

C. 86-91.

E.B.Kolesnikov, S.B.Malkov

TESTS OF APPARATUS OF MANAGEMENT OF SUBMERSIBLE PUMPING EQUIPMENT

The block diagram and the description of apparatus of automation of submersible pumping equipment are resulted. Results of tests of a pre-production model of apparatus are presented. It is shown that the worked out apparatus covers all possible emergencies, thereby provides increase of reliability and productivity of submersible pumping equipment.

Key words: an artesian chink, a submersible pump, triac key, smooth starting, auto-reclosing, breakage of a phase, dry motion.

Получено 19.06.12

УДК 621.316.726

В.Г. Куницкий, канд. техн. наук, доц., (48762) 6-13-83,

VGKunitsky@yandex.ru

(Россия, Новомосковск, «РХТУ им. Д.И. Менделеева»)

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ ШАХТНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ СЕТЕЙ

Приведены результаты аналитического исследования тока однофазной утечки в шахтной комбинированной сети с преобразователем частоты рассматриваемого типа и индикатором асимметрии, работающим совместно с устройством защитного отключения на постоянном оперативном токе.

Ключевые слова: устройство защитного отключения, комбинированная сеть, преобразователь частоты, ток утечки.

Проблема обеспечения электробезопасности при эксплуатации шахтного электрооборудования остаётся актуальной и в комбинированных шахтных сетях, питающих частотнорегулируемые электроприводы горных машин. Анализ литературных источников показывает, что большинство выпускаемых в последнее время преобразователей частоты (ПЧ) для регулирования скорости вращения трехфазных асинхронных двигателей обеспечивают управление инвертором напряжения в режиме синусоидальной центрированной (симметричной) широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Ранее было показано, что помимо разработки принципиально новых устройств защитного отключения (УЗО), работоспособных в комбинированных шахтных сетях, экономически целесообразно расширение функциональных возможностей серийно выпускаемых промышленностью

УЗО, работающих на постоянном или импульсном содержащем постоянную составляющую оперативном токе [1].

В результате экспериментальных исследований установлено, что основной причиной отказов в работе таких УЗО можно считать асимметрию сопротивлений полюсов относительно земли участка постоянного тока (УПТ) комбинированной сети. При этом устройство защиты неработоспособно при возникновении как однополюсной утечки на УПТ, так и однофазной утечки на участке переменного тока изменяющейся частоты (УИЧ) комбинированной сети из-за влияния выходного напряжения выпрямителя ПЧ на величину оперативного тока, протекающего в рабочем контуре УЗО, причем в зависимости от соотношения полюсных сопротивлений ($R_+ > R_-$, или $R_- > R_+$) происходят либо ложные срабатывания защиты, либо УЗО не срабатывает даже в том случае, когда ток однополюсной утечки превышает допустимое значение. Кроме того, при работе инвертора ШИМ ПЧ параллельно сопротивлениям полюсов УПТ R_+ и R_- в каждый момент времени в зависимости от закона управления ключами инвертора подключается одно, два или три сопротивления изоляции фаз на УИЧ. В результате с определенной частотой, равной или кратной несущей частоте инвертора, скачкообразно изменяются сопротивления полюсов УПТ относительно земли, что также приводит к неработоспособности УЗО [2].

С учетом этого автором была предложена приведённая в [1] функциональная схема специального устройства – индикатора асимметрии (ИА), работающего в составе УЗО на постоянном оперативном токе и устраняющего отрицательное влияние асимметрии полюсных сопротивлений R_+ и R_- УПТ на работу устройств защиты. Основным функциональным блоком схемы является “противоинвертор“, представляющий собой блок транзисторных ключей, работающих по определённому алгоритму, определяемому состоянием ключей инвертора ПЧ. Работа схемы подробно описана в [2].

Для того чтобы обеспечить номинальные параметры питаемого двигателя, форма выходного напряжения ШИМ ПЧ должна отличаться от синусоидальной, переходя к трапецеидальной, а в пределе – к прямоугольной. В связи с этим и с учетом общепринятых допущений в [3] приведена схема замещения защищаемой комбинированной сети с УЗО и ИА для расчета действующего значения тока однофазной утечки при ее возникновении на УИЧ, что соответствует такому варианту электроснабжения, когда протяженность УИЧ значительно больше протяженности УПТ и, следовательно, вероятность поражения человека на этом участке сети существенно выше. При этом на схеме выходное напряжение инвертора рассматриваемого типа ПЧ $U_{\text{Вых.ПЧ}}$ трапецеидальной (или прямоугольной) формы представлено симметричной трехфазной системой ЭДС, каждая фаза которой содержит ряд последовательно соединенных идеальных источников синусоидальных ЭДС изменяющейся частоты, кратной основной

частоте $U_{\text{Вых.ПЧ}}$, и амплитуды.

В связи с тем, что оценку условий электробезопасности в сетях переменного тока обычно производят по установившимся величинам действующих значений токов утечки [4] и в соответствии с предложенной в [3] схемой замещения, применяя принцип наложения, согласно которому расчет тока утечки производят в отдельности для каждой из гармоник спектра $U_{\text{Вых.ПЧ}}$, получено аналитическое выражение зависимости $I_{\text{ут}}$ от параметров силового кабеля на УИЧ, частоты и величины $U_{\text{Вых.ПЧ}}$ в установившемся режиме утечки в виде

$$I_{Ym} = \sqrt{\sum_{k=1}^n \left(E_k \cdot g_{ym} \sqrt{\frac{g_0^2 + (k\omega_1 C_0)^2}{(g_0 + g_{Ym})^2 + (k\omega_1 C_0)^2}} \right)^2}, \quad (1)$$

где n – любое натуральное нечетное число; k – порядковый номер гармоники спектра $U_{\text{Вых.ПЧ}}$; E_k – действующее значение ЭДС k -й гармоники;

$g_{ym} = \frac{1}{R_{ym}}$ – активная проводимость однофазной утечки; $\omega_1 = 2\pi f_{\text{ПЧ}}$ – изменяющаяся

угловая частота 1-ой гармоники;

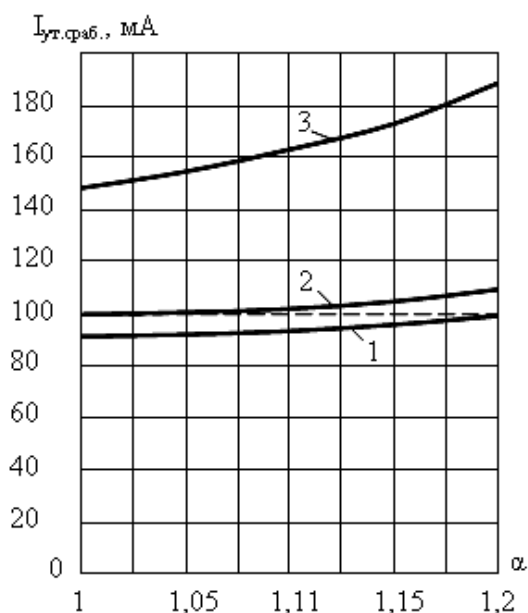
$g_0 = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_A'} + \frac{1}{R_B'} + \frac{1}{R_C'}$ – эквивалентная активная проводимость сети на УИЧ; $C = C_A + C_B + C_C$ – эквивалентная емкость жил силового кабеля на УИЧ относительно земли.

Проведённые по (1) расчёты позволили получить зависимости токов симметричной и несимметричной утечек от частоты $U_{\text{Вых.ПЧ}}$, его величины и параметров силового кабеля и показали, что ток однофазной утечки не превышает своего максимально допустимого значения $I_{\text{ут.доп.}} = 100$ мА лишь при определенной протяженности УИЧ, при которой емкость жил кабеля относительно земли не превышает 0,1 мкФ/фазу.

Таким образом, даже применение “идеального” ИА, в котором активные сопротивления его блока активных сопротивлений (БАС) $R_{\text{БАС}}$ всегда равны активным сопротивлениям изоляции сети относительно земли R_C , уменьшает протяжённость защищаемой сети. Однако на практике добиться абсолютного равенства этих сопротивлений даже при автоматической подстройке активных сопротивлений БАС не представляется возможным. В связи с этим были рассчитаны действующие значения тока срабатывания УЗО $I_{\text{ут.сраб.}}$ при однофазной утечке на УИЧ через сопротивление 1кОм, позволившие получить зависимости $I_{\text{ут.сраб.}}$ от степени разбаланса R_C и $R_{\text{БАС}}$ ($R_C / R_{\text{БАС}} = \alpha$ изменяется от 1 до 1,2) при различных частотах $U_{\text{Вых.ПЧ}}$ и параметрах силового кабеля, т.е. реального значения тока однофазной утечки, при котором происходит срабатывание УЗО с ИА, если уставка срабатывания равна 100 мА, а активные сопротивления изоляции фаз сети относительно земли R_c больше активных сопротивлений БАС

ИА $R_{\text{БАС}}$.

В качестве примера на рисунке приведены графики зависимости тока срабатывания УЗО $I_{\text{ут.сраб.}}$ через сопротивление однофазной утечки на УИЧ, равной 1 кОм, от разбаланса активных сопротивлений БАС и изоляции сети при активном сопротивлении изоляции жил кабеля относительно земли 90 кОм/фазу, частоте $U_{\text{Вых.ПЧ}}=50$ Гц и трёх значениях ёмкости кабеля относительно земли, равной 0,095 мкФ/фазу (кривая 1), 0,1 мкФ/фазу (кривая 2) и 0,22 мкФ/фазу (кривая 3).



Зависимости $I_{\text{ут.сраб.}}$ УЗО от степени разбаланса α

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы.

1. Разбаланс R_C и $R_{\text{БАС}}$ в рассматриваемых пределах незначительно увеличивает $I_{\text{ут.сраб.}}$ УЗО (приблизительно на 7...8 %).

2. Характер зависимости $I_{\text{ут.сраб.}}(\alpha)$ практически не зависит от того, что $R_C > R_{\text{БАС}}$ или $R_C < R_{\text{БАС}}$.

3. При $\alpha > 1,5$ ток $I_{\text{ут.сраб.}}$ УЗО уже значительно превышает максимально допустимое значение, т.е. уставку срабатывания УЗО, что следует рассматривать как отказ УЗО.

4. Увеличение протяжённости защищаемой комбинированной сети требует применения компенсации ёмкостной составляющей тока утечки.

Список литературы

1. Бабокин Г.И, Куницкий В.Г, Шеленев П.И. Защитное отключение на постоянном оперативном токе для комбинированных шахтных сетей //

Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Электрификация и энергосбережение. С. 284-289.

2. Бабокин Г.И, Куницкий В.Г, Шеленев П.И. Модель участковой электрической сети с преобразователем частоты и устройством защитного отключения // Сборник трудов XXII Международной научной конференции Математические методы в технике и технологиях - ММТТ 22. Том 8. С. 89-91. 2009.

3. Бабокин Г.И, Куницкий В.Г, Шеленев П.И. Токи утечки в шахтной сети с широтно-импульсным преобразователем частоты // Горный информационно-аналитический бюллетень. Электрификация и энергоэффективность. 2011. Вып 4. С.322-328.

4. Технические требования к рудничному взрывозащищённому электрооборудованию с силовыми полупроводниковыми приборами напряжением до 1140 В. Кемерово: ВостНИИ, 1988. 42 с.

V.G. Kunitsky

STUDY NEW DEVICE DEFENSIVE UNHOOKING FOR MINE MULTIFUNCTION NETWORKS

The Broughted results of the analytical study of the current of the single-phase drain in mine multifunction network with converter of the frequency of the considered type and indicator to asymmetries, working with device of the defensive unhooking on constant operative current.

Key words: device of the defensive unhooking, multifunction network, converter of the frequency, current of the drain ,indicator to asymmetries.

Получено 19.06.12