

## **Мощные импульсные ЛБВ миллиметрового диапазона**

*В результате теоретических и экспериментальных исследований разработана линейка ламп бегущей волны (ЛБВ) 8-мм диапазона с выходной импульсной мощностью от 0,2 до 6 кВт, пригодных для использования в передатчиках мобильных радиолокационных станций (РЛС).*

**Ключевые слова:** ЛБВ, ЦСР, МПФС, миллиметровый диапазон длин волн

Для ряда радиолокационных применений актуальным является создание усилителей мощности 8-мм диапазона длин волн, обладающих следующей совокупностью основных параметров:

1. Рабочий диапазон частот – ориентировочно (33... 35) ГГц.
2. Выходная импульсная мощность – (1... 6) кВт.
3. Выходная средняя мощность – (0,2 – 1) кВт.

В обозримой перспективе возможность создания твердотельных приборов такого рода не просматривается [1]. Эта задача очень сложна и для вакуумной электроники, если существуют ограничения по величине рабочего напряжения и массе. Лампы бегущей волны О-типа (далее – ЛБВ) с замедляющей системой в виде цепочки связанных резонаторов (ЦСР) обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с другими вакуумными приборами в качестве выходных усилителей передатчиков мобильных РЛС миллиметрового диапазона. Клистроны и амплитроны на столь высоких частотах заметно уступают им по средней мощности и рабочей полосе. Гирорезонансные приборы, превосходя ЛБВ по указанным параметрам, требуют неприемлемо высокие для многих применений значения рабочих напряжений и тяжелые электромагниты.

В нашей стране практический интерес к созданию ЛБВ миллиметрового диапазона длин волн для передатчиков РЛС возник в 80-х годах прошлого века. Техническая сторона задачи представлялась тогда весьма сложной: требовалось получить в 8-мм диапазоне длин волн без использования фокусирующего соленоида выходную импульсную мощность 2 кВт в рабочей полосе частот (1...1,5) ГГц, обеспечив коэффициент усиления (40 – 50) дБ и скважность низковольтных управляющих импульсов 10.

Первоначально задачу решили путем построения цепочки из последовательно включенных входной ЛБВ с коэффициентом усиления 35 дБ, пакетированной с магнитной периодической фокусирующей системой (МПФС), и короткой односекционной (прозрачной) выходной ЛБВ с коэффициентом усиления 10 дБ, которая пакетировалась фокусирующей системой с однородным магнитным полем. Масса усилительной цепочки составляла около 20 кг, рабочее напряжение – 24 кВ. При питании входной и выходной ЛБВ от одного источника напряжения замедляющей системы и управляющего электрода пушки, как это имеет место в реальных передатчиках, типичное значение рабочей полосы составляло 1 ГГц. Позже нам удалось создать прозрачную ЛБВ, пакетированную с МПФС. Это позволило

снизить массу усилительной цепочки до 7,5 кг, однако попытки расширить рабочий диапазон при сформулированном выше требовании по общему питанию обеих произвольно выбранных ламп цепочки не увенчались успехом.

В 2000 г. после проведения исследований, направленных на поиск пригодных для практики путей увеличения эффективности электронно-волнового взаимодействия при приемлемом уровне расфокусировки пучка под воздействием электромагнитного поля, мы разработали ЛБВ «Чечет» с выходной импульсной мощностью 3 кВт в диапазоне частот (33,25 – 34,75) ГГц при коэффициенте усиления 47 дБ. Лампа имеет пакетированную с МПФС металлокерамическую конструкцию, жидкостное охлаждение и обладает стойкостью к внешним воздействующим факторам, соответствующим группе 2У по военным стандартам «Климат-7». После завершения всех испытаний она получила обозначение УВИ-157. Ниже приведено краткое описание основных узлов прибора: электронная пушка построена на кольцевом катоде с фокусирующим электродом и штырем; замедляющая система образована тремя или четырьмя секциями на ЦСР со сложным продольным профилем фазовой скорости рабочей волны; коллектор имеет одну ступень с глубиной рекуперации 0,45; ввод и вывод СВЧ энергии – волноводные с окном из пиролитического нитрида бора.

Многие узлы этой лампы использовались в дальнейшем при разработке ЛБВ УВИ-159, УВИ-161 и «Карта-03». Основные параметры всех указанных ламп приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Основные параметры пакетированных с МПФС импульсных ЛБВ в диапазоне частот (33,25 – 34,75) ГГц.

| Наименование параметра,<br>единица измерения   | Тип ЛБВ, значение параметра |           |           |           |
|--|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
|  | УВИ-157                     | УВИ-159   | УВИ-161   | Карта-03  |
| Выходная импульсная<br>мощность, кВт           | 3,0– 4,0                    | 6,0 – 7,0 | 1,0 – 1,5 | 0,2 – 0,3 |
| Выходная средняя<br>мощность, Вт               | 300 – 400                   | 400 – 450 | 150 – 200 | 50 – 75   |
| Коэффициент усиления в<br>режиме насыщения, дБ | 47 – 49                     | 48 – 50   | 46 – 48   | 30 – 32   |
| Напряжение замедляющей<br>системы, кВ          | 27                          | 30,5      | 18,5      | 12,5      |

На рис. 1 – 4 приведены типичные АЧХ разработанных ЛБВ.

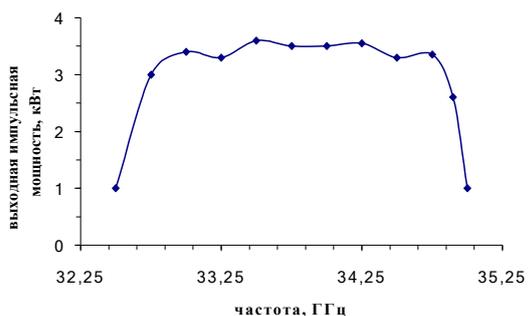


Рисунок 1. АЧХ ЛБВ УВИ-157

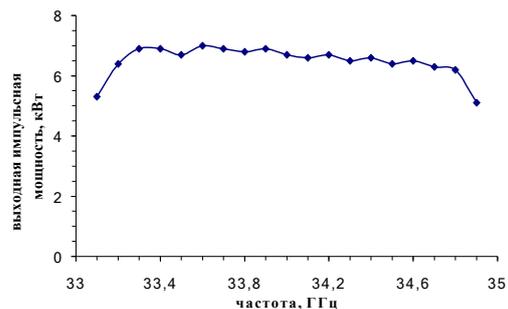


Рисунок 2. АЧХ ЛБВ УВИ-159

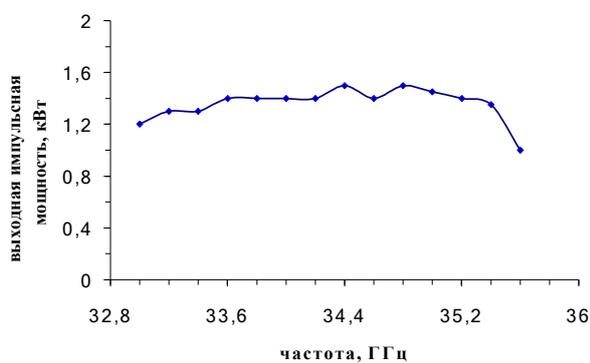


Рисунок 3. АЧХ ЛБВ УВИ-161

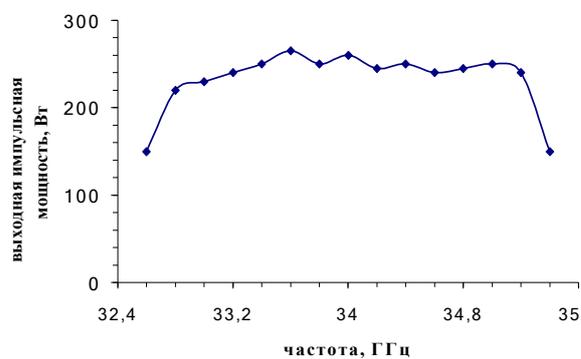


Рисунок 4. АЧХ ЛБВ «Карта-03»

В настоящее время проводятся исследования возможности расширения рабочей полосы частот. На рис. 5 представлена АЧХ экспериментальной ЛБВ с рабочим напряжением 18,8 кВ при импульсном токе катода 0,6 А. В диапазоне (32,7...36,5) ГГц входная мощность составляет 60 мВт, на более высоких частотах – 200 мВт.

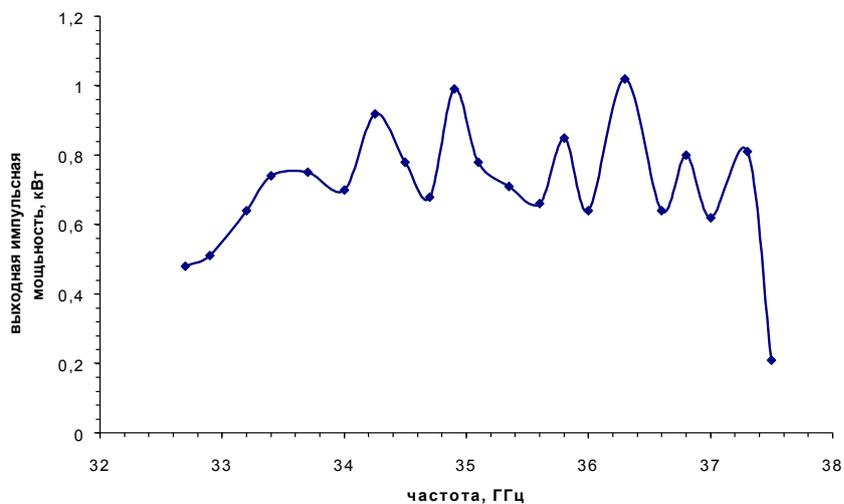


Рисунок 5. АЧХ экспериментальной ЛБВ с расширенным рабочим диапазоном частот.

С целью продвижения в сторону более коротких длин волн разработаны экспериментальные образцы ЛБВ «Чихирь» и «Чихирь-76» с выходной импульсной мощностью 200 и 100 Вт на частотах, соответственно, 47 и 78 ГГц. Приятно отметить, что они обеспечили мировое первенство отечественному радиоспорту в установлении межконтинентальной телеграфной связи в миллиметровом диапазоне длин волн с использованием Луны в качестве пассивного ретранслятора.

#### Библиографический список

1. Kolda P. // Proc. Fifth IEEE Int. Vacuum Electronics Conf. 2004 (IVEC 2004). Monterey. 25 – 27 April 2004. N.Y.: IEEE, 2004. P. 6.
2. Б.А. Белявский, В.А. Бородин, А.Ф. Носовец//РЭ, 2014. Т. 51. №8. С. 766 – 769.