

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ ЗМІННОГО І ПОСТІЙНОГО СТРУМІВ З ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

Є. П. Карлик, асп., О. В. Бялобржеський, к.т.н., доц.
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна
E-mail: seem@kdu.edu.ua

Виконано розробку математичних моделей та дослідження на їх основі процесів споживання електричної енергії двигунами постійного й змінного струмів у поєднанні з перетворювачами, оцінка гармонічного складу повної потужності за умов зміни режиму навантаження.

Ключові слова: тиристорний перетворювач – двигун постійного струму, перетворювач частоти – асинхронний двигун, активна й реактивна потужність.

Вступ. Інтенсивне впровадження в електроенергетику перетворювальних пристроїв великої потужності викликає появу в електричній системі спотворень синусоїдальності струмів і напруг. Цей факт на сьогоднішній день закріплений у державних стандартах з якості електроенергії і в інших документах [1]. Розширення області фактичного існування в електричній системі режимів зі спотвореними струмами та напругою потребує поглибленого дослідження розподілу потужності в електричній мережі. Необхідність створення такої теорії диктується як проблемами, виникаючими при зведенні балансів енергії та потужності в енергосистемі, так і при розгляданні енергетичних процесів у самих перетворювальних системах і приладах, а також при розгляданні процесів обміну енергії між ними й енергосистемою.

Рішення енергетичних задач особливо важливе при переході енергетики до ринкових відносин, які диктують необхідність усезагального скорочення виробничих витрат, особливо витрат потужності та енергії, а також підвищення точності обліку на всіх стадіях виробництва, передачі, розподілення та споживання електричної енергії.

Аналіз попередніх досліджень. Процеси перетворення й регулювання електроенергії в статичних перетворювачах відбуваються за рахунок роботи напівпровідникових приладів у ключовому режимі, що є причиною виникнення вищих гармонічних струмів і напруг на вході й виході перетворювачів [2]. Генерація вищих гармонічних струму і напруги викликає спотворення напруги в мережах живлення і підвищення витрат у каналі передачі електроенергії, а також призводить до знакозмінних складових моменту, що негативно позначається на працездатності електричної машини.

У загальному випадку, коли в трифазному перетворювачі відсутня симетрія навантаження, повна потужність перетворювача містить чотири складових: активну потужність P , реактивну потужність Q , потужність спотворення P_c і потужність несиметрії $P_{нс}$ [3].

Величина й наявність тих чи інших складових повної потужності визначаються схемою перетворювача, законом керування його вентилями і характером зміни величини навантаження залежно від величини вихідної напруги [4]. Тому при визначенні енергетичних показників і складових повної

потужності необхідно враховувати конкретні особливості розглянутої установки.

Для перевірки відомих положень та подальшого дослідження споживання електричної енергії електродвигунами змінного й постійного струмів з електричними перетворювачами в умовах, наближених до реальних, доцільно використати схемотехнічне моделювання.

Мета роботи. Розробка моделей та дослідження на їх основі процесу споживання електричної енергії двигунів постійного й змінного струмів за умов зміни режиму навантаження в комплексі з напівпровідниковими перетворювачами.

Матеріал і результати дослідження. Однією із основних задач для досягнення поставленої мети є синтез моделі на основі відомих математичних моделей компонентів системи [3]. Для створюваних моделей сформовані наступні вимоги:

- простота та функціональність;
- можливість відображення й фіксації значення основних енергетичних параметрів електричної мережі;
- відбивання особливості перетворення енергії силовими перетворювачами;
- визначення впливу на мережу збудованих чинників.

Для дослідження режимів енергоспоживання в системах перетворювач частоти – синхронний двигун (ПЧ – АД) і тиристорний перетворювач – двигун постійного струму (ТП – ДПС) синтезовано дві імітаційні моделі, схеми яких наведені на рис. 1, 2.

Дослідження режиму енергоспоживання в системі перетворювач частоти – асинхронний двигун проводилось на імітаційній моделі (рис. 1), яка включає в себе: джерело живлення; трансформатор з напругою на вторинній обмотці 0,4 кВ; лінії електропередач з параметрами схеми заміщення $R = 0,0411 \text{ Ом}$, $L = 2,42 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$, трифазний вимірювальний блок, силові виходи якого (a, b, c) з'єднані з входами трифазного мостового випрямляча перетворювача частоти, а інформаційні (V_{abc} , I_{abc}) з'єднані з підсистемою 1, яка призначена для визначення енергетичних показників мережі – активної та реактивної потужності; блок широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) – генератор імпульсів, який подає управляючий сигнал на блок інвертора напруги; блок навантаження; асинхронний двигун з наступними параметрами: $P = 110 \text{ кВт}$, $n = 1750 \text{ об/хв}$, $U = 400 \text{ В}$.

Передумовою вибору схеми перетворювача частоти (рис. 1), який виконаний на основі трифазного мостового випрямляча, ланцюга постійного струму, інвертора напруги, є широке застосування даного схематичного рішення в промисловості [2, 4, 5].

Дослідження режиму енергоспоживання в системі тиристорний перетворювач – двигун постійного струму проводилось на імітаційній моделі (рис. 2), яка включає в себе: джерело живлення; трансформатор з напругою на вторинній обмотці 0,4 кВ; лінії електропередач з параметрами схеми заміщення $R = 0,0411 \text{ Ом}$, $L = 2,42 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$; трифазний вимірювальний блок, силові виходи якого (a, b, c) з'єднані з входами тиристорного перетворювача, а інформаційні (V_{abc}, I_{abc}) з'єднані з підсистемою для визначення гармонійного складу повної потужності; синхронізуючий 6-ти імпульсний генератор – система імпульсно-фазового управління, яка синхронізується з мережею живлення; двигун постійного струму ($P = 110 \text{ кВт}$, $n = 1750 \text{ об/хв}$,

$U = 400 \text{ В}$), що живиться випрямленою напругою тиристорного перетворювача; блок навантаження, який задає момент на валу двигуна постійного струму.

Параметри керування:

– для імітаційної моделі з перетворювачем частоти; цим параметром виступає вихідна частота, яка задається в блоці ШІМ;

– для імітаційної моделі з тиристорним перетворювачем таким параметром виступає кут α .

В обох випадках у результаті зміни керуючих впливів задається частота обертання двигуна, незалежно від нуля до номінального значення змінюється момент навантаження.

У ході експерименту у моделях контролюється струм I та напруга U кожної фази, визначається активна P та реактивна Q потужності на основній частоті, гармонійний склад повної потужності S_k та параметри режиму двигунів – струм I , швидкість обертання ω , електромагнітний момент M_e .

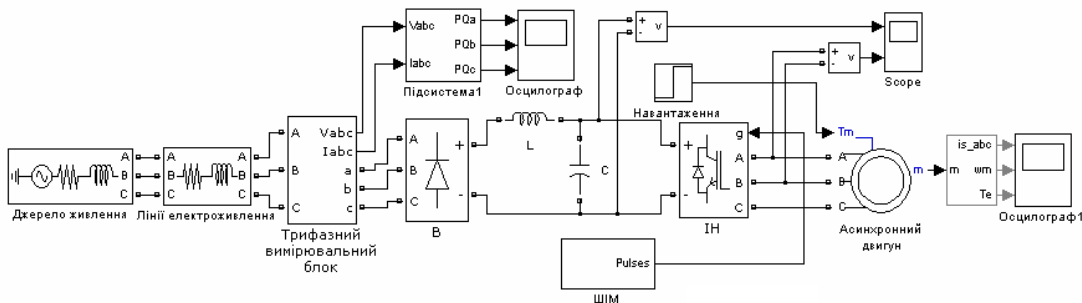


Рисунок 1 – Модель досліджуваної системи мережа – перетворювач частоти – асинхронний двигун

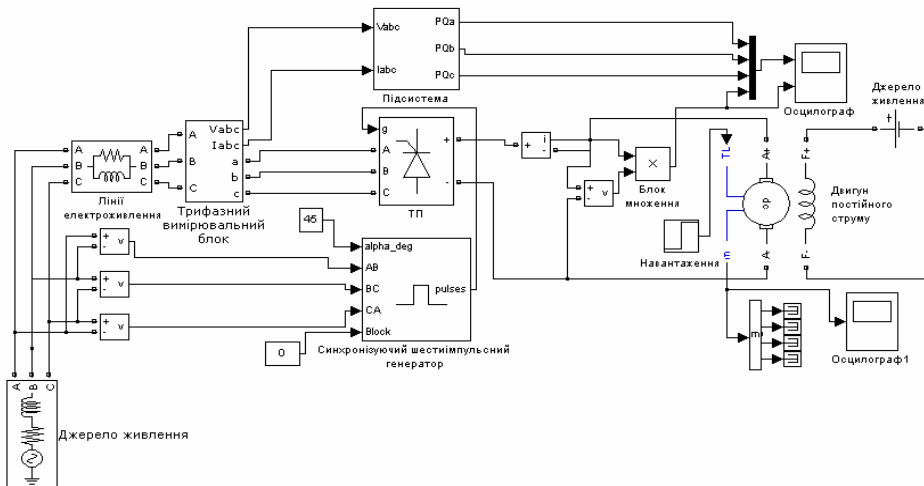


Рисунок 2 – Модель мережа – тиристорний перетворювач – двигун постійного струму

Параметри, які контролюються, необхідні для:

- якісної оцінки споживання електричної енергії двигунів постійного та змінного струмів;
- визначення негативних чинників, які впливають на струм та напругу мережі;
- визначення перерозподілу миттєвих значень активної та реактивної потужностей мережі за умов зміни керуючих впливів;
- отримання залежності гармонійного складу повної потужності моделей по кожній гармоніці.

При проведенні експерименту досліджувані системи перетворювач частоти – асинхронний двигун

та тиристорний перетворювач – двигун постійного струму працюють у сталих режимах. Джерела живлення та схеми замішень ліній електропередач в імітаційних моделях обох систем ідентичні за параметрами, а двигуни вибрані з одного ряду потужностей. Такі умови необхідні для порівняння отриманих експериментальних даних.

Результати проведених експериментів приведені на рис. 3–10. У кривих напруги досліджуваних систем присутні спотворення, що викликані роботою напівпровідникових елементів у ключовому режимі (рис. 3, 4). Зсув по фазі між центрами тяжіння кри-

вих струмів і напруг мережі зумовлений кутом керування (рис. 3).

Для зменшення часу розрахунку, зважаючи на відсутність необхідності оцінки перехідного процесу, в обох системах електричні машини на початку моделювання мають початкову частоту обертання. Параметри режиму двигунів: струм I , швидкість обертання ω , електромагнітний момент M_e – для одного з експериментів приведені на рис. 5, 6.

У результаті проведення ланки експериментів, у ході яких дискретно змінювалась частота обертання двигуна, отримані графіки (рис. 7, 8) розподілу активної та реактивної потужностей основної гармоніки в мережі залежно від зміни швидкості робочої машини. На рис. 7 реактивна потужність Q спадає із зростанням швидкості обертання до номінальної,

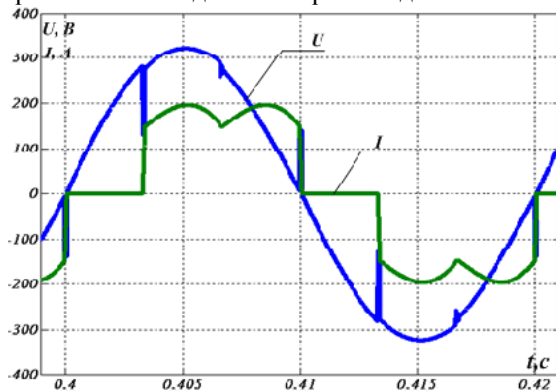


Рисунок 3 – Напруга та струм фази А у мережі живлення з ТП-ДПС

а на рис. 8 вона плавно зростає та спадає, коли двигун наближається до номінальної швидкості. Реактивна потужність на рис. 8 у два рази менша за значенням, ніж на рис. 7. Активна потужність на обох графіках має подібний характер зміни: з наближенням до номінальних значень активна потужність з невеликим відхиленням лінійно залежить від швидкості.

Отримані криві (рис. 9, 10) у системах мережа – тиристорний перетворювач – двигун постійного струму та мережа – перетворювач частоти – асинхронний двигун показують, як змінюється гармонійний склад повної потужності в залежності від зміни швидкості електричних двигунів. На обох графіках домінують гармоніки 0, 2, 4, що вказує на необхідність застосування додаткового компенсуючого обладнання.

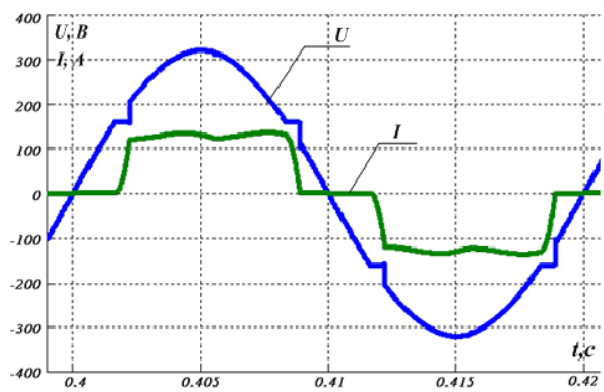


Рисунок 4 – Напруга та струм фази А в мережі живлення з ПЧ-АД

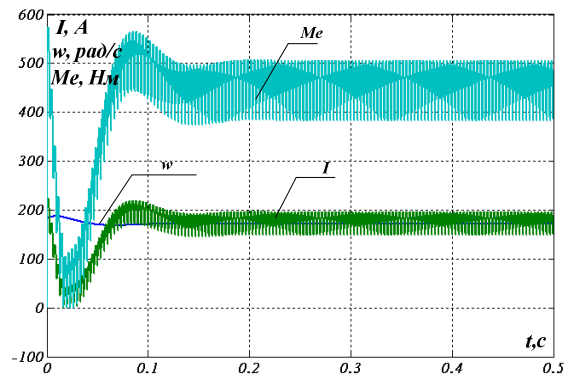


Рисунок 5 – Струм $I(f)$, електромагнітний момент $M_e(f)$, швидкість обертання $\omega(f)$ ДПС

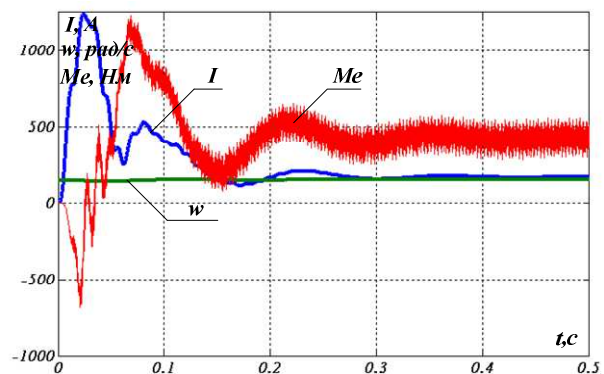


Рисунок 6 – Струм статора $I(f)$, електромагнітний момент $M_e(f)$ та швидкість обертання $\omega(f)$ АД

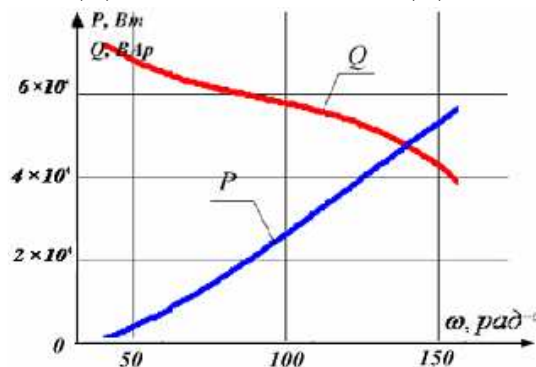


Рисунок 7 – Активна та реактивна потужності основної гармоніки в мережі з тиристорним перетворювачем і двигуном постійного струму

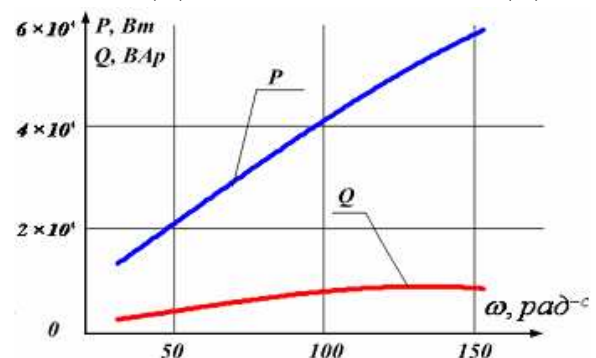


Рисунок 8 – Активна та реактивна потужності основної гармоніки в мережі з перетворювачем частоти та асинхронним двигуном

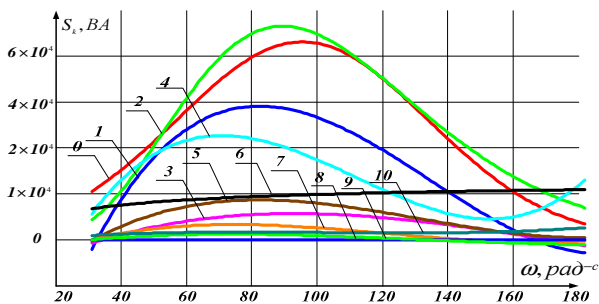


Рисунок 9 – Графік залежності гармонійного складу повної потужності S_k у системі мережа – тиристорний перетворювач – двигун постійного струму від швидкості обертання двигуна при $M = 0,7 M_n$

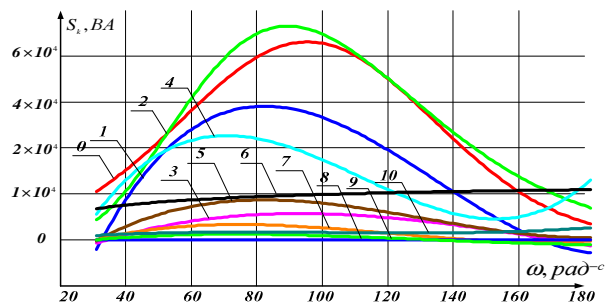


Рисунок 10 – Графік залежності гармонійного складу повної потужності S_k у системі мережа – перетворювач частоти – асинхронний двигун від швидкості обертання двигуна при $M = 0,7 M_n$

Висновки. У ході роботи досліджено потужності мережі змінного струму, що живить електродвигуни змінного й постійного струмів з напівпровідниковими перетворювачами в залежності від частоти обертання та моменту навантаження. Розглянуто загальні методи оцінки потужностей у системах електроспоживання. У результаті аналізу попередніх робіт та проведення експериментів встановлено, що струм та напруга в обох експериментальних системах схожі за формами, величиною та мають подібний характер спотворень (причина спотворень – комутація вентилів). У системі з тиристорним перетворювачем присутній зсув по фазі між центрами тяжіння кривих струмів і напруг мережі, що зумовлено кутом керування та непропорціональною зміною миттєвого струму при зміні миттєвої напруги мережі. Отримані дані (рис. 7, 8) показують, що система тиристорний перетворювач – двигун постійного струму споживає більше реактивної потужності, зменшуючи пропускну здатність ліній мережі. Гармонійний склад повної потужності, більшість гармонік, системи тиристорний перетворювач – двигун постійного струму не перевищує зазначеного рівня. В обох системах домінують гармоніки під номером 0, 2, 4. Конденсатор, який знаходиться в колі постійного струму перетворювача частоти та виступає в ролі потужного накопичувача енергії, виконує дві задачі: згладжує випрямлену напругу і компенсує реактивну потужність асинхронного двигуна.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

*Е. П. Карлик, асп., А. В. Бялобржеский, к.т.н., доц.
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина
E-mail: seem@kdu.edu.ua*

Выполнена разработка математических моделей и исследование на их основе процессов потребления электрической энергии машинами постоянного и переменного тока совместно с преобразователями, оценка гармонического состава полной мощности при условии изменения режима нагрузки.

Ключевые слова: тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока, преобразователь частоты – асинхронный двигатель, активная и реактивная мощность.

RESEARCH ELECTRICITY CONSUMPTION AC AND DC MOTORS WITH ELECTRICALLY CONVERTERS

*E. Karlik, post-grad, A. Byalobrzheskyi, Cand.Sc. (Eng), Assoc. Prof.
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, 39614, Kremenchuk, Ukraine
E-mail: seem@kdu.edu.ua*

We have developed mathematical models and research on the basis of the processes of power consumption direct and alternating currents motors in combination with converters, balanced assessment of the full power mode change under load.

Key words: thyristor converter – direct current motor, frequency convertor – alternating motors, active and reactive power.

ЛІТЕРАТУРА

- ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии.
- Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999, ч. 1. – 199 с.
- Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й. Моделирование электромеханических систем: Підручник. – Кременчук, 1999. – 204 с.
- Вейнгер. А.М. Регулируемые электроприводы переменного тока. Конспект вводных лекций. – М., 2009. – 102 с.
- Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І., Энергосбережения засобами промислового електропривода. – К.: Кондор, 2005. – 408 с.
- Жежеленко И.В., Рабинович М.Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – К.: Техніка, 1981. – 160 с.
- Асанбаев Ю.А. Основы теории энергетических процессов в преобразовательных установках. Автореферат. – СПб, 2002. – 33 с.
- Сінолицький А.Л. Енергетичні характеристики тиристорних електроприводів постійного струму у динамічному режимі їх роботи // Електротехніка та електроенергетика. – 2007. – № 2. – С. 33–39.

Стаття надійшла 08.06.2011 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Чорним О.П.