

# МАГНЕТРОН

Авторы: Э. Д. Шлифер

---

МАГНЕТРОН (от *магнит* и *...трон*), генераторный электровакуумный СВЧ-прибор, в котором формирование электронного потока и его взаимодействие с электромагнитным полем СВЧ происходит в пространстве, где постоянные электрич. и магнитные поля взаимно перпендикулярны. Основу конструкции М. составляет цилиндрич. диод с внутр. электродом – катодом в однородном магнитостатич. поле, направленном вдоль его оси.

Термин «М.» введён амер. физиком А. Халлом, который в 1921 впервые опубликовал результаты теоретич. и эксперим. исследований работы М. в статич. режиме и предложил ряд конструкций прибора. Генерирование электромагнитных колебаний в дециметровом диапазоне (длина волны  $\lambda \approx 29$  см) открыл и запатентовал в 1924 чехосл. физик А. Жачек. В 1930-х гг. это направление получило дальнейшее развитие во многих странах. В 1936–37 рос. инженерами Н. Ф. Алексеевым и Д. Е. Маляровым под рук. М. А. *Бонч-Бруевича* разработан многорезонаторный М., что позволило многократно увеличить выходную мощность прибора (по сравнению с обычными однорезонаторными М.). В 1940–1970-х гг. разработано св. тысячи типов многорезонаторных М. (в осн. для радиолокации). На основе М. создан класс новых приборов для генерации и усиления СВЧ-колебаний (см. *Магнетронного типа прибор*).

В многорезонаторном М. (рис. 1) анодный блок представляет собой массивный медный цилиндр с центральным круглым сквозным отверстием и симметрично расположенными сквозными полостями, выполняющими роль *объёмных резонаторов*. Каждый резонатор соединён щелью с центр. отверстием, в котором соосно анодному блоку расположен полый катод. Магнитное поле создаётся внешними постоянными магнитами или электромагнитами. Связанные между собой резонаторы образуют

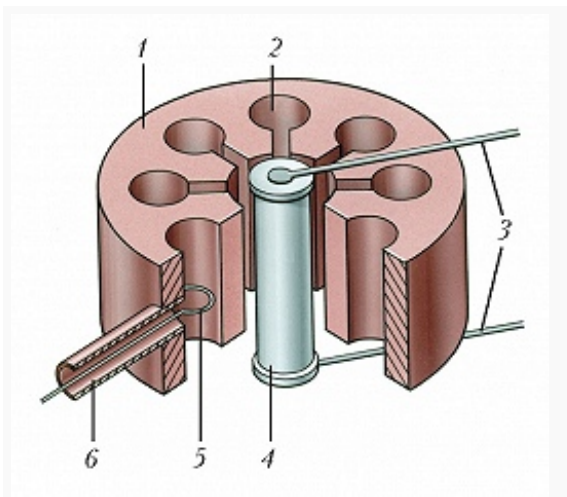


Рис. 1. Многорезонаторный магнетрон простейшей конструкции (основные узлы прибора): 1 – анодный блок; 2 – резонатор типа «щель – отверстие»; 3 – выводы подогревателя катода; 4 – катод; 5 – петля связи...

кольцевую замедляющую систему, называемую резонаторной системой (РС) магнетрона.

Являясь анодом, РС принимает поток электронов, в ней происходит взаимодействие электронов с электромагнитным полем. РС имеет неск. резонансных частот, при которых на замедляющей системе укладывается целое число стоячих волн от

1 до

$N/2$  (

$N$  – число резонаторов). На резонансной

частоте колебания в двух соседних резонаторах сдвинуты по фазе на

$\Delta\varphi$ :

$\Delta\varphi = 2\pi(n + pN)/N$ , где

$n = 0, 1, \dots, N/2; p = \pm 0, 1, 2, \dots$ . При

$n = N/2$  и

$p = 0$  фазовый сдвиг равен

$\pi$ . Соответствующий этому случаю вид колебаний (т. н.

$\pi$ -вид) обычно выбирают в качестве рабочего. РС в М. различают по форме

резонаторов – щелевые, типа «щель – отверстие», лопаточные, каплевидные и др., а

также по конструкции системы в целом – равнорезонаторные, равнорезонаторные со связками и разнорезонаторные. В равнорезонаторной системе

$\pi$ -вид и соседние виды колебаний имеют близкие резонансные частоты (разделение частот тем меньше, чем больше

$N$ ). Для обеспечения стабильной работы М. (во избежание перескоков на др. виды колебаний, сопровождающихся изменениями частоты и выходной мощности)

необходимо, чтобы ближайшая резонансная частота РС значительно отличалась от рабочей частоты (примерно на 10%). В М. необходимого разделения частот

добиваются введением двух кольцевых связок, соединяющих соответственно чётные и нечётные элементы равнорезонаторной системы, либо применением

разнорезонаторных систем, в которых чётные резонаторы имеют один размер, а

нечётные – другой. Для вывода СВЧ-энергии, как правило, используется петля связи, закреплённая в одном из резонаторов магнетрона.

Помимо осн. узлов – анодного блока, катода и выходного устройства, М. содержит дополнит. элементы, узлы и устройства, которые обеспечивают перестройку частоты в М., формирование требуемой структуры постоянных электрич. и магнитного полей, подавление нерабочих видов колебаний, охлаждение прибора и пр. Перестройка частоты М. (изменение частоты генерируемых колебаний) осуществляется: введением металлич. или диэлектрич. элементов, вызывающих изменение структуры СВЧ-поля РС и, соответственно, её резонансной частоты (механич. перестройка частоты); введением дополнит. электронных потоков или изменением параметров рабочего электронного потока (электронная перестройка частоты); введением в колебательную систему М. синхронизирующего СВЧ-сигнала (в т. н. синхронизированном М.); перестройкой резонаторов или отрезков линии передачи СВЧ, электродинамически связанных с РС.

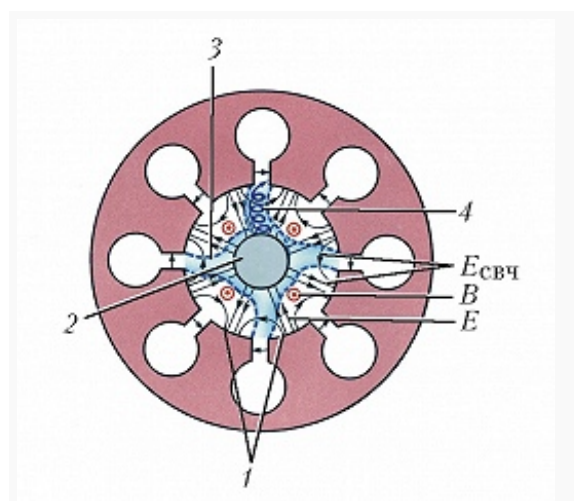


Рис. 2. Схематическое изображение пространства взаимодействия магнетрона при колебаниях  $\pi$ -вида: 1 – замедляющая система (анод); 2 – катод; 3 – граница электронного сгустка; 4 – траектория электронов (...)

В М. на электроны, движущиеся в пространстве между катодом и анодным блоком (т. н. пространство взаимодействия), действуют постоянное электрич. поле, постоянное магнитное поле и электрич. СВЧ-поле резонаторной системы (рис. 2). Перемещаясь от катода к аноду под действием постоянного электрич. поля, электроны приобретают радиальную скорость; при этом энергия источника анодного напряжения преобразуется в кинетич. энергию электронов. Постоянное магнитное поле, направленное по оси катода, изменяет направление движения электронов, т. е. электроны приобретают тангенциальную (азимутальную) скорость. При возбуждении РС на к.-л. из видов колебаний (напр., на  $\pi$ -виде) электрич. СВЧ-поле, проникающее

через щели резонаторов в промежуток анод – катод с определённой пространств. периодичностью, либо тормозит электроны в азимутальном направлении (если тангенциальные составляющие электрич. СВЧ-поля и скорости электронов совпадают по направлению), либо дополнительно ускоряет их (в противоположном случае). Замедленные электроны отдают СВЧ-полю свою энергию и поддерживают колебания в резонаторах. Для непрерывного торможения необходимо, чтобы электроны перемещались по азимуту между двумя соседними резонаторами за время, равное полпериоду СВЧ-колебаний, т. е. средняя скорость вращения электронов вокруг катода совпадала с фазовой скоростью электромагнитной волны (условие синхронизма электронов и волн). Электроны, попадающие в ускоряющее поле СВЧ, увеличивают свою кинетич. энергию и отходят от РС. Часть из них возвращается на катод, вызывая вторичную эмиссию; электроны, попадающие в радиальное электрич. поле волны, либо ускоряются в азимутальном направлении, либо тормозятся, группируясь около электронов, находящихся в тормозящем поле. Т. о., в М. в условиях синхронизма формируются сгустки пространств. заряда (т. н. спицы), следующие за тормозящей фазой СВЧ-поля и отдающие ему свою энергию. Длительное (в течение нескольких периодов) взаимодействие электронов с ВЧ-полем и фазовая фокусировка электронов в М. обеспечивают высокий кпд прибора (до 80–90%) и возможность получения больших мощностей – от нескольких Вт до десятков кВт в непрерывном режиме и от сотен Вт до десятков МВт и более в импульсном режиме при длительности импульсов от долей до десятков мкс. М. широко применяются в радиотехнич. системах разл. назначения (в радиолокации и навигации, радиоастрономии, метеорологии, связи), в пром. и науч. СВЧ-установках, в бытовых СВЧ-печах, в медицинской и др. аппаратуре.

## Литература

Лит.: Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. 2-е изд. М., 1972. Т. 2; Вайнштейн Л. А., Солнцев В. А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М., 1973; Электронные приборы СВЧ. М., 1985.