

после многочисленных испытаний в лаборатории Larr, не отмечено каких-либо различий между кабелями, изготовленными по разным методам скрутки.

Следует отметить одно из значительных преимуществ кабелей с повивной скруткой: повышенная устойчивость по отношению к торсионным нагрузкам. Это обеспечивается меньшим внешним диаметром скрученных в слои изолированных жил. В результате они также занимают меньше места в траковой цепи по сравнению с кабелями, конструкция которых выполнена по пучковой скрутке.

Необходимо также отметить: вначале следует определиться с типом и количеством применяемых кабелей, а только затем делать выбор траковой цепи для размещения кабельной системы. При этом обязательно необходимо учитывать, вес кабеля и всей системы в целом. Это важно, т.к. для низкоинерционных систем вес является фактором, определяющим силу, которая возникает в результате работы и действует на изоляцию кабеля. Чтобы избежать значительных ускорений, прежде всего, необходимо уменьшить массу перемещаемой части (траковой цепи). Так же рекомендуется по возможности минимизировать длину кабельной системы (траковой цепи), сделав ее короткой настолько это возможно.

Выводы

Обобщая вышесказанное, хочется отметить: обеспечение надежности кабелей питания сервоприводов требует учета многих факторов. Гарантировать безотказную работу можно только при комплексном, системном рассмотрении всех нагрузок, влияющих на кабель, с обязательным учетом особенностей каждого конкретного места применения. Компания Лаппкабель предлагает серию не имеющих аналогов в отечественной практике комплексных решений, успешность которых подтверждается широкой реализацией на ряде российских и зарубежных предприятиях.

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИН ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ЧРП

А.Г. Гарганеев, Д.И. Чарков*, Д.Е. Патлин***

* – Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск,

** – ЗАО «Сибкабель», Россия, Томск

Частотно-регулируемый электропривод, построенный на базе асинхронного двигателя, применяется достаточно широко многих сферах деятельности: в конвейерных системах, в двигателях для нефтедобывающей промышленности (центробежные насосы), в системах вентиляции, кондиционирования и водоснабжения. По разным оценкам на долю асинхронных двигателей приходится от 40 % до 70 % всей электрической энергии, преобразуемой в механическую энергию вращательного или

поступательного движения [1]. 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 [2].

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 IEC 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. Лаковая изоляция обмоток двигателя не рассчитана на подобные скачки напряжения, поэтому может произойти пробой изоляции [3].

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 MatlabSimulink [4, 5].

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

Преобразователь частоты состоит из источника постоянного напряжения (DC VoltageSource), генератора широтно-импульсных сигналов (PWMGenerator) и универсального моста (UniversalBridge). 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 (VoltageMeasurement), 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 (рис. 1).

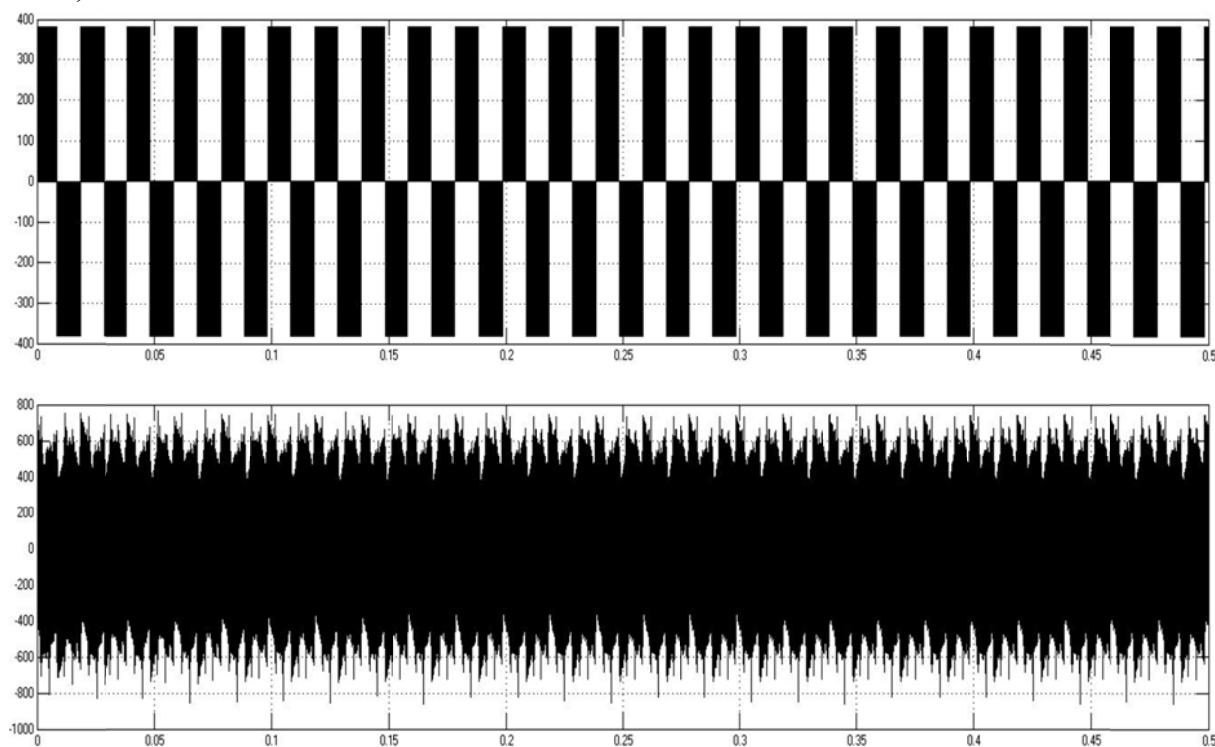


Рис. 1. Характер напряжений в ЧРП с низковольтным асинхронным двигателем без RLC фильтра:

1 – после частотного преобразователя, 2 – на выходе с питающего кабеля (ВВГ)

Результаты показали, что амплитуда напряжения в обмотке превышает рабочее номинальное напряжение более чем в 2 раза (рис. 2).

Для уменьшения крутизны фронта импульсов выходного напряжения ЧРП и ограничения уровня помех устанавливают 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 (рис. 3). Это связано с тем, что в конструкцию фильтра входят 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

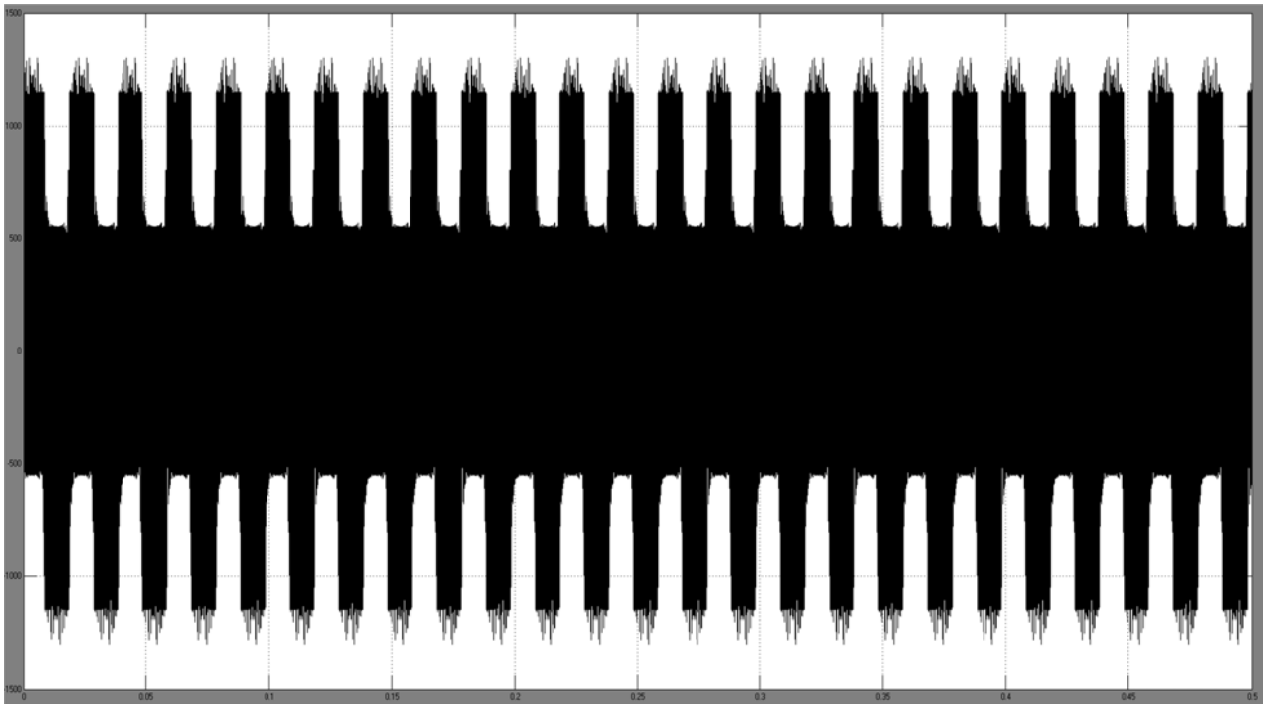


Рис. 2. Характер напряжений ЧРП в обмотке низковольтного асинхронного двигателя с наличием RLC фильтра

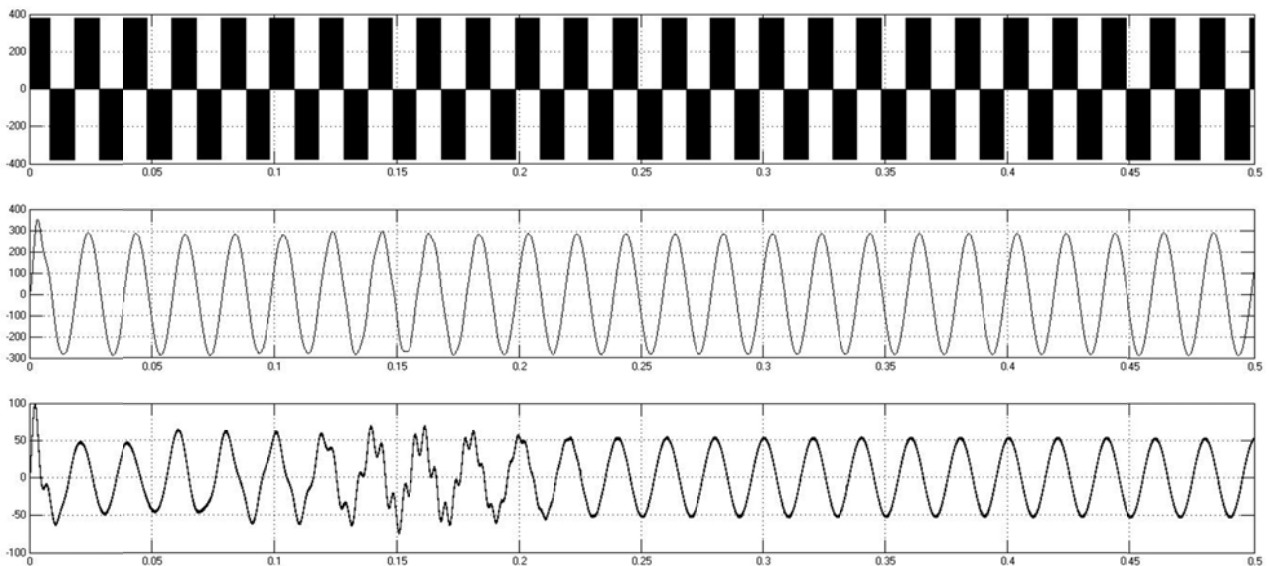


Рис. 3. Характер напряжений в ЧРП с низковольтным асинхронным двигателем с наличием RLC фильтра: 1 – после частного преобразователя, 2 – после RLC фильтра. 3 – на выходе с питающего кабеля (ВВГ).

работой ШИМ, является применение синусоидальных фильтров. Предложенная в работе модель позволяет оценить уровень электрических напряжений при работе частотно-регулируемого привода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асинхронный двигатель. Устройство и принцип действия однофазного и трехфазного асинхронного электродвигателя [Электронный ресурс]. – Режим

доступа: http://www.eti.su/articles/elektroprivod/elektroprivod_36.html (дата обращения: 03.03.15).

2. Частотное регулирование электроприводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.e-audit.ru/chrp/index.shtml> (дата обращения: 03.03.15).

3. Don-Ha Hwang, Ki-Chang Lee, Yong-Joo Kim, In-Woo Lee, Tae-Hoon Lim, Dong-Hee Kim, “Accessing the insulation characteristics for stator windings of low-voltage induction motors for adjustable-speed drive applications”, IEEE IAS Conference Proceedings, Oct. 2003.

4. Mathworks. Simulink. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://matlab.ru/products/simulink> (дата обращения: 03.03.15).

5. B. Basavaraja, D.V.S.S. Siva, “Application problem of PWM AC drives due long cable length and high dv/dt ”, IEEE.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРОНОСТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ НИЗКОВОЛЬТНОЙ МЕЖВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Д.И. Чарков, А.П. Леонов, Е.Ю. Солдатенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, Томск

Преимущества использования системы частотного управления позволили в значительной степени увеличить частоту коммутационных операций (до 20 кГц), минимизировать потери электроэнергии и улучшить производительность частотно-регулируемого привода. Однако, повышение скорости коммутаций сократило время нарастания импульсов напряжения, которое негативно отразилось на протекании переходных процессов в цепи «частотный преобразователь – питающий кабель – двигатель». Рассогласование полных сопротивлений между инвертором, кабелем и двигателем возбудило волновые процессы в кабеле и явление отражения сигнала, что привело к перенапряжениям на клеммах двигателя [1, 2]. Подобные электрические нагрузки ужесточили условия эксплуатации изоляционной системы частотно-регулируемого привода и, прежде всего, межвитковой изоляции, как наиболее слабого элемента изоляции обмотки. В порах и воздушных зазорах стали возникать коронные разряды, приводящие к ускоренному старению изоляции и дальнейшему пробою [3].

В данном случае под коронными разрядами понимаются поверхностные разряды в изоляции обмотки электрической машины. Короностойкость диэлектрика представляет собой способность выдерживать влияние коронного разряда без недопустимого ухудшения свойств. Корона может формироваться с течением времени из-за износа электродов и старения изоляции. Она ограничена относительно узкой областью, прилегающей к электроду. Под воздействием короны и образующихся под ее влиянием химических