

РАСПОЗНАВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ЗА ТРАНСФОРМАТОРАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В.В. Нагай

Южно-Российский государственный технический университет

(Новочеркасский политехнический институт)

nagay@pwr.srstu.novoch.ru или nagay@novoch.ru

Variation range of unsymmetrical (biphase) short circuit by tapping stations and feedthrough substations transformers with "star-triangle" and "star-star" group reference malfunction have been defined. This short circuits recognition possibility have been shown depending on protected transformer group reference by remote backup protection placed at side of feeding substations.

Ответвительные и проходные подстанции, выполненные по упрощенным первичным и вторичным схемам, нашли широкое распространение в распределительных сетях напряжением 6–110 кВ. Сокращение затрат на этапе их сооружения по сравнению с подстанциями с высоковольтными выключателями и системой постоянного оперативного тока приводит к необходимости применения в процессе эксплуатации системы резервирования с высоким техническим совершенством, обеспечивающей требуемую чувствительность. Система ближнего резервирования на подстанциях с отделителями и короткозамыкателями не позволяет полностью решить проблему их надежного отключения при коротких замыканиях (КЗ) в трансформаторе или на сторонах среднего и низшего напряжения из-за возможного отказа указанных коммутационных аппаратов и поэтому наряду с ней со стороны питающих подстанций необходима установка защиты дальнего резервирования, обладающей высокой чувствительностью к указанным видам повреждений. Решение данной задачи нередко затруднено из-за сложности распознавания аварийных режимов на фоне максимальных нагрузочных режимов и, особенно, с наложением на них режимов пуска (самопуска) высоковольтных электродвигателей [1,2].

Одним из видов коротких замыканий, возникающих на рассматриваемых подстанциях являются двухфазные короткие замыкания. При этом существующий подход к построению релейной защиты дальнего резервирования, как правило, не учитывает влияние групп соединения обмоток трансформаторов на модули и аргументы токов КЗ, что существенным образом сужает возможность распознавания данных режимов. Известно [3], что составляющие прямой и обратной последовательности по разному преобразуются при переходе со стороны обмоток трансформатора, соединенных в «треугольник» и «звезда», что и учитывается при выборе параметров и проверке чувствительности релейной защиты подстанций. Однако влияние нагрузки, как правило, при этом не учитывается, что неприемлемо для резервных защит, когда модули токов КЗ сопоставимы с токами нагрузки. Поэтому в данной работе рассматривается влияние нагрузки на токи двухфазного КЗ за трансформаторами с группами соединений обмоток «звезда-треугольник» и «звезда-звезда». Это выполнено на примере одиночной транзитной ВЛ с двумя трансформаторами $T1$, $T2$ на ответвлениях ВЛ $W1$, $W2$, $W3$ (рис.1). При моделировании режимов данной распределительной сети были приняты допущения: сопротивления прямой и обратной последовательностей равны; падение напряжения на столбе дуги не превышает 30% от номинального напряжения стороны низшего напряжения, изменение сопротивления нагрузки при КЗ не учитывалось.

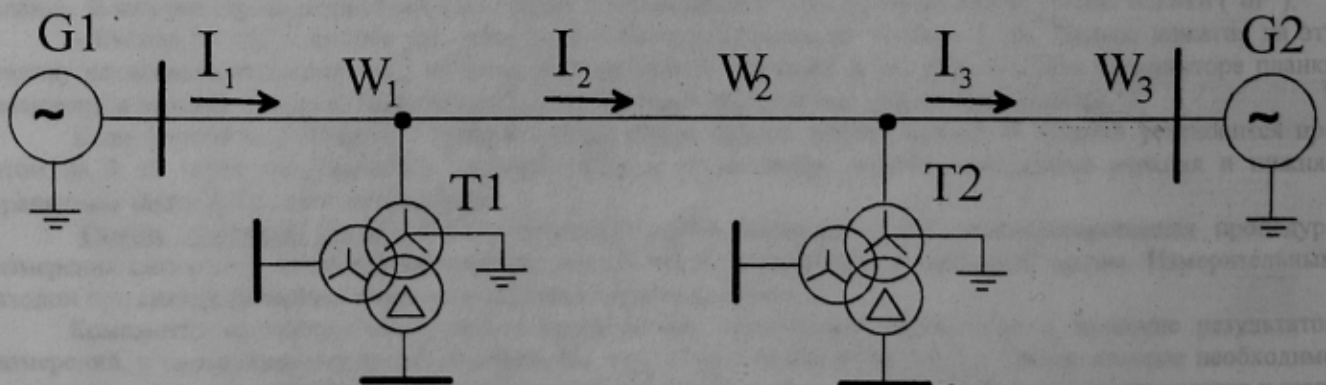


Рис.1. Поясняющая схема защищаемой сети

Токи прямой и обратной последовательности для передающей $G1$ (l) и приемной $G2$ (r) систем для особой фазы можно определить:

$$I_{r2} = -U_2 \frac{-Z_2 Z_5 + Z_3 Z_5 - Z_4^2}{-Z_2^2 Z_5 + Z_1 Z_3 Z_5 - Z_1 Z_4^2} \beta_2,$$

$$I_{r2} = -U_2 \frac{Z_2 Z_4 + Z_1 Z_3 Z_5}{-Z_2^2 Z_5 + Z_1 Z_3 Z_5 - Z_1 Z_4^2} \beta_2,$$

$$I_{r1} = -\frac{\dot{E}_r Z_2 Z_4 + \dot{U}_1 (-Z_2 Z_5 + Z_3 Z_5 - Z_4^2) + \dot{E}_t (-Z_3 Z_5 + Z_4^2)}{-Z_2^2 Z_5 + Z_1 Z_3 Z_5 - Z_1 Z_4^2} \beta_1,$$

$$I_{r1} = \frac{\dot{E}_r (Z_2^2 - Z_1 Z_3) + \dot{U}_1 (-Z_2 Z_4 + Z_1 Z_4) + \dot{E}_t Z_2 Z_4}{-Z_2^2 Z_5 + Z_1 Z_3 Z_5 - Z_1 Z_4^2} \beta_1,$$

где $Z_1 = Z_t + Z_{w1} + Z_{r1}$; $Z_2 = Z_{r1}$; $Z_3 = Z_{r1} + Z_{r2} + Z_{ng2} + Z_{w2}$; $Z_4 = Z_{r2} + Z_{ng2}$,
 $Z_5 = Z_r + Z_{r2} + Z_{ng2} + Z_{w3}$; Z_t , Z_r , Z_{r1} , Z_{r2} , Z_{ng2} , Z_{w1} , Z_{w2} , Z_{w3} – сопротивления передающей и приемной системы, первого и второго трансформаторов, нагрузки второго трансформатора, первого, второго и третьего участка линий; $\beta_1 = e^{-j30^\circ}$ и $\beta_2 = e^{j30^\circ}$ для групп соединения обмоток НН трансформатора «треугольник» и $\beta_1 = \beta_2 = 1$ соответственно «звезда».

Анализ модулей и аргументов токов прямой и обратной последовательностей показывает существенную зависимость последних от группы соединений обмоток трансформаторов и токов нагрузки в предшествующем режиме, что и получило отражение на рис.2, где представлены зависимости аргументов токов прямой и обратной последовательностей всех трех фаз для подстанций со стороны передающей (рис.2,а) и приемной системы (рис.2,б). При этом за базовый ток принят ток металлического трехфазного КЗ за рассматриваемым трансформатором Т1 меньшей мощности, сопротивления элементов схемы замещения прямой и обратной последовательностей приняты одинаковыми и равными $Z_t = 5e^{j85^\circ}$ Ом, $Z_r = 2e^{j85^\circ}$ Ом, $Z_{r1} = 225e^{j85^\circ}$ Ом, $Z_{r2} = 52e^{j85^\circ}$ Ом, $Z_{ng2} = 520e^{j30^\circ}$ Ом, $Z_{w1} = 5e^{j65^\circ}$ Ом, $Z_{w2} = 5e^{j65^\circ}$ Ом, $Z_{w3} = 10e^{j65^\circ}$ Ом. Переток мощности между системами составлял от нуля до $20S_{r1}$, где S_{r1} – мощность защищаемого трансформатора Т1.

На основе анализа зависимостей аргументов токов (рис.2) при двухфазных коротких замыканиях за трансформаторами с различными группами соединений можно сделать заключение, что возможно распознавание несимметричных КЗ за трансформаторами с группой соединения «звезда-треугольник», т.к. удается выполнить разделение областей существования подобных режимов за трансформаторами с группами соединений «звезда-звезда». Распознавание подобных режимов позволяет снизить выдержки времени и повысить чувствительность защиты дальнего резервирования. Наиболее трудно идентифицировать рассматриваемый режим на приемной стороне воздушной линии с ответвлениями.

Реализация алгоритмов распознавания режимов двухфазных КЗ за трансформаторами по фазовым соотношениям токов прямой и обратной последовательности предполагает их выделение во всех трех фазах и определение особой фазы (неповрежденной фазы в данном случае). Выявление междофазных коротких замыканий обеспечивается контролем токов обратной последовательности и одновременным отсутствием токов нулевой последовательности, что позволяет не учитывать удаленные однофазные КЗ в смежной сети. Выбор поврежденных фаз осуществляется не только за счет контроля аргументов токов прямой и обратной последовательности, но и модулей и аргументов фазных токов и сопротивлений. При этом более предпочтительным является контроль приращений токов и сопротивлений [4], т.к. при этом контролируемые входные сигналы менее подвержены влиянию токов нагрузки предшествующего режима. Входные сигналы органов приращений модуле и аргументов токов и сопротивлений формируются в виде:

$$\Delta I = |\dot{I}_{K3} - \dot{I}_{нг}|,$$

$$\Delta I_m = |\dot{I}_{K3}| - |\dot{I}_{нг}|,$$

$$\Delta \varphi = \varphi_{K3} - \varphi_{нг},$$

$$\Delta Z = \dot{U} / (\dot{I}_{K3} - \dot{I}_{нг}),$$

где ΔI , ΔI_m , $\Delta \varphi$, ΔZ – геометрическая и арифметическая разности токов в аварийном режиме (КЗ) и нагрузочном режиме, их аргументов и сопротивлений соответственно.

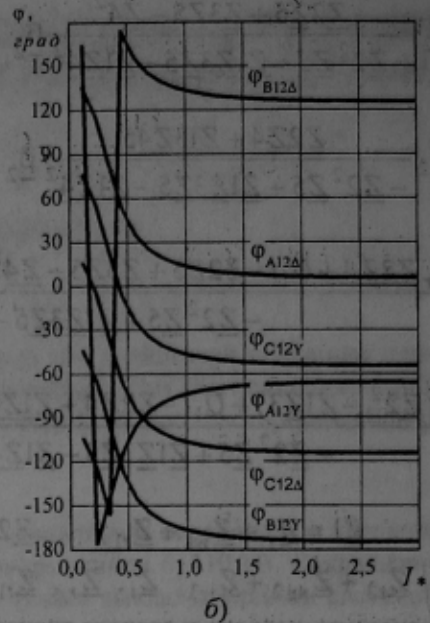
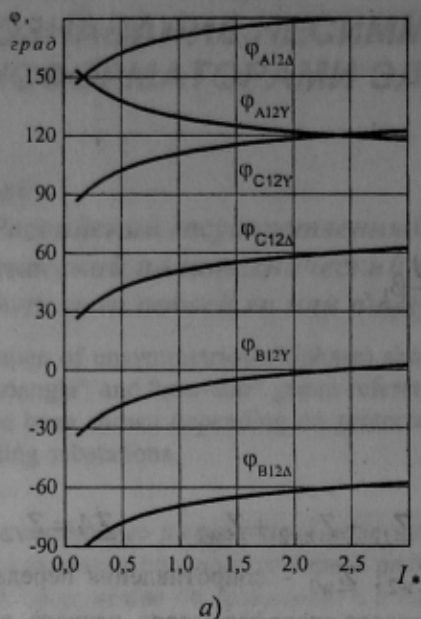


Рисунок 2 – Зависимости аргументов токов прямой и обратной последовательностей фаз А, В, С для передающей (а) и приемной (б) энергосистем

Зависимости приращений модулей, аргументов токов и сопротивлений приведены на рис.3 для групп соединения обмоток трансформатора «звезда–звезда». Подобные зависимости получены и для групп соединения обмоток трансформатора «звезда–треугольник» при моделировании двухфазных КЗ. На рис.3 приняты следующие обозначения: ΔI_{a*} , ΔI_{b*} , ΔI_{c*} , ΔI_{am*} , ΔI_{bm*} , ΔI_{cm*} – геометрическая и арифметическая разность токов фаз А, В, С со стороны питающей системы; ΔZ_{ab*} , ΔZ_{bc*} , ΔZ_{ca*} , Z_{ab*} , Z_{bc*} , Z_{ca*} , φ_{ab*} , φ_{bc*} , φ_{ca*} , $\Delta\varphi_{ab*}$, $\Delta\varphi_{bc*}$, $\Delta\varphi_{ca*}$ – модули и аргументы входных сопротивлений дистанционных органов, включенных на разность токов и междуфазные напряжения и контролирурующие полные величины и их разность.

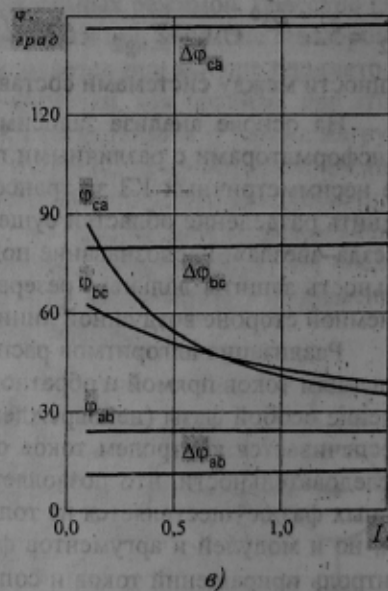
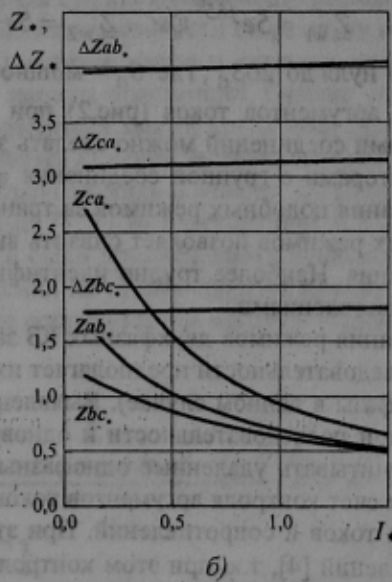
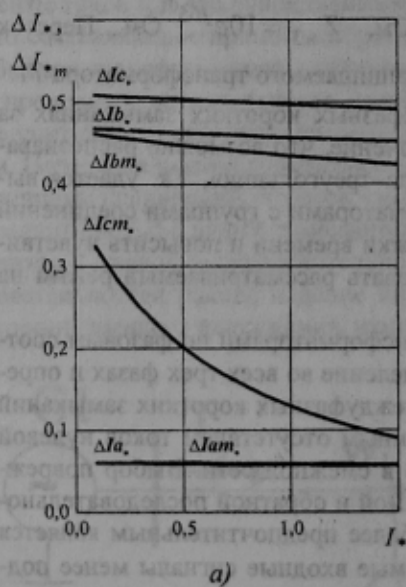


Рисунок 3 – Зависимости модулей и аргументов токов и сопротивлений измерительных органов, контролирующих полные величины и их приращения

Токи и сопротивления приведены к току КЗ за защищаемым трансформатором и его сопротивлению соответственно. Погрешность измерения приращений токов, а именно геометрической и арифметической разности во всем диапазоне токов нагрузки не превышает 4,0% и 10,0% соответственно (исключением является одна из поврежденных фаз, когда арифметическое приращение тока может составлять десятки раз, что особенно проявляется при работе ВЛ в режиме близком к холостому ходу). Меньшая погрешность, не превышающая 3,0%, достигается при использовании в качестве измерительных органов – дистанционных органов.

Подобные подходы при построении релейной защиты дальнего резервирования трансформаторов ответвительных подстанций реализованы в ЮРГТУ(НПИ) [5,6] в микропроцессорной защите типа КЕДР-07.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Нагай В.И. Релейная защита ответвительных подстанций электрических сетей. – Энергоатомиздат, 2002. – 312 с.
- 2 Совершенствование направленных максимально-токовых защит для дальнего резервирования радиальных воздушных линий с трансформаторами на ответвлениях.// В.И. Нагай, К.В. Чижов, С.В. Сарры, М.М. Котлов, Ольшанский Г.Г. – Электрические станции.– 1998. №11. С.39-43.
- 3 Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. Учебник для электротехнических и энергетических вузов. – М.: Энергия, 1970. – 520 с.
- 4 Нагай В.В., Нагай В.И. О стабильности контролируемых параметров дистанционных и токовых измерительных органов резервных защит линий// Современные энергетические системы и комплексы и управление ими: Материалы международной науч.-практ. конф., Новочеркасск, 15 июля 2001 г.: В 3 ч./ Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: УПЦ «НАБЛА» ЮРГТУ(НПИ), 2001. – Ч.2. – С.35-37.
- 5 Патент 2162269 РФ. М.кл. НО2Н 7/22, НО2Н 3/08. Устройство резервной защиты линии с трансформаторами на ответвлениях.// В.И. Нагай, К.В. Чижов, С.В. Сарры С.В., В.В. Нагай.- Заявл. 20.08.98; Оpubл. 20.01.2001, Бюл. № 2.
- 6 Свидетельство на полезную модель №9099, М. кл. НО2Н 3/08.-Устройство адаптивной резервной защиты радиальной линии с ответвлениями/ В.И. Нагай, С.В. Сарры, К.В. Чижов, М.М. Котлов Оpubл. 16.01.99, Бюл. № 1.

Рекомендовано д.т.н. проф.. Сивокобыленко В.Ф.