

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Михалевський Дмитро Валерійович

УДК 621.315.592

**ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ ЗА РІВНЕМ
НИЗЬКОЧАСТОТНОГО ШУМУ**

Спеціальність: 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин

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

Вінниця – 2010

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кичак Василь Мартинович,
Вінницький національний технічний університет,
директор Інституту радіотехніки,
зв'язку та приладобудування,
завідувач кафедри телекомунікаційних
систем та телебачення

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Володарський Євген Тимофійович,
Національний технічний університет
України "Київський політехнічний інститут",
професор кафедри автоматизації
експериментальних досліджень

доктор технічних наук, професор
Стенцель Йосип Іванович,
Східноукраїнський національний університет
ім. Володимира Даля (м. Сєверодонецьк),
завідувач кафедри автоматизації
технологічних процесів

Захист відбудеться «04» червня 2010р. о 9³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої
ради Д 05.052.02 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021,
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210, ГУК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного
технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий «30» ____ 04 ____ 2010р.

В. о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради

В. С. Осадчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В теперішній час спостерігається значний розвиток електронних компонентів. Елементна база постійно вдосконалюється і, як свідчить практика, технологічні процеси виготовлення не є ідеальними. В результаті цього на підприємствах, що виготовляють радіоелектронну апаратуру, потрапляють потенційно ненадійні вироби, при відмові яких можуть бути значні матеріальні втрати. Для попередження цього існують різні методи контролю якості напівпровідникових приладів на етапі вихідного контролю у виробника та вхідного контролю у споживача виробів електронної техніки, який виготовляє радіоелектронну апаратуру на їх основі.

Що стосується ситуації виготовлення виробів електронної техніки в Україні, то питання оцінювання якості і прогнозування їх надійності є найбільш актуальним. З одного боку, щоб забезпечити конкурентоздатність виготовлених електронних компонентів, а, з іншого боку, забезпечити високу надійність виготовленої радіоелектронної апаратури, яка побудована на зарубіжній елементній базі, оскільки, для різних партій компонентів однієї серії існує імовірність наявності ненадійних виробів електронної техніки.

Як відомо, найбільш ефективними методами прогнозування надійності є методи неруйнівного контролю, що передбачають проведення контролю із збереження початкових характеристик виробів, які досліджуються. Але найбільш перспективними на даний час є методи контролю надійності виробів за рівнем низькочастотних шумів. Їх перевага полягає у відносній простоті побудови засобів контролю.

Суттєвий внесок у розробку шумових моделей, теорії розрахунку шумових характеристик напівпровідникових структур і методів прогнозування надійності виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму внесли такі вчені: Придорогін В.М., Пряников В.С., Воронцов В.Н., Лукьянчикова М.Б., Горлов М.І., Суходоев І. В, Ван дер Зил А., Букингам М., Байда Н.П., Колодій З.О. та їхні учні.

Суттєвим недоліком відомих методів і засобів контролю якості виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму є їх низька вірогідність контролю, що обумовлюється неповною відповідністю математичних моделей і недосконалістю апаратних засобів, що спричиняє недостатню достовірність результатів контролю, які не відповідають сучасному рівню розвитку електронних виробів, а також те, що процедура контролю здійснюється в ручному режимі. В зв'язку з цим, є необхідним розв'язання науково-технічної задачі підвищення вірогідності існуючих і створення нових методів та засобів контролю надійності виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму, на етапі вихідного контролю у виробників цих виробів, та на етапі вхідного контролю на підприємствах, що виготовляють радіоелектронну апаратуру.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основний зміст роботи складають результати досліджень, що були отримані протягом 2005-2009 років. Дисертаційна робота виконувалася відповідно програм і планам виконання науково-дослідних робіт у Вінницькому національному технічному університеті, а саме: 1) держбюджетної науково-дослідної роботи „Розробка основ теорії цифрового оброблення високочастотних сигналів в радіотехнічних та телекомунікаційних системах” (№ державної реєстрації 0105U002415); 2) держбюджетної науково-дослідної роботи “Розробка основ теорії цифрового оброблення надширококустових сигналів” (№ державної реєстрації 0108U000298); 3) договором №45/3 про науково-технічне співробітництво “Дослідження шумових характеристик виробів електронної техніки і застосування їх для прогнозування надійності” між кафедрою телекомунікаційних систем та телебачення ВНТУ і Державним науково-дослідним інститутом “Гелій” (м. Вінниця).

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення швидкодії та вірогідності контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму шляхом вдосконалення математичних моделей та створенням нових засобів контролю.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

- здійснити аналіз і систематизацію існуючих методів та засобів контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму, і на базі цього розробити теоретичні засади для побудови математичних шумових моделей;

- вдосконалити шумові моделі виробів електронної техніки і розробити нові, які враховують паразитні та зворотні зв'язки;

- розробити засіб відносного контролю виробів електронної техніки, його структурну схему і алгоритм роботи, для підвищення швидкодії контролю;

- розробити засіб спектрального контролю із використанням методів цифрової обробки сигналів, для підвищення вірогідності у всьому діапазоні прояву низькочастотних шумів;

- розробити засіб безпосереднього контролю виробів електронної техніки та його структурну схему і алгоритм його роботи, для підвищення вірогідності контролю;

- провести оцінку вірогідності для розроблених засобів контролю;

- розробити методика контролю виробів електронної техніки на основі розроблених засобів і провести експериментальні дослідження.

Об'єктом дослідження є процес вимірювального контролю рівня власних шумів виробів електронної техніки в області низьких частот.

Предметом дослідження є методи та засоби контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму.

Методи дослідження. В основу дисертаційної роботи покладено методи математичного і фізичного моделювання. При дослідженні шумових характеристик виробів електронної техніки використано теорію кіл і методи розрахунку шумових джерел, для проектування засобів контролю – теорію контролю, для визначення границь контролю – теорію випадкових процесів і методи математичної статистики обробки результатів, а також методи цифрової обробки випадкових сигналів – для виділення вузькосмугового середньоквадратичного значення шумової напруги.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у підвищенні вірогідності та швидкодії контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму на етапі вхідного та вихідного контролю в автоматичному режимі. При цьому отримані такі наукові результати:

- вдосконалено метод контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму, який на відміну від відомих використовує алгоритми цифрової обробки сигналів, що дозволяє підвищити вірогідність контролю у діапазоні прояву низькочастотного шуму до 2 кГц;

- вдосконалено метод відносного контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму, в якому, на відміну від відомих, операція контролю виконується аналоговими засобами, що дає можливість підвищити швидкість отримання результату контролю до 10 разів;

- вдосконалено метод безпосереднього контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму, в якому, на відміну від існуючих, похибка вимірювання середньоквадратичного значення шумової напруги не перевищує 2%;

- вдосконалено математичні шумові моделі об'єкта контролю, які, на відміну від відомих, враховують всі відомі та шуми обумовленні схемою вмикання і паразитні зв'язки, що дало можливість підвищити вірогідність контролю і зменшити розбіжність теоретичних і експериментальних досліджень до 5%;

- вперше отримано статистичні залежності середньоквадратичного значення шумової напруги від впливу елементів схеми вмикання та режиму роботи виробів, що досліджуються, в результаті чого збільшилась відповідність математичної моделі та експериментальних результатів.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність результатів роботи полягає у тому, що на основі розроблених концепцій, теоретичних засад, методів і математичних моделей створено нові засоби для технологічної операції контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму, які на відміну від існуючих

забезпечують вищу достовірність результатів, розроблено алгоритми роботи засобів контролю.

Розроблено засіб, який реалізує метод відносного контролю, що дало можливість виключити похибки аналого-цифрового перетворення і значно зменшити час виконання операції контролю. Розроблено засіб, який реалізує метод спектрального контролю, що дало можливість оцінювати інформативний параметр в діапазоні прояву низькочастотних шумів до 2 кГц. Розроблено засіб, який реалізує метод безпосереднього контролю, що дало можливість підвищити вірогідність контролю.

Розроблені засоби та шумові моделі впроваджено у Державному науково - дослідному інституті “Гелій”. Також результати роботи використовуються в навчальному процесі у Вінницькому національному технічному університеті на кафедрі телекомунікаційних систем та телебачення в дисциплінах “Технічна електроніка” для напрямку 6.050903 “Телекомунікації” і “Радіоматеріали, радіокомпоненти та мікроелектроніка” для напрямку 6.050901 “Радіотехніка”.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У наукових працях, написаних у співавторстві, дисертантом: досліджено шумові характеристики інтегрального транзистора із врахуванням паразитних зв'язків, пов'язаних із його технологією виготовлення [1]; розроблена математична шумова модель операційних підсилювачів і нова методика для операцій контролю їх надійності [2]; розроблено структурну схему і алгоритм роботи засобу автоматичного контролю надійності за рівнем низькочастотного шуму безпосереднім методом [3]; розроблено засіб і методику відносного контролю надійності виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму, запропоновано структурну схему і алгоритм роботи [4]; запропоновано засіб контролю надійності виробів електронної техніки із використанням цифрових методів обробки сигналів [5]; запропоновано метод вимірювання шумових характеристик інтегральних транзисторів [6]; запропоновано метод контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму [7]; досліджено вплив зворотніх зв'язків схеми вмикання виробів електронної техніки при оцінці їх надійності за рівнем низькочастотного шуму [8]; запропоновано шумову модель інтегрального елемента багатоємірного транзистора [9]; запропоновано шумову модель для оцінки рівня шумів одноелектронних транзисторів [10];

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на таких наукових конференціях: I Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування” (Вінниця, 2005), II Міжнародній науково-практичній конференції “Сучасні наукові дослідження – 2006” (Дніпропетровськ, 2006), III Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування” (Вінниця, 2007), 4-й Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції “Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций” (Севастополь, 2008), 5-й Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції “Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций” (Севастополь, 2009), II Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування” (Вінниця, 2006), Міжнародній науково-технічній конференції з автоматичного управління “Автоматика – 2006”, (Вінниця).

Публікації. Основний зміст роботи опубліковано у 12 наукових працях, 5 із яких у фахових виданнях, що входять до переліку ВАК України, 7 – в матеріалах і тезах конференцій.

Обсяг та структура дисертації. Дисертаційна робота містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг дисертації – 167 сторінки, з яких основний зміст викладено на 145 сторінках, містить 63 рисунків. Список використаних джерел складається із 145 найменувань. Додатки містять програми обробки результатів вимірювань та акти впровадження результатів роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дослідження, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Сформульовано мету і задачі дослідження, охарактеризовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про впровадження результатів роботи, їх апробацію та публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз методів та засобів неруйнівного контролю виробів електронної техніки (ВЕТ). Дослідження показали, що існує безліч методів прогнозування надійності виробів електронної техніки, які поділяються на руйнівні і неруйнівні. Основну увагу приділено найбільш перспективним методам неруйнівного контролю, дослідження яких показало, що найбільш перспективним є контроль за рівнем НЧ шумів. Саме такі методи є одними із найперспективніших напрямків розвитку сучасних методів контролю. Вони мають ряд переваг: простота реалізації вимірювальних приладів, можливістю використання одного інформативного параметра, такого як шумова напруга, простота визначення меж контролю, економічна ефективність по відношенню до інших методів, простота використання і технічної реалізації.

В результаті вивчення методів контролю ВЕТ за рівнем НЧ шуму і розробленого технічного забезпечення на їх основі було виявлено ряд недоліків. До найголовніших із них можна віднести – низьку вірогідність контролю, яка становить порядку 70 - 80%.

Другий розділ присвячено теоретичному та експериментальному дослідженню фізичних процесів виникнення шумів у виробках електронної техніки, на основі запропонованих математичних моделей для біполярних, польових та інтегральних транзисторів, а також інтегральних схем.

З метою встановлення меж контролю для виробів електронної техніки було досліджено середньоквадратичне значення шумової напруги в діапазоні НЧ. Для підвищення вірогідності контролю було вдосконалено існуючі математичні моделі, які дозволяють більш точно відтворювати всі фактори, які мають вплив на кінцевий результат інформативного параметра при вимірюваннях.

Для прикладу наведемо шумову модель біполярного транзистора (рис. 1).

Рис. 1. Шумова модель біполярного транзистора

При математичному моделюванні шумових характеристик транзисторів, як правило, враховують внутрішні параметри транзистора. Результати розрахунків мають наближені значення і не збігаються з експериментальними. Це є справедливим для ВЕТ, в яких рівень власних шумів є високим. Для малошумлячих ВЕТ, на рівень їх шуму, додатково впливають складові теплового шуму схеми задання режиму роботи. Таким чином, враховуючи еквівалентну схему наведену на рис. 1, шумову модель, можна доповнити джерелами шуму як показано на рис. 2 а.

В результаті цього загальний вираз середньоквадратичного значення напруги можна записати так

де A , B , C – коефіцієнти схеми; r_b, r_e, r_k – диференційні опори бази, емітера та колектора транзистора; K_k – коефіцієнти, які залежать від роду дефектів і матеріалу, та характеризують внутрішню структуру напівпровідника; n – коефіцієнт, величина якого не перевищує 2 і залежить від об'ємної і поверхневої складових струму; K_f – коефіцієнт, який залежить від стану поверхні і характеризується сильним розкидом значень для різних виробів; q – заряд

електрона; I_{σ} , I_e , I_k – постійний струм бази, та струми емітерного і колекторного переходів; T – температура; Δf – смуга частот досліджень; β – коефіцієнт передачі транзистора.

а б

Рис. 2. Джерела шуму обумовленні схемою вмикання (а) і залежність середньоквадратичного значення шуму від частоти (б)

Графіки залежності середньоквадратичного значення шумової напруги від частоти для біполярного транзистора КТ6117 наведені на рис. 2 б. Крива 1 показує залежність власних шумів транзистора від частоти, а крива 2 враховує вплив складових шумової напруги елементів схеми задання режиму роботи на рівень шуму на вході вимірювача.

Для визначення оптимальних умов проведення контролю досліджено вплив середньоквадратичного значення шумової напруги від зміни режиму роботи транзистора. Результати досліджень наведено на рис. 3.

Аналіз результатів досліджень показує значний рівень шумової напруги, який має місце в області низьких частот, а також при збільшених значеннях струму колектора.

Шумові моделі польових транзисторів для обох структур будуть подібними, а різниця полягає лише у механізмі виникнення НЧ шумів в каналі.

а б

Рис. 3. Залежність середньоквадратичного значення шумової напруги: а) від струму колектора; б) від струму бази

З урахуванням цього модель польових транзисторів для аналізу шумових характеристик можна представити як показано на рис. 4.

Рис. 4. Шумова модель польового транзистора

Враховуючи наведену шумову модель, і вплив елементів схеми задання режиму роботи загальний вираз середньоквадратичного значення шумової напруги можна записати так

де S_{\max} – крутість стік-заслінної характеристики транзистора при насиченні; r_m – внутрішній опір каналу; I_{ze} – зворотній постійний струм транзистора; r_c, r_g, r_{ze} – паразитні опори стоку, витоку і зворотного зв'язку транзистора; p_1, f_0 – коефіцієнти внутрішньої структури транзистора, які залежать від матеріалу і температури; $S_{\max, k}^2$ – крутість керування струму каналу напругою на підкладці; p_2, p_3 – коефіцієнти, які залежать від шуму генерації-рекомбінації.

На базі проведених досліджень середньоквадратичного значення шумової напруги від частоти, результати досліджень для трьох типів польових транзисторів, приведено на рис. 5.

а б

Рис. 5. Залежність середньоквадратичного значення шумової напруги польових транзисторів від частоти: а) для власних шумів; б) із впливом елементів схеми, які

визначають режим роботи

Як видно із рис. 5 а, найнижчий рівень шумової напруги спостерігається у транзисторів із керованим р-п-переходом (крива 1). У МДН транзисторів найбільший рівень шумів спостерігається для структур із високоомною підкладкою (крива 3), який вноситься шумом генерації-рекомбінації, а структури із низькоомною підкладкою характеризуються рівнем шуму (крива 2), що наближається до кривої 1. Для транзисторів із високоомною підкладкою, НЧ шум спостерігається на частотах до 100 кГц і вище. Отримані результати досліджень, що приведено на рис. 5 б, показують залежність середньоквадратичної шумової напруги від частоти із врахуванням впливу елементів схеми задання режиму і мають такий же характер, але рівень шумової напруги відрізняється на порядок у порівнянні з попереднім випадком. Це може призводити до появи похибки при операціях контролю. Таким чином вплив теплових шумів елементів схеми, при операціях контролю польових транзисторів за рівнем НЧ шуму, необхідно враховувати.

Аналогічно було проведено дослідження інтегральних транзисторів та операційних підсилювачів. В результаті проведених досліджень встановлено, що похибка між результатами теоретичного і експериментального моделювання не перевищує 5%.

Для партій виробів, шумові моделі яких розроблені у дисертації, було встановлено межі контролю, а також запропоновано поділ за надійністю, який був підтверджений класичним методом неруйнівного контролю – електротермотренуванням при температурі 150 °С на протязі ста годин. Ненадійними виробами можна вважати вироби, рівень власного шуму яких перевищить рівень встановленого нормованого значення у два і більше раз. Надійні вироби поділяються на три групи за надійністю: перша група, рівень власної шумової напруги не перевищує встановлених норм в 1,3 рази, є високонадійними; друга група, рівень власної шумової напруги знаходиться в межах 1,3-1,6 встановлених норм, є надійними, а третя група менш надійні і знаходяться в межах 1,6-2 від встановлених норм.

У **третьому розділі** на основі виконаних досліджень об'єкта контролю і залежності його параметрів від режимів роботи, було вдосконалено методи та розроблено нові засоби контролю ВЕТ за рівнем НЧ шуму.

Оскільки операції контролю передують операції вимірювання інформативного параметра, в даному випадку, рівня власної шумової напруги ВЕТ, що досліджується, то засоби контролю повинні містити в собі два етапи: операцію вимірювання та операцію контролю.

Метод контролю полягає у вимірюванні середньоквадратичного значення шумової напруги в певній смузі частот. На наступному етапі виміряне значення порівнюється із наперед встановленою межею контролю, після чого виноситься висновок про надійність ВЕТ, що досліджується. Структурна схема засобу контролю представлена на рис. 6.

Рис.6. Структурна схема засобу для контролю ВЕТ

Принцип роботи запропонованого засобу полягає в наступному. Схема вмикання (СВ) і блок вибору режиму (БР) забезпечують оптимальний режим роботи ВЕТ, де формується шумова напруга $U_{ш}$. Підсилювач напруги (k_1, k_2) забезпечує підсилення $U_{ш}$ до рівня сприйняття аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Попередній підсилювач узгоджує СВ із вимірювальним блоком пристрою. Він є малошумлячим, оскільки вносить основний рівень власних шумів вимірювальної схеми. Діапазон частот $f_2 - f_1$ вибирається смуговим фільтром (СФ) із коефіцієнтом передачі k_ϕ . Середньоквадратичний детектор (СКД) виділяє середньоквадратичне значення шуму, яке подається на АЦП.

Для оцінки викидів імпульсного шуму введена ланка із компаратором (К). Визначення систематичної похибки пристрою виконується із використанням внутрішнього цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) та мікроконтролера MSC 1214 із згладжуючим

фільтром нижніх частот (ФНЧ).

Виведено рівняння перетворення для запропонованого засобу контролю, яке запишеться так:

де n – розрядність регістра наближення АЦП; U_{on} – рівень опорної напруги; k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти підсилення попереднього, кінцевого та внутрішнього підсилювачів; R_n – опір навантаження детектора; $\overline{U_{ш}^2}$ – визначає повний рівень середньоквадратичного значення шумової напруги; T_c – період вимірювання детектора; S_ϕ – крутість вольт-амперної характеристики детектора.

Рис. 7. Статична характеристика засобу контролю

Запропонований засіб має квадратичну статичну характеристику, яка

наведена на рис. 7 і справедлива для двадцяти чотирьох розрядів квантування АЦП. Для запропонованого засобу контролю отримано умову контролю ВЕТ за рівнем НЧ шуму, що визначається за формулою (1)

(1)

де U_i – i -те вимірювання шумової напруги; n – кількість вимірів; m – кількість ВЕТ у партії; k – коефіцієнт, який визначає межі контролю.

Наведене вище рівняння є умовою контролю, за якою можна отримати межу контролю для будь-якої вибірки ВЕТ, шумові характеристики яких невідомі. При відомому k , межі контролю встановлюються блоком клавіатури (БК).

Запропонований вище засіб має низьку швидкодію. Тому було запропоновано більш швидкодіючий засіб, який використовує відносний контроль. Структурна схема такого засобу наведено на рис. 8.

Запропонований засіб працює таким чином. На вхід опорного каналу, за відповідною йому схемою вмикання (СВ), підмикається високонадійний ВЕТ, а до входу вимірювального каналу підключається ВЕТ, що досліджується.

Рис. 8. Структурна схема засобу відносного контролю ВЕТ

Схема вмикання і блок режимів (БР), який задає режим роботи оптимальний з точки зору шумових характеристик, виконані одним блоком і є індивідуальними для відповідних виду і серії ВЕТ. Попередній (ПП) і кінцевий підсилювачі (КП) підсилюють рівень шумової напруги до рівня перетворення квадратичного детектора (КД). Смуговий фільтр (СФ) налаштований на пропускання смуги частот $f_2 - f_1$.

Етап контролю проводиться з використанням компаратора (К). На один із входів компаратора подається середньоквадратичне значення сигналу із вимірювального каналу, а на інший – із опорного. Для встановлення меж контролю використовується підсилювач із регульованим коефіцієнтом підсилення (РП), який керується розрядністю вихідного коду ЦАП.

При встановленні коефіцієнта підсилення РП за допомогою блока клавіатури (БК), встановлюються межі контролю ВЕТ. Таким чином, поки рівень власних шумів вимірювального ВЕТ, який подається на інвертуючий вхід компаратора, не перевищує рівня опорного каналу, що подається на неінвертуючий вхід, то вихід компаратора приймає високе значення або логічну одиницю. А якщо рівень власних шумів ВЕТ, що досліджується перевищує рівень встановленого контролю, то вихід компаратора приймає значення логічного нуля. Далі сигнал подається на порт мікроконтролера, де проводиться операція контролю та виведення інформації на екран.

Для запропонованого засобу було отримано умову контролю, за схемою компаратора із відкритим колектором, яка запишеться так:

де R_1 і R_2 – опори зворотного позитивного зв'язку компаратора; E – напруга живлення; R_k – опір колектора; де U_g , U_n – високий і низький рівні напруги на виході компаратора. U_{zm} – напруга зміщення операційного підсилювача; $\overline{U_{on}^2}$ – середньоквадратичне значення шумової напруги опорного каналу; $\overline{U_{вим}^2}$ – середньоквадратичне значення шумової напруги вимірювального каналу.

Статичні характеристики вимірювального і опорного каналів наведенні на рис. 9.

Наведенні вище засоби контролю передбачають аналіз інформативного параметра для однієї смуги частот. Для дослідження на іншій смузі частот, необхідно змінити частоту пропускання смугового фільтра, що збільшує час контролю. Аналіз проведених досліджень показує, що у смузі частот від 20 Гц до 2 кГц, для одного типу ВЕТ, можливі шумові викиди на різних частотах дослідження.

Рис. 9. Характеристики перетворення каналів

Для усунення цього недоліку розроблено засіб, структурна схема якого

наведена на рис. 10, який дозволяє аналізувати шумові характеристики в широкому діапазоні частот та оцінювати надійність ВЕТ із використанням сучасних методів цифрової обробки сигналів.

Рис. 10. Структурна схема засобу для контролю спектральним методом

Шумовий сигнал, який виникає на виході ВЕТ, ввімкненого за відповідною схемою (СВ), підсилюється попереднім (ПП) і кінцевим (КП) підсилювачами, до рівня вхідного сигналу аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Після обробки сигналу цифровим фільтром ЦФ, пристроєм прийняття рішень (ППР) виноситься результат контролю.

В результаті цього відліки шумового сигналу можна представити у вигляді:

де n – кількість розрядів АЦП; U_{on} – опорна напруга; U_i – амплітуда імпульсів дискретизації; $M(\overline{e_{ш}^2})$ – математичне очікування шумової напруги, яке визначається із шумової моделі, k_{mn} і k_{kn} – коефіцієнти підсилення попереднього і кінцевого підсилювачів відповідно; G – масштабний множник; N – порядок фільтра; f_d – частота дискретизації; b_m, c_m, a_m, g_m – коефіцієнти смугового фільтра.

Статична характеристика засобу показана на рис. 11, а нерівність контролю для даного засобу визначається нерівністю (2).

Рис. 11. Статична характеристика засобу спектрального контролю

$$, \quad (2)$$

де M – визначає кількість відліків, які необхідно взяти для отримання відповідної

достовірності оцінки випадкової величини; $y_{i.c}^2(n)$ – середньоквадратичне значення відліків високонадійного виробу; k – коефіцієнт, який визначає межі контролю.

Дослідження показали, що засоби контролю здатні проводити оцінку інформативного параметра із похибкою не більше 2% для засобу безпосереднього контролю, 0,5% для

відносного і 1,5% для спектрального.

У четвертому розділі на основі розроблених теоретичних питань розглянуто практичну реалізацію засобів контролю. При цьому розглянуто аналогову частину, що забезпечує перетворення середньоквадратичного значення шумової напруги у необхідних межах, та цифрову частину прийняття рішень для винесення результату контролю за розробленою методикою: придатний або непридатний. Використовуючи партію ВЕТ, для якої наперед відоме середньоквадратичне значення шумової напруги, проведено дослідження, що підтвердило отримані в роботі математичні моделі та рівняння перетворення засобів контролю. Результати підтвердили гіпотезу про нормальний розподіл контрольованого інформативного параметра.

Отримані результати показують, що вірогідність контролю для засобу безпосереднього контролю становить 0,98, із використанням усереднення результатів контролю протягом 40с. Для засобу відносного контролю вірогідність контролю є не менше 0,9 за період 1с. Це забезпечується операцією порівняння аналоговими засобами. Засіб спектрального контролю забезпечує вірогідність 0,95, а також дає можливість проводити контроль на десяти смугах в частотному діапазоні прояву НЧ шумів до 2кГц.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень розв'язано науково-технічну задачу, яка полягає у розробці засобів вимірювального контролю виробів електронної техніки за рівнем НЧ шуму, що забезпечують вищу вірогідність та швидкодію контролю, і можуть використовуватись як на підприємствах які виготовляють ВЕТ на етапі вихідного контролю, так і на підприємствах, що виготовляють радіоелектронну апаратуру на їх базі, на етапі вхідного контролю.

Основні наукові результати роботи полягають у наступному:

1. Проаналізовано відомі методи та засоби контролю ВЕТ за рівнем НЧ шуму, та методики їх побудови. Встановлено, що основними перевагами їх є простота реалізації, можливе використання одного інформативного параметра (для даної роботи шумова напруга), економічна ефективність, простота використання та технічної реалізації.

2. Вдосконалено шумову модель для біполярних транзисторів, яка враховує всі відомі на сьогодні види шумів, що мають місце при вимірюванні в діапазоні низьких частот, а також враховують шуми схеми вмикання та зворотні зв'язки. Отримані аналітичні вирази для визначення еквівалентних шумової напруги і струму, а також їх зв'язок із елементами еквівалентної схеми вмикання та режиму роботи виробу, що досліджується. Проведено дослідження впливу схемного рішення на результат контролю при оптимальних режимах вмикання транзистора і операціях контролю за рівнем НЧ шуму.

Вдосконалено шумову модель для двох типів польових транзисторів із врахуванням елементів схеми вмикання, режиму роботи та зворотного зв'язку.

Розроблена нова математична шумова модель операційного підсилювача, побудованого на біполярних транзисторах. Проведено розрахунки і дослідження шумових характеристик ОП по диференціальному і синфазному входах, а також оцінено вплив елементів схеми на загальну шумову картину.

Дослідження показали, що розбіжність між математичним моделюванням і експериментальними даними складає не більше 5%.

3. Проведено дослідження що підтвердили можливість здійснення контролю виробів електронної техніки за рівнем НЧ шуму. Для цього було використано метод прискореного виявлення дефектів – електротермотренування. В результаті чого було встановлено допустимі межі зміни інформативного параметра і запропоновано спосіб поділу виробів по надійності.

4. Розроблено засіб контролю із використанням безпосереднього методу вимірювання інформативного параметра. Отримано рівняння перетворення і статичну характеристику

засобу, що дозволяє використовувати сучасну мікропроцесорну техніку, а також визначено вимірвальний і довірчий інтервал контролю. Дослідження показали, що запропонований засіб контролю надає можливість здійснювати процедуру контролю за період у 40 с. із вірогідністю 0,98.

5. Розроблено засіб, який реалізує метод відносного контролю надійності із використанням двох каналів вимірювання, що дозволило компенсувати систематичну похибку і збільшити швидкодію операції контролю, за рахунок використання аналогового порівняння. Вірогідність контролю на пряму залежить від підбору високоякісного ВЕТ для опорного каналу і має значення не менше 0,9. При цьому забезпечується висока швидкодія порядку 1с. для найнижчого частотного діапазону.

6. Розроблено засіб контролю ВЕТ із використанням алгоритму цифрової обробки сигналів. Дослідження показали, що похибка засобу контролю, який реалізує даний метод складає не більше 1% для аналогової частини і не більше 0,5% для цифрового перетворення інформативного параметра. Простота технічної реалізації та використання цифрової обробки сигналу дозволяє виключити ряд неконтрольованих зовнішніх впливів, які властиві аналоговим вимірвальним каналам. Засіб дозволяє проводити контроль із вірогідністю 0,95 для всього діапазону прояву НЧ шумів до 2кГц. Час контролю для однієї смуги вимірювань становить 8с.

7. На основі розроблених засобів, що використовують методи контролю ВЕТ за рівнем НЧ шуму, було проведено дослідження шумових характеристик для операційного підсилювача і інтегрального транзистора. Результати досліджень підтвердили працездатність розроблених засобів.

8. Отриманні результати роботи впроваджені у Державному підприємстві науково-дослідний інститут "Гелій", а також використовуються в навчальному процесі у Вінницькому національному технічному університеті на кафедрі телекомунікаційних систем та телебачення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Михалевський Д.В. Оцінка якості інтегральних транзисторів за допомогою низькочастотних шумів / Д.В.Михалевський, В.М. Кичак, В.В. Стронський // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – №2. – С. 177-181.
2. Михалевський Д.В. Математична шумова модель інтегральних операційних підсилювачів для прогнозування надійності за рівнем низькочастотного шуму / В.М. Кичак, Д.В. Михалевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – №3. – С. 102-108.
3. Михалевський Д.В. Метод безпосереднього прогнозування надійності виробів електронної техніки за рівнем НЧ шуму / Д. В. Михалевський, В.М. Кичак // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 196-203.
4. Михалевський Д.В. Метод відносного прогнозування надійності виробів електронної техніки за рівнем НЧ шуму / Д.В. Михалевський, В.М. Кичак // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 5. – С. 141-146.
5. Михалевський Д.В. Метод спектрального прогнозування надійності виробів електронної техніки за рівнем НЧ шуму / Д.В. Михалевський, В.М. Кичак, // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 2. – С. 196-203.
6. Михалевський Д.В. Дослідження шумових характеристик інтегральних транзисторів / Д.В. Михалевський, В.М. Кичак // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: міжнар. наук.-техн. конф.: 2-5 червня 2005р.: матеріали I Міжнародної конференції. – Вінниця, 2005. – С. 36.

7. Михалевський Д.В. Метод контролю якості виробів електронної техніки за НЧ шумами / Д.В. Михалевський, В.М. Кичак // Сучасні наукові дослідження –2006: міжнар. наук.-прат. конф.: 20-28 лютого 2006р.: матеріали 2-ї міжнародної науково практичної конференції. – Дніпропетровськ, 2006. – С. 30-33.

8. Михалевський Д.В. Вплив зворотного зв'язку на шумові характеристики транзистора в низькочастотному діапазоні / Д.В.Михалевський, В.М. Кичак // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : міжнар. наук.-техн. конф.: 31 травня - 2 червня 2007р.: матеріали III Міжнародної конференції. – Вінниця, 2007. – С. 73.

9. Михалевський Д.В. Визначення низькочастотних шумових характеристик багатомітерних транзисторів / Д.В. Михалевський, В.М. Кичак // Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: міжнар. наук.-техн. конф.: 16-19 листопада 2006р.: матеріали II Міжнародної конференції.– Вінниця, 2006. – С. 68.

10. Михалевський Д.В. Оптимізація методу оцінки якості виробів електронної техніки за шумовими характеристиками для одноелектронного транзистора / Д.В. Михалевський, В.М. Кичак, О.М. Лавіцький // Автоматика – 2006: міжнар. наук.-техн. конф. з автоматичного управління: 25-28 вересня 2006р.: тези доповідей. – Вінниця, 2006. – С. 200.

11. Михалевський Д.В. Використання цифрової фільтрації при прогнозуванні надійності виробів електронної техніки / Д.В. Михалевський // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций: 3 міжнар. наук.-техн. конф.: 20-25 квітня 2009р.: тези доповідей. – Севастополь, 2009. – С.185.

12. Михалевський Д.В. Вдосконалення шумової математичної моделі операційного підсилювача / Д.В. Михалевський // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций: 4 міжнар. наук.-техн. конф.: 21-25 квітня 2008р.: тези доповідей. – Севастополь, 2008. – С.180.

АНОТАЦІЯ

Михалевський Д.В. Засоби контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовини. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця – 2010.

Дисертацію присвячено дослідженню питань вдосконалення існуючих та розробці нових методів та засобів контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму, а також підвищенню швидкодії та вірогідності контролю. В роботі представлено порівняльний аналіз відомих методів та засобів неруйнівного контролю виробів електронної техніки, виявлено їх переваги та недоліки, обґрунтовано доцільність використання їх використання. Досліджено об'єкт контролю, та вдосконалено математичні шумові моделі із врахуванням всіх факторів, які мають вплив на результат контролю.

На основі проведених досліджень і запропонованих шумових моделей було вдосконалено метод безпосереднього, відносного та спектрального контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотного шуму, а також створено нові засоби для їх реалізації. Отримано рівняння перетворення середньоквадратичного значення шумової напруги, досліджено статичні характеристики, проведено оцінку похибок та отримано рівняння контролю.

Створено експериментальний зразок засобу контролю та проведено дослідження вибірки виробів електронної техніки. Досліджено закони розподілу інформативного параметра, та випадкової похибки вимірювання.

Ключові слова: низькочастотний шум, вироби електронної техніки, надійність, методи контролю за рівнем низькочастотного шуму, математична модель, алгоритм,

вірогідність контролю.

ANNOTATION

Mikhalevskiy D.V. Controls Wares of Electronic Technique after the Level of Low-Frequency Noise. – A manuscript.

The thesis for technical sciences candidate's degree on speciality 05.11.13 Equipment and Methods for Controlling and Determination of Substance Mixture – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia – 2010.

Dissertation is devoted research of questions on perfection of existing and by development of new methods and controls reliability of wares of electronic technique after the level of low-frequency noise, and also increase of fast-acting and control authenticity. The comparative analysis of the known methods and facilities of undestructive control of reliability of wares of electronic technique is presented in work, found out their advantages and failings, grounded expedience of the use of methods of control of reliability after the level of low-frequency noise.

On the basis of the conducted researches of proposed of noise models the method of direct, relative and spectral control of wares of electronic technique was improved after the level of low-frequency noise, and also facilities for their realization. Equalization of transformation of squad value of noise tension, static descriptions, is got, the estimate of errors is conducted and equalization of control is got.

The experimental standard of control reliability is created and research of selection of wares of electronic technique is conducted.

Keywords: low-frequency noise, wares of electronic technique, reliability, Controls reliability after the level of low-frequency noise, mathematics model, control.

АННОТАЦИЯ

Михалевский Д.В. Средства контроля изделий электронной техники по уровню низкочастотного шума. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук за специальностью 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Винницкий национальный технический университет, Винница – 2010.

Диссертация посвящена исследованию вопросов по совершенствованию существующих и разработки новых методов и средств контроля изделий электронной техники по уровню низкочастотного шума, а также повышение быстродействия и достоверности контроля. В работе представлен сравнительный анализ известных методов и средств неразрушающего контроля изделий электронной техники, проанализированы их преимущества и недостатки. Особое внимание уделено рассмотрению методов неразрушающего контроля за уровнем низкочастотного шума на этапах входного контроля изготовителя и выходного контроля заказчика. Рассмотрены принципы их действия и возможности применения.

Используя теорию расчета шумовых характеристик исследовано объект контроля. Было предложено математические шумовые модели для биполярных обычных, интегральных и полярных транзисторов. Для интегральных элементов предложено учитывать паразитные связи, которые показывают недостатки технологии изготовления. Для каждой шумовой модели проводилась оценка влияния параметров схемы задания режима работы, которые влияют характеристики шума, и как результат – процесс контроля.

Разработана математическая шумовая модель для операционного усилителя, которая помимо шумов входного каскада учитывает шум промежуточного каскада. Исследования проведены по дифференциальному и синфазному входам, на основании которых было предложено способ контроля операционных усилителей по уровню их низкочастотного шума.

Правильность моделей проверялась экспериментальным измерением уровня

среднеквадратичного значения шумового напряжения, что дало возможность выявить появление максимумов на характеристиках при определенных режимах работы изделия электронной техники, что дает возможность нахождения оптимальных условий контроля.

На основе проведенных исследований шумовых моделей усовершенствован метод непосредственного, относительного и спектрального контроля изделий электронной техники по уровню низкочастотного шума, а также разработаны новые средства для их реализации.

Метод непосредственного контроля использует измерение среднеквадратического значения шумового напряжения в диапазоне частот до 100 Гц. Это значение сравнивается с известной границей контроля, после чего выносится результат контроля. Для изделий электронной техники было предложено использовать условия контроля: первое – собственный шум не превышает допустимый в 1,3 раза, при этом изделия будут высоконадежными; второе – значение шума имеет границы от 1,3 до 1,6, при этом изделия считаются надежными; если шум больше чем у два раза превышает допустимый – ненадежные. Для оценки границы контроля используются разработанные математические модели, а для партии изделий с неизвестной границей, приведено статистическое выражение. На основе разработанного метода был предложен прибор для его практического использования, приведена оценка погрешностей, принцип и алгоритм действий.

Для увеличения быстродействия операций контроля было использовано метод относительного контроля за уровнем низкочастотного шума. Данный метод заключается в использовании двух измерительных каналов, один из которых есть образцовым и использует высоконадежные изделия электронной техники. Операцию контроля производит компаратор, при котором исчезает необходимость проводить дальнейшие преобразования. Для этого метода найдено уравнение контроля, предложено структурную схему прибора и алгоритм его работы.

Для удаления погрешности среднеквадратического преобразования и погрешности аналогового фильтра было предложено использовать метод спектрального контроля изделий электронной техники, что позволяет контролировать изделия по всему спектру проявления низкочастотного шума. Прибор для реализации этого метода использует алгоритмы цифровой обработки сигналов. Получено уравнение превращения среднеквадратического значения шумового напряжения, статические характеристики, проведена оценка погрешностей.

Создан экспериментальный образец средства контроля и приведена его функциональная схема для аналоговой части и цифровой. На разработанном приборе проведено исследование партий изделий электронной техники для интегральных транзисторов и операционных усилителей. Представлены результаты работы измерений шума, а также результаты проведенного контроля, что подтверждают правильность разработанных математических моделей и правильность функционирования разработанных приборов.

Ключевые слова: низкочастотный шум, изделия электронной техники, надежность, методы контроля по уровню низкочастотного шума, математическая модель, алгоритм контроля, контроль.

Підписано до друку 29.04.2010 р. Формат 29.7x42 ¼

Наклад 100 прим. Зам. № 2010-077

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел. 59-81-59