

Г. И. Лебедева, А. А. Гарбуль // Оптико-механическая промышленность. – 1988. – № 2. – С. 21–23.

7. Губель, Н. Н. Аберрации децентрированных систем / Н. Н. Губель. – Л.: Машиностроение, 1975. – 272 с.

8. Русинов, М. М. Композиция нецентрированных оптических систем / М. М. Русинов. – СПб.: СПбГУ ИТМО. – Ива, 2004. – 252 с.

9. Ingalls, A. G. Two -mirror unobscured telescopes / A. G. Ingalls // Scient American. – 1954. – Vol. 190, No 2. – P. 100.

10. Kingslake, R. Optical system design / R. Kingslake. – New York: Academic Press, 1983. – 366 p.

11. Wetherell, W. B. Confocal Paraboloids. Some comments / W. B. Wetherell // Appl. Opt. – 1974. – Vol. 13, No 10. – P. 1783–1786.

12. Rosin, S. Afocal Parabolic Reflectors / S. Rosin, M. Amon // Appl. Opt. – 1974. – Vol. 13, No 4. – P. 1402–1404.

13. Gelles, R. Unobscured-aperture two-mirror systems / R. Gelles // JOSA. – 1975. – Vol. 65, No 10. – P. 1040–1043.

14. Лебедева, Г. И. Перспективные аэрокосмические зеркальные объективы / Г. И. Лебедева, А. А. Гарбуль // Оптический журнал. – 1994. – № 8. – С. 57–62.

15. Bernacca, P. Project HIPPARCOS / P. Bernacca // Astrophysics and Space Science. – 1985. – Vol. 110, No 110. – P. 21–45.

16. Su Ding-Qiang. Active Optics in LAMOST / Su Ding-Qiang, Xiang-Qun Cui. // J. Astron. Astrophys. – 2004. – Vol. 4, No 1. – P. 1–9.

17. McGrath Andrew. A large reflective Schmidt telescope for the Antarctic plateau / Andrew McGrath, W. Cui // Proceedings of the SPIE. – 2004. – Vol. 5489. – P. 462–469.

18. Чупраков, С. А. Зеркальные объективы, основанные на применении центрально-симметричных planoидных зеркал / С. А. Чупраков // Оптический журнал. – 2007. – Т. 74, № 9. – С. 45–49.

19. Пейсахсон, И. В. Применение planoидных дифракционных решеток в спектрографах / И. В. Пейсахсон // Оптический журнал. – 1994. – № 8. – С. 46–48.

20. Wide-field reflective optical apparatus: pat. 3963328 USA / I. R. Abel // United States Patent. – 15.06.76.

21. Чуриловский, В. Н. Зеркальные астрономические объективы, основанные на применении planoидных зеркал / В. Н. Чуриловский // Изв. вузов. Приборостроение. – 1958. – № 2. – С. 102–113.

22. Широкоугольный зеркальный объектив телескопа: пат. 2215314 Рос. Фед. / А. Н. Бородин, С. А. Чупраков; заяв. Ин-т солнечно-земной физики СО РАН. – № 2001129186/28; заявл. 29.10.01; опубл. 27.10.03.

23. Чупраков, С. А. Зеркальные системы на основе децентрированных planoидных элементов / С. А. Чупраков // Оптика – XXI век: материалы Междунар. конф., Санкт-Петербург, 16–20 окт. 2006 г.: в 3 т. / ОО им. Д. С. Рождественского; редкол.: В. М. Арпишкин [и др.]. – СПб., 2006. – Т. 3. – С. 286–290.

24. Широкоугольный зеркальный объектив кругового обзора: пат. 1615661 РФ / В. Д. Бокий, В. А. Семин. – 1990.

25. Двухзеркальный объектив: пат. 1737394 РФ / В. А. Семин. – 1992.

26. X-ray reduction exposure apparatus and device manufacturing method using the same: pat. 5995582 USA, МКИ G02B 17/00 / Terashima [et al.] // United States Patent. – 30.11.1999.

27. Off axis projection optical system and extreme ultraviolet lithography apparatus using the same: pat. 7301694 USA, МКИ G02B 17/00 / Chang [et al.] // United States Patent. – 22.12.2007.

Поступила 02.12.2009

УДК 533.9.01

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ МГНОВЕННОЙ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ МАГНЕТРОНА НЕПРЕРЫВНОГО РЕЖИМА ГЕНЕРАЦИИ (ТИПА М-105, М-112) В СОСТАВЕ ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Докт. техн. наук БОРДУСОВ С. В., асп. МАДВЕЙКО С. И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Большинство промышленных и исследовательских СВЧ установок используют в качестве источников мощности магнетрона [1]. Схемы источников питания магнетронов в основном

отличаются между собой способами регулирования и стабилизации выходной мощности магнетрона. Это может быть тиристорное регулирование параметров во входной цепи пе-

ред высоковольтным трансформатором либо регулирование выходной мощности с помощью электромагнита или регуляторов, обеспечивающих изменение индуктивности в высоковольтной цепи после высоковольтного трансформатора. Однако они имеют определенные недостатки:

- по конструкции такие устройства сложны и громоздки;
- диапазон регулирования ограничен и составляет, как правило, от 50 до 100 % номинальной мощности магнетрона, так как при низких анодных напряжениях наблюдаются срывы генерации и возникновение паразитных колебаний неосновного вида, нарушающие работоспособность всего устройства в целом;
- имеет место низкая стабильность анодного тока;
- при переключении тиристоров в результате переходных процессов во вторичной обмотке силового трансформатора возникают импульсы высокого напряжения, способные привести к пробое изоляции трансформатора;
- такие схемы позволяют регулировать только величину средней мощности магнетрона за счет уменьшения длительности СВЧ импульса, что для целей возбуждения плазмы СВЧ разряда является недостаточным.

Используемые в настоящее время магнетроны непрерывного режима генерации мощностью до 1 кВт часто запитываются однополупериодным выпрямленным напряжением. Конструктивно системы питания таких магнетронов состоят из трансформатора, диода и конденсатора и собраны по схеме удвоения напряжения.

Источник питания СВЧ магнетрона типа М-105, М-112 и аналогичных должен обеспечивать следующие параметры: анодное напряжение $U_a \approx 4000$ В; анодный ток $I_a \approx 250$ мА; напряжение накала $U_n = 3,15$ В; ток накала $I_n = 10$ А.

Для повышения эффективности процесса плазменной обработки материалов представляет интерес питание СВЧ магнетрона импульсным напряжением с близкой к прямоугольной формой импульса, что предполагает использование в конструкции источника питания трансформатора с насыщением. Однако регулирование выходных параметров таких трансфор-

маторов по входным цепям представляет сложную схемотехническую задачу.

Нами предложена сравнительно простая по конструкции система регулирования величины мгновенной мощности в высоковольтной цепи источника питания магнетрона, собранного по схеме однополупериодного выпрямления с умножением напряжения. Схема исследуемого источника питания с регулированием величины анодного напряжения питания магнетрона показана на рис. 1.

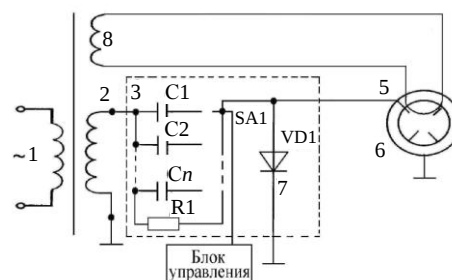


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема высоковольтного источника питания СВЧ магнетрона

В качестве преобразователя напряжения в источнике вторичного электропитания использован трансформатор с насыщением с размещенными на одном сердечнике высоковольтной и накальной обмотками, что исключает возможность регулирования выходной мощности источника питания без существенного изменения его конструкции.

Устройство регулирования величины мгновенной мощности работающего на плазменную нагрузку СВЧ магнетрона (рис. 1) содержит силовой высоковольтный трансформатор 1, в котором совмещено формирование напряжения накала и высоковольтного напряжения. Напряжение накала формируется в трансформаторе 1 первой вторичной обмоткой 8, выводы которой подключены к накалу магнетрона 6. Первый вывод 2 второй вторичной обмотки трансформатора 1 через конденсатор C_n и переключатель SA1 коммутируется с анодом диода VD1 и катодом 5 магнетрона 6. Резистор R1 установлен параллельно конденсатору и служит для быстрой разрядки конденсатора. Второй вывод второй вторичной обмотки трансформатора 1 и катод 7 диода соединены с общей точкой схемы.

Регулирование величины мгновенной выходной мощности магнетрона осуществляется

следующим образом. Конденсатор C_n , величина емкости которого соответствует необходимой величине СВЧ мощности, с помощью блока управления переключателем SA1 коммутируется в цепь высоковольтного электропитания магнетрона, и, если полярность напряжения на второй вторичной обмотке трансформатора 1 такова, что диод VD1 открыт, то конденсатор C_n заряжается. В этом интервале времени магнетрон не генерирует СВЧ излучение. В следующий полупериод сетевого напряжения полярность напряжения на второй вторичной обмотке трансформатора 1 меняет знак. Это напряжение суммируется с напряжением на заряженном конденсаторе C_n и поступает на магнетрон, вызывая генерацию СВЧ колебаний.

С целью изменения величины мгновенной СВЧ мощности, подводимой к СВЧ разряду при проведении плазменной обработки материалов, в конструкцию источника питания введен набор конденсаторов $C_1, C_2, \dots, C_n$. С помощью переключателя SA1 производится коммутация конденсатора, емкость которого определяет величину мгновенной вкладываемой в СВЧ разряд мощности.

Предложенная схема регулирования параметров источника питания СВЧ магнетрона исследовалась на нагрузку в виде низкотемпературной неравновесной плазмы самостоятельного СВЧ разряда. Рабочей газовой средой в камере СВЧ плазмотрона являлся атмосферный воздух при давлении 47 Па. Мониторинг работы магнетрона осуществлялся следующим образом. Анодное напряжение и анодный ток магнетрона регистрировались на ЭВМ через аналого-цифровой преобразователь АЦП ЛА-1,5 РСІ. Сигнал напряжения подавался на АЦП через высоковольтный делитель 1:1000, а сигнал тока магнетрона – через токосъемный резистор.

Оптическое свечение от СВЧ разряда подвели к фотоэлектронному умножителю (ФЭУ-112) с помощью световода, прикрепленного к отверстию в боковой стенке корпуса разрядного устройства. Электрический сигнал с ФЭУ подавали для записи на ЭВМ с помощью АЦП.

Эксперименты проводили при следующих величинах емкостей конденсатора в блоке

удвоения напряжения источника электропитания: 0,5; 1; 1,5; 2; 3 мкФ.

Экспериментально установлено, что изменение величины емкости конденсатора в высоковольтном однополупериодном выпрямителе источника питания магнетрона с использованием работающего в режиме насыщения высоковольтного трансформатора приводит к изменению мгновенной СВЧ мощности, подводимой к СВЧ разряду.

На практике режим работы магнетрона удобнее контролировать не по напряжению на магнетроне, а по средней величине анодного тока магнетрона [2]. На рис. 2 представлен график полученной зависимости величины тока СВЧ магнетрона от величины емкости конденсатора в составе удвоителя напряжения.

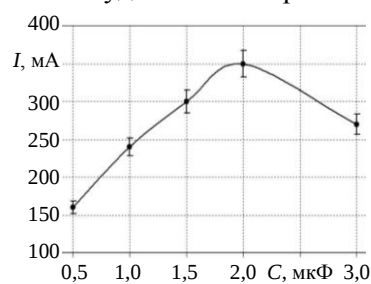


Рис. 2. Изменение величины выходного тока СВЧ магнетрона при изменении емкости в устройстве удвоения напряжения высоковольтного источника электропитания

Как видно из рис. 2, на графике имеется ярко выраженный максимум кривой, указывающий на то, что за счет увеличения емкости в умножителе напряжения величину текущего через магнетрон тока можно повысить до определенного предела.

При этом установлено существенное влияние изменения величины емкости удвоителя напряжения не только на величину, но и на форму импульсов анодного тока магнетрона. Так как токовые параметры СВЧ магнетрона однозначно связаны с характеристикой генерируемой магнетроном СВЧ мощности, о ее величине можно судить по интенсивности оптического свечения возбуждаемой плазмы газового разряда [3]. Поэтому величина интенсивности оптического свечения плазмы является объективным показателем величины подводимой к разряду СВЧ мощности [1]. Формы одиночных импульсов огибающей сигнала свечения плазмы в камере СВЧ газоразрядного

модуля при разных величинах емкости конденсатора в удвоителе напряжения источника электропитания магнетрона представлены на рис. 3.

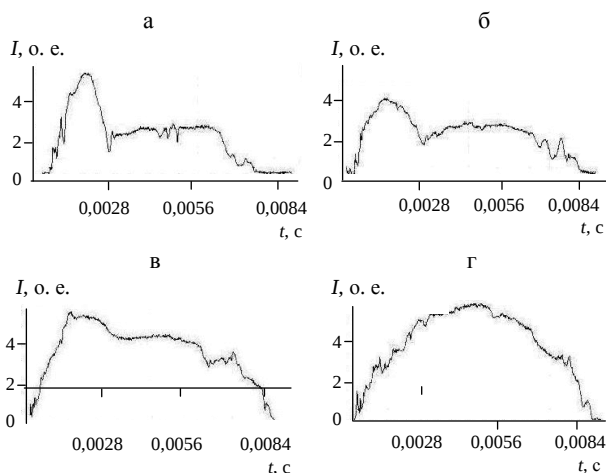


Рис. 3. Амплитуда и форма импульсов свечения плазмы в камере СВЧ плазмотрона при различных значениях величины емкости конденсатора в источнике питания: а – $C = 0,5$ мкФ; б – 1,0; в – 1,5; г – 2,0 мкФ

ВЫВОД

Проведенные эксперименты показали возможность регулирования величины мгновенной

выходной мощности СВЧ магнетрона в пределах $\pm 50\%$ от номинальной посредством изменения величины емкости конденсатора в устройстве удвоения напряжения высоковольтного источника питания. Это дает возможность обеспечить регулирование величины генерируемой мощности без существенного изменения массогабаритных и схмотехнических характеристик источника питания СВЧ магнетрона, используя при этом серийно выпускаемые конденсаторы и высоковольтные трансформаторы, разработанные специально для применения в конструкциях источников питания магнетронов непрерывного режима генерации среднего уровня мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бордусов, С. В. Плазменные СВЧ технологии в производстве изделий электронной техники / С. В. Бордусов; под ред. А. П. Достанко. – Минск: Бестпринт, 2002. – 452 с.
2. Пюшнер, Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот / Г. Пюшнер. – М.: Энергия, 1968. – 312 с.
3. Диденко, А. Н. СВЧ-энергетика / А. Н. Диденко, Б. В. Зверев. – М.: Наука, 2000. – 264 с.

Поступила 26.03.2010

УДК 519.711.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ВЕРОЯТНОСТИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ СОБЫТИЙ НА ОБЪЕКТАХ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Канд. техн. наук ШЕСТОПАЛОВА О. Е., магистр ВОРОНИН А. Н.,
канд. техн. наук, доц. ЛИПСКИЙ В. К., студ. ЦАРИК Ф. М.,
докт. техн. наук, доц. СЕРЕНКОВ П. С.

Полоцкий государственный университет,
Белорусский национальный технический университет

Одним из показателей качества услуги по транспортированию энергоносителей магистральным трубопроводным транспортом (МТТ) является безопасность и надежность его

функционирования. Безопасность можно рассматривать как отсутствие опасности, т. е. состояние защищенности жизни, здоровья и наследственности человека, имущества и окру-