

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

# Радиоэлектроника



ТОМ XX  
10  
1977

*СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК*  
ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ

ИЗДАНИЕ  
КИЕВСКОГО ОРДЕНА ЛЕНИНА  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
ИМЕНИ 50-ЛЕТИЯ ВЕЛИКОЙ  
ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ  
РЕВОЛЮЦИИ

хронности на длинноволновой и уменьшается на коротковолновой границе. При  $R/a < 1,7$  влияние изменения параметра несинхронности преобладает над ростом  $K_2/K_1$  и, поэтому, на длинноволновой границе  $\eta_1$  возрастает, а  $G_2$  уменьшается (рис. 1). Это приводит к тому, что несмотря на значительное уменьшение  $\eta_1$  на коротковолновой границе, в октавной полосе частот ЛБВ с  $R/a=1,2$  является оптимальной по  $\eta_1$  и  $G_2$  в полосе.

Необходимо отметить, что полученные данные отличаются от результатов работы [1], где с уменьшением дисперсии  $G_2$  возрастает. Последнее отличие обусловлено тем, что приведенные в [1] данные относятся к значениям параметра несинхронности равным или большим, чем в режиме максимального удельного усиления, в то время как в рассматриваемом случае на длинноволновой границе полосы значения параметра несинхронности намного меньше единицы.

На рис. 1, б приведены результаты расчетов частотных зависимостей  $\eta_1$  и  $G_2$  при различных диаметрах спирали (высота опорных стержней  $\gamma h=1,6$  и коэффициент замедления фиксированы на средней частоте диапазона). Из рис. 1, б видно, что, как и следовало ожидать, в результате уменьшения  $K_2/K_1$   $G_2$  с ростом  $\gamma a$  уменьшается. Однако при чрезмерном увеличении  $\gamma a$  ( $\gamma a \geq 1,8$ ) значительное уменьшение  $K_1$  приводит к падению  $\eta_1$  на коротковолновой границе. При  $\gamma a < 1$  к. п. д. падает на длинноволновой границе вследствие роста уровня второй гармоники.

Как следует из рис. 1, б, оптимальным по к. п. д. в октавной полосе частот является  $\gamma a=1,6 \div 1,7$ , а традиционное значение  $\gamma a=1,3$ , соответствующее максимальному удельному усилению [6], обеспечивает небольшой перепад  $\eta_1$  лишь в полосе частот порядка 30%.

Таким образом, при разработке октавных спиральных ЛБВ диаметр пролетного канала целесообразно выбирать из условий  $\gamma a=(1,6-1,7)$  на средней частоте диапазона, а экран либо сильно приближать к спирали ( $R/a \leq 1,2$ ), либо удалять его на достаточно большое расстояние ( $R/a > 3$ ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кац А. М., Ильина Е. М., Манькин И. А. Нелинейные явления в СВЧ приборах О-типа с длительным взаимодействием. М., «Советское радио», 1975, стр. 104.
2. Ильина Е. М., Кац А. М., Поляк Е. Е. Влияние дисперсии на полосовые свойства ЛБВ типа О.— «Электронная техника», Серия I «Электроника СВЧ», 1973, № 7.
3. Paik S. F. Design formulas for helix dispersion shaping.— IEEE Trans., 1969, E-16, № 12.
4. Mcmistry V. I. Fundamental interaction impedance of a helix surrounded by a dielectric and a metal shield.— IRE Trans., 1969, ED-9, № 12.
5. Вайнштейн А. А. Нелинейная теория ЛБВ. ч. 1. «Уравнения и законы сохранения». — «Радиотехника и электроника», 1957, 2, № 7, стр. 883.
6. Лошаков Л. Н., Пчельников Ю. Н. Теория и расчет лампы с бегущей волной. М., «Советское радио», 1964.

Поступило в редакцию  
23 XI 1976 г.

УДК 621 385 6

И. М. БАЛАКЛИЦКИЙ, Г. С. ВОРОБЬЕВ, А. И. ЦВЫК, В. П. ШЕСТОПАЛОВ

#### УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ ДИФРАКЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МАГНИТНОЙ ФОКУСИРОВКОЙ

Путем изменения конфигурации фокусирующего магнитного поля в пространстве взаимодействия электронного потока с в. ч. полем открытого резонатора экспериментально установлена практическая возможность улучшения эффективности работы приборов типа генераторов дифракционного излучения (ГДИ). Результаты исследований представлены в виде графиков.

Положительные свойства ГДИ [1, 2] по сравнению с другими генераторами с длительным взаимодействием в миллиметровых и субмиллиметровых диапазонах волн вызывают необходимость проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований, а также усовершенствования конструкций известных ГДИ [1] с целью улучшения выходных характеристик генераторов, увеличения мощности генерации и стабильности колебаний, уменьшения пусковых и рабочих токов, уменьшения габаритов фокусирующих систем и т. д.

В работе [2] показано, что наиболее эффективно приборы типа ГДИ работают на  $TEM_{02q}$  типе колебаний, которое возбуждается в объеме высокодобротного открытого резонатора, образованного сферическим зеркалом и плоским с дифракционной решеткой.

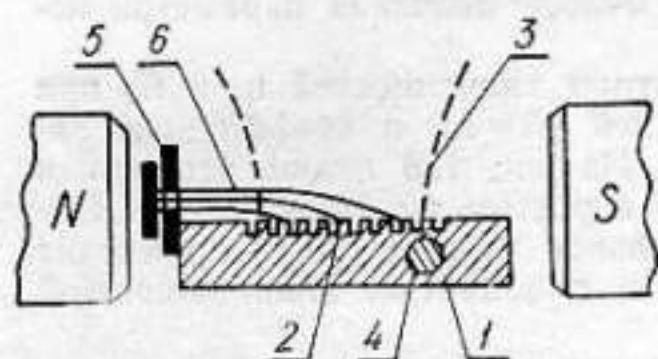


Рис. 1. Схема устройства ГДИ с магнитной неоднородностью.

Особенностью этого колебания является наличие в центральной части дифракционной решетки пятна в. ч. поля, где осуществляется обратная связь между электронным пучком и электромагнитным полем резонатора, а также происходит преобразование кинетической энергии электронного потока в энергию дифракционного излучения. Поэтому эффективность работы генератора существенным образом зависит от того, насколько эффективно используется электронный поток именно в этой области пространства взаимодействия. В частности, для увеличения мощности генерации и снижения рабочих токов необходимо увеличить в пространстве взаимодействия плотность и эффективную толщину электронного потока.

В приборах типа ГДИ с магнитной фокусировкой электронного потока этот вопрос можно решить путем увеличения в пространстве взаимодействия концентрации и соответствующего изменения конфигурации магнитных силовых линий. Такое фокусирующее поле можно создать, если в области пятна в. ч. поля расположить металлические вставки, изготовленные из магнитного материала. Экспериментальные исследования подтвердили эти предположения.

На рис. 1 изображен случай использования одной магнитной вставки. Установлено, что наиболее рационально ее располагать вблизи пятна в. ч. колебаний на дифракционной решетке со стороны коллектора. В этом случае электронный поток равномерно распределяется в пространстве взаимодействия и оседает в области магнитной вставки, при этом значительно уменьшается пусковой и рабочий ток, возрастает мощность генерации. Кроме того, прибор работает при меньших фокусирующих магнитных полях и менее чувствителен к юстировке.

Экспериментальные исследования ГДИ с магнитной неоднородностью проводились на макете генератора в миллиметровом диапазоне длин волн ( $\lambda = 3,8 \div 5,6$  мм). Открытый резонатор генератора (рис. 1) образован сферическим зеркалом с радиусом кривизны 110 мм (апертура — 40 мм) и цилиндрическим зеркалом 1 (кривизна — 130 мм, длина — 40 мм) с дифракционной решеткой 2 типа «гребенки», расположенной в центральной части зеркала вдоль его образующей. Металлическая вставка 4 при эксперименте располагалась на различных расстояниях от центра пятна в. ч. поля на решетке. Электронный поток 6 сечением  $5 \times 0,2$  мм<sup>2</sup> создавался диодной пушкой 5 с  $L'$ -катодом, для фокусировки которого использовался электромагнит. Токораспределение электронного потока на решетке наблюдалось визуально через смотровое окно макета генератора.

При расположении магнитной неоднородности в центре пятна в. ч. поля генератор работал неустойчиво и возбуждался при токах пучка, значительно превышающих пусковые токи ГДИ без магнитной неоднородности. Однако при смещении вставки от центра пятна в. ч. поля в сторону коллектора условия возбуждения генератора улучшались и на расстояниях 10–12 мм (что примерно соответствует границе центрального пятна 3 в. ч. поля на решетке для  $TEM_{02q}$  вида колебания) генератор работал устойчиво и возбуждался при значительно меньших токах пучка, чем ГДИ без магнитной вставки.

На рис. 2 приведены зависимости мощности генерации (в относительных единицах) от величины фокусирующего магнитного поля для исследуемого генератора (кривая 1) и для ГДИ без магнитной неоднородности (кривая 2). Характер зависимостей в обоих случаях имеет вид кривых насыщения, однако в ГДИ с магнитной неоднородностью одновременно с увеличением мощности генерации насыщение мощности и возбуждение генератора происходит примерно в 1,5 раза меньших фокусирующих магнитных полях ( $H_{\min} \approx 0,8$  кЭ; здесь величина  $H$  соответствует значениям поля в центре между полюсными концами без магнитной неоднородности).

Наиболее интересными характеристиками в ГДИ с магнитной неоднородностью являются зависимости пускового тока генератора от длины волны генерации  $\lambda$  (или от ускоряющего напряжения электронного потока, так как в ГДИ  $U_0 (В) \approx 2,55 \cdot 10^5$

$\left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$ ;  $l$  — период дифракционной решетки). Эти зависимости приведены на рис. 3, где пунктирная кривая 5 соответствует ГДИ без магнитной неоднородности и снималась при постоянном фокусирующем магнитном поле ( $H=4$  кЭ), а остальные графики описывают изменение пускового тока от  $U_0$  при различных значениях  $H$  для исследуемого генератора.

Кривая 5 свидетельствует, что в ГДИ без магнитной неоднородности на определенной длине волны генерации (в данном случае при  $U_0=1,9\div 2$  кВ,  $\lambda\approx 4,5$  мм) имеет место явно выраженное минимальное значение пускового тока ( $I_{\min}\approx 35$  мА), которое существенно возрастает на краю диапазона возбуждаемых колебаний ( $\lambda=5,8$  мм при  $U_0\approx 1,08$  кВ,  $I_{\text{пуск}}\approx 80$  мА;  $\lambda=3,8$  мм при  $U_0=3,2$  кВ,  $I_{\text{пуск}}\approx 110\div 120$  мА). В исследуемом генераторе при том же значении фокусирующего магнитного поля (кривая 1) пусковой ток примерно в 2,5 раза меньше ( $13\div 15$  мА), чем в ГДИ без магнитной неоднородности и его значение меняется незначительно в достаточно широком диапазоне длин волн генерации ( $\lambda\approx 5,3\div 3,83$  мм при  $U_0\approx 1,25\div 3$  кВ,  $I_{\text{пуск}}\approx 13\div 20$  мА).

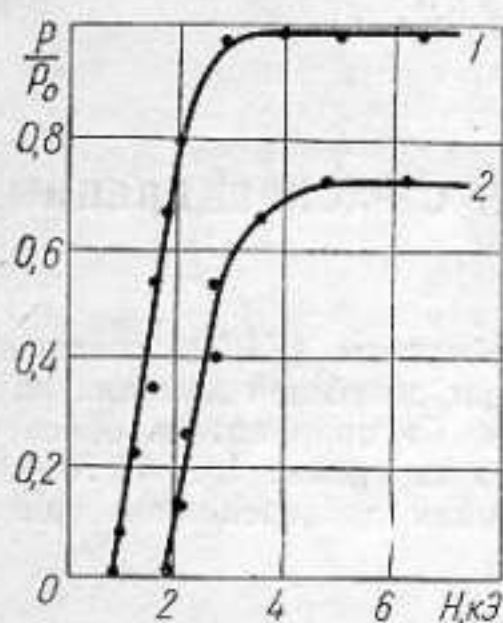


Рис. 2. Зависимости мощности генерации от магнитного поля.

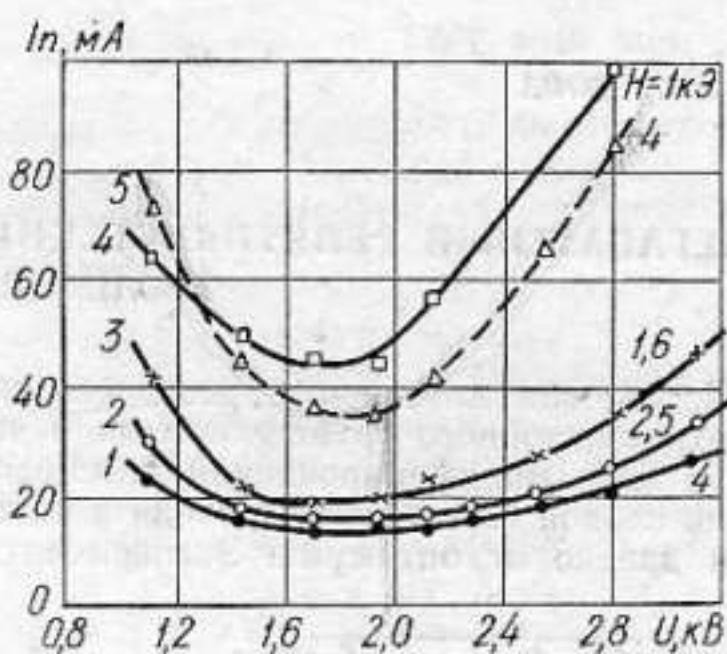


Рис. 3. Зависимости пусковых токов ГДИ от ускоряющего напряжения при различных значениях фокусирующего магнитного поля.

При уменьшении фокусирующего магнитного поля от 4 до 1,6 кЭ постепенно меняется характер зависимостей (кривые 2, 3), а минимальное значение пускового тока возрастает до  $\approx 19$  мА, что составляет в 5–6 раз меньшее значение, чем в ГДИ без магнитной неоднородности. Если  $H\approx 1$  кЭ (кривая 4), зависимости пускового тока от  $U_0$  примерно совпадает с кривой 5.

В процессе эксперимента установлено, что наиболее эффективно ГДИ с магнитной неоднородностью работает, когда электронный поток полностью оседает на дифракционную решетку в пятне в. ч. поля (рис. 1). Поэтому улучшение рассмотренных выходных характеристик исследуемого генератора по сравнению с пролетным ГДИ [1] объясняется уплотнением и улучшением качества электронного потока в пространстве взаимодействия вследствие постепенного уплотнения в этой области силовых линий фокусирующего магнитного поля, а также увеличения эффективной толщины электронного пучка в результате постепенного использования его в пространстве взаимодействия.

Таким образом, имеются новые практические возможности увеличения эффективности работы приборов типа ГДИ с магнитной фокусировкой электронного потока.

В заключение отметим, что специфичность траекторий электронного потока в пространстве взаимодействия ГДИ с магнитной неоднородностью указывает на возможность использования в приборах толстых электронных потоков, при этом исчезает необходимость в дополнительном электроде — коллекторе [1]. Кроме того, меньшая чувствительность таких генераторов к юстировке значительно облегчает эксплуатацию их в радиотехнических устройствах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шестопапов В. П., Балаклицкий И. М., Третьяков О. А., Скрынник Б. К. Эффект дифракционного излучения и создание нового класса источников колебаний — генераторов дифракционного излучения. — Вестник АН УССР, Март, 1972.

2. Балаклицкий И. М., Курин В. Г., Скрынник Б. К., Шестопа-лов В. П. Установка для изучения распространения полей мм- и субмм-диапазонов в вакуумированных открытых резонаторах.— ПТЭ, 1974, № 5, стр. 107.

Поступило в редакцию  
10 I 1977 г.

УДК 621.385.69

И. И. ЛОШАКОВА

## МЕГАВАТТНЫЙ РЕЛЯТИВИСТСКИЙ КЛИСТРОН С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

Исследован клистрон с распределенным взаимодействием (КРВ), состоящий из четырехрезонаторного группирователя и выходной секции, имеющей замедляющую систему в виде модифицированной плоскости с кольцами. Группирователь обеспечивает уровень первой гармоники на входе в оконечную секцию на уровне  $I_1/I_0=0,70-0,4$ , что весьма далеко от оптимума. Экспериментально замеренная дисперсионная кривая за-

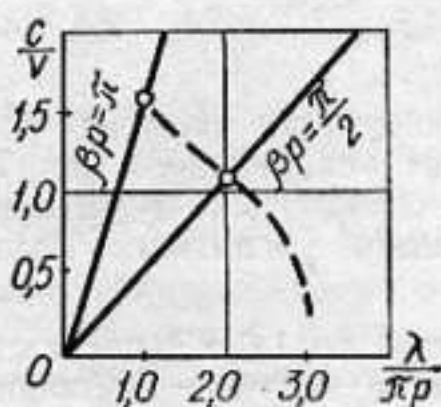


Рис. 1. Дисперсионная характеристика замедляющей системы типа «модифицированная плоскость с кольцами»:  $\beta r = \pi$  — коротковолновая линия отсечки;  $\beta$  — волновое число.

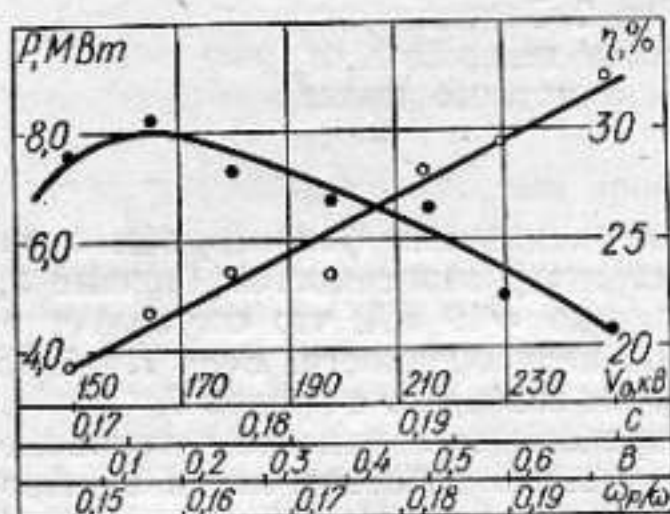


Рис. 2. Результаты экспериментального исследования КРВ.

медляющей системы представлена на рис. 1, кружками показаны характерные точки двух резонансов с одной ( $\beta r = \frac{2}{\pi}$ ) и двумя ( $\beta r = \pi$ ) полуволнами [1], укладываемыми на системе. Нагруженная добротность по измерениям составляла 33—36.

Прибор с резонатором в две полуволны испытывался в импульсном режиме с калометрическим измерителем мощности. Результаты измерений выходной мощности в мегаваттах (кружки, кривая 1) и полного к. п. д. (точки, кривая 2) представлены на рис. 2, где по оси абсцисс отложены изменения при росте ускоряющего напряжения  $V$  основных величин, определяющих режим: параметра Пирса  $C$ , рассинхронизма  $b$ , относительной плазменной частоты  $\omega_p/\omega$ .

В интервале напряжений 150—250 кВ изменение скорости электронов по сравнению со скоростью света составило  $u_0/c=0,635-0,738$ . При таких скоростях релятивистские эффекты существенны, что и привело к смещению максимума к. п. д. в область малых рассинхронизмов [1]. Следует отметить, что с ростом параметра Пирса  $C$  при постоянной добротности наблюдается падение к. п. д. как это следует и из теоретических

Special issue  
Microwave electronic instruments

## CONTENTS

Kravtchenko V. F., Polevoy V. I., Andrusenko A. M., Kobyakova A. V. Calculation of electrostatic fields in the complicated configuration periodic structures	3
Malivantchuk V. I., Denisov A. I., Olekh N. Ya. Output phase of TWT under simultaneous influence on input of fundamental and double frequencies	12
Zen'kovich A. V. On the measurement of the TWT's dynamical amplitude-phase characteristics	19
Pchel'nikov Yu. N., Zinger S. Kh. Performance equation of TWT with non-uniform electronic flow	24
Ivanov A. V., Solov'yeva N. V., Filimonov G. F. Comparison of amplitude-frequency characteristics of klystron with lumped and distributed interaction	28
Filimonov G. F. Optimal grouping and maximum efficiencies of klystrons with distributed interaction	33
Bazarov Ye. N., Gerasimov G. A., Gubin V. P., Posudin Yu. I. Frequency stabilization of CO <sub>2</sub> -laser on narrow resonance in OsO <sub>4</sub>	39
Il'tchenko L. N., Oboznenko Yu. L., Smirnov Ye. N. Parametric excitation of sound in the acoustic deflector of luminous radiation	45
Grechushkin K. V., Stal'makhov V. S., Stshegolev V. P. Non-linear theory of resonant coupling O-elements on a base of rapid cyclotron waves	50
Makarenko A. S. Polarization single-band modulator using p-n diodes	55
Borodovsky P. A., Buldygin A. F., Utkin K. K. Calculation and experimental research frequency autodyne converter on a base of Gann diode	64
Dagis M., Denis V., Skuchas Yu. Linearity of amplitude characteristic of resistive transducer of microwave electric-field intensity	71

## BRIEF REPORTS

Kalmykov A. M., Kotsarenko N. Ya., Kulish V. V. Possibility of parametric generation and amplification of electromagnetic waves with frequency higher than that of pumping wave, in electron flows	76
Gerasimov G. A., Posudin Yu. I. Frequency retuning of gas laser using surface acoustic waves	78
Barybin A. A., Kuz V. G. Amplification of waves-carrier in n-CaAs thin films taking account of external medium lamination	80
Zhgun S. A., Lobov G. D., Shtykov V. V. Non-linear properties of metal-dielectric-metal structure	83
Malyshev V. A., Rozdobud'ko V. V., Golovkin A. S. Microwave auto-modulated oscillations on Gann diode	85
Al'tshuler Yu. G., Dyatlov Yu. V. Magnetron investigation, tuned by voltage, in the synchronization mode	87
Vinokurova T. V., Perekupko V. A. Parameters choice of non-uniform double-mode TWT	90
Malivantchuk V. I., Olekh N. Ya., Retinskaya A. S. Sizes choice of octave helical TWT	92
Balaklitsky I. M., Vorob'yev G. S., Tsvyk A. I., Shestopalov V. P. Work efficiency increase of diffraction radiation oscillators with magnetic focusing	93
Loshakova I. I. Megawatt relativistic klystron with distributed interaction	96
Katsman Yu. A., Movnin S. M., Trebich V. D. Calculation of reduction factor for hollow relativistic electron flow in the coaxial screen	97
Unanyan S. M., Fomin N. N. Plant for research of microwave synchronized generators' characteristics	100
Istshenko A. I., Kozhushny V. A., Perekupko V. A. Controllable attenuator on a base of p-i-n diode for microwave coaxial generators	103
Omelyanyuk I. V., Tolstikov Yu. V. Work analysis of microwave phase shifter in the linear mode under signal high level	104
Gololobov V. P., Tsymbal V. I., Shelamov G. N. Investigation of microwave semiconductor generators with magnetic retuning	107
Kuzmichov A. I., Shendakov A. I. On afterglow processes in the control circuit of the gas discharge switch devices	110

Цена 80 коп.

Индекс 70375

## ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ

НА ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ СССР  
по разделу

## РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

В журнале освещаются результаты научно-исследовательских работ, передовой отечественный и зарубежный опыт, определяющий направление и развитие научных исследований в области радиотехники и радиоэлектроники, публикуются материалы научных конференций и совещаний, информации о научной работе советских и зарубежных вузов, хроникальные и библиографические материалы.

### ЖУРНАЛ ИМЕЕТ СЛЕДУЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ

1. Теория радиоэлектронных цепей.
2. Помехоустойчивость радиотехнических систем и теория сигналов.
3. Радиопередающие и радиоприемные устройства.
4. Радиоэлектронные измерения.
5. Антенные и волноводные устройства.
6. Высокочастотная электроника и электродинамика.
7. Электронные приборы и микроэлектроника.
8. Квантовая радиоэлектроника.
9. Радиотехнические системы. Импульсная техника.
10. Применение ЭВМ для исследования и проектирования радиоэлектронных устройств и систем.
11. Применение радиоэлектроники в народном хозяйстве и медицине.
12. Конструирование и производство радиоаппаратуры.

Журнал рассчитан на профессорско-преподавательский состав высших учебных заведений, научный и инженерно-технический персонал промышленных предприятий, а также научно-исследовательских учреждений радиотехнической и электронной промышленности и электросвязи, аспирантов и студентов старших курсов.

### ЖУРНАЛ РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ ТОЛЬКО ПО ПОДПИСКЕ

Подписка принимается без ограничения всеми отделениями Союзпечати, конторами, отделениями и агентствами связи, общественными уполномоченными по проведению подписки на предприятиях и учреждениях.

Подписная цена на год 9 руб. 60 коп., на полугодие — 4 руб. 80 коп. Периодичность журнала — 12 номеров в год. Индекс журнала в каталоге «Союзпечати» — 70375.

По просьбе читателей редакция высылает наложенным платежом комплекты и отдельные выпуски журналов с 1967 по 1976 гг.

Адрес редакции: 252056, г. Киев-56, Брест-Литовский проспект, 39, Киевский политехнический институт, редакция журнала «Известия высших учебных заведений СССР» по разделу «Радиоэлектроника».

Vol. 10, No. 8

RADIO  
ELECTRONICS  
AND  
COMMUNICATIONS  
SYSTEMS

Izvestiya  
VUZ.  
Radioelektronika

