

УДК 621.316.925

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ ФАЗЫ НА ЗЕМЛЮ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

В.Ф. Сивокобыленко, В.К. Лебедев, О.В. Ковязин
Донецкий национальный технический университет

Однофазные замыкания на землю являются самым распространенным видом повреждения в электрических сетях среднего класса напряжения (в пределах до 85-90% от общего числа нарушений нормальной работы сетей в зависимости от их назначения и конструктивного исполнения). Они приводят к возникновению перенапряжений, повреждению изоляции и в подавляющем числе случаев они развиваются в междуфазные короткие замыкания или многоместные пробои изоляции с групповым выходом из строя электрооборудования, сопровождаясь большим материальным ущербом и недоотпуском электроэнергии потребителям.

На сегодняшний день существует большое количество как направленных, так и ненаправленных защит от замыканий фазы на землю [1], но все они не достаточно надежны и во многих случаях срабатывают ложно. Поэтому в данной работе стоит задача создать защиту более селективную и более чувствительную, чем защиты, основанные на реле типа ЗЗП-1 или РТЗ-51.

Из многократно проведенных исследований в системе собственных нужд ТЭС можно сделать вывод, что из-за различной удаленности нагрузки подключенной к шинам 6 кВ, а также различных условиях прокладки кабелей отходящих фидеров токи замыкания на землю на всех фидерах сильно отличаются друг от друга. При этом они имеют, как правило, очень маленькие значения, а суммарный ток замыкания на землю редко когда достигает значения 10 А. Из-за всего этого возникает сложность настройки уставок защиты и соответственно чувствительность установленных защит не всегда достигает минимально-допустимого значения.

Из статистических данных полученных на Зуевской ТЭС, на которой установлены на двигателях защиты от замыканий на землю работают на отключение поврежденного присоединения, известно, что при замыкании на землю на фидере с малым собственным ёмкостным током на землю, кроме поврежденного присоединения

отключаются фидера с наибольшим током замыкания на землю, что говорит о неселективности установленной защиты на реле типа РТЗ-51.

Что касается направленных защит на реле ЗЗП-1, которые реагируют на направление мощности, то из [2] известно, что во многих случаях отключения поврежденного присоединения при возникающем явлении феррорезонанса данные реле ложно срабатывают из-за потери направленности.

Исходя из вышеизложенного задача разработки более чувствительной и селективной защиты от замыканий фазы на землю по праву считается актуальной.

Предлагаемая в данной статье защита от замыканий фазы на землю (см. рис. 1) является направленной и состоит из трансформатора тока нулевой последовательности с подмагничиванием, первичной обмоткой которого служит кабель отходящего фидера, при этом трансформатор тока нулевой последовательности состоит из двух одинаковых магнитопроводов (расположенных один над другим на небольшом расстоянии), и двух вторичных обмоток на каждом из них - обмотки подмагничивания и обмотки для органа защиты, при этом первые обмотки подключены к источнику подмагничивания, а вторые обмотки к выходному органу защиты.

Обмотки подмагничивания соединяют последовательно, при этом обмотку первого магнитопровода включают согласно, а второго - встречно относительно магнитного потока, создаваемого в магнитопроводах током однофазного замыкания на отходящем присоединении, в качестве источника подмагничивания используют напряжение нулевой последовательности вторичных обмоток трансформатора напряжения, первичные обмотки которого подключают к сборным шинам, последовательно с обмотками подмагничивания включают ёмкость C_d , величину которой с учетом коэффициента трансформации трансформатора напряжения $K_{ТН}$, ёмкости фазы кабеля отходящего присоединения C_ϕ и числа витков обмотки подмагничивания W_d определяют из выражения

$$C_d = K_{ТН} \cdot \frac{C_\phi}{W_d},$$

дополнительно вводят дифференциальный усилитель (компаратор) и второй выходной орган защиты, при этом выходы обмотки органа защиты первого магнитопровода через выпрямительные четырехдиодные мосты подключают к положительному, а выходы обмотки органа защиты второго

магнитопровода - к отрицательному входу дифференциального усилителя, выход которого через разнополярные диоды подключен соответственно к первому и второму выходным органам защиты с временной задержкой на возврат, при этом в цепи первого выходного органа последовательно включены размыкающие контакты второго выходного органа защиты, а в цепи второго выходного органа включены размыкающие контакты первого выходного органа защиты.

Направления протекания токов в сети и во вторичных цепях устройства защиты при внутреннем замыкании фазы на землю показан на рисунке 1, а при внешнем замыкании на землю показан на рисунке 2.

При замыкании фазы на землю в точке K_1 магнитный поток $\Phi_{\text{ОСН}}$ в трансформаторе тока нулевой последовательности 1(ТНП1) создаваемый током нулевой последовательности направлен по часовой стрелке, а магнитный поток $\Phi_{\text{ПОДМ}}$, создаваемый дополнительной обмоткой подмагничивания магнитопровода 2, подключенной через ёмкость $3(C_K)$ к напряжению нулевой последовательности вторичных обмоток трансформатора напряжения 4(ТН), первичные обмотки которого подключены к шинам 5(Ш) 6 кВ, направлен согласно основному магнитному потоку $\Phi_{\text{ОСН}}$. Магнитные потоки суммируются увеличивая ток на вторичной обмотке 6 ТНП1.

Основной магнитный поток $\Phi_{\text{ОСН}}$ в магнитопровode трансформатора тока нулевой последовательности 7(ТНП2) направлен по часовой стрелке, а магнитный поток $\Phi_{\text{ПОДМ}}$ создаваемый обмоткой подмагничивания 2 направлен ему встречно, тем самым ток на выводах вторичной обмотки 6 ТНП2 значительно меньше тока на выводах вторичной обмотки 6 ТНП1.

Концы вторичных обмоток 6 ТНП1 и ТНП2 подключены к диодным мостам 9 и 10, после которых выпрямленный ток идет на компаратор 11, который сравнивает два сигнала и усиливает больший из них. При замыкании в точке K_1 ток от ТНП1 значительно больше, чем ток от ТНП2 $I_{\text{ТНП1}} \gg I_{\text{ТНП2}}$, поэтому после сравнения, на выходе компаратора 11 будет положительный усиленный сигнал.

Для защиты от ложных срабатываний вызванных из-за влияния высоковольтного оборудования на вторичные цепи ТНП1 и ТНП2 на выходе компаратора стоят нормально разомкнутые контакты 12(KL_{3U0}), который замыкается при появлении напряжения нулевой последовательности от ТН.

Диоды 13 и 14 служат для того, чтобы блокировать сигнал непредназначенный для срабатывания реле, т.е. В том случае если

сигнал предназначен для срабатывания реле 15(KL₁) диод 14 должен заблокировать сигнал и не дать сработать реле 14(KL₂).

При срабатывании одного из реле кроме исполнительного действия (отключение или сигнал) реле размыкает свои контакты в цепи параллельного выходного органа, что позволяет избежать одновременного срабатывания вызванного высокочастотной составляющей тока нулевой последовательности при переходном процессе вызванным перезарядом ёмкостей. Также реле выполняются с временной задержкой на возврат для предотвращения ложных срабатываний, вызванных при отключении поврежденного фидера.

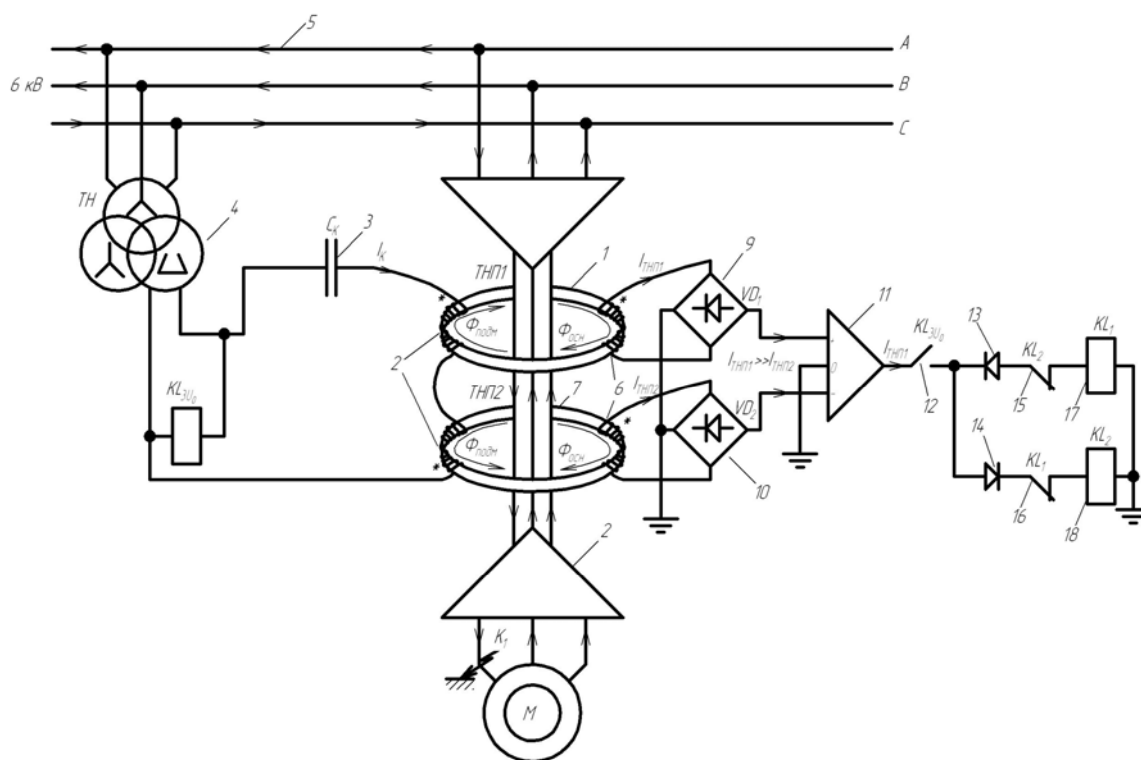


Рис. 1. Принципиальная схема усовершенствованной защиты от замыканий фазы на землю в точке К₁ в сети с изолированной нейтралью

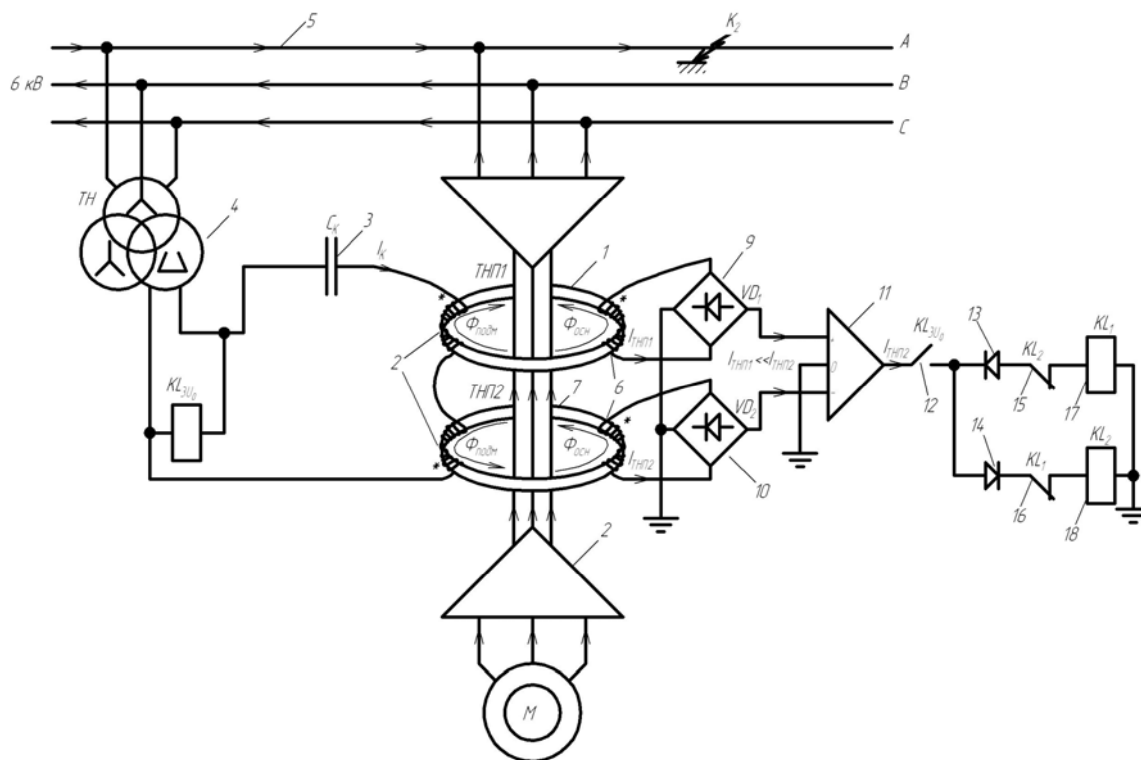


Рис. 2. Принципиальная схема усовершенствованной защиты от замыканий фазы на землю в точке K_2 в сети с изолированной нейтралью

При замыкании фазы на землю в точке K_2 магнитный поток $\Phi_{\text{ОСН}}$ в трансформаторе тока нулевой последовательности 1 (ТНП1) создаваемый током нулевой последовательности направлен против часовой стрелки, а магнитный поток $\Phi_{\text{ПОДМ}}$, создаваемый дополнительной обмоткой подмагничивания магнитопровода 2, подключенной через ёмкость 3 (C_K) к напряжению нулевой последовательности вторичных обмоток трансформатора напряжения 4 (ТН), первичные обмотки которого подключены к шинам 5 (Ш) 6 кВ, направлен встречно основному магнитному потоку $\Phi_{\text{ОСН}}$. Магнитные потоки уничтожаются, тем самым, уменьшая ток на вторичной обмотке ТНП1.

Основной магнитный поток $\Phi_{\text{ОСН}}$ в магнитопроводе трансформатора тока нулевой последовательности 7 (ТНП2) направлен против часовой стрелки, а магнитный поток $\Phi_{\text{ПОДМ}}$ создаваемый обмоткой подмагничивания 2 направлен ему согласно, тем самым ток на выводах вторичной обмотки 6 ТНП2 увеличивается и его величина значительно больше тока на выводах вторичной обмотки 6 ТНП1.

При замыкании в точке K_2 ток от ТНП2 значительно больше, чем ток от ТНП1 $I_{ТНП2} \gg I_{ТНП1}$, поэтому после сравнения, на выходе компаратора 11 будет отрицательный усиленный сигнал, от которого должно сработать реле 18 и разомкнуть контакты в цепи реле 17, тем самым, предотвратив его возможное ложное срабатывание.

Проверка правильности работы устройства защиты была подтверждена путем компьютерного моделирования, а также с помощью физической модели 0.4 кВ.

Разработанная физическая модель включает в себя 5 фидеров с различной ёмкостью фаз на землю. Измерение токов в сети осуществлялось установленными трансформаторы тока нулевой последовательности, на которые было намотано по 5 витков компенсационной обмотки. Данные исследования подтвердили правильность принципов устройства защиты от замыканий фазы на землю.

Выводы

1. Проведен анализ причин неселективной работы защит от замыканий на землю в сетях собственных нужд ТЭС с изолированной нейтралью и выбраны направления совершенствования защиты, в которых за основу принята токовая защита с подмагничиванием направленного действия сердечника трансформатора тока нулевой последовательности с помощью дополнительной обмотки, подключенной к трансформатору напряжения.

2. Апробация защиты на ЭВМ и на физической модели подтвердили правильность принципов устройства защиты от замыканий фазы на землю.

Библиографический список

1. Назаров В.В. Защита электрических сетей от однофазных замыканий на землю – Киев «Либідь», 1992, 124 с.
2. Сивокобыленко В.Ф., Лебедев В.К., Ковязин А.В., Сердюков Р.П., Кряжок С.А., Гребенкин А.И., Зубенко В.В., Рябчук И.Э. Повышение надежности работы карьерных сетей при однофазных замыканиях на землю. – Наукові праці Донецького національного університету №9(158), 2009. ISSN 2074-2630.
3. Чернобровов Н.В. Релейная защита. – Москва «Энергия», 1971.