

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧЕК ТОКА НА ЗЕМЛЮ В НИЗКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ УЧАСТКА ШАХТЫ**

Правдин А.А., студент,  
Дубинин С.В., канд. техн. наук, доц.  
Донецкий национальный технический университет

В соответствии с «Правилами безопасности», в низковольтной сети участка шахты, опасными для жизни человека считаются токи утечки на землю величиной 100 мА и 25 мА (соответственно значения кратковременного и длительного токов утечки). Величина опасного количества электричества, которое прошло через тело человека, установлена на уровне 50 мА/с. Анализ работ в области исследований поражающего воздействия электрического тока на человека [1,2] показал, что данные величины тока и количества электричества можно считать безопасными с некоторыми уточнениями. Исследованиями установлено не пороговое безопасное значение тока, а только значительное снижение вероятности поражения при уменьшении величины и времени воздействия его на человека. В то же время, достоверно зафиксировано большое количество поражений человека током менее 25 мА и, в отдельных случаях, менее 10 мА. Поэтому, исследование возможности снижения токов утечки на землю является важной актуальной научной и технической задачей. Типовая схема системы низковольтной электрической сети очистного участка шахты (рис.1) предполагает электропитание нескольких электроустановок от одной трансформаторной подстанции (ТСВП) и наличие разветвленной сети гибких кабелей (ГК) от пускателей (П) до потребителей (М). Защита человека от поражения электрическим током осуществляется аппаратом защиты от утечек тока на землю (АЗПБ, АЗУР.1, АЗУР.2, АЗУР.4 и др.), установленным в ТСВП. Этот аппарат выявляет утечку тока в электросети участка шахты и формирует команду на защитное отключение автоматического выключателя ТСВП. В работе [3] доказано, что процесс защитного отключения сети по команде аппаратов АЗУР с дроссельными компенсаторами емкостной составляющей тока утечки или с защитным шунтированием поврежденной фазы сопровождается повышением мгновенных значений токов утечки.

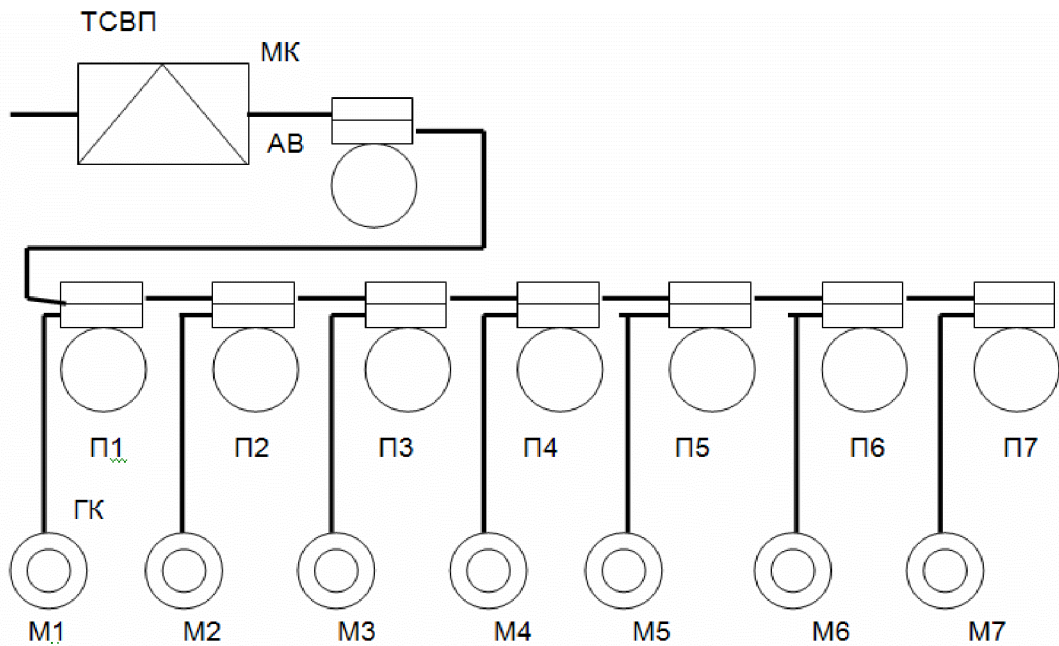


Рисунок 1 – Типовая схема электроснабжения участка шахты

Это обусловлено характером переходных процессов, вызванных последовательной коммутацией компенсирующего дросселя (или цепей короткозамыкателя) аппарата защиты и кабельного ответвления с отключаемым электродвигателем. Для более глубокого изучения особенностей формирования токов утечки и возможности минимизации поражающих факторов, разработана уточненная математическая и компьютерная модель ответвления низковольтной электрической сети участка шахты. Компьютерная модель (рис. 2) содержит модель подстанции ТСВП с дроссельным компенсатором ДК и выходным напряжением сети  $U_c$ , емкость гибкой кабельной сети относительно земли  $C_c$ , емкость ответвления  $C_o$ , модель полного сопротивления человека  $Z_{ч}$ , модель электродвигателя с обратной ЭДС выбега после отключения  $U_m$ . На рис. 2 представлена уточненная модель полного сопротивления тела человека  $Z_{ч}$  в соответствии с результатами исследований [3]. Нелинейный характер сопротивлений  $R_1$ - $R_3$  учитывает процессы изменения проводимости тела человека аналогичные процессам электрического пробоя изоляции. В соответствии с [3], величина составляющих  $R_i = f(U_c)$  описывается зависимостью рис. 3. Значения емкостей  $C_1$  и  $C_2$  отражают фазовые соотношения между приложенным напряжением и протекающим током.  $U_m$  - амплитуда обратной ЭДС электродвигателя.

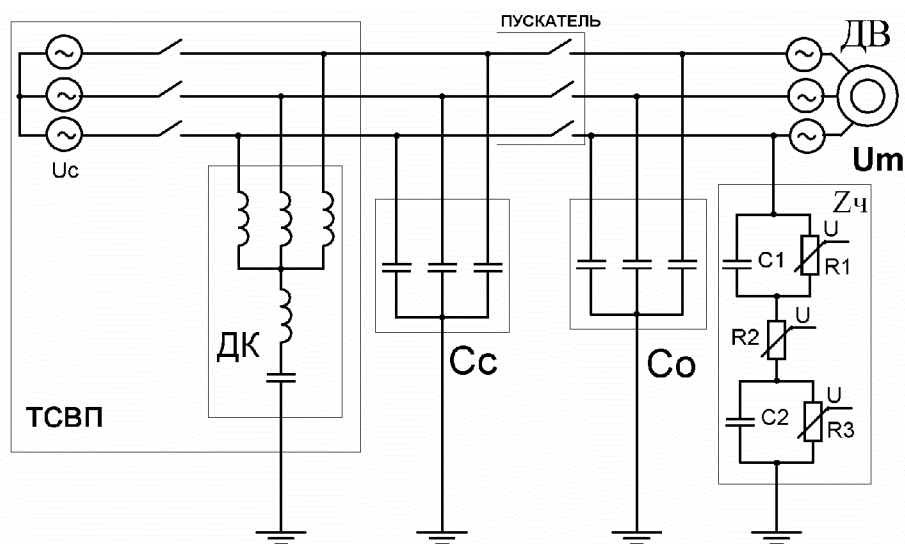


Рисунок 2 – Компьютерная модель ответвления участковой сети

По данным [1] постоянная времени выбега электродвигателя без нагрузки на выходном валу составляет 1-1,5 с при экспоненциальном характере изменения амплитуды остаточной ЭДС  $U$ :

$$U_m = \frac{L_m}{L_p} j(1-S) \omega_0 \Psi_{op} e^{t/T_p} e^{j\omega_0(1-S)t},$$

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;  $\Psi_{op}$  – потокосцепление ротора. Для исследования влияния изменения частоты остаточной ЭДС  $\omega_b$  в процессе выбега была использована зависимость:  $\omega_b = \omega_0 e^{t/T_f}$ , где  $\omega_0$  – круговая частота питающей сети;  $T_f$  - постоянная затухания частоты остаточной ЭДС. Итоговая зависимость расчета остаточной ЭДС:  $U_b = 0,95 U_m \sin(\omega_b t)$ .

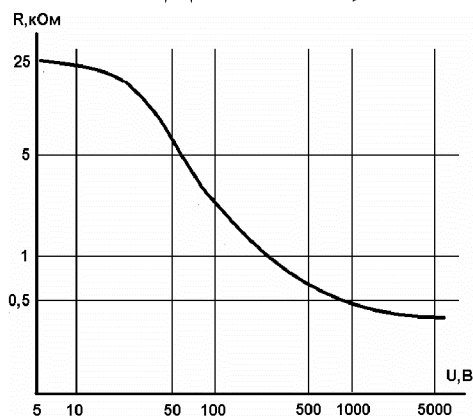


Рисунок 3 - Зависимость активной составляющей полного сопротивления человека от приложенного напряжения.

Коэффициент 0,95 учитывает падение амплитуды остаточной ЭДС (на 5%) в момент отключения электродвигателя [3]. При помощи компьютерного моделирования получены графические зависимости полного значения тока и количества электричества проходящего через тело человека в процессе защитного отключения (рис.4).

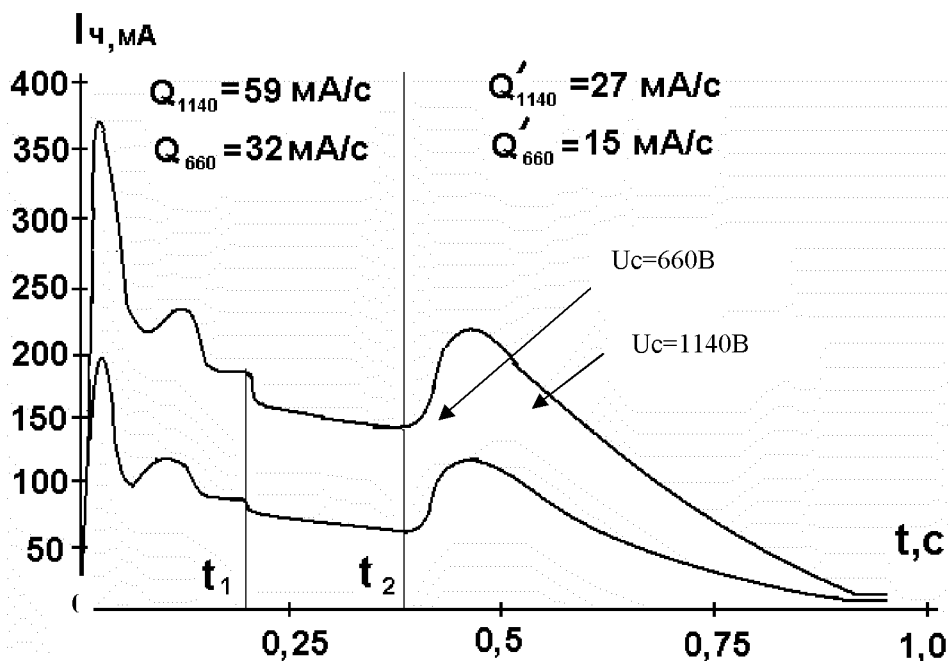


Рисунок 4 - зависимости полного значения тока и количества электричества проходящего через тело человека

С момента возникновения утечки до момента времени  $t_1$ , имеет место переходный процесс ограничения тока утечки дроссельным устройством компенсации емкостной составляющей. С момента  $t_1$  происходит отключение напряжения питающей сети по команде аппарата защиты и постепенное снижение тока утечки, вызванное обратной ЭДС отключенного электродвигателя. С момента  $t_2$  происходит процесс отключения контакторов пускателя и переходный процесс изменения тока утечки. Некоторое увеличение тока утечки после момента  $t_2$  вызвано отключением дроссельного компенсатора от поврежденного ответвления. При этом, суммарная величина количества электричества прошедшего через тело человека по окончании переходного процесса составляет для  $U_c = 660В - (Q_{660} + Q'_{660}) = 37$  мА/с, а для  $U_c = 1140В - (Q_{1140} + Q'_{1140}) = 86$  мА/с и превышает безопасное значение 50 мА/с. Исследованиями доказано, что существенно понизить количество электричества и длительность

воздействия электрического тока на человека возможно, разместив дополнительный компенсирующий дроссель в пускателе и производя защитное отключение пускателя по команде аппарата защиты (рис. 5).

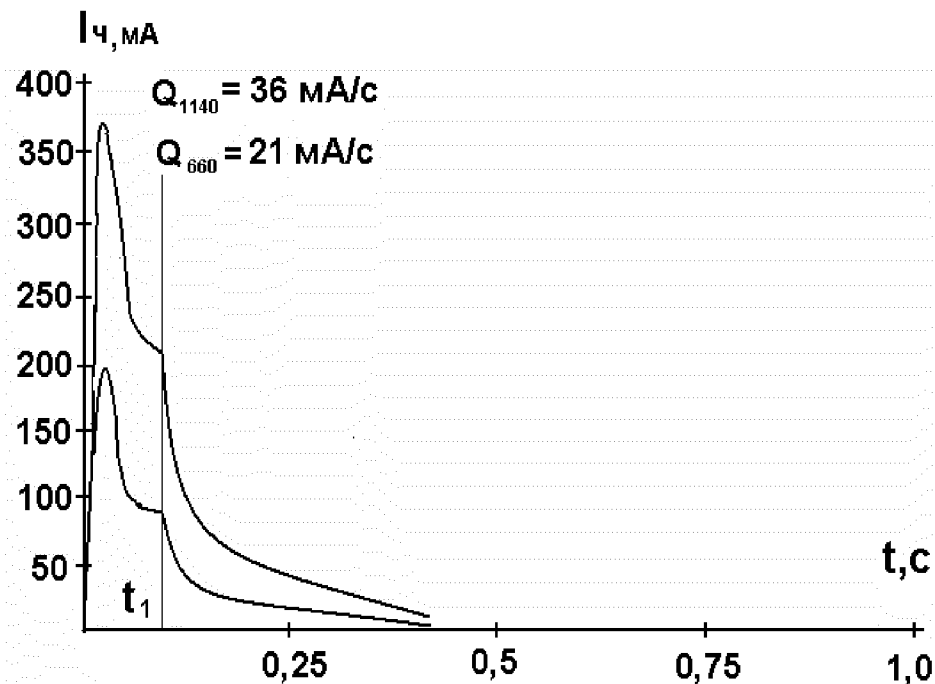


Рисунок 5 - зависимость полного значения тока и количества электричества, проходящего через тело человека с дополнительным компенсирующим дросселем.

Из графиков следует, что предложенный способ компенсации позволяет повысить эффективность защиты от утечки тока на землю и обеспечить безопасные параметры как при напряжении питающей сети 660В так и для сети 1140В.

Дальнейшее направление исследований целесообразно посвятить совершенствованию конструкции пускателей и разработке методов интегрирования устройств контроля и коммутации в единую информационную сеть.

Список источников.

1. Манойлов В.Е. Основы электробезопасности. – Л. «Энергия», 1976. – 45с.
2. Гладилин Л.В., Щуцкий В.И., Бацезев Ю.Г., Чеботаев Н.И. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности. – М. «Недра», 1977. – 58 с.
3. Дзюбан В.С., Римап Я.С. Об электромагнитной постоянной времени затухания обратной э.д.с. шахтных электродвигателей. – В кн. Взрывобезопасное электрооборудование. Вып. 6 М., Энергия, 1969. – 73 с.