

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЗРАЧНЫХ ЛБВ С МОДУЛЯЦИЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ВБЛИЗИ КАТОДА

Ю.А. КАЛИНИН, А.В. СТАРОДУБОВ, А.С. ФОКИН, Н.Н. КУЗНЕЦОВ

*ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»  
ул. Астраханская, 83, г. Саратов, 441012, Россия  
StarodubovAV@gmail.com*

Рассмотрены результаты экспериментального исследования лабораторного макета усилителя на основе лампы бегущей волны с различной схемой подачи входного сигнала. Проведено исследование зависимости коэффициента усиления и КПД для различных рассмотренных схем подачи входного сигнала от уровня входной мощности.

*Ключевые слова:* вакуумная СВЧ электроника, электронный пучок, модуляция электронного пучка, разброс электронов по скоростям, физический эксперимент.

В настоящее время исследования и разработки различных СВЧ-приборов и устройств, содержащих электронные потоки, взаимодействующие с электромагнитными полями, остаются одной из важных и актуальных задач электроники и радиофизики сверхвысоких частот. Одной из центральных здесь является задача улучшения выходных характеристик источников СВЧ излучения: выходной мощности, коэффициента полезного действия, повышения частоты, расширения полосы генерируемых частот (или наоборот, получения одночастотной генерации) и т.д. [1]. В частности, низкий коэффициент полезного действия (КПД) классических усилителей на основе лампы бегущей волны (ЛБВ) с большим (30-40 дБ) усилением связан как с длительным процессом группировки, так и потерями, вызванными наличием поглотителя. Известны сравнительно короткие прозрачные ЛБВ, работающие без внутреннего поглотителя, в которых процесс группировки и отбора энергии идет на сравнительно небольшой длине [2]. Эффект нелинейного захвата электронов волной большой амплитуды лежит в основе мощных прозрачных ЛБВ, используемых в передатчиках СВЧ диапазона. Прозрачные ЛБВ имеют электронный КПД примерно в 2-2,5 раза выше, чем КПД ламп традиционной конструкции. ЛБВ со спиральной замедляющей системой (ЗС) являются широкополосными усилителями мощности, применяемыми в СВЧ технике. Широкополосность определяется электродинамическими характеристиками ЗС, линейным характером дисперсии в значительной области частот [2]. Преимуществом таких приборов является большая широкополосность, небольшие прямые потери, большая выходная мощность и КПД, при этом они характеризуются малыми значениями коэффициента усиления – 7-9 дБ, что делается во избежание возбуждения лампы, вследствие отражения от вводов-выводов энергии.

ЛБВ является системой с нарастающей волной, в которой сигнал вдоль высокочастотной структуры (ВЧ) структуры нарастает вначале экспоненциально, а затем, после достижения нелинейной области, нарастание замедляется. Возможно возникновение другого режима усиления, связанного с биениями волн постоянной амплитуды. Работа в этом режиме является достаточно эффективной, а сам режим получил название крестатронного режима. В этой связи представляет интерес исследование влияния величины входного сигнала, подаваемого в прикатодную область электронной пушки на КПД прибора в крестатронном режиме.

Экспериментальные исследования проводились на прозрачной ЛБВ со спиральной ЗС. Отличие используемой в эксперименте лампы от стандартной состоит в том, что входной сигнал подается не на ЗС через коаксиальный ввод энергии, а на модулирующую сетку, расположенную вблизи катода. Был исследован импульсный режим работы усилителя, при котором длительность импульсов составляла 50 мкс, а скважность 1000. Ускоряющее напряжение изменялось в диапазоне 8–9 кВ, ток пучка составлял 300–400 мА, мощность входного сигнала изменялась в диапазоне от 20 до 100 Вт, что соответствует величине  $P_{вх}/P_0 \sim 7 \cdot 10^{-3} \div 3 \cdot 10^{-2}$ . Для классических приборов с большим усилением отношение мощности входного сигнала к мощности пучка равно величине порядка  $10^{-5} \div 10^{-6}$ . Все измерения проводились в диапазоне частот 1–4 ГГц.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что схема с вводом СВЧ сигнала посредством его подачи на модулирующую сетку, расположенную вблизи катода, обладает существенным преимуществом, который заключается в высоком значении коэффициента усиления и КПД усилительной ЛБВ, работающей в крестатронном режиме при больших значениях мощности входного сигнала, а также расширение полосы рабочих частот. Установлено, что максимальная величина электронного КПД для варианта с вводом сигнала на модулирующую сетку, расположенную вблизи катода, составляет 56 % по сравнению с 43 % для варианта, в котором сигнал подается на ЗС. При этом удается небольшая рекуперация одноступенчатым коллектором. Технический КПД равен 73–75 %. Выявлено увеличение полосы рабочих частот до величины  $\Delta f/f \sim 1,5-1,7$ .

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 14-02-90006, № 14-02-00329, а также Президентской программы поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (проект НШ-828.2014.2) и молодых ученых – кандидатов наук (проект МК-1373.2014.2).

#### Список литературы

1. Benford J., Swegle J. A., Schamiloglu E. High Power Microwaves. CRC Press, Taylor and Francis. 2007/
2. Калинин Ю.А., Кац А.М. // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника. 1980. №10 (23), С. 36–39.