

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО КОНТУРА ПРИ ДВУХФАЗНОМ ЗАМЫКАНИИ ШАХТНОЙ УЧАСТКОВОЙ СЕТИ В РАЗНЕСЕННЫХ ТОЧКАХ

Чорноус Е.В.

Донецкий национальный технический университет

pm@cld.dgtu.donetsk.ua

Досліджується модель дільничної шахтної мережі при двофазному короткому замиканні на землю в рознесених точках. Установлено, що струми в контурі заземлення становлять небезпеку з точки зору пожежної безпеки, але не чуттєві для максимального струмового захисту.

Проведенные в ДонНТУ исследования участковых шахтных сетей с изолированной нейтралью [1] показали, что двойные замыкания различных фаз на заземляющий контур в различных его точках представляют повышенную опасность, обусловленную следующими факторами:

- токи аварийных фаз соизмеримы с токами пусковых режимов, вследствие чего защита участковой сети может оказаться не чувствительной к аварийным токам, и, таким образом, способствовать развитию аварийной ситуации;
- аварийные токи, замыкающиеся по открытым участкам заземляющей сети, при наличии повреждений или ослабленных контактов могут стать источником опасных искрений или дугообразования.

Цель данной работы – предложить математическую модель для исследования токов сети заземления и оценить их значения в зависимости от параметров заземляющего контура.

В соответствии с поставленной задачей представляется рациональным применение метода эквивалентного генератора, когда основная силовая цепь относительно точек пробоя изоляции, заменяется эквивалентным источником, нагрузкой которого является заземляющий контур.

Принятые допущения:

1. Исследование всех режимов цепи выполняется без учета влияния переходных процессов.
2. За время действия аварийной ситуации частота вращения двигателей не изменяется и, следовательно, их параметры, включая эквивалентные сопротивления, а также сопротивления прямой и обратной последовательностей остаются неизменными.

3. Сопротивления двигателей прямой последовательности принимаются равными их эквивалентному входному сопротивлению в номинальном режиме, сопротивления обратной последовательности равны их эквивалентному входному сопротивлению в режиме противовключения, сопротивления нулевой последовательности равны бесконечности.
4. Продольные сопротивления кабелей нулевой последовательности принимаются равными учетверенному значению их продольных сопротивлений для прямой и обратной последовательностей.
5. Сопротивления элементов заземляющего контура (включая заземляющие жилы кабелей) приняты чисто активными.

Особенности методики исследования.

1. Силовая часть цепи, включающая магистральный кабель, соединяющий участковую подстанцию с распределительным пунктом (УРП), гибкие кабели, соединяющие УРП с основными, наиболее мощными потребителями участка (комбайн и конвейер), нагрузку, представленную эквивалентными сопротивлениями двигателей, и заземляющий контур, представлена математической моделью, выполненной на основе метода симметричных составляющих (МСС).
2. Модель на основе МСС заменяется эквивалентным генератором, эдс которого $E_{\text{ЭКВ}}$ равна линейному напряжению между точками пробоя в номинальном рабочем режиме (для принятых условий численного эксперимента): $U_{\text{XX}} = E_{\text{ЭКВ}} = (573 + 323j) \text{ В}$;
3. Внутреннее сопротивление эквивалентного генератора определяется, исходя из линейности модели МСС , как отношение $E_{\text{ЭКВ}}$ к току “обычного” двухфазного короткого замыкания между точками пробоя [1] , $I_{\text{КЗ}} = 1602 + 1379j \text{ А}$, откуда:

$$Z_{\text{ЭКВ}} = E_{\text{ЭКВ}} / I_{\text{КЗ}} = 0.305 + 0.061j , \text{ Ом} .$$

На рис. 1 приведена схема замещения заземляющей сети, питаемой от эквивалентного генератора, включающая заземляющие жилы кабелей R_1 , R_2 , сопротивления местных заземлителей R_3 , R_4 , эквивалентное сопротивление основного заземляющего контура R_0 . Схема рис. 2 описывается следующей системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} -Iz_1 - Iz_3 + Iz_5 = 0, \\ -Iz_0 + Iz_1 + Iz_2 = 0, \\ Iz_2 + Iz_4 + Iz_5 = 0, \\ Iz_0 \cdot R_0 + Iz_1 \cdot R_1 - Iz_3 \cdot R_3 = 0, \\ Iz_0 \cdot R_0 + Iz_2 \cdot R_2 - Iz_4 \cdot R_4 = 0, \\ Iz_1 \cdot R_1 - Iz_2 \cdot R_2 + Iz_5 \cdot Z_{\text{ЭКВ}} = E_{\text{ЭКВ}} . \end{array} \right. \quad (1)$$

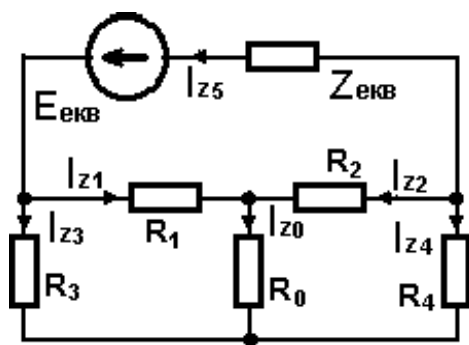


Рис. 1. Схема эквивалентного источника и заземляющего контура.

Исследование выполнялось для сети с номинальным напряжением 660 В при рабочей мощности двигателей 110 и 90 кВт. Длина питающих гибких кабелей составляла 50, 200 и 250 метров. Сопротивление заземляющих жил кабелей, соединяющих УРП с двигателями комбайна и конвейера, и по которым замыкается основная часть токов короткого замыкания, составила согласно [2] $R_1 =$

$R_2 = 0,36$ Ом. Эквивалентное сопротивление местных заземлителей, значение которых согласно [3] не нормируется, в исследовании изменялось в пределах 5...50 Ом. Основные результаты моделирования приведены на рис. 2.

На рис. 2,а приведены зависимости тока местного заземлителя I_{z3} в функции его сопротивления R_3 и трех значениях (5, 20 и 50 Ом) сопротивления местного заземлителя второго механизма R_4 . Обращает на себя внимание то, что ток I_{z3} существенно меняется при изменении R_3 (пределы его изменения 5 – 45 А) и практически не зависит от сопротивления R_4 .

Та же закономерность прослеживается на рис. 2,б, где приведены зависимости тока второго местного заземлителя I_{z4} для тех же условий (непрерывное изменение сопротивления R_3 и ступенчатое изменение сопротивления R_4). Здесь наблюдается та же тенденция: ток второго местного заземлителя I_{z4} существенно зависит от “своего” сопротивления R_4 (те же пределы изменения 5 – 45 А) и почти не зависит от сопротивления “соседнего” заземлителя R_3 .

Эта особенность в поведении токов местных заземлителей в зависимости от сопротивления последних в целом объясняется шунтирующим действием эквивалентного сопротивления основного заземляющего контура (R_0 на рис. 1), с которым корпуса двигателей и рабочих машин связаны заземляющими жилами кабелей.

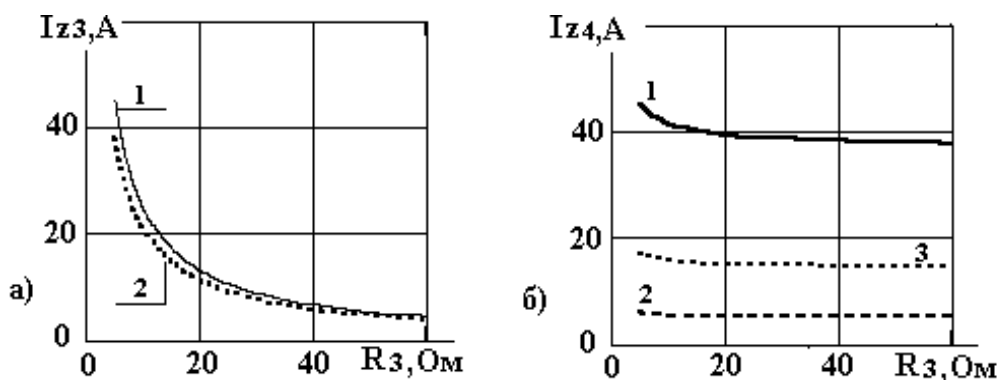


Рис. 2. Зависимости токов местных заземлителей от величины их сопротивлений: 1 – $R_4 = 5 \text{ Ом}$; 2 – $R_4 = 50 \text{ Ом}$; 3 – $R_4 = 20 \text{ Ом}$;

В [4] рассмотрена ситуация для случая обрыва заземляющей жилы кабеля. Тогда при однофазном пробое и сравнительно высоком сопротивлении местного заземлителя возможно искрение в перемежающемся контакте между корпусами комбайна и конвейера. При сравнительно высоком сопротивлении растекания местного заземлителя искры обладают высокой воспламеняющей способностью. Но ток однофазной утечки находится в пределах $0,05 \dots 0,15 \text{ А}$. Несоизмеримо выше опасность подобной ситуации при двухфазном пробое в разнесенных точках.

Модель, приведенная на рис. 1, и ее математическая модель (1) позволили выполнить это исследование. Установлено, что при обрыве заземляющей жилы кабеля питания первого механизма R_1 , ток его местного заземлителя I_{z3} по сравнению с его значением в предыдущем исследовании (рис. 2) возрастает в $2 \dots 2,5$ раза и почти не зависит от сопротивления “соседнего” местного заземлителя R_4 . Ток I_{z4} также имеет значения, достаточно опасные с точки зрения искро- или дугообразования.

Для возникновения рассмотренной аварийной ситуации необходимо наложение трех неблагоприятных событий: а) обрыв заземляющей жилы питающего кабеля; б) несрабатывание защиты от утечек при однофазном пробое на корпус одного из механизмов; в) повторный пробой на корпус уже другого механизма. Хотя такая очередность событий представляется маловероятной, ее последствия могут быть тяжелыми. Токи силовой цепи могут оказаться нечувствительными для защиты и аварийная ситуация может развиваться неконтролируемо.

Заклучение

1. При двухфазном замыкании силовой цепи на разнесенные точки заземляющего контура токи поврежденных фаз могут оказываться ниже уровня срабатывания защиты и развитие аварийной ситуации может стать неконтролируемым.
2. В зависимости от сопротивления местных заземлителей, по ним могут протекать аварийные токи в пределах от 5 до 45 А, что представляет опасность в отношении взрывов и пожаров в выработках угольных шахт.

Литература

1. Ковалев А. П., Черноус В. П., Черноус Е. В. Моделирование шахтной участковой сети при двухфазном замыкании на заземляющий контур. Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: “Електротехніка і енергетика”, випуск 41: Донецьк: ДонДТУ, 2002. – с. 234-238.
2. Справочник энергетика угольной шахты: В 2т. / В.С. Дзюбан и др. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд» 2001. Т 1.: – 447 с.
3. Лейбов Р.М., Озерной М.И. Электрификация подземных горных работ. «Недра», М. – 1972.
4. Взрывобезопасность рудничного электрооборудования / Под ред. А. А. Каймакова. М., Недра, 1982. – 207 с.

Поступила в редакцию 11 января 2004 года