

В вакуумной сверхвысокочастотной электронике наиболее часто в качестве генератора монохроматических колебаний используется лампа обратной волны (ЛОВ). Первоочередной задачей при разработке ЛОВ с требуемыми параметрами является определение минимального (стартового) значения тока электронного пучка, при котором электронная мощность взаимодействия пучка с обратной пространственной гармоникой замедляющей системы (ЗС) окажется больше, чем мощность, обусловленная потерями. Это приводит к возникновению незатухающих колебаний с частотой, которая определяется дисперсией ЗС и скоростью электронов.

Целью данной работы являлось определение режимов генерации на физической установке, в которой в качестве ЗС была выбрана структура, состоящая из трех связанных спиральных резонаторов с устройством вывода энергии в виде спирали, расположенной в начале первого резонатора по пучку, с продольным участком. Данная ЗС обладает наибольшим сопротивлением связи в определенном диапазоне частот и большой широкополосностью при минимально возможных габаритах [1, 2].

Экспериментальное исследование стартовых токов генерации проводилось в два этапа. На первом этапе определялись требуемые геометрические размеры ЗС и дисперсия в полосе рабочих частот. На втором этапе на экспериментальной установке определялась зависимость стартовых токов от ускоряющего напряжения.

Первоначально в результате численных расчетов определили геометрию ЗС с требуемыми значениями коэффициента замедления. Экспериментальное измерение дисперсионной характеристики (ДХ) ЗС проводилось по схеме, представленной на рис. 1. С помощью измерителя комплексных коэффициентов передачи снималась зависимость коэффициента передачи S_{21} от частоты f . При этом каждый резонатор настраивался на центральную частоту f_0 . В системе использовалась структура, состоящая из трех резонаторов, поэтому в первой полосе пропускания наблюдается наличие трех ярко выраженных резонансов, на частоте которых сдвиг фазы на периоде ЗС равен π . На рис. 2 приведено изображение экрана дисплея измерителя S-параметров, на котором показана зависимость коэффициента передачи S_{21} от нормированной частоты f/f_0 .

Зная значение частоты f и номер максимума коэффициента передачи S_{21} на этой частоте согласно методу резонансов [3] можно определить коэффи-

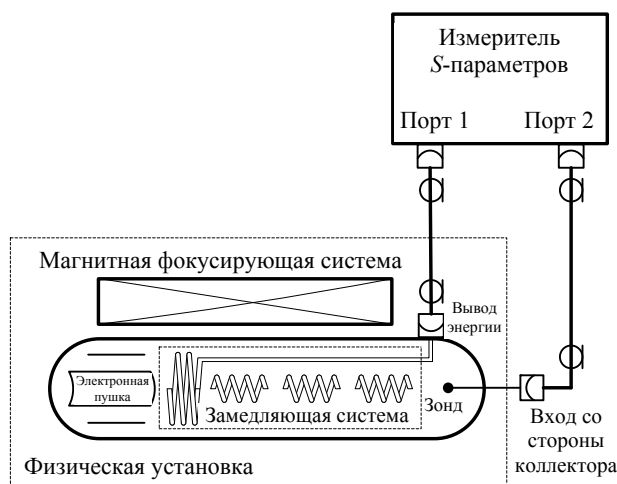


Рис. 1. Блок-схема эксперимента для определения дисперсионной характеристики ЗС

ент замедления для каждой из резонансных частот. Полученные значения коэффициента замедления позволяют на основе строгой линейной теории ЛОВ вычислить в первом приближении диапазон значений ускоряющего напряжения, в котором возможна генерация колебания на полученных резонансных частотах [4]. На рис. 3 представлены теоретическая и экспериментальная ДХ, а также рассчитанный диапазон ускоряющих напряжений в пределах полосы частот.

Для проведения измерений была собрана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 4. Выходной сигнал с физической установки поступает через направленный ответвитель на цифровой осциллограф, анализатор спектра и ваттметр поглощаемой мощности.

На рис. 5 представлен график зависимости стартовых токов от ускоряющего напряжения. Согласно кривым для каждой резонансной частоты существует своя зона генерации колебаний. При этом наблюдается асимметрия зон генерации: крутизна низковольтного фронта зоны выше крутизны высоковольтного. Резонансный характер ЗС приводит к появлению ярко выраженного минимума, который сохраняется при достаточно большом изменении ускоряющего напряжения. Меньшее значение стартового тока на частоте f_2 связано с большей добротностью резонатора на этой частоте. Следует обратить внимание на наличие области пересечения кривых, в которой при одном значении напряжения ($U_0 \approx 4,5$ кВ) начинается генерация на двух резонансных частотах.

В этом случае в генераторе имеет место двухчастотный режим, а отношение минимального стартового тока к максимальному равно 4.

В результате экспериментальных исследований определены зоны моногенерации и показана возможность генерации многочастотных сигналов в ЛОВ резонансного типа.

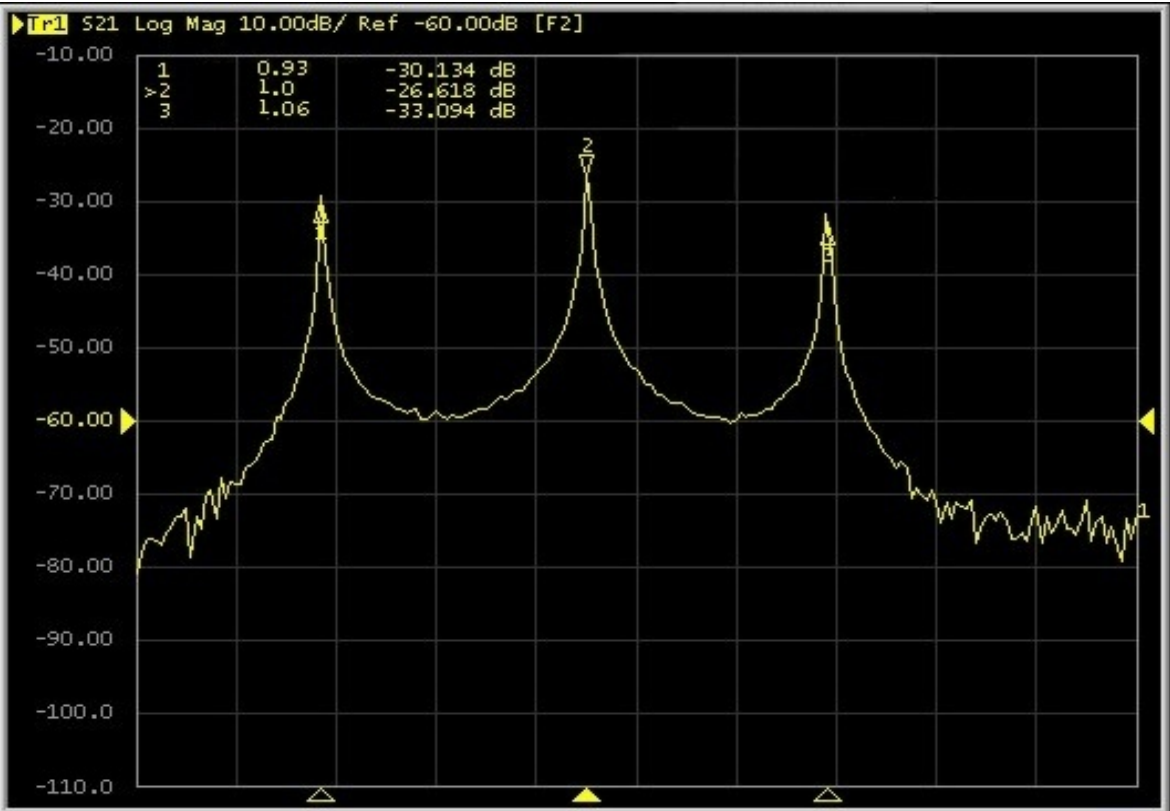


Рис. 2. Зависимость коэффициента передачи от частоты

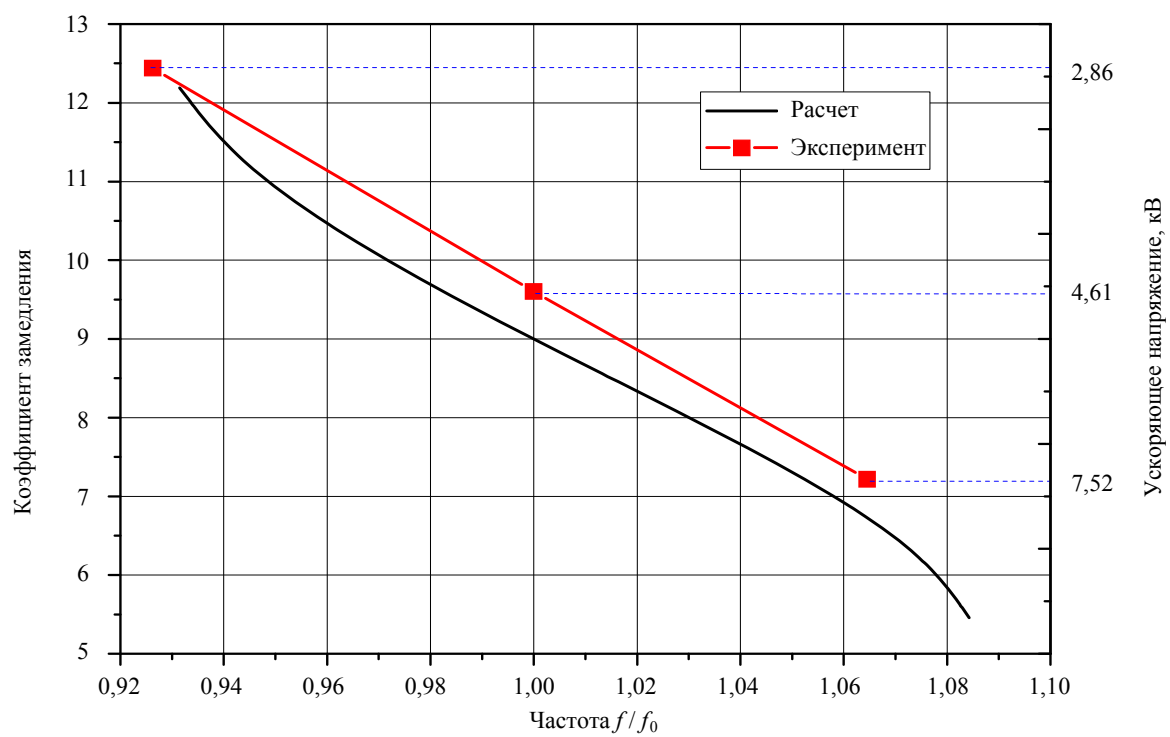


Рис. 3. Дисперсионная характеристика ЗС

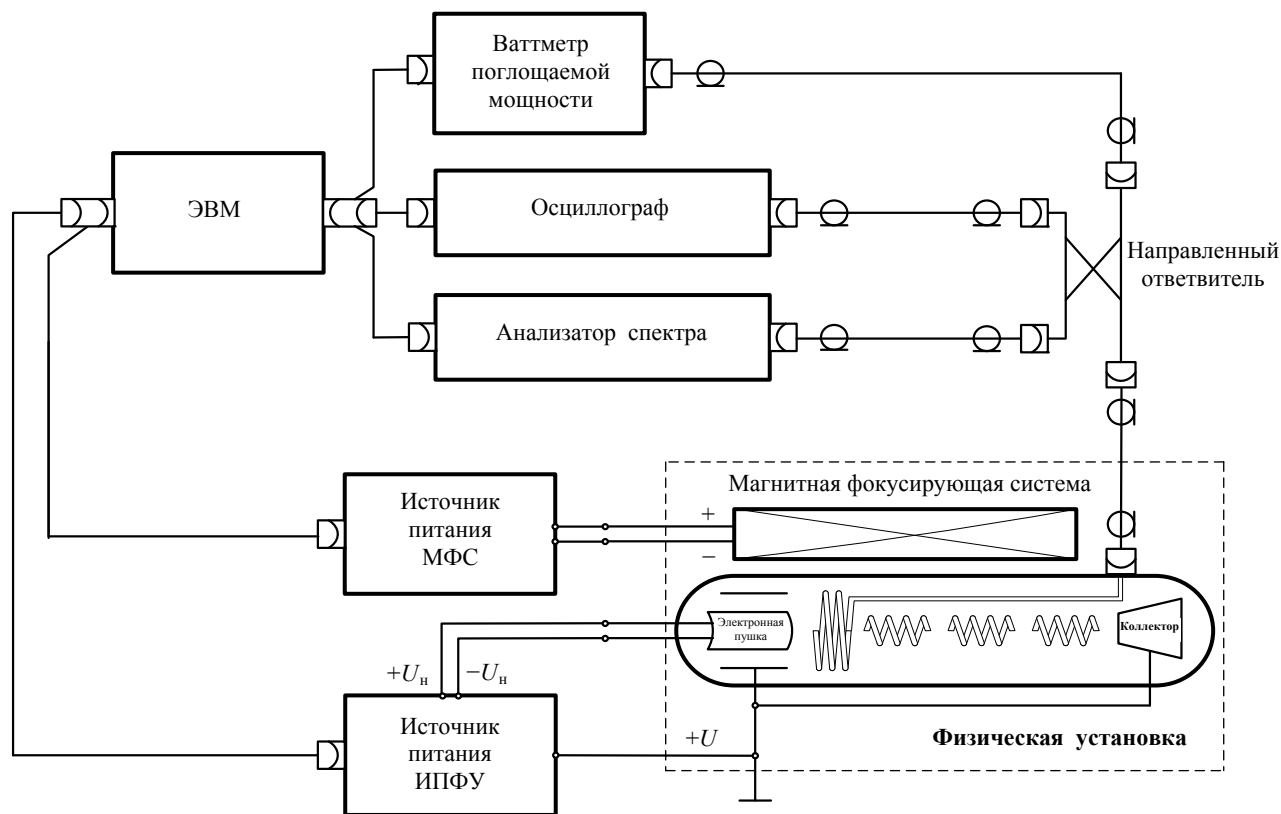


Рис. 4. Блок-схема экспериментальной установки для определения стартовых токов

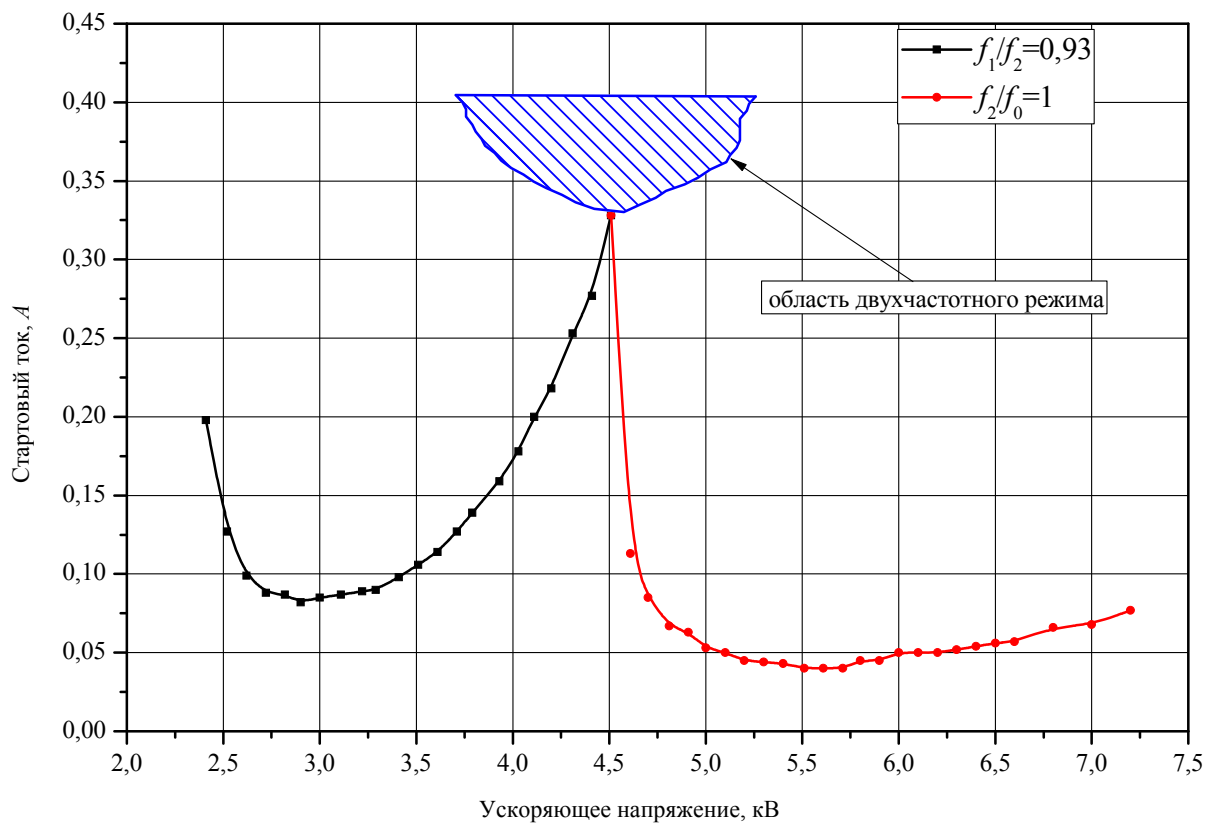


Рис. 5. Зависимость стартовых токов от ускоряющего напряжения

Литература

1. Силин Р. А. Периодические волноводы. М.: Фазис. 2002.
2. Ошкин И. В., Профе В. Б., Троцюк К. В. Определение дисперсионной характеристики замедляющей системы типа цепочка связанных спиральных резонаторов // Вестник Саровского Физтеха, 2007. № 13–14. С. 64–69.
3. Троцюк К. В., Профе В. Б., Астайкин А. И., Мартынов А. П. Метод резонансов для измерения дисперсионной характеристики цепочки связанных резонаторов // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. Т. 1 / Под ред. Р. И. Илькаева. Саров, 2001. С. 468–473.
4. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В 2 т. Т. 1. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.