

УДК 621.31

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Пугачёв Емельян Васильевич<sup>1</sup>,

доктор техн. наук, профессор, e – mail: [Pugachev\\_ev@em.sbsiu.ru](mailto:Pugachev_ev@em.sbsiu.ru)

Иванов Александр Сергеевич<sup>1</sup>,

кандидат техн. наук, доцент, e – mail: [huzzer@rambler.ru](mailto:huzzer@rambler.ru)

Нусратов Пайрав Рухонидинович<sup>1</sup>,

аспирант, e – mail: [Pairavbek@yandex.ru](mailto:Pairavbek@yandex.ru)

Иванов Владимир Сергеевич<sup>2</sup>,

инженер-наладчик, e – mail: [sibsiuprk@gmail.com](mailto:sibsiuprk@gmail.com)

Корнеев Виктор Александрович<sup>1</sup>,

кандидат техн. наук, e – mail: [pustelli@mail.ru](mailto:pustelli@mail.ru)

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

<sup>2</sup>ООО «ИНДАС ХОЛДИНГ», г. Новокузнецк

**Аннотация.** В данной статье исследована эффективность двухзвенного преобразователя частоты с активным выпрямителем напряжения при питании от источника напряжения. Проведено имитационное моделирование преобразователя, приведены осциллограммы изменения сетевого напряжения, сетевого тока, а также коэффициента мощности.

**Ключевые слова.** Двухзвенный преобразователь частоты, активный выпрямитель напряжения, асинхронный двигатель

Асинхронный электро привод (ЭП) большинства промышленных механизмов, в частности грузоподъемных механизмов, строится на базе двухзвенных преобразователей частоты с источником напряжения [1]. Преобразователи частоты подобных механизмов изготавливаются с применением управляемых выпрямителей на базе IGBT – модулей. При таком построении системы управления появляется возможность получить требуемые статические и динамические характеристики ЭП и потреблять из питающей сети или рекуперировать в питающую сеть только активную энергию. Кроме того, в приводах большой мощности немаловажную роль играет необходимость улучшения формы потребляемого из сети тока.

Следовательно, задачи анализа и синтеза подобных систем ЭП являются актуальными, и требует более глубокого изучения их статических и динамических режимов работы.

Авторами предложена схема активного выпрямителя напряжения и структура системы автоматического управления (рис. 1), позволяющая повысить эффективность асинхронного ЭП путем улучшения гармонического спектра сетевого тока и напряжения.

Система автоматического управления (САУ) активного выпрямителя напряжения (АВН) является двухконтурной с внешним контуром регули-

рования напряжения звена постоянного тока и внутренним контуром регулирования сетевого тока преобразователя частоты.

Особенность системы управления заключается в регулировании фазы входного тока, как в двигательном режиме, так и в режиме генераторного торможения с рекуперацией электроэнергии в питающую сеть. Реализация указанной структуры и системы автоматического управления, позволяет получить желаемое значение коэффициента мощности в системе ЭП.

Следовательно, двухзвенный преобразователь частоты с АВН может рассматриваться как энергосберегающий преобразователь.

Кроме того, регуляторы напряжения (РН) в звене постоянного тока и тока (РТ) фазы можно подобрать таким образом, чтобы передаточная функция преобразователя в системе автоматического управления от трехфазного напряжения, являющегося возмущающим воздействием [2], по напряжению в звене постоянного тока  $U_{dc}$  – стала эквивалентной фильтру низких частот.

Такое построение регуляторов позволит подавить пульсации напряжения в звене постоянного тока, которое является входным для АИН, а значит, будет влиять на спектр тока, подаваемого на статор машины переменного тока в частности на потери и колебания момента.

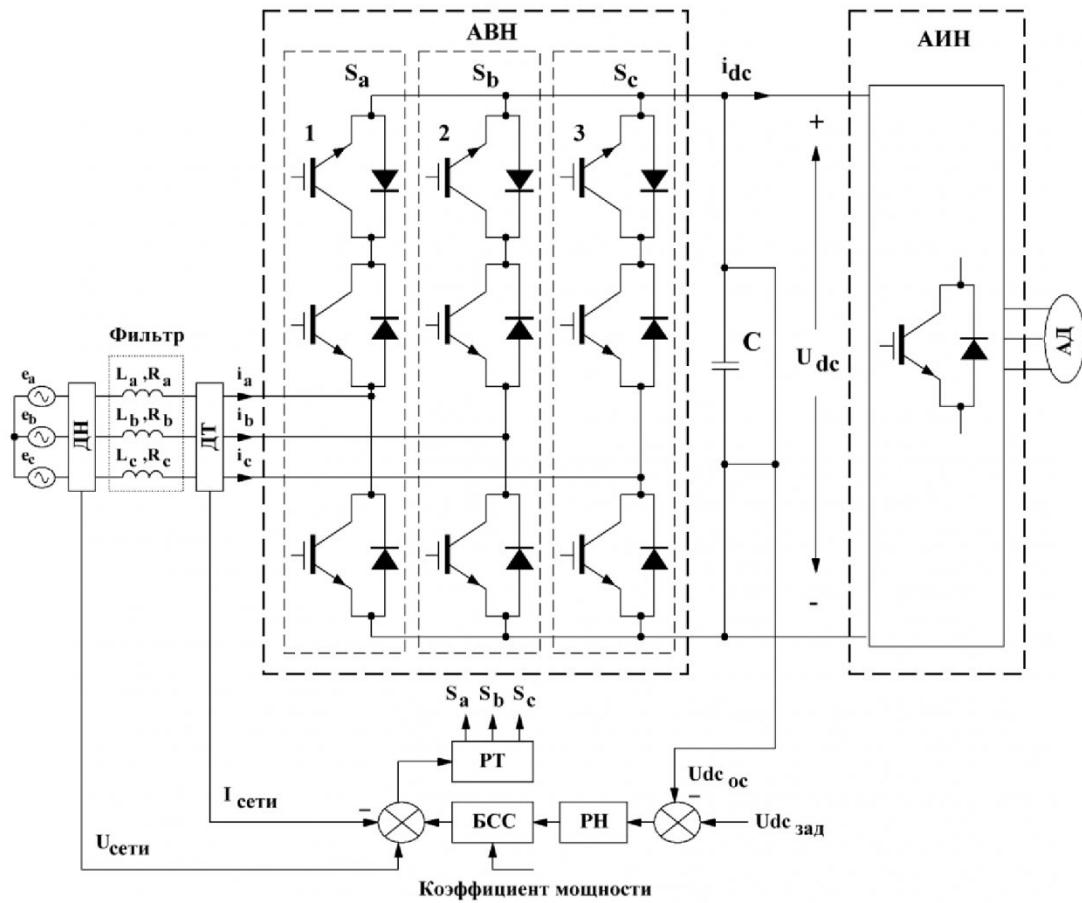


Рис. 1. Принципиальная схема двухзвенного преобразователя частоты со звеном постоянного тока с системой автоматического управления: АВН – активный выпрямитель напряжения; АИН – автоматический инвертор напряжения; АД – асинхронный двигатель; ДН – датчик напряжения; ДТ – датчик тока; РТ – регулятор тока; РН – регулятор напряжения; БСС – блок согласования сигналов

Уравнения линейных параметров активного выпрямителя напряжения в режимах выпрямления и инвертирования описываются уравнениями:

$$\begin{cases} L_a \frac{di_a}{dt} = e_a - u_a - R_a i_a = \\ = e_a - u_{dc} \frac{2S_a - (S_b + S_c)}{3} - R_a i_a; \\ L_b \frac{di_b}{dt} = e_b - u_b - R_b i_b = \\ = e_b - u_{dc} \frac{2S_b - (S_a + S_c)}{3} - R_b i_b; \\ L_c \frac{di_c}{dt} = e_c - u_c - R_c i_c = \\ = e_c - u_{dc} \frac{2S_c - (S_a + S_b)}{3} - R_c i_c; \\ C \frac{du_{dc}}{dt} = S_a i_a + S_b i_b + S_c i_c \mp i_{dc}. \end{cases} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} u_a &= u_{dc} \frac{2S_a - (S_b + S_c)}{3}; \\ u_b &= u_{dc} \frac{2S_b - (S_a + S_c)}{3}; \\ u_c &= u_{dc} \frac{2S_c - (S_a + S_b)}{3}. \end{aligned}$$

$L_a, L_b, L_c$  – индуктивность входного фильтра;  $i_a, i_b, i_c$  – линейные токи трехфазной системы;  $e_a, e_b, e_c$  – линейные напряжения трехфазной системы;  $R_a, R_b, R_c$  – активные сопротивления входного фильтра;  $u_{dc}$  – напряжение звена постоянного тока;  $S_a, S_b, S_c$  – ключевые состояния IGBT – транзисторов (1 или 0);  $C$  – емкость конденсатора звена постоянного тока;  $i_{dc}$  – ток звена постоянного тока.

Знак «–» в  $i_{dc}$  соответствует режиму выпрямления, а знак «+» соответствует режиму инвертирования (режим генераторного торможения с рекуперацией энергии в питающую сеть).

Линейные напряжения и токи трехфазной системы выражаются:

$$e_a = E_m \cos \omega t; \quad (2)$$

$$e_b = E_m \cos \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right); \quad (3)$$

$$e_c = E_m \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right); \quad (4)$$

$$i_a = I_m \cos(\omega t + \varphi); \quad (5)$$

$$i_b = I_m \cos \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} + \varphi \right); \quad (6)$$

$$i_c = I_m \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} + \varphi \right), \quad (7)$$

где  $E_m$  ( $I_m$ ) – амплитуда фазового напряжения (тока);  $\omega$  – угловая частота,  $\varphi$  – фазовый сдвиг.

Как видно статический режим в предлагаемой схеме описывается взаимными линейными уравнениями (1 – 7), которые можно использовать для исследования свойств и характеристик активного выпрямителя напряжения в системе ЭП.

Анализ динамических характеристик двухзвенного преобразователя частоты с активным выпрямителем напряжения проводился путем имитационного моделирования в среде MATLAB/Simulink [3].

При исследовании рассматривался двигательный режим системы ЭП, в ходе моделирования которого приняты числовые значения параметров:  $P_n=3$  кВт,  $f_n=50$  Гц,  $U_{лип}=380$  В,  $C=400$  мкФ,  $\mu_{mod}=0.8$ ,  $R_a=R_b=R_c=0.5$  Ом,  $L_a=L_b=L_c=1$  мГн.

На рис. 2 приведена осциллограмма изменения напряжения звена постоянного тока  $U_{dc}$  на конденсаторе С. Данная характеристика получена путем управления IGBT – транзисторов верхнего плеча 1, 2, 3 активного выпрямителя напряжения (рис. 1).

На рис. 3 приведены осциллограммы изменения сетевого напряжения  $u_{сет}$  и сетевого тока  $i_{сет}$  двухзвенного преобразователя частоты с активным выпрямителем напряжения в системе автоматического управления, из которых видно, что сетевое напряжение и сетевой ток имеют близкую к идеальной синусоидальную форму (рис. 3).

Коэффициент мощности в данном ЭП достигает значения 0.9995 (рис. 4).

Выполненный анализ эффективности асинхронного электропривода (ЭП) с двухзвенным преобразователем частоты на базе активного выпрямителя напряжения методом компьютерного моделирования показал, что для решения задач улучшения формы потребляемого из сети тока и получения коэффициента мощности ЭП близкого к единице потребовалась незначительная корректировка схемотехнических решений силовых цепей преобразователя частоты.

Благодаря обратимости системы управления ЭП может обеспечить высокие энергетические показатели. В режиме генераторного торможения с рекуперацией электрической энергии в питающей сеть, АИН переходит в режим выпрямления, а АВН переходит в режим инвертирования. Этим обеспечивается двусторонний обмен энергией между питающей сетью и АД.

Таким образом, преимуществом предложенной структуры и способа управления является обеспечение высокого коэффициента мощности двухзвенного преобразователя частоты с актив-

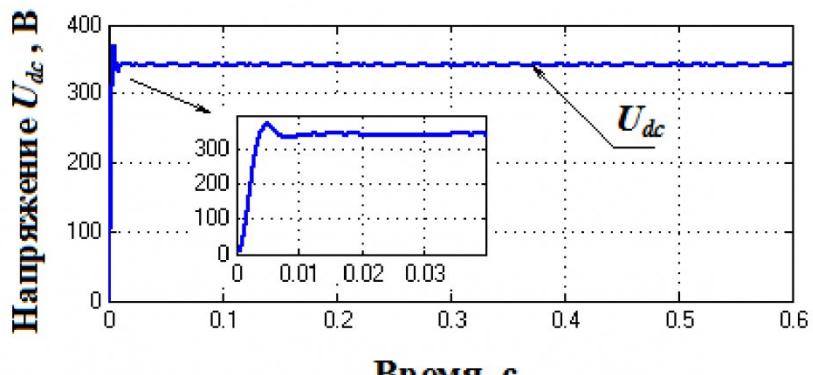


Рис. 2. Осциллограмма напряжения звена постоянного тока

ным выпрямителем напряжения в широком диапазоне регулирования выходных параметров АВН. Благодаря регулированию фазы входного тока, возможно в широком диапазоне регулировать коэффициент мощности преобразователя а, следовательно, регулировать поток энергии. Формы сетевого тока и сетевого напряжения имеют близкую к идеальной синусоидальную форму с коэффициентом мощности равным 0.9995.

Следовательно, двухзвенный преобразователь частоты с активным выпрямителем напряжения может рассматриваться, как энергосберегающий преобразователь с коэффициентом мощности  $\cos\phi \approx 1$  и может быть использован в грузоподъемных механизмах, работающих длительное время в режиме генераторного торможения с рекуперацией энергии в питающую сеть.

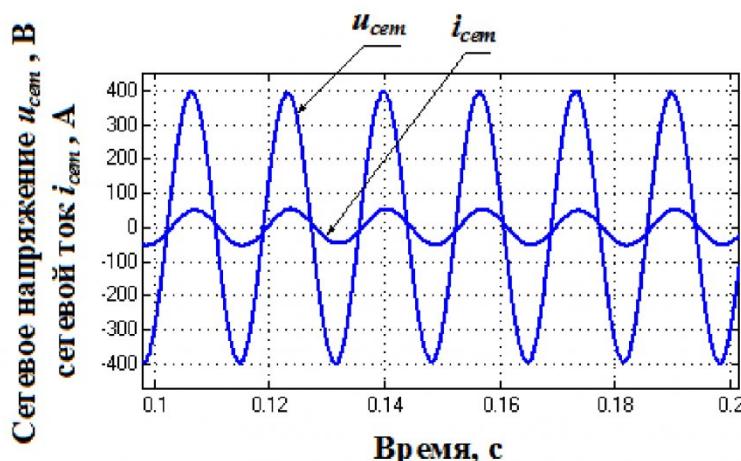


Рис. 3. Осциллографмма сетевого напряжения и тока: осциллографмма в увеличенном масштабе

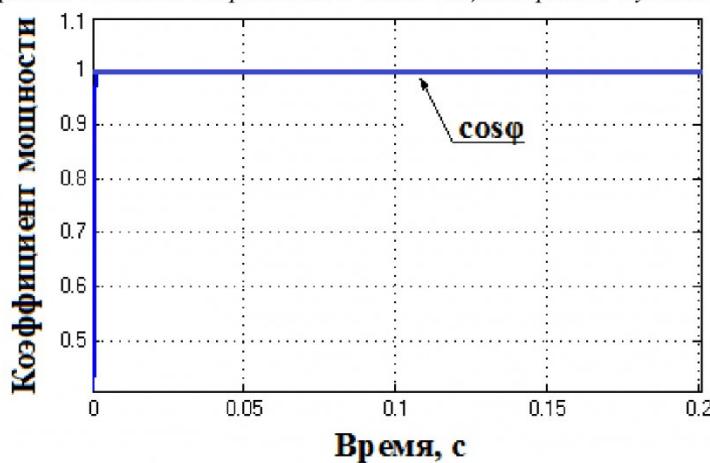


Рис. 4 Осциллографмма коэффициента мощности

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Пугачев Е.В., Нусратов П.Р., Иванов В.С. Обзор рынка частотно – регулируемых электроприводов со звеном рекуперации электроэнергии в питающую сеть // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Уголь и Майнинг России. Новокузнецк: СибГИУ, 2014. №1. С.187-192.
- Симаков Г. М. Микроэлектропривод постоянного тока с повышающим DC/DC преобразователем / Г. М. Симаков, А. В. Троицкий, Д. Я. Гринкевич // Технічна електродинаміка. Темат. вип. Проблеми сучасної електротехніки та енергоефективності. – Київ, 2003. – Ч. 2. – С. 92–97.
- Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты, Екатеринбург, УРО РАН, 2000. 654 с.

УДК 621.31

## ENERGY – SAVING ASYNCHRONOUS DRIVE

Pugachev Emelian V., Dr. Sc. (Engineering), Professor e – mail:

[Pugachev\\_ev@em.sbsiu.ru](mailto:Pugachev_ev@em.sbsiu.ru)

Иванов Александр Сергеевич,<sup>1</sup>

кандидат технических наук, доцент, :

Ivanov Aleksandr S., C. Sc. (Engineering), Associate Professor e – mail [huzzer@rambler.ru](mailto:huzzer@rambler.ru)

Нусратов Пайрав Рухонидинович<sup>1</sup>,

аспирант,

**Nusratov P.R.**, graduate student e – mail: [Pairavbek@yandex.ru](mailto:Pairavbek@yandex.ru)

**Иванов Владимир Сергеевич<sup>2</sup>,**

инженер-наладчик,

**Ivanov V.S.** , commissioning engineer e – mail: [sibsiuprk@gmail.com](mailto:sibsiuprk@gmail.com)

**Корнеев Виктор Александрович<sup>1</sup>,**

кандидат технических наук,

**Korneev V.A.,** C.. Sc. in Engineering e – mail: [pustelli@mail.ru](mailto:pustelli@mail.ru)

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

1 - FSEIHE of HE «Siberian state industrial university», Novokuznetsk

<sup>2</sup> - ООО «ИНДАС ХОЛДИНГ», г. Новокузнецк

2 – Ltd «INDAS CHOLDING», Novokuznetsk

**Аннотация.** В данной статье исследована эффективность двухзвенного преобразователя частоты с активным выпрямителем напряжения при питании от источника напряжения. Проведено имитационное моделирование преобразователя, приведены осцилограммы изменения сетевого напряжения, сетевого тока, а также коэффициента мощности.

**Abstract.** Energy – saving of a voltage source two level back – to – back converter on active rectifier has studied in this article. The imitation modeling of the converter has performed oscillograms of the main voltage and network current has shown and also has shown oscillogram of the power factor.

**Ключевые слова.** Двухзвенный преобразователь частоты, активный выпрямитель напряжения, асинхронный двигатель

**Ke words.** Two level back – to – back converter, active rectifier, asynchronous motor.

## REFERENCES

1. Pugachev E.V., Nusratov P.R., Ivanov V.S. Obzor rynka chastotno – reguliruemyh jeklektroprivodov so zvenom rekuperacii jeklektrojenergi v pitajushhuju set' // Naukoemkie tehnologii razrabotki i ispol'zovanija mineral'nyh resursov. Ugoł' i Majning Rossii. Novokuzneck: SibGIU, 2014.№1. S.187-192.
2. Simakov G. M. Mikrojeklektoprivod postojannogo toka s povyshajushhim DS/DS preobrazovatelem / G. M. Simakov, A. V. Troickij, D. Ja. Grinkevich // Tehnichna elektrodinamika. Temat. vip. Problemi suchasnoi jeklektrotehniki ta energoefektivnist'. – Kiiv, 2003. – Ch. 2. – S. 92–97.
3. Shrejner R.T. Matematicheskoe modelirovanie jeklektroprivodov peremennogo toka s polupro-vodnikovymi preobrazovateliами chastoty, Ekaterinburg, URO RAN, 2000. 654 s.

Поступило в редакцию 24.08.201