

СПОСОБЫ ПРОДВИЖЕНИЯ МАГНЕТРОНА В КОРОТКОВОЛНОВУЮ ЧАСТЬ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

К.И. Чистяков

Московский государственный институт электроники и математики

E-mail: lmis@miem.edu.ru

Existing approaches of millimeter wavelength band magnetrons creation are considered. The basic positive sides and lacks of each methods are specified. The most of perspective ways working out in given wavelength band magnetrons development are defined.

Магнетрон – широко используемый генератор СВЧ излучения. Практически во всех областях его применения наблюдается тенденция к продвижению рабочей длины волны в коротковолновую часть миллиметрового диапазона.

В радиолокации магнетроны используются в качестве задающего генератора. Уменьшение рабочей длины волны радиолокационной станции ведет к повышению разрешающей способности и позволяет уменьшить габариты антенного устройства. Радиолокационные установки, работающие в коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн, необходимы для создания высокоточного оружия.

В медицине магнетроны используются для облучения раневых поверхностей СВЧ энергией. Применяется как объемный нагрев, так и поверхностный (коагуляция крови на больших открытых ранах). Если в первом случае нагревают достаточно большие объемы тканей, и уменьшение длины волны облучателя требуется лишь до определенного предела, то во втором случае необходимо облучать только поверхностный слой тканей, который должен быть как можно тоньше. Последнее требование связано с тем, чтобы не допускать некроза здоровых тканей, и достигается уменьшением рабочей длины волны излучателя.

Современные магнетроны коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн обладают рядом существенных недостатков:

- малый уровень КПД вынуждает применять принудительное жидкостное охлаждение;
- малые размеры пространства взаимодействия магнетрона, что накладывает ограничения на размеры катода, приводящие к сокращению долговечности;
- уменьшение рабочей длины волны прибора приводит к росту относительных погрешностей изготовления резонаторной системы, в результате чего ухудшается однородность структуры высокочастотного поля и повышаются потери в системе.

Приведенные недостатки вызывают существенные трудности при конструировании установок, предназначенных для работы в условиях серьезных ограничений по массогабаритным характеристикам, подводимой и

рассеиваемой мощностям. О трудностях разработки и технологических сложностях производства магнетронов коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн свидетельствует их ограниченная номенклатура, а так же малое количество выпускающих фирм. Потребители магнетронов нуждаются в улучшении параметров приборов коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн.

Изначально при создании магнетронов миллиметрового диапазона длин волн применялся метод масштабного моделирования резонаторных систем типа «восходящее солнце» [1]. Система типа «восходящее солнце» обладает большим разделением по частоте между рабочим π видом колебаний и ближайшим конкурирующим по сравнению с аналогичной равнорезонаторной системой. Однако более представительный спектр пространственных гармоник рабочего вида колебаний и наличие в нем нулевой гармоники приводит к уменьшению вклада синхронной гармоники в суммарное высокочастотное поле, что снижает КПД прибора.

Был создан ряд магнетронов с разнорезонаторной системой типа «восходящее солнце», генерирующих длины волн вплоть до 3мм. Однако все попытки создания промышленного образца магнетрона, генерирующего на длине волны менее 3мм, закончились неудачей. Так, опытный образец магнетрона RPB5, созданный по принципу масштабного моделирования на длину волны 2.5 мм обладал незначительной выходной мощностью, а его долговечность ограничивалась единицами часов [1].

С целью устранения проблем, вызванных наличием резонанса пространственного заряда, был исследован режим работы магнетрона в условиях слабого магнитного поля. С помощью этого метода был создан опытный образец магнетрона, работающий в режиме слабого магнитного поля, на рабочую длину волны 2.8 мм. Данный прибор имел выходную мощность в импульсе не более 3.3 кВт при напряжении анода 17...19 кВ и диаметре катода 0.78 мм. Такой размер катода ограничивал долговечность несколькими часами [2].

Другими модификациями магнетронов, применяемыми в миллиметровом диапазоне длин волн, являются коаксиальный магнетрон (КМ) и обращено-коаксиальный магнетрон (ОКМ). Их конструкция позволила достичь большего диапазона перестройки рабочей частоты, чем в классических магнетронах, высокого КПД (в КМ), высокой мощности (в ОКМ). Однако промышленных образцов приборов, работающих на длине волны менее 8мм, нет и по настоящее время в силу следующих трудностей:

- рост влияния погрешностей изготовления деталей колебательной системы на ее параметры затрудняет согласование частоты вида стабилизирующего резонатора H_{011} с частотой π вида анодной замедляющей системы;

- уменьшение толщины стенки между резонаторами анодной замедляющей системы и стабилизирующим резонатором до величин, ограничивающих возможность отвода тепла от ламелей, а так же понижающих механическую прочность анодной замедляющей системы.

В литературе [3] описаны попытки создания магнетронов коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн, основанные на синхронизме электронного потока с низшей пространственной гармоникой вырожденного вида колебаний равнорезонаторной системы. За счет большего коэффициента замедления при одинаковом количестве резонаторов по сравнению с π -видной системой можно добиться больших размеров пространства взаимодействия, что позволяет получить большую долговечность, а так же упростить изготовление катода.

Этот подход оказался наиболее приемлемым с точки зрения продвижения в коротковолновую часть миллиметрового диапазона длин волн. Так, был создан опытный образец магнетрона с рабочей длиной волны 2.2 мм, выходной мощностью в импульсе 8 кВт, КПД 5% при напряжении на аноде 12 кВ. [3]

Следует отметить, что работа на вырожденных видах колебаний обладает недостатками. В силу наличия технологических неоднородностей изготовления резонаторной системы вырожденный вид колебаний превращается в дублет. Ориентация высокочастотного поля рабочей составляющей дублета имеет случайный характер от прибора к прибору. В результате отсутствует достоверность контроля магнетрона по контурному КПД на установках с низким уровнем мощности, а так же могут сильно меняться характеристики прибора в пределах одной серии. Западные разработчики не стали рассматривать режим работы магнетрона на вырожденных видах колебаний [4]: «Практически невозможно осуществить резонаторную систему так, чтобы она была идеально симметричной. При наличии же асимметрии каждый вырожденный вид колебаний расщепляется на два невырожденных с весьма мало отличающимися резонансными частотами. Как правило возбуждаться могут оба дублета, причем относительная интенсивность их зависит от природы расщепления и может сильно меняться от одного экземпляра магнетрона к другому. Вследствие этого при работе на вырожденном виде колебаний параметры магнетронов одной и той же серии могут значительно отличаться друг от друга».

С целью промышленного выпуска магнетронов миллиметрового диапазона длин волн, работающих на низшей пространственной гармонике, на ОАО «Плутон» был разработан комплекс мер по устранению недостатков этого метода. Результатом служит разработанная в 1984 году промышленная конструкция магнетрона 2 мм диапазона длин волн с равнорезонаторной замедляющей системой на низшей пространственной гармонике, до сих пор не имеющая аналогов в мире. Данный прибор обладает выходной мощностью в импульсе 5.5 – 7 кВт при напряжении анода 14.5 кВ и имеет долговечность несколько сотен часов.

Также представляет интерес режим работы, основанный на синхронизме электронного потока и высшей пространственной гармоники π вида колебаний, так как он обладает меньшими собственными потерями, чем система, работающая на вырожденном виде колебаний.

1. Бернштейн, Кролл «Обычные импульсные магнетроны разнорезонаторного типа», сборник статей под редакцией Окреса, т.2.
2. Бернштейн, Кролл «Магнетроны разнорезонаторного типа импульсного и непрерывного действия, работающие в режиме слабого магнитного поля»
3. В. Д. Ерёмка, О. П. Кулагин, В. Д. Наumenко «Разработка и исследование магнетронов в институте радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова и радиоастрономического института НАН Украины», Радиофизика и электроника т. 9 спец. вып. 2004 г.
4. «Магнетроны сантиметрового диапазона», т.1. Перевод под редакцией С.А. Зусмановского. «Советское радио», Москва, 1950г.