

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жила В.А. Газоснабжение: учебник для студентов вузов по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция». – М.: АСВ, 2014. – 368 с.
2. Жила В.А., Гусарова Е.А., Гулюкин Д.М. Способы повышения надежности систем газораспределения в городском строительстве // Инновации и инвестиции. – 2017. – № 20. – С. 139–142.
3. Ионин А.А. Газоснабжение. – М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.
4. Лактунькин А.В. Выбор степени кольцевания газораспределительной сети высокого давления для среднего населенного пункта. – М., 2018. – 21 с.
5. Жила В.А., Гусарова Е.А., Гулюкин Д.М. Надежность газораспределительных систем // Научное обозрение. – 2017. – № 20. – С. 38–44.

6. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года // СПС «Гарант».

Клочко Алексей Константинович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия.

Жила Виктор Андреевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия. 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26. Тел.: (495) 781-80-07.

Ключевые слова: абсолютно надежная камера; природный газ; сельское хозяйство; газораспределительная сеть.

THE USE OF «ABSOLUTELY RELIABLE CAMERAS» IN THE SUPPLY OF NATURAL GAS TO AGRICULTURAL FACILITIES

Klochko Aleksey Konstantinovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Heat and Gas Supply and Ventilation", Moscow State University of Civil Engineering, Russia.

Zhila Viktor Andreevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Heat and Gas Supply and Ventilation", Moscow State University of Civil Engineering, Russia.

Keywords: absolutely reliable camera; natural gas; agriculture; gas distribution network.

The paper considers the supply of agricultural facilities with natural gas. The methodology and algorithm for determining the reliability index of gas distribution networks are presented. The concept of "absolutely reliable camera" is disclosed. Reliability indices and technical and economic characteristics of various schemes and configurations of gas distribution networks are determined. The issue of the use of "absolutely reliable cameras" for agricultural facilities is considered.

УДК 004.942, 006.91, 51-74

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ РЕЗОНАТОР СИСТЕМЫ ЭНЕРГООТБОРА

КУЗЬМИН Константин Анатольевич, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)

СОКОРЕВА Евгения Викторовна, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Статья посвящена вопросам, связанным с разработкой электродинамической системы релятивистского клистрона, построенного на базе линейного ускорителя электронов. Приводится описание разработанного авторами перестраиваемого по частоте резонатора, применяемого для энергоотбора большой СВЧ-мощности.

Введение. Внедрение СВЧ-энергии в различные отрасли экономики является одним из наиболее перспективных направлений развития электротехники [1]. Уже сейчас совершенно определенно выявлены ее основные преимущества, к числу которых относится возможность сосредоточения энергии электромагнитного поля в малых объемах и концентрации в нужном месте, что может явиться основой разработки новых энергосберегающих технологий. Достоинством является и та большая гибкость, с которой СВЧ-энергия трансформируется в другие виды энергии [3].

Разработка электродинамической системы релятивистского клистрона, который строится на базе линейного ускорителя электронов, предполагает съем большой мощности. Известно, что

увеличения мощности СВЧ-приборов можно добиться либо путем повышения ускоряющего напряжения, либо тока электронного пучка, либо обоих параметров сразу.

При повышении мощности многорезонаторного клистрона до гигаваттного уровня требуется повысить ускоряющее напряжение электронного пучка, но это, в свою очередь, ограничивает использование традиционных методов и устройств группирования пучка и отбора от него мощности. Возникает необходимость в выборе новых методов группирования и устройств их реализации, а также создании таких систем энергоотбора, элементы которых обеспечат отбор большой СВЧ-мощности.



Для обеспечения эффективной работы многорезонаторной системы отбора релятивистского клистрона необходимо обеспечить возможность перестройки резонаторов этой системы.

Методика исследований. С этой целью предлагается способ перестройки резонатора по частоте. Суть его заключается в том, что емкостную часть тороидального резонатора вакуумно изолируют от остального объема и пролетного канала радиопрозрачным материалом, а диэлектрическое наполнение емкостной части резонатора осуществляют диэлектриком с регулируемой диэлектрической проницаемостью. Применение такого способа приводит к тому, что повышается электрическая прочность резонатора. Выбирая в качестве базового любой из рассмотренных выше резонаторов с необходимым значением ρ , можно осуществить его настройку по частоте [2, 4, 5].

На рисунке представлена схема устройства, реализующая предложенный способ в случае использования в качестве диэлектрика смесь элегаза с воздухом.

Устройство содержит тороидальный резонатор 1, диэлектрические радиопрозрачные кольца 2 и 3 пространства взаимодействия 4 для заполнения диэлектриком (элегаз + воздух), смеситель 5, трубопровод 6, вентиль 7 и отверстие для подачи диэлектрика, трубопровод 9, вентиль 10 и отверстие для откачки диэлектрика 11.

Способ согласно приведенной схеме реализуется следующим образом. Обезвоженный воздух и элегаз подаются на смеситель 5, с выхода которого смесь газов по трубопроводу 6 через вентиль 7 поступает под давлением в пространство 4. Содержание элегаза в смеси может меняться от 50 до 100 % (с целью обеспечения необходимой диэлектрической проницаемости).

Результаты исследований. Диэлектрическая проницаемость резонатора изменяется в пределах от $\varepsilon_{r1} = 1,0314$ до $\varepsilon_{r2} = 1,0622$ при давлении 2МПа. Одновременно с заполнением диэлектриком пространства 4 измеряются резонансная частота. При получении необходимого значения f_p на выходе резонатора, вентиль 7 закрывают. В случае необходимости, открыв вентиль 10, можно откачать смесь элегаза с воздухом из пространства взаимодействия.

В качестве диэлектрика, из которого изготавливаются кольца 2 и 3, применяется радиопрозрачная керамика.

С целью оценки пределов перестройки частоты резонатора, когда в качестве диэлектрика с регулируемой диэлектрической проницаемостью ε используется смесь элегаза с воздухом, воспользуемся соотношением [1].

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = -\varepsilon_0 \frac{\Delta \int_v (\varepsilon_r - 1) |\bar{E}|^2 dV}{4w_0},$$

где ω_0 – собственная частота резонатора; ω – частота резонатора с диэлектрическим наполнением; ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость возмущающего тела; ΔV – объем занимаемый диэлектриком; \bar{E} – напряженность электрического поля на рабочем виде колебаний; w_0 – энергия, запасенная в резонаторе.

При изменении ε_r от ε_{r1} до ε_{r2} имеем:

$$\frac{\omega_1 - \omega_0}{\omega_1} = -\varepsilon_0 \frac{\Delta \int_v (\varepsilon_{r1} - 1) |\bar{E}|^2 dV}{4w_0};$$

$$\frac{\omega_2 - \omega_0}{\omega_2} = -\varepsilon_0 \frac{\Delta \int_v (\varepsilon_{r2} - 1) |\bar{E}|^2 dV}{4w_0}.$$

Отсюда при $\omega_2 \approx \omega_1 \approx \omega_0$

$$\frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} = (\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2}) \frac{\Delta \int_v \varepsilon_0 |\bar{E}|^2 dV}{2 \int_v \varepsilon |\bar{E}|^2 dV}.$$

Учитывая, что $\rho = \frac{|U|^2}{2\omega_0 w_0}$; откуда

$$2w_0 = \frac{|U|^2}{\omega_0 \rho_0}, \text{ получим}$$

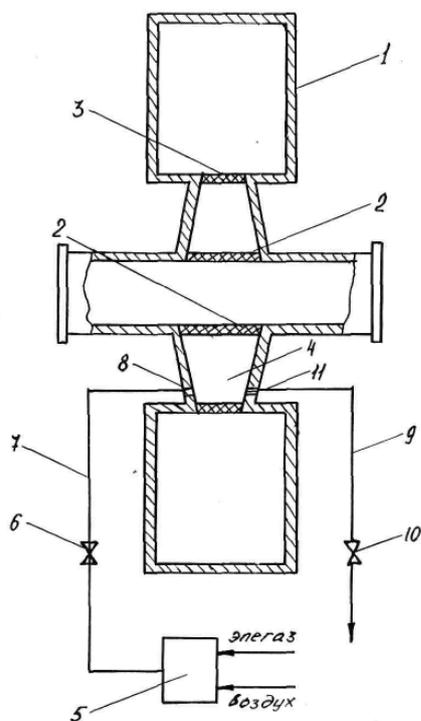
$$\begin{aligned} \frac{\Delta \omega}{\omega_0} &= (\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2}) \frac{\Delta \int_v \varepsilon_0 |\bar{E}|^2}{2|U|^2} \omega_0 \rho_0 = \\ &= (\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2}) \frac{\omega_0 \varepsilon_0 \rho_0}{d^2} \int_v \left| \frac{\bar{E}}{\bar{E}_0} \right|^2 dV, \end{aligned}$$

где E_0 – собственное волновое число, $E_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$; d – ширина зазора.

Если для определения объема, заполняемого диэлектриком, воспользоваться размерами резонатора, приведенного на рисунке, и учесть,

что $\omega_0 = 2\pi f_0$, $f_0 = 3 \times 10$ Гц, то при изменении относительной диэлектрической проницаемости от $\varepsilon_{r1} = 1,0622$ до $\varepsilon_{r2} = 1,0314$ изменение частоты Δf составит ≈ 50 МГц.





Резонатор, перестраиваемый по частоте:
 1 – тороидальный резонатор; 2, 3 – диэлектрические радиопрозрачные кольца; 4 – пространство взаимодействия; 5 – смеситель; 6, 9 – трубопроводы; 7, 10 – вентили; 11 – диэлектрик

Использование предложенного способа позволяет не только осуществить настройку резонаторов с сохранением рабочего вида колебаний, но и значительно (в 6–8 раз) повысить электрическую прочность резонатора, а, следовательно, обеспечить надежную работу системы преобразования энергии электронного пучка в энергию СВЧ-колебаний [2, 4].

Кроме рассмотренного способа перестройки резонатора по частоте и устройства для его реализации предлагается также устройство для настройки тороидального резонатора. Для улучшения взаимодействия электронного потока с эго электромагнитным полем предлагается устройство, изготовленное в виде тонкостенного полого диэлектрического цилиндра, который с помощью специального механизма имеет возможность возвратно-поступательно перемещаться в зоне пространства взаимодействия, изменяя собственную частоту резонатора за счет изменения емкости.

Заключение. Лабораторные исследования макета тороидального резонатора с рабочим ви-

дом колебаний E_{020} показали возможность изменять резонансную частоту в достаточно широких пределах (0 ÷ 50 МГц), если цилиндр изготовлен из полистирола с толщиной стенок 1 мм.

Однако использование подобного устройства в системе отбора энергии на сильноточных РЭП требует дополнительных исследований с целью изучения вопроса о снятии заряда с диэлектрического цилиндра, а также вопросов, связанных со вторичной электронной эмиссией, возникающих при прохождении пучка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин К.А., Морозов С.М. Определение оптимальных режимов работы СВЧ установки для сушки и обжига строительного кирпича // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3. – С. 75–83.
2. Разработка исходных концепций метрологического обеспечения измерительных и расчетных операций при автоматизации измерений / С.М. Морозов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 4. – С. 87–89.
3. Расчет параметров и характеристик СВЧ установки сушки и обжига кирпича/С.М. Морозов [и др.] // Бюллетень строительной техники (БСТ). – 2018. – №9. – С. 37–49.
4. Способ настройки резонатора А.С.СССР№1717625 Приоритет от 16.01.1990 г. Гос. регистр. 8.11.1991.
5. Morozov S., Kuzmin K., Makarov G. Neural network principle of implementation of digital filters // MATEC-WebConf. 2018. No. 93. P. 102–115.

Кузьмин Константин Анатольевич, канд. пед. наук, доцент кафедры «Естественно-научные технические дисциплины и информационные технологии», Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет). Россия.

215100, Смоленская обл., г. Вязьма, ул. Ленина, 77.
Тел.: (48131)6-18-66.

Сокорева Евгения Викторовна, преподаватель кафедры «Проектирование зданий и сооружений», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия.

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.
Тел.: (495) 781-80-07.

Ключевые слова: СВЧ-энергия; электромагнитное поле; электродинамическая система; частота; отбор мощности; группирование; электронный пучок; линейный ускоритель; вакуум; диэлектрическая проницаемость.

TUNABLE RESONATOR OF POWER SYSTEM

Kuzmin Konstantin Anatolyevich, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, of the chair “Science and Technical Disciplines and Information Technology”, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Russia.

Sokoreva Evgenia Viktorovna, Teacher of the chair “Design of Buildings and Structures”, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia.

Keywords: microwave energy; electromagnetic field; electrodynamic system; frequency; power take-off; grouping; electron beam; linear accelerator; vacuum; dielectric constant.

The article is devoted to issues related to the development of the electrodynamic system of a relativistic klystron, built on the basis of a linear electron accelerator. It is given a description of a frequency tunable resonator developed by the authors and used for energy extraction of large microwave power.

