Ольшесвський С.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Танасійчук Я.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

СИНТЕЗ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ ТЕСТОВОГО ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЗОНАТОРНИХ БЛОКІВ МАГНЕТРОНІВ, НАПРАВЛЕНИХ НА РЕГЕНЕРАЦІЮ

Науково-технічною проблемою дослідження авторами обрано проблему відсутності неруйнівних методів діагностики ЕВП НВЧ, направлених на регенерацію.

Проведено огляд і аналіз науково-технічних джерел інформації за тематикою дослідження. Результати аналізу відображені у статті.

Керуючись результатами проведеного аналізу і результатами раніше виконаних авторами робіт, для вирішення обраної проблеми авторами прийнято рішення про розробку системи тестового діагностування резонаторних блоків магнетронів, направлених на регенерацію.

З метою реалізації описаної системи тестового діагностування і проведення натурного експерименту авторами була поставлена мета скласти специфікацію необхідних засобів діагностування та синтезувати структурну схему вказаної системи.

Для досягнення цієї мети було виділено функціональне призначення розроблюваної системи тестового діагностування, проаналізовано способи реалізації функціонального призначення системи.

Результатами виконання роботи є структурна схема системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону, направленої на регенерацію, та специфікація засобів діагностування, необхідних для реалізації цієї системи.

Ключові слова: регенерація НВЧ приладів, магнетрон, прихований дефект, дефект конструкції, неруйнівні методи діагностики, система тестового діагностування магнетрону, технічна діагностика, структурна схема, специфікація засобів діагностування.

Постановка проблеми. Огляд і аналіз робіт [1, с. 1; 5; 6; 8] пов'язаних зі створенням технологій регенерації потужних електровакуумних НВЧ приладів, вказує [6] на сильну залежність рішення про придатність приладу до регенерації від досвіду виконавців робіт, а оцінка стану його окремих частин має якісний характер.

Однак промислові об'єми робіт по регенерації потужних електровакуумних НВЧ приладів вимагають переходу до кількісних оцінок стану окремих конструктивних елементів потужних електровакуумних НВЧ приладів і подальшої детальної формалізації процесу технічної діагностики потужних електровакуумних НВЧ приладів, направлених на регенерацію, та прийняття рішення про придатність до регенерації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [8, с. 135; 9, с. 17] авторами передбачено необхідність розробки та застосування методів діагностики й аналізу потужних електровакуумних НВЧ приладів, направлених на регенерацію, на предмет визначення їхньої придатності

до повторного використання. Для цього пропонується використовувати «холодні вимірювання» електродинамічних параметрів резонаторних блоків [8, с. 136] або метод скануючої зондової мікроскопії для контролю поверхонь [9, с. 18].

Однак пошук у науково-технічних джерелах інформації показав практичну відсутність як стандартних методів діагностики й аналізу потужних електровакуумних НВЧ приладів, направлених на регенерацію, на предмет визначення їхньої придатності до повторного використання, так і робіт, направлених на розробку методів діагностики таких приладів на предмет їхньої подальшої регенерації. Водночас автори наголошують [5, с. 11–46; 6, с. 37–67] на повній залежності рішення про придатність приладу до регенерації від досвіду особи або колективу, котрі виконують регенерацію.

Авторами сформульовано [3] проблему відсутності неруйнівних методів діагностики ЕВП НВЧ, направлених на регенерацію, та виділено критичні дефекти конструкції – проплавлення і напilenня.

Постановка завдання. Дотримуючись теорії технічної діагностики [10], реалізація системи тестового діагностування технічного стану об'єкта передбачає виділення об'єкта діагнозу (ОД), встановлення контрольних точок, через які поступають тестові впливи від засобів діагностування і знімаються реакції ОД.

При роботі в окресленій предметній сфері авторами було виділено об'єкт тестового діагностування (резонаторний блок магнетрону), тестові впливи на нього і відгуки від об'єкта діагностування в роботі [3, с. 43].

Однак для реалізації системи тестового діагностування технічного стану [7], передбаченої теорією технічної діагностики, функціональна схема якої зображена на рис. 1, невіршеним завданням залишається створення специфікації засобів діагностування та структурної схеми системи тестового діагностування резонаторних блоків магнетронів, направлених на регенерацію.

Метою роботи є створення структурної схеми системи тестового діагностування резонаторних блоків магнетронів, направлених на регенерацію, котра дозволить експериментально отримати множину реакцій на тестові впливи (збудження електромагнітних коливань у резонаторній системі) від об'єкта **діагностування** (резонаторної системи магнетрона) внаслідок виконання елементарних перевірок, описаних у [3, с. 43], і побудувати специфікацію засобів діагностування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Функціональним призначенням розроблюваної системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрона є виявлення дефекту у вигляді напilenня на ламелях резонаторної системи зі сторони простору взаємодії.

Рис. 1. Узагальнена функціональна схема системи тестового діагностування технічного стану: ЗД – засоби діагностування, ОД – об'єкт діагностування

На основі якісного аналізу фізико-хімічних процесів, що протікають у просторі взаємодії магнетрона, авторами [3, с. 43] було висунуто і гіпотезу про зміну просторового розподілу електромагнітного поля в резонаторній системі магнетрону після внесення в конструкцію приладу дефекту у вигляді напilenня продуктів деградаційних процесів на поверхні катода на сегмент ламелі резонаторної системи. Висунуту гіпотезу було підтверджено авторами в роботах [3, с. 43] шляхом побудови імітаційної моделі системи тестового діагностування резонаторної системи магнетрону. Внаслідок експерименту виділено смуги частот із найбільш вираженим ефектом та отримана кількісна оцінка у вигляді різниці набігу фази сигналу. Результатом виконання множини елементарних перевірок є інтроскопія різниці фаз вхідного сигналу і сигналу, знятого із зонду, наведена на рис. 2 у вигляді кругової діаграми.

Очікуваним результатом роботи розроблюваної системи є візуалізація (одержання видимих зображень) розподілу фізичних величин, що характеризують електромагнітне НВЧ-поле резонаторного блоку магнетрону, необхідна для дослідження стану внутрішніх поверхонь приладу (інтроскопія) і для високої якості виробничої дефектоскопії об'єктів великих розмірів (порівняно з довжиною хвилі та розкриттям антен). Унаслідок візуалізації отримують видиме радіозображення, аналіз якого дає можливість збільшити швидкість контролю, полегшує розшифрування результатів для виробів різної форми [15, с. 198].

Дослідження розподілу високочастотного поля необхідне для визначення видів коливань і для дослідження впливу асиметрії в магнетроні на розподіл поля у просторі взаємодії. Для визначення розподілу поля в резонаторній системі маг-

Рис. 2. Різниця набігу фаз між нормальною і дефектною резонаторними системами

нетрона найзручніше використовувати зонд, що обертається [2, с. 312]. Останній є ємнісним зондом невеликих розмірів, закріпленим на циліндрі, котрий розміщений у просторі взаємодії магнетрона. Зонд розташовується перпендикулярно до силових ліній електричного поля біля катоду. При обертанні циліндра струм у зонді змінюється таким чином, що дає можливість отримувати картину інтенсивності електричного поля в різних точках простору взаємодії залежно від кута повороту зонду. Картина поля спостерігається на екрані осцилографа, у якого напруга горизонтальної розгортки синхронізована зі швидкістю обертання зонда, а на вертикальні пластини прикладено напругу, пропорційну детектованому струму зонда. Зонд описаного типу схематично зображений на рис. 3.

Як інформаційний параметр НВЧ поля у просторі взаємодії магнетрону було обрано різницю фаз коливань [3, с. 43], що виникає в одній і тій самій точці простору взаємодії в околі шуканого дефекту конструкції.

Фаза характеризує гармонічне коливання в деякий момент часу. Математично фаза визначається аргументом функції, яка описує гармонічне коливання:

$$U = U_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

Де $\omega t + \varphi = \psi$ – фаза гармонічного коливання.

У загальному випадку різниця фаз двох порівнюваних когерентних сигналів:

$$\Delta\varphi_{\text{заз}} = \omega t + \varphi_2 + \varphi_x - \omega t + \varphi_1 = \varphi_x + \Delta\varphi, \quad (2)$$

де $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ – відома різниця фазових зсувів у каналах вимірюваних сигналів; φ_x – фазовий зсув у вимірюваному пристрої.

Одним зі способів вимірювання різниці фаз двох когерентних НВЧ сигналів є підсумовування фаз. У цьому способі [16, с. 153] інформація про

різницю фаз переноситься на амплітуду сигналу несучої частоти шляхом простого підсумовування векторів досліджуваних сигналів:

$$U_1 = U_{01} \sin(\omega t + \varphi_x + \varphi_1), \quad (3)$$

$$U_2 = U_{02} \sin(\omega t + \varphi_2). \quad (4)$$

Результат підсумовування визначається як:

$$U_\Sigma = U_{0\Sigma} \sin(\omega t + \varphi_\Sigma), \quad (5)$$

де

$$U_{0\Sigma} = \sqrt{U_{01}^2 + U_{02}^2 + 2U_{01}U_{02} \cos(\varphi_x + \Delta\varphi)} \quad (6)$$

$$\varphi_\Sigma = \arctg \frac{U_{01} \sin(\varphi_x + \varphi_1) + U_{02} \sin \varphi_2}{U_{01} \cos(\varphi_x + \varphi_1) + U_{02} \cos \varphi_2} \quad (7)$$

Типовою технічною реалізацією фазометра є схема [16, с. 154] на рис. 4 з одним суматором, у якій використовується залежність (6) суми двох когерентних сигналів від фазових зсувів між ними.

Із викладеного вище можна скласти таку специфікацію засобів діагностування, з використанням яких буде реалізовуватися система тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону:

- генератор НВЧ коливань;
- зонд;
- фазометр.

Керуючись ціллю роботи, функціональним призначенням системи тестового діагностування та розглянутими схемами, на основі яких технічно реалізують засоби діагностування, необхідні для проведення дослідження, для реалізації системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону пропонується структурна схема системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону, наведена на рис. 5.

У цій схемі НВЧ генератор збуджує коливання, які поступають на вхід об'єкта діагностування і

Рис. 3. Схематичний вид зонда, що обертається, в області взаємодії магнетрону: 1 – магнетрон, 2 – зонд, 3 – вхідний сигнал, 4 – ковшний сигнал, 5 – детектор, 6 – зонд, 7 – деталі зонду в зібраному стані

Рис. 4. Функціональна схема фазометра з підсумовуванням сигналів зі стабілізацією амплітуди: 1 – стабілізатор амплітуди; 2 – суматор; 3 – амплітудний детектор; 4 – індикатор; 5 – фазообертач

Рис. 5. Структурна схема системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону:
 1 – генератор НВЧ коливань, 2 – об’єкт діагностування, 3 – зонд, 4 – засіб вимірювання різниці фаз

вхід фазометра. Прийнятий фазометром від генератора сигнал є опорним. Зонд приймає сигнал у просторі взаємодії магнетрону. Прийнятий зондом сигнал надходить на другий вхід фазометра. Різниця між фазами опорного та прийнятого від зонда сигналів і буде результатом елементарної перевірки. Множина таких експериментальних резуль-

татів дозволить побудувати діаграму, зображену на рис. 2 для реального об’єкту діагностування.

Висновки. У раніше виконаних роботах [3, с. 43] авторами було виділено об’єкт тестового діагностування (резонаторний блок магнетрону), тестові впливи на нього і відгуки від об’єкта діагностування в роботі.

На основі раніше отриманих даних та аналізу способів і засобів проведення необхідних вимірювань, проведеного в роботі, синтезовано структурну схему системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону та створено специфікацію засобів діагностування.

Реалізація розробленої системи дозволить провести натурний експеримент, реалізований засобами імітаційного моделювання, й отримати множину реакції на зовнішні впливи від об’єкта діагностування після виконання елементарних перевірок [3, с. 43].

Список літератури:

1. Екезлі А.І., Чурюмов Г.І., Дзюба В.П., Иванченко В.О. Відновлення і регенерація потужних НВЧ вакуумних приладів та їх застосування в сучасних системах озброєння. Ч. 1. Загальні питання регенерації потужних магнетронів МІ-29 та МІ-285. *Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки* : VI Міжнародна науково-практична конференція. Тези доповідей.
2. Зусмановский С.А. Магнетроны сантиметрового диапазона. Москва : Советское радио, 1951. 472 с.
3. Ольшевський С.В., Танасійчук Я.В. Дослідження впливу напilenня на поверхні резонаторної системи потужного магнетрона на розподіл електромагнітного поля резонаторної системи. *Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2020. Т. 31 (70) № 5. 43 с.
4. Панин И.С., Панченко Л.В. Импульсные магнетроны. Элементы радиоэлектронной аппаратуры. Москва : Советское радио, 1966.
5. Семенов А.В. Регенерация мощных электровакуумных приборов : дисс. ... канд. техн. наук. Саратов, 2000.
6. Бакуменко А.В. Научно-технические и производственно-экономические основы реставрации мощных СВЧ приборов : дисс. ... докт. техн. наук. Москва, 2006.
7. Карибский В.В., Пархоменко И.П., Согомонян Е.С., Халчев В.Ф. Основы технической диагностики. Кн. 1 : Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза.
8. Семенов А.С. Технология регенерации анодных блоков ЭВП. *Сборник научных трудов 4 научного семинара IEEE Saratov-Penza Chapter «Машинное проектирование в прикладной электродинамике и электронике»*. Саратов : Изд СГТУ, 2000. С. 134–136.
9. Байбурун В.Б., Семенов А.С. Проблемы и опыт регенерации мощных электронных приборов. *Сборник научных трудов 4 научного семинара IEEE Saratov-Penza Chapter «Машинное проектирование в прикладной электродинамике и электронике»*. Саратов : Изд СГТУ, 2000. С. 15–19.
10. Карибский В.В., Пархоменко П.П. Основы технической диагностики : в 2 кн. Кн. 1 : Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза. Москва : «Энергия», 1976.
11. Черепнин Н.В. Сорбционные явления в вакуумной технике. Москва : Издательство «Советское радио», 1973.
12. Gomer R., Swanson I.W. Theory of field desorption. *J. Chem. Phys.* 1963. V. 38. № 7. P. 1613.
13. Пошехонов П.В. и др. Нитевидные монокристаллы в высоковольтных лампах с оксидным катодом. *Радиотехника и электроника*. 1967. Т. 12. № 12. С. 21–92.
14. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ : учебник. Т. II / под ред. Н.Д. Девяткова. Москва : Высш. школа, 1970. 376 с.
15. Радіофізичні методи діагностики матеріалів і середовищ : підручник / Г.С. Воробйов, Г.О. Пономарьова, О.О. Рибалко та ін. Суми : Сумський державний університет, 2014. 13 с.
16. Чернушенко А.М. Измерение параметров электронных приборов Дц См диапазонов. Москва, 1986.

Olszewski S.V., Tanasiichuk Ya.V. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE DEFECT IN THE MAGNETRON RESONATORY SYSTEM ON THE PARAMETERS OF IT'S MICROWAVE FIELD.

As a scientific and technical problem of the study, the authors chose the problem of the absence of non-destructive methods of diagnosing microwave electrovacuum devices aimed at regeneration.

A review and analysis of scientific and technical sources of information on the subject of the study. The results of the analysis are reflected in the article.

Guided by the results of the analysis and the results of previous work performed by the authors, to solve the selected problem, the authors decided to develop a system of test diagnostics of resonator blocks of magnetrons aimed at regeneration.

Based on the analysis, it was decided to search for methods and tools for studying the microwave field in the field of interaction of the resonator system of the magnetron. A typical method for conducting such studies and a description of the installation with a movable probe for the study, as a means of conducting basic tests of the object of diagnosis.

In order to implement the described system of test diagnostics and conduct a field experiment, the authors set a goal to make a specification of the necessary diagnostic tools and synthesize a block diagram of this system.

To achieve this goal, the functional purpose of the developed system of test diagnostics was identified, the ways of realization of the functional purpose of the system were analyzed.

The results of the work are the block diagram of the system of diagnostics of the resonator unit of the magnetron, aimed at regeneration, and the specification of the diagnostic tools required for the implementation of this system.

Key words: *regeneration of microwave devices, magnetron, latent defect, structural defect, non-destructive diagnostic methods, magnetron test diagnostics system, technical diagnostics, block diagram, specification of diagnostic tools.*