

УДК 622.647.1:621.316.1

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧЕК ТОКА В НИЗКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ ОЧИСТНОГО УЧАСТКА ШАХТЫ

Дубинин М.С., студент, Маренич К.Н., доцент, к.т.н.  
(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Типовая схема электросети очистного участка шахты (рис.1) предполагает электропитание нескольких установок от одной трансформаторной подстанции (ТСВП) и наличие разветвленной сети гибких кабелей (ГК) от пускателей (П) до электропотребителей (М). Предварительный контроль сопротивления изоляции гибких кабелей отключенных потребителей осуществляется блоками контроля изоляции (БКИ), встроенными в пускатели. БКИ не позволяет подавать напряжение на ответвление с поврежденным гибким кабелем. Защита человека от поражения электрическим током осуществляется участковым рудничным аппаратом защиты (АЗУР) от утечек тока на землю, установленным в ТСВП. При утечке тока в электросети участка шахты формируется команда на отключение автоматического выключателя ТСВП.

Анализ процесса отключения сети по команде АЗУР с дроссельными компенсаторами ёмкостной составляющей тока утечки состоит в следующем (рис.2). Время протекания электрического тока складывается из времени срабатывания аппарата защиты и коммутационного аппарата –  $T_1$ , времени затухания остаточных ЭДС, генерируемых вращающимися электроприводами в процессе выбега электродвигателей, после их отключения –  $T_2$  и  $T_3$ . С момента возникновения утечки в течение времени  $T_1$ , имеет место переходный процесс ограничения тока утечки дроссельным устройства компенсации ёмкостной составляющей приблизительно до уровня 0,05 – 0,07 А.

Кроме этого, происходят последовательные процессы срабатывания аппарата защиты и коммутационного аппарата с полным разрывом питающей сети и гашением дуги на его контактах.

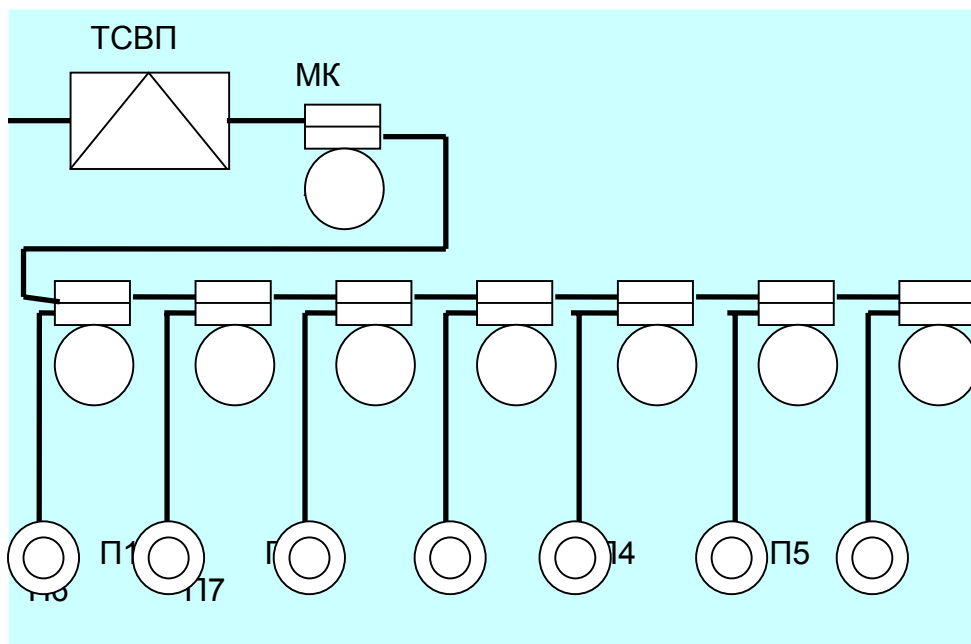


Рисунок 1 – Типовая схема электроснабжения участка шахты

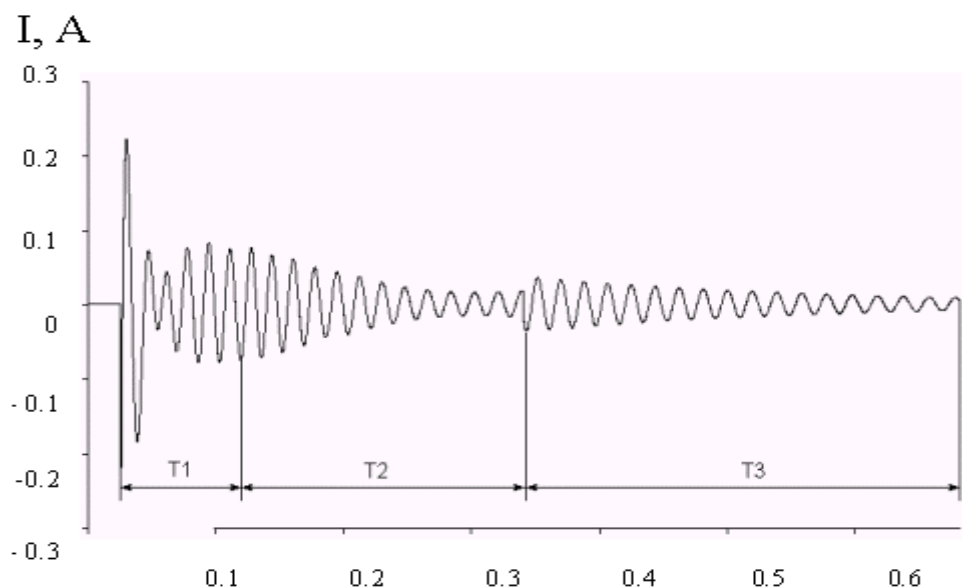


Рисунок 2 – Осциллограмма тока утечки при защитном отключении участковой сети (сопротивление однофазной утечки  $R_y = 1$  кОм, общая емкость сети  $C_c = 1$  мФ, емкость поврежденного ответвления  $C_{om} = 0,15$  мФ)

За период времени  $T_2$  происходит постепенное снижения величины тока утечки за счет затухания остаточной ЭДС отклю

ченного электродвигателя до момента срабатывания нулевой защиты пускателя.. В момент срабатывания этой нулевой защиты поврежденное ответвление отключается от общей сети. Поэтому, в начале периода  $T_3$  происходит некоторое увеличение тока утечки за счет отключения поврежденного ответвления от устройства компенсации емкостной составляющей, после чего происходит постепенное снижение тока утечки до нуля.

На рис.3 показан процесс защитного отключения по команде аппарата АЗУР.4 с устройством шунтирования поврежденной фазы (короткозамыкателем).

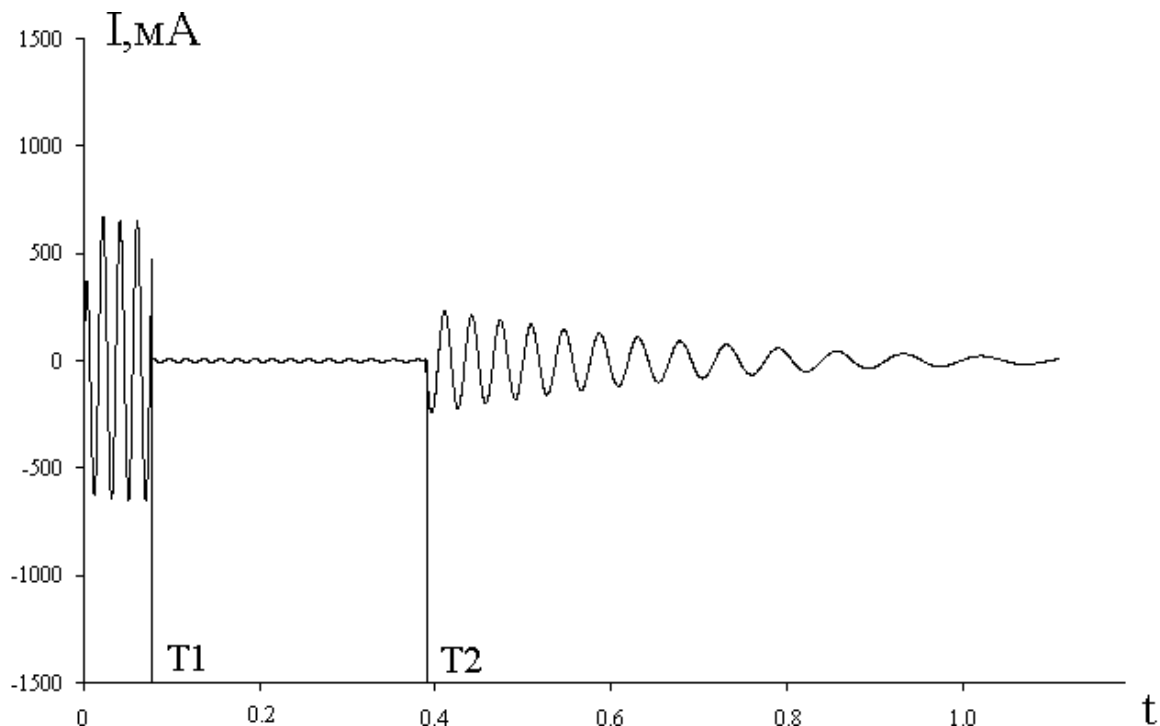


Рисунок 3 – Осциллограмма тока утечки при защитном отключении участковой сети с короткозамыкателем (сопротивление однофазной утечки  $R_y = 1$  кОм, общая емкость сети  $C_c = 1$  мФ, емкость поврежденного ответвления  $C_{от} = 0,15$  мФ)

С момента возникновения повреждения до момента срабатывания короткозамыкателя  $T_1$  по сопротивлению утечки протекает ток обусловленный общей ёмкостью сети. С момента времени  $T_1$  до момента отключения пускателя  $T_2$  ток через сопротивление утечки ограничен за счет шунтирующего эффекта короткозамыкателя. С момента  $T_2$  нулевая защита отключает ответвление от общей сети и от короткозамыкателя. При этом наблюдается неко

торое повышение тока утечки с постепенным снижением тока до нуля.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала необходимо, чтобы количество электричества, проходящего через тело человека, с момента прикосновения его к токоведущим частям до окончания процесса выбега электродвигателей, после защитного отключения, не превышало 50 мА\*с. На количество электричества проходящего через сопротивление утечки влияют общая емкость сети и ответвления, быстродействие аппарата защиты и автоматического выключателя, параметры компенсаторов или короткозамыкателей, постоянные времени выбега электродвигателя (группы электродвигателей). Считается, что наибольшее количество электричества проходит через сопротивление утечки в процессе выбега «холостого» электродвигателя. По данным [1] постоянная времени выбега электродвигателя без нагрузки на выходном валу составляет 1-1,5 с при экспоненциальном характере изменения амплитуды остаточной ЭДС  $U_m$ :

$$U_m = \frac{L_m}{L_p} j(1-s) \omega_0 \psi_{0p} e^{-t/T_p} e^{j\omega_0(1-s)t}, \quad (1)$$

где  $L_m$  – индуктивность главного потока АД;  $L_p$  – полная индуктивность ротора;  $s$  – скольжение ротора;  $\omega_0$  – синхронная частота вращения ротора;  $T_p$  – постоянная затухания свободного тока ротора;  $\psi_{0p}$  – потокосцепление ротора.

Для исследования влияния изменения частоты остаточной ЭДС  $\omega_g$  в процессе выбега была использована зависимость:

$$\omega_g = \omega_0 e^{-t/T_f}, \quad (2)$$

где  $\omega_0$  – круговая частота питающей сети;  $T_f$  – постоянная затухания частоты остаточной ЭДС

Итоговая зависимость расчета остаточной ЭДС:

$$U_g = 0,95 U_m \sin(\omega_g t). \quad (3)$$

Коэффициент 0,95 учитывает падение амплитуды остаточной ЭДС (на 5%) в момент отключения электродвигателя [1].

Исследование системы «трансформатор – аппарат защиты – пускатель – электродвигатель» был произведен средствами схемотехнического моделирования «Electronics Workbench» [2].

Расчет количества электричества производился по формуле:

$$Q = \int_0^T I_y / dt, \quad (4)$$

где  $I_y$  – ток через сопротивление однофазной утечки  $R_y = 1 \text{кОм}$ .

Исследования показали, что кроме постоянной времени затухания амплитуды остаточной ЭДС  $T_p$  на количество электричества значительно влияет постоянная времени затухания частоты остаточной ЭДС  $T_f$ . Как видно из полученных зависимостей (рис.4): для короткозамыкателей – при увеличении  $T_f$  больше 0,65с и 0,9с соответственно для ответвлений с емкостью 0,2мФ и 0,15 мФ количество электричества  $Q$  превышает допустимое значение 50мА\*с.

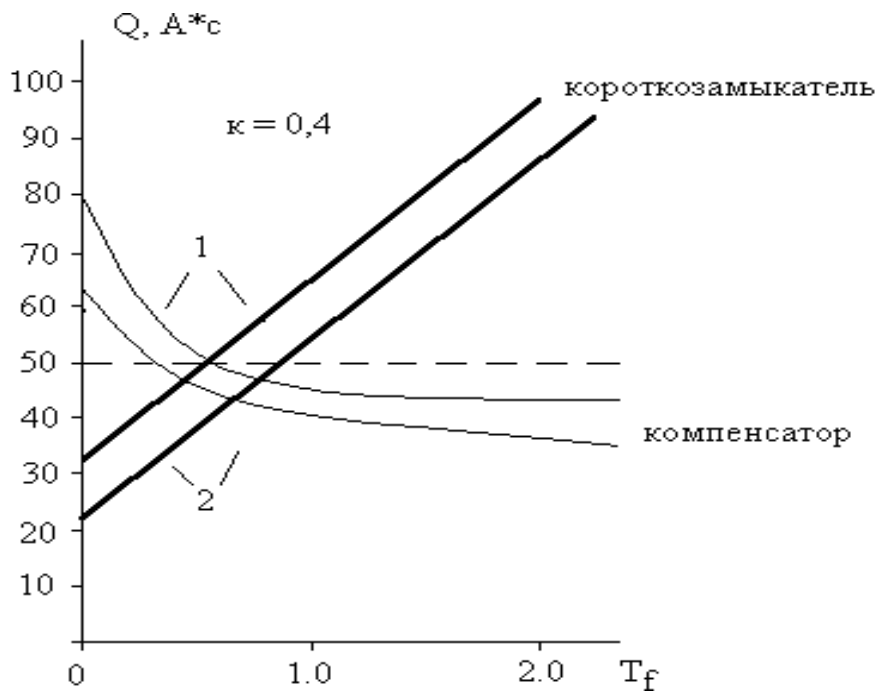


Рисунок 4 – Зависимости количества электричества  $Q$  от постоянной времени затухания  $T_f$ : 1 – для ответвления емкостью 0,2 мФ; 2 – для ответвления емкостью 0,15 мФ;  $k$  – коэффициент отпускания пускателя

Для компенсаторов наблюдается обратная зависимость – при уменьшении  $T_f$  менее 0,65с и 0,38с соответственно для соответственно для ответвлений с емкостью 0,2мФ и 0,15 мФ количество электричества  $Q$  превышает допустимое значение 50мА\*с.

В процессе моделирования установлено, что увеличение коэффициента отпускания  $K_{от}$  контактора пускателя, при использовании короткозамыкателя (в составе аппарата защиты) приводит к увеличению количества электричества. При использовании компенсатора – имеется тенденция к уменьшению количества электричества. В электросетях могут существовать опасные ре

жимы работы даже при выполнении требуемых ограничений по параметрам оборудования. Существенное влияние на величину количества электричества оказывает такой параметр как интервал времени между моментами появления утечки и отключения ответвления пускателем. Так, на интервале времени, равном 0,05с для компенсатора условия электробезопасности выполнялись для ответвления ёмкостью до 0,45мФ/фазу для 660В и до 0,25мФ/фазу для 1140В при  $T_f$  от 0,3с до 3,0с. Для короткозамыкателя существенным является параметр  $K_{от}$ . При его уменьшении ( $K_{от} < 0,2$ ) условия безопасности выполняются для ответвлений ёмкостью 0,45 мФ/фазу и 0,37 мФ/фазу, соответственно для напряжения 660В и 1140В.

Приведенные результаты исследований свидетельствуют о том, что технические возможности существующих аппаратов защиты от утечек тока на землю исчерпаны и не в полной мере соответствуют параметрам электробезопасности в участковых сетях, имеющих значительные разветвления (а значит и повышенную ёмкость – до 1,0 мФ/фазу) в особенности при величине линейного напряжения сети 1140 В. Одним из реальных направлений в области повышения электробезопасности шахтной участковой электросети является совершенствование схем управления пускателями с целью подавления электропоражающих факторов на отдельных присоединениях, например, посредством применения короткозамыкателей в составе пускателей.

#### Перечень источников

1. Дзюбан В.С., Риман Я.С. Об электромагнитной постоянной времени затухания обратной э.д.с. шахтных электродвигателей. – В кн. Взрывобезопасное электрооборудование. Вып. 6 М., Энергия, 1969.
2. Панфилов Д.И. и др. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench. Т1. Электротехника.- М.: ДОДЭКА, 1999.- 304 с.