

УДК 621.385.632

УМЕНЬШЕНИЕ ФАЗОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЛАМПЫ С БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ

В. В. Демин¹, Е. М. Ильина¹, А. Г. Кудряшов², Б. К. Сивяков²

¹АО НПП «Алмаз»,

²Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

Статья получена 28 ноября 2014 г.

Аннотация. Приводятся результаты расчета и измерений характеристик лампы с бегущей волной (ЛБВ) с секциями несинхронного взаимодействия, предназначенными для уменьшения фазовой чувствительности прибора к изменению напряжения пучка. Сопоставляются данные расчета и эксперимента, обсуждаются причины их расхождения и возможности дальнейшего улучшения параметров ЛБВ.

Ключевые слова: фазостабильная ЛБВ, крестатронная секция, секция подавления, фазовая чувствительность.

Abstract: Results of calculation and measurements of traveling wave tube (TWT) characteristics with sections of non-synchronous interaction intended to reduce phase sensitivity of the device to a change of electron beam voltage are given. Calculated and experimental data are compared; reasons of their discrepancy and possibilities of further improvements of TWT parameters are discussed.

Keywords: phase-stable TWT; crestatron section; suppression section; phase sensitivity.

Введение

Наиболее востребованный и технически совершенный электровакуумный СВЧ прибор О-типа – лампа с бегущей волной, обладая комплексом положительных свойств (большие КПД и коэффициент усиления, широкая полоса частот усиливаемых сигналов), имеет и серьезный недостаток – высокую чувствительность фазы выходного сигнала к изменению питающих напряжений и, прежде всего, напряжения пучка. Эта особенность является

неотъемлемым свойством используемого в ЛБВ принципа нерезонансного, длительного и, следовательно, протяженного (происходящего на большой длине) взаимодействия. И хотя задача резкого уменьшения фазовой чувствительности представляется чрезвычайно сложной, она, как теоретически показано в работах [1-3], при определенных условиях может быть успешно решена.

С этой целью во входную секцию ЛБВ предлагается ввести участок несинхронного взаимодействия, отличающийся противоположным, по сравнению с усилительными участками, знаком фазовой чувствительности [4]. В зависимости от периода ЗС этот участок может работать либо в режиме подавления, либо в крестатронном режиме. Основные особенности таких режимов рассмотрены в работах [1,2,5], однако предпочтительность того или другого из них до сих пор оставалась невыясненной. Более того, не было проведено и экспериментального исследования возможности создания ЛБВ с малой фазовой чувствительностью. Изучению этих проблем и посвящена настоящая работа.

Результаты расчетов и измерений

Исследования проводились в рамках работы по созданию фазостабильной ЛБВ на базе серийно выпускаемого прибора X-диапазона (главный конструктор разработки - В.С. Ховратович). В целях минимизации затрат на создание экспериментальной ЛБВ в ней (относительно базового прибора, рис.1а) была изменена только конструкция входной секции ЗС, в которую был введен участок несинхронного режима (рис. 1б) без разрыва ЗС. Было также уменьшено (с трех до двух) количество поглотителей (исключен третий), их местоположение и величина затухания первого из них (с 60 до 70 дБ). При этом общая длина замедляющей системы осталась такой же, как у серийного прибора. Для более корректного сопоставления параметров экспериментального прибора с параметрами базового рассчитывалась также ЛБВ с коэффициентом усиления ~30 дБ с укороченной входной секцией, имеющей постоянный шаг спирали (рис. 1с).

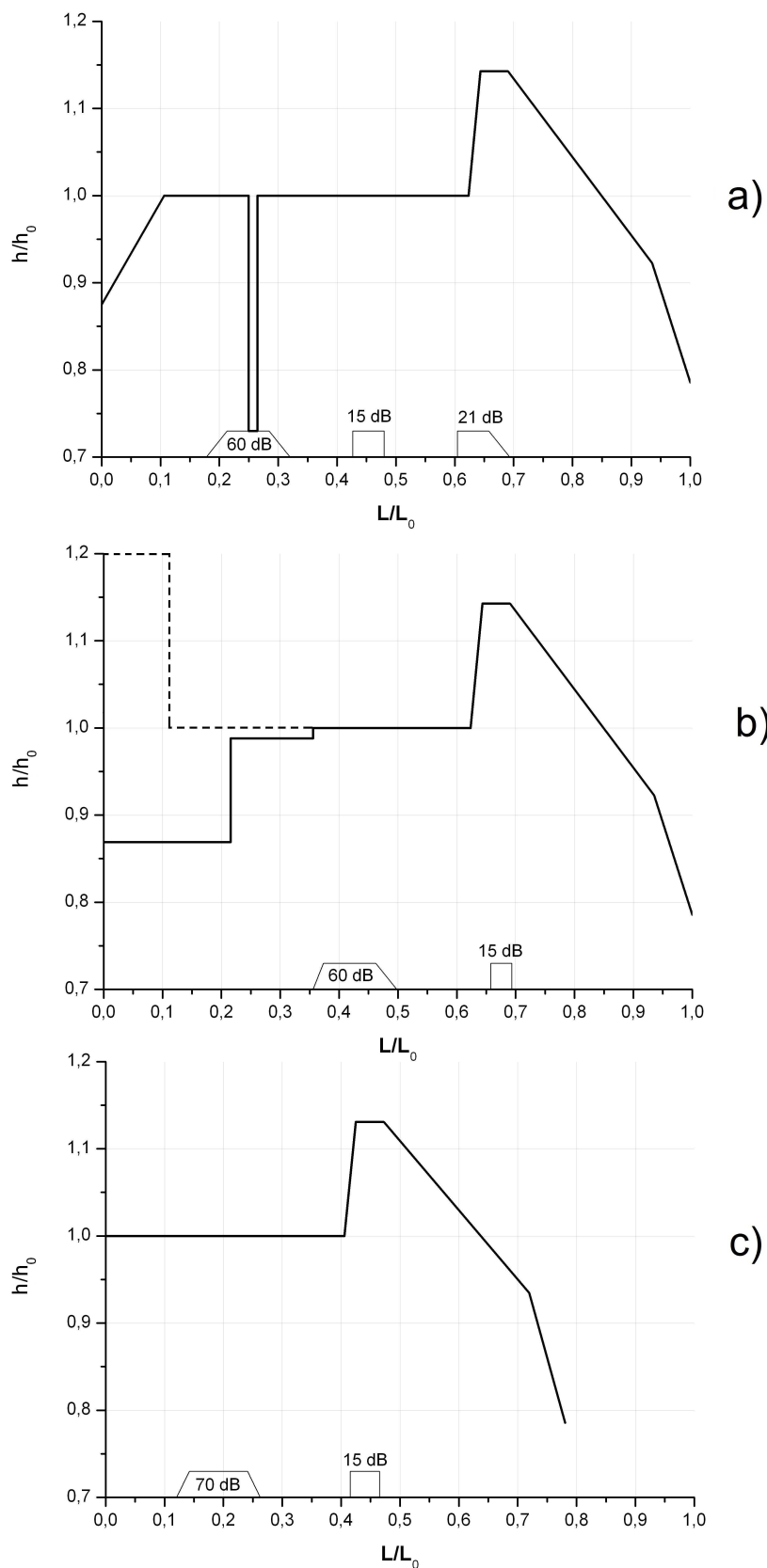


Рис. 1. Схематическое изображение пространства взаимодействия базовой ЛБВ (а), фазостабильного прибора с крестатронной секцией (сплошные линии) и с секцией подавления (пунктир) (б), а также ЛБВ с укороченной входной секцией (с).

При расчете фазостабильной ЛБВ параметры секции несинхронного взаимодействия выбирались таким образом, чтобы фазовые чувствительности приборов различной конструкции были близки между собой. Для того чтобы режим работы был оптимальным, входной сигнал для каждой конструкции выбирался из условия обеспечения режима насыщения выходной мощности при напряжении пучка, равном 12,6 кВ. При проведении расчетов были найдены такие значения шага спирали и длины несинхронной секции, при которых рабочее напряжение пучка соответствовало зоне стабилизации фазы. Результаты расчетов, приведенные на рис. 2, свидетельствуют о том, что и секция подавления, и крестатронная секция позволяют получать примерно одинаковые фазовые характеристики с малой, и даже нулевой чувствительностью к изменению напряжения пучка. Для практического применения использование крестатронной секции выглядит более предпочтительным, поскольку степень изменения фазовой чувствительности при изменении ее длины (и, следовательно, ужесточения требований к точности изготовления) практически в 2 раза ниже, чем для секции подавления. Кроме того, коэффициент усиления такого прибора в режиме насыщения на 0,5 . . . 1 дБ выше, а КПД практически одинаков.

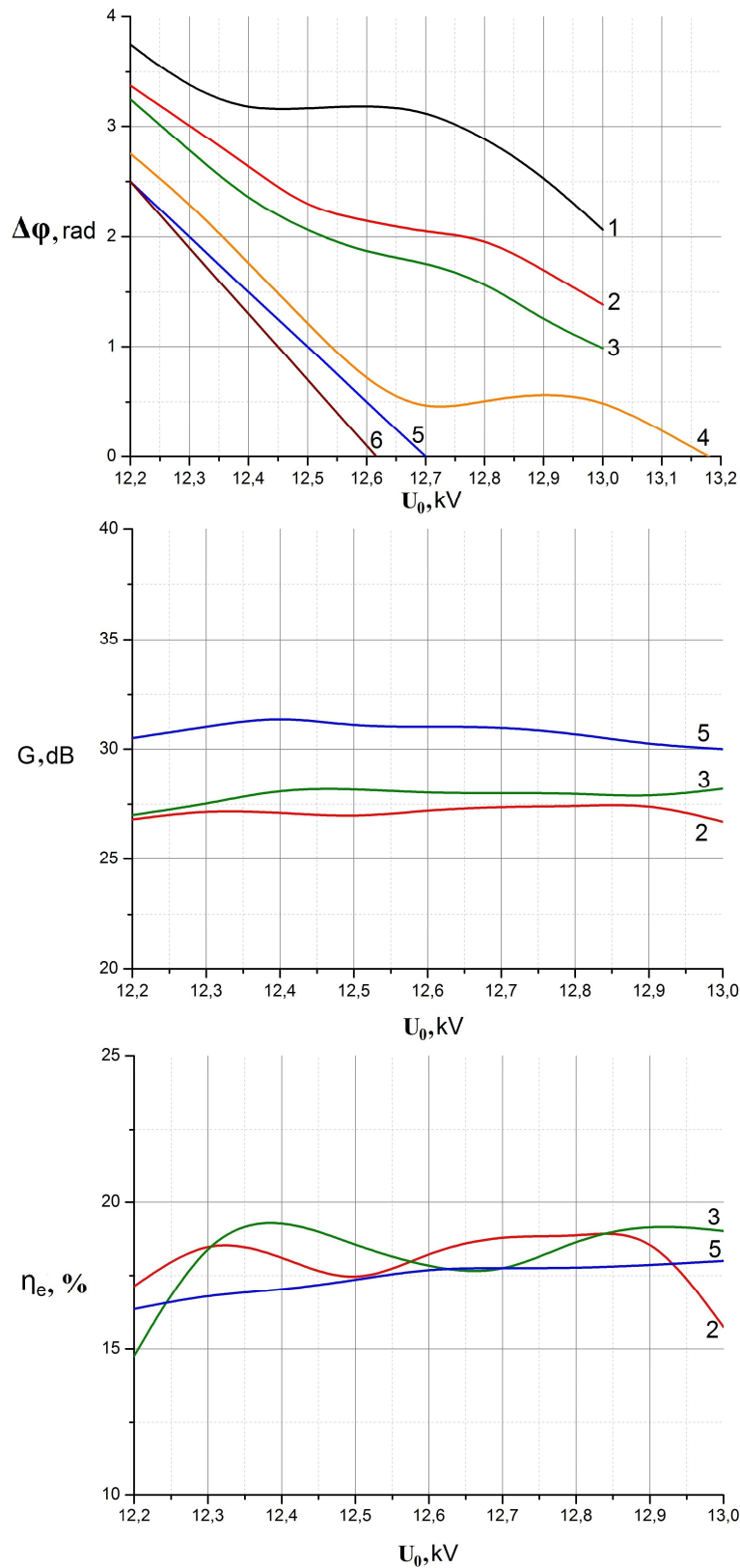


Рис. 2. Зависимости фазы ($\Delta\phi$), коэффициента усиления (G) и электронного КПД (η_e) от напряжения пучка (U_0) на выходе прибора с секцией крестатронного режима безразмерной длины $\Theta=2,94$ (1) и $\Theta=3,2$ (2), прибора с секцией подавления длиной $\Theta=1,43$ (3) и $\Theta=1,52$ (4), прибора с укороченной входной секцией (5) и базового прибора (6).

Для экспериментальной проверки был спроектирован вариант прибора с крестатронным участком с безразмерной длиной $\Theta=2,94$ (рис. 1б). Выбор шага спирали проводился из условия оптимального для стабилизации фазы напряжения пучка, равного 12,6 кВ. Входной сигнал также соответствовал режиму насыщения выходной мощности при этом напряжении. Результаты расчетов и измерений представлены на рис. 3, 4.

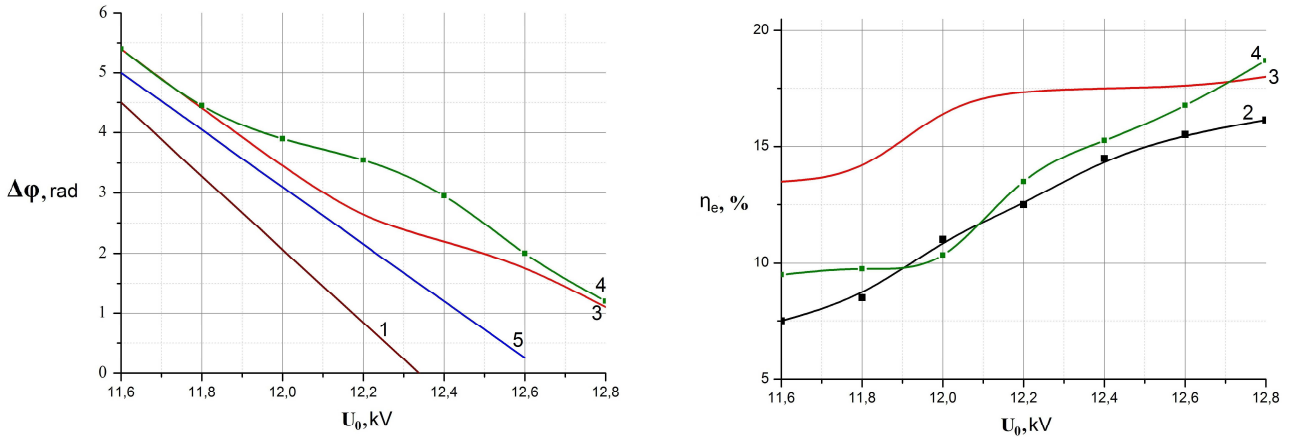


Рис. 3. Зависимости фазы ($\Delta\phi$) и КПД (η_e) от напряжения пучка базового прибора (1 – расчет, 2 – эксперимент), экспериментального образца (3 – расчет, 4 – эксперимент) и прибора с укороченной входной секцией (расчет – 5).

Прежде всего, эти результаты свидетельствуют о том, что в определенном интервале изменения напряжения пучка (~ 200 В) наблюдается значительное уменьшение фазовой чувствительности (в 5 раз по сравнению с базовым прибором и в 4 раза по сравнению с ЛБВ с меньшей длиной и коэффициентом усиления ≈ 30 дБ). При этом в экспериментальном приборе диапазон стабилизации фазы по напряжению пучка смещен относительно расчетных значений в область более низких напряжений (примерно на 200 В) (рис. 3), что, по-видимому, объясняется погрешностями при расчете дисперсионных характеристик ЗС. Существенно, что при напряжениях за пределами зоны стабилизации фазовая чувствительность экспериментального прибора соответствует не базовой ЛБВ, а расчетной с коэффициентом усиления 30 дБ (рис. 3).

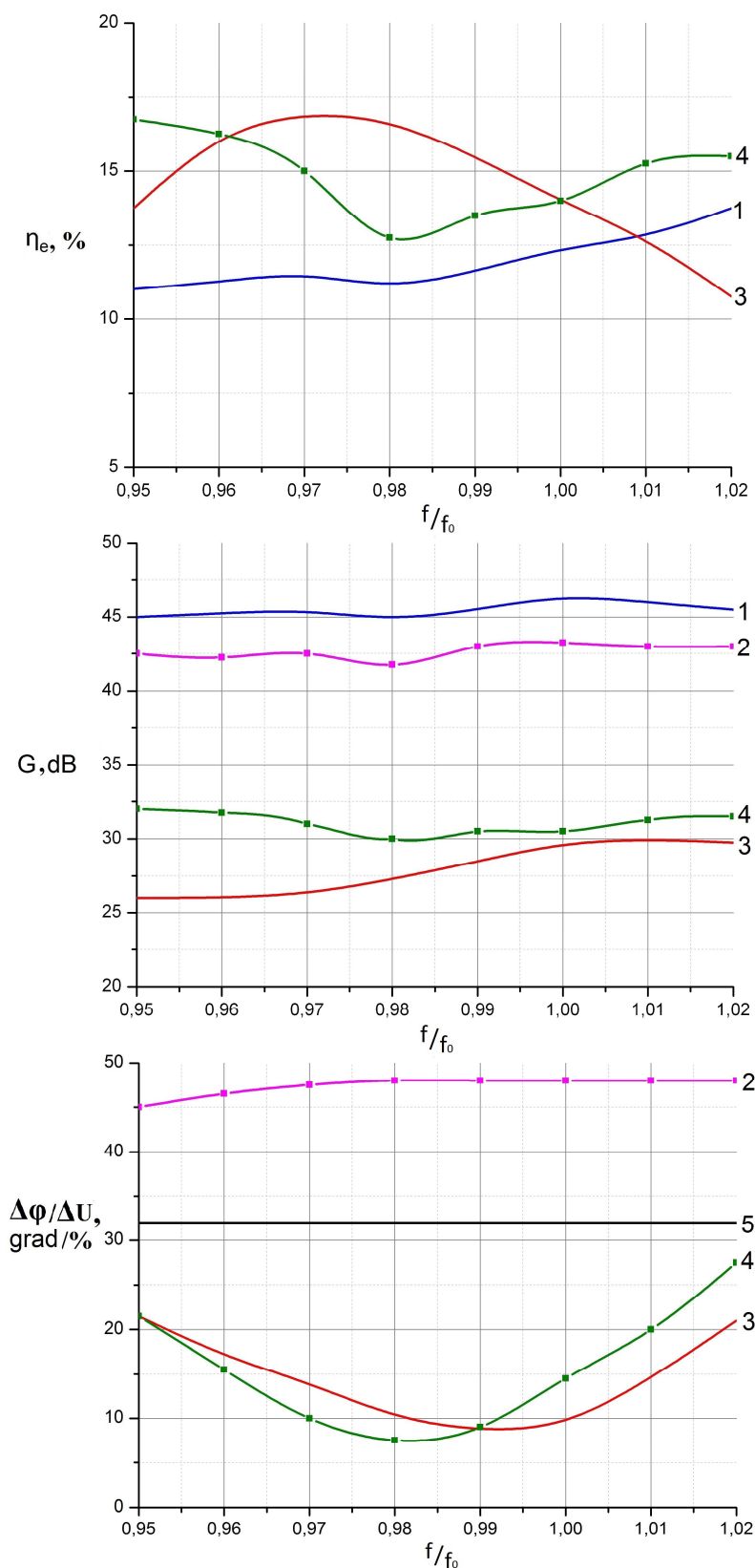


Рис. 4. Зависимости КПД (η_e), коэффициента усиления (G) и фазовой чувствительности ($\Delta\phi/\Delta U$) от частоты (f/f_0) для базового прибора (1 – расчет, 2 – эксперимент), для экспериментального образца (3 – расчет, 4 – эксперимент) и для укороченного (за счет уменьшения длины входной секции) прибора (5 – расчет).

Несмотря на то, что в поведении расчетного и измеренного КПД наблюдается заметное отличие (расчетная кривая смещена в область меньших напряжений пучка), в оптимизируемой точке ($U=12,6$ кВ) разница в полученных значениях КПД составляет менее 1%. Аналогичные расхождения наблюдаются и в частотных характеристиках КПД (рис. 4). Важнее, что, по сравнению с базовым прибором, фазостабильная ЛБВ имеет более высокий КПД, что, по-видимому, является просто следствием уменьшения коэффициента усиления. Это подтверждают и расчеты ЛБВ с $K_u \approx 30$ дБ.

Измерение частотных характеристик фазовой чувствительности ЛБВ также выявило смещение оптимального напряжения пучка относительно расчетного, однако это смещение незначительное. Приведенные на рис. 4в зависимости показывают, что измеренные при напряжении $U_0=12,2$ кВ характеристики хорошо совпадают с расчетными при напряжении пучка $U_0=12,4$ кВ.

Результаты расчетов и измерений коэффициента усиления в диапазоне частот также достаточно близки (рис. 4б).

Заключение

Вышеприведенные расчетные и экспериментальные данные впервые позволяют сделать обоснованный вывод о возможности практической реализации фазостабильной ЛБВ с коэффициентом усиления порядка 30 дБ. Фактически, разработка такого прибора только начата и необходимо выполнить целый комплекс исследований в целях совершенствования его характеристик, оптимизации конструкции и, прежде всего, секции несинхронного взаимодействия, определения областей применения в радиоаппаратуре. Особо следует выделить необходимость исследований собственных и модуляционных шумов, а также внеполосных колебаний.

Литература

1. Кац А.М., Кудряшов В.П., Суслин П.И. “Фазовые характеристики ЛБВ в несинхронных режимах”, Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ. 1971, № 5. С. 83-91.

2. Патент № 2046442 РФ, МПК⁶ H01J 25/34. Лампа бегущей волны / В.П. Кудряшов, Б.К. Сивяков, И.Б. Яковлева. Заявл. 21.05.1992; опубл. 20.10.1995. Бюл. № 29.
3. Сивяков Б.К., Кудряшов А.Г. “Фазостабильная ЛБВ”, Материалы 11-й Междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения», АПЭП-2014. Саратов, РФ, СГТУ им. Гагарина Ю.А. 25-26 сент. 2014 г. Т. 1. С. 21-24.
4. Кац А.М., Кудряшов В.П., Трубецков Д.И. “Сигнал в лампах с бегущей волной”. Ч. I. ЛБВ О-типа. Саратов. Изд-во Саратов. ун-та, 1984. 144 с.
5. Кудряшов А.Г., Сивяков Б.К. “Применение секции крестатронного режима для создания фазостабильных ЛБВ” . Техническая электродинамика и электроника: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А. 2013. С. 33-36.
6. Клеен В., Пешль К. “Введение в электронику сверхвысоких частот”. Т. II. М.: Сов. радио. 1963. 272 с.
7. Гилмор-мл. А.С. “Лампы с бегущей волной”. М: Техносфера, 2013. 616 с.