**УДК 612.335.43 – 501.72**

**Б.Л. Карплюк, Л.Ф. Карплюк, А.О. Лозинський***
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕАП,
* кафедра ЕМА

# ОБМЕЖЕННЯ ПЕРЕНАПРУГ НА ЛАНЦІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЧАСТОТНО КЕРОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЗІ ЗМІННИМ МОМЕНТОМ ІНЕРЦІЇ ТА НАВАНТАЖЕННЯ

*© Карплюк Б.Л.,Карплюк Л.Ф., Лозинський А.О., 2007*

**Проаналізовано роботу систем керування електроприводом. Наведені результати досліджень. Результати досліджень можна використовувати під час розроблення нових систем електроприводів.**

**The control system of drive electric drives has been analysed. The conclusion have been drawn from the results of the research. The result may be used during the designing electric drives.**

**Суть проблеми.** Одним із шляхів модернізації електроприводів агрегатів з кривошипно-шатунними механізмами є застосування частотно керованих електроприводів з асинхронними двигунами змінного струму. Для такого механізму характерні режими перетворення кінетичної енергії в електричну пов’язані з періодичною зміною моменту інерції та моменту навантаження в функції кута повороту кривошипу. За відсутності технічних засобів відведення цієї енергії назовні системи, вона нагромаджується на конденсаторах ланки постійного струму частотного перетворювача. Надлишок електроенергії спричиняє перенапруги на конденсаторах, які приводять до спрацювання відповідних захистів і нерідко до аварійних ситуацій, що спричиняє простоювання агрегату, витрати на ремонт обладнання. Забезпечення працездатності таких електроприводів є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень.** Проблема забезпечення працездатності таких систем вирішується використанням швидкодіючих сервоприводів з керованим випрямлячем [1], коректного вибору параметрів механічних елементів [2]. Перспективним є використання високодинамічних частотно-керованих електроприводів з прямим регулюванням моменту- DTC систем керування [3]. Вибір та налаштування регуляторів системи керування таким електроприводом [4, 5] дозволяє забезпечити відпрацювання заданих траєкторій руху механізмами зі змінними параметрами навантаження. Дослідження налаштувань DTC системи частотного електропривода з кривошипно-шатунним механізмом проводилося в середовищі MathLab Simulink [6]. Запропоновано програмне завдання моменту для реалізації заданої траєкторії зміни регульованої координати – швидкості привідного двигуна. Стабілізація швидкості привідного двигуна зумовила значні коливання моменту з входженням двигуна в режими рекуперації. Значна кількість рекуперованої енергії призводила до перевищення напруги ланки постійного струму частотного перетворювача, оскільки інвертор такого типу перетворювачів частоти живиться від некерованого випрямляча напруги, який не здатний віддавати енергію в мережу. Розсіяння надлишкової енергії за перевищення напруги на ланці постійного струму допустимого значення, згідно з алгоритмом роботи перетворювача, відбувається на гальмівних резисторах. За реальних параметрів цього механізму, перетоки енергії є значними і стабілізація швидкості спричиняє перегрівання гальмівних модулів і привідного двигуна. Отже, необхідно формувати таке керування DTC-системи частотного електропривода, яке б дозволило забезпечити необхідну середню швидкість двигуна, а отже, й продуктивність агрегату і при цьому уникнути перенапруг у ланці постійного струму.

**Мета роботи.** Розробити ефективні алгоритми керування частотно керованим електроприводом механізму зі змінним моментом інерції та навантаження, які дозволять уникнути режимів рекуперації енергії.



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

**Виклад основного матеріалу.** Кривошипно шатунний механізм для обмеження коливань моменту привідного двигуна, як правило, комплектується маховиком. Для формування вимог до системи керування асинхронним електроприводом розглянемо процеси передавання енергії між механічними та електричними елементами системи в різних режимах роботи.

Під час пуску відбувається нагромадження механічними елементами системи кінетичної енергії. Для забезпечення раціонального режиму роботи та необхідної продуктивності, електропривод повинен забезпечити максимально допустиме прискорення.

У робочому режимі існують такі періоди роботи: розгін повзуна до найбільшої швидкості поступального руху, під час якого двигун і маховик віддає кінетичну енергію повзуну, і режим гальмування повзуна під час якого в процесі досягнення граничної точки поступального руху повзун повертає енергію двигуну і маховику. Під час одного циклу відбувається дворазова передача кінетичної енергії в одному напрямку. У режимі розгону повзуна електропривід обмежує момент максимальним значенням, а в режимі гальмування повзуна електропривід не повинен рекуперувати енергію. Споживачем енергії в гальмівних режимах повинен бути маховик. У робочому режимі також існують втрати енергії на подолання опору навантаження. Система електропривода здійснює компенсацію втрат енергії в циклі обміну енергії між маховиком та повзуном. Тобто привідний двигун здійснює підзаряджування маховика кінетичною енергією.

У режимі примусового гальмування енергія маховика та повзуна повинна бути повернена в мережу системою електропривода або розсіяна на реактивних гальмівних механічних чи електричних елементах.

Отже, виникнення швидкоплинних режимів рекуперації переважно відбувається в робочому режимі стабілізації швидкості двигуна.

Для вирішення проблеми уникнення режимів рекуперації в електроприводі з системою DTC пропонуються такі способи:

1. Формування заданої траєкторії з регульованою відсічкою за режимом рекуперації.
2. Формуванням жорсткості механічної характеристики на ділянці стабілізації швидкості, за рахунок введення від'ємного зворотного зв'язку за моментом.
3. Формування заданої траєкторії з використанням релейного гістерезисного регулятора зі зворотним зв'язком за напругою ланки постійного струму.

**Дослідження роботи системи формування заданої траєкторії з регульованою відсічкою за режимом рекуперації.** Модель системи електропривода, запропонована в [6], складається з стандартної моделі DTC [3], блока імітації навантаження кривошипно шатунного механізму БН, та блока формування заданого моменту ФЗМ, який формує сигнал завдання моменту для забезпечення бажаної траєкторії руху двигуна [6]. Для дослідження роботи першого способу в модель введено також блок регульованої відсічки за режимом рекуперації РВ. Відповідна структурна схема моделі, створеної в пакеті Matlab/Simulink, зображена на рис. 1. Система керування працює так. Блок ФЗМ, формує такий сигнал завдання моменту на вхід DTC, щоб забезпечити відпрацювання заданої тахограми руху, з урахуванням зміни моменту інерції навантаження. Якщо сигнал завдання моменту з виходу ФЗМ досягає від'ємних значень, то вузол регульованої відсічки відмикає цей сигнал керування і встановлює його фіксоване мінімальне значення. У такому разі момент двигуна не досягає від'ємних значень і не відбувається переходу двигуна в рекуперативний режим роботи. Повернення до режиму керування системою електропривода сигналом з виходу блока ФЗМ здійснюється лише за зниження швидкості двигуна до заданого рівня.

Осцилограми процесів у системі електропривода показані на рис. 2. З результатів досліду видно, що середня швидкість зберігається на бажаному рівні. Програмно сформовані сигнали керування, які реалізують необхідну зміну моменту, забезпечують відсутність коливання напруги в ланці постійного струму в робочих режимах.



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

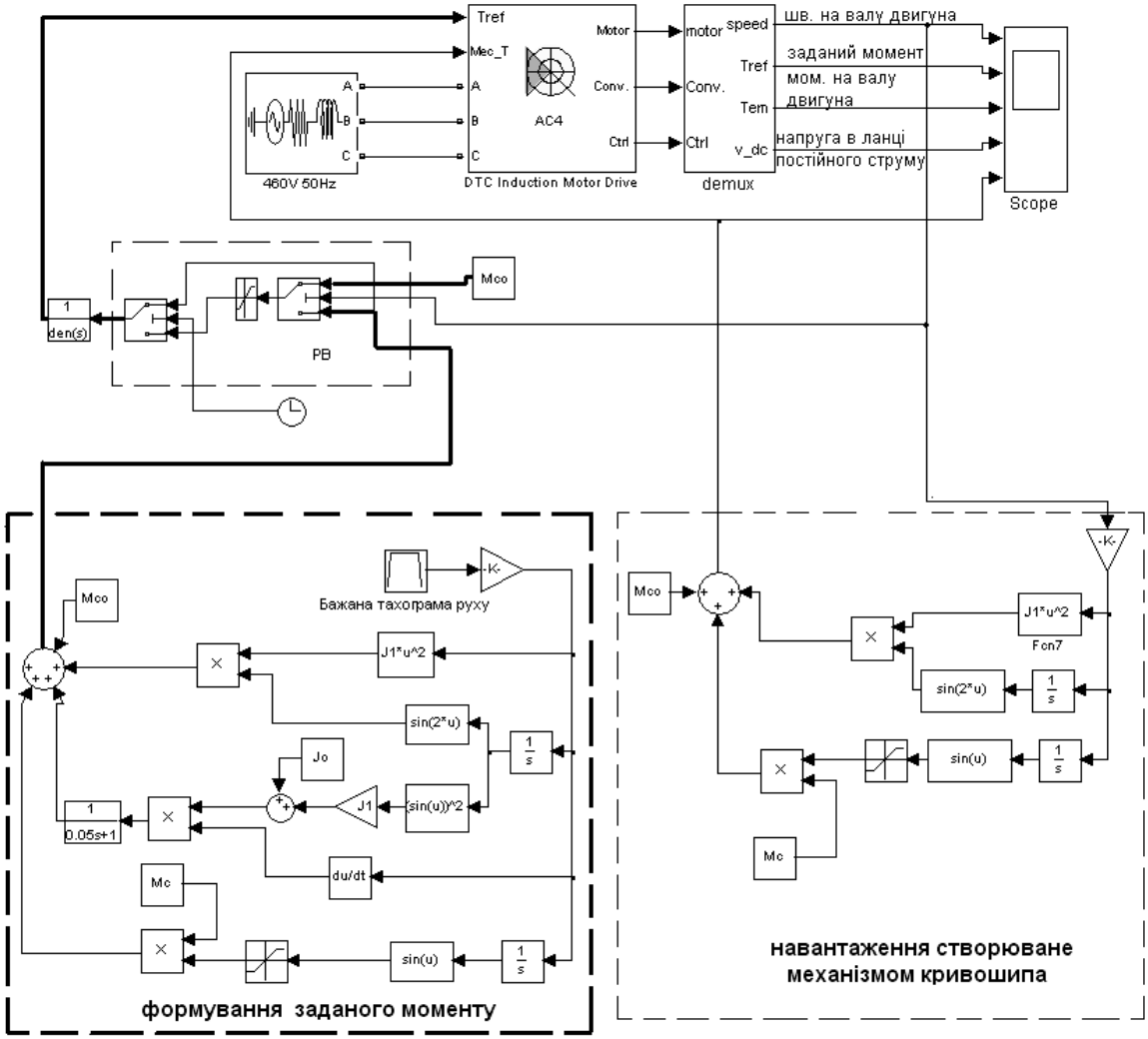


*Рис. 1. Модель системи з програмним завданням моменту з вузлом регульованої відсічки за моментом*

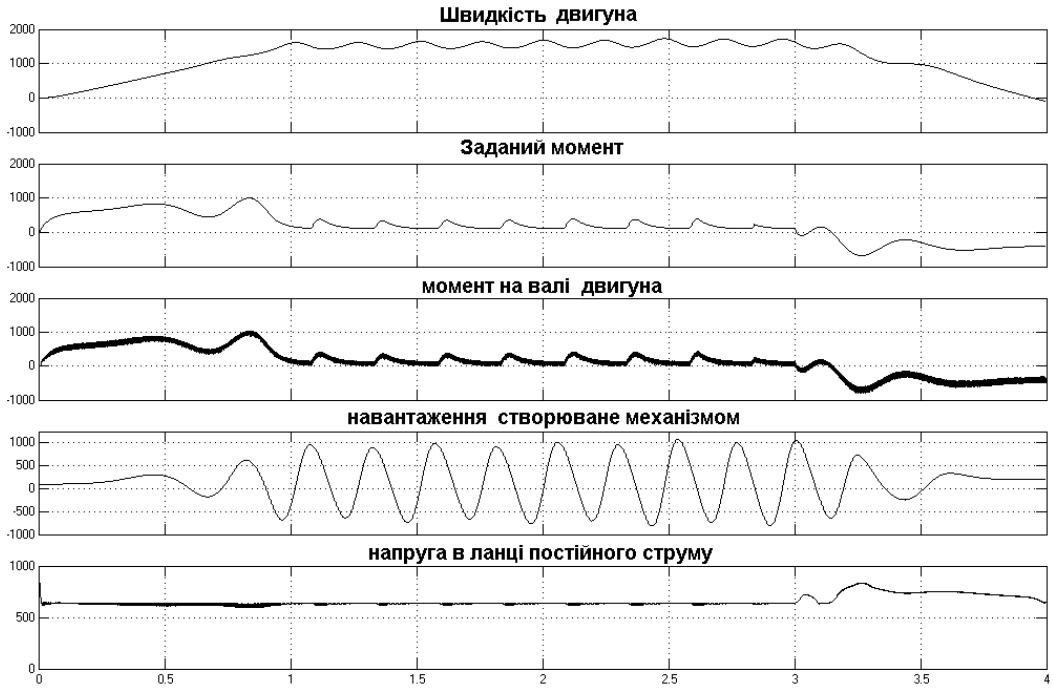


*Рис. 2. Осцилограми процесів у системі електропривода DTC з обмеженням моменту*



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

**Дослідження роботи системи формуванням жорсткості механічної характеристики на ділянці стабілізації швидкості за рахунок введення від'ємного зворотного зв'язку за моментом.** Схема математичної моделі показана на рис. 3. Для формування механічних характеристик з регульованою жорсткістю двигуна, на регулятор швидкості на вхід DTC вводиться зовнішній від'ємний зворотний зв'язок за моментом. Висока швидкодія контурів DTC дозволяє забезпечити високу швидкодію зв'язку. Оптимальне налаштування контуру, коли максимальне значення моменту досягає стопорного, а мінімальне близьке до нуля [5], як це видно з рис. 4, дає змогу уникати режимів рекуперації, і як наслідок стабілізувати значення напруги ланки постійного струму.

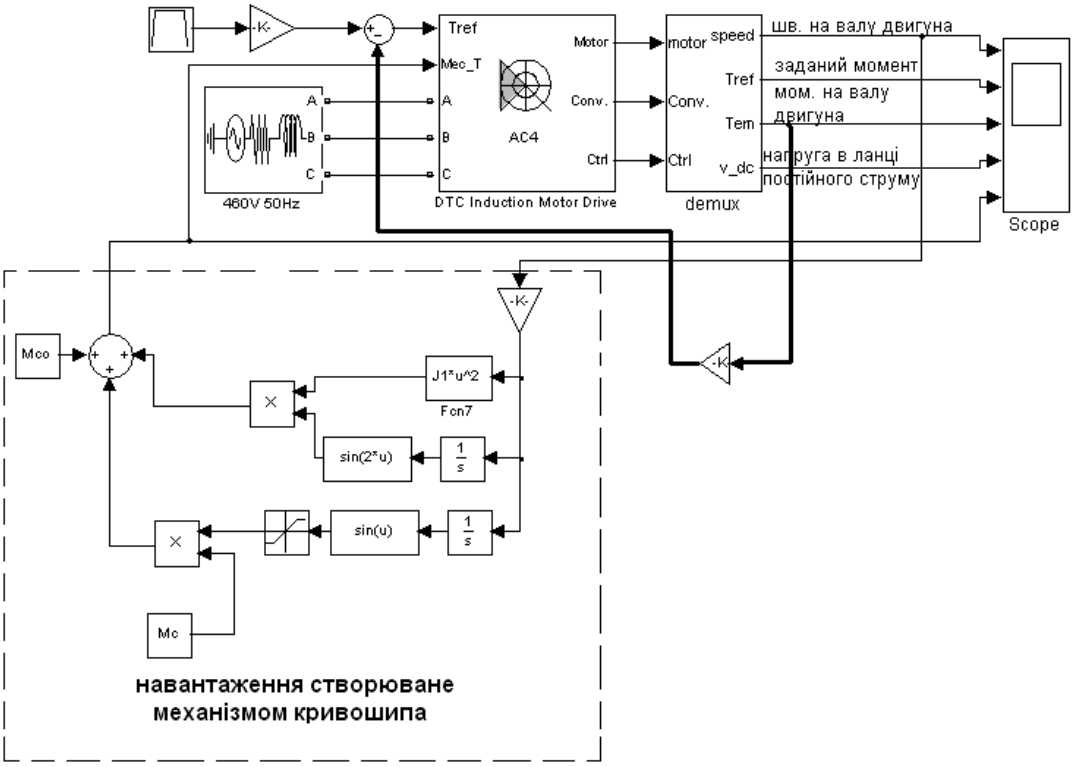


*Рис. 3. Модель системи DTC з формуванням жорсткості механічної характеристики*

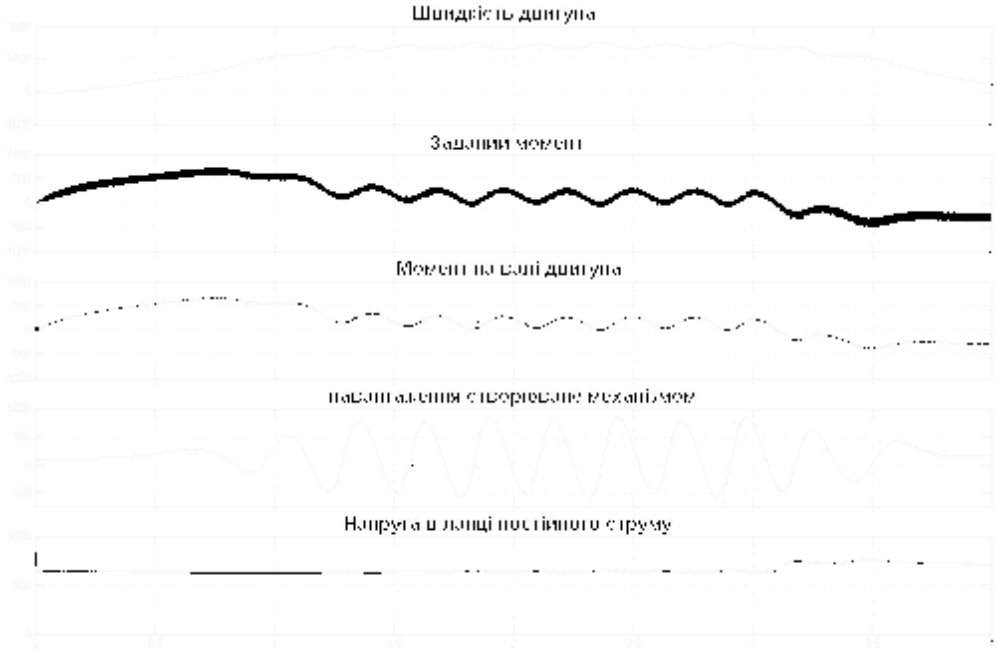


*Рис. 4. Характеристики системи DTC з використанням зворотного зв'язку за моментом*



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

**Дослідження системи формування заданої траєкторії з використанням релейного гістерезисного регулятора зі зворотним зв'язком за напругою в ланці постійного струму.** Модель системи з безпосереднім контролем регульованої координати, а такою в нашому випадку є напруга на ланці постійного струму, зображена на рис. 5. Задана траєкторії зміни швидкості забезпечується програмним способом завдання моменту. Додатково в структуру системи регулювання вводиться контур регулювання напруги ланки постійного струму. За перевищення напруги ланки постійного струму допустимого значення, регулятор напруги корегує сигнал керування. Результати досліджень, зображені на рис.6, дозволяють зробити висновок про отримання бажаного результату: стабілізація напруги на ланці постійного струму забезпечується в межах значень гістерезисного вікна ±50 В, з підтриманням середньої швидкості двигуна на заданому рівні.

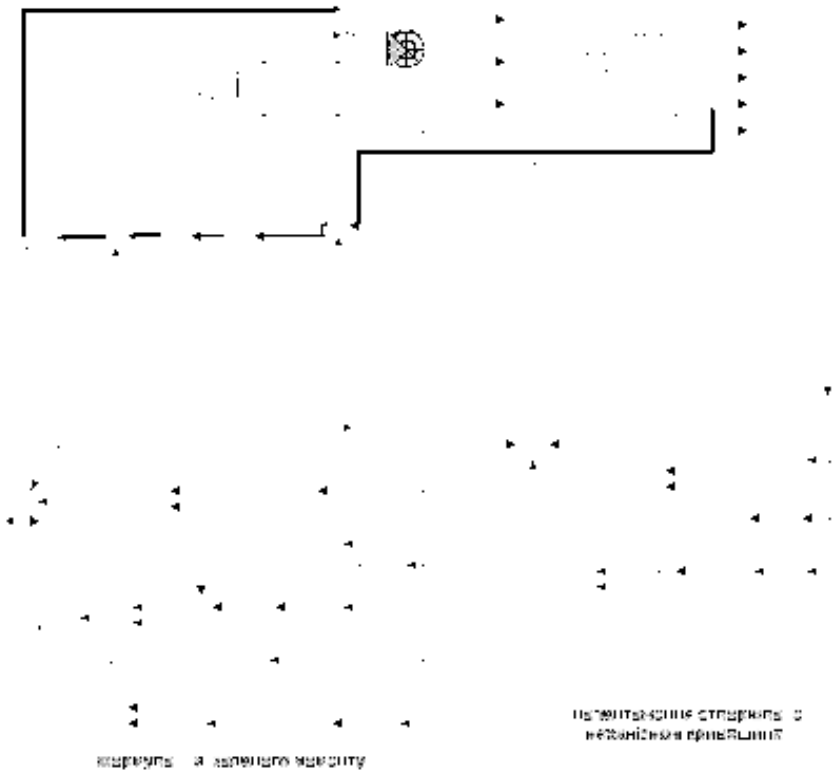

*Рис. 5. Модель системи DTC з використанням зворотного зв'язку за напругою*

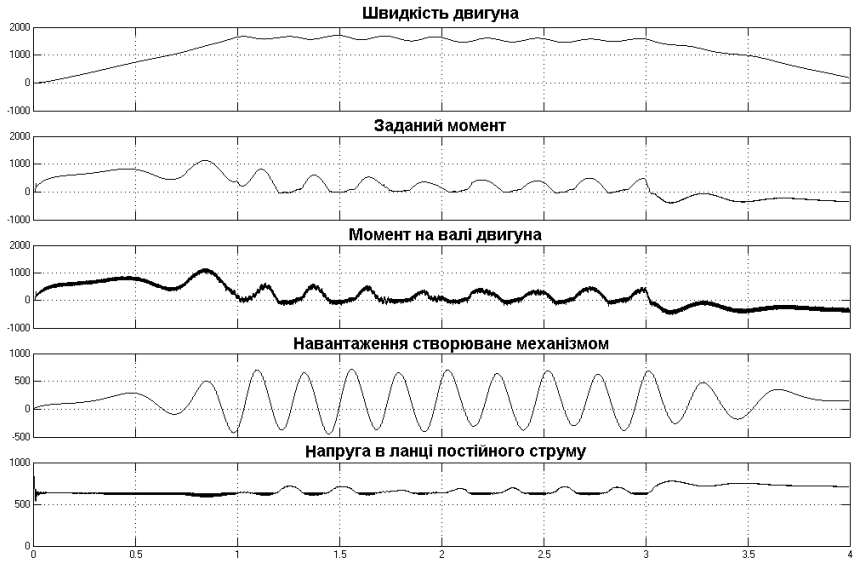


*Рис. 6. Характеристики системи DTC з використанням зворотного зв'язку за напругою*



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

**Висновки.** 1. Запропоновані способи формування сигналу завдання моменту для системи частотно-керованого електропривода механізму зі змінним моментом навантаження та інерції.

2. Кожен з способів задовольнив вимоги, які висували до електропривода, а саме: забезпечення необхідного значення середньої швидкості, відсутність режимів рекуперації та перевищення напруги в ланці постійного струму.

3. Уникнути рекуперації та викидів напруги неможливо в режимах формування заданої траєкторії руху при гальмуванні системи. Тут необхідні спеціальні засоби для розсіювання енергії або зупинення в режимі вибігу.

4. Використання програмного способу завдання моменту разом із засобами обмеження рекуперативних режимів дає можливість реалізації заданих траєкторій руху, але його реалізація є проблематичною у випадках, якщо характер зміни навантаження неможливо описати аналітично. Виникає необхідність в постійній корекції моделі, а також є обов'язковим використання давачів для контролю положення вала двигуна в циклі роботи, оскільки незначні відхилення в окремому робочому циклі згодом приведуть до істотних похибок керування. Налагодження ж зворотного зв'язку за моментом не є настільки складним, як аналітичний опис і моделювання навантаження.

*1. Piotr Huryn. Serwonapedy B&R Acopos // Napedy i sterovanie. – 2004. – № 718(63/64). – P. 18–20. 2. Карплюк Б.Л., Карплюк Л.Ф., Панченко Б.Я. Частотно-керований електропривод для навантаження з кривошипно-шатунним механізмом // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2006. – № 563. – С. 38–41. 3. James N. Nash. Direct Torque Control, Induction Motor Vector Control Without an Encoder // IEEE Transactions on industry applications. – March/April 1997. – Vol. 33, № 2. 4. Dale R. Snider, Sheng-Ming Yang, Ramdas M. Pai. A Control for a Crank Shear that Minimizes the RMS Current// IEEE Transactions on industry applications. – November / December 1992. – Vol. 28, № 6. 5. Карплюк Л.Ф., Клюта М., Карплюк Б.Л. Особливості застосування частотно керованих електроприводів для механізмів зі змінним статичним моментом та моментом інерції навантаження // Вісн. Нац. техн. ун-ту "ХПІ". – 2005. – Вип. 45. – С. 274–275. 6. Лозинський А.О., Карплюк Л.Ф., Карплюк Б.Л. Дослідження частотно керованого електроприводу зі змінним моментом інерції та навантаження // Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика: Міжвідом. наук. техн. зб. Нац. Одеського ун-ту. – 2006. – № 66. – С. 46–47.*

**УДК 621. 314**

**П.П. Климук, М.Й. Олійник, В.Г. Федишин**
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра ЕПМС

# ГЛИБОКЕ ДИСКРЕТНЕ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ВИПРЯМЛЯЧА З НЕКЕРОВАНИМИ ВЕНТИЛЯМИ

*© Климук П.П., Олійник М.Й., Федишин В.Г., 2007*

**Розглянуто спосіб глибокого дискретного регулювання середнього значення випрямленої напруги трифазного некерованого мостового випрямляча за умови його роботи на суто активне навантаження за допомогою виведення з роботи певної кількості діодів.**

**The article dwells upon the deep step control of the rectified voltage average value of the tree-phase unregulated rectifier bridge when it works for purely resistive load by means of disactivating a certain number of diodes.**

**Постановка задачі.** Випрямлячі на базі некерованих вентилів мають обмежене застосування через неможливість регулювання середнього значення випрямленої напруги. У багатовентильних



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua