

Ф.П. Шкрабец

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ИЗОЛЯЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

F.P. Shkrabets

CONTROL AND MANAGEMENT PARAMETERS OF INSULANT OF DISTRIBUTIVE NETWORKS

Изложены принципы косвенного дискретного контроля параметров изоляции на основе искусственного смещения нейтрали и непрерывного селективного контроля на основе наложения би-частотных оперативных сигналов в распределительных сетях напряжением 6–10 кВ. Указаны основные пути управления активным, реактивным сопротивлениями и добротностью изоляции сетей в аварийном режиме.

Ключевые слова: *распределительные сети, контроль параметров изоляции, минимизация аварийного тока*

Электрическая изоляция, являясь одним из основных конструктивных элементов, обеспечивает как надежность и долговечность электрооборудования и электрических сетей, так и безопасное применение электроэнергии. Вместе с тем статистические исследования о надежности изоляции показывают, что изоляция сама по себе обладает сравнительно низкой надежностью. Так, например, по причине повреждения электрической изоляции выходят из строя до 40% коммутационных аппаратов и 70–90% электродвигателей [1, 2].

Исследования состояния изоляции электроустановок напряжением выше 1000 В, эксплуатирующихся в различных условиях горного производства, являются важным составным элементом решения задачи по обеспечению безопасности и безаварийности систем электроснабжения.

В общем случае, параметрами, характеризующими состояние изоляции, являются: полное сопротивление $Z_{из}$, активное $R_{из}$, емкостное $X_{из}$ и омическое $R_{ом}$ сопротивления. При наличии конкретных сведений об условиях производства возможно выявить и оценить качественно и количественно степень влияния на состояние изоляции электроустановок таких факторов, как уровень технической эксплуатации электрохозяйства, влажность окружающей среды, количество подключенного электрооборудования, протяженность воздушных и кабельных линий и др.

Одним из решающих факторов в деле обеспечения безопасной и надежной эксплуатации электроустановки является уровень ее активного сопротивления относительно земли, измеренного на переменном токе. Локальное снижение активного сопротивления

изоляции любого участка может явиться причиной резкого снижения общего сопротивления относительно земли электрической сети в целом и привести к возникновению аварийного режима.

Для сетей карьеров цветной металлургии уровень параметра $R_{из}$ изменяется в диапазоне 0,9–15 кОм, причем 60% сетей имеют активное сопротивление изоляции величиной менее 10 кОм.

Степень влияния на активную проводимость изоляции электрических сетей количества подключенных экскаваторов $N_{эк}$ и трансформаторных подстанций $N_{м.н.}$, протяженностью воздушных $L_в$ и кабельных $L_к$ линий, оценивается эмпирическим выражением [3]

$$G_{из} = a_1 + b_1 L_в + c_1 L_к + d_1 N_{эк} + e_1 N_{м.н.} \quad (1)$$

Емкостным сопротивлением $X_{из}$ изоляции или емкостью $C_{из}$ по отношению к земле обладают все элементы системы электроснабжения. В электрических сетях большой протяженности емкостная проводимость изоляции может достигать высоких значений, являясь причиной значительных токов замыкания на землю. Емкость карьерных сетей 6 кВ в большинстве случаев колеблется в пределах 1–5 мкФ. Около 80% общего числа сетей имеют емкость относительно земли менее 3 мкФ. Емкость отдельных ЛЭП колеблется в пределах 0,1–1,2 мкФ. В общем случае, емкостную проводимость изоляции сети $B_{из}$ относительно земли также можно оценить количественными показателями сети с учетом своих эмпирических коэффициентов:

$$B_{из} = a_2 + b_2 L_в + c_2 L_к + d_2 N_{эк} + e_2 N_{м.н.} \quad (2)$$

Оценка состояния изоляции электроустановок и сетей может быть произведена по величине омиче-

ского сопротивления изоляции $R_{ом}$. Этот параметр не зависит от емкости электроустановок относительно земли и характеризует наличие сквозных проводящих мостиков между токоведущими частями электрооборудования и земель. Высокий уровень этого параметра говорит о достаточно хорошем состоянии изоляции электроустановок, надлежащем качестве профилактики и уровне технической эксплуатации электрохозяйства. Низкий уровень этого параметра сигнализирует о наличии слабых мест в изоляции, значительных токах утечки на землю, что опасно в отношении поражения персонала электрическим током, возникновении пожаров.

Омическое сопротивление изоляции гибких кабелей, эксплуатирующихся в условиях открытых горных разработок, подвержено сезонным изменениям. Анализ показывает, что количество пробоев изоляции кабелей находится в тесной взаимосвязи с годовым ходом температуры воздуха, количеством осадков в данном районе и относительной влажностью.

Относительная влажность в меньшей степени влияет на состояние изоляции кабелей, чем количество осадков и температура воздуха. Объяснить это можно тем, что в зимний период года в изоляции кабелей образуются трещины. В эти трещины при перемещении кабелей набивается снег, который уплотняется, кристаллизуется и находится в таком состоянии до наступления теплых дней. При этом состояние изоляции не ухудшается, так как сопротивление изоляции зимой велико. Весной снег тает и влага резко ухудшает состояние изоляции, а это приводит к интенсивному пробоев гибких кабелей. При наступлении осеннего ненастья также наблюдается рост количества пробоев изоляции гибких кабелей, но в меньшей степени, чем весной. Причина этого заключается в том, что в летний период происходит интенсивное „подсушивание“ изоляции кабелей вследствие высокой температуры воздуха. При наступлении периода осенних осадков для ухудшения состояния изоляции требуется большее время, чем весной, так как летом из трещин изоляции кабелей влага была удалена почти полностью.

Приведенные результаты указывают на необходимость осуществления постоянного контроля уровня сопротивления изоляции или проведения профилактических испытаний изоляции кабельных линий, что позволило бы значительно снизить число пробоев изоляции кабелей в процессе эксплуатации.

В общем случае, знание состояния изоляции электроустановок напряжением выше 1000 В, эксплуатирующихся в различных условиях горного производства, является важным составным элементом решения задачи по обеспечению безопасности и безаварийности систем электроснабжения.

Все известные в настоящее время методы определения параметров изоляции электроустановок и сетей с изолированной нейтралью можно классифицировать следующим образом:

– использующие в качестве измерительного рабочего напряжение электроустановки;

– использующие в качестве измерительного напряжение постороннего источника промышленной частоты;

– использующие в качестве измерительного напряжение постороннего источника не промышленной частоты;

– использующие в качестве измерительного напряжение постороннего источника постоянного тока.

Для контроля изоляции на практике пользуются косвенными методами, а именно, по значению тока однофазного замыкания на землю вычисляют полное сопротивление изоляции определенной сети относительно земли. Различные методы измерения токов однофазного замыкания на землю можно условно разделить на методы прямого и косвенного измерения.

Прямой метод измерения при металлическом замыкании фазы на землю позволяет непосредственно оценить все необходимые значения, но обладает недостатком, резко ограничивающим его применение. В сетях с изолированной нейтралью металлические однофазные замыкания на землю сопровождаются появлением на здоровых и поврежденной фазах кратковременных перенапряжений, превышающих фазное напряжение в 3,5–4 раза. Указанные перенапряжения являются причиной пробоя изоляции в других местах, в результате чего могут возникнуть двойные замыкания на землю, которые представляют опасность для обслуживающего персонала и оборудования [1, 4].

Учитывая изложенное, более широко рекомендуется применять косвенные методы измерения токов замыкания, наиболее простым из которых, для сетей с изолированной нейтралью, является замыкание фазы на землю через эталонное сопротивление [3]. Основное преимущество метода заключается в простоте опыта и практически исключается (при величине эталонного сопротивления несколько сотен Ом) возможность повреждения изоляции сети относительно земли в других точках карьерной сети, так как при замыкании на землю через активное сопротивление резко снижается уровень перенапряжений. Находит применение метод создания искусственной несимметрии путем подключения дополнительной емкости к одной из фаз.

Определение уровня полной проводимости изоляции относительно земли и ее составляющих (активной и емкостной), в трехфазной симметричной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В без снятия рабочего напряжения, предлагается осуществлять способом, основанном на искусственном получении напряжения нулевой последовательности путем включения дополнительной активной проводимости в одну из фаз электрической сети [5].

В основу указанного способа положены известные соотношения величины напряжения нулевой последовательности и величины напряжения фазы относительно земли через проводимости изоляции (рис. 1)

$$\dot{U}_0 \mid \dot{U}_\phi \frac{Y_A \ 2 \ a^2 Y_B \ 2 \ a Y_C}{Y_A \ 2 \ Y_B \ 2 \ Y_C \ 2 \ Y_N}, \quad (3)$$

где \dot{U}_ϕ – напряжение фазы относительно земли, соответствующее нормальному симметричному режиму работы сети; \dot{U}_0 – напряжения нулевой последовательности (смещения нейтрали); Y_A, Y_B, Y_C – полные проводимости изоляции фаз относительно земли; Y_N – полная проводимость изоляции между нейтралью и землей; $a \mid \begin{matrix} \textcircled{R} \\ \textcircled{G} \\ \textcircled{TM} \end{matrix} \frac{1}{2} \ 2 \ j \frac{\sqrt{3}}{2}$ – операторный множитель.

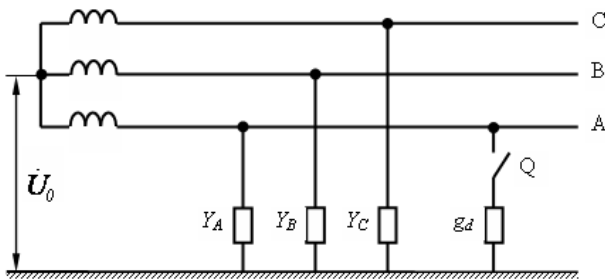


Рис. 1. Схема замещения сети для пояснения способа косвенного определения параметров изоляции

Трехфазную электрическую сеть, где определяются параметры изоляции фаз сети относительно земли, принимаем симметричной, при этом значение напряжения нулевой последовательности равно нулю, а значения напряжений фаз сети относительно земли равны между собой

$$U_A \mid U_B \mid U_C \mid U_\phi,$$

тогда $Y_A \mid Y_B \mid Y_C \mid Y \mid g \ 2 \ j\epsilon$,

где Y, g, ϵ – соответственно полная, активная и емкостная проводимости изоляции фаз сети относительно земли.

Для определения параметров изоляции по предложенному способу в одну из фаз (например фазу „А“) электроустановки вводим дополнительную активную проводимость g_d , тогда

$$Y'_A \mid g \ 2 \ g_d \ 2 \ j\epsilon.$$

Подставив это значение в уравнение (3), после преобразования получим

$$\dot{U}_0 \mid \dot{U}_\phi \left. \begin{matrix} \textcircled{R} \\ \textcircled{G} \\ \textcircled{TM} \end{matrix} \frac{g_d}{Y \ 2 \ g_d} \right\} \mid \dot{U}_\phi \left. \begin{matrix} \textcircled{R} \\ \textcircled{G} \\ \textcircled{TM} \end{matrix} \frac{g_d}{G \ 2 \ jB \ 2 \ g_d} \right\}, \quad (4)$$

где $G \mid 3g, B \mid 3\epsilon$ – соответственно полная, активная и емкостная проводимости всей электрически связанной сети относительно земли.

Так как формула для напряжения нулевой последовательности представлена в комплексной форме, то разложим ее на активную и реактивную состав-

ляющие, для чего числитель и знаменатель уравнения (4) умножим на $G \ 2 \ g_d \ 4 \ jB$. Тогда уравнение (4) примет вид

$$\dot{U}_0 \mid U_\phi \left\{ \frac{g_d/G \ 2 \ g_d \ 0}{/G \ 2 \ g_d \ 0^2 \ 2 \ B^2} \ 4 \ j \frac{g_d B}{/G \ 2 \ g_d \ 0^2 \ 2 \ B^2} \right\}. \quad (5)$$

Обозначим первую составляющую выражения (5) через

$$U_{0a} \mid U_0 \cos \zeta \mid \frac{U_\phi g_d /G \ 2 \ g_d \ 0}{/G \ 2 \ g_d \ 0^2 \ 2 \ B^2}, \quad (6)$$

где U_{0a} – активная составляющая напряжения нулевой последовательности.

Вторую составляющую выражения (5) обозначим

$$U_{0p} \mid U_0 \sin \zeta \mid \frac{U_\phi g_d B}{/G \ 2 \ g_d \ 0^2 \ 2 \ B^2}, \quad (7)$$

где U_{0p} – реактивная (емкостная) составляющая напряжения нулевой последовательности; α – угол между вектором напряжения фазы (к которой подключается дополнительная проводимость) относительно земли и вектором напряжения нулевой последовательности, который в общем случае может быть определен по теореме косинуса по измеренным значениям модулей напряжений $U_\phi, U_{\phi 0}, U_0$

$$\cos \zeta \mid \frac{U_\phi^2 \ 2 \ U_0^2 \ 4 \ U_{\phi 0}^2}{2U_\phi \ U_0},$$

где $U_{\phi 0}$ – напряжение фазы электрической сети относительно земли после подключения дополнительной активной проводимости между этой фазой и землей.

Действующее значение напряжения нулевой последовательности при подключении к одной из фаз дополнительной проводимости равно

$$U_0 \mid \sqrt{U_{0a}^2 \ 2 \ U_{0p}^2} \mid \frac{U_\phi g_d}{\sqrt{(G \ 2 \ g_d)^2 \ 2 \ B^2}}. \quad (8)$$

Решая совместно уравнения (6) и (7), и принимая во внимание, что для реальных параметров распределительных сетей напряжением 6-35 кВ при полностью изолированной нейтралью, векторы напряжений $\dot{U}_\phi, \dot{U}_{\phi 0}, \dot{U}_0$ образуют прямоугольный треугольник (рис. 2), а также учитывая соотношения

$$U_0 \mid U_\phi \cos \zeta; U_{\phi 0} \mid U_\phi \sin \zeta; \\ U_{\phi 0a} \mid U_{\phi 0} \sin \zeta; U_\phi \mid U_{0a} + U_{\phi 0a},$$

определяем:

– активную проводимость изоляции всей и одной фазы электрически связанной сети относительно земли

$$G \mid \frac{U_\phi^2 \ 2 \ \sqrt{U_\phi^4 \ 4 \ 4U_0^2 U_{\phi 0}^2}}{2U_0^2} \ g_d \ 4 \ g_d;$$

$$g \mid \frac{U_\phi^2 2 \sqrt{U_\phi^4 4 U_0^2 U_{\phi 0}^2}}{6 U_0^2} g_d 4 \frac{1}{3} g_d; \quad (9)$$

– емкостную проводимость изоляции всей и одной фазы сети относительно земли, а также емкость одной фазы относительно земли

$$B \mid \frac{U_{\phi 0}}{U_0} \int g_d; \epsilon \mid \frac{1}{3} \frac{U_{\phi 0}}{U_0} \int g_d; C \mid \frac{\epsilon}{2\omega f} \mid \frac{1}{6} \frac{g_d U_{\phi 0}}{\omega U_0}. \quad (10)$$

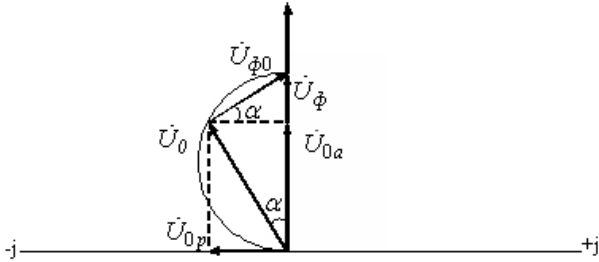


Рис. 2. Положения векторов напряжений $\dot{U}_\phi, \dot{U}_{\phi 0}, \dot{U}_0$ при подключении дополнительной проводимости

Для реальных параметров распределительных сетей и рекомендованных значений подключаемой дополнительной проводимости, значением подкоренного выражения в формулах (9) можно пренебречь, тогда получим упрощенные, но пригодные для инженерных расчетов, выражения для соответствующих активных проводимостей изоляции

$$G \mid \frac{U_\phi^2}{2 U_0^2} \int g_d 4 g_d; \quad g \mid \frac{U_\phi^2}{6 U_0^2} \int g_d 4 \frac{1}{3} g_d. \quad (11)$$

По геометрической сумме активной и емкостной проводимостей определяем полную проводимость изоляции фаз электрической сети относительно земли

$$Y \mid \sqrt{g^2 2 \epsilon^2};$$

$$Y \mid g_d \sqrt{\frac{U_\phi^2 (U_\phi^2 4 2 U_0^2)^2 2 (2 U_{\phi 0} U_0^2)^2}{6 U_0^2 U_\phi}}. \quad (12)$$

Уравнения (9) – (11) положены в основу фазочувствительного способа определения параметров изоляции относительно земли электрической сети напряжением выше 1000 В, находящейся под рабочим напряжением. Способ позволяет осуществлять как периодический оценочный расчет параметров изоляции, так и реализовать возможный непрерывный контроль состояния изоляции. К основному недостатку этого способа контроля параметров изоляции можно отнести то, что он пригоден для электрических сетей с симметричной (в нормальном режиме) изоляцией фаз относительно земли. При несимметрии системы до 3%, случайная относительная среднеквадратичная погрешность определения активной, емкостной и полной проводимости изоляции относительно земли электрической сети будет находиться в пределах 10%.

Определение полных проводимостей изоляции фаз и их составляющих (активных и реактивных проводимостей) относительно земли в трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью при значительной несимметрии изоляции можно осуществлять способом, основанном на искусственном изменении величины напряжения нулевой последовательности путем включения дополнительной активной проводимости во все три фазы электроустановки в заданной последовательности, что, естественно, значительно усложняет процесс контроля.

Если произвести три последовательных измерения напряжений $U_0; U_A; U_B$ и U_C при различных вариантах включения дополнительных проводимостей, то можно получить систему трех уравнений с тремя неизвестными

$$(Y_A \mid g_A 2 j\epsilon_A, Y_B \mid g_B 2 j\epsilon_B, Y_C \mid g_C 2 j\epsilon_C).$$

При этом измеренные значения $U_0; U_A; U_B; U_C$ следует представить в комплексной форме записи, для чего необходимо определить положения векторов названных напряжений на комплексной плоскости, т.е. предварительно определить значения углов между вектором соответствующего напряжения и действительной осью. Практическое применение указанной методики определения параметров проводимости фазной изоляции сети относительно земли значительно упрощается при использовании микроЭВМ или персонального компьютера.

Более перспективным является непрерывный и автоматический (лучше селективный) контроль значений составляющих изоляции электрической сети (активного и емкостного сопротивлений изоляции фаз сети относительно земли), который бы позволил оперативно прогнозировать появление опасных состояний системы и, при имеющейся технической возможности, вводить опережающие управляющие команды, позволяющие минимизировать возможный ущерб. Для указанных целей предложено использовать метод непрерывного измерения значений составляющих сопротивлений изоляции сети относительно земли под рабочим напряжением, основанный на использовании наложенных на сеть оперативных токов непромышленной частоты. Суть предложенного метода непрерывного оперативного контроля параметров изоляции относительно земли электрической сети и ее элементов состоит в том, что на электрическую сеть одновременно накладываются два оперативных синусоидальных сигнала, частоты которых не равны между собой и отличается от промышленной. На контролируемых участках (линии или присоединении), а также в месте подключения оперативного источника, устанавливаются устройства, назначением которых является снятие параметров оперативных сигналов и их соответствующая обработка с целью определения в указанных точках значений оперативных токов и напряжений. Зафиксированные (с заданной скважностью сканирования) параметры оперативных сигналов в цифровом виде подаются на входы микроконтроллера или компьютера, где используются для

вычисления и передачи по заданному адресу обновляемых значений параметров изоляции.

Значения активного сопротивления изоляции R и суммарной емкости C относительно земли, трех фаз (в зависимости от места установки датчиков тока) всей сети или соответствующего контролируемого участка (присоединения), рассчитываются по выражениям [5, 6]

$$R \mid U_1 U_2 \sqrt{\frac{\omega_2^2 4 \omega_1^2}{U_2^2 I_1^2 \omega_2^2 4 U_1^2 I_2^2 \omega_1^2}};$$

$$C \mid \frac{1}{U_1 U_2} \sqrt{\frac{U_2^2 I_1^2 4 U_1^2 I_2^2}{\omega_1^2 4 \omega_2^2 0}}, \quad (13)$$

где U, I, ω – значения соответственно напряжения, тока и угловой частоты накладываемых оперативных синусоидальных сигналов частотой f_1 и f_2 .

Метод одновременного наложения на сеть двух оперативных сигналов может также использоваться в сетях с компенсированной нейтралью для оперативного измерения значения индуктивности дугогасящего реактора (компенсирующего устройства) с целью автоматической его настройки в резонанс с емкостью распределительной сети.

Параметры изоляции электрических сетей непосредственно связаны со значениями аварийных токов и характером переходных процессов при самых распространенных повреждениях – однофазных замыканиях на землю. В этой связи можно утверждать, что управление параметрами изоляции связано с процессами:

- локализации (отключения) мест с ослабленной (поврежденной) изоляцией – управление общим активным сопротивлением изоляции распределительной сети;

- минимизации (компенсация емкостной составляющей тока замыкания на землю и управление настройкой компенсирующего устройства) значений аварийного тока – управление общим реактивным сопротивлением изоляции распределительной сети;

- оптимизации режима нейтрали сети – управление добротностью распределительной сети с целью подавления переходных и феррорезонансных процессов, сопровождающих аварийные режимы.

Локализация (отключение) мест с ослабленной (поврежденной) изоляцией обеспечивается применением защиты от однофазных замыканий на землю, которая в системах электроснабжения горных предприятий выполняется двухступенчатой и, в соответствии с отраслевыми требованиями, действует на отключение.

Режим работы нейтрали (полностью изолированная нейтраль, компенсированная нейтраль, с резистором в нейтрали) электрических сетей напряжением выше 1000 В существенно влияет не только на работоспособность устройств защиты от замыканий на землю, но и на уровень внутренних перенапряжений, сопровождающих такие аварийные режимы, т.е. на повреждаемость электрических сетей и оборудования [3, 4, 7].

Распределительные сети напряжением 6–10 кВ с полностью изолированной нейтралью получили пре-

имущественное распространение в большинстве стран. Однако такой режим нейтрали сети не всегда является оптимальным с точки зрения таких критериев, как надежность, электробезопасность и экономичность. Для реальных параметров распределительных сетей с полностью изолированной нейтралью, максимальное значение перенапряжений (напряжения между здоровыми фазами и землей) при замыканиях на землю находится на уровне 4,5 фазного напряжения, а теоретический максимум напряжения смещения нейтрали составляет трехкратное фазное напряжение. Однофазные замыкания на землю сопровождаются переходными процессами, возникающими в момент появления замыкания и в момент отключения поврежденного участка (процесс восстановления напряжения в сети), которые обеспечивают значительную часть ложных срабатываний устройств защиты от замыканий на землю в указанных сетях [5, 7].

Эффективность компенсации емкостных токов и эффективность работы электрических сетей с компенсированной нейтралью в значительной степени зависит от режима настройки компенсирующего устройства. Большинство исследователей при этом отдают предпочтение резонансной настройке индуктивности компенсирующего устройства с емкостью сети относительно земли. При резонансной настройке компенсирующего устройства, а также при его расстройке в пределах 5%, даже теоретически перенапряжения на неповрежденных фазах не могут превысить 2,75 фазного напряжения. Увеличение степени расстройки компенсации от 5 до 30...40% приводит к быстрому нарастанию уровня перенапряжений. Необходимо отметить, что при расстройке компенсирующего устройства на 20...25% от резонансной, эффективность компенсирующих устройств, в части ограничения перенапряжений при замыканиях на землю, практически не ощущается по сравнению с сетями с полностью изолированной нейтралью. При резонансной настройке компенсирующего устройства и при незначительных расстройках компенсации в электрических сетях, запасы электрической прочности изоляции, по отношению к воздействующим перенапряжениям, увеличиваются до 30% [7].

Электрические сети с резистором в нейтрали характеризуются искусственным созданием в аварийном режиме дополнительной активной составляющей аварийного тока и обладают, по сравнению с сетями с полностью изолированной или компенсированной нейтралью, более высокой надежностью за счет улучшения качества работы устройств защиты от однофазных замыканий на землю, исключения феррорезонансных процессов и уменьшения повреждаемости элементов системы электроснабжения (снижение перенапряжений при замыканиях на землю [1, 4].

По мере роста активной составляющей тока замыкания по отношению к емкостной составляющей, кратность перенапряжений уменьшается до значения 2,4 при равенстве активного и емкостного тока замыкания. Дальнейшее увеличение активной составляющей практически не приводит к существенному уменьшению кратности перенапряжений и

можно констатувати, що ефективність розглянутого режиму нейтралі розподільних мереж суттєво проявляється при значенні накладуваного активного току замикання на землю на рівні не менше 40% від ємкостного, то єсть

$$I_a \mid (0,4 \div 1,0)I_c .$$

В розподільних мережах напругою 6–10 кВ при використанні дугогасячих реакторів, які в більшості випадків не обладнані пристроями автоматичної налаштування режиму компенсації, рекомендується використовувати комбінований режим роботи нейтралі. Суть комбінованого режиму заземлення нейтралі полягає в тому, що крім створення індуктивної складової току однофазного замикання на землю, пропонується також одночасно накладувати на ток замикання і активну складову. Значення накладуваної на мережу активної складової току замикання на землю повинно бути на рівні 30–50% від ємкостної складової, що забезпечує експлуатаційні показники адекватні мережам з резистором в нейтралі навіть при расстройках дугогасячого реактора до 50%.

Список літератури

1. Самойлович І.С. Режимы нейтралі електричних мереж кар'єрів. – М.: Недра, 1976. – 175 с.
2. Електробезпека на відкритих гірних роботах / Під ред. В.І. Щуцко. – М.: Недра, 1983. – 192 с.
3. Аналіз параметрів і процесів в шахтних електричних мережах / Шкрабець Ф.П., Шидловська Н.А., Дзюбан В.С., Вареник Е.А. – Д.: НГУ, 2003. – 151 с.
4. Півняк Г.Г., Шкрабець Ф.П. Несиметричні пошкодження в електричних мережах кар'єрів: Справочне посібник. – М.: Недра, 1993. – 192 с.

5. Шкрабець Ф.П., Скосярев В.Г. Теоретичне обґрунтування способу визначення параметрів ізоляції електричних мереж // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки НАН України, 2000. – Вип. 22. – С. 13–18.

6. Системи ефективного енергозабезпечення вугільних шахт / Півняк Г.Г., Шкрабець Ф.П., Заїка В.Т., Разумний Ю.Т. / За ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. – Д.: НГУ, 2004. – 206 с.

7. Режимы нейтралі електричних мереж / И.М. Сирота, С.Н. Кисленко, А.М. Михайлов. – К.: Наук. думка, 1985. – 264 с.

Викладено принципи непрямого дискретного контролю параметрів ізоляції на основі штучного зсуву нейтралі та безперервного селективного контролю на основі накладання бі-частотних оперативних сигналів в розподільних мережах напругою 6–10 кВ. Вказано основні шляхи керування активним, реактивним опорами і добротністю ізоляції мереж в аварійному режимі.

Ключові слова: розподільні мережі, контроль параметрів ізоляції, мінімізація аварійного струму

The principles of insulation parameters indirect discrete control on the basis of the artificial neutral displacement and continuous selective control based on imposition of bi-frequency operational signals in the distributive networks 6–10 kV are expounded. The main ways of resistance and reactance management, and insulation quality factor of networks in emergency mode are shown.

Keywords: distributive network, control of parameters of insulant, minimization of emergency current

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Корсунюм 07.06.09

Національний гірничий університет пропонує інноваційний проект

ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ НАНОКРИСТАЛІВ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА РАХУНОК ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ

Автори: Давиденко О.М., д-р техн. наук, проф., Перетяка П.В., канд. техн. наук, Безсонов Ю.Д., канд. техн. наук, наук. співроб., Манько І.К., канд. техн. наук, наук. співроб., Камишацький О.Ф., інж.

Сутність проекту: розробка технології отримання нанокристалів надтвердих матеріалів за рахунок гідродинамічної кавітації та проектування обладнання для її реалізації. Інновація полягає в тому, що на кристали певного хімічного складу, які рухаються в потоці рідини, буде впливати температурне поле та тиск, що створюються при схлопуванні кавітаційних порожнин. Кавітаційні порожнини утворюються спеціальним кавітаційним генератором.

Патентна готовність: патент України № 68524 А – Пристрій для приготування бурових рідин. А.с. СРСР № 411037 – Спосіб штучного отримання надтвердих матеріалів.

Рівень готовності: розроблено наукове обґрунтування щодо створення технології отримання нанокристалів надтвердих матеріалів за рахунок гідродинамічної кавітації.

Економічна ефективність: строк окупності проекту 1,5 роки.

Вартість: 500 тис. грн.

Контакти: тел.:(0562) 46-63-46, e-mail: nmu@nmu.org.ua