

УДК 622:(621.315.05+621.316.93).004.2



А. Г. МНУХИН,
доктор техн. наук
(МакНИИ)



А. П. ЛИХВАН,
инж.
(МакНИИ)



А. В. АНТИПИН,
инж.
(МакНИИ)



В. А. ГАВРИЛКО,
инж.
(МакНИИ)

Исследования однофазных замыканий в шахтных высоковольтных сетях

Проведены теоретические и экспериментальные исследования параметров переходных процессов при однофазных замыканиях на землю в шахтных высоковольтных сетях. Полученные результаты можно использовать при проектировании, конструировании шахтных комплектных распределительных устройств и выборе параметров срабатывания устройств защиты от замыкания на землю.

Ключевые слова: шахтная сеть напряжением 6 кВ, изолированная нейтраль, замыкания на землю, переходные процессы.

Контактная информация: likhvan-aleksandr@rambler.ru

Теоретические и экспериментальные исследования электрических параметров режима однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) проводили в экспериментальной сети, состоящей из рудничных взрывозащищенных комплектных распределительных устройств КРУ (КРУВ-6 и РВД-6), широко применяемых на угольных шахтах Украины, и кабелей марок СБ и ВВБШв. Схема экспериментальной сети приведена на рис. 1.

Для того чтобы исключить влияние сетевых помех на точность эксперимента, использовали разделительный трансформатор типа ТСШВ-630/6/6, имеющий на вторичной обмотке выведенную нулевую точку. На вход трансформатора подавали напряжение 6 или 3 кВ в зависимости от цели проводившихся экспериментов. Емкости исходной сети и отходящих линий моделировали с помощью кабельных линий и конденсаторных батарей, а сопротивления утечки – с по-

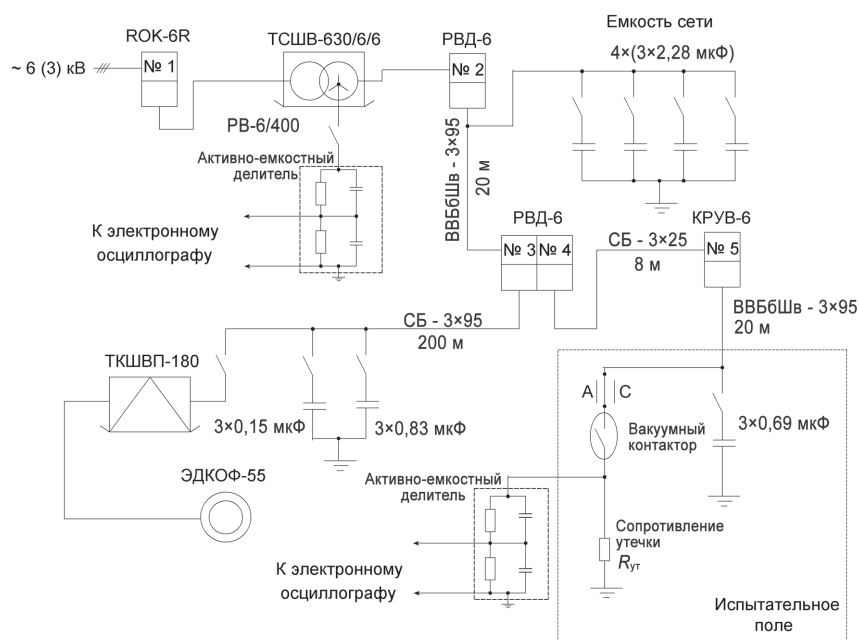


Рис. 1. Схема экспериментальной сети.

мощью резисторов необходимой мощности, подключаемых к одной из фаз сети вакуумным контактором, установленным на испытательном поле. Измерения выполняли путем осциллографирования напряжения смещения нейтрали и напряжения на активно-емкостных делителях, подключаемых соответственно в нулевой точке разделительного трансформатора и к поврежденной фазе линии на испытательном поле. Кроме того, решали задачи определения уровня исследуемых сигналов в экспериментальной сети в зависимости от параметров режима ОЗЗ (емкости сети C_c и сопротивления утечки $R_{ут}$), а также сравнения полученных экспериментальных данных с расчетными.

Рассмотрим процесс однофазного замыкания на землю с учетом переходного сопротивления в высоковольтной сети с изолированной нейтралью (рис. 2). При замыкании на землю одной из фаз (например, фазы А) точка 0 из центра треугольника линейных напряжений смещается в точку 0'. В результате этого изменяются и фазные напряжения сети (рис. 3).

Ток однофазного замыкания при сопротивлении утечки (ток утечки $I_{ут}$) в месте прикосновения, если известно напряжение поврежденной фазы относительно земли $\dot{U}_{ут}$, рассчитывают по формуле [1, 2]

$$I_{ут} = \dot{U}_{ут} Y_{ут} \quad (1)$$

где $Y_{ут} = 1/R_{ут}$ – проводимость в месте замыкания на землю.

Напряжение каждой фазы относительно земли в данном случае определяют из соотношений

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_N; \quad (2)$$

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_N; \quad (3)$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_N; \quad (4)$$

где \dot{U}_N – напряжение смещения нейтрали.

Напряжение между нулевой точкой сети и землей (напряжение смещения нейтрали) в общем случае вычисляют по формуле

$$\dot{U}_N = (\dot{U}_A Y_A + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C) / (Y_A + Y_B + Y_C), \quad (5)$$

где Y_A, Y_B, Y_C – проводимости фаз относительно земли.

При возникновении однофазного замыкания на землю через переходное сопротивление напряжение смещения нейтрали определяют из соотношения (5):

$$\dot{U}_N = [\dot{U}_A(Y_A + Y_{ут}) + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C] / (Y_A + Y_B + Y_C + Y_{ут}). \quad (6)$$

Принимаем, что активные проводимости каждой из фаз бесконечно малы (сопротивление изоляции каждой из фаз до появления утечки несоизмеримо велико), тогда

$$Y_A = Y_B = Y_C = j\omega C, \quad (7)$$

где ω – угловая частота сети;

C – емкость каждой фазы относительно земли.

Решая совместно выражения (1) – (7) и переходя от комплексной формы записи к модульным значениям, получим

$$U_N = U_\phi / \sqrt{1 + \omega^2 C_0^2 R_{ут}^2}; \quad (8)$$

$$U_N = U_\phi R_{ут} \omega C_0 / \sqrt{1 + \omega^2 C_0^2 R_{ут}^2}; \quad (9)$$

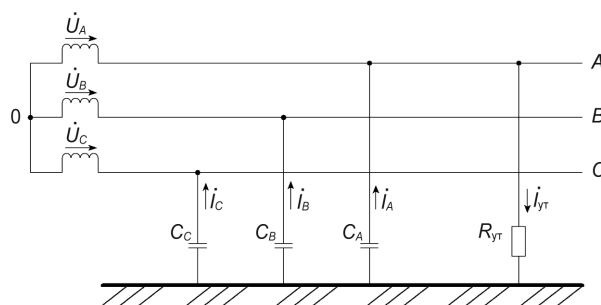


Рис. 2. Схема однофазного замыкания на землю через переходное сопротивление в высоковольтной сети с изолированной нейтралью.

$$I_{ут} = U_\phi \omega C_0 / \sqrt{1 + \omega^2 C_0^2 R_{ут}^2}, \quad (10)$$

где U_ϕ – фазное напряжение сети;

$C_0 = C_1 + C_2 + C_3$ – суммарная емкость трех фаз сети.

Графики зависимости $U_N = f(R_{ут})$, построенные согласно расчетам по выражению (8), показаны на рис. 4: для номинального напряжения сети 6 кВ на фазу: U_{N1} – при емкости сети 0,3 мкФ; U_{N2} – 1 мкФ; U_{N3} – 1,8 мкФ; для напряжения сети 3 кВ на фазу: U_{N4} – 0,3 мкФ; U_{N5} – 1 мкФ; U_{N6} – 1,8 мкФ.

На рис. 5 представлены графики зависимости напряжения на поврежденной фазе от сопротивления утечки $U_{ут} = f(R_{ут})$, полученные по расчетам согласно выражению (9): для номинального напряжения сети 6 кВ на фазу: $U_{ут1}$ – при емкости сети 0,3 мкФ; $U_{ут2}$ – 1 мкФ; $U_{ут3}$ – 1,8 мкФ; для напряжения сети 3 кВ на фазу: $U_{ут4}$ – 0,3 мкФ; $U_{ут5}$ – 1 мкФ; $U_{ут6}$ – 1,8 мкФ.

Графики зависимости $I_{ут} = f(R_{ут})$, полученные из расчетов согласно выражению (10), показаны на рис. 6: для номинального напряжения сети 6 кВ на фазу: $I_{ут1}$ – при емкости сети 0,3 мкФ; $I_{ут2}$ – 1 мкФ; $I_{ут3}$ – 1,8 мкФ; для напряжения сети 3 кВ на фазу: $I_{ут4}$ – 0,3 мкФ; $I_{ут5}$ – 1 мкФ; $I_{ут6}$ – 1,8 мкФ.

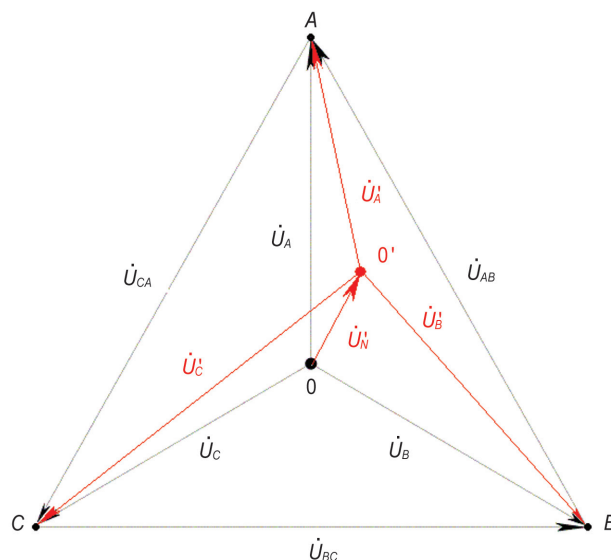


Рис. 3. Векторная диаграмма напряжений в сети с изолированной нейтралью.

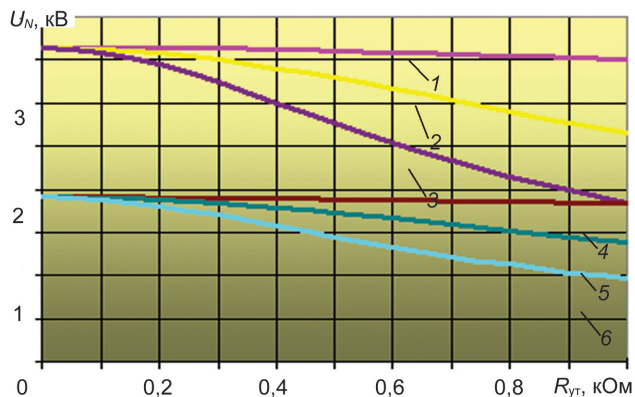


Рис. 4. Зависимость напряжения смещения нейтрали от сопротивления утечки $U_N = f(R_{ут})$: 1 – 6 – U_{N1} , U_{N2} , U_{N3} , U_{N4} , U_{N5} , U_{N6} .

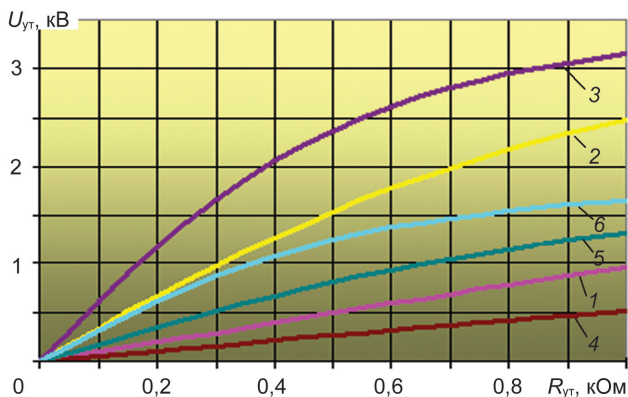


Рис. 5. Зависимость напряжения на сопротивлении утечки от сопротивления утечки $U_{ут} = f(R_{ут})$: 1 – 6 – $U_{ут1}$, $U_{ут2}$, $U_{ут3}$, $U_{ут4}$, $U_{ут5}$, $U_{ут6}$.

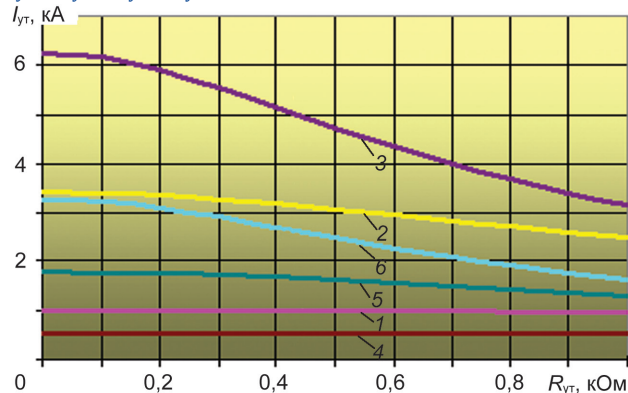


Рис. 6. Зависимость тока утечки от сопротивления утечки $I_{ут} = f(R_{ут})$: 1 – 6 – $I_{ут1}$, $I_{ут2}$, $I_{ут3}$, $I_{ут4}$, $I_{ут5}$, $I_{ут6}$.

Результаты исследований в экспериментальной сети (см. рис. 1) при различных параметрах в сети напряжением 6 и 3 кВ приведены в таблице. Данные таблицы, отражающие результаты исследований в экспериментальной высоковольтной сети, отличаются от полученных расчетным путем. Максимальная относительная погрешность не превы-

Сопротивление утечки, кОм	Емкость сети, мкФ на фазу	Напряжение смещения нейтрали, кВ	Напряжение поврежденной фазы, кВ	Ток утечки, А
<i>Напряжение сети 6 кВ</i>				
0,3	0,30	3,56	0,27	0,90
	0,99	3,50	0,83	2,77
	1,82	3,23	1,46	4,87
0,5	0,30	3,54	0,61	1,22
	0,99	3,25	1,32	2,64
	1,82	2,67	2,09	4,18
1,0	0,30	3,45	1,06	1,06
	0,99	2,65	2,25	2,25
	1,82	1,83	2,83	2,83
<i>Напряжение сети 3 кВ</i>				
0,3	0,30	1,96	0,14	0,47
	0,99	1,90	0,48	1,60
	1,82	1,79	0,78	2,62
1,0	0,30	1,88	0,44	0,44
	0,99	1,45	1,14	1,14
	1,82	0,99	1,49	1,49

шает 15 %. Это объясняется не столько погрешностью измерительных приборов и используемой аппаратуры, сколько принятыми при расчетах допущениями и упрощениями.

Экспериментальная сеть, состоящая из отрезков кабельных линий, комплектных распределительных устройств, трансформаторов и конденсаторов, имеет характеристики, которые сложно учесть при расчетах. К ним относятся: наличие емкости кабельных линий; конечное значение активного сопротивления изоляции всех элементов сети; токи утечки в конденсаторных батареях; возникновение переходных процессов в момент замыкания фазы сети на землю вакуумным контактором; отклонения напряжения в сети электроснабжения.

Однако экспериментальная сеть (см. рис. 1) максимально близка к реальной высоковольтной сети угольной шахты. Поэтому полученные результаты экспериментальных исследований представляют интерес при проектировании и конструировании шахтных высоковольтных аппаратов, выборе уставок срабатывания устройств защиты, а также могут быть использованы для повышения уровня безопасности шахтных высоковольтных сетей.

Выводы. Установлены характерные соотношения между основными электрическими параметрами (напряжение смещения нейтрали, напряжение на поврежденной фазе, ток утечки) в условиях возникновения разных переходных процессов в шахтной высоковольтной сети.

ЛИТЕРАТУРА

- Колосюк В. П. Защитное отключение рудничных электроустановок / В. П. Колосюк. – М.: Недра, 1980. – 334 с.
- Риман Я. С. Защита подземных электрических установок угольных шахт / Я. С. Риман. – М.: Недра, 1977. – 206 с.