

Вінницький державний технічний університет

УДК 621.317

В.Водотка

Водотковка Володимир Ілліч

РОЗРОБКА ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ І ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ
ІНВАРІАНТНИХ СИСТЕМНИХ РАДІОВІМІРЮВАЛЬНИХ
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Спеціальність 05.11.08 – Радіовимірювальні прилади

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Вінниця – 1997



Дисертація є рукопис.

Роботу виконано в СКБ "Спектр" Міністерства машинобудування, воєнно-промислового комплексу і конверсії України та на кафедрі автоматизації і приладобудування Державної академії легкої промисловості Міністерства освіти України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор Скрипник Ю.О., завідуючий кафедрою Державної академії легкої промисловості України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Філіпський Ю.К., завідуючий кафедрою Одеського державного політехнічного університету

доктор технічних наук, професор Мачуський Є.А., завідуючий кафедрою Національного технічного університету України "КПІ"

доктор технічних наук, професор Суп'ян В.Я., професор кафедри радіотехніки Вінницького державного технічного університету

Провідна установа: Харківський державний технічний університет радіоелектроніки Міністерства освіти України, кафедра метрології та виміральної техніки

Захист відбудеться "31" 10 1997 р. о 9³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д10.01.01 у Вінницькому державному технічному університеті за адресою: 286021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького державного технічного університету.

Автореферат розісланий "23" 09 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

Юхимчук С.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення точності вимірів фізичних величин є продуктивною стороною загального процесу пізнання. Ця проблема є головною в сферах створення найбільш якісних і конкурентноспроможних споживчих товарів, найменш енерговитратних технологій та ефективної оборонної техніки. Науково-технічний рівень розвитку суспільства в багатьох дуже важливих напрямках залежить від досконалості радіовиміральної техніки – це надійні і розвинуті інформаційні мережі та системи наземного і космічного зв'язку, ефективні за точністю протиракетні і радіопротидійні комплекси, новітні енергозберігаючі НВЧ технології.

Ідея досягнення інваріантності (незмінності) результатів вимірів відносно факторів, що впливають на їх достовірність, повинна бути провідною в створенні радіотехнічних методів вимірювання та в структурній побудові метрологічно надійних радіовимірвальних приладів. Поняття "інваріантність" відносно дестабілізуючих факторів близьке до поняття "нечутливість" щодо тих же факторів, а умові досягнення абсолютної інваріантності відповідає така ж умова нульової чутливості.

Теорія інваріантності, як і теорія чутливості, відіграла значну роль в створенні точних систем керування в жорстких умовах експлуатації військової та космічної техніки, але вони не стали провідними та навіть не об'єдналися навколо ідеї досягнення високої метрологічної надійності радіовимірвальних приладів, що працюють в умовах сильного впливу дестабілізуючих факторів протягом тривалого часу. Це не сталось тому, що вимірвальна задача, яка є інверсною по відношенню до задачі керування, в умовах невизначеності функцій впливу дестабілізуючих факторів є більш складною, бо при відомих в обох задачах вихідних координатах вимірвальний сигнал – невідомий, а дуальний йому керуючий сигнал є заданим і підконтрольним. Для реалізації цієї ідеї потрібні адекватні вимірвальній задачі теорія та математичний апарат.

Принцип структурної двоканальності Б.Н.Петрова як структурна умова інваріантності з приєднанням до нього понять про часовий та частотний вимірвальні канали використовувався в розвитку таких методів автоматичної корекції похибок, як методи періодичного порів-

ЛНБ ім. В. Стефанишина
АН України

няння, комутаційно-модуляційного, тестового, структурного, алгоритмічного та ітераційного.

Відомі вітчизняні школи Ф.Б.Гриневича, В.І.Губаря, І.В.Кузьміна, С.М.Маєвського, П.П.Орнатського, Ю.О.Скрипника, В.Я.Суп'яна, Ю.М.Туза, Ю.К.Філіпського, В.Д.Циделка, що працюють в області вимірювальної техніки низьких частот та радіочастот, а також Н.Т.Бови, І.К.Бондаренка, В.І.Проненка – в області НВЧ вимірювання, внесли вагомий вклад в їх розвиток. Необхідно зазначити важливу роль в розвитку НВЧ вимірювальної техніки наукових колективів і особисту роль В.А.Вікторова, А.С.Єлізарова, А.І.Механікова, Ю.Н.Пчельнікова, М.О.Силаєва, О.С.Совлукова, а також G.Engen, A.Hippel, F.Wagner.

В діапазонах радіочастот і НВЧ здійснення принципу структурної надмірності веде до зменшення точності вимірів частотнозалежних параметрів, бо самі додаткові структурні канали неможливо виконати частотноідентичними, тим більше, з врахуванням дестабілізуючих факторів.

Дуже важливою в перспективі розвитку радіовимірювальної техніки є сформована в останній час концепція відповідності радіовимірювального приладу системним вимогам, тобто таким, як автоматична корекція поточних похибок та метрологічне самозабезпечення в режимі його функціонування в автоматизованій системі. Системному принципу побудови приладу з такими складними функціями точніше відповідає термін "системний радіовимірювальний перетворювач" фізичних величин.

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

Робота виконувалась в СКБ "Спектр" Мінмашпрому України відповідно з тематичними планами в рамках затверджених рішенням Кабінету Міністрів державних програм: "Складна радіоелектронна радіоапаратура", "Засоби зв'язку", "Виробництво технологічних комплексів машин і устаткування", "Розробка приладів і машин для сільськогосподарського та харчового виробництва", "Хімічні джерела живлення та інші перетворювачі енергії", а також в Державній академії легкої промисловості України на кафедрі автоматизації технологічних процесів та приладобудування згідно з комплексно-цільовими програмами проведення НДР Міністерства освіти України.

Мета і задачі дослідження. Дисертаційна робота спрямована на розробку теоретичних основ і принципів побудови системних радіовимірювальних перетворювачів параметрів сигналів і кіл, яким властива інваріантність функції вимірювального перетворення відносно дії дестабілізуючих факторів, на зняття ряду обмежень в підвищенні їх точності відомими структурно-алгоритмічними методами, на ефективні рішення ряду практично важливих проблем радіовимірювальної техніки.

Для досягнення поставленої мети виконані основні завдання:

- теоретично відпрацьовані методи досягнення інваріантного стану функції вимірювального перетворення відносно похибок, які виникають під дією дестабілізуючих факторів в замкненій кільцем зворотнього зв'язку вимірювальній структурі, ці методи об'єднані в дві основні групи – аналітичний метод і метод параметричної ідентифікації;

- розроблено теорію групи методів вимірювання АЧХ, ФЧХ широкосмугових чотириполюсників, названих спектрально-структурними, для досягнення інваріантності відносно частотних похибок вимірювальних каналів;

- розроблено методи адаптивної до дії дестабілізуючих факторів корекції АЧХ вузькосмугових чотириполюсників;

- створений на основі одержаних результатів теоретичних досліджень широкий ряд інваріантних радіовимірювальних перетворювачів параметрів сигналів і кіл ВЧ і НВЧ діапазонів та зроблені їх застосування для вимірів ряду технологічних параметрів.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в розробці теорії досягнення інваріантного стану функції вимірювального перетворення в замкненій вимірювальній структурі відносно ряду похибок, спричинених дестабілізуючими факторами, а також в розробці методології створення ряду інваріантних радіовимірювальних перетворювачів фізичних величин.

Теоретична цінність, що складає наукову новизну, полягає в наступному.

1. Запропоновано аналітичну модель вимірювального перетворення в замкненій структурі, що дозволяє на відміну від відомої моделі з глибоким зворотнім зв'язком одержати результат, інваріантний не тільки відносно створених зовнішніми факторами ряду похибок, але і відносно глибини і напрямку зворотнього зв'язку та умов динамічної стійкості.

2. Створені поняття і аналітичний вираз віртуальної метрологічної міри, а також аналітична модель неперервного відтворення умов метрологічної агестації під час експлуатації радіовимірювального перетворювача для збереження його нормативної похибки.

3. Розроблено теорію методу параметричної та частотної компенсації реакції автобалансної структури на ціленаправлений вплив на її стан, що дозволяє одержати аналітичну та структурну надмірність для досягнення умови інваріантності.

4. Створено аналітичну модель некумулятивного вимірювального перетворення фази, інваріантну відносно швидкості розповсюдження сигналу в вимірювальному тракті.

5. Створено і аналітично обгрунтовано методи регенеративного частотного перетворення вимірювальних сигналів та методи взаємозаміни балансно змішуваних сигналів, які здійснюють інваріантні умови щодо ряду частотних похибок при вимірюваннях АЧХ і ФЧХ чотириполюсників.

6. Розроблено методи адаптивної корекції АЧХ селективного чотириполюсника щодо резонансної частоти, інваріантні відносно факторів, дестабілізуючих параметри АЧХ.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в:

- знятті ряду обмежень в досягненні більш високої точності базових типів радіовимірювальних перетворювачів;

- досягненні можливості вибору такої глибини зворотнього зв'язку, що завжди забезпечує умови динамічної стійкості радіовимірювального перетворювача незалежно від умов досягнення заданої точності;

- забезпеченні методу зворотнього перетворення при вимірюванні фізичних величин ненаправленої дії, а також в можливості використання раніше непридатних для метрологічних цілей нестабільних фізичних ефектів, що в цілому започатковує розвиток нових напрямків розвитку радіовимірювальних перетворювачів;

- підвищенні точності автобалансних радіовимірювальних перетворювачів розробленими методами параметричної ідентифікації вимірювальної структури;

- зменшенні частотних похибок і збільшенні динамічного діапазону вимірювання частотно-залежних параметрів чотириполюсників;

- можливості розвитку нового напрямку радіовимірювальних перетворювачів радарного типу, інваріантних відносно швидкості розповсюдження зондуючого сигналу;

- створенні інваріантних щодо дестабілізуючих факторів систем АПЧ генераторів НВЧ та автоматичних систем настроювання резонансних НВЧ приладів;

- використанні розроблених принципів побудови інваріантних радіовимірювальних перетворювачів для вимірювання ряду технологічних параметрів.

Результати дисертаційної роботи запроваджені в ряді НДР і ДКР, виконаних і використаних на підприємствах електронної промисловості Мінмашбуду України, а також в методично-учбовій роботі в ВУЗах Міносвіти України. Науково-технічні напрямки виконаних та впроваджених досліджень відповідають ряду державних та галузевих комплексно-цілевих програм, які здійснювались організаціями, де було виконано дисертаційну роботу.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідались і обговорювались на 37 наукових та науково-технічних конференціях, нарадах, семінарах Всесоюзного, Республіканського та відомчого рівнів, в тому числі на 11 Міжнародних наукових конференціях: Респ. конф. "Структурные методы повышения точности, чувствительности и быстродействия измерительных приборов и систем" (Житомир, 1978; Київ, 1980; Київ, 1983; Севастополь, 1988), Всес. семінарі "Измерительные усилители, функциональные преобразователи и преобразователи мощности" (Ульяновськ, 1978), Респ. конф. "Состояние и перспективы развития систем и приборов анализа состава веществ" (Ужгород, 1978), Респ. семінарі "Автоматизация научных экспериментов и промышленных испытаний" (Київ, 1978), Респ. конф. "Применение ИИС при эксплуатации авиационной техники" (Київ, 1979), Респ. конф. "Повышение качественных показателей фазометрической аппаратуры" (Вінниця, 1979), Галуз. конф. "Методы и аппаратура для СВЧ приборов их элементов" (Москва, 1980), Респ. конф. "Методы и средства интегральной диагностики" (Київ, 1983), Всес. нарада "Точные измерения электрических величин: переменного тока, напряжения, мощности, энергии и угла фазового сдвига" (Ленінград, 1985; Кириши, 1988), Респ. конф. "Проблемы автоматизации технологических процессов и управления производством в лёгкой промышленности и пути их решения" (Київ, 1985), Всес. конф. "ИИС" (Ташкент, 1987), Респ. конф. "Повышение качества изделий лёгкой промышленности на основе автоматического контроля параметров технологических процессов" (Київ, 1987), Всес. конф. "Состояние и перспективы развития информационно-измерительной техники" (Краснодар, 1988), Респ. конф. "Проблемы разработки измерительных приборов со встроенным интеллектом и перспективы их развития" (Каунас, 1988), Респ. конф. "Устройства преобразования информации для контроля и управления в энергетике" (Харків, 1988), Респ. конф. "Применение микропроцес-

сорной техніки при автоматизации технологических процессов" (Дніпропетровськ, 1988), Респ. конф. "Диагностика и коррекция погрешностей преобразователей технологической информации" (Київ, 1989), Всес. конф. "Применение СВЧ энергии в технологических процессах и научных исследованиях" (Москва, 1990; Саратов, 1991), Всес. семінар по проблемі інваріантності і чутливості (Москва, 1990), Конф. проф.- викл. складу КТІЛП (Київ, 1990-1994), Респ. конф. "Автоматический контроль и регулирование технологических процессов в лёгкой промышленности" (Київ, 1992), Конф. СНД "Контроль и управление в технических системах" (Вінниця, 1992), Конф. з міжнародною участю "Приборостроение" (Керч, 1992; Миколаїв, 1993; Симферополь, 1994; Львів, 1995), Конф. держав СНД "Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах и конверсии производств" (Хмельницький, 1992, 1993; 1995), Кримській конф. "СВЧ техника и спутниковый приём" (Севастополь, 1993), I Міжнародні академічні читання пам'яті М.П. Носова "Новые технологии, материалы, оборудование" (Київ, 1995), Друга Міжнародна конф. "Теория и техника антенн" (Київ, 1997).

Публікації. Основні положення і результати дисертації опубліковані у 110 наукових працях, в тому числі у 7 статтях, 7 збірках наукових праць, 67 винаходах, 5 тематичних збірках, 24 тезах доповідей та ін.

Структура роботи. Дисертація містить 283 сторінки основного тексту, 67 сторінок таблиць і рисунків і складається із вступу, семи розділів, висновків, бібліографічного списку із 211 найменувань, трьох додатків на 37 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі відображені актуальність проблеми, наукова новизна отриманих результатів та їх практичне значення, а також впровадження та апробація результатів роботи.

У першому розділі висвітлено стан питання, виконано огляд літератури, окреслено проблеми, які входять в коло дослідження, сформульована постановка задачі.

У другому розділі розробляється теорія аналітичних методів досягнення інваріантності відносно дестабілізуючих факторів замкненої виміральної структури (рис.1). Така структура з глибоким від'ємним зворотнім зв'язком вже інваріантна відносно параметрів прямого перетворення, але серйозною перешкодою для досягнення

цього стану в багатьох випадках стає умова динамічної стійкості. Фізичні величини ненаправленої дії можуть бути перетворені лише з допомогою додатнього зворотнього зв'язку, але така структура має не тільки велику похибку, але і дуже критична щодо його глибини. Ці протиріччя розв'язуються в розроблених аналітичних моделях вимірювального перетворення.

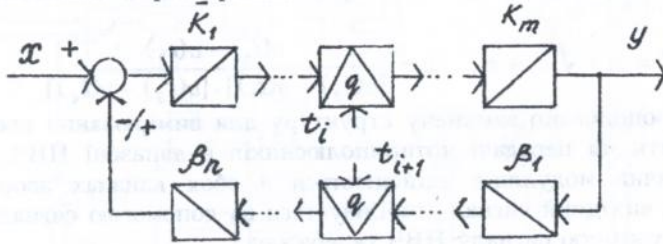


Рис. 1. Узагальнена замкнена вимірювальна структура.

Вивчено властивості функцій відносної чутливості вихідної величини замкненої структури до параметрів прямого і зворотнього перетворення. Запропоновано функції операторної чутливості, які виражені в кінцевих прирістах, та на відміну від класичних функцій в диференціальній формі можуть бути генеровані вимірювальною структурою з допомогою параметричної модуляції. Цінність функцій операторної чутливості полягає в тому, що значення кінцевих приростів обмежуються не похибкою апроксимації, а лише динамічною стійкістю структури.

Доведено, що сума модулів запропонованих видів функцій чутливості замкнених структур з обома напрямками та довільною глибиною зворотнього зв'язку відрізняється від інваріанту $I=1$ на величину відносної адитивної похибки, тобто

$$\bar{y}_a / y = I - (|Q_{qp}^{(y)}| + |P_{q\beta}^{(y)}|). \quad (1)$$

Рівняння інваріантності (1) разом з рівняннями станів функції вимірювального перетворення, що відповідають значенням коефіцієнтів параметричної модуляції q , визначають вимірювальну величину подібно структурі з глибоким зворотнім зв'язком

$$N = x / \beta, \quad (2)$$

де $N = \frac{|P_{q\beta}^{(y)}|}{(Q_{qk}^{(y)} \cdot q - P_{q\beta}^{(y)})(Q_{qk}^{(y)} - P_{q\beta}^{(y)})}$ - інваріантна форма вихідної величини, яка обчислюється системною чи персональною ЕОМ в вимірювальному процесі.

личини, яка обчислюється системною чи персональною ЕОМ в вимірювальному процесі.

Розглянуто проблеми розширення простору інваріантного стану функції вимірювального перетворення. Це стосується зменшення адитивної похибки, характерної для структури з сильним зворотнім зв'язком, виключення з результату виміру коефіцієнта параметричної модуляції q та похибки перетворення квадратичної форми вимірювальної величини. Одержане, наприклад, значення вихідної величини після перетворення квадратичної форми має вигляд, аналогічний (2), в якому

$$N = n + \sqrt{n^2 + n}, \quad n = \frac{u(t_1) - u(t_2)}{[u(t_3) - u(t_1)] \cdot [u(t_3) - u(t_4)]} \quad (3)$$

Запропоновано замкнену структуру для вимірювання коефіцієнтів відбиття чи передачі чотириполюсників в діапазоні НВЧ, в якій параметрична модуляція здійснюється в обох каналах зворотнього зв'язку, а вихідний сигнал стабілізується за допомогою сигналу керування потужністю сигналу НВЧ генератора.

Багатотактні виміри, що завжди супроводжуються збільшенням динамічної похибки, запропоновано ущільнювати, використовуючи значення вихідних величин, одержаних в попередні цикли, що зменшує цю похибку до значення її при однокітному вимірі.

В третьому розділі визначені умови фізичної реалізації аналітичних методів досягнення інваріантності, з яких найбільш вагомими є урахування динамічності дестабілізуючих факторів та створення умов їх сповільнення конструктивно-технологічними засобами.

На прикладах створення замкнених структур для вимірювання ряду параметрів сигналів та кіл, що використовують розглянуті аналітичні методи, показано їх ефективність в досягненні метрологічної надійності. Розроблено такі прилади, як широкосмуговий вольтметр СКЗ, три типи калориметричних вимірювачів НВЧ потужності, перетворювачі калориметричних параметрів для метрологічних досліджень, автоматичний рефлектометр та вимірювач СКЗ електричних шумів. Кожен із них одержав інваріантний вид функції вимірювального перетворення, тобто вона стала лінійною та не одержала адитивного зсуву відносно нуля. Таким чином показано, що аналітичні методи трансформують початкову нелінійну форму функції перетворення в лінійну

$$\bar{y}(x) = \frac{\bar{K}}{1 + K\beta} \cdot x + \bar{y}_0 \Rightarrow N = S_0 \cdot x,$$

де $S_0 = 1 / \beta$, чи $S_0 = 1 / x_0$, тобто $S_0 = const$.

Розроблено методологію структурного синтезу інваріантної структури з конкретними рекомендаціями. Так, наприклад, за вихідну ве-

форми найперше використана в розробці одного з методів параметричної ідентифікації, що названий методом віртуальної зразкової міри. Поняття віртуальної зразкової міри полягає в тому, що в умовах метрологічної атестації вимірювального перетворювача регулюється таке співвідношення між коефіцієнтами параметричної модуляції та параметрами перетворення, яке не викликає зміни вихідної величини. Це співвідношення, хоча і не є фізичною зразковою мірою, відіграє її роль тривалий час, якщо організувати неперервне корегування хоча б одного із параметрів за функціоналом досягнення встановленого співвідношення.

Розглянемо властивість білінійної форми функції вимірювального перетворення, в якій a, b, c, d – відомі параметри, z – невідомий,

$$y(t) = \frac{a + b\bar{z}(t)}{c + d\bar{z}(t)} x. \quad (5)$$

Якщо на відрізку часу $\Delta t = t_1 - t_0$ параметр $z(t_0)$ не змінював своє значення і в момент t_1 цей параметр одержав приріст, а відомий, наприклад, параметр d теж одержав приріст, то функція (5) в моменти часу t_0, t_1 має такий вигляд, зумовлений мультиплікативною дією на ці параметри операторів q і p ,

$$y(t_0, t_1) = \begin{cases} \frac{a + bz(t_0)}{c + dz(t_0)} x, & t = t_0 \\ \frac{a + bz(t_0) \cdot q}{c + dpz(t_0) \cdot q} x, & t = t_1. \end{cases} \quad (6)$$

Встановимо таке значення p і a, b, c, d , щоб значення q дозволило знайти параметр $z(t)$. Для цього служить рівняння інваріантності, яке одержується за умовою нульової чутливості величин $y(t)$ до варіації $z(t)$ і d ,

$$\varphi_p^{(n)} = \varphi_q^{(n)} = \frac{\Delta y_q}{\Delta q} \frac{q}{y(t)} = \frac{\Delta y_p}{\Delta p} \frac{p}{y(t)} = 0. \quad (7)$$

Сумісне рішення (7) і (8) дає значення $z(t_0) = z(t_1) = z_0$

$$z_0 = \frac{A - B \cdot q}{c \cdot q} \quad \left. \begin{array}{l} \varphi^{(y)} = 0 \\ C = c \cdot d(p - 1), \end{array} \right\} \quad (8)$$

де $A = ad - bc$, $B = adp - bc$;

Таким чином, в момент t_1 функція (5) стала ідентифікованою за невідомим параметром. Якщо через деякий час цей нестабільний параметр змінюється і стає невідомим знову, його значення z_0 домовимся вважати зразковою мірою, з якою слід порівняти $\bar{z}(t)$, щоб зміною інших відомих параметрів відновити рівняння (8).

Вказані співвідношення (5) – (8) в більш конкретному вигляді зберігаються для замкненої структури з коефіцієнтами параметричної модуляції каналів прямого та зворотнього перетворення q і p (рис.3).

Показано, що при співвідношенні

$$K_0 = \frac{1-q}{q\beta(p-1)} \quad (9)$$

у вихідному сигналі не виникає змінна складова на частоті параметричної модуляції. Якщо величина K_0 , що встановлена під час атестації, змінила своє значення, змінна складова після синхронного випрямлення використовується для корегування параметру $\bar{K}(t)$ до значення K_0 .

Пропонується найбільш продуктивне знаходження значення (9) віртуальної зразкової міри, користуючись умовою інваріантності – системою рівнянь нулю функцій операторної чутливості вихідної величини $y(t_0)$ до одночасної дії операторів q і p на параметри каналів прямого та зворотнього зв'язку

$$\varphi_{qK}^{(y)} = \varphi_{p\beta}^{(y)} = 0. \quad (10)$$

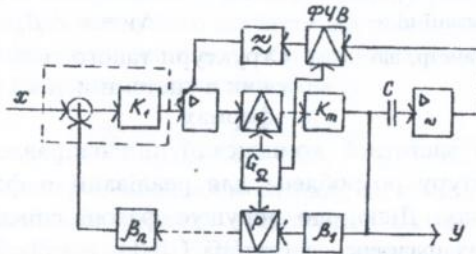


Рис.3. Структурна схема РВП за методом відтворення віртуальної зразкової міри.

Динамічну похибку багатотактних методів корегування похибок запропоновано суттєво зменшити, користуючись методом циклічного порівняння нестабільної реальної функції перетворення з її аналітичною моделлю, що відповідає умові абсолютної інваріантності, а потім її адитивного корегування шляхом досягнення функціоналу

$$\Phi = \left| \varphi_n^{(y)} \right| - \left| \varphi_\beta^{(y)} \right| \rightarrow 1 \quad (11)$$

Метод компенсації цілеспрямованих дій на параметр, що стабілізується, найбільш ефективний щодо автобалансних та автокомпенсаційних вимірювальних структур. Ці структури відслідковують всі дії, спрямовані на зміну їх балансного стану, змінюючи свою вихідну величину, що можна вважати їх реакцією на такі дії, в тому числі на

дію дестабілізуючих факторів, в результаті притаманна їм адитивна похибка змінюється невизначено. Крім того, зворотнє перетворення вихідної величини в стабільний параметр потребує метрологічного визначення параметра перетворювання, бо він є складовим в загальному коефіцієнті перетворення.

В запропонованій структурі (рис.4) вимірюваний сигнал x подається в канал зворотнього зв'язку на вказаний перетворювач x/Π в сумі з сигналом, еквівалентним вимірюваному. Функція вимірювального перетворення може бути представлена в двох станах

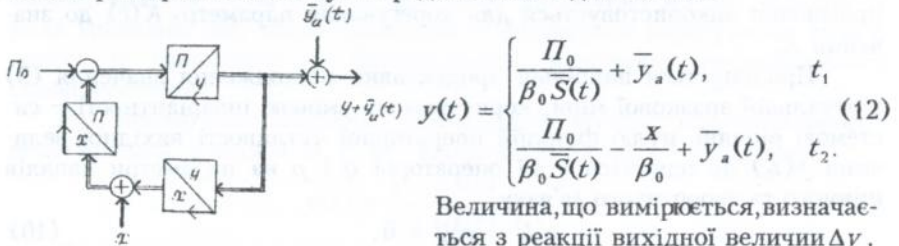


Рис.4. Структура автобалансного РВП за методом компенсації цілеспрямованих дій на параметр, що стабілізується.

Величина, що вимірюється, визначається з реакції вихідної величини Δy , інваріантної відносно $\Pi_0, \bar{S}(t), \bar{y}_a(t)$,

$$\Delta y = x / \beta_0. \quad (13)$$

Структури такого типу реалізуються як в системній, так і в автономній формах.

Теорія методу частотної компенсації ціленаправлених дій на вимірювальну структуру розроблена для реалізації в фазовимірювальних перетворювачах. Дією, що порушує фазові співвідношення в двох входних каналах фазового детектора (ФД), є включення в один із них лінії часової затримки. На це ФД відреагує зміною свого вихідного сигналу, яку можна компенсувати зміною частоти, щоб одержати надлишковий частотний канал і відповідне рівняння для визначення фазової затримки в другому каналі.

Метод частотної компенсації зміни фазових співвідношень в фазовимірювальній структурі започаткував розвиток методу радарних вимірів – частотного методу ідентифікації всієї довжини вимірювального тракту.

Напруженість поля стоячої хвилі, що створене в результаті інтерференції падаючої та відбитої хвиль, поданих на входи ФД, після її реєстрації детекторним зондом, аналого-цифрового перетворення і лінеаризації залежності код-різниця фаз інтерферуючих сигналів виражається значенням коду

$$n_1 = S_0(1 + \hat{\gamma})(\varphi_1 - \varphi_2) + \hat{\delta} = \bar{S}(p + q) \cdot 2\pi + \hat{\delta}, \quad (14)$$

де S – чутливість лінеаризованного перетворення; p, q – ціла та дробова частини фазового циклу; $\hat{\gamma}, \hat{\delta}$ – повільні складові похибок, в тому числі фазових флуктуацій.

В межах лінійної частини періодичної залежності (4) при умові, що $\lambda \ll D_x$, а знак варіації $\pm \Delta D$ опорного каналу D_1 і f частоти корельовані зі знаком приросту коду, функція вимірювального перетворення визначається в таких станах

$$n(t_i) = \begin{cases} 2\pi \bar{S}_0 [2f_1 / v \cdot (D_x - D_1) - p] + \hat{\delta}, & t_1 \\ 2\pi \bar{S}_0 [2f_1 / v \cdot (D_x - D_1 \pm \Delta D) - p] + \hat{\delta}, & t_2 \\ 2\pi \bar{S}_0 [2f_2 / v \cdot (D_x - D_1 \pm \Delta D) - p] + \hat{\delta}, & t_3 \\ 2\pi \bar{S}_0 [2f_2 / v \cdot (D_x - D_1) - p] + \hat{\delta}, & t_4. \end{cases} \quad (15)$$

Результат вимірювання N довжини каналу розповсюдження зонду-ючого сигналу до місця його відбиття від неоднорідності D має інваріантний вигляд відносно швидкості розповсюдження та не потребує приблизного визначення довжини каналу

$$N = \frac{n_1 - n_2}{(n_1 - n_4) - (n_2 - n_3)} = \frac{1}{\Delta D} \cdot D_x. \quad (16)$$

Вплив дисперсії швидкості сигналу на точність вимірювання виключено незалежною умовою збереження лінійності робочої частини функції (14). В діапазоні НВЧ та в радіооптичному ця умова відповідає незначній зміні частоти, що є суттєвою перевагою розробленого методу,

$$\Delta f / f = \Delta D / D_x = \lambda / (4..8) D_x \ll 1.$$

В п'ятому розділі висвітлені принципи побудови радіовимірювальних перетворювачів на основі методів параметричної ідентифікації структури.

Метод періодичного порівняння з віртуальною зразковою мірою використано для побудови термоелектричного міліватметра НВЧ, мікрровольтметра СКЗ, вимірювального вузькополосного підсилювача та активного фільтру. Взагалі, цей метод найбільш ефективний для такого роду радіовимірювальних перетворювачів, у яких вихідна величина є однорідною з вимірюваною тому, що коефіцієнт зворотнього зв'язку входить в значення цієї міри. Показано типові структури вимірювальних каналів та каналів корекції похибки, як правило, мультиплікативної дії. Досягнуто ефект, показаний на прикладі порівняльного метрологічного аналізу розробленого термоелектричного міліватметра

НВЧ з серійним приладом – ватметром моделі МЗ-21-а, полягає в покращенні основних метрологічних показників в 15–20 разів.

НВЧ калориметр, як прилад з тривалими динамічними процесами, став тим об'єктом, в який впроваджено метод безперервної автокорекції похибки по циклічному порівнянню з аналітичною моделлю. В порівнянні з НВЧ калориметром, наприклад, моделі МЗ-45 швидкість вимірів зростає в 2,5 раз за рахунок виключення ручних операцій калібровки та встановлення нуля, а похибка зменшилась на 0,5 %.

Автобалансні термісторні НВЧ мости різних призначень та НВЧ сухий калориметр з термоелектричним охолодженням, побудований за розробленою термобалансною схемою, запропоновані і впроваджені в промисловість. Вони працюють за методом компенсації ціленаправлених дій на параметр, що стабілізується, в першому випадку – опір термістора, в другому – різниця температур гарячої та холодної стінок сухого поглинача НВЧ потужності. Ціленаправленою дією є сама НВЧ потужність та її низькочастотний еквівалент. Одержані метрологічні характеристики, що приведені в Додатку, вказують на високу ефективність методу (рис.5). Знімаються вимоги щодо стабільності параметрів імпульсів в каналі зворотнього зв'язку, виконання яких було обов'язковим в рамках відомих технічних рішень.

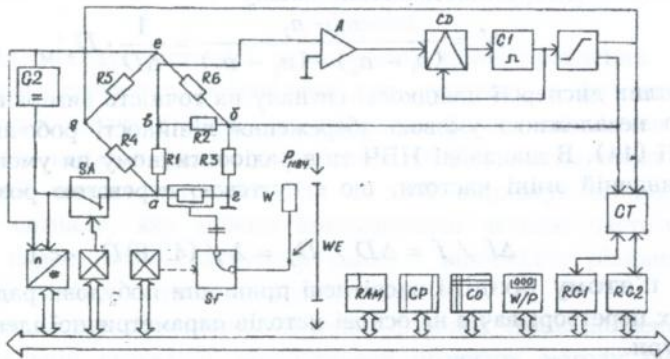


Рис.5. Структурна схема системного інваріантного лічильника НВЧ енергії та НВЧ ватметра.

Вимірювачі часової затримки сигналу в каналі фазовимірювальної структури трьох розроблених типів використовують метод частотної компенсації внесеної в опорний канал часової затримки (лінії затримки) і одержують інваріантність відносно похибок ФД та нестабільності частоти.

Радарні радіовимірювальні перетворювачі довжини каналу розповсюдження зонduючого сигналу до місця внесення в канал неоднорідності (пошкодження) використовують некумулятивний метод виміру фази, набагато більшої 2π , і мають інваріантність щодо швидкості зонduючого сигналу, тобто відносно факторів, дестабілізуючих їх метрологічну надійність.

Шостий розділ роботи розкриває групу методів, об'єднаних назвою "спектрально-структурних", оскільки використовуються перетворення частотного спектру вимірювальних сигналів та зміни в структурі радіоперетворювача параметрів АЧХ чи ФЧХ чотириполосників для організації надмірних частотних та часових каналів, щоб досягти інваріантності відносно превалюючих, головним чином, частотних похибок, які звичайно вносять просторові канали. Надмірні часові канали організовані за методом періодичного порівняння, а частотні – за розробленими методами частотних перетворень.

Квантований в часі вхідний сигнал чотириполосника представлений решітчастою функцією (рис.6). При лінійній в часі зміні частоти цього сигналу його крок квантування в часі відображений кроком квантування по частоті. Шляхом зсуву на половину кроку квантування можна утворити часове вікно, яке займається порівнювальним одностотним сигналом.

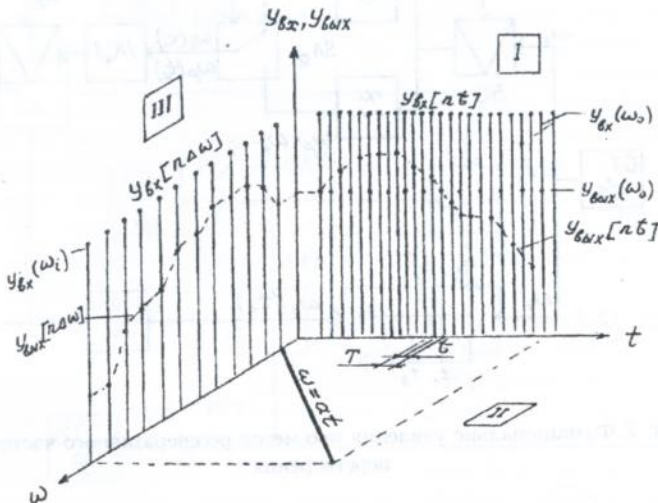


Рис.6. Просторове частотно-часове уявлення про метод періодичного порівняння дискретних значень двочастотних вимірювальних сигналів для визначення АЧХ чотириполосника.

Утворення одночастотного порівняльного сигналу досягається змішуванням двох вихідних сигналів, їх частотного поділу на сумарний та різницевий та регулюванням зміни частот вихідних сигналів, щоб різницева частота залишалась постійною, а сумарна змінювалась в потрібному діапазоні.

В розробленому методі регенеративного перетворення однієї із пари частот (рис.7) це дає можливість після повторного балансного змішування вихідних продуктів чотириполюсника з початковою частотою виділити другу початкову частоту, а якщо перестроювати в часі селективний фільтр по тому ж закону керування, що і початкові частоти, то данна виділена частота залишається незмінною. Це є суттєве досягнення, бо дозволяє посилити одночастотний сигнал без частотних похибок, що дуже важливо, головним чином, у випадку вимірювання АЧХ і ФЧХ чотириполюсників з великим коефіцієнтом ослаблення (більше 60 дБ).

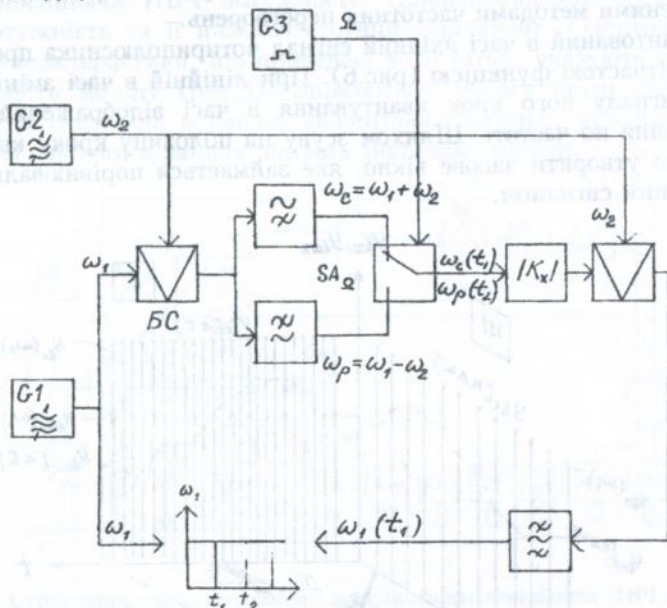


Рис.7. Функціональне уявлення про метод регенеративного частотного перетворення.

Розроблено удосконалений варіант цього методу, що використовує інтегральні значення АЧХ в смузі частот, з якою порівнюється одночастотна міра ослаблення, що дає змогу більш вірогідно порівнювати

точність виготовлення однотипних чотириполосників. Виконано гармонічний аналіз частотного перетворення такого типу.

Метод балансного змішування пари періодично взаємозамінних сигналів має на меті досягнення інваріантності результатів вимірювання параметрів АЧХ відносно частотних похибок вимірювальних каналів (рис.8). Саме операція взаємозаміни балансно змішуваних сигналів утворює переміжну послідовність пакетів сигналів сумарної чи різницевої вихідних частот, на які в рівній мірі вплинули коефіцієнти передачі обох каналів. Це дає можливість виключити з результатів вимірів цей зведений загальний коефіцієнт передачі каналів методом відношення чи автокомпенсації.

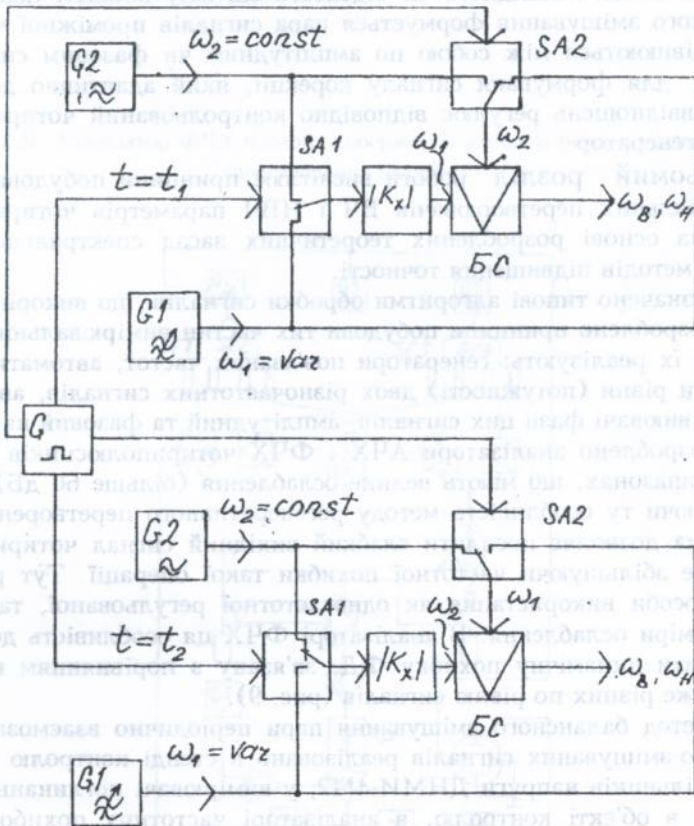


Рис.8. Суміжні моменти (t_1, t_2) процесу балансного змішування двох періодично взаємозамінних сигналів.

Група розроблених методів, що відноситься до контролю вузькосмугових пристроїв, об'єднана ідеєю досягнення інваріантності їх АЧХ відносно впливу нестабілізуючих факторів. Досягнення такої цілі виконується двома шляхами: по-перше, адаптивним регулюванням центральної частоти АЧХ до співпадання з заданого частотою генератора, по-друге, адаптивним регулюванням частоти генератора до співпадання з центральною частотою АЧХ. Вибір шляху досягнення стану інваріантності диктується практичною метою. Використано симетричні властивості АЧХ і ФЧХ вузькосмугових пристроїв. Випробувальні сигнали формуються змішуванням двох сигналів, частоти яких відрізняються на величину смуги пропускання чотириполосника, що контролюється. Із його вихідного чи відбитого сигналу шляхом повторного балансного змішування формується пара сигналів проміжної частоти, які порівнюються між собою по амплітудним чи фазовим співвідношенням для формування сигналу корекції, який адаптивно до зміни цих співвідношень регулює відповідно контрольований чотириполосник чи генератор.

Сьомий розділ роботи висвітлює принципи побудови радіовимірjuвальних перетворювачів ВЧ і НВЧ параметрів чотириполосників на основі розроблених теоретичних засад спектрально-структурних методів підвищення точності.

Визначено типові алгоритми обробки сигналів, що використовуються, розроблено принципи побудови тих частин вимірjuвальних каналів, які їх реалізують: генератори пов'язаних частот, автоматичні регулятори рівня (потужності) двох різночастотних сигналів, автоматичні вирівнювачі фази цих сигналів, амплітудний та фазовий канали.

Розроблено аналізатори АЧХ і ФЧХ чотириполосників в ВЧ і НВЧ діапазонах, що мають велике ослаблення (більше 60 дБ), використовуючи ту особливість методу регенеративного перетворення частоти, яка дозволяє посилити слабкий вихідний сигнал чотириполосника, не збільшуючи частотної похибки такої операції. Тут реалізовані способи використання як одночастотної регульованої, так і постійної міри ослаблення. В аналізаторі ФЧХ ця особливість дозволяє виключити динамічну похибку ФД, зв'язану з порівнянням по фазі двох дуже різних по рівню сигналів (рис. 9).

Метод балансного змішування пари періодично взаємозамінних балансно-змішуваних сигналів реалізовано в стенді контролю зразкових подільників напруги ДНМИ-4М2, у вимірjuвачі поглинання НВЧ сигналу в об'єкті контролю, в аналізаторі частотних похибок НВЧ пристроїв, в яких частотні похибки значно зменшено порівняно з серійними відомими приладами - в 30-40 разів (рис. 10).

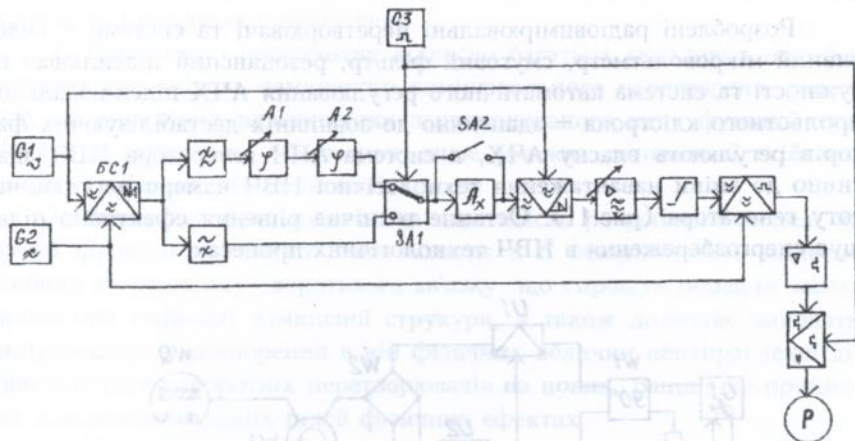


Рис.9. Аналізатор ФЧХ чотириполюсника за методом регенеративного перетворення частоти.

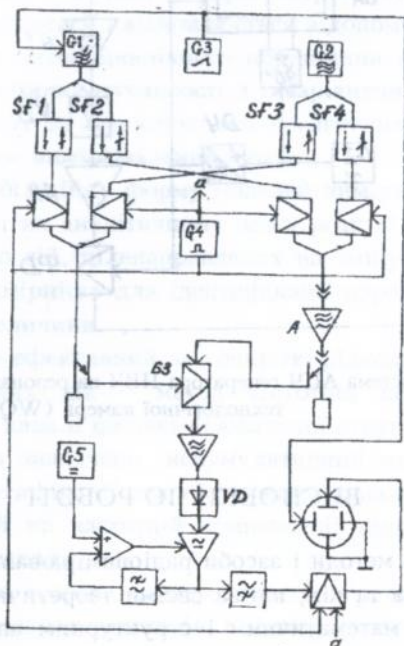


Рис.10. Аналізатор частотних помилок НВЧ підсилювача (А).

Розроблені радіовимірювальні перетворювачі та системи – селективний мікровольтметр, смуговий фільтр, резонансний підсилювач потужності та система автоматичного регулювання АЧХ підсилювального прольотного клістрона – адаптивно до зовнішніх дестабілізуючих факторів регулюють власну АЧХ, а система АПЧ генератора НВЧ адаптивно до зміни навантаження технологічної НВЧ камери регулює частоту генератора (рис.11). Останнє технічне рішення ефективно підвищує енергозбереження в НВЧ технологічних процесах.

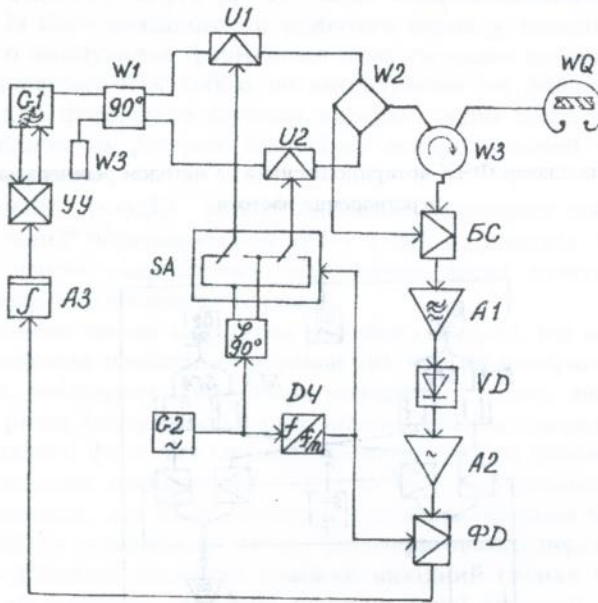


Рис.11. Система АПЧ генератора НВЧ на резонансну частоту технологічної камери (WQ).

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Розроблено методи і засоби радіовимірювального перетворення параметрів сигналів та кіл, що за своїми теоретичними і методологічними засадами та математичним і структурним апаратом об'єднані в три групи (аналітичні, методи параметричної ідентифікації та спектрально-структурний), мають спільну ціль – досягнення інваріантності

відносно дестабілізуючих факторів, щоб забезпечити їх метрологічну надійність і системне призначення.

2. Розроблено інваріантну відносно багатьох складових похибок одночастотну модель замкненого вимірювального перетворення, засновану на виявлених властивостях запропонованого виду функцій чутливості в скінчених, обмежених лише умовою динамічної стійкості приростах параметрів та сигналів.

3. Визначена фундаментальна властивість розробленої моделі на основі функцій чутливості, яка полягає в її інваріантності відносно глибини та напрямку зворотнього зв'язку, що спрощує рішення задачі динамічної стійкості замкненої структури, а також дозволяє виконати вимірювальне перетворення в ній фізичних величин ненаправленої дії і використання зворотніх перетворювачів на нових, раніше не прийнятих для вимірювальних цілей фізичних ефектах.

4. Розроблено теорію методу періодичного порівняння плинних параметрів вимірювальної замкненої структури із запропонованою віртуальною зразковою мірою, що являє собою аналітичне співвідношення її параметрів, встановлене при метрологічній атестації, яке безперервно контролюється і відновлюється з допомогою корекції.

5. Розроблено метод циклічного порівняння плинного значення суми функцій операторної чутливості з інваріантом і корегування нестабільного параметру за функціоналом досягнення цього інваріанту, що значно прискорює вимірювальний процес.

6. Визначено білінійну форму моделей вимірювального перетворення, які засновані на аналітичному описі реакції стійкої автобалансної структури щодо дій, ціленаправлених на зміну її стану, що створює аналітичну надмірність для ідентифікації параметрів перетворення вимірювальної величини.

7. Розроблено ефективний за точністю різновид методу компенсації ціленаправлених дій – метод частотної компенсації часової затримки сигналу в каналі фазовимірювальної структури.

8. Теоретично визначено некумулятивний метод знаходження повної фази чи ідентифікації повної довжини каналу розповсюдження сигналу, заснований на частотній компенсації ціленаправлених змін довжини опорного каналу.

9. Розроблено теорію регенеративного перетворювання частоти одного із вимірювальних сигналів і використовуючий його метод періодичного порівняння частотнозалежного параметру чотириполус-

ника з одночастотною мірою цього параметру, що дозволяє виконати підсилення вихідного сигналу чотириполюсника без внесення додаткової похибки.

10. Теоретично обґрунтовано метод періодичної взаємозаміни вхідних сигналів змішувача, що має високу ефективність щодо зменшення частотних похибок каналів при вимірюванні АЧХ чотириполюсників.

11. Засновано групу двочастотних методів підвищення точності вимірювання і корекції АЧХ вузькосмугових пасивних і активних чотириполюсників, що створюють умови їх інваріантності відносно дестабілізуючих факторів.

12. Розроблено в розрізі кожного напрямку та його розгалужень принципи та методологічні засади структурної побудови і конкретної реалізації запропонованих та теоретично обґрунтованих методів досягнення інваріантності стосовно основних 35 типів радіовимірювальних перетворювачів параметрів сигналів і кіл ВЧ і НВЧ діапазонів.

13. Розроблено методи і радіовимірювальні засоби інваріантного відносно неінформативних параметрів вимірювального перетворення технологічних параметрів, 19 типів яких наведені в Додатку.

14. Впроваджені результати підтверджують теоретичну обґрунтованість роботи та досягнення поставленої мети досліджень.

Результати дисертаційної роботи висвітлені в 110 опублікованих наукових працях, основними з яких є:

Статті:

1. Водотовка В.И. Метод мультипликативной коррекции составляющих погрешности термоэлектрического ваттметра СВЧ // Радиотехника, 1979. – Вып.51. – С.85–89.

2. Водотовка В.И. Разработка структурно-алгоритмических методов коррекции погрешностей и аппаратуры для измерения СВЧ мощности в АСУТП тренировки и испытания изделий // Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ, вып.2 (144), 1980. С.20–21.

3. Водотовка В.И. Метод измерения АЧХ пассивных СВЧ четырехполюсников с параллельным замещением интегральной мерой // Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ, вып.2 (144), 1980. С.15.

4. Скрипник Ю.А., Глазков Л.А., Водотовка В.И., Галкин Л.А. Двухчастотные методы контроля концентрации веществ в жидких средах, I // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 1984. – Т.27. – N 2 (158). – С.124-128.

5. Скрипник Ю.А., Глазков Л.А., Водотовка В.И., Галкин Л.А. Двухчастотные методы контроля концентрации веществ в жидких средах, II//Известия высших учебных заведений Технология легкой промышленности, 1984. – Т.27. – N 3 (159)– С.112-118.

6. Березненко Н.П., Скрипник Ю.А., Водотовка В.И., Глазков Л.А., Горкун В.В. Контроль влажности в процессе сушки пористых материалов, I//Известия высших учебных заведений Технология легкой промышленности, 1990. – Т.27. – N 2. – С.134-138.

7. Березненко Н.П., Скрипник Ю.А., Водотовка В.И., Глазков Л.А., Горкун В.В. Контроль влажности в процессе сушки пористых материалов, II//Известия высших учебных заведений Технология легкой промышленности, 1990. – Т.27. – N 3. – С.116-119.

Збірки наукових праць:

8. Водотовка В.И. О возможности мультипликативной коррекции частотных составляющих погрешности термоэлектрических преобразователей СВЧ мощности//Сб.науч.тр. Вопросы теории и проектирования аналоговых преобразователей параметров электрических сигналов и цепей. – Ульяновск: УПИ, 1978. – С.76-77.

9. Водотовка В.И., Скрипник Ю.А. Тестовый метод измерения СВЧ мощности//Сб.науч.тр. Структурные методы повышения точности, чувствительности и быстродействия измерительных устройств. – К.: Знание, 1980. – С.25-27.

10. Водотовка В.И., Гаврилюк Г.И., Глазков Л.А., Коновал М.И., Таран В.А. Метод коррекции погрешностей измерений пропусканий с разомкнутыми структурами//В сб. науч.тр. Автоматизированные системы управления и контроль качества в целлюлознобумажной промышленности. – К.: УкрНПОбумпром, 1984. – С. 83–95.

11. Водотовка В.И. Синтез алгоритмов коррекции погрешностей измерительных преобразователей/Сб. науч.тр. Точные измерения электрических величин. – Л.:Госстандарт, 1985. – С.100–102.

12. Водотовка В.И., Глазков Л.А., Присенко М.А. Определение фазочастотных характеристик четырехполюсников с большим затуханием//Сб. науч. тр. Точные измерения электрических величин. – Л.: Госстандарт, 1985. – С.178–180.

13. Водотовка В.И., Скрипник Ю.А. Двухчастотные автоматические анализаторы цепей СВЧ с расширенным динамическим диапазоном//В сб. научн. тр. Проблемы разработки измерительных прибо-

ров со встроенным интеллектом и перспективы их развития. – Каунас: КНИИРИТ, 1988. – С.59–61.

14. Vodotovka V.I., Repa F.M. Technology process and industrial wood and semifinished item of furniure production drying aquipment// Proc. of the 2nd International Conference on Antenna Theory and Techniqes. – K.: NTUU “KPI”, 1997.– P. 360.

Складові частини книги:

15.Водотовка В.И., Грудев К.Л., Котенко Е.Г. Измеритель поглощаемой СВЧ мощности с коррекцией погрешности измерения // В кн. Структурные методы повышения точности и чувствительности измерительных преобразователей. – К.: Знание, 1975. – С.20-21.

16.Водотовка В.И. Методы и средства сверхвысококачастотной спекрометрии//В кн. Новые технологии, материалы, оборудование. – К: Украинская технологическая академия, 1996. – С.35–38.

Складові частини збірника:

17.Водотовка В.И., Грудев К.Л. Синтез адаптивных измерительных систем уравнивающего преобразования на основе моделей чувствительности//Сб. Применение информационно-измерительных систем при эксплуатации авиационной техники. – К.: КИИГА, 1979. – С.12-13.

18. Водотовка В.И. Способ автоматической максимизации КПД резонансной СВЧ камеры в технологических процессах обработки материалов и веществ//Сб. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов в легкой промышленности. – К.: КТИЛП, 1991. – С.18-21.

19. Водотовка В.И., Таран В.А. Метод диагностирования СВЧ фазочувствительной измерительной системы//Сб. Диагностика и коррекция погрешностей преобразователей технологической информации. – К.: КТИЛП, 1989. – С.24–26.

20. Тузов Д.М., Балюк В.С., Водотовка В.И., Дзюба В.П. Опыт разработки приборов СВЧ энергии народнохозяйственного значения//Сб. Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы. – Одесса: ОКФА, 1996.– С.46-52.

Тези доповідей:

21. Водотовка В.И., Скрипник Ю.А. Аналитическая модель нелинейной функции преобразования//Материалы НТК с междунар. участием "Приборостроение-92" – Керчь, 1992. – С.16.

22. Водотовка В.И. Структурно-алгоритмический метод метрологической аттестации радиоизмерительных приборов //Материалы

НТК с междунар. участием "Приборостроение-93" - Николаев, 1993. - С.15-16.

23. Водотовка В.И. Аналитическая модель инвариантного измерительного преобразования физических величин // Материалы НТК с междунар. участием "Приборостроение-94" - Симферополь: УТА, 1994. - С.24.

24. Водотовка В.И. Инвариантные методы радиофизического измерительного преобразования // Материалы НТК с междунар. участием. "Приборостроение-95". - Львов, 1995. - С.90.

Авторські свідоцтва:

25. А.с. 714299 СССР, М.кл.³ G 01R 21/02. Сверхвысокочастотный калориметр / Скрипник Ю.А., Водотовка В.И. (СССР). - №2596465/18-09; Заявлено 28.03.78; Оpubл. 05.02.80, Бюл. №5. - 3с.

26. А.с. 718795 СССР, М.кл.³ G01 R21/02. Способ измерения мощности СВЧ / Водотовка В.И., Скрипник Ю.А. (СССР). - №2597122 /18-09; Заявлено 28.03.78; Оpubл. 28.02.80, Бюл. №8. - 3с.

27. А.с. 765762 СССР, МКИ G01 R 31/26. Способ измерения подвижности носителей тока в полупроводниках и устройство для его реализации / Глазков Л.А., Скрипник Ю.А., Водотовка В.И. (СССР) №2645740/18-25; Заявлено 17.07.78; Оpubл. 23.09.80, Бюл. №35. - 5с.

28. А.с. 832486 СССР, М.кл.³ G 01R 21/02. Калориметрический измеритель сверхвысокочастотной мощности / Водотовка В.И., Грудев К.Л. (СССР). - №2761928/18-09; Заявлено 07.05.79; Оpubл. 23.05.81, Бюл. №19. - 5с.

29. А.с. 840751 СССР, М.кл.³ G 01R 19/02. Микровольтметр среднеквадратических значений / Скрипник Ю.А., Водотовка В.И. (СССР). - №2670128/18-21; Заявлено 15.10.78; Оpubл. 23.06.81, Бюл. №23. - 5с.

30. А.с. 879490 СССР, М.кл.³ G 01R21/04. Устройство для измерения СВЧ мощности / Водотовка В.И., Скрипник Ю.А., Садовый Н.Г., Орел А.Н. (СССР). - №2673250/18-09; Заявлено 05.10.78; Оpubл. 07.11.81, Бюл. №41. - 5с.

31. А.с. 879507 СССР, М.кл.³ G 01R 27/28. Устройство для измерения коэффициента передачи четырехполюсников / Водотовка В.И., Балюк В.С., Скрипник Ю.А., Глазков Л.А. (СССР) / - №2794690/18-09; Заявлено 13/07/79; Оpubл. 07.11.81, Бюл. №41. - 6с.

32. А.с. 885919 СССР, М. кл.³ G 01R 25/00. Способ измерения фазового набега четырехполюсников и устройство для его осуществле-

ния/Скрипник Ю.А., Водотовка В.И., Глазков Л.А. (СССР).- № 2837715/18-21; Заявлено 12.11.79; Оpubл. 30.11.81, Бюл. №44.- 6с.

33. А.с. 901890 СССР, М.кл.³ G 01 N 22/00. Способ измерения толщины диэлектрических материалов/Глазков Л.А., Скрипник Ю.А., Водотовка В.И. (СССР).- 2739366/18-09; Заявлено 15.03.82; Оpubл. 30.01.82, Бюл. № 4.- 5с.

34. А.с. 959527 СССР, М. кл.³ G 01R 21/04. Термисторный измеритель СВЧ мощности/Водотовка В.И., Скрипник Ю.А. (СССР). - №2761927/18-09; Заявлено 07.05.79; Оpubл. 30.11.82, Бюл. № 44. - 10с.

35. А.с. 978083 СССР, М.кл.³ G 01R 31/26. Устройство для измерения подвижности носителей тока в полупроводниках/Галкин Л.А., Скрипник Ю.А., Глазков Л.А., Водотовка В.И. (СССР).- №2999893/18-21; Заявлено 24.09.90; Оpubл. 30.11.82, Бюл. №44.-7с.

36. А.с. 983525 СССР М кл.³ G 01 N 27/90. Двухчастотный толщиномер/Скрипник Ю.А., Глазков Л.А., Иванов Б.А., Водотовка В.И., Свиридов Н.М. (СССР). - №3270296/25-28; Заявлено 09.04.81; Оpubл. 23.12.82, Бюл. № 47.- 4с.

37. А.с. 1076986 СССР, М.кл.³ Н 01 М 10/42. Способ измерения напряжения ХИТ /Скурихин В.И., Балюк В.С., Кондратов В.Т., Водотовка В.И., Скрипник Ю.А. (СССР).- № 3526329/24-07; Заявлено 24.12.82; Оpubл. 28.02.84, Бюл. № 8.- 6с.

38. А.с. 1083125 СССР, М.кл.³ G 01R 25/00. Устройство для измерения фазового набега четырехполюсников/Водотовка В.И., Скрипник Ю.А., Глазков Л.А., Григорьян Р.А. (СССР).- № 3500511/18-21; Заявлено 15.10.82; Оpubл. 30.03.84, Бюл. №12.- 8с.

39. А.с. 1100540 СССР, МКИ G 01 N 21/89. Устройство для регистрации спектра диспергированных сред / Скрипник Ю.А., Глазков Л. А., Гриб Б.Н., Водотовка В.И., Глазков А.Л. (СССР).- № 3312117/18-25; Заявлено 02.07.81; Оpubл. 30.06.84, Бюл. № 24.- 6с.

40. А.с. 1107638 СССР, М.кл.³ G 01 N 21/30. Двухволновой измеритель количества вещества/ Водотовка В.И., Скрипник Ю.А., Глазков Л. А., Глазков А.Л. (СССР).- № 3514139/18-09; Заявлено 25.11.82; Оpubл. 08.04.84, Бюл. № 13.-13с.

41. А.с. 1125513 СССР, М.кл.³ G 01 N 21/21. Способ измерения угла фарадеевского вращения/Таран В.А. Скрипник Ю.А., Водотовка В.И. (СССР). - № 3521591/24-25; Заявлено 16.12.82; Оpubл. 23.11.84, Бюл. № 43. - 4с.

42. А.с.1185199 СССР, М.кл.³ G 01 N22/00.Измеритель толщины диэлектрических и полупроводниковых материалов/Водотовка В. И., Скрипник Ю.А., Кадочников С.М. (СССР); Заявлено 09.12.83; Оpubл. 15.10.85, Бюл. № 38. - 5с.
43. А.с. 1190272 СССР, М.кл.³ G 01R 19/00. Способ измерения физических величин/Водотовка В.И. (СССР).- №3643282/24-21; Заявлено 16.09.83; Оpubл.07.11.85, Бюл. № 41.-3с.
44. А.с. 1221624 СССР, М.кл.³ G 01R 35/00. Способ измерения частотных погрешностей термоэлектрических преобразователей/Скрипник Ю.А., Васильчук В.К., Глазков Л. А., Водотовка В.И. (СССР).- №3439557/24-21; Заявлено 30.03.86, Бюл. №12.- 4с.
45. А.с. 1245197 СССР, М.кл.³ H 01 M10/48. Способ определения времени сохраняемости химического источника тока/Скурихин В.И., Кондратов В.Т., Водотовка В.И., Скрипник Ю.А.,Балюк В.С. (СССР).-№3804700/24-07; Заявлено 23.10.84; Оpubл.15.03.86, Бюл. № 10.-8с.
46. А.с. 1245965 СССР, М.кл.³ G 01 N 22/04. СВЧ влагомер/Потапов А.А., Скрипник Ю.А., Водотовка В.И. (СССР). - № 3771685/24-09; Заявлено 11.07.84; Оpubл.23.07.86, Бюл. № 27.- 4с.
47. А.с. 1281986 СССР, МКИ G 01 N 22/00. Способ определения коэффициента пропускания средой волны электромагнитного излучения/Таран В.А., Скрипник И.Ю., Водотовка В.И.(СССР).- № 3614552/24-09; Заявлено 30.06.83; Оpubл. 07.01.87, Бюл. №1.- 8с.
48. А.с. 1290193 СССР, М.кл. G 01 R 23/04. Устройство для индикации резонанса объемного резонатора/Водотовка В.И., Скрипник Ю.А. (СССР). - №3809697/24-09; Заявлено 11.11.84; Оpubл.15.02.87, Бюл. № 6. - 3с.
49. А.с. 1293606, СССР, М.кл.³ G 01 N 25/18. Способ измерения коэффициента температуропроводности и устройство для его осуществления/ Константинов С.М., Скрипник Ю.А., Водотовка В.И., Шевелюк В.С., Глазков Л.А.(СССР).- № 3879635/31-25; Заявлено 08.04.85; Оpubл. 28.02.87, Бюл. № 8.- 4с.
- 50.А.с. 1298856 СССР, М.кл.³ H 03 G 3/20. Узкополосный усилитель с автоматической стабилизацией коэффициента усиления/ Водотовка В.И., Скрипник Ю.А., Скрипник И.Ю. (СССР).- №3811062/24-09; Заявлено 11.11.84; Оpubл. 23.03.87, Бюл. №11.-6с.
51. А.с. 1324437 СССР, МКИ G 01 N25/18. Способ измерения коэффициента температуропроводности диэлектрических материалов

и устройство для его осуществления/Константинов С.М., Скрипник Ю.А., Водотовка В.И., Шевелюк В.С., Глазков Л.А. (СССР).- №3913506/31-25; Заявлено 19.06.85; Оpubл. 15.03.87, Бюл. №10.-5с.

52. А.с. 1357808 СССР, М.кл.³G 01N 22/00. Способ измерения толщины диэлектрического материала/Таран В.А., Скрипник И.Ю., Водотовка В.И., Глазков Л.А. (СССР).- № 3823463/24-09; Заявлено 11.12.84; Оpubл. 07.12.87, Бюл. № 45.- 3с.

53. А.с. 1402910 СССР, М.кл.³G 01 N 27/22. Способ измерения дискретного спектра поглощения/Скурихин В.И., Кондратов В.Т., Скрипник Ю.А., Водотовка В.И. (СССР).- №4065783/31-25; Заявлено 24.03.86; Оpubл. 15.06.88, Бюл. № 22.- 8с.

54. А.с. 1405655 СССР, М.кл.³G 01M 10/42. Устройство для измерения времени хранения ХИТ по уровню электрических шумов/Агабалов В.В., Водотовка В.И., Гришко В.Ф.(СССР).- № 4148978/24-07; Заявлено 17.11.86; Оpubл. 22.02.88, Бюл. №7.-3с.

55. А.с. 1411650 СССР, М. кл.³G 01 N 22/02. Способ измерения толщины п/проводниковых и диэлектрических материалов на СВЧ/Водотовка В. И., Скрипник Ю.А., Григорьян Р.Л. (СССР).- № 4145390/24-09; Заявлено 09.07.86; Оpubл. 23.07.88, Бюл. № 27.- 4с.

56 А.с. 1438390 СССР, М.кл.³G 01 K 7/02. Устройство для измерения температуры/Водотовка В.И., Скрипник Ю.А., Юрчик Г.В., Алексахин А.В., Глазков А.Л. (СССР).- № 4214794/24-10; Заявлено 25.03.87; Оpubл. 30.11.89, Бюл. № 44.-3с.

57. А.с. 1518734 СССР, МКИ G 01 R 25/00. Способ измерения спектрального показателя поглощения/Таран В.А., Скрипник Ю.А., Водотовка В.И., Гаврилюк Г.И. (СССР).- № 3809399; Заявлено 13.11. 84; Оpubл.01.07.89, Бюл. № 25.- 3с.

58. А.с. 1531663 СССР, М. кл.³G 01R 25/00. Способ измерения затухания/ Головки Д.Б., Скрипник Ю.А., Водотовка В.И., Глазков Л.А. (СССР); Заявлено 3.11.86; Оpubл.22.08.89, Бюл. №32. - 8с.

59. А.с. 1531028 СССР, М.кл.³G 01 R 27/28. Устройство для измерения частотной погрешности делителей напряжения/Скрипник Ю.А., Водотовка В.И., Васильчук В.К., Михайлов В.А. (СССР).- № 4409845/24-21; Заявлено 28.01.88; Оpubл. 23.12.89, Бюл. № 47.- 4с.

60. А.с. 1592800 СССР, М. кл.³G 01 R 25/00. Способ измерения неравномерности АЧХ СВЧ устройств/Водотовка В.И., Скрипник Ю.А. (СССР). - № 4426494/24-09; Заявлено 17.05.88; Оpubл. 15.05.90, Бюл. №18. - 6с.

61. А.с. 1626336 СССР, М.кл.³ Н 03 J 3/00. Устройство для автоматической настройки полосового фильтра/Скрипник Ю.А., Водотовка В.И., Сокурец Ю.А., Скрипник А.Ю. (СССР).- № 4627593/09; Заявлено 28.12.88; Опубл. 7.02.91, Бюл. № 5.- 4с.

62. А.с. 1682795 СССР, М.кл.³ G 01 F 1/34. Способ определения расхода веществ и устройство для его осуществления/ Скрипник Ю.А., Юрчик Г.В., Водотовка В.И.(СССР).- №4685207/10; Заявлено 09.02.89; Опубл. 07.10.91, Бюл. №37.- 5с.

63. А.с. 1688391 СССР, М.кл.³ Н 03 G 3/20. Настраиваемый активный фильтр/ Водотовка В.И., Скрипник Ю.А., Сокурец Ю.А., Скрипник А.Ю.(СССР).-№4628129; Заявлено 28.12.88;Опубл.01.07.91, Бюл. №25.- 2с.

64. А.с. 1747894 СССР, М.кл.³ G 01 B 17/02. Импульсно-фазовое устройство/ Скрипник Ю.А., Здоренко В.Г., Водотовка В.И., Клушин В.В. (СССР). - № 4853388/28; Заявлено 24.07.90; Опубл. 15.07.92, Бюл № 26.- 7с.

65. А.с. 1783301 СССР, М.кл.³ G 01 C 3/08. Способ определения расстояний/ Скрипник Ю.А., Водотовка В.И., Скрипник И.Ю., Глазков Л.А. (СССР).- №4856060/10; Заявлено 06.08.90; Опубл. 23.12.92, Бюл. №47.- 8с.

66. А.с. 1793522 СССР, М.кл.³ Н 03 J 7/00. Устройство автоматической подстройки частоты/ Скрипник Ю.А., Водотовка В.И., Кашлев В.П., Скрипник И.Ю. (СССР). - № 4873671/09; Заявлено 06.08.90; Опубл.07.02.93, Бюл. №5.- 3с.

Патенты:

67. Пат. 1828539 СССР, М.кл.³ G 01 J 5/12. Способ дистанционного измерения температуры и устройство для его осуществления/ Скрипник Ю.А., Чернякова М.М., Водотовка В.И., Химичева А.И. (СССР).- № 5003711/25; Заявлено 08.07.91; Опубл. 15.07.93, Бюл. № 26.- 3с.

Особистий внесок в роботах, опублікованих у співавторстві: [4,5,6,9,10,12,13,17,19,21,26,28,29-32,34,36,38-40,42-44,47-54,57,58-60,61-63,65,66]-розробка математичних моделей вимірювального перетворення, розробка методів вимірювання, їх дослідження і обґрунтування інваріантного стану функцій вимірювального перетворення, [7, 14,15,20,25,27,33,35,37,38,41,45,46,55,56,64,67]-розробка методологіч-

них принципів структурної побудови, алгоритмів вимірювання, їх конкретного застосування.

Водотовка В.І. Розробка теоретичних основ і принципів побудови інваріантних системних радіовимірювальних перетворювачів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук по спеціальності 05.11.08 – Радіовимірювальні прилади, Вінницький державний технічний університет, Вінниця, 1997.

Дисертація присвячена питанням теоретичних досліджень, розробок методів і принципів побудови радіовимірювальних перетворювачів параметрів сигналів і кіл для застосування в автоматизованих інформаційно-вимірювальних системах. Викладені загальні принципи побудови математичних моделей вимірювального перетворення, результат якого в різній мірі інваріантний відносно факторів, що дестабілізують стан функції перетворення в просторі параметрів та сигналів. Одночастотні моделі побудовані на основі функцій відносної чутливості в скінченних прирістах параметрів і вихідних сигналів. Широкопasmові моделі побудовані на основі запропонованих методів частотного перетворення вимірювальних сигналів, що дозволили організувати надмірні часові та частотні канали. Розроблено методологічні принципи побудови радіовимірювальних перетворювачів широкого спектру типів та призначення.

Ключові слова: інваріантність, параметр, модель, радіовимірювальний перетворювач, чутливість.

Водотовка В.И. Разработка теоретических основ и принципов построения инвариантных системных радиоизмерительных преобразователей. – Рукопись.

Дисертація соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.08 – Радиоизмерительные приборы, Винницкий государственный технический университет, Винница, 1997.

Дисертація посвящена вопросам теоретических исследований, разработок методов и принципов построения радиоизмерительных преобразователей параметров сигналов и цепей для применения в автоматизированных информационно-измерительных системах. Изложены общие принципы построения математических моделей измеритель-

ного преобразования, результат которого в различной степени инвариантен относительно факторов, дестабилизирующих состояние функции преобразования в пространстве параметров и сигналов. Одночастотные модели построены на основе предложенных функций относительных чувствительностей, выраженных в конечных приращениях параметров и выходных сигналов.

Широкополосные модели построены на основе предложенных методов частотного преобразования измерительных сигналов, позволивших организовать избыточные временные и частотные каналы. Разработаны методологические принципы построения радиоизмерительных преобразователей широкого спектра типов и назначения.

Ключевые слова: инвариантность, параметр, модель, радиоизмерительный преобразователь, чувствительность.

V o d o t o v k a V.I. A development of theoretical basis and the principles of designing the invariant system radiomeasuring transducers. – Manuscript.

Thesis for a doctor's degree by speciality 05.11.08 – radiomeasuring devices. – Vinnitza state technical university, Vinnitza, 1997.

The dissertation is devoted to the theoretical investigations and developments of design methods and principles of designing radio-measuring transducers of signals and circuits parameters to be applied in automatic informatic-measuring systems. The main principles to obtain mathematical models of measuring transformation have been presented.

The results to a various extent are invariant with respect to some factors that destabilise the state of functions of transformation in the space of parameters and signals. The single-frequency models have been constructed on the base functions of relative sensitivities, which are expressed in the form of finite increments in parameters and output signals.

The broadband models have been constructed on the base of proposed methods of frequency transformation measuring signals, which allowed to organise some redundant time and frequency channels. The metodological principles of designing radiomeasuring transducers of wide types and purposes have been developed.

Key words: invariability, parameter, canal, model, radiomeasuring transducer, sensitivity.

Підписано до друку **10.07.1997р.**

Формат 60x84/16 Ум. друк. арк 1,2

Наклад 100 примірників. Замовлення

Відруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького державного технічного університету.

286021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВДТУ, головний корпус, 9-й поверх

Тел. (0432) 44 - 01 -59

20A

434690

A 38.538

AB 38.538