

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МАГНЕТРОНА НА НИЗКОМ УРОВНЕ МОЩНОСТИ

Чистяков К. И., Гурко А. А.
ОАО «Владыкинский механический завод»
58, Дмитровское ш., Москва, 127238, Россия
E-mail: mosvmz@mail.ru

Аннотация — Предложен способ косвенной оценки «разрушения» спектра пространственных гармоник высокочастотного поля замедляющей системы магнетрона миллиметрового диапазона, который позволяет своевременно обнаруживать в процессе производства признаки возникновения дефектов колебательной системы магнетрона, приводящих к образованию скрытого брака по к.п.д.

I. Введение

Вторая половина XX столетия отмечена значительными успехами в области совершенствования конструкции и улучшения параметров магнетрона. Три технических решения, кардинально повлияли на перспективу применения магнетронов в современной технике: изобретение коаксиального магнетрона (КМ), магнетрона с холодным катодом и автоэмиссионным запуском, создание магнетрона на пространственной гармонике не π вида колебаний. Исследование и применение в магнетроне режима взаимодействия электронного потока с электромагнитным полем пространственной гармоники вырожденного вида колебаний открыло путь к освоению коротковолновой области миллиметрового диапазона длин волн. В 1984 г. в России (ОАО «Плутон», Москва) создан первый и до сих пор единственный в мировой практике серийный магнетрон 2-х миллиметрового диапазона длин волн с рекордным уровнем выходной мощности.

За рубежом разработка магнетронов миллиметрового диапазона длин волн осуществлялась путем масштабного моделирования лучших конструкций магнетронов сантиметрового диапазона. Импульсные магнетроны 3-мм диапазона, созданные таким способом достигли технологического предела, а попытки создания коротковолновых магнетронов непрерывного действия закончились неудачей. Режим взаимодействия в магнетронах электронного потока с высокочастотным полем низшей пространственной гармоники одного из дублетов колебания $\pi/2$ -вида равнорезонаторной системы предложен исследователями ИРЭ АН УССР (г. Харьков) и в научной литературе получил название «харьковского режима».

В процессе опытно-конструкторских разработок в ОКБ «Плутон» (г. Москва) в конструкции магнетронов на пространственных гармониках колебаний не π -вида были внесены принципиально новые оригинальные усовершенствования, позволившие осуществить серийное производство магнетронов миллиметрового диапазона импульсного и непрерывного действия.

В сообщении обсуждается способ контроля степени влияния технологических погрешностей выполнения номинальных размеров колебательной системы магнетрона на ее параметры на низком уровне мощности.

II. Основная часть

Стабильность работы магнетрона и воспроизводимость его параметров при серийном производстве зависит от ряда факторов, из которых выделяется

точность изготовления резонаторной системы и совершенство методов контроля ее параметров [1].

Технологические погрешности изготовления резонаторной системы являются одной из наиболее распространенных причин так называемого скрытого брака при производстве магнетронов. Вызываемое технологическими неоднородностями увеличение количества пространственных гармоник в высокочастотном поле пространства взаимодействия и уменьшение при этом амплитуды рабочей (синхронной) гармоники приводит к уменьшению электронного к.п.д. и конкурентоспособности рабочего вида колебаний (вплоть до нестабильной его генерации). Расчетные оценки «разрушения» спектра пространственных гармоник неоднородностями по методике [2] свидетельствуют о возможности значительного уменьшения амплитуды рабочей гармоники в низковольтных магнетронах и магнетронах миллиметрового диапазона длин волн.

При выборе резонаторной системы коротковолнового «классического» магнетрона предпочтение отдается резонаторам, обладающим более высокой собственной добротностью Q_0 [3]. По определению Q_0 колебательной системы пропорциональна отношению запасенной энергии к собственным потерям. Из практики разработки не π -видных магнетронов известно об увеличении Q_0 с уменьшением номера вида колебаний. Происходит это вследствие роста энергии, запасаемой в пространстве взаимодействия и торцовых полостях, выполненных в виде круглых запредельных волноводов. Оценка величины диссипативных потерь резонаторной системы при условии равенства амплитуд синхронных гармоник на границе пространства взаимодействия показывает их увеличение с уменьшением номера вида колебаний [4]. Поэтому при фиксированной величине подводимой мощности и неизменном количестве резонаторов колебательной системы магнетрона уменьшение номера вида колебаний сопровождается падением к.п.д.

При проектировании магнетрона ожидаемая величина контурного к.п.д. (η_k) определяется путем расчета значений собственной добротности Q_0 и величины сопротивления, вносимого выводом энергии, а величина электронного к.п.д. (η_s) — путем расчета параметров пространства взаимодействия и удаления рабочей точки по магнитному полю от параболы критических режимов [3,4]. Технологическим процессом серийного производства магнетрона предусмотрен (на разных его стадиях) только контроль параметров резонансной кривой рабочего вида колебаний, чего недостаточно для прогнозирования величины η_s .

Декларируемое в литературе влияние отклонения картины распределения в пространстве взаимодействия высокочастотного поля от «симметричной» на уменьшение η_s не находит отражения в реальном процессе изготовления магнетрона. Попытки определить асимметрию высокочастотного поля пространства взаимодействия с последующей корреля-

ционной оценкой работоспособности магнетрона оказались субъективными и в производстве магнетронов этот способ не применяется. «...Зондовый метод дает возможность лишь надежно зафиксировать наличие искажений. Осциллограммы поля в этом случае могут не только количественно, но даже и качественно отличаться от истинного распределения поля у анода» [2].

Конструкция вывода энергии, как показал анализ [5], также может быть весомой и практически неконтролируемой причиной скрытого брака при производстве магнетронов. Отклонение номинальной геометрической длины трансформатора от четвертьволновой электрической вызывает увеличение влияния допусков геометрических размеров на величину реактивной составляющей вносимого сопротивления и «разрушение» спектра пространственных гармоник, что влечет за собой уменьшение амплитуды синхронной (рабочей) гармоники и, как и в случае неоднородной резонаторной системы, падение η_z (вплоть до нестабильной генерации рабочего вида колебаний вследствие снижения конкурентоспособности).

Способы [6] оценки рабочей полосы четвертьволнового трансформатора позволяют создать способы оперативного экспресс-контроля параметров вывода энергии в процессе изготовления магнетрона по принципу «годен-негоден» с критерием оценки - степень «разрушения» спектра пространственных гармоник однородной системы. Этот параметр является наиболее чувствительным к величине реактивной составляющей вносимого выводом энергии сопротивления и легко поддается оценке на низком уровне мощности.

В качестве меры «разрушения» спектра пространственных гармоник предлагается принять изменение резонансной частоты f_0 вида колебаний при постановке катода. В однородной равнорезонаторной системе эта величина определяется долей основной волны в суммарном высокочастотном поле контролируемого вида колебаний в пространстве взаимодействия, а для вида $N/2$ разнорезонаторной системы - величиной 0- составляющей высокочастотного поля. В системе с неоднородностями доля этих волн в поле пространства взаимодействия уменьшается, уменьшается и изменение резонансной частоты за счет постановки катода. Во избежание влияния на результат погрешности аксиальной установки катода при измерениях следует ориентироваться на приращение частоты при совпадении экрана катода с аксиальным центром резонаторной системы. Этому положению экрана соответствует изменение знака функции $\partial f_0 / \partial z$ при аксиальном перемещении (по координате z) катода. Можно применять гладкий (без экранов) имитатор катода. Его диаметр в целях повышения точности оценки «разрушения», как правило, отличается от диаметра штатного катода. Величина диаметра имитатора катода для конкретного типа магнетрона может быть определена экспериментально. Изменение резонансной частоты от постановки имитатора катода уменьшается с увеличением «разрушения» спектра пространственных гармоник, как технологическими неоднородностями, так и реактивностью вывода энергии. Если вывод энергии вносит в пределах полосы частотной литеры чисто активное сопротивление, величина коэффициента стоячей волны напря-

жения в резонансе K_0 при перестройке резонансной частоты в этих пределах имитатором катода остается неизменной. Величина изменения резонансной частоты при постановке имитатора катода характеризует степень отклонения резонаторной системы от однородной. Изменение K_0 свидетельствует об изменении характера вносимого сопротивления. Путем набора экспериментальных результатов возможна выработка критерия, позволяющего по оценке величины приращения резонансной частоты от постановки имитатора катода, установить природу неоднородности и разделить колебательные системы на «годные» и «негодные».

В сообщении описан также контроль параметров колебательной системы коаксиальных магнетронов.

III. Заключение

Предлагаемая методика контроля реализуется с помощью стандартной, используемой при изготовлении любого магнетрона, аппаратуры контроля параметров колебательной системы на низком уровне мощности, легко вписывается в типовый технологический процесс. Появляется возможность оперативной оценки сохранения критерия годности параметров резонаторной системы и вывода энергии магнетрона при выполнении монтажных операций, уменьшения в стоимостном выражении объема технологических потерь.

IV. Список литературы

- [1] Самсонов Д. Е. «Основы расчета и конструирования многорезонаторных магнетронов». - М.: Советское радио, 1966. - 224 с.
- [2] Букуева Р. Я. «Развитие радиоэлектронных методов исследования приборов магнетронного типа коротковолновой части СВЧ диапазона и реализация их в специальном оборудовании». Дисс. на соискание ученой степени к. т. н. - М., 1981. - 201 с.
- [3] Шлиффер Э. Д. «Расчет многорезонаторных магнетронов». - М.: МЭИ, 1966. - 143 с.
- [4] Гурко А. А. «Оценка возможности повышения к.п.д. магнетронов миллиметрового диапазона с использованием не π -видных колебаний», «Радиофизика и радиоастрономия», т.5, № 1, 2000, - С. 80 - 83.
- [5] Гурко А. А. «Вывод энергии магнетрона как неоднородность», «Антенны», №10, 2003. - С. 60 - 66.
- [6] Gurko A. A. «Optimization of Magnetron Transformer Parameters», «Telecommunications and Radio Engineering», v. 52, № 12, 1998. - P. 59 - 64.

ENHANCEMENT OF INFORMATIVE CHECKING OF THE MAGNETRON'S OSCILLATORY SYSTEM PARAMETERS AT A LOW POWER LEVEL

Chistyakov K. I., Gurko A. A.
Joint Stock Company

«Vladykinskiy mechanical plant»
58, Dmitrovskoye highway, Moscow, 127238, Russia
E-mail: mosvmz@mail.ru

Abstract — The “destruction” of spectrum of space HF-field harmonics in the slow-wave structure of the mm-wave magnetron is indirectly estimated. The estimation procedure allows the flaws that come about in the manufacture to be detected in due course. These flaws are normally found to result in emerging hidden defects in terms of efficiency values.