

УДК. 621.314.

Я. В. Щербак, д-р техн. наук,
А. А. Плахтий,
М. В. Цеховской, канд. техн. наук

УЛУЧШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Аннотация. Предложены структуры преобразователей частоты, содержащие двух- и трехуровневые активные выпрямители с коррекцией коэффициента мощности. Выполнены исследования предложенной структуры. Предложенные структуры преобразователей частоты позволяют реализовать низкое содержание высших гармонических составляющих фазных токов, коэффициент мощности, близкий к единице, а также возможность реализации рекуперации.

Ключевые слова: частотный преобразователь, активный выпрямитель, коррекция коэффициента мощности, электромагнитная совместимость

Ya. V. Shcherbak, ScD.,
A. A. Plakhtiy,
M. V. Tsekhovskoy, PhD.

IMPROVEMENT OF POWER SUPPLY ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF FREQUENCY CONVERTERS BY APPLICATION OF ACTIVE RECTIFIERS

Abstract. The article proposed a structure of the frequency converter, comprising a three-level active rectifier with power factor correction. The investigations of proposed structure were performed. The proposed structure allows realizing a frequency converter with low content of higher current harmonic, unity power factor, as well as the possibility of implementing energy recovery.

Keywords: inverter, active rectifier, power factor correction, electromagnetic compatibility

Я. В. Щербак, д-р техн. наук,
О. А. Плахтий,
М. В. Цеховский, канд. техн. наук

ПОКРАЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ АКТИВНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ

Анотація. Запропоновані структури перетворювачів частоти, що містять дво- та трирівневі активні випрямлячі з корекцією коефіцієнта потужності. Виконані дослідження запропонованої структури. Запропоновані структури дозволяють реалізувати частотні перетворювачі з низьким вмістом вищих гармонійних складових, коефіцієнтом потужності, близьким до одиниці, а також з можливістю реалізації рекуперативної енергії.

Ключові слова: частотний перетворювач, активний випрямляч, корекція коефіцієнту потужності, електромагнітна сумісність

Введение

Преобразователи частоты (далее ПЧ) являются мощными источниками высших гармоник тока в сеть. В связи с ужесточением требований государственных и международных стандартов (ГОСТ 51317.3.12-2006, IEC 61000-3-14, IEC-555, IEEE-519) к эмиссии гармонических составляющих токов, потребляемых техническими средствами, актуальным является вопрос снижения эмиссии высших гармоник тока и повышения коэффициента мощности. Вторым актуальным вопросом является реализация структуры ПЧ с рекуперацией энергии от двигателя в сеть с высоким качеством рекуперированной энергии. Одним из вариантов решения поставленных задач является применение активных выпрямителей с коррекцией коэффициента мощности. Особенности схем активных выпрямителей являются: возможность

реализации синусоидальной формы входных фазных токов с коэффициентом мощности, близким к единице, возможность реализации рекуперации, регулирование выходного напряжения выше фазного напряжения сети.

Цель работы – анализ уровня эмиссии высших гармонических составляющих преобразователя частоты применением двух- и трехуровневых активных выпрямителей с коррекцией коэффициента мощности.

1. Частотный преобразователь с диодным выпрямителем

Наиболее распространенной является схема ПЧ с трехфазным диодным выпрямителем и автономным инвертором напряжения [1]. Существенными недостатками данной схемы являются: высокий уровень эмиссии высших гармоник тока, отсутствие возможности регулирования уровня напряжения в звене постоянного тока, отсутствие возможности реализации рекуперации. Структурная схема ПЧ с диодным выпрямителем представлена на рис. 1. Применение тиристорных выпрямительных схем решает задачу

регулирования напряжения в звене постоянного тока, однако не решает проблему эмиссии гармоник тока.

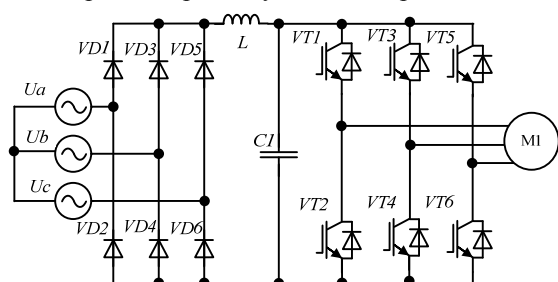


Рис. 1. Структурная схема преобразователя частоты с диодным выпрямителем

Высокий уровень эмиссии высших гармоник ПЧ ведет к необходимости применения дополнительных входных фильтров, которые повышают стоимость и массогабаритные показатели ПЧ.

2. Частотный преобразователь с активным выпрямителем

Схема ПЧ с активным выпрямителем напряжения (далее АВН) и автономным инвертором напряжения (далее АИН) собирается на полностью запираемых вентилях [2, 3]. Системы управления АВН и АИН работают по системе векторного управления. Силовая схема АВН совпадает со схемой АИН, но работающего в обратном режиме. Частотный преобразователь благодаря возможности работы АВН как в режиме активного выпрямителя, так и в режиме рекуперации обеспечивает реализацию коэффициента мощности близкого к единице, форму потребляемого тока, близкую к синусоиде, с коэффициентом нелинейных искажений тока менее 3 %, а также реализацию – двунаправленного потока электроэнергии между питающей сетью и двигателем. Структурная схема ПЧ на базе двухуровневого АВН-АИН представлена на рис. 2.

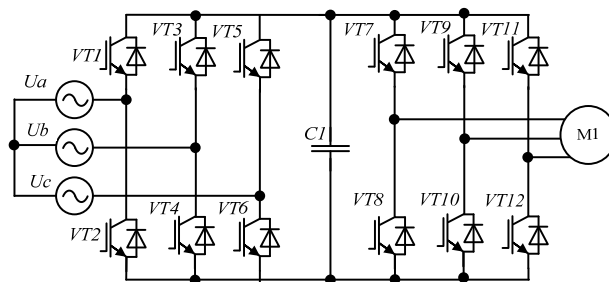


Рис. 2. Структурная схема преобразователя частоты с двухуровневым активным выпрямителем

При реализации ПЧ с двухуровневой структурой АИН-АВН характерны высокие нагрузочные требования к ключам. Для снижения нагрузочных требований к ключам схемы возможна реализация трехуровневой структуры АВН-АИН. При реализации трехуровневой структуры АВН-АИН не только позволяет уменьшить рассеиваемую на ключах мощность, но также снизить коэффициент нелинейных искажений фазного тока.

Трехуровневая структура ПЧ на базе АВН-АИН представлена на рис. 3.

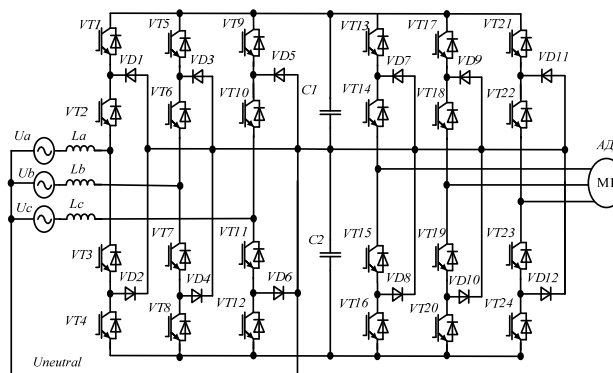


Рис. 3. Трехуровневая структура преобразователя частоты с активным выпрямителем

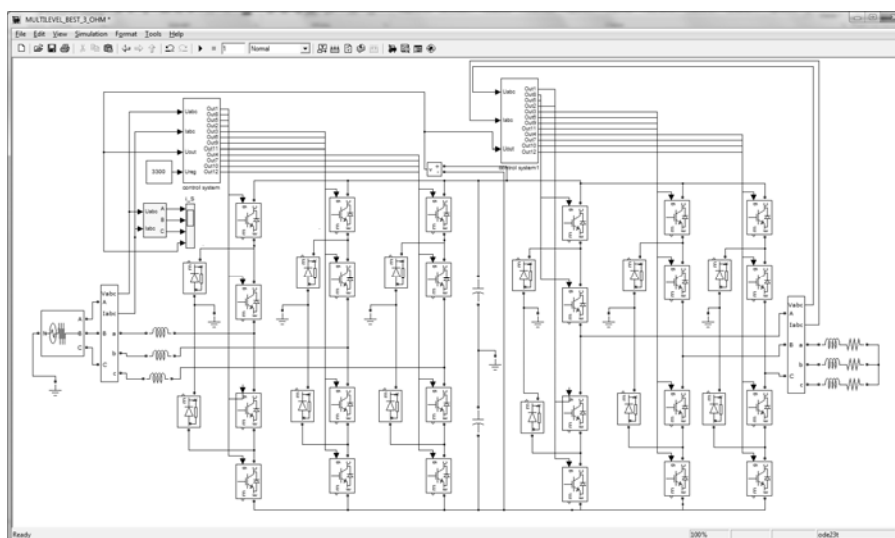


Рис. 4. Иммитационная модель MATLAB ПЧ на базе трехуровневой структуры АВН-АИН

3. Имитационное моделирование

Для проведения анализа эмиссии высших гармоник тока ПЧ с двух- и трехуровневым выпрямителем в программе Matlab были построены имитационные модели ПЧ на базе двух- и трехуровневых структур АВН-АИН. Модель трехуровневой структуры приведена на рис. 4.

Параметры имитационной модели ПЧ:

- фазное напряжение сети 320 В;
- индуктивность входных дросселей 2 мГн;
- напряжение в звене постоянного тока 3200 В;
- емкость в звене постоянного тока 6 мкФ;
- нагрузка АИН $R=10\ \text{Ом}$; $L=0,1\ \text{Гн}$;
- частота ШИМ 10кГц.

Форма входных фазных напряжений и токов приведена на рис. 4. Форма напряжения и тока в звене постоянного тока ПЧ представлена на рис. 5.

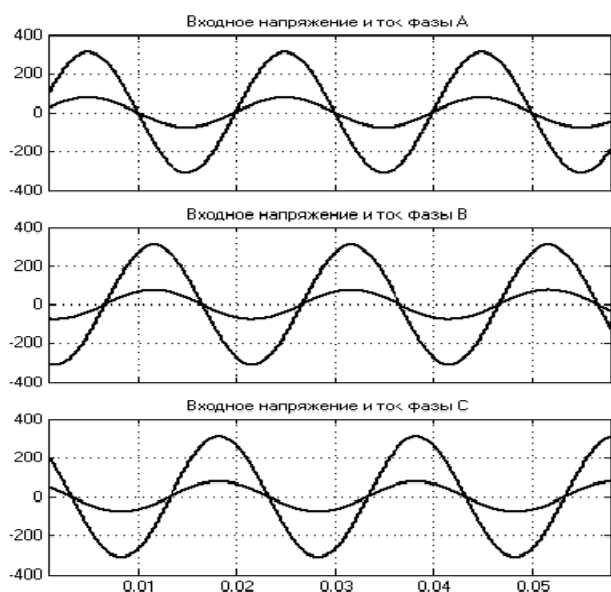


Рис. 4. Форма входных фазных токов и напряжений АВН

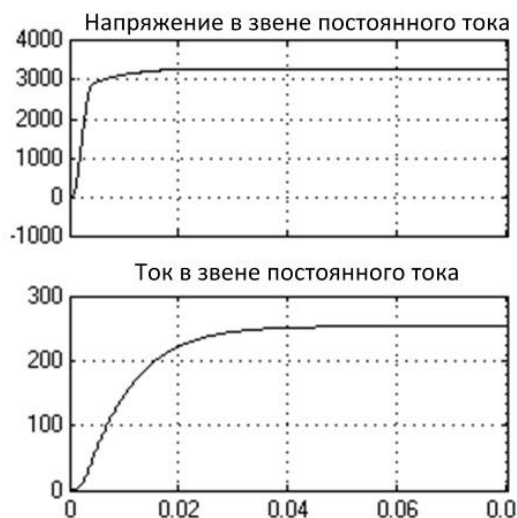


Рис. 5. Напряжение и ток в звене постоянного тока преобразователя частоты

Результаты проведенного анализа имитационного моделирования двух- и трёхуровневых структур АВН-АИН приведены в табл. 1.

1. Энергетические показатели

Параметр	2-х уров. АИН-АВН	3-х уров. АИН-АВН
Коэффициент мощности энергии потребляемой из сети	98,78 %;	99,34 %;
Коэффициент нелинейных искажений входных фазных токов	1,053 %	0,61 %;
Коэффициент пульсаций напряжения в звене постоянного тока:	0,425 %	0,2471 %
Коэффициент мощности в режиме рекуперации	- 98,2 %	- 98,78%
Коэффициент нелинейных искажений фазного тока АИН в режиме ШИМ	4,07 %	4,07 %
Мощность, рассеиваемая одним ключом АВН, кВт*ч	0,66	0,33

Выводы. Применение активных выпрямителей с коррекцией коэффициента мощности позволит значительно повысить электромагнитную совместимость преобразователей частоты с питающей сетью и реализовать коэффициент потребляемой мощности, близкий к единице. Проведен анализ эмиссии гармоник тока частотных преобразователей с применением двух-и трехуровневых активных трехфазных выпрямителей с коррекцией коэффициента мощности. Трехуровневые активные выпрямители имеют ряд преимуществ по сравнению с двухуровневыми: повышенный коэффициент мощности, потребляемой из сети, меньший уровень эмиссии высших гармоник тока, а также меньшие требования по нагрузке к ключам.

Получено 15.07.2014

Список использованной литературы:

1. Розанов Ю. К. Основы силовой электроники [Текст] / Ю. К. Розанов.– М. : Энергоатомиздат, 1992, 296 с
2. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты [Текст] / Р. Т. Шрейнер. – Екатеринбург : УРО РАН. – 2000. – С.. 273 – 288.
3. Пронин М. В. Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет) : под ред. Крутякова Е. А. / М. В. Пронин, А. Г. Воронцов. – СПб : Электросила, 2003. – 172 с.
4. Celanovic N., and Boroyevich D., (2000). A Comprehensive Study of Neutral-Point Voltage Balancing Problems in Three-Level Neutral-Point-Clamped Voltage Source Inverters *IEEE Trans on Power Electronics*, Vol. 15, No. 2, March, pp. 242 – 249.

5. Mao H., Boroyevich D., and Lee F.C., (1998), Novel Reduced-Order Small Signal Model of a Three-Phase PWM Rectifier and its Application in Control Design and System Analysis *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 13, pp. 511 – 531.

6. Mao H., Boroyevich D., and Ravindra A., (1996), Analysis and Design of a High Frequency Three-Phase Boost Rectifier *IEEE Applied Power Electronics Conference*, Vol. 4, pp. 538 – 544.

7. Maswood A.I., and Fangrui Liu, (2005), A Novel Variable Hysteresis Band Current Control of Three-Phase Three-Level Rectifier with Constant Switching Frequency *IEEE, Power Engineering Society General Meeting*, Vol. 1, pp. 23 – 27.

8. Walker G., and Ledwich G., (1999), Bandwidth Considerations for Multilevel Converters, *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 14, No.° 1, pp. 74 – 81.

9. Lai J. S., and Peng F. Z., (1996), Multilevel Converters A New Breed of Power Converters *IEEE Trans. Ind. Applic.*, Vol. IA-32, No. 3, pp. 509 – 517.

10. Dai M., Marwali M.N., Jung J.-W., and Keyhani A. (2005). A PWM Rectifier Control Technique for three-phase Double Conversion ups under Unbalanced Load *IEEE Applied Power Electronics Conf. Expo. (APEC)*, Vol. 1, pp. 548–552.

Получено 15.07.2014

References

1. Ruzakov Yu.K. *Osnovi silovoy elektroniki* [Fundamentals of Power Electronics], (1992), Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat*, 296 p. (In Russian).

2. Shreyner R.T., *Matematicheskoe modelirovanie elektroprivodov peremennogo toka s poluprovodnikovimi preobrazovatelyami chastoty* [Mathematical Modeling of AC Drives with Semiconductor Frequency Converters], (2000), Ekaterinburg, Russian Federation, *URO RAN*, pp. 273 – 288 (In Russian).

3. Pronin M.V., and Vorontsov A.G., *Silovie polnost'yu upravlyаемие poluprovodnikovie preobrazovately. Modelirovanie i raschet*, [Completely Controllable Semiconductor Power Converters (Modeling and Calculation)], (2003), *Spb. Electropower*, 173 p. (In Russian).

4. Celanovic N., and Boroyevich D., (2000), A Comprehensive Study of Neutral-Point Voltage Balancing Problems in Three-Level Neutral-Point-Clamped Voltage Source Inverters, *IEEE Trans on Power Electronics*, Vol. 15, No.° 2, March, pp. 242 – 249.

5. Mao H., Boroyevich D., and Lee F.C. (1998), Novel Reduced-Order Small Signal Model of a three-phase PWM Rectifier and its Application in Control Design and System Analysis, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 13, pp. 511 – 531.

6. Mao H., Boroyevich D., and Ravindra A., (1996), Analysis and Design of a High Frequency Three-Phase Boost Rectifier *IEEE Applied Power Electronics Conference*, Vol. 4, pp. 538 – 544.

7. Maswood A.I., and Fangrui Liu, (2005), A Novel Variable Hysteresis Band Current Control of Three-Phase

Three-Level Rectifier with Constant Switching Frequency, *IEEE, Power Engineering Society General Meeting*, Vol. 1, pp. 23 – 27.

8. Walker G., and Ledwich G., (1999). Bandwidth Considerations for Multilevel Converters, *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 14, No.° 1, pp. 74 – 81.

9. Lai J.S., and Peng F.Z., (1996), Multilevel Converters a New Breed of Power Converters *IEEE Trans. Ind. Applic.*, Vol. IA-32, No. 3, pp. 509 – 517.

10. Dai M., Marwali M.N., Jung J.-W., and Keyhani A., (2005), A PWM Rectifier Control Technique for Three-Phase Double Conversion ups under Unbalanced Load *IEEE Applied Power Electronics Conf. Expo. (APEC)*, Vol. 1, pp. 548 – 552.



Щербак
Яков Васильевич,
д-р техн. наук, проф. зав. каф.
автоматизированных системы
электрического транспорта
Украинской госуд. академии
железнодорожного
транспорта.
61007, г. Харьков
пл. Фейербаха 7.
Тел: +38 (096) 2208996.
E-mail: sherbak47@mail.ru



Плахтий
Александр Андреевич,
аспирант каф.
автоматизированных систем
электрического транспорта
Украинской госуд. академии
железнодорожного транспорта.
61007, г. Харьков
пл. Фейербаха 7.
Тел: +38 (093) 9176020.
E-mail: 83et@mail.ru



Цеховской
Максим Владимирович,
канд. техн. наук, руководитель
проектов ООО «ВО ОВЕН».
61007, г. Харьков, ул.
Гвардейцев-широнивцев,3А.
Тел: +38 (067) 573-4581.
E-mail: m.tsekhovskoy@owen.ua