

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХКАСКАДНОГО КЛИСТРОНА-ГЕНЕРАТОРА

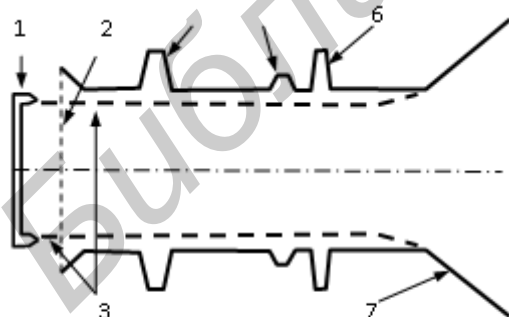
Гуринович А. Б., Сеницын А. К.

Кафедра вычислительных методов и программирования, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: gurinovich@bsuir.by

Выполнено моделирование трехкаскадной конструкции генератора на сильнооточном релятивистском пучке с электродинамической системой в виде отрезка полого цилиндрического волновода, имеющего три резонансные канавки. В поле первой канавки реализуется начальная модуляция электронного пучка, вторые две обеспечивают отбор энергии. Обратная связь реализуется на волне E_{01} . Показано, что в такой конструкции возможен режим генерации с КПД до 28%.

ВВЕДЕНИЕ

Появление импульсных сильнооточных электронных пушек с холодными катодами в режиме взрывной эмиссии, формирующих высокопереванские релятивистские электронные пучки, стимулировало поиск перспективных конструкций генераторов СВЧ черенковского типа большой и сверхбольшой мощности [1,2]. Как показано в [3], конкуренцию черенковскому генератору в диапазоне 5-12 см, может составить простая конструкция двухкаскадного релятивистского клистрона, обеспечивающая КПД до 18%. Электродинамическая система такой конструкции соответствует пространственно развитой структуре сильнооточного релятивистского пучка. В настоящем докладе выполнен поиск параметров трехкаскадной конструкции клистрона-генератора. Показано, что в такой конструкции возможен режим генерации с КПД до 28%, что приближается к лучшим вариантам черенковских генераторов. Рассматриваются особенности моделирования и обсуждаются найденные варианты клистрон-генераторов.



1,2 — лезвийный катод и анод, формирующие грубчатый электронный поток 3,
4 — модулирующая канавка,
5,6 — отбирающие канавки, 7 — выходной рупор.

Рис. 1 — Схема трехкаскадного клистрона-генератора

I. УСТРОЙСТВО ГЕНЕРАТОРА

На рис. 1 изображена схема рассматриваемого трехкаскадного клистрона-генератора.

Электронный поток 3, сформированный электронной пушкой 1,2 подается на вход электродинамической системы генератора, состоящей из отрезка полого цилиндрического нерегулярного волновода на котором имеется три резонансные канавки 4,5,6, разделенные регулярным участком. Параметры модулирующей канавки 4 подбираются из условия полного отражения E_{01} -волны на рабочей частоте.

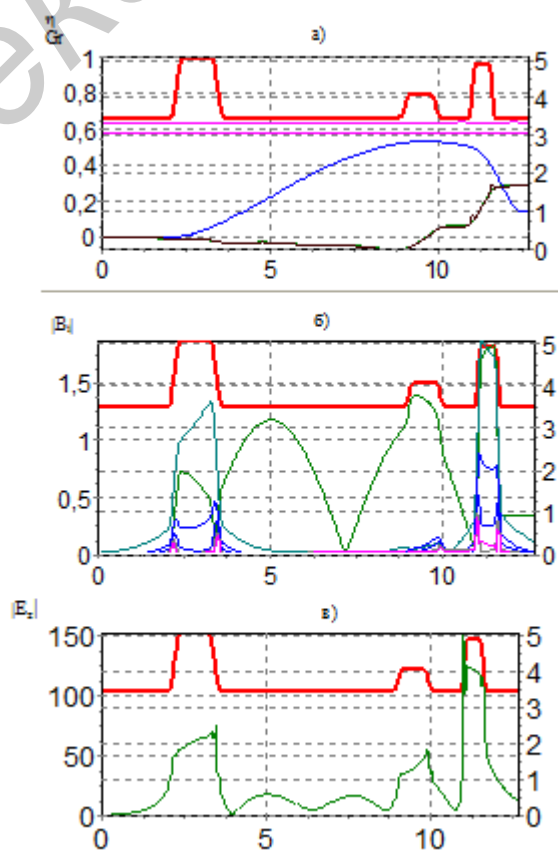


Рис. 2 — Основные характеристики процесса взаимодействия в расчетной области

Параметры же канавок 5,6 подбираются такими, чтобы обеспечить нагруженную добротность резонансной системы канавка-дрейф-канавка в пределах 100-200. Вывод СВЧ-мощности на волне E_{01} производится через выходной рупор 7. Отработавший электронный поток осаждается на стенку волновода сразу за отбирающей канавкой 6.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Решение самосогласованной задачи для возбуждаемого электронным потоком поля находилось с использованием методики [4].

На рис. 2 представлены основные характеристики процесса взаимодействия в расчетной области для одного из найденных вариантов: а) профиль $b(z)$, границы электронного пучка r_{0min} , r_{0max} , функция группировки G_r , электронный и волновой КПД η ; б) амплитуды возбуждаемых E_{0i} волн ($i = 1$ распространяющаяся, $i > 1$ закритические), в) распределение компоненты E_z [кВ/см] для $\lambda=6$ см вдоль движения пучка.

Внутренний радиус волновода $b_0=3.5$ (гео-метрические размеры приведены в единицах $\lambda/2\pi$). Канавка 4 имеет параметры: ширина $L_{k1}=1.625$, высота $h_{k1}=1.57$. Канавка 5 – $L_{k2}=1.23$, $h_{k2}=0.57$. Канавка 6 – $L_{k3}=0.78$, $h_{k3}=1.41$. Крутизна всех канавок $\Delta_{k1,2,3}=0.5$. Участки дрейфа между канавками: $L_{12}=5.23$, $L_{23}=0.83$. Скорость электронов $\beta_0=0.655$ ($U_0=160$ кВ), ток $I_0=600$ А, средний радиус пучка $r_0=3.1$, его толщина 0.25. Для фокусировки пучка требуется значительное магнитное поле ($F = B_0 e / m_0 \omega_0 \geq 3.5$).

Слева от первой и справа от третьей канавки ставится условие полного согласования. Между канавками устанавливается характерное для стоячей E_{01} -волны распределение амплитуды $B_1(z)$. Мощность выводится распространяющейся вправо E_{01} -волной, амплитуда которой примерно в 5 раз меньше амплитуды поля в резонаторе. Добротность электродинамической системы, рассчитанная по полуширине резонансной кривой равна 180.

Основное взаимодействие электронов с продольной составляющей E_z электромагнитного поля происходит в области канавок, где величина E_z достигает 50-100 кВ/см (см. рис. 2в).

За счет того, что электронный поток проходит вблизи границы волновода, действие поля несинхронной E_{01} -волны в области дрейфа незначительно и ослаблено также действие продольной составляющей поля пространственного заряда. На участке дрейфа происходит монотонный рост функции группировки до насыщения в области отбирающих канавок и происходит небольшая накачка энергии в электронный поток за счет взаимодействия с E_{01} волной. Интенсивный отбор энергии реализуется в области второй и третьей канавок.

Зависимость эффективности генерации от величины тока пучка представлена на рис. 3.

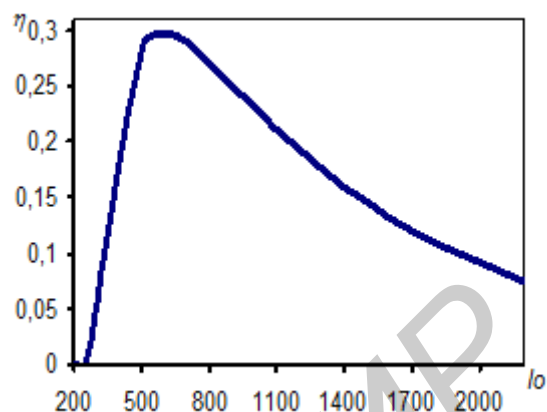


Рис. 3 – Зависимость эффективности генерации от величины тока пучка

Пусковой ток равен 300А. Максимальная эффективность генерации достигается при токе 550А. Эффективная генерация наблюдается вплоть до токов 1500А.

Представленные материалы свидетельствуют о достаточно высокой эффективности релятивистских клистронов-генераторов сверхбольшой мощности, сопоставимой с эффективностью лучших вариантов черенковских генераторов такой же мощности. Между тем клистрон-генератор имеет ряд преимуществ перед черенковским генератором:

- в клистроне-генераторе одночастотная резонансная система, что обеспечивает отсутствие паразитных колебаний и неустойчивостей, что характерно для приборов с бегущей волной;
- для клистронов-генераторов характерен мягкий режим самовозбуждения;
- конструкция клистронов-генераторов имеет большее число параметров оптимизации, чем конструкция черенковского генератора, что предопределяет лучшие перспективы для повышения эффективности этого генератора.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаев С. П. и др. Релятивистский многоволновой черенковский генератор //Релятивистская высокочастотная электроника. Материалы IV Всесоюзного семинара (Москва, 24-26 января 1984г.), Горький, 1984. – Выпуск 4. – с.79-103.
2. Коровин С. Д., Ростов В. В., Тотьменинов Е. М. Релятивистская лампа обратной волны с модулирующим резонансным рефлектором //Письма в ЖТФ, 2005, т.31, вып.10. С.17.
3. Лущицкая И. В., Кураев А. А., Сеницын А. К. Двухкаскадный релятивистский клистрон-генератор // КрыМиКо 2007 с.169.
4. Батура М. П., Кураев А. А., Сеницын А. К. Моделирование и оптимизация мощных электронных приборов СВЧ. – Минск, БГУИР. 2006. 275с.