

**Иванов В.А.¹, Рогожин К.В.¹, Сидоренко Д.С.¹,
Сморозин В.А.¹**

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»
²ООО «ТСК»

Определение изменения уровня согласования магнетрона с нагрузкой по форме импульса анодного тока

Представлен способ оценки согласования магнетрона с нагрузкой, в процессе его работы в промышленных микроволновых установках, по изменению формы тока, протекающего через магнетрон при использовании схемы удвоения напряжения.

Ключевые слова: магнетрон, система управления, анодный ток, КСВ, мощность

В настоящее время промышленные микроволновые установки применяются для сушки и стерилизации различных продуктов, для переработки органических отходов, для получения новых материалов [1].

Применение СВЧ энергии в различных отраслях народного хозяйства обуславливается такими свойствами СВЧ энергии как объёмность нагрева продукта, высокий коэффициент преобразования микроволновой энергии в тепло, большая скорость нагрева и возможность практически безынерционного управления. В связи с этим, в настоящее время при создании промышленных установок, мощностью до 50 кВт, широко применяется суммирование мощности магнетронов средней мощности (1 кВт, типовой элемент бытовых микроволновых печей). При таком подходе снимается часть проблем, связанных с неоднородностью нагрева. Однако увеличение количества источников СВЧ энергии требует создания системы управления этими источниками и отслеживания согласования каждого из источников в условиях меняющейся нагрузки.

В разрабатываемых микроволновых установках применяется от 4 до 16 магнетронов со схемой удвоения напряжения, которая представлена на рисунке 1. В таких установках,

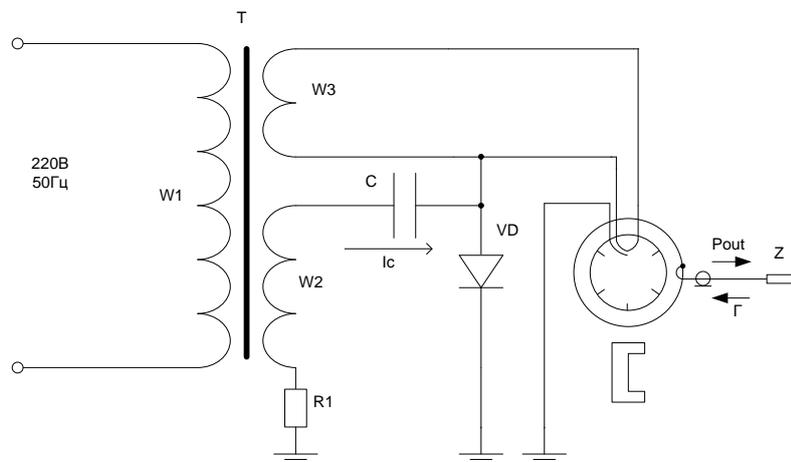


Рис. 1. Схема питания магнетрона

оценить согласование и взаимовлияние, каждого магнетрона, по уровню КСВ не удастся, т.к. антенны магнетронов не всегда встраиваются в регулярный волновод, где можно измерить КСВ. Зачастую они встраиваются непосредственно в микроволновый реактор. При такой схеме питания, магнетрон работает половину периода сетевого напряжения, при этом часть магнетронов работают одновременно, что приводит к перераспределению мощности из выхода магнетрона на входы других. Так для определения уровня согласования магнетрона в установках во время работы может быть использована плата управления магнетроном [2].

В промышленных установках, при прохождении обрабатываемого продукта через зону воздействия СВЧ энергии, изменяется значение комплексного сопротивления Z , так при изменении комплексного сопротивления нагрузки Z , будет изменяться положение рабочей точки магнетрона. При этом устанавливаются постоянные значения P_{out} и частота f_{out} .

Для определения условий работы магнетрона в составе промышленных установок, в частности P_{out} , без измерения Z , будем оценивать изменение формы тока I_c .

На рисунке 2 представлена форма тока I_c при различном уровне согласования магнетрона и нагрузки a , следовательно, различном уровне выходной СВЧ мощности.

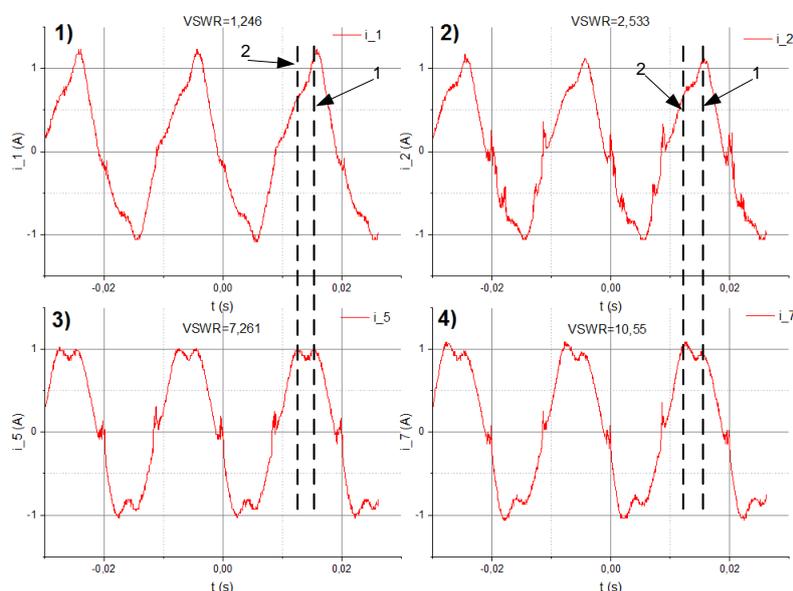


Рис. 2. График временных зависимостей тока I_c , при: 1) КСВ = 1.246, 2) КСВ = 2.533, 3) КСВ = 7.261, 4) КСВ = 10.55.

На форме анодного тока можно выделить 2 важные точки, характеризующие работу магнетрона и цепей его питания. Первый максимум тока в точке 1 и второй максимум тока в точке 2. При этом из графиков видно, что максимум 2 проявляется (увеличивается амплитуда) при ухудшении согласования.

Точка 1 характеризует параметры работы высоковольтного трансформатора, а именно работу трансформатора в режиме насыщения сердечника. То есть характеризует состояние трансформатора и цепь питания магнетрона.

Точка 2 определяет изменение СВЧ параметров магнетрона (уровень согласования), а, следовательно, и уровень выходной мощности. Так в условиях реальных установок, для определения условий работы магнетрона без измерения Z нужно оценивать уровень тока в точке 2, которая характеризует взаимосвязь между током через магнетрон I_c с мгновенной СВЧ мощностью P_{out} . Причиной изменения формы анодного тока при разном уровне согласования может служить разные условия нарастания колебаний при синфазности и противофазности волн приходящих от нагрузки.

Как показали исследования, для определения изменения уровня КСВ и выходной мощности, достаточно определить изменение положения амплитуды точки 2, проведя БПФ

тока I_c можно отслеживать изменение фазы 3-ей гармоники (частота 150 Гц.), или СКЗ тока за период.

На рисунке 3 показаны графики изменения амплитуды в точке 2, RMS тока I_c за период, фаза 3-ей гармоники тока I_c и уровня выходной мощности в зависимости от КСВ.

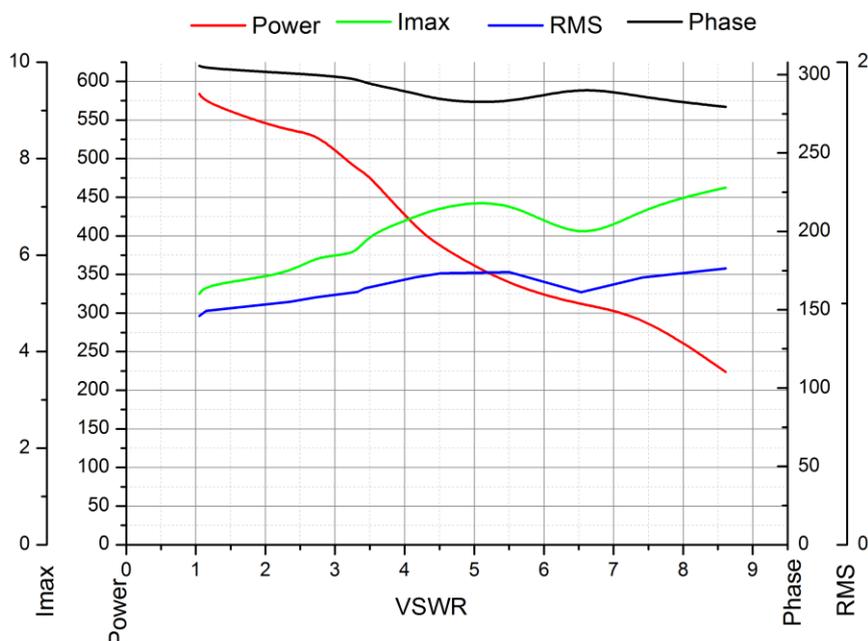


Рис. 3. Зависимость выходной мощности магнетрона, Фазы 3 гармоники, амплитуды точки 2, СКЗ тока I_c , в зависимости от изменения КСВ.

Из графики видно, что при увеличении КСВ, выходная мощность уменьшается, при этом изменение выходной мощности и уровня КСВ можно определить по изменению формы тока I_c . То есть в условиях промышленных микроволновых установок, определить изменение уровня КСВ а, следовательно, и уровня выходной мощности каждого магнетрона можно анализируя форму тока I_c . Изменение формы тока магнетрона можно обнаружить по изменению амплитуды 2-го максимума на осциллограммах тока, в свою очередь, изменение амплитуды второго максимума происходит из-за изменения фазы 3-ей гармоники тока магнетрона.

Все это позволяет по изменению формы анодного тока судить об изменении мощности магнетрона, что важно при построении микроволновых промышленных установок. Для анализа формы тока I_c , с целью определения изменения уровня КСВ магнетрона в «горячем режиме», разработана плата, которая проводит обработку формы тока, выделяет ключевые параметры формы тока и делает выводы о режиме работы магнетрона. Использование таких плат позволяет построить адаптивные системы управления микроволновыми установками, где используется от 4 до 16 магнетронов.

Библиографический список

1. В.А. Иванов, Д.С. Сидоренко, К.В. Рогожин. Опыт разработки микроволновых установок и технологических процессов обработки пищевых продуктов и материалов. Аннотации докладов научная сессия МИФИ-2015. В 3 томах. Том 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2015. – 213с.
2. К.В. Рогожин. Адаптивная система управления микроволновой промышленной установкой. Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2015). Материалы конференции. Санкт-Петербург. 28-30 октября 2015 г., СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». -370-373.