

Винтизенко И.И., Новиков С.С. Релятивистские магнетронные СВЧ-генераторы

Глава 2

Физические процессы в релятивистских магнетронных генераторах.

Глава 2 посвящена исследованию процессов взаимодействия электронов с СВЧ-волнами анодного блока плоской и цилиндрической геометрии. Использование высоковольтных источников питания магнетронных генераторов приводит к необходимости учета релятивистских факторов. Известно, что условия пренебрежения релятивистскими поправками сводятся к требованию малости напряжений, измеренных в единицах m_0c^2/e и малости всех геометрических размеров магнетрона, определяемых в единицах $n\lambda/2\pi$ (m_0 – масса покоя электрона, c – скорость света, e – заряд электрона, n – номер вида колебаний, λ – длина волны). Несмотря на то, что в приборах магнетронного типа происходит преобразование не кинетической энергии электронов, а потенциальной, и, таким образом, релятивизм не так жестко связан с катод-анодным напряжением, тем не менее, для ряда приборов с малой величиной замедления электромагнитной волны необходим учет релятивистского фактора. Действительно, теоретические исследования, выполненные в конце 70-х годов, показывают влияние релятивистской зависимости массы электрона от его скорости на процессы СВЧ-генерации. На основе метода усреднения, предложенного независимо Капицей П.Л. и Нечаевым В.Е. для решения нерелятивистских уравнений движения электронов в пространстве взаимодействия прибора, была построена элементарная теория релятивистского магнетрона плоской геометрии. Однако имеется существенное отличие процессов взаимодействия электронов с электромагнитными полями в цилиндрической геометрии магнетрона. Это отличие связано с тем, что в цилиндрическом магнетроне условие синхронизма электромагнитной волны и электронного потока точно выполняется только на определенном радиусе, в то время как для плоского магнетрона электроны находятся в фазе с волной по всей высоте спицы. Невозможность точного синхронизма во всем пространстве взаимодействия приводит к появлению дополнительного азимутального дрейфа электронов, искривлению траекторий движения электронов в спицах. Поэтому теоретическому исследованию процессов в релятивистском магнетроне цилиндрической геометрии в монографии уделено значительное внимание.

В качестве источников питания релятивистских магнетронов первоначально применялись сильноточные электронные ускорители (СЭУ), содержащие генераторы импульсных напряжений (ГИН), разряжаемые через формирующую линию на магнетронный диод. Несмотря на то, что импульсы напряжения обладали наносекундной длительностью, обнаружилось недостатки РМГ, связанные с разрушением анодных блоков в течение нескольких сотен импульсов. Данный процесс вызывается действием нескольких факторов: 1) высокой удельной мощностью энергии электронов анодного тока, приводящей к развитию процессов испарения, эрозии, механических деформаций элементов под действием теплового удара; 2) несогласованностью внутреннего сопротивления формирующей линии СЭУ (2-24 Ω) с импедансом релятивистского магнетрона (40-100 Ω), появлением повторных импульсов и дополнительного выделения энергии в магнетронном диоде. При работе релятивистского магнетрона в частотном

режиме, когда большое количество импульсов набирается в течение коротких интервалов времени, особенно остро возникает необходимость проведения тепловых расчетов на поверхности резонаторной системы для определения параметров электронных пучков, допускающих длительную работоспособность прибора. Тепловым процессам на поверхности анодных блоков РМГ посвящен один из параграфов Главы 2.

- 2.1. Теоретическая модель релятивистского магнетрона плоской геометрии
 - 2.1.1. Движение электронов в релятивистском магнетроне плоской геометрии
 - 2.1.2. Выходные характеристики релятивистского магнетрона
 - 2.1.3. Рабочие характеристики релятивистского магнетрона
- 2.2. Теоретическая модель релятивистского магнетрона цилиндрической геометрии
 - 2.2.1. Высокочастотные поля анодного блока
 - 2.2.2. Уравнения движения электронов в релятивистском магнетроне цилиндрической геометрии
 - 2.2.3. Упрощающее предположение для аналитического решения уравнений движения
 - 2.2.4. Аналитическое решение уравнений движения
 - 2.2.5. Траектории электронов в релятивистском магнетроне цилиндрической геометрии
 - 2.2.6. Выходные характеристики релятивистского магнетрона
 - 2.2.7. Пределы применимости метода усреднения
 - 2.2.8. Влияние пространственного заряда
 - 2.2.9. Электронное смещение частоты в релятивистском магнетроне
- 2.3. Тепловые процессы в релятивистском магнетроне
 - 2.3.1. Области осаждения электронов на поверхность анодного блока
 - 2.3.2. Постановка задачи теплового расчета и ее решение
 - 2.3.3. Результаты теплового расчета