

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ШКАФОВ АВТОМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ТИПА «БРЕСЛЕР»

Петров М.И., Соловьев И.В., Чиндяскин В.И., Сальцев В.П.
(«НПП Бреслер» г.Чебоксары, Оренбургский ГАУ.
Филиал ОАО «МРСК Волги»-«Оренбургэнерго»)

В сетях 6-35 кВ заземление нейтралей через дугогасящие реакторы компенсирует емкостные токи в месте замыкания и снижает в ряде случаев величины перенапряжений. Однако остается опасность возникновения больших кратностей перенапряжений при сочетании ОДЗ и неполнофазных режимов, возникающих при замедленной работе или отказе фаз выключателя и неточной настройке дугогасящего реактора. Используемая автоматическая настройка реактора в силу инерционности и имеющегося допуска в настройке не позволяет полностью устранить максимальные кратности возникающих перенапряжений. Высокоомное резистивное заземление нейтрали [1] целесообразно применять в случаях, когда сеть должна иметь возможность длительной работы в режиме 033 до обнаружения места 033. При этом ток в нейтрали должен быть такой величины, чтобы исключить появление опасных дуговых перенапряжений и снижение электробезопасности [2], но быть достаточным для определения поврежденного присоединения и работы релейной защиты на сигнал [3]. Комбинированное заземление нейтрали осуществляется путем присоединения высокоомного резистора параллельно ДГР и позволяет снижать уровень перенапряжений при неточной настройке ДГР, а также способствует работе на сигнал релейных защит.

На подстанции «Россия» Центрального производственного отделения ОАО «МРСК Волги» выполнено комбинированное заземление нейтрали с применением микропроцессорного цифрового шкафа автоматики и управления дугогасящими реакторами типа БРЕСЛЕР-0107.060 (в дальнейшем именуемый «шкаф»).

Разработано руководство для работы со шкафом в соответствии с требованиями технических условий ТУ 3433-019-20572135-2006 «Терминалы защиты, автоматики и управления серии БЭ2502», которое содержит описание технических характеристик, состав, конструктивное исполнение шкафа и работы с ним.

Шкаф предназначен для применения исключительно в электрических станциях и подстанциях, где все необходимые работы выполняются квалифицированными работниками, т.е. специалистами, ознакомленными с установкой, монтажом, вводом в эксплуатацию, эксплуатацией и инструкцией по технике безопасности продуктов данного рода. Их квалификация соответствует выполняемым работам и операциям.

Следует отметить, что шкаф питается оперативным переменным трехфазным напряжением $U_{пит} \approx 380В$, 50Гц и правильно функционирует при изменении напряжения питания в диапазоне 0,8...1,1 $U_{пит}$. Использование постоянного напряжения недопустимо.

Шкаф предназначен для автоматической настройки КНП сети на заданный режим компенсации и определения емкостного тока в компенсированных сетях 6 – 35 кВ. Принцип работы устройства автоматики (терминала), находящегося в шкафу, основан на определении частоты собственных колебаний контура нулевой последовательности сети [4]. Шкаф предназначен для работы с реакторами: плунжерными; со ступенчатым регулированием индуктивного тока. Допускает управление ДГР при объединении секций шин, а также в схемах с комбинированным заземлением нейтрали сети (шунтированием реактора высокоомным сопротивлением). Автоматика шкафа выполняет функции: определения величины и знака расстройки контура;

автоматической настройки плунжерных ДГР на резонансный или заданный режим компенсации (перекомпенсации или недокомпенсации); автоматического поддержания расстройки КНП сети в заданных пределах; выбор оптимальной отпайки катушки реактора для ступенчатых ДГР; обнаружения неисправности в цепях управления реактором. Предусмотрены возможности: автоматической настройки без использования токовых цепей; совместной работы с терминалами защит; блокировки функции определения расстройки при обнаружении ОЗЗ с сохранением расстройки, предшествующей ОЗЗ; регистрации событий (ОЗЗ, процессы регулирования); определение величины емкостного тока; коммутации резистора при комбинированном включении реактора (по заказу); увеличения количества обслуживаемых секций за счет установки нескольких терминалов; диагностики ДГР.

Температура окружающего воздуха от минус 20 до плюс 40°C; верхнее рабочее значение относительной влажности - не более 80% при 25°C для климатического исполнения устройств УХЛ3.1, - не более 98% при 35°C для климатического исполнения ТЗ.1 (без конденсации влаги), атмосфера при эксплуатации типа II по ГОСТ 15150-69.

Для перевода секции в автоматический режим настройки достаточно переключить тумблер «Выбор режима управления» в положение «Авт». В этом режиме включается светодиод «Автонастройка» соответствующей секции терминала. Терминал переходит в активный режим (измерения расстройки и управления реактором). В контур подается последовательность импульсов токового сигнала и производится измерение расстройки. О наличии импульсов свидетельствуют вспышки светодиода «Измерение».

В случае необходимости терминал автоматики выведет плунжер ДГР в необходимое положение (об этом будут свидетельствовать светодиоды на терминале «Ток ДГР ▲» или «Ток ДГР ▼» и светодиоды на шкафу «Увеличение тока реактора» или «Уменьшение тока реактора»). После успешной настройки секции включается светодиод «Настр. в норме» соответствующей секции.

Ниже приведены результаты из протокола ввода в эксплуатацию шкафа автоматики и управления ДГР типа «Бреслер-0117.060.2» на П/С «Россия» 110/10 кВ Центрального производственного отделения филиала ОАО «МРСК Волги» - «Оренбургэнерго».

Подстанция «Россия» имеет две секции, запитанные от отдельных силовых трансформаторов. Нейтрали присоединительных трансформаторов имеют комбинированное (ДГР параллельно с резистором) заземление нейтрали. В каждой секции установлено по одному плунжерному реактору типа РЗДПОМ-480/10 У1 производства Московского электрозавода и высокоомному резистору типа РЗ 2000-17-10 производства ОАО «ПНП Бolid», г. Новосибирск, сопротивлением 2кОм. ДГР первой секции имеет заводской №1451897, дата изготовления март 1992 г. ДГР второй секции изготовлен в апреле 2006 г, заводской №1506624. По данным СИЗП, расчетные емкостные токи при полной загрузженности секций составляют порядка 30А в первой секции и 20А во второй.

Работы по установке, наладке и вводу в эксплуатацию шкафа автоматики ДГР проводились с 23 по 27 июня 2008 г.

Перед включением терминала управления ДГР в режим автоматической настройки была проведена работа по определению режима настройки, измерению напряжения на нейтрали основной частоты сети (50 Гц), добротности контуров I-й II-ой секций. Для этого в нейтраль сети через сигнальную обмотку реактора вводился токовый сигнал малой длительности. Осциллограммы реакции контура нулевой последовательности (КНП) первой секции на этот сигнал приведены на рис. 1а (напряжение $3U_0$) и рис.2а (ток реактора I_L). Ввиду малого значения $3U_0$ основной частоты сети (0,169 В), обусловленного глубокой расстройкой ($\vartheta = -86,95\%$) и низкой добротностью контура (параллельно катушке включен высокоомный резистор),

амплитуда напряжения кривой переходного процесса имеет существенно большую величину, чем амплитуда $3U_o$.

Секция 1

На рис. 1б и рис. 2б приведены выделенные из осциллограмм переходного процесса затухающие колебания в контуре. Непосредственно из этих кривых определяются собственная частота и коэффициент затухания контура. Степень расстройки компенсации, определяемая как $\vartheta = \frac{I_c - I_l}{I_l} * 100\%$, в данном случае, с

переходом во временную область, находится по формуле: $\vartheta = 1 - \left(\frac{f_0}{f_c}\right)^2$, где f_0 и f_c – собственная частота контура и напряжения промышленной сети соответственно. Полученные значения измеряемых и определяемых в процессе эксперимента параметров приведены в табл. 1.

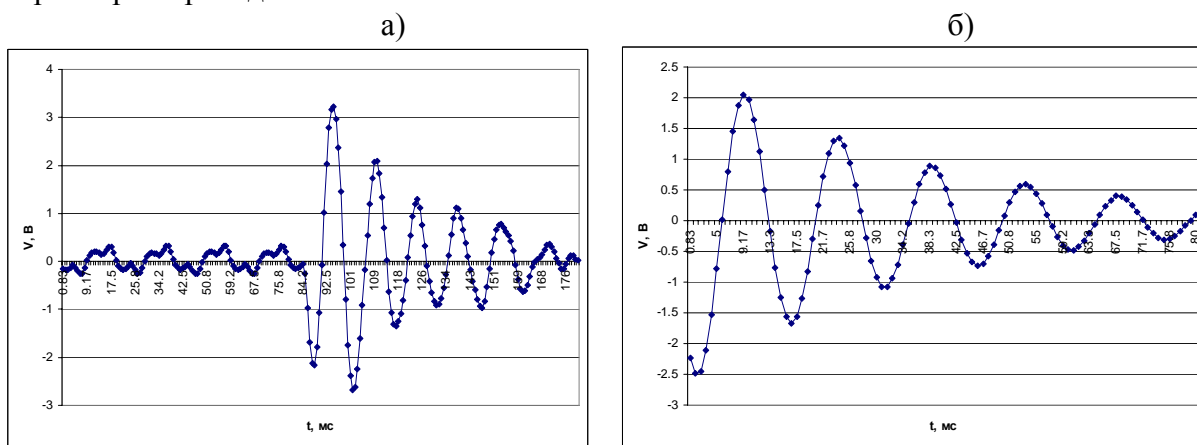


Рис. 1. Осциллограммы напряжения $3U_o$ при введении токового сигнала (а) и свободная составляющая переходного процесса (б) I-й секции

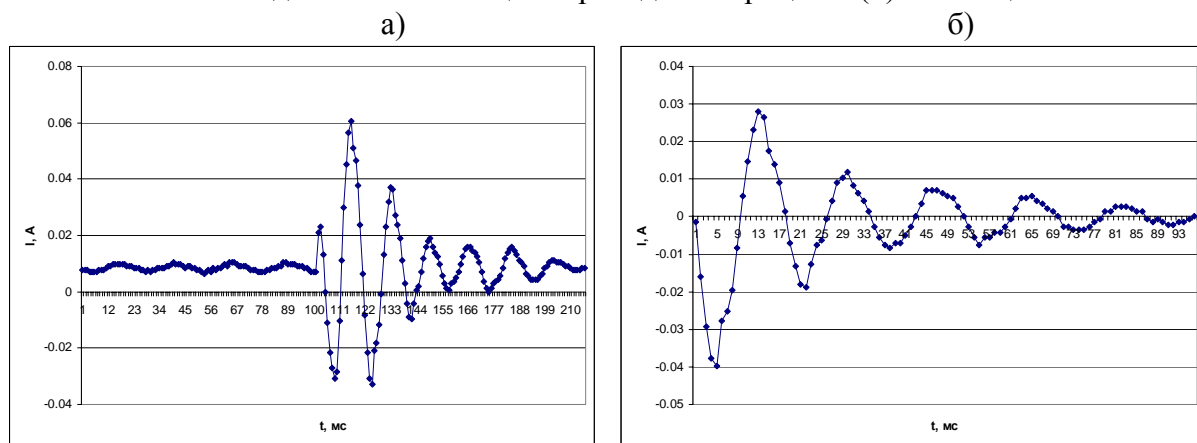


Рис. 1. Осциллограммы тока реактора I_l при введении токового сигнала (а) и свободная составляющая переходного процесса (б) I-й секции

Табл. 1. Результаты измерения параметров КНП 1 секции

Дата	Время	№ секции	Расстрой. %	Собств. част. f_0 , Гц	Резон. част., Гц	Коэф. b	Добр. Q	$3U_{o1}$, В	I_{Ll} , мА
25.06.08	13:17	1	-86,95	68,21	68,36	28,23	7,6	0,169	1,07

По данным табл. 1 видно, что на момент проведения экспериментов контур нулевой последовательности (КНП) настроен на частоту 68,21 Гц, что, в пересчете, дает

расстройку с перекомпенсацией 86,95%. Допустимой расстройкой при емкостных токах замыкания на землю менее 100 ампер, согласно ПУЭ, считается $\pm 5\%$.

Измеренное значение основной гармоники напряжения в кривой $3U_o$ весьма мало (0,169 В) и даже в режиме резонансной настройки не превышает 0,35 В (см. табл. 3). При таких значениях напряжения $3U_o$ и применяемых вольтметров невозможно судить о степени настройки контура, а значит, и настроить его на желаемый режим компенсации. Включение резистора параллельно катушке привело к снижению напряжения на нейтрали. При зафиксированной на момент измерений настройке расчетное значение напряжения первой гармоники U_o , равен 10,6 В при максимально допустимой 900 В для сети напряжением 10 кВ.

На рис. 3 приведены осциллограммы реальных процессов в контуре при введении в нейтраль I-ой секции токового сигнала. На рис.3 и в последующих осциллограммах кривые соответствуют: [1] A1 – фазное напряжение (220 В), используемое в качестве напряжения синхронизации терминала управления ДГР; [2] A2, и [3] A3 – напряжения $3U_{oI}$ $3U_{oII}$; [4] A4, и [5] A5 – токи реакторов I_{LI} I_{LII} I-й и II-й секций соответственно. Из осциллограмм видно, что сигнал возмущения подается в контур через 1003 мс после начала отсчета. Напряжение на нейтрали достигает максимума в момент окончания возмущения, примерно в точке перехода напряжения синхронизации нулевого значения, после чего падает по экспоненциальному закону. Аналогичный закон изменения во времени имеет и ток реактора I_{LI} I-й секции, отстающий по фазе от напряжения на нейтрали U_{oI} . Постоянство действующих значений напряжения $3U_{oII}$ и тока I_{LII} реактора II-й секции указывают на отсутствие в данный временной интервал внешнего возмущающегося воздействия в этой секции.

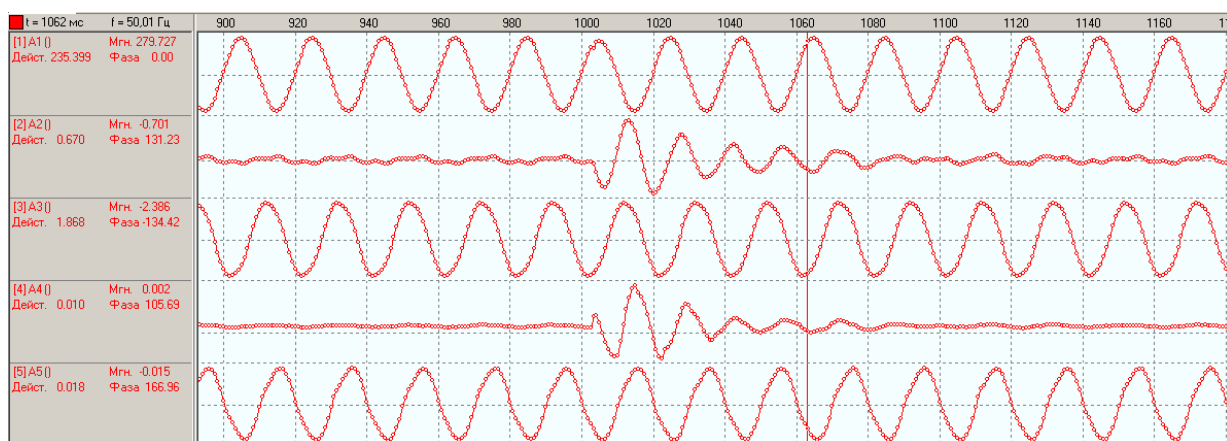


Рис. 3. Осциллограммы сигналов в процессе измерений в I-й секции (начальный режим настройки)

Секция 2

Осциллограммы напряжения нейтрали и тока реактора в процессе определения параметров, приведенные на рис. 4а и 5а указывают на повышенное, по сравнению с I-й секцией значения, что обусловлено, в первую очередь, меньшим отклонением расстройки от резонансной настройки (табл. 2). В этой секции на момент проведения опыта расстройка компенсации составила -8,44%. Повышенное напряжение нейтрали, 1,99 В в режиме резонансной настройки (см. табл.4) и низкая добротность контура ($Q=6,34$) также свидетельствует о наличии в этой секции воздушных ЛЭП, которым характерен более высокий, по сравнению с кабельными, коэффициент естественной несимметрии и активные токи утечки. Расчетная величина напряжения нейтрали второй секции составляет 125,37 В при резонансной настройке контура.

При примерном равенстве энергий, внесенных в КНП первой и второй секций, амплитуда затухающих колебаний отличается незначительно (2,1 В в I-й секции и 2,5 В – во второй), что указывает на сопоставимые значения емкостных токов секций.

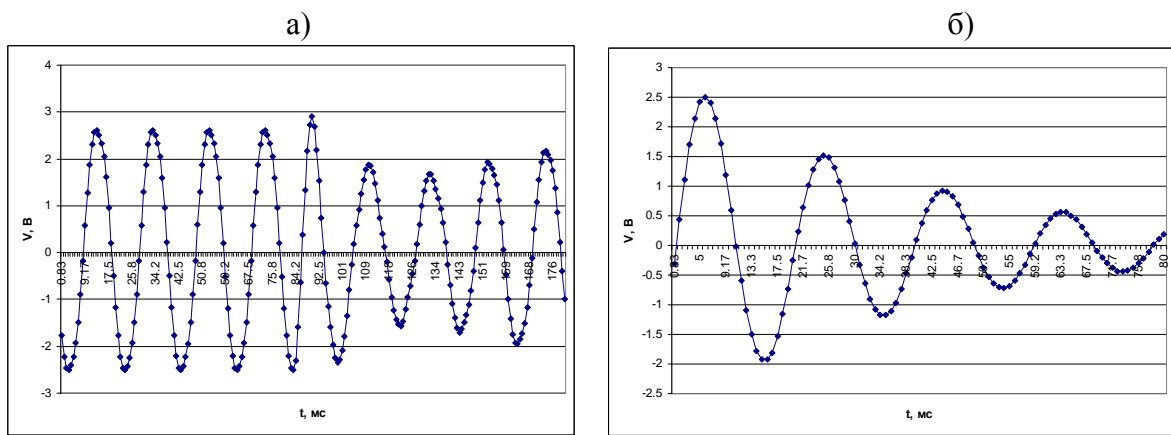


Рис. 4. Осциллограммы напряжения $3U_0$ при введении токового сигнала (а) и свободная составляющая переходного процесса (б) II-й секции

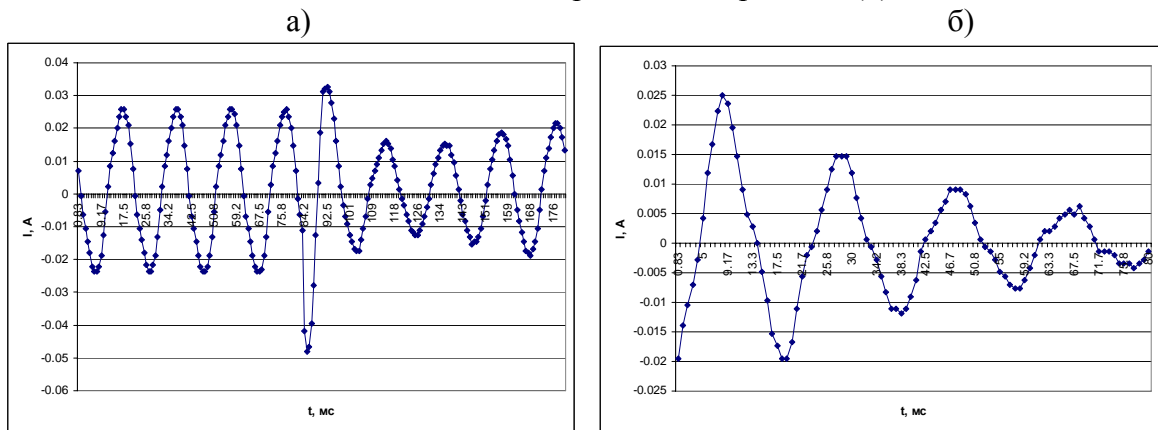


Рис. 5. Осциллограммы тока реактора I_L при введении токового сигнала (а) и свободная составляющая переходного процесса (б) II-й секции

На рис 6 приведены осциллограммы сигналов на входах терминала А1 – А5. Назначение входов и исследуемые сигналы те же, что и на рис. 3. Масштабирование сигналов – автоматическое, определяется размахом входного сигнала в исследуемом временном интервале, поэтому здесь лучше просматриваются напряжение $3U_{0I}$ и ток I_{LI}

Табл. 2. Результаты измерения параметров КНП 2 секции

Дата	Время	№ секции	Расстройка, ϑ , %	Собств. част, f_0 , Гц	Рез. част, Гц	Коэф. b	Добр. Q	$3U_{0II}$, В	I_{LII} , mA
25.06.08	13:17	2	-8,44	51,9	52,06	25,76	6,34	1,86	17,5

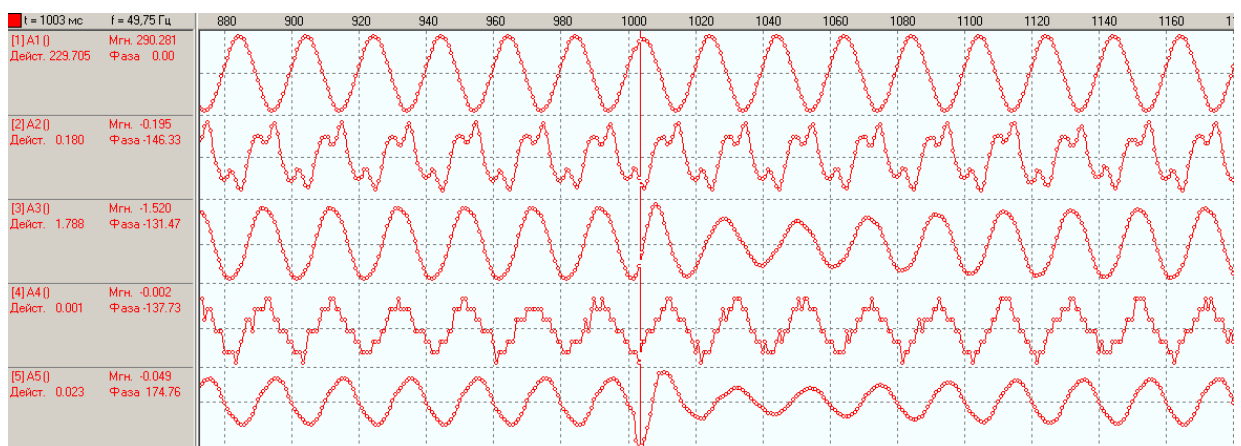


Рис. 6. Осциллограммы сигналов в процессе измерений в II-й секции (начальный режим настройки)

Как видно из результатов измерения, КНП первой секции изначально находился в режиме глубокой перекомпенсации, а второй – близко к границе допустимой.

Необходимо отметить, что при измерении параметров КНП этой секции предыдущим вечером (24.06.2008г.) расстройка контура составляла -21% (перекомпенсация). Сравнивая предыдущий режим секции с расстройкой -86,95%, можно предположить, что ранее часть отходящих фидеров была отключена, а емкостной ток составлял 64,7% от величины, измеренной 25.06.08г.

Настройка реакторов

Автоматика управления ДГР предназначена для поддержания в сети заданного режима компенсации. Имеется возможность изменения как значения поддерживаемой расстройки, так и зоны нечувствительности, которые задаются в виде уставок. Уставка ширины зоны нечувствительности задается в пределах $\pm 10\%$ от емкостного тока секции, а значение уставки поддерживаемой расстройки – $\pm 20\% I_c$. Перед вводом терминала в режим автоматической настройки ДГР производится:

- а) проверка состояния концевых выключателей при крайних положениях плунжера;
- б) проверка соответствия направления движения плунжера и назначения кнопок управления двигателем на панели терминала, а также плите шкафа;
- в) настройка на резонансный режим либо на любое значение расстройки в ручном режиме управления.

После проведения названных операций терминал переводится на режим самостоятельного управления ДГР. В этом режиме он может произвести:

- настройку реактора на резонансный режим (либо заданное уставкой значение расстройки) компенсации емкостных токов замыкания на землю в автоматическом режиме;
- диагностику дугогасящего реактора;
- автоматическое определение емкостного тока секции.

25.06.08 г. были проведены работы по пунктам а, б, в., т.е. апробирована работа шкафа без автоматики управления. В результате были переназначены концевые выключатели на обоих ДГР и изменена схема включения двигателя реактора секции II. В ручном режиме найден резонансный режим, а затем измерена расстройка при крайних положениях плунжера: верхнем – перекомпенсации и нижнем – недокомпенсации. Результаты измерений сведены в табл. 3.

Табл. 3. Измеренные значения расстройки I и II секций при крайних положениях плунжера

№ секции	Расстройка, \mathcal{G}		Емкостный ток секции, А.
	Плунжер вниз, $\mathcal{G}_н$	Плунжер верх, $\mathcal{G}_в$	
I	82,79	-181,34	23,03
II	63,24	-114,37	20,56

Дугогасящие реакторы РЗДПОМ 480-10,5/ $\sqrt{3}$ -У1 имеют кратность регулирования тока, равный 5, т.е. $\kappa_p = I_{\max} / I_{\min} = 5$, где I_{\max} и I_{\min} – паспортные значения максимального и минимального индуктивного тока, соответствующие верхнему – выведенному (63 А), и нижнему – введенному (12,6 А), положению сердечника. Кратность регулирования можно определить также из выражения:

$$\kappa_p = \frac{I_p}{I_{\min}} \times \frac{I_{\max}}{I_p} = \kappa_{p1} \times \kappa_{p2}, \quad (1)$$

где I_p – значение тока реактора, соответствующее резонансному режиму настройке.

Следующим этапом введения в эксплуатацию шкафа управления ДГР является включение терминала на поиск резонансной настройки. Как правило, отработка поиска резонанса производится с положений максимальных расстроек и с области, близкой к зоне заданной уставкой нечувствительности.

Проведенный эксперимент показал на безошибочное нахождение автоматикой управления резонансной настройки контуров обеих секций. Причем максимальное отклонение расстройки (с перекомпенсацией 1,85%) в процессе настройки на резонанс наблюдалось во II секции с положения полностью введенного сердечника ($\vartheta = 63\%$).

В табл. 4 и 5 приведены значения расстройки контуров к моменту включения терминала автоматики на поиск резонанса, а также установленной расстройки, вычисленные параметры КНП секций и величины напряжения $3U_o$ и тока реакторов I_L .

Табл. 4. Результаты измерения параметров КНП 1 секции

Дата	Время	Растр. началь. $\vartheta_n, \%$	Растр. устан. $\vartheta_y, \%$	Собств. част, $f_0, \text{Гц}$	Резон. част, Гц	Коэф. b	Добр. Q	$3U_o, \text{В}$	$I_L, \text{мА}$
25.06.08	15:34	-181	0,13	49,84	49,96	21,96	7,14	0,32	1,33

Секция 1

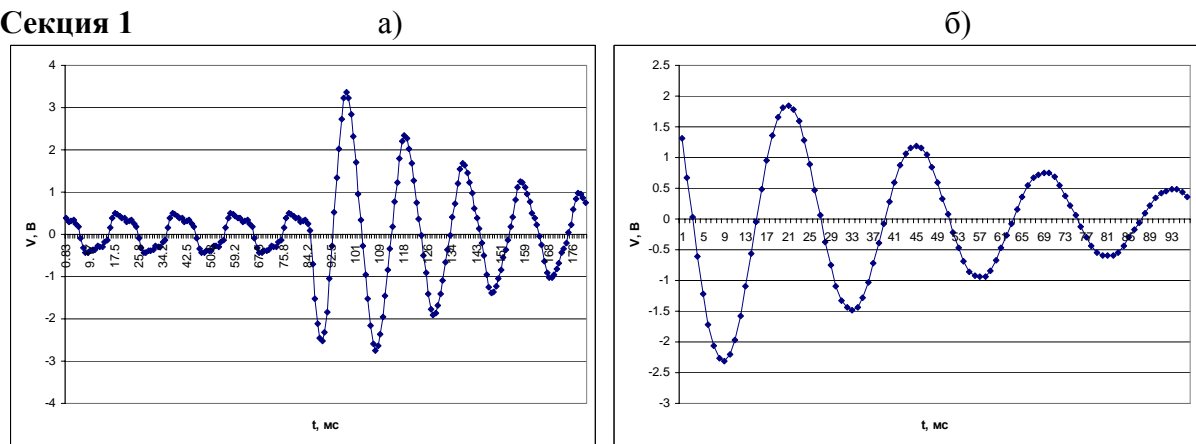


Рис. 7. Осциллограммы напряжения $3U_o$ резонансной настройки КНП I секции

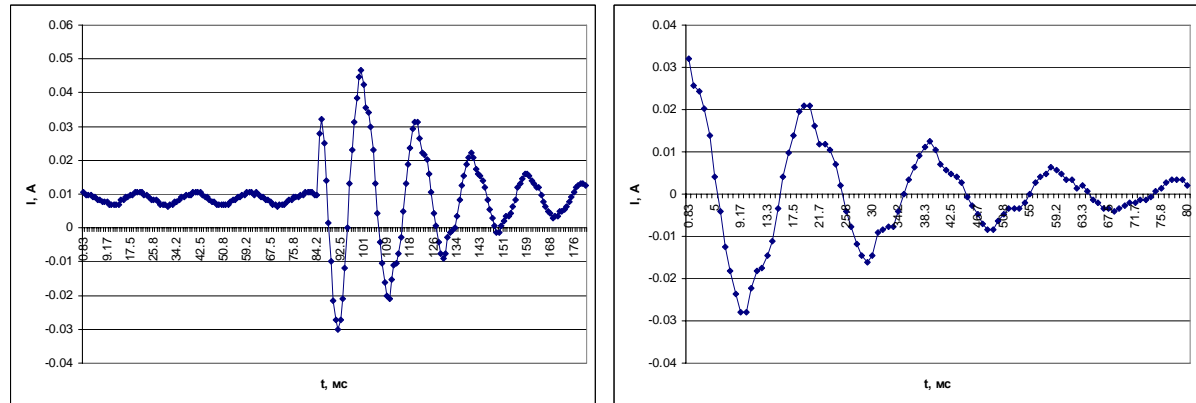


Рис. 8. Осциллограммы тока I_L резонансной настройки КНП I секции



Рис. 9. Осциллограммы сигналов в процессе измерений в I-й секции (резонансный режим настройки)

Параметры контура и расстройка компенсации получены путем обработки кривых переходного процесса, выделенных из осциллограмм напряжения $3U_o$ до и после введения возмущающегося воздействия в контур. На рис. 7 – 12 приведены осциллограммы напряжений $3U_o$, токов реакторов I_L секций I и II п/станции «Россия», снятые при резонансной настройке. Вторая секция имеет меньшую добротность Q и большее значение естественной несимметрии, характерной сетям с воздушными ЛЭП.

Секция 2

Табл. 5. Результаты измерения параметров КНП 2 секции

Дата	Время	Расст. началь. $\vartheta_n, \%$	Расст. устан. $\vartheta_y, \%$	Собст. част, $f_0, \text{Гц}$	Рез. част, Гц	Коэф. b	Добр. Q	$3U_o, \text{В}$	I_L, mA
25.06.08	15:35	63	-1,85	50,18	50,46	33,13	4,78	1,99	12,4

Наибольшая амплитуда выделенной кривой напряжения $3U_o$, обусловленной введением в контур внешнего возмущения, определяется только средним значением тока сигнальной обмотки ДГР, усредненной в интервале проводимости электронного коммутатора и емкостью фаз относительно земли. Без учета потерь в дугогасящем реакторе, присоединительном трансформаторе и заземляющем резисторе напряжение заряда фазных емкостей, вызванных этим возмущением, определяется из выражения:

$$U_{сф} = \frac{1}{C_{\phi} \times k_{ii}} \times t_u I_c, \quad (2)$$

где k_{ii} , t_u , и I_c – коэффициент трансформации (отношение количества витков между рабочей и сигнальной обмотками) ДГР, длительность импульсного возмущающегося тока, среднее значение тока в интервале проводимости коммутатора соответственно. Анализ кривых напряжения $3U_o$ I-й секции (рис. 1б и 7б) и II-й секции (рис. 4б и 10б) указывает на слабую зависимость амплитуды первого полупериода этого напряжения от расстройки компенсации. Учитывая, что параметры свободной составляющей переходного процесса и используется для формирования управляющих сигналов приводом плунжера, независимость этого напряжения от степени расстройки позволяет измерить расстройку с большой точностью и обеспечивает устойчивую работу автоматики управления реактором во все диапазоне регулирования тока ДГР.

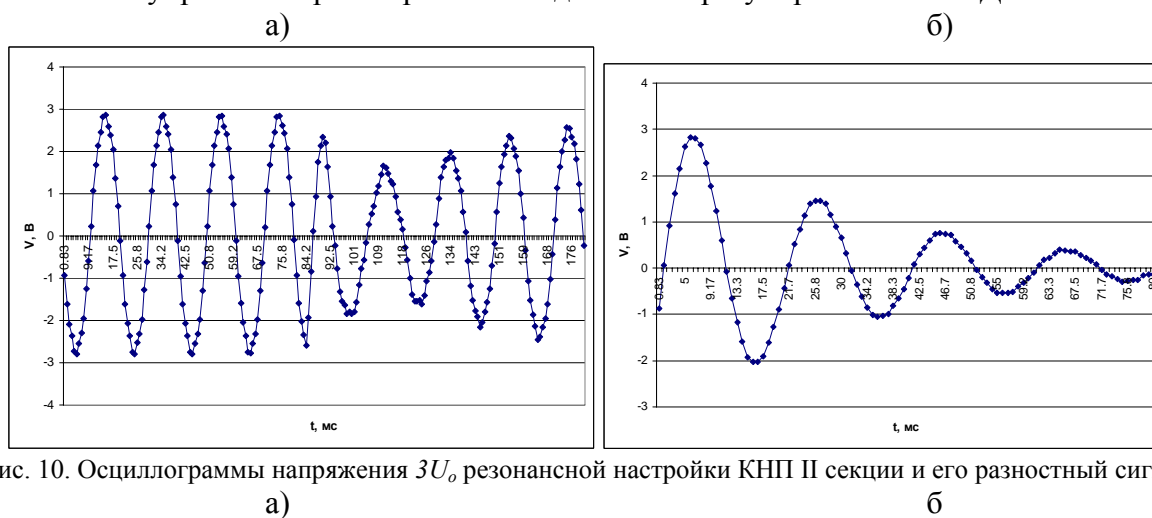


Рис. 10. Осциллограммы напряжения $3U_o$ резонансной настройки КНП II секции и его разностный сигнал

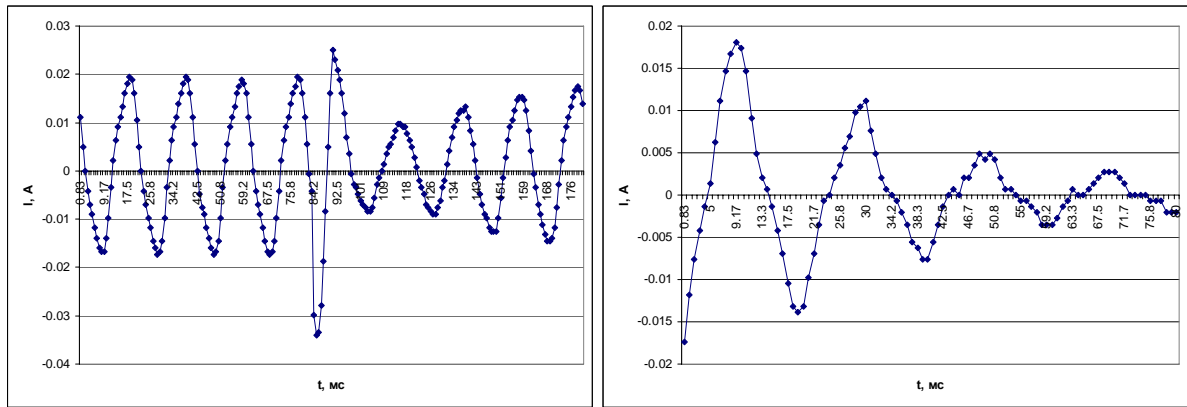


Рис. 11. Осциллограммы тока I_L резонансной настройки КНП I секции и его разностный сигнал

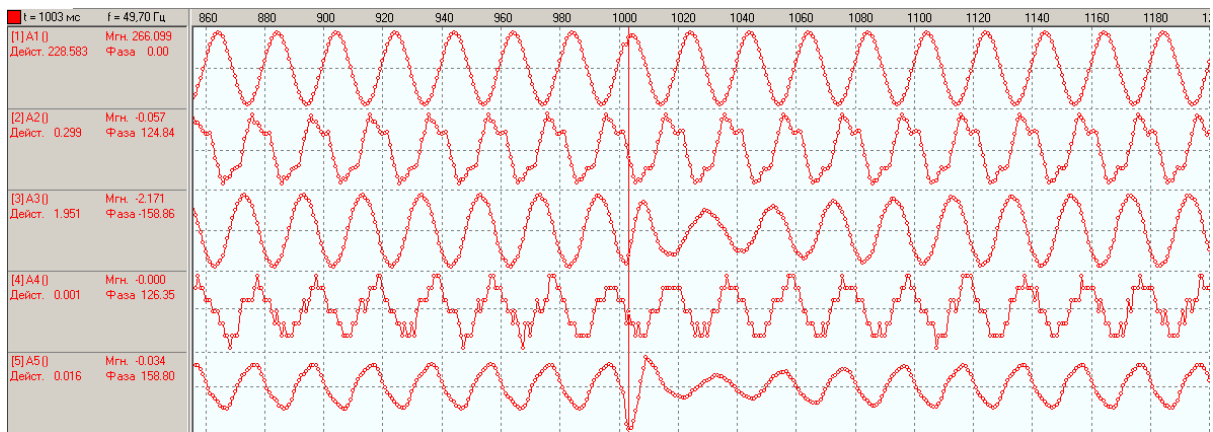


Рис. 12. Осциллограммы сигналов в процессе измерений в I-й секции (резонансный режим настройки)

Снятие регулировочных характеристик реакторов

Регулировочной характеристикой (РХ) ДГР плунжерного типа является зависимость индуктивного тока от положения плунжера.

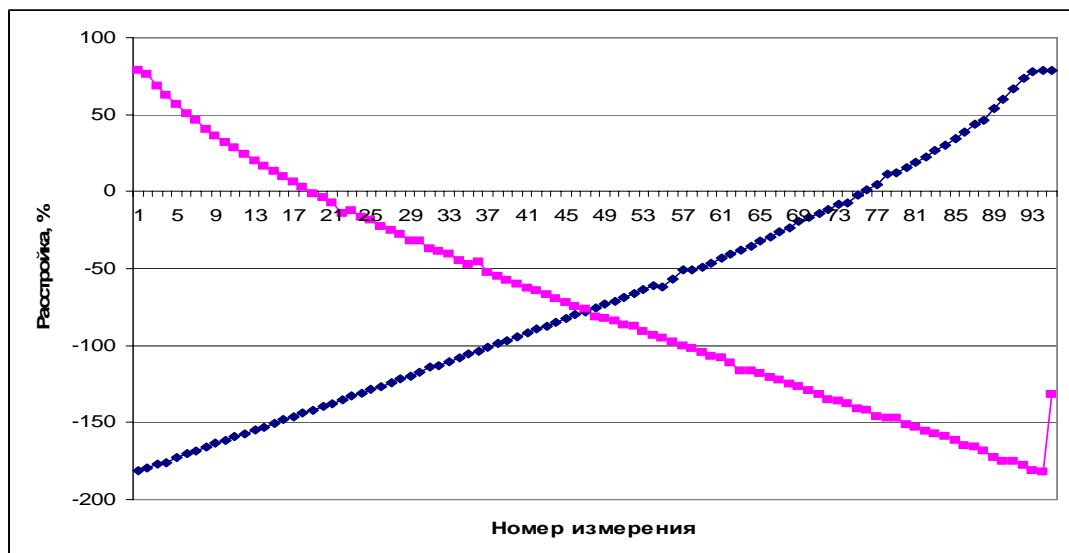


Рис. 13. Характеристика изменения расстройки ДГР 1 секции

Снятие РХ представляет большую трудность, поскольку процесс подразумевает подачу на рабочую обмотку фазного напряжения сети (6 кВ) и фиксацию показаний индикатора положения плунжера. Более точным является измерение расстройки компенсации во времени при включенном приводе плунжера. При этом должен быть известным емкостный ток сети и постоянным скорость движения плунжера. Считая,

что скорость вращения асинхронного двигателя привода устанавливается через 0,5 с., а время полного регулирования реактора РЗДПОМ 480 составляет примерно 1,5 мин., характеристику можно считать достоверной.

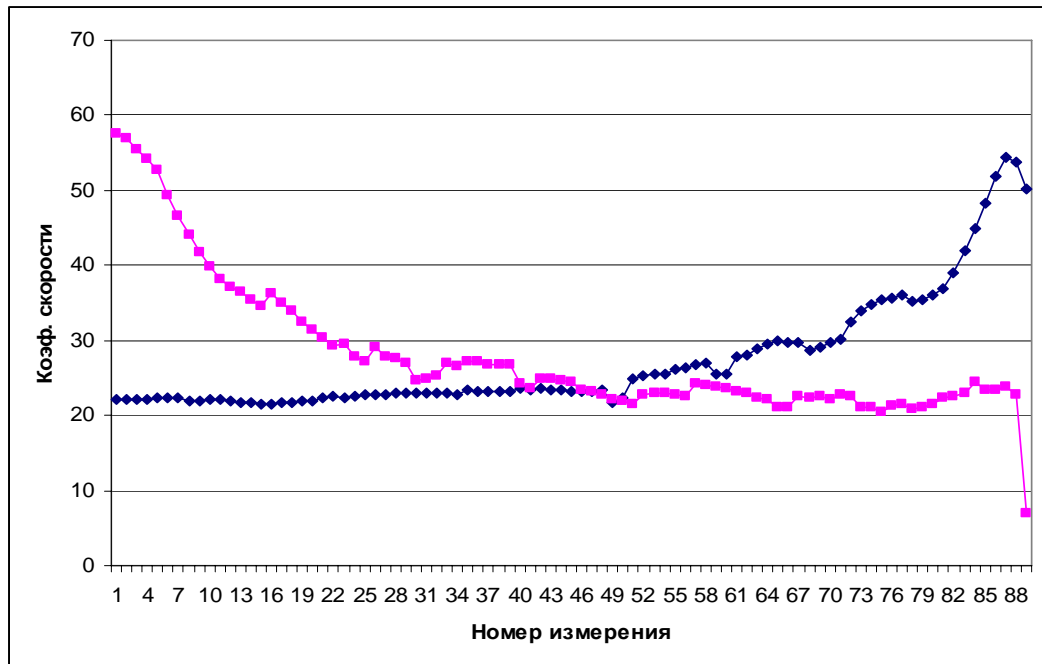


Рис. 14. Скорость изменения расстройки ДГР 1 секции

Основной критерий РХ линейность характеристики. Присутствие провалов (скачкообразных изменений расстройки) указывает на дефект привода. По величинам расстройки при крайних положениях плунжера определяется кратность регулирования индуктивного тока. Для определения действительного значения кратности регулирования данного реактора, в формулу (1) подставим значения расстройки, соответствующей крайней, например, левой части характеристики (рис. 11, рис. 13).

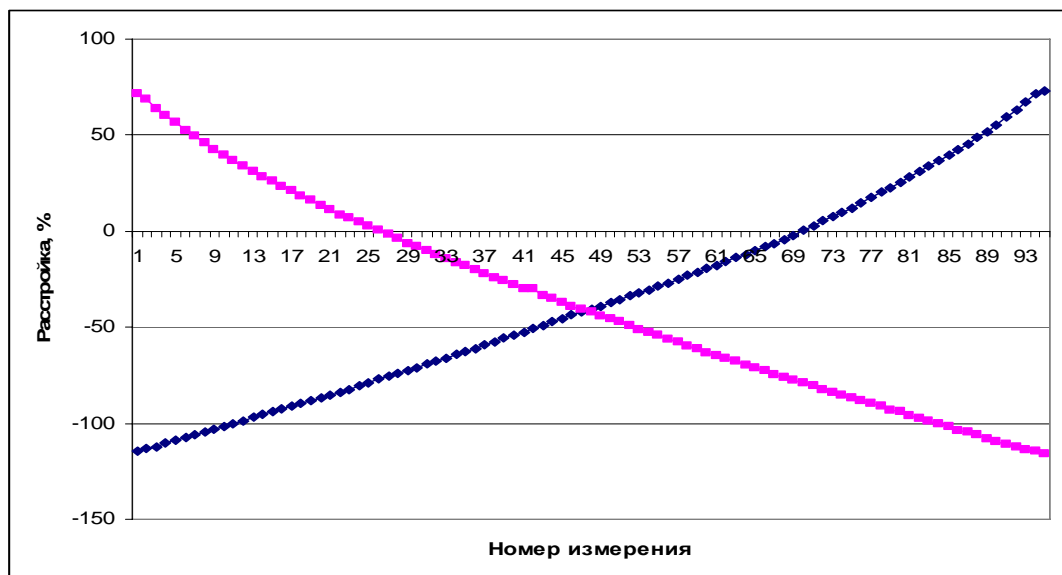


Рис. 15. Характеристика изменения расстройки ДГР II-й секции

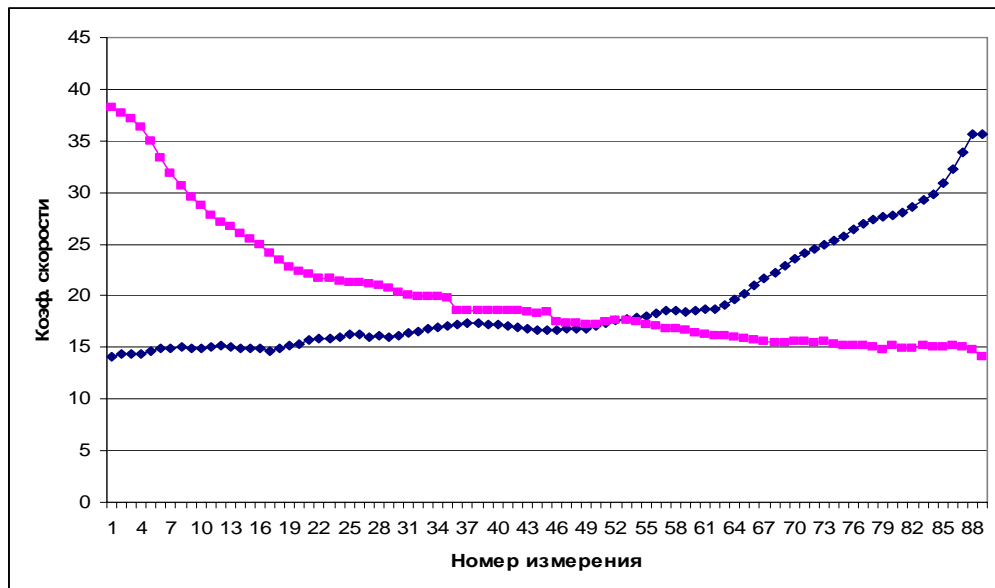


Рис. 16. Скорость изменения расстройки ДГР II-й секции

Из формулы (1) $k_{p1} = (1+|\mathcal{G}_н|)$; $k_{p2} = (1+|\mathcal{G}_в|)$

Для секции 1 (рис. 13) видно, что $\mathcal{G}_н = -181,339$, $\mathcal{G}_в = 79,06$.

Таким образом, подставив значения расстройки I-й секции в формулу (1) получим:

$$k_{зуб} = (1+1,81339) * (1+0,7906) = 5,0376.$$

Полученное значение кратности регулирования соответствует паспортному установленному в этой секции реактора.

Для секции 2 из рис. 11 имеем значения расстройки, $\mathcal{G}_н = -1,14368$, а $\mathcal{G}_в = 0,7267$.

Таким образом, $k_{зуб} = (1+1,14368) * (1+0,7267) = 3,70149$

Кратность регулирования реактора второй секции ниже паспортного значения. Такое положение может иметь место в двух случаях: когда сдвинуты конечные выключатели, либо в обмотке реактора (рабочей) имеется короткозамкнутые витки. В первом случае обычно изменяется значение тока одного из крайних положений, во втором – обоих. Для определения данного дефекта необходимо провести диагностику ДГР, например, с применением образцового конденсатора.

Контроль превышения напряжения $3U_0$

В процессе настройки автоматики управления неоднократно были зафиксированы «клевки» - кратковременные увеличения напряжения на нейтрали до значения $(0,12-0,15)U_\phi$, причиной появления их могут явиться включение электрооборудования, либо, что наиболее вероятно, однофазные замыкания на землю через высокоомное переходное сопротивление, например, касание веток дерева на фазные провода воздушной ЛЭП. На рис. 17 и рис. 18. приведены осциллограммы напряжений U_ϕ , $3U_0$ и тока реактора I_l I-й секции, а также $3U_0$ и тока реактора I_l II-й секции. Как видно из осциллограмм, в режиме, отличной от резонансной настройки (в данном эксперименте недокомпенсация) КНП I-й секции (рис. 17), скорость увеличения напряжения на нейтрали существенно выше, чем в области резонансной (рис. 18).

На рис. 19 приведены осциллограммы тех же сигналов за большой временной интервал. Здесь просматриваются кратковременные замыкания с частотой 1-5 Гц, но уже во второй секции. В нейтрали I-й секции наблюдается изменение напряжение $3U_0$ во времени.

Частота колебаний напряжения нейтрали, вызванное «клевками» имеет частоту промышленной сети. Это указывает на то, что смещение нейтрали вызвано изменением

проводимости какой-либо фазы, скорее всего, замыканием фазы через переходное высокоомное сопротивление.

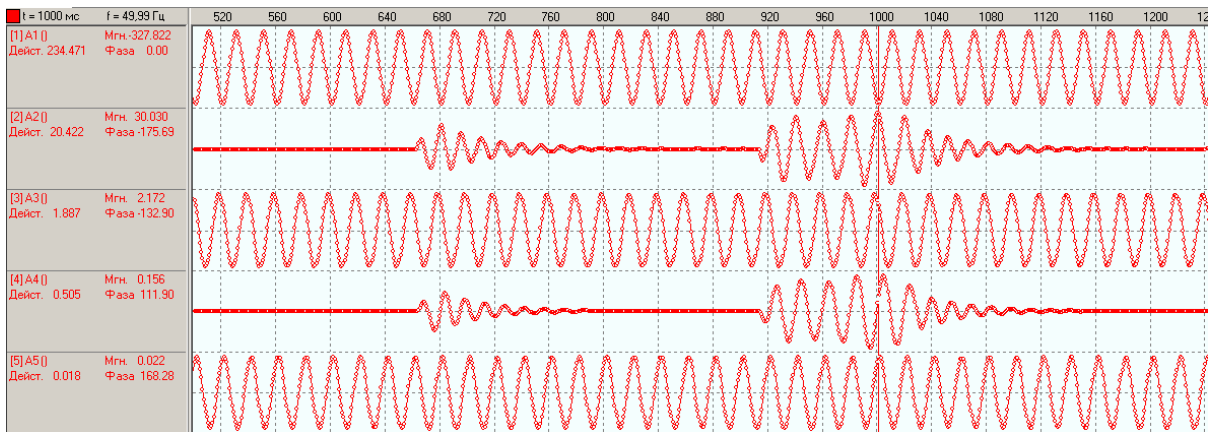


Рис.17. Осциллограммы $3U_0$ и I_L I-й секции при замыкании фазы на землю через переходное сопротивление (Частота свободных колебаний $f=49.985$ Гц)

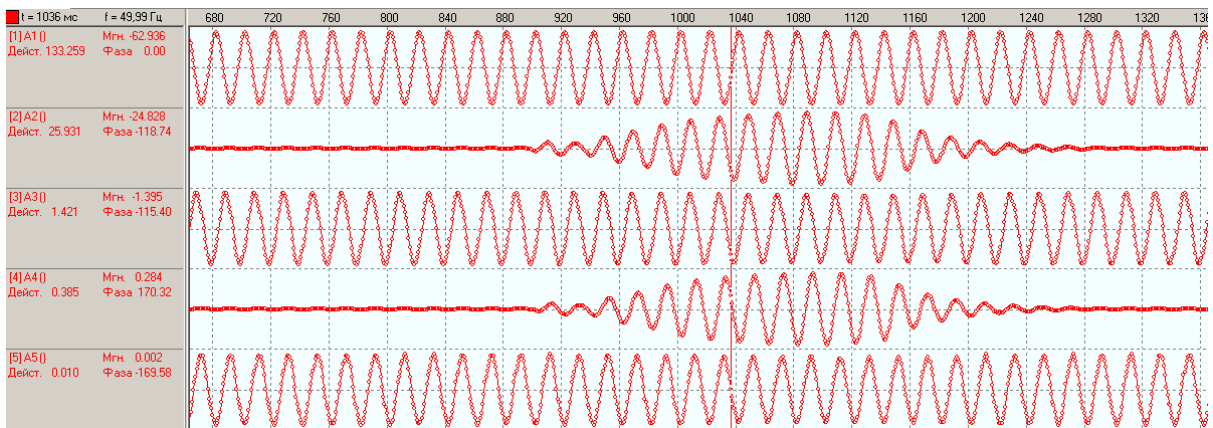


Рис.18 осциллограммы $3U_0$ и I_L I-й секции при замыкании фазы на землю через переходное сопротивление в режиме резонансной настройки (Частота свободных колебаний $f=49.98$ Гц)

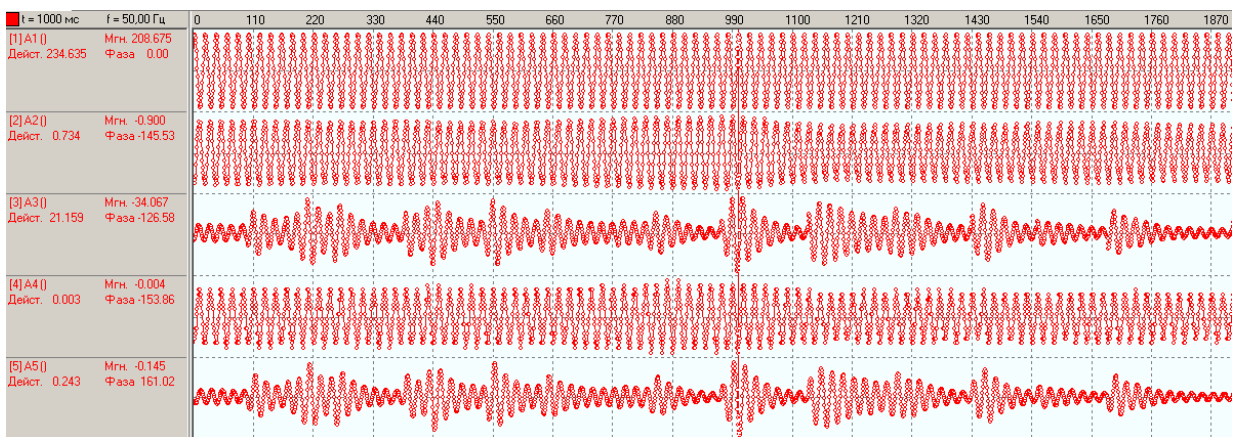


Рис. 19. Осциллограмма пуска осциллографа по превышению напряжения $3U_0$ второй секции (Частота свободных колебаний $f=50$ Гц)

С целью выяснения причин возникновения кратковременных изменений напряжения в нейтрали проведено моделирование 3-х фазной сети в среде Matlab. Расчетная модель сети приведена на рис. 20. Создание «клевков» производилось путем включения к здоровой фазе (С) дополнительной активной проводимости – резисторов сопротивлением 5 или 3 кОм. Длительность подключения их принята равной времени нарастания $3U_0$ I-й секции (0.1 с.).

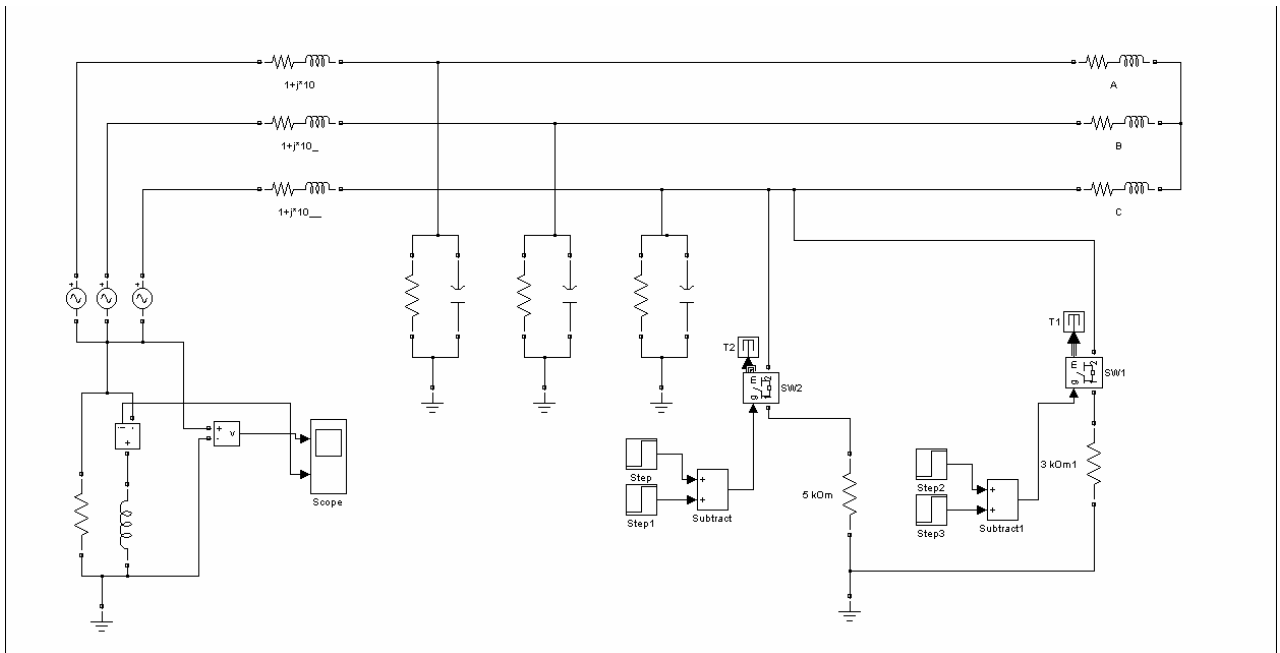


Рис.20. Расчетная эквивалентная модель трехфазной сети в режиме перемежающегося замыкания

Параметры элементов модели сети приняты из расчетов для первой секции для режима резонансной настройки, при токе замыкания на землю 22 А. Активные сопротивления утечек приняты для добротности фазной изоляции сети, равной 20. Сопротивление заземляющего резистора P3 2000-17-10 равно 2 кОм.

Дополнительные сопротивления при данных параметрах элементов сети рассчитаны на создание дополнительного напряжения в нейтрали сети, равным 10 В (при подключении резистора 5 кОм) или 15 В (резистор 3 кОм).

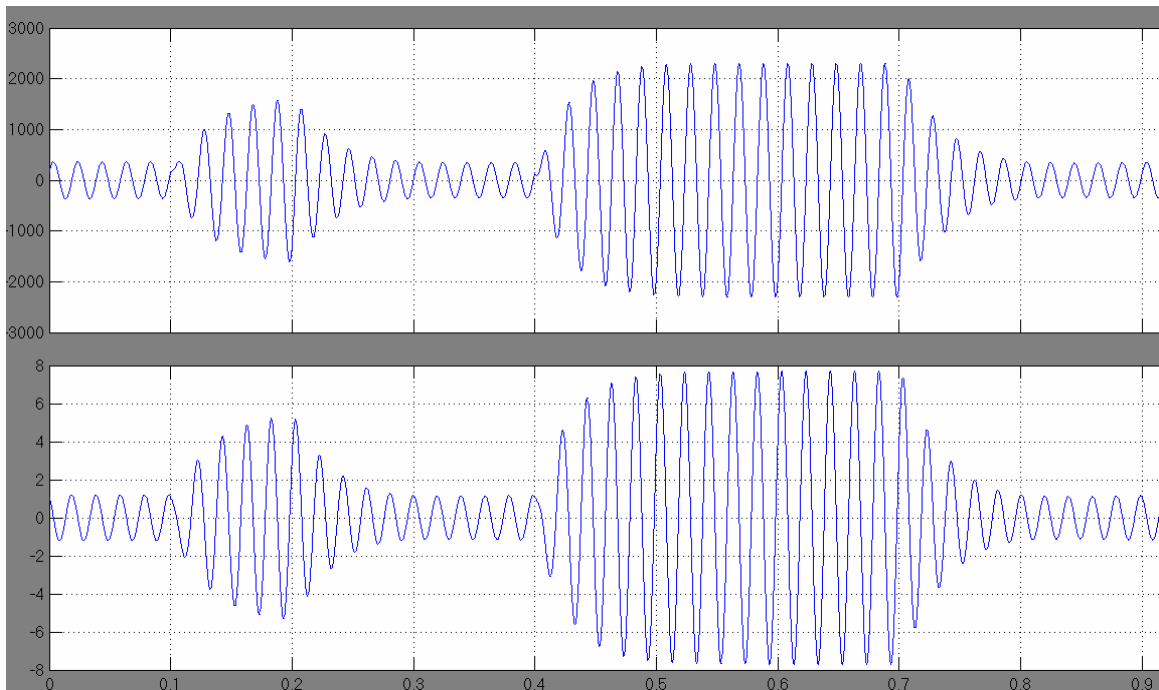


Рис. 21. Расчетные кривые напряжения $3U_0$ первой секции при подключении резистора 5 и 3 кОм.

На рис. 21 и рис. 22 приведены расчетные кривые напряжения на нейтрали и тока реактора первой секции при кратковременном подключении дополнительной активной проводимости к фазе сети для случая резонансной настройки КНП сети.

Следует обратить внимание на разные масштабы осциллограмм реальной сети и кривых, полученных на модели. При этом получена хорошая сходимость по времени нарастания и спада напряжения (тока реактора) нейтрали при таком виде создания несимметрии (примерно 6 периодов частоты промышленной сети).

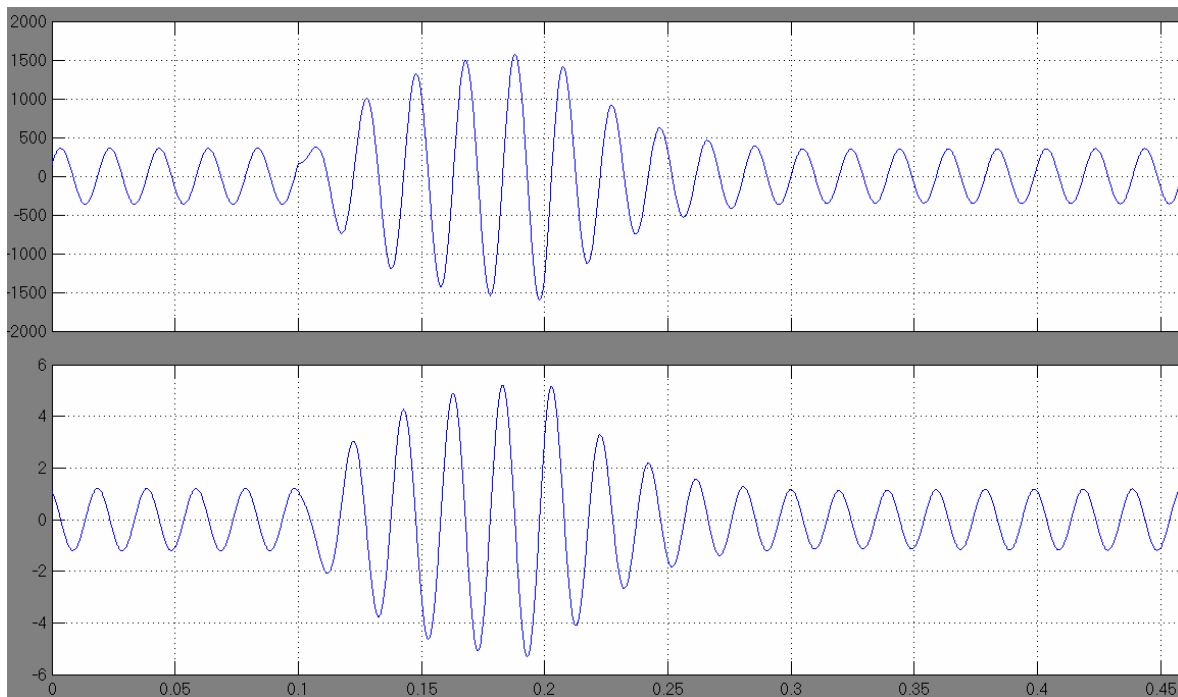


Рис. 22. Расчетные кривые тока реактора первой секции при подключении резистора 5 кОм.

Измерение емкостных токов секций

Для измерения емкостных токов секций плунжер ДГР выводился в точку минимального тока со значением 12,6А.

Емкостной ток секции вычислялся по формулам: для положительной расстройки и минимального тока ДГР):

$$I_C = I_{Ln} \times (1 + \vartheta) \quad (3)$$

25.06.2008 15:29:10. Секция №1. $\vartheta=82.78\%$, $f_0=20.44\text{Гц}$, $\varphi=0.36\text{град}$.

Результаты измерения емкостного тока: $I_{Ln}=12.60\text{А}$, $I_C=23.03\text{А}$.

25.06.2008 15:29:59. Секция №2. $\vartheta=63.28\%$, $f_0=29.79\text{Гц}$, $\varphi=1.85\text{град}$.

Результаты измерения емкостного тока: $I_{Ln}=12.60\text{А}$, $I_C=20.57\text{А}$.

Выводы:

1. Для управления дугогасящими реакторами типа РЗДПОМ 480/10,5/ $\sqrt{3}$ -У1 первой и второй секций п/станции «Россия» смонтирован шкаф автоматики управления ДГР типа «Бреслер 0117.060.2» производства НПП «Бреслер», г. Чебоксары.

2. Проведена проверка соответствия клеммных рядов шкафа и панели ДГР.

3. Проведено испытание шкафа автоматики управления ДГР в ручном режиме как по показаниям встроенных в панель цифровых щитовых вольтметров, так и индикатора терминала. Резонансной настройке контуров соответствуют показания индикатора терминала: по секции I – 0,32 В, по секции II – 1,99 В. Щитовые вольтметры имеют большую погрешность в области малых значений измеряемого параметра, поэтому наблюдается расхождение в показаниях щитовых вольтметров (0,5 В в I-й секции и 1,8 В во II-й) и индикатора терминала.

4. Проверена работа автоматики управления ДГР на поиск заданного значения расстройки компенсации в автоматическом режиме с крайних положений привода плунжера, соответствующих максимальным расстройкам и расстройке, находящейся вне зоны нечувствительности прибора. Уставка заданного значения расстройки равна 0, т.е. настройка контура соответствует резонансной. Максимальная погрешность настройки на заданный режим компенсации зафиксирован во второй секции (-1,85%) при регулировании индуктивного тока реактора с положения максимальной недокомпенсации (с расстройки 63%).

5. Активирована функция определения емкостного тока секций. Проведены измерения емкостных токов замыкания по секциям, которые, по состоянию на 25.06.08 г. имеют значения: 23,03 ампер по секции I и 20,57 ампер по секции II.

6. Проведена диагностика привода плунжера ДГР и сняты зависимости расстройки компенсации во времени при постоянной величине емкости фаз сети на землю. Время полного регулирования индуктивного тока реакторов одинаково и составляет 93 сек. т.е. соответствует паспортному значению – 1,5 минуты. Характеристика изменения расстройки – линейная, без провалов, что позволяет судить об удовлетворительном состоянии привода плунжера. Замечено, что при соответствии полного времени регулирования паспортному, кратность регулирования ДГР второй секции (3,72) меньше паспортной (5). Для выяснения причины снижения $k_{рег}$ необходима диагностика электрической части (катушек) реактора.

7. В процессе ввода в эксплуатации шкафа управления ДГР были неоднократно отмечены и зафиксированы терминалом автоматики скачкообразные повышения напряжения нейтрали секций до уровня (0,12 – 0,15) U_{ϕ} , вызванные, очевидно, соприкосновением фазных проводов и деревьев на воздушной части линий электропередачи. Для подтверждения этого предположения составлена модель электрической сети с параметрами исследуемой сети в среде Matlab, с подключением к фазе сети на короткий промежуток времени высокоомного резистора. При этом процессы, протекающие в схеме модели, являются аналогичными происходящим в реальной сети.

Таким образом, учитывая положительный опыт использования устройств комплексной компенсации емкостных токов предлагается комплектовать ДГР типа РЗДПОМ шкафами автоматики и управления типа «Бреслер».

Литература

1. Евдокунин Г. А., Титенков С. С. Анализ внутренних перенапряжений в сетях 6-10 кВ и обоснование необходимости перевода сетей в режим с резистивным заземлением нейтрали / Режимы заземления нейтралей сетей 6-10 кВ. Доклады научно-технической конференции. -Новосибирск, 2000.

2. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений и токов.

3. Шабад М. А. Обзор режимов заземления нейтрали и защиты от замыканий на землю в сетях 6-35 кВ России // Энергетик. -1999. - № 3.

4. Патент РФ №2321132. Способ настройки компенсации емкостных токов замыкания на землю в электрических сетях / В.Ф. Ильин, М.И. Петров, И.В. Соловьев. Оpubл. 27.03.2008. БИ №9.