НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

На правах рукопису

ХАЛІКОВ Володимир Акнафович

СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЗМІННОЇ НАПРУГИ З ТРАНСФОРМАТОРНО-КЛЮЧОВИМИ ВИКОНАВЧИМИ ОРГАНАМИ

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

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття вченої ступені кандидата технічних наук

Київ - 1995

Робота виконана в Інституті електродинаміки НАН України

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор К.О.ЛИПКІВСЬКИЙ

Офіціальні опоненти - доктор технічних наук, професор В.М.ЧЕРМАЛИХ

кандидат технічних наук В.О.НОВСЬКИЙ

Ведуча організація - ВО "МАЯК", м.Вінниця

Захист дисертації відбудеться "23" березня 1995р. в 14 годин на засіданні спеціалізованої Вченої ради К 016.63.01 в Інституті проблем енергосбереження НАН України по адресу 252070 Київ, вул. Покровського ,11. З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту.

Автореферат розісланий "22" лютого 1995р.

Вчений секретар
спеціалізованої Вченої ради
кандидат технічних наук Ю.Г.Блавдзевич

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ.

На шляху від генератора до споживача параметри електричної енергії зазнають неодноразових перетворень для найбільш ефективних її передачі, розподілу та використання. Напруга живлення є параметром, від якого залежить не тільки нормальне функціонування устаткування та апаратури, а й інтенсивність того чи іншого технологічного процесу, якість кінцевої продукції, техногенний вплив на середовище. Для регулювання напруги змінного струму в багатьох випадках найбільш прийнятним є використання трансформаторно-ключових виконавчих структур (ТКВС). Проте притаманні цим структурам високі техніко-енергетичні характеристики, належний рівень електромагнітної сумістності з споживачем та мережею живлення можна реалізувати тільки при відповідній організації управління ними. Дослідження, розробка ТКВС різних класів та систем регулювання з їх використанням проводяться в ІЕД НАН України, Рязанському радіотехнічному інституті, політехнічних інститутах Нижнього Новгорода і Челябінська, Томському інституті автоматичних систем управління та регулювання, Азербайджанському НДІ енергетики та інших організаціях.

Серед ТКВС чільне місце, завдяки застосуванню в них принципу розділення регульованої та нерегульованої потужностей, займають перспективні для ряду галузей техніки структури на основі вольтододаткових трансформаторів (ВДТ). В межах цього класу структур створено багато оригінальних схемотехнічних рішень, в тому числі з участю автора, одержані основні розрахункові співвідношення трансформаторних елементів при їх ідеалізації, тощо. Разом з тим, системний підхід

виявляє цілу низку питань, пов'язаних з аналізом робочих характеристик таких ТКВС, виявом впливу на них внутрішнього опору та характеру навантаження, організацією раціонального управління та ін., що ще не знайшли свого задовільного вирішення. Це в певній мірі гальмує широке впровадження систем регулювання змінної напруги (СРЗН) на основі ТКВС.

Дисертація в певній мірі узагальнює майже п'ятнадцятирічний досвід роботи автора в ІЕД НАН України в данному напрямі. Дослідження велися в рамках плану НДР АН УРСР "Наукові основи електроенергетики" на 1981-85рр. по проблемі 1.9.6.2. "Перетворення та передача електромагнітної енергії" і по проблемі 1.9.2.2. "Перетворення, передача, та розподіл електроенергії", при виконанні НДР "Блок" (постанова №520 від 19.12.1979р. та розпорядження №1317 від 23.07.1881г. Президії АН УРСР, постанови ДК СРСР по науці і техніці №164 від 08.06.1981р.), "Істок"(постанова Президії АН УРСР №535 від 25.11.1983р.), "Сноп"(постанова Президії АН УРСР №402 від 11/24.12.1987р.), "Система-П"(постанова Вченої Ради ІЕД АНУ від 27.12.1991р.).

Таким чином викладене показує актуальність роботи.

МЕТА РОБОТИ.

Виконати науково-обгрунтовані технічні розробки основних блоків систем регулювання напруги на базі трансформаторно-ключових виконавчих структур з розподілом регульованої та нерегульованої потужностей, спрямовані на впровадження у виробництво високоефективних стабілізаторів змінної напруги та покращення за їх рахунок умов живлення електроспоживачів різного функціонального призначення

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Визначити особливості функціонування виконавчих органів (ВО) систем регулювання змінної напругуги (СРЗН), впливаючих на їх інерційність.

2. Провести аналіз характеристик ВО СРЗН по управлінню.

3. Провести моделювання СРЗН з метою аналізу їх стійкості та режимів роботи.

4. На основі результатів аналізу запропонувати нові способи регулювання і схеми СРЗН.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.

При роботі в першу чергу використовувалися загальновідомі методи теорії регулювання: передаточних функцій, прямого та зворотного z-перетворення, алгебричні методи дослідження стійкості, білінійного перетворення й ін. На різних етапах застосовувалися методи теорій електричних кіл і машин. Аналіз якості регулювання проводився за допомогою машинного моделювання СРЗН. Експериментальні дослідження проводилися на фізичних моделях ВО, лабораторних і промислових зразках СРЗН, у процесі експлуатації їх серійних зразків.

НАУКОВА НОВИЗНА. Новизна роботи полягає:

- у запропонованих способах управління, що дозволяють запобігти впливові нелінійності та змінності параметрів ВО СРЗН, виконувати імовірнісну обробку сигналу відхилення, врахувати стан магнітної системи регулючих трансформаторів;

- у зведенні регулюючих властивостей ВО СРЗН до вигляду характеристик управління;

- у виявленні взаємозв'язку між магнітними властивостями осердя регулюючого трансформатора, моментом зміни параметру управління ВО й динамічними характеристиками всієї системи;

- у визначенні умов, що дозволяють одержати незмінність похибки регулювання та мінімум зміщення діапазону роботи ВО при змінах його конфігурації в процесі регулювання;

- у запропонованих структурних та принципових схемах СРЗН, визначених умовах, що забезпечують їх стійкість, необхідні режими роботи, якість регулювання.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ.

Одержані основні розрахункові співвідношення для елементів корекції СРЗН та розроблена методика їх проектування для цифрових систем. Виконано порівняння ВО та рекомендовані конфігурації їх схем. Розроблені практичні схеми СРЗН та рекомендації по досягненню необхідних режимів їх роботи.

Одержані результати можуть бути використані при проектуванні як простих по конструкції, так і високоефективних стабілізаторів змінної напруги спеціального та загального призначення, а також інших СРЗН.

РЕАЛІЗАЦИЯ В НАРОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ.

Результати роботи застосовані в ряді виробів, що розроблялися на замовлення різних організацій, чи з власної ініціативи. Це, наприклад, блок живлення гібридної ЕОМ "Екстрема-21" (виготовлення Житомирського ВО "Електровимірювач"), автоматизований комплекс (СБА6) контролю джерел живлення (НВО "Антей", м.Москва), регулятор змінної напруги сервісного стенду ЕСА 020 для ЕОМ "Ряд-3" (Завод "Маяк", м.Вінниця). Найбільший економічний ефект дає серійний випуск стабілізаторів змінної напруги ССП220/2,5 (потужність 2,5кВА), починаючи з 1990р., та ССП220/600 (потужність 600ВА), з 1994р. (Завод "Маяк", м.Вінниця). Впроваджено також ряд інших розробок СРЗН.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ.

Матеріали роботи доповідалися автором та обговорювалися на 3, 4, 5, Всесоюзних науково-технічних конференціях "Проблеми перетворювальної техніки" (м.Київ, 1983р., м.Чернігів, 1987р., 1991р.), на третіх Всесоюзних науково-технічних зборах "Проблеми електромагнітної сумісності силових напівпровідникових перетворювачів" (Таллін, 1986р.) і т.д..

ПУБЛІКАЦІЇ.

Результати роботи по темі дисертації, крім звітів по НДР та госпдоговорах, відображені більше чим у 30 друкованих роботах, в тому числі 9-ти статтях та доповідях, 22-х авторських свідоцтвах СРСР, препринті.

СТРУКТУРА ТА ОБСЯГ РОБОТИ.

Дисертація складається з вступу, п'яти глав, заключення, переліку літератури, додатків. Основна частина роботи викладена на 198 сторінках включаючи 152 сторінки машинодруку та 65 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність теми роботи, сформульовані задачі досліджень, що виникають при вирішенні проблеми регулювання змінної напруги за допомогою ТКВС.

В першій главі проводиться аналіз стану речей в данному питанні. Узагальнено основні позитивні якості ТКВС при регулюванні напруги. Обгрунтовується вибір об'єкту регулювання - ТКВС, виконаних на основі принципу поділу регульованої та нерегульованої потужності для трансформаторів ВО та його ключів.

Показано, що стан його магнітної системи під час комутації разом з неповною керованістю тиристорних ключів ВО є

джерелом затримки в часі реакції ВО на сигнал управління. Відмічено, що для характеристики ВО СРЗН з точки зору управління користуються його регулювальною характеристикою ($f_{рег}$), яка показує, як змінюється вихідна напруга ($U_{вих}$), при незмінності вхідної ($U_{вх}$), з варіаціями управляючого параметру (i) ВО. Такої однієї характеристики недостатньо для раціональної організації роботи системи, оскільки вона не дає зв'язку між основним збурюючим фактором СРЗН - $U_{вх}$ і необхідною зміною управляючого параметру, що компенсує це збурення. Показано, що запропоновані аналогові моделі СРЗН, які є не тільки імпульсними, а часто і цифровими, не адекватно відображають цілком правильні технічні рішення. Перевага віддавалась цифровим системам, як таким, що забезпечують при менших витратах необхідну коррекцію роботи системи, а управляючим параметром (i) ВО котрих є число (код).

У другій главі проведений аналіз ВО, а також режимів роботи СРЗН. Показано, що на габарити ВО має вплив режим роботи системи (стабілізації чи стеження), а на діапазон роботи СРЗН внутрішній опір ВО. Рекомендовані конфігурації включення ВДТ, що зменшують вплив внутрішнього опору ВО.

Запропоновано для ВО СРЗН, крім $f_{рег}$, додатково користуватись характеристикою управління, яка показує, на скільки треба змінити управляючий параметр (Δi) при стрибку $U_{вх}$, щоб відновити значення $U_{вих}$ ВО на тому ж самому рівні. На рис.1 показано утворення такої характеристики управління (б) ВО СРЗН, що розрахована на режим стабілізації, а регулювання, при зміні $U_{вх}$ від мінімального ($U_{вх.min}$) до максимального ($U_{вх.max}$) значень, відбувається почерговим перебором коеффієнтів передачі $f_{рег.i}$ при $U_{вх.i} = \gamma^{i-1} \cdot U_{вх.min}$, шляхом

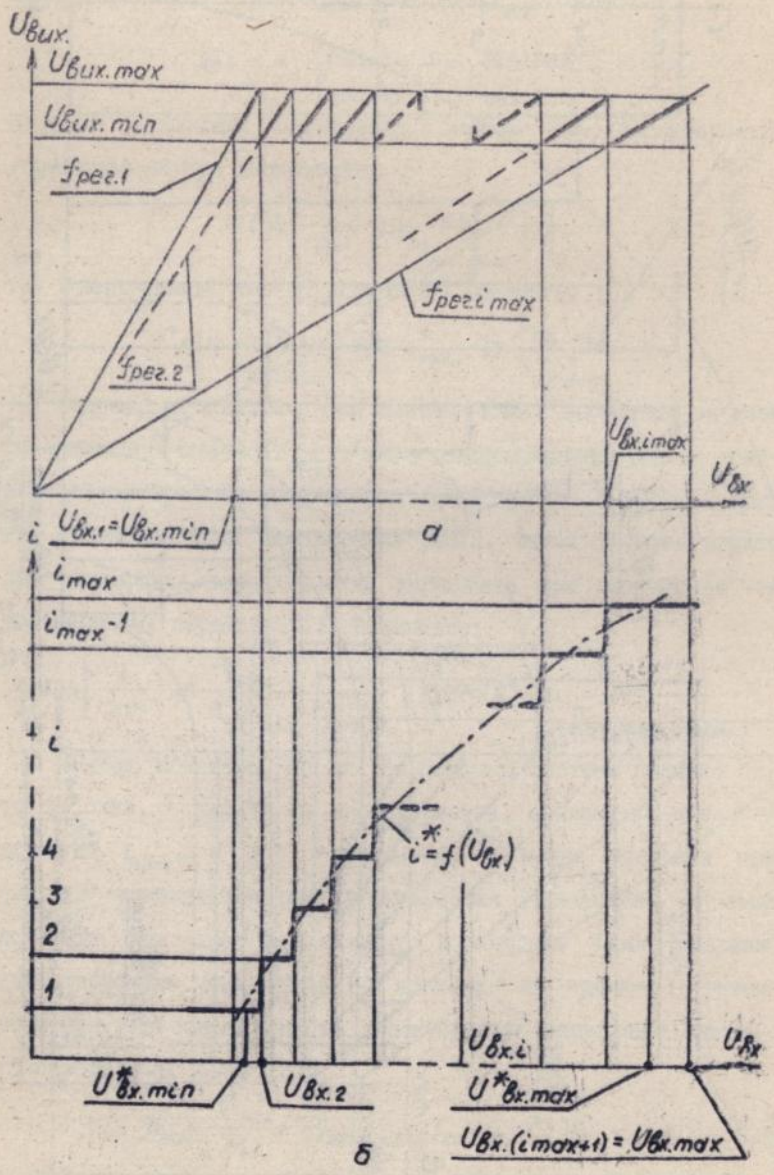
Uвих.
Uвих.max
Uвих.min
fрег.1
fрег.2
fрег.i max
Uвх.imax
Uвх
Uвх.1=Uвх.min
а
i
imax
imax-1
i
4
3
2
1
i*=f(Uвх)
Uвх.i
Uвх
U*вх.min
Uвх.2
U*вх.max
Uвх.(imax+1)=Uвх.max
б

Рис.1

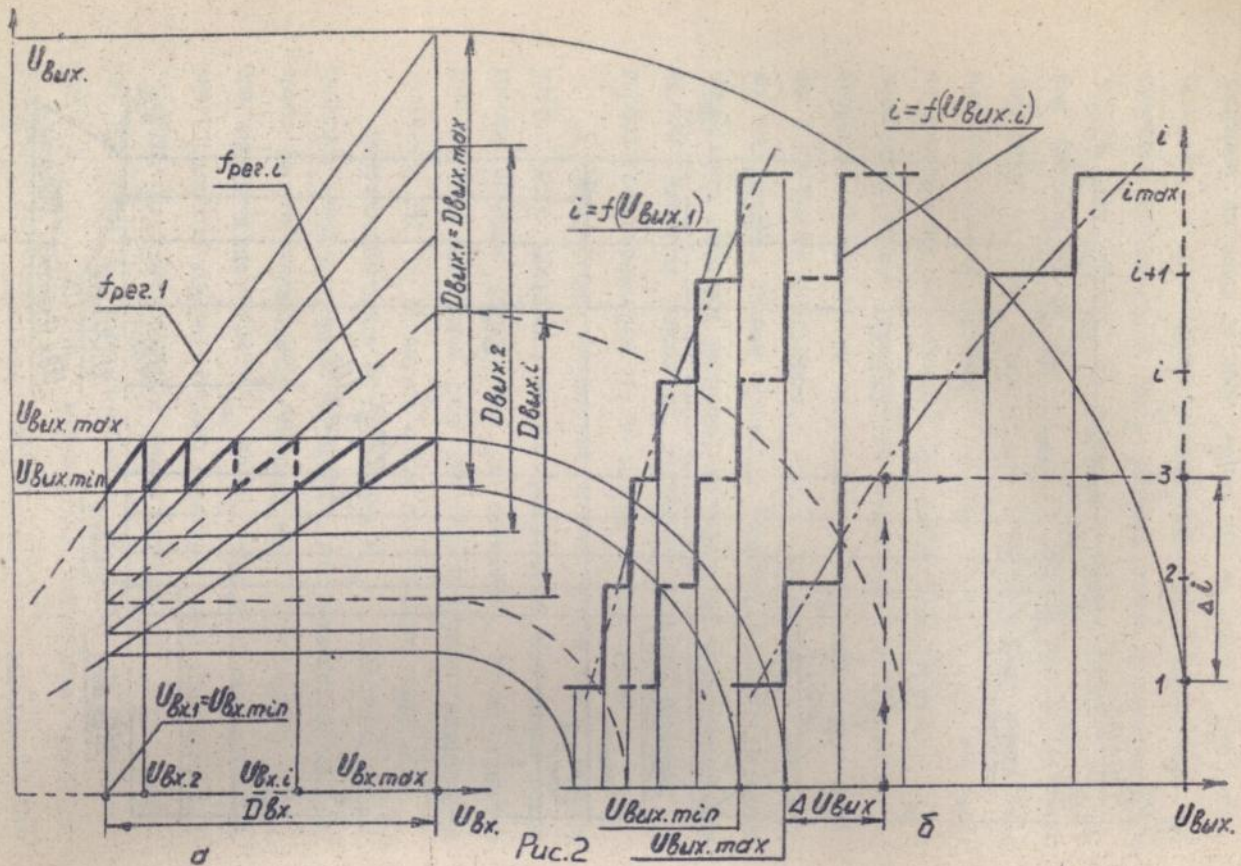
Uвых.
fрег.i
fрег.1
Uвых.max
Uвых.min
Dвых.1=Dвых.max
Dвых.2
Dвых.i
Uвх.1=Uвх.min
Uвх.2
Uвх.i
Uвх.max
Dвх.
Uвх.
а
i=f(Uвых.i)
i=f(Uвых.1)
i
imax
i+1
i
3
2
1
Δi
Uвых.min
Uвых.max
ΔUвых
б
Uвых.

Рис.2

зміни управляючого параметра від 1 до 1_{max} і навпаки.

$$\text{Де: } \gamma = \frac{f_{рег.i}}{f_{рег.(i+1)}} = \frac{U_{вих.max}}{U_{вих.min}} .$$

Одержані відповідні математичні вирази для характеристик управління як при дискретній:

$$1=\mathrm{Int}\left[\frac{1}{\ln\gamma}\cdot\ln\frac{U_{вх}}{U_{вх.min}}+1\right],$$

так і непреривній зміні управляючого параметру 1^*:

$$1^*=\ln\frac{U_{вх}}{U_{вх.min}} \text{ при } 1^*_{max}=\ln\frac{U_{вх.max}}{U_{вх.min}} .$$

Однак, як правило, такі системи мають зворотний зв'язок по вихідній напрузі ($U_{вих}$), тому запропоновано використовувати характеристики управління, приведені до вихідної напруги, утворення яких ілюструється рис.2. Також одержані вирази для відповідних характеристик управління при дискретному та неперервному параметрах 1. Відповідно:

$$1=\mathrm{Int}\left[\frac{1}{\ln\gamma}\cdot\ln\frac{U_{вих}}{U_{вх.min}\cdot f_{рег.i}}+1\right] \text{ та } 1^*=\ln\frac{U_{вих}}{U_{вх.min}\cdot f_{рег.i}} .$$

Наочно показано, що для ВО цифрової системи повинно бути не одна, а ряд таких характеристик, причому їх кількість дорівнює 1_{max}, а для непреривної, - можна говорити про область місцезнаходження характеристик управління, оскільки їх число при цому нескінченно. Відповідним чином одержані характеристики управління ВО системи, що працює в режимі стеження. На основі виразів характеристик управління одержано передаточну функцію ВО:

$$W_{во}=\frac{dU_{вих}}{d1} = U_{вих.min}\cdot f_{рег.i}\cdot\gamma^{1}\cdot\ln\gamma ,$$

і зроблено висновки про змінність параметрів ($f_{рег.i}$) ВО і їх нелінійності по управлінню,а значить і СРЗН в цілому.

Показано, що в режимі стеження добавляється ще один змінний параметр, пов'язаний з варіаціями рівня задаючої величини.

Обгрунтована можливість реалізації лінійних характеристик управління ВО за рахунок ускладнення ТКВС і приведені вирази для оцінки цього.

Досліджено вплив моменту та рівня зміни управляючого параметра на габарити регулюючого трансформатора, або можливу інерційність СРЗН в цілому. Показано, що причиною цього являється властивість матеріалу осердя трансформатора.

Показано, що навіть при найкраще організованих СРЗН по середньому або діючому її значенням, рахуючись з імовірністю характеру відхилення напруги та затримками в ВО по управляючому сигналу, період дискретизації системи має досить велике значення (не менш як 2,5-5 періодів струму). Це обумовлює те, що верхня гранична частота збурення системи буде досить низька (4-7 Гц при частоті струму 50 Гц), а єдиним засобом поліпшення динамічних характеристик СРЗН являється, в такому разі, підвищення частоти струму.

Запропоновані імпульсні структурні схеми СРЗН, що реалізують інтегральний (І) (рис.3а) та интегрально-диференціальний (ІД) закони регулювання. (Останній буде реалізований при включенні в розрив точки "а" (рис.3а), вузла, зображеного на рис.3б, функція якого має вид: $W_д = 1+z^{-m}$.) Одержані передаточні функції по похибці для відповідних систем:

$$W_п = \frac{f_{рег.і}}{1+\frac{1}{z-1}\cdot z^{-j}\cdot K_{зз}\cdot K_п} = \frac{z^j\cdot(z-1)\cdot f_{рег.і}}{z^{(j+1)}-z^j+K_\Sigma} \quad \text{та}$$

$$W_п = \frac{f_{рег.і}}{1+\frac{1}{z-1}\cdot z^{-j}\cdot K_\Sigma\cdot(2+z^{-m})} = \frac{f_{рег.і}\cdot(z-1)\cdot z^{j+m}}{(z-1)z^{j+m+1}\cdot z+2K_\Sigma\cdot z^m-K_\Sigma}.$$

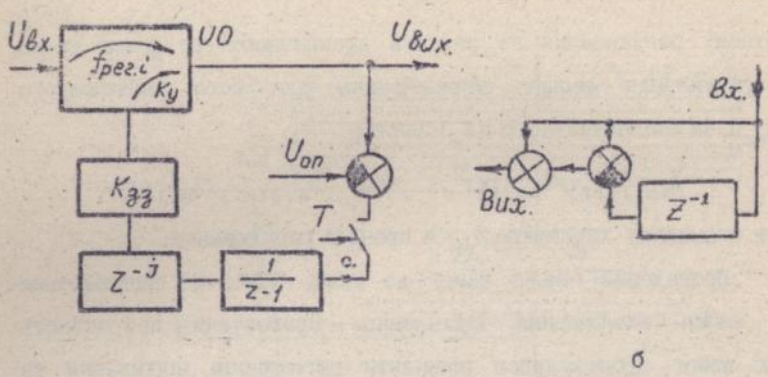

Рис.3

де: m та j- цілі числа, що характеризують відповідно час затримки в періодах дискретизації при визначенні швидкості відхилення та затримку в ВО сигналу управління, а $K_{\Sigma}=K_{зз}\cdot K_{у}$.

На основі отриманих функцій систем досліджена їх стійкість, а також проаналізовано режими їх роботи. Показано, що найбільший запас стійкості має система з І-регулятором без затримок в ній по сигналу управління, і, водночас, вона єдина дозволяє одержати мінімальну тривалість перехідного процесу в системі при стрибку $U_{вх}$ (оптимум регулювання), який може бути досягнутий тільки при $K_{\Sigma}=1$. Зроблений висновок, що оскільки сам принцип регулювання вимагає зміни параметру $f_{рег.}$, який входить в передаточну функцію ВО, то неможливо при незмінному коефіцієнті зворотного зв'язку $K_{зз}$ завжди витримати умову $K_{\Sigma}=1$. Тому для досягнення незалежності динамічних характеристик СРПН від стану ВО на момент відхилення $U_{вих}$ необхідно кожного разу відповідно змінювати величину $K_{зз}$.

У третій главі розроблені заходи по зниженню похибки регулювання в СРЗН. Показано, що для мінімізації вкладу ВО в

похибку регулювання за рахунок дискретності по рівню треба дотримуватися деяких співвідношень для його внутрішнього ($Z_{вн}$) та еквівалентного (Z_e)опорів:

$$Z_{вн.(i+1)}/Z_{вн.i} \leqslant \gamma^2, \quad або \quad Z_{e.(i+1)}/Z_{e.i} \leqslant \gamma$$

при незмінніму характері $Z_{вн}$ в процесі регулювання.

Проведений аналіз вимог до узлів СРЗН, що висуваються на етапі вимірювання відхилення. Враховуючи несумісність цих вимог пропонується розділяти регістрацію відхилення та вимірювання його величини. Розроблені методи та схеми, що дозволяють зменшити інструментальну складову похибки регулювання при варіаціях температури середовища, частоти струму, зміни параметрів деталей тощо.

В четвертій главі проведений аналіз СРЗН на ЕОМ, що в цілому (з точністю до зміни $f_{рег}$ в %) підтвердив попередні результати. Показано на конкретно взятому прикладі СРЗН (стабілізаторі з $U_{вх}$=150-250В, 1_{max}=20), що оптимум регулювання завжди буде знаходитися в діапазоні $K_{зз}$=0,121--0,21(1/В). Наприклад, при стрибку від $U_{вх.min}$ до середини діапазону $K_{зз}$ повинен дорівнювать 0,15(1/В) (рис.4), але для досягнення того ж результату при зміні $U_{вх}$ на ту ж величину, але від точки $U_{вх.max}$, треба, щоб $K_{зз}$=0,19(1/В). Для досягнення оптимуму регулювання при незмінності $K_{зз}$ запропоновано позбавитись впливу змінного параметру ВО в сигналі відхилення. Досліджена машинна модель такої системи і показана ефективність її роботи. Запропоновані схеми СРЗН, в яких використовується цей принцип, наприклад, шляхом перемноження величини відхилення в цифроаналоговому перетворювачі (ЦАП) на величину, зворотну $f_{рег.i}$,що задається при допомозі коду на цифрових входах ЦАП (рис.5) і т.п. Відмічено, що при цьому

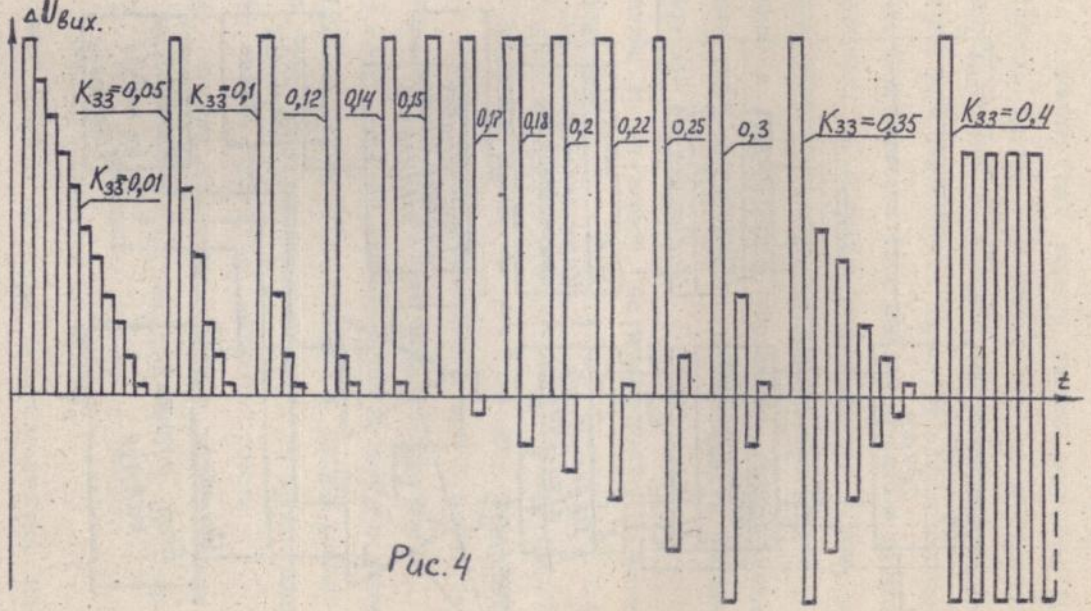
ΔU вих.
K33=0,05
K33=0,1
0,12
0,14
0,15
0,17
0,18
0,2
0,22
0,25
0,3
K33=0,35
K33=0,4
K33=0,01
t

Рис. 4

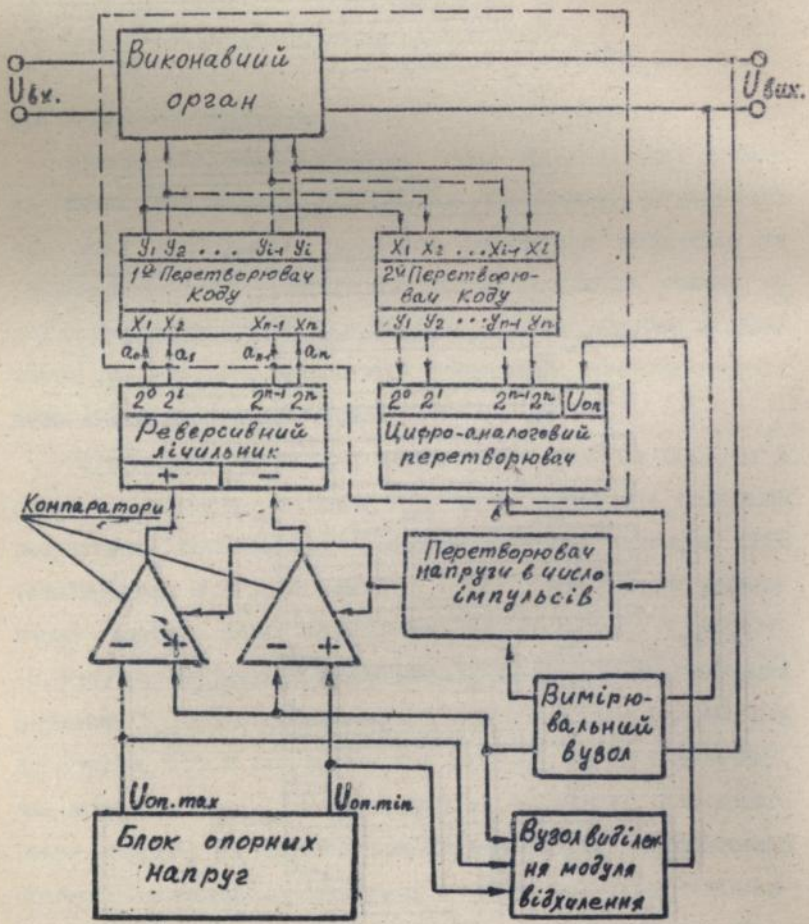
Виконавчий орган
Uвх.
Uвих.
1й Перетворювач коду
2й Перетворювач коду
Реверсивний лічильник
Цифро-аналоговий перетворювач
Uоп
Компаратори
Перетворювач напруги в число імпульсів
Вимірювальний вузол
Uоп.max
Uоп.min
Блок опорних напруг
Вузол виділення модуля відхилення

Рис.5

фактично проводиться зведення ряду характеристик управління ВО до однієї, а значить такої корекції системи достатньо при умові їх лінійності. Проте, в зв'язку з тим, що як правило, характеристики управління ВО нелінійні, запропоновано проводити цифрову корекцію управляючого параметру шляхом включення додаткового перетворювача кодів між накопичувачем та входами ВО. Показано, що нелінійна залежність між кодами на вході та виході цього перетворювача повинна відповідати нелінійності однієї з характеристик управління. Запропоновано ряд інших схем СРЗН, що враховують нелінійність та множинність характеристик управління.

Запропоновані прості вирази, що дозволяють проектувати коректуючі вузли СРЗН.

Відмічено, якщо до ВО віднести елементи корекції (рис.5) (модифіковані входи ВО -a_0, $a_1 \ldots a_n$, а його вихід точка -в), то результати аналізу систем, приведені в другій главі, будуть вже справедливі без поправок на змінність парамеру ВО.

В п'ятій главі наведені експериментальні дані, а також характерні приклади роботи СРЗН. Розглянута схемна реалізація ВО систем, дана характеристика дослідних та промислових зразків виробів, в яких використані результати роботи.

В додатку наведені програми, моделюючі роботу систем різних типів та з різними елементами коррекції, а також матеріали, що показують впровадження результатів роботи.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Досліджено вплив на параметри та характеристики СРЗН інерційних властивостей як ключових, так і електромагнітних компонентів ВО таких систем, які в ряді випадків залежать від моменту зміни управляючої величини та її модуля.

2. Досліджені нелінійність та змінність параметрів СРЗН по управлінню, що виникають за рахунок властивостей та принципу роботи їх ВО, причому характер нелінійності та змінність параметрів описана відповідними характеристиками.

3. Визначені залежності характеристик управління від величини діапазону регулювання. Показані ті параметри ВО, що приводять до необхідності зміни характеристик управління при функціонуванні системи. Досліджені шляхи зменшення мінливості характеристик за рахунок мінімізації впливу внутрішнього опору ВО, що досягається відповідним вибором конфігурації ВО, структури його побудови тощо.

4. Визначено значення верхньої граничної частоти збурення регулюємої величини, що характеризує динамічні властивості системи.

5. Визначено, що оптимум регулювання при стрибкоподібних збуреннях СРЗН може бути досягнутий тільки при інтегральному законі регулювання та мінімально можливому порядку системи. Досліджені різні режими роботи систем при варіаціях коефіцієнта підсилення кола зворотного зв'язку, та стійкість системи.

6. Визначено, що за рахунок конформних перетворень вузлів вимірювання та порівнювання в СРЗН, без застосування більш складних способів її зменшення, може бути досягнута досить мала величина інструментальної похибки регулювання.

7. Визначені співвідношення для внутрішнього та еквівалентного опорів ВО, дотримання яких забезпечує незмінність складової похибки регулювання, що пов'язана з дискретністю процесу регулювання в ВО, а також являються умовою незмінності поведінки характеристик управління при варіаціях на-

вантаження.

8. Досліджені два способи одержання лінійних характеристик управління, один із яких пов'язаний з змінами в силовій структурі ВО, а другий, більш перспективний,- з корекцією ВО по управлінню.

9. Запропоновані досить прості методи компенсації впливу змінності параметрів ВО, застосування яких, разом його лінеаризацією по управлінню, зводить нелінійну систему з змінними параметрами до лінійної, але з незмінними їх значеннями.

10 Запропоновані та реалізовані оригінальні схемотехнічні рішення основних вузлів та СРЗН в цілому.

11. Кінцеві та проміжні результати роботи знайшли відображення в ряді промислових та дослідних зразків пристроїв з СРЗН, робота яких, в цілому підтвердила викладене.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

I. Сидоренко Ю.В., Халиков В.А. Стабилизаторы переменного напряжения, нечувствительные к колебаниям частоты тока питающей сети. - В кн. Проблемы электромагнитной совместимости силовых полупроводниковых преобразователей: Тез. докл. Третьего всесоюзного научн.-техн. совещ.,Таллин, 1986, ч.2, с.108,109.

2. Сидоренко Ю.В., Халиков В.А., Можаровский А.Г., Фуртат В.П. Повышение чувствительности систем контроля выходного напряжения стабилизированных преобразователей - В кн.: Проблемы преобразовательной техники: Тез. докл. Всесоюзн. научн.-техн. конф., Киев, 1987, ч.4, с.207-209.

3. Сидоренко Ю.В., Халиков В.А., Можаровский А.Г. Релейно-импульсные стабилизаторы переменного напряжения с улучшенными точностными и динамическими характеристиками. - В кн.: Силовые полупроводниковые преобразователи и электрооборудование для энергосберегающих технологий. Киев: ИПЭ АН УССР, 1988, с.102-107.

реннего сопротивления дискретно-управляемого регулирующего органа стабилизаторов переменного напряжения. - В кн.: Оптимизация систем питания и электрооборудования электротехнологических установок. Киев: ИЭД АН УССР, 1989, с.134-140.
5. Стабилизатор сети предварительный ССП 38591-00-00. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. -Редакция 92-1. Винница: ПО "Маяк", 1991. -37с.
6. Халиков В.А. Предварительная оценка регулирующих возможностей преобразователей переменного напряжения. - В кн.: Проблемы преобразовательной техники: Тез. докл. Всесоюзн. научн.-техн. конф., Киев, 1991, ч.2, с.104-106.
7. Халиков В.А., Можаровский А.Г. Схемы включения трансформатора и их взаимосвязь с электрическими параметрами преобразователя - В кн.: Проблемы преобразовательной техники: Тез. докл. Всесоюзн. научн.-техн. конф., Киев, 1991, ч.2, с.107-109.
8. Халиков В.А., Можаровский А.Г. Влияние внутреннего сопротивления регулирующих органов стабилизаторов переменного напряжения на диапазон регулирования. - В кн.: Электромеханические и полупроводниковые преобразователи электроэнергии. Киев: ИЭД АН Украины, 1992, с.69-77.
9. Халіков В.А., Можаровський А.Г. Вплив моменту зміни управляючої величини на параметри системи регулювання змінної напруги. - В кн.: Теорія та моделі пристроїв вимірювальної і перетворювальної техніки. Київ: ІЕД АН України, 1993, с.59-62.
10. Липковский К.А., Можаровский А.Г., Халиков В.А. Сравнительный анализ простейших трансформаторно-ключевых исполнительных структур.- Киев. :Техническая электродинамика, ИЭД АН Украины, 1994, №2, с.11-16.
11. Стабилизатор сети предварительный ССП. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. вЖРИ.460960.001 Винница: завод "Маяк", 1994. -26с.
12. А.с.1180858 (СССР). Стабилизатор переменного напряжения. /Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков. - Опубл. в Б.И.,1985, № 35.
13. А.с. 1246064 (СССР). Стабилизатор переменного напряжения. /Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Г.Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1986, № 27.
14. А.с. 1272316 (СССР). Стабилизатор переменного

напряжения. /К.А.Липковский, Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Л.Шихутский. - Опубл. в Б.И., 1986, № 43.
15. А.с. 1293716 (СССР). Стабилизатор переменного напряжения. /Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, К.И.Гищак, А.Л.Шихутский. - Опубл. в Б.И., 1987, № 8.
16. А.с. 1374197 (СССР). Стабилизатор переменного напряжения. /Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Г.Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1988, № 6.
17. А.с. 1416953 (СССР). Стабилизатор переменного напряжения. /Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Г.Можаровский, В.П.Фуртат. - Опубл. в Б.И., 1988, № 30.
18. А.с. 1458862 (СССР). Стабилизатор переменного напряжения. /К.А.Липковский, Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Г.Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1989, № 6.
19. А.с. 1476443 (СССР). Регулятор переменного напряжения. /К.А.Липковский, Ю.В.Сидоренко, Л.В.Чуприна, В.А.Халиков. - Опубл. в Б.И., 1989, № 16.
20. А.с. 1495765 (СССР). Стабилизатор переменного напряжения. /К.А.Липковский, Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Г.Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1989, № 27.
21. А.с. 1582181 (СССР). Стабилизатор переменного напряжения. /Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Г.Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1990, № 28.
22. А.с. 1636961 (СССР). Способ управления дискретно-регулируемым преобразователем переменного напряжения. /Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Г.Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1991, № 11.
23. А.с. 1686415 (СССР). Преобразователь переменного напряжения. /К.А.Липковский, Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Г.Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1991, № 39.
24. А.с. 1686416 (СССР). Стабилизатор переменного напряжения. /Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Г.Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1991, № 39.
25. А.с. 1704250 (СССР). Устройство для регулирования переменного напряжения. /К.А.Липковский, Ю.В.Сидоренко, Л.В.Чуприна, В.А.Халиков, А.Г. Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1992, № 1.32. А.с. 1769321 (СССР). Устройство для регулирования переменного напряжения. /К.А.Липковский, Ю.В.Сидоренко, Л.В.Чуприна, В.А.Халиков, А.Г. Можаровский.

Ю.В.Сидоренко, Л.В.Чуприна, В.А.Халиков, А.Г. Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1992, № 38.
26. А.с. 1810971 (СССР). Способ регулирования переменного напряжения. /Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Г.Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1993, № 15.
27. А.с. 1817072 (СССР). Стабилизатор переменного напряжения. /Ю.В.Сидоренко, В.А.Халиков, А.Г.Можаровский. - Опубл. в Б.И., 1993, № 19.
28. Халиков В.А. Оптимальное регулирование в преобразователях переменного напряжения. -Киев, 1992. -48с. -(Препр./АН Украины. ИЭД; № 716).

Особистий вклад автора в роботах написаних у співавторстві, автору належать: обгрунтування принципів роботи і основних співвідношень (1-4,7-9), основи побудови системи та принципових схем (5,11), критерії та умови порівняння (10). В решті робіт (12-27) вклад відповідає справкам дольової участі співавторів.

АННОТАЦИЯ

Халиков В.А. Системы регулирования переменного напряжения с трансформаторно-ключевыми исполнительными органами.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03.- электротехнические комплексы и системы, включая их управление и регулирование, Институт проблем энергосбережения НАН Украины, Киев, 1995.

Защищается 13 научних работ и 22 авторских сидетельства, которые содержат результати исследования работы систем регулирования переменного напряжения с ключевыми исполнительными органами на основе вольтодобавочных трансформаторов. Решена задача анализа и синтеза систем с оптимальным регулированием переменного напряжения. Осуществлено промышленное внедрение.

ANNOTATION

Halikov .A. Systems of alternating voltage control with transformer keys actuators.

Dissertation submitted for a Technikal Sciences candidate's degree for speciality 05.09.03.- electrical engineering complexs and systems, including their control and control of date, Institute for Energy Saving Problems, Ukranian National Academy of Sciences, Kiev, 1995.

The number of 13 scientific works and 22 author's sertificate are being defended that include the researchresults of control systems of alternating voltage with key actuators in basic booster transformers. The problem of analysis and synthesis for systems with optimal control of alternating voltage has been solved. Industrial inculcation has been executed.

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вольтододатковий трансформатор, система автоматичного керування, регулювання змінної напруги, перехідна характеристика.

Підписано до друку 17.02.95р. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Умовн. друк. лист. 1,0.
Тираж 100 екз. Замовлення №108.

Віддруковано в Інституті електродинаміки
НАН України
252057, Київ-57, проспект Перемоги, 56.