

Анализ дисперсионных характеристик E_{0i} -волн круглого гофрированного волновода

Гуринович А.Б.; Лущицкая И.В.

Кафедра вычислительных методов и программирования
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
{gurinovich, Liv}@bsuir.by

Аннотация – В электродинамической системе определенной конфигурации можно наблюдать многомодовое комбинированное взаимодействие. Здесь можно использовать метод отображения нерегулярной области на регулярный цилиндр.

Ключевые слова: регулярный волновод; квазисобственная волна; комбинированное взаимодействие; гофрированный волновод

Для СВЧ-электроники наиболее типичны приборы с длительным взаимодействием ($\omega\Delta t \gg 1$, Δt - время взаимодействия, ω - рабочая частота) электронов, с ВЧ-полями при условии синхронизма.

Основная задача ЭДС прибора – обеспечить условия, при которых в области взаимодействия электронного потока с возбуждаемым им полем реализовалось определенное условие синхронизма. По типу синхронизма и способу его обеспечения производится классификация СВЧ усилителей и генераторов (например, ЛОВ, ЛБВ О-типа, ЛОВ, ЛБВ М-типа, гиротрон, пениотрон, ...).

Роль электродинамической системы в большинстве приборов с длительным взаимодействием О-типа выполняет отрезок периодического нерегулярного волновода. За счет периодичности в разложении возбуждаемого поля в ряд по гармоническим волнам присутствует замедленная ($v_\phi < c$) гармоника, имеющая E_z – компоненту и фазовую скорость близкую к продольной скорости электронов v_ϕ к v_{ze} . В результате длительное взаимодействие возбуждаемого поля с прямолинейным РЭП осуществляется только через эту синхронную гармонику. От того, какова ее доля (величина амплитуды) в общем представлении поля зависит эффективность прибора.

В приборах М-типа с поперечно-периодическими электронными потоками, имеющими $v_{\perp e}$ к v_{ze} реализуется длительное взаимодействие с незамедленной гармоникой, имеющей поперечную составляющую E_{\perp} . при условии синхронизма $1 \pm v_{ze}/v_\phi$ к $p\Omega$, (Ω - частота поперечных колебаний электронов, $p = 1, 2, \dots$). В этом случае ЭДС делают в виде продольно-слабонерегулярного отрезка волновода (гиротрон). С целью селекции мод часто используют ЭДС в виде отрезка продольно регулярного но азимутально-периодического волновода (пениотрон).

В ЭДС определенной конфигурации возможна ситуация, когда реализуется одновременный синхронизм (возможно разного типа) с несколькими гармониками поля. В таких случаях наблюдается комбинированное взаимодействие. Если эти гармоники принадлежат разным квазисобственным колебаниям ЭДС, то имеет место многомодовое комбинированное взаимодействие. Заметим, что в нерегулярной ЭДС под квазисобственным колебанием (модой) мы понимаем предельное собственное колебание в которое переходит волновое поле если величина нерегулярности стремится к нулю. Рассмотренный метод отображения нерегулярной области на регулярный цилиндр вводит естественную классификацию мод.

Следует отметить, что при деформации регулярно волновода в нерегулярный квазисобственные волны нерегулярного волновода определенных индексов оказываются связанными и при возбуждении одной из них возбуждаются и все связанные с ней. В этом смысле любое взаимодействие РЭП с полями нерегулярного волновода, размеры которого допускают более одной распространяющейся квазисобственной волны, имеет многомодовый характер. Более того, даже если возможна только одна распространяющаяся волна, в нерегулярном волноводе возбуждается спектр закритических (экспоненциально нарастающих и затухающих) мод, которые зачастую оказывают заметное влияние на процессы взаимодействия.

При комбинированном взаимодействии возможна ситуация, когда синхронные гармоники действуют в противофазе и в сумме подавляют возбуждение, что наблюдается, например, в резонансном пениотроне при одновременном синхронизме с прямой и обратной волной поля резонатора.

Более интересна ситуация, когда при комбинированном взаимодействии происходит кооперация гармоник, приводящая к увеличению эффективности приборов.

Поиск условий, при которых в полом гофрированном волноводе возможен комбинированный режим, начинается с исследования дисперсионных характеристик периодических волнопроводов.

Роль теоремы Флоке в исследовании дисперсионных характеристик периодических волнопроводов.

Теорема Флоке формулируется следующим образом. В периодических направленных структурах могут существовать собственные волны (волны-Флоке) – нетривиальные решения однородных уравнений Максвелла, удовлетворяющие условиям квази-периодичности Флоке

