

## ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫМ ОТКЛЮЧЕНИЕМ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ УЧАСТКА ШАХТЫ

Маренич К.Н., Калинин В.В., канд. тех. наук., доценты  
Донецкий государственный технический университет,

*Произведен анализ влияния ЭДС вращения асинхронного двигателя на процессы в электросети участка шахты при её защитном отключении. Обоснованы предпосылки совершенствования управления защитным отключением асинхронных двигателей.*

*The analysis of influence of EMF of rotation of the asynchronous engine on processes in mine electrical network at disconnect is made. The pre-conditions of perfection of management of protective disconnect of asynchronous engines are proved..*

Широкое применение гибких кабелей в низковольтной электросети участка шахты обусловлено спецификой технологических процессов, характеризующихся частыми перемещениями горных и транспортных машин. Наличие многочисленных факторов механического повреждения кабеля и отсутствие кабельной брони повышают вероятность электротравматизма персонала. Функция выявления утечки тока на землю и формирования команды на защитное отключение напряжения на участке сети выполняется аппаратом защитного отключения: АЗПБ, АЗУР или подобным [1]. В этом случае должны отключаться автоматические выключатели трансформаторной подстанции и участковый, все магнитные пускатели. Участок сети (выполненный, как правило, бронированным кабелем) от подстанции до магнитных пускателей обесточивается, и здесь наиболее эффективно действие аппарата защитного отключения. Однако таким отключением не устраняется поражающий фактор на остальной наиболее разветвлённой, наиболее подверженной повреждениям части сети, где прикосновение человека к токоведущим элементам наиболее вероятно. Рассмотрим осциллограмму напряжений и тока утечки в электросети участка шахты (рис.1). Опыт проводился на шахте «Северная» ПО «Дзержинскуголь». Прикосновение человека к сети имитирова-

лось подключением на выходе трансформаторной подстанции участка между фазой и землёй активного сопротивления 1 кОм. Параметры сети участка: трансформаторная подстанция - ТСВП-400/6/0,69; автоматический выключатель (АВ) распределителя участка - АВ-315Р; коммутационные аппараты потребителей - пускатели серии ПВИ; потребители участка: комбайн 1К-101 (кабель ГРШЭП 3x25, L=160 м), лебёдка, кабелеукладчик (кабели ГРШЭ 3x10, L=60 м, каждый). На осциллограмме представлены: ток утечки  $I_y$ , напряжения одной из фаз сети на выходе АВ ( $U_1$ ) и напряжение другой фазы сети ( $U_2$ ) на выходе пускателя комбайна (масштаб записи  $U_2$  составляет 0,9 масштаба записи  $U_1$ ).

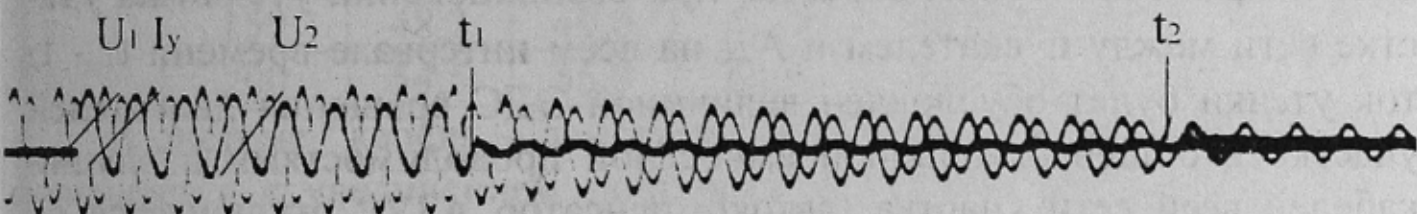


Рисунок 1 – Осциллограмма процесса защитного отключения сети участка шахты при возникновении утечки тока на землю

Из анализа осциллограммы следует, что на процессы в сети существенное влияние оказывает ЭДС вращения асинхронного двигателя (АД), индуцируемая в статоре вращающимся полем токов ротора[2]:

$$u_{6p} = \frac{L_m}{L_p} j(1-S)\omega_0 \psi_{0p} e^{-\frac{t}{T_p}} e^{j\omega_0(1-S)t}; \quad (1)$$

где  $L_m$  – индуктивность главного потока АД;  $L_p$  – полная индуктивность ротора;  $S$  и  $\omega_0$  – скольжение и синхронная частота вращения ротора.

Продолжительность существования тока утечки обусловлена продолжительностью выявления утечки аппаратом защитного отключения; формирования команды на отключение; срабатывания автоматического выключателя подстанции. В соответствии с осциллограммой она составляет семь периодов напряжения сети. Собственное время срабатывания аппарата защитного отключения нормируется на



уровне не более 0,1 с для сети напряжением 660 В и 0,07 с для сети напряжением 1140 В [3]. Полное время срабатывания выключателя не должно превышать 0,04 с [1].

Однако отключение подстанции и участкового АВ в момент  $t_1$  не приводит к отключению в тот же момент времени пускателей в силу того, что ЭДС вращения, действующая со стороны АД и составляющая 0,85-0,95 от величины сетевого напряжения, поддерживает ток элементах электропитания узлов управления контакторами пускателей. Вследствие экспоненциального снижения по величине ЭДС вращения момент защитного отключения пускателя комбайна  $t_2$  отстаёт (по данным эксперимента) от момента  $t_1$  на 13,5 периодов сетевого напряжения. Таким образом, при возникновении утечки на участке сети между пускателем и АД на всём интервале времени  $t_1 - t_2$  ток утечки будет обусловлен величиной ЭДС вращения двигателей участка и общей активной и ёмкостной проводимостями изоляции кабелей всей сети участка (автокомпенсатор АЗУР отключается от системы электроснабжения участка шахты отключением автоматического выключателя подстанции). В дальнейшем, ток утечки будет поддерживаться экспоненциально снижающейся ЭДС вращения АД и проводимостями изоляции того кабельного присоединения, где произошла утечка.

Постоянная затухания свободного тока ротора, обуславливает характер снижения ЭДС вращения АД и определяется выражением:

$$T_p = (L_p / r_p) = U_{\phi} K_n / I_0 r_p \omega_0; \quad (2)$$

где  $r_p$  - активное сопротивление обмотки ротора АД;  $U_{\phi}$  - фазное напряжение статора в режиме холостого хода АД;  $K_n = 1 - 1,1$  (для АД с воздушным охлаждением) - коэффициент, учитывающий насыщение магнитной системы АД;  $I_0$  - ток холостого хода АД.

Исследование расчётной схемы системы "кабель-двигатель" посредством пакета программ схемотехнического моделирования "Electronics Workbench" [4] позволяет сделать вывод о значительном превышении начальной величиной тока утечки, обусловленного ЭДС вращения АД, предельной длительно безопасной величины (25 мА) [3]. Результаты вычислений для сети линейного напряжения 1140 В при сопротивлении изоляции 46 кОм и 100 кОм на фазу и длинах гибких кабелей ( $L_k$ ) от 50 м до 200 м приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета начального тока утечки а системе «кабель – двигатель» (фазная ЭДС вращения -627 В)

$R_{из.}$ кОм	Длина кабеля $L_k, м$	Сечение рабочей жилы кабеля, кв. мм					
		10	16	25	35	50	70
		Ток утечки ( $R_y=1$ кОм), mA					
100	50	20,9	21,2	22,1	23,7	26,7	31,2
	100	27,2	28,0	30,7	35,3	42,9	53,6
	150	35,2	36,5	41,2	48,8	61,0	77,5
	200	44,0	45,9	52,4	62,9	79,4	101,5
46	50	39,7	39,7	40,2	41,1	42,8	45,5
	100	43,0	43,5	45,2	48,3	53,7	62,0
	150	48,2	49,0	52,4	58,2	68,0	82,3
	200	54,5	55,9	61,0	69,7	84,0	103,8

В системе “кабель – двигатель” опасность электротравматизма повышается с увеличением мощности АД (табл. 2). Это связано с необходимостью увеличения сечения кабеля и со снижением  $\Gamma_r$ .

Таблица 2 – Результаты расчета продолжительности  $T_1$  протекания тока утечки ( $I_y > 25$  mA), обусловленного ЭДС вращения АД

Тип асинхронного двигателя	$P_{н.}$ кВт	$U_{н.}$ В	Сечение жилы кабеля, кв. мм	Продолжительность $T_1$ , (с)			
				$L_k = 50м$	$L_k = 100 м$	$L_k = 150м$	$L_k = 200 м$
ЭДК 4-75	75	660	16	0,25	0,27	0,33	0,41
			25	0,25	0,30	0,36	0,45
			35	0,25	0,32	0,42	0,54
2ЭДКОФ 250LA4	90	1140	16	0,44	0,52	0,63	0,75
			25	0,45	0,56	0,69	0,84
			35	0,47	0,62	0,79	0,96
2ЭДКО 4-110,2	110	1140	16	0,60	0,71	0,86	1,03
			25	0,61	0,76	0,94	1,14
			35	0,64	0,84	1,07	1,31
ЭКВ 4-160	160	1140	16	0,37	0,44	0,53	0,63
			25	0,37	0,47	0,58	0,70
			35	0,39	0,52	0,66	0,80
ЭКВ 5-200	200	660	70	0,55	0,87	1,22	1,54



Вычисление параметра  $T_1$  выполнено на основании зависимостей (1) и (2), результатов расчёта начальных значений ЭДС вращения АД, технических данных электродвигателей. При этом не учитывалось влияние проводимостей изоляции других присоединений кабельной сети участка и ЭДС вращения двигателей, работающих на этих присоединениях на интервале  $t_1 - t_2$  (рис.1). Однако действие ЭДС вращения АД даже одного потребителя с учётом проводимостей изоляции одного гибкого кабеля существенно повышает опасность электротравматизма в электросети участка шахты.

Повышение электробезопасности эксплуатации оборудования на участке шахты может быть достигнуто за счёт внедрения технических решений подавления ЭДС вращения АД при защитном отключении сети или недопущения её воздействия на низковольтную кабельную сеть при таком отключении. В этом случае рациональным решением может служить оснащение рудничных асинхронных двигателей быстродействующими коммутационными аппаратами на основе силовых полупроводниковых приборов, выполняющими функцию принудительного короткого замыкания на вводе статора АД при защитном отключении последнего или функцию быстродействующего электрического разъединения статора АД и кабеля. Такое решение позволит исключить влияние ЭДС вращения АД на формирование тока утечки в системе «кабель – двигатель» и на задержку отключения контактора пускателя при исчезновении напряжения сети. Сигналом на срабатывание коммутационного аппарата может служить непосредственная команда от АЗУР передаваемая по специальному сигнальному кабелю (при наличии средств самоконтроля целостности жил кабеля) или сигнал, полученный в результате измерения тока, потребляемого АД. В последнем случае датчик тока может входить в состав быстродействующего коммутационного аппарата АД.

Список источников.

1. Дзиубан В.С. Взрывозащищённые аппараты низкого напряжения. М. Энергоатомиздат, 1993. С. 93 – 173.
2. Риман Я.С. Защита подземных электрических установок угольных шахт. М., “Недра”, 1977. 206 с.
3. Аппараты защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические условия. ГОСТ 22929-78. М. Изд-во стандартов, 1978, 16 с.
4. Панфилов Д.И. и др. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench. Т1. Электротехника. - М.: ДОДЭКА, 1999.- 304 с.