

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЛОКИРОВКИ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ БРОСКАХ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ

Романюк Ф.А. – Член-корреспондент НАН Беларуси, д.т.н., профессор,
Румянцев В.Ю. – к.т.н., доцент,
Дерюгина Е.А. – к.т.н.,
Булойчик Е.В. – к.т.н., доцент,
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

В электроустановках с трансформаторами при включении их под напряжение без нагрузки, а также в других случаях изменения режима их работы возникают броски тока намагничивания (БТН), что может приводить к ложному срабатыванию токовой защиты электроустановки. Исключить неправильные действия защиты возможно путем ее загробления, что повлечет снижение чувствительности к коротким замыканиям (КЗ), либо блокированием на время существования БТН, которое является широко используемым практическим мероприятием.

Принцип действия блокировки основывается на том, что в трехфазной системе в нормальном режиме и при симметричных КЗ содержащиеся в фазных токах первые гармоники образуют прямую последовательность, а вторые гармоники – обратную. При возникновении несимметричного режима, в том числе несимметричного КЗ, появляется обратная последовательность, образованная содержащимися в токах фаз указанной системы первыми гармониками. Для режимов БТН характерно возникновение обратной последовательности из-за наличия в фазных токах системы вторых гармоник значительной величины.

В блокировке исполнительная команда вырабатывается при положительном результате сравнения вычисляемого параметра блокировки p_n с задаваемой уставкой срабатывания $k_{бл}$ [1]. При этом параметр блокировки может определяться как отношение амплитуды тока второй гармоники обратной последовательности к амплитуде тока первой гармоники прямой последовательности (p_1) или к наибольшему из значений амплитуд первых гармоник фазных токов (p_2), или к среднему значению амплитуд первых гармоник фазных токов (p_3).

В основу оценки работоспособности и эффективности функционирования предложенной блокировки положен сравнительный анализ изменений p_1, p_2, p_3 в режимах БТН и КЗ в электроустановке.

Исследовано функционирование блокировки в различных режимах работы электроустановок с трансформаторами ТДН-16000/110 с помощью разработанных программных средств, реализованных в среде динамического моделирования Matlab-Simulink.

Результаты исследования режима включения ненагруженного трансформатора под напряжение с нулевой фазой включения представлены на рис. 1. В этом режиме возникает наибольшая амплитуда БТН и относительно большая постоянная времени затухания (рис. 1, а). Параметры блокировки p_1, p_2, p_3 имеют одинаковый характер изменения, но отличаются по уровню. Для начального периода возникновения БТН характерно наличие выбросов значений p_1, p_2, p_3 . Это обусловлено использованием информации как о токах предшествующего режима, так и режима включения, что порождает динамическую погрешность определения параметров блокировки. При этом, выбросы p_1, p_2, p_3 не приводят к несрабатыванию блокировки.

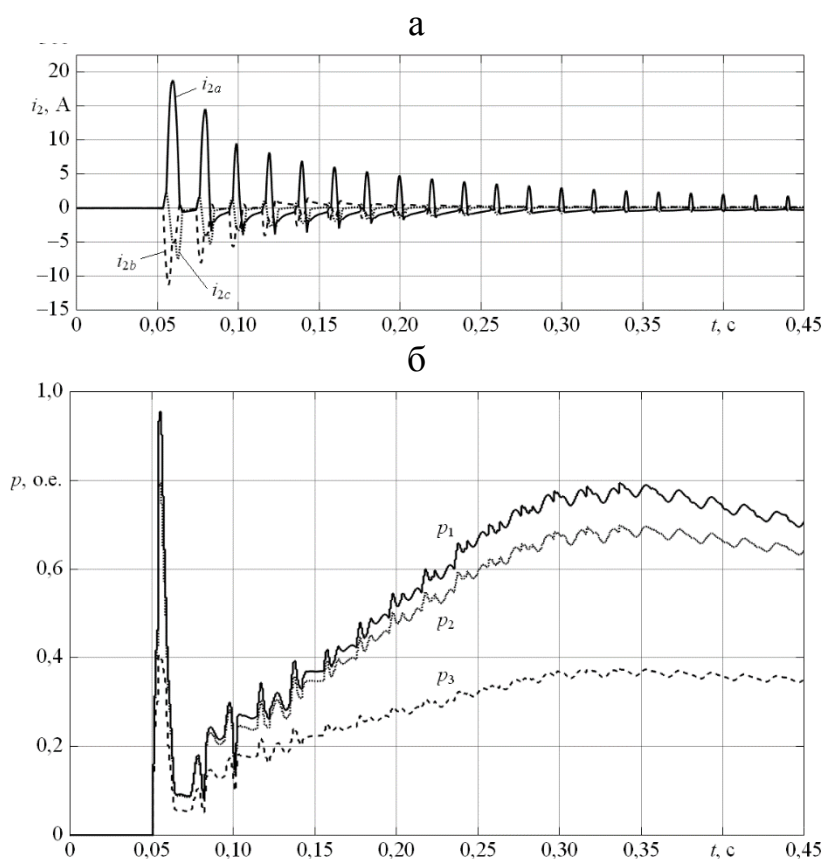


Рисунок 1 – Вторичные i_2 (а) токи и параметры блокировки (б) при включении ненагруженного трансформатора под напряжение

После выбросов p_1, p_2, p_3 имеют место выраженные их минимумы, которые определяют наименьшую чувствительность блокировки (рис. 1, б). Текущее значение коэффициента чувствительности, рассчитываемое как отношение параметра блокировки p_1, p_2, p_3 к уставке срабатывания $k_{\text{бл}}$, при неизменной величине последней будет тем выше, чем больше p_n .

Исследования режима включения ненагруженного трансформатора под напряжение при других, отличающихся от нулевой, фазах включения показало, что характер изменения p_1, p_2, p_3 близок к приведенным на рис. 1, б зависимостям, а отклонения их численных значений не являются критичными.

Для режимов КЗ в электроустановке и восстановления напряжения после отключения внешних повреждений исследовалось поведение блокировки при возникновении и отключении симметричных и несимметричных КЗ при наличии и отсутствии в токах апериодических составляющих с учетом степени насыщения трансформаторов тока (ТТ).

При КЗ всех видов с апериодическими составляющими в токах и без них независимо от степени насыщения ТТ параметры блокировки p_1 , p_2 , p_3 спустя один-два периода промышленной частоты становятся равными нулю или имеют несущественные значения, что создает условия для несрабатывающего состояния блокировки и обеспечивается возможность для действия защиты.

В начальный период КЗ всех видов в электроустановке имеют место выбросы параметров блокировки p_1 , p_2 , p_3 , которые с течением времени снижаются до нулевых или несущественных значений. При работе электроустановки до КЗ в нагрузочном режиме эти выбросы значительно меньше как по уровню, так и по длительности. Это приводит к кратковременному срабатыванию блокировки и вносит замедление в действие защиты, составляющее один-два периода промышленной частоты. Следует отметить, что применительно к токовой защите это не следует рассматривать как существенный недостаток.

Причина появления выбросов p_1 , p_2 , p_3 в начальный период возникновения и отключения КЗ та же, что и при включении ненагруженного трансформатора под напряжение. Снижение уровней и длительностей выбросов параметров блокировки может быть достигнуто за счет повышения быстродействия цифровых частотных фильтров путем реализации мероприятий программного характера.

Предложенная реализация блокировки токовой защиты обеспечивает приемлемую идентификацию режимов БТН и КЗ в электроустановках с трансформаторами. Анализ изменения параметров блокировки в различных режимах дает основание для выбора уставки ее срабатывания $k_{\text{бл}}$ в диапазоне 0,05–0,1, что в 1,5–3 раза ниже чем в классической блокировке, основанной на оценке отношения второй и первой гармоник токов фаз.

Вывод

Проведенные методом вычислительного эксперимента исследования подтвердили принципиальную работоспособность предложенной блокировки токовой защиты электроустановок с трансформаторами, которая обеспечивает достоверную идентификацию БТН и КЗ вне зависимости от степени насыщения трансформаторов тока.

Список литературы

1. Романюк, Ф. А. Принципы выполнения блокировки токовой защиты электроустановок с силовыми трансформаторами / Ф. А. Романюк, А. Г. Сапожникова // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2017. Т. 60. № 2. С. 101–107. – Режим доступа: <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2017-60-2-101-107>.