

УДК 621.382

Чень Сінь, І.В. Руженцев, О.М. Нікітенко

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна*

## ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОВАКУУМНИХ СИСТЕМ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ПОЛЯМИ

*В цій статті було визначено фактори, які впливають на режими генерації ЕВП зі схрещеними полями, що знаходять широке застосування в промисловості, зв'язку, медицині та побуті. Такі прилади зазвичай складаються з таких блоків: блок живлення, анодна система, катодна система, магнітна система. Крім цих систем, на роботу магнетрона впливає ще й технологія обробки виробу. Для визначення факторів оцінки якості приладів зі схрещеними полями розглянуто кожен блок та процес. В результаті визначено 29 факторів оцінки якості таких приладів. Всі перелічені фактори можна вважати за окремі показники якості магнетрону. В подальшому будемо розглядати вплив цих показників якості на вихідний спектр магнетрону.*

**Ключові слова:** *електровакуумний прилад, магнетрон, система зі схрещеними полями, показник якості.*

### Вступ

Номенклатура виробів електронної промисловості є надзвичайно багатою за параметрами виробів, які використовуються у промисловості, побуті, медицині, зв'язку тощо. Жодна з сучасних галузей техніки не може працювати без застосування у різних системах спостереження, контролю, керування та зв'язку виробів електронної техніки. До виробів електронної техніки мають відношення електровакуумні та газорозрядні прилади, напівпровідникові та інтегральні схеми, резистори, конденсатори та різноманітні радіо компоненти: трансформатори та котушки індуктивності, перемикачі та розніття, кварцові резонатори та п'єзокерамічні фільтри тощо. У кожному з них відбуваються складні фізико-хімічні процеси, а їх виготовлення потребує десятків та сотень різноманітних технологічних операцій.

В умовах швидкого розвитку електронних приладів та неперервного розширення галузей застосування особливе значення має поліпшення їх якості, тривалості та надійності як для забезпечення підвищення якості, тривалості та надійності складної апаратури на базі електронних приладів, так і для різкого зростання економічної ефективності виробництва в електронній промисловості. Тому підвищенню якості, тривалості та надійності електронних приладів весь час приділяється особлива увага [1].

Задача підвищення якості, тривалості та надійності електронних приладів вирішується через вдосконалення приладів щодо відповідних умов експлуатації та оптимізації технологічних процесів виробництва, створення автоматизованого технологічного устаткування, вдосконалення методів та засобів контролю та випробувань, їх максимальній механізації та автоматизації. Одночасно провадяться роботи зі створення нових більш якісних матеріалів.

Найважливішими умовами підвищення якості

електронних приладів, їх тривалості та надійності є стандартизація загальних вимог до забезпечення якості електронних приладів, вивчення та стандартизація параметрів різноманітних факторів, які впливають на прилади, й створення відповідних методів випробувань.

Забезпечення якості продукції розглядається в усьому світі як важлива проблема національної економіки, від якої залежать темпи промислового розвитку країн, її національний престиж [2]. Всі країни розглядають проблему якості як проблему, яка визначає успіх та ефективність розвитку національної економіки, підвищення конкурентоздатності виробів, забезпечення обороноздатності держави. Саме тому в усьому світі останніми роками вона знаходить ся у центрі уваги правлячих органів та керівників промисловості.

Складність вирішення проблеми якості визначається тим, що вона є комплексною технічною, економічною та соціальною.

Якість електронних приладів це сукупність властивостей електронних приладів (ЕП), які обумовлюють їх здатність виконувати задані функції за певних умов експлуатації. Ці властивості характеризуються такими показниками: призначенням ЕП, їх надійністю, технологічністю, безпекою експлуатації, зручністю обслуговування, транспортабельністю тощо, а також властивостями, що визначаються ергономічними, естетичними та екологічними властивостями приладу, ступінь використання в ньому стандартних та уніфікованих виробів. В залежності від виду, конструкції та умов експлуатації ЕП деякі показники можуть бути відсутніми. Перелік обов'язкових показників для певних видів приладів встановлюється у відповідній нормативно-технічній документації.

Для забезпечення потрібного рівня якості електронних приладів на стадіях розробки, виробництва

та експлуатації ЕП перевіряють на відповідність встановленим для них технічним вимогам (або еталонам). Об'єктами контролю є макети та дослідні зразки приладів, прилади, що серійно виробляються, процеси розробки технологічної та конструкторської документації, сировина тощо. Результати контролю використовуються для керування якістю електронних приладів; кожна виявлена невідповідність аналізується, приймаються оперативні заходи з усунення виявленої невідповідності. На стадії виробництва, при визначенні рівня якості електронних приладів, крім показників якості самих приладів враховується якість їх виготовлення, що визначається як за результатами випробувань, які виконуються в процесі виготовлення ЕП, так і за рекамаціями, що знаходять від споживачів. Результати оцінки досягнутого рівня якості електронних приладів використовуються під час планування розробки нових видів подібних ЕП, затвердженні технічних завдань на таку розробку, приймання закінчених розробок й затвердження технічної документації, організації промислового виробництва та атестації готових виробів.

Контроль якості електронних приладів містить вхідний контроль, контроль точності технологічних процесів і приймальний контроль. Вхідний контроль здійснюють для забезпечення виробництва ЕП сировиною й напівфабрикатами, що відповідають вимогам нормативно-технічної документації на виготовлення цих приладів. Результати контролю точності технологічних процесів використовуються для цілеспрямованого регулювання самого процесу. Цьому виду контролю піддаються як технологічні операції, так і прилади чи пристрої, які виготовляють в результаті виконання операцій; такий контроль називають також операційним. Під час операційного контролю виявляють причини, що призводять до порушення точності виконання технологічних операцій, визначають межі регулювання параметрів технологічного процесу. Приймальному контролю піддаються готові ЕП; за результатами приймального контролю приймають рішення про можливість промислового випуску цих приладів. Такий контроль містить кваліфікаційні приймально-здавальні й періодичні випробування ЕП, а також випробування на довговічність, збереження й (за необхідності) типові. За незадовільних результатах випробувань здійснюється аналіз причин виявлення дефектів та приймаються заходи з їх усунення.

В електронній промисловості України керування якістю електронних приладів здійснюється через підвищення якості як вихідних матеріалів, напівфабрикатів та комплектуючих виробів, так і виробництва устаткування й культури праці. Сукупність органів та об'єктів керування й зв'язків між ними, які забезпечують промисловий випуск ЕП потрібної якості у встановлені терміни за мінімальних матеріальних затратах, яку називають системою керування

якістю [3]. Керування якістю електронних приладів передбачає планування (прогнозування, нормування) якості, її врахування та контроль, аналіз та оцінку, продукування рішень з виконання планових завдань. Планування якості електронних приладів припускає забезпечення виконання встановлених завдань з якості через розробки науково обґрунтованих завдань на підвищення (чи підтримки досягнутого рівня) якості на базі найкращого використання ресурсів, які є, й здійснення організаційних заходів, науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

Врахування охоплює збирання, накопичення та обробку інформації про фактичний рівень якості електронних приладів й фактори, які впливають на нього на стадіях розробки, виробництва та експлуатації ЕП, а також про виконання запланованих заходів із забезпечення встановлених завдань. Контроль складається з перевірки відповідності результатів врахування запланованим нормам чи вимогам. Оцінка досягнутого рівня якості електронних приладів та виявлення відхилень фактичних значень показників якості від запланованих дозволяють правильніше оцінити якість роботи виробництв, колективу й окремих виконавців. Рішення, які спрямовано на ліквідацію виявлених відхилень якості електронних приладів, які передбачають обов'язкову розробку заходів з забезпечення виконання цих рішень та умов стимулювання виробництв, колективів та окремих робітників до підвищення якості продукції, що виробляють.

## 1. Визначення показників якості електровакуумних приладів М-типу

Одним з найважливіших класів ЕП є електровакуумні прилади (ЕВП) магнетронного типу, які знаходять широке застосування в промисловості, зв'язку, медицині та побуті.

Метою цієї роботи є визначення факторів, які впливають на режими генерації ЕВП зі схрещеними полями (М-типу).

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Розглянути процеси роботи ЕВП М-типу;
2. Розглянути процеси роботи окремих вузлів цих приладів;
3. Визначити фактори, які впливають роботу вузлів та приладу в цілому;
4. Створити перелік важливих факторів.

Необхідність виміряти і оцінювати якість ЕВП М-типу призвела до розробки показників, які можуть бути використані для оцінки якості цих приладів.

Детальніше розглянемо фактори, що впливають на роботу вказаних приладів.

Схематично зобразимо систему М-типу як сукупність окремих її вузлів (рис. 1).

З цього рисунка бачимо, що магнетрон складається з таких блоків: блок живлення, анодна система, катодна система, магнітна система. Крім цих систем, на роботу магнетрона впливає ще й технологія обробки виробу.

Розглянемо кожен блок та процес окремо і встановимо необхідні фактори оцінки якості.

**1.1 Блок живлення.** Блок живлення (рис. 2) призначений для живлення магнетрону, а саме для подачі анодної напруги між анодом та катодом. Через те, що блок живлення є радіоелектронним пристроєм, то він має свою схему роботи. Схема роботи таких пристроїв залежить як від елементів, так і від типу живлення. Оскільки елементи мають допуски, а схема містить нелінійні прилади, то робота блока живлення призводить до виникнення додаткових нелінійних коливань, які неминуче будуть присутні в анодній напрузі. Крім того, елементи схеми визначають стабільність роботи блока живлення, що також призводить до виникнення додаткових складових. Аналізуючи роботу цього блоку було визначено такі показники якості: напруга живлення блоку живлення ( $220 \pm \delta$ ), коефіцієнт спотворень напруги живлення (форма сигналу), схема блоку живлення (трансформаторна, імпульсна), стабільність напруги розжарення (величина), коефіцієнт спотворень напруги розжарення (форма сигналу), величина анодної напруги живлення, стабільність анодної напруги живлення, коефіцієнт нелінійних спотворень анодної напруги, функціональна схема блоку живлення (джерело струму, джерело напруги).

Таким чином робота блоку живлення буде створювати завади електричної напруги в низькочастотному діапазоні.

**1.2 Резонаторна система.** Розглянемо анодну (резонаторну) систему приладів зі схрещеними полями (рис. 3):

Анодна система магнетрону складається з порожнистих резонаторів (рис. 3). Форма, розміри та кількість резонаторів визначають частоти збудження магнетрона. Частоти збудження магнетрона визначаються за допомогою дисперсійної характеристики. Близькість мод за частотою визначає можливість конкуренції цих мод при незначній зміні анодної напруги. Для стабільного збудження певної моди необхідно, щоб роздільність сусідніх мод була великою. Під час виготовлення анодної системи на її геометричні розміри (параметри) накладають конструкторські допуски. Конструкторські допуски, це діапазон геометричних розмірів, а отже і частот збудження мод. Таким чином, допуски виготовлення анодної системи визначають зміну частот генерації, що також впливає на вихідний спектр. Аналізуючи роботу цього блоку було визначено такі показники якості: матеріал, з якого виготовлено анодну (резонаторну) систему, форма резонаторів резонаторної системи, наявність в'язок в анодному блоці, допуски

на розміри виготовлення анодної системи, розділення мод в резонаторній системі, що визначається через дисперсійну характеристику приладу.

**1.3 Катодна система.** Розглянемо катодну систему приладів зі схрещеними полями (рис. 4).

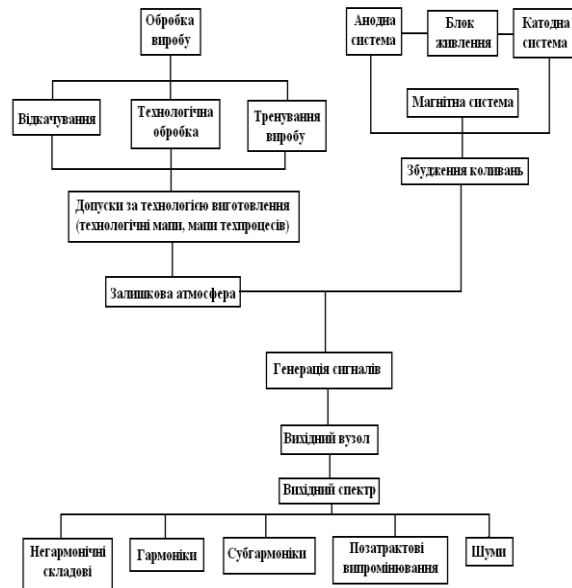


Рис. 1. Блок схема системи М-типу

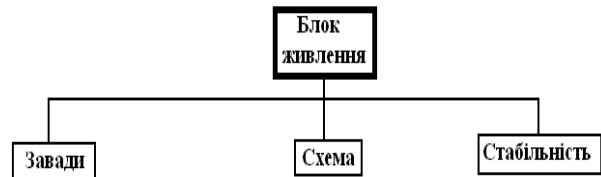


Рис. 2. Блок живлення

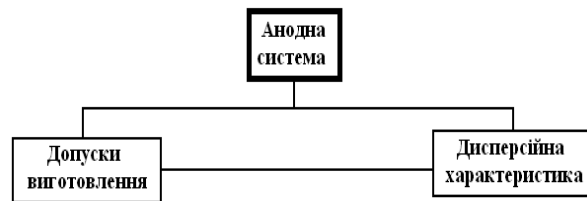


Рис. 3. Анодна (резонаторна) система

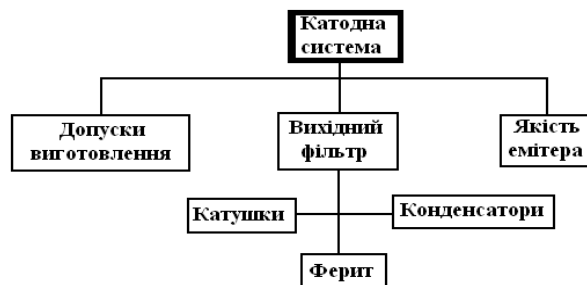


Рис. 4. Катодна система магнетрона

Катодна система складається:

- нитки розжарення;
- металічного катоду;
- емітера;
- вихідного фільтру.

Вихідний фільтр призначений для придушення низькочастотних коливань, які випромінюються з магнетрону через катодну систему. Він складається з двох LC-фільтрів по одного на кожній нізці. Параметри LC-фільтрів залежать від ємності конденсатора, який в свою чергу має допуски і котушки, яка намотується на феритовому стрижні. Індуктивність котушки визначається магнітною проникністю феритового стрижня, кількість витків котушки, діаметром намотки та відстанню між витками. Зміна будь якого з параметрів (індуктивності, ємності, феритового стрижня) призводить до зміни в амплітудно-частотній характеристиці вихідного фільтра, а це впливає на частоти випромінювання з катодної системи магнетрона.

Емісія електронів з катоду визначається такими чинниками:

- температура катоду;
- якість емітера.

Температура катоду залежить від теплопровідності керна (металічний катод), температура керну визначається ниткою розжарення, а температура нитки розжарення залежить від роботи блока живлення. Якість емітера визначається технологією виготовлення емісійного покриття катоду, та температури підігріву катоду. Під час виготовлення катодної системи, так як і у випадку виготовлення анодної системи існують поля допусків на геометричні розміри, що визначає дисперсійні властивості магнетрону. Аналізуючи роботу цього блоку було визначено такі показники якості: параметри конденсаторів та індуктивностей прохідних фільтрів, матеріал феритового стрижня, емісійна здатність катоду, матеріал виготовлення керну катоду, склад емітера, матеріал виготовлення нитки розжарення, електричні параметри розжарення (напруга, струм).

**1.4. Магнітна система.** Розглянемо магнітну систему (рис. 5), за наявності якої й визначається власне взаємодія М-типу.



Рис. 5. Магнітна система магнетрону

Магнітна система магнетрону визначає режими його роботи, через магнітний потік (магнітна індукція) та напрямком вектору магнітної індукції.

Магнітна індукція визначається зовнішніми магнітами, які можуть бути як стаціонарними магнітами так і електромагнітами. Магнітна індукція стаціонарних магнітів залежить від матеріалу з якого вони зроблені, а електромагнітів від матеріалу сердечника, параметрів соленоїда, та струму, який протікає

через соленоїд, зміна будь яких цих параметрів призводитиме до зміни магнітного поля, а отже і зміни в роботі магнетрону.

Для того щоб підвести магнітне поле до простору взаємодії магнетрону застосовується магнітопровід. Магнітопровід виготовляється з магнітних матеріалів, де величина магнітної індукції залежить від коефіцієнту насичення цього матеріалу, тобто властивостей матеріалу.

Крім цього властивості магнітопроводу визначаються його геометричними розмірами, які залежать від допусків виготовлення.

Для того щоб магнетрон працював в номінальному режимі, під час збирання приладу необхідно додержуватися високої точності простору взаємодії та магнітного простору, а саме намагатися щоб кут між напрямком магнітного поля та віссю магнетрона дорівнював  $0^\circ$ , будь-які відхилення в центруванні магнітного поля призводить до зміни режиму роботи магнетрона а отже і зміни його показників якості. Аналізуючи роботу цього блоку, було визначено такі показники якості: матеріал виготовлення магніту, параметри магнітної системи (магнітопровід), швидкість розмагнічування магніту, ступінь паралельності напрямку магнітного поля осі магнетрону.

**1.5 Технологія обробки.** Найважливішим етапом, який визначає режими роботи магнетронів, виготовлення та виробу (рис. 6):



Рис. 6. Технологія обробки магнетрона

Через те що магнетрон є вакуумним приладом, то він має обов'язково піддається вакуумній обробці. Вакуумна обробка складається з: технологічної обробці, стадії відкачування, стадії тренування.

Під час технологічної обробки здійснюється зварювання окремих вузлів магнетрону в атмосфері аргону, спаювання (скло-метал, кераміка-метал). На цій стадії елементи магнетрону неминуче поглинають молекули газів. Для вилучення газів, які поглинули елементи магнетронів під час технологічної обробки, магнетрон піддається процесу відкачування, який складається власне з відкачування та його розігріву до  $500 - 600^\circ\text{C}$ . Під час цієї операції біль-

ша частина залишкових газів вилучається з елементів магнетрону. Процес відкачування є довготривалим до 30 годин. Після процесу відкачування відбувається процес тренування виготовленого виробу. Цей процес призначений для створення відповідного профілю емісії з катоду. Відхилення на будь якій стадії цих операцій найчастіше призводить до невірних змін в роботі магнетрону. Аналізуючи роботу цього блоку, було визначено такі показники якості: технологічні мапи створення та обробки окремих вузлів і магнетрону в цілому, технологічні мапи тренування виготовленого виробу, величина струму емісії, вихідний спектр.

## 2. Показники якості

За переліченими показниками якості побудовано діаграму спорідненості і результати, що отримано за аналізом цієї діаграми, зведено в табл. 1. Подальша обробка цієї таблиці допоможе визначити найважливіші показники якості, за яким досліджуватимуться якість роботи систем зі скрещеними полями.

## Висновки

Таким чином всі перелічені фактори можна вважати за окремі показники якості магнетрону. В подальшому будемо розглядати вплив цих показників якості на вихідний спектр магнетрону.

## Список літератури

1. Пролейко В.М. *Качество, надежность и долговечность электронных приборов* / В.М. Пролейко, А.А. Чекмарев. – М.: Энергия, 1972. – 224 с.
2. Муромцев Д.Ю. *Управление качеством электронных средств. Часть 1* / Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 112 с.
3. ДСТУ ISO 9004–2001. *Системи управління якістю. Настанови щодо поліпшення діяльності*. – К.: Держстандарт України, 2001. – 44 с.

Надійшла до редколегії 18.08.2011

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук, проф. Г.І. Чурюмов, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна.

## ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ СИСТЕМ СО СКРЕЩЕННЫМИ ПОЛЯМИ

Чень Синь, І.В. Руженцев, О.М. Никитенко

*В этой статье были определены факторы, влияющие на режимы генерации ЭВП со скрещенными полями, находящие широкое применение в промышленности, связи, медицине и быту. Такие приборы состоят из следующих блоков: блок питания, анодная система, катодная система, магнитная система. Кроме этих систем, на работу магнетрона влияет и технология обработки изделия. Для определения факторов оценки качества приборов со скрещенными полями рассмотрен каждый блок и процесс. В результате определено 29 факторов оценки качества таких приборов. Все упомянутые факторы можно считать отдельными показателями качества магнетрона. В дальнейшем будем рассматривать влияние этих показателей качества на выходной спектр магнетрона.*

**Ключевые слова:** *электровакуумный прибор, магнетрон, система со скрещенными полями, показатель качества.*

## QUALITY FACTORS OF CROSSED-FIELD ELECTRON SYSTEMS

Chen Xin, I.V. Ruzhentsev, O.M. Nikitenko

*The factors influencing the modes of crossed fields electron devices' oscillations in this article were identified. These de-*

Таблиця 1  
Показники якості роботи магнетрону

Згруповані дані	Принцип групування
напруга живлення блоку живлення ( $220 \pm \delta$ ), коефіцієнт спотворень напруги живлення (форма сигналу), схема блоку живлення (трансформаторна, імпульсна), стабільність напруги розжарення (величина), коефіцієнт спотворень напруги розжарення (форма сигналу), величина анодної напруги живлення, стабільність анодної напруги живлення, коефіцієнт нелінійних спотворень анодної напруги, функціональна схема блоку живлення (джерело струму, джерело напруги).	Блок живлення
матеріал, з якого виготовлено анодну (резонаторну) систему, форма резонаторів резонаторної системи, наявність в'язок в анодному блоці, допуски на розміри виготовлення анодної системи, розділення мод в резонаторній системі, що визначається через дисперсійну характеристику приладу.	Анодна система
параметри конденсаторів та індуктивностей прохідних фільтрів, матеріал феритового стрижня, емісійна здатність катоду, матеріал виготовлення керну катоду, склад емітера, матеріал виготовлення нитки розжарення, електричні параметри розжарення (напруга, струм)	Катодна система
матеріал виготовлення магніту, параметри магнітної системи (магнітопробі), швидкість розмагнічування магніту, ступінь паралельності напрямку магнітного поля осі магнетрону	Магнітна система
технологічні мапи створення та обробки окремих вузлів і магнетрону в цілому, технологічні мапи тренування виготовленого виробу, величина струму емісії, вихідний спектр	Технологія обробки

vices are widely used in industry, communications, medicine and everyday life. Such devices usually consist of the following main units: power supply, anode system, the cathode system, magnetic system. Manufacturing technology influences to magnetron's work also. To determine the quality factors of crossed fields devices it were considered each block and the process. As a result, it 29 quality factors for such devices were identified . All mentioned above factors can be considered as separate indicators of the magnetron quality. In the future we will consider the impact of these indicators to output magnetron spectrum.

**Keywords:** electron device, magnetron, crossed-field system, quality factor.