

V.A. МАТВІЙЧУК, М.В. ЛЮБІН, О.А. ТОКАРЧУК, О.О. РУБАНЕНКО
Вінницький національний аграрний університет

ОСОБЛИВОСТІ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ ТРАНСПОРТУЮЧИХ СИСТЕМ АПК

В статті розглянута можливість плавного запуску, зупинки та регулювання швидкості асинхронних електродвигунів, що використовуються в якості джерела енергії для транспортуючих систем агропромислового комплексу. В основу покладено принцип частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна: змінюючи частоту струму, змінюємо кутову швидкість магнітного поля статора. Для отримання високих енергетичних показників двигуна необхідно одночасно з частотою змінювати і величину напруги. Регулювання вихідної напруги інвертора можна здійснювати двома способами: амплітудним і широтно-імпульсним. Також за допомогою перетворювача частоти можна здійснити відключення у разі перевищення величини струму при розгоні та в процесі зупинки.

Ключові слова: перетворювач частоти, асинхронний електродвигун, напруга, кутова швидкість, статор, струм, мінімальні енергозатрати.

V.A. MATVIYCHUK, M.V. LYUBIN, O.A. TOKARCHUK, O.O. RUBANENKO
Vinnytsia National Agrarian University

FEATURES OF FREQUENCY-REGULATED ELECTRIC DRIVER FOR TRANSPORTATION SYSTEMS OF AGRICULTURAL INDUSTRY

The article considers the possibility of smooth start, stop and speed regulation of asynchronous electric motors, used as a source of energy for transport systems of the agro-industrial complex. The basis of the principle of frequency regulation of the speed of the asynchronous motor is set: changing the frequency of the current, changing the angular velocity of the stator magnetic field. To obtain high energy indices of the engine it is necessary simultaneously with the frequency to change and the magnitude of the voltage. Adjustment of the output voltage of the inverter can be carried out in two ways: amplitude and pulse-width. Also, with the help of a frequency converter, it is possible to disconnect in case of exceeding the value of current in case of overclocking and in the process of stopping.

Keywords: frequency converter, asynchronous electric motor, voltage, angular velocity, stator, current, minimum energy consumption.

Вступ

Одним зі шляхів зменшення собівартості продукції, що виробляється на підприємствах АПК, є оптимізація енерговитрат. Зниження виробничих витрат за допомогою економічного споживання електроенергії можливе за рахунок використання енергоощадних технологій [1].

Робота будь-якого підприємства, незалежно від масштабів, пов'язана з переміщенням великої кількості вантажу (сировини, напівфабрикатів, готової продукції). Витрати на транспортуючі, навантажувально-розвантажувальні роботи у різних галузях становлять від 10 до 50% загальних витрат виробництва. Обсяг перерахованих робіт сягає мільярдів тонн, і з кожним роком зростатиме [2].

Крім традиційних транспортуючих машин: стрічкових, пластинчастих, скребкових, ковшових та норій у Європі уже більше 30 років широко використовують спіральні конвеєри, в Україні вони лише частково впроваджуються в технологічний процес.

Разом з тим, до всіх машин та механізмів, що забезпечують механізацію транспортуючих робіт, виставляють наступні вимоги: відповідність технологічному процесу виробництва; висока продуктивність; збереження вантажу, що переміщується; мінімальні енергозатрати; безпека та зручність в експлуатації.

Постановка проблеми

Останнім часом джерелом енергії для транспортних систем в основному є асинхронні електродвигуни. Це обумовлено їхньою простотою, надійністю, низькою собівартістю та високим коефіцієнтом корисної дії. З метою покращення їх технічних характеристик та продовження терміну експлуатації використовується багато пристроїв, які здійснюють, пуск, зупинку, регулювання швидкості та захист двигуна.

Важливою перевагою електроприводів з двигунами постійного струму є досить проста система регулювання швидкості, проте слабким місцем такого приводу є сам електродвигун. Він дорогий, не дуже надійний та вимагає постійного струму.

Основний недолік асинхронних електродвигунів – складність регулювання швидкості традиційними методами [3; 4].

Регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів можна здійснювати зміною числа пар полюсів, зміною опору кола ротора або зміною напруги на статорі. Всі ці методи відрізняються незначним діапазоном регулювання кутової швидкості, зниженням жорсткості механічної характеристики і стабільності регулювання, зростанням витрат у двигуні.

Найбільш ефективним способом регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів безумовно є регулювання зміною частоти струму. Тому одним з важливих пристосувань електроприводу є частотний перетворювач. Частотний перетворювач в комплекті з асинхронним електродвигуном дозволяє ефективно

замінювати електропривод з двигуном постійного струму.

Пуск і гальмування робочого органу транспортуючих машин при використанні перетворювача частоти відбувається плавно, без механічних ударів при пуску і гальмуванні, що збільшує термін служби машин та не перевантажує електричну мережу.

Розвиток частотно-регульованого електроприводу стримувала висока вартість перетворювача частоти. Поява силових схем з IGBT-транзисторами і розробка продуктивних мікропроцесорних систем управління дала змогу різним фірмам Європи, США та Японії створити сучасні перетворювачі частоти доступної собівартості.

В комплект поставок транспортуючих систем за кордоном включають частотні перетворювачі, які забезпечують гарантовану безпеку від поломок, та ефективну роботу систем електроприводу. Проте деякі наші користувачі дуже часто вирішують економити на ціні та відмовляються від частотних перетворювачів, при цьому створюючи значні складності в умовах експлуатації обладнання.

Мета роботи

Мета роботи – розглянути технічні засоби керування і захисту асинхронних електродвигунів змінного струму, та забезпечити можливість плавного регулювання швидкості магнітним полем статора для покращення умов роботи транспортних систем.

Виклад основного матеріалу

Принцип частотного методу регулювання швидкості асинхронного двигуна полягає у тому, що змінюючи частоту f_1 напруги, можна змінювати кутову швидкість магнітного поля статора:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{p}, \quad (1)$$

де p – число пар полюсів; f – частота напруги на статорі.

Для отримання високих енергетичних показників асинхронного двигуна (коефіцієнтів потужності і корисної дії, перевантажувальної здатності) необхідно одночасно з частотою змінювати і напругу, закон зміни якої описується рівнянням:

$$U_1 = f_1 \sqrt{f_1^x}, \quad (2)$$

де U_1 ; f_1 – відносні одиниці напруги і частоти;

x – показник степеня в механічній характеристиці робочої машини.

Закон зміни напруги залежить від характеру моменту навантаження M_c .

При постійному моменті навантаження $M_c = \text{const}$ напруга на статорі повинна регулюватись пропорційно частоті:

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const}. \quad (3)$$

При змінному моменті, обернено пропорційно:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{const}. \quad (4)$$

Система частотного регулювання характеризується досить високим коефіцієнтом корисної дії, що забезпечує високу плавність регулювання в досить широкому діапазоні, штучні механічні характеристики при цьому мають велику жорсткість, тому стабільність регулювання є високою.

Конвеєри є складовою частиною сучасних технологічних процесів, вони задають та регулюють темп виробництва, забезпечують ритмічність, сприяють підвищенню продуктивності праці.

Транспортуючі машини, особливо при завантаженні вантажем, зазнають змінного навантаження на тяговий орган. Тому для ефективного протікання технологічного процесу бажано, щоб тяговий орган набирав швидкість поступово до необхідної величини, та не змінював суттєво швидкість при зміні навантаження.

Перетворювач частоти складається з некерованого діодного силового випрямляча В, автономного інвертора, системи керування ШІМ, системи автоматичного регулювання, дроселя L_b і конденсатора фільтра C_b (рис. 1). Регулювання вихідної частоти $f_{\text{вих}}$ і напруги $U_{\text{вих}}$ здійснюється в інверторі за рахунок високочастотного широтно-імпульсного управління. Широтно-імпульсне управління характеризується періодом модуляції, всередині якого обмотка статора електродвигуна підключається по черзі до позитивного і негативного полюсів випрямляча. Тривалість цих станів усередині періоду ШІМ модулюється за синусоїдальним законом. При високих (зазвичай 2...15 кГц) тактових частотах ШІМ, в обмотках електродвигуна течуть синусоїдальні струми [5].

Таким чином, форма кривої вихідної напруги є високочастотною двополярною послідовністю прямокутних імпульсів (рис. 2). Частота імпульсів визначається частотою ШІМ.

Регулювання вихідної напруги інвертора можна здійснити двома способами: амплітудним (АР) за рахунок зміни вхідної напруги U_b і широтно-імпульсним (ШІМ) за рахунок зміни програми перемикання вентилів $V1-V6$ при $U_b = \text{const}$.

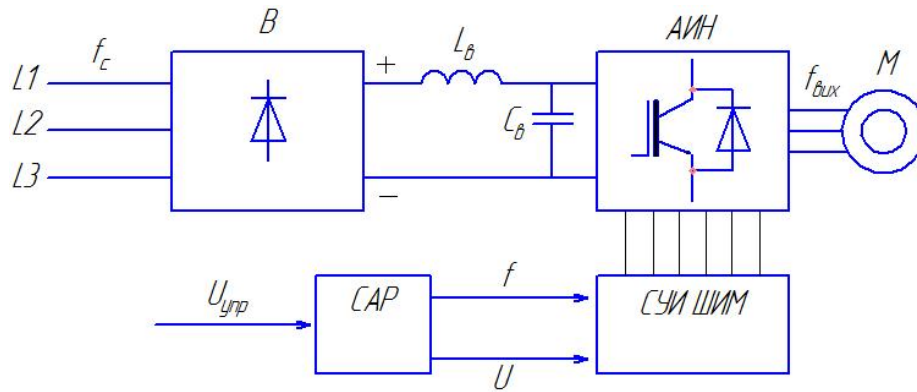


Рис. 1. Принципова схема перетворювача частоти

Другий спосіб отримав 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 синусоїдальної завдяки властивостям самих обмоток, що фільтруються [5]

Таке керування дозволяє отримати високий ККД перетворювача і еквівалентне аналоговому керуванню за допомогою частоти і амплітуди напруги.

Сучасні інвертори виконуються на основі повністю керованих силових напівпровідникових приладів, що замикаються: GTO-тиристорів, або біполярних IGBT-транзисторів з ізолюваним затвором. На рис. 4

представлена 3-фазна мостова схема автономного інвертора на IGBT-транзисторах. Вона складається з вхідного ємнісного фільтра C_ϕ і шести IGBT-транзисторів $V1-V6$ що включені зустрічно-паралельно діодами зворотного струму $D1-D6$. За рахунок почергового перемикавання вентилів $V1-V6$ за алгоритмом, заданим системою керування, постійна вхідна напруга U_b перетвориться в змінну прямокутно-імпульсну вихідну напругу. Через керовані ключі $V1-V6$ протікає активна складова струму асинхронного електродвигуна, через діоди $D1-D6$ – реактивна складова струму, I – 3-фазний мостовий інвертор, B – 3-фазний мостовий випрямляч, C_ϕ – конденсатор фільтра. [6]

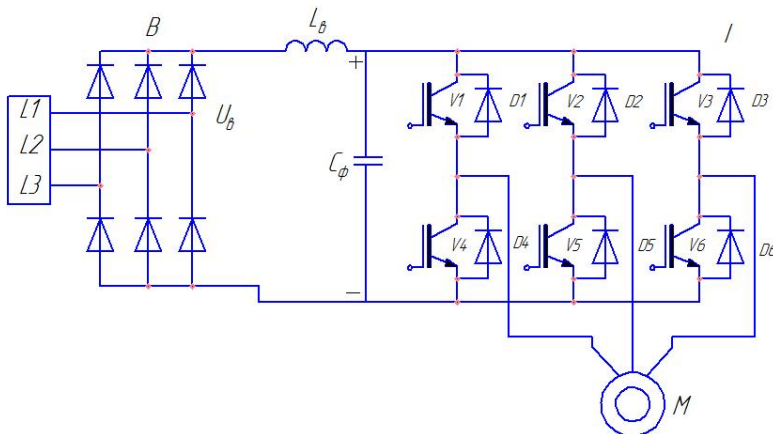


Рис. 4. Трьохфазна мостова схема автономного інвертора на IGBT-транзисторах

гальмівному опорі, можна отримати попередній сигнал тривоги електронного захисту двигуна від перегріву, повідомлення про необхідність проведення робіт з техобслуговування і навіть здійснити техобслуговування

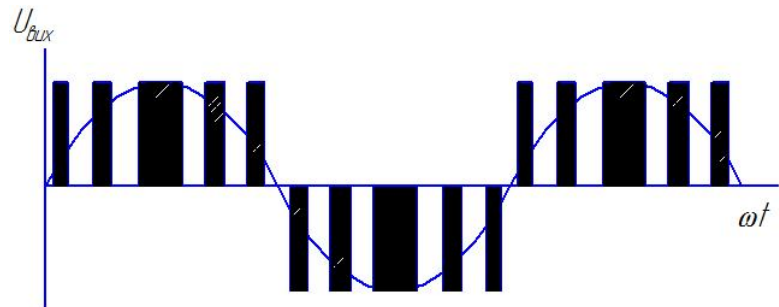


Рис. 2. Форма кривої вихідної напруги

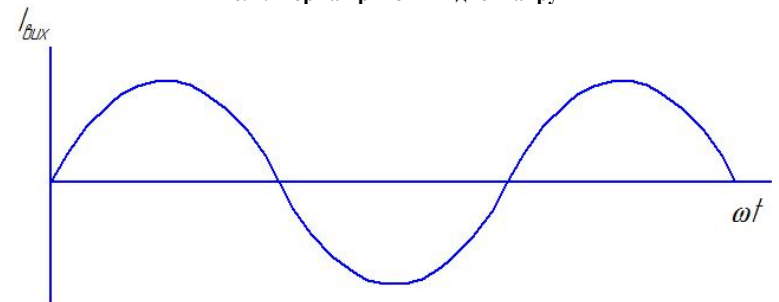


Рис. 3. Форма кривої вихідного струму

Перетворювач частоти FR-D570 має багато функцій, які захищають двигун і перетворювач від ушкоджень у разі виникнення будь-яких несправностей. Зокрема, при активації такої захисної функції у разі виникнення несправності вихід перетворювача частоти блокується і електродвигун зупиняється [5]. На панелі керування з'явиться відповідне повідомлення про несправності. За допомогою такого перетворювача частоти також можна здійснити захист двигуна від перекидання (внаслідок струму перевантаження або перевищення напруги на проміжному контурі), перевантаження на

(рис. 5), сигнал про перевищення максимально допустимого значення напруги або несправності вентилятора. Також за допомогою перетворювача частоти можна здійснювати відключення при перевищенні струму в режимі розгону і при постійній швидкості обертання, відключення при перевищенні струму в процесі зупинки, перевищенні напруги при розгоні та при постійній швидкості обертання, перевищенні напруги в процесі гальмування або зупинки.

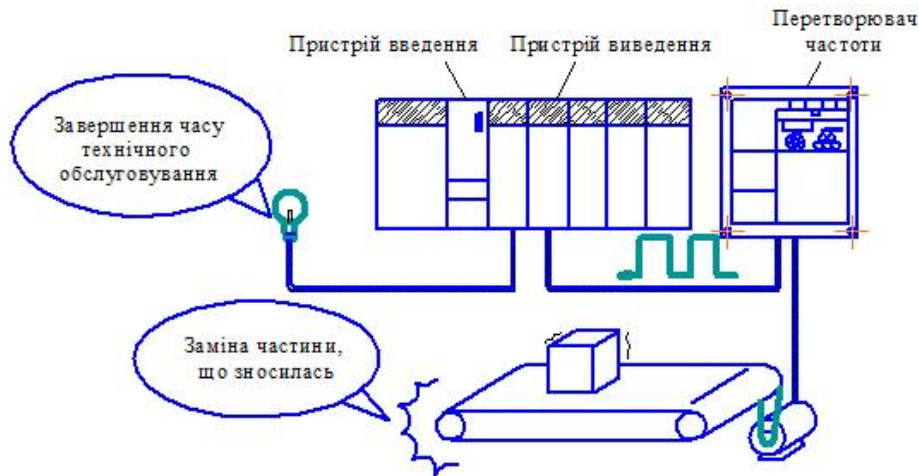


Рис. 5. Застосування перетворювача частоти

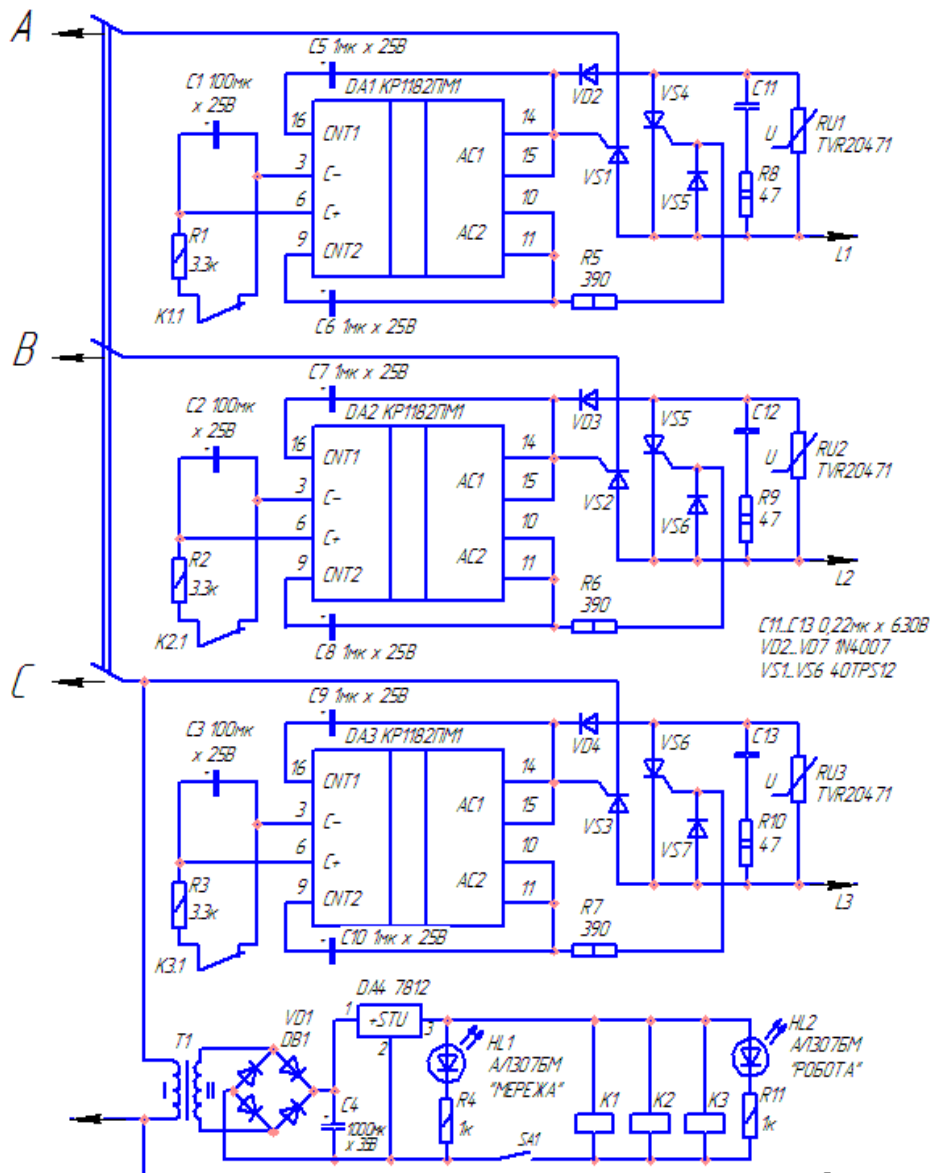


Рис. 6. Схема пристрою плавного запуску електродвигуна змінного струму

Цей пристрій здійснює захист електродвигуна від перевантаження (спрацювання теплового захисту) і перегріву радіатора. На сьогодні такі пристрої виготовляють переважно зарубіжні підприємства. Функцій у них багато і їх можна програмувати. Проте, при усьому цьому, у них є один мінус – досить висока вартість.

В лабораторних умовах університету був змонтований пристрій схема якого представлена а рис. 6. Основу пристрою складає регулятор потужності: фазового типу, який виконаний на основі мікросхем КР1182ПМ1, що встановлені на кожну фазу.

Роботу пристрою перевіряли на електроприводах транспортуючих машин (стрічковому, скребковому, гвинтовому). За результатами випробувань можемо відзначити, що під завантаженням транспортуючі машини повільно набирали швидкість переміщення, крім того швидкість переміщення була регульована.

Висновки

1. Встановлення фазочастотних перетворювачів є перспективним напрямком підвищення надійності електрообладнання і зменшення енерговитрат на підприємствах АПК

2. Для плавного регулювання обертання вала асинхронного двигуна можна використовувати як промислові перетворювачі частоти, так і виготовлені в лабораторних умовах.

3. Для забезпечення надійності роботи транспортних систем АПК та економії електроенергії в електроприводах конвеєрів необхідно використовувати частотні перетворювачі.

Література

1. Щодо Галузевої програми енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 року : наказ 25.02.2009 № 152 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://consultant.parus.ua/?doc=0918FAC322>
2. Любін М.В. Конвеєри з гнучким тяговим елементом : навчальний посібник / М.В. Любін, І.В. Гунько. – К. : Хай-Тек Прес, 2012. – 272 с.
3. Маліновський А.А. Основи електропостачання / А.А. Маліновський, Б.К. Хохулін. – Львів : Львівська політехніка, 2005. – 324 с.
4. Белікова Л.Я. Електричні машини : навчальний посібник / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і Техніка, 2011. – 480 с.
5. Пивняк Г. Г. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией : монография / Геннадий Григорьевич Пивняк, Александр Васильевич Волков ; И.о. Нац. горный ун-т. – Днепропетровск : НГУ, 2006. – 470 с.
6. Преобразователи частоты. Основы выбора и подбора [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://powerqtoup.com.ua/vibor-preobrazovatelya-chastoti>
7. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування : підручник / Попович М.Г. – 2-е вид., перероб. і доп. / М.Г. Попович, О.В. Ковальчуки. – К. : Либідь, 2007. – 656 с.
8. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. – М. : Издательский центр “Академия”, 2006. – 272 с.
9. Руководство по эксплуатации. Преобразователь частоты FR-D700EC [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.briznsk.ru/download/equipment/mitsubishi/frf700_manual_ru.pdf
10. Любін М.В. Впровадження енергоощадних технологій на підприємствах АПК / М.В. Любін, О.А. Токарчук, О.О. Рубаненко // Енергетика і електротехнічні системи в агропромисловому комплексі : матер. II Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, 22-23 березня 2016. – Вінниця : ВНАУ 2016. – С. 79–82.

References

1. Shchodo Haluzevoi prohramy enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia na period do 2017 roku : nakaz 25.02.2009 № 152 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://consultant.parus.ua/?doc=0918FAC322>
2. Liubin M.V. Konveieri z hnuchkym tiahovym elementom : navchalnyi posibnyk / M.V. Liubin, I.V. Hunko. – K. : Khai-Tek Pres, 2012. – 272 s.
3. Malinovskiy A.A. Osnovy elektropostachannia / A.A. Malinovskiy, B.K. Khokhulin. – Lviv : Lvivska politehnika, 2005. – 324 s.
4. Belikova L.Ia. Elektrychni mashyny : navchalnyi posibnyk / L.Ia. Belikova, V.P. Shevchenko. – Odesa : Nauka i Tekhnika, 2011. – 480 s.
5. Pivnyak G. G. Sovremennyye chastotno-reguliruemye asinhronnyie elektroprivodyi s shirotno-impulsnoy modulyatsiey : monografiya / Gennadiy Grigorevich Pivnyak, Aleksandr Vasilevich Volkov ; I.o. Nats. gornyy un-t. – Dnepropetrovsk : NGU, 2006. – 470 s.
6. Preobrazovateli chastoty. Osnovy vyibora i podbora [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <http://powerqtoup.com.ua/vibor-preobrazovatelya-chastoti>
7. Popovych M.H. Teoriia avtomatychnoho keruvannia : pidruchnyk / Popovych M.H. – 2-e vyd., pererob. i dop. / M.H. Popovych, O.V. Kovalchuky. – K. : Lybid, 2007. – 656 s.
8. Sokolovskiy G.G. Elektroprivodyi peremennogo toka s chastotnym regulirovaniem : uchebnik dlya stud. vyissh. ucheb. zavedeniy / G.G. Sokolovskiy. – M. : Izdatelskiy tsentr “Akademiya”, 2006. – 272 s.
9. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Preobrazovatel chastoty FR-D700EC [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : http://www.briznsk.ru/download/equipment/mitsubishi/frf700_manual_ru.pdf
10. Liubin M.V. Vprovadzhennia enerhooschadnykh tekhnolohii na pidpriemstvakh APK / M.V. Liubin, O.A. Tokarchuk, O.O. Rubanenko // Enerhetika i elektrotekhnichni systemy v ahropromyslovomu kompleksi : mater. II Vseukrainskoi naukovu-tekhnichnoi konferentsii molodykh vchenykh, 22-23 bereznia 2016. – Vinnytsia : VNAU 2016. – S. 79–82.

Рецензія/Peer review : 18.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Веселовська Н.Р.