

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Хассан Яссін Харісі

УДК.621.314.57

**ІНТЕРВАЛЬНО-КОДОВИЙ МЕТОД ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ  
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТА УПРАВЛІННЯ НИМИ**

Спеціальність 05.09.12 – Напівпровідникові перетворювачі електроенергії

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Х а р к і в – 2 0 0 0

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Промислова електроніка” Харківського державного політехнічного університету Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор  
Сокол Євген Іванович  
Харківський державний політехнічний університет,  
проректор, завідувач кафедри “Промислова електроніка”

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, доцент  
Терещенко Тетяна Олександрівна  
Національний технічний університет України (Київський  
політехнічний інститут), м. Київ;  
професор кафедри “Промислова електроніка”

кандидат технічних наук  
Бахнов Леонід Євгенович  
Науково-дослідний інститут виробничого об’єднання  
“Харківський електромеханічний завод”,  
керівник відділу НДІ ВО “ХЕМЗ” м. Харків

Провідна організація - Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ

Захист відбудеться 20 квітня 2000 р. о 16 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.04 в Харківському державному політехнічному університеті за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського державного політехнічного університету

Автореферат розісланий 18 березня 2000 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Осічев О.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** З кожним роком неухильно зростає частина електричної енергії, що перетворюється перед споживанням, з'являються все більш жорсткі вимоги до якісних показників перетвореної електроенергії. Для задоволення цих вимог використовують нові схемотехнічні рішення, сучасну елементну базу, прогресивні системи і способи автоматичного регулювання.

Але аналогові системи управління практично вичерпали резерви свого розвитку. Тому дуже актуальним становиться використання нових методів та способів регулювання, властивих мікропроцесорним системам управління. Одним з цих методів є метод прогнозного управління, що базується на прогнозі процесів в перетворювачі та його навантаженні. Але цей спосіб, на жаль, вимагає значних витрат часу на виконання обчислювальних операцій. Тому зниження витрат часу на виконання обчислювальних дій під час реалізації експрес-прогнозів при невеликих витратах оперативної пам'яті є актуальним. Вихідна ідея інтервально-кодowego метода, який дозволяє подолати вказані недоліки та є предметом даної дисертації запропонована дисертантом разом з Є.І.Соколом та Ю.П.Гончаровим.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Науково-дослідні роботи за темою дисертації проводились згідно з дослідною темою 04.08/02003 науково-технічної програми 04.08 "Високоєфективні енерготехнологічні та електротехнічні системи", що входить до складу програми "Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології".

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка нового інтервально-кодowego методу прискореного визначення параметрів періодичних режимів, а також обґрунтування використання цього методу для лінійного прогнозування в мікропроцесорних системах керування напівпровідниковими перетворювачами електричної енергії різних класів.

Мета вимагала рішення наступних задач:

- розвиток окремих положень інтервально-кодowego методу для рішення задач керування та аналізу напівпровідникових перетворювачів електроенергії;
- дослідження за допомогою запропонованого методу процесів в перетворювачах різних класів та порівняння результатів з результатами, що одержані з використанням відомих методів;
- розробка мікропроцесорної системи керування випрямлячем прогнозного типу з алгоритмом, що заснований на використанні інтервально-кодowego методу.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в такому:

- розроблен новий метод визначення параметрів періодичних режимів та лінійного прогнозу в перетворювальних системах;
- запропоновані методики реалізації процесів кінцевої тривалості та розрахунків періодичного режиму при використанні запропонованого методу;
- одержані основні характеристики методу: точність, швидкодія, витрати часу та об'єм пам'яті;
- запропоновані засоби, що дозволяють звести пошук точок комутації до визначення коренів рівняння періодичного режиму.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в такому:

- запропоновані рекомендації з практичного використання інтервально-кодowego методу для прискореного визначення параметрів періодичних режимів в перетворювачах електроенергії;
- метод використаний при розробці засобів стабілізації періодичного режиму в джерелі живлення бортової мережі електровоза;

- розроблена мікропроцесорна прогноуюча система керування однофазним випрямлячем з активним фільтром та запропоновані алгоритми визначення оптимального управляючого діяння з використанням інтервально-кодового методу;

- в умовах лабораторії кафедри “Промислова електроніка” ХДПУ за замовленням НВО “Система” виготовлен та випробуван макет такої системи управління;

- ряд положень дисертації використовується в лекційному курсі “Автономні перетворювачі”, що читається студентам кафедрою “Промислова електроніка” ХДПУ.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертантом особисто дано обґрунтування інтервально-кодового метода, одержані його основні характеристики та розроблені методики його практичного застосування.

Крім того, дисертантом розроблена мікропроцесорна прогноуюча система управління випрямлячем з активним фільтром та підготовлено програмне забезпечення.

**Апробація дисертаційної роботи.** Основні положення дисертації докладалися та обговорювалися на таких науково-технічних конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція “Силовая электроника в решении проблем ресурсо- и энергосбережения” (СЭЭ) Алушта, Крим, Україна, 1996 р.; Міжнародна науково-технічна конференція “International Meeting on Information Technology” (ІМІТ’97) – Харків, Україна, 1997 р.; Міжнародна науково-технічна конференція “Нетрадиционные электромеханические и электрические системы (UEES’97) – Алушта, Крим, Україна, 1997 р.; Міжнародна науково-технічна конференція “European Power Electronics” (ЕРЕ’98) – Прага, 1998 р.; Міжнародна науково-технічна конференція “Силовая электроника и энергоэффективность” (СЭЭ-98) – Алушта, Крим, Україна, 1998 р.; Міжнародна науково-технічна конференція “Силовая электроника и энергоэффективность” (СЭЭ-99) – Алушта, Крим, Україна, 1999 р.

**Публікації.** Основні результати дисертації відображені в 9 друкованих роботах, з них: 8 в співавторстві, 1 – самостійна.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновку, викладених на 139 сторінках машинописного тексту, списку літератури з 105 найменувань та 5 додатків.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ**

**У вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, показано наукову новизну роботи, сформульовані мета і основні задачі досліджень, положення, що виносяться на захист.

**У першому розділі** проведено огляд основних методів моделювання та управління напівпровідниковими перетворювачами електричної енергії.

В останні роки системи управління перетворювачами мають у своєму складі мікропроцесори з різною розрядністю та швидкодією. Ефективність використання таких систем управління визначається законами управління, які ці системи реалізують. Досі більшість алгоритмів, що використовуються в прямому цифровому управлінні, подібні алгоритмам аналогового регулювання. Однак їх використання, як показано у ряді робіт, не є найкращим вирішенням цієї проблеми.

Більш ефективними є алгоритми управління, що використовують принцип прогнозування координат стану системи на інтервалі дискретності, коли момент подачі чергового імпульсу управління формується за результатами аналізу прогнозованого стану на черговому інтервалі дискретності. В подібних системах головну роль має математична модель об’єкту, що закладена до пам’яті мікропроцесора. Але такі системи управління вимагають значних витрат часу на виконання обчислювальних операцій, або значного об’єма оперативної пам’яті.

Подальшим розвитком методів моделювання напівпровідникових перетворювачів є інтервально-кодовий метод, що пропонується. Метод призначен для прискореного визначення параметрів досліджуемого періодичного режиму, прискореного прогнозу кутів управління, чисельного визначення параметрів еквівалентної схеми згідно з теоремою розкладання. Крім того, метод може використовуватись для комп'ютерного моделювання напівпровідникових перетворювачів шляхом чисельного інтегрування диференційних рівнянь з високою точністю розрахунків.

Суть методу у випадку, коли використовується двійковий код, полягає у такому.

Поділяєм міжкомутаційний інтервал  $t_m$  на базисні кроки інтегрування  $\Delta t$ , що визначають кінцеву точність. Нехай, кількість таких кроків складає  $m$ . Подаємо число  $m$  в двійковому коді, що рівнозначно представленню інтервалу сумою двійкових кроків, з яких кожний наступний більше попереднього в 2 рази (рис.1):

$$D = D_{jm} D_{jm-1} \dots D_j \dots D_2 D_1 D_0. \quad (1)$$

Для кожного двійкового кроку в пам'яті зберігаються кодові перехідні функції схеми (матричні експоненти), які зведені до таблиці. Далі треба помножити ті кодові перехідні функції, котрі відповідають одиницям в коді інтервалу, що обгрунтовується наступною властивістю матричної експоненти.

$$e^{A(t_1+t_2)} = e^{At_1} \cdot e^{At_2}. \quad (2)$$

Легко помітити, що при такому розбитті інтервалу число кроків інтегрування буде значно менше, ніж при використанні постійного кроку  $\Delta t$ . Наприклад, для десяткового числа  $m$ , що лежить в інтервалі 0 – 10000, двійковий код розкладання має лише 14 розрядів, а середнє число двійкових кроків в розбитті інтервалу складає 7. Якщо витрати часу на виконання кожного двійкового кроку такі ж самі, як при сталому  $\Delta t$ , процес розрахунків прискорюється майже в 1000 разів. В загальному випадку кодування міжкомутаційного інтервалу може бути виконано при будь-якій основі  $S$  системи числення. Кодова таблиця складається тоді із перехідних функцій, які відповідають окремим цифрам в кожному розряді коду.

**В другому розділі** дано обгрунтування використання інтервально-кодового методу для лінійних перетворювальних систем.

Під час досліджень прийняті такі припущення:

- на міжкомутаційних інтервалах перетворювач є лінійною системою  $n$ -порядку з постійними параметрами;
- положення точок комутації заздалегідь відомі.

Алгоритм обчислювання кодових перехідних функцій в загальному випадку коду з основою  $S$  полягає в наступному.

Вводимо скорочене позначення перехідної функції

$$a = e^{A\Delta t}, \quad (3)$$

де  $\Delta t$  - шаг дискретизації.

Називаємо цю функцію модулем дискретизації. Модуль є першою кодовою матрицею. Наступні знаходимо піднесенням  $a$  в  $K$ -ту ступінь:

$$B_{(1)K} = a^K. \quad (4)$$

Тобто, наступна кодова матриця знаходиться помноженням попередньої на модуль дискретизації:

$$B_{(1)K} = a B_{(1)K-1}, \quad (5)$$

де  $B_{(1)1} = a$ ;  $1 \leq K \leq S - 1$ .

Помноживши останню кодову матрицю на модуль  $a$ , одержуємо першу кодову матрицю наступного розряду:

$$\begin{aligned} B_{i(1)} &= B_{(i-1)S} = aB_{(i-1)S-1}, \\ B_{(i)K} &= aB_{(i)K-1}. \end{aligned} \quad (6)$$

Далі в роботі виконан аналіз витрат часу на формування кодової таблиці. Залежність часу розрахунків від основи системи числення наведена на рис. 2.

Як бачимо, витрати часу на формування кодової таблиці монотонно зростають з ростом основи  $S$ .

Потрібний об'єм пам'яті для зберігання кодових таблиць порівнювався з об'ємом повної таблиці, котра вміщує всі значення перехідної функції на інтервалі з заданим кроком  $\Delta t$ . Як показав аналіз, співвідношення об'ємів пам'яті залежить від розрядності коду  $q$  та числа точок  $m_m$  у максимальному міжкомутаційному інтервалі. Як бачимо з рис. 3, більша частина ефекту по зниженню об'єму пам'яті досягається вже при двох- та трьохрозрядному коді.

При цьому потрібний об'єм пам'яті для зберігання кодової таблиці приблизно в 10 разів менший, ніж для зберігання повної таблиці. Таким чином, використання двох-трьохрозрядного коду можна вважати оптимальним рішенням. Наприклад, якщо кут управління перетворювачем змінюється в межах від нуля до  $\pi$ , то при наявності 256 точок на цьому інтервалі потрібен двохрозрядний код з основою  $S = 16$ .

Було виконано зіставлення інтервально-кодowego методу з відомими по витратам часу. Один з найбільш швидких відомих методів використовує для обчислення перехідних функцій ряди Тейлора. Рис. 4 дає результати цього зіставлення. При цьому величина  $j$  є число членів ряду Тейлора, яке потрібно врахувати для одержання заданої точності. Як бачимо, при використанні двохрозрядного коду метод, що пропонується, дає зниження обчислювальних затрат приблизно на порядок.

**У третьому розділі** розглянуто застосування інтервально-кодowego методу для визначення параметрів періодичних режимів з урахуванням залежності положень точок комутації від сигналів системи. Параметри періодичного режиму потрібні під час синтезу автоматичних регуляторів, що будуються як на аналогових, так і на мікропроцесорних структурах.

Періодичний режим необхідний як опорний при розрахунку керуючих дій. Тому він розраховується раніше них, та перетворювач при цьому рівнозначний керованому об'єкту без зовнішніх зворотних зв'язків. Але тоді періодичний режим звично слабо демпфирований або зовсім несталий, що ускладнює або робить зовсім неможливим визначення його параметрів прямим розрахунком перехідного процесу. Введення додаткових засобів стабілізації ускладнює задачу. Тому зручніше при розрахунку періодичного режиму користуватися методом припасовування. При цьому початкове та кінцеве значення вектора стану пов'язані умовами припасовування:

$$y_T = E y_0, \quad (7)$$

де  $E$  - припасовочна матриця, що відображає повторювання процесів на такті роботи схеми.

Рівняння періодичного режиму, що вирішено відносно початкового вектора стану, має вигляд:

$$y_0 = (E - B_T)^{-1} (u_{вТ} - y_{вн} - B_T y_{во}), \quad (8)$$

де  $B_T$  - перехідна матриця такту;

$u_{во}$ ,  $u_{вТ}$  - вимушені складові вектора стану на початку та в кінці такту;

$U_{en}$  – внутрішні вимушені складові, приведені до кінця такту.

Рівняння періодичного режиму може бути вирішено безпосередньо в тому випадку, якщо відомі координати всіх точок комутації. В іншому випадку, із-за невідомих  $U_{en}$  та  $B_T$ , рівняння вирішується методом послідовних наближень.

В дисертації пропонується розглядати точки комутації як корені рівняння періодичного режиму, що дозволяє застосувати для їх пошуку відомий метод Ньютон для пошуку коренів алгебраїчних рівнянь. Для цього потрібно ввести керуючі функції точок комутації – безперервні функції  $r(t)$ , які переходять в точках комутації через нульові значення (рис. 5). Керуючі функції, крім поточного часу, залежать також від вектора стану та вектора зовнішніх збуджень. Тому особливість рівняння періодичного режиму порівняно з алгебраїчним полягає в тому, що лінеаризацію неможливо виконувати для кожної точки комутації окремо. Ця складність долається введенням матриці чутливості  $M$  замість одного коефіцієнта, який характеризує нахил дотичної на рис.5:

$$dr = Mdt, \quad (9)$$

де  $dt$  і  $dr$  – вектори з нескінченно малих приростів координат точок комутації і приростів керуючих функцій.

Матрицю чутливості можна розглядати як векторну дотичну до рівняння періодичного режиму.

В роботі зроблен аналіз збіжності цього способу пошуку точок комутації, знайдена залежність потрібного числа лінійних наближень  $q$  від параметрів схеми (рис. 6).

Видно, що це число невелике і підвищення точності розрахунків збільшує потрібне число лінійних наближень незначно. Так, при подвійному запасі за збіжністю підвищення точності в 100 разів потребує лише одного додаткового наближення. В діапазоні зміни параметра збіжності  $K_T \Delta T$  від 0.1 до 0.8 число наближень  $q$  зростає лінійно і має порядок 1 – 4. Суттєвий вплив на збіжність процесів має число точок комутації за такт  $m$ , тому що параметр збіжності пропорційний  $m^3$ .

**В четвертому розділі** розглянуті приклади моделювання різних схем автономних перетворювачів з використанням інтервально-кодowego методу, а також обґрунтовано застосування інтервально-кодowego методу для управління напівпровідниковими перетворювачами.

Паралельний інвертор струму досліджувався з метою перевірки процедури визначення параметрів періодичних режимів при фіксованому положенні точок комутації. Розрахунки інтервально-кодowym методом збіглись з результатами досліджень методом основної гармоніки.

Широтно-імпульсний перетворювач з багатопозиційним формуванням струму досліджувався з метою перевірки алгоритму пошуку точок комутації для варіантів з однією, двома та трьома залежними точками комутації. Похибка в порівнянні з методом інтервальних рівнянь не перевищувала 0.1%.

Трирівневий інвертор напруги для бортової мережі магістрального електровоза розглядався з метою перевірки алгоритмів інтервально-кодowego методу, а також з метою перевірки способів стабілізації періодичного режиму, які були запропоновані раніше.

Даний приклад характеризується тим, що періодичний режим в перетворювачі без додаткових засобів стабілізації несталий і його неможна одержати прямими розрахунками перехідних процесів. Інтервально-кодовой метод дозволяє це зробити. Для спрощеного варіанта схеми несталий періодичний режим може бути розрахований також аналітичним методом фазової площини. Результати розрахунків цим методом та методом, що пропонується, практично однакові.

Далі за допомогою інтервально-кодowego методу перевірялися аналітичні залежності для еквівалентної негативної диференційної провідності на вході силового фільтра (рис. 7). Лініями показані аналітичні залежності, а точками – значення, одержані з допомогою інтервально-кодowego методу.

Резонансний інвертор досліджувався тому, що в ньому із-за режиму самозбудження параметри періодичного режиму не визначаються однозначно. Інтервально-кодовой метод дозволяє провести розрахунки такої схеми. В дисертації наведені результати перевірки за допомогою інтервально-кодowego методу аналітичних співвідношень для розрахунку корегуючих ланцюгів в системі частотного струмообмеження даного інвертора.

Далі розглянуті особливості використання інтервально-кодowego методу з метою управління перетворювачами. Розроблена структурна схема мікропроцесорної системи управління з використанням інтервально-кодowego методу. Вона наведена на рис. 8. Силова схема СС пов'язана з керуючою моделлю КМ давачами стану D та формувачами Ф. Ідентифікація усіх або частини параметрів виконується шляхом зіставлення вихідних сигналів давачів та результатів розрахунку їх аналогів керуючою моделлю. Перехідні функції схеми зберігаються у виразі кодових таблиць. Блок прогнозу кутів управління  $\alpha$  діє на основі зіставлення опорного періодичного режиму з фактичним станом схеми.

Опорний періодичний режим визначається його обчислювачем T з умови забезпечення вимог до вихідних параметрів при поточних значеннях зовнішніх збурень і внутрішніх параметрів перетворювача. Перевага використання опорного періодичного режиму в якості сигналу завдання полягає в тому, що він дає вичерпну інформацію про бажаний стан об'єкту. Кодові таблиці використовуються при розрахунку опорного періодичного режиму, при прогнозуванні кутів управління та в процедурі ідентифікації параметрів.

В якості конкретного прикладу для розробки мікропроцесорної системи керування використовувався напівпровідниковий випрямляч з активним фільтром для живлення апаратури зв'язку. Активний фільтр, який працює в безперервному режимі та має вузьку активну зону, вимагає найбільшої швидкодії від системи управління випрямлячем. Аналогові системи управління дозволяють одержати процеси кінцевої тривалості лише з перестроюванням параметрів, що досить складно. Мікропроцесорна система управління була розроблена на базі структурної схеми рис. 8.

Вона перевірялася на математичній моделі та на лабораторному макеті перетворювача. Схема лабораторного макета наведена на рис. 9. Мікропроцесорна частина заміщує систему імпульсно-фазового управління випрямляча, активний фільтр має автономне аналогове управління. У даному прикладі система має другий порядок, тому прогноуються два чергових кута управління, а вимірюються дві змінних стану: струм дроселя та напруга на конденсаторі пасивного фільтра. Система виконує ідентифікацію двох зовнішніх збурень: амплітуди напруги живлення та струму навантаження.

Експерименти на моделі та макеті підтвердили достатньо високу ефективність інтервально-кодowego методу при створенні програмного забезпечення мікропроцесорних прогноуючих систем. Порівняно з методом, який використовує для розрахунку перехідних функцій ряди Тейлора, одержано зниження приблизно втричі повних витрат часу на один обчислювальний цикл.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота представляє собою рішення наукової задачі, яка має теоретичне та практичне значення.

1. Аналіз існуючих методів моделювання та цифрового управління перетворювачами показав, що вони вимагають або великих витрат часу на розрахунки, або великого об'єму оперативної пам'яті для збереження інформації про перехідні функції схеми.



2. Основу інтервально-кодового методу, що пропонується, складає розкладання міжкомутаційних інтервалів на нерівні кроки, що відповідають значенням розрядів  $S$ -ричного коду зі збереженням в оперативній пам'яті відповідних значень перехідної функції.
3. Виконан аналіз похибок, що вносяться дискретністю кодової таблиці та неточністю визначення модуля дискретизації, виявлено, що потрібний шаг дискретизації залежить, крім допустимої похибки, також від норми структурної матриці схеми.
4. В більшості практичних задач доцільно використовувати двох- трьохрозрядний код міжкомутаційного інтервалу, що відповідає основі коду, рівній 10 – 20. Підвищення розрядності коду приводить до зниження об'єму кодової таблиці, але збільшує витрати часу на поточні розрахунки.
5. Зіставлення інтервально-кодового методу з відомими табличними методами виявило, що об'єм таблиць може бути скорочений приблизно в 10 разів при незначному збільшенні часу поточних розрахунків.  
Зіставлення інтервально-кодового методу з відомими методами розрахунку перехідних функцій без таблиць виявило, що витрати часу можуть бути скорочені приблизно на порядок.
6. Координати точок комутації в періодичному режимі перетворювача доцільно розглядати як корені рівняння періодичного режиму, якщо ввести уявлення про керуючі функції точок комутації.
7. Визначений параметр збіжності  $K_T \Delta T$ , який характеризує потрібне число лінійних наближень при пошуку координат точок комутації в періодичному режимі. Коли фактичне значення параметра  $K_T \Delta T$  наближується до одиниці, потрібне число лінійних наближень необмежено зростає, а двократного запасу збіжності достатньо, щоб процес швидко збігався.
8. Підвищення точності розрахунків незначно збільшує потрібне число лінійних наближень. В діапазоні змінення параметра  $K_T \Delta T$  від 0.1 до 0.8 число наближень  $q$  збільшується лінійно та має порядок 1 – 4.
9. Проведена перевірка методу на моделях реальних перетворювачів, що підтвердила його вірність та ефективність при моделюванні періодичних режимів.
10. Розроблена структурна схема мікропроцесорної системи управління перетворювачем, яка використовує запропонований метод, розроблен, виготовлен та випробуван макет мікропроцесорної системи управління випрямлячем з активним фільтром. Математичне моделювання та фізичний експеримент з мікропроцесорною системою управління прогнозного типу, яка використовує інтервально-кодовий метод, підтверджують його ефективність при створенні програмного забезпечення мікропроцесорних прогнозуючих систем.

### ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гончаров Ю.П., Кривошеев С.Ю., Никитин А.В., Хариси Х.Я., Чумак В.В. Применение метода двоичного кодирования интервалов времени при анализе устойчивости периодических режимов работы преобразователя // Сб. Трудов Междунар. науч.-техн. конф. “Силовая электроника в решении проблем ресурсо- и энергосбережения” РЭС’96. – Харьков: Основа. – 1996. С. 70 – 71.
2. Ю.П. Гончаров, Е.И. Сокол, И.А. Коноплев, Хариси Хассан. Применение метода двоичного кодирования для анализа резонансного инвертора // Труды Междунар. конф. MicroCAD’97. – Харків. – 1997. С. 42 – 44.
3. Ю.П. Гончаров, Е.И. Сокол, Хариси Хассан, С.Ю. Кривошеев. Расчет периодических режимов в преобразователях со слабозатухающими переходными процессами // Proc.

- International Conf. on Unconventional Electromechanical and Electrical Systems UEES'97. – Alyshta (Ukraine). – 1997. P. 71 –76.
4. Ю.П. Гончаров, Х. Я. Хариси, А.В. Никитин, С.Ю. Кривошеев. Быстрый численный метод расчета периодических режимов в полупроводниковых преобразователях // Вестник Харьк. гос. политехн. ун-та, вып. 11. – Харьков: ХГПУ. – 1998. – С. 58 – 66.
  5. Ю.П. Гончаров, Е.И. Сокол, Хассан Хариси, А.В. Ересько, Н.А. Тимченко, Ю.В. Чурсина. Простой метод поиска точек коммутации при ускоренном расчете периодических режимов работы преобразователя // Технічна електродинаміка. Сп. вип. Київ. – 1998. – С. 32 – 35.
  6. Ю.П. Гончаров, Е.И. Сокол, Хассан Хариси. Применение интервально-кодowego метода для прямого микропроцессорного управления полупроводниковыми преобразователями // Вестник Харьк. гос. политехн. ун-та, вып. 37. – Харьков: ХГПУ. – 1999. С. 3 – 8.
  7. Е.И. Сокол, Ю.П. Гончаров, И.А. Коноплев, Хассан Хариси. О совместном использовании двух методов численного интегрирования: операторно-рекуррентного и двоичного кодирования временных интервалов // Вестник Харьк. гос. политехн. ун-та, вып. 47. – Харьков: ХГПУ. – 1999. С. 115 – 120.
  8. Hassan Harisi. Application of linear prognosis and interval-coding methods for microprocessor control of semiconductor converters // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Системи керування та контролю напівпровідникових перетворювачів – Київ. – 1999. С. 78 – 80.
  9. Ю.П. Гончаров, Е.И. Сокол, Х. Хариси, И.А. Коноплев, Ю.В. Чурсина. Микропроцессорная система управления с интервально-кодовой организацией табличной памяти для преобразователя с активным фильтром // Технічна електродинаміка. – 1999, № 5. С. 34 – 37.

## АНОТАЦІЇ

Хассан Яссин Хариси. Интервально-кодировый метод для моделювання перетворювачів та управління ними. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.09.12 – напівпровідникові перетворювачі електроенергії. – Харківський державний політехнічний університет, Харків, 2000 р.

Запропонован інтервально-кодировый метод прискореного визначення параметрів періодичних режимів при моделюванні різних класів напівпровідникових перетворювачів електричної енергії. Основу методу складають таблиці перехідних функцій схеми для дискретних інтервалів часу, які відповідають значенням разрядів коду міжкомутаційного інтервалу. Обгрунтовано використання методу для лінійного прогнозування в мікропроцесорних системах управління перетворювачами. Розглянуті конкретні приклади моделювання різних автономних перетворювачів з використанням інтервально-кодирового методу. Запропоновані рекомендації з практичного використання інтервально-кодирового методу. Розроблена мікропроцесорна прогноуюча система управління однофазним випрямлячем з активним фільтром. Виготовлен та випробуван за замовленням Харківського НВО “Система” дослідний зразок мікропроцесорної системи управління.

Ключові слова: інтервально-кодировый метод, напівпровідникові перетворювачі, мікропроцесорні системи управління, лінійне прогнозування, параметри періодичних режимів.

Хассан Яссин Хариси. Интервально-кодировый метод для моделирования преобразователей и управления ими. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – полупроводниковые преобразователи электроэнергии. – Харьковский государственный политехнический университет, Харьков, 2000 г.

Предложен интервально-кодовый метод для ускоренного определения параметров периодических режимов при моделировании различных классов полупроводниковых преобразователей электрической энергии. Проанализированы способы управления преобразователями электрической энергии, а также методы анализа и моделирования полупроводниковых преобразователей. Проведенный анализ показал, что существующие методы моделирования и цифрового управления преобразователями требуют или больших временных затрат на расчеты, или большого объема оперативной памяти для хранения информации о переходной функции схемы. Основу предлагаемого метода составляют таблицы переходных функций схемы для дискретных интервалов времени, соответствующих значениям разрядов кода межкоммутационного интервала. Показано, что координаты точек коммутации в периодическом режиме работы преобразователя целесообразно рассматривать как корни уравнения периодического режима, если ввести представление об управляющих функциях точек коммутации. В этом случае для поиска их координат можно применить известные математические методы, например, метод Ньютона. Обосновано использование метода для линейного прогнозирования в микропроцессорных системах управления преобразователями. Сопоставление интервально-кодового метода с известными табличными методами показало, что объем таблиц сокращается приблизительно на порядок при незначительном увеличении времени текущих расчетов. Сопоставление с известными методами расчетов переходных функций без таблиц показало сокращение времени расчетов приблизительно в 10 раз. Рассмотрены конкретные примеры моделирования различных автономных преобразователей с использованием интервально-кодового метода: параллельного инвертора тока, широтно-импульсного преобразователя с многопозиционным формированием тока, источника питания с однородной коммутацией для бортовой сети магистрального электровоза, резонансного инвертора. Предложены рекомендации по практическому использованию интервально-кодового метода. Разработана микропроцессорная прогнозирующая система управления однофазным выпрямителем с активным фильтром. Изготовлен и испытан по заказу Харьковского НПО «Система» опытный образец микропроцессорной системы управления. Испытания опытного образца и математической модели подтвердили достаточно высокую эффективность интервально-кодового метода при создании программного обеспечения микропроцессорных систем прогнозного типа. Получено снижение примерно в три раза результирующих временных затрат на один вычислительный цикл, состоящий из процедур идентификации, вычисления опорного периодического режима и линейного прогноза двух углов управления.

Ключевые слова: интервально-кодовый метод, полупроводниковые преобразователи, микропроцессорные системы управления, линейное прогнозирование, параметры периодических режимов.

Hassan Yassin Harisi. Interval-coding method for simulation of converters and their control. – Manuscript.

Thesis for a candidate of science degree by speciality 05.09.12 – semiconductor converters of electric energy. – Kharkov state polytechnical university, Kharkov, 2000.

The interval-coding method of accelerated determination of parameters of periodic modes for simulation of various classes of semiconductor converters of electric energy is proposed. This method is based on tables of transient functions for discrete time intervals, which correspond to values of bits of inter-commutation interval. Application of the method for linear prognosis in microprocessor control systems of converters is substantiated. Certain examples of simulation of various autonomous converters with the application of the interval-coding method are considered. Recommendations as for practical use of the interval-coding method are given.

Microprocessor prognosis control system for single-phase rectifier with active filter is developed. Trial sample of the microprocessor control system has been made and tested according to the order of scientific-industrial corporation "System".

Key words: interval-coding method of analysis, semiconductor converters, microprocessor control systems, linear prognosis, parameters of periodic modes.