

тепловые нагрузки. Установка когенерационных установок при таких котельных увеличивает объем потребляемого топлива на 5–10 %, при этом в значительной степени производится покрытие собственных нужд по электроэнергии котельной, а иногда и предприятия, на территории которого находится котельная, или других объектов того же ведомства. Удельная стоимость установленной электрической мощности приблизительно в два раза меньше в сравнении с вариантом создания мини-ТЭЦ на новом месте, что связано с наличием необходимого пара и сетевой инфраструктуры котельной. Внедрение когенерации на действующих котельных может способствовать решению проблем повышения энергоэффективности в республике.

Так в ноябре 2006 года на Белорусском газоперерабатывающем заводе (БГПЗ) Республиканского унитарного предприятия «Производственное объединение «Белоруснефть» официально введена в эксплуатацию когенерационная мини-ТЭЦ на попутном газе электрической мощностью 21 МВт и тепловой мощностью 22 МВт.

В настоящее время в нашей стране выполняется ряд проектов по переводу котельных в мини-ТЭЦ с использованием когенерационных газопоршневых установок электрической мощностью 200–500 кВт.

### Литература

1. Наш вклад в обеспечение энергетической безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bsuir.by> – Загл. с экрана.
2. Повышение энергоэффективности экономики РБ: план экономических мероприятий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.reenergy.by>. – Загл. с экрана.
3. Когенерация в цементном производстве республики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bsc.by>. – Загл. с экрана.
4. Мини-ТЭЦ – реальный путь энергообеспечения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arendator.net.ua>. – Загл. с экрана.

УДК 621.316

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

*Дерюгина Е.А.*

Заземляющие устройства являются неотъемлемой частью электроэнергетических систем, влияющие на надежность их работы и на безопасность обслуживающего персонала [1]. Само заземляющее устройство любого вида состоит из заземлителя, располагаемого в земле, и проводника, соединяющего заземляемый элемент установки с заземлителем. Множество заземлителей условно делят на две группы. К первой группе относят простые заземлители, состоящие всего из одного электрода, выполненного, например, в виде полусферы, вертикального или горизонтального кругового цилиндра, круглой пластины, тора и т. д. Вторая группа включает сложные заземлители, состоящие из различных комбинаций горизонтальных и вертикальных электродов. Если все электроды (элементы) сложного заземлителя расположены горизонтально и образуют в плане замкнутый контур с внутренними перемычками, то его называют заземляющей сеткой, а при наличии также и вертикальных электродов – комбинированным заземлителем.

Основная рабочая функция заземляющих устройств заключается в обеспечении проводимости цепи замыкания, достаточной для срабатывания устройств релейной защиты, на заземленный корпус или землю. Поэтому важнейшей электрической характеристикой заземляющего устройства является проводимость заземляющего устройства

$G_{3y}$  или обратная ей величина  $R_{3y}$  – сопротивление заземляющего устройства, равное [2]

$$R_{3y} = R_3 + R_{3П}, \quad (1)$$

где  $R_3$  – сопротивление растеканию тока с заземлителя в землю (сопротивление заземлителя);

$R_{3П}$  – сопротивление заземляющих проводников.

Сопротивление растеканию тока с заземлителя в землю формируется всей зоной растекания тока – объемом земли, начиная от поверхности заземлителя, электрический потенциал  $\phi$  которого при прохождении тока  $I_3$  в землю равен  $\phi_3$ , и до зоны, в которой  $\phi$  практически равен нулю (зона нулевого потенциала), т. е. возникает заметный градиент потенциала при стекании тока с заземлителя. В соответствии с законом Ома сопротивление заземлителя равняется отношению потенциала  $\phi_{3\max}$  в месте ввода тока в заземлитель к току  $I_3$ , выходящему из заземлителя в землю, [2]

$$R_3 = \frac{\phi_{3\max}}{I_3}. \quad (2)$$

Потенциал  $\phi_{3\max}$  численно равен напряжению на заземлителе  $U_3$ , возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой входа тока в заземляющее устройство и зоной нулевого потенциала. Поэтому обычно формулу (2) записывают в виде

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3}. \quad (3)$$

При протекании больших импульсных токов через заземлитель сопротивление импульсному току  $R_{ИЗ}$  будет отличаться от его сопротивления стационарному току  $R_3$ , которым обычно оперируют в расчетах. Связь между ними выражается уравнением [2]

$$R_{ИЗ} = \alpha_{И} R_3, \quad (4)$$

где  $\alpha_{И}$  – коэффициент импульса.

Коэффициент импульса может быть меньше единицы при сосредоточенных заземлителях и больше единицы при заземлителях больших размеров. Кроме того, на значение коэффициентов импульса оказывает влияние удельное сопротивление грунта. Его снижение более существенно уменьшает сопротивление стационарному току и в меньшей степени импульсному.

Электрозащитная функция заземляющего устройства состоит в ограничении до допустимых пределов напряжения, под которое может попасть человек, прикоснувшийся к заземленному корпусу электроустановки (к металлическим конструктивным частям электроустановки, нормально не находящимся под напряжением), во время замыкания фазы на корпус или землю.

Напряжением прикосновения  $U_{п}$  называется напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека:

$$U_{п} = \alpha_{п} R_3 I_3, \quad (5)$$

где  $\alpha_{п}$  – коэффициент прикосновения.

Напряжением шага  $U_{ш}$  называется напряжение между двумя точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю, при одновременном касании их ногами человека:

$$U_{ш} = \alpha_{ш} R_3 I_3, \quad (6)$$

где  $\alpha_{ш}$  – коэффициент шага.

Очевидно, что основными характеристиками, по которым можно установить рабочие и электротехнические качества заземляющих устройств, являются  $R_3$ ,  $U_{п}$  и  $U_{ш}$ , найденные в расчетном сезоне при расчетном значении тока  $I_3$ .

Значения  $U_{п}$  и  $U_{ш}$  зависят от характера поля тока, выходящего из заземлителя в землю, и от характера поля тока, выходящего с ног человека в землю, и сопротивления тела человека, являющегося функцией тока, проходящего по его телу. Следовательно, чтобы рассчитать сопротивление заземляющего устройства и напряжения прикосновения и шага, необходимо уметь рассчитывать электрические поля токов, выходящих из заземлителей в землю. Решение этой задачи составляет значительную часть, теории заземляющих устройств.

Требуемые значения электрических характеристик заземляющих устройств должны быть обеспечены при наиболее неблагоприятных условиях [1], т. е. непрерывно во времени и при возможном наибольшем расчетном токе, стекающем с заземлителя в землю. Введение этого требования вызвано закономерными циклическими сезонными изменениями параметров электрической структуры земли, приводящими к закономерным изменениям электрических характеристик заземляющих устройств. Причем в процессе этих изменений наступает сезон, во время которого соответствующая характеристика заземляющего устройства принимает наибольшее значение.

Работоспособность заземляющих устройств может быть обеспечена только, если имеется возможность точного определения их характеристик и картины распределения токов замыканий по элементам устройства.

### Литература

1. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 640 с.
2. Бургсдорф, В.В., Якобс, А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.

УДК 621.316

## СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ОТ БРОСКА ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ЗАЩИТАХ

*Сингаевская Е.М.*

Научный руководитель – БУЛОЙЧИК Е.В.

Одним из основных требований к дифференциальной защите силового трансформатора является быстрое и правильное распознавание броска тока намагничивания (БТН). Многообразие форм и значений тока с учетом разновременности включения фаз и степени насыщения трансформаторов тока обуславливает сложность выявления данного режима.

БТН появляется при включении силового трансформатора под напряжение или восстановлении напряжения при отключении внешних КЗ. Он обусловлен появлением свободной аperiodической составляющей в магнитном потоке, приводящей к насыщению магнитопровода. Наибольший БТН возникает в ненагруженном трансформаторе при включении на холостой ход.