

УДК 621.313

## МОДЕЛЮВАННЯ В LABVIEW СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОСТІЙНОГО І ЗМІННОГО СТРУМУ З ІМПУЛЬСНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ З РЕАЛЬНОЮ ФОРМОЮ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

**Чорний О.П., д.т.н., проф., Кравець О.М., асис, Озарь В.О., к.т.н, доц., Скогарев Д.В., студ., Івко М.А., студ.**  
**Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського**  
 вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна  
 E-mail: [apch@kdu.edu.ua](mailto:apch@kdu.edu.ua)

Показана можливість моделювання систем електричного приводу з імпульсними перетворювачами з реальною формою вихідної напруги. Отримані рівняння для напруги імпульсного перетворювача. Показані структури моделей і результати моделювання.

Ключові слова: електропривод, моделювання, імпульсний перетворювач.

**Вступ.** В даний час наймасовішим і перспективним типом електроприводу (ЕП) є ЕП з імпульсними перетворювачами (ІП): електроприводи змінного струму з перетворювачами частоти, в яких частіше за всього використовується автономний інвертор напруги (АІН) з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) та електроприводи постійного струму з широтно-імпульсними перетворювачами (ШІП).

В загальному випадку всі види ШІМ або ШІП використовують зміну тривалості імпульсів рівної амплітуди, що слідує через рівні інтервали часу відповідно до ухваленого закону формування напруги. Закони формування загальні для будь-якого методу модуляції і визначаються функцією побудови – модулюючим сигналом. Відтворення реальної форми вихідної напруги ІП в електроприводах постійного і змінного струму дозволить значно розширити обсяг досліджень їх з динамічних і енергетичних показників як для розімкнених, так і замкнених систем [1].

**Аналіз попередніх досліджень.** Не зважаючи на принцип дії та призначення перетворювачів енергії, їх об'єднує те, що силові елементи – тиристори або транзистори працюють в ключовому режимі.

Найбільш широко застосовуються моделі перетворювачів за середніми значеннями вихідного параметру. Динамічні властивості імпульсних перетворювачів при моделюванні за середніми значеннями вихідного параметру – спрощені моделі – описуються за допомогою аперіодичних ланок із урахуванням або без урахування сталої часу системи імпульсного керування (СІК) [6].

Аналіз спрощених моделей дозволяє зробити наступні висновки:

- спрощені моделі на основі аперіодичних ланок дозволяють врахувати власну інерційність перетворювачів, однак забезпечують живлення ЕП лише за середніми значеннями, не враховуючи реальну форму вихідних координат;
- запис рівняння для електромагнітного кола перетворювача дозволяє врахувати струм електричного двигуна, однак система залишається, по суті, розімкненою з мережею живлення всієї ЕМС;
- моделі не враховують зміну роботи

перетворювача від струму в інтервалах комутації ключів;

- виникає необхідність введення нелінійних функцій для реалізації синтезованих законів керування для ПЧ, хоча це можна врахувати через відношення приросту вихідної частоти до приросту керуючого сигналу.

З погляду на динамічні властивості, перетворювачі являють собою дискретну систему. Математичні моделі перетворювачів з імпульсним характером вихідної напруги потребують не тільки аналітичного, а й алгоритмічного опису із застосуванням логічних рівнянь [2-4]. Розв'язок таких систем у сучасних математичних пакетах для моделювання не завжди є зручним. Сучасне програмне забезпечення пропонує готові моделі перетворювачів [5]. Наприклад, на рис. 1 наведено фрагмент моделі ЕП перетворювач частоти – асинхронний двигун в математичному пакеті MATLAB.

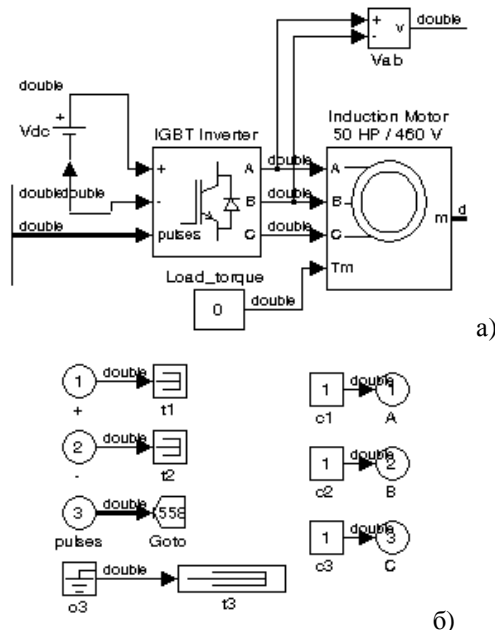


Рисунок 1 – Фрагмент моделі з автономним інвертором на IGBT – а) і внутрішня структура інвертора – б) в математичному пакеті MATLAB

При цьому розробники пакету зробили недоступною для розгляду внутрішню структуру перетворювача.

**Мета роботи.** Формування реальної форми вихідної напруги імпульсних перетворювачів в задачах моделювання систем електроприводу постійного і змінного струму.

**Матеріал і результати дослідження.** На даний час у світі розвинута теорія формування вихідної напруги промислових перетворювачів. Застосуємо відомі принципи і побудуємо модель ІП на основі формування вибірок з використанням сигналу завдання і частоти модуляції. При цьому вмикання і вимкання ключів здійснюється в моменти перетину сигналу завдання і сигналу пилоподібної або трикутної форми [7, 8].

Формування однополярної імпульсної напруги здійснюється за виразом:

$$U_{вих}(t) = U_m (1 - [M(t) + I - G(\cdot)]), \quad (1)$$

формування двополярної імпульсної напруги здійснюється за виразом:

$$U_{вих}(t) = U_m (0,5 - [M(t) + I - G(\cdot)]), \quad (2)$$

де  $U_{вих}(t)$  – напруга, формована на виході ІП;  $M(t) = |2 \text{mantissa}(f_M t) - 1|$  – при формуванні вихідної напруги трикутноподібним сигналом завдання;  $M(t) = \text{mantissa}(f_M t)$  – при формуванні вихідної напруги пилоподібним сигналом завдання;  $f_M, f_{вих}$  – частота модуляції і частота на виході ІП;  $G(\cdot) = \gamma$  – для ІП електроприводів постійного струму;  $G(\cdot) = \gamma |\sin(2\pi f_{вих} t)|$  – для ІП електроприводів змінного струму;  $\gamma$  – коефіцієнт шпаруватості; [...] – вирахування цілої частини.

Як приклад, на рис. 2 показана вихідна напруга ІП, сформована за рівняннями (1) і (2) при частоті модуляції  $f_M = 4 \text{ кГц}$ .

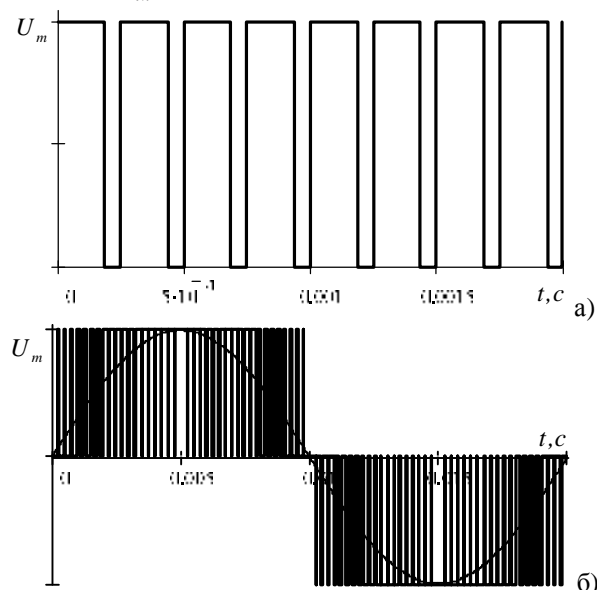


Рисунок 2 – Вихідна напруга ІП для ЕП: а) – постійного струму з ШПП; б) – змінного струму з ШІМ

Запропонований алгоритм формування напруги ІП використаний при створенні віртуальних лабораторних стендів (ВЛС) для дослідження

динамічних і енергетичних показників регульованого електроприводу постійного і змінного струму. Так, на рис. 3 показаний вигляд ВЛС для дослідження режимів роботи двигунів постійного струму за системою ШПП-ДПС.

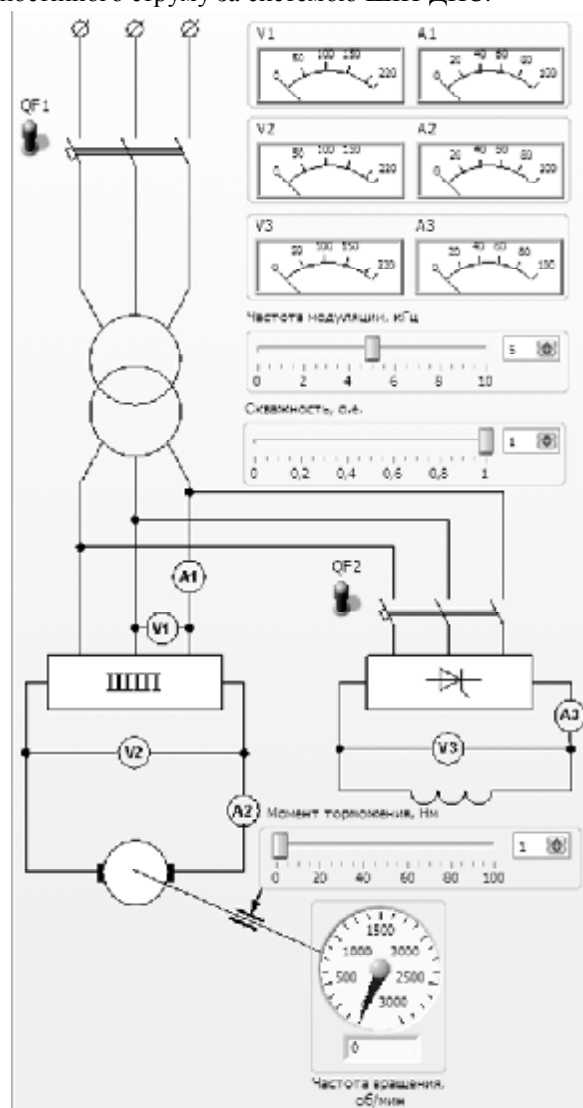


Рисунок 3 – ВЛС для дослідження режимів роботи двигунів постійного струму за системою ШПП-ДПС

У наведеному ВЛС реалізований ШПП з реальною формою вихідної напруги за рівнянням (1). Структурна схема моделі ШПП мовою G у LabView показана на рис. 4.

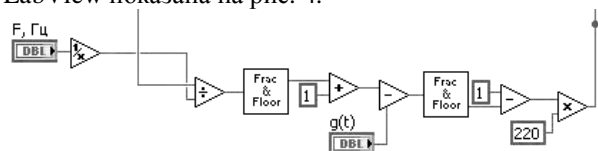


Рисунок 4 – Структура рівняння (1) для вихідної напруги ІП електроприводу постійного струму

На рис. 5 наведені діаграми струму  $I_A(t)$  і кутової частоти  $\omega(t)$  при пуску ДПС, розраховані на моделях ВЛС для двигуна  $P_H = 3 \text{ кВт}$ ,  $U_H = 220 \text{ В}$ ,  $I_H = 10 \text{ А}$ ,  $\omega_H = 157 \text{ рад/с}$  з коефіцієнтом шпаруватості  $\gamma = 0,75$ .

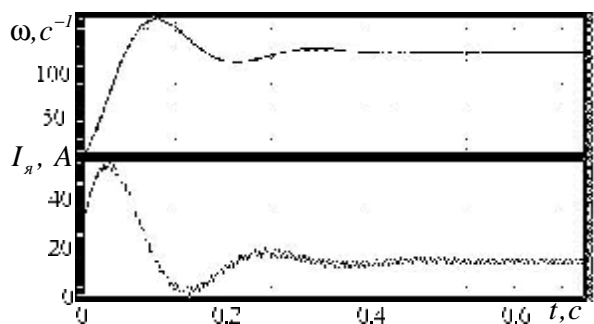


Рисунок 5 – Часові залежності кутової частоти і струму якоря ДПС при його пуску

Аналогічним чином побудований ВЛС для дослідження ЕП змінного струму з перетворювачами частоти з ШІМ вихідної напруги інвертора (рис. 6).

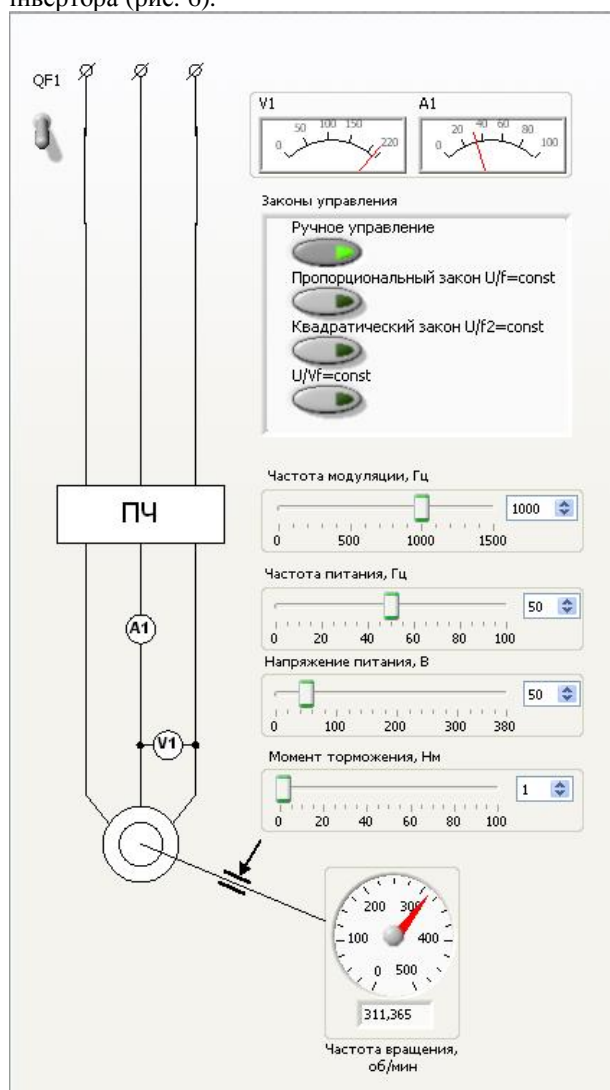


Рисунок 6 – ВЛС для дослідження ЕП змінного струму з перетворювачами частоти з ШІМ вихідної напруги інвертора

На рис. 7-8 показані результати моделювання і дослідження пуску АД 4А-132М, потужністю 11 кВт з використанням створеного ВЛС (рис. 6) від перетворювача частоти з 3-рівневим інвертором.

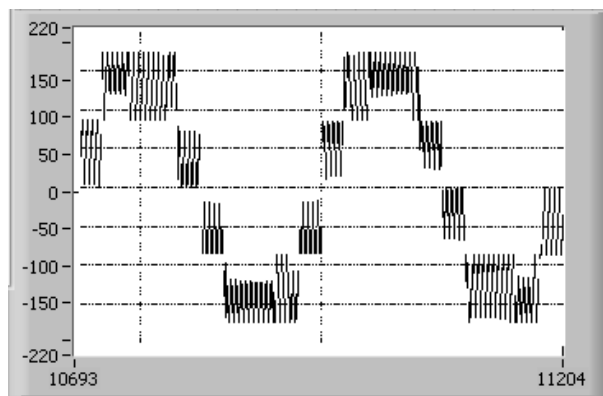


Рисунок 7 – Форма напруги на виході 3-рівневого інвертора на статорі АД, отримана при моделюванні

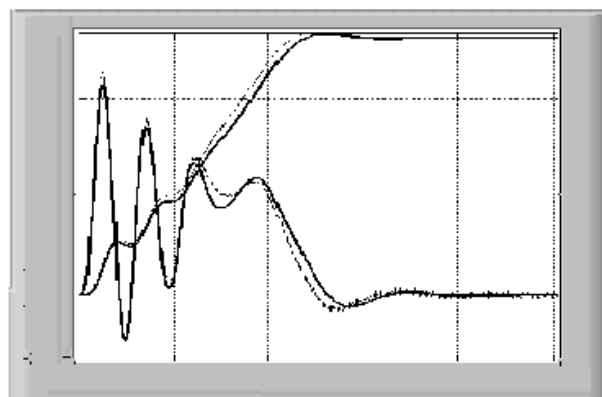


Рисунок 8 – Діаграми моменту і кутової частоти АД при прямому пуску при живленні від ідеального перетворювача і 3-рівневого інвертора з реальною формою вихідної напруги

**Висновки.** Реальна форма вихідної напруги ІП може бути задана в моделях простим алгебраїчним рівнянням. Синтезований закон дозволяє відтворити напругу ШІП в електроприводах постійного струму і перетворювачів частоти з двох-, трьох- та багаторівневими інверторами з ШІМ в електроприводах змінного струму лише за рахунок зміни коефіцієнтів. Використання синтезованого закону при моделюванні ІП в регульованих електроприводах дозволяє значно прискорити розрахунки моделі і значно розширює можливості дослідження регульованих електроприводів шляхом їх моделювання.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Чорний О.П. Алгоритми формування вихідної ШІМ напруги інвертора для задач моделювання частотно-регульованих електроприводів / О.П. Чорний., О.В. Остапенко, О.С. Воробейчик, І.В. Урдин., Ю.А. Топчиєнко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи / – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1/2009 (5), С. 39-42.
2. Богрый В.С., Русских А.А. Математическое моделирование тиристорных преобразователей. - М.: Энергия, 1972. -184с.
3. Стульников В.И., Колчев Е.В. Моделирование полупроводниковых преобразователей.-К.:Техника, 1971. – 107 с.
4. Макаренко М.П. Системний аналіз

електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу / М.П. Макаренко, В.І. Сенько, М.М. Юрченко. – Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2005. – 241 с.

5. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие / С.Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.

6. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / [М.Г.Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.]; За ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.

7. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. Учебник для вузов. – М.: АКАДЕМИА, 2006. – 266 с.

8. Овчинников И.Е. Электромеханические и мехатронные системы. Часть 1 / И.Е. Овчинников. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 121 с. – Режим доступа:

[http://window.edu.ru/window/library?p\\_rid=59235](http://window.edu.ru/window/library?p_rid=59235)

Стаття надійшла 5.05.10 р.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф.

Родькіним Д.Й.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ В LABVIEW СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИМПУЛЬСНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ С РЕАЛЬНОЙ ФОРМОЙ ВЫХОДНОГО НАПЯЖЕНИЯ

*Черный А.П., д.т.н., проф., Кравец А.М., ассис., Огарь В.А., к.т.н., доц. Скогарев Д.В., студ., Ивко Н.А., студ. Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина E-mail: [apch@kdu.edu.ua](mailto:apch@kdu.edu.ua)*

Показана возможность моделирования систем электрического привода с импульсными преобразователями с реальной формой выходного напряжения. Получены уравнения для напряжения импульсного преобразователя. Показаны структуры моделей и результаты моделирования.

**Ключевые слова:** электрический привод, моделирование, импульсный преобразователь.

## DESIGN AT THE LABVIEW SYSTEMS OF ELECTRIC DRIVE WITH THE IMPULSIVE TRANSFORMERS WITH THE REAL FORM OF OUTPUT TENSION

*Chorny A., prof., Kravets A., ass, Ogar V., N. s.e.c., Skogarev D., stud, Ivko N., stud. Kremenchug Michaylo Ostrogradskyi State University Pervomayskaya 20, Kremenchug, 39600, Ukraine E-mail: [apch@kdu.edu.ua](mailto:apch@kdu.edu.ua)*

Shown possibility of design of the systems of electric drive with the impulsive transformers with the real form of output tension. Equalizations for tension of impulsive transformer are received. Structures of models and design results are shown.

**Key words:** electric drive, design, impulsive transformer.