

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Горбунов Р.Л.¹

Научный руководитель: Посконный Г.И., к.т.н., доцент²

¹Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т. Ленина, 30

²Новоуральский технологический институт НИЯУ МИФИ, 624130, Россия, г. Новоуральск, ул. Ленина, 85

E-mail: romangorbunov91@gmail.com

Регулирование напряжения в статорных цепях асинхронного двигателя ряда механизмов позволяет без нарушения технологического процесса значительно повысить энергетические показатели двигателя (КПД и коэффициент мощности), обеспечивая тем самым более высокую энергоэффективность асинхронного электропривода [1, 2].

Преобразователь напряжения должен самодостаточно обеспечивать работу асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором выполняя следующие функции:

- плавное регулирование первой гармоники напряжения на статорных обмотках двигателя в установившихся и переходных режимах работы;
- плавный пуск двигателя (плавным повышением напряжения; с ограничением пускового тока, момента);
- квазичастотный (режим циклоконвертирования) или комбинированный пуск двигателя;
- функции защиты двигателя и преобразователя в аварийных режимах и при перегрузках.

Сегодня в промышленности для регулирования напряжения на статорных обмотках асинхронного двигателя в основном используются регуляторы с фазовым управлением, силовая схема которых строится на приборах с естественной коммутацией. Популярность таких устройств обусловлена простотой силовой схемы, высоким КПД и надёжностью. Несмотря на эти достоинства преобразователи обладают рядом известных недостатков: неудовлетворительное качество выходного напряжения с содержанием низкочастотных гармонических составляющих (5, 7, 11-я гармоники и др.), прерывистый входной/выходной ток, отстающий сдвиг по фазе между выходным и входным напряжениями и т.д. В результате увеличиваются потери в двигателе, возрастает потребление реактивной мощности системой, в сеть генерируются низкочастотные гармоники тока, ухудшаются динамические свойства двигателя и т.д.

Регулирование напряжения на двигателе могут осуществлять и преобразователи частоты (ПЧ). ПЧ с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) обладают сравнительно высоким качеством выходного напряжения и способны изменять частоту основной гармоники напряжения, что расширяет функциональные возможности привода. Тем не менее в системах, где не требуется регулирование скорости вращения вала двигателя применение ПЧ не является рациональным ввиду их высокой стоимости.

Матричные ПЧ и ПЧ с активным выпрямителем, характеризующиеся высоким качеством потребляемого из сети тока, в разы превышают стоимость тех же регуляторов напряжения с фазовым управлением. Наиболее популярные и дешёвые ПЧ с ШИМ, выполненные по двухзвенной схеме «неуправляемый выпрямитель – автономный инвертор напряжения», хотя и характеризуются довольно высоким коэффициентом мощности при наличии дросселя в звене постоянного тока (около 0,9), но все же генерируют в сеть низкочастотные гармоники, что зачастую требует установки дорогостоящих фильтров. Это существенно увеличивает стоимость ПЧ, которые и так дороже преобразователей с фазовым регулированием, а также снижает КПД преобразователей [3].

Кроме регуляторов с фазовым управлением и ПЧ с ШИМ известно множество других классов преобразователей, используемых для регулирования и стабилизации переменного напряжения, регулирования реактивной мощности, компенсации провалов в кривой напряжения и т.д. Большую группу составляют трансформаторные регуляторы с вольтодобавкой, способные регулировать напряжение как в большую, так и в меньшую сторону. Однако, для асинхронного двигателя диапазон регулирования выходного напряжения должен быть ограничен номинальным напряжением двигателя, иначе машина может перейти в насыщение. Также, трансформатор увеличивает масса-габаритные параметры преобразователя и стоимость.

Для регулирования напряжения на статорных обмотках асинхронного двигателя также используются многозонные регуляторы переменного напряжения, использующие симбиоз дискретного амплитудного и фазового или амплитудного и широтно-импульсного регулирования [4]. При реализации устройств первого типа используются входные конденсаторные делители напряжения, а в качестве управляемых вентилях используются однооперационные тиристоры. Схемы второго типа строятся на транзисторах с входными индуктивно-ёмкостными цепями.

Несмотря на довольно высокие энергетические показатели зонных регуляторов по сравнению с регуляторами с фазовым управлением, схемы содержат большое количество реактивных элементов. Также в спектре выходного напряжения не удаётся полностью избавиться от низкочастотных гармоник.

В результате анализа особенностей существующих и активно используемых сегодня силовых преобразователей напряжения с учётом требуемых функций и основного назначения преобразователя были сформулированы основные требования к разрабатываемому преобразователю:

- высокое качество выходного напряжения;
- минимальная стоимость;
- высокая электромагнитная совместимость с питающей сетью;
- высокий КПД;
- отсутствие силовых трансформаторных цепей и цепей с мощными реактивными элементами.

Под высоким качеством выходного напряжения подразумевается полная симметрия напряжения, отсутствие постоянной составляющей и минимальная величина гармоник. При этом важно учитывать, что двигатель более чувствителен к низкочастотным гармоникам, а их фильтрация является наиболее проблематичной.

Стоимость преобразователя является одним из наиболее важных требований определяющим конкурентоспособность преобразователя на современном рынке.

Требование к электромагнитной совместимости с питающей сетью сегодня является особенно актуальным и накладывает требования на преобразователь как на потребитель электроэнергии [5]. В идеале преобразователь должен потреблять из сети чисто синусоидальный ток, что затруднительно в случае импульсных схем. Поэтому желательно чтобы преобразователь, хотя бы в основном режиме работы, имел минимальный коэффициент гармоник тока при отсутствии низкочастотных гармоник.

По мнению авторов, наиболее перспективным является построение преобразователя на основе широтно-импульсного регулятора переменного напряжения (ШИРПН) (в англоязычной литературе – «AC chopper»). ШИРПН выполняется на полностью управляемых ключах с двусторонней проводимостью (Рис. 1) и позволяет осуществлять высокочастотное регулирование выходного напряжения в диапазоне 0-100% (Рис. 2). Сдвиг по фазе между входным и выходным напряжением отсутствует. При базовом законе управления выходное напряжение содержит основную гармонику с частотой сети и гармоники в области частот кратных частоте коммутации. На входе преобразователя устанавливается фильтр нижних частот для подавления модуляционной составляющей и обеспечения безопасной коммутации ключей.

Имеется большое число схемных реализаций трёхфазных ШИРПН обладающие своими особенностями. Несмотря на множество работ, связанных с исследованием и разработкой этих преобразователей [6], имеется ряд нерешённых проблем.

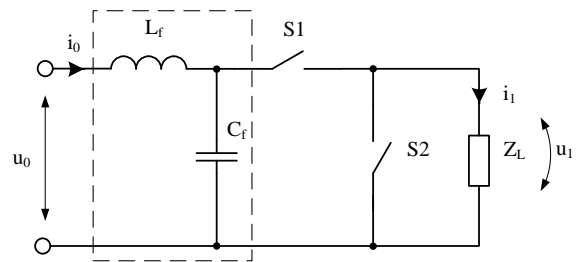


Рис. 1. Силовая схема ШИРПН в однофазном исполнении

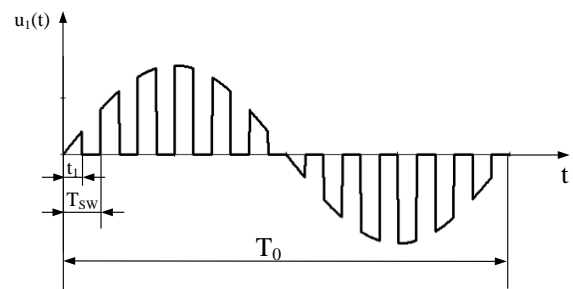


Рис. 2. Форма выходного напряжения ШИРПН

В докладе показано, что разработка преобразователя напряжения для асинхронного двигателя является актуальной научно-технической задачей. Исходя из выполняемых функций и с учётом особенностей популярных на сегодня устройств сформулированы требования к разрабатываемому преобразователю и его системе управления. Обозначены основные задачи, решение которых необходимо для успешного внедрения преобразователя в асинхронный электропривод.

Список литературы

1. Браславский И.Я. О возможностях энергосбережения при использовании регулируемых асинхронных электроприводов // Электротехника. – 1998. – № 8. – С. 2–6.
2. Ляхомский А.В., Бабокин Г.И. Управление энергетическими ресурсами горных предприятий. – М.: Горная книга, 2011. – 232 с.
3. Harmonic Distortion of the AC Power Line // Danfoss Whitepaper. – 2011. – 7 p.
4. Удовиченко А.В. Регуляторы переменного напряжения с улучшенной электромагнитной совместимостью для электротехнических систем улучшения качества электрической энергии: дис. ... к-та техн. наук. – Новосибирск, 2013. – 167 с.
5. Hoevenaars T., LeDoux K., Colosino M. Interpreting IEEE Std 519 and Meeting its Harmonic Limits in VFD Applications // IEEE Paper No. PCIC-2003-15. – 2003. – 6 p.
6. Arvindan A.N., Prashanthi S. Investigation for Power Quality in a PWM AC Controller Feeding a Three-Phase Three-Wire WYE Connected Load // IPEC-2010. – Singapore, 2010. – P. 648–653.