

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В УСЛОВИЯХ ШАХТ

Чупайленко А.А., к.т.н., проф.; Седов А.Н., аспирант,  
Донецкий национальный технический университет

*Рассмотрены основы построения математической модели и новых принципов работы защиты от однофазных замыканий на землю во взрывоопасных условиях*

*It is considered bases construction of mathematical model and new principles of work of protection against single-phase short circuits on the ground in explosive conditions*

Однофазные замыкания на землю в кабельных сетях напряжением 6-10 кВ составляет порядка 77% от общего числа повреждений. Опасность однофазных замыканий на землю чрезвычайно велика, особенно в подземных высоковольтных электрических сетях. Следует выделить опасные факторы при возникновении ОЗЗ в подземных условиях:

- выделение тепловой энергии в месте замыкания может стать причиной пожара, взрыва метано-воздушной смеси или угольной пыли;
- повышается опасность поражения обслуживающего персонала;
- перенапряжения при ОЗЗ могут становиться причинами выхода из строя изоляции электрооборудования и возникновения многофазных замыканий на землю и коротких замыканий в сети;

Указанные факторы свидетельствуют о необходимости осуществления защиты от ОЗЗ по всей высоковольтной электрической сети.

Эти обстоятельства обусловили необходимость создания защит с использованием разнообразных параметров, возникающих при ОЗЗ и работающих на различных принципах. К настоящему времени известны защиты, реагирующие на: наложенный на сеть оперативный ток (постоянный), повышенной или пониженной частоты; действующее значение полного тока замыкания на землю; действующее значение высших гармоник полного тока замыкания; броски тока замыкания при переходных процессах; направления тока нулевой последовательности (НП) присоединений; направление мощности НП в первом полупериоде переходного процесса при замыкании; поляр-

ность первой полуволны тока и напряжения НП; наибольший по амплитуде ток НП присоединения; наибольшее амплитудное или действующее значение гармонической составляющей тока НП присоединения.

В настоящее время изготавливается и применяется довольно большое количество различных типов защит от ОЗЗ.

Однако принципы и техническая реализация, положенные в основу построения этих защит, не позволяют обеспечить защиту от однофазных замыканий на землю требуемой точности и достоверности из-за возможности ложных срабатываний или неселективности действия.

Т.е. создается селективная защита без этих недостатков и построенная на принципах, которые обеспечивали бы высокую надежность.

Для обеспечения работы защиты необходимо осуществить расчет переходных режимов для каждой фазы в сети при возникновении однофазных замыканий в какой-либо точке.

Для исследования переходных процессов прежде всего составляются дифференциальные уравнения. Большое количество таких уравнений и необходимость определения начальных условий приводят к сложности аналитического решения.

Применения современных программных средств позволяет значительно облегчить эту задачу и существенно сократить время, необходимое для ее решения. Одним из таких средств является математический пакет MathCad.

Для уточнения режимов работы электрической сети при замыкании на землю была разработана математическая модель с использованием системы MathCad. Особо необходимо выделить главную особенность высоковольтных электрических сетей – сеть заземления. В условиях шахт все корпуса электрооборудования соединены между собой и поэтому при возникновении замыкания на землю ток замыкания на землю идет по двум параллельным цепям – земле и цепи заземления. Так как сопротивление цепи заземления значительно меньше сопротивления через землю и заземлители, то основная часть тока проходит через цепь заземления. Поэтому в схеме замещения надо обязательно учесть сопротивление цепи заземления.

Учет этого фактора позволяет по-новому посмотреть на процессы замыкания на землю в высоковольтных электрических сетях взрывоопасных производств. В таких сетях практически не может быть



глухого замыкания на землю, так как всегда в цепи замыкания будет сопротивление сети заземления.

Принятые параметры математической модели высоковольтной электрической сети с системой защиты от замыканий на землю позволяет построить математическую модель, которая позволит учесть влияние всех факторов электрической сети при замыканиях на землю на работу системы защиты.

Важной частью системы защиты является общая сеть заземления. При замыканиях на землю большая часть тока замыкания проходит не по земле, а по цепи заземления, которая имеет меньшее сопротивление.

С учетом этих допущений схема замещения сети примет вид, представленный на рис. 1.

Для последовательно соединенных  $R, L, C$  элементов по второму закону Киргофа можно написать:

Для разрядного контура фазы А:

$$L_{K\Sigma} \frac{di_a}{dt} + \frac{1}{C} \int i_a dt + (R_{K\Sigma} + R_g + R_{об}) i_a = 0. \quad (1)$$

Для зарядных контуров фаз В и С

$$\left. \begin{aligned} (2L_U + L_{K\Sigma}) \frac{di_B}{dt} + \frac{1}{C} \int i_B dt + (2R_U + R_{K\Sigma} + R_g + R_{об}) i_B &= e_b - e_a \\ (2L_U + L_{K\Sigma}) \frac{di_C}{dt} + \frac{1}{C} \int i_C dt + (2R_U + R_{K\Sigma} + R_g + R_{об}) i_C &= e_c - e_a \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Введем обозначения:

$$L_{K\Sigma} = L_1, \quad R_{K\Sigma} + R_g + R_{об} = R_1,$$

$$2L_U + 2L_{K\Sigma} = L_2, \quad 2R_U + R_{K\Sigma} + R_g + R_{об} = R_2.$$

Продифференцировав уравнения (1), (2) по времени получим:

$$\left. \begin{aligned} L_1 \frac{d^2 i_a}{dt^2} + \frac{1}{C} i_a + R \frac{di_a}{dt} &= 0 \\ L_2 \frac{d^2 i_b}{dt^2} + \frac{1}{C} i_b + R_2 \frac{di_b}{dt} &= \frac{d(e_b - e_a)}{dt} \\ L_2 \frac{d^2 i_c}{dt^2} + \frac{1}{C} i_c + R_2 \frac{di_c}{dt} &= \frac{d(e_c - e_a)}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

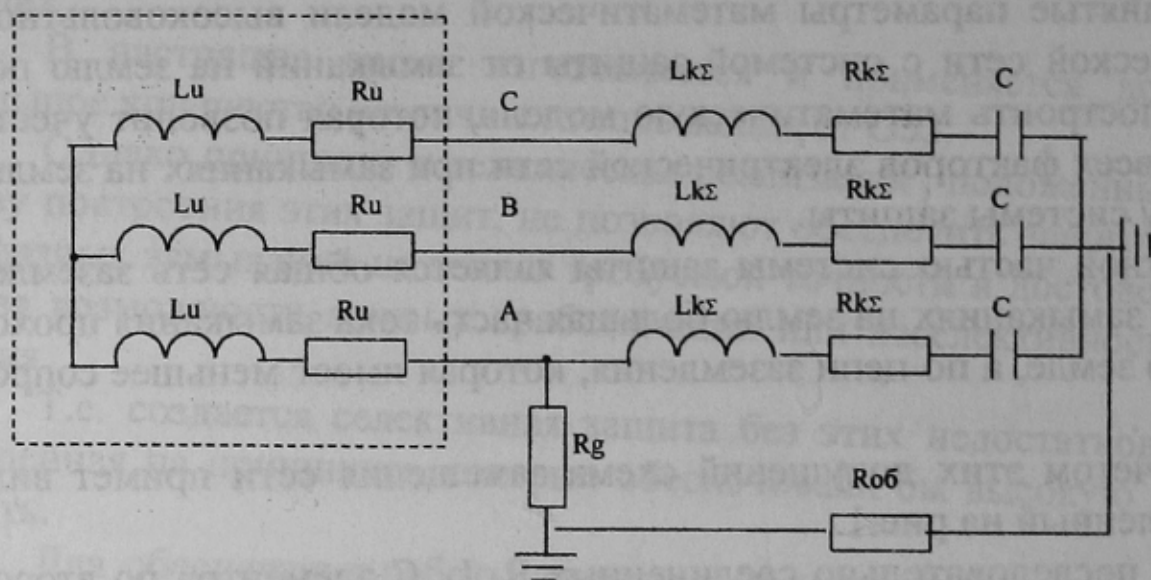


Рисунок 1 – Схема замещения высоковольтной электрической сети

где:

$L_1, L_2 \dots L_N$  – трехфазные линии сети;

$L_i, R_i$  – индуктивность и активное сопротивление источника ЭДС (трансформатора);

$L_{k\Sigma}, R_{k\Sigma}$  – суммарная индуктивность и активное сопротивление фазы сети;

$C$  – емкость фазы относительно земли;

$R_{об}$  – сопротивление оболочки кабелей и заземляющих жил кабелей (цепи заземления);

$R_d$  – сопротивление дуги в месте замыкания на землю.

Для расчета системы дифференциальных уравнений, которые описывают режим сети, в программе используется функция *rkfixed*, реализующая метод Рунге-Кутты четвертого порядка с постоянной величиной шага. Расчет сети выполнялся с помощью программного средства *Matcad 2000* для *Windows*. Формат функции:

$$rkfixed(Y, t_n, t_k, N, D),$$

$Y$  – вектор начальных условий;

$t_n$  – начальный момент времени;

$t_k$  – конечный момент времени;

$N$  – число шагов;

$D$  – символьная вектор-функция, которая содержит правые части системы дифференциальных уравнений вида:

$$y^n = f(x, y, y_1', \dots, y^{n+1}).$$



Система должна быть превращена в систему уравнений первого порядка. Для облегчения данной задачи необходимо пользоваться современными пакетами программ для автоматизации математических и научных расчетов.

Разработанная защита должна отвечать всем предъявляемым ей требованиям и отличаться принципиально новыми принципами построения для повышения своей надежности и достоверности. Именно таким принципом может быть учет полярности импульсов тока в первом полупериоде переходного процесса.

Поставленная принцип реализуется тем, что при определении поврежденного присоединения в электрической сети вначале производится регистрация полярности импульсов тока нулевой последовательности одновременно не менее, чем для трех присоединений, возникающих в момент замыкания на землю. Затем определяется преобладающая полярность, которую сравнивают с полярностью каждого импульса тока. После этого производится определение повреждения присоединения по полярности импульса тока, противоположной преобладающей. Однако регистрацию полярности импульсов тока присоединения выполняют только для сверхпереходных токов нулевой последовательности, а по наличию или отсутствию сверхпереходных токов через определенный интервал времени судят о наличии или отсутствии поврежденного присоединения. И при этом, лишь при наличии поврежденного присоединения ведут его определение.

Рассмотренный принцип отличается повышенной надежностью и безотказностью работы защиты от замыканий на землю в высоковольтной сети шахт.

#### Список источников.

1. Цапенко Е. Ф. Замыкания на землю в сетях 6-35 кВ М.: Энергоатомиздат, 1986. - 128 с.
2. Самоучитель по работе в MathCad 2000
3. Груба В.И., Калинин В.В., Чупайленко А.А. Причины и последствия однофазных замыканий на землю в шахтных электрических сетях. Сборник трудов горно-электромеханического факультета. Донецкий государственный технический университет. Донецк.: ДонГТУ, 1996. - 160 с.
4. Щуцкий В.И., Волощенко Н.И., Плащанский Л.А. Электрификация подземных горных работ: Учебник для вузов. М.: Недра, 1986. - 364 с.