



PS1 – Poster-13



О характеристиках входных сигналов защит электродвигателя переменного тока в переходных и установившихся режимах его работы

Н.Н. КУРГУЗОВ¹, Л.И. КУРГУЗОВА¹, М.Н. КУРГУЗОВА², Е.В. НИКОЛЬСКИЙ²
Павлодарский государственный университет¹,
ТОО «Электротехнический проектный институт «ТЭЛПРО»²
Казахстан
nic2_1950@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Электродвигатель, защита, режим работы, входной сигнал, устойчивость функционирования.

1 ВВЕДЕНИЕ

Действующие Правила устройства электроустановок (ПУЭ) регламентируют для защиты обмотки статора электродвигателя (ЭД) переменного тока напряжением выше 1 кВ от многофазных коротких замыканий (КЗ) установку только токовых защит, выполненных в виде токовых отсечек или продольных дифференциальных токовых защит (ДЗ). Использование релейных защит (РЗ), реализующих иные принципы и алгоритмы функционирования, а также установка резервных защит на ЭД, в том числе большой мощности, действующими нормативными документами в настоящее время не предусматривается (несмотря на широкие возможности цифровой техники в практической реализации любого алгоритма функционирования РЗ).

Отрадно отметить, что на практике производители микропроцессорных РЗ (МПРЗ) продвигаются вперед, предлагая, например, расширение функциональных возможностей регламентируемых ПУЭ токовых защит. Так, например, НТЦ «Механотроника» в своих терминалах цифровых защит для ЭД напряжением 6-10 кВ серии БМРЗ-ДА предоставляют возможность пользователям цифровых защит выполнять ступени токовых защит ЭД направленными. Использование же устройств РЗ для защиты обмотки статора ЭД от многофазных КЗ, реализующих иные алгоритмы, не предусматривается. Авторы полагают, что в цифровых терминалах защит ЭД целесообразна реализация и некоторых других алгоритмов выявления внутренних КЗ в ЭД, например, с помощью устройств дистанционной защиты.

Как и любые другие аппараты, традиционно применяемые в схемах РЗ электромагнитные трансформаторы тока (ТТ) и трансформаторы напряжения (ТН) вносят погрешности в измеряемые сигналы, оказывающие определенное влияние на работу РЗ даже при их незначительных и допустимых значениях [1].

В процессе прохождения первичных сигналов РЗ через электромагнитные ТТ, являющиеся [2] ключевыми элементами трактов преобразования этих сигналов, последние могут существенно искажаться как по величине, так и по фазе. Настоящая работа посвящена исследованию характеристик упомянутых сигналов устройств РЗ обмотки статора ЭД напряжением выше 1 кВ в переходных и установившихся режимах их работы, поскольку искажения этих сигналов могут оказывать существенное влияние на устойчивость функционирования РЗ.

2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При оценке поведения устройств РЗ, а также при проведении необходимых расчетов, как известно, должны учитываться погрешности, вносимые первичными измерительными преобразователями в измеряемые величины. ПУЭ регламентируют для токовых защит учитывать значения токовой или полной погрешностей, для токовых направленных и дистанционных защит – токовой и угловой.

Погрешности электромагнитных ТТ, используемых в схемах РЗ высоковольтных ЭД, существенно зависят от процессов, протекающих в первичных цепях ЭД. В установившихся режимах работы ЭД эти погрешности не превышают допустимых значений, определяемых нормативными документами, чего нельзя сказать о переходных режимах. Переходные процессы в ЭД имеют определенные особенности по сравнению с переходными процессами в других элементах электроустановок, например, генераторов или синхронных компенсаторов. Это касается, в первую очередь, процессов пуска ЭД, поскольку именно в этих режимах по фазам обмотки статора протекают не только периодические и аperiodические составляющие пускового тока ЭД, но и токи переменной частоты, оказывающие существенное влияние на магнитное состояние сердечников ТТ.

Длительность протекания аperiodических составляющих пускового тока, как правило, незначительна, чего нельзя сказать о времени существования составляющих переменной частоты (для ЭД большой мощности - до 1 и более секунд). Токи переменной частоты длительно подмагничивают сердечники ТТ, обуславливая их глубокое насыщение, что приводит к значительным погрешностям во вторичных сигналах. Протекание токов переменной частоты по фазам обмотки статора ЭД характерно для режимов пуска не только АД, но и синхронных электродвигателей (СД) [3,4].

На рис. 1 приведена экспериментальная осциллограмма изменения во времени пуска ненагруженного СД типа СТД-3150 вторичного тока ТТ типа ТЛМ-10, установленного в фазе А защиты со стороны линейных выводов обмотки статора СД, вторичного тока ТТ типа ТПОЛ-10, установленного в той же фазе ДЗ со стороны нулевых выводов обмотки статора СД, а также тока небаланса, протекающего в токовой цепи той же фазы ДЗ. Характерным для данного случая является то, что вторичные обмотки классов 0,5 и 10Р ТТ типа ТПОЛ-10, установленного в нулевых выводах обмотки статора СД, для уменьшения нагрузки на ТТ, включены последовательно.

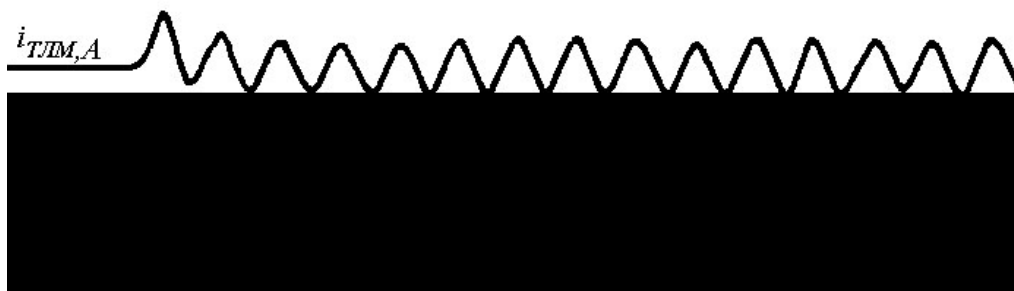


Рис. 1: Осциллограмма вторичных токов ТТ и тока небаланса в фазе А защиты при пуске СД мощностью 3150 кВт

Проанализируем осциллограмму. Аperiodическая составляющая пускового тока, протекающего по фазе А обмотки статора СД, в первый период вызывает насыщение только сердечника ТТ, установленного со стороны нулевых выводов обмотки статора и имеющего значительную нагрузку от соединительных проводов. Сердечник ТТ, установленного со стороны линейных выводов обмотки статора, имеющий значительно меньшую нагрузку, входит в режим насыщения, начиная со второго периода. Состояние глубокого насыщения сердечников обоих ТТ поддерживается током переменной частоты и после затухания аperiodической составляющей пускового тока.

На рис. 2 приведена осциллограмма изменения во времени напряжения фазы А на питающих шинах, вторичных токов ТТ типа ТВЛМ-10, установленных со стороны линейных выводов (плечо 1), ТТ типа ТПОЛ-10 – со стороны нулевых выводов обмотки статора (плечо 2),

а также тока небаланса в данной фазе ДЗ, полученная в режиме экспериментального пуска ненагруженного АД типа 2АЗМ-4000/6000.

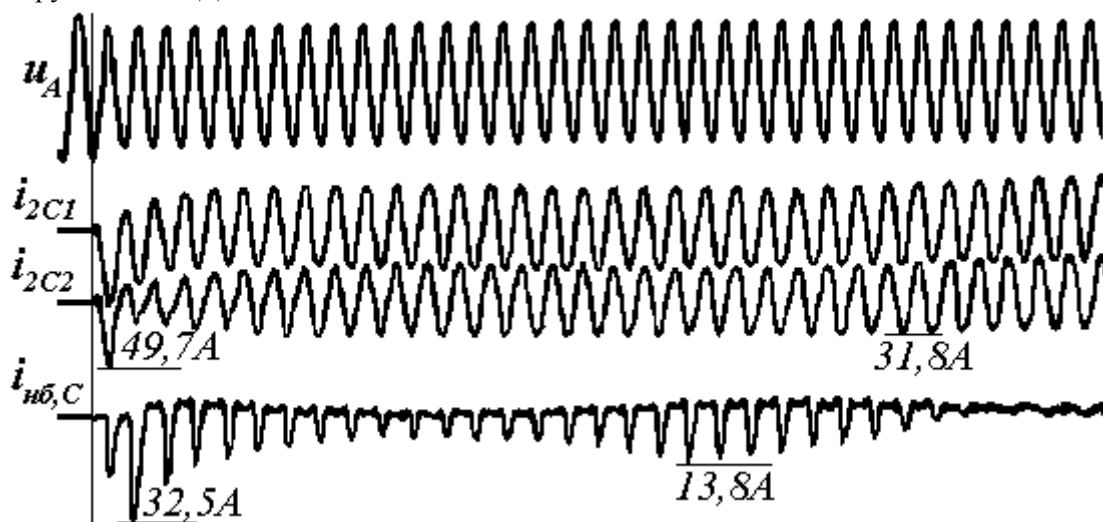


Рис. 2: Осциллограмма изменения во времени фазного напряжения, вторичных токов ТТ и тока небаланса в фазе А защиты при пуске АД мощностью 4000 кВт

Проанализируем осциллограмму. Напряжение в начальный момент пуска понижается составляет $0,83U_{ф,ном}$, оставаясь по форме синусоидальным. Апериодическая составляющая пускового тока, протекающего по фазе А обмотки статора ЭД, в первый же период вызывает насыщение сердечника ТТ, установленного со стороны нулевых выводов обмотки статора и имеющего значительную нагрузку от соединительных проводов. Сердечник ТТ, установленного со стороны линейных выводов обмотки статора, имеющий значительно меньшую нагрузку, входит в режим насыщения начиная со второго периода. После затухания аperiodической составляющей пускового тока в фазе С обмотки статора АД сердечники ТТ постепенно выходят из глубокого насыщения. Повторное глубокое насыщение сердечников ТТ обусловлено подмагничивающим действием на сердечники ТТ тока переменной частоты, протекающего по данной фазе обмотки статора ЭД. Длительность второй стадии нахождения сердечников ТТ, установленных в цепях фазы С обмотки статора АД, в режиме глубокого насыщения превышает 0,3 с (при пуске ЭД с нагрузкой на валу продолжительность второй стадии значительно больше).

Как видно из приведенных осциллограмм, насыщение сердечников ТТ приводит к длительному искажению вторичных токов ТТ, что отражается на характеристиках входных сигналов РЗ. Проанализируем с помощью программы [5] расчета переходных и установившихся процессов в токовых цепях РЗ характеристики вторичных токов ТТ, установленных со стороны линейных и нулевых выводов обмотки статора АД, применительно к приведенным выше данным эксперимента - пуска АД типа 2АЗМ-4000/6000.

На рис. 3 показано изменение во времени значений амплитуды первой гармонической составляющей вторичного тока (в % от амплитуды пускового тока ЭД) и угловых погрешностей (в электрических градусах) ТТ типа ТПОЛ-10 по основной гармонике. Наибольшего насыщения сердечники ТТ достигают во второй период, при этом амплитуда основной гармоники вторичного тока составляет 63,2% от амплитуды пускового тока АД, а угловая погрешность для ТТ достигает $-29,4^\circ$. Насыщение сердечника ТТ током переменной частоты повторно приводит к уменьшению амплитуды первой гармоники до 83,9% и увеличению угловой погрешности по первой гармонике до $-16,8^\circ$. Следует заметить, что в приведенные выше значения не являются наибольшими, поскольку на них немалое влияние оказывают и другие факторы, например, значения сопротивлений контрольных кабелей, разброс характеристик намагничивания.

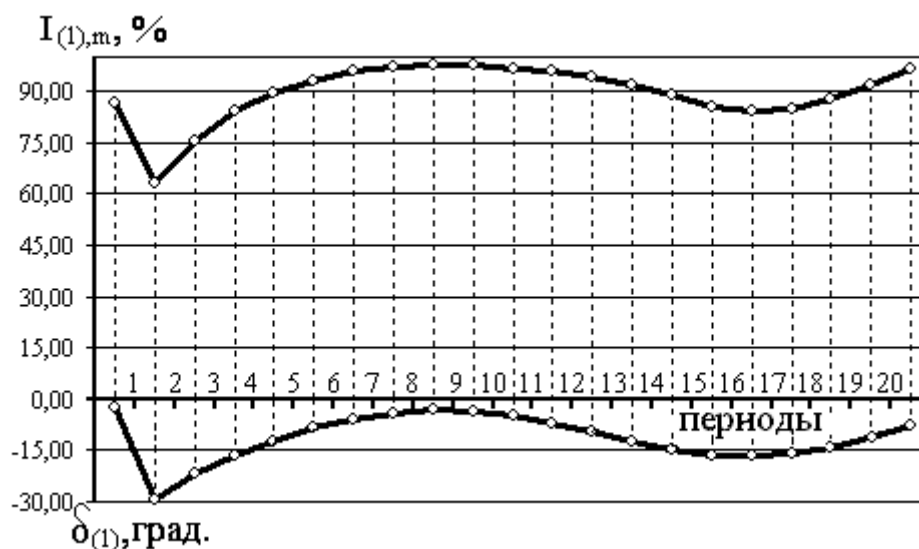


Рис. 3: Изменение во времени амплитуды первой гармоники и угловой погрешности ТТ типа ТПОЛ-10 при пуске АД мощностью 4000 кВт

Для менее нагруженного ТТ типа ТВЛМ-10 соответствующие погрешности существенно ниже и не превышают допустимых нормативными документами значений.

Аналогичное влияние токи переменной частоты оказывают на сердечники ТТ, устанавливаемых в других фазах обмотки статора ЭД. Учитывая, что моменты наступления максимума тока переменной частоты в других фазах оказываются смещенными по фазе на 120° (для собственной частоты), имеем соответствующее смещение времени наибольших насыщений сердечников ТТ от действия этих составляющих пускового тока.

Глубокие насыщения сердечников ТТ, обусловленные подмагничивающим действием на сердечники ТТ апериодических составляющих пускового тока ЭД, характерны также для режимов самозапуска ЭД [4], однако их продолжительность также значительно меньше, чем в при насыщении сердечников ТТ токами переменной частоты в режимах пуска ЭД.

Режимы внутренних повреждений в обмотке ЭД в полной мере исследованы и опубликованы, например, [4]. Погрешности ТТ в процессе прохождения через них сигналов РЗ в установившихся режимах внутренних КЗ не превышают значений, определяемых нормативными документами.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе прохождения первичных сигналов РЗ через электромагнитные ТТ защит ЭД переменного тока имеет место значительное по величине и продолжительное по времени искажение этих сигналов.

Проведенные исследования влияния искажения входных сигналов РЗ высоковольтных ЭД могут быть использованы при разработке, исследовании, выборе характеристик и параметров срабатывания устройств РЗ электродвигателей с двумя входными сигналами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Алюнов А.Н., Булычев А.В., Гуляев В.А. Прохождение сигналов релейной защиты через электромагнитные трансформаторы тока // Электричество. 2004. № 7. С. 29-33.
- [2] Фабрикант В.Л. Дистанционная защита. – М.: Высшая школа, 1978.
- [3] Богдан А.В., Кургузов Н.Н., Кургузова Л.И., Алфутов В.И. Дифференциальные защиты синхронного электродвигателя // Электрические станции. 1989. № 5. С. 70-72.
- [4] Корогодский В.И., Кужеков С.Л., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

- [5] Кургузов Н.Н., Кургузова Л.И., Кургузова М.Н. Программа для расчета переходных и установившихся процессов в токовых цепях продольных дифференциальных токовых защит / Релейная защита и автоматика энергосистем 2010 // Сборник докладов XX конференции (Москва, 1-4 июня 2010). – М.: Научно-инженерное информационное агентство. 2010. С. 272-273.