

Міністерство освіти і науки України  
Криворізький національний університет  
Електротехнічний факультет  
Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

(рівень вищої освіти)

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

На тему: «Дослідження ефективності функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження»

*КНУ.МР.141.24.776-05*

Виконав студент II курсу, групи ЕПА-23м /Данило КОЛІСНИЧЕНКО/

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

(шифр і назва спеціальності, освітньо-професійної програми)

Керівник:

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ /Ірина КАСАТКІНА/

Нормоконтролер:

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ /Ірина КАСАТКІНА/

Завідувач кафедри,

д.т.н., професор

\_\_\_\_\_ /Олег СІНЧУК/

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ /Юрій ОСАДЧУК/

Кривий Ріг  
2024 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: магістр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

КОЛІСНИЧЕНКО Данило Дмитрович

---

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Дослідження ефективності функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження

1. Термін подання студентом роботи: 09 грудня 2024 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є дослідження ефективності функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Структура електричного приводу; II. Компенсація коливань напруги однофазного джерела із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження; III. Дослідження ефективності функціонування перетворювальних пристроїв із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Система керування перетворювальним пристроєм; II. Принцип прогнозного керування; III. Дослідження ефективності функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ірина КАСАТКІНА		
II	Ірина КАСАТКІНА		
III	Ірина КАСАТКІНА		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Перетворювальні пристрої з однофазними джерелами	10.09.24
2	Коливання напруги однофазного джерела	12.09.24
3	Широтно-імпульсна модуляція сигналів керування	17.09.24
4	Компенсація коливань напруги однофазного джерела	19.10.24
5	Алгоритми усунення впливу зміни навантаження	24.11.24
6	Алгоритми усунення впливу зміни коливання напруги однофазного джерела	07.12.24

Дата видання завдання 02.09.2024 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Данило КОЛІСНИЧЕНКО  
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Ірина КАСАТКІНА  
(Ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Дослідження ефективності функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження»

У першому розділі проведено аналіз функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами. Розглянуто вплив зміни навантаження на функціонування перетворювальних пристроїв. Показано, що під впливом навантаження у формі вихідного сигналу перетворювача наявні пульсації, що призводить до некерованих проявів при формуванні вектору моменту двигуна, та впливає на точність керування.

У другому розділі запропоновано метод компенсації коливань вектору моменту при використанні просторово-векторного моделювання. Розглянуто спосіб широтно-імпульсної модуляції з вибором коефіцієнтів та застосуванням шаблону імпульсів.

У третьому розділі досліджено ефективності функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження. Ефективність запропонованого методу підтверджується графіками струмів, та графіками моменту при різних співвідношеннях передаточних функцій.

**ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНА  
МОДУЛЯЦІЯ, МОМЕНТ, ПУЛЬСАЦІЇ, ТОЧНІСТЬ КЕРУВАННЯ**

## Зміст

Вступ.....	6
Розділ 1. Структура електричного приводу .....	11
1.1. Перетворювальні пристрої з однофазними джерелами .....	11
1.2. Коливання напруги однофазного джерела та її вплив на роботу перетворювальних пристроїв.....	14
Розділ 2. Компенсація коливань напруги однофазного джерела із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження .....	22
2.1. Широтно-імпульсна модуляція сигналів керування .....	22
2.2. Компенсація коливань напруги однофазного джерела .....	30
Розділ 3. Дослідження ефективності функціонування перетворювальних пристроїв із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження .....	36
3.1. Дослідження функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами.....	36
3.2. Дослідження ефективності функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження та коливання напруги ..	40
Висновки .....	42

## Вступ

Сучасні системи електроенергоживлення забезпечують потреби роботи різноманітного обладнання.

Для забезпечення роботи виробничих механізмів використовують електричний привод.

При цьому важливим є можливість здійснення регулювання його параметрів у процесі виконання роботи.

Такі структури регульованого електроприводу оснащені керованими перетворювачами у якості регулюючої системи.

Простим способом впровадження систем регульованого електроприводу є застосування перетворювачів електричних параметрів що живляться від мережі однофазного джерела змінного струму.

Це поширена практика застосування подібних систем.

Але простота виконання не забезпечує усіх вимог щодо якості перетворення електричної енергії у мережі живлення з джерелом однофазного змінного струму.

Тому подібні системи, для забезпечення гідного рівню якості споживання електричної енергії використовують із застосуванням фільтрів, що компенсують завади у структурі перетворювача.

Такий спосіб підвищує складність конструкції перетворювача та його габаритні розміри.

Крім того, таке виконання, не позбавляє завад що виникають у процесі комутації у структурі перетворювача, що відповідають змінам з боку навантаження.

Ці процеси супроводжуються коливаннями амплітудного значення випрямленої напруги.

Для усунення цього недоліку використовують спеціальні схеми, а також розраховують алгоритми комутації, що мають забезпечувати компенсацію коливального процесу у ланці постійного струму перетворювача.

Для цього процесу необхідно створити певну послідовність керуючих імпульсів, що забезпечить режим почергової комутації перетворювача, що забезпечить вибіркове усунення гармонійних складових у контурі випрямленого струму.

Аналіз режимів роботи електромеханічної системи зручно проводити на прикладі діючого обладнання.

Таке виконання не потребує додаткових розрахунків параметрів електромеханічної системи.

Слід також зазначити що подібні дослідження дозволяють зробити уточнення використовуваним виразам на прикладі діючого виробничого обладнання.

Інтерес представляють структури змінного струму які можуть бути представлені системами з асинхронними та синхронними електричними приводами.

Робота асинхронних електричних двигунів широко представлена у науковій літературі.

Робота синхронних електричних двигунів не дуже широко представлена у науковій літературі.

Слід також вказати на той факт, що системи електричного приводу, що містять у своїй структурі синхронні двигуни потребують доволі складних розрахунків.

Такі розрахунки ще більше ускладнюються у системах регульованого електроприводу, що містять перетворювачі електричної енергії у якості керуючих приладів.

Математичні рівняння, що описують роботу подібних систем ускладнені.

Це пов'язано з тим, що для синхронної машини важливим є процес збудження, як основний чинник наявності нелінійності у процесі перетворення параметрів електричної енергії з подальшим переведенням її у механічну складову.

У якості механічної складової використовуються значення частоти обертання та рушійного моменту.

При визначенні значення рушійного моменту слід враховувати не тільки значення, але й кут зсуву.

Тобто для системи керування є важливим просторове положення вектору моменту машини.

Саме ця складова є дуже важливою при роботі синхронної електричної машини.

Оскільки є можливість при здійсненні керування синхронною машиною при живленні її обмотки статора від керованого перетворювача спричинити випадання її з синхронізму із подальшою втратою моменту електричної машини.



Тому складові вектору моменту синхронної машини мають бути контрольовані упродовж усього циклу здійснення керування із зазначеним показниками.

Виходячи з умови, що при цьому процесі необхідно створити певну послідовність керуючих імпульсів, що забезпечить режим почергової комутації перетворювача, що забезпечить вибіркоче усунення гармонійних складових у контурі випрямленого струму, подібні умови потребують ретельного аналізу.

Тобто перетворювач що живить обмотку статора синхронної машини при регулюванні її частоти обертання має містити інформацію при положення вектору моменту двигуна.

Тобто такі системи мають аналізувати значення магнітного потоку та його спрямування.

Складність перетворення параметрів синхронної машини у рухому систему координат можна невілювати за допомогою спеціальних функцій змінних стану.

При цьому знижується порядок диференційних рівнянь що описують контур обмотки статору.

Таке використання також може бути перевірено як на практиці роботи виконавчої установки.

Але зазвичай краще зробити подібні розрахунки за допомогою розробленої моделі.

Подібні дослідження дозволяють суттєво спростити перевірку врахувавши можливі спрощення.

Спрощення у системі стосуються нелінійностей, що спричинені взаємодією рухомої та нерухомої системи координат при розгляді синхронного двигуна.

Таким чином, при створенні необхідної послідовності керуючих імпульсів, що забезпечить режим почергової комутації перетворювача, що забезпечить вибіркове усунення гармонійних складових у контурі випрямленого струму, розроблена система електроприводу з синхронним двигуном унеможливіє наявність коливального процесу при роботі в усьому діапазоні.

## Розділ 1. Структура електричного приводу

### 1.1. Перетворювальні пристрої з однофазними джерелами

Коливання значення випрямленої напруги у колі постійного струму перетворювача має суттєвий вплив на роботу системи електроприводу.

Особливо цей прояв відчувається при роботі синхронних електричних машин, при роботі яких дуже важливим є стабілізація значення електромагнітного моменту, на характер зміни якого суттєво впливає зміна параметрів напруги у ланці постійного струму, що у свою чергу призводить до коливання значення електромагнітного моменту, що може негативно вплинути на працездатність роботи системи електроприводу у цілому.

Зазвичай коливальний процес у ланці постійного струму перетворювача намагаються усунути за допомогою встановлення громіздкого фільтраційного обладнання.

Але встановлення фільтро-компенсуючих елементів не тільки призводить до суттєвого збільшення масогабаритних показників системи електроприводу, але й суттєво впливає на протікання перехідних процесів у його структурі, що проявляється у зміні їх показників, наприклад сталих часу, та необхідності додаткового налаштування системи керування.

Окрім цього такі впровадження потребують додаткових капіталовкладень, що є також суттєвим чинником для можливості модернізації структури перетворювача подібним чином.

Для можливості зменшення масогабаритних характеристик перетворювачів можна розглянути метод застосування системи активної фільтрації.

Такий метод потребує набагато менших за своїм об'ємом елементів накопичення електричної енергії.

Це доволі ефективне рішення щодо усунення коливань параметрів випрямленої напруги у ланці постійного струму, але для його реалізації необхідно застосовувати додаткові пристрої, а також зробити додатково зміну налаштування контурів керування.

Також, для вирішення проблеми наявності коливань параметрів випрямленої напруги у ланці постійного струму можливо застосовувати програмні рішення.

Такий підхід не потребує додаткового встановлення громіздкого фільтраційного обладнання, а також необхідності додаткового налаштування контурів системи керування.

Програмні методи, крім того, дозволяють використовувати електричну машину, регулювання параметрів якої здійснюється перетворювачем, у якості накопичувача електричної енергії.

Одним з представників застосування програмних методів є метод керування а збуренням.

Цей метод дозволяє збільшити пропускну здатність контуру керування за струмом завдяки тому, що для його реалізації застосовується безпосередній вплив на період вмикання вентилів, у відповідності до струмового навантаження.

Але для стабільності роботи системи керування за збуренням необхідною умовою є синусоїдальність процесу коливань, при визначеному значенні амплітуди та частоти, що в умовах промислового електроприводу не є можливим, унаслідок промислових спотворень та завад.

Оскільки робота системи керування покладається на циклічність розрахунків, то для таких систем є можливість застосовувати прогнозні методи керування.

При цьому може бути використано досвід попереднього визначення характеристик коливального процесу.

Для забезпечення працездатності такої системи використовуються шаблони послідовностей імпульсів.

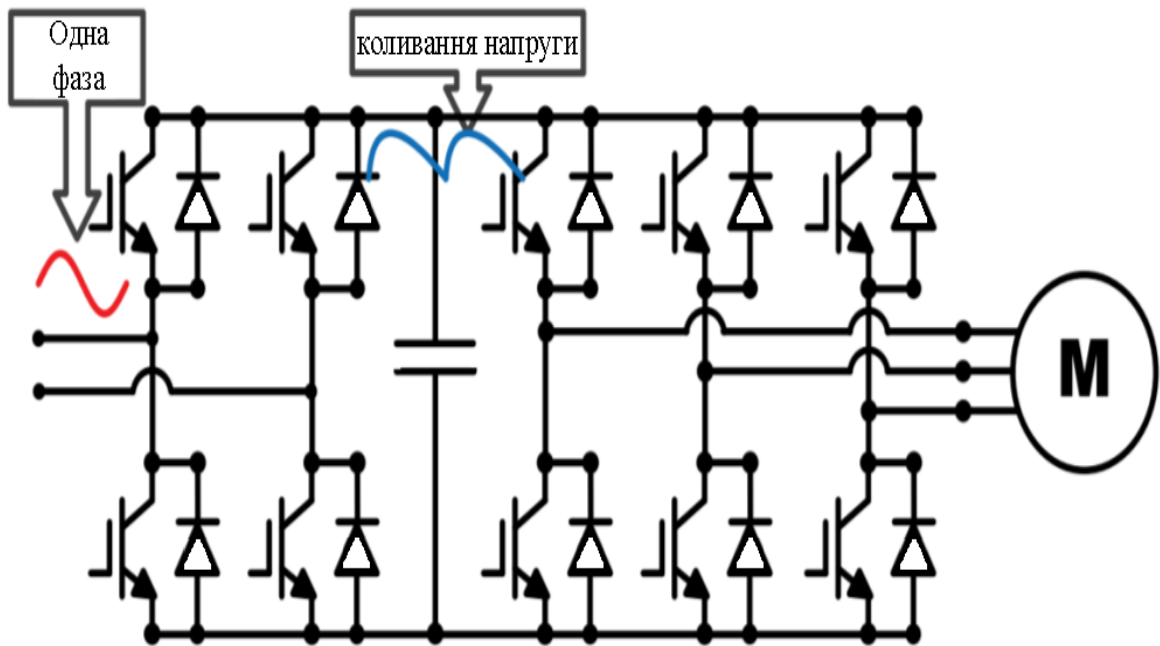


Рисунок 1.1 – Система електроприводу з перетворювальним пристроєм

## **1.2. Коливання напруги однофазного джерела та її вплив на роботу перетворювальних пристроїв**

При розгляді перехідних процесів у контурі випрямленої напруги постійного струму використовують функції перемикання.

Такі функції формують виходячи зі співвідношення значення напруги джерела живлення та напруги у ланці постійного струму.

Можна зазначити, що наявність коливального процесу призводить до шкідливих наслідків у роботі.

Таким проявом може бути виникнення коливань електромагнітного моменту, що спричинятиме додаткові втрати потужності.

Можна зазначити що зміну випрямленої напруги у ланці постійного струму можна регулювати за рахунок її визначення та компенсації.

Але при низькому значенні частоти комутації ключів перетворювача виникає часова затримка, що призводить до суттєвої похибки при вимірюванні.

Пульсації електромагнітного моменту що виникають при коливаннях випрямленої напруги у ланці постійного струму можна поділити на дві складові.

Таким чином корегування перемикаючих функцій можна виконувати для кожної складової відповідно.

При цьому точність компенсації буде залежати від еквівалентних складових.

При цьому кожна складова визначається на основі її поточного значення з врахуванням досвіду попередніх періодів.

$$S_x = \frac{u_x^*(t)}{\frac{1}{2} U_{dc}} = MI \sum_{i=1,5,7,11,13,\dots} k_i \sin(i\omega_1 t + \varphi_{xi}), \quad (1.1)$$

де  $x = \{a, b, c\}$ ,

$U_{dc}$  – напруга постійного струму,

$k_i$  – коефіцієнт гармонік,

$\omega_1$  – тактова частота першої гармоніки,

$\varphi_{xi}$  – кут зсуву  $i$ -ї гармоніки,

$MI$  – коефіцієнт модуляції.

Отримаємо:

$$u_x(t) = \frac{1}{2} S_x U_{dc}. \quad (1.2)$$

Отже:

$$u_{dc}(t) = U_{dc} + U_{dc} \sum_{j=1}^{\infty} K_j \sin(j\omega_{fb} + \varphi_{fj}), \quad (1.3)$$

де  $U_{dc}$  – постійна напруга,

$K_j$  – коефіцієнт гармоніки,

$\omega_{fb}$  – частота гармоніки,

$\varphi_{fj}$  – кут зсуву гармоніки.

Тоді:

$$u_x(t) = \frac{1}{2} M I U_{dc} \sum_{i=1,5,7,11,13,\dots} k_i \sin(i\omega_1 t + \varphi_{xi}) +$$

$$+ \frac{1}{2} M I U_{dc} \sum_{i=1,5,7,11,13,\dots} \sum_{j=1}^{\infty} [k_i K_j \cos((j\omega_b - i\omega_1)t + \varphi_{fj} + \varphi_{xi})$$

$$- k_i K_j \cos((j\omega_b + i\omega_1)t + \varphi_{fj} + \varphi_{xi})] \quad (1.4)$$



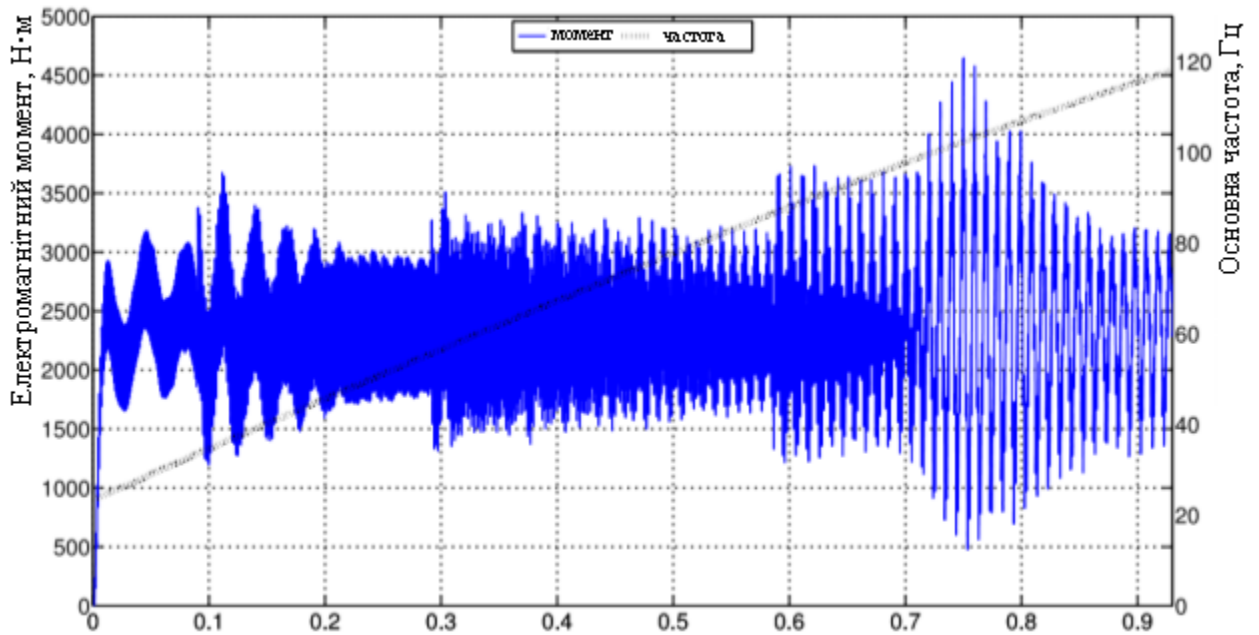


Рисунок 1.2 – Коливання моменту при зміні напруги однофазного джерела

Маємо:

$$\frac{1}{2}U_{dc} + \frac{1}{2}U'_{dc}K_1 \sin(\omega_{fb}t + \varphi'_{b1}),$$

Перетворимо до вигляду:

$$\frac{1}{2}U_{dc} + \frac{1}{2}U_{dc}K_1 \sin(\omega_{fb}t + \varphi_{b1}),$$

За сигналом похибки:

$$\Delta\varphi_{b1} = \varphi_{b1} - \varphi'_{b1}$$

За напругою:

$$\Delta U_{dc} = U_{dc} - U'_{dc}$$

Комутуюча функція:

$$S'_x = \frac{U_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_{x1})}{\frac{U_{dc}}{2} + \frac{U'_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})}, \quad (1.5)$$

Напруга:

$$\begin{aligned} u'_x(t) &= S'_x \left( \frac{U_{dc}}{2} + \frac{U'_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1}) \right) = \\ &= U_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_{x1}) \cdot \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left( \frac{\frac{U_{dc}}{2} + \frac{U'_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})}{\frac{U_{dc}}{2} + \frac{U'_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})} + \frac{\frac{\Delta U_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})}{\frac{U_{dc}}{2} + \frac{U'_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})} \right. \\
& \quad + \frac{\frac{\Delta U_{dc}}{2} (\cos \Delta \varphi_{b1} - 1) K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})}{\frac{U_{dc}}{2} + \frac{U'_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})} \\
& \quad \left. + \frac{\frac{\Delta U_{dc}}{2} K_1 \cos(\omega_f b t + \varphi'_{b1}) \sin \Delta \varphi_{b1}}{\frac{U_{dc}}{2} + \frac{U'_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})} \right) = \\
& = U_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_{x1}) + \frac{K_1}{2} U_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_{x1}) \cdot \\
& \quad \left( \frac{[\Delta U_{dc} + U_{dc}(\cos \Delta \varphi_{b1} - 1)] \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})}{\frac{U_{dc}}{2} + \frac{U'_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})} \right. \\
& \quad \left. + \frac{[\Delta U_{dc} \sin \Delta \varphi_{b1}] \cos(\omega_f b t + \varphi'_{b1})}{\frac{U_{dc}}{2} + \frac{U'_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})} \right) = \\
& = U_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_{x1}) + K\mathcal{L} \cdot U_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_{x1}) \\
& \quad \cdot \cos \left( \omega_f b t + \varphi'_{b1} - \arctan \frac{\Delta U_{dc} + U_{dc}(\cos \Delta \varphi_{b1} - 1)}{U_{dc} \sin \Delta \varphi_{b1}} \right) = \\
& = U_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_{x1}) + \frac{K\mathcal{L}}{2} \\
& \quad \cdot \left( \sin \left[ (\omega_{fb} + \omega_1)t + \varphi_{b1} + \varphi_{x1} \right. \right. \\
& \quad \left. \left. - \arctan \frac{\Delta U_{dc} + U_{dc}(\cos \Delta \varphi_{b1} - 1)}{U_{dc} \sin \Delta \varphi_{b1}} \right] \right. \\
& \quad \left. - \sin \left[ (\omega_{fb} + \omega_1)t + \varphi_{b1} + \varphi_{x1} \right. \right. \\
& \quad \left. \left. - \arctan \frac{\Delta U_{dc} + U_{dc}(\cos \Delta \varphi_{b1} - 1)}{U_{dc} \sin \Delta \varphi_{b1}} \right] \right), \tag{1.6}
\end{aligned}$$

Де

$$KC = \frac{K_1}{2} \cdot \frac{\sqrt{(\Delta U_{dc} + U_{dc}(\cos \Delta \varphi_{b1} - 1))^2 + (U_{dc} \sin \Delta \varphi_{b1})^2}}{\frac{U_{dc}}{2} + \frac{U'_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})} \quad (1.7)$$

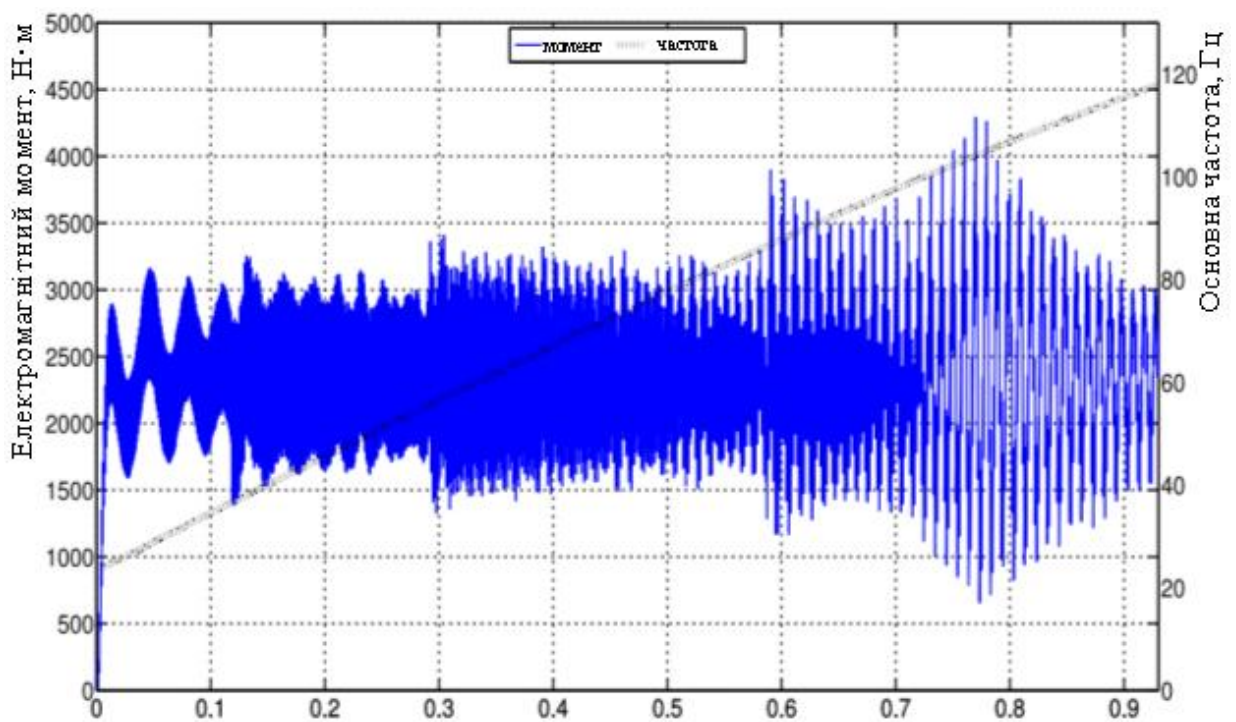


Рисунок 1.3 – Коливання моменту при зміні напруги однофазного джерела

Отримаємо:

$$S_x'' = \frac{U_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_{x1})}{\frac{U_{dc}}{2} + \frac{U_{dc}}{2} K_1 \sin(\omega_f b t + \varphi'_{b1})} \quad (1.8)$$

## Розділ 2. Компенсація коливань напруги однофазного джерела із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження

### 2.1. Широтно-імпульсна модуляція сигналів керування

Представимо структуру векторного керування електроприводом з перетворювачем.

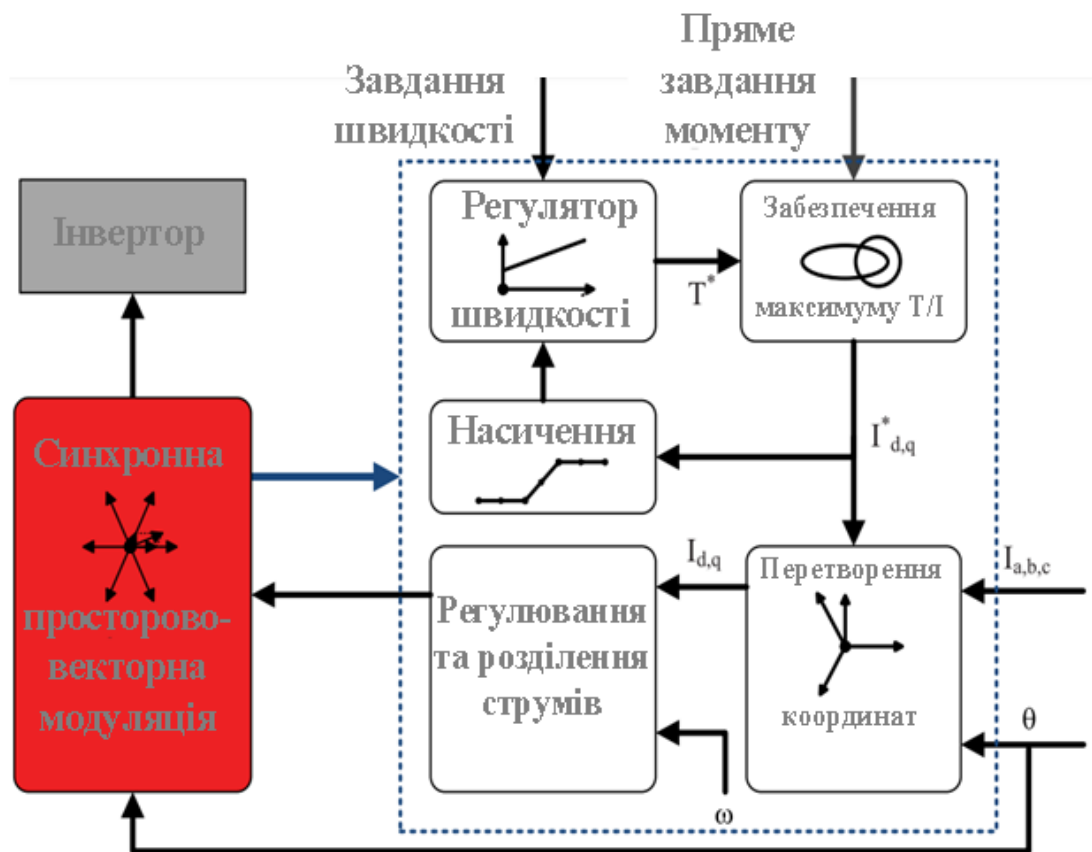


Рисунок 2.1 – Схема векторного керування електроприводом з перетворювачем

Вибір перемикаючих функцій здійснюється для кожного з шаблонів послідовностей імпульсів.

Комбінація послідовностей імпульсів утворює просторові вектори відповідно до шаблонів фазної та лінійної напруги.

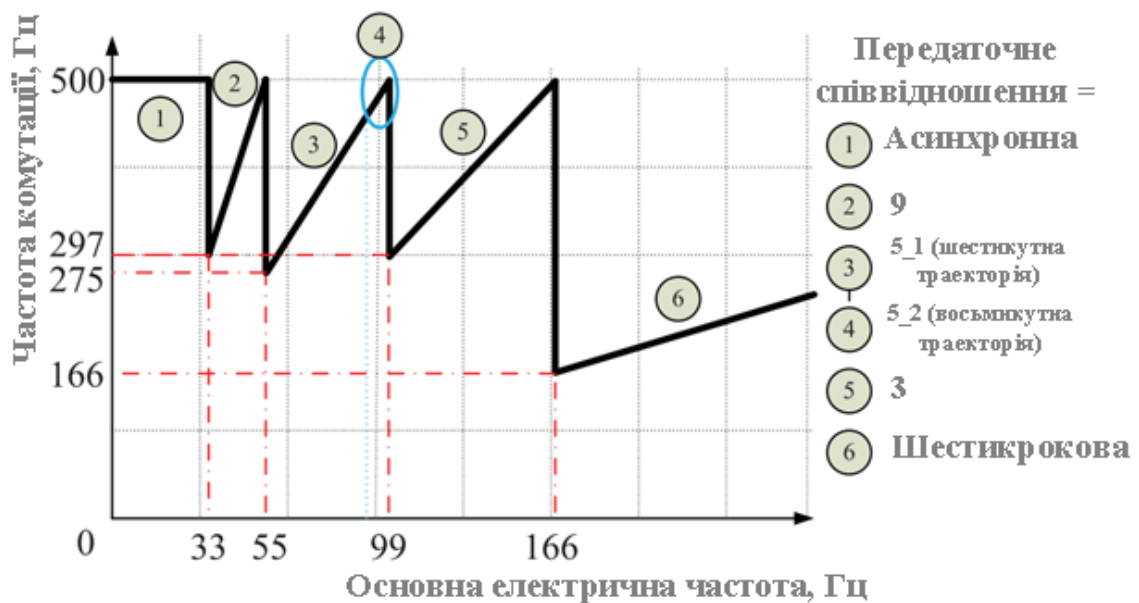
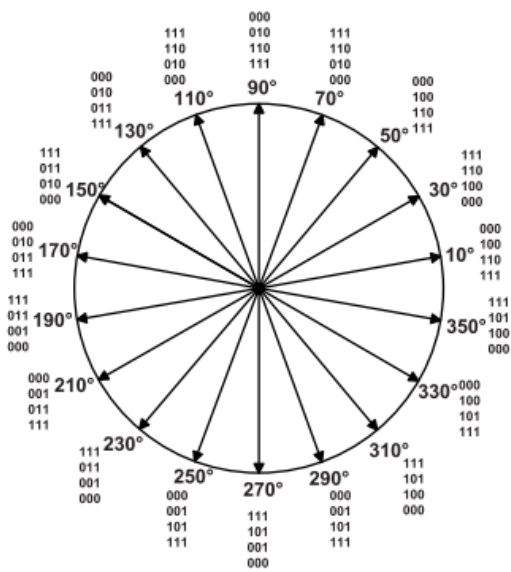
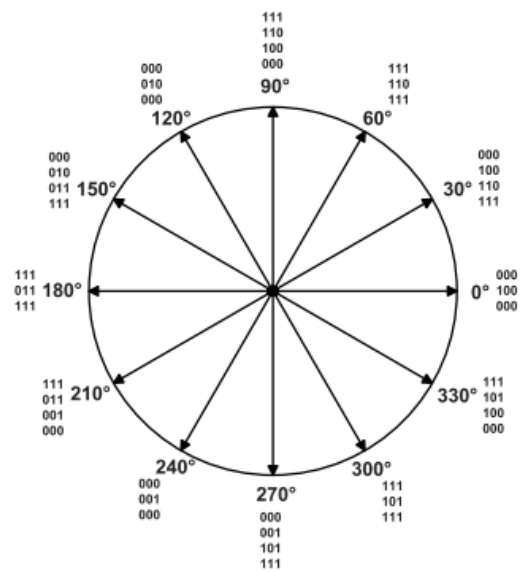


Рисунок 2.2 – Передатні функції сигналів

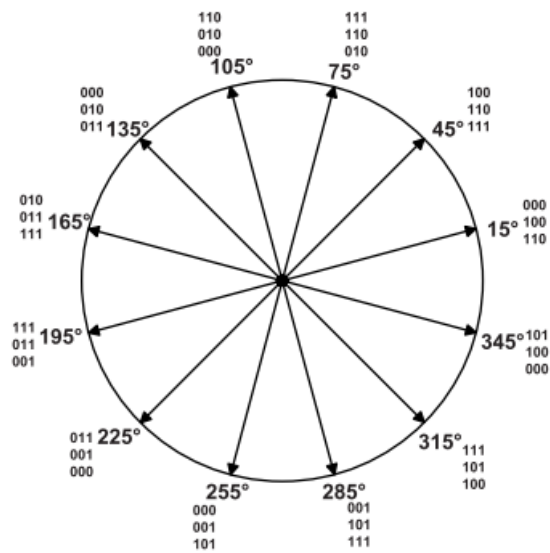
Представимо комбінацію несучих сигналів у вигляді просторових вектор-функцій.



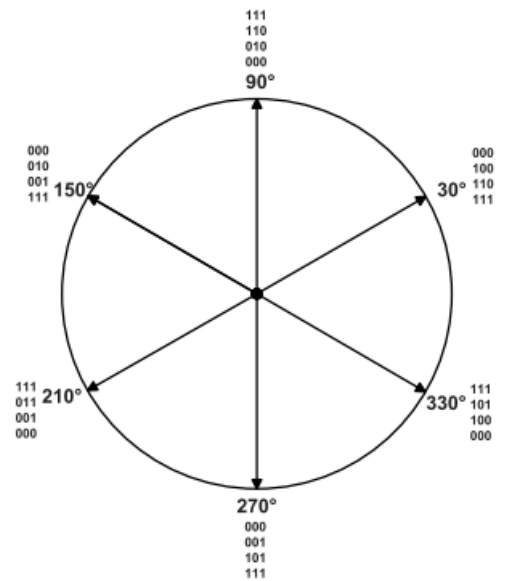
а)



б)



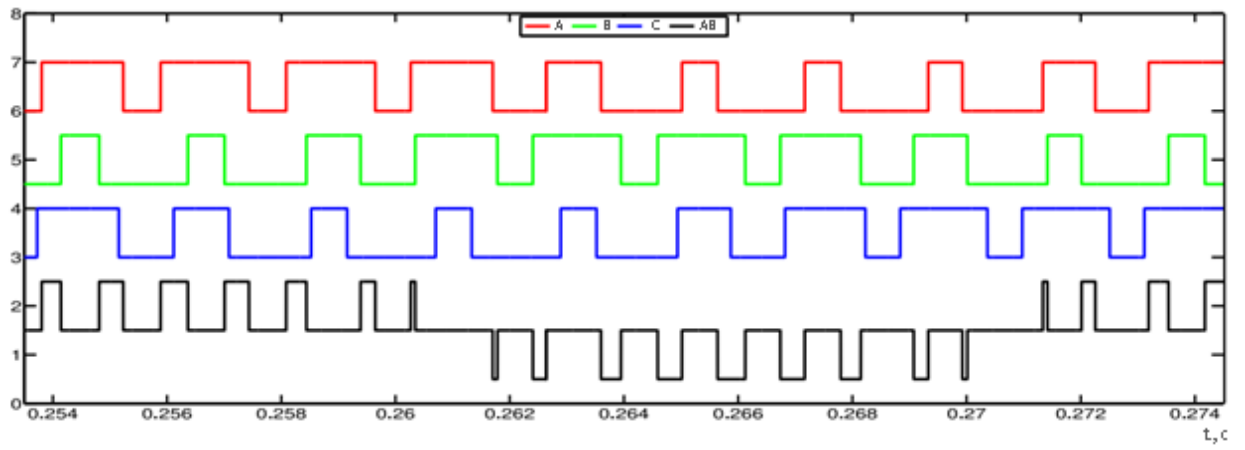
в)



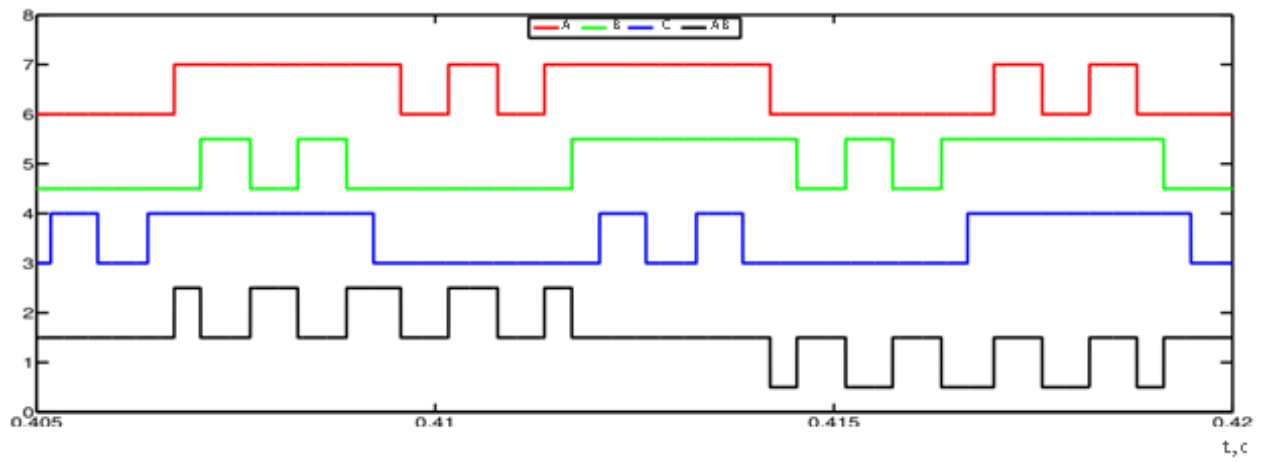
г)

Рисунок 2.3 – Базовий простір векторів

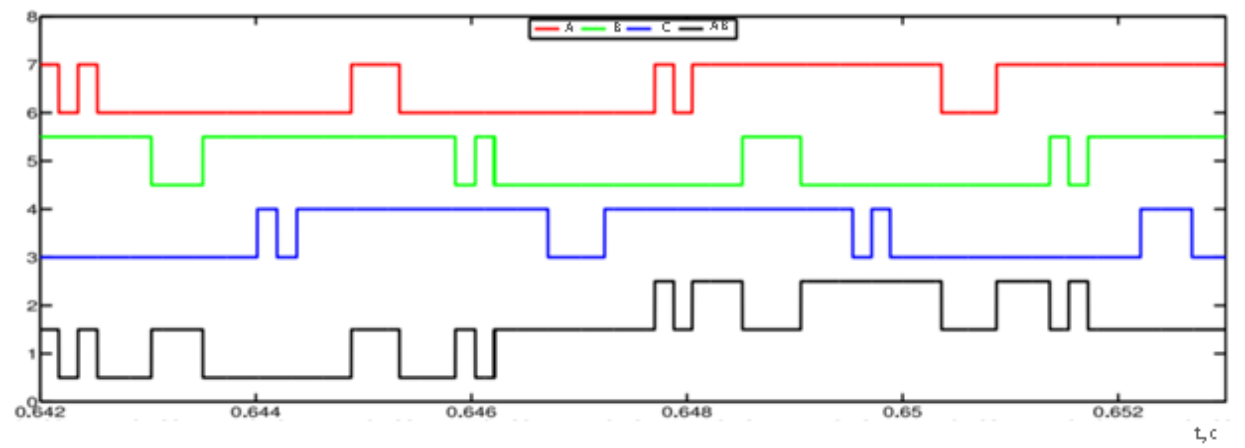




a)

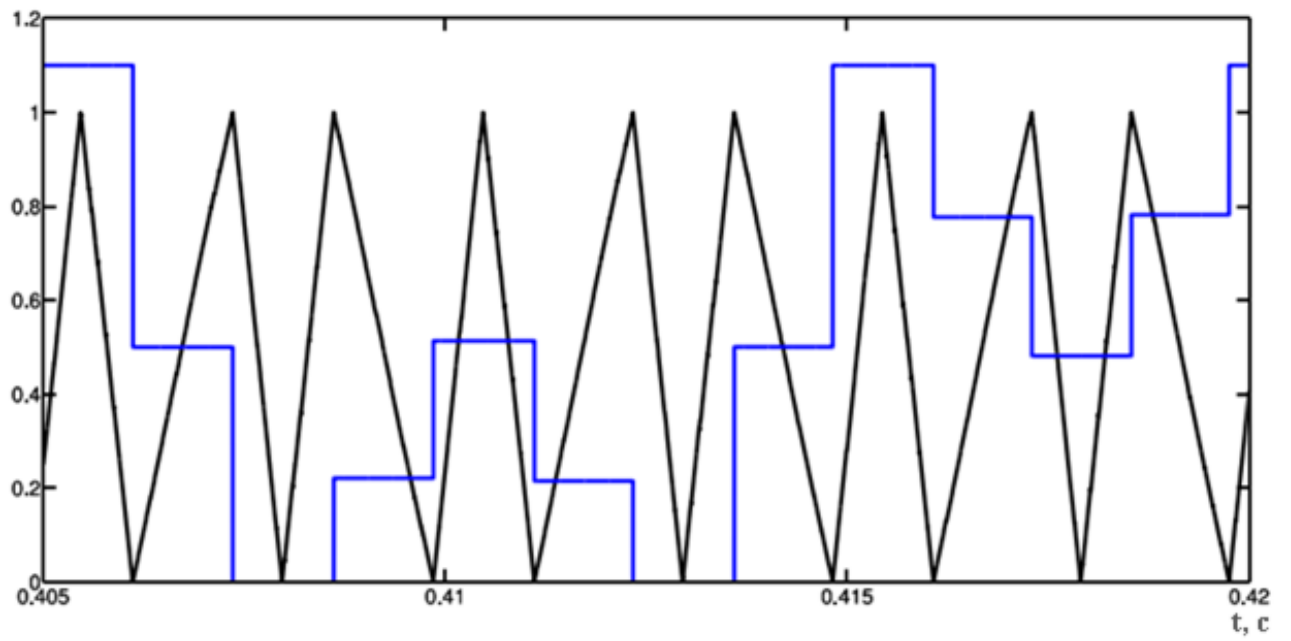


б)



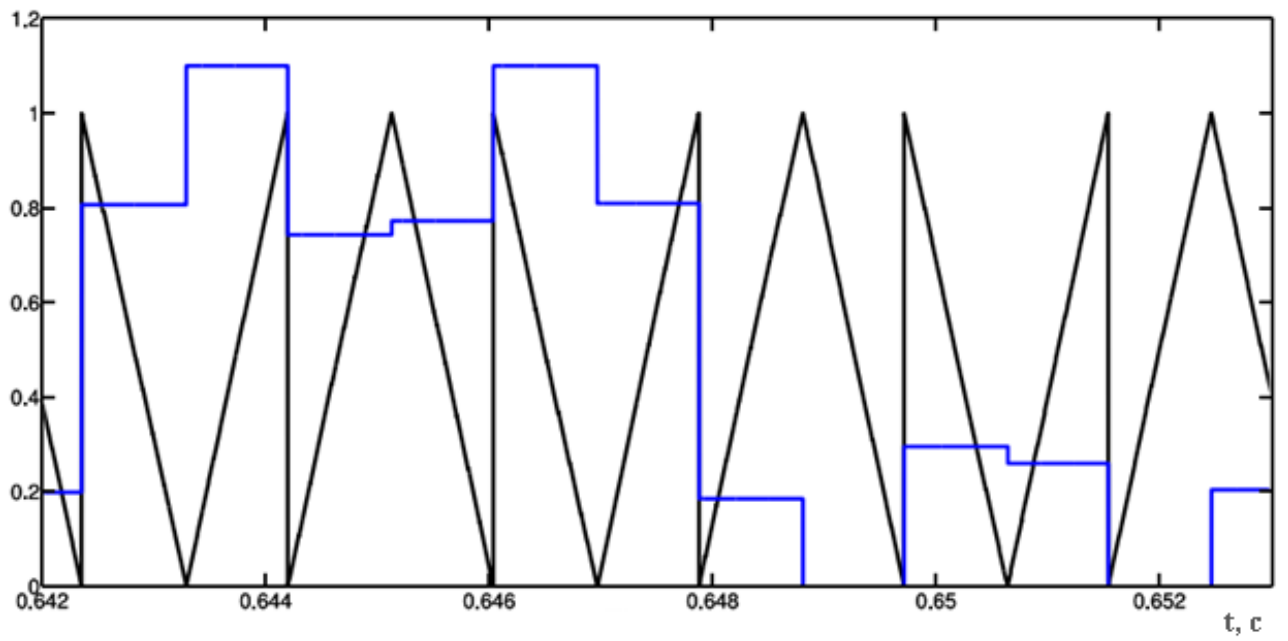
B)





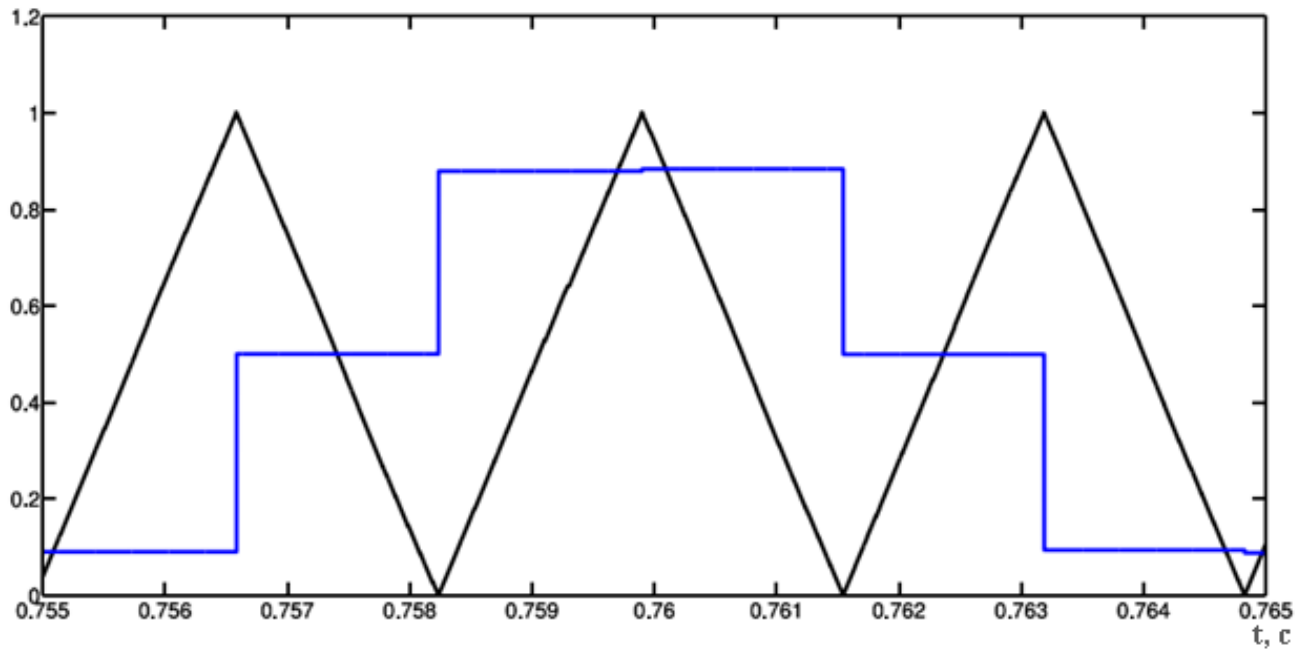
б)

Рисунок 2.5 – Напряга однофазного джерела



в)

Рисунок 2.5 – Напряга однофазного джерела



г)

Рисунок 2.5 – Напряга однофазного джерела

## 2.2. Компенсація коливань напруги однофазного джерела

Прогнозне керування можна виконувати при застосуванні вікна можливості вибірки даних щодо стану перемикаючих вектор-функцій.

Це впливає на зміну шаблону послідовності імпульсів що використовується.

Цей процес задіяний з метою можливості охоплення як найбільшої можливості просторової комбінації перемикаючих вектор-функцій.

При такому підході щодо формування векторів функції перемикавання важливим є прогнозування проміжків часу паузи у послідовності імпульсів.

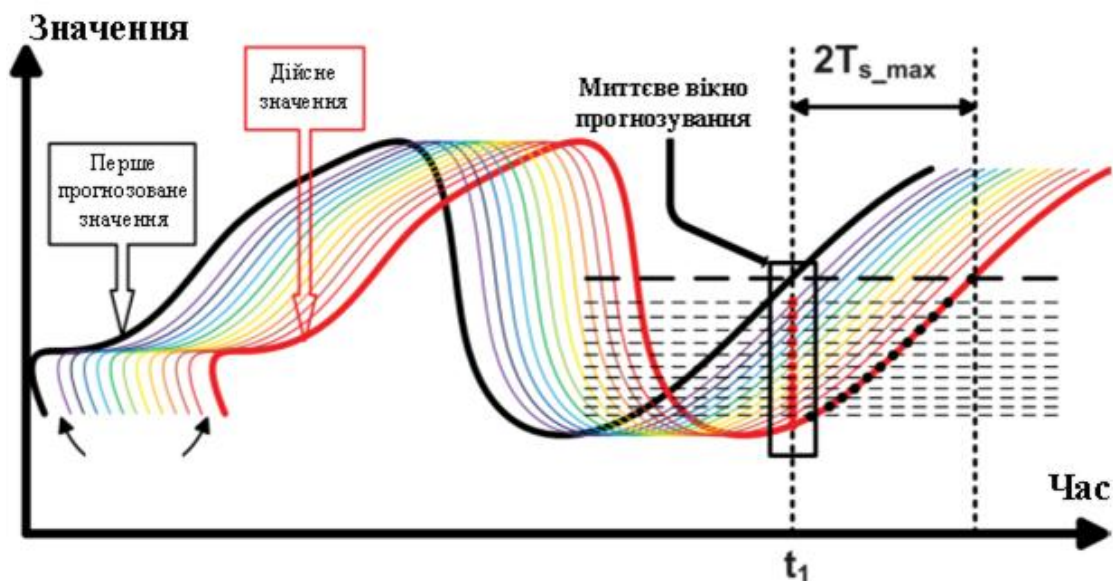


Рисунок 2.6 – Прогнозування коливань напруги однофазного джерела

Для визначення проміжків часу паузи у послідовності імпульсів необхідно застосовувати алгоритми прогнозування.

При цьому контролюється значення тривалості включення кожного з векторів-функцій перемикання відповідно до обраного шаблону послідовності імпульсів.

$$u_{ref} T_s = u_1 t_1 + u_2 t_2 + u_0 t_0,$$

де  $t_1$ ,  $t_2$  та  $t_0$  – час прикладення векторів  $u_1$ , та  $u_2$  а також  $u_0$ .

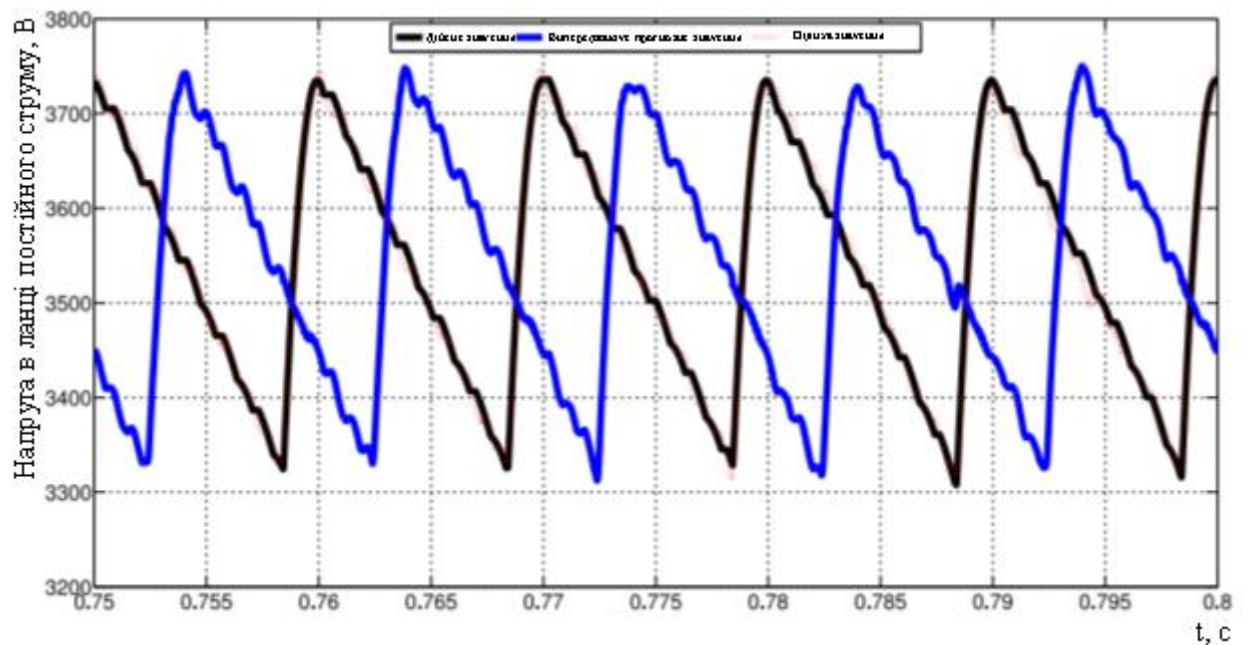


Рисунок 2.7 – Напруга однофазного джерела (змодельована та прогнозована)

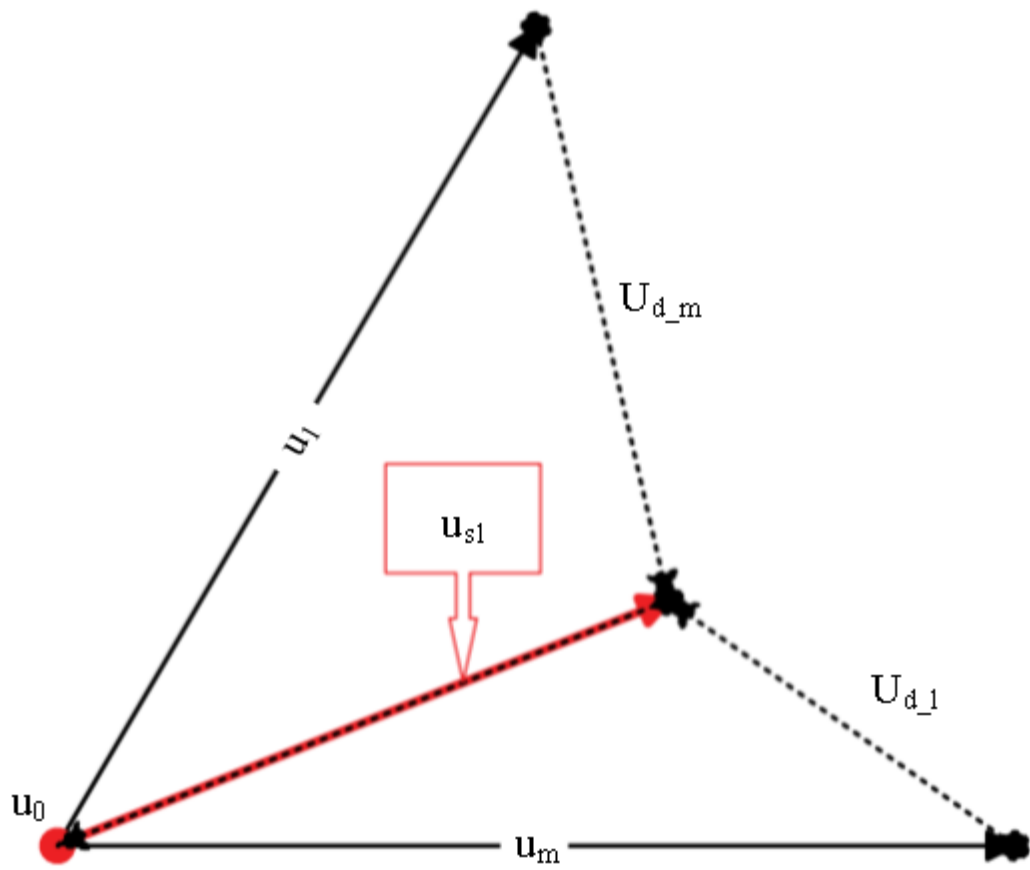


Рисунок 2.8 – Просторові вектори напруги



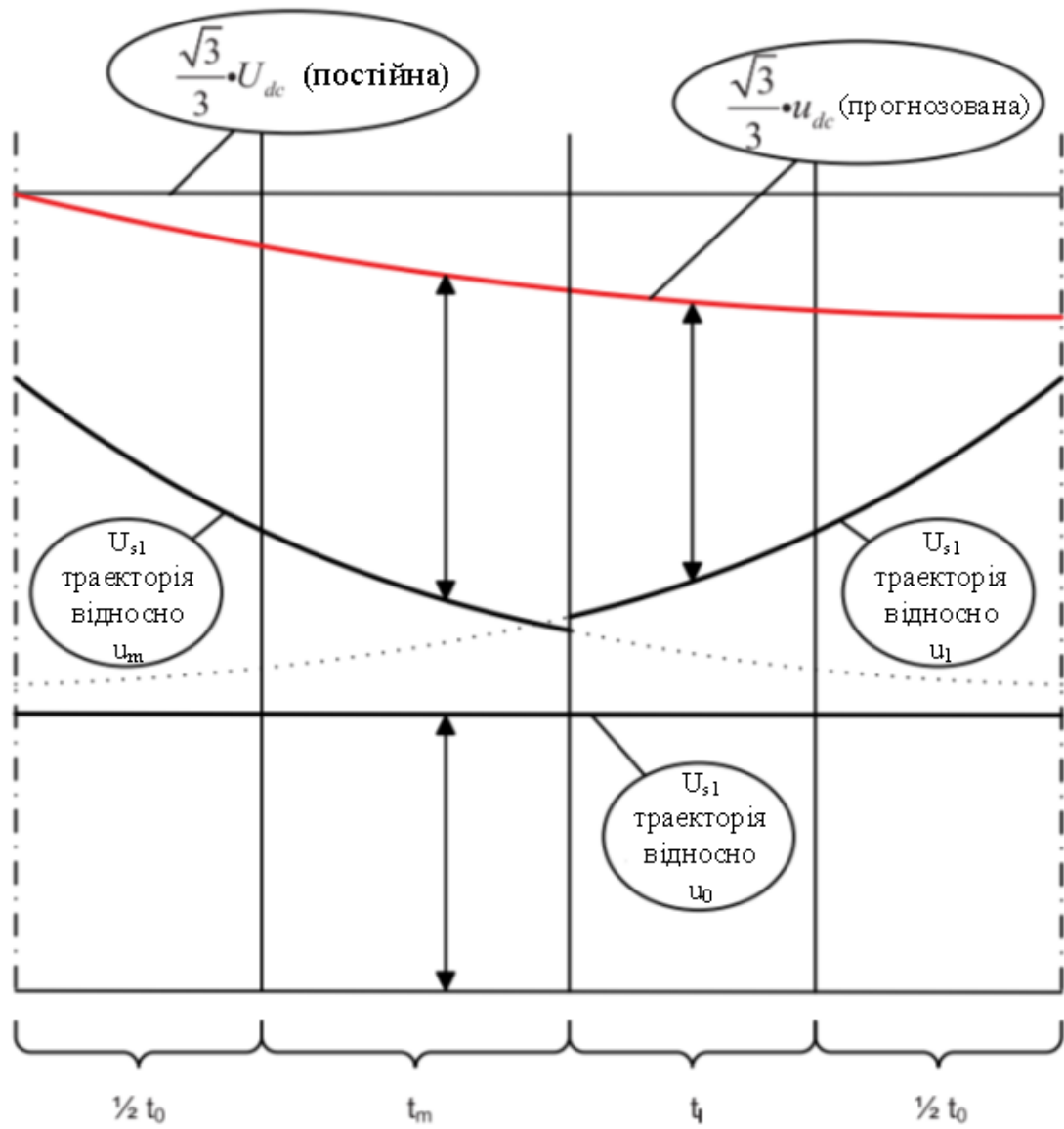


Рисунок 2.9 – Траєкторія векторів

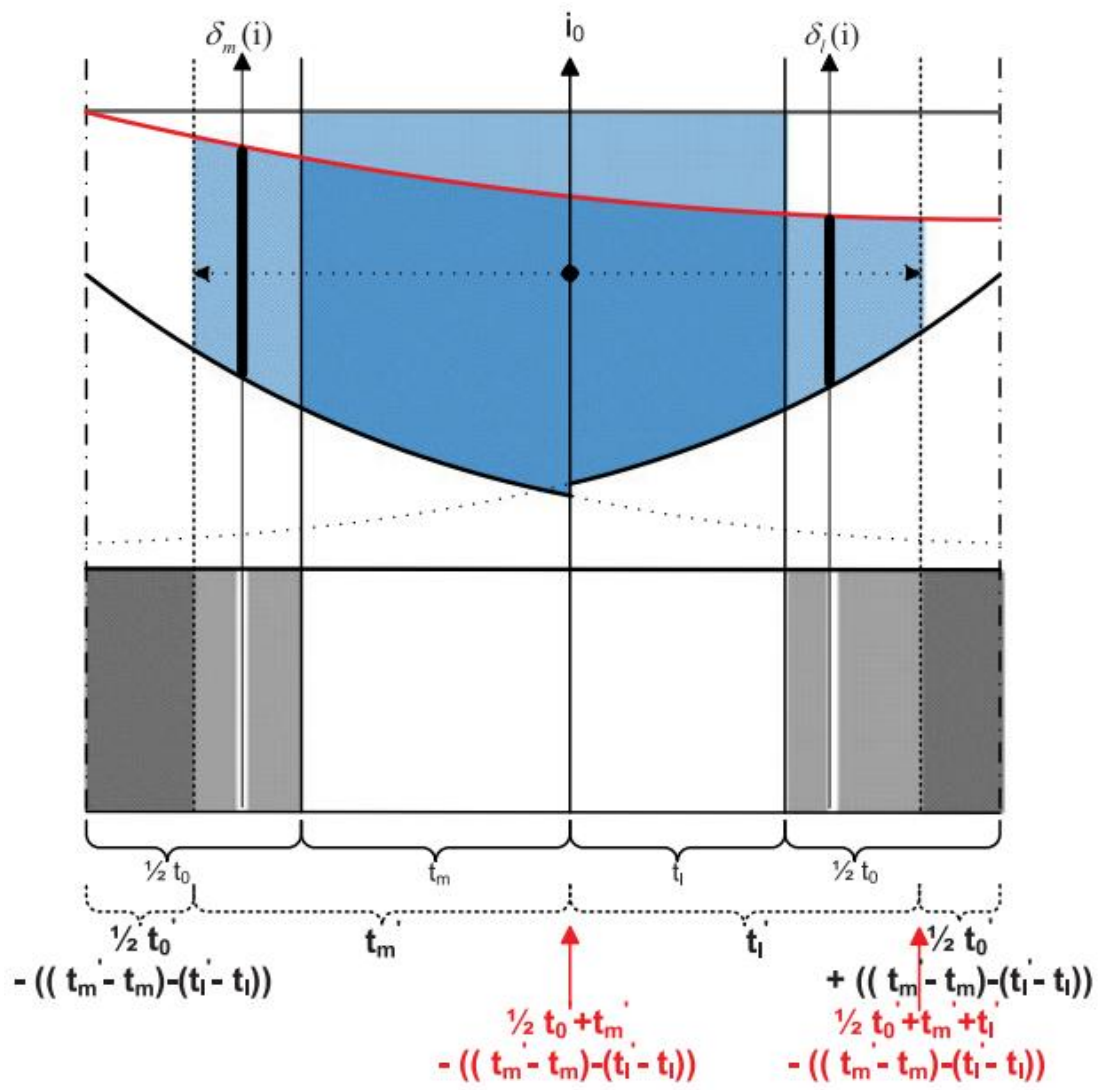


Рисунок 2.10 – Прогнозування траєкторії векторів

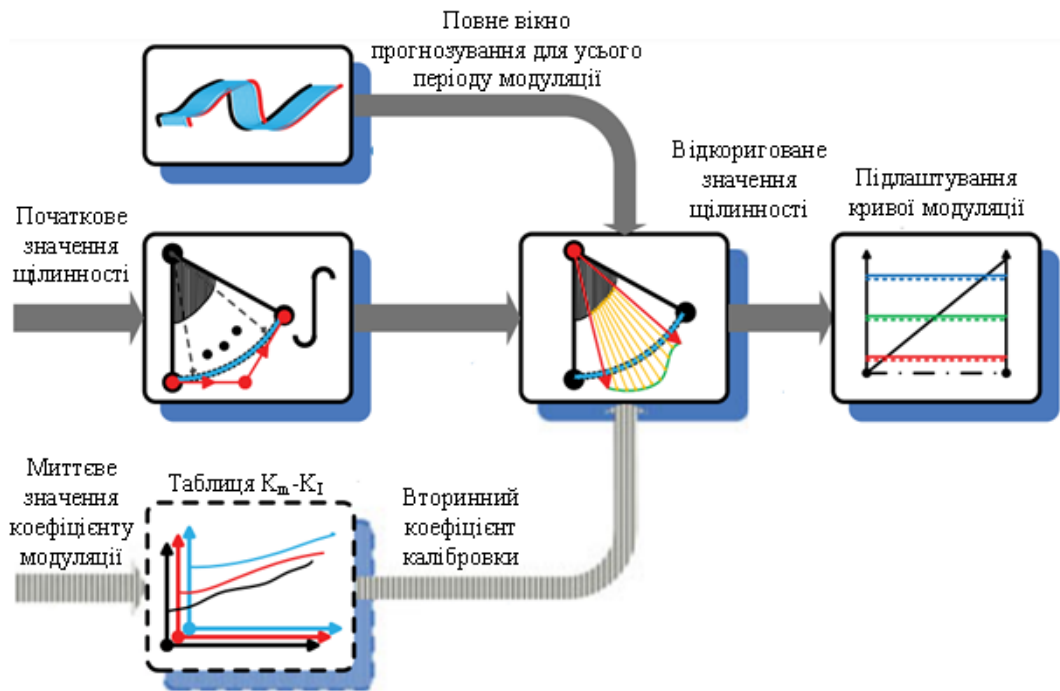


Рисунок 2.11 – Структура системи прогнозування

### **Розділ 3. Дослідження ефективності функціонування перетворювальних пристроїв із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження**

#### **3.1. Дослідження функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами**

Дослідити процес коливань випрямленої напруги у ланці постійного струму щодо практики застосування компенсації її складових можливо за допомогою розрахунків.

Але складність виконання розрахунків щодо розв'язку рівнянь що описують процес коливання значення випрямленої напруги у ланці постійного струму змушує застосовувати імітаційні методи розв'язку подібних систем з можливістю візуалізації цих процесів у вигляді графіків відповідних величин.

Для порівняння якості компенсації коливань випрямленої напруги у ланці постійного струму необхідно розглянути перехідні процеси при відсутності компенсації.

Представимо вигляд графіків перехідних процесів відповідних величин при відсутності компенсації коливань випрямленої напруги у ланці постійного струму перетворювача.

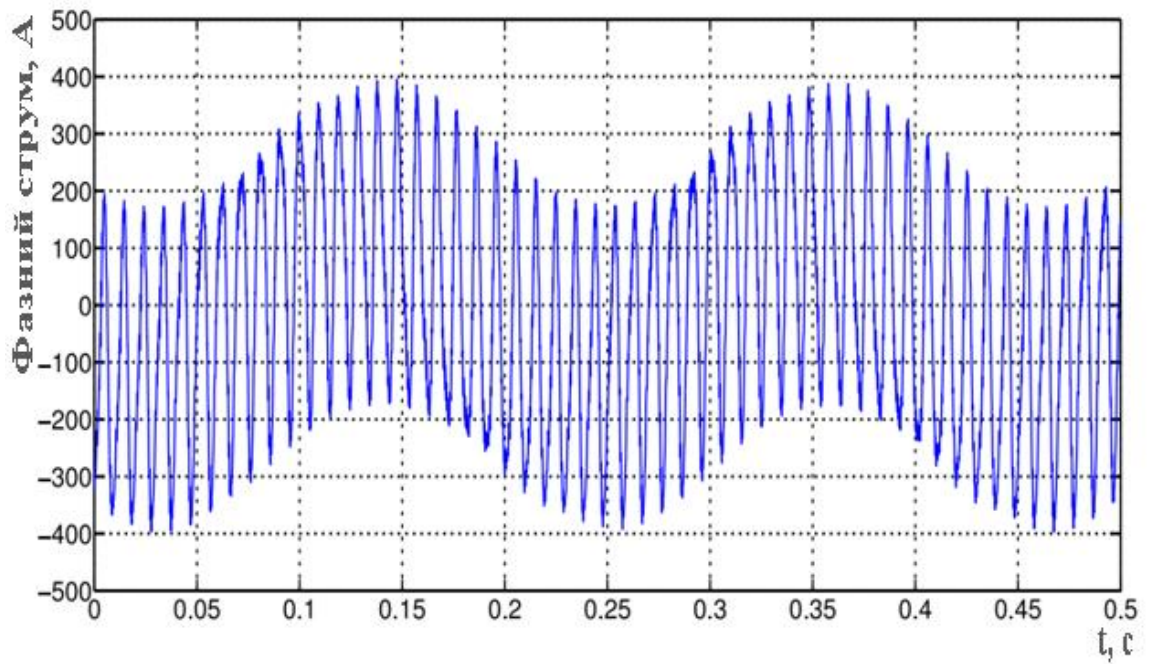


Рисунок 3.1 – Зміна струму двигуна при коливаннях навантаження

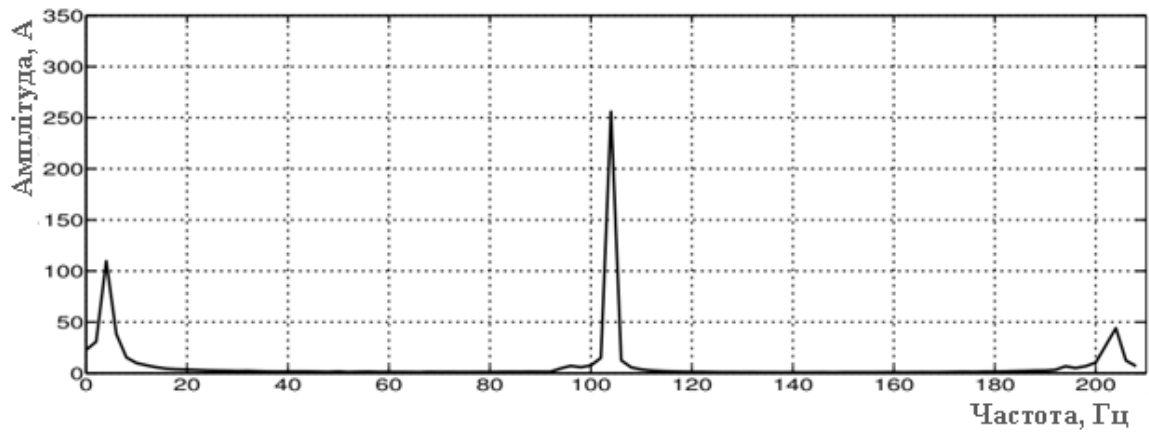


Рисунок 3.2. – Спектр зміни струму двигуна при коливаннях навантаження

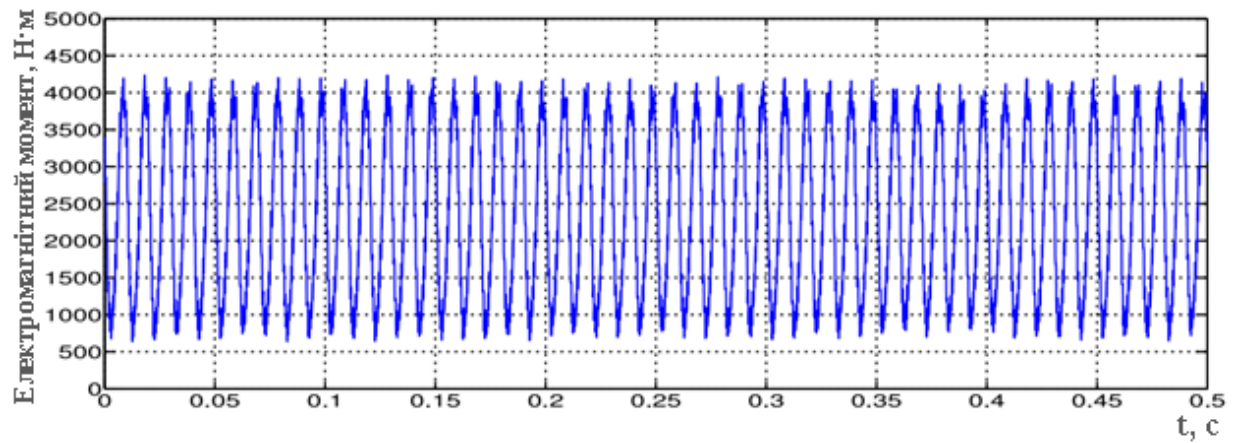


Рисунок 3.3 – Зміна моменту двигуна при коливаннях навантаження

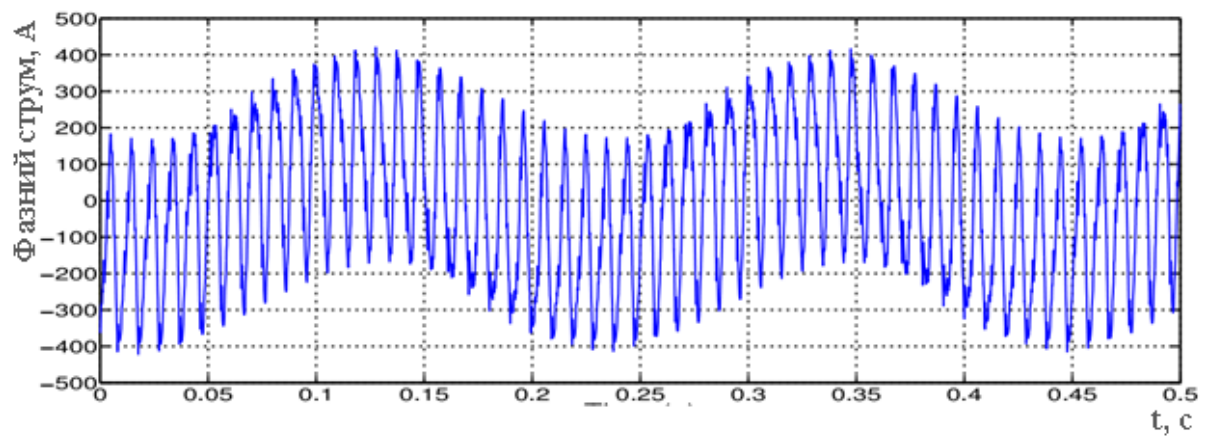


Рисунок 3.4 – Зміна струму двигуна при коливаннях навантаження

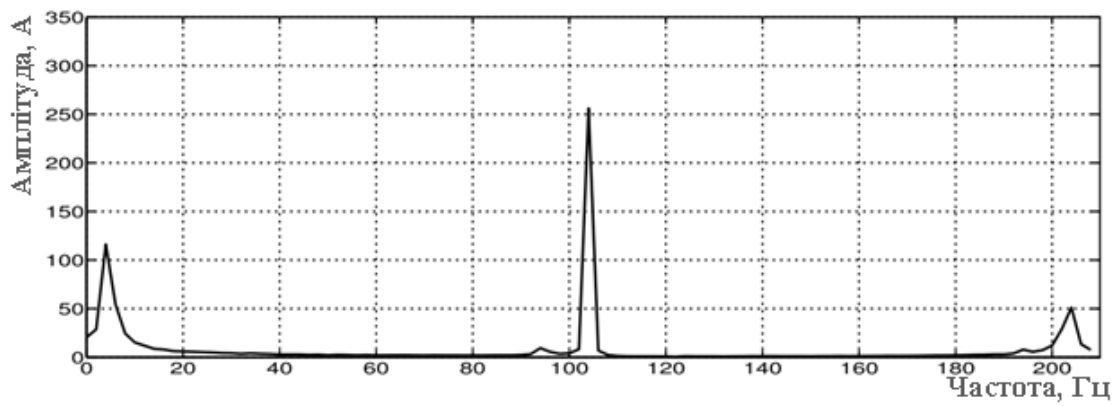


Рисунок 3.5 – Спектр зміни струму двигуна при коливаннях навантаження

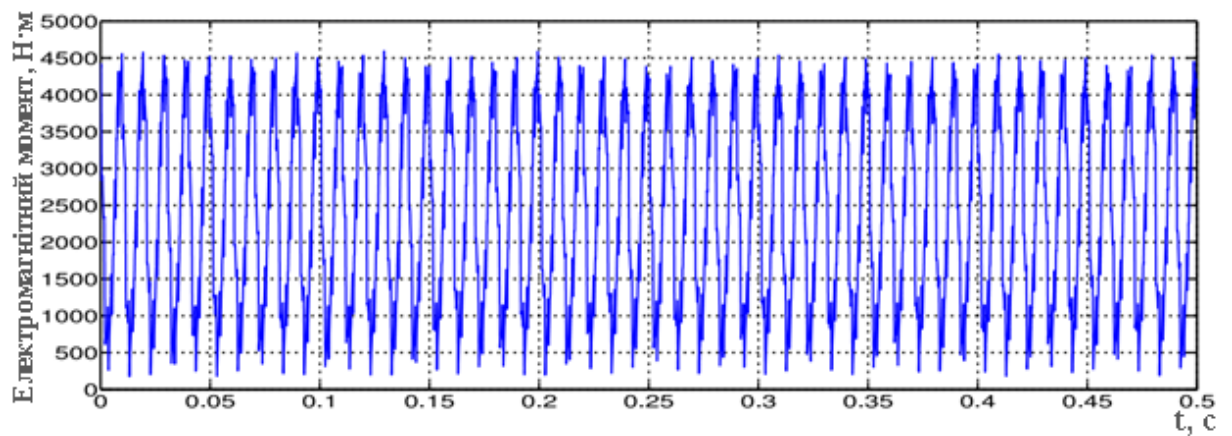


Рисунок 3.6 – Зміна моменту двигуна при коливаннях навантаження

### 3.2. Дослідження ефективності функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження та коливання напруги

Складність виконання розрахунків щодо розв'язку рівнянь що описують процес компенсації коливання значення випрямленої напруги у ланці постійного струму супроводжується необхідністю застосовувати спеціальні методи формування сигналів керування.

Для дослідження на імітаційній моделі подібні сигнали реалізують відповідні графіки величин вектор-функцій.

Представимо вигляд графіків перехідних процесів відповідних величин при компенсації коливань випрямленої напруги у ланці постійного струму перетворювача.

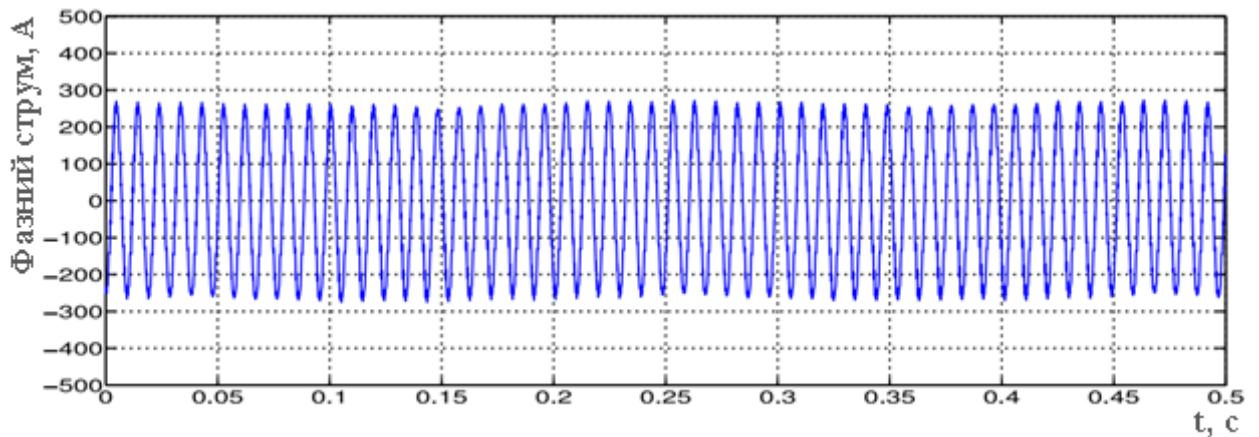


Рисунок 3.7 – Зміна струму двигуна при впровадженні алгоритму усунення впливу зміни навантаження



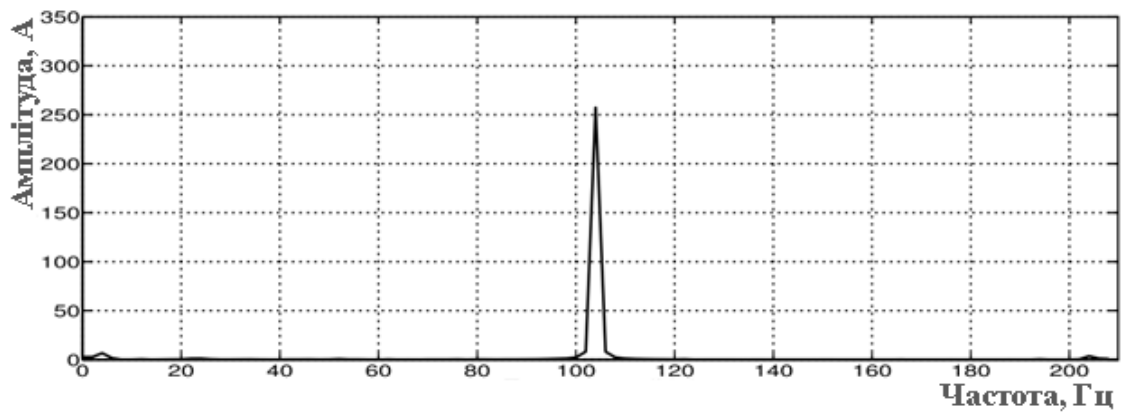


Рисунок 3.8 – Спектр зміни струму двигуна при впровадженні алгоритму усунення впливу зміни навантаження

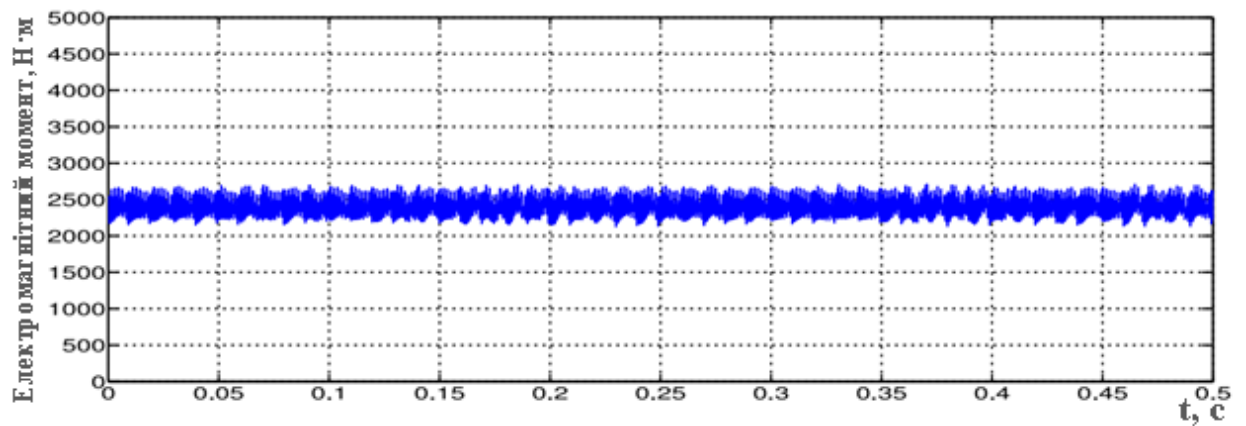


Рисунок 3.9 – Зміна моменту двигуна при впровадженні алгоритму усунення впливу зміни навантаження

## Висновки

У першому розділі проведено аналіз функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами.

Розглянуто вплив зміни навантаження на функціонування перетворювальних пристроїв.

Показано, що під впливом навантаження у формі вихідного сигналу перетворювача наявні пульсації, що призводить до некерованих проявів при формуванні вектору моменту двигуна, та впливає на точність керування.

У другому розділі запропоновано метод компенсації коливань вектору моменту при використанні просторово-векторного моделювання.

Розглянуто спосіб широтно-імпульсної модуляції з вибором коефіцієнтів та застосуванням шаблону імпульсів.

У третьому розділі досліджено ефективності функціонування перетворювальних пристроїв при живленні однофазними джерелами із впровадженням алгоритмів усунення впливу зміни навантаження.

Ефективність запропонованого методу підтверджується графіками струмів, та графіками моменту при різних співвідношеннях передаточних функцій.