

631.371

Мазур Віктор Анатольєвич, асистент**Михайлова Людмила Николаевна**, канд. техн. наук, доцент

Подільський державний аграрно-технічний університет, г. Каменец-Подільський, Україна. Корпус №1 ПДАТУ, вул. Шевченка, 13, Кам'янець-Подільський, Хмельницька область, Україна, 32301

**АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ДІОДНИХ ГЕНЕРАТОРІВ, ЩО СТАБІЛІЗОВАНІ ЗА ЧАСТОТАМИ
ЗОВНІШНІМ РЕЗОНАТОРОМ**

У радіоімпульсних діодних генераторах, що використовуються для впливу на біологічні об'єкти рослинництва і тваринництва передбачається відносна нестабільність частоти в межах $10^6 \dots 10^7$. Для виконання вимоги когерентності і стабільності амплітудно-фазових параметрів в імпульсному режимі у статті розглянуто режим зовнішньої синхронізації радіоімпульсних діодних генераторів високостабільним безперервним сигналом. Розглянуті параметри генератора на лавинно-пролітній діоді із стабілізуючим високочастотним об'ємним резонатором відображаючого типу як джерела вхідного сигналу

Ключові слова: радіоімпульсний генератор; відносна нестабільність частоти; діодні генератори; стабілізуючий високочастотний об'ємний резонатор відображаючого типу.

Мазур Виктор Анатольевич, асистент**Михайлова Людмила Николаевна**, канд. техн. наук, доцент

Подольский государственный аграрно-технический университет, г. Каменец-Подольский, Украина. Корпус № 1 ПДАТУ, вулиця Шевченка, 13, Каменец-Подольський, Хмельницька область, 32301

**АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ДИОДНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ
ПО ЧАСТОТЕ ВНЕШНИМ РЕЗОНАТОРОМ**

В радиоимпульсных диодных генераторах, используемых для воздействия на биологические объекты растениеводства и животноводства предусматривается относительная нестабильность частоты в пределах $10^6 \dots 10^7$. Для выполнения требования когерентности и стабильности амплитудно-фазовых параметров в импульсном режиме в статье рассмотрен режим внешней синхронизации радиоимпульсных диодных генераторов высокостабильным непрерывным сигналом. В качестве источника входного сигнала рассмотрены параметры генератора на лавинно-пролётном диоде со стабилизирующим высокочастотным объёмным резонатором отражающего типа.

Ключевые слова: радиоимпульсный генератор; относительная нестабильность частоты; диодные генераторы; стабилизирующий высокочастотный объёмный резонатор отражающего типа.

Mazur Viktor Anatolevich, assistant**Mikhailova Lyudmila Nikolaevna**, Ph.D., associate professor

Podolsky State Agricultural Technical University, Kamenetz Podolsky city, Khmelnytskyi region, Ukraine. St. Shevchenko, 13, Kamenetz Podolsky city, Khmelnytskyi region, Ukraine, 32301

**ANALYSIS OF DIODE GENERATORS PARAMETERS FREQUENCY-STABILIZED BY EXTERNAL
RESONATOR**

Frequency instability within $10^6 \dots 10^7$ is used in radiopulse diode generators which are being used for the impact on biological objects and animal husbandry. To fulfill the requirements of coherence and stability of the amplitude and phase parameters in pulsed mode, in the article the external synchronization continuous high stability mode for radiopulse diode generators was researched. Parameters of generator which is used as input signal source were researched. Input signal source generator is based on avalanche transit time diode with a stabilizing high-quality reflective type cavity resonator.

Keywords: radiopulse generator; the relative frequency instability; diode generators; stabilizing high-quality reflective type cavity resonator.

Введение

Литературный анализ показывает, что применение информационных электромагнитных излучений в животноводстве и растениеводстве возможно с созданием импульсных диодных высокостабильных по частоте генераторов [1]. Решение данной задачи возможно на основе суммированием мощностей отдельных диодов в общей электродинамической системе, работающих на применении режима внешней синхронизации генератором, стабилизированного по частоте высокочастотным объёмным резонатором [2]. Из литературных источников следует, что создание таких генераторов является сложной научно-технической задачей [3].

Анализ литературных данных и постановка проблемы

В настоящее время существуют работы [4], в которых рассматриваются методы расчёта электродинамических систем для суммирования мощности диодов в общей резонаторной системе с работой каждого диода в режиме максимальной мощности. Однако в большинстве работ недостаточно уделено внимания теории анализа синхронизирующего генератора, частота которого стабилизирована высокочастотным резонатором [5].

Цель статьи. Теоретический анализ параметров синхронизирующего диодного генератора, частота которого стабилизирована высокочастотным цилиндрическим резонатором отражающего типа.

Изложение основного материала

В качестве источника входного сигнала используем генератор на ЛПД, со стабилизирующим высокочастотным объёмным отражающим резонатором (рис. 1).

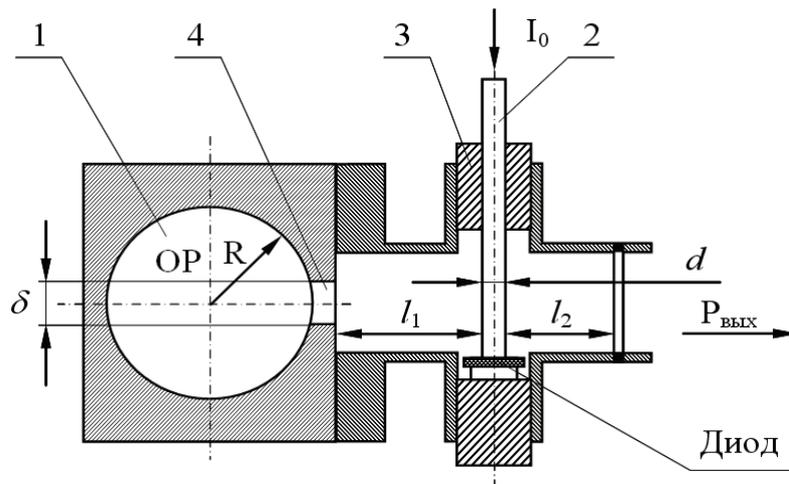


Рис.1. Эскиз конструкции генератора со стабилизирующим объёмным резонатором на волне TE_{011}

Стабилизируемый генератор выполнен в виде волноводно-штыревой конструкции сечением $7,2 \times 2 \text{ мм}^2$. Бескорпусной диод ЛПД крепится в волноводе с использованием металлического круглого стержня 2, ось которого параллельна вектору ЭП (в прямоугольном волноводе распространяется волна H_{10}). Для предотвращения возможных паразитных колебаний вне диапазона перестройки в цепь питания диода включена поглощающая нагрузка 3. В качестве внешнего стабилизирующего резонатора используется цилиндрический резонатор 1, работающий на TE_{011} типе колебаний и включенной по схеме «на отражение». Связь резонатора с волноводной конструкцией осуществляется через отверстие связи 4.

Перестройка частоты резонатора осуществляется бесконтактным поршнем. На рис. 2 приведена эквивалентная схема ГЛПД.

В эквивалентной схеме (рис. 2) металлический стержень для крепления диода заменён Т-образной эквивалентной схемой. Эквивалентные параметры стержня представлены реактивностями jX_a , $-jX_b$ и $-jX_c$, которые определяются размерами стержня и размерами волновода. ЛПД генератора представлен элементами R'_d и X'_d , величина которых определяется из пункта 3.2. Внешний стабилизирующий резонатор 1 характеризуется элементами L_p , C_p , G_p . Расстояние от оси токопроводящего штыря до плоскости отверстия связи учтено отрезком длинной линии l_1 . Перестройка частоты стабилизирующего резонатора осуществляется бесконтактным поршнем.

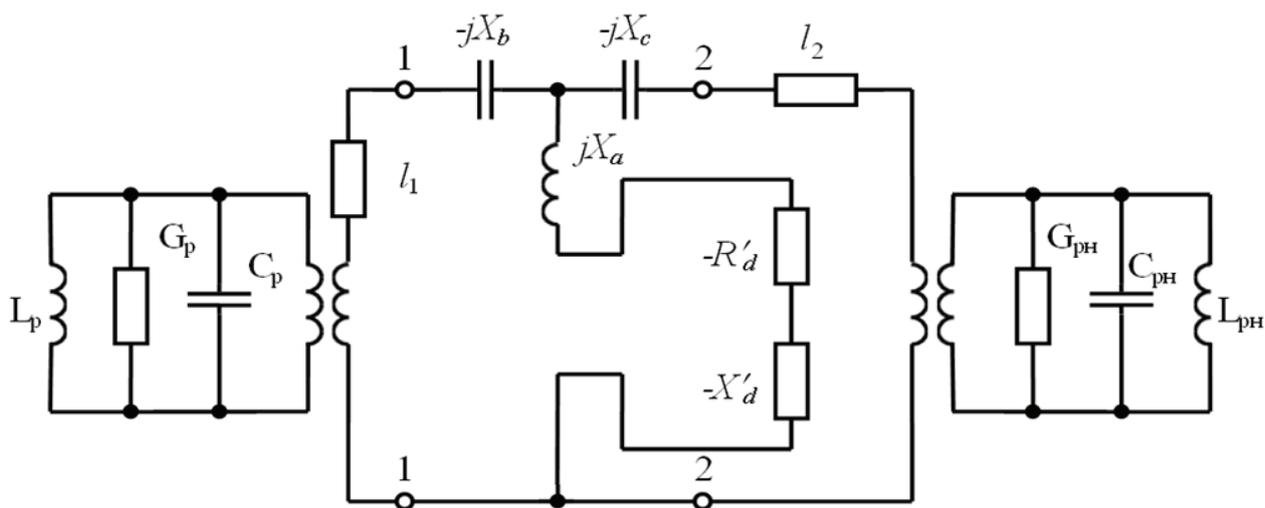


Рис. 2. Эквивалентная схема генератора с внешним стабилизирующим резонатором

Нагрузкой генератора является резонансная многодиодная электродинамическая система, характеризующая элементами $L_{рн}$, $C_{рн}$, $G_{рн}$. В случае, когда все диоды включены в пучность ЭП суммирующего резонатора, то коэффициент трансформации можно считать равным единице. Расстояние от оси токопроводящего штыря до плоскости нагрузки учтено отрезком длинной линии l_2 . Эквивалентные параметры стержня были определены из выражений [6]

$$\frac{X_a}{Z_0} - \frac{X_b}{2Z_0} = \frac{a}{2\lambda_6} \left[S_0 - \left(\frac{\pi d}{2\lambda}\right)^2 - \frac{5}{8} \left(\frac{\pi d}{2\lambda}\right)^4 - 2 \left(\frac{\pi d}{2\lambda}\right)^4 \left(S_2 - 2S_0 \frac{\lambda^2}{\lambda_6^2} \right)^2 \right]; \quad (1)$$

$$\frac{X_b}{Z_0} \approx \frac{a}{\lambda_6} \frac{\left(\frac{\pi d}{a}\right)^2}{1 + \frac{11}{24} \left(\frac{\pi d}{a}\right)^2}; \quad (2)$$

$$S_0 = \ln \frac{4a}{\pi d} - 2 + 2 \sum_{n=3,5,\dots}^{\infty} \left[\frac{1}{\sqrt{n^2 - \left(\frac{2a}{\lambda}\right)^2}} - \frac{1}{n} \right]; \quad (3)$$

$$S_2 = \ln \frac{4a}{\pi d} - \frac{5}{2} + \frac{11}{3} \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2 - \left(\frac{\lambda}{a}\right)^2 \sum_{n=3,5,\dots}^{\infty} \left[\sqrt{n^2 - \left(\frac{2a}{\lambda}\right)^2} - n + \frac{2}{n} \left(\frac{a}{\lambda}\right)^2 \right]; \quad (4)$$

$$Z_0 = \frac{b}{a} \frac{120\pi}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}} - \text{характеристическое сопротивление волновода};$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda / \lambda_{кр})^2}} - \text{длина волны в волноводе}; \quad \lambda = \frac{c}{f} - \text{длина волны в свободном}$$

пространстве; $\lambda_{кр} = 2a$; $a = 7,2$ мм; $b = 2$ мм; $d = 0,2$ мм; $\lambda = 9,74$ мм; $Z_0 = 142$ Ом; $\lambda_g = 13,2$ мм; $X_a = 66,11$ Ом; $X_d = X_c = 0,586$ Ом.

Для определения параметров стабилизирующего резонатора были использованы выражения [7]:

$$L_p = \frac{\mu_0 h}{4\pi}, \quad (5)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9}$ Гн/см; h – высота резонатора.

$$C_p = \varepsilon_0 \frac{R^2}{(\mu_{ni})^2 h}, \quad (6)$$

где $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-14}$ ф/см;

$\mu_{ni} = 3,832$ – корень функции Бесселя для волны H_{011} ;

R – радиус цилиндрического резонатора.

$$Q_p = \frac{1}{\chi} \frac{R}{(1 + \frac{R}{h})}, \quad (7)$$

где Q_p – добротность резонатора;

$$\chi = \sqrt{\frac{2}{\omega_0 \cdot \mu_0 \cdot \sigma}};$$

$\sigma = 15,8 \cdot 10^6$ 1/Ом·м – удельная проводимость латуни.

$$G = \frac{\omega_0 \cdot C_p}{Q_p}, \quad (8)$$

где G – сосредоточенная активная проводимость резонатора [8].

Проведенные расчёты показали, что для резонатора с размерами $R = 21$ мм, $h = 5$ мм, величина параметров резонатора равна: $C_p = 0,0534$ пФ, $L_p = 0,5$ нГн, $Q_p = 5600$, $G = 0,2 \cdot 10^{-5}$ См.

Так как резонатор предназначен для стабилизации частоты генератора, то в рассматриваемом случае связь между резонатором и волноводной линией l_1 осуществляется щелью диаметром δ (рис. 3.) в бесконечно тонкой стенке. Элемент связи представляет собой шунтирующую индуктивность для волноводной системы генератора, относительная проводимость которой определяется выражением [9]:

$$\frac{B_u}{Y'_0} = \frac{\lambda}{\pi R} \cdot \frac{(4\pi \cdot R)^2}{\delta^2}, \quad (9)$$

$$\text{где } Y'_0 = \frac{1}{Z_0} \cdot \frac{\lambda_g}{\lambda} \cdot \frac{a}{4\pi R};$$

a – ширина волноводной системы;

δ - диаметр элемента связи.

С учётом того, что при резонансе реактивная проводимость резонатора равна нулю, то величина активной проводимости резонатора G' на частоте ω_0 , пересчитанная на конец волноводной линии l_1 , будет определяться из уравнения [8]:

$$G' = G \cdot \frac{Q_p}{Q_{вн}}, \quad (10)$$

где $Q_{вн}$ - внешняя добротность резонатора.

Численный анализ определил, что для $\frac{Q_{вн}}{Q_p} = 0,5$ и $\delta = 2 \text{ мм}^2$, $B_u = 0,67 \text{ См}$,

$G' = 0,4 \cdot 10^{-5} \text{ См}$, а сопротивление нагрузки на конце линии l_1 будет равно:

$$\frac{1}{G' - jB_u} = a_1 + jb_1 = (0,89 \cdot 10^{-5} + j1,5) \text{ Ом}.$$

При реализуемом на практике предположении о малости потерь в высокочастотной цепи определим полную проводимость волновода слева и справа от плоскости включения диода. Слева со стороны резонатора проводимость определяется выражением:

$$\dot{Y}_{сх1} = \frac{RZ_o^2(1 + \text{tg}\beta_1) + j(R^2Z_o + X^2Z_o - Z_o^3)\text{tg}\beta_1 + XZ_o^2(\text{tg}^2\beta_1 - 1)}{(R^2Z_o^2 + X^2Z_o^2) + 2XZ_o^3\text{tg}\beta_1 + Z_o^4\text{tg}^2\beta_1} + j\frac{1}{X_b} \quad (11)$$

где $\beta_1 = \frac{2\pi l_1}{\lambda_g}$.

Справа со стороны нагрузки проводимость определяется выражением:

$$Y_{сх2} = \frac{R_n Z_o^2(1 + \text{tg}\beta_2) + j(R_n^2 Z_o - Z_o^3)\text{tg}\beta_2}{R_n^2 Z_o^2 + Z_o^4 \text{tg}^2\beta_2} + j\frac{1}{X_c}, \quad (12)$$

где $\beta_2 = \frac{2\pi l_2}{\lambda_g}$; $R_n = -\frac{R'_d}{6}$.

На основании эквивалентной схемы (рис. 2) проводимость в плоскости диода будет определяться из уравнения:

$$Y_d = \frac{-R'_d}{(R'_d)^2 + (X_a - X'_d)^2} + j\frac{X_a - X'_d}{(R'_d)^2 + (X_a - X'_d)^2}. \quad (13)$$

Приравнявая действительные и мнимые части (11-13), получаем систему двух уравнений относительно неизвестных l_1 и l_2 :

$$\frac{RZ_o^2(1 + \text{tg}\beta_1)}{(R^2Z_o^2 + X^2Z_o^2) + 2XZ_o^3\text{tg}\beta_1 + Z_o^4\text{tg}^2\beta_1} = \frac{-R'_d}{(R'_d)^2 + (X_a - X'_d)^2} \quad (14)$$

$$\frac{[(R^2Z_o + X^2Z_o - Z_o^3)\text{tg}\beta_1 + XZ_o^2(\text{tg}^2\beta_1 - 1)]}{[(R^2Z_o^2 + X^2Z_o^2) + 2XZ_o^3\text{tg}\beta_1 + Z_o^4\text{tg}^2\beta_1]X_b} +$$

$$+ \frac{[(R^2 Z_o^2 + X^2 Z_o^2) + 2XZ_o^3 \operatorname{tg} \beta_1 + Z_o^4 \operatorname{tg}^2 \beta_1]}{[(R^2 Z_o^2 + X^2 Z_o^2) + 2XZ_o^3 \operatorname{tg} \beta_1 + Z_o^4 \operatorname{tg}^2 \beta_1] X_b} = \frac{X_a - X'_d}{(R'_d)^2 + (X_a - X'_d)^2} \quad (15)$$

$$\frac{R_i Z_o^2 (1 + \operatorname{tg} \beta_2^2)}{R_i^2 Z_o^2 + Z_o^4 \operatorname{tg}^2 \beta_2} = \frac{-R'_d}{(R'_d)^2 + (X_a - X'_d)^2} \quad (16)$$

$$\frac{[(R_i^2 Z_o - Z_o^3) \operatorname{tg} \beta_2] + (R_i^2 Z_o^2 + Z_o^4 \operatorname{tg}^2 \beta_2)}{(R_i^2 Z_o^2 + Z_o^4 \operatorname{tg}^2 \beta_2) X_c} = \frac{X_a - X'_d}{(R'_d)^2 + (X_a - X'_d)^2} \quad (17)$$

В результате решений системы уравнений (14-17) были получены величины длин волноводных отрезков (рис.1) $l_1 = 0,8 \text{ см}$ и $l_2 = 1,9 \text{ см}$.

Относительная нестабильность частоты генератора определялась из соотношения [10]

$$\frac{\omega_p - \omega_z}{\omega_z} = \frac{\Delta \omega}{\omega_z}, \quad (18)$$

где ω_z – частота генерации; ω_p – частота резонатора.

Частота генерации определялась из уравнения (17), приравнивая нулю реактивную составляющую генератора. Численный анализ определил величину частоты генератора в пределах $\omega_z = 193,4237428 \cdot 10^9$ рад. Учитывая, что круговая резонансная частота резонатора равна $193,424 \cdot 10^9$ рад, относительная нестабильность частоты генератора составила $1,2910^{-6}$.

Выводы

Получение относительной нестабильности частоты генератора в пределах 10^{-6} - 10^{-7} степени возможно с синхронизацией частоты сумматора мощности сигналом внешнего высокостабильного генератора, у которого для стабильности частоты используется цилиндрический резонатор на волне типа TE_{011} с параметрами: $R=21 \text{ мм}$; $h=5 \text{ мм}$; $Q=5600$; $G=0,2 \cdot 10^{-5} \text{ См}$; диаметр элемента связи резонатора с волноводной системой 2 мм .

Список использованной литературы:

1. Клейман А. С. Некоторые вопросы создания и применения широкодиапазонных КВЧ источников колебаний [Текст] / [Клейман Л. С., Кравченко П. А., Кучин Л. Ф. и др.] – Харьков: Украинский метрологический журнал, 1999. – № 2. – С. 20–23.
2. Касаткин Л. В. Стабилизация СВЧ-параметров стационарного синхронного режима импульсных генераторов на ЛПД. Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника [Текст]. – 2001. – Том 44, № 3. – С. 18–25.
3. Михайлова Л. Н. Определение параметров электродинамической системы многодиодного генератора крайневых частотного диапазона [Текст] / Л. Н. Михайлова // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Нові рішення в сучасних технологіях. – 2011. – № 54. – С. 138–141.
4. Козак А. В. Анализ энергетических характеристик многодиодного генератора на лавинно-пролётных диодах [Текст] / А. В. Козак, А. В. Архипов // Вестник национального технического университета "ХПИ". Сборник научных работ. Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов. – 2011. – № 48 – С. 105–110.
5. Михайлова Л. Н. Применение электромагнитного поля крайневых частот для лечения животных [Текст] / Л. Н. Михайлова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 1/9 (55). – С. 13–16.
6. Коваленко В. Ф. Введение в электронику сверхвысоких частот / В. Ф. Коваленко. – М.: Сов. Радио. – 1955. – 344с.
7. Крылов Н. Н. Теоретические основы радиотехники [Текст] / Н. Н. Крылов. – М.: «Морской транспорт», 1961. – 416 с.
8. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ [Текст] / И. В. Лебедев. – М.: «Высш. школа», 1970. – 440с.
9. Теория линий передачи сверхвысокой частоты [Текст] : [перевод с английского под редакцией Шпунтова]. – М.: Сов. радио, 1951. – 263 с.

10. Зырин С. С. Стабильность частоты и выходная мощность пролётного автогенератора с колебательной системой произвольного типа [Текст] / С. С. Зырин // Электронная техника, серия «Электроника СВЧ». – 1970. – Вып. 10. – С. 30–42.

Referense:

1. Kleiman A. S. Questions of creation and application of wide-range UHF oscillation sources [Text] / [Kleiman A. S., Kravchenko P. A., Kuchin L.F.] - Kharkiv: Ukrainian Journal of Metrology, 1999 . – № 2. – P. 20–23.
2. Kasatkin L. Stabilization of microwave parameters of stationary synchronous mode of pulse generators in the LPD. Radio Electronics [text]. – 2001. – Т. 44, №3. – P. 18–25.
3. Mikhailova L. N. Calculation of parameters of the electrodynamic system of ultra-high frequency diode generator [Text] / L. N. Mikhailova // Journal of the National Technical University “KPI”. New solutions in modern technologies. – 2011. – № 54. – P. 138–141.
4. Kozak A.V. Analysis of energy characteristics of avalanche transit time diodes generator [Text] / A.V. Kozak, A. V. Arkhipov // Journal of National Technical University “KPI”. Collection of scientific works. Problems of improvement of electrical machinery and apparatus. – 2011. – № 48. – P. 105–110.
5. Mikhailova L.N. Application high frequency electromagnetic field in the treatment of animals [Text] / L. N. Mikhailova // Eastern European Journal of advanced technologies. – 2012. – № 1. – P. 13–16.
6. Kovalenko V. F. Introduction to Electronics of ultra-high frequency / V. F. Kova lenko. – М., Sov. Radio, 1955. – 344 p.
7. Krylov N. N. Theoretical Fundamentals of Radiotechnics [Text] / N.N. Krylov. – М.: "Morskoy transport", 1961. – 416 p.
8. Lebedev I. V. Microwave Technics and Devices [Text] / I. V. Lebedev. – М.: “Vush. Shkola”, 1970. – 440 p.
9. The theory of ultrahigh frequency lines transmission [text]: [translated from the English under the editorship of Piling]. – Moscow: Sov.radio, 1951. – 263 p.
10. Zyryn S. S. The frequency stability and output power of oscillator with an oscillating system of any type [Text] / S. S. Zyryn // Electronic devices, series of “Microwave Electronics”. – 1970. – Iss. 10. – P. 30–42.

Поступила в редакцию 03.08 2015 г.