

поперёк скрещенных статических электрич. E_0 и магн. H_0 полей ($E_0 \perp H_0$), образуя замкнутый поток вокруг катода.

Анод многорезонаторного М. — массивный полый цилиндр, во внутр. части к-рого вырезаны объёмные резонаторы со щелями, выходящими на поверхность (рис. 1). Последовательность резонаторов образует периодич. структуру на поверхности анода и обуславливает азимутальное замедление вращающихся эл.-магн. волн, для к-рых всё пространство М. является единым высокодобротным объёмным резонатором. Энер-

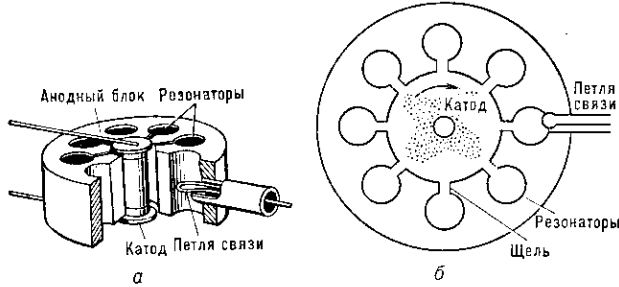


Рис. 1. Схематическое изображение многорезонаторного магнетрона: а — общий вид; б — сечение плоскостью, перпендикулярной H_0 .

гообмен электронного потока с эл.-магн. полями в М. обусловлен их непрерывным взаимодействием в условиях синхронизма ср. скорости электронов с фазовой скоростью одной из мод единого резонатора (рабочей модой, см. ниже).

Формирование и свойства электронного потока. В предгенерац. период в невозмущённом СВЧ-полями потоке азимутальное и радиальное перемещения электронов, в соотв. с интегралами угл. момента и энергии, характеризуются скоростями

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\omega_c}{2} \left(1 - \frac{r_K^2}{r^2}\right); \quad \frac{dr}{dt} = \sqrt{2 \frac{e}{m} \varphi(r) - \left(r \frac{d\theta}{dt}\right)^2}, \quad (*)$$

где r, θ — полярные координаты, t — время, e, m — заряд и масса электрона, $\omega_c = \frac{eH_0}{mc}$ — циклотронная частота, r_K — радиус катода, $\varphi(r)$ — потенциал электростатич. поля E_0 (на катоде $\varphi=0$, на аноде $\varphi=U>0$). При заданном анодном напряжении U и малых H_0 электроны попадают на анод. С ростом H_0 , как видно из (*), увеличивается доля энергии в азимутальном движении, а радиальная скорость уменьшается. При нек-ром критич. $H_0 = H_{кр}$ (U задано) или при $U = U_{кр}$ (H_0 задано)

$$U_{кр} = \frac{e}{8mc^2} r_a^2 H_0^2 \left(1 - \frac{r_K^2}{r_a^2}\right)^2$$

траектории электронов только касаются поверхности анода, $r=r_a$. При $U < U_{кр}$ (или при $H_0 > H_{кр}$) происходит т. н. отсечка анодного тока — вершины траекторий оказываются на нек-ром расстоянии от анода (магн. изоляция диода). С уменьшением U (с ростом H_0) поток всё ближе примыкает к катоду, тем самым происходит углубление магнитной и зодляции диода. В пренебрежении собств. полями электронного облака движение отдельных частиц представляет собой суперпозицию вращения с частотой ω_c и дрейфа в скрещенных полях, траектории — эпициклоиды. При интенсивной электронной эмиссии и значит. объёмном заряде в потоке движение частиц несложно трансформируется.

В условиях магн. изоляции диода поток электронов, замыкающийся вокруг катода, образует электронный резонатор с дискретным спектром собств. колебаний типа вращающихся волн с частотами $\omega_e \approx 2\pi n/t_e$, где t_e — ср. время дрейфа вокруг катода, n — целое число. Под действием разл. флуктуаций

(дробовой шум и др.) в электронном потоке развиваются шумовые колебания, в спектре к-рых в окрестности ω_e обнаруживаются максимумы интенсивности. Полная энергия шумовых колебаний в предгенерац. периоде $\leq 10\%$ от энергии потока. Столь высокий уровень шумовых колебаний может быть связан с развитием разл. волновых неустойчивостей, в т. ч. диокотронной, обусловленной наличием радиального градиента угловой скорости электронов.

Электродинамическая система магнетрона. Для возбуждения генерации необходим синхронизм ср. азимутальной скорости электронов и фазовой скорости возбуждаемых ими волн. Существуют различные периодич. системы замедления вращающихся волн у резонансных типов колебаний М.: цепочки связанных резонаторов (рис. 1), гребенчатые структуры и др. (см. *Замедляющая система*). Но независимо от конкретного типа резонансной структуры анода её ось. ф-ция состоит в создании СВЧ-полей заданной частоты и конфигурации, способных взаимодействовать с электронным потоком.

Система N резонаторов М. имеет N основных видов колебаний, определяемых сдвигом фаз колебаний $\varphi_n = 2\pi n/N$ внутри соседних элементов структуры (n — целое число). При чётном N невырожденными являются колебания с $n=0$ (синфазные) и с $n=N/2$ (π -вид, противофазные). В этом случае образуются стоячие волны поля. Для остальных n поля имеют вид волн, бегущих по внутр. поверхности анода, а сами колебания являются двукратно вырожденными (одинаковой собств. частотой обладают, напр., колебания с $n=N/2 \pm 1$). Для простейших анодов зависимость длины волны колебаний λ от n имеет вид

$$\lambda_n = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 + \kappa [1 - \cos(2\pi n/N)]}},$$

где коэф. κ определяется степенью связи элементов структуры, напр. близостью катода к аноду в масштабе периода структуры, λ_0 — длина волны резонансных колебаний отд. резонаторов структуры.

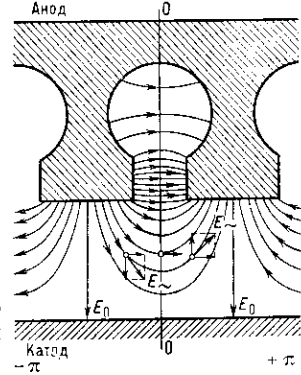


Рис. 2. Структура электрического поля основной моды замедленной волны (колебания π -вида).

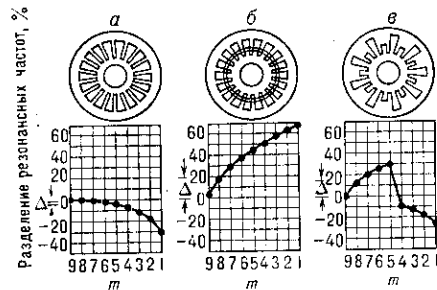


Рис. 3. Виды резонаторных систем магнетрона (а — равнорезонаторная без связей, б — со связями, в — неравнорезонаторная) и графики разделения их резонансных частот $\Delta = (\omega_\pi - \omega_m) / \omega_\pi$, где ω_π — частота колебаний для π -вида, ω_m — частота, соответствующая m -му колебанию. В 18-резонаторном магнетроне $n=9$ является колебанием π -вида.

Самым высокочастотным является π -вид, к-рый обычно используется в качестве рабочего колебания (рис. 2). При больших N соседние колебания имеют