

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНИКИ**

На правах рукопису

Шепелева Наталія Валеріївна

УДК 519.24;621.319.45

**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ
ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ОКСИДНО-НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КОНДЕНСАТОРІВ
У ПРОЦЕСІ ЇХ ВИРОБНИЦТВА, ВИПРОБУВАНЬ
ТА ЗБЕРІГАННЯ**

05.13.02 - Математичне моделювання в наукових дослідженнях

**Автореферат дисертації
на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук**

Харків - 1996



Робота виконана на кафедрі
державного технічного університету

Науковий керівник:

доктор фізико-математичних наук,
професор В.А.Дікарев.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
О.М.Фоменко;

кандидат фізико-математичних наук,
заступник голови правління з науки АО
"Елітан" (м.Харків) В.М.Гурін.

Провідна організація:

НВО "Хартрон" (м.Харків).

Захист відбудеться "29" березня 1996 року о " " годині
на засіданні спеціалізованої ради Д 02.25.04 у Харківському державному
технічному університеті радіоелектроніки за адресою: 310726, м.Харків,
пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці університету.

Автореферат розіслано "29" лютого 1996 року.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
кандидат технічних наук,
доцент



В.М.Левикін

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми і ступінь дослідженості тематики дисертації.

Побудові математичних моделей об'єктів з метою їх дослідження і винайдення основних характеристик присвячена обширна література. В межах цього напрямку значне місце займає математичне моделювання різноманітних технологічних процесів, зокрема процесів, пов'язаних з виготовленням радіоелектронної апаратури.

У дисертації досліджена динаміка зміни електричних параметрів оксидно-напівпровідникових конденсаторів на різних етапах їх виробництва, випробувань та зберігання. Конденсатори цього типу широко використовуються в різноманітних радіоелектронних приладах та електротехнічних обладнаннях і їх параметри значною мірою впливають на вихідні параметри апаратури, в якій вони застосовуються.

Вихідною сировиною в технології виготовлення оксидно-напівпровідникових конденсаторів є металічні порошки (наприклад, тантал та ніобій). Тому при проведенні робіт по обстеженню надійності і довговічності цих конденсаторів необхідно вивчити деякі властивості порошків.

При тривалому зберіганні оксидно-напівпровідникових конденсаторів можуть відбуватися зміни у оксидному шару, які сприяють зниженню якості конденсаторів. Тому перед їх використанням рекомендується проводити ряд випробувань для перевірення відповідності основних електричних параметрів оксидно-напівпровідникових конденсаторів нормам технічних умов. Однак, це вимагає спеціальних пристосувань, великих витрат

часу і засобів, що неекономічно. Тому завдання з оцінювання параметрів конденсаторів при їхньому тривалому зберіганні і скорочення термінів випробувань для оцінки збереження конденсаторів є дуже важливими.

Основною операцією в технології виготовлення оксидно-напівпровідникових конденсаторів є формовка оксидного шару; від його якості залежать основні електричні параметри конденсатора. Тому дуже важливо встановити залежність цих параметрів від факторів, які визначають результат формовки, з метою автоматизації технологічного процесу операції формовки анодів оксидно-напівпровідникових конденсаторів.

Останнім часом виробництво оксидно-напівпровідникових конденсаторів безперервно вдосконалюється, бо рівень їх якості не задовольняє ще всіх вимог споживачів. У зв'язку з цим виникає необхідність частих перевірок та оцінки їх працездатності як у серійному виробництві, так і при введенні необхідних конструкторсько-технологічних змін. Та прийнята методика оцінювання якості конденсаторів вимагає проведення тривалих випробувань на надійність, що не дозволяє оперативно визначати суттєві зміни їх параметрів. Тому завдання розробки методики прискореної оцінки якості оксидно-напівпровідникових конденсаторів теж є актуальним.

Мета та основні завдання наукового дослідження.

Метою даної роботи є розробка методів визначення деяких властивостей порошків, які застосовуються при виробництві оксидно-напівпровідникових конденсаторів, та побудова і аналіз математичних моделей оцінювання електричних параметрів оксидно-напівпровідникових конденсаторів на різних етапах їх

виробництва, випробувань та зберігання.

Основні завдання наукового дослідження:

- аналіз літератури, пов'язаної з дослідженням працездатності оксидно-напівпровідникових конденсаторів на етапі формовки анодів, при випробуваннях та після тривалого зберігання;

- визначення функції розподілу часток за розмірами для полідисперсного порошку;

- розробка модифікації седиментаційного аналізу, який дозволить досліджувати порошки, що знаходяться під впливом поля, яке швидко осцилюється;

- визначення впливу пористості порошку на розмиття фронтів електричних імпульсів при зондуванні ними порошкових тіл;

- визначення впливу малих збурень параметрів каналу-передавача на розмиття фронтів імпульсів;

- розробка прискореного методу оцінки збереження танталових оксидно-напівпровідникових конденсаторів при тривалому зберіганні;

- розробка математичних моделей оцінки параметрів танталових та ніобієвих оксидно-напівпровідникових конденсаторів на етапі формовки анодів;

- розробка прискорених методик оцінки якості танталових та ніобієвих оксидно-напівпровідникових конденсаторів;

- розрахунок та побудова траєкторій старіння танталових оксидно-напівпровідникових конденсаторів.

Наукова новизна роботи.

Найважливішими властивостями металевих порошоків, які визначають можливість їх використання під час виробництва

оксидно-напівпровідникових конденсаторів, є дисперсність та пористість. У дисертаційній роботі було знайдено ефективні методи знаходження функцій розподілу часток за розмірами для полідисперсних порошків, а також порошків, частки яких заряджені, і способи визначення пористості порошків за допомогою їх зондування електричними імпульсами. Запропоновані методи значно полегшують оцінку придатності металевих порошків.

Не зважаючи на велику кількість робіт, присвячених вивченню процесів, які відбуваються під час виробництва і експлуатації оксидно-напівпровідникових конденсаторів, до цього часу не була встановлена достатньо чітка кореляція між електричними параметрами конденсаторів і факторами, які впливають на рівень їх значень в процесі формовки анодів, випробувань та тривалого зберігання.

У дисертаційній роботі було вирішено це завдання і розроблено математичні моделі та прискорені методики оцінювання електричних параметрів оксидно-напівпровідникових конденсаторів на деяких етапах їх виробництва, випробувань та зберігання.

Теоретична і практична цінність дослідження.

Розроблені в дисертації методики та алгоритми дозволяють визначити деякі властивості металічних порошків, які є вихідним сирцем для виробництва оксидно-напівпровідникових конденсаторів, а також здійснювати прискорену оцінку та віддалений прогноз електричних параметрів танталових та ніобієвих оксидно-напівпровідникових конденсаторів на етапі формовки анодів, на фінішних операціях виробництва, при випро-

буваннях та після тривалого зберігання.

Одержані математичні моделі дають можливість уникнути проведення тривалих випробувань конденсаторів, що суттєво скорочує витрати часу та коштів.

Рівень реалізації та впровадження наукових розробок.

Дисертаційна робота була виконана в період з 1991 р. по 1995 р. на кафедрі прикладної математики Харківського державного технічного університету радіоелектроніки відповідно до договору про творче співробітництво N 91/07 "Статистичний аналіз факторів, що впливають на якість оксидно-напівпровідникових конденсаторів, з метою найбільш ефективного керування їхнім виробництвом" між кафедрами прикладної математики Харківського державного технічного університету радіоелектроніки та ДКБ заводу "Радіодеталь" (м.Харків).

Математичні моделі оцінки електричних параметрів оксидно-напівпровідникових конденсаторів на етапі формовки анодів впроваджені на АО "Катіон" м.Хмельницького в технологічний процес виробництва оксидно-напівпровідникових конденсаторів з економічним ефектом 1,9 млрд. крб. в цінах 1995 року. Прискорені методики оцінки якості оксидно-напівпровідникових конденсаторів впроваджені на АО "Актан" (м. Гайворон Кіровоградської обл.) з метою прогнозування надійності конденсаторів на етапі вихідного контролю. Економічний ефект від впровадження склав 1,2 млрд. крб. в цінах 1995 року. Прискорений метод оцінювання збереження оксидно-напівпровідникових конденсаторів використаний на НВО "Моноліт" (м.Харків) для дослідження надійності танталових оксидно-напівпровідникових конденсаторів після 3-річного зберігання. Впровадження під-

тверджене відповідними документами.

Апробація роботи.

Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювалися на II Всесоюзній науково-технічній конференції "Методи подання та обробки випадкових сигналів і полів" (Туапсе, 1991), Всесоюзній науково-технічній конференції "Ідентифікація, вимірювання характеристик та імітація випадкових сигналів" (Новосибірськ, 1991), на Міжнародній конференції "Теорія і техніка передачі, приймання та обробки інформації" (Туапсе, 1995).

Публікації.

На тему дисертації опубліковано 9 наукових робіт, серед них 5 статей і 4 тези доповідей.

Структура та обсяг дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, 7 малюнків, 8 таблиць, викладених на сторінках друкованого тексту; списку літератури з 101 найменуванням та додатків.

Особистий внесок у розробку наукових результатів, що виносяться на захист.

- розробка методів визначення дисперсності та пористості металевих порошків;

- розробка обчислювальної методики оцінювання електричних параметрів оксидно-напівпровідникових конденсаторів при тривалому зберіганні;

- побудова математичних моделей оцінки електричних параметрів оксидно-напівпровідникових конденсаторів на етапі формовки анодів;

- розробка прискорених методик оцінювання електричних параметрів оксидно-напівпровідникових конденсаторів на фінішних операціях виробництва та при випробуваннях.

Методологія та методи дослідження предмету.

У роботі використані методи випадкового аналізу, зокрема, математичні методи планування експериментів, кореляційний, регресійний та дисперсійний аналізи, апарат теорії збурень, елементи теорії диференціальних рівнянь. Програмна реалізація одержаних методик, алгоритмів та обчислювальний експеримент виконувались на ПЕОМ ІВМ РС/АТ-386.

Зміст роботи

У вступі наведено стислу характеристику стану теоретичних та практичних розробок у досліджуваній галузі, обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовані мета та завдання роботи, наведені основні напрямки дослідження, що виносяться на захист, визначена наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, зроблено стислу характеристику змісту розділів роботи.

У першому розділі розглянуто стан питання і сформульовано завдання дослідження. Проведені аналіз працездатності оксидно-напівпровідникових конденсаторів після тривалого зберігання і під впливом різноманітних термоелектричних навантажень, а також дослідження факторів, які визначають ре-

зультат формовки анодів конденсаторів.

На основі здійсненого аналізу з урахуванням вже одержаних результатів можна зробити висновок, що найбільш інформативним параметром для оцінки якості конденсаторів при зберіганні є струм витоку. Вирішити питання про величину струму витоку оксидно-напівпровідникових конденсаторів при тривалому зберіганні та завдання прискореної оцінки збереження конденсаторів можна, виявивши математичну закономірність змін струмів витоку в процесі зберігання. Прогнозуючим параметром цієї закономірності має бути час зберігання.

Удосконаленню технології виробництва оксидно-напівпровідникових конденсаторів сприяють дослідження властивостей оксидних шарів, які утворюються в процесі формовки анодів. Від їх якості залежать електричні параметри конденсатора.

На основі аналізу відповідної літератури та діючого техпроцесу визначені фактори, які впливають на процес формовки анодів танталових та ніобієвих оксидно-напівпровідникових конденсаторів, а також припустимі межі варіювання цих факторів.

За визнаною методикою оцінка працездатності оксидно-напівпровідникових конденсаторів здійснюється на окремих виборках конденсаторів за результатами їхніх випробувань на надійність протягом 1000 годин. Така методика є тривалою і справжній рівень якості відтворює не повністю.

Останнім часом для попередньої оцінки якості оксидно-напівпровідникових конденсаторів застосовується методика порівняння параметрів різноманітних партій конденсаторів при вимірах на максимальній робочій та кімнатній температурах протягом 100 годин випробувань з нормативними параметрами

конденсаторів. Але відсутність перевіреного зв'язку (принаймні, регресійного) між величинами параметрів на протязі 100 і 1000 годин, необгрунтований вибір критеріїв оцінки якості не дозволяють рекомендувати цю методику як адекватну методику оцінки якості конденсаторів.

Аналіз робіт вітчизняних і зарубіжних авторів показав, що дослідження працездатності оксидно-напівпровідникових конденсаторів під впливом факторів, які прискорюють їх старіння (наджорстокі режими, повторно-короткочасне навантаження в номінальному режимі) також дають корисну інформацію під час оцінки якості конденсаторів.

У першому розділі також зроблений короткий огляд фізико-хімічних та технологічних властивостей порошоків, які використовуються при виробництві оксидно-напівпровідникових конденсаторів.

У другому розділі розроблені деякі методи визначення дисперсного складу і пористості порошоків, що застосовуються у виробництві оксидно-напівпровідникових конденсаторів.

Один з методів визначення дисперсного складу порошкових матеріалів, так званий седиментаційний аналіз, заснований на дослідженні залежностей між швидкістю осідання часток у в'язкому середовищі та їхніми розмірами. З цих залежностей можна визначити функції розподілу часток за розмірами у полідисперсних системах.

Нехай, скажімо, в момент часу t через якусь площину на глибині n пройдуть більш великих розмірів частки радіусом r_t , дрібніші частки, в основному, залишаться в шарах, що знаходяться вище n ; y - загальна маса часток в осаду. Седиментаційна крива $y=f(t)$ позначає загальну кількість часток,

які пройшли через площину на глибині h .

За допомогою графічного розрахунку седиментаційної кривої накопичення осаду одержана формула для визначення функції розподілу розмірів часток

$$F(r) = - \frac{2t^2}{r} \frac{d^2y}{dt^2}.$$

Вона визначає загальну кількість часток у системі з радіусом, меншим r_t , величину якого знаходять за формулою Стокса.

Запропонована модифікація седиментаційного аналізу, яка відрізняється від звичайного тим, що процес осідання часток у в'язкому середовищі відбувається не лише за рахунок сили ваги, але й під впливом додаткової сили, джерелом якої є механічні або електромагнітні коливання. Сили, що виникають за рахунок коливань такого типу, дозволяють досліджувати порошки, частки яких заряджені.

Нехай нарівні з полем v сили ваги на частки діє сила

$$f = B_1 \cos \gamma t + B_2 \sin \gamma t,$$

де частота $\gamma \gg \frac{1}{T_0}$, T_0 - середній час осідання часток у середовищі за відсутності сили f ; B_1 та B_2 - функції тільки від вертикальної координати h .

Рівняння падіння часток маси m має вигляд

$$m\ddot{h} = - \frac{dy}{dh} + f, \quad h = h(t),$$

крапка означає диференціювання за часом.

Очевидно, що рух частки являє собою плавне падіння по вертикалі, ускладнене малими високочастотними коливаннями частоти γ . Тобто

$$h(t) = H(t) + x(t),$$

де член $x(t)$ описує малі коливання.

Одержана величина усередненої за періодом високочастотних коливань сили, яка дає додатковий (по відношенню до сили ваги) внесок у процес осідання часток і впливає на швидкість їх осідання

$$\tilde{f} = - \frac{1}{m\gamma^2} f \frac{\partial f}{\partial H}.$$

Однією з найважливіших характеристик порошоків є їх пористість. Електричні характеристики порошкових тіл і порошоків залежать від їхніх коефіцієнтів пористості, але пряме обчислення пористості за вимірними електричними параметрами порошкового матеріалу не дозволяє одержати результати з необхідною точністю. Тому для таких розрахунків доцільно використовувати статистичні методи.

Застосовувалось зондування порошкових тіл імпульсами з різко визначеними перепадами. Тестові імпульси під час проходження через масив порошку трансформуються тим чи іншим чином, фронти та злами імпульсу розмиваються. За допомогою непараметричного двофакторного дисперсійного аналізу Фрідмана, однофакторного, двофакторного дисперсійного аналізу, непараметричного однофакторного дисперсійного аналізу Крускала-Уоліса показано, що вплив фактора пористості на розмиття фронтів імпульсів є значущим.

Система диференційних рівнянь, яка описує процес сталих коливань в інформаційному каналі, має вигляд

$$\varepsilon \frac{h dy}{dx} = A(x, \varepsilon) y,$$

де ε – малий параметр, $A(x, \varepsilon)$ – матриця-функція, що допускає асимптотичний розклад в ряд за ступенями ε , y – вектор розмірності n , $n=2m$ – натуральне число. Відповідний вибір h

визначає характер частотної дисперсії погонних параметрів.

Розглянуто окремий випадок цієї системи, відповідний системі телеграфних рівнянь, коли $h=1$:

$$\frac{dy}{dx} = (A_1(x) + i\omega A_0(x)) y,$$

де $\omega = \frac{1}{i\varepsilon}$, $A_0(x)$ - головний член асимптотичного розкладу матриці $A(x, \varepsilon)$.

В цьому випадку ВКБ-асимптотики для вирішення системи мають вигляд

$$y(x, \varepsilon) = \exp \left\{ i\omega \int \lambda_j(s) ds \right\} \sum_{k=0}^{\infty} C_{jk}(x) \varepsilon^k,$$

де λ_j - власні значення матриці $A_0(x)$, $C_{jk}(x) - 2m$ - мірні вектор-функції. Вектор-функції $C_{j0}(x)$ - це власні вектори матриці $A_0(x)$, відповідні власним значенням $\lambda_j(x)$.

Головні члени ВКБ-асимптотик

$$y_0(x, \varepsilon) = \exp \left\{ i\omega \int \lambda_j(s) ds \right\} C_{j0}(x).$$

Через те, що головні члени ВКБ-асимптотик точно описують стрибки імпульса, то інформація про стрибки, яка в них міститься, достатня для з'ясування їх зміни при незначних збуреннях параметрів каналу.

Встановлено, що поправки до головних членів ВКБ-асимптотик, які враховують незначні збурення погонних параметрів каналу, також незначні, а, отже, можна зробити висновок про незначні збурення стрибків імпульсів, що виникають при малих збуреннях параметрів каналу. Таким чином, визначальний вплив на розмиття фронтів імпульсів при проходженні через пористий порошок матеріал мають властивості порошоків (зокрема, пористість), але не характеристики провідників (каналу-передачача), через які подається електричний імпульс.

У третьому розділі розроблені деякі статистичні методи оцінювання параметрів оксидно-напівпровідникових конденсаторів залежно від часу зберігання та умов формовки.

Простежується деяка закономірність зміни струму витoku конденсаторів від часу зберігання. Аналізуючи її, можна дійти висновку, що апроксимація залежності можлива поліноміальною, лінійною, ступеневою, показниковою та логарифмічною функціями.

Рівняння регресії струму витoku на час зберігання параболічного типу визначено за допомогою методу Чебишева, який полягає в послідовному знаходженні членів ряду Чебишева (порядку λ)

$$P_{\lambda}(x) = \frac{\sum y_j}{n} + \frac{\sum y_j \psi_1(x_j)}{\sum \psi_1^2(x_j)} \psi_1(x) + \frac{\sum y_j \psi_2(x_j)}{\sum \psi_2^2(x_j)} \psi_2(x) + \dots + \frac{\sum y_j \psi_{\lambda}(x_j)}{\sum \psi_{\lambda}^2(x_j)} \psi_{\lambda}(x),$$

де y_j - це середнє значення струму витoku для j -го часу зберігання, підсумовування ведеться за всіма $j = \overline{1, n}$, n - число часових перетинів, x - незалежна змінна, відповідна часу зберігання t .

Рівняння регресії лінійного типу має вигляд

$$\tilde{y} = a + bt.$$

Рівняння регресії ступеневого типу

$$\tilde{y} = at^b.$$

Рівняння регресії показникового типу

$$\tilde{y} = ab^t.$$

Рівняння регресії логарифмічного типу

$$\tilde{y} = a + blgt.$$

Для обчислення коефіцієнтів цих рівнянь застосовувався метод найменших квадратів.

Перевірка відповідності одержаних кривих емпіричним кривим показала, що на даному етапі дослідження (від 0,5 року до 3-х років) найкращу відповідність одержуємо з рівнянням другого порядку, знайденим за методом Чебишева, наступною, найбільш близькою до емпіричної, є ступенева функція.

Таким чином, можна зробити висновок, що для прогнозування збереження конденсаторів на довгий час рекомендується (з обов'язковою надалі перевіркою під час більш тривалого зберігання конденсаторів) апроксимувати емпіричну залежність поліноміальною або ступеневою функцією.

Результат формовки анодів танталових конденсаторів визначається такими факторами, як концентрація електроліту, його температура, тривалість формовки, величина формовочної напруги.

У процесі формовки ніобієвих конденсаторів суттєву роль відіграють фактори, які передують операції формовки анодів, а саме: температура випікання анодних таблеток і питома поверхня вихідного порошку. Також як варійовані фактори приймаються концентрація електроліту та напруга формовки. Інтервали варіювання факторів були обрані у відповідності з існуючими уявленнями про якісні зміни оксидної плівки в залежності від коливань значень факторів.

Функціями відгуку обрано ємкість і струм витoku конденсаторів після формовки анодів.

Використовуючи апріорну інформацію про процес формовки та основні залежності параметрів анодів від обраних факторів, можна зробити припущення про нелінійність відшукуваних

залежностей.

Функції відгуку $f(x, \alpha)$ було знайдено у вигляді

$$f(x, \alpha) = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_4 x_4 + \\ + \alpha_{11} x_1^2 + \alpha_{22} x_2^2 + \alpha_{33} x_3^2 + \alpha_{44} x_4^2 + \\ + \alpha_{12} x_1 x_2 + \alpha_{13} x_1 x_3 + \alpha_{14} x_1 x_4 + \alpha_{23} x_2 x_3 + \alpha_{24} x_2 x_4 + \alpha_{34} x_3 x_4.$$

Необхідність опису процесу формовки з урахуванням одночасного впливу чотирьох факторів при відсутності детермінованої фізико-хімічної моделі процесу вимагає використання математичних методів планування експерименту.

Було обрано ортогональне планування другого порядку для чотирьох факторів. Таким чином, матриця X обрана спеціально так, щоб вона не була громіздкою, але містила достатньо інформації для оцінки параметрів α .

Відповідно обраному плануванню розроблені плани експерименту, складені матриці планування і розраховані коефіцієнти відшукуваних залежностей.

Одержані в результаті рівняння регресії для ємкості та струмів витоку досить повно характеризують поведінку параметрів анодів у заданих межах варіювання і дозволяють здійснювати їхній прогноз в залежності від значень факторів, що розглядаються.

У четвертому розділі розроблені методики прискореної оцінки якості танталових та ніобієвих оксидно-напівпровідникових конденсаторів.

Детальний розгляд різних факторів і параметрів контролю, які дозволяють зареєструвати явні дефекти і потенційно ненадійні зразки танталових конденсаторів К53-1, дає можливість побудувати загальну методику прискореної оцінки якості

конденсаторів такого типу за принципом послідовного проведення етапу відбраковки грубих дефектів, етапу "заліковування" послаблених зразків та етапу контролю - короточасних випробувань з періодичним заміром струму витoku як найбільш інформативного параметру якості.

Встановлено, що за замірами струму витoku на етапах відбраковки та заліковування повністю передбачити відмови на 1000 годин випробувань не є можливим. Можна лише зробити висновки про потенційно надійні конденсатори.

Для більш точного прогнозування відмов конденсаторів була досліджена множинна регресійна залежність струму витoku на протязі 1000 годин випробувань на значення струму витoku при різноманітних видах контролю.

Вибір лінійної форми рівняння множинної регресії обумовлений тим, що досліджувані парні залежності мають наближено прямолінійний характер. Коефіцієнти рівнянь знайдені за способом Чебишева. Перевірка адекватності за критерієм Фішера підтверджує правильність обраної моделі.

Результати випробування розробленої методики оцінки якості танталових конденсаторів К53-1 дозволяють зробити висновок про раціональність її застосування. Одержана методика дозволяє з досить високою достовірністю оцінити якість конденсаторів як за середніми змінами їх електричних параметрів після впливу запропонованими видами термоелектричного навантаження, так і за безпосереднім прогнозуванням відмов конденсаторів, які б мали місце при випробуваннях на надійність протягом 1000 годин, за рівнянням множинної регресії.

За допомогою аналогічних розрахунків у роботі була розроблена методика прискореної оцінки якості ніобієвих конден-

саторів.

У оксидно-напівпровідникових конденсаторів відмови відбуваються звичайно через різкий зріст струму витоку, пов'язаний з дефектами діелектрика. Для кожного окремого зразка зміна струму витоку в часі може бути описана деякою функцією, вигляд якої залежить від типу дефекту. Аналітичні вирази, які дають функціональні описи траєкторій старіння конденсаторів, були отримані методом найменших квадратів для танталових оксидно-напівпровідникових конденсаторів трьох номіналів.

Одержано множинне рівняння регресії, яке описує залежність струму витоку конденсаторів після 1000 годин випробувань на надійність від значень струмів витоку на фінішних операціях виробництва та при випробуваннях. За допомогою критерію Фішера проведена перевірка гіпотези про адекватність одержаної моделі.

У додатках наведені акти втілення і використання результатів дисертаційної роботи, а також початкові дані, результати проміжних і кінцевих розрахунків.

Основні результати та висновки.

1. Знайдена функція розподілу часток за розмірами при використанні седиментаційного аналізу.
2. Запропонована модифікація седиментаційного аналізу для випадку швидкого осцилюючого поля.
3. Зроблено висновок про малі збурення стрибків імпульсів при малих збуреннях параметрів каналу-передавача та про можливість визначення пористості порошків за результатами розмиття фронтів імпульсів при зондуванні ними порошкових

тіл.

4. Визначена регресійна залежність струму витoku від часу зберігання танталових оксидно-напівпровідникових конденсаторів, що найкращим чином відповідає реальному процесу їх тривалого зберігання.

5. З використанням методів планування експериментів розроблені математичні моделі оцінки параметрів анодів танталових та ніобієвих оксидно-напівпровідникових конденсаторів за параметрами, які визначають результат формовки.

6. Розроблена методика прискореної оцінки якості й прогнозування відмов танталових оксидно-напівпровідникових конденсаторів та наведені результати її випробування.

7. Розроблена методика прискореної оцінки якості ніобієвих оксидно-напівпровідникових конденсаторів.

8. За допомогою методу найменших квадратів визначено вид аналітичної залежності струмів витoku танталових оксидно-напівпровідникових конденсаторів від часу.

9. Розроблений метод прогнозування надійності танталових оксидно-напівпровідникових конденсаторів з використанням інформації про їхню поведінку на фінішних операціях виробництва, при випробуваннях на надійність та теплостійкість.

Основні результати дисертації опубліковано у таких роботах:

1. Дикарев В.А., Кравчук А.Ю., Шепелева Н.В. Изменение амплитуд и скоростей ВКБ-волн при малых возмущениях характеристик информационных каналов. – Харьков: Деп. в УкрНИИНТИ 25.04.91, N 584 – Ук 91. – 10 с.

2. Дикарев В.А., Кравчук А.Ю., Столетняя В.А., Шепеле-

ва Н.В. Один метод различения сигналов в сетях и схемах // Тез. докл. Всесоюзной научно-технической конференции "Идентификация, измерение характеристик и имитация случайных сигналов". - Новосибирск, 1991. - С. 297.

3. Герасин С.Н., Дикарев В.А., Шепелева Н.В. Поведение переходных вероятностей при малых возмущениях параметров марковских процессов // Тез. докл. II Всесоюзной конференции "Методы представления и обработки случайных сигналов и полей". - Туапсе, 1991. - С. 13.

4. Герасин С.Н., Дикарев В.А., Шепелева Н.В. Преобразование особенностей импульсов в нерегулярных каналах связи со случайными возмущениями // Тез. докл. II Всесоюзной конференции "Методы представления и обработки случайных сигналов и полей". - Туапсе, 1991. - С. 12.

5. Дикарев В.А., Шепелева Н.В. Один метод нахождения асимптотик фундаментальной системы решений дифференциальных уравнений с малым параметром. - Харьков: Деп. в ГНТБ Украины 10.03.93, N 457 - Ук 93. - 11 с.

6. Дикарев В.А., Шепелева Н.В. Использование зондирующих проводящих сетей при определении характеристик активных сред. - Харьков: Деп. в ГНТБ Украины 6.07.93, N 1394 - Ук 93. - 8 с.

7. Шепелева Н.В. Разработка ускоренных методов оценки сохраняемости и качества конденсаторов. - Харьков: Деп. в ГНТБ Украины 17.10.94, N 2027 - Ук 94. - 15 с.

8. Шепелева Н.В. Седиментационный анализ в условиях быстро осциллирующего поля. - Харьков: Деп. в ГНТБ Украины 03.01.95, N 57 - Ук 95. - 8 с.

9. Шепелева Н.В. Прогнозирование электрических характе-

ристик анодов по результатам измерений // Тез. докл. Международной конференции "Теория и техника передачи, приема и обработки информации". – Туапсе, 1995. – С. 25.

Анотації

Шепелева Н.В. Математические модели и алгоритмы оценивания электрических параметров оксидно-полупроводниковых конденсаторов в процессе их производства, испытаний и хранения. Диссертация является рукописью на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.02 – математическое моделирование в научных исследованиях. – Защита состоится в Харьковском государственном техническом университете радиозлектроники, Харьков, 1996.

Разработаны методы определения некоторых свойств порошков, применяющихся при производстве конденсаторов. Построены математические модели оценки электрических параметров оксидно-полупроводниковых конденсаторов. Они позволяют без проведения длительных испытаний осуществлять ускоренную оценку сохраняемости конденсаторов при длительном хранении; прогнозировать электрические параметры анодов конденсаторов и проводить ускоренную оценку качества сформованной диэлектрической пленки, а также осуществлять ускоренную оценку качества оксидно-полупроводниковых конденсаторов и прогнозировать их надежность. Осуществлено внедрение разработанных ускоренных методик.

Shepeleva N.V. Mathematical models and algorithms to evaluate electric parameters of solid-electrolyte capacitors in their production, testing and storage. The Thesis is a

manuscript for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences, speciality code 05.13.02 - Mathematical simulation in scientific research. - The Defence will take place in the Kharkov State Technical University of Radioelectronics, Kharkov, 1996.

The developed methods allow to define certain properties of the powder used in capacitors' production. Built mathematical models enable the electric parameters of solid-electrolyte capacitors to be evaluated. They allow to conduct accelerated evaluation of capacitors capability to work after long storage; forecast electric parameters of capacitors' anodes and to carry out accelerated evaluation of shaped dielectric film quality. The models also make it possible to conduct accelerated evaluation of solid-electrolyte capacitor quality and forecast their reliability without long testing. The developed accelerated methods have been instilled in production.

Ключові слова: електричні параметри, оксидно-напівпровідникові конденсатори, ортогональне планування, седиментаційний аналіз, методи оцінювання параметрів

Шушеня

Підп. до друку 26.02.96

Умовн. друк. арк. 1,25

Тираж 100 прим.

Зам. № 457

Безкоштовно

Різограф ТОВ «**VSV**», тел. 20-18-32

м. Харків, м. Радянської України, 1, Палац Праці, 2 п. 3 пов., к. 9

