

Особенности работы магнетрона с инверторным блоком питания в микроволновых промышленных установках

Описана работа инверторного блока питания магнетрона при работе с различной установленной мощностью. Показано изменение зависимости тока магнетрона и уровня выходной мощности при изменении согласования.

Ключевые слова: магнетрон, инверторный блок питания, анодный ток, КСВ, мощность

В настоящее время технологические установки с применением микроволновой энергии разрабатываются в России [1], Германии [2], Китае [3], Австралии [4]. Разрабатываемые установки используются для пастеризации специй и продуктов пищевой промышленности в таре, при изготовлении лекарственных средств, при обработке различных строительных материалов. Проектируются и создаются установки для переработки промышленных отходов методом пиролиза с получением синтез газа, очистке газов в микроволновой плазме, восстановлению металлов из низкообогащенных руд и многое другое.

При разработке промышленных установок, чаще всего, используется несколько магнетронов средней мощности и системы сложения мощности в микроволновом реакторе. Для получения установок с СВЧ мощностью 10 кВт необходимо использовать 10-16 магнетронов мощностью 800 Вт каждый. Для уменьшения стоимости готовых установок в качестве источников СВЧ излучения используют магнетроны, входящие в комплектацию бытовых микроволновых печей. Для питания магнетронов, чаще всего, используются типовые блоки питания (входящие в комплектацию бытовых микроволновых печей), состоящие из высоковольтного трансформатора и схемы удвоения напряжения. Это позволяет снизить стоимость готовых установок за счёт массовости производства бытовых микроволновых печей и комплектующих к ним. Так же следует отметить высокую надёжность, и простоту в эксплуатации таких схем.

При использовании блока питания с высоковольтным трансформатором существует возможность определять эффективность работы магнетрона по форме анодного тока [5]. Это дает возможность оперативного управления технологическим процессом при изменении нагрузки магнетрона [5, 6]. Существенным недостатком в работе магнетрона с блоком питания на основе высоковольтного трансформатора является высокая материалоемкость (масса блока питания в сборе составляет около 6 кг) и дороговизна. Кроме того, при такой схеме питания не удастся получить плавную регулировку выходной мощности.

Для плавного регулирования микроволновой мощности магнетрона разработан и используется инверторный блок питания (ИБП) [7]. Особенность работы ИБП заключается в том, что путём изменения длительности управляющего воздействия, изменяется подаваемое напряжение на магнетроне и тем самым уровень генерируемой мощности. На рис. 1 показаны осциллограммы управляющего воздействия от платы управления ИБП при разной установленной величине мощности. Осциллограммы получены при помощи

осциллографа Agilent Technologies DSO3102A, в качестве ИБП и платы управления использовались элементы бытовой микроволновой печи Panasonic.

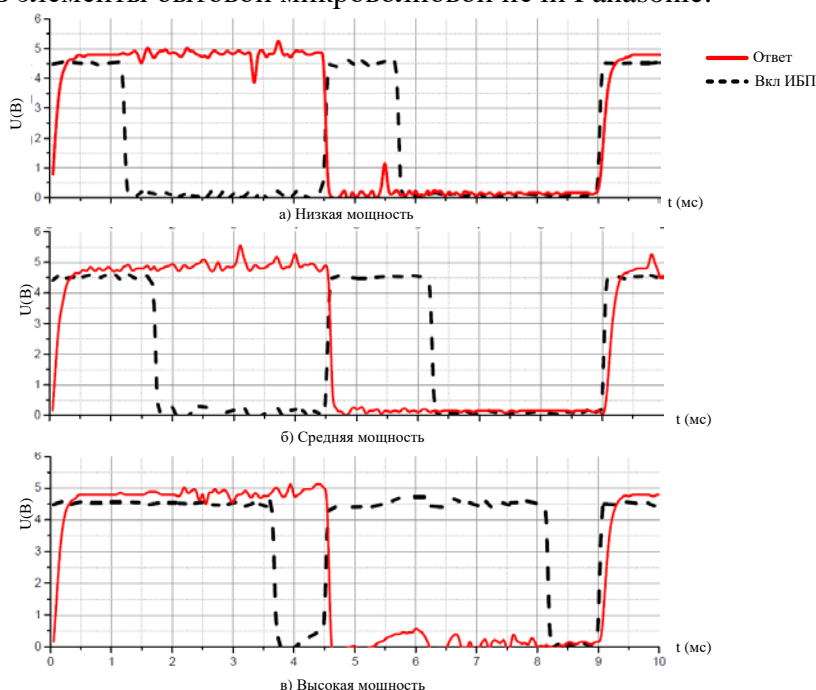


Рис. 1. ШИМ модуляция управляющего воздействия на ИБП и сигнал ответа.

Сигнал «Вкл ИБП» является управляющим, в зависимости от выставленного на плате управления уровня мощности (Hi – высокая мощность, Med – средняя мощность, Low – низкая мощность) скважность сигнала изменяется от 28% при низкой мощности, 38% при средней мощности и 80% при высокой мощности. Сигнал «Ответ», на рисунке 1, показывает ответный импульс от ИБП. Наличие импульса является подтверждением для платы контроля о включении и работе магнетрона.

Выходной каскад ИБП представляет собой двухполупериодный выпрямитель с ёмкостным фильтром. Каждый конденсатор фильтра заряжается до уровня $U_m/2$, сумма напряжения на конденсаторах прикладывается к магнетрону.

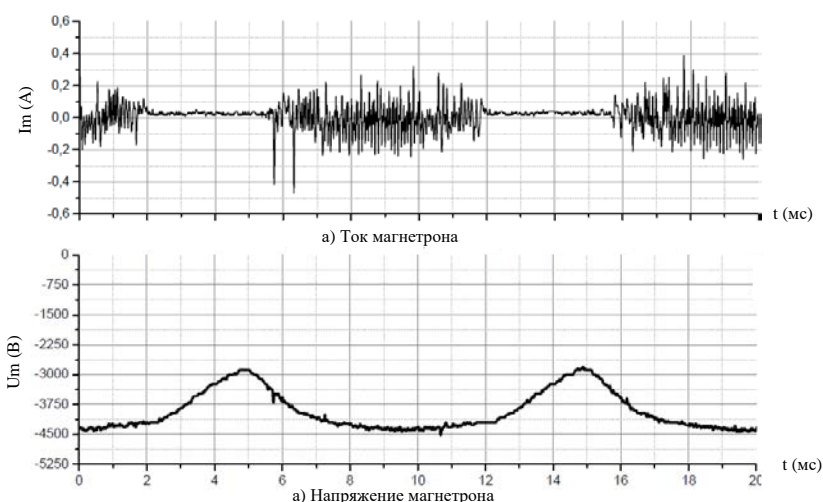


Рис. 2. Напряжение на магнетроне и ток через магнетрон.

Из рис. 2 видно, что при достижении магнетроном порогового напряжения начинается его генерация и ток через магнетрон протекает, далее при отключении управляющего воздействия (входной ШИМ сигнал) напряжение на магнетроне падает, и ток перестаёт

протекать через магнетрон. Измерение напряжения магнетрона осуществлялось при помощи высоковольтного делителя напряжения ДНВ-40, форма тока измерялась при помощи резистора 1 Ом.

При протекании тока через магнетрон происходит генерация СВЧ мощности. Форма импульса СВЧ мощности и форма тока магнетрона совпадают и показаны на рис. 3.

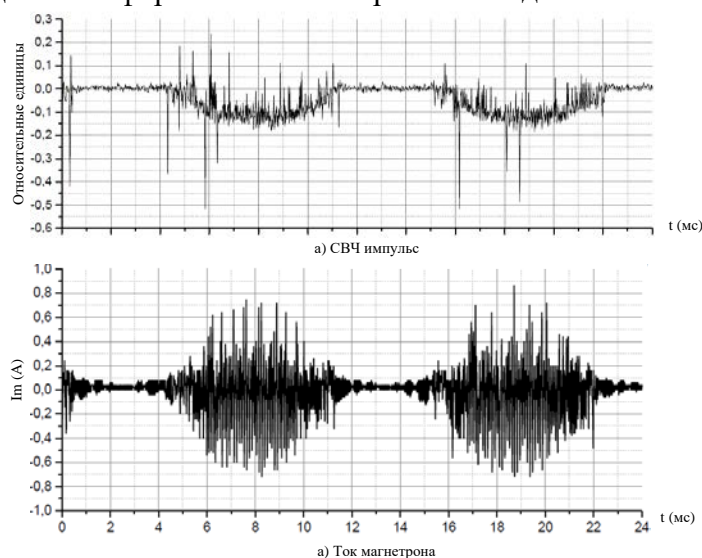


Рис. 3. Корреляция формы СВЧ импульса и формы тока магнетона.

Из рисунка 3 видно, что форма тока магнетрона по форме совпадает с импульсом генерации магнетрона, а следовательно определение состояния магнетрона, с инверторным блоком питания, можно анализируя форму тока магнетрона.

Как отмечалось в [5, 8] для магнетрона, работающего с трансформаторным блоком питания, определять условия работы магнетрона можно анализируя форму тока магнетрона, а именно: положение первого и второго максимумов, среднее квадратическое значение, фазу третьей гармоники, величину тока в момент нарастания фронта сигнала. Т.к. ИБП работает на более высокой частоте, то для определения состояния работы магнетрона будем оценить среднее квадратическое значение (СКЗ) тока магнетрона. Измерение формы тока и изменение уровня согласования осуществлялось на измерительном стенде с согласованной водяной нагрузкой [5]. На рис. 4 представлены зависимости уровня выходной мощности магнетрона и СКЗ тока при разном согласовании, для трёх режимов мощности (задаваемой платой управления).

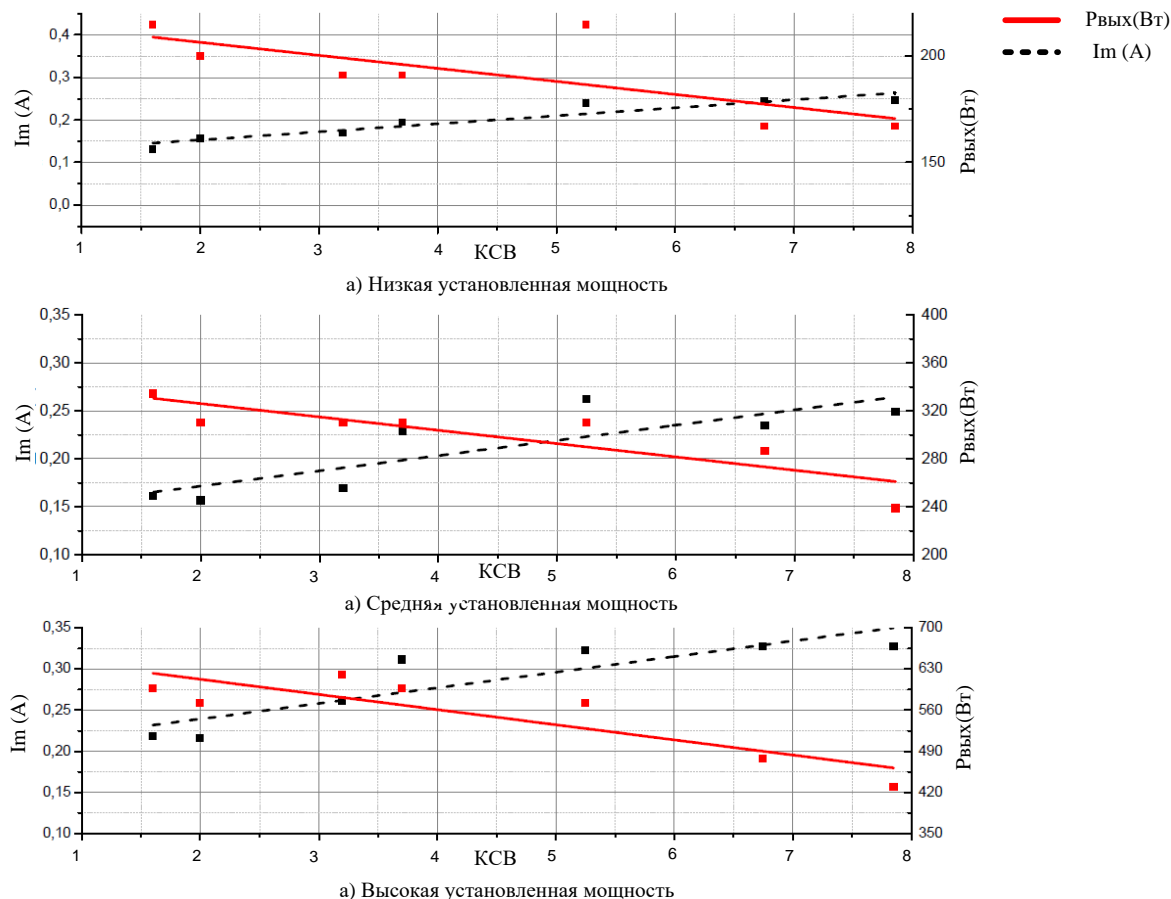


Рис. 4. Изменение уровня генерируемой магнетроном мощности и СКЗ тока магнетрона.

При постоянном уровне КСВ, выходная мощность магнетрона зависит от уровня управляющего ШИМ сигнала, для трёх режимов заданной мощности, реальный уровень составил: 630 (высокая мощность), 340 (средняя мощность), 220 (низкая мощность). Из графиков видно, что при увеличении уровня КСВ ток магнетрона растёт, а выходная мощность падает, для 3 разных режимов управления мощностью. При ухудшении согласования, часть мощности, генерируемая магнетроном, возвращается обратно, что приводит к разогреву и увеличению тока магнетрона.

Используя ИБП можно плавно управлять выходной мощностью магнетрона, путём изменения длительности управляющего ШИМ сигнала, что приводит к изменению уровня СВЧ мощности. Изменение уровня КСВ приводит к изменению уровня тока магнетрона, что позволяет оценивать режимы работы магнетрона по форме его тока. Работа магнетрона с ИПБ совпадает с работой магнетрона блоком питания со схемой удвоения напряжения, в обоих случаях изменение КСВ приводит к изменению выходной мощности, что можно оценивать по изменению формы тока магнетрона. Использование ИБП совместно с разработанной системой управления [6, 9] магнетрона позволит создавать промышленные установки с плавным управлением уровнем выходной СВЧ мощности, что позволит поддерживать требуемый температурный режим обработки.

Библиографический список

1. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://tsc-technologies.ru/tehnologia-microwolnovogo-vsychivania-vermikulita/>
2. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.pueschner.com>
3. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://grandtekco.ru>
4. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.amtmicrowave.com>

5. Иванов В. А., Рогожин К. В., Сидоренко Д. С. Исследование энергетической эффективности магнетронного генератора в устройствах микроволнового нагрева // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2017. № 6. С. 5–11.
6. К.В. Рогожин. Адаптивная система управления микроволновой промышленной установкой. Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2015). Санкт-Петербург 28 - 30 октября 2015. С. 370 – 373.
7. Microwave oven Panasonic NN-SE992S. Service Manual.
8. В.А. Иванов, К.В. Рогожин, В.А. Смородин. Определение изменение уровня согласования магнетрона с нагрузкой по форме импульса анодного тока. Всероссийская конференция. Электроника и микроэлектроника СВЧ. Санкт-Петербург. 29 мая – 41 июня 2017 г. С.165-167.
9. Рогожин К.В. Использование системы управления магнетроном для определения состояния объекта в микроволновой камере. Корабельные системы управления и обработки информации. Проектирование и изготовление. Седьмая научно-техническая конференция молодых специалистов. Санкт-Петербург. 5 октября 2017. С. 109 – 112.