

Ф. П. Шкрабец, д-р техн. наук, А.И. Ковалев, Е.П. Месяц
(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

ХАРАКТЕРИСТИКА И КОСВЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИЗОЛЯЦИИ КАРЬЕРНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

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.

Цель статьи – дать оценку факторам влияющим на формирование уровня активного и реактивного сопротивлений изоляции электрической сети относительно земли и косвенному методу определения их значений

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.

Величина полного сопротивления изоляции является важнейшей характеристикой состояния изоляции и электробезопасности, так как определяет величину и значение тока замыкания на землю. Для сетей напряжением 6 кВ карьеров цветной металлургии полное сопротивление изоляции находится в пределах 0,4 – 3,5 кОм, причем 80% сетей имеют полное сопротивление изоляции величиной менее 1,3 кОм [4].

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.

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 [2, 4]:

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

Емкостным сопротивлением $X_{из}$ изоляции или емкостью $C_{из}$ по отношению к земле обладает все элементы системы электроснабжения. В электриче-

ских 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:

$$B_{из} = a_2 + b_2 L_6 + c_2 L_k + d_2 N_{эк} + e_2 N_{т.п.} \quad (2)$$

Оценка состояния изоляции электроустановок и сетей может быть произведена по значению омического сопротивления изоляции $R_{ом}$. Этот параметр не зависит от емкости электроустановок относительно земли и характеризует наличие сквозных проводящих мостиков между токоведущими частями электрооборудования и землей. 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 и возникновения пожаров.

Выше сказанное указывает 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. Профилактические испытания изоляции кабелей наиболее целесообразно проводить в периоды, предшествующие повышению уровня повреждаемости, т. е. весной, летом и осенью.

Анализ показывает, что количество пробоев изоляции кабелей, эксплуатирующихся в условиях открытых горных работ, находится в тесной взаимосвязи с годовым изменением температуры воздуха, количеством осадков в данном регионе и относительной влажностью. Последнее 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.

В процессе эксплуатации систем электроснабжения по ряду причин и в первую очередь с целью прогнозирования уровня электробезопасности и надежности электрических сетей и установок необходимо знать состояние их изоляции. Для получения более достоверной информации о состоянии изоляции фаз сети относительно земли необходимо производить измерения под рабочим напряжением.

Определение уровня полной изоляции и ее составляющих (активной и емкостной проводимостей изоляции) в трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В в соответствии с [2, 3] предлагается осуществлять способом, основанном на искусственном получении величины напряжения нулевой последовательности путем включения дополнительной активной проводимости в одну из фаз электроустановки. В основу указанного способа положены известные соотношения значений напряжения нулевой последовательности и напряжения фазы относительно земли выраженные через проводимости изоляции:

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

где \dot{U}_ϕ - напряжение фазы относительно земли до введения активной дополнительной проводимости; \dot{U}_0 - напряжения нулевой последовательности после введения активной дополнительной проводимости; Y_A, Y_B, Y_C - полные проводимости изоляции фаз относительно земли; Y_N - полная проводимость изоляции между нейтралью и землей; $a = \left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$ - операторный множитель.

Для рассматриваемого способа трехфазная электрическая сеть, где определяются параметры изоляции фаз сети относительно земли, принята абсолютно симметричной; при этом величина напряжения нулевой последовательности равна нулю, а значения напряжений сети относительно земли равны между собой ($U_A = U_B = U_C = U_\phi$). Также равны между собой и проводимости изоляции фаз сети относительно земли

$$Y_A = Y_B = Y_C = Y = g + j\epsilon,$$

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

Для определения параметров изоляции по предлагаемому способу к одной из фаз электроустановки подключают дополнительную активную проводимость g_d , т.е.

$$Y_A = g + g_d + j\epsilon.$$

Тогда уравнение (3) примет вид:

$$\dot{U}_0 = \dot{U}_\phi \left[\frac{g(g + g_d)}{(g + g_d)^2 + \epsilon^2} - j \frac{g_d \epsilon}{(g + g_d)^2 + \epsilon^2} \right]. \quad (4)$$

С учетом вводимой активной дополнительной проводимости, по измеренным величинам модулей напряжения фазы относительно земли U_ϕ до введения активной дополнительной проводимости, напряжения фазы относительно земли $U_{\phi 0}$ и напряжения нулевой последовательности U_0 после введения активной дополнительной проводимости g_d определяются:

- полная проводимость изоляции фаз электрической сети относительно земли

$$Y = 1,73 U_{\phi 0} U_0^{-1} g_d; \quad (5)$$

- активная проводимость изоляции фаз электрической сети относительно земли

$$g = \left[\frac{3(U_\phi^2 - U_{\phi 0}^2)}{U_0^2} - 1 \right] 0,5 g_d; \quad (6)$$

- емкостная проводимость изоляции фаз электрической сети относительно земли

$$\epsilon = (Y^2 - g^2)^{0,5}. \quad (7)$$

Основным недостатком изложенного метода является исходное требование к симметрии системы, т.е., метод применим при полной симметрии фазных напряжений и фазных проводимостей изоляции сети относительно земли.

В мощной электрической системе, к которым относятся системы электропитания большинства карьеров, треугольник линейных напряжений образует жесткую систему, а его положение относительно точки отсчета (например, земли) определяется проводимостями на землю каждой фазы. Не всегда симметричному треугольнику линейных напряжений соответствует симметричная звезда фазных напряжений. Такое возможно (если нагрузка отсутствует или является симметричной) только при нулевом потенциале нейтрали сети относительно земли, что имеет место при полном равенстве проводимостей каждой фазы сети относительно земли.

Выводы.

1. С целью прогнозирования уровня электробезопасности и надежности электрических сетей и установок необходимо получать достоверную информацию о состоянии их изоляции, для чего необходимо производить измерения под рабочим напряжением.

2. Недостатком описанного косвенного метода контроля параметров изоляции сети является исходное требование к симметрии системы, т.е., полной симметрии фазных напряжений и фазных проводимостей изоляции сети относительно земли.

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – 10-е изд. М.: УИЦ "Гардарика", 2001. – 638 с.
2. Пивняк Г.Г., Шкрабец Ф.П. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров: Справочное пособие. – М.: Недра, 1993. – 192 с.
3. Шкрабец Ф.П., Скосырев В.Г. Теоретическое обоснование способа определения параметров изоляции электрических сетей // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки НАН України, – Дніпропетровськ, 2000. – Вип.22. – С. 13-18 .
4. Электробезопасность на открытых горных работах. / Под ред. В.И.Щуцкого. – М.: Недра, 1983. – 192 с.