

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Вержановська Марія Ростиславівна

УДК 621.314.26

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СИЛОВОЇ СХЕМИ ТА НАВАНТАЖЕННЯ В  
ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ЧАСТОТИ**

Спеціальність 05.09.12 - Напівпровідникові перетворювачі електроенергії

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Промислова і біомедична електроніка” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор  
**Сокол Євген Іванович,**  
Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”,  
проректор,  
зав. кафедрою “Промислова і біомедична електроніка”

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Терещенко Тетяна Олександрівна,**  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник

**Бару Олександр Юрійович,**  
технічний директор  
НВО “ЕОС” (м. Харків)

Провідна установа - Інститут електродинаміки НАН України (м. Київ)

Захист відбудеться “15” грудня 2005 р. о 14<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.04 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою:

61002, Харків - 2, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”

Автореферат розісланий “11” листопада 2005 року.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Осичев О.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У зв'язку зі зростаючими вимогами до енергетичних та динамічних показників пристроїв перетворювальної техніки, постійним удосконаленням технологічних процесів в останній час усе більше уваги приділяється підвищенню якості регулювання та швидкодії систем керування цими пристроями. Широке впровадження мікропроцесорної техніки в системи керування перетворювачами електроенергії дозволяє реалізовувати складні алгоритми керування, а також здійснювати поточну функціональну діагностику та ідентифікацію параметрів цих об'єктів. Мікропроцесорні системи керування (МПСК) мають ряд відомих позитивних якостей у порівнянні із традиційними структурами на основі аналогової схемотехніки. Підвищення продуктивності мікропроцесорів та їх удосконалення дозволяє значно розширити функціональні можливості МПСК.

Якщо мова стосується складних законів керування таких об'єктів як напівпровідникові перетворювачі частоти, для їх реалізації доцільно застосування найбільш прогресивних алгоритмів керування, які орієнтуються на максимальне використання переваг мікропроцесорної техніки. До таких алгоритмів слід віднести алгоритми мікропроцесорного керування за обчислювальними прогнозами, що є одним з найбільш перспективних напрямків розвитку МПСК.

Тиристорні перетворювачі частоти (ТПЧ) з ланкою постійного струму знайшли широке застосування в електротермії, агрегатах безперервного живлення та інших галузях. У зв'язку з тим, що ТПЧ є достатньо складними пристроями силової електроніки, для їх ефективного керування, досягнення високої динаміки регулювання доцільно використання мікропроцесорної системи керування прогнозного типу, що дозволить, зокрема, відносно просто реалізувати процеси кінцевої тривалості або близькі до них.

В системі керування, яка працює за принципом прогнозного, важлива роль відводиться математичній моделі об'єкту, що закладена у мікроконтролер і складає основу керуючої частини, при цьому параметри моделі повинні в достатній мірі відповідати реальному об'єкту. Від цього залежать статичні і динамічні властивості систем із прогнозуючими моделями. До специфічних особливостей ТПЧ як об'єктів автоматичного керування слід віднести зміни параметрів силової схеми і навантаження перетворювача в широкому діапазоні. У наслідок цього під час технологічного процесу адекватність моделі об'єкту істотно зменшується, що викликає необхідність ідентифікації параметрів перетворювача і корегування параметрів моделі.

Актуальною стає задача розробки системи та алгоритмів керування, які об'єднували б в собі функції керування, діагностики та ідентифікації, і корегували б вплив системи керування на перетворювач в залежності від зміни параметрів силової схеми та

навантаження. Треба зазначити, що для реалізації алгоритмів прогнозного керування необхідна наявність у силовій схемі перетворювача датчиків змінних стану, а також керуючого контролера з необхідною кількістю каналів зв'язку із силовою схемою перетворювача та достатньою швидкістю обробки інформації. Таким чином, у перетворювачах із МПСК за прогнозом є необхідні апаратурні засоби, за допомогою яких є можливість здійснювати ідентифікацію параметрів і діагностування несправностей силової схеми та навантаження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основні ідеї і результати, що представлені у дисертаційній роботі, використовувалися при проведенні науково-дослідницької роботи відповідно до програм Міністерства освіти та науки України з напрямку енергетика, енергозбереження за темами М7809 “Розробка та дослідження алгоритмів ідентифікації параметрів силових схем напівпровідникових перетворювачів частоти” (1.01.1999 - 31.12.2000, № держреєстрації ГР0100U001079); М7810 “Розробка та дослідження алгоритмів адаптивного керування напівпровідниковими перетворювачами частоти” (1.01.2000 – 31.12.2001, № держреєстрації 0100U001665); М7812 “Теоретичні основи побудови нетрадиційних алгоритмів параметричної ідентифікації силових схем та навантаження напівпровідникових перетворювачів частоти” (1.01.2001 – 31.12.2002, № держреєстрації 0101U001806), в яких здобувач приймав участь як виконавець; М7813 “Розробка та дослідження системи адаптивного керування перетворювачами частоти на потужність 800 кВт для плавлення чорних металів” (1.01.2002 – 31.12.2004, № держреєстрації 0102U000966) з участю здобувача як відповідального виконавця.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є створення методів ідентифікації параметрів силової схеми та навантаження в перетворювачах частоти для вирішення завдань керування та діагностики.

Для досягнення поставленої мети в дисертації вирішувалися наступні основні задачі:

- розробка методів ідентифікації параметрів силової схеми та навантаження напівпровідникових перетворювачів частот;
- аналіз аварійних режимів роботи напівпровідникових перетворювачів частоти;
- розробка методів діагностування несправностей напівпровідникових перетворювачів частоти;
- побудова алгоритмів ідентифікації параметрів і локалізації несправностей силової схеми та навантаження ТПЧ;
- розробка узагальненого алгоритму керування за прогнозом з процедурами ідентифікації параметрів силової схеми та навантаження і діагностування несправностей ТПЧ з використанням розроблених методів ідентифікації і діагностики;

- моделювання за допомогою математичних і програмних моделей електромагнітних процесів у силовій схемі перетворювача;

- перевірка отриманих програмних та схемних рішень на математичних та фізичних моделях.

*Об'єктом дослідження* є напівпровідниковий перетворювач частоти.

*Предметом дослідження* є параметри силової схеми та навантаження напівпровідникового перетворювача частоти.

*Методи дослідження.* При вирішенні поставлених задач використовувалися: операторно-рекурентний метод аналізу електричних кіл; метод аналізу перехідних процесів з відображенням на комплексну площину; неперервне та дискретне перетворення Лапласа; методи вирішування лінійних та диференціальних рівнянь; методи математичного і фізичного моделювання.

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

- розроблено метод ідентифікації параметрів силової схеми та навантаження напівпровідникового перетворювача частоти з використанням кратних похідних змінних стану і зазначені межі його застосування;

- отримано нові розрахункові співвідношення для ідентифікації параметрів методом відображення перехідних процесів на комплексну площину;

- розроблено та реалізовано ефективний з точки зору обчислювальних витрат алгоритм ідентифікації параметрів навантаження за допомогою векторної діаграми системи індуктор–тіло, що нагрівається;

- проаналізовано аварійні режими роботи і створено нові алгоритми функціонального діагностування несправностей силової схеми і навантаження тиристорного перетворювача частоти для установок індукційного нагріву;

- вперше розроблено узагальнений алгоритм прогнозного керування з ідентифікацією параметрів силової схеми та навантаження і локалізацією несправностей з глибиною до одного елемента, який об'єднує процедури прогнозу і корекції впливу системи керування на перетворювач в залежності від зміни параметрів силової схеми та навантаження ТПЧ.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що

- наведені в дисертаційній роботі методи та алгоритми рекомендовано для практичного застосування при розробці МПСК напівпровідниковими перетворювачами частоти;

- використання розробленого в роботі узагальненого алгоритму, який складається з процедур прогнозу і корекції, дозволяє уточнити параметри математичної моделі

перетворювача, підвищуючи її адекватність реальному об'єкту, і тим покращити якість регулювання;

- розроблено мікропроцесорний пристрій ідентифікації, діагностики і керування напівпровідниковим перетворювачем частоти, а також узагальнений алгоритм керування та ідентифікації, який у залежності від параметрів корегує вплив системи керування на перетворювач;

- запропонований пристрій може бути використаний для керування перетворювачем частоти на потужність 800 кВт для плавлення чорних металів.

Результати досліджень знайшли практичне застосування при створенні систем керування ТПЧ в АТ Estel Elektro AS (м. Таллінн, Естонія). Теоретичні результати роботи використовуються в учбовому процесі НТУ "ХП" при читанні лекційних курсів: "Мікропроцесорна техніка", "Мікропроцесорне керування перетворювачами", "Електроніка і мікросхемотехніка", "Спеціалізовані мікропроцесорні пристрої".

**Особистий внесок здобувача** в розробку наукових результатів, що виносяться на захист:

- отримані нові розрахункові вирази для ідентифікації параметрів силової схеми та навантаження в напівпровідникових перетворювачах частоти;

- запропоновано алгоритм діагностування і локалізації несправностей силової схеми та навантаження напівпровідникового перетворювача частоти з глибиною до одного елемента;

- створено узагальнений алгоритм прогнозу і корекції ТПЧ та здійснена його апаратно-програмна реалізація;

- розроблені математичні та аналого-дискретні моделі ТПЧ для підтвердження запропонованих теоретичних та технічних рішень.

#### **Апробація результатів дисертації**

Матеріали дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях: "Unconventional Electromechanical and Electrical Systems" UEES'97, Україна, м. Алушта, 1997 р.; "Силовая електроніка та енергоефективність", Україна, м. Алушта, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2004, 2005 рр.; MicroCAD'2004, Україна, м. Харків, 2004 р.; на семінарах Наукової ради НАН України з комплексної проблеми "Наукові основи електроенергетики", м. Харків, березень 2003 р., квітень 2005 р.; м. Київ, червень 2005 р.

#### **Публікації**

Основні положення і результати досліджень викладено і опубліковано в 9 друкованих працях.

## **Структура та обсяг дисертації**

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків та 4-х додатків. Повний обсяг дисертації складає 142 сторінки, з них 27 ілюстрацій по тексту, 9 ілюстрацій на 9 сторінках; 3 таблиці по тексту, 4 таблиці на 1 сторінці; 4 додатка на 25 сторінках та 103 найменування використаних літературних джерел на 10 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ**

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, показана наукова новизна роботи, сформульовані мета і основні завдання дослідження, викладені наукові і практичні результати роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз існуючих методів ідентифікації параметрів силових схем та навантаження перетворювачів частоти, діагностування несправностей, що можуть виникнути під час роботи, а також сформульовані основні вимоги до МПСК сучасними напівпровідниковими перетворювачами.

Використання мікропроцесорних систем для керування напівпровідниковими перетворювачами завжди викликало проблеми в розробників у наслідок того, що це пов'язано з обробкою достатньо складних алгоритмів керування, при цьому всі розрахунки повинні бути зроблені в реальному масштабі часу з дуже малими значеннями постійних часу. Тому, не зважаючи на велику кількість робіт у цьому напрямку, на цей час не має єдиного підходу та інженерних методик, які б дозволили однозначно визначити принципи побудови мікропроцесорних систем керування напівпровідниковими перетворювачами. Для визначення правильної стратегії побудови МПСК необхідно розглянути всі функції, які доручаються мікропроцесорній системі, підходи до формування алгоритмів керування, а також час, що необхідний для розрахунків.

В роботі сформульовані основні вимоги до МПСК сучасними перетворювальними пристроями. Це:

- формування алгоритмів керування, які б забезпечили динамічні характеристики, що задані, а також якісні показники перехідних процесів;
- виконання функцій ідентифікації параметрів силової схеми та навантаження перетворювача з метою забезпечення діагностики та підвищення якості регулювання;
- вирішення завдань багатоступеневого захисту перетворювача та навантаження;
- автоматизацію пусконаладжувальних робіт з урахуванням конкретних параметрів перетворювача та навантаження, а також реальних умов.

Проведено аналіз, який показав, що МПСК прогнозного типу відповідає цим вимогам у найбільш повній мірі. Її використання дозволяє значно покращити якість

регулювання напівпровідникових перетворювачів, в тому числі ТПЧ, та реалізувати процеси, які значно важче або зовсім неможливо реалізувати іншими системами автоматичного регулювання.

Аналізуючи ТПЧ, доцільно як базовий елемент виділити автономний інвертор струму (АІС), структурну схему якого разом з МПСК наведено на рис.1 При прогнозному керуванні розрахунок очікуваного кута випередження інвертора відбувається на підставі математичної моделі АІС, яка закладена в МПСК. При такому принципі керування реальне значення параметру, що контролюється, буде відповідати заданому з точністю, що обумовлена точністю математичної моделі перетворювача.

Мікропроцесорне керування АІС за прогнозом дозволяє в прискореному масштабі часу на підставі розрахунку, що опирається на поточні значення змінних стану, одержати експрес-прогноз кута випередження, що очікується. Залежно від відповідності цього прогнозу значенню, що задається, надходить команда на чергову комутацію силових ключів АІС або відмовляються від такої команди до одержання наступного прогнозу.

#### Рис. 1

Відомо, що якість прогнозного керування залежить від сталості параметрів математичної моделі перетворювача, що закладена в мікроконтролер, параметри моделі повинні досить точно відповідати реальному об'єкту. Однією з особливостей перетворювачів частоти, що входять до складу пристроїв індукційного нагріву, є зміна параметрів силової схеми та навантаження перетворювача в широкому діапазоні під час технологічного процесу. Ступінь і характер цих змін визначається типом індукційного пристрою. Причиною нестабільності параметрів технологічного процесу, режимів функціонування установки є зміна електричних і магнітних властивостей матеріалу при індукційному нагріві заготовки. Широким діапазоном відхилення відрізняються плавильні печі і гартівні установки, у яких заготовки нагріваються цілком до кінцевої температури. Ще більш істотні зміни відбуваються при відхиленні технологічного процесу від розрахункового: неповне завантаження шихти, затримка в русі. Зміна параметрів характеризується добротністю системи індуктор - тіло, що нагрівається, яка змінюється в 2-3 рази при розрахунковому протіканні технологічного процесу. При індукційному нагріві заготовки зменшується магнітна проникність до різкого падіння при проходженні через точку Кюрі, підвищується питомий опір матеріалу заготовки.

В зв'язку зі зміною параметрів перетворювача адекватність моделі реальному об'єкту у ході технологічного процесу істотно знижується, що може привести до



недостатньо вірного експрес-прогнозу. Таким чином, навіть при використанні швидкодіючої мікропроцесорної системи керування прогнозного типу, потенційно високі енергетичні і добрі регульовальні можливості ТПЧ досить складно реалізувати внаслідок специфічних особливостей цих перетворювачів як об'єктів автоматичного регулювання. У зв'язку з цим виникає необхідність ідентифікації параметрів перетворювача і в залежності від цього корегування параметрів моделі. Внаслідок цього необхідно доповнення існуючих алгоритмів прогнозного мікропроцесорного керування процедурами ідентифікації параметрів силової схеми та навантаження перетворювача, а також діагностики стану перетворювача в цілому. Треба відзначити, що задачі діагностики і ідентифікації є подібними по прийнятим рішенням і відрізняються лише точністю фіксації відхилення параметра, що контролюється, від номінального.

В зв'язку з цим стає актуальною розробка узагальненого алгоритму прогнозу та корекції, який разом з керуванням перетворювачем мав би змогу ідентифікувати параметри силової схеми та навантаження і в залежності від цього корегувати вплив системи керування на перетворювач.

Розроблені дотепер методи ідентифікації досить складно застосовувати в системах керування перетворювачами, що працюють у складі швидкодіючих систем, до яких, зокрема, належать пристрої індукційного нагріву для термічної обробки. Підвищення частоти вихідної напруги або струму, що обумовлене вимогами технології, обмежує можливість використання відомих методів ідентифікації. Звідси виникає необхідність в удосконалюванні цих методів з метою пристосування їх для систем керування перетворювачами за рахунок апроксимації і спрощення розрахункових виразів, а також побудова нових алгоритмів ідентифікації.

Актуальним є також ідентифікація параметрів на основі діагностичних процедур, що розробляються, які спрямовані на локалізацію несправностей перетворювача і навантаження, тому що не менш важливим є визначення граничних станів індуктора (обрив або к. з.), а також своєчасне розпізнавання несправностей у роботі всієї схеми, тобто проведення процедури діагностування.

**У другому розділі** наведені розроблені методики ідентифікації параметрів силової схеми та навантаження перетворювача.

Зміна параметрів перетворювача вимагає введення в модель рівнянь, що враховують ці зміни, тому доцільним є ідентифікація параметрів індуктора  $L$  і ємності  $C$  АІС з використанням кратних похідних змінних стану. Це дозволяє зробити пристрій, схему якого наведено на рис. 2. На рис.3 зображено граф-алгоритм роз-

Рис. 2

Етап 0                      Етап 1                      Етап 2

Рис. 3

рахунку. Для визначення параметрів складається система рівнянь з виразів для змінних стану і їх похідних, що несуть додаткову інформацію про електромагнітний процес. Для одержання кратних похідних змінних станів існує два шляхи. У першому випадку сигнали в схемі з датчиків струму і напруги подаються не тільки на аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), що вимірюють миттєві значення, але і на ланцюжок апаратних аналогових диференціаторів, з виходу кожного з яких сигнал подається як на наступний диференціатор, так і на АЦП для виміру миттєвого значення відповідної похідної. Перевагою цього підходу є висока швидкодія (процес виміру всіх похідних здійснюється одночасно). Недоліками є складність схеми і схильність до негативних явищ, що властиві аналоговим диференціаторам (насичуваність, чутливість до перешкод).

У другому випадку аналітичне диференціювання замінюється чисельним, при цьому АЦП міряють миттєві значення струмів і напруг кілька разів підряд через короткі рівні інтервали. З них по формулах чисельного диференціювання визначаються кратні похідні. При застосуванні сучасних швидкодіючих АЦП загальний інтервал виміру досить малий у порівнянні із тривалістю такту, тому по швидкодії другий шлях майже не відрізняється від першого. Перевагою другого шляху є спрощення схеми (на схемі вбирається блок, що обведено пунктиром), до недоліків слід віднести погрішності формул чисельного диференціювання. На граф - алгоритмі ці обчислення представлені у вигляді нульового етапу.

Розрахунок складається з двох етапів. Перший етап дозволяє отримати параметри узагальненого перехідного процесу  $a_i, b_i, c_i, a_u, b_u, c_u, \alpha, \omega$  :

$$\left. \begin{aligned} c_i &= i - a_i; \\ \varphi &= f(F_0^*); \\ b_i &= \frac{i'(\alpha^2 - \omega^2) + i'' \cdot a_i}{\omega \cdot (\alpha^2 + \omega^2)}; \\ c_u &= u - a_u; \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned}
a_u &= \frac{b_u \cdot \omega - u'}{\alpha}; \\
b_u &= \frac{u' \cdot (\alpha^2 - \omega^2) + u''}{\omega \cdot (\alpha^2 + \omega^2)}; \\
\omega &= \sqrt{\frac{i' \cdot \alpha^2 + 2 \cdot i'' \alpha + i'''}{-i'}}; \\
\alpha &= \frac{i''' \cdot u' - i' \cdot u'''}{2 \cdot (i' \cdot u'' - i'' \cdot u')}.
\end{aligned} \tag{3}$$

Другий етап розрахунку призначено для отримання фізичних параметрів схеми. Враховуючи, що

$$\alpha = \frac{C \cdot R_1 \cdot R_2 + L}{2 \cdot L \cdot C \cdot R_2}; \tag{4}$$

$$\omega^2 = \frac{R_1 + R_2}{L \cdot C \cdot R_2} - \alpha^2, \tag{5}$$

остаточні вирази мають вигляд:

$$L = \frac{R_1 + R_2}{C \cdot R_2 \cdot (\alpha^2 + \omega^2)}; \tag{8}$$

$$C = \frac{\sqrt{R_1 + R_2} \cdot (\sqrt{\alpha^2 \cdot R_2 - R_1^2} + \alpha \cdot \sqrt{R_1 + R_2})}{R_1 \cdot R_2 \cdot (\alpha^2 + \omega^2)}; \tag{9}$$

$$C = \frac{\sqrt{R_1 + R_2} \cdot (\alpha \cdot \sqrt{R_1 + R_2} - \sqrt{\alpha^2 \cdot R_2 + R_1 \cdot \omega^2})}{R_1 \cdot R_2 \cdot (\alpha^2 + \omega^2)}. \tag{10}$$

Фізичний сенс має вираз (9) або (10), що обирається за додатковим критерієм. Параметри інвертора визначаються з погрішністю від 1% до 3% для різних елементів схеми. Завдяки цієї методиці отримані аналітичні вирази, які досить прості, не містять трансцендентних виразів, не вимагають ітераційних уточнень рішення і придатні для розрахунку в режимі реального часу.

З метою вдосконалення апаратної побудови була розроблена методика, що поєднує процедуру ідентифікації параметрів схеми в інтегральних узагальнених показниках і визначення величин струму в дроселі і напруги на конденсаторі на початку будь-якого

такту (рис. 4-6), при цьому значно скорочується кількість АЦП. Вимірявши за допомогою АЦП значення струму і напруги на початку перших 4-х тактів роботи перетворювача, є можливість спрогнозувати значення змінних стану в будь-якому наступному такті.

Рис. 4

Рис. 5

Рис. 6

У роботі розглянута ідентифікація параметрів АІС з використанням методу дослідження перехідних процесів у перетворювачах шляхом відображення на площину комплексної змінної. Перевагою методу є наочність і універсальність подання перехідних процесів у схемі. Використовуючи принцип єдності перехідного процесу у всій системі, є можливість визначити перехідний процес на кожному елементі схеми, якщо відомий перехідний процес на будь-якому іншому елементі схеми. Цей метод дозволяє відмовитися від багаторазових вимірів багатьох змінних при забезпеченні достатньої точності результату діагностування, мінімізувати кількість датчиків зворотних зв'язків. Можливість вибору датчиків, зручних для практичної реалізації в кожному конкретному виконанні, роблять цей метод перспективним для розробки на його базі методик діагностування електричних ланцюгів.

При відображенні на комплексну площину кожна змінна величина подається у вигляді комплексного числа, що зображується крапкою на комплексній площині. Проекція цієї крапки на уявну вісь при її переміщенні  $Im$  представляє зміну змінної в часі, а дійсна частина  $Re$  містить інформацію про початкові умови для кожного такту. Система рівнянь (11) складається з уявних та дійсних складових напруги на конденсаторі  $U_C$  та струму в індуктивності  $I_L$  (рис.4). Вирішуючи цю систему, можна одержати параметри з достатньою точністю, що було перевірено на експериментальній моделі. Слід зазначити, що розрахунок перехідного процесу цим методом значно ускладнюється при підвищенні порядку еквівалентної схеми.

$$(11) \quad \left\{ \begin{array}{l} \operatorname{Im}(U_c(t)) = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \left( \frac{I_0}{\alpha \cdot C} + \frac{U_0 \cdot R_1}{\alpha \cdot L} - U_0 - \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot k \cdot e^{-\alpha t} \sin \omega t + \left( U_0 - \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot e^{-\alpha t} \cos \omega t; \\ \operatorname{Re}(U_c(t)) = \left( \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2} - U_0 \right) \cdot e^{-\alpha t} \sin \omega t + \left( \frac{I_0}{\alpha \cdot C} + \frac{U_0 \cdot R_1}{\alpha \cdot L} - U_0 - \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot k \cdot e^{-\alpha t} \cos \omega t; \\ \operatorname{Im}(I_L(t)) = \frac{E}{R_1 + R_2} + \left( \frac{E - U_0}{\alpha \cdot L} + \frac{I_0}{\alpha \cdot R_2 \cdot C} - I_0 - \frac{E}{R_1 + R_2} \right) \cdot k \cdot e^{-\alpha t} \sin \omega t + \left( I_0 - \frac{E}{R_1 + R_2} \right) \cdot e^{-\alpha t} \cos \omega t; \\ \operatorname{Re}(I_L(t)) = \left( \frac{E}{R_1 + R_2} - I_0 \right) \cdot e^{-\alpha t} \sin \omega t + \left( \frac{E - U_0}{\alpha \cdot L} + \frac{I_0}{\alpha \cdot R_2 \cdot C} - I_0 - \frac{E}{R_1 + R_2} \right) \cdot k \cdot e^{-\alpha t} \cos \omega t. \end{array} \right.$$

;

Був розроблений алгоритм контролю за значенням індуктивності індуктора в реальному масштабі часу для схеми більш високого порядку (рис.1), що може бути реалізований як у вигляді окремого програмного продукту, так і бути частиною загального алгоритму керування і діагностики ТПЧ. Значення індуктивності  $L$  розраховується за виразом (12) шляхом виміру вхідного струму  $i_1(t)$  та струму в індуктивності  $i_L(t)$  за допомогою датчиків струму ДС1 і ДС2 відповідно, або струм  $i_L(t)$  розраховується за додатковим виразом, що дозволяє зменшити кількість датчиків. У цьому виразі використовуються початкові значення  $i_{01}$ ,  $i_{0L}$  та миттєві значення цих струмів  $i_1(t)$  і  $i_L(t)$  наприкінці кожного попереднього такту .

$$L = \frac{(-1)^{n+1} [Et + L_d(i_{01} - i_1(t))]}{i_L(t) + (-1)^{n+1} i_{0L}}. \quad (12)$$

Значення індуктивності, яке обчислюється за формулою (12), є достовірними і збігається з реальним значенням з похибкою 5%

Іноді в режимі реального часу зручно робити виміри не струмів і напруг, а часових параметрів сигналів, що діють у схемі перетворювача, і використовувати їх для вирішення завдань керування і контролю за роботою перетворювача. Враховуючи це, було розроблено алгоритм, що базується на методиці ідентифікації параметрів схеми навантаження (рис.1) за допомогою векторної діаграми паралельного коливального контуру ланцюга навантаження, що наведена на рис. 7.

Рис. 7

Аналіз векторної діаграми дозволяє одержати вирази для тангенса кута випередження  $tg\beta$  і кута навантаження  $tg\varphi_i$ :

$$tg\beta = \frac{I_C - I_L}{I_R} = R\omega C - \frac{R}{\omega L}; \quad (13)$$

$$tg\varphi_i = \frac{I_L}{I_R} = \frac{R}{\omega L}, \quad (14)$$

де  $\beta$  - кут зсуву фаз між основними гармоніками струму комутатора  $I$  і напруги на навантаженні  $U_H$ ;

$\varphi_H$  - кут зсуву фаз між основними гармоніками струму навантаження  $I_H$  і напруги на навантаженні  $U_H$ .

Записуючи (13) з урахуванням (14), одержимо розрахункові вирази для параметрів  $R$  і  $L$ :

$$R = \frac{tg\beta + tg\varphi_i}{\omega} \cdot \frac{1}{C}; \quad (15)$$

$$L = \frac{tg\beta + tg\varphi_i}{tg\varphi_i \cdot \omega^2} \cdot \frac{1}{C}. \quad (16)$$

Для обчислення значень  $R$  і  $L$  необхідно виміряти три величини:  $\beta$ ,  $\varphi_H$ ,  $\omega$ , припускаючи, що значення ємність  $C$  відома. Виразимо ці кути через часові інтервали:

$$\beta = \pi \cdot \frac{\tau}{T/2}; \quad \varphi_i = \pi \cdot \frac{\delta}{T/2}; \quad \omega = \frac{\pi}{T/2},$$

де  $\tau = t_2 - t_1$  - часовий вираз кута випередження  $\beta$ ;

$\delta = t_3 - t_2$  - часовий вираз кута навантаження  $\varphi_H$ ;

$T/2 = t_4 - t_1$  - півперіод вихідної напруги.

Остаточні вирази для розрахунку значень індуктивності  $L$  та опору  $R$  мають наступний вигляд:

$$R = \frac{\operatorname{tg}\left(\pi \cdot \frac{\tau}{T/2}\right) + \operatorname{tg}\left(\pi \cdot \frac{\delta}{T/2}\right)}{\pi \cdot C} \cdot T/2,$$

(17)

$$L = \frac{\operatorname{tg}\left(\pi \cdot \frac{\tau}{T/2}\right) + \operatorname{tg}\left(\pi \cdot \frac{\delta}{T/2}\right)}{\operatorname{tg}\left(\pi \cdot \frac{\delta}{T/2}\right) \cdot C \cdot \pi^2} \cdot (T/2)^2. \quad (18)$$

Для виміру  $\tau$  і  $\delta$  система керування повинна контролювати переходу через нуль напруги  $U_H$  і струму  $I_H$ . Перевагою цієї методики є її ефективність з точки зору простоти розрахункових співвідношень і обчислювальних витрат.

У результаті досліджень, що були проведені, можна зробити висновок, що кожен із запропонованих методів може бути застосовна в залежності від порядку системи, швидкодії, що вимагається, необхідної точності визначення контролюваного параметра, а також апаратних засобів, що застосовуються.

**В третьому** розділі проаналізовані аварійні режими роботи і розроблені алгоритми діагностики, спрямовані на локалізацію несправностей у перетворювачі. Наслідком особливостей структурної побудови і режимів роботи ТПЧ є необхідність проведення комплексу досліджень, кінцевою метою яких повинні стати апаратурні і алгоритмічні рішення, що забезпечують достатню глибину і точність виконання діагностичних процедур. Будь-який з елементів силової схеми може з'явитися причиною відмови перетворювача в цілому, тому контроль за станом роботи всієї схеми і внесення коректив у роботу основного алгоритму керування є актуальною задачею.

Необхідно відзначити, що ідентифікація параметрів і діагностика стану силової схеми та навантаження перетворювача є подібними задачами і за рішеннями, що приймаються, відрізняються лише точністю фіксації відхилення параметра, що контролюється, від номінального. За допомогою датчиків струму ДС1 і ДС2 та напруги ДН (рис.1) у силовій схемі є можливість організувати поточний контроль за станом силової схеми перетворювача та виконати діагностування деяких видів несправностей. Таке діагностування дозволяє відреагувати на несправність у момент її першої появи і прийняти відповідні захисні міри, що дозволяє зменшити потужність безлічі розглянутих технічних

станів пристрою і обмежитися розглядом тільки поодиноких несправностей, в зв'язку з тим, що наявність одночасної відмови двох і більше елементів практично близька до нуля.

З метою вивчення можливостей локалізації несправностей силової схеми АІС ТПЧ у роботі розглянуті наступні несправності силової схеми: пробій конденсаторної батареї, пробій або обрив індуктора, пробій або невмикання одного із силових ключів комутатора. Для цього розроблена математична модель силової схеми АІС з використанням методу вузлових потенціалів і виконано її програмну реалізацію. В роботі також розроблено алгоритм виявлення несправностей. Для ухвалення рішення про виникнення несправності необхідно і достатньо вимірювати вихідну напругу інвертора (характеризує несправність коливального контуру) і струм, що протікає через силові ключі комутатора (характеризує несправність комутатора). Виміри проводяться багаторазово після точки чергової комутації. Порівняння здійснюється з еталонними значеннями або зі значеннями на попередньому такті.

Працездатність даного алгоритму була перевірена за допомогою алгоритму контролю АІС на основі апроксимації квадратичним поліномом похідної напруги, розв'язання якого доцільно здійснити методом найменших квадратів. При виникненні несправності в навантаженні значно змінюються миттєві значення напруги на комутуючому конденсаторі в порівнянні з еталонним, а струм на виході комутатора залишається практично незмінним. Як еталон для порівняння обрані значення на попередньому такті. Для аварій, що пов'язані з комутатором, характерна інша картина: напруга комутуючого конденсатора змінюється, при цьому змінюються миттєві значення струму комутатора. Таким чином, відслідковуючи зміну напруги конденсатора, можна визначити, що відбулася подія несправності, а відслідковуючи відхилення струму комутатора від еталонного значення, можна локалізувати несправність на рівні структури перетворювача: комутатор або навантаження. В якості порога порівняння в даній роботі прийнятий рівень відхилення 5% й 10% від еталона:

$$\frac{|U - U_{\text{э}}|}{U_{\text{э}}} > 0,05; \quad \frac{|I - I_{\text{э}}|}{I_{\text{э}}} > 0,1,$$

де  $U$ ,  $U_{\text{э}}$  – значення напруги на комутуючому конденсаторі в поточному такті та еталонного відповідно;

$I$ ,  $I_{\text{э}}$  – значення струму комутатора в поточному такті та еталонного відповідно.

Для виключення помилкового визначення аварії необхідно, щоб ці співвідношення виконувалися протягом деякого часу. Вибір цього часу залежить від частоти роботи перетворювача. Дослідження показали оптимальний інтервал в три відліку.



Для локалізації несправності в навантаженні використовується значення напруги на конденсаторі. Як інформаційний параметр обрано швидкість зміни напруги на конденсаторі на рівних тимчасових інтервалах з моменту аварії і до моменту наступної комутації, що обчислюється за наступним виразом:

$$U' = U_t - U_{t-1}, \quad (19)$$

де  $U'$  – похідна сигналу;

$U_t$  – поточне значення сигналу;

$U_{t-1}$  – попереднє значення сигналу.

Перші два значення похідної не враховуються для згладжування сплесків кривій. За початок координат, у яких будується апроксимуючий квадратичний поліном, приймається третій з моменту несправності відлік. Отримані дані апроксимуються квадратичним поліномом виду  $(ax^2 + bx + c)$ . Для знаходження коефіцієнтів застосовується методом найменших квадратів:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n N_i^4 + b \sum_{i=1}^n N_i^3 + c \sum_{i=1}^n N_i^2 = \sum_{i=1}^n N_i^2 U_i'; \\ a \sum_{i=1}^n N_i^3 + b \sum_{i=1}^n N_i^2 + c \sum_{i=1}^n N_i^1 = \sum_{i=1}^n N_i U_i'; \\ a \sum_{i=1}^n N_i^2 + b \sum_{i=1}^n N_i^1 + cn = \sum_{i=1}^n U_i'; \end{cases} \quad (20)$$

$$i = k + 2; \quad n = m - i,$$

де  $k$  – номер інтервалу на якому виникла несправність;

$n$  - кількість вимірів за півперіод зміни інформаційного параметра.

Вирішивши систему рівнянь, одержимо коефіцієнти  $a$ ,  $b$  й  $c$ . Найбільш показовим є коефіцієнт при  $x^2$  -  $a$ .

Для локалізації несправності в комутаторі використовуються миттєві значення струму комутатора. Так, для визначення несправностей, пов'язаних з тиристором: невмикання або невимикання ключа, пропонуються наступні дії. Якщо  $I - I_{\gamma} > 0$ , то несправність - "невимикання ключа", а якщо  $I - I_{\gamma} < 0$ , то "невмикання ключа".

У четвертому розділі розроблено систему керування та узагальнений алгоритм керування, що включає до себе процедури прогнозу і корекції на підставі розроблених

ідентифікаційних і діагностичних алгоритмів, а також проведена перевірка запропонованих теоретичних висновків, програмних та апаратних рішень.

Узагальнений алгоритм дозволяє керувати перетворювачем за прогнозом і здійснювати ідентифікацію параметрів та діагностику несправностей. Порівнюючи кут випередження, що розраховується, з початковим значенням, дається чи не дається команда на перемикання ключів. Розрахунок значень індуктивності  $L$  і опору  $R$  здійснюється за допомогою методів, що були зазначені раніше, і в залежності від отриманих значень цих параметрів, корегується модель. Також здійснюється діагностування працездатності перетворювача в цілому, використовуючи розроблені методи локалізації несправностей. Виходячи з того, що процес локалізації несправності не є критичним до часу його проведення, оптимальним рішенням буде розділити алгоритм на дві частини: перша виконується в керуючій мікро-ЕОМ і відповідає за виявлення факту несправності, збір інформації, зупинку системи та передачу даних, а друга виконується в контролюючій центральній ЕОМ і відповідає за виявлення несправного блоку. Це дозволяє спростити рішення завдань зв'язаних з апроксимацією, а також залишає за центральною ЕОМ прерогативу ухвалення рішення.

Структурна схема системи керування та діагностування розроблена з урахуванням особливостей ТПЧ як об'єкта регулювання, а також запропонованого алгоритму на базі АDМC331.

Для можливості гнучкої зміни параметрів об'єкта і досягнення високої точності при обробці узагальненого алгоритму прогнозного мікропроцесорного керування розроблено аналого-дискретну модель ТПЧ, яка повністю реалізує процеси в схемі.

Застосування пакета моделювання CASPOC 2003 дозволило провести ряд експериментів, метою яких було дослідження ефективності роботи алгоритму прогнозу і корекції. Експериментальні дані отримані у вигляді графіків залежності обмірюваного опору та індуктивності у часі від частоти, а також графіків зміни похибки вимірів, аналізуючи які можна зробити висновок, що у зв'язку з невисокими значеннями похибок запропоновані методи цілком можуть бути застосовані для функціонального діагностування і ідентифікації параметрів індуктора з метою корекції моделі прогнозного керування.

Експериментальні дослідження на аналого-дискретній моделі і математичне моделювання у пакеті CASPOC 2003 підтвердили отримані у роботі теоретичні результати.

## **ВИСНОВКИ**

Виконана робота представляє собою рішення комплексу завдань, які мають наукове та практичне значення. У результаті проведених досліджень можна зробити основні висновки:

1. Розроблено метод ідентифікації параметрів силової схеми та навантаження напівпровідникового перетворювача частоти за допомогою кратних похідних, що дозволяє одержати нові аналітичні розрахункові співвідношення, які не мають трансцендентних виразів і не потребують ітераційних уточнень рішення з реалізацією розрахунку в режимі реального часу. Параметри інвертора визначаються з похибкою від 1% до 3% для різних елементів схеми. Перевагою методики є її висока швидкодія.

2. Отримані нові аналітичні вирази для ідентифікації параметрів за допомогою метода відображення перехідних процесів на комплексну площину. Застосування цього методу дозволяє відмовитися від багаторазових вимірів багатьох змінних при забезпеченні достатньої точності результату ідентифікації і діагностування. Можливість вибору датчиків, зручних для практичної реалізації в кожному конкретному виконанні, роблять цей метод перспективним для розробки на його базі методик діагностування електричних ланцюгів. Перевагою методу є наочність і універсальність подання перехідних процесів у схемі, але застосування його обмежується при збільшенні порядку схеми.

3. Розроблено ефективний з точки зору обчислювальних витрат алгоритм ідентифікації параметрів навантаження за допомогою векторної діаграми системи індуктор-тіло, що нагрівається, який заснований на вимірі часових інтервалів величин, що діють у схемі.

4. Розроблено нові метод і алгоритми функціонального діагностування і локалізації несправностей силової схеми та навантаження з глибиною до одного елемента напівпровідникових перетворювачів частоти для установок індукційного нагріву.

5. Вперше розроблено узагальнений алгоритм прогнозного керування з ідентифікацією параметрів силової схеми та навантаження і діагностуванням стану ТПЧ з локалізацією несправностей (алгоритм прогнозу і корекції), що дозволяє коректувати вплив системи керування на перетворювач залежно від зміни параметрів силової схеми і навантаження.

6. Результати запропонованих методів і алгоритмів підтверджені математичним моделюванням у пакеті програмного моделювання CASPOC та експериментальними дослідженнями на аналого-дискретній моделі перетворювача, що була розроблена.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Домнин И.Ф., Севрюков О.В., Вержановская М.Р. Локализация неисправностей

силовой схемы автономного инвертора тока // Труды Міжнар. наук. конф. “Unconventional electromechanical and electrical systems” (3<sup>rd</sup> ISTC UEES’97). - V.2. – Szczecin: Technical university press. – 1997. - P.547-552.

Здобувачем створено математичну модель автономного інвертора струму і зроблено її програмну реалізацію.

2. Вержановская М.Р., Домнин И.Ф. Замаруев В.В. Фетюхина Л.В. К вопросу идентификации параметров силовой схемы автономного инвертора тока // Технічна електродинаміка. – Київ, 1998. - Спец. вип. 2, Т.1. – С.21-24.

Здобувачем розроблено методику та алгоритм контролю за величиною індуктивності в реальному масштабі часу.

3. Вержановская М.Р., Таранов М.Н., Федоров Д.А. Построение годографа автономного инвертора тока на комплексной плоскости по экспериментальным данным // Технічна електродинаміка. – Київ, 1999. – Тем. вип. - С.58 -60.

Здобувачу належить одержання розрахункових формул для визначення дійсних складових годографу, що відповідають уявним.

4. Фетюхина Л.В., Вержановская М.Р. Идентификации параметров преобразователя с использованием отображения переходного процесса на комплексную плоскость // Технічна електродинаміка. – Київ, 2000. - Тем. вип. ,Ч.2.- С. 107 - 108.

Здобувачем одержано систему рівнянь для ідентифікації параметрів автономного інвертору струму та проведення комп’ютерних експериментів з використанням математичних пакетів MathCad та PSpice.

5. Сокол Е.И., Якименко Ю.И., Жуйков В.Я., Вержановская М.Р. Принципы построения микропроцессорных систем управления полупроводниковыми преобразователями // Технічна електродинаміка. – Київ, 2001. - Тем. вип. , Ч.3. –С. 43 -45.

Здобувачем проаналізовано функції, які доручені мікропроцесорної системі керування сучасними напівпровідниковими перетворювачами, та сформульовано основні вимоги до сучасних мікропроцесорних систем керування.

6. Коноплев И.А., Вержановская М.Р., Сокол Е.И. Методика идентификации параметров инвертора с использованием кратных производных // Технічна електродинаміка. – Київ, 2001. – Тем. вип., Ч.1. – С. 36 -39.

Здобувачу належить одержання розрахункових співвідношень для ідентифікації параметрів навантаження автономного інвертору струму з використанням кратних похідних змінних стану.

7. Сокол Е.И., Коноплев И.А., Вержановская М.Р. Расширение прогнозного диапазона с использованием разностных уравнений // Технічна електродинаміка. - Київ, 2002. – Тем.

вип., Ч.2. - С. 82-85.

Здобувачем отримані розрахункові формули для визначення струму у дроселі та напруги на конденсаторі в началі будь-якого такту.

8. Вержановська М.Р., Домнін І.Ф. Функціональне діагностування в системах прогнозного управління тиристорними перетворювачами частоти. Труди Міжнар. наук. конф. “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (MicroCAD’2004). – Харків: НТУ “ХПІ”. -2004. - С.366.

Здобувачем створено алгоритми функціонального діагностування несправностей силової схеми і навантаження, а також узагальнений алгоритм керування, який поєднує процедури керування та діагностування

9. Домнин И.Ф., Вержановская М.Р., Прокопенко В.Ю. Оптимизация струк-туры микропроцессорной системы управления прогнозного типа // Технічна електродинаміка. – Київ., 2004. – Тем. вип., Ч.2. – С. 55-60.

Здобувачем виконано перевірку ефективності алгоритму прогнозу і корекції з використанням методики ідентифікації параметрів за допомогою векторної діаграми системи індуктор-тіло, що нагрівається, з використанням пакета комп’ютерного моделювання CASPOC 2003

## АНОТАЦІЇ

**Вержановська М. Р. Ідентифікація параметрів силової схеми та навантаження в перетворювачах частоти. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.09.12 – напівпровідникові перетворювачі електроенергії. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут” - Харків – 2005.

Дисертація присвячена розробці методів ідентифікації параметрів силової схеми та навантаження в перетворювачах частоти для вирішування завдань керування та діагностики. У роботі розроблено метод ідентифікації параметрів силової схеми та навантаження напівпровідникового перетворювача частоти з використанням методу кратних похідних і зазначені межі його застосування. Отримані розрахункові співвідношення для ідентифікації параметрів методом відображення перехідних процесів на комплексну площину. Розроблено алгоритм ідентифікації за допомогою векторної діаграми системи індуктор - тіло, що нагрівається, що є ефективним з точки зору простоти розрахункових співвідношень і обчислювальних витрат. Також у роботі проаналізовано аварійні режими роботи ТПЧ і створені алгоритми функціонального діагностування несправностей силової схеми і навантаження напівпровідникових перетворювачів частоти

для устаткувань індукційного нагріву. Вперше розроблено узагальнений алгоритм прогнозного керування з ідентифікацією параметрів силової схеми та навантаження і локалізацією несправностей з глибиною до одного елемента, який об'єднує процедури прогнозу і корекції

Ключові слова: напівпровідниковий перетворювач частоти, автономний інвертор струму, ідентифікація параметрів, діагностика, мікропроцесорна система керування прогнозного типу, алгоритм.

**Вержановская М. Р. Идентификация параметров силовой схемы и нагрузки в преобразователях частоты - Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – полупроводниковые преобразователи электроэнергии. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт” - Харьков – 2005.

Диссертация посвящена разработке методов идентификации параметров силовой схемы и нагрузки в преобразователях частоты для решения задач управления и диагностики. Показано, что эффективное управление такими сложными динамическими объектами как полупроводниковые преобразователи частоты (ППЧ) возможно только с применением прогрессивных алгоритмов микропроцессорного управления, к которым с полным основанием можно отнести алгоритмы прогнозного типа. Однако даже их применение не позволяет достичь высоких энергетических и хороших регулировочных показателей ППЧ из-за специфических особенностей этих устройств как объектов автоматического управления. К таким особенностям следует отнести изменение параметров силовой схемы и нагрузки преобразователя частоты в широком диапазоне из-за изменения электромагнитных свойств материалов в ходе индукционного нагрева, что приводит к необходимости дополнения алгоритмов прогнозного управления процедурами идентификации параметров. Использование разработанных в работе алгоритмов управления, объединяющих процедуры прогноза и коррекции, на основании разработанных методов идентификации и диагностических процедур, дает возможность решать задачи регулирования при максимальном быстродействии в стационарных и аварийных режимах.

В работе разработаны методы идентификации параметров силовой схемы и нагрузки преобразователя с использованием кратных производных переменных состояния. Полученные новые расчетные соотношения достаточно просты, не содержат трансцендентных выражений, не требуют итерационных уточнений решения. Разработан

новый метод идентификации параметров с помощью отображения переходных процессов на комплексную плоскость. Применение данного метода позволяет отказаться от многократных измерений многих переменных при обеспечении достаточной точности результата идентификации и диагностирования. Возможность выбора датчиков, удобных для практической реализации в каждом конкретном исполнении, делают этот метод перспективным для разработки на его базе методик диагностирования электрических цепей. Показано, что данный метод, обладая универсальностью и наглядностью представления переходных процессов в схеме, имеет ограниченное применение при увеличении порядка схемы.

Разработан алгоритм идентификации параметров с помощью с помощью векторной диаграммы системы индуктор-нагреваемое тело, основанный на измерении временных интервалов величин, действующих в схеме, эффективный с точки зрения простоты расчетных соотношений и вычислительных затрат.

В работе проанализированы аварийные режимы работы полупроводниковых преобразователей и разработаны алгоритмы функционального диагностирования неисправностей силовой схемы и нагрузки полупроводниковых преобразователей частоты для установок индукционного нагрева. Впервые разработан обобщенный алгоритм прогнозного управления с идентификацией параметров силовой схемы и нагрузки, а также локализацией неисправностей с глубиной до одного элемента, который объединяет процедуры прогноза и коррекции влияния системы управления на преобразователь в зависимости от изменения параметров нагрузки. Разработано и исследовано микропроцессорное устройство идентификации, диагностики и управления тиристорным преобразователями частоты.

Проведены экспериментальные исследования на аналого-дискретной модели и в пакете программного моделирования CASPOC 2003, которые подтверждают правильность разработанных в работе методов и алгоритмов.

Ключевые слова: полупроводниковый преобразователь частоты, автономный инвертор тока, идентификация параметров, диагностика, микропроцессорная система управления прогнозного типа, алгоритм.

**Verzhanovskaya M.R. Identification of parameters of the power circuit and load in frequency converters. - Manuscript.**

Thesis for candidate degree of technical science of specialty 05.09.12 – Semiconductor converter of electric energy – National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute” - Kharkov – 2005.

The dissertation is devoted to development of methods of identification of parameters of the power circuit and load in frequency converters for control and diagnostics.

Method of identification of parameters of the power circuit and load of the semi-conductor frequency converter with the use of a method of multiple derivatives and its areas of application are developed in the work. New equations for identification of parameters by a method of mapping of transients on a complex plane were obtained. An effective from the point of simplicity of calculation equations and computational expenses algorithm of identification of parameters by means of the vector diagram of the system “inductor – object-to-be-heated” was developed. Emergency operation of semi-conductor converters was analyzed and algorithms of functional diagnosing of malfunctions of the power circuit and load of semiconductor frequency converters for induction heating were found in the work. The generalized algorithm of prognosis control with identification of parameters of the power circuit and load and localization of malfunctions with the depth up to one element which unite procedures of the prognosis and correction was developed for the first time.

Key words: semiconductor frequency converter, autonomous current-source inverter, identification of parameters, diagnostics, microprocessor control system of prognosis type, algorithm.



Відповідальний за випуск к.т.н., доц. Тимченко М.О.

Підп. до друку 7.11.2005 р. Формат видання 145x215.

Формат паперу 60x90/16. Папір офсетний. Друк – ризографія.

Обсяг 0,9 авт. арк. Наклад 100 прим. Зам. № 291.

---

Видавничий цент НТУ “ХП”. Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Друкарня НТУ “ХП”, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---