

ЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Гребченко Н.В. *Донецкий национальный технический университет, Украина*

Значительная часть повреждений в электрических сетях 6-10 кВ, особенно в узлах с электрическими двигателями, возникает в результате развития локальных дефектов изоляции. В связи с этим своевременное выявление дефектов позволяет предотвращать возникновение более тяжелых повреждений - коротких замыканий. Однако этот путь требует обеспечения высокой чувствительности средств контроля изоляции и защит от замыканий на землю, и в первую очередь – наиболее распространенных, принцип действия которых основан на анализе величины и фазы токов нулевой последовательности.

Зачастую защиты, реагирующие на установившееся значение тока нулевой последовательности, не имеют требуемой чувствительности не только при возникновении дефектов изоляции, но и при металлических замыканиях на землю. К основным причинам, обуславливающим низкую чувствительность защит, относятся следующие: изменение в большом диапазоне величины тока замыкания, вызываемого изменением конфигурации сети; относительно большой первичный ток срабатывания защиты из-за необходимости ее отстройки от броска емкостного тока при внешних замыканиях; техническое несовершенство используемых трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП) и токовых реле; снижение величины тока замыкания на землю при использовании режима компенсации емкостных токов.

В основном дефекты изоляции возникают вследствие ее старения, загрязнения или увлажнения. Такие явления обычно сопровождаются снижением активного сопротивления изоляции. С учетом этого требуемая чувствительность защиты по току может быть определена, например, из условия необходимости выявления такого дефекта изоляции, который сопровождается снижением сопротивления изоляции в месте дефекта до $R_D = 300$ кОм. Соответствующую этому дефекту величину тока нулевой последовательности для сети 6 кВ найдем следующим образом:

$$3I_0 \approx \frac{U_\phi}{R_D} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 300 \cdot 10^3} = 0,0121 \text{ А.}$$

Как видно, величина полученного тока значительно меньше тока срабатывания защит от замыканий на землю.

Одним из «классических» способов повышения чувствительности защит от замыканий на землю является выполнение защиты направленной, что позволяет не отстраивать ее от токов при внешних замыканиях. Но только обеспечение направленности защит не позволяет достичь требуемой чувствительности. Это объясняется следующим. Существующие ТТНП при первичных токах, появляющихся при возникновении дефектов изоляции, обеспечивают незначительный ток в реле, составляющий порядка 1-2 мА. К тому же токовые реле, предназначенные для защит от замыканий на землю, в лучшем случае имеют минимальный ток срабатывания 5 мА (защита от замыканий на землю в составе микропроцессорного устройства типа МРЗС-05). Таким образом, существующие ТТНП и токовые реле не могут обеспечить требуемую чувствительность защит от замыканий на землю. Например, опытные данные, приведенные на рис.1, подтверждают этот вывод. При первичном токе нулевой последовательности $3I_0 = 0,0121$ А в ТТНП типа ТЗЛМ, ток в реле I_p , подключенном к вторичной обмотке, составляет всего лишь десятые доли миллиампера.

Для разработки метода обеспечения требуемой чувствительности средств контроля изоляции выполнены исследования по определению возможных диапазонов изменения фазы и величины тока нулевой последовательности присоединения с дефектом изоляции, который приводит к снижению активного сопротивления изоляции. Расчеты проведены с помощью специальной математической модели сети 6-10 кВ, в которой учитываются параметры изоляции основных элементов сети. На рис. 2 и 3 приведены некоторые результаты исследований. В качестве объекта исследования рассмотрена схема электроснабжения группы цехов завода, питание которых осуществляется от трансформатора типа ТРНД-40. Для соединения нейтрали с землей через резистор или для подключения дугогасящей катушки используется трансформатор типа ТМ-560 –6/0,4, первичная обмотка которого соединена по схеме «звезда», а вторичная – «треугольник». Компенсация емкостных токов выполняется с помощью дугогасящей катушки типа РЗДПОМ-250/6.

Анализ полученных результатов показывает, что при изменении сопротивления дефекта изоляции в диапазоне от 20 до 300 кОм, величина первичного тока нулевой последовательности изменяется в диапазоне соответственно от 212 до 2,2 мА с учетом различных режимов нейтрали сети и различных величин собственной емкости контролируемых присоединений. Чем меньше величина собственной емкости присоединения, тем больше величина тока нулевой последовательности при прочих равных условиях. При этом принято, что сопротивление изоляции «здоровых» фаз присоединений составляет 1 МОм.

При однофазных металлических замыканиях на землю как и ожидалось ток нулевой последовательности всегда больше при соединении нейтрали с землей через резистор, чем в том случае, когда нейтраль изолирована от земли. Это соотношение не зависит от величины собственной емкости рассматриваемого присоединения.

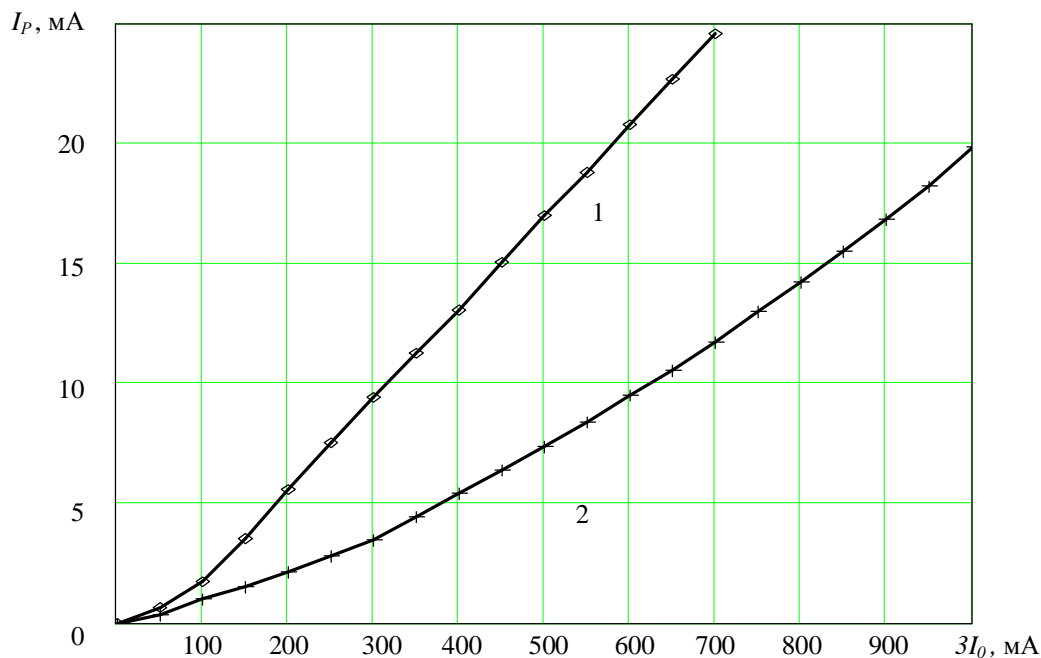


Рис. 1. Ток в реле I_p (1-РТЗ-51; 2-РТЗ-50, III-й диапазон), подключенного к вторичной обмотке трансформатора тока типа ТЗЛМ, в зависимости от первичного тока нулевой последовательности $3I_0$

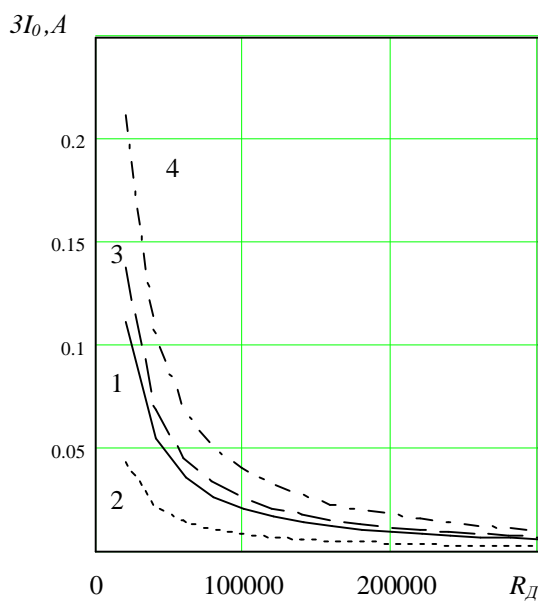


Рис.2. Величина тока нулевой последовательности $3I_0$ в зависимости от величины сопротивления локального дефекта изоляции R_d на присоединении с максимальной собственной емкостью: 1- в режиме сети с изолированной нейтралью; 2 - в режиме сети с компенсацией емкостных токов; 3 - в режиме сети с нейтралью, соединенной с землей через активный резистор; 4 – на присоединении с минимальной собственной емкостью в режиме сети с изолированной нейтралью.

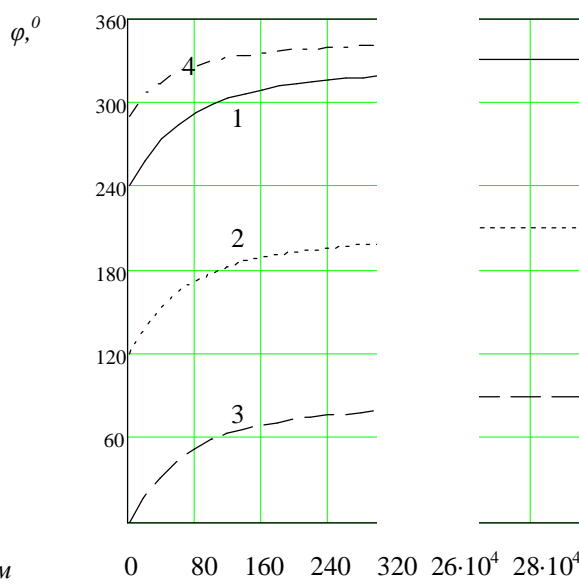


Рис.3. Величина угла φ между током нулевой последовательности и линейным напряжением U_{AB} в зависимости от сопротивления в месте дефекта изоляции R_d контролируемого присоединения с минимальной емкостью: 1,2,3 - соответственно при дефекте в фазе А, В, С в режиме работы с изолированной нейтралью; 4 – при дефекте в фазе А в режиме работы с нейтралью, соединенной с землей через резистор 100 Ом

сопротивление при принятых параметрах схемы электроснабжения влияние режима работы нейтрали

неоднозначно сказывается на величине тока нулевой последовательности. Для присоединения с максимальной собственной емкостью соединение нейтрали с землей через резистор в 100 Ом приводит к увеличению токов нулевой последовательности (кривые 1 и 3 на рис.2). Напротив, для присоединения с минимальной собственной емкостью такое соединение нейтрали приводит к снижению токов нулевой последовательности по сравнению с режимом изолированной нейтрали.

Величина угла φ между током нулевой последовательности и линейным напряжением U_{AB} при возникновении дефекта изоляции на контролируемом присоединении (рис.3) зависит от величины сопротивления в месте дефекта изоляции R_d , а также от режима нейтрали сети и параметров оборудования, включенного между нейтралью и землей. При этом определено, что диапазон изменения угла φ не превышает 90° при моделировании дефекта и изменении его параметров в одной из фаз. Угловой сдвиг между указанными диапазонами, которые соответствуют дефектам в фазах А,В и С составляет 120° . В случае возникновения дефектов изоляции во внешней сети по отношению к рассматриваемому присоединению диапазоны изменения угла φ сдвигаются на 180° по отношению к диапазонам, которые соответствуют дефектам изоляции в фазах А,В и С на контролируемом присоединении. Таким образом видно, что в общем случае некоторая часть диапазонов угла φ соответствует одновременно дефекту изоляции в одной из фаз контролируемого присоединения и дефекту изоляции в другой фазе во внешней сети, т.е. в этой общей области невозможно однозначно определить место возникновения дефекта.

Для обеспечения чувствительности защиты к дефектам изоляции с большим сопротивлением в месте дефекта предложено в обычных ТТНП использовать дополнительную магнитодвижущую силу (м.д.с.), частота которой отличается от частоты сети [1,2]. Благодаря этому обеспечивается наибольшее изменение величины вторичного тока ТТНП при возникновении дефектов изоляции независимо от типа используемого токового порогового органа, т.е. переход на более крутой участок характеристики (рис.1). Кроме того, использование такой дополнительной м.д.с. позволило выполнить защиту централизованной и направленной без применения традиционных органов направления мощности на каждом присоединении. Это преимущество будет не столь ощутимо только относительно реализации контроля направления тока нулевой последовательности в виде программы в специально разработанной для этой цели микропроцессорной защите. Защита выявляет не только присоединение, имеющее дефект изоляции, но и фазу присоединения, в которой возник дефект. В ней используется один общий для всех присоединений фазочувствительный блок. Защита имеет две ступени: первая - чувствительная к дефектам изоляции, действующая на сигнал при возникновении дефектов изоляции в начальной стадии и поэтому выполняющая по сути непрерывное диагностирование; вторая - чувствительная защита от замыканий на землю. Соответствующий выбор уставок защиты позволяет применять ее в сети с любым режимом нейтрали, в том числе и при использовании режима компенсации емкостных токов.

На рис.4 приведена структурная схема централизованной двухступенчатой направленной защиты от замыканий на землю, первая ступень которой выполняет диагностирование (ЦДЗЗ). Для каждого присоединения (кабель-двигатель, кабель-трансформатор и т.д.), которое питается от одной секции или системы сборных шин, в ЦДЗЗ предусматривается токовый пороговый (ПО), сигнальный и выходной органы. Общим для всех присоединений является фазочувствительный орган с указателями фазы, в которой возник дефект изоляции или замыкание на землю. Для обеспечения работы двух ступеней ЦДЗЗ в специальные обмотки ТТНП всех присоединений от генератора тока подается ток, частота которого несколько отличается от частоты сети. В трансформаторах тока типа ТЗЛК-05.1 такие обмотки предусмотрены для проверки действия защит. Для других типов ТТНП, не имеющих таких обмоток, они дополнительно наматываются с числом 5-10 витков.

Угловые зоны действия фазочувствительного органа выбраны так, чтобы один из первой группы трех указателей срабатывал при возникновении дефектов изоляции и один из другой группы трех указателей срабатывал при возникновении замыкания на землю. Дефекты изоляции и замыкания определяются в зависимости от величины тока нулевой последовательности и соответствующие им угловые зоны сдвинуты относительно друг друга. Угловая зона действия каждого указателя составляет 60° . Таким образом, в фазочувствительном органе весь диапазон углов φ от 0 до 360° разбит на шесть чередующихся секторов по 60° : за сектором разрешающим срабатывание следует сектор не разрешающий срабатывание. В соответствии с этой очередностью, независимо от наличия дефектов изоляции, на выходах указателей периодически появляются разрешающие сигналы. Срабатывание выходного или сигнального органа происходит на том присоединении, момент срабатывания токового порогового органа которого совпал наличием разрешающего сигнала фазочувствительного органа. Синхронизация работы фазочувствительного и пороговых органов осуществляется за счет того, что в них дополнительный ток генератора выполняет функцию опорного тока.

На рис. 4. приведены временные диаграммы работы ЦДЗЗ при возникновении дефекта изоляции в фазе А на контролируемом присоединении или вне контролируемого присоединения. Величина тока нулевой последовательности $3I_0$ присоединения (рис.4) постепенно увеличивается, что обусловлено развитием дефекта изоляции. Для наглядности показана большая скорость нарастания тока $3I_0$. Превышение током заданного значения на поврежденном присоединении происходит в тот момент времени,

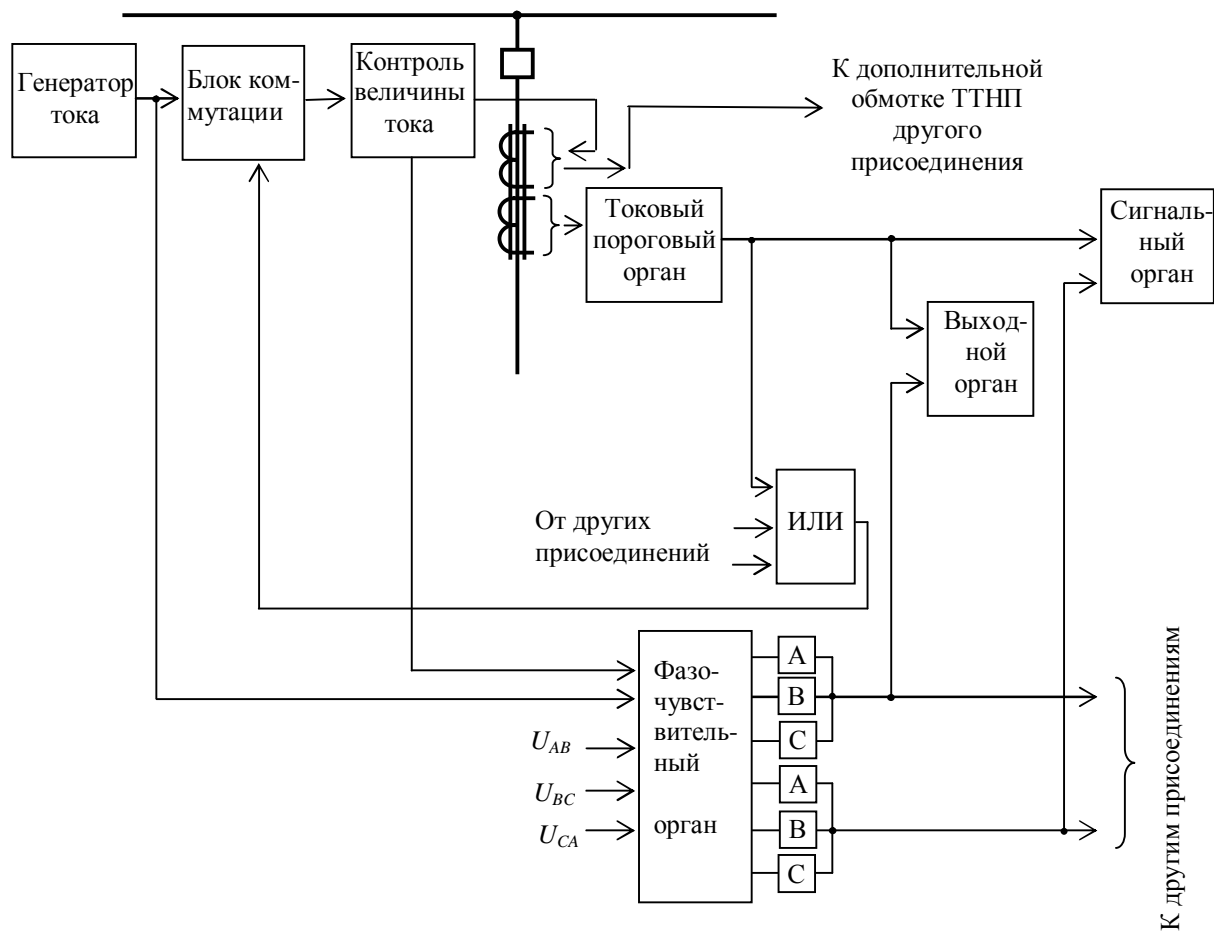


Рис.4. Структурная схема централизованной двухступенчатой направленной защиты от замыканий на землю, первая ступень которой выполняет диагностирование (ЦДЗЗ).

когда на выходе указателя фазы А фазочувствительного органа присутствует разрешающий сигнал и поэтому происходит срабатывание сигнального органа. Кроме того, токовый пороговый орган подает сигнал на блок коммутации для снижения величины тока генератора. Если после этого пороговый орган вновь срабатывает, то это свидетельствует о большом токе нулевой последовательности, а значит о возникновении замыкания на землю. В этом случае ПО срабатывает в тот момент времени, когда имеется разрешающий сигнал на выходе второго указателя фазы А, а поэтому срабатывает выходной орган на присоединении с замыканием на землю. Срабатывание токовых пусковых органов других присоединений также может происходить. Но они срабатывают в те моменты времени, когда отсутствуют разрешающие сигналы на выходах указателей фаз.

Пороговые значения токов срабатывания I-й и II-й ступеней выбираются из условия отстройки от максимальных значений токов соответственно при внешних дефектах изоляции или замыканиях на землю с учетом наличия дополнительной м.д.с.

Коэффициент чувствительности I-й ступени ЦДЗЗ при возникновении дефекта изоляции с сопротивлением $R_{Д}$:

$$\kappa_{ч} = \frac{1}{\kappa_{н}} \cdot \frac{R_{Д \text{ мин}}}{R_{Д}} \cdot \frac{C_{S \text{ мин}}}{C_{собр}} \sqrt{1 + \left(\frac{C_{собр}}{C_{S \text{ макс}}} \right)^2},$$

где $R_{Д \text{ мин}}$ – минимальное сопротивление дефекта изоляции, при котором еще должна работать I-я ступень

ЦДЗЗ, задается или определяется по выражению $R_{Д} = \frac{U_{\phi}}{w C_{S} 3U_0}$ при $C_{S \text{ макс}}$ и напряжении $3U_0$,

соответствующем $R_{Д \text{ мин}}$; $C_{S \text{ мин}}$ и $C_{S \text{ макс}}$ – соответственно минимальное и максимальное значение емкости фазы сети относительно земли.

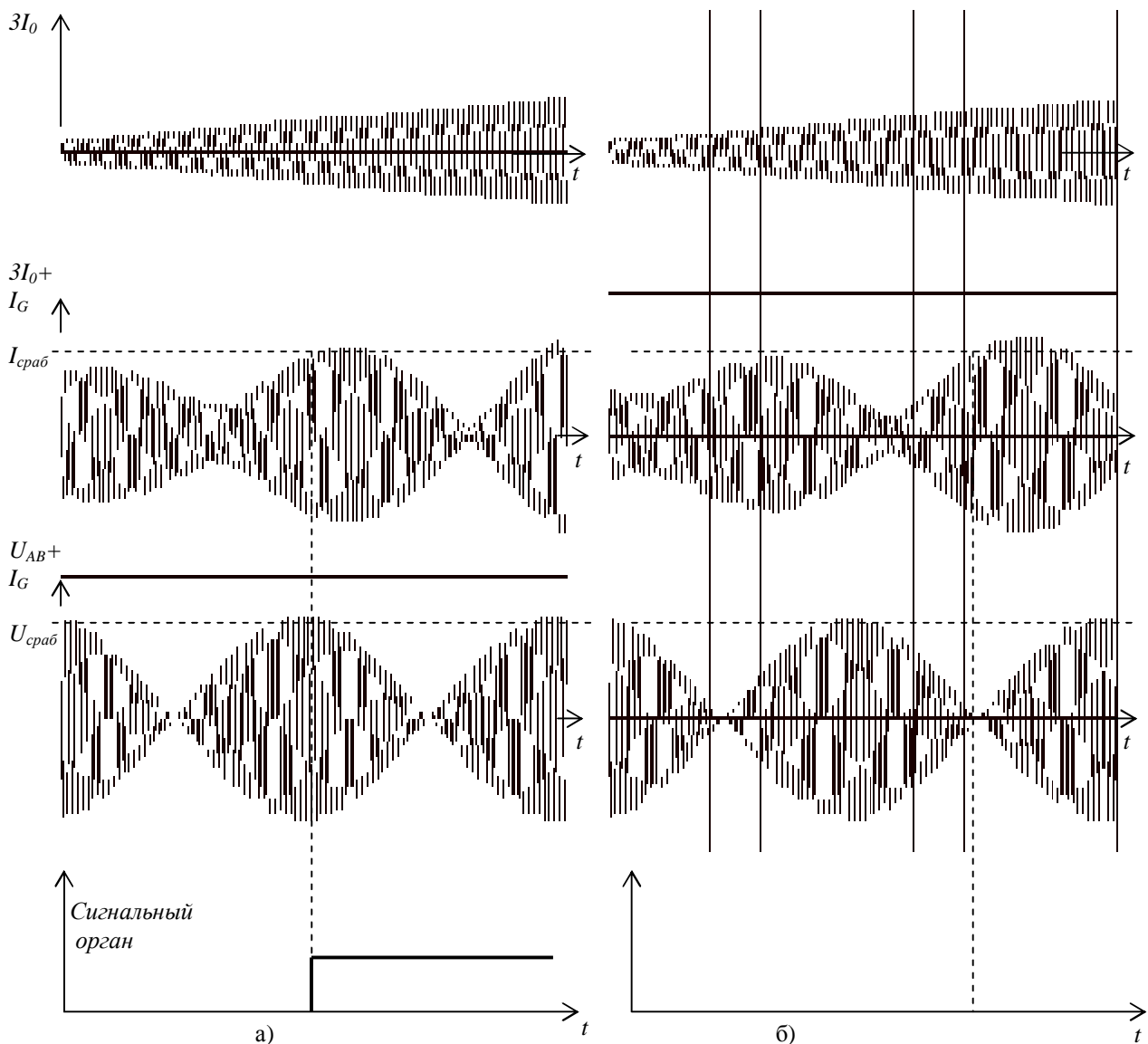


Рис. 4. Временные диаграммы работы ЦДЗЗ при возникновении дефекта изоляции в фазе А: а) – на контролируемом присоединении; б) – вне контролируемого присоединения.

Из-за высокой чувствительности ЦДЗЗ требуется выполнение соответствующих мероприятий по обеспечению ее помехоустойчивости.

Ненаправленный вариант защиты прошел испытания в промышленных условиях, а для направленного варианта проведены лабораторные испытания.

Выводы:

1. Предотвращение развития аварий за счет своевременного выявления дефектов электрической изоляции на ранней стадии развития следует считать одним из приоритетных путей развития современных технологий управления узлами электрических систем с двигателями 6-10 кВ.

2. Рассмотренная диагностирующая защита от замыканий на землю позволяет контролировать состояние изоляции кабелей и обмоток статора электродвигателей в рабочих режимах. Отличительной особенностью защиты является возможность ее использования независимо от режима нейтрали сети (изолированная, компенсированная, соединенная с землей через активное сопротивление).

3. Требуемая чувствительность ЦДЗЗ защиты обеспечивается за счет использования дополнительного магнитного потока в обычных стандартных трансформаторах тока нулевой последовательности, а также за счет обеспечения направленности действия защиты. Величина дополнительного магнитного потока для микропроцессорных защит выбирается из условия обеспечения

наибольшего изменения вторичного тока ТТНП при минимальном дефекте изоляции или для реле тока типа РТЗ-51 – из условия обеспечения его действия при минимальном дефекте изоляции.

4. Новый принцип обеспечения направленности действия двух ступеней защиты основан на фиксации во времени момента превышения заданного значения суммой тока нулевой последовательности и дополнительного тока, частота которого отличается от частоты сети. Этот же принцип позволяет выявлять фазу присоединения, в которой возник дефект изоляции или замыкание на землю.

Принцип выгодно отличается от известных тем, что в нем используется линейное напряжение, величина которого не изменяется при замыканиях на землю, а также то, что фазочувствительный орган выполняется общим для всех присоединений секции потребителя независимо от количества присоединений.

Литература

1. Патент №34689 Украина. МКИ G01N 27/00, G01R 31/00. Пристрій автоматичного контролю ізоляції електричної мережі змінного струму / Н.В.Гребченко. Бюл.№2, 2003. (приоритет от 16.02.1999)
2. Патент №47151А Украина. МКИ G01N 27/00. Пристрій безперервного автоматичного контролю ізоляції електричного обладнання змінного струму / Н.В.Гребченко. Бюл. №6, 2002. (приоритет от 07.08.2001).