

УДК 621.316

В.М. ЕФРЕМЕНКО, к.т.н., доцент (КузГТУ),
М.А. ИНОЗЕМЦЕВ, старший преподаватель (филиал КузГТУ в
г. Прокопьевске)
г. Кемерово

РАСЧЕТ И СРАВНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ДОБАВОЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

В условиях горнодобывающей промышленности электроснабжение подземных потребителей выполняется кабельными линиями. Безопасная и надежная эксплуатация кабельных сетей во многом определяется состоянием их изоляции. Поэтому непрерывный и периодический контроль параметров изоляции является актуальной задачей.

Для определения параметров изоляции кабельных линий относительно земли к настоящему времени предложено множество способов, классификация которых приведена в [1, 2]. Широкое применение нашли способы, основанные на расчете параметров изоляции по измерениям напряжений фаз относительно земли и напряжения смещения нейтрали, выполненным в двух состояниях сети. Для этого данные величины измеряют в естественном состоянии сети, и при подключенной дополнительной проводимости между какой-либо фазой и землей. В зависимости от характера дополнительной проводимости она может быть активной, емкостной или индуктивной. Подключение дополнительной проводимости изменяет состояние сети, что выражается в изменении напряжения смещения нейтрали и напряжений фаз относительно земли. Измеряя данные величины, можно рассчитать модуль полной проводимости сети, а также активную и реактивную составляющие.

Авторами способов были предложены различные методики определения величины добавочной проводимости. Целью данной работы является сравнение величин добавочной проводимости, вычисленных по методикам, приведенным в [2, 3, 4] в зависимости от заданных значений параметров изоляции. В дальнейшем рассматривается расчет только емкостной добавочной проводимости.

Величина добавочной проводимости в способе, описанном в [2] выбирается исходя из условия:

$$b_{\text{доб}} \leq [0,5 \dots 2]Y_{\text{из}}, \quad (1)$$

где $Y_{из}$ – модуль полной проводимости сети, См.

Тогда емкость добавочного конденсатора определится по выражению

$$C_{доб} = \frac{b_{доб}}{\omega}, \quad (2)$$

где ω – угловая частота, рад/с.

Согласно [3], емкость конденсатора выбирается из условия:

$$C_{доб} = \frac{(200 \dots 300) \sqrt{3} I_C}{\omega U_{л}}, \quad (3)$$

где I_C – величина емкостного тока замыкания на землю.

$U_{л}$ – линейное напряжение сети, кВ.

Для кабельных линий ток замыкания на землю приближенно оценивается по выражению:

$$I_C = \frac{U_{л}}{10} l_K, \quad (4)$$

где l_K – длина кабеля, км.

Тогда выражение (3) с учетом (4) можно переписать в виде:

$$C_{доб} = \frac{(20 \dots 30) \sqrt{3} l_K}{\omega}. \quad (5)$$

Результаты вычислений по формуле (5) являются приближенными, так как не учитывается сечение кабеля, активное сопротивление изоляции, а емкость определяется только длиной кабеля. При этом у сетей одной и той же длины будет различная емкость, если они выполнены кабелями различных типов. Таким образом, выражение (5) может быть использовано лишь для предварительной оценки требуемой емкости. Достоинством является простота вычислений по данному выражению.

Более точные результаты для величины емкости дополнительной проводимости можно рассчитать, если использовать расчетное значение емкостного тока замыкания на землю. При заданной емкости сети, ток замыкания на землю может быть определен по выражению:

$$I_C = 3U_{ф} \omega C_{ф}, \quad (6)$$

где U_{Φ} – модуль фазного напряжения, В;

C_{Φ} – емкость фазы относительно земли, мкФ;

В данном случае зная длину кабеля и его тип, емкость фазы рассчитывается по выражению:

$$C_{\Phi} = l_K C_0, \quad (7)$$

где C_0 – погонная емкость кабеля, мкФ/км.

После подстановки (6) в (3), величину добавочной емкости можно определить из условия

$$C_{доб} = (0,20 \dots 0,30) C_{\Sigma} = (0,60 \dots 0,90) C_{\Phi} \quad (8)$$

Величина дополнительной проводимости согласно [4] должна быть такой, чтобы при ее подключении изменение напряжений фаз относительно земли составляло не менее 20% от первоначальных значений. Такое требование обусловлено необходимостью обеспечения соответствующей точности вычислений параметров изоляции. Несмотря на то, что в работе [4] описано использование активной добавочной проводимости, данное требование справедливо и для емкостной добавочной проводимости.

Как видно, авторами приводятся различные методы выбора значения подключаемой емкости, поэтому сравнение результатов, полученных по каждому методу, представляет практический интерес.

С этой целью был произведен расчет добавочной емкости по заданным параметрам активным сопротивлениям фаз и емкости одной фазы относительно земли. При этом учитывалось, что активные сопротивления изоляции фаз могут иметь несимметрию, и их значения в общем случае изменяются в достаточно широком диапазоне от единиц до сотен и более кОм на фазу. Так как активные сопротивления фаз могут отличаться в несколько раз [5], то в данной работе их значения выбирались из следующих диапазонов: 20 ... 35; 50 ... 100; 125 ... 250; 500 ... 1000 кОм/фазу. Емкости фаз относительно земли приняты симметричными. Для заданных параметров изоляции по выражениям (2) и (8) были рассчитаны емкости конденсатора, подключаемого между фазой и землей. Определение значения подключаемой емкости в соответствии с требованиями [4] в данной работе проводилось по следующему алгоритму:

1) По исходным параметрам сети определялось напряжение смещения нейтрали и напряжения фаз относительно земли в исходном состоянии сети;

2) Выбиралось значение дополнительной емкости;

3) Рассчитывалось напряжение смещения нейтрали и напряжения фаз относительно земли при подключенной дополнительной проводимости в фазу А;

4) Если напряжения фаз В и С относительно земли отличались от исходных значений менее чем на 20%, то устанавливалось новое значение дополнительной проводимости и расчеты повторялись.

Результаты расчетов дополнительной емкости по различным методикам приведены в таблице 1.

Таблица 1

C_{ϕ} , мкФ	R_A , кОм	R_B , кОм	R_C , кОм	$Y_{из}$, мСм	Значение $C_{доб}$ (мкФ), рассчитанное по методикам		
					[2]	[4]	[3]
0,05	500	750	1000	0,047	0,075 ... 0,30	0,09	0,03 ... 0,045
0,05	125	250	175	0,050	0,08 ... 0,32	0,15	
0,05	75	50	100	0,064	0,10 ... 0,41	0,26	
0,05	20	35	25	0,128	0,20 ... 0,81	0,49	
0,15	500	750	1000	0,141	0,23 ... 0,90	0,24	0,09 ... 0,135
0,15	125	250	175	0,142	0,23 ... 0,91	0,28	
0,15	75	50	100	0,148	0,24 ... 0,94	0,32	
0,15	20	35	25	0,185	0,30 ... 1,18	0,67	
0,5	500	750	1000	0,471	0,75 ... 3,00	0,75	0,30 ... 0,45
0,5	125	250	175	0,472	0,75 ... 3,00	0,80	
0,5	75	50	100	0,473	0,75 ... 3,01	0,82	
0,5	20	35	25	0,486	0,77 ... 3,09	1,12	
1,5	500	750	1000	1,414	2,25 ... 9,00	2,24	0,90 ... 1,35
1,5	125	250	175	1,414	2,25 ... 9,00	2,28	
1,5	75	50	100	1,414	2,25 ... 9,00	2,28	
1,5	20	35	25	1,419	2,26 ... 9,00	2,55	

Из анализа полученных результатов видно, что значение добавочной емкости зависит как от активной, так и емкостной составляющих полного сопротивления сети. Для сетей с малой емкостью фаз относительно земли в зависимости от величин активных сопротивлений фаз, и при их изменении требуемая величина добавочной емкости может изменяться в значительных пределах. В сетях, обладающих значительной емкостью относительно земли, изменение активного сопротивления фаз и несимметрия не оказывает существенного влияния на выбор дополнительной емкостной проводимости.

Сравнение значений дополнительной емкости, показывает, что результаты вычислений по методикам [2] и [4] являются достаточно близкими. Значение емкости, полученное в соответствии с [3] согласно критерию, приведенному в [4] является заниженными, поэтому ее

использование может привести к увеличению погрешностей расчета. В то же время, в [3] отмечается, что расчеты по выражению (8) являются приближенными.

Полученные результаты можно использовать при выборе значения дополнительной проводимости при измерении параметров изоляции шахтных кабельных сетей или при разработке соответствующих устройств.

Список литературы:

1. Пичуев А.В. Влияние нестационарных режимов на электробезопасность при эксплуатации электрооборудования горных предприятий / А.В. Пичуев, В.И. Петуров, И.Ф. Суворов. – Москва : Издательство «Горная книга», 2011. – 326 с. – Текст : непосредственный.

2. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности / Л.В. Гладилин, В.И. Щуцкий, Ю.Г. Бацежев, Н.И. Чеботаев. – Москва : Недра, 1977. – 327 с.

3. Бобоев Х.Д. Обеспечение безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий республики Таджикистан : дис. ... канд. тех. наук : 05.26.01 / Бобоев Хуршедшох Давлаталиевич ; Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет). – Челябинск : 2021. – 175 с.

4. Цапенко Е.Ф. Определение параметров изоляции фаз относительно земли в сети с изолированной нейтралью / Е.Ф. Цапенко, Ю.Н. Случевский, Д.Н. Чучелов. – Текст : непосредственный // Электричество. – 1982. – №8. – С. 52 – 54.

5. Нагорных, В.В. Модели и алгоритмы непрерывного контроля параметров изоляции отдельных фаз шахтных электрических сетей напряжением до 1 кВ : автореферат дис. ... канд. тех. наук : 05.13.18 / Нагорных Владислав Викторович ; Московский государственный горный университет. – М.: 2010. – 24 с.

Информация об авторах:

Ефременко Владимир Михайлович, к.т.н., доцент (КузГТУ), 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, evm.kegpp@kuzstu.ru.

Иноземцев Максим Александрович, старший преподаватель, филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 653039, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а, inozemcevma@kuzstu.ru.