

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.385.6

**ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В КЛИНОТРОНАХ
ПРИ ОСАЖДЕНИИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ**

А.А. КУРАЕВ, В.В. МАТВЕЕНКО

Поступила в редакцию 9 января 2019

Аннотация. Показано, что при расчете клинотронов следует учитывать излучение электронов, осаждаемых на поверхность замедляющей системы. Приведены формулы E_θ , H_ϕ полного излучения электрона в нерелятивистском варианте клинотрона.

Ключевые слова: клинотрон, излучение электронов, замедляющая система.

Abstract. It is shown necessary taking into account the clinotron electron radiation while running into the surface of slow-wave structure. The formulas E_θ , H_ϕ of the total clinotron electron radiation for the nonrelativistic version are presented.

Keywords: clinotron, electron radiation, slow-wave structure.

Doklady BGUIR. 2019, Vol. 119, No. 1, pp. 99-101
Clinotron electron radiation while running into the surface of slow-wave structure
A.A. Kurayev, V.V. Matveyenka

Введение

Важное место в электронике КВЧ (крайне высоких частот) занимают клинотроны [1]. Их особенность состоит в том, что электронный поток осаживается под острым углом на замедляющую систему в области взаимодействия. Это дает возможность в КВЧ диапазоне приблизить послонно электронный поток к поверхностной волне замедляющей системы. Благодаря этому эффективность клинотронов резко возрастает. Однако существует еще один дополнительный механизм улучшения эффективности клинотронов – излучение электронов при осаждении на металлическую поверхность замедляющей системы. Этот механизм ранее не рассматривался. Он состоит из дипольного излучения электрона и его изображения и излучения, возникающего при аннигиляции заряда и его изображения на поверхности металла (или внезапной остановке электрона). В настоящем сообщении в нерелятивистском приближении даны формулы E_θ , H_ϕ полного излучения электронов в клинотроне.

Схема расчета излучения электрона и формула для E_θ , H_ϕ излучения

Будем рассматривать полное излучение электронов в клинотроне в нерелятивистском приближении, поскольку эти приборы не относятся к релятивистским (ускоряющее напряжение электронного пучка v_0 не превышает нескольких киловольт [1]). Это позволяет рассчитывать излучение электронов в движущейся с продольной скоростью электронов $v_{||}$ системе координат. В этой системе (рисунок) имеется только одна нормальная к поверхности металла скорость электронов и изображения $\pm v_{\perp 1}$ и $\pm v_{\perp 2}$. Точка наблюдения М определяется меридианным углом θ и радиус-вектором \vec{r} .

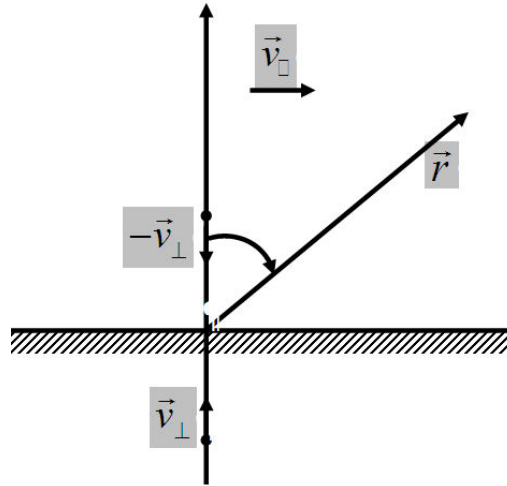


Рис. 1. Положения электрона ($-e$) и его изображения (e); их скорости: $-\vec{v}_\perp$ и \vec{v}_\perp , \vec{r} – радиус-вектор точки наблюдения излучения M в движущейся со скоростью \vec{v}_0 системе координат

Излучение обоих видов хорошо изучено [2, 3], и в нерелятивистском варианте поля полного излучения представляются в виде (в системе единиц СГСЭ):

$$E_\theta = H_\phi = -\frac{ev_\perp}{\pi c^2} \frac{\sin \theta e^{-jkr}}{r} \quad (1)$$

Здесь e – заряд электрона по модулю, c – скорость света в пустоте, $k = \omega / c$, ω – угловая частота излучения.

Заметим, что в нерелятивистском случае оба вида излучения (дипольное и связанное с исчезновением заряда) имеют одинаковый вклад в формуле (1) для полей излучения.

При использовании в моделировании клинотрона метода «крупных частиц» в формуле (1) следует заменить заряд электрона e на заряд Δq_i «крупной частицы».

Интегральное излучение может быть рассчитано для конкретной конфигурации и режима клинотрона при известных фазовых траекториях электронов (или $i = \overline{1, N}$ «крупных частиц») в приборе.

Заключение

Приведенные формулы для E_θ H_ϕ могут быть использованы для коррекции проводимых расчетов конструкций клинотронов. Особый интерес представляет изучение влияния приповерхностного излучения электронов на пусковые режимы клинотронов.

Список литературы

1. Еремка В.Д., Пишко О.Ф. Применение клинотронного эффекта в вакуумных источниках терагерцовых электромагнитных колебаний // Радиофизика та Електроніка. 2018. Т. 23, № 3. С. 9–39.
2. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Сборник задач по электродинамике. М.: ГИФМЛ, 1962. 480 с.
3. Кураев А.А., Попкова Т.А., Сеницын А.К. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Инфра-М, 2016. 424 с.

References

1. Eremka V.D., Pishko O.F. Primenenie klinotronnogo jeffekta v vakuumnyh istochnikah teragercovykh jelektromagnitnyh kolebanij // Radiofizika ta Elektronika. 2018. T. 23, № 3. S. 9–39. (in Russ.)
2. Batygin V.V., Topotygin I.N. Sbornik zadach po jelektrodinamike. M.: GIFML, 1962. 480 s. (in Russ.)
3. Kuraev A.A., Popkova T.A., Sinicyun A.K. Jelektrodinamika i rasprostranenie radiovoln. M.: Infra-M, 2016. 424 s. (in Russ.)

Сведения об авторах

Кураев А.А., д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Матвеенко В.В., к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры вычислительных методов и программирования Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-17-293-89-56;
e-mail: vladimir66@bsuir.by
Матвеенко Владимир Владимирович

Information about the authors

Kurayev A.A., D.Sci., professor, professor of information radiotechnologies department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics

Matveyenka V.V., PhD, associate professor, associate professor of computational methods and programming department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka, st., 6,
Belarusian state university
of informatics and radioelectronics
tel. +375-17-293-89-56;
e-mail: vladimir66@bsuir.by
Matveyenka Vladimir Vladimirovich