

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### ЛОКАЦИЯ И НАВИГАЦИЯ

- Bykov V. N., Kolchigin n. N., Osinovy g. G., Kozhushko YA. N.* Methods and means of radio electronic protection low-dimensional ground objects from radiometric systems of determination of millimeter band ..... 91
- Zarei N., Nayebi M. M., Amin A. R., Raees Danaee M., Aalami H.* Target Discrimination in Naval Chaff Electronic Warfare ..... 98
- Мальцев С. Б., Хлюпов Г. И., Шербаков Н. В., Войтович О. А., Пехота В. Н., Лабазов С. М., Веселовская-Майборода А. Б.* Методика настройки двухмерной фазированной антенной решетки Ка – диапазона с ферритовыми и полупроводниковыми фазовращателями .....108

### ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА И ПРИБОРЫ

- Дакі О. А., Тимошук О. М.* Пропозиції щодо удосконалення методів оцінки ефективності системи контролю технічного стану радіотехнічних систем засобів водного транспорту .....116

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Горбенко І. Д., Качко О. Г., Олексійчук А. М., Горбенко Ю. І., Зверев В. П., Єсіна М.В., Пономар В. А.* Особливості побудовання та аналіз електронних підписів п'ятого рівня безпеки для постквантового періоду на основі алгебраїчних решіток..... 123
- Кузнецов О. О., Олешко І. В., Чернов К. А., Багм М. О.* Біометрична автентифікація із використанням згорткових нейронних мереж.....137
- Лисицкая И. В. Васильев В. А.* О минимальном числе S-блоков, активизируемых на первых циклах SPN шифров..... 147
- Есин В. И., Вилигура В. В.* Обратимое маскирование больших двоичных объектов, хранящихся в базе данных ..... 154
- Лисицька І. В., Васильєв В. А.* Дослідження показників випадковості шифру ШУП .....165
- Кудряшов І. С. Малеева Г. А., Горбенко І. Д.* Аналіз перспективних кандидатів електронного підпису на постквантовий стандарт NIST PQС на базі MQ-перетворень щодо захищеності від атак.....173
- Кононович В. Г., Северінов О. В., Романюков М. Г.* Старіння інформації в моделях категорювання та вплив на матриці цінності суб'єкта у системі кібербезпеки .....182

### МИКРОВОЛНОВАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

- Егоров В. А., Егоров С. А., Луценко В. И.* Экспериментальное исследование газоразрядной антенны на парах ртути с низкочастотным возбуждением плазмы.....190

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

---

### МИКРОВОЛНОВАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

- Предмирский В. С., Тарбаев С. И., Твердохлеб Н. Г.* Повышение надежности мощной широкополосной ЛБВ .....197
- Фролова Т. І. Иванов С. В.* Високовольтне імпульсне джерело живлення магнетрона.....202

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Воронов В. Р., Заболотный В. І., Лиско В. І.* Модель технічного каналу витoku інформації побічними електромагнітними випромінюваннями відотраку при рознесеному прийомі .....208

## ВИСОКОВОЛЬТНЕ ІМПУЛЬСНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ МАГНЕТРОНА

Т. І. ФРОЛОВА, С. В. ІВАНОВ

У даній роботі запропоновано схему вторинного високовольтного імпульсного модулятора для електроживлення НВЧ генератора магнетронного типу. Пічний магнетрон, який виступає в ролі навантаження, найбільш широко використовуваний серед вакуумних приладів НВЧ, має свої особливості пов'язані зі спеціальними режимами його роботи (перебудовою частоти генерації, синхронізацією генеруючих коливань і т. ін.). Створення універсальних високовольтних джерел живлення (ВДЖ) для різних магнетронів ускладнено розкидом їх електричних параметрів. Запропонований 2-кВт ВДЖ з керуванням складається з перетворювача змінної напруги 220 В (50 Гц) в постійне 310 В з пристроєм плавного пуску, а також джерела живлення (ДЖ) для блоків управління і захисту від перевантажень. Таке рішення дозволяє отримати більш стабільну роботу магнетронного генератора.

*Ключові слова:* НВЧ-генератор магнетронного типу, високовольтне джерело живлення (ВДЖ), імпульсний модулятор, анодний струм, напруга розжарення, вольт-амперна характеристика.

### ВСТУП

Магнетронні генератори відносяться до числа найбільш поширених і широко використовуваних вакуумних приладів НВЧ [1, 2]. Це пояснюється високими значеннями ККД і вихідної потужності, технологічністю виготовлення та низькою собівартістю. У той же час невисока (в порівнянні, наприклад, з пролітними клістродами або стабілотронами [3]) стабільність частоти генерації, недостатній діапазон і швидкість перебудови частоти, високий рівень шумів, побічних і паразитних коливань, мала довговічність і термін служби обмежують застосування магнетронів в радіолокаційних, телекомунікаційних та нових освітлювальних системах, все це призводить до необхідності пошуку і заміни їх іншими вакуумними (клістродами, ЛБХО) або твердотільними (ЛПД, НВЧ транзистори) приладами НВЧ [3 – 5].

На сьогоднішній день інтерес до магнетронів полягає не тільки в поліпшенні їх енергетичних характеристик (підвищення потужності генерації, зниженні рівнів побічних регулярних та нерегулярних (шумів) коливань), а й дослідженні спеціальних режимів їх роботи, що пов'язані з перебудовою частоти генерації і синхронізацією генеруючих коливань [6 – 8].

Існуючі недоліки та обмеження в роботі магнетронів пов'язані з дією ряду факторів, які умовно можна розділити на зовнішні і внутрішні. До зовнішніх факторів слід віднести: нестабільність роботи джерел живлення (ДЖ) (модуляторів) [9,

10], вплив навантаження магнетрона (наприклад, плазми) на його роботу [10] і тощо.

Створення універсальних високовольтних джерел живлення (ВДЖ) для магнетронних генераторів ускладнено розкидом їх електричних параметрів (частотою, анодної напруги, анодним струмом, напругою розжарення та ін.) [12]. При електроживленні магнетронів середньої потужності (0,5 – 3 кВт) необхідна наявність живлення для ланцюга розжарення катода і анодного живлення, як показано на рис. 1.

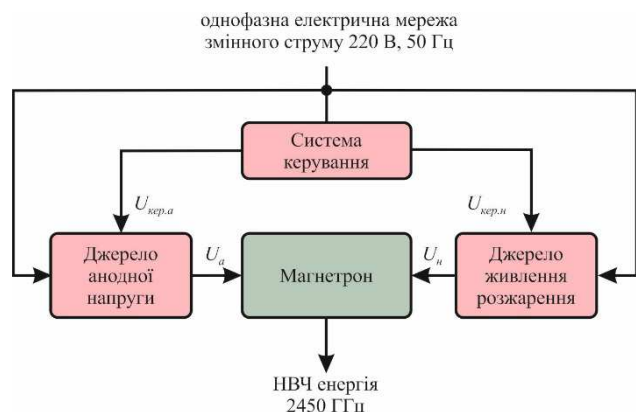


Рис. 1 Структурна схема підключення магнетрона

ДЖ ланцюга розжарення забезпечує розігрів катода. Надійна емісійна здатність катоду досягається в обмеженому інтервалі температур [13]. Нижче мінімально допустимої температури емісія електронів стає недостатньою для отримання необхідного рівня вихідної потужності. Вище верхньої межі відбувається швидке виснаження активного компонента емітера, що призводить до

втрати емісії. Напруга живлення розжарення для різних пакетованих магнетронів, перебувати в межах  $3 \div 3,5$  В, а величина споживаного струму становить 10 – 20 А.

Анодне ДЖ забезпечує подачу випростаної високовольтної напруги величиною не менше 3,3 кВ, яке служить для прискорення електронів в проміжку катод – анод. Величина споживаного струму анодного ланцюга становить близько 350 мА.

Потужні вторинні високовольтні імпульсні джерела живлення (ВВІДЖ) також повинні мати захист від перевантажень і аварій, серед них різкі зміни живильної мережевої напруги; струмові перевантаження і короткі замикання (КЗ); перенапруги на виході (виходах); температурний перегрів елементів. Захист потужних ВВІДЖ від перенапруг по високовольтному виходу здійснюється виканням регулюючих елементів.

Метою роботи є розробка і створення потужного імпульсного ДЖ для магнетрона з можливістю контролю та керування вихідними характеристиками НВЧ генератора.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Останнім часом магнетронні генератори середньої потужності знаходять застосування не тільки у військових областях, а й у потужних освітлювальних системах (прожекторах) [14]. Актуальність розробки нових енергоощадних технологій в області освітлення підтверджується великим інтересом з боку різних дослідницьких груп, які проводять дослідження безелектродних ламп з НВЧ збудженням, серед яких більш ніж 10 країн світу, включаючи США, Велику Британію, Південну Корею, Нідерланди, Німеччину, Росію та ін.

Для ефективного перетворення електричної енергії в оптичну в безелектродних сірчаних лампах при збудженні низькотемпературної плазми необхідно створювати поле з напруженістю електричної складової порядку 5 кВ/см [15]. НВЧ-потужність в таких плазмових джерелах світла становить від 400 Вт до 1,2 кВт при робочій частоті 2,45 ГГц. Задача їх ефективної роботи при потужностях живлення 700 Вт і вище була вирішена, при цьому для стійкої роботи живлячого магнетрона використовували систему стабілізації частоти генератора самим резонаторним навантаженням [16]. Однак при зниженні НВЧ-потужності до 200–250 Вт енергетичні характеристики освітлювальної системи різко погіршуються [17].

### 1.1. Характеристики магнетрона

Як генератор НВЧ енергії в освітлювальних системах використовується пічний магнетрон, який набув широкого впровадження завдяки НВЧ-печаам. Основні електричні параметри магнетронів, наприкладі Samsung OM75S (21) і LG 2M246, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри магнетронів

| № п/п | Параметры                         | OM75S(21) | 2M246 |
|-------|-----------------------------------|-----------|-------|
| 1     | Частота $f$ , МГц                 | 2465      | 2460  |
| 2     | Вихідна потужність $P_{вих}$ , Вт | 900       | 1100  |
| 3     | Пікова анодна напруга $U_a$ , кВ  | 4,1       | 4,4   |
| 4     | Середній анодний струм $I_a$ , мА | 300       | 330   |
| 5     | Напруга розжарення $U_p$ , В      | 3,3       | 3,15  |
| 6     | Струм розжарення $I_p$ , А        | 11        | 10    |

### 1.2. Принцип роботи ДЖ магнетрона

Для живлення магнетрона, що виконує роль генератора накачування освітлювальної системи, використовуються схеми з однонапівперіодним випрямленням з подвоєнням напруги, до складу яких як первинний перетворювач напруги використовується високовольтний трансформатор, що працює в режимі насичення, що живиться від мережі 220 В і забезпечує на виході імпульси напруги живлення за формою близькою до прямокутної [18, 19]. Частота імпульсів НВЧ-випромінювання становить 50 Гц, а їх шпаруватість близька до 2. Така схема живлення магнетрона, що наведена на рис. 2, дозволяє спростити конструкцію і знизити його собівартість.

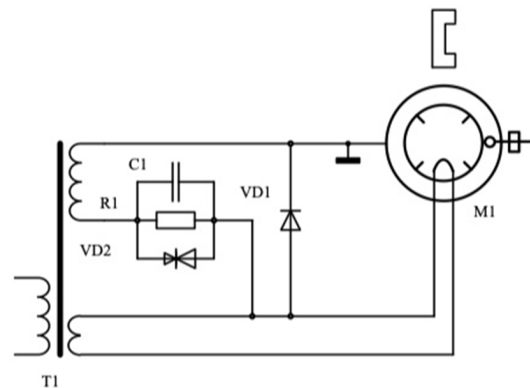


Рис. 2. Схема високовольтного ДЖ магнетрона

Плавне регулювання вихідної потужності НВЧ-випромінювання при таких схемах підключення неможливо. Регулювання здійснюється східчасто, періодичним включенням і відключенням блоку живлення, тобто за фактом регулюється середня потужність за робочий період.

Таке схемне рішення ВДЖ має ряд недоліків:

- відсутність системи плавного пуску;
- низька стабільність високої напруги на виході ДЖ;
- низький ККД 50–60%;
- велика маса;
- висока матеріаломісткість кольорових металів;
- неможливість керування вихідної потужності.

Для підвищення ефективності роботи високо-ефективних безелектродних джерел освітлення на основі газорозрядної плазми, що збуджується НВЧ полем, представляє інтерес можливість надання живлення НВЧ-магнетрону середнього рівня потужності від імпульсного джерела живлення, зібраного за схемою двохтактного інвертора з використанням високовольтного трансформатора і трансформатора напруження.

## 2. ОПИС ПРИСТРОЮ

Для вирішення поставленого завдання було розроблено імпульсне джерело живлення для генератора накачування (магнетрона) в освітлювальній системі, його блок-схема показана на рис. 3.

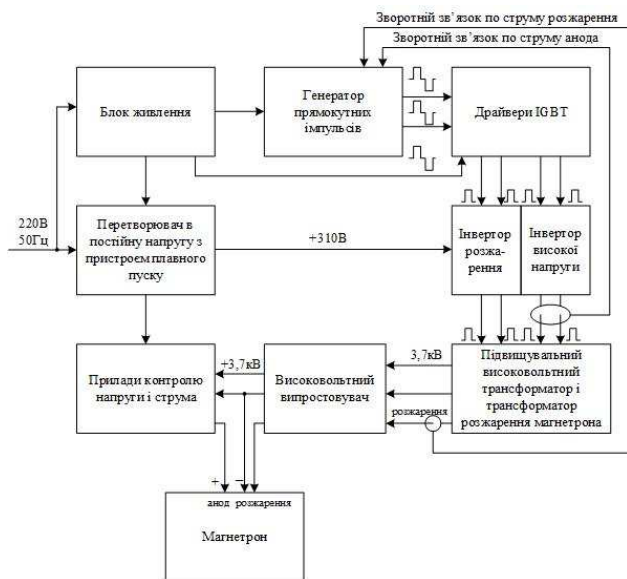


Рис. 3. Блок-схема імпульсного джерела живлення для задавального генератора накачування в освітлювальній системі на основі НВЧ-розряду

Від імпульсного ДЖ, що застосовується в освітлювальній системі, залежать вихідні пара-

метри оптичного випромінювання, такі як: спектральна характеристика джерела світла, якість освітлення (повна відсутність мерехтіння світла), можливість керування потужністю світла і, як наслідок, світловим потоком, а також економія електроенергії.

Пропоноване імпульсне джерело живлення задавального генератора накачування оптичної системи освітлення складається з:

- перетворювача змінної напруги 220 В (50 Гц) в постійне +310 В з пристроєм плавного пуску;
- джерела живлення +12В для живлення блоків керування і захисту від перевантажень;
- двох незалежних генераторів прямокутних імпульсів з частотою генерації 35 кГц і регульованою шпаруватістю імпульсу;
- двох двохтактних інверторів, зібраних на IGBT, які керують високовольтним трансформатором і трансформатором розжарення;
- блоку високовольтних випростувачів;
- блоку контролю анодної напруги і струму;
- чотирьох драйверів IGBT, кожен з яких має гальванічну розв'язку:

- трансформаторну по живленню;
- оптоелектронну по сигналу керування і сигналу помилки.

Живлення драйверів здійснюється змінною напругою 12 В, 60 кГц від блоку живлення.

На рис. 4 зображена схема перетворювача змінної напруги в постійну з пристроєм плавного пуску.

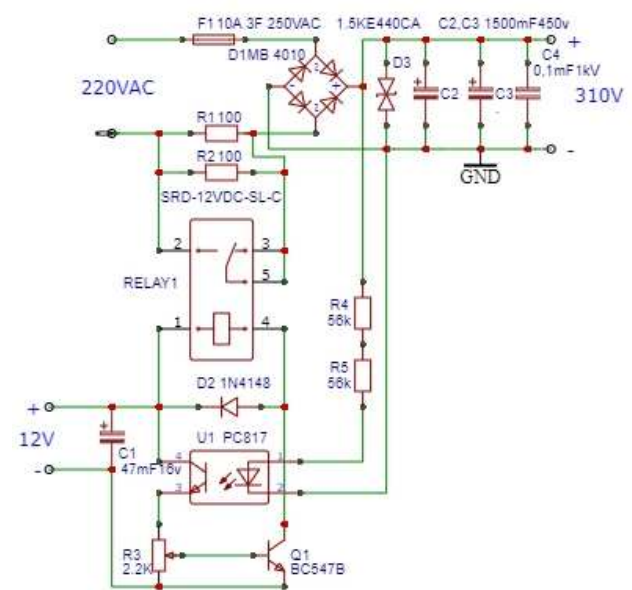


Рис. 4. Схема перетворювача змінної напруги в постійну, з пристроєм плавного пуску



Напруга, що надходить з мережі 220 В (50 Гц), випростовується через діодний міст і надходить на пристрій плавного пуску. Пристрій плавного пуску необхідно для обмеження струму зарядки електролітичних конденсаторів С1, яке автоматично відключається, замиканням контактів реле К1, при досягненні напруги на С1 до рівня 210 В. Поріг спрацьовування реле встановлюється підлаштувочим резистором R6 в межах 50÷300 В. Випростовувана постійна напруга (+310 В) надходить на напівмостові інвертори і перетворюється за допомогою ВЧ трансформатора в змінну ВЧ напругу 3,7 кВ і після блоку високовольтних випростовувачів надходить на магнетрон.

Для забезпечення напруги розжарення для магнетрона використовується ВЧ трансформатор невеликої потужності (50 Вт), вторинна обмотка якого підключається через давач зворотного зв'язку по струму до виводів розжарення магнетрона. Цей зворотний зв'язок необхідний для стабілізації струму в ланцюгу розжарення. Це дуже важливо для стабільної роботи магнетрона.

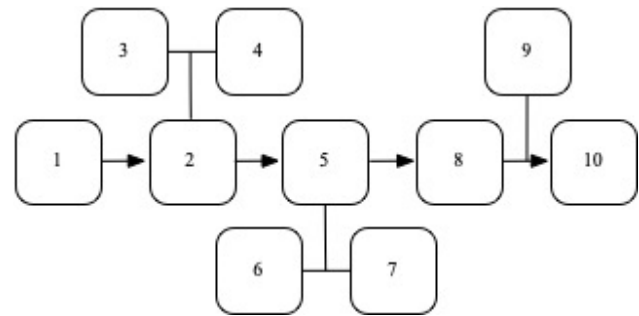
Створене вторинне ВДЖ з можливістю регулювання деяких характеристик залежно від моделі магнетрона має:

- живлення від однофазної промислової мережі змінного струму з напругою –  $220 \pm 10\%$  В, частотою  $50 \pm 1$  Гц;
- постійну вихідну (анодну) напругу  $U_a$  до 5 кВ  $\pm 1\%$ ;
- напруга розжарення  $U_p$  з регулюванням від 3 до 5 В;
- струм розжарення  $I_p$  – до 20 А;
- вихідний анодний струм  $I_a$  – 0...500 мА;
- максимальна вихідна потужність – 2,5 кВт;
- частота проходження імпульсів – 35 кГц;
- керування – ручне установлення вихідних значень анодного струму в межах допуску магнетрона.

Отримані результати в ході досліджень імпульсного ДЖ відкрили можливість модуляції вихідної потужності випромінювання магнетрона, що в свою чергу дає можливість передачі інформації через хвилевід, в інші пристрої, або, як у нашому випадку, для збудження джерела оптичного випромінювання.

### 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Вимірювання основних робочих характеристик магнетрона проводилися на експериментальній установці, функціональна схема якої показана на рис. 5.



- 1 – джерело живлення (модулятор);
- 2 – магнетрон; 3 – вимірювач анодного струму;
- 4 – вимірювач анодного напруги; 5 – спрямований відгалужувач; 6 – аналізатор спектру;
- 7 – частотометр; 8 – вимірювальна лінія;
- 9 – вимірювач прохідної потужності;
- 10 – навантаження (безелектродна сірчана лампа)

Рис. 5. Функціональна схема експериментальної установки для вимірювання основних параметрів магнетрона

Дана схема вимірювання дозволяє провести вимірювання основних параметрів і характеристик магнетрона (вихідної потужності, робочої частоти (робочого діапазону частот), спектра коливань, коефіцієнта корисної дії, величини затягування частоти, вольт-амперної характеристики (ВАХ), розжарювальної характеристики та ін.) і потім порівняти з аналогічними теоретично розрахованими параметрами.

Контроль потужності НВЧ накачування в тракті є досить важливим, оскільки його рівень впливає на потужність оптичного випромінювання [20]. Для проведення вимірювання потужності магнетрона використовувався НВЧ тракт, схема якого наведена на рис. 6.

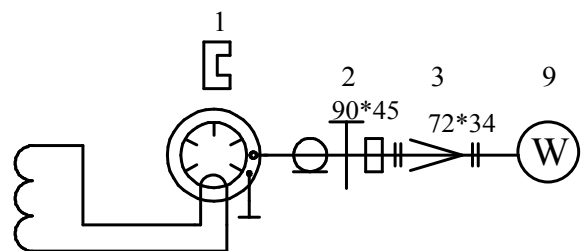


Рис. 6. НВЧ-схема макета пристрою для вимірювання потужності магнетрона

Магнетрон 1 генерує НВЧ поле, що проходить через коаксіально-хвилевідний перехід 2 і перехід 3 з перетину 90x45 на 72x34. Вимірювання поглинальної потужності проводилося МЗ-13/1 ваттметром калориметричний 9. Він дозволяє проводити вимірювання НВЧ потужності до 2 кВт.

В результаті вимірювання встановлено, що магнетрон працює в штатному режимі з потужністю 900 Вт відповідно до його паспорту. Його вольт-амперна характеристика наведена на рис. 7.

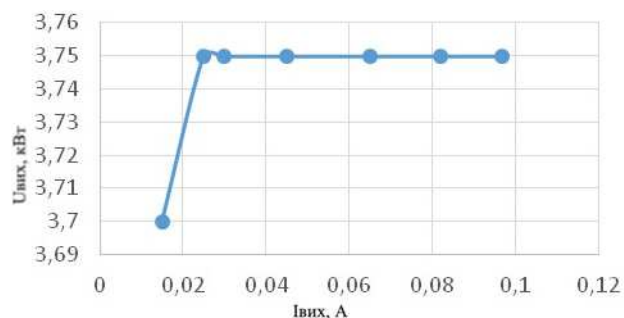


Рис. 7. ВАХ магнетрона

Для стабільної роботи безелектродної сірчаної лампи і дослідження режимів її роботи необхідно мати можливість плавного регулювання потужності НВЧ накачування без ризику перегрівання атенюатора і самої колби лампи.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі запропоновано та практично реалізовано схему імпульсного ВДЖ. Це джерело передбачається використовувати в ланцюзі живлення магнетрона, що входить до складу освітлювальної системи на основі безелектродної сірчаної лампи. На основі аналізу сучасних технологій було запропоновано схемне рішення пристрою, який складається з перетворювача змінної напруги 220 В (50 Гц) в постійне 310 В з пристроєм плавного пуску, джерела живлення для блоків керування (контролю анодної напруги і струму) і захисту від перевантажень.

Таке схемне рішення дозволило зробити плавний підпал самого джерела оптичного випромінювання (сірчаної лампи), отримати більш стабільну роботу освітлювальної системи, за рахунок можливості регулювання потужності НВЧ накачування без ризику перегрівання атенюатора і самої колби лампи.

Запропонований ВВІДЖ магнетрона може застосовуватися не тільки для освітлювальних плазмових систем, але і в інших різних пристроях, вихідні параметри яких сильно залежать від генерованого сигналу магнетрона, а також потрібна стабілізація або регулювання вихідної потужності магнетрона.

## Література

- [1] СВЧ – энергетика. Т. 1. Генерирование, передача, выпрямление / Под ред. Э. Окреса. М.: Мир. 1970. – 464 с.
- [2] Справочник по радиолокации. Т.1. Под ред. Скольника. М.: Мир, 1973.
- [3] Федоров Н. Д. Электронные приборы СВЧ и квантовые приборы: Учебник для вузов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979. – 288 с.
- [4] Кукарин С. В. Электронные СВЧ приборы: характеристики, применение, тенденции развития. М.: Радио и связь, 1981. – 272 с.
- [5] Генераторы и усилители СВЧ / Под ред. И. В. Лебедева. М.: Радиотехника, 2005. – 352 с.
- [6] Чурюмов Г. И. Пути улучшения характеристик магнетронных генераторов для систем радиолокации и связи / Г. И. Чурюмов, Е. Н. Одаренко, Т. И. Фролова, Ю. Л. Старчевский, А. В. Васянович, В. П. Иванцов, А. И. Экезлы, К. В. Сивоконь // "Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития": 2-я Междунар. науч. конф., 30 сент. – 3 окт. 2009 г. Харьков – Кацивели, 2009. – С. 255–257.
- [7] Чурюмов Г. И., Грицунов А. В., Старчевский Ю. Л., Фролова Т. И., Басрави К. М., Экезлы А. И., Перевертайло Р. А. Теоретические и экспериментальные исследования режимов перестройки частоты и синхронизации магнетронов. Материалы 16-ой Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" КрыМиКо 2006. 9-12 сентября, 2006. – Севастополь. – С. 296–297. DOI: 10.1109/CRMICO.2006.256400.
- [8] Верещагин Е. М. Модуляция в генераторах СВЧ. – М.: Сов. Радио, 1972. – С. 304.
- [9] Магнетроны сантиметрового диапазона / Под ред. С. А. Зусмановского. М.: Сов. радио, 1950. Т.1. – 416 с.
- [10] Бычков С. И. Магнетронные передатчики. М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1955. – 215 с.
- [11] Диденко А. Н. Безэлектродные источники видимого света на основе СВЧ-разряда / А. Н. Диденко, Б. В. Зверев, А. В. Прокопенко. — г. Иваново, Россия: 2005. <http://main.isuct.ru/files/konf/ISTAPC2005/proc/p8.pdf>
- [12] Чурюмов Г. И. Источник питания низковольтных магнетронов X и Ku диапазонов с цифровым управлением / Г. И. Чурюмов, В. П. Иванцов // Прикладная радиоэлектроника: науч.-техн. журнал. – 2015. – Т. 14, №. 3. – С. 228–233.
- [13] Чурюмов Г. И., Фролова Т. И., Басрави К. М., Сивоконь К. В. Влияние тепловых процессов на катод и анод на частотные характеристики магнетронов. Радиоэлектроника и информатика, 2007, № 2. – С. 34–46.

- [14] Гутцайт Э. М. Безэлектродные источники света, использующие энергию высоких и сверхвысоких частот (обзор) [Текст] / Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48, № 1. – С. 5–38.
- [15] Диденко А. Н., Зверев Б. В., Дужеев А. Ю. Высокоэффективная система питания СВЧ-источника видимого света от стабилизированного генератора // Изв. РАН. Энергетика. 1998. №1. – С. 147–152.
- [16] Диденко А. Н. Источники света на основе СВЧ-разряда малой мощности / А. Н. Диденко, А. В. Прокопенко // 2016. — No. 4. — P. 55–57.
- [17] Лалаян М. В. Разработка и экспериментальное исследование источника видимого света на основе СВЧ-разряда в среде аргон-сера со сниженной мощностью питания [Текст] / М. В. Лалаян // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2008, № 2. – С. 4–8.
- [18] Лебедев И. В. Техника и приборы сверхвысоких частот. – Т. II. – Электровакуумные приборы СВЧ / под ред. Н. Д. Девяткова. – М.: Высшая школа, 1972. – 376 с.
- [19] Эраносян С. А. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. [Текст] / – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское объединение, 1991. – С. 176.
- [20] Чурюмов Г. И. Влияние мощности СВЧ накачки на характеристики безэлектродной серной лампы [Текст] / Г. И. Чурюмов, Ю. Л. Старчевский, В. П. Герасимов, Е. Н. Одаренко, Т. И. Фролова, В. П. Иванцов, А. И. Экезли // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: 21-я Международная Крымская конф. (КрыМиКо'2011), 12-16 сент. 2011 г., Севастополь, Украина, 2011. – С. 865–866.

Надійшла до редколегії 12.09.2019



**Фролова Тетяна Іванівна**, канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри мікроелектроніки, електронних приладів і пристроїв. Галузь наукових інтересів: розробка 2D і 3D математичних і комп'ютерних моделей для дослідження фізичних процесів в вакуумних пристроях і плазмі, розробка нових високоефективних приладів на основі СВЧ-пристроїв.



**Іванов Сергій Віталійович**, ННДЛ ХНУРЕ «Електроніка-Оріон». Галузь наукових інтересів: мікрохвильова теорія і техніка, фізичні процеси в системах з електромагнітною взаємодією, схемотехніка.

УДК 621.314:621.385.6:533.9.03

Фролова Т. И. **Высоковольтный импульсный источник питания магнетрона** / Т. И. Фролова, С. В. Иванов // Прикладная радиоэлектроника: научн.-техн. журнал. – 2019. Том 18. № 3, 4. – С. 202–207.

В данной работе предложена схема вторичного высоковольтного импульсного модулятора для электропитания СВЧ генератора магнетронного типа. Печной магнетрон, выступающий в роли нагрузки, наиболее широко используемый среди вакуумных приборов СВЧ, имеет свои особенности, связанные со специальными режимами его работы (перестройкой частоты генерации, синхронизацией генерируемых колебаний и т.д.). Создание универсальных высоковольтных источников питания (ВИП) для различных магнетронов затруднено разбросом их электрических параметров. Предложенный 2-кВт ВИП с управлением состоит из преобразователя переменного напряжения 220 В (50 Гц) в постоянное 310 В с устройством плавного пуска, а также источника питания для блоков управления и защиты от перегрузок. Такое решение позволяет получить более стабильную работу магнетронного генератора.

*Ключевые слова:* СВЧ-генератор магнетронного типа, высоковольтный источник питания (ВИП), импульсный модулятор, анодный ток, напряжение накала, вольт-амперная характеристика.

Ил.: 07. Библиогр.: 20 назв.

UDC 621.314:621.385.6:533.9.03

Frolova Tetyana **High voltage switching magnetron power supply** / Tetyana Frolova, Sergei Ivanov // Applied Radio Electronics: Sci. Journ.. –2019. – Vol. 18, No 3, 4. – P. 202–207.

The paper presents a secondary high-voltage pulse modulator circuit for powering a microwave magnetron generator. The furnace magnetron, acting as a load, the most widely used among microwave vacuum devices, has its own characteristics associated with special modes of its operation (tuning the generation frequency, synchronization of generated oscillations, etc.). The creation of universal high-voltage power supply (HVPS) for various magnetrons is complicated by the scatter of their electrical parameters. The proposed 2-kW HVPS with control consists of a voltage converter from 220 V (50 Hz) AC to 310 V DC with a soft start device as well as a power supply for control units and overload protection. Such a solution allows a more stable operation of the magnetron generator.

*Keywords:* microwave magnetron generator, high-voltage power supply (HVPS), pulse modulator, anode current, filament voltage, current-voltage characteristic.

Fig.: 07. Ref.: 20 items.