

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ ПРИ КОММУТАЦИИ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ НА ПОДСТАНЦИИ ЗАРЯ 500 кВ

Сизганов Н.В.

**Руководитель: канд. техн. наук, доцент каф. ЭТКиС ПИ СФУ Сизганова Е.Ю.
канд. техн. наук, доцент каф. ЭСиЭЭС ПИ СФУ Тимофеев С.А.**

ПИ СФУ

В электрических сетях 500 кВ средствами компенсации реактивной мощности являются шунтирующие реакторы (РШ), которые могут выполнять несколько функций: снижение потерь мощности; поддержание реактивной мощности генераторов в допустимых пределах; повышение пропускной способности линий электропередачи по условиям устойчивости; поддержание уровней напряжения в пределах, определяемых “Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей”.

В настоящее время на подстанциях ОАО «ФСК ЕЭС» установлено более 270 шунтирующих реакторов на напряжение 500 кВ.

Частые коммутации РШ, в среднем около 100 за год, а на отдельных объектах – до 1000 [1], приводят к высокой повреждаемости выключателей, коммутирующих реакторы.

Сильное дугогасящее воздействие в выключателях при отключениях РШ может приводить к срезам тока при мгновенных значениях 25–40 А (по некоторым данным – до 70 А). Высокие восстанавливающиеся напряжения на контактах выключателей после среза тока и малые межконтактные промежутки в момент гашения дуги, могут вызывать в выключателе повторные зажигания дуги, что в совокупности может являться источником высокочастотных перенапряжений, воздействующих на изоляцию не только РШ, но и всей подстанции (ПС).

Иногда высокочастотные перенапряжения могут трансформироваться по емкостным связям трансформаторов на распределительных устройствах низкого напряжения и вызывать в них существенные высокочастотные колебания [2].

Подстанция 500 кВ Заря установленной мощностью 1600 МВА введена в эксплуатацию в 1972 году. От ее надежной работы зависит электроснабжение города Новосибирска и нескольких административных районов на востоке Новосибирской области. Кроме того, по линии электропередачи 500 кВ Заря – Барабинская – Таврическая подстанция обеспечивает функционирование межсистемной связи между Новосибирской и Омской энергосистемами ОЭС Сибири.

На ПС Заря 500 кВ начиная с 2007 года произошло пять технологических нарушений работы с выходом из строя трансформаторов собственных нужд (ТСН) ТСЗ-630/15. Всем им, предшествовала коммутация шунтирующего реактора на ОРУ-500 кВ.

Для выявления причин повреждения ТСН требуется исследование переходных процессов, вызванных коммутациями РШ, и анализ их влияния на изоляцию оборудования собственных нужд.

Такой анализ невозможно провести на реальном объекте или на физической модели. Поэтому необходимо создать имитационную модель, которая была бы адекватна реальному объекту.

Для получения количественной оценки перенапряжений были смоделированы: полная схема ОРУ-500 кВ с примыкающими к нему линиями и системами, схема перехода коммутационных волн в распределительное устройство собственных нужд и схема питания 4ТСН (рис. 1).

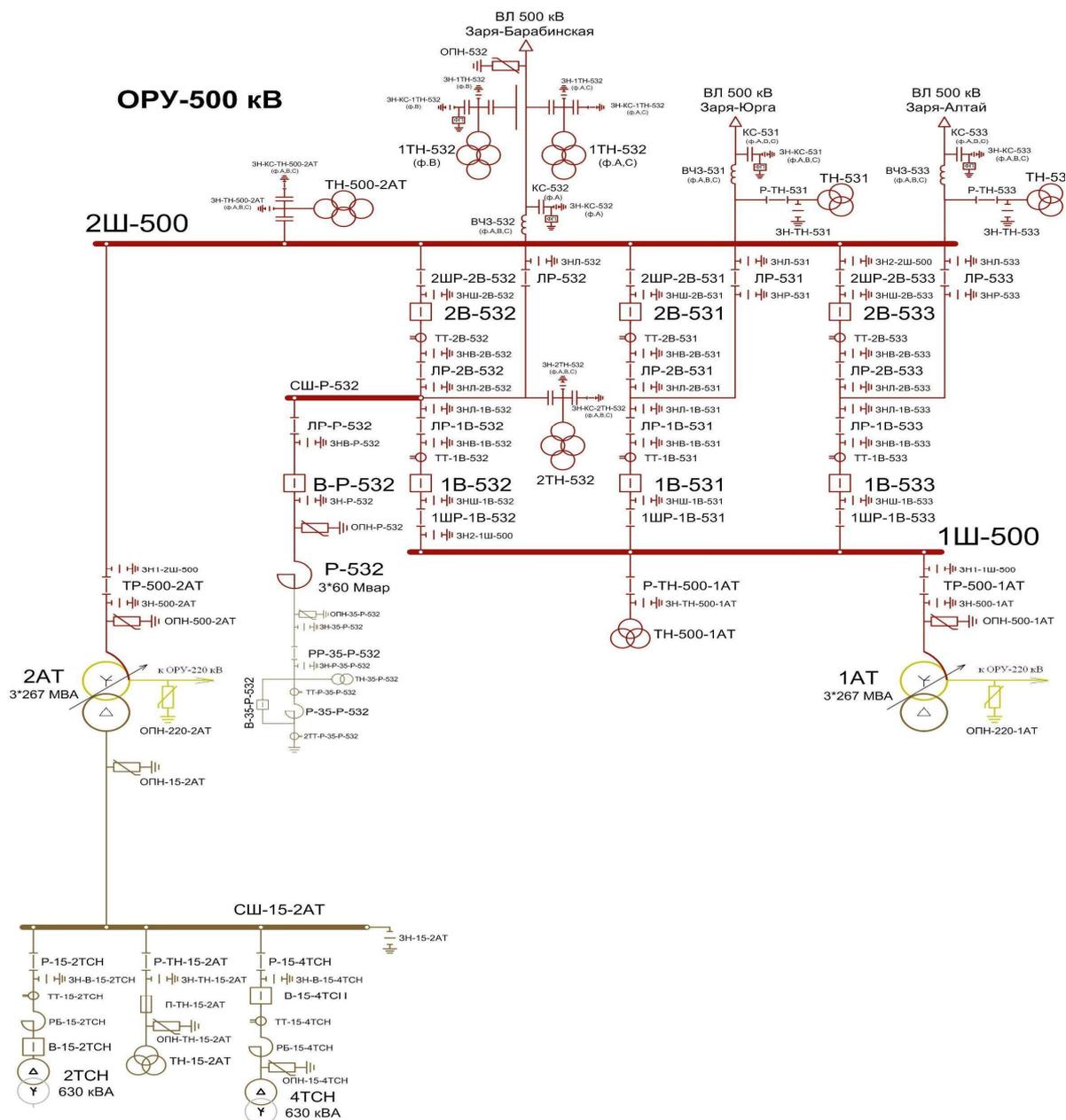


Рис. 1. Схема электрических соединений исследуемого участка ПС Заря 500 кВ

Расчеты в трехфазной модели (рис.2) были проведены с помощью программного комплекса «Matlab R2013b» для персонального компьютера.

Параметры схемы замещения были получены на основе плана ОРУ и разрезов по ячейкам по методике, изложенной в [3]. При высоких частотах процессов, входные сопротивления автотрансформаторов, измерительных трансформаторов и аппаратов замещались входными емкостями. Для упрощения емкости аппаратов разнесены в узловые точки. Кроме того, учитывалась конечная длина соединительных проводов между узловыми точками ПС и местоположение аппаратов.

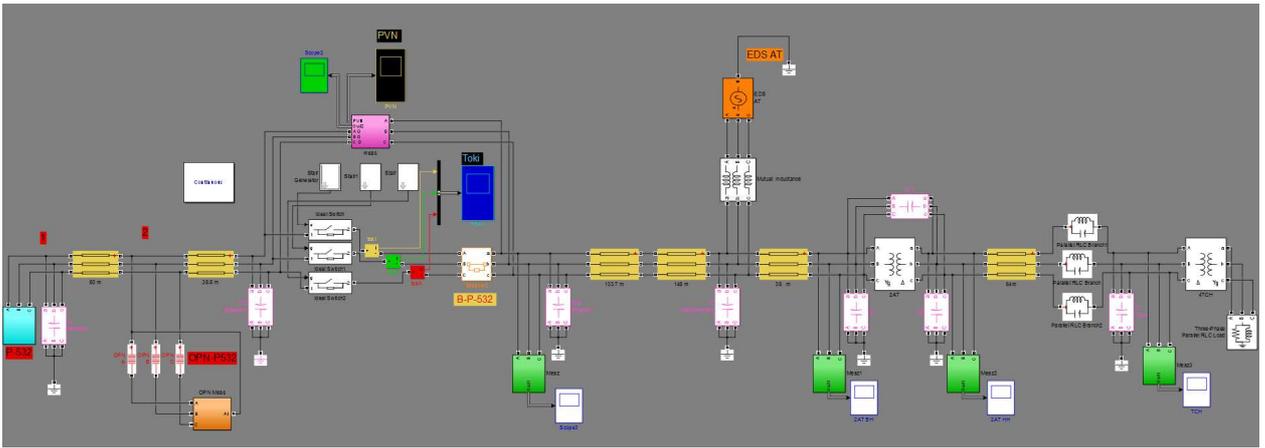


Рис. 2. Схема моделирования исследуемых процессов в среде “Matlab”.

Емкости и индуктивности автотрансформатора 2АТ, определяющие переход через него электромагнитных волн, определялись на основе паспортных данных автотрансформаторов.

Расчет эквивалентных индуктивных сопротивлений сети 500 кВ, примыкающей к ПС Заря 500 кВ, был произведен на основании расчетных токов однофазного и трехфазного КЗ на шинах 500 кВ указанных ПС.

Параметры шин ОРУ определены с учетом геометрии фаз, стрелы провеса, сечения и удельного сопротивления проводов с помощью программы «LineParam». В таблице 1 приведены результирующие удельные параметры шин, рассчитанные для схем прямой и нулевой последовательностей.

Таблица 1 Удельные параметры шин полученные с помощью “LineParam”

Тип шинпровода	R_1 , Ом/км	R_0 , Ом/км	L_1 , мГн/км	L_0 , мГн/км	C_1 , нФ/км	C_0 , нФ/км
2×ПА500	0.0292	0.1737	0.9446	3.8805	12.207	6.9516
8×АС300	0.00056	0.152	0.634	4.36	18.2	6.67

Для моделирования нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН) EXLIM P-396-GH-550 были определены коэффициенты аппроксимации α_i и K_i , на основе вольт-амперной характеристики (ВАХ) из паспортных данных ОПН (Рис. 3), по следующим формулам:

$$\alpha_i = \frac{\left(\frac{I_{i+1}}{I_i}\right)}{\left(\frac{U_{i+1}}{U_i}\right)}, \quad K_i = \frac{\left(\frac{U_i}{U_{баз}}\right)}{\left(\frac{I_i}{I_{баз}}\right)^{1/\alpha_i}}$$

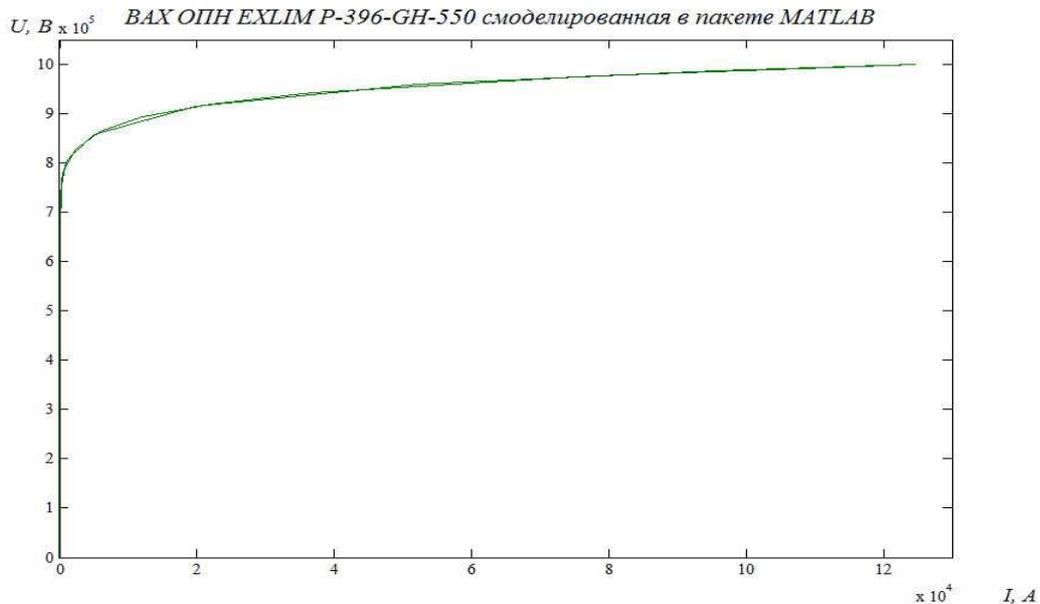


Рис.3 Вольтамперная характеристика ОПН EXLIM P396-GH 550 смоделированная в программе “Matlab”.

Поскольку модель трехфазного выключателя Simulink – «Three – Phase – Breaker» производит отключение токов только при их прохождении через ноль, моделирование срезов тока в выключателе В-Р-532 производилось с помощью «идеальных» однофазных выключателей.

Как показали расчеты, перенапряжения при отключении РШ, вызванные срезом тока в выключателе, воздействуют на изоляцию лишь со стороны шунтирующего реактора (рис.4). Перенапряжения со стороны ОРУ при этом, практически не возникают.

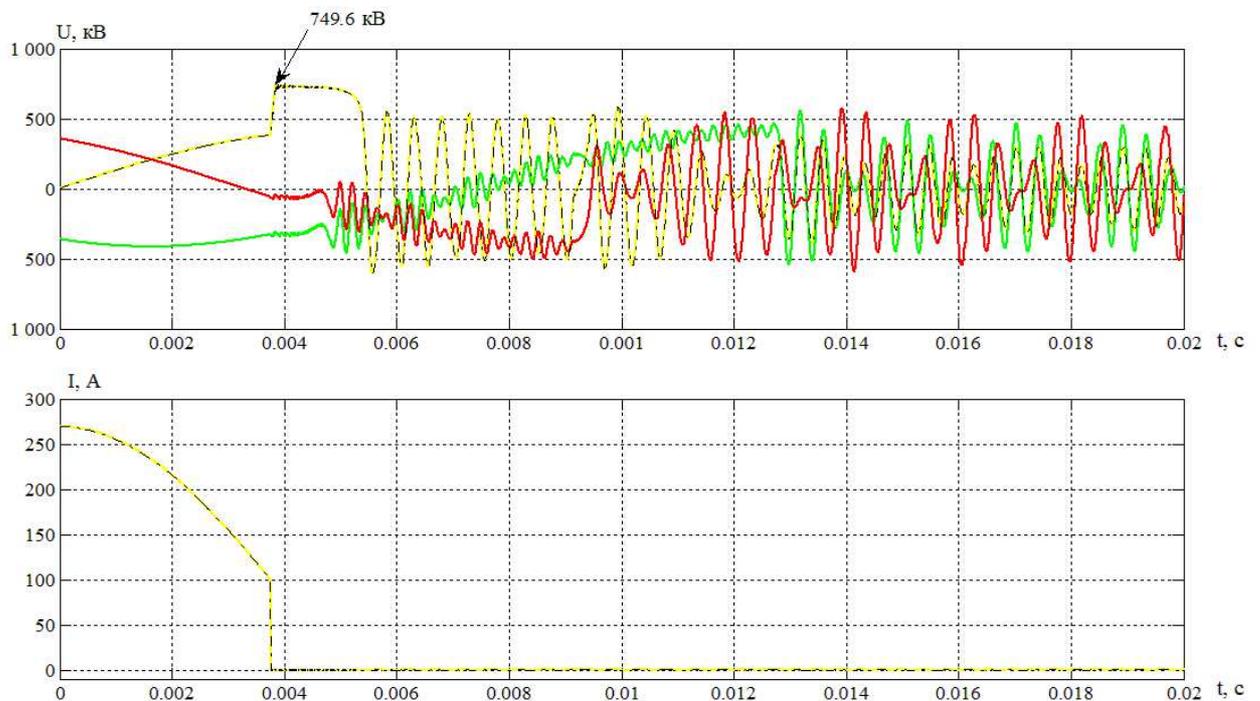


Рис. 4. Напряжения со стороны РШ и ток, протекающий через выключатель при срезе амплитуды тока 100 А

Во время переходного процесса при коммутации РШ Р-532 наблюдаются высокочастотные колебания, с основной частотой 2,Х кГц (рис. 5), определяемой в основном индуктивностью РШ и емкостью изоляции его обмотки.

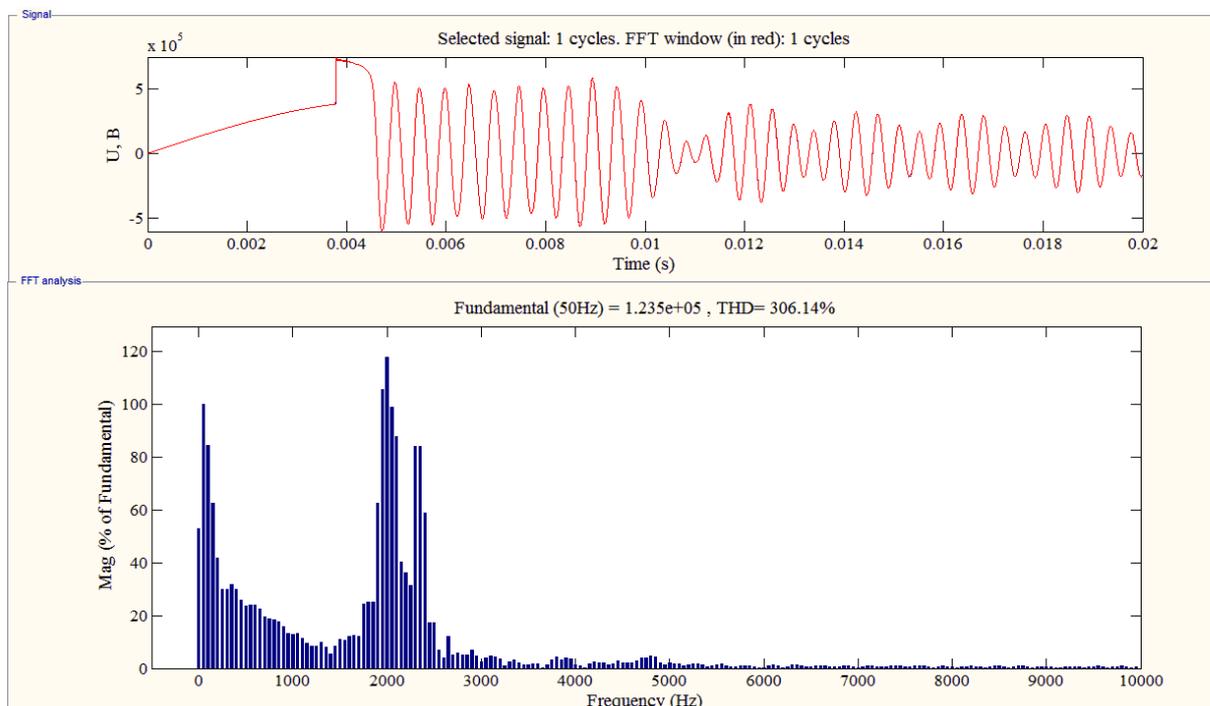


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика напряжения фазы А на реакторе Р-532

В рассматриваемой коммутации, кратности перенапряжений в отношении к фазному максимальному напряжению, для реальных значений тока среза $I_{ср}$ не превышают 1,8 (рис.6) с учетом работы ОПН.

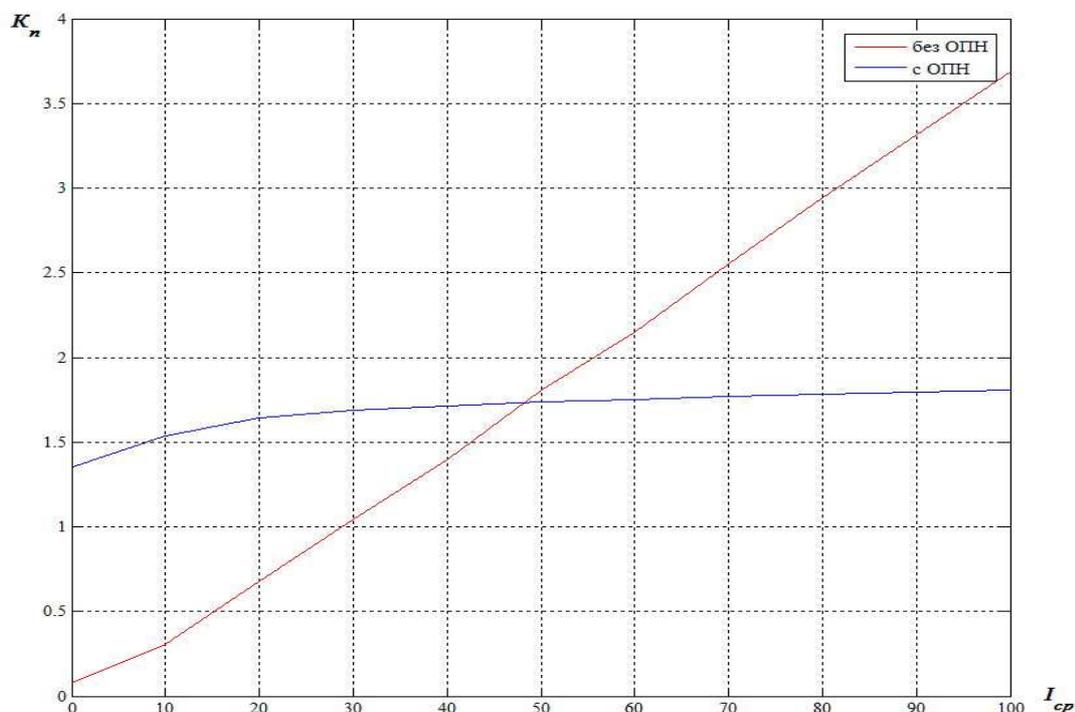


Рис. 6. Кратности перенапряжений при отключении РШ со срезом тока в выключателе

Как показали исследования, колебания, возникающие при срезе тока в выключателе, со стороны высокого напряжения 2АТ имеют относительно невысокие значения (рис.7, а).

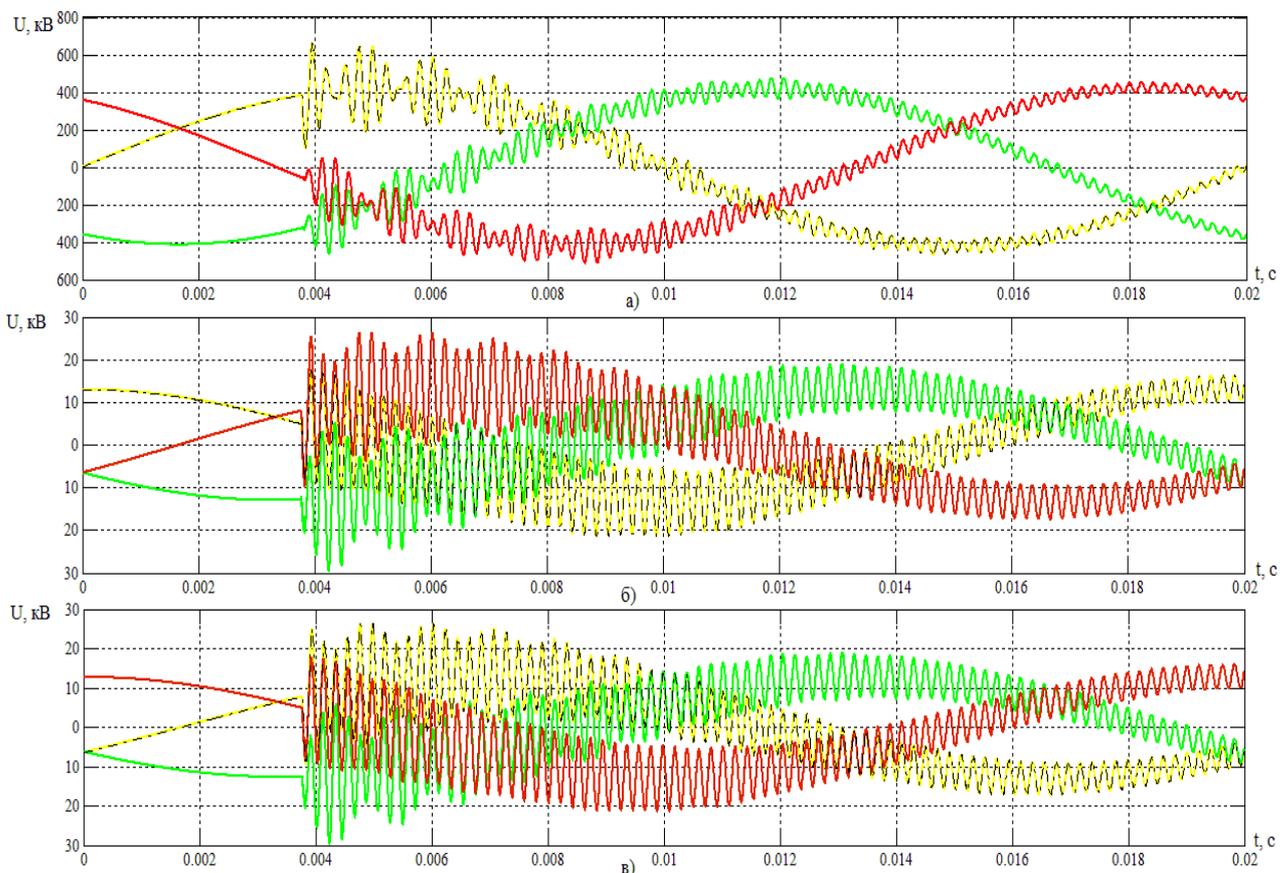


Рис. 7. Колебания, вызванные срезом тока в выключателе при отключении РШ: а) со стороны 500 кВ 2АТ; б) со стороны 15 кВ 2АТ; в) на трансформаторе 4ТСН

При переходе этих колебаний на обмотку 15 кВ 2АТ они незначительно возрастают (рис.7, б), однако при этом на 4ТСН так же происходит существенное возбуждение высокочастотных колебаний (рис. 7 в).

Очевидно, что эти колебания значительно возрастут при повторных пробоях между контактами выключателя.

Поэтому, задачей дальнейших исследований является изучение переходных процессов, вызванных срезом тока в выключателе с повторными зажиганиями дуги между его контактами.

В процессе моделирования выявлено, что высокочастотные перенапряжения трансформируются по емкостным связям трансформаторов 2АТ на распределительное устройство низкого напряжения и трансформатор 4ТСН и вызывают в них высокочастотные колебания 83,4 кГц (рис. 8).

Как показали исследования, главная составляющая высокочастотного процесса (83.05 кГц), в основном обусловлена возбуждением колебательного контура образованного индуктивностью токоограничивающего реактора РБ-15-4ТСН, емкостью цепей СН 15 кВ и трансформатора 4ТСН.

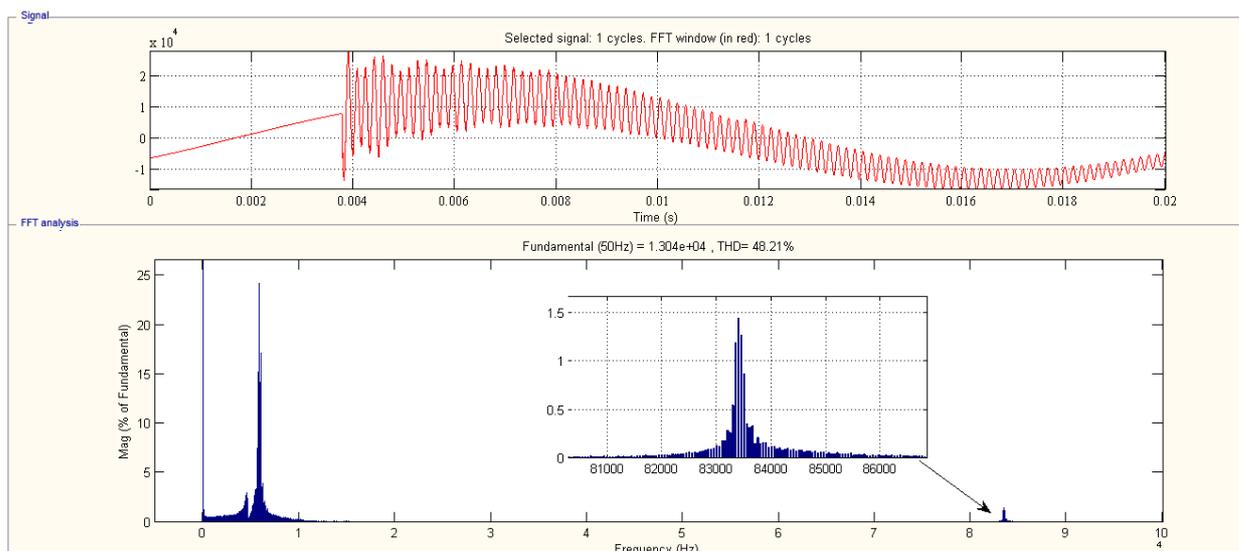


Рис. 8. Амплитудно-частотная характеристика колебаний на фазе трансформатора 4ТСН

Из полученных результатов можно сделать следующие основные выводы:

1. Отключение РШ со срезом тока в выключателе не представляет опасности для изоляции оборудования установленного со стороны РШ, так как кратности перенапряжений $1,8 \cdot U_{ф макс}$ не превышают нормированного ГОСТ значения ($2,5 \cdot U_{ф макс}$) допустимого для изоляции 500 кВ;
2. Трансформация переходных процессов при коммутации Р-532 с ОРУ-500 кВ через 2АТ в сеть СН 15 кВ, приводит к появлению высокочастотных перенапряжений на 4ТСН. Однако их кратность относительно земли не превышает $2,34 U_{ф макс}$, благодаря работе ОПН-15-4ТСН;
3. Значительная высокочастотная составляющая перенапряжений 83,4 кГц, в основном обусловлена возбуждением колебательного контура образованного индуктивностью токоограничивающего реактора РБ-15-4ТСН и емкостью трансформатора 4ТСН;
4. В дальнейших исследованиях будут рассмотрены процессы отключения РШ с повторными зажиганием дуги на контактах выключателя и процессы трансформации возникающих волн перенапряжений в цепи собственных нужд подстанции.

Список использованных источников

1. Рд 153-34.3-47.501-2001. Рекомендации по эксплуатации выбору выключателей работающих в цепи шунтирующих реакторов. РАО «ЕЭС России» и АО «ВНИИЭ».
2. Об эксплуатации подстанций и линий электропередачи высокого напряжения, оснащенных шунтирующими реакторами. Базавлук А.А., Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Производственно-технический научный журнал. Электро. №6. 2009 г.
3. Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений (рд 153-34.3-35.125-99)/ под научной редакцией Н.Н. Тиходева. – 2-ое издание. Санкт-Петербург: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. – 353 с.