

Мощная усилительная цепочка миллиметрового диапазона

Разработана и испытана усилительная цепочка 8-мм диапазона длин волн в составе пакетированных с магнитными периодическими фокусирующими системами (МПФС) входной лампы бегущей волны (ЛБВ) и выходной односекционной прозрачной ЛБВ с замедляющими системами типа цепочки связанных резонаторов (ЦСР). Получена импульсная мощность свыше 10 кВт в полосе частот 1,5 ГГц при питании обеих ЛБВ от общего источника питания.

Ключевые слова: ЛБВ, односекционная прозрачная ЛБВ, усилительная цепочка, миллиметровый диапазон длин волн

В настоящее время самой мощной отечественной ЛБВ 8- мм диапазона длин волн является УВИ-159 [1]. Основные параметры лампы приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры ЛБВ типа УВИ-159.

Наименование параметра, единица измерения	Значение параметра
Рабочий диапазон частот, ГГц	33,25 – 34,75
Выходная импульсная мощность, кВт	6
Коэффициент усиления в режиме насыщения, дБ	48
Напряжение замедляющей системы (типичное значение), кВ	30,6
Ток катода импульсный (типичное значение), А	1,5
Напряжение коллектора, кВ	16
Амплитуда управляющего импульса, кВ	2,5
Минимальная скважность управляющих импульсов	15
Масса, кг	6,5
Охлаждение	жидкостное

Для ряда радиолокационных применений желательно удвоить достигнутый уровень выходной мощности при сохранении рабочей полосы частот и питающих напряжений. Рассчитывать на заметное увеличение тока и электронного коэффициента полезного действия ЛБВ УВИ-159 не приходится. В процессе анализа путей практического решения этой задачи появилось предложение поднять достигнутый уровень мощности с помощью односекционной прозрачной ЛБВ, у которой параметры электронного пучка и замедляющей системы примерно соответствуют аналогичным параметрам ЛБВ УВИ-159, а коэффициент усиления составляет (3 – 4) дБ. Численный анализ по программе «VEGA» [2] подтвердил принципиальную работоспособность такой усилительной цепочки. Для практической проверки идеи были разработаны, изготовлены и испытаны экспериментальные образцы модернизированной ЛБВ типа УВИ-159В, которая является входной лампой цепочки, и выходной прозрачной ЛБВ «Чечет-2ОВ». Модернизация ЛБВ УВИ-159 обусловлена доступностью в настоящее время мощных транзисторных источников сигнала, что позволяет уменьшить коэффициент усиления лампы и сократить

количество секций замедляющей системы до двух. Кроме того, было решено перейти на воздушное охлаждение. Габаритные размеры ЛБВ составляют 340×160×98 мм, масса – 5,2 кг. Выходная лампа «Чечет-2ОВ» практически полностью унифицирована с входной ЛБВ, отличаясь наличием лишь одной секции замедляющей системы и специально разработанной МПФС из 7 магнитных колец. Габаритные размеры ЛБВ составляют 290×160×98 мм, масса – 5,0 кг. Фотографии экспериментальных образцов ЛБВ УВИ-159В и «Чечет-2ОВ» представлены на рис. 1.

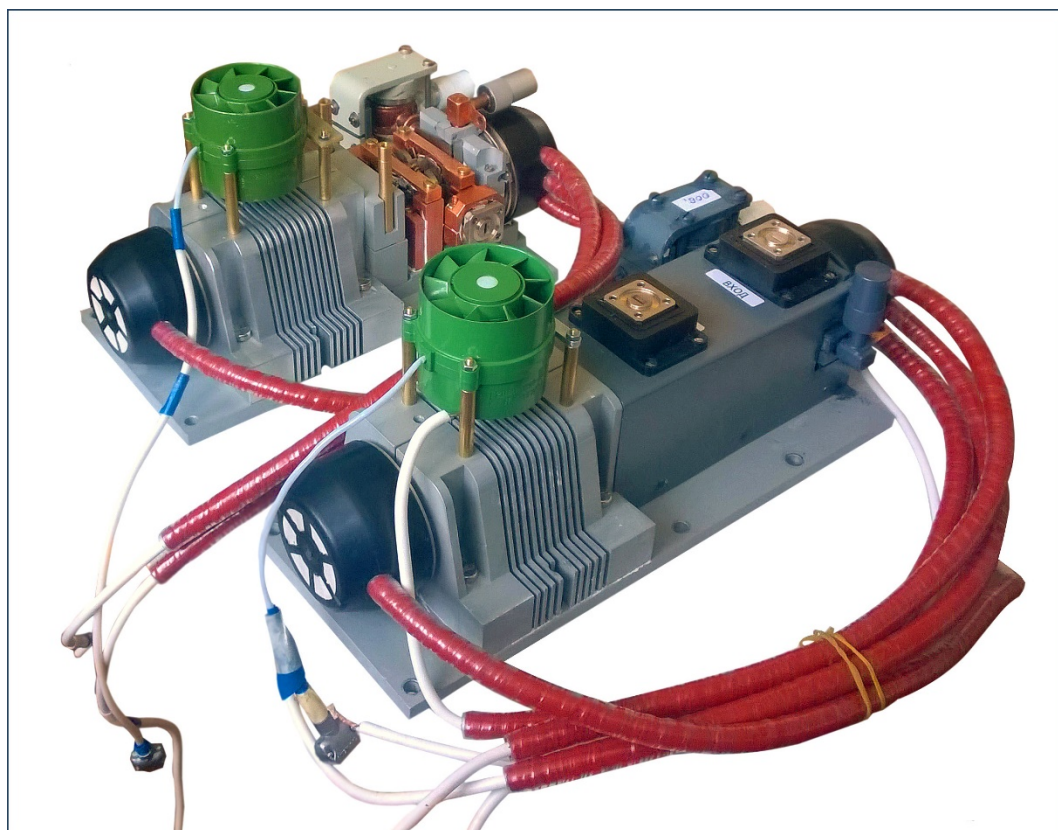


Рис. 1. Экспериментальные образцы входной ЛБВ УВИ-159В (на переднем плане) и выходной ЛБВ «Чечет-2ОВ».

Оптимальные значения основных параметров электрического режима входной и выходной ЛБВ приведены в таблице 2.

Таблица 2. Оптимальные значения основных параметров электрического режима входной и выходной ламп при напряжении замедляющей системы 30,6 кВ и напряжении коллектора 16 кВ.

Наименование параметра, единица измерения	Значение параметра	
	УВИ-159В	«Чечет-2ОВ»
Напряжение управляющего электрода в паузе между импульсами, кВ	-2,2	-2,2
Напряжение управляющего электрода во время импульса (напряжение превышения), В	230	260
Ток катода импульсный, А	1,5	1,5
Коэффициент токопрохождения в статическом режиме (без подачи входной мощности), %	97,5	97,2

Разница в значениях напряжения превышения обусловлена погрешностями изготовления электронных пушек. Амплитудно-частотная характеристика ЛБВ УВИ-159В

при указанном электрическом режиме и оптимальной входной мощности представлена на рис. 2. Измерения проводились при скважности управляющих импульсов 15.

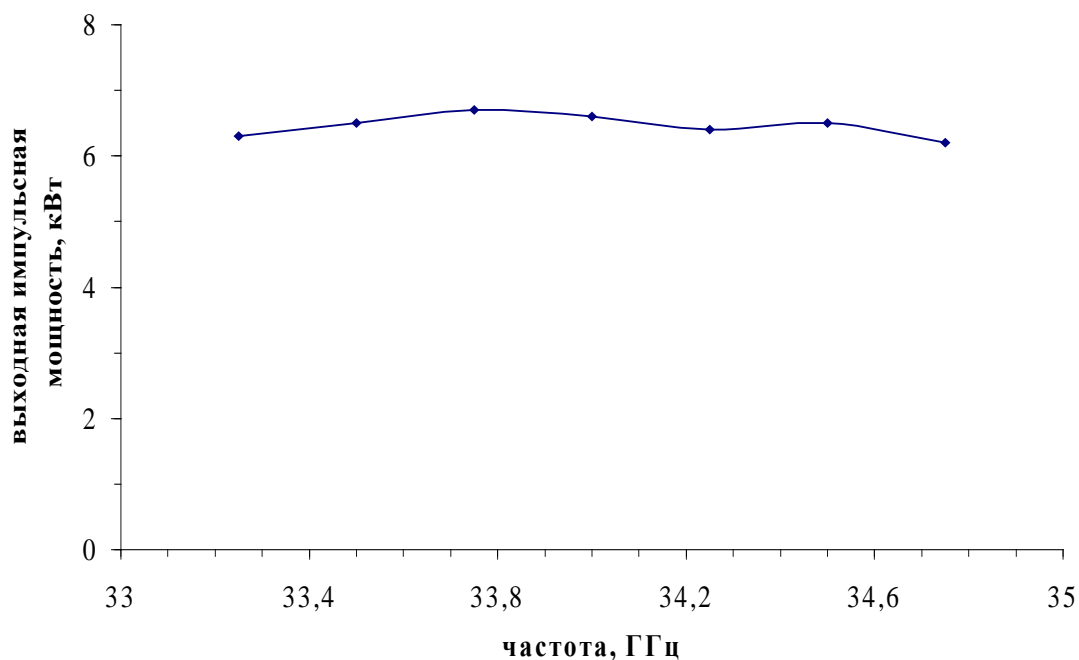


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика ЛБВ УВИ-159В при оптимальных значениях входной мощности, указанных в таблице 3.

Таблица 3. Оптимальные значения входной мощности ЛБВ УВИ-159В.

Частота, ГГц	33,25	33,5	33,75	34,00	34,25	34,50	34,75
Входная мощность, Вт	1,5	1,3	1,5	1,4	1,5	1,3	1,4

При испытаниях цепочки лампы подключаются параллельно к общим источникам напряжений, поэтому при выборе электрического режима необходим компромисс. В таблице 4 приведены параметры режима цепочки, когда напряжение превышения соответствует оптимальному значению входной лампы.

Таблица 4. Параметры электрического режима цепочки при значениях напряжений подогревателя и превышения, оптимальных для входной лампы.

Наименование параметра, единица измерения	Значение параметра
Напряжение управляющих электродов во время импульса, В	230
Суммарный ток катодов импульсный, А	2,9
Суммарный коэффициент токопрохождения в статическом режиме, %	95,5

Значения остальных напряжений приведены в таблице 2. Как видно, суммарное токопрохождение несколько хуже, чем у каждой из ламп при оптимальном питании. Для предотвращения самовозбуждения между лампами устанавливался ферритовый вентиль типа ФВВВ1-3. На выходе прозрачной лампы вентиль не требовался. Это объясняется малой величиной ее коэффициента усиления. Импульсная мощность самовозбуждения не превышает 5 мВт, что является хорошим показателем. На рис. 3 представлена амплитудно-частотная характеристика цепочки при оптимальном значении входной мощности (кривая

1). Измерения проводились при скважности управляющих импульсов 30. На этом же рисунке представлена выходная мощность, когда прозрачная лампа выключена (кривая 2). Отметим, что высокочастотные потери вентили составляют 0,3 дБ, а замедляющей системы прозрачной ЛБВ вместе с вводом и выводом энергии приблизительно 0,6 дБ.

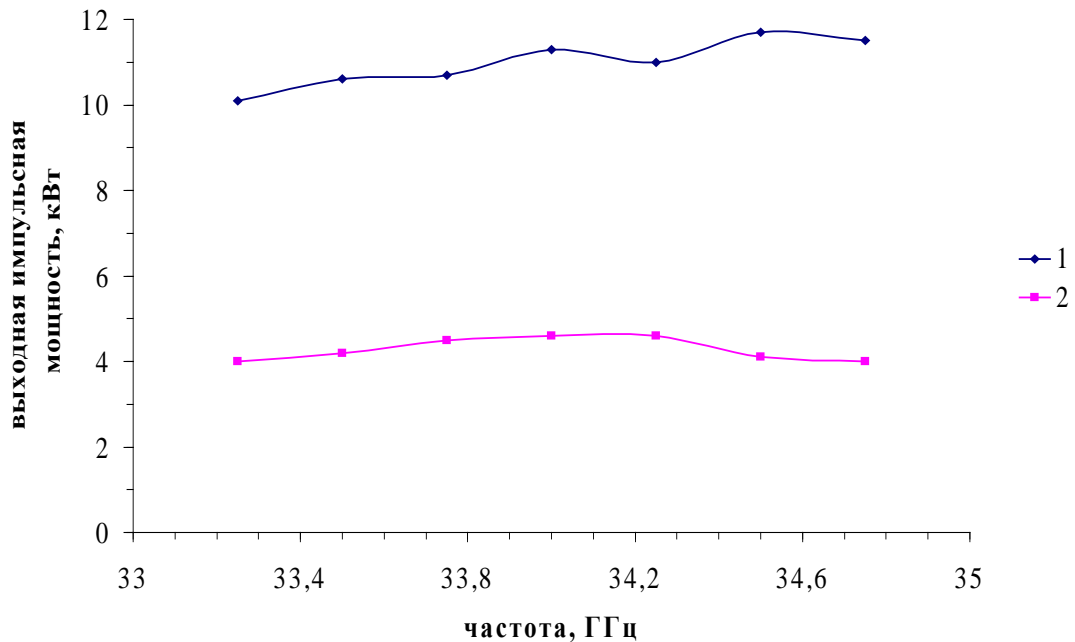


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика усилительной цепочки при оптимальной входной мощности, указанной в таблице 5. 1 – выходная лампа включена. 2 – выходная лампа выключена.

Таблица 5. Оптимальная входная мощность усилительной цепочки.

Частота, ГГц	33,25	33,5	33,75	34,00	34,25	34,50	34,75
Входная мощность, Вт	0,6	0,6	0,9	0,5	1,4	0,9	1,4

Анализ данных, содержащихся в графиках на рис. 3 и в таблицах 4, 5 позволяет сделать вывод о целесообразности небольшого уменьшения длины замедляющей системы выходной лампы для более полного использования возможностей ЛБВ УВИ-159В. В существующей конструкции прозрачной ЛБВ приходится снижать уровень мощности на ее входе примерно до 5 кВт за счет уменьшения входной мощности цепочки. Указанное изменение позволит увеличить импульсную мощность цепочки в рабочей полосе частот до 12... 14 кВт при тех же значениях токов электронных пучков и рабочего напряжения. Другой актуальной задачей является уменьшение импульсного тока замедляющей системы прозрачной ЛБВ в режиме максимальной мощности. Достигнутый уровень составляет (190 – 220) мА. Для надежной работы усилительной цепочки при скважности управляющих импульсов 15 желательно иметь не более (120 – 150) мА. Решение заключается в оптимизации МПФС и уменьшении уровня отражений в замедляющей системе.

В заключение отметим, что уровень выходной импульсной мощности свыше 10 кВт с коэффициентом усиления около 40 дБ в полосе частот (33,25 – 34,75) ГГц при рабочем напряжении 30,6 кВ на практике является недостижимым для одной ЛБВ, пакетированной с МПФС. При построении более традиционной усилительной цепочки с коэффициентом усиления прозрачной ЛБВ (10 – 13) дБ возникает необходимость использования громоздкой фокусирующей системы на постоянных магнитах, чтобы увеличить ток пучка,

а также устанавливать ферритовый вентиль на выходе. Таким образом, предложенный способ создания мощных широкополосных усилителей миллиметрового диапазона может быть интересен для практического применения.

Авторы выражают глубокую признательность С.Ф. Валикову, О.Ю. Сивак, В.А. Алешину, Е.В. Парфеновой, М.И. Тимонину, В.А. Парнову и И.В. Агафоновой за большой вклад в разработку, изготовление и испытания экспериментальных образцов ЛБВ.

Библиографический список

1. Белявский Б.А., Бородин В.А., Носовец А.Ф. Мощные импульсные лампы бегущей волны миллиметрового диапазона. Радиотехника и Электроника. 2014. Т. 51. №8. С. 766 – 769.
2. Мухин С.В. Программный комплекс «VEGA» для моделирования резонаторных замедляющих систем и процессов взаимодействия в ЛБВ, построенных на их основе. Журнал Радиоэлектроники (электронный журнал). 2002. №12. <http://jre.cplire.ru>