

**В.М.КУПРИЕНКО**, д-р техн. наук, зав. отд., филиал ЦНИИ, Санкт-Петербург, Россия;

**Г.А.АКОМЕЛКОВ**, канд. техн. наук, зав. лаб., филиал ЦНИИ, Санкт-Петербург, Россия;

**Н.М.ОРЕХОВ**, вед. инж., филиал ЦНИИ, Санкт-Петербург, Россия;

**В.Н.РОМАНЦОВ**, вед. инж., филиал ЦНИИ, Санкт-Петербург, Россия

## **О ПРИМЕНЕНИИ ОТДЕЛИТЕЛЕЙ СОВМЕСТНО С ОПН ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ 6, 10КВ**

У роботі виконані дослідження пристроїв захисту від атмосферних перенапруг, які складаються з послідовно включеного ОПН і віддільника, виготовленого в КНР, на відповідність вимогам МЭК-60099-4. Досліджені питання надійності й безпеки роботи віддільників типу RBT і TLB при їх спільній роботі з ОПН при обмеженні стандартизованих випробувальних впливів. Дослідження проводилися у Випробувальному центрі електромагнітних і механічних впливів ВАТ «26 ЦНДІ».

In the paper, researches are carried out of atmospheric surges protection devices consisting of series-connected surge arresters and trap, made in China, to meet the requirements of IEC-60099-4. The issues of reliability and safety of the RBT- and TLB-type traps when they work together with ARF under the constraint of standardized testing impacts were considered. The studies were conducted in the Test Center of electromagnetic and mechanical effects of «26 CRI».

В работе выполнены исследования устройств защиты от атмосферных перенапряжений, состоящих из последовательно включенного ОПН и отделителя, изготовленного в КНР, на соответствие требованиям МЭК-60099-4. Исследованы вопросы надежности и безопасности работы отделителей типа RBT и TLB при их совместной работе с ОПН при ограничении стандартизованных испытательных воздействий. Исследования проводились в Испытательном центре электромагнитных и механических воздействий ОАО «26 ЦНИИ».

### **Введение**

Важной проблемой, связанной с повышением надежности систем электроэнергетики при их эксплуатации, является обеспечение защиты электрических сетей классов напряжения 6, 10кВ и электрооборудования станций и подстанций от грозových и коммутационных перенапряжений.

Одной из основных причин аварий и отключений ВЛ–6,10кВ являются грозové воздействия. Практически все перенапряжения от прямых ударов молний и значительная часть индуктированных перенапряжений приводят к перекрытиям изоляторов, с большой вероятностью переходящим в силовую дугу под воздействием напряжения промышленной частоты, что приводит к повреждению изоляторов, опор и проводов.

Для защиты линий электропередач от грозových и коммутационных перенапряжений все более широкое применение находят ограничители перена-

пряжений нелинейные (ОПН) с последовательно установленными отделителями (дисконнекторами).

Предполагается, что при возникновении аварийной ситуации – в случае отказа работы ОПН из-за пробоя под воздействием грозových или коммутационных перенапряжений, деградации или других причин, происходит увеличение тока промышленной частоты и возникновение короткого замыкания в линии. Для защиты ОПН разрушающего действия токов КЗ последовательно с ОПН устанавливаются так называемые отделители (дисконнекторы). Устанавливаемые или планируемые к применению на высоковольтных линиях России отделители преимущественно китайского производства (например, отделители типа RBT, TLB и др.). Возникает вопрос насколько надежны и безопасны отделители при эксплуатации в условиях внешних воздействий, определенных требованиями ГОСТ Р 52725 в том числе и в рабочем режиме?

### **1 Требования, предъявляемые к отделителям**

В ГОСТ Р 52725 нет указаний на применение отделителей как элемента ОПН. Поэтому при задании требований к отделителям будем опираться на рекомендации МЭК – 60099-4. Отделитель, по определению МЭК, предназначен для предотвращения возникновения устойчивого короткого замыкания в системе и визуальной индикации поврежденного разрядника. Повреждение легко может быть обнаружено обслуживающим персоналом, что упрощает эксплуатацию линии.

В нормальном эксплуатационном режиме отделитель должен выдерживать все виды токов, которые протекают через ОПН: токи утечки, импульсные токи грозových и коммутационных перенапряжений. По пропускной способности отделитель должен соответствовать классу выбранного ограничителя перенапряжений. Причем все это должно обеспечиваться на фоне приложенного рабочего напряжения. Из этого следует, что устройство защиты, состоящее из ОПН и отделителя должно обеспечивать:

- заданное время срабатывания отделителя при нормируемом токе промышленной частоты в соответствии с требованиями ТУ и (или) «Руководства по эксплуатации» изготовителя;
- соответствие классификационного напряжения устройства защиты для электрических сетей переменного тока 6, 10 кВ требованиям ГОСТ и (или) технических условий на изделие;
- соответствие остающихся напряжений при грозových, коммутационных и быстро нарастающих импульсах тока устройства защиты для электрических сетей переменного тока 6, 10 кВ требованиям ГОСТ и (или) технических условий на изделие;
- пропускную способность устройства защиты для электрических сетей переменного тока 6-10 кВ при воздействии прямоугольных импульсов тока большой длительности соответствующей амплитуды;
- работоспособность при проведении рабочих испытаний устройств

защиты для электрических сетей переменного тока напряжением 6-10 кВ.

В докладе представлены результаты исследований надежности и работоспособности устройств защиты для электрических сетей 6, 10 кВ, состоящих из ОПН и последовательно включенного с ним отделителя китайского производства типа RBT и TLB.

Основные технические характеристики отделителя типа RBT представлены в табл. 1. Внешний вид отделителей на рис. 1, 2.

Таблица 1 – Технические характеристики отделителя типа RBT

Вид воздействия	RBT-65/150	RBT-65/150	RBT-65/150
Импульсы прямоугольной формы 2мс, (А)	150	400	800
Большие импульсы форм 4/10 мкс, (кА)	65	65	100
Время срабатывания (с) при токе 1 А	4-6		



Рисунок 1 – Общий вид отделителей типа TLB

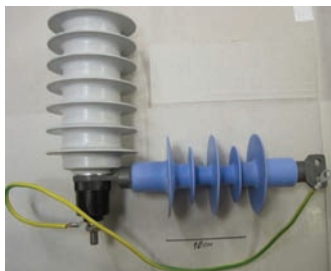


Рисунок 2 – Вид ОПН с отделителем типа RBT

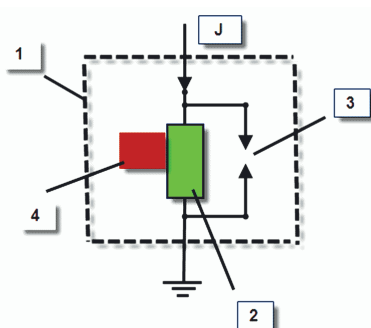


Рисунок 3 – Схема отделителя

Схематично отделитель представляет собой пластмассовый корпус – 1 (см. рис. 3), внутри которого размещен резистивный нелинейный элемент – 2. Для защиты резистивного элемента от больших импульсных токов ему па-

раллельно подключен защитный разрядник – 3. К резистивному элементу поджат с помощью пружины пиропатрон – 4.

При протекании через ОПН и отделитель токов, превышающих номинальные значения для ОПН, происходит разогрев резистивного элемента. В результате под воздействием высокой температуры происходит подрыв пиропатрона и разрушение корпуса отделителя. Усилием пружины и порохового заряда заземляющий проводник отбрасывается с высокой скоростью и отключает ОПН от сети.

## 2 Проверка времени срабатывания отделителя

К испытуемому отделителю, размещение которого на испытательной площадке показано на рис. 4, подключался источник промышленной частоты из состава стенда рабочих испытаний ВИС-2. После включения источника промышленной частоты через отделитель пропускался переменный ток, в результате чего происходило срабатывания отделителя (см. рис. 5).

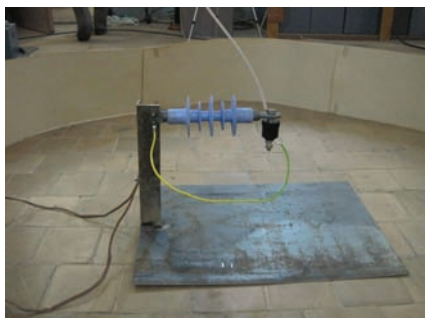


Рисунок 4 – Внешний вид размещения отделителя при испытаниях



Рисунок 5 – Внешний вид фрагментов сработавшего отделителя

Значение тока через отделитель и время срабатывания отделителя измерялись с помощью шунта сопротивлением 0,05 Ом и осциллографа. Осциллограмма тока через ОПН и отделитель представлены на рис. 6.

Результаты измерений времени срабатывания испытуемых отделителей представлены в табл. 2. Во всех экспериментах происходило отключение заземляющего проводника от ОПН. Измеренное значение времени срабатывания соответствовало заявленному изготовителем.

Кроме того в процессе испытаний контролировалась зона разлета элементов отделителя после его разрушения. Осмотр зоны проведения испытаний показал, что отдельные элементы отделителя разлетались на расстояние от 2,5 м до 4,5 м, а видеосъемка показала горение нелинейного элемента отделителя в течение 5-6 с. Что недопустимо по требованиям безопасности.

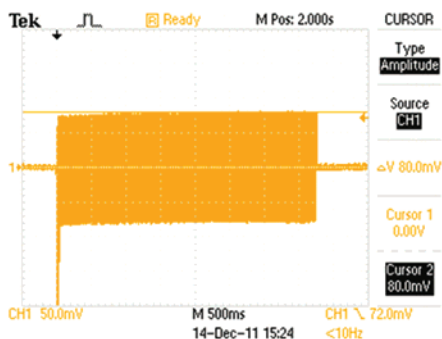


Рисунок 6 – Осциллограмма тока промышленной частоты,  
 $I_{дейст} = 1,13 \text{ A}$ ,  $t = 3,75 \text{ с}$

Таблица 2 – Время срабатывания отделителя РВТ

№ образца	Величина тока, А	Время срабатывания, с
1	1,13	3,75
2	0,998	4,0
3	1,05	3,75
4	1,13	3,7
5	1,1	4,3

### 3 Проверка соответствия остающихся напряжений при грозовых, коммутационных и быстро

нарастающих импульсах тока устройства защиты для электрических сетей переменного тока 6,10кВ требованиям ГОСТ и (или) технических условий на изделие

Одним из основных параметров ОПН, характеризующих его защитные свойства является остающееся напряжение при нормируемых импульсных токах.

В связи с этим при проведении исследований проверялось влияние отделителя на значения остающихся напряжений на защитном устройстве (ЗУ) при грозовых, коммутационных и быстро нарастающих импульсах тока.

Измерения остающихся напряжений проводились в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52725-2007. Типовая схема проведения измерений остающихся напряжений представлена на рис. 7.

**На первом этапе** испытаний, на защитном устройстве определялось остающееся напряжение при грозовом импульсе тока 8/20 мкс амплитудой 10 000 А.

К каждому УЗЭП прикладывался грозовой импульс тока 8/20мкс амплитудой 10000 А  $\pm 5 \%$ . Длительность фронта находилась в пределах 7÷9 мкс, а время до полуспада амплитуды импульса 18÷22 мкс. Время между приложе-

нием импульсов было достаточным для охлаждения образца до температуры окружающей среды.

**На втором этапе** проводились измерения остающихся напряжений при нормируемых импульсах тока 8/20 мкс, 30/60 мкс и 1/10 мкс. По результатам измерений проводился расчет масштабных коэффициентов как отношение остающегося напряжения при нормируемом импульсе тока к остающемуся напряжению при грозовой импульсе тока 8/20 мкс амплитудой 10 кА.

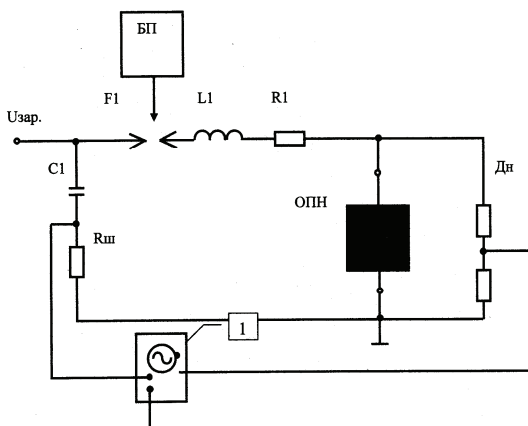


Рисунок 7 – Схема для измерения остающихся напряжений:

1 – осциллограф,  $R_{ш}$  – шунт сопротивлением  $1 \cdot 10^{-3}$  Ом, БП – блок поджига, F1 – управляемый разрядник, ДН – делитель напряжения, ДИН-25,  $K_d = 1000$ , C1 – емкость генератора, L1, R1 – формирующие элементы генераторов, ОПН – секция, варистор

Импульсы тока на секции подавались от генератора грозового импульса тока – ГИТ 8/20, генератора коммутационного импульса – ГИТ 30/60 и генератора быстро нарастающего импульса тока – ГИТ 1/10. Генераторы входят в состав стенда рабочих испытаний ВИС-2.

Измерения остающихся напряжений проводились с помощью делителя напряжений и осциллографа, тока через секции – шунтом и осциллографом. Типовые осциллограммы импульсов тока представлены на рис. 8, 9.

**На третьем этапе испытаний** производился расчет остающихся напряжений при нормируемых импульсах тока на защитном устройстве. Остающееся напряжение определялось как произведение остающегося напряжения при грозовом импульсе тока амплитудой 10кА, заданного в Технических условиях, на соответствующий масштабный коэффициент.

В табл. 3 и 4 приведены значения остающихся напряжений, рассчитанных по масштабным коэффициентам для защитного устройства с отделителем.

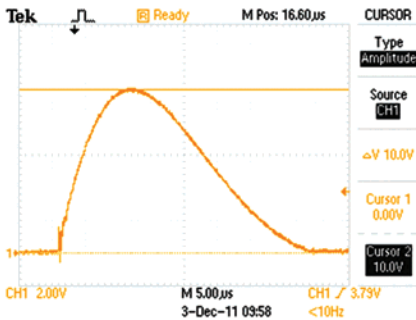


Рисунок 8 – Осциллограмма импульса тока 8/20 мкс ( $I_{max} = 10 \text{ кА}$ )

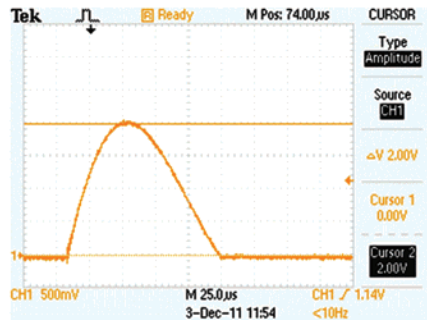


Рисунок 9 – Осциллограмма импульса тока 30/60 мкс ( $I_{max} = 2 \text{ кА}$ )

Таблица 3 – Остающиеся напряжения на ОПН пропускной способностью 680 А с отделителем типа RVT при грозовых и быстронарастающих импульсах тока

Тип ограничителя	Остающиеся напряжения при нормированных импульсах тока										
	1/10мкс			8/20мкс							
	10 кА			5 кА			20 кА		10 кА		
	Расч	ТУ	С отд	Расч	ТУ	С отд	Расч	ТУ	С отд	ТУ	С отд
ОПН-6/680/7,6-5	25	25,0	29	22,4	22,5	24,9	27,4	27,4	31,4	24,3	27,98
ОПН-10/680/12,7-5	41,7	41,7	45,7	37,4	37,5	39,9	45,8	45,8	49,8	40,6	44,3

Таблица 4 – Остающиеся напряжения на ОПН пропускной способностью 680 А с отделителем типа RVT при коммутационных импульсах тока

Тип ограничителя	Остающиеся напряжения при нормированных импульсах тока 30/60мкс								
	250 А			500 А			1000 А		
	Расч.	ТУ	С отделит	Расч.	ТУ	С отде-лит	Расч.	ТУ	С отде-лит
ОПН-6/680/7,6-5	18	18,1	19,56	18,9	18,9	20,9	19,9	20,0	32,08
ОПН-10/680/12,7-5	30	30,2	31,56	31,5	31,5	33,5	33,3	33,5	35,68

#### 4 Проверка пропускной способности отделителей и испытания отделителей в рабочем режиме в соответствии с требованиями МЭК-60099-4

В условиях эксплуатации через отделитель протекают те же токи, что и через ОПН. В связи с этим МЭК 60099-4 определяет следующие виды проверок, которые должен выдерживать отделитель:

- испытание импульсом тока большой длительности;
- проверка в рабочем режиме.

### Проверка пропускной способности импульсами тока большой длительности

Испытания проводились в соответствии по методике п. 9.4 ГОСТ Р 52725. Проверка пропускной способности импульсами тока большой длительности проводилась путем подачи на секцию, состоящую из элемента ОПН и отделителя, 18 импульсов тока (6 серий по 3 импульса) большой длительностью амплитудой 680А от генератора ГИТ2000, входящего в состав ВИС-2. Схема генератора импульсов тока большой длительности представлена на рис. 10, типовая осциллограмма импульса тока большой длительности представлена на рис. 11.

Интервалы между импульсами в группе составляли от 50 до 60с. Между группами импульсов секции охлаждались до температуры окружающей среды. Измерения параметров импульсов тока проводились с помощью шунта и осциллографа.

### Результаты испытаний

Амплитуда воздействующих прямоугольных импульсов тока при проведении испытаний секции ОПН с отделителем типа RVT находилась в диапазоне от 696 А до 718 А. В процессе проведения испытаний на осциллограммах отсутствовали искажения формы кривой тока, свидетельствующие о наличии повреждений в образцах, не происходило срабатывания отделителей и отделители сохранили работоспособность после проведенных воздействий.

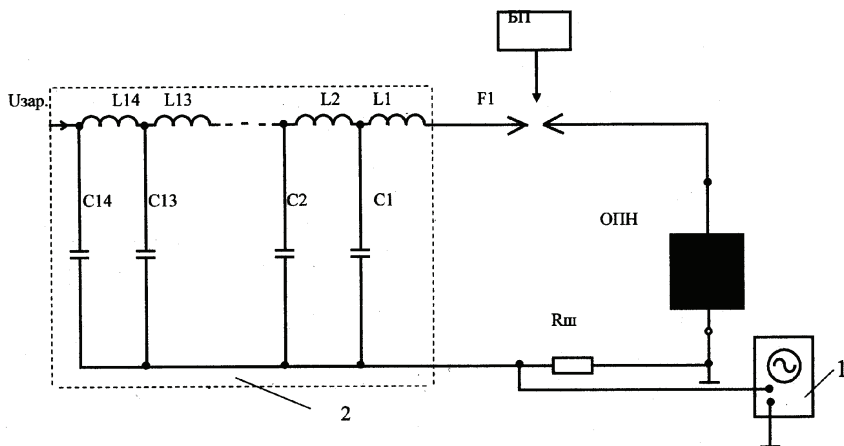


Рисунок 10 – Схема генератора импульсов тока большой длительности:

1 – осциллограф; 2 – формирующая линия; БП – блок поджига;

F1 – управляемый разрядник; ОПН – секция (варистор);

$R_{ш}$  – шунт, сопротивлением  $10^{-2}$  Ом



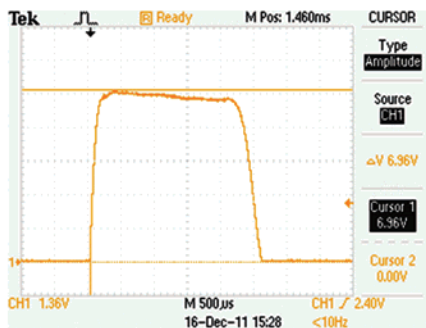


Рисунок 11 – Типовая осциллограмма импульса тока через варисторы ( $I_{МАКС} = 696 \text{ A}$ )

При проведении испытаний секции ОПН с отделителем типа TLB амплитуда воздействующих прямоугольных импульсов тока находилась в диапазоне от 600 А до 640 А. В процессе проведения испытаний на осциллограммах отсутствовали искажения формы кривой тока, свидетельствующие о наличии повреждений в образцах и не происходило срабатывания отделителей. Однако, результат проверки работоспособности отделителей типа TLB путем воздействия на них током промышленной частоты значением 21 А в течение 25 сек, показал их не работоспособность.

### Проверка в рабочем режиме

Проверка в рабочем режиме проводилась на трех секциях каждого типа отделителей, изготовленных в соответствии с требованиями п. 9.5 ГОСТ Р52725-2007 и МЭК - 60099-4.

Секции представляли собой пропорциональную часть корпуса ОПН, в которой размещен варистор. Последовательно с варистором подключался отделитель.

Рабочие испытания представляли собой комплекс следующих видов испытаний и измерений, которым подвергались секции ОПН с отделителем:

1. Начальные измерения (измерение остающегося напряжения на секциях при импульсном токе 8/20 мкс амплитудой 10 кА и определение наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения секций).

2. Подготовительные испытания, состоящие из:

- подготовительных испытаний двадцатью импульсами тока 8/20мкс с амплитудой 10 кА;
- испытаний двумя сильноточными импульсами 4/10 мкс амплитудой 100 кА.

3. Рабочие испытания.

4. Измерения остающегося напряжения на импульсном токе 8/20мкс амплитудой 10 кА после рабочих испытаний.

*Подготовительные испытания импульсами тока 8/20 мкс амплитудой 10 кА*

Три секции каждого типа отделителей подвергались воздействию двадцати импульсов тока 8/20 мкс амплитудой 10 кА. К секциям на время испытаний подключался источник напряжения промышленной частоты.

Действующее значение напряжения источника промышленной частоты выставлялось равным  $U_{НРС}$ . Перед подачей грозового импульса тока на секцию напряжение промышленной частоты увеличивалось в 1,2 раза, а после приложения грозового импульса тока напряжение промышленной частоты снова понижалось до  $U_{НРС}$ .

В результате проведенных предварительных испытаний грозовыми импульсами тока 8/20 мкс с амплитудой 10 кА не происходило срабатывания отделителей типа TLB и RBT, перекрытий или других видимых его повреждений. Во время испытаний так же не происходило пробоев, перекрытий и разрушений секций ОПН. Результат испытаний положительный.

*Испытания импульсами тока 4/10 мкс амплитудой 100 кА*

Секции подвергались воздействию двух импульсов тока 4/10 мкс амплитудой 100 кА. В интервале между импульсами образцы охлаждались до температуры окружающей среды. Импульсы тока подавались от генератора ГИТ-4/10 стенда рабочих испытаний ВИС-2.

Импульсы тока 4/10 мкс подавались одинаковой полярности с импульсами тока 8/20 мкс при подготовительных испытаниях.

Результаты измерений при воздействии импульсами тока 4/10 мкс представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Параметры воздействующего импульса тока

№ секции	Амплитуда первого импульса тока, кА	Амплитуда второго импульса тока, кА	Длительность фронта, мкс	Длительность импульса, мкс
1	100	100	4	10,5
2	100	100	4	10,5
3	101	100	4	10,5

В результате воздействия импульсами тока 4/10 мкс с амплитудой 100 кА на отделители типа RBT не происходило его срабатывание, перекрытие или возникновение других видимых повреждений. Во время испытаний так же не происходило пробоев, перекрытий и разрушений секций. Результаты испытаний секции ОПН с отделителем типа RBT положительные.

В результате воздействия импульсами тока 4/10 мкс с амплитудой 100 кА на отделители типа TLB произошло не санкционированное срабатывание двух из трех образцов (образцы № 1 и № 3). Измерение сопротивления образца № 2 показало, что его величина равна нулю, то есть электроды отде-

лителя закорочены.

Дальнейшие исследования проводились только для отделителей типа РВТ.

*Рабочие испытания двумя импульсами тока большой длительности амплитудой 680А*

К секциям ОПН с отделителем, предварительно нагретым до температуры  $60 \pm 3$  °С, прикладывались два импульса тока большой длительности с амплитудой 680 А. Интервал между импульсами составлял не более 50-60 с. Импульсы, прикладываемые во время подготовительных испытаний, и импульсы тока большой длительности имели одинаковую полярность. Схема проведения испытаний представлена на рис. 12.

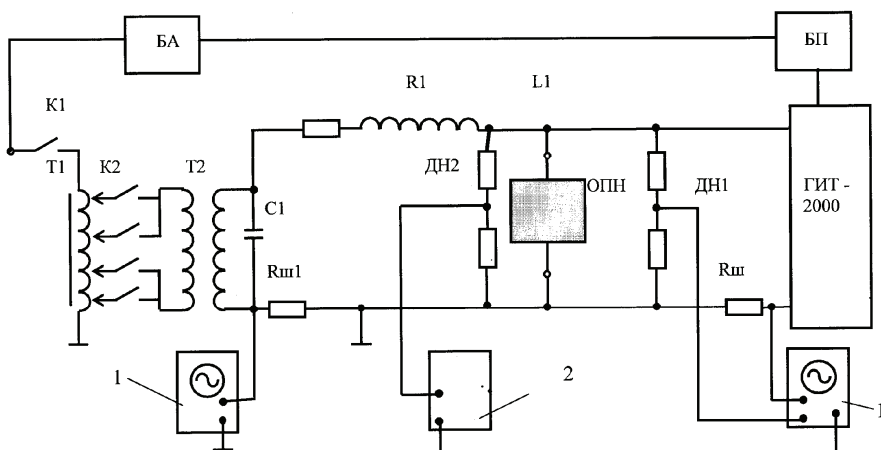


Рисунок 12 – Схема проведения рабочих испытаний:

T1 – автотрансформатор; T2 – повышающий трансформатор 220/7 кВ (10 кВ); C1 – корректирующая емкость; R1 – защитный резистор; L1 – защитная индуктивность (200 мкГн); ДН1 – делитель напряжения, ДИН-25,  $K_d = 1000$ ; Rш – шунт сопротивлением  $10^{-2}$  Ом; Rш1 – шунт сопротивлением 20 Ом; ДН2 – делитель напряжения, ДН-6,  $K_d = 10000$ ; ГИТ 2000 – генератор тока; ОПН – объект испытаний; 1 – осциллографы; 2 – вольтметр; БП – блок поджига; БА – блок автоматики

В результате воздействия первого импульса большой длительности с амплитудой 696А произошло срабатывание отделителя типа РВТ. При внешнем осмотре не было обнаружено пробоев, перекрытий и разрушений испытуемой секции ОПН.

В связи с полученными отрицательными результатами при испытании отделителя импульса большой длительности в рабочем режиме его дальней-

шие испытания не проводилось.

### **Выводы**

1. Отделители типа TLB и RBT обеспечивают отключение заземляющего проводника ОПН в соответствии с его ампер-секундной характеристикой, заявленной изготовителем. В процессе срабатывания отделителей наблюдался разлет его элементов на расстояние до 4,5м. После срабатывания отделителя типа RBT наблюдалось горение нелинейного элемента в течение 5-6 секунд, что может привести к возникновению пожара.

2. Значения остающихся напряжений на ограничителе перенапряжений с последовательно включенным отделителем при нормированных импульсах тока превышали значения, заданные Техническими условиями на ОПН.

3. Пропускная способность отделителя типа RBT при воздействии импульсов тока большой длительности амплитудой 680А соответствует требованиям МЭК-60099-4 и Технических условий. Отделитель типа TLB не выдержал испытаний импульсами тока большой длительности амплитудой 600 А.

4. Отделитель типа TLB произвел не санкционированное срабатывание при приложении к ОПН импульса тока амплитудой 100 кА в процессе проведения рабочих испытаний.

5. Отделитель типа RBT произвел не санкционированное срабатывание в рабочем режиме при воздействии импульса тока большой длительности амплитудой 680 А.

6. Надежность и безопасность устройств защиты линий электропередачи напряжением 6,10кВ выполненных на основе последовательного включения ОПН и отделителей типа TLB и RBT не соответствует заявленным требованиям, требованиям ГОСТ 52725 и МЭК-60099-4.

*Поступила в редколлегию 05.04.2012.*