

УДК 621.3.077

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ
ТЕХНОЛОГІЙ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ****Швайченко В. Б., Дикий М. В.**

Київський національний університет технологій та дизайну

Мета. Підвищення енергоефективності в сушарному цеху за допомогою транзисторного перетворювача частоти для керування електроприводом.

Методика. Було обрано керування за допомогою транзисторного перетворювача частоти, як найбільш енергозаощаджуючого способу.

Результати. Аналізовані способи керування асинхронним двигуном. Розроблена система керування на базі напівпровідникового перетворювача частоти. Розроблена структурна і функціональна схема. Наведено принцип дії та суть керуючого впливу перетворювача частоти. Проаналізовані характеристики роботи та виявлено параметри перетворювача частоти, що впливають на енергозбереження.

Наукова новизна. ККД такого перетворювача дуже високий і становить близько 98%. При цьому з мережі споживається майже виключно активна складова струму навантаження.

Практична значимість. Керування електроприводом за допомогою транзисторного перетворювача частоти може використовуватись у цехах, де споживається велика кількість енергії.

Ключові слова: керування АД, моделювання системи керування, напівпровідникові технології, підвищення енергоефективності, сушарний цех, транзисторний перетворювач частоти

Сушарний цех являє собою камеру, закриту металевими щитами і дверима, заповненими теплоізоляцією. Для подачі продукту в сушилку служить похилий стрічковий транспортер. Для видалення вологого повітря з сушильної камери застосовується система вентиляції, яка складається з витяжних камер і вентиляторів.

Продуктивність відсмоктуючих вентиляторів може регулюватися клапанами (дистанційно зі щита управління) через жалюзі, встановленими зверху витяжних камер. Забір свіжого повітря для подачі в сушильну камеру здійснюється з приміщення в отвори між корпусом сушарки, підлогою і стійками фундаменту. Основним контрольованим параметром є температура циркулюючого повітря над кожною з п'яти транспортних стрічок.

Витяжний вузол має мотори потужністю від 5,5 до 7,5 кВт з'єднані з вентилятором відцентрового типу безпосередньо або за допомогою пасової передачі. Створюваний потік – від 25 до 30000 м³/год. Фільтри (кишенькового типу)

встановлюються в каналі подачі повітря для захисту вентилятора, теплообмінника і стельових фільтрів тонкого очищення від попадання частинок бруду.

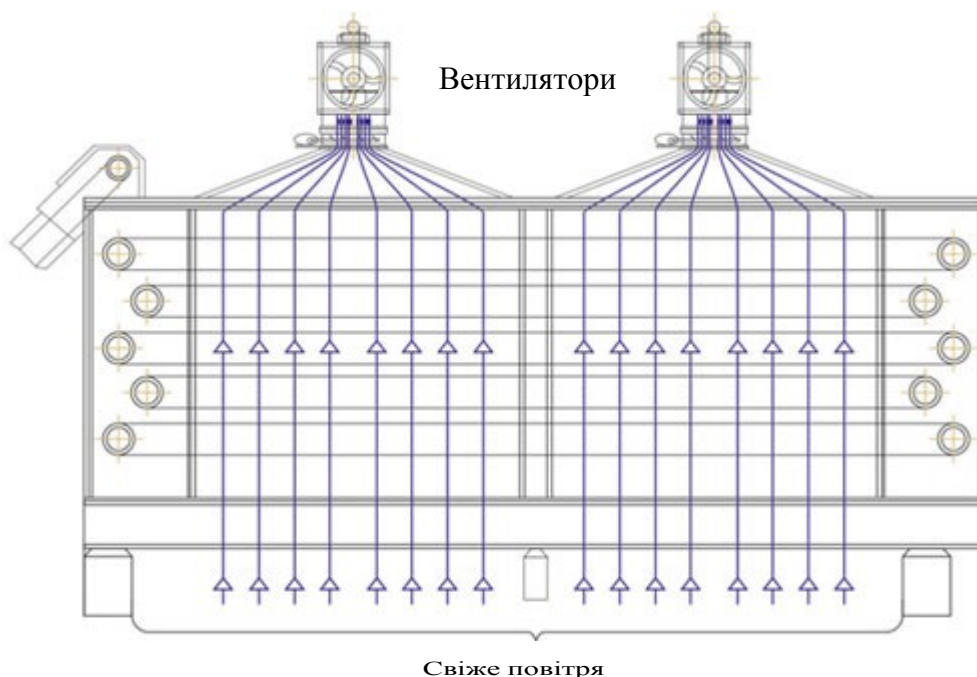


Рис. 1. Схема сушарки

У камері використовують низькообертові вентилятори турбінного типу зі зниженим шумоутворенням.

На даний момент у сушарці використовується релейно-контакторна автоматика, що накладає ряд недоліків на роботу сушарки. Вентилятори [1] працюють на постійних максимальних обертах, а потік повітря регулюється лише за рахунок відкриття і закриття шторок. Це в свою чергу призводить до зайвих витрат електроенергії.

Вирішити даний недолік можна застосувавши регульований електропривод.

Значення регульованого електроприводу в сучасному виробництві безперервно зростає, так само як і його питома вага в загальній масі електроприводів. Це обумовлено двома причинами. Застосування регульованого електроприводу дозволяє істотно спростити кінематику машини і механізму, а у ряді випадків виключити редуктор або іншу механічну передачу зовсім, сумістивши в один пристрій електропривод і робочий орган.

Способи керування електроприводами [3].

Майже всі агрегати в якості електроприводу оснащуються асинхронними двигунами. У них проста конструкція і невисока вартість. У зв'язку з цим важливим

виявляється регулювання швидкості асинхронного двигуна. Однак в стандартній схемі включення керувати його швидкістю можна тільки за допомогою механічних передавальних систем (редуктори, шків), що не завжди зручно. Електричне керування швидкістю ротора має більше переваг, хоча воно і ускладнює схему підключення асинхронного двигуна.

Застосування регульованого електроприводу забезпечує енергозбереження та дозволяє отримувати нові якості систем і об'єктів. Значна економія електроенергії забезпечується за рахунок регулювання будь-якого технологічного параметра

Найпоширенішими для регулювання швидкості обертання ротора є зміна наступних параметрів:

- напруги, що подається на статор;
- допоміжного опору ланцюга ротора;
- числа пар полюсів;
- частоти робочого струму.

Останні два способи дозволяють змінювати швидкість обертання без значного зниження ККД і втрати потужності, інші способи регулювання сприяють зниженню ККД пропорційно величині ковзання. Але і у тих і інших є свої переваги і недоліки. Оскільки найчастіше на виробництві застосовуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, то весь подальший аналіз стосується саме цього типу електродвигунів.

Для ефективної роботи асинхронного електродвигуна без втрат потрібно разом з частотою змінювати і напругу, що подається. Напруга має змінюватися в залежності від моменту навантаження. Якщо навантаження постійне, то напруга змінюється пропорційно частоті.

Сучасні частотні регулятори дозволяють зменшувати і збільшувати оберти в широкому діапазоні. Таке регулювання дозволяє оператору, що стежить за правильністю виконання технологічних операцій, поступово прискорювати або сповільнювати швидкість.

Принцип роботи перетворювача частоти

Перетворювач частоти складається з некерованого діодного силового випрямляча В, автономного інвертора, системи управління ШІМ [1], системи автоматичного регулювання, дроселя L і конденсатора фільтра Св (рис. 2).

Регулювання вихідної частоти $f_{\text{вих.}}$ і напруги U вих здійснюється в інверторі за рахунок високочастотного широтно-імпульсного керування.

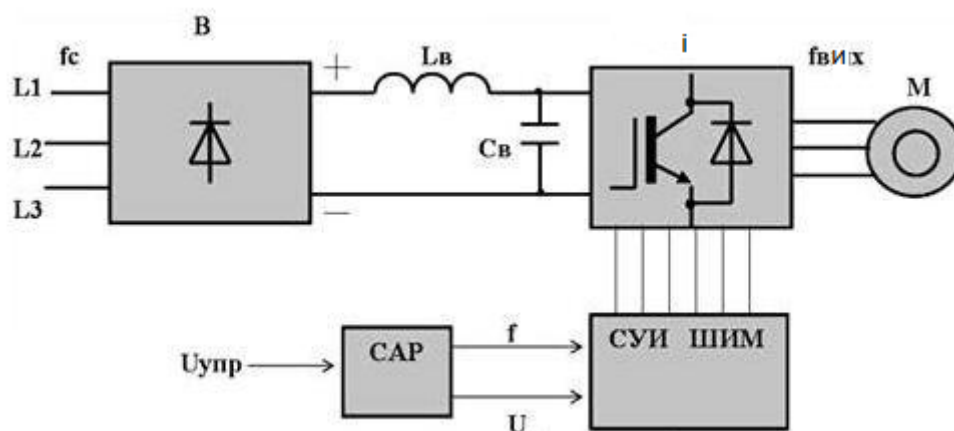


Рис. 2. Перетворювач частоти

Широтно-імпульсне управління характеризується періодом модуляції, всередині якого обмотка статора електродвигуна підключається по черзі до позитивного і негативного полюсів випрямляча.

Тривалість цих станів всередині періоду ШИМ модулюється за синусоїдальним законом. При високих (зазвичай 2 ... 15 кГц) тактових частотах ШИМ, в обмотках електродвигуна, внаслідок їх фільтруючих властивостей, течуть синусоїдальні струми.

Таким чином, форма кривої вихідної напруги являє собою високочастотну двуполлярну послідовність прямокутних імпульсів (рис. 3). Частота імпульсів визначається частотою ШИМ, тривалість (ширина) імпульсів протягом періоду вихідної частоти АН промодульована за синусоїдним законом. Форма кривої вихідного струму (струму в обмотках асинхронного електродвигуна) практично синусоїдна.

Регулювання вихідної напруги інвертора можна здійснити двома способами: амплітудним (АР) за рахунок зміни вхідної напруги $U_{\text{в}}$ і широтно-імпульсним (ШИМ) за рахунок зміни програми перемикачів при $U_{\text{в}} = \text{const}$.

Другий спосіб набув поширення в сучасних перетворювачах частоти завдяки розвитку сучасної елементної бази (мікропроцесори, IGBT-транзистори). При широтно-імпульсній модуляції форма струмів в обмотках статора асинхронного двигуна виходить близькою до синусоїдної завдяки фільтрующим властивостям самих обмоток [2].

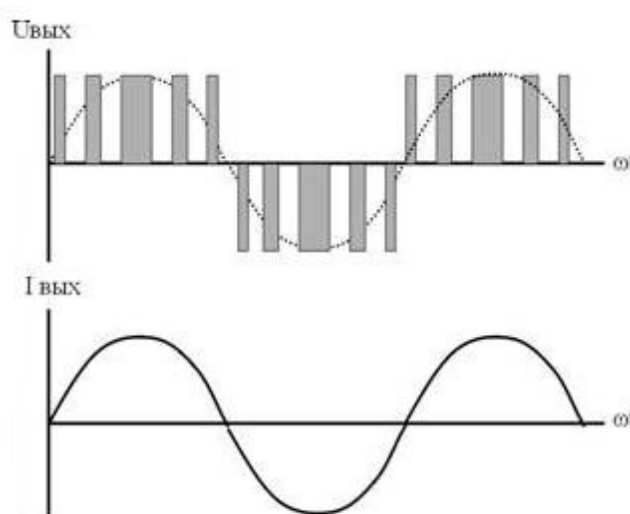


Рис. 3. Широтно-імпульсна модуляція

Таке керування дозволяє отримати високий ККД перетворювача і еквівалентно аналоговому управлінню за допомогою частоти і амплітуди напруги.

Постановка завдання

Проаналізувавши виробництво та його недолік можна сформулювати задачу дослідження. Виявивши, що в сушарному цеху використовується нерегульований електропривод, потрібно розробити керовану систему на основі транзисторного перетворювача частоти (ТПЧ), що дозволить значно зменшити витрати електроенергії.

Для реалізації даної задачі нам необхідно:

- провести попередній розрахунок потужності керованого електропривода;
- розрахувати основні елементи ТТЧ;
- розробити структурну схему ТПЧ;
- розробити принципову схему ТПЧ;
- провести дослідження ТПЧ з метою визначення оптимальних характеристик з метою досягнення максимальної енергоефективності;
- провести дослідження розробленої схеми на стійкість.

Результати досліджень

Підвищення енергоефективності та ККД двигуна здійснюється за рахунок використання алгоритму керування, що отримав назву Direct Torque Control (пряме управління моментом і потокозчеплення). Дані електроприводи відпрацьовують стовідсотковий стрибок завдання моменту при низьких частотах, включно з нульовою швидкістю, а також забезпечують точність підтримки швидкості на рівні 0,01 відсотка

ковзання асинхронного двигуна з використанням датчика швидкості. Математичний апарат, використовуваний для моделювання роботи перетворювача, базується на теорії нелінійних і дискретних систем керування, матричної алгебри і чисельних методах обчислення. В даній роботі використовується програмний засіб Matlab Simulink. Модуль SimPowerSystems є спеціалізованим додатком для моделювання пристроїв силової електроніки [6]. Завданням прямого керування моментом є забезпечення швидкої реакції електромагнітного моменту двигуна на керуючий вплив. На відміну від «Традиційних» систем векторного керування, де зміна моменту проводиться шляхом впливу на струм статора, який таким чином є керованою величиною, в системі з прямим управлінням моментом керованою величиною є потокозчеплення статора. Зміна потокозчеплення досягається шляхом оптимального перемикання ключів інвертора напруги, від якого живлять асинхронний двигун (рис. 4).

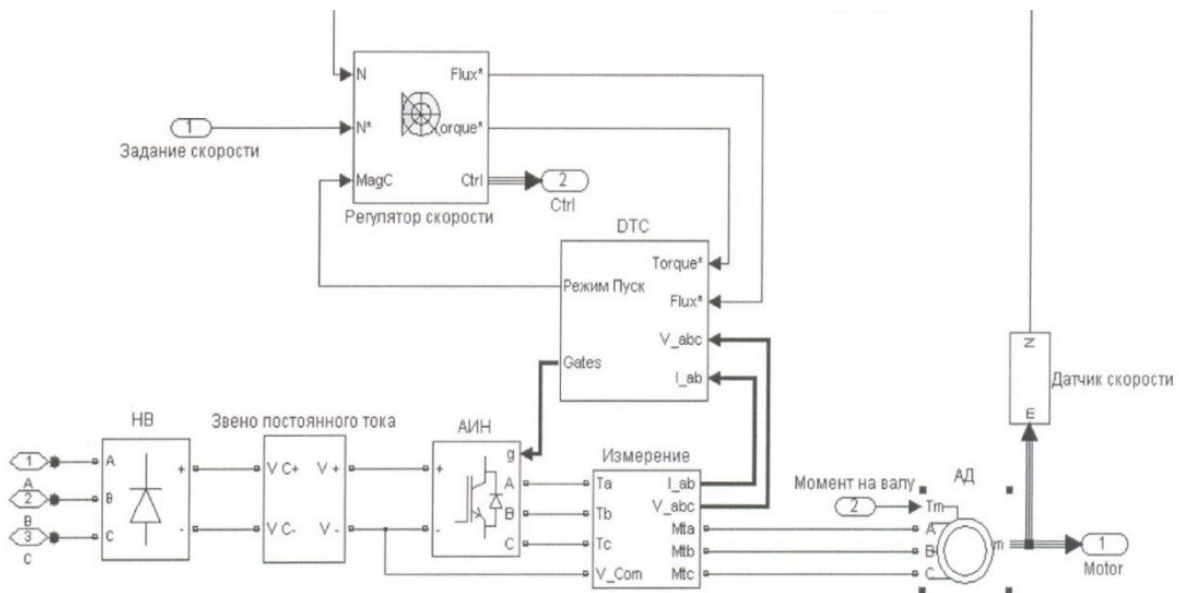


Рис. 4. Моделювання ТПЧ в SimPowerSystems

Далі в блоці switching time calculator визначається тривалість імпульсів для кожної пари вентилів. Після чого в блоці gates logic визначається стан вентилів, і керуючі імпульси надходять на самі вентиляти автономного інвертора напруги. У реальній системі електроприводу перед пуском двигуна необхідно встановити заданий рівень потокозчеплення. Для цього використовую режим попереднього намагнічування, при якому напруга на двох фазах статора модулюється перемиканням векторів. Тривалість режиму попереднього намагнічування становить 8 мс, частота модуляції 62,5 кГц. Блок контролю потокозчеплення статора (рис. 5) порівнює поточне значення

потокосцеплення з заданим і виробляє логічний сигнал $MagC$, що запускає алгоритм DTC. Сигнали завдання моменту і модуля потокосцеплення статора формуються в блоці регулятора швидкості. Функціональна схема модуля регулятора швидкості [7] представлена на рисунку 5.

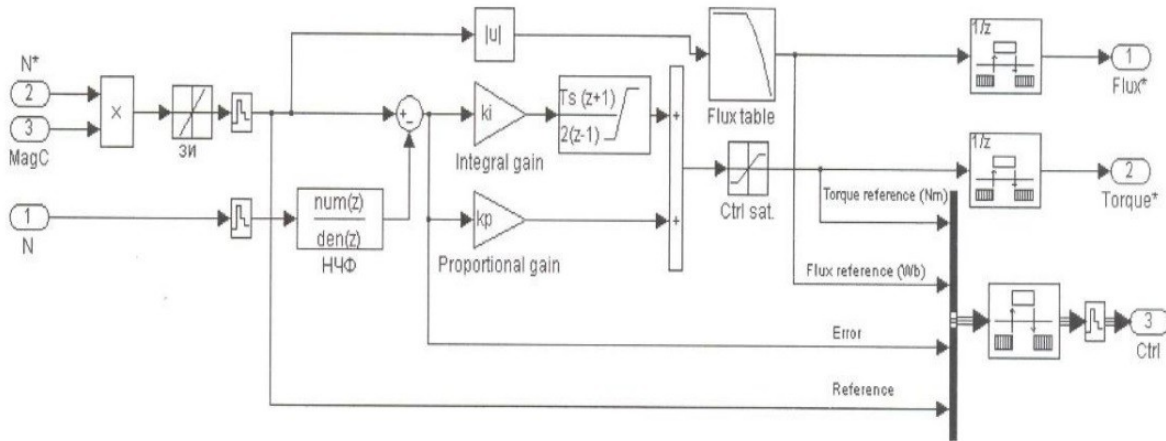


Рис. 5. Функціональна система регулювання

Пуск двигуна будемо здійснювати на холостому ході з набором швидкості до 500 об/хв. осцилограми фазного струму статора, швидкості обертання ротора, електромагнітного моменту, представлені на рис. 6-8.

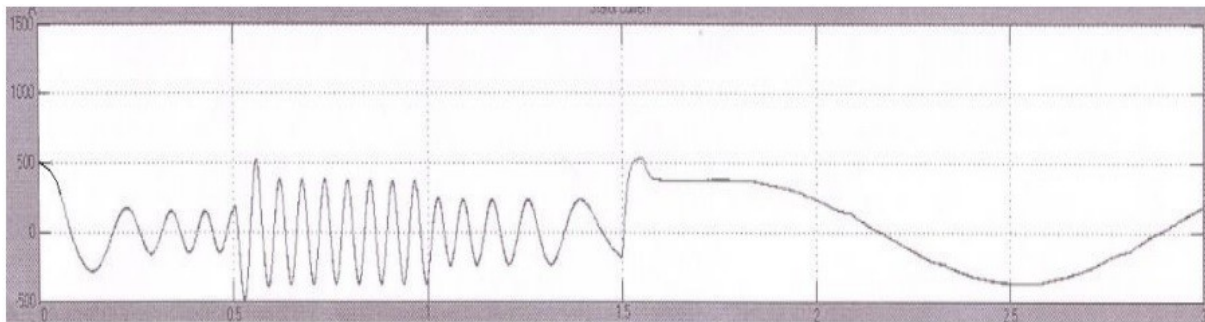


Рис. 6. Осцилограма фазного струму

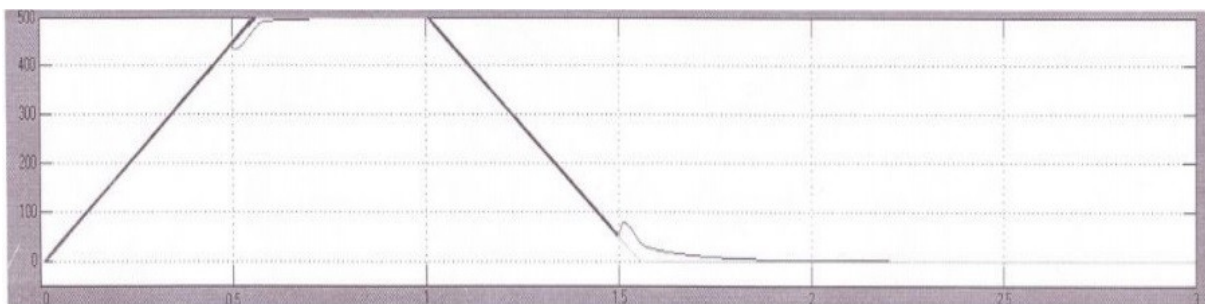


Рис. 7. Осцилограма швидкості обертання

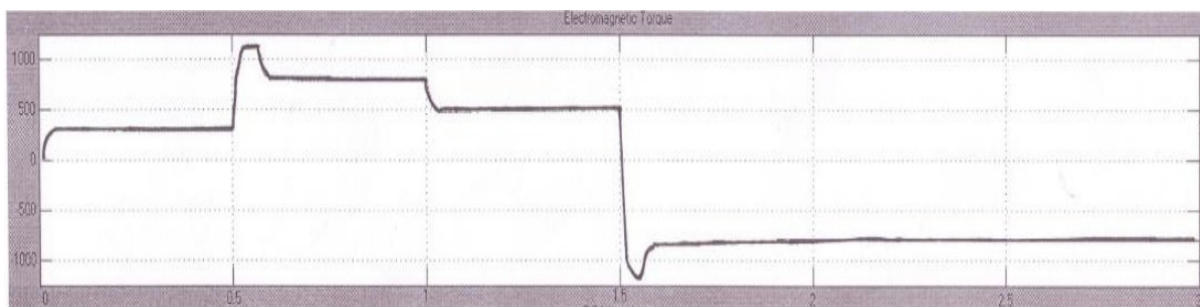


Рис. 8. Осцилограма електромагнітного моменту

Висновки

1. Обґрунтовано технічну ефективність впровадження частотного приводу:

При використанні перетворювача частоти з'являються такі технічні можливості:

- регулювання швидкості від нуля до номінальної і вище номінальної;
- плавний розгін і гальмування;
- обмеження струму на рівні номінального в пускових, робочих і аварійних режимах;
- збільшення терміну служби механічної та електричної частин обладнання;
- вивільняється деяке обладнання.

ККД такого перетворення дуже високий і становить близько 98%. При цьому з мережі споживається майже виключно активна складова струму навантаження.

Мікропроцесорна керуюча система забезпечує високу якість управління електродвигуном і контролює безліч його параметрів, запобігаючи тим самим можливість виникнення аварійних ситуацій [5].

2. Економічна і технічна ефективність частотно регульованого приводу збільшено:

Незважаючи на згадану значну вартість сучасних перетворювачів, окупність вкладених коштів за рахунок економії енергоресурсів та інших складових ефективності не перевищує в середньому 1,5 років. Це цілком реальні терміни, а з огляду на багаторічний ресурс подібної техніки, можна підрахувати очікувану економію на тривалий період і прийняти правильне рішення.

З одного боку, інвестуючи кошти в перетворювачі частоти для свого виробництва, підприємство гарантовано повертає ці кошти за період терміну окупності, а в наступні 15-20 років підприємство просто отримує чистий прибуток. З іншого боку, зроблені інвестиції ні на хвилину не залишають меж вашого підприємства.

Список використаних джерел

1. Типы вентиляторов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.norrisvent.ru/ShowNodeNID25.html> (дата звернення 6.03.16.p.). – Назва з екрана.
2. Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://td-bm.uaprom.net/> (дата звернення 12.06.09.p.). – Назва з екрана.
3. Башарин А. В. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. ./ Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. // Л. : Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с., ил.
4. Дорф Р. Современные системы управления. / Дорф Р., Бишоп Р. Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний 2002. – 832 с.
5. Электромагнитная совместимость потребителей [Текст]: Э45 моногр. / И. В. Жежеленко, А. К. Шидловский, Г. Г. Пивняк и др. – М. : Машиностроение, 2012. – 351 с.
6. Гуляев И. В. Системы векторного управления электроприводом на основе асинхронизированного вентильного двигателя: монография / И. В. Гуляев, Г. М. Тутаяев. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – 200 с.
7. Виноградов А. Адаптивно-векторная система управления бездатчикового асинхронного электропривода серии ЭПВ / Виноградов А., Сибирцев А., Колодин И. // Силовая Электроника. – 2006. – № 3 – С.50-55.

References

1. Typy ventyliatorov [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupa: <http://www.norrisvent.ru/ShowNodeNID25.html> (data zvernennia 6.03.16.r.). – Nazva z ekrana.
2. Sovremennye preobrazovately chastoty: metody upravleniia y apparatnaia realizatsiia. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupa: <http://td-bm.uaprom.net/> (data zvernennia 12.06.09.r.). – Nazva z ekrana.
3. Basharyn A. V. Upravlenye elektropyvodamy: Uchebnoe posobyе dlia vuzov. ./ Basharyn A. V., Novykov V. A., Sokolovskiy H. H. // L. : Enerhoizdat. Jlenynhr. otd-nye, 1982. – 392 s., yl.

4. Dorf R. Sovremennye systemy upravleniya. / Dorf R., Byshop R. Per. s anhl. B.Y. Kopylova. – M.: Laboratoriya Bazovykh Znanyi 2002. – 832 s.
5. Elektromahnytnaia sovместymost potrebytelei [Tekst]: Э45 monohr. / Y. V. Zhezhelenko, A. K. Shydlovskiy, H. H. Pyvniak y dr. – M. : Mashynostroenye, 2012. – 351 s.
6. Huliaeв Y. V. Systemy vektornoho upravleniya elektropyvodom na osnove asynkhronyzyrovannoho ventylnoho dvyhatelia: monohrafiya / Y. V. Huliaeв, H. M. Tutaev. – Saransk: Yzd-vo Mordov. un-ta, 2010. – 200 s.
7. Vynohradov A. Adaptivno-vektornaia systema upravleniya bezdatchkovoho asynkhronnoho elektropyvoda seryu ЭРV / Vynohradov A., Sybyrtsev A., Kolodyn Y. // Sylovaia Elektronika. – 2006. – № 3 – S.50-55.

Енергоэффективные полупроводниковые преобразователи для технологий легкой промышленности

Швайченко В. Б., Дикий М. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Повышение энергоэффективности в сушильных цехах с помощью транзисторного преобразователя частоты для управления электроприводом.

Методика. Был избран управления с помощью транзисторного преобразователя частоты, как наиболее энергосберегающего образа.

Результаты. Рассматриваемые способы управления асинхронным двигателем. Разработана система управления на базе полупроводникового преобразователя частоты. Разработана структурная и функциональная схема. Приведены принцип действия и суть управляющего воздействия преобразователя частоты. Проанализированы характеристики работы и выявлены параметры преобразователя частоты, влияющие на энергосбережение.

Научная новизна. КПД такого преобразователя очень высока и составляет около 98%. При этом из сети потребляется почти исключительно активная составляющая тока нагрузки.

Практическая значимость. Управление электроприводом с помощью транзисторного преобразователя частоты может использоваться в цехах, где потребляется большое количество энергии.

Ключевые слова: моделирование системы управления, повышение энергоэффективности, полупроводниковые технологии, сушильный цех, транзисторный преобразователь частоты, управление АД

Energy efficient semiconductor converters for light industry technologies***Shvaichenko V. B., Dykyi M. V.****Kyiv National Technologies and Design University*

Goal. *Improving energy efficiency in susharnomu shop via transistor frequency converter for motor control.*

Method. *Was selected via control transistor frequency converter as the energy saving mode.*

Results. *Analyzed how to manage asynchronous motor. The system management based semiconductor frequency converter. The structural and functional scheme. An operating principle of the essence and managing the impact of the frequency converter. And analyzed characteristics of the detected frequency converter parameters that affect energy efficiency.*

Scientific novelty. *Efficiency of the converter is very high and is about 98%. In this case, the network is consumed almost exclusively active component of load current.*

The practical significance. *Motor control using a transistor frequency converter can be used in shops, which consumes a lot of energy.*

Keywords: *control the asynchronous motor, control systems modeling, drying department, energy efficiency increasing, transistor frequency converter, semiconductor technologies*