НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

На правах рукопису

СЕМЕНОВА Ольга Вікторівна

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ІЗ НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

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

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ — 1997

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі теоретичної та загальної електротехніки Донбаського гірничо-металургійного інституту (м.Алчевськ)

Науковий керівник — доктор технічних наук, професор О.В.Пузаков

Офіційні опоненти — доктор технічних наук, професор В.Я.Жуйков

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник С.Т.Абідов

Провідна організація — Східно-Український державний університет (м.Луганськ)

Захист дисертації відбудеться "20" березня 1997р.

о _____ годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради К 01.59.02 в Інституті проблем енергозбереження НАН України за адресою: 252070 м.Київ, вул.Покровська, 11

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту проблем енергозбереження НАН України

Автореферат розіслано "19" лютого 1997р.

Вчений секретар
спеціалізованої Вченої ради,
кандидат технічних наук Л.П.Мельничук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми та ступінь дослідження тематики дисертації

Питання ефективного управління, аналізу та синтезу електротехнічних систем із напівпровідниковими перетворювачами тісно пов'зані з точністю математичної моделі, яка описує ці системи.

Досить часто математична модель досліджуємого об'єкту являє собою систему лінійних або нелінійних диференційних рівнянь із значним розкидом коренів характеристичного поліному.

Прикладом можуть бути електромеханічні системи верстатів, які використовують малоінерційні, високошвидкісні двигуни і системи електроприводу із живленням від ШПП; перетворювачі електроенергії, що потребують для аналізу протікаючих в них процесів врахування фізичних властивостей напівпровідникових приладів (при дослідженні високочастотної електромагнітної сумісності, імпульсної завадозахищеності); системи регулювання температури та тиску тощо.

Під час дослідження таких систем виникає проблема врахування різномасштабності процесів, протікаючих в них, тобто врахування і аналізу функцій як з великими, так і з малими похідними. Велике значення ця проблема має при дослідженні електротехнічних систем із використанням високочастотної імпульсної модуляції, особливо щодо систем з недетермінованими моментами комутації силових елементів, наприклад, в слідкуючих системах релейного типу.

Клас методів, які розв'язують подібні задачі, досить значний. Це і аналітичні, і чисельно-аналітичні, і чисельні. При більш детальному розгляді різноманітних методів аналізу стає очевидним, що найбільш перспективними та володіючими найбільш широкими можливостями, особливо при розвитку сучасної обчислювальної техніки, є чисельні методи аналізу.

При чисельному розв'язку означених вище задач виникає проблема чисельної стійкості (явних) та швидкості (неявних) методів рішення.

Якщо необхідність забезпечення чисельної стійкості при проведенні аналізу електротехнічної системи є очевидною, то задача підвищення швидкості розрахунку для скорочення загальних витрат часу досить часто

уявляється не стільки актуальною. Але є ряд важливих задач, де ця проблема виходить на перший план. Так, наприклад, в системах автоматизованого проектування перетворювачів електроенергії та електроприводів, що останнім часом використовуються все більше, провести вибір раціональних параметрів цих приладів неможливо без проведення значної кількості розрахунків їх поведінки у різноманітних режимах. Так, при розробці серійних вентильних перетворювачів значної потужності число необхідних розрахунків досягає декількох десятків тисяч (за даними НДІ "Перетворювач").

Крім того підвищення швидкості проведення процедури аналізу процесів в електротехнічних системах відчиняє значні можливості при розробці, удосконаленні та впровадженні алгоритмів прямого цифрового управління їми з використанням сучасної мікропроцесорної техніки.

Таким чином, незважаючи на великі досягнення у галузі досліджень електротехнічних систем із напівпровідниковими перетворювачами, проблема подальшого їх дослідження, а також удосконалення та розробки нових методів аналізу в цій галузі залишається актуальною.

Метою цієї роботи є дослідження електротехнічних систем із напівпровідниковими перетворювачами, математичні моделі яких являють собою жорсткі системи звичайних диференційних рівнянь (ЗДР) в нормальній формі Коші; розробка методу аналізу динамічних властивостей (чисельного розв'язку перехідного процесу), який був би А-стійким (локальна похибка обмежена) щодо означених систем, реалізація його в прикладному пакеті програм дослідження динамічних процесів в електротехнічних системах з постійною та змінною структурою та слідкуючим регулюванням; порівняння розробленного методу з іншими відомими методами аналізу аналогічного призначення.

Поставлена мета вимагає розв'язання слідуючих задач:

– аналізу електротехнічних систем із напівпровідниковими перетворювачами, які описуються математичними моделями із властивістю жорсткості;

– аналізу існуючих методів побудови математичних моделей та методів чисельного розв'язання жорстких математичних моделей;

– розробки А-стійкого методу типу "предиктор-коректор" з використанням вищих похідних для чисельного аналізу динамічних властивостей електротехнічних систем, які характеризуються жорсткими математичними моделями;

– дослідження динамічних процесів у розроблених приладах з метою перевірки і удосконалення їх властивостей та характеристик;

– аналізу можливості використання аналітичних методів розрахунку для досліджуємих систем;

– порівняльного аналізу ефективності різних чисельних методів аналізу та розрахунку динамічних процесів в електротехнічних системах.

Об'єктом дослідження є електротехнічні системи із напівпровідниковими перетворювачами, математичні моделі яких мають властивість жорсткості, та методи їх дослідження.

Методи досліджень. При розв'язанні поставлених задач використовувались: методи, прийняті в електротехніці та теорії електричних кіл; графотопологічні методи розрахунку електричних кіл; методи математичного моделювання: теорія диференційних рівнянь; теорія різницевих рівнянь; теорія матриць; теорія оптимального та екстремального управління; методи теорії автоматичного управління.

Достовірність основних теоретичних положень та результатів перевірялась з використанням математичного моделювання різними чисельними методами.

Наукова новизна проведених досліджень полягає в слідуючому:

– показано, що існує широкий клас електротехнічних систем із напівпровідниковими перетворювачами, які описуються математичними моделями із властивістю жорсткості;

– на основі аналізу сучасних чисельних методів розрахунку жорстких задач надана їх класифікація;

– розроблено метод аналізу динамічних властивостей електротехнічних систем на основі методу "предиктор-коректор" з використанням вищих похідних, який дає можливість здобути стійкий розв'язок при розрахунку жорсткої математичної моделі;

– встановлено, що пропонуємий метод потребує значно меншого об'єму оперативної пам'яті комп'ютера, має велику швидкість, що зменшує час розрахунку у 4...10 разів, а в деяких випадках і більше, що в свою чергу дає можливість використовувати розроблений метод для цілей прямого цифрового управління і регулювання електротехнічними системами із напівпровідниковими перетворювачами;

– показано, що розроблений метод дозволяє одержати стійкий розв'язок жорсткої задачі і тоді, коли постійні часу системи, щодосліджується, рівномірно розподілені від малих до великих у діапазоні своєї зміни;

– одержано залежності впливу перерозподілення постійних часу електротехнічної системи на значення часу розрахунку та кількість обчислень правих частин (похідних).

Практична цінність. В результаті проведених досліджень:

– розроблено метод аналізу динамічних властивостей електротехнічних систем із напівпровідниковими перетворювачами, які описуються жорсткими математичними моделями, що потребує невеликого об'єму оперативної пам'яті комп'ютера та має велику швидкість;

– на основі розробленого методу створено пакет програм, який формалізує процедуру складання математичної моделі електротехнічної системи по його принциповій схемі (щодо об'єктів із незмінними параметрами) для системи n-го порядку; дозволяє автоматизувати процедуру синтезу оптимальної (за інтегральним квадратичним критерієм якості) та наперед стійкої замкнутої системи n-го порядку; проводити аналіз динамічних властивостей означених систем;

– проведено дослідження динамічних властивостей релейних слідкуючих систем: транзисторних імпульсних перетворювачів постійної напруги (ІППН) з постійною і змінною структурами, із живленням як від

джерела напруги, так і від джерела струму, які мають згладжувальні фільтри різного порядку, а також активне чи комплексне навантаження; систем стабілізації швидкості і слідкуючих електроприводів.

Конкретний особистий внесок дисертанта в розробку наукових результатів, які виносяться до захисту:

– проаналізовано широкий клас електротехнічних систем, які мають властивість жорсткості математичної моделі; дана класифікація чисельних методів розрахунку щодо жорстких задач;

– розроблено метод "предиктор-коректор" з використанням вищих похідних для аналізу динамічних процесів в означених електротехнічних системах;

– одержано результати розрахунків динамічних процесів в електротехнічних системах різного порядку, які дозволяють робити висновок про властивості розроблених приладів, а також оцінити ефективність запропонованого в роботі методу розрахунку.

Результати дисертаційної роботи були використані під час розробки високодинамічних інверторів із слідкуючим регулюванням для систем безперебійного електроживлення (завдання 05.21.06/076 комплексного проекту 04.09.03/007К-95 ДКНТПП України). Крім того результати роботи використовуються в учбовому процесі Донбаського гірничо-металургійного інституту в учбових курсах: "ТОЕ" в розділі "Методи аналізу електричних кіл" для студентів електротехнічних спеціальностей; "Методи аналізу та розрахунку електронних схем" для студентів за спеціальністю "Промислова електроніка"; "Основи математичного моделювання" для студентів технічних спеціальностей; "Розрахунки на ЕОМ" для аспірантів технічних спеціальностей.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались на: III Міжнародній науково-технічній конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах та конверсії виробництва" (Хмельницький, 1995р.); ювілейній науково-технічній конференції, присвяченій 100-річчю Тихона Губенка (Львів, 1996р.); на науково-технічних

конференціях Донбаського гірничо–металургійного інституту (1995р., 1996р.)

Публікації. Основні результати роботи відображені у 5 друкованих працях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 глав, висновку, списку літератури та додатків. Вміщує 134 сторінки основного тексту, 36 рисунків на 30 сторінках, 16 таблиць, списку літературних джерел із 141 найменування на 13 сторінках та 36 сторінок додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та задачі досліджень. Викладені основні наукові та практичні результати, одержані в роботі, а також основні положення, які виносяться на захист.

Перша глава присвячена аналізу математичних моделей електротехнічних систем із напівпровідниковими перетворювачами, які в цілому володіють властивістю жорсткості. Різномасштабність процесів, протікаючих в електротехнічній системі, може бути зв'язана з великою різницею постійних часу силової частини та системи управління; може бути великий розкид постійних часу і самої силової частини. Таким чином, рішення, яке описує поведінку електротехнічної системи містить у собі швидко спадаючі та повільно спадаючі складові. По закінченні порубіжного шару розв'язок системи практично повністю визначається повільними складовими. Зроблено висновок про те, що різномасштабність скоріше правило, ніж виключення для електротехнічних систем.

Наведено огляд та дано аналіз сучасного стану та перспектив розвитку методів розв'язання жорстких задач щодо електротехнічних систем. Проаналізовано широкий клас чисельних методів розрахунку жорстких математичних моделей.

В пропонуємій роботі поставлено задачу розробки методу чисельного аналізу динамічних процесів в електротехнічних системах, які описані

жорсткими математичними моделями, який забезпечував би необхідну точність (не нижче п'ятого порядку) та швидкість, порівняну із швидкістю явних методів для подібних математичних моделей, але не жорстких.

На основі проведеного огляду та аналізу запропоновано класифікацію чисельних методів, дозволяючих розв'язувати жорсткі задачі щодо електротехнічних систем.

Друга глава присвячена розробці та аналізу пропонуємого методу "предиктор-коректор" з використанням похідних вищого порядку щодо розрахунку електромагнітних процесів в електротехнічних системах із напівпровідниковими перетворювачами, для якого пошук вищих похідних не є проблемою.

Математична модель об'єкта досліджень являє собою жорстку систему диференційних рівнянь в нормальній формі Коші. Ідея методу полягає в тому, що на кожному i - тому кроці інтегрування прогнозується значення $\mathbf{X}_{i+1}$ (за явною формулою), а потім воно коригується (за неявною формулою).

У пропонуємому варіанті однокрокового методу "предиктор-коректор" з використанням першої та другої похідних послідовність операцій на кроці інтегрування слідуюча

$$\mathbf{X}_{i+1} = \hat{\mathbf{X}}_i + \frac{d}{dt}\hat{\mathbf{X}}_i \Delta t_i + \frac{d^2}{dt^2}\hat{\mathbf{X}}_i \frac{\Delta t_i^2}{2} ;$$

$$\frac{d}{dt}\mathbf{X}_{i+1} = \mathbf{A}\mathbf{X}_{i+1} + \mathbf{u} ;$$

$$\frac{d^2}{dt^2}\mathbf{X}_{i+1} = \mathbf{A}\frac{d}{dt}\mathbf{X}_{i+1} + \frac{d}{dt}\mathbf{u} ; \qquad (1)$$

$$\hat{\mathbf{X}}_{i+1} = \hat{\mathbf{X}}_i + \left(\frac{d}{dt}\mathbf{X}_{i+1} + \frac{d}{dt}\mathbf{X}_i\right)\frac{\Delta t_i}{2} -$$

$$-\left(\frac{d^2}{dt^2}\mathbf{X}_{i+1} - \frac{d^2}{dt^2}\mathbf{X}_i\right)\frac{\Delta t_i^2}{12} ,$$

де X_i — вектор змінних стану в i-тої точці за часом;

X_{i+1} — прогнозуємий вектор змінних стану в i+1 точці;

$\hat{X}_{i+1}$ — скоригований вектор змінних стану;

Δt_i — крок інтегрування.

Запропонований метод має п'ятий порядок точності. Дослідження стійкості пропонуємого методу дозволяє зробити висновок про його А-стійкість. Таким чином, вибір кроку інтегрування зумовлен лише необхідною точністю розв'язку. Контроль локальної похибки здійснюється на кожному кроці інтегрування без використання додаткових величин безпосередньо не одержаних в процесі розрахунку, у зв'язку з чим з'являється можливість автоматично змінювати крок інтегрування.

Третя глава присвячена реалізації розробленого методу "предиктор-коректор" з використанням вищих похідних.

Теоретичні положення, наведені в главі 2, були реалізовані у вигляді пакета прикладних програм розрахунку динамічних режимів роботи перетворювачів постійної напруги (ППН) з постійною та змінною структурами та слідкуючим управлінням. Складання математичної моделі системи та одержання закону управління в пропонуємій роботі повністю атоматизовано.

В програму розрахунку покладено матрично-топологічні методи аналізу електричних кіл, складених з E, C, R, L, I - элементів.

Складення системи диференційних рівнянь з використанням методу змінних стану проходить за допомогою лінійного направленого графа, який в досліджуємих системах складається із $ECRL$ - гілок та $CRLI$ - зв'язок. Для машинного формування матриці коефіцієнтів використовувалась матриця "контур-гілка" $\mathbf{F}$. У цьому випадку система рівнянь Кірхгофа, що описує об'єкт, має вигляд

$$\mathbf{V}^3 = -\mathbf{F}\mathbf{V}^\Gamma ,$$

$$\mathbf{I}^\Gamma = \mathbf{F}^T\mathbf{I}^3 , \qquad (2)$$

де $\mathbf{V}^з$, $\mathbf{V}^г$ — напруга зв'язок і гілок відповідно;

$\mathbf{I}^з$, $\mathbf{I}^г$ — струм зв'язок і гілок відповідно.

Маючи на увазі вирази, зв'язуючи струми і напруги для елементів кожного типу, можна одержати систему рівнянь, придатну для машинного формування матриці коефіцієнтів в методі змінних стану.

Синтез алгоритмів оптимального управління релейних регуляторів проведено за допомогою аналітичного конструювання регуляторів (АКР) за методикою Беллмана-Ляпунова. За критерій оптимальності було прийнято мінімум інтегральної квадратичної похибки, тобто функціонал

$$J = \int_0^\infty \left(\sum_{k=1}^{n} q_k \eta_k \right)^2 dt \ , \qquad (3)$$

де $\eta_k = X_k^* - x_k$ – фазові координати збурюючого руху (похибки);

X_k^*, x_k – відповідно задане та поточне значення фазових координат у відносних одиницях;

n – порядок системи диференціальних рівнянь.

Оптимальне управління мінімізує означений функціонал якості (3) на траєкторіях руху системи і визначається завдяки розв'язанню рівняння Беллмана із подальшою заміною функції Беллмана на функцію Ляпунова

$$U_i = -U_{\max} \operatorname{sign} \left[\sum_{k=1}^{n} m_k \frac{\partial S}{\partial \eta_k} \right] = -U_{\max} \operatorname{sign} \left[\sum_{k=1}^{n} m_k \frac{\partial V}{\partial \eta_k} \right] , \qquad (4)$$

де S – функція Беллмана, що еквівалентна для лініарізованого об'єкту управління функції Ляпунова V.

Процедура знаходження коефіцієнтів функції управління для даного алгоритму автоматизована. Пакет написано на мові FORTRAN 77.

Наведено алгоритм пропонуємого методу "предиктор-коректор" із використанням вищих похідних.

Наведено приклад формування математичної моделі для імпульсного стабілізатора постійної напруги із фильтром 3-го порядку та використанням матрично-топологічних методів, за допомогою методів АКР синтезовано закон оптимального управління ним. Проаналізована можливість одержання розв'язку для досліджуємих систем аналітичними методами. Наведено аналітичне розв'язання для імпульсного перетворювача із змінною структурою на одному із інтервалів постійности структури. Зроблено висновок про те, що завдяки більш простій обчислювальній процедурі та менших обчислювальних витратах, для означених систем доцільно використовувати чисельні методи розрахунку.

В четвертій главі пропонуємий метод розрахунку досліджується при проведенні аналізу перехідних процесів щодо імпульсних перетворювачів різного порядку, з постійною та змінною структурами, з врахуванням неідеальності ключового елементу та з ідеальним ключем, із активним навантаженням та із комплексним індуктивно-ємнісним навантаженням, а також при проведенні аналізу системи стабілізації швидкості електроприводу та позиційного електроприводу.

Метою розрахунків були: аналіз динамічних властивостей розроблених перетворювачів та електроприводів, аналіз можливості вживання та ефективного використання пропонуємого методу щодо аналізу динамічних процесів в електротехнічних об'єктах, які характеризуються властивістю жорсткості математичних моделей. При формуванні математичних моделей об'єктів використовувався метод припасування. Наведено величини власних значень та власних векторів для кожної системи. Критерієм жорсткості аналізуємого об'єкту виступав розкид постійних часу системи.

Попередньо для всіх систем методами АКР синтезувався закон оптимального управління (4).

Як приклад на рис.1 приведено схему одного із досліджуємих приладів — імпульсного стабілізатора постійної напруги із згладжувальним фільтром Кауера 4-го порядку та з релейним слідкуючим управлінням.

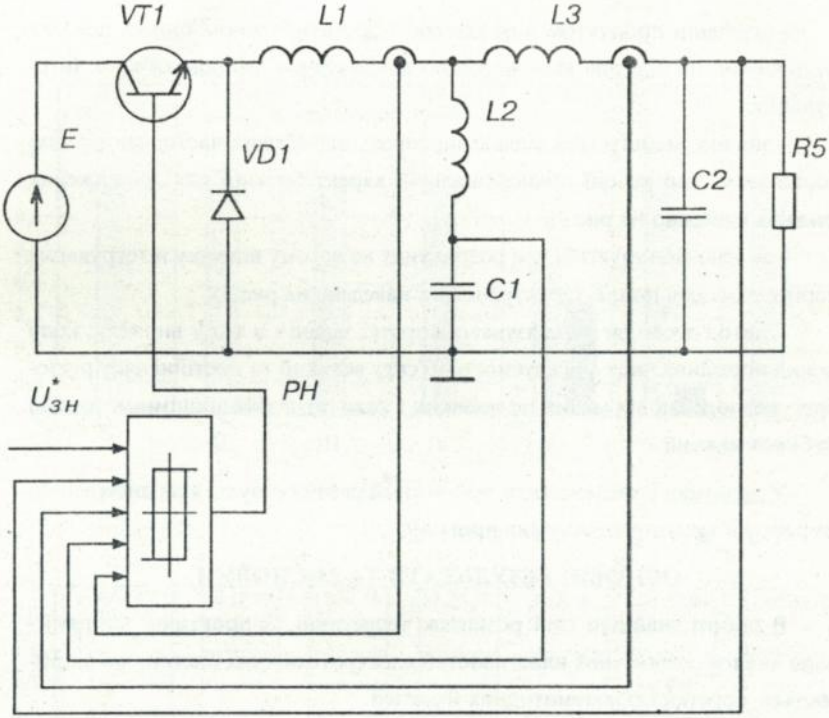

Рис.1

Аналіз динамічних процесів проводився методами Рунге-Кутта 4-го порядку, Рунге-Кутта-Мерсона (використовуючи стандартний математичний пакет NAG), пропонуємим методом "предиктор-коректор" з використанням похідних вищого порядку.

Для всіх вказаних вище методів проводився порівняльний аналіз обчислювальних характеристик завдяки якому можливо зробити такі висновки щодо запропонованого методу:

– метод однокроковий, тому використовується інформація тільки про наступну точку розв'язку, таким чином, метод є таким, що розпочинається сам і не потребує для себе інших обчислювальних алгоритмів;

– побічним продуктом розрахунків є достатньо точна оцінка локальної похибки, на підставі якої можливо автоматично змінювати крок інтегрування;

– значно зменшується кількість розрахунків правих частин (похідних) (порівняльні дані по цій обчислювальній характеристиці для досліджених приладів наведено на рис.2);

– значно зменшується час розрахунку на всьому відрізку інтегрування (порівняльні дані по цій характеристиці наведено на рис.3);

– метод дозволяє розв'язувати жорсткі задачі і в тому випадку, коли розкид постійних часу аналізуємого об'єкту великий та постійні часу рівномірно розподілені від малих до великих і коли розв'язок іншими методами ще більш важкий.

У додатках наведено акти про впровадження результатів дисертаційної роботи, тексти розроблених програм.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

В роботі знайшли свій розвиток теоретичні та практичні напрямки щодо аналізу динамічних властивостей електротехнічних систем, які відрізняються жорсткістю математичних моделей.

1. Проаналізовано широкий клас електротехнічних систем, які описуються математичними моделями з великим розкидом власних чисел матриці коефіцієнтів: електроприводи з ШІП, електромеханічні системи верстатів з високошвидкісними, малоінерційними двигунами, напівпровідникові перетворювачі.

2. Розглянуто проблему різномасштабності процесів, протікаючих у вищеперелічених системах. Наведено класифікацію чисельних методів аналізу та розрахунку для електротехнічних систем, математичні моделі яких відрізняються властивістю жорсткості.

3. Показано, що ефективний аналіз динамічних процесів в електротехнічних системах, які описуються жорсткими математичними моделями, потребує такого чисельного методу, який дозволяв би змінювати величину кроку інтегрування у широкому діапазоні, зберігаючи при цьому обчислю-

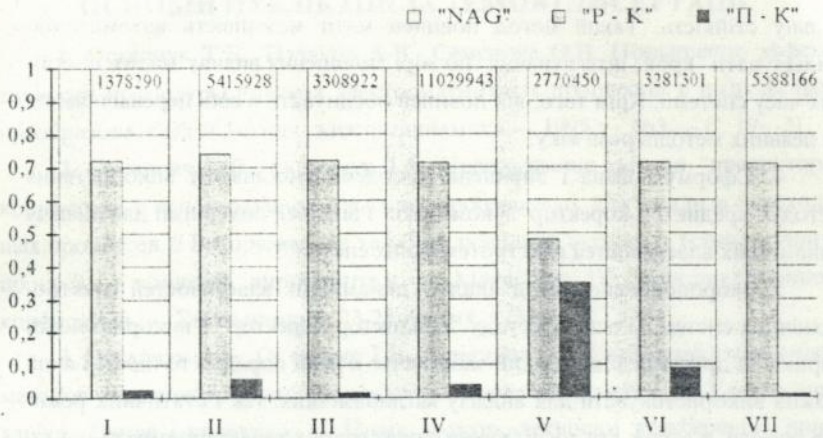

Рис. 2

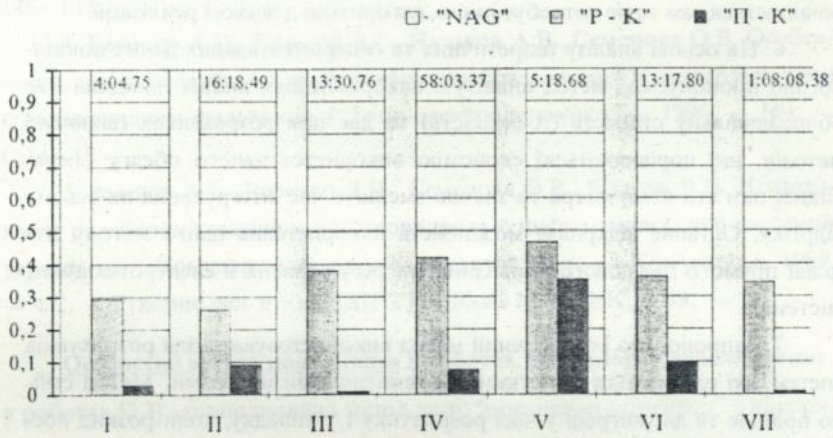

Рис. 3

Примітка: На гістограмах (рис. 2, 3) прийняті слідуючі позначення:

I – ІППН з фільтром 2-го порядку;
II – ІППН з фільтром 3-го порядку;
III – ІППН з фільтром 4-го порядку;
IV – ІППН з фільтром 5-го порядку;
V – ІППН з фільтром 4-го порядку із *R-L-C*-навантаженням;
VI – система 3-го порядку (система стабілізації швидкості ЕП);
VII – система 4-го порядку (позиційний ЕП).

вальну стійкість. Такий метод повинен мати можливість автоматично збільшувати крок інтегрування по мірі зменшення впливу малих постійних часу системи. Крім того, він повинен поєднувати в собі переваги явних та неявних методів розв'язку.

4. Сформульована і вирішена проблема можливості використання методу "предиктор-коректор" в комплексі з вищими похідними для аналізу динамічних властивостей електротехнічних систем.

5. Запропоновано метод аналізу динамічних властивостей електротехнічних систем на основі методу "предиктор-коректор" з використанням першої та другої похідних, який забезпечує п'ятий порядок точності і який можна використовувати для аналізу як динамічних, так і статичних режимів роботи, а також для дослідження енергетичних характеристик та показників якості електротехнічних систем. Розроблений метод є таким, що розпочинається сам та не потребує інших алгоритмів для своєї реалізації.

6. На основі аналізу теоретичних та екпериментальних даних показано, що пропонуємий метод аналізу з використанням вищих похідних має обчислювальну стійкість (А-стійкість) та дає при розрахунках (відносно методів, що порівнюються) економію використовуваного обсягу оперативної пам'яти комп'ютера та значно зменшує час інтегрування на всьому відрізку. Останне відкриває можливість використання цього методу для цілей прямого цифрового управління та регулювання в електротехнічних системах.

7. Запроновано розроблений метод використовувати для розрахунків систем, які описуються жорсткими математичними моделями. Метод стійко працює та дає виграш у часі розрахунку і у випадку, коли розкид постійних часу системи великий, але вони (постійні часу) рівномірно розподілені від малих до великих в діапазоні своєї зміни та коли розв'язок іншими методами ще більш незручний.

8. Одержано результати розрахунків динамічних процесів в електротехнічних системах різного порядку, які дозволяють зробити висновок про властивості розроблених приладів, а також оцінити ефективність запропонованого в роботі методу розрахунку.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Остапчук Т.Б., Пузаков А.В., Семенова О.В. Повышение эффективности процедуры анализа электромагнитных процессов в импульсных преобразователях // Технич. электродинамика.— 1995.— №3.— С. 19—21.

2. Семенова О.В., Остапчук Т.Б. Использвание метода "предиктор-корректор" с использованием высших производных для анализа переходных процессов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах і конверсії виробництва. — Матеріали III науково-технічної конференції. — Хмельницкий, 23-25 травня, 1995р.— С. 156.

3. Остапчук А.Б., Остапчук Т.Б., Семенова О.В. Выбор рациональных методов численного анализа электротехнических систем // Електромеханіка. Теорія і практика. — Праці науково-технічної конференції, присвяченої 100-річчю Тихона Губенка. — Львів, 25—28 вересня 1996 р. — С. 146—148.

4. Баранов А.Н., Глазков В.Г., Пузаков А.В., Семенова О.В. Особенности стабилизирующих импульсных преобразователей с многозвенными сглаживающими фильтрами // Техн. электродинамика. — 1996. — №4. — С.14—18

5. Зеленов А.Б., Рябенко Л.Н., Семенова О.В., Яблонь В.П. Исследование релейного следящего электропривода с цифро-аналоговой системой управления / Комунарський гірничо-металург. ін-т. — Комунарськ. 1989. — 4 С. — Рукопис деп. в УкрНДІНТІ 31.03.89 № 930 УК — 89.

Особистий внесок пошукувача в роботах, написаних в співавторстві:

у роботах [2,3] запропоновано метод типу "предиктор-коректор" з використанням вищих похідних для чисельного аналізу перехідних процесів в електротехнічних системах; у [1,4] реалізовано пропонуємий метод для аналізу динамічних процесів в стабілізуючих імпульсних перетворювачах з багатоланковими згладжувальними фільтрами; у [5] проведено аналіз режимів роботи системи слідкуючого електроприводу.

Пошукувач Семенова **О.В.Семенова**

Семенова О.В. Исследование динамических процессов в электротехнических системах с полупроводниковыми преобразователями.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 — электротехнические комплексы и системы, включая их управление и регулирование. Институт проблем энергозбережения НАН Украины, Киев, 1977.

Защищается 5 научных работ, в которых приведены теоретические исследования и результаты вычислительных экспериментов в области анализа динамических процессов в электротехнических системах с полупроводниковіми преобразователями, которые характеризуются жесткими математическими моделями. Приведена класификация численных методов решения жестких задач применительно к электротехническим системам. Разработан А-устойчивый метод "предиктор-корректор" с использованием высших производных. Доказана эффективность его применения для жестких моделей в случае равномерного распределения собственных чисел системы в диапазоне своего изменения.

Semenova O.V. Investigation of dynamic processes of the electrotechnical systems with semiconductor converters.

Thesis for a Candidate of technical sciences on speciality 05.09.03 — electrotechnical complexes and systems including their control and adjusting, Institute of Energy Saving Problems, Kyiv, 1997.

Defend 5 scientific papers, which contain theoretical investigations and the results of calculation experiments in the field of dynamic processes analysis as applied to electrotechnical systems with semiconductor converters described by means of stiff mathematical model (SMM). Numerical methods of solving SMM for electrotechnical systems have been analyzed. Worked out A-stable method "predictor-corrector" with use of high order derivatives has been worked out. Proved efficiency of its application for SMM.

Ключові слова: електротехнічна система, напівпровідниковий перетворювач, жорстка математична модель, чисельний аналіз, динамічний процес.

Донбаський гірничо-металургійний інститут
м.Алчевськ Луганської обл., пр.Леніна, 16

Тираж 100. Друк.арк. 1,0