

Таблица 1. Зависимость суммарных гармонических искажений от сигнала задания

Сигнал задания	Суммарные гармонические искажения, %	Сигнал задания	Суммарные гармонические искажения, %
10	3,6	60	9,9
20	3,6	70	13,7
30	3,7	80	16,0
40	6,6	90	17,5
50	9,3	100	20,2

Искажение выходных электрических параметров растет с увеличением угла управления тиристорами. При изменении сигнала задания получается угол управления в диапазоне от 0 до 50 градусов. Значения соответствуют нормам ГОСТ 32144-2013. В результате получены эксплуатационные значения выходных параметров (коэффициент искажений напряжения) не превышающий стандартизованных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе комплексных исследований выходных электрических параметров схемы тиристорного регулятора микроГЭС проведены сопоставления результатов теоретического исследования и виртуального моделирования. При этом полученные данные подтверждают правильность выбора методик исследований и дают хорошую сходимость их результатов. Даны рекомендации по выбору диапазонов регулирования тиристорного регулятора автономного источника электропитания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукутин Б. В., Обухов С. Г., Шандарова Е. Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций/ - Томск: СТТ, 2001. - 120 с.
2. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». – Москва. 2014 с. 20

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ПРИВОДЕ

Котов В. В., Чарков Д. И., Щербакова Ю. М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Частотно-регулируемый электропривод, построенный на базе асинхронного двигателя, применяется достаточно широко во многих сферах деятельности: в конвейерных системах, в двигателях для нефтедобывающей промышленности (центробежные насосы), в системах вентиляции, кондиционирования и водоснабжения. Основными преимуществами ЧРП являются: высокая точность регулирования, экономия электрической энергии в случае переменной нагрузки, повышенный ресурс оборудования, стабилизация скорости вращения при изменении нагрузки, плавный пуск двигателя, значительно уменьшающий его износ и многое другое.

Несмотря на все положительные стороны использование системы частотного управления на базе широтно-импульсной модуляции (ШИМ) сопровождаются существенным рядом недостатков:

1) Гармонические искажения питающей электрической сети. Причинами появления высших гармоник являются имеющие в составе ЧРП нелинейные входные цепи (выпрямительный мост), потребляющие импульсный ток.

2) Электромагнитные помехи. На выходе устройство ЧРП выдает широтно-модулированные прямоугольные импульсы напряжения, получаемые с помощью сверхбыстрых полупроводниковых ключей (IGBT). Эти импульсы создают широкий спектр высокочастотных помех. Происходит излучение помех, а также их распространение по всем контурам. Чтобы ограничить уровень помех в соответствии с нормами IEEE и ГОСТ, необходима установка дополнительных фильтров.

3) Скачки напряжения, возникающие в результате переотражения. Высокие рабочие частоты и крайне быстрое переключение напряжения накладывают дополнительные требования на длину соединительного кабеля. Импульсы напряжения, генерируемые ЧРП, поступают на клеммы двигателя в виде отраженных волн. Отражение волн от концов кабеля может привести к двукратному повышению выходного напряжения электропривода.

Подобные процессы крайне отрицательно воздействуют на электрическую изоляцию. Всё это приводит к резкому снижению срока службы изоляции кабеля и обмотки.

Для оценки волновых электрических нагрузок была построена имитационная модель в графической среде Matlab Simulink.

Модель состоит из последовательно подсоединённого преобразователя частоты, кабельной линии и асинхронного двигателя.

Преобразователь частоты состоит из источника постоянного напряжения (DC Voltage Source), генератора широтно-импульсных сигналов (PWM Generator) и универсального моста (Universal Bridge). К преобразователю частоты последовательно соединяется секция кабельной линии, состоящие из ёмкости C , волнового сопротивления R и индуктивности L , а в качестве нагрузки была выбран асинхронный двигатель. Для измерения амплитуды напряжения используется измерителя напряжения (Voltage Measurement), а для визуализации полученных данных - осциллограф (Scope).

Результаты моделирования показали, что при применении ЧРП с ШИМ возникают перенапряжения, амплитуда которых увеличивается более чем в 2 раза по сравнению с рабочим номинальным напряжением. Генератор широтно-импульсных сигналов выдает широтно-модулированные прямоугольные импульсы напряжения. Данные импульсы, выходящие с генератора широтно-импульсных сигналов с крутым фронтом, возбуждают волновые процессы в кабеле, приводящие к перенапряжениям, которые усиливаются на дальнейших участках кабельной линии. В результате на зажимах двигателя, которые возрастают из-за несимметрии напряжений, вызванных частым переключением полупроводниковых ключей. Это справедливо, как для модели с высоковольтным синхронным, так и с низковольтным асинхронным двигателем. Результаты так же показали: амплитуда напряжения в обмотке превышает рабочее номинальное напряжение более чем в 2 раза.

Для уменьшения крутизны фронта импульсов выходного напряжения ЧРП и ограничения уровня помех устанавливаются RLC фильтр на выходе инвертера, тем самым ограничивая электрические перенапряжения на зажимах электрической машины.

Применение RLC фильтра уменьшает амплитуду напряжения, а также обеспечивает синусоидальную форму сигнала. Это связано с тем, что в конструкцию фильтра входит установленные дроссели и конденсаторы большего номинала, образующие LC-фильтр

с частотой резонанса менее 50% от частоты коммутации (несущей частоты ШИМ-инвертора). Таким образом, следует отметить: обязательным условием исключения перенапряжений в изоляции обмотки и в кабельной линии ЧРП, обусловленной работой ШИМ, является применение синусоидальных фильтров. Предложенная в работе модель позволяет оценить уровень электрических напряжений при работе частотно-регулируемого привода.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Пашковский В. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В данной статье предложена математическая модель и алгоритм мониторинга асинхронного двигателя с фазным ротором (АД с ФЗР). Мониторинг подразумевает непрерывное наблюдение за параметрами АД. При возникновении аварийных режимов работы параметры двигателя фиксируются, и загорается светодиод в блоке индикации, соответствующий аварии.

На рис. 1 представлена блок-схема микропроцессорного устройства для мониторинга АД с ФЗР.



Рис. 1. Блок-схема микропроцессорного устройства для мониторинга АД с ФЗР

В блок-схеме имеются 3 блока, а именно:

1. АД с ФЗР – исследуемый асинхронный двигатель;
2. МП – микропроцессор, предназначен для реализации устройства;
3. БИ – блок индикации, предназначен для индикации аварийных режимов работы электродвигателя.

На вход микропроцессора подается информация о мгновенных значениях тока статора (i_A, i_B, i_C) и ротора (i_a, i_b, i_c). Эти токи снимаются при помощи датчиков тока в цепи статора и ротора.

В микропроцессоре происходит расчет действующего значения тока по выражению (1) для каждой фазы статора и ротора. В дальнейшем по действующему значению тока и производится мониторинг.

$$I_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} , \quad (1)$$

где T – период сигнала тока; i – мгновенное значение тока.

В свою очередь период тока для статора и ротора находится по выражению (2).

$$T = \frac{1}{f} , \quad (2)$$

где f – частота сигнала.