

Возбуждение колебаний в магнетронах с вторично-эмиссионным катодом с помощью внешнего СВЧ-сигнала

А. В. Соин

*Радиоастрономический институт НАН Украины,
Украина, 61002, г. Харьков, ул. Краснознаменная, 4*

Статья поступила в редакцию 13 декабря 2002 г.

В статье приводятся результаты экспериментов по возбуждению электромагнитных колебаний в магнетронах с холодным вторично-эмиссионным катодом с помощью внешнего СВЧ-сигнала. Исследованы условия возбуждения колебаний в магнетронах 8-мм диапазона длин волн с выходной мощностью порядка 30 кВт в зависимости от параметров возбуждающего сигнала. Показано, что возбуждение колебаний возможно при уровнях мощности внешнего сигнала порядка 500 Вт.

У статті наводяться результати експериментів по збудженню електромагнітних коливань у магнетронах з холодним вторинно-емісійним катодом за допомогою зовнішнього НВЧ-сигналу. Досліджено умови збудження коливань у магнетронах 8-мм діапазону довжин хвиль із вихідною потужністю порядку 30 кВт у залежності від параметрів збуджуючого сигналу. Показано, що збудження коливань можливе при рівнях потужності зовнішнього сигналу близько 500 Вт у імпульсі.

1. Введение

Воздействие внешнего СВЧ-сигнала на магнетрон осуществляется в основном с целью синхронизации его выходных колебаний [1-3]. Вместе с тем с помощью такого воздействия можно обеспечить самовозбуждение колебаний в магнетронах с холодным вторично-эмиссионным катодом [4, 5]. Такой способ возбуждения может позволить избавиться от вспомогательного термокатода в указанных магнетронах. Традиционная конструкция таких магнетронов приведена на рис. 1. Она включает в себя следующие три основные компоненты: анодный блок, вторично-эмиссионный (холодный) катод, вспомогательный термокатод. Возбуждение магнетрона происходит следующим образом. С помощью термокатода создается первоначальное электрон-

ное облако, которое сосредоточено вблизи катода. В электронном облаке за счет рассеяния электронов на флуктуациях пространственного заряда происходит ускорение элек-

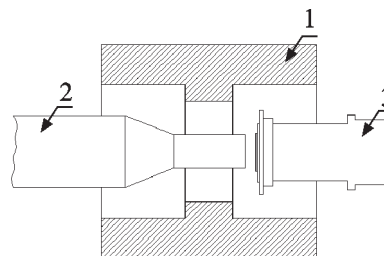


Рис. 1. Схематическое изображение магнетрона с вторично-эмиссионным катодом:
1 – анодный блок; 2 – вторично-эмиссионный (холодный) катод; 3 – накальный катод

тронов. Ускоренные электроны, ударяясь о катод, вызывают вторичную электронную эмиссию. Начиная с определенного момента происходит лавинообразное увеличение анодного тока магнетрона, что ведет к самовозбуждению СВЧ-колебаний в магнетроне. СВЧ-колебания, в свою очередь, ускоряют некоторую часть электронов, бомбардирующих катод, что приводит к производству дополнительных вторичных электронов. Насыщение анодного тока происходит за счет влияния поля пространственного заряда, создаваемого электронным облаком, формируемым вблизи катода [6]. Основным недостатком такой конструкции магнетрона связан с применением термокатада, поскольку термокатоды обладают относительно малым сроком службы, испарения материалов термокатада приводят к отравлению вторично-эмиссионного катода и анода, технология изготовления термокатодов является достаточно сложной.

Эксперименты показывают, что именно долговечность вспомогательного катода в основном определяет срок службы всего магнетрона. В силу этого отказ от применения вспомогательного катода может существенным образом улучшить эксплуатационные характеристики магнетронов.

Возможность отказа от применения термокатада за счет использования внешнего СВЧ-воздействия на магнетрон, работающий в миллиметровом диапазоне, исследовалась еще в конце 60-х – начале 70-х годов, и результаты исследований опубликованы в работе [4]. Эксперименты были проведены на базе магнетрона специальной конструкции с двумя выводами энергии. В дальнейшем эти разработки не получили своего развития.

Целью настоящей работы является проведение исследований такого способа возбуждения колебаний в магнетронах с холодным катодом стандартной конструкции с одним выводом энергии и определение основных факторов, влияющих на эффективность этого способа возбуждения колебаний. В отличие от [4] в эксперименте использовались пакетированные магнетроны с холодным катодом, предназначенные для применения в реальных системах.

2. Описание экспериментальной установки

Для проведения экспериментальных исследований была собрана установка, представленная на рис. 2. В качестве возбуждаемого генератора 6 использовался производимый в РИ НАНУ магнетрон с холодным вторично-эмиссионным катодом 8-мм диапазона длин волн с выходной мощностью примерно 25 кВт. Анодное напряжение и импульсный ток магнетрона составляют примерно 15 кВ и 10 А. В качестве источника запускающего СВЧ-сигнала применялся промышленный перестраиваемый по частоте магнетрон. Импульсное анодное напряжение на магнетроны подавалось из двух модуляторов 5 и 11, которые запускались от генератора звуковой частоты 12 с задержкой импульсов одного канала относительно другого, что давало возможность запускать магнетрон 6 на разных зонах импульса (на переднем фронте, на заднем фронте либо на плато импульса). Длительность запускающего импульса составляла во всех случаях 0.2 мкс, частота повторений импульсов – 5 кГц. Такая достаточно высокая частота повторений была выб-

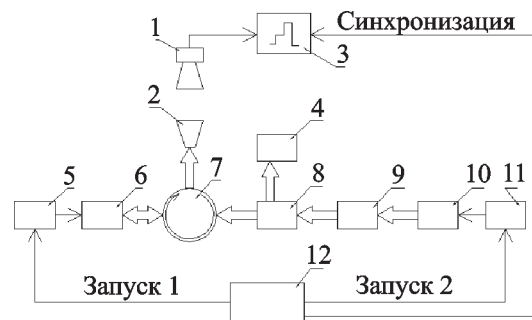


Рис. 2. Схема установки по исследованию возбуждения магнетронов с помощью внешнего СВЧ-воздействия:

1 – волномер с детекторной головкой; 2 – рупор; 3 – осциллограф; 4 – измеритель мощности Я2М-66 с головкой “Магот”; 5 – модулятор 1; 6 – запускаемый магнетрон; 7 – циркулятор; 8 – направленный ответвитель; 9 – аттенуатор; 10 – запускающий магнетрон (перестраиваемый); 11 – модулятор 2; 12 – генератор запускающих импульсов с переменной задержкой сигнала

рана главным образом для того, чтобы свести к минимуму погрешность при измерении мощности запускающего импульса.

Для определения минимальной мощности, необходимой для запуска магнетрона, применялся аттенюатор 9, а для ее измерения – направленный ответвитель 8 с коэффициентом ответвления 10 дБ и измеритель мощности 4 типа Я2М-66. Для невзаимности запуска в ВЧ-тракт был введен циркулятор 7, через который отраженный из магнетрона 6 запускающий импульс и ВЧ импульс запускаемого магнетрона поступали на волномер 1. Огибающая СВЧ импульсов контролировалась с помощью осциллографа 3.

3. Экспериментальные данные

На рис. 3 приведены графики зависимости длительности импульса возбужденных колебаний в запускаемом магнетроне от мощности подводимого сигнала при различных частотах внешнего воздействия. Из них видно, что при $P > P_{пр} = 1250$ Вт длительность импульса (а следовательно, и время установления колебаний) запускаемого магнетрона изменяется незначительно. Посредством варьирования времени задержки между входным сигналом и подачей импульса анодного напряжения на

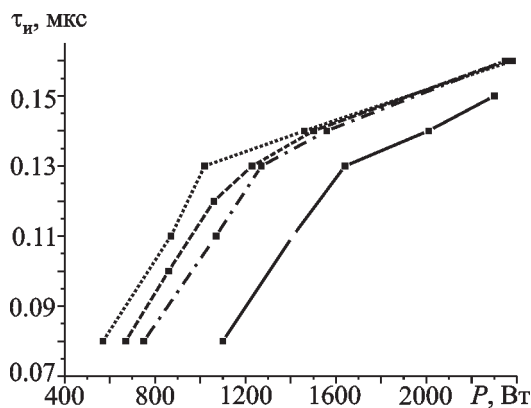


Рис. 3. Зависимости длительности выходных импульсов от подводимой мощности для разных частот запускающего сигнала F :

—■— $F35.472$; - - ■ - - $F35.501$;
 ■ $F35.538$; - - - ■ - - - $F35.595$

запускаемый магнетрон было получено подтверждение предположения о том, что необходимость в запускающем сигнале после установления колебаний в магнетроне исчезает. При небольшой доработке магнетрона за счет введения т. н. “гасящего” электрода он сможет работать в режиме безмодуляторного питания.

В ходе экспериментов было замечено, что при внешнем запуске магнетрон вначале генерирует на частоте запускающего импульса и лишь через некоторое время (менее 0.01 мкс) перестраивается на собственную частоту генерации, что согласуется с результатами, приведенными в работе [3].

На рис. 4 показан график зависимости минимальной мощности $P_{мин}$, необходимой для запуска, от частоты запускающего сигнала. Собственная частота генерации запускаемого магнетрона в этом случае изменялась в пределах от 35.615 до 35.938 ГГц при изменении анодного напряжения от 15 до 17 кВ, а резонансная частота “холодной” колебательной системы равнялась 35.46 ГГц. Некоторое смещение частоты “горячего” прибора вызвано как изменением геометрических размеров анодного блока в результате его термического расширения, так и электронным смещением частоты. Для данных, приведенных на рис. 4, частота генерации равнялась 35.925 ГГц. Вид-

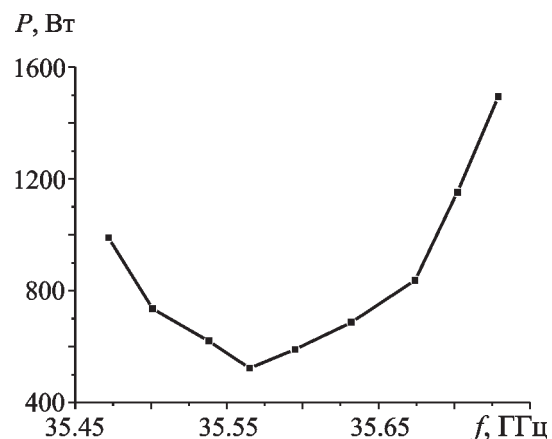


Рис. 4. График зависимости минимальной мощности $P_{мин}$ необходимой для запуска, от частоты запускающего сигнала

но, что существует оптимальная частота внешнего воздействия, равная 35.56 ГГц, при которой достигается минимальное значение мощности внешнего СВЧ-сигнала, достаточное для возбуждения колебаний в магнетроне. Это значение составляет примерно 500 Вт.

Заключение

Результаты проведенных исследований показывают, что стандартные магнетроны с холодным катодом могут возбуждаться с помощью внешнего СВЧ-сигнала, мощность которого примерно на два порядка меньше мощности выходных колебаний. Существует возможность дальнейшего снижения требуемой для возбуждения колебаний мощности за счет оптимизации конструкции колебательной системы магнетрона. Например, за счет увеличения добротности системы, а также уменьшения размера анодного блока, что приведет к возрастанию напряженности электрического поля в пространстве взаимодействия и, как следствие, к увеличению энергии электронов, бомбардирующих катод.

Литература

1. H. L. Thal, R. G. Lock. IEEE Transactions on microwave theory and techniques. 1965, **13**, No. 6, pp. 836-846.
2. J. Rodney M. Vaughan. The microwave journal. 1968, No. 11, pp. 45-47.
3. Дейвид. Фазирование высокочастотными сигналами. Электронные сверхвысокочастотные приборы со скрещенными полями. Т. 2. Москва, ИЛ, 1961, с. 327-348.
4. И. М. Вигдорчик, В. А. Мяндр, В. Д. Науменко. Труды ИРЭ АН УССР. Харьков, 1970, **18**, с. 33-44.
5. Пат. 284231, И. Фельдштейн (США), 1955 г.
6. Д. М. Ваврив, С. В. Сосницкий. Радиофизика и радиоастрономия. 2001, **6**, №1, с. 131-141.

Excitation of Microwave Oscillation in Magnetron with Cold Secondary-Emission Cathode by Injecting a Microwave Signal

A. V. Soin

This paper presents the results of experimental research of excitation of microwave oscillation in magnetrons with a cold secondary-emission cathode by injecting a microwave signal. The 8-mm wavelength magnetron with output power about 30 kW was under research. The excitation of the microwave oscillation depending on the parameters of an external microwave signal was examined. It is shown that excitation of the microwave oscillation has a place when external signal power is about 500 W.