Официальный сайт ЗАО "ФЕНИКС-88"
fenix88.com

РЕФЕРАТ ПО ТЕМЕ «ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКОВ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 110 – 500 кВ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ РЕЗИСТОРНЫХ УСТАНОВОК»

1. Общие положения

Значительное количество повреждений и отказов силового оборудования в сетях 110-500 кВ связано с короткими замыканиями на землю. Эффективным средством ограничения токов замыкания на землю[1] является заземление нейтралей трансформаторов через активные сопротивления. Применение токоограничивающих устройств (ТОУ-Н) повышает надежность работы основного силового оборудования сети.

Эффективность ТОУ-Н связана с использованием мощных резисторов из композиционного материала. Резисторное устройство позволяет решать проблему ограничения переходных и установившихся токов КЗ в комплексе с вопросами ограничения перенапряжений и повышения динамической устойчивости энергосистем.

2. Назначение и область применения

Токоограничивающее устройство (ТОУ-Н) включается в нейтрали авто- и трансформаторов мощных станций или распределительных подстанций[2]. ТОУ-Н, предназначается для демпфирования электромагнитных переходных процессов при аварийных коммутациях в сетях 110…500 кВ и используется в комплексе средств управления и защиты силового оборудования.

ТОУ-Н ограничивают отключаемые установившиеся токи КЗ в 1,2…1,4 раза, ударные токи в обмотках трансформаторов в 1,5…2,5 раза. По сравнению с традиционными способами токоограничивающих делений сети ТОУ-Н обладают такими преимуществами как:

- безынерционность действия,
- ограничение ударных токов КЗ,
- ограничение опасных сквозных токов КЗ в обмотках трансформаторов,
- ограничение переходных восстанавливающихся напряжений.

---

[1] «Основной целью ограничения токов однофазных коротких замыканий (КЗ) является приведение их значений в соответствие с допустимыми, указанными в технических условиях и стандартах на проводники, аппараты и оборудование распределительных устройств электрических станций, подстанций и линий электропередачи, а также повышение надежности работы названного электрооборудования. Ограничение токов однофазных КЗ в электрических сетях 110 кВ должно выполняться при их значениях, больших 30 – 35 кА, а в электрических сетях 220 кВ – при токах, больших 35 – 40 кА. Ограничению подлежат также токи сквозных КЗ, протекающих через обмотки автотрансформаторов со средним напряжением до 220 кВ включительно, если их кратность на стороне среднего напряжения превышает 80% допустимой по техническим условиям и стандартам при питании со стороны высшего напряжения и отсутствии нагрузки (или источника питания) со стороны низшего напряжения.»
Цитировано по Первой редакции стандарта организации «РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 110-220 кВ ЭНЕРГОСИСТЕМ», Москва, 2004

[2] Резисторные установки используются и при установке в нейтраль трансформаторов реакторов. Схема включения реакторов в нейтрали силовых трансформаторов и автотрансформаторов приведена на рис.:

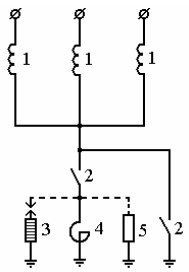

Схема включения реакторов в нейтрали трансформаторов и автотрансформаторов:
1 – фазные обмотки трансформатора (автотрансформатора); 2 – разъединители РНД-35-100 УХЛ; 3 – разрядник РВМ; 4 – реактор ТРОС-35-Х-Х; 5 –резисторная установка БРУ-Н

По сравнению с токоограничивающими масляными реакторами ТРОМ резисторные ТОУ-Н дешевле в 7…10 раз, проще, безопаснее и надежнее в эксплуатации, обеспечивают интенсивное затухание апериодических составляющих в токах, не требуют использования дополнительных устройств и способов ограничения коммутационных и грозовых перенапряжений.

Несимметричные КЗ опасны не только по причине больших величин токов и перенапряжений, воздействующих на оборудование, но и по причине нарушения динамической устойчивости систем. Безынерционное действие резисторных ТОУ-Н в нейтралях трансформаторов станции обеспечивает при аварийных возмущениях потери активной мощности и компенсирует сброс мощности генераторов. Применение ТОУ-Н способствует сохранению динамической устойчивости электрических систем при аварийных возмущениях, связанных с коммутацией случайных и искусственных КЗ. На мощных станциях, требующих, как правило, ограничения токов несимметричных КЗ, применение ТОУ-Н позволяет снизить величину разгрузки турбины, необходимую для сохранения устойчивости, на 20…40%. Выбор оптимальных ТОУ-Н позволяет также повысить пропускную способность межсистемных связей до 25%.

Экономический эффект от использования ТОУ-Н создаётся за счёт:

1. Уменьшения затрат на ремонт силового оборудования, повреждаемого по причине опасных токовых воздействий на него при КЗ.
2. Снижения капитальных вложений при отказе от замены коммутационного оборудования на более мощное.
3. Прибыли от реализации дополнительной электроэнергии потребителям при сокращении объёмов их отключений вследствие отказов силового оборудования.

Применение токоограничивающих резисторных установок рекомендуется Информационными циркулярами ДЭС и ДНТ РАО "ЕЭС России":

- № 11-03-06/21 от 01.02.94г. "Об ограничении токов КЗ в цепях короткозамыкателей на ПС 110-220 кВ бетэловыми резисторными установками";
- № 70-6-10/3214 от 27.12.90г. "О применении бетэловых резисторов в нейтралях трансформаторов",

и «Проектом методических указаний по применению ТОУ-Н в сетях 110-220 кВ» РАО "ЕЭС России", ОАО “СибНИИЭ ”, 2002 г.

3. Принципы работы ТОУ-Н

На рис.1а представлена принципиальная схема токоограничивающего устройства в нейтрали трансформатора (ТОУ-Н)-14, содержащего резисторную установку -1 и блок контроля ее работы -2. На рис.1б дана схема электрической системы, в которой используются ТОУ-Н.

Резисторная установка -1 одним выводом через аппаратный зажим -3 подключена к нейтрали -4 трансформатора (Т)-15 или автотрансформатора (АТ)-17. Другой вывод заземляется через блок контроля 2. Между выводом нейтрали и землёй параллельно 1 и 2 включён короткозамыкатель-5 с нормально разомкнутыми контактами.

Постоянно включенные в нейтралях ТОУ-Н в нормальном режиме работы системы могут подвергаться длительному воздействию токов несимметрии. Экспериментальные измерения токов нулевой последовательности в глухозаземлённых нейтралях трансформаторов мощностью 40...400 МВА дают средние значения токов в 3...5А. Максимальные выбросы значений для мощных Т и АТ достигают 30...40А, что связано, как правило, с возникновением неполнофазных режимов и должно ликвидироваться соответствующей автоматикой. Комплектующие ТОУ-Н резисторы рассчитываются на длительные токи в 5...10А. Таким образом, в нормальном режиме, когда защита

оборудования от сверхтоков не нужна, ТОУ-Н может быть временно (до ликвидации причин несимметрии) выведена из работы. Для этой цели в блоке контроля -2 предусматривается первая ступень –7.

В нормальном режиме работы системы (без КЗ), если ток, протекающий через ТОУ, превысит допустимый, срабатывает первая ступень -7, которая включает на пульте управления станции сигнал: "Перегрузка ТОУ",- и подаётся питание на цепи включения короткозамыкателя 5, шунтирующего ТОУ-Н на время ликвидации причин, вызвавших неполнофазный режим. Первая ступень позволяет также оперативному персоналу выполнять текущий визуальный контроль токов через ТОУ-Н и включить при необходимости шунтирующий короткозамыкатель 5.

Расчётным режимом по ресурсно-пропускной способности ТОУ-Н является аварийный режим КЗ в электрической системе при кратковременном (время отключения КЗ) воздействии на неё максимально возможных сверхтоков. Для надёжной работы в течение срока службы ТОУ-Н рассчитывается на заданное число срабатываний ***n*** с максимально возможным током $\boldsymbol{I_R}$, протекающим через установку при КЗ на выводе Т или АТ или вблизи сборных шин. Уставка срабатывания реле 12 второй ступени 8 определяется по утроенному току нулевой последовательности, протекающего через ТОУ-Н -1 в режиме КЗ с максимальным током $3I_{0R} \le I_R$. Если КЗ не отключается в течение расчётного времени ***t***, то вторая ступень блока контроля выдаёт питание на цепи отключения выключателей 13 станции 16 или подстанции 18 и включает сигнализацию: "Неустранённое КЗ. Отключение трансформатора".

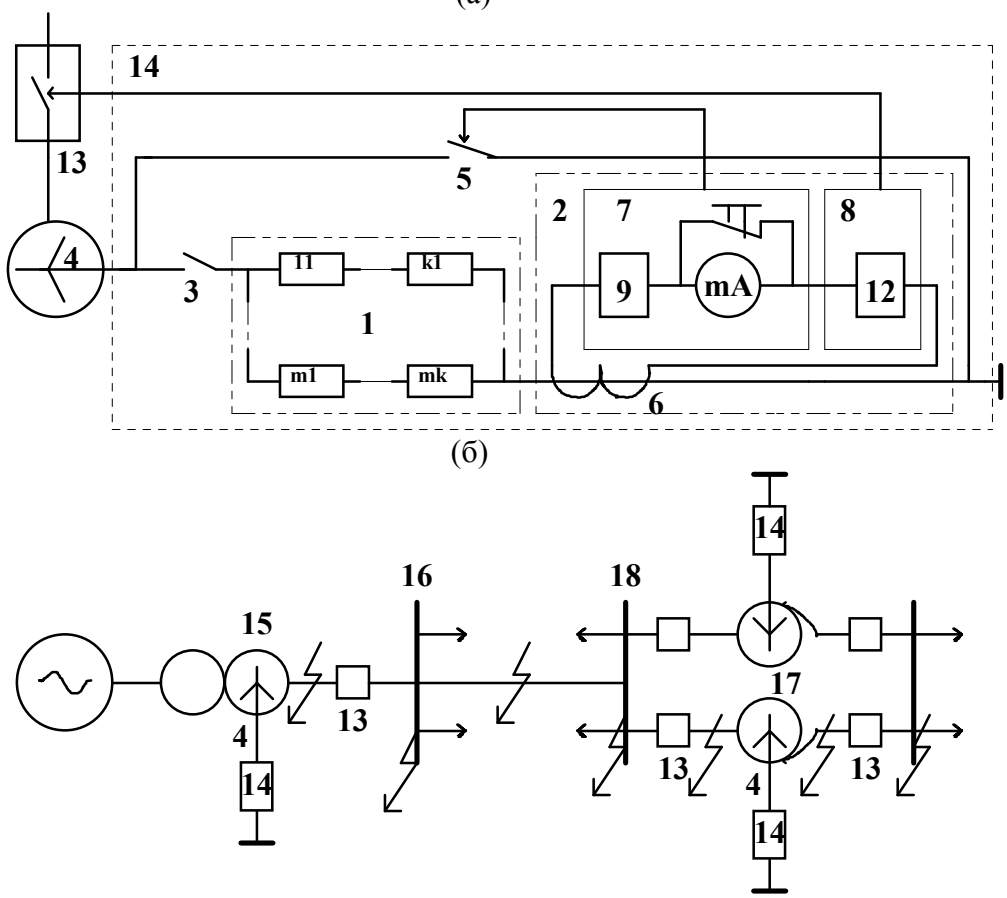

Рис. 1. Токоограничивающее устройство (а) и схема сети с ТОУ-Н (б)

Резисторы и резисторные установки разработаны и включены в эксплуатацию на следующих объектах:

- Невинномысская ГРЭС, блочные трансформаторы 220 кВ;
- Колэнерго, автотрансформаторы 330/110 кВ (2 установки);
- Омская ТЭЦ-5, блочные трансформаторы (2 установки);
- Нижнекамская ТЭЦ-1, блочный трансформатор ТД-80000-110;
- Сумгаитская ТЭЦ-1, трансформатор 110 кВ;
- Али-Байрамская ГРЭС, трансформатор 110 кВ;
- Красноярская и Читинская энергосистемы, ряд трансформаторов 110 кВ;

4. МЕТОДИКА ВЫБОРА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОУ-Н

1. Фактором, ограничивающим величину сопротивления ТОУ-Н, устанавливаемого в нейтрали трансформатора, является повышение напряжения на нейтрали больше допустимого (для длительности КЗ соответственно 0,5…3,0 с). В режиме КЗ величина напряжения на нейтрали трансформатора с ТОУ-Н, зависит от величины сопротивления ТОУ-Н, мощности трансформатора и от мощности КЗ (сопротивления) системы, на которую работает станция.

Уровни допустимых значений напряжений промышленной частоты на электрооборудовании нейтралей

Таблица 1

Класс напряжения, кВ	Вид электрооборудования	Напряжение испытательное (1мин), кВ	Допустимое напряжение	
			длительность, с	значение, кВ
110	Трансформаторы	85	0,1 1,0 3 Длительно	85 75 65 40,5
		100	0,1 1,0 3 Длительно	100 90 75 50
220	Трансформаторы и автотрансформаторы	85	0,1 1,0 3 Длительно	85 75 65 40,5
		200	0,1 1,0 3 Длительно	160 140 135 125
35	Токоограничивающие реакторы (ТРОС-35-Х-Х)	85(80)*	0,1 1,0 3,0 20 Длительно	– 75 65 25 1,0 – 4,5**
35	Резисторная установка (БРУ-Н)	–	0,1 1,0 3,0 20 1800 3600 Длительно	85 75 65 25 4 3 1,5

* Испытательное напряжение (1 мин) внутренней изоляции реакторов (относительно корпуса).
** Допустимое напряжение в зависимости от типа реактора.
*** Режим нейтралей – глухое заземление. По ГОСТ 17544-85 "Трансформаторы (и автотрансформаторы) силовые масляные 220 – 750 кВ" изоляция нейтрали должна выдерживать 1 мин напряжение промышленной частоты U = 85 кВ (действующее значение).

2. Методика выбора величины сопротивления ТОУ-Н в нейтрали трансформатора включает следующую последовательность действий:
1) составляется расчётная схема;
2) принимается с учётом развития сети наибольшая мощность КЗ прилегающей системы относительно мощности станции (соотношение X_C/X_T минимально);
3) на основании расчетов для конкретного типа трансформатора и для конкретной станции выбирается величина сопротивления ТОУ-Н, при которой напряжение на нейтрали трансформатора не превысит $U_{N\ доп}$;
4) ТОУ-Н выбранного сопротивления проверяется на способность эффективно ограничить ударные токи в обмотках трансформатора или суммарный ток однофазного КЗ.

3. Методика выбора сопротивления резисторной ТОУ-Н в нейтрали автотрансформатора включает следующую последовательность действий:
1) составляется расчётная схема;
2) принимается маловероятная, но наиболее тяжёлая коммутация КЗ на выводе СН с отказом выключателя смежного напряжения ВН;
3) принимается наибольшая мощность КЗ системы ВН (с учетом возможной подпитки КЗ со стороны СН через параллельный АТ);
4) оценивается величина сопротивления ТОУ-Н;
5) оценивается эффективность ТОУ-Н выбранного сопротивления по ограничению отключаемых и сквозных ударных токов КЗ в обмотках АТ;
6) если токоограничение достаточное, окончательно принимается выбранная в первом приближении величина сопротивления ТОУ-Н;
7) если ТОУ-Н выбранного сопротивления не ограничивает сквозные ударные токи в обмотках до допустимых значений и необходимо применение ТОУ-Н большего сопротивления, то проверяется возможность исключения утяжеляющих факторов, уточняются параметры системы ВН, величина допустимого напряжения на нейтрали (с учётом запасов по амплитуде и по длительности воздействия), местоположение и сочетание аварийных коммутаций а также используются точные численные расчеты электромагнитных переходных процессов.

5. Технические требования, характеристики и компоновка резисторных ТОУ-Н

5.1. Технические требования на ТОУ-Н

1. ТОУ-Н включены в нейтралях постоянно и могут подвергаться длительному воздействию токов несимметрии в нормальном режиме в случае отказа соответствующих защит или неправильного действия оперативного персонала.

В сетях 110-220 кВ при сопротивлении R_N = 30 Ом ток в нейтрали с ТОУ-Н составляет 1…6А. В сетях 330-500 кВ при сопротивлении R_N = 30…40 Ом ток в нейтрали с ТОУ-Н может достигать 10…30 А. Комплектующие ТОУ-Н промышленные резисторы рассчитываются на длительное протекание тока в 5…10 А. Следовательно в сетях 110-220 кВ длительные токи несимметрии не опасны для ТОУ-Н. В сетях 330-500 кВ эти токи могут в 2…3 раза превышать допустимые величины. Однако резисторы в ТОУ-Н собираются параллельными колонками по 3…6 колонок в установке, поэтому расчётный длительный ток через резистор снижается в 3…6 раз и составляет 3…5А, не превышая

допустимый в 5…10 А. Для исключительных случаев выбросов токов I_{0H} предусматривается устройство контроля функционирования и защиты ТОУ-Н.

2. Расчётным режимом для определения ресурсно-пропускной способности ТОУ-Н и её конструкции является КЗ вблизи сборных шин ОРУ. Количество токовых воздействий на ТОУ-Н в нейтралях трансформаторов в сети заданного $U_{ном}$ зависит от числа подключенных к шинам ОРУ ВЛ и вероятностно-статистических показателей повреждаемости начальных участков ВЛ (до 1…5 км) и шин ОРУ. Вероятностная оценка изменения кратностей сквозных токов КЗ через автотрансформаторы показывает, что за нормативный срок службы 25 лет число КЗ с максимально возможной кратностью не превышает 1-го раза. Если ориентироваться на условие обеспечения радиальной электродинамической стойкости обмоток с допустимой кратностью токов:

$$K^* = \frac{K}{K_{макс}} > (0{,}5...0{,}8)\,,$$

то число опасных КЗ возрастает до 10…15 раз.

Таким образом, с существенным запасом принимается число максимальных токовых воздействий за срок службы не менее 10…15.

Время протекания тока КЗ через ТОУ-Н зависит от типа установленных выключателей и характеристик противоаварийной автоматики. ГОСТ 27514-87 "Короткие замыкания в электроустановках свыше 1 кВ" предусматривает расчётное время отключения КЗ равным 0,2 с. При несрабатывании основной защиты и действии УРОВ продолжительность КЗ возрастает, но не должно превышать 1,5с.

Рассмотренные технические условия работы и нормативные требования к силовому оборудованию в сетях обобщены в технических требованиях на резисторные ТОУ-Н. Технические требования являются основанием для расчётов электрической схемы и компоновки ТОУ-Н.

5.2. Выбор комплектующих резисторов с учётом их ресурсных характеристик

Комплектующие резисторы сопротивлением $\boldsymbol{R_I}$ выбираются в соответствии с основными техническими требованиями (см. табл.2), включающими: сопротивление установки $\boldsymbol{R_N}$, воздействующее на ТОУ-Н напряжение $\boldsymbol{U_N}$, длительность воздействующего напряжения $\boldsymbol{t}$ и число срабатываний установки $\boldsymbol{n}$.

Технические требования на резисторные ТОУ-Н в сетях 110…500 кВ

Таблица 2

Параметры	Величина в сетях		
	110…330кВ	500 кВ	
	Класс изоляции нейтралей, кВ		
	35	35	110
1. Кратность ограничения токов КЗ, раз			
1.1. отключаемых	1,1...1,3	1,0...1,1	1,1...1,3
1.2. ударных в обмотках	1,5...2,5	1,1...1,5	1,5...2,5
2. Сопротивление ТОУ-Н, R_N, Ом	10...50	5...25	30...70
2. Напряжение на ТОУ-Н при КЗ , U_N, кВ	65...75	65...75	135...180
4. Длительность такого воздействия, t, с			
4.1. номинальная рабочая	0,2...0,5	0,2...0,5	0,2...0,5
4.2. предельно допустимая	1,0...2,0	1,0...1,5	1,0...2,0
5. Число воздействий за срок службы, n, шт.			
5.1. по п. 4.1	15...25	10...15	15...25
5.2. по п. 4.2	1	1	1
6. Длительный сквозной ток через ТОУ-Н, А	5...10	5...10	5...10
7. Срок службы, лет	25	25	25

Расчёт электрической схемы соединения комплектующих установку резисторов R_1 выполняется по заданным техническим требованиям по специальной методике с использованием экспериментально-расчётных зависимостей электрической прочности $U_{1д}=f(R_1,n,t)$ и ресурсно-пропускной способности $W_{1д}=f(R_1,n)$ резисторов (см. Приложение 1, где приведены соответствующие характеристики бетэловых резисторов).

Таким образом, выбор сопротивления комплектующих резисторов и расчёт электрической схемы их соединения в ТОУ-Н состоит из следующих действий:

- задание числа последовательно включенных резисторов: $k = 3 \div 6$;
- вычисление рабочего напряжения на резисторе: $U_{1р} = U_N / k$;
- выбор сопротивления комплектующего резистора:

$R_1 = R_N \cdot m / k$; при $m = 1,2...$ и $U_{1д}(R_1, n, t) \geq K_з \cdot U_{1р}$,

где $K_з$ = 1,0…1,05 - коэффициент запаса, определяемый технологическим допуском отклонения сопротивления при изготовлении бетэловых резисторов на +5…15%;

m = 1,2,3... - число параллельных ветвей (колонок) установки;

- определение числа комплектующих резисторов в установке:

$N = k \cdot m = (U_N / U_{1д})^2 \cdot (R_1 / R_N)$;

- определение фактической пропускной способности одного резистора:

$W_1 = U^2_{1р} \cdot t / R_1$,

и сравнение W_1 с допустимой величиной $W_{1д}$ при выбранных R_1, n, t;

$W_1 \leq W_{1д}(R_1, n,)$;

- определение предельно-допустимой длительности максимального токового воздействия:

$t_м = W_{1д}(n=1, R_1) \cdot R_1 / U^2_{1р}$.

5.3. Компоновка и силовая коммутация ТОУ-Н с привязкой на ОРУ

Компоновка ТОУ-Н

Компоновка ТОУ-Н на ПС использует традиционные принципы расположения оборудования на ОРУ:

- применение унифицированных конструктивных и строительных элементов типовых ОРУ;
- применение для ошиновки гибких проводов;
- типовую высотную установку ТОУ-Н с распластанным расположением комплектующих резисторов;
- низкую колонковую установку ТОУ-Н с защитным ограждением.

Для эксплуатации на ОРУ ТОУ-Н собираются из унифицированных элементов. Элемент резистора состоит из активной части, собранной из резисторных дисков 200 мм, высотой 100 мм и электродов, заключённых в изоляционную оболочку, помещённую в фарфоровую покрышку ПВР 2 с двумя крышками. Активная часть с целью создания надёжного электрического контакта подпружинена инерционным элементом, состоящим из набора тарельчатых пружин, создающих усилие поджатия 1100-1200 кГс. В крышке элемента имеются два предохранительных клапана, предназначенные для предотвращения разрушения покрышки в случае превышения давления внутри покрышки выше допустимого, которое может возникнуть в аварийной ситуации (при нагрузках на резистор, превышающих максимально допустимые).

Типовой модуль формируется из 2…3-х колонок по 4…6 комплектующих резисторов в каждой.

В модуле комплектующие ТОУ-Н резисторы устанавливаются на раму. Рама, с целью создания пути протекания тока через трансформатор тока, изолируется от земли с помощью опорных изоляторов типа ОНС-10 или ОНС-35. Допустимое изгибающее усилие изоляторов $P_{доп}$=19600…14700 Н, что намного выше изгибающих усилий 5000 Н,

действующих на опору колонки из 6 резисторов с напором ветра 40 м/с. Если вывод нейтрали укомплектован измерительным трансформатором тока, рама ТОУ-Н не нуждается в изоляции от земли. Высота установки в такой комплектации уменьшается.

Силовая коммутация ТОУ-Н

Электрическая схема силовой коммутации ТОУ-Н должна включать в себя шунтирующий ТОУ-Н, короткозамыкатель и разъединитель (или аппаратный зажим), позволяющий отключить ТОУ-Н от нейтрали АТ при выводе её в ревизию или ремонт. При замкнутом положении короткозамыкателя восстанавливается режим глухого заземления нейтрали.

Фундаменты для ТОУ-Н

ТОУ-Н устанавливаются на свайные типовые железобетонные фундаменты, сваи из труб или. фундаменты на подножниках (например, в условиях промерзания грунтов).

Привязка ТОУ-Н на ОРУ

Высота ТОУ-Н с учётом опорных изоляторов не превышает 5…6,2 м, ширина - 0,4…1,4 м, длина - 1,4 м. Такие габариты позволяют разместить ТОУ-Н на существующих и строящихся ОРУ 110…500 кВ в ячейках трансформаторов и автотрансформаторов или между трансформаторными ячейками и узлами установки трансформаторов.

6. РЗА, сигнализация

6.1. Общие вопросы

Включение ТОУ-Н в нейтраль трансформатора вызывает следующие явления:

- снижаются уровни суммарных токов КЗ (однофазных и нулевой последовательности) на землю;
- изменяется угол между током и напряжением;
- увеличивается напряжение нулевой последовательности в месте установки ТОУ-Н.

В схему замещения трансформатора, применяемую для расчётов токов КЗ для выбора уставок, необходимо внести изменения, связанные с включением в нейтраль активной резисторной ТОУ-Н.

Существующие "Руководящие указания по релейной защите" позволяют определить токи КЗ для выбора уставок РЗА при наличии в сети нейтралей трансформаторов, заземлённых через линейные сопротивления. Резисторные ТОУ-Н представляют собой линейные активные сопротивления, поэтому принципы организации и работы при использовании ТОУ-Н не изменяются и не усложняются.

6.2. Блок контроля функционирования ТОУ-Н

Постоянно включенные в нейтраль трансформаторов ТОУ-Н подвергаются длительному воздействию токов несимметрии и кратковременному воздействию токов КЗ. Для выполнения схемы автоматического контроля функционирования ТОУ-Н в его цепи должен быть включен трансформатор тока. В токовые цепи включаются два токовых реле. Ток срабатывания первого (чувствительного) реле выбирается по условию:

$$I_{ср} = \frac{\frac{K_{ост}}{K_{в}} \cdot 3I_0}{K_{тт}},$$

где ***3 I₀*** - утроенный ток нулевой последовательности, протекающий через ТОУ-Н, обусловленный несимметрией в системе (например, работой линии в неполнофазном режиме);

$K_{ост}$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность реле, ошибки расчета, принимается равным 1,25;

$K_в$ - коэффициент возврата реле;

$K_{тт}$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Коэффициент чувствительности выбирается как:

$$K_ч = \frac{\frac{n \cdot I_{ном.пр}}{K_{тт}}}{I_{ср}} > 1{,}2,$$

где ***Iном.пр.*** - предельно-допустимый ток, на который рассчитываются промышленные резисторы ТОУ;

n - количество параллельных колонок ТОУ.

В случае, если чувствительность оказывается недостаточной, ток срабатывания должен выбираться по условию согласования с длительно допустимым током промышленных резисторов, составляющим по ТУ на РШ2 сопротивлением 20 Ом - 5 А .

При возникновении неполнофазного режима оперативный персонал должен выявить и устранить причину, вызвавшую этот режим.

Время срабатывания определяется по условию отстройки от времени максимально возможного неполнофазного режима (например, от времени ОАПВ).

Ток срабатывания второго (грубого) реле определяется по условию надёжного срабатывания при протекании максимально допустимого сквозного тока через ТОУ-Н в режиме КЗ.

Время срабатывания реле пределяется допустимой по ТУ на ТОУ-Н длительностью максимального сквозного тока через ТОУ-Н в режиме КЗ.

Для периодического измерения тока, протекающего через ТОУ-Н и при срабатывании сигнала от чувствительного токового реле для оценки тока устанавливается амперметр, шунтируемый контактами кнопки.

6.3. Автоматическое изменение уставок ступеней ТЗНП

При включении ТОУ-Н в нейтрали блочных трансформаторов чувствительность ТЗНП может оказаться недостаточной и уставки придётся пересматривать. В этом случае необходимо предусмотреть автоматическое изменение уставок защиты в зависимости от режима работы нейтрали трансформатора. ТОУ-Н включается в нейтраль трансформатора параллельно с короткозамыкателем. При отключённом положении короткозамыкателя (нейтраль трансформатора оказывается заземлённой через ТОУ) нормально введены в работу два токовых реле для каждой ступени с грубой и чувствительной уставками. При включении короткозамыкателя (ТОУ-Н зашунтирована, нейтраль трансформатора оказывается глухозаземлённой) чувствительные реле выводятся из работы.

7. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОУ-Н

Для успешного ввода ТОУ-Н в опытно-промышленную эксплуатацию необходимо выполнить ряд организационно-технических мероприятий, включающих разработку указаний по монтажу ТОУ-Н, подготовку и проведение испытаний, разработку инструкции по эксплуатации ТОУ-Н и ознакомление с ней персонала станции.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТЭЛОВЫХ РЕЗИСТОРОВ

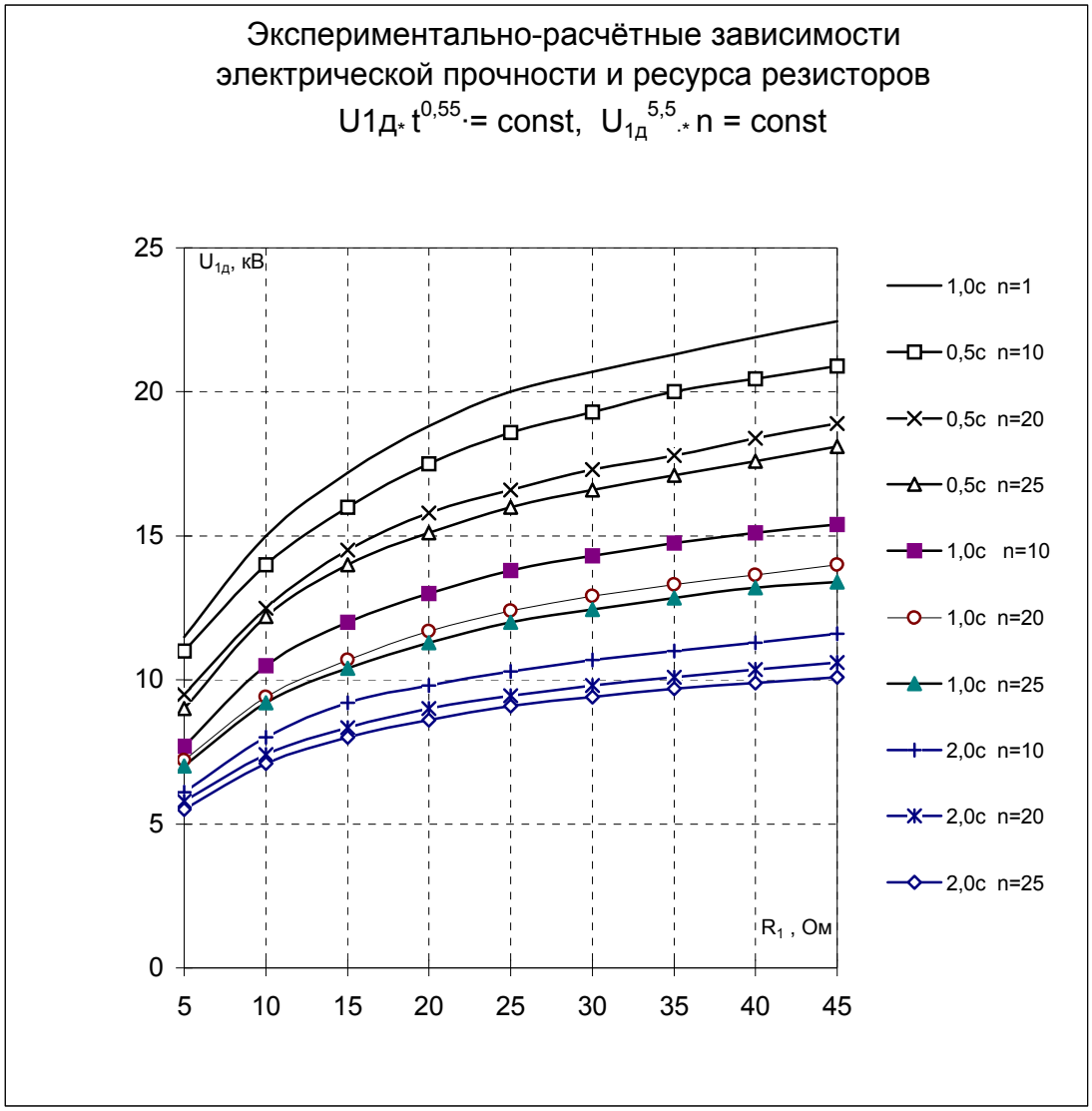

Рис.2.

Таблица 3

Время	Число	Сопротивление резистора, Ом								
		5	10	15	20	25	30	35	40	45
1,0с	n=1	11,5	15,0	17,2	18,8	20,0	20,7	21,3	21,9	22,5
0,5с	n=10	11	14	16	17,5	18,6	19,3	20	20,45	20,9
0,5с	n=20	9,5	12,5	14,5	15,8	16,6	17,3	17,8	18,4	18,9
0,5с	n=25	9	12,2	14	15,1	16	16,6	17,1	17,6	18,1
1,0с	n=10	7,7	10,5	12	13	13,8	14,3	14,75	15,1	15,4
1,0с	n=20	7,2	9,4	10,7	11,7	12,4	12,9	13,3	13,65	14
1,0с	n=25	7	9,2	10,4	11,3	12	12,45	12,85	13,2	13,4
2,0с	n=10	6,1	8	9,2	9,8	10,3	10,7	11	11,3	11,6
2,0с	n=20	5,8	7,4	8,4	9,0	9,5	9,8	10,1	10,4	10,6
2,0с	n=25	5,5	7,1	8	8,6	9,1	9,4	9,7	9,9	10,1

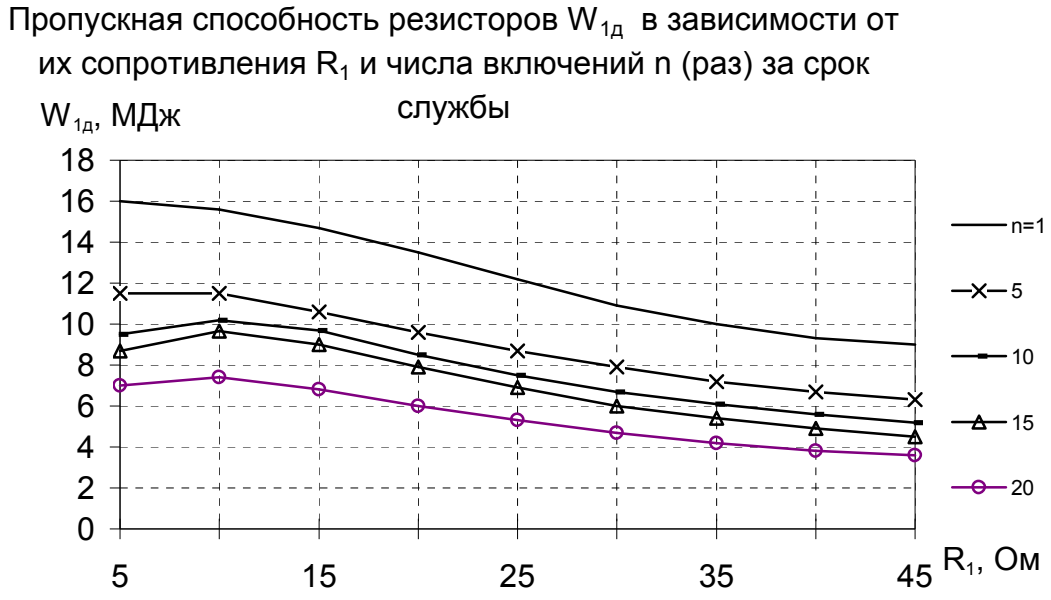

Рис.3

Пропускная способность резисторов (МДж) в зависимости
от их сопротивления (Ом) и числа включений (раз) за срок службы

Таблица 4

Число вкл.,раз n	Сопротивление резистора, Ом								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
1	16,0	15,6	14,7	13,5	12,2	10,9	10,0	9,3	9,0
5	11,5	11,5	10,6	9,6	8,7	7,9	7,2	6,7	6,3
10	9,5	10,2	9,7	8,5	7,5	6,7	6,1	5,6	5,2
15	8,7	9,65	9	7,9	6,9	6	5,4	4,9	4,5
20	7	7,4	6,8	6	5,3	4,7	4,2	3,8	3,6