

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

РАДИОФИЗИКА

УДК 621.385

ДИНАМИКА ВИНТОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ПОЛЕ ЦИРКУЛЯРНО ПОЛЯРИЗОВАННОЙ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Г. М. Казарян, В. Л. Саввин

(кафедра радиофизики)

Изучена динамика винтового электронного потока в поле циркулярно поляризованной бегущей волны, рассчитаны энергетические характеристики взаимодействия в зависимости от инжекции пучка в разные фазы поля волны.

Проведенное ранее исследование взаимодействия цилиндрического электронного потока с бегущей циркулярно поляризованной волной показало возможность высокоэффективного усиления СВЧ-сигналов при сохранении малого разброса скоростей электронов в потоке на выходе из замедляющей структуры. Для рассмотренных вариантов с уровнем мощности входного сигнала 100 Вт коэффициент усиления может достигать 22–25 дБ при значениях электронного КПД 35–40%. В режиме рекуперации энергии отработанного пучка в коллекторе КПД может быть увеличен до 60–70% [1–3].

В процессе энергообмена с циркулярно поляризованной бегущей волной наблюдается пространственное искривление электронного пучка без образования электронных сгустков. Эта особенность механизма усиления непосредственно связана с пространственной структурой поля волны (рис. 1). На оси замедляющей системы продольная компонента электрического поля волны E_z равна нулю и максимальна поперечная компонента электрического поля E_{\perp} . Поэтому при осевой инжекции пучка на начальном участке области взаимодействия наблюдается,

главным образом, поперечный дрейф пучка в тормозящую фазу продольного электрического поля волны и формирование винтовой формы пучка. Отдача энергии пучка бегущей волне и ее усиление происходит, в основном, на конечном участке области взаимодействия.

Это позволяет предположить, что при инжекции предварительно сформированного винтового электронного пучка в стороне от оси замедляющей системы можно реализовать режим с более интенсивным взаимодействием. Для исследования такой возможности проведен модельный эксперимент с использованием спиралевидной модели электронного пучка с парциальными пучками конечного сечения [4].

Рассмотрены случаи инжекции пучка в разные фазы поля бегущей волны. Изменение условий инжекции винтового пучка обеспечивалось изменением угла инжекции θ и радиуса винтового пучка R_c (рис. 1). В зависимости от выбранных значений θ и R_c электронный поток может инжектироваться в ускоряющую или в тормозящую фазу продольного поля волны E_z с различной амплитудой.

Модель электронного потока содержала более 100 парциальных спиралевидных пучков конечного сечения. Расчеты проведены для следующих значений: ток пучка — 1.75 А, кинетический потенциал пучка — 21.6 кВ, радиус поперечного сечения инжектируемого пучка — 0.7 мм, индукция магнитного поля $B_0 = 0.14$ Тл, длина замедляющей структуры $L = 0.29$ м. Начальная продольная скорость электронного потока V_e в плоскости инжекции превышала фазовую скорость волны V_f в 1.03–1.05 раза для более эффективного отбора энергии от пучка.

Результаты расчета зависимости коэффициента усиления G и электронного КПД $\eta_{\text{эф}}$ для выбранных параметров от нормированной координаты вдоль длины области взаимодействия z ($z = Z/L$) в случае внеосевой инжекции винтового пучка приведены на рис. 2. Для сравнения приведен результат расчета коэффициента усиления G и электронного КПД

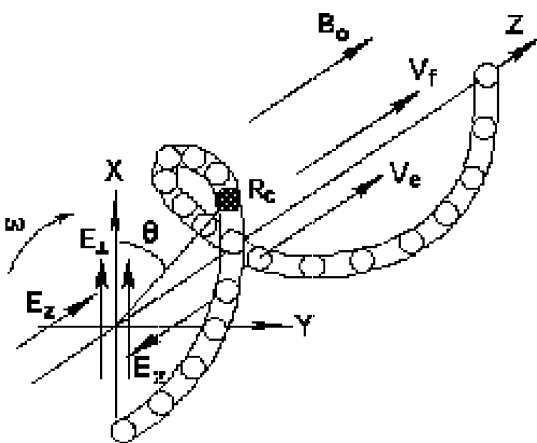


Рис. 1. Винтовой электронный поток в поле циркулярно поляризованной бегущей волны. Выделено сечение пучка в плоскости инжекции

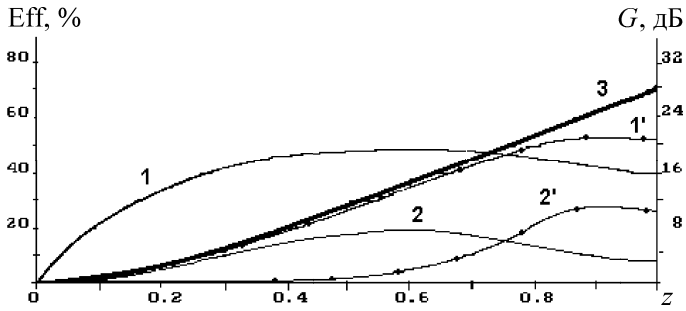


Рис. 2. Коэффициент усиления винтового пучка G (кривая 1) и электронный КПД Eff (кривая 2) в зависимости от длины области взаимодействия для угла инжекции $\theta = 0$ и $R_c = R_0$. Зависимости G (кривая 1') и Eff (кривая 2') рассчитаны для осевой инжекции цилиндрического потока, усиление G_{in} (кривая 3) рассчитано согласно линейной теории для нитевидного пучка

Eff для случая осевой инжекции цилиндрического потока.

В случае инжекции винтового пучка в оптимальной фазе темп усиления на начальном участке области взаимодействия заметно выше. Коэффициент усиления G (кривая 1 на рис. 2) испытывает насыщение в середине области и заметно превосходит значения G_{in} на начальном участке, достигая значений 16 дБ на длине $0.3L$. Значение электронного КПД Eff при этом достигает 15–20%.

Поперечное сечение винтового пучка увеличивается по площади в 2–3 раза в зависимости от условий его инжекции в поле бегущей волны и приобрета-

ет эллиптическую форму. Поле пространственного заряда вызывает вращение винтового пучка вокруг своей оси, что приводит к заметному уменьшению разброса продольных скоростей в потоке (до 10–15%) из-за усреднения воздействия неоднородного по поперечному сечению продольного поля бегущей волны.

Необходимо отметить, что в случае области взаимодействия с уменьшенной длиной (до $0.3L$) электронный пучок практически сохраняет свою винтовую форму и может быть использован для повторной инжекции в следующие секции замедляющих систем.

Литература

1. Ванке В.А., Коннов А.В., Саввин В.Л. // Электрон. техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1987. **398**, № 4. С. 20.
2. Коннов А.В. Взаимодействие электронного потока с полем бегущей циркулярно поляризованной волны // Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1987.
3. Ванке В.А., Коннов А.В., Саввин В.Л. // Радиотехника и электроника. 1990. **35**, № 7. С. 1549.
4. Саввин В.Л., Пеклевский А.В., Казарян Г.М. // Изв. РАН. Сер. физ. 2001. **65**, № 12. С. 1695.

Поступила в редакцию
18.06.03