

# ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО КОНТУРА УЧАСТКОВОЙ ШАХТНОЙ СЕТИ

Ковалев А.П., Черноус В.П., Черноус Е.В.  
Донецкий национальный технический университет

---

Источник: Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія «Електротехніка й енергетика», випуск 54, с. 230-234.

---

Необходимость исследования токового режима силовой цепи и заземляющего контура участка угольной шахты в аварийных ситуациях непосредственно связана с безопасностью работ. Наиболее неблагоприятной с этой точки зрения представляется ситуация, когда междуфазное замыкание на заземляющую цепь происходит в точках, территориально разнесенных друг от друга. Вероятность возникновения такого замыкания невелика, так как этому предшествует отказ защиты от утечек, однако последствия этой аварии могут быть крайне неблагоприятными, чем и обусловлена актуальность поставленной задачи.

Схема замещения сети заземления участка приведена на рис. 1. Она содержит сопротивления заземляющих жил гибких силовых  $r_0 \dots r_4$  и высоковольтных  $R_{вк0}, R_{вк1}$  кабелей; эквивалентные сопротивления местных заземлителей  $R_{м0} \dots R_{м3}$ , главного заземлителя  $R_g$ , а также эквивалентные сопротивления естественных заземлителей механизмов:  $RE1$  – комбайна,  $RE2$   $RE3$  –разнесенных приводов конвейера,  $RE0$  – перемежающееся сопротивление между корпусами комбайна и конвейера,  $RE4$  – другие потребители.

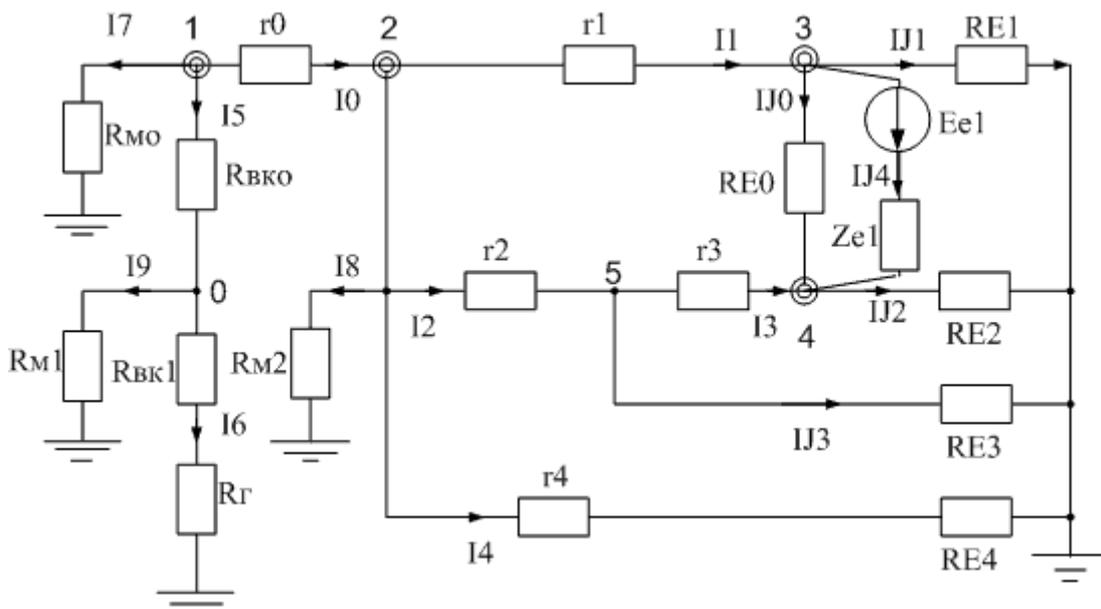


Рис.1 Схема замещения сети заземления участка.

В настоящее время отсутствует опыт оценки уровня опасности, связанный с конкретным местом расположения точек замыкания двух различных фаз на заземляющий контур. С одной стороны, расположение точек замыкания вблизи подстанции приведет к большим токам в заземляющей сети и, соответственно, к большим токам КЗ, которые более активно воздействуют на элементы максимальной защиты. С другой стороны, расположение точек замыкания на удалении от подстанции приводит к меньшим токам КЗ и заземляющего контура, однако эти токи могут оказаться соизмеримыми с пусковыми токами двигателей и, следовательно, не воздействуют на максимальную токовую защиту. В этой связи поставим задачу исследования токов заземляющего контура для наиболее неблагоприятной ситуации: точки пробоя находятся на максимальном удалении от подстанции, в конце кабелей комбайна и конвейера (точки 3 и 4 на рисунке 1).

Методика исследования. Совместное исследование схем замещения силовой цепи и заземляющего контура как единой системы представляется громоздким и нерациональным. Обусловлено это следующими факторами:

1. Нагрузкой силовой цепи являются мощные асинхронные электродвигатели. Это значит, что достоверность исследования может быть обеспечена только методом симметричных составляющих (МСС).

2. Применение МСС для одновременного анализа схем замещения силовой цепи и заземляющего контура как одной системы представляется затруднительным из-за сложностей его формализации, связанных с

необходимостью определения граничных условий в точках КЗ и практически “ручными” эквивалентными преобразованиями схем замещения для симметричных составляющих.

3. Необходимость анализа аварийной ситуации для различных комбинаций точек пробоя на заземляющий контур из-за указанных различий требует разработки нескольких, весьма громоздких математических моделей.

4. В литературе практически отсутствует опыт применения МСС при несимметрии в различных частях силовой цепи, и полностью отсутствует для случая разветвленного заземляющего контура.

Хотя силовая цепь и сеть заземления шахтного участка представляют единую систему, из изложенного следует целесообразность разделения этих задач при исследовании. Идея такого разделения заключается в том, чтобы силовую часть цепи относительно точек пробоя (точки 3...4 на рис. 1) заменить эквивалентным генератором [2]. Подключение такого генератора к соответствующим точкам сети заземления позволяет исследовать ее режим, используя удобные, достаточно формализованные методы. Недостатком этой идеи является необходимость создания модели и определения параметров эквивалентного генератора для каждой комбинации точек пробоя. Однако эта задача несоизмеримо проще задачи совместного исследования силовой цепи и контура заземления.

Замена силовой части сети относительно точек замыкания на заземляющий контур эквивалентным генератором возможна только при использовании МСС и правомочна в следующих случаях. Во-первых, заменяемая система должна быть линейной. Это условие выполняется при допущении, что частота вращения двигателей за время действия аварийной ситуации не меняется (иначе МСС, в основе которого заложен принцип наложения, не может быть применен). Во-вторых, заменяемая система должна быть двухполюсником. Это значит, что силовая цепь не должна быть связана с заземляющим контуром кроме точек КЗ. Это условие также выполняется если пренебречь поперечной проводимостью кабелей, что в пределах поставленной задачи вполне приемлемо (токи короткого замыкания в сотни раз превышают токи утечек кабелей).

Для определения параметров эквивалентного генератора необходимы два численных эксперимента математических моделей: а) опыт холостого хода (пробоя нет), в результате которого определяется эдс эквивалентного генератора; б) опыт короткого замыкания (“настоящее” двухфазное КЗ), в

результате которого определяется комплекс внутреннего сопротивления эквивалентного генератора.

Полученные параметры эквивалентного генератора для различных комбинаций точек пробоя используются для исследования режима сети заземления (рис. 1) в этих аварийных ситуациях. Наиболее удобным методом исследования в этом случае является метод узловых потенциалов (МУП), который достаточно хорошо освоен, формализован и позволяет широко варьировать как параметрами, так и конфигурацией схемы сети заземления.

Подводя итоги, выделим следующие основные этапы предлагаемой методики исследования:

1. Для силовой цепи относительно выбранных точек на основе МСС составляется математическая модель для двух разнесенных участков несимметрии.

2. Путем исследования полученной модели относительно выбранных точек определяются параметры эквивалентного генератора.

3. Эквивалентный генератор подключается к заземляющему контуру и исследуется его режим.

Принятые допущения:

– поперечная проводимость кабелей отсутствует (это значит, что силовая цепь имеет связь с заземляющей цепью только в двух точках КЗ и, следовательно, по отношению к последним является активным двухполюсником);

– параметры вращающихся машин за время действия аварийной ситуации не изменяются (это значит, что рассматриваемая система линейна и к ней можно применить МСС);

– 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 бесконечно велики;

– продольные сопротивления кабелей прямой и обратной последовательностей равны, а сопротивление нулевой последовательности равно их учетверенному значению;

– в моделях рассматривается только статический режим; это значит, что экспоненциальные составляющие токов (потенциалов) не учитываются, а кратковременное действие их пиковых (ударных) значений не рассматривается;

– сопротивления всех элементов сети заземления являются активными. Методика представления силовой трехфазной сети эквивалентным генератором относительно точек замыкания на землю полностью реализована в [2].

Математическая модель сети заземления. Схема (рис. 1) содержит 7 узлов и 16 ветвей, и, следовательно, полностью описывается шестью уравнениями по методу узловых потенциалов (МУП). Воздействие силовой цепи на сеть заземления в рассматриваемой аварийной ситуации моделируется эквивалентным источником  $Ee1$ ,  $Ze1$ , включенным между исследуемыми точками пробоя 3-4. В качестве базового узла, потенциал которого равен нулю, принимается “земля”. В результате имеем следующую математическую модель сети заземления:

$$\Psi_0(1/R_{\text{вк}0} + 1/(R_{\text{вк}1} + R_2) + 1/R_{\text{м}2}) - \Psi_1/R_{\text{вк}0} = 0; \quad (1)$$

$$\Psi_1(1/R_{\text{вк}0} + 1/r_0 + 1/Z_{e1} + 1/Z_{e2} + 1/R_{\text{м}0}) - \Psi_1/R_{\text{вк}0} - \Psi_2/(r_0 + Z_{e1}) - \Psi_3/Z_{e3} = Ee1/Z_{e1} + Ee3/Z_{e3}; \quad (2)$$

$$\Psi_2(1/R_{\text{м}2} + 1/r_0 + 1/Z_{e1} + 1/r_1 + 1/r_2 + 1/r_4) - \Psi_1/r_0 - \Psi_3/r_1 = -Ee1/Z_{e1}; \quad (3)$$

$$\Psi_3(1/R_{E1} + 1/r_1 + 1/Z_{e2} + 1/Z_{e3} + 1/R_{E0}) - \Psi_2/r_1 - \Psi_3/Z_{e3} - \Psi_4(1/Z_{e3} + 1/R_{E0}) = Ee1/Z_{e1} - Ee3/Z_{e3}; \quad (4)$$

$$\Psi_4(1/R_{E0} + 1/r_3 + 1/Z_{e2} + 1/R_{E2}) - \Psi_3(1/Z_{e3} + 1/R_{E0}) - \Psi_5/r_3 = -Ee2/Z_{e2}; \quad (5)$$

$$\Psi_5(1/R_{E0} + 1/r_3 + 1/r_2) - \Psi_2/r_2 - \Psi_3/Z_{e3} - \Psi_4/r_3 = 0. \quad (6)$$

Решением системы (1...6) определяются комплексы потенциалов узлов (рис. 1), а в дальнейшем токи ветвей, представляющих отдельные звенья сети заземления.

Основные результаты моделирования приведены на рис. 2, где показана диаграмма распределения токов заземляющего контура, а также потенциалы отдельных точек контура заземления. Многие элементы силовой и заземляющей сетей испытывают значительную токовую нагрузку. И тем не менее, токи силовой цепи из-за влияния сопротивлений сети заземления недостаточны для срабатывания максимальной защиты. Последняя

особенность усиливает вероятность дальнейшего развития аварии. Открытые звенья заземляющего контура (местные заземлители, их соединения с корпусами машин и др.) могут стать источниками опасных искр или дугообразований. Особую опасность представляют места соприкосновения корпусов комбайна и конвейера (сопротивление  $RE0$ ), где значения тока могут превысить 200 А. Заметим, это в зоне интенсивного выделения метана и угольной пыли, где абсолютно неприемлемо наличие открытых источников огня (электрических разрядов и пр.).

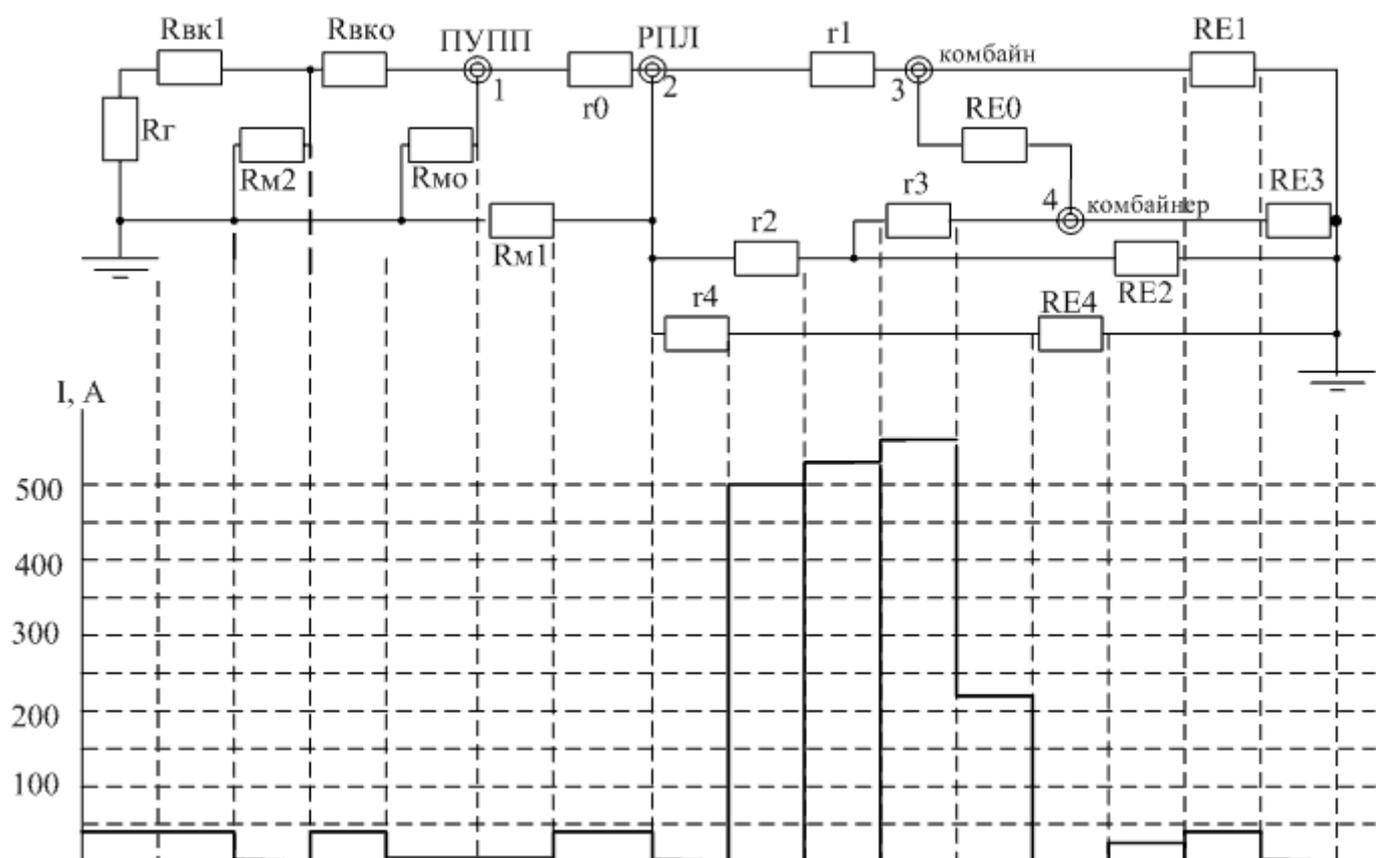


Рис2. Диаграмма распределения токов КЗ в заземляющем контуре.

#### Выводы:

Короткое замыкание двух различных фаз на разнесенные точки заземляющего контура является крайне неблагоприятной аварийной ситуацией и характеризуется следующими особенностями:

1. Закрытые заземляющие жилы кабелей не исключают протекание опасных аварийных токов по открытым участкам сети заземления.

2. На перемежающихся контактах между корпусами комбайна и конвейера могут возникнуть токи в сотни ампер, что недопустимо из-за опасности взрыва или пожара.
3. Исследованная аварийная ситуация представляет такую опасность, что сами предпосылки ее возникновения должны быть исключены.

### 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. Черноус Е.В. Участковая шахтная сеть как эквивалентный генератор относительно двух точек замыкания на заземляющий контур. Материалы IV Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов «Автоматизация технологических объектов. Поиск молодых». г. Донецк.