

# Энергосберегающий промышленный регулируемый асинхронный электропривод нового поколения

## на основе двухзвенно-непосредственных преобразователей частоты

На предприятии «Автоматизированные системы и комплексы» (г. Екатеринбург) осуществлена инновационная разработка энергосберегающего промышленного широкорегулируемого асинхронного электропривода переменного тока нового поколения. Актуальность совершенствования систем электроприводов обусловлена их значительной долей в балансе электропотребления, дефицитом генерирующих мощностей, ростом стоимости электроэнергии и ужесточением требований к обеспечению электромагнитной и энергетической совместимости элементов системы производства и электромеханического преобразования энергии.

**Рудольф Шрейнер,**  
д. т. н.  
**Владимир Кривояз,**  
к. т. н.  
**Андрей Калыгин,**  
к. т. н.  
**Сергей Шилин,**  
к. т. н.

tetyaev@asc-ural.ru

Исходя из этого, концепция новой разработки заключалась в создании электропривода, обладающего комплексом новых свойств, сочетающих высокие электромеханические показатели с улучшенной энергетической и электромагнитной совместимостью с питающей сетью. А именно — отсутствие вносимых преобразователем искажений кривой питающего напряжения, потребление из сети практически синусоидальных токов с возможностью регулирования реактивной мощности, обеспечение обратимости потока активной мощности, то есть способность не только высококачественного потребления, но и рекуперации электроэнергии в тормозных режимах электропривода.

Для реализации комплекса новых свойств электропривода в его силовой части применена и доведена до стадии промышленного использования новейшая топология транзисторного двухзвенного непосредственного преобразователя частоты (ДНПЧ) (рис. 1) с микропроцессорной системой управления (МПСУ). В отличие от традиционных двухзвенных преобразователей аналогичного назначения, в схеме нового преобразователя отсутствует громоздкий силовой сглаживающий фильтр в промежуточном звене постоянного тока, что существенно улучшает его массо-габаритные показатели.

Для управления ДНПЧ разработана двухэтапная координатная стратегия управления преобразователем частоты в системе электропривода, в рамках

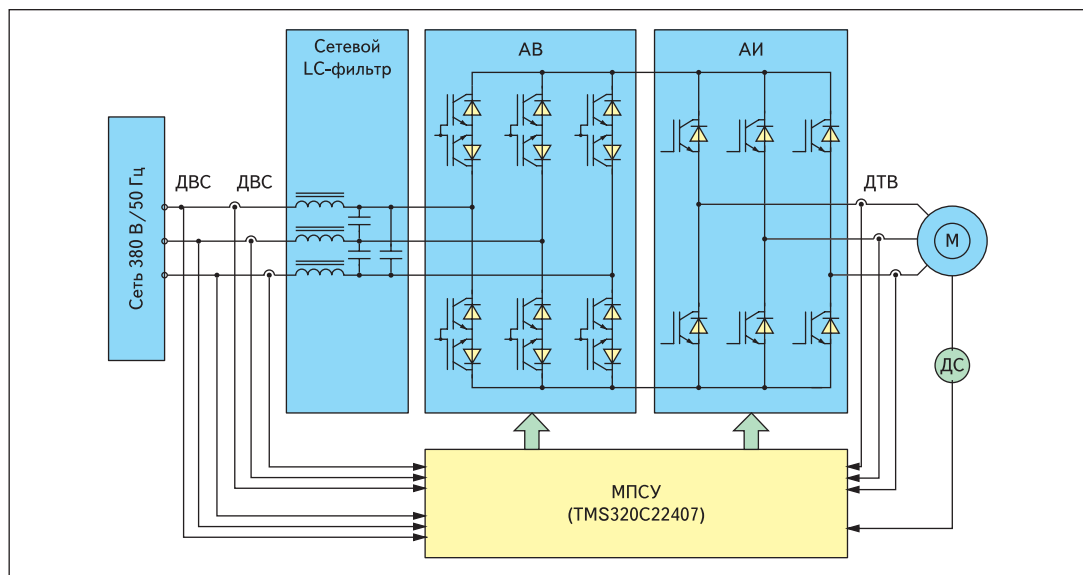


Рис. 1. Силовая часть электропривода с ДНПЧ

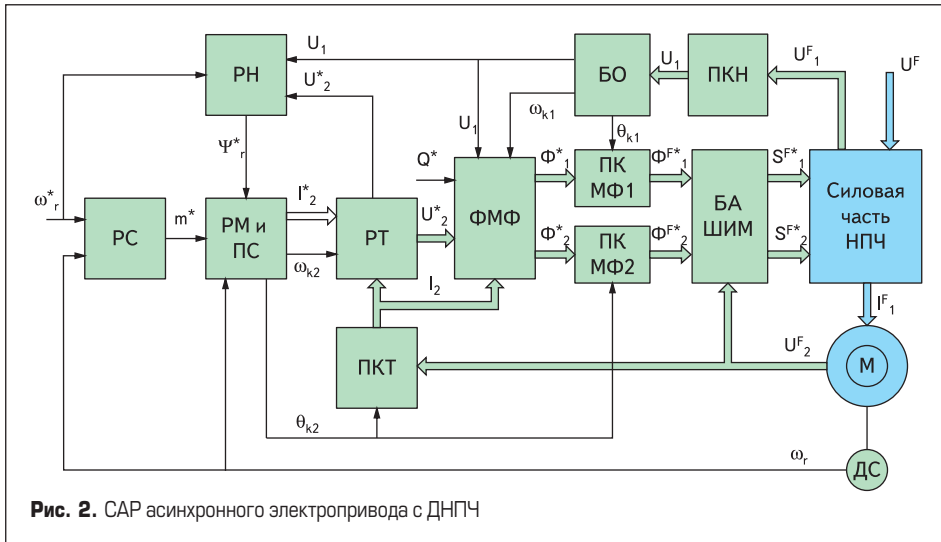


Рис. 2. САР асинхронного электропривода с ДНПЧ

которой разработан и запатентован алгоритм широтно-импульсного управления силовыми ключами, адаптированный к новой топологии силовой схемы преобразователя.

**Цели управления преобразователем**

Анализ свойств ДНПЧ с ШИМ [1–6] позволил сформулировать следующие цели управления преобразователем частоты в системе частотно-регулируемого электропривода:

- формирование заданных значений полезной составляющей выходного напряжения при максимальном использовании потенциальных возможностей ДНПЧ как высококачественного источника питания двигателя переменного тока;
- стабилизация коэффициента передачи ДНПЧ как элемента САР электропривода;
- регулирование реактивной мощности на входе ДНПЧ как элемента системы электроснабжения;
- обеспечение электромагнитной совместимости ДНПЧ с нагрузкой и сетью.

**Двухэтапная стратегия управления преобразователем**

Комплексный характер, взаимосвязанность и относительная сложность реализации сформулированных целей управления обусловили целесообразность двухэтапного подхода к разработке общей стратегии управления преобразователем [1–6]. Принципиальные положения двухэтапной стратегии управления заключаются в следующем.

На первом этапе формируются мгновенные значения эталонных модулирующих функций коммутаторов активного выпрямителя (АВ) и автономного инвертора (АИ), соответствующих перечисленным выше целям, а также конкретным условиям управления. На этом этапе решаются следующие задачи:

- распределение функций управления выходным напряжением ДНПЧ между выпрямителем и инвертором;
- согласование функций управления выходным напряжением и входной реактивной мощностью.

На втором этапе формируются сигналы управления силовыми ключами ДНПЧ. При этом последовательно решаются следующие задачи:

- формирование коммутационных функций АВ и АИ методом адаптированной широтно-импульсной аппроксимации их эталонных модулирующих функций;
- компенсация факторов, искажающих коммутационные функции реальных ПЧ;
- формирование функций состояния ключей, обеспечивающих заданные значения коммутационных функций.

**Система управления электроприводом**

Разработана векторная система автоматического двухзонного управления электроприводом, которая обеспечивает нормированные показатели качества статических характеристик и электромеханических переходных процессов электропривода в режимах частотного пуска, рекуперативного торможения и регулирования скорости в сочетании с улучшенными показателями качества электропривода как потребителя электроэнергии. Блок-схема САР изображена на рис. 2, где РС — регулятор



Рис. 3. Опытно-промышленный образец ДНПЧ мощностью 110 кВт

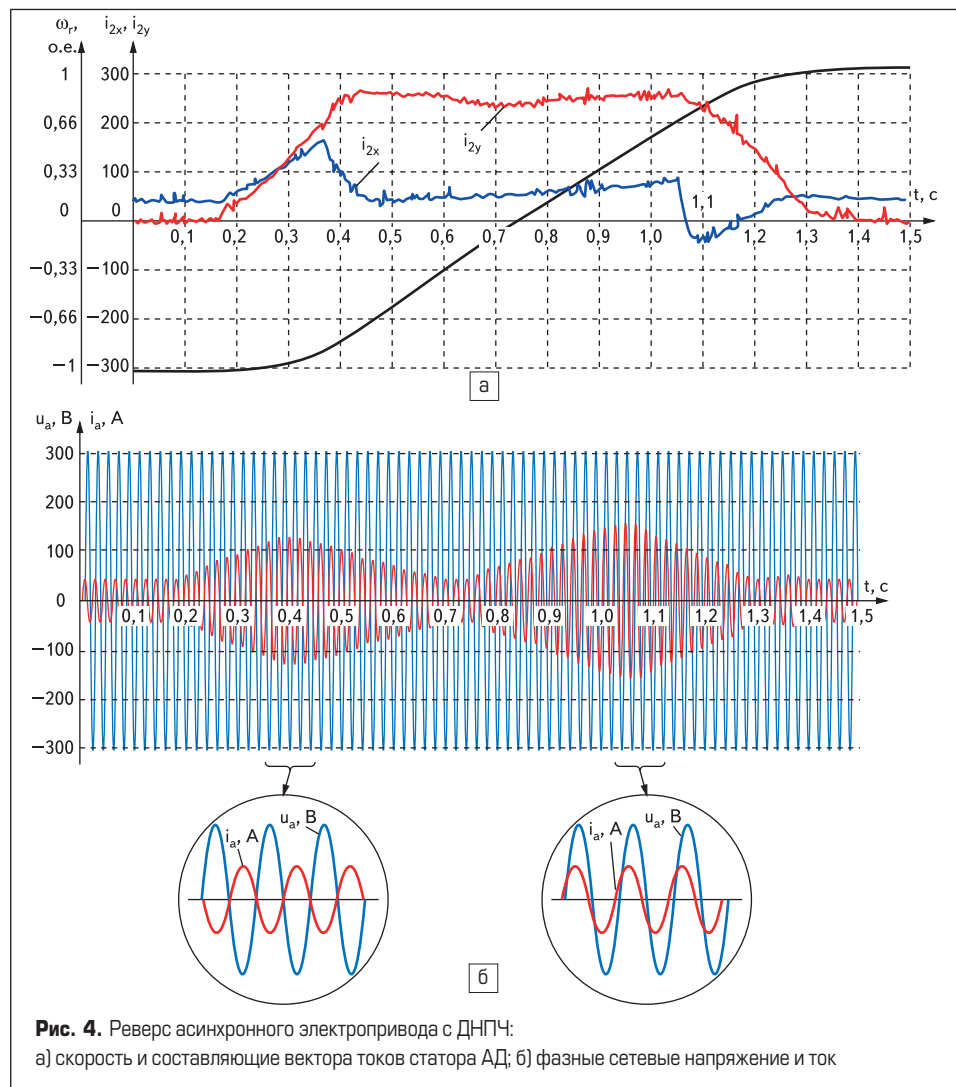


Рис. 4. Реверс асинхронного электропривода с ДНПЧ:

а) скорость и составляющие вектора токов статора АД; б) фазные сетевые напряжения и ток

скорости; РН — регулятор напряжения; РМ и РС — регулятор момента и потокосцепления; ФМФ — формирователь эталонных модулирующих функций; РТ — регулятор тока; ПКН, ПКТ — преобразователи координат векторов напряжений и токов; БО — блок ориентации; ПКМФ1 и ПКМФ2 — преобразователи координат векторов модулирующих функций АВ и АИ; БА ШИМ — блок адаптированной ШИМ; М — асинхронный двигатель.

### Апробация электропривода

Для апробации разработки использованы методы компьютерного моделирования [3–6] и экспериментального исследования лабораторных и опытно-промышленных образцов. Далее представлены результаты испытаний опытно-промышленного образца асинхронного электропривода с ДНПЧ мощностью 110 кВт с двухзонным управлением скоростью. Внешний вид преобразователя представлен на рис. 3. На рис. 4 показан процесс реверсирования, включающий этапы рекуперативного частотного торможения и разгона электропривода. На начальной стадии осуществляется усиление, а на заключительной — ослабление поля АД. Формы сетевых напряжений и токов на этапах торможения и разгона показаны на вынесенных фрагментах осциллограммы в укрупненном масштабе. На этом рисунке  $\omega_r$  — скорость ротора;  $i_x, i_y$  — намагничивающая и моментобразующая составляющие вектора тока статора;  $u_a, i_a$  — фазные сетевые напряжение и ток.

Эксперименты подтвердили возможность эффективного использования новой топологии преобразователей в системах электроприводов переменного тока с высоким качеством потребления и электромеханического преобразования электрической энергии. Обладая нормированными электромеханическими свойствами, присутствующими системам подчиненного регулирования, разработанный электропривод с ДНПЧ характеризуется улучшенной энергетической и электромагнитной совместимостью с питающей сетью, обеспечивая синусоидальность входных и выходных токов, двухсторонний энергосберегающий обмен активной мощностью в пуско-тормозных режимах, а также регулирование потребляемой реактивной мощности.

Опытно-промышленные образцы электропривода нового поколения с асинхронными коротко-замкнутыми электродвигателями мощностью 110 кВт успешно эксплуатируются на предприятии корпорации «ВСМПО-АВИСМА» (г. Верхняя Салда) в качестве главного привода продольно-строгального станка 7А256.

Рекомендуемые области применения новой разработки — высокودинамичные электроприводы механизмов с напряженными пуско-тормозными режимами работы при повышенных требованиях к качеству потребления и управляемого электромеханического преобразования энергии.

### Литература

1. Шрейнер Р. Т., Ефимов А. А., Калыгин А. И., Корюков К. Н., Мухаматшин И. А. Кон-

цепция построения двухзвенных непосредственных преобразователей частоты для электроприводов переменного тока // Электротехника. 2002. № 12.

2. Ефимов А. А., Шрейнер Р. Т. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока / Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Р. Т. Шрейнера. Новоуральск: Изд-во НГТИ. 2001.
3. Шрейнер Р. Т., Кривовяз В. К., Калыгин А. И. Координатная стратегия управления непосредственными преобразователями частоты с ШИМ для электроприводов переменного тока // Электротехника. 2003. № 6.
4. Shreiner R. T., Krivovyaz V. K., Kalygin A. I. Coordinate PWM Control Strategy of the Direct Frequency Converter // 10th European Conference on Power Electronics and Applications. EPE-2003. 2–4 September, 2003. Toulouse, France.
5. Шрейнер Р. Т., Кривовяз В. К., Калыгин А. И. Оптимизация функций управления непосредственными преобразователями частоты с ШИМ // Технічна Електродинаміка. Тематичний випуск силова електроніка та енергоефективність. Ч. 2. Київ. 2003.
6. Shreiner R. T., Krivovyaz V. K., Kalygin A. I. Generating of Modulating Functions in Direct Frequency Converter PWM Control System // Proceedings of the 11th International Conference EPE-PEMC'2004, 2–4 September 2004, Riga, Latvia.
7. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. Екатеринбург: УрО РАН. 2000.