

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

На правах рукопису

ЛОЗИНСЬКИЙ
Андрій Орестович

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСКАВАТОРНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ
ЗМІННОГО СТРУМУ З ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ
ЦИКЛОКОНВЕРТОРНОГО ТИПУ**

Спеціальність 05.09.03 - Електротехнічні системи та комплекси,
включаючи їх управління і регулювання

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 1996

Дисертація є рукописом

Робота виконана в Державному університеті "Львівська політехніка"

Науковий керівник:	доктор технічних наук, професор Плахтина Омелян Григорович
Науковий консультант :	доктор технічних наук Цгоєв Руслан Сергійович (Росія)
Офіційні опоненти:	доктор технічних наук, професор Герасимяк Ростислав Павлович професор, доктор технічних наук (доктор габілітований, інженер) Ричард Боровскі (Польща)
Провідна організація:	ЗАТ "Новокраматорський машинобудівний завод"

Захист відбудеться "28" серпня 1996 року о 14 год. 00 хв.
на засіданні спеціалізованої Ради К.04.06.17 при Державному
університеті "Львівська політехніка" за адресою: 290646, м.Львів, вул.
С.Бандери, 12, аудиторія 114.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці
Державного університету "Львівська політехніка"
(290646, м.Львів, вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий "22" серпня 1996 року

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

Учений секретар спеціалізованої

ЛННБ України ім. В. Стефаника

Ради

Марущак Я.Ю.



00753703 (P)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. До недавнього часу використання приводів змінного струму в потужних електромеханічних системах стримувалося відсутністю надійних способів керування та відповідної елементної бази. Розв'язання даної проблеми дало поштовх для розробок і застосування потужних керованих електроприводів змінного струму, зокрема, і в сучасному екскаваторобудуванні. Одним з них є електропривод типу "циклоконвертор - АД з короткозамкнутим ротором". Аналіз вимог, які висуваються до приводів екскаваторів, показав, що така система має ряд вагомих переваг: простота та надійність АД; однократне перетворення енергії та можливість її рекуперації в гальмівних режимах без застосування додаткових пристроїв. Проте безпосереднє під'єднання такого приводу до мережі живлення ставить ряд проблем: спотворення напруги мережі внаслідок комутаційних процесів в циклоконверторі, пониження коефіцієнта потужності. Мала кратність частот цикло-конвертора погіршує якість його вихідних напруг і звужує діапазон регулювання приводу. Усунення перерахованих недоліків забезпечується використанням в приводі електромашинного перетворювача як електромеханічної розв'язки між мережею живлення та приводами головних механізмів екскаватора.

Всестороння оцінка переваг і недоліків запропонованих схем екскаваторного електроприводу змінного струму, особливо на етапі проектування, може бути здійснена методами математичного моделювання. Використавши теорію математичного моделювання електромашинно-вентильних систем, розроблену проф. О.Г. Плахтиною, можна побудувати модель екскаваторного електроприводу, яка б дозволила виконати комплекс досліджень різних режимів з урахуванням можливих аварійних ситуацій, що виникають при його роботі, взаємозв'язків між структурними елементами, нелінійностей; провести гармонічний аналіз величин, які характеризують роботу електроприводу, та синтезувати систему керування. Модульний підхід, покладений в основу створення, як моделей окремих структурних елементів, так і програмного комплексу в цілому дозволяє легко змінювати структуру досліджуваних схем, що особливо важливо на етапі проектування. Широкий спектр задач, які необхідно розв'язувати, зумовлює створення моделей різних типів з метою оптимального використання обчислювальної техніки. Перелічені вище переваги вигідно вирізнять розроблений програмний комплекс серед існуючих, доступних нам пакетів.

З врахуванням сказаного, дослідження методами математичного моделювання екскаваторного електроприводу змінного струму з перетворювачем частоти циклоконверторного типу є актуальним і має наукову та практичну цінність.

Мета роботи та задачі дослідження. Метою роботи є проведення комплексу досліджень різних схем екскаваторного електроприводу змінного струму для вироблення рекомендацій, щодо перспективності застосування розглянутих систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- створити математичні моделі, як окремих елементів схеми, так і цілих систем екскаваторного електроприводу;
- побудувати алгоритми та їх програмно реалізувати для комп'ютерного симулювання процесів в описаних електротехнічних системах;
- провести необхідні цифрові експерименти для різних досліджуваних схем та виконати порівняльний аналіз отриманих результатів.

Наукова новизна роботи:

- запропоновано спосіб дослідження схем екскаваторного електроприводу з перетворювачем частоти циклоконверторного типу методами математичного моделювання на основі теорії моделювання електромашинно-вентильних систем;
- розроблено математичні моделі циклоконверторів з арккосинусоїдальним законом керування в обертових координатах та створено моделі наступних схем екскаваторного електроприводу змінного струму: 1) з прямим під'єднанням до мережі; 2) з електромеханічним перетворювачем, що служить розв'язкою між мережею живлення та приводами головних механізмів;
- розроблено математичні моделі окремих структурних елементів (синхронної машини з розщепленими обмотками, багатообмоткового трансформатора) та алгоритм формування моделей підсистем ("трансформатор - циклоконвертор - АД", "циклоконвертор - АД") в межах прийнятого для формування моделі електромеханічної системи у фазних координатах підходу, а також створено моделі перелічених вище схем екскаваторного електроприводу;
- на основі розроблених моделей, створено програмний комплекс для дослідження динамічних та квазіусталених режимів схем екскаваторного електроприводу з прямим під'єднанням до мережі живлення та електромеханічною розв'язкою і безпосередніми перетворювачами частоти мостового та нульового типу;

- виконано дослідження різних схем електроприводу на цифрових моделях і, на основі отриманих результатів, дано порівняльні рекомендації.

Методи досліджень: теорія моделювання електромашинно-вентильних систем; чисельні методи розв'язування систем диференційних рівнянь; методи розв'язування систем алгебраїчних рівнянь; розклад функції в ряд Фур'є.

На захист вносятся:

- спосіб дослідження схем екскаваторного електроприводу з перетворювачем частоти циклоконверторного типу методами математичного моделювання на основі теорії моделювання електромашинно-вентильних систем;
- математичні моделі циклоконверторів з арккосинусоїдальним законом керування в обертових координатах;
- створені в обертових координатах моделі наступних схем екскаваторного електроприводу змінного струму: 1) з прямим під'єднанням до мережі; 2) з електромеханічним перетворювачем, що служить розв'язкою між мережею живлення та приводами головних механізмів;
- математичні моделі структурних елементів електроприводу (синхронної машини з розщепленими обмотками, багатообмоткового трансформатора) та розроблений алгоритм формування моделей підсистем ("трансформатор - циклоконвертор - АД", "циклоконвертор - АД") в межах прийнятого для формування моделі електромеханічної системи у фазних координатах підходу;
- створені у фазних координатах моделі описаних вище схем екскаваторного електроприводу;
- програмний комплекс для дослідження динамічних та квазі-усталених режимів схем екскаваторного електроприводу з прямим під'єднанням до мережі живлення та електромеханічною розв'язкою і безпосередніми перетворювачами частоти мостового та нульового типу;
- отримані на цифрових моделях результати дослідження процесів у різних схемах екскаваторного електроприводу.

Практична цінність роботи:

- запропонований спосіб дозволяє досліджувати усталені та динамічні режими електромеханічної системи, аналізувати процеси в окремих приводах з врахуванням їх взаємного впливу під час роботи, а також вплив цілої системи на мережу живлення, як у резуль-

таті зміни навантаження, так і параметрів регуляторів системи керування без проведення експериментів на фізичній моделі;

- створені математичні моделі окремих елементів дали можливість сформулювати моделі різних схем екскаваторного електроприводу змінного струму, які вигідно відрізняються своєю універсальністю для дослідження різноманітних процесів;
- розроблені моделі структурних елементів можна застосувати для вивчення процесів в інших електромеханічних системах;
- створений програмний комплекс може використовуватись спеціалістами в галузі електроприводу, які не володіють основами програмування, оскільки закладена технологія проведення цифрового експерименту вимагає тільки формування необхідних файлів початкової інформації.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на національних та міжнародних конференціях:

- ♦ Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Харьков, 1994;
- ♦ Всеукраїнська наукова конференція “Застосування обчислювальної техніки, математичного моделювання та математичних методів у наукових дослідженнях”, Львів, 1995;
- ♦ 1-ша Міжнародна науково-технічна конференція “Математичне моделювання в електротехніці та електроенергетиці”, Львів, 1995;
- ♦ 1-ая Международная конференция по автоматизированному электроприводу. Санкт-Петербург, 1995;
- ♦ Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Харьков, 1995;
- ♦ Всеукраїнська наукова конференція “Розробка та застосування математичних методів в науково-технічних дослідженнях”, Львів, 1995.

Публікації. Основні результати дисертації висвітлені в 4 наукових статтях, 7 тезах доповідей. 2 наукові праці прийнято до друку.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, заключення, списку літератури у кількості 145 найменувань і додатку. Основний текст роботи викладений на 191 сторінці та містить 108 рисунків на 54 сторінках і 13 таблиць на 9 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показано наукову новизну та практичну цінність роботи, обґрунтовано її актуальність, сформульовано мету досліджень та основні положення, які виносяться на захист.

У першому розділі проведено літературний огляд розвитку екскаваторного електроприводу змінного струму; наведено основні схеми силової частини; проаналізовано відомі методи дослідження таких систем та розроблені програмні пакети. На основі проведеного аналізу вибрано методика розв'язування поставлених задач.

У другому розділі наведено моделі складових елементів, використані при моделюванні різних схем екскаваторного електроприводу в обертових координатах, та цілих електромеханічних систем. Розроблені моделі систем, як з електромашинним перетворювачем, що служить розв'язкою між мережею живлення та приводами головних механізмів, так і при прямому під'єднанні приводів до мережі, призначені для проведення режимних досліджень, визначення взаємних впливів між приводами та синтезу системи керування. При створенні моделей екскаваторного електроприводу використано традиційні моделі електричних машин, трансформатора та мережі живлення. В основі моделей циклоконверторів лежить спосіб перетворення рівнянь, що описують напівпровідниковий перетворювач, який базується на використанні ряду Фур'є для представлення функції стану вентиля та перетворенні координат Парка. Очевидно, що перетворювачі частоти повинні описуватись в системі координат, в якій ординати стану обертаються з частотою відповідних змінних. В згаданій системі координат рівняння трифазно-трифазного циклоконвертора мостового типу є наступними :

$$2 \cdot H_{dd} \cdot \Phi_d + 2 \cdot H_{qd} \cdot \Phi_q - \Phi_x - r_B \cdot i_x = 0 \quad (1)$$

$$2 \cdot H_{dq} \cdot \Phi_d + 2 \cdot H_{qq} \cdot \Phi_q - \Phi_y - r_B \cdot i_y = 0$$

$$i_d - 2 \cdot H_{dd} \cdot i_x - 2 \cdot H_{dq} \cdot i_y = 0$$

$$i_q - 2 \cdot H_{qd} \cdot i_x - 2 \cdot H_{qq} \cdot i_y = 0$$

де: Φ_d, Φ_q, i_d, i_q - напруги та струми циклоконвертора зі сторони синхронного генератора по осях d, q , відповідно; Φ_x, Φ_y, i_x, i_y - напруги та струми циклоконвертора зі сторони низької частоти по осях x, y , відповідно, r_B - опір вентиля;

$$H_{dd} = \frac{-3 \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot \pi^2} \cdot \int_0^{2\pi} \sin \alpha \cdot \cos \gamma \cdot d\gamma, \quad H_{dq} = \frac{-3 \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot \pi^2} \cdot \int_0^{2\pi} \sin \alpha \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma, \quad (2)$$

$$H_{qd} = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot \pi^2} \cdot \int_0^{2\pi} \cos \alpha \cdot \cos \gamma \cdot d\gamma, \quad H_{qq} = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot \pi^2} \cdot \int_0^{2\pi} \cos \alpha \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma,$$

- параметри циклоконвертора в координатах d, q .

Рівняння (1) отримані при умові, що кут комутації дорівнює нулю, а формули (2) відповідають перетворенню в циклоконверторі основних гармонік напруг і струмів. Кут α при арккосинусоїдальному законі керування, з врахуванням кута зсуву σ між вихідною напругою та електрорушійною силою неробочого ходу синхронного генератора, визначається за формулою:

$$\alpha = \text{sign}(i) \cdot \arccos(v \cdot \sin \gamma) + \sigma, \quad (3)$$

де $\gamma = \int_0^t \omega_2 \cdot dt$; ω_2 - вихідна частота циклоконвертора; v - відносна напруга керування циклоконвертора; i - миттєве значення струму на виході циклоконвертора. Тоді параметри циклоконверторів при заданому законі управління є наступними:

$$H_{dd} = -\frac{3 \cdot \sqrt{3}}{\pi^2} \cdot \cos \sigma \cdot \left[\cos \varphi \cdot \sqrt{1 - (v \cdot \cos \varphi)^2} + \frac{\arcsin(v \cdot \cos \varphi)}{v} \right],$$

$$H_{dq} = -\frac{3 \cdot \sqrt{3}}{\pi^2} \cdot \cos \sigma \cdot \left[\sin \varphi \cdot \sqrt{1 - (v \cdot \cos \varphi)^2} + \frac{1 - v^2}{v} \cdot \ln \frac{v \cdot \sin \varphi + \sqrt{1 - (v \cdot \cos \varphi)^2}}{\sqrt{1 - v^2}} \right] - \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2\pi} \cdot v \cdot \sin \sigma,$$

$$H_{qd} = -\frac{3 \cdot \sqrt{3}}{\pi^2} \cdot \sin \sigma \cdot \left[\cos \varphi \cdot \sqrt{1 - (v \cdot \cos \varphi)^2} + \frac{\arcsin(v \cdot \cos \varphi)}{v} \right],$$

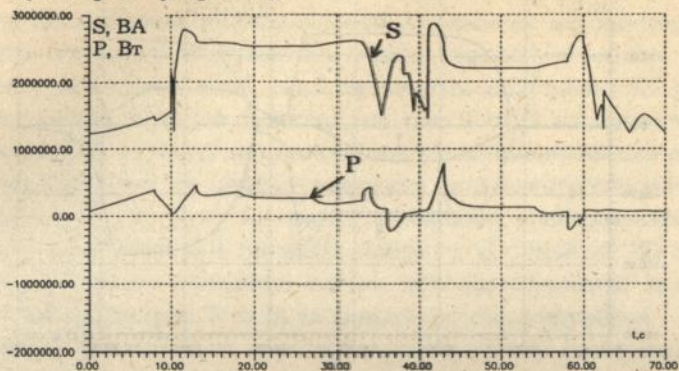
$$H_{qq} = -\frac{3 \cdot \sqrt{3}}{\pi^2} \cdot \sin \sigma \cdot \left[\sin \varphi \cdot \sqrt{1 - (v \cdot \cos \varphi)^2} + \frac{1 - v^2}{v} \cdot \ln \frac{v \cdot \sin \varphi + \sqrt{1 - (v \cdot \cos \varphi)^2}}{\sqrt{1 - v^2}} \right] + \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2\pi} \cdot v \cdot \cos \sigma,$$

$$\cos \varphi = \frac{i_x}{\sqrt{i_x^2 + i_y^2}}, \quad \sin \varphi = \frac{i_y}{\sqrt{i_x^2 + i_y^2}}, \quad \sin \sigma = -\frac{\varphi_d}{\sqrt{\varphi_d^2 + \varphi_q}}, \quad \cos \sigma = \frac{\varphi_q}{\sqrt{\varphi_d^2 + \varphi_q}}$$

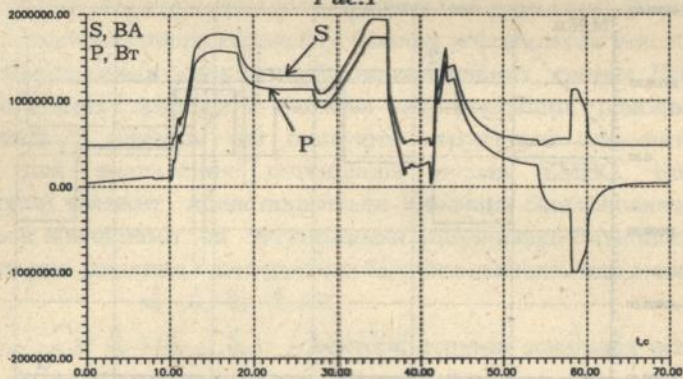
Для використання явних методів числового інтегрування, при проведенні досліджень, встановлено зв'язок між похідними вхідних та вихідних струмів циклоконвертора.

Для збільшення швидкодії розроблених моделей аналітичним способом понижено порядок системи рівнянь. Результатами проведених цифрових експериментів є часові залежності величин, що ха-

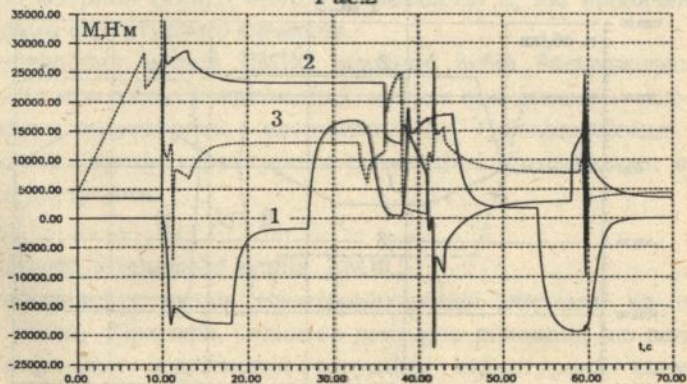
рактизируют работу приво-
ду.



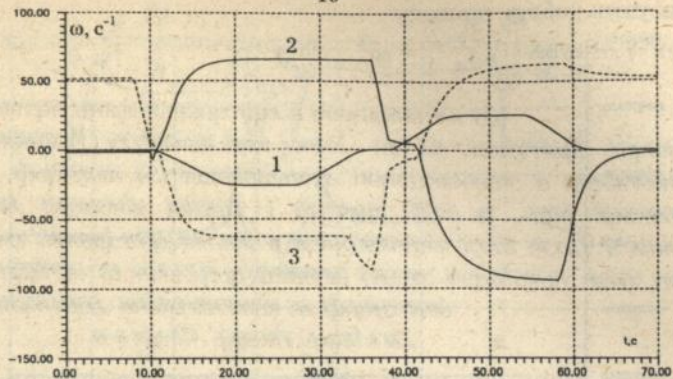
Puc.1



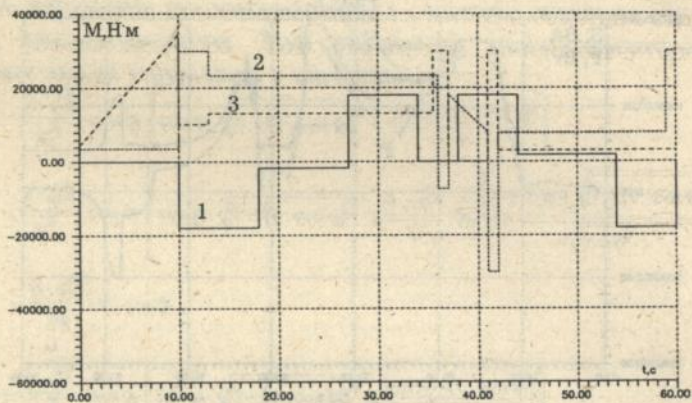
Puc.2



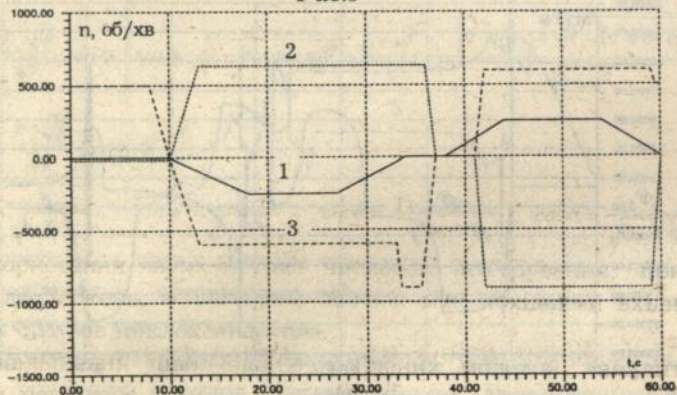
Puc.3



Puc.4



Puc.5



Puc.6

Проведені дослідження підтверджують доцільність використання, в залежності від класу поставлених задач, моделей, в основу створення яких покладено різні рівні прийнятих допущень. На основі отриманих результатів (як приклад, на рис. 1 та 2 наведено часові залежності зміни активної потужності джерела живлення для схем з прямим під'єднанням до мережі живлення та з електромеханічною розв'язкою, а на рис. 3 та 4 - часові залежності електромагнітного моменту та швидкості АД приводів повороту (1) підйому (2) і тяги (3)) проведено аналіз поведінки систем при відпрацюванні заданої робочої циклограми (рис. 5 та 6) та синтез системи керування.

У третьому розділі дано коротку характеристику квазіусталених режимів; наведено моделі складових елементів схем та цілих систем екскаваторного електроприводу в фазних координатах. В основу створення математичних моделей у фазних координатах покладено теорію моделювання електромашинно-вентильних систем (ЕМВС). Моделлю електроприводу є система диференціальних рівнянь, що утворюється з рівнянь, які описують структурні елементи та рівнянь для визначення потенціалів вузлів ЕМВС. Кожний структурний елемент представляється у вигляді багатополосника і описується зовнішніми та внутрішніми рівняннями. Зовнішнє вузлове векторне рівняння електричного багатополосника має вигляд:

$$p_e^T + \hat{G}_e \cdot \Phi_e + \hat{C}_e = 0, \quad (4)$$

де $p_e = (i_1, \dots, i_n)_T$; $\Phi_e = (\Phi_1, \dots, \Phi_n)_T$ - вектори струмів зовнішніх віток та потенціалів зовнішніх вузлів електричного багатополосника; \hat{G}_e, \hat{C}_e - відповідно матриця $(n \times n)$ і вектор розмірністю n , які визначаються параметрами структурного елемента.

Для утворення моделі ЕМВС зовнішні вітки багатополосників з'єднуються між собою у відповідних вузлах при допомозі матриць під'єднання структурних елементів Π_j . Співвідношення між потенціалами вузлів структурних елементів і потенціалами вузлів системи є наступним:

$$\Phi_e = \Pi_j^T \cdot \Phi_e, \quad (5)$$

де Φ_e - вектор потенціалів вузлів ЕМВС.

Для незалежних вузлів електромеханічної системи, на основі першого закону Кірхгофа, складено векторне рівняння, що встановлює зв'язок між зовнішніми струмами структурних елементів згідно схеми їх з'єднання між собою. Векторне рівняння для визначення потенціалів вузлів ЕМВС має вигляд:

$$\dot{G}_c \cdot \Phi_c + \dot{C}_c = 0, \quad (6)$$

де $\dot{G}_c = \sum_{j=1}^m \dot{H}_j \cdot \dot{G}_{ej} \cdot \dot{H}_j^T$; $\dot{C}_c = \sum_{j=1}^m \dot{H}_j \cdot \dot{C}_{ej}$, m - кількість структурних елементів.

З метою підвищення швидкодії моделі електропривода, не зменшуючи точності отриманих результатів, пропонується використовувати моделі окремих підсистем. Принцип створення моделі підсистеми в межах обраного методологічного підходу є наступним:

• створюється модель підсистеми як окремої електромеханічної системи з врахуванням зовнішніх струмів, що підходять до вузлів електричного багатополосника:

$$\bar{\partial} \cdot \Phi_{ss} + \dot{C} + p_{\text{зовні}}^v = 0 \quad (7)$$

де $\Phi_{ss} = (\Phi_{\text{вн}}, \Phi_{\text{зовні}})$ - вектор потенціалів структурного модуля; $p_{\text{зовні}}^v$ - вектор похідних зовнішніх струмів структурного елемента; $\bar{\partial}, \dot{C}$ - матриця і вектор, які визначаються на основі параметрів структурних елементів;

• отримана система рівнянь розбивається на дві підсистеми і при допомозі нескладних математичних перетворень зводиться до вигляду:

$$\Phi_{\text{вн}} = -\bar{\partial}_{11}^{-1} \cdot (\bar{\partial}_{12} \cdot \Phi_{\text{зовні}} + \dot{C}_{\text{вн}}) \quad (8)$$

$$\bar{\partial}_{\text{стррм}} \cdot \Phi_{\text{зовні}} + \dot{C}_{\text{стррм}} + p_{\text{зовні}}^v = 0 \quad (9)$$

$$\bar{\partial}_{\text{стррм}} = \bar{\partial}_{22} - \bar{\partial}_{21} \cdot \bar{\partial}_{11}^{-1} \cdot \bar{\partial}_{12}, \quad \dot{C}_{\text{стррм}} = \dot{C}_{\text{зовні}} - \bar{\partial}_{21} \cdot \bar{\partial}_{11}^{-1} \cdot \dot{C}_{\text{вн}}$$

де $\bar{\partial}_{11}, \bar{\partial}_{12}, \bar{\partial}_{21}, \bar{\partial}_{22}$ - підматриці матриці $\bar{\partial}$; $\dot{C}_{\text{вн}}, \dot{C}_{\text{зовні}}$ - елементи вектора \dot{C} .

Таким чином, моделі електропривода (рис. 7) формуються з моделей окремих структурних елементів (мережі, асинхронної та синхронної машин, джерела живлення обмотки збудження) та підсистем ("трансформатор - циклоконвертор - АД", "циклоконвертор - АД").

На рис. 8, 9 та 10 наведені, отримані при проведенні цифрового експерименту, часові залежності напруги мережі живлення в схемах з прямим під'єднанням приводів до мережі, як з синхронним компенсатором, так і без нього та в схемі з електромеханічною розв'язкою, відповідно, а на рис. 11 залежність напруги синхронного генератора електромашинного перетворювача для схеми з циклоконвертором мостового типу.

На основі отриманих результатів проаналізовано поведінку досліджуваних схем в квазіусталених режимах.

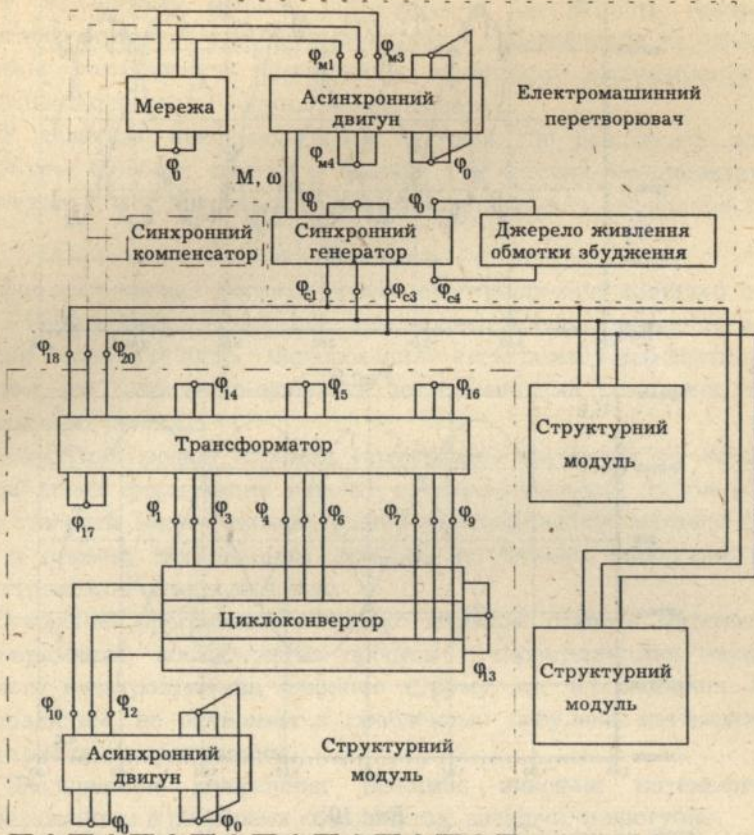


Рис.7

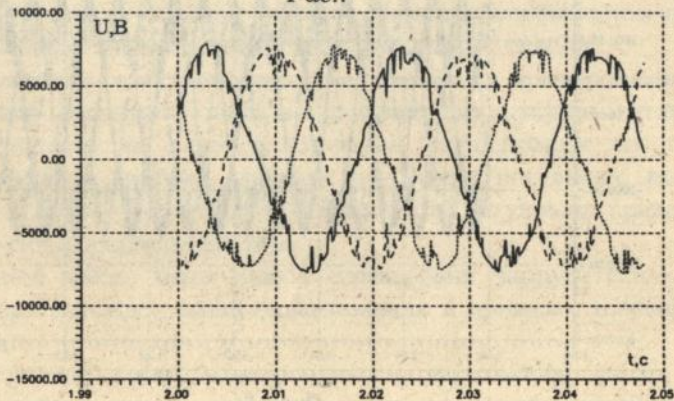
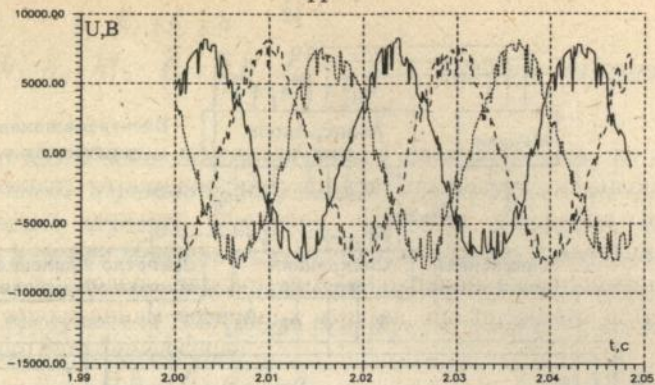
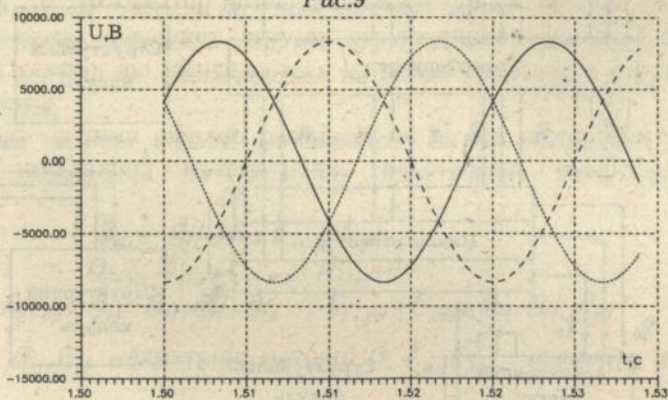


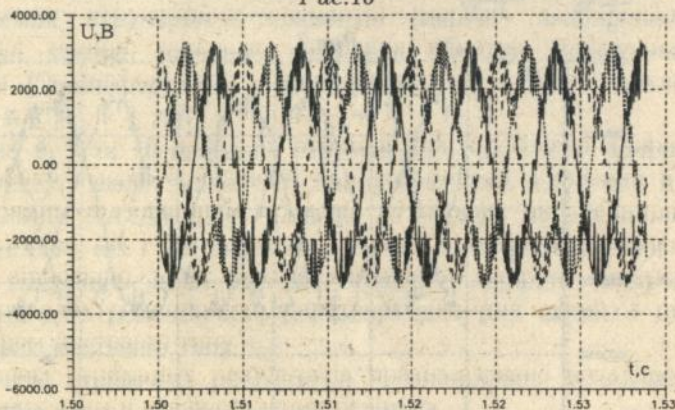
Рис.8



Puc.9



Puc.10



Puc.11

У четвертому розділі підтверджено адекватність створених моделей; описано розроблене програмне забезпечення та сформульовано послідовність проведення цифрового експерименту на моделях в фазних та обертових координатах.

У додатках наведено тексти програм, що реалізують моделі електромеханічних систем у фазних і обертових координатах та характеристики обладнання, для якого проводились дослідження.

Висновки

1. Для дослідження екскаваторного електроприводу змінного струму з перетворювачем частоти циклоконверторного типу застосована теорія математичного моделювання електромашинно-вентильних систем, що дозволяє виконувати дослідження як усталених, так і динамічних режимів.

2. Розроблені моделі окремих структурних елементів та використаний спосіб формування моделей електромеханічних систем дозволив створити моделі екскаваторного електроприводу змінного струму з прямим під'єднанням приводів до мережі живлення та з електромеханічною розв'язкою.

3. Створений програмний комплекс дозволяє ставити математичні експерименти, досліджувати процеси і характеристики екскаваторних електроприводів змінного струму на персональних ЕОМ спеціалістам, не знайомим з проблемами побудови математичних моделей та програмування.

4. Дослідження динамічних режимів, виконані математичним моделюванням в обертових координатах, засвідчили наступне:

- робота схеми екскаваторного електроприводу з прямим під'єднанням до мережі характеризується низьким коефіцієнтом потужності внаслідок значного споживання реактивної енергії;

- використання електроприводу за схемою з електромеханічною розв'язкою розширює діапазон регулювання, усуває негативний вплив приводів на мережу живлення, та покращує енергетичні характеристики системи, оскільки коефіцієнт потужності електроприводу в цілому визначається коефіцієнтом потужності приводного двигуна синхронного генератора;

- в системі мають місце значні спотворення напруги синхронного генератора внаслідок зміни навантаження в приводах головних механізмів;

- при сумісній роботі електроприводів екскаватора мають місце впливи роботи одного електроприводу на інший, які відчутніше

проявляються в системі з електромашинним перетворювачем, оскільки потужність синхронного генератора є співмірною з потужностями приводів механізмів.

5. Комплекс досліджень квазіусталених режимів для різних схем електроприводу, проведений на математичних моделях у фазних координатах, показав:

- схема екскаваторного електроприводу з електромеханічною розв'язкою має переваги перед схемою з прямим під'єднанням до мережі живлення в частині впливу на мережу;

- збільшення кратності частот в циклоконверторі в загальному покращує характеристики екскаваторного електроприводу змінного струму та гармонічний склад величин, а також сприяє кращому розподілу навантаження між вентилями перетворювача частоти;

- мала кратність частот циклоконвертора в схемах з безпосереднім під'єднанням до мережі живлення та низький коефіцієнт потужності є причиною виникнення режимів витіснення вентиляльної групи, внаслідок чого виникають стрибкоподібні зміни електромагнітного моменту, що негативно впливає як на роботу окремого механізму, так і системи в цілому.

Основні положення дисертації висвітлено в роботах:

1. Плахтына Е.Г., Шакарян Ю.Г., Винницкий Ю.Д., Васильев К.Н., Лозинский А.О. Математическое моделирование частотно-управляемых электроприводов переменного тока. - Электричество, 1996, №3, с. 53-58.
2. Плахтына Е.Г., Цгоев Р.С., Лозинский А.О., Титова М.В. Анализ методом математического моделирования гармонического состава напряжений энергосистемы, питающей экскаваторный электропривод переменного тока. - Электрические станции, 1996, №4, с. 39-44.
3. Лозинський А.О. Математична модель явнополюсної синхронної машини з розщепленими обмотками. Вісник ДУ "Львівська політехніка" "Електроенергетичні та електромеханічні системи", №279, Львів, 1994 р., с.108-116.
4. Лозинський А.О. Математична модель системи "трансформатор-циклоконвертор - асинхронний двигун" як елемент моделі електроприводу екскаватора змінного струму. Вісник ДУ "Львівська політехніка" "Електроенергетичні та електромеханічні системи", №279, Львів, 1994 р., с.116-122.
5. Плахтына О.Г., Лозинский А.О. Электропривод подъемно-транспортных механизмов по схеме "циклоконвертор - АД". Способ і ре-

- зультати досліджень. Тезиси докладов МНТК "Судовые энергетические установки и перспективы их развития". Одесса, 1994, С.53-54
6. Плахтина О.Г., Лозинський А.О. Рівняння циклоконвертора з арккосинусоїдальним законом управління в обертових координатах як складова частина моделі тиристорного електроприводу змінного струму. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. Печатні матеріали. -Харьков, 1994, ХГПУ, С.34-35.
7. Лозинський А.О. Дослідження методом математичного моделювання екскаваторного електроприводу з напівпровідниковим перетворювачем частоти. ВНК "Застосування ЕОМ, математичного моделювання та математичних методів у дослідженнях", Львів, 1995.
8. Плахтына Е.Г., Лозинский А.О. Экскаваторный электропривод переменного тока с электромеханической развязкой. Метод моделирования и результаты исследований. Тезисы докладов АЭП-95. Санкт-Петербург, 1995, С.118-119.
9. Лозинський А.О. Математична модель в обертових координатах електроприводу по схемі: " електромашиинний перетворювач - циклоконвертор - АД". 1-ша МНТК "Математичне моделювання в електротехніці та електроенергетиці". Тези доповідей, Львів, 1995, С.116
10. Плахтина О.Г., Лозинський А.О. Математична модель автономного електроприводу крокуючого екскаватора в обертових координатах. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. Труды конференции. Харьков: Основа, 1995; С. 84-87.
11. Плахтина О.Г., Лозинський А.О. Використання функцій стану вентилів при моделюванні процесів в напівпровідникових перетворювачах частоти циклоконверторного типу. ВНК "Розробка та застосування математичних методів в науково-технічних дослідженнях". Тези доповідей. Частина 2. Львів, 1995, С. 60

Особистий внесок автора. В публікаціях, написаних у співавторстві, автору належать: в [1] - розробка комп'ютерних програм і виконання математичних експериментів; у [2] - створення математичних моделей, їх програмна реалізація та виконання математичних експериментів.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

АННОТАЦИЯ

Лозинский А.О. Исследование методами математического моделирования экскаваторного электропривода переменного тока с преобразователем частоты циклоконверторного типа.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03. - Электротехнические системы и комплексы, включая их управление и регулирование. Государственный университет "Львівська політехніка". Львов, 1996.

В диссертации рассматриваются основные принципы моделирования сложных электромеханических систем, созданы модели, как отдельных элементов, так и целых систем экскаваторного электропривода переменного тока, разработаны программы, что позволяют исследовать процессы и характеристики разных схем экскаваторного электропривода в динамических и установившихся режимах работы. Сделаны выводы о перспективности использования рассмотренных систем.

ABSTRACT

A. Lozynskiy. Investigation of the excavator a.c. drive with cycloconverter by means of the mathematical modeling methods.

The thesis for the candidate of science degree. Speciality 05.09.03 - Electrotechnical systems and complexes, including their control and regulation. State University "Lviv Polytechnic". Lviv, 1996.

The main principles of complex electromechanical systems modeling are discussed. The models of both separate elements and excavator's a.c. drives have been created. Programs that permit to research the processes and characteristics of different schemes of excavator's a.c. drives in the steady-state and dynamic regimes have been worked out. The conclusions about the investigated systems' prospects have been drawn.

Ключові слова: моделювання, електромашинно-вентильна система, екскаваторний електропривід, циклоконвертор, електромашинний перетворювач, перехідні процеси, квазіусталений режим, алгоритм, програма.

Друк офсетний

Зам. № 96/5-11

Тираж 100 примірників

Друк «Простір-М»

430 000

AB 35.190