

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ СВЧ МАГНЕТРОНА СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОПИТАНИИ ОТ ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Сабодаш О.А., Сарамбаев К.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Мадвейко С.И. – канд. техн. наук, доцент

Проведен анализ способов обеспечения температурного режима работы СВЧ магнетрона средней мощности при электропитании от источника постоянного тока. При увеличении выходной мощности СВЧ магнетрона, работающего в непрерывном режиме до 3 раз предложено использовать водяное охлаждение.

Магнетрон относится к классу генераторных электровакуумных СВЧ-приборов (рисунок 1), в которых формирование электронного потока и его взаимодействие с электромагнитным полем СВЧ-диапазона происходят в пространстве взаимодействия, где электрические и магнитные поля скрещены. В зависимости от режима работы различают магнетроны импульсного и непрерывного действия [1].

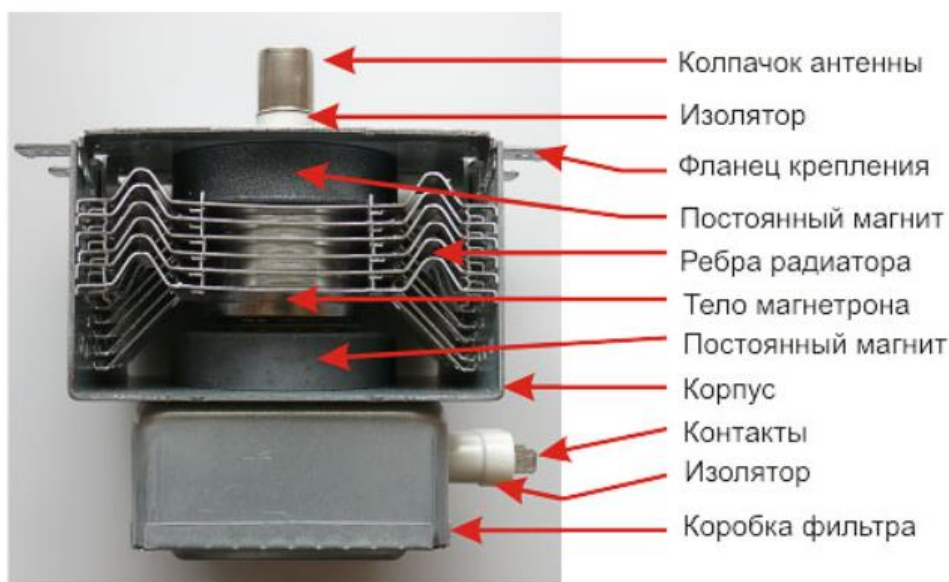


Рисунок 1 – Конструкция СВЧ магнетрона средней мощности

В настоящее время широкое применение в различных областях промышленности получают установки, работающие на СВЧ магнетронах непрерывного действия. Развитие таких устройств идет в основном по пути создания СВЧ установок для нагрева [2]. Однако, СВЧ магнетроны могут применяться и в СВЧ плазменных установках. Для повышения эффективности процессов СВЧ плазменной обработки представляет интерес изучение возможности запитывания СВЧ магнетрона среднего уровня мощности от источника питания собранного по схеме выпрямления с увеличением и выравниванием напряжения при использовании трех трансформаторов, работающих в режиме насыщения [3].

Для обеспечения стабильности работы СВЧ газоразрядного блока необходимо выдерживать заданные в технических условиях режимы эксплуатации СВЧ магнетрона. Соблюдение этих параметров, особенно в случае непрерывной работы, во многом зависит от выбора системы охлаждения. Одними из основных критериев в выборе системы охлаждения являются условная поверхность, удельная мощность магнетрона и перегрев поверхности магнетрона [4].

При работе в непрерывном режиме достигается увеличение выходной мощности. Но с увеличением мощности так же возрастает и тепловая нагрузка на все его конструктивные элементы. В этих условиях естественное воздушное охлаждение оказывается недостаточным. Срок службы магнетрона при этом становится неприемлемо мал. Одним из недостатков принудительного воздушного охлаждения является то, что оно может применяться только когда требуется отводить плотность тепловых потоков до 2 – 3 кВт/м<sup>2</sup>.

Система с водяным охлаждением является более эффективной по сравнению с остальным по причине того, что имеет низкое тепловое сопротивление по сравнению с принудительным или естественным воздушным охлаждением [5]. На рисунке 2 показаны магнетрон с водяной системой охлаждения и исследуемая конструкция блока водяного охлаждения.

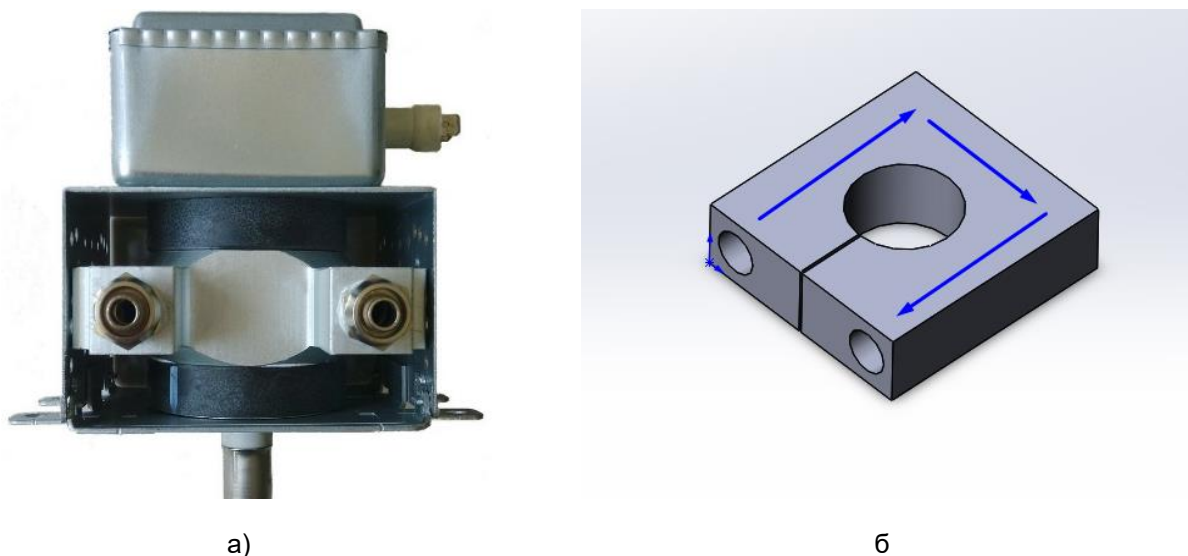


Рисунок 2 – Магнетрон с водяной системой охлаждения (а) и конструкция блока водяного охлаждения (б)

Блок водяного охлаждения имеет каналы для потока жидкости и размещается на корпусе СВЧ магнетрона между магнитами. В качестве материала для изготовления корпуса системы можно использовать дюралюминий. Он обладает хорошей теплопроводностью. В качестве альтернативного и более бюджетного варианта можно использовать медные сплавы.

Эффективность системы с водяным охлаждением может изменяться в зависимости от выбранных исходных параметров (материал конструкции, скорость потока, температура жидкости и т.д.). Такая система более чем в 4 раза эффективней чем система с принудительным воздушным охлаждением [5]. Это связано со значительно большим значением теплопроводности воды, чем у воздуха, и отсутствием передачи тепла от одного элемента к другому. Плотность теплового потока, снимаемого с нагретой поверхности при водяном способе охлаждения, может достигать  $500 \text{ кВт/м}^2$ . [6]

Для повышения эффективности системы с водяным охлаждением можно модернизировать конструкцию системы путем увеличения каналов для жидкости [7].

Таким образом, можно сделать вывод, что использование водяного охлаждения корпуса СВЧ магнетрона средней мощности работающего в непрерывном режиме генерации СВЧ энергии при увеличении выходной мощности до 3 кВт позволит поддерживать его оптимальную температуру.

**Список использованных источников:**

1. Шука А.А. Электроника. 2 изд. / А.А. Шука. – М.: Физматлит, 2009. – 216 с.
2. Морозов О., Каргин А., Савенко Г., Требух В., Воробьев И. Промышленное применение СВЧ-нагрева / О. Морозов, А. Каргин, Г. Савенко, В. Требух, И. Воробьев // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология - 2010
3. Микроволновой генератор [Текст] : пат. 2480890 РФ : МПК<sup>7</sup> Н 03 В 1/02 / Тихонов В.Н., Пугашкин Д.В., Четокин Я.А.; заявители и патентообладатели Тихонов В.Н., Пугашкин Д.В., Четокин Я.А. - № 2011150168/08 ; заявл. 09.12.2011 ; опубл. 27.04.2013 , Бюл. № 12.
4. Бордусов, С.В. Регулирование величины мгновенной выходной мощности магнетрона непрерывного режима работы (типа М-105, М-112) в составе плазменной технологической установки / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо 2009) : материалы 19-й Междунар. Конф., Севастополь, 14 – 18 сентября 2009 г. / Севастопольский нац. Технический ун-т. – Севастополь : Вебер, 2009. – С. 861 – 862.
5. Колпаков А. // Охлаждение в системах высокой мощности // А. Колпаков // Силовая Электроника N3 – 2010
6. А.В. Муратов, Н.В. Ципина // Способы обеспечения тепловых режимов РЭС // ГОУВПО Воронежский государственный технический университет - 2007
7. Логинов В.С. Приближение методы теплового расчета активных элементов электрофизических установок / В.С. Логинов