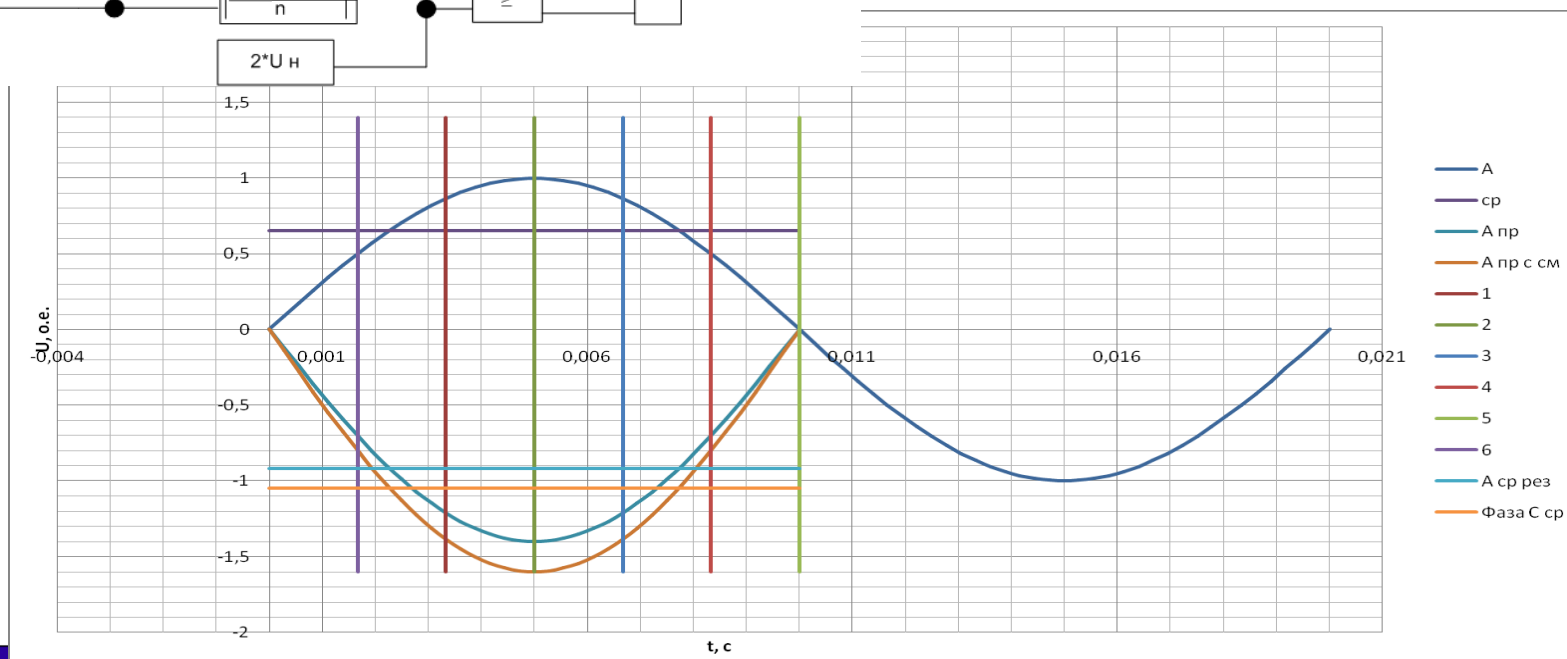
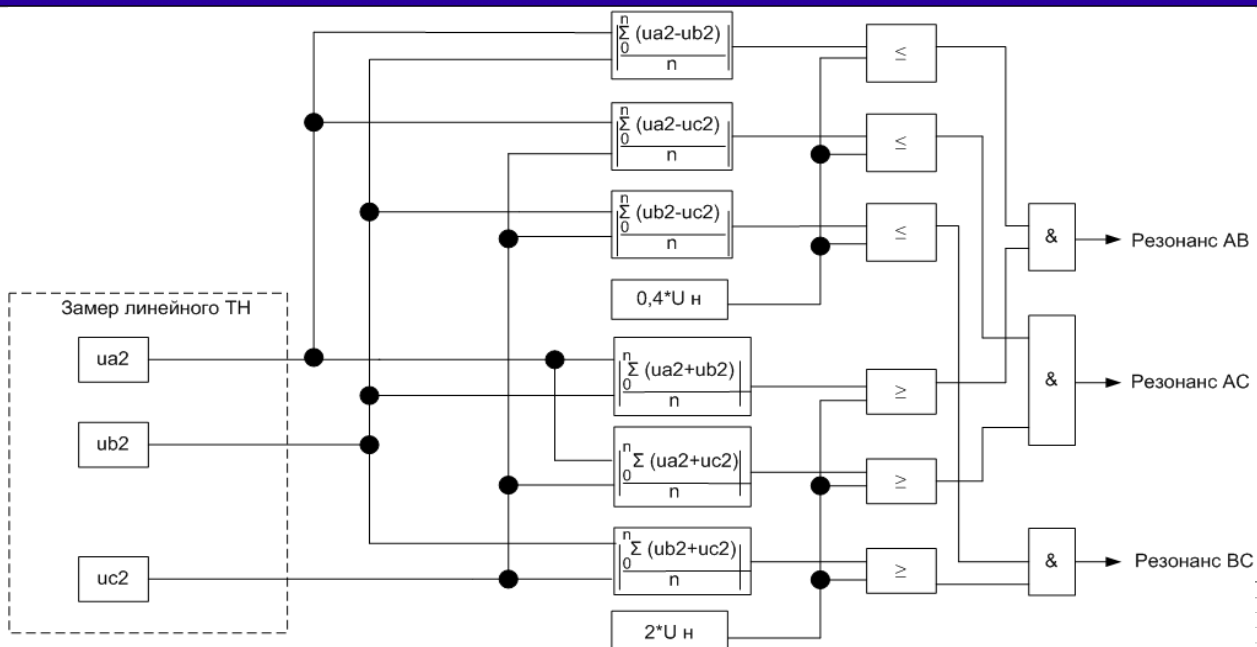


Усовершенствованный алгоритм АОПН

- Традиционный алгоритм работы АОПН сохраняется в полном объеме.
- Выявление резонанса выполняется исходя из угловых характеристик и величин напряжения линии.
- Дополнительно фиксируется перенапряжение (в том числе резонансное) в неполнофазном режиме, если со стороны установки комплекта АОПН имеется хотя бы одна включенная фаза. Условие выполняется контролем напряжений на шинах и линии.
- АОПН должен действовать на алгоритм изменения состояния реактора на своей стороне ВЛ или на противоположной по средствам передачи одной команды ПА и в крайнем случае на отключение ВЛ.



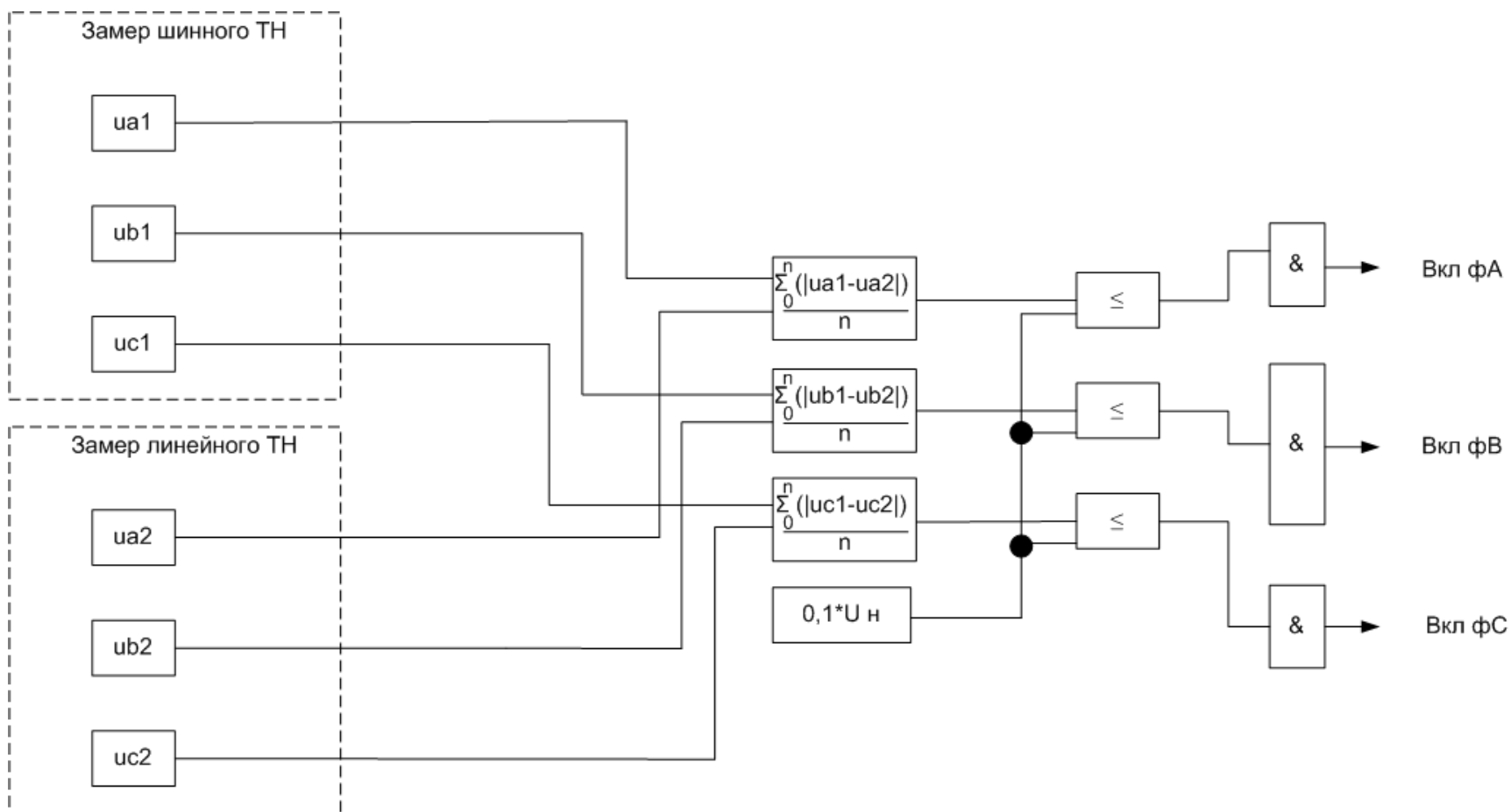
Алгоритм выявления резонанса





Алгоритм контроля состояния фаз

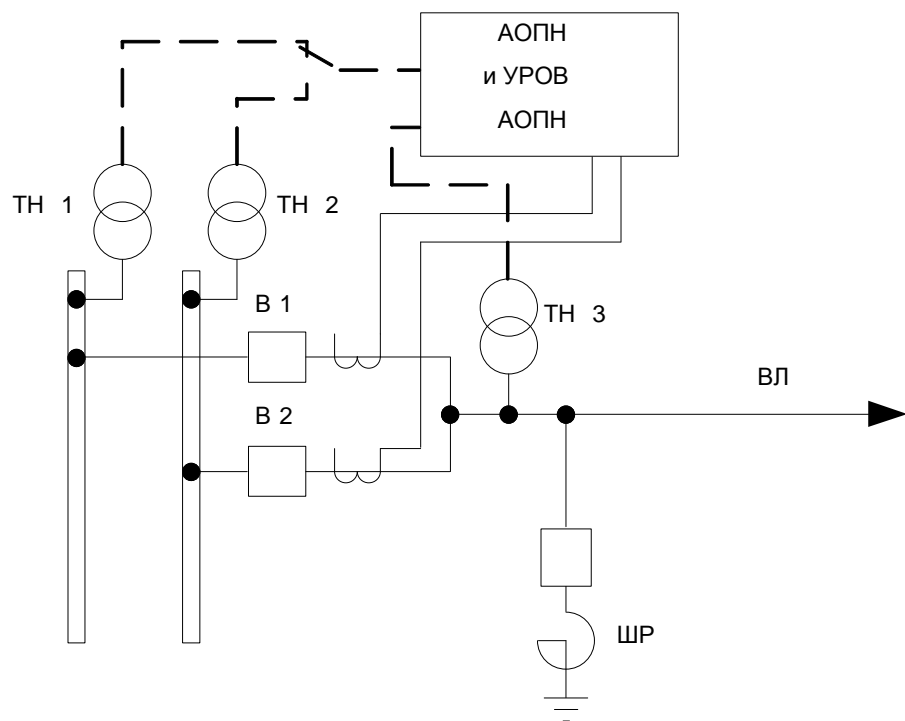
Состояние фаз определяется по анализу напряжений на одноименной фазе шины и линии. Такой способ позволит определить отказавший выключатель в случае его механического повреждения.





Работа УРОВ АОПН

- Пуск УРОВ АОПН выполняется по традиционному принципу: при действии АОПН на отключение линии со стороны установки устройства или приеме команды «Телеотключение от АОПН» с противоположной стороны линии. В некомпенсированном или перекомпенсированном контуре, после действия алгоритма изменения состояния реакторов. Структурная схема АОПН представлена на рисунке.





Выводы

1. Для качественного выявления и последующего анализа проблемных ситуаций необходимо сотрудничество с эксплуатирующими организациями, а также сбор и обработка статистических данных.
2. Усовершенствованная АОПН позволяет выявить резонансный режим и избежать развитие аварии.
3. Отключение от релейной защиты РШ для расстройки контура не позволяет охватить все возможные режимы, а применение автоматики по принципу напряжения нулевой последовательности может вызвать развитие аварийной ситуации.
4. Контроль напряжения АОПН на линии и шинах позволит определить включенные фазы линии (даже при механической неисправности выключателя) и отключенные фазы, в которых развивается резонанс, для реализации мероприятий по предотвращению аварии.



Спасибо за внимание!

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

Россия, г.Новосибирск, 630132, ул.Железнодорожная, 12/1

Тел./факс: (383)3630265

E-mail: iaes@iaes.ru