

выми скоростями. Под влиянием тормозящего поля он перемещается (сначала медленно, потом всё быстрее) к нулю поля, отставая от волны. Пока сгусток остаётся в тормозящем поле, он отдаёт энергию волне, а в том сечении лампы, где сгусток переходит в ускоряющее поле, мощность волны достигает максимума, определяющего кпд ЛБВ. Если же разность $v_e - v_\phi$ достаточно велика и соответствует правому краю зоны усиления, то в первоначально образующийся сгусток приходит много электронов из ускоряющей фазы поля, имеющих повышенную скорость, и поэтому сгусток быстро разваливается на два. Оба этих сгустка находятся сначала в тормозящем поле и отдают энергию волне. Затем, постепенно отставая от волны, один из них переходит в ускоряющее поле и начинает забирать энергию у волны; в том сечении лампы, где энергия, забираемая этим сгустком, равна энергии, отдаваемой другим сгустком, получается макс. мощность усиливаемой волны. Нелинейные явления определяют ряд важных характеристик ЛБВ средней и большой мощности: кпд, выходную мощность, нелинейные искажения сигнала и др.

Характеристики ЛБВ типа О. Наибольшие полосы усиливаемых частот — до 2,5 октав — достигаются в ЛБВ с замедляющей системой в виде металлич. спирали, закреплённой диэлектрич. озорами, к-рые, однако, ухудшают тепловод от спирали, ограничивая выходную мощность сотнями Вт в непрерывном режиме работы. В ЛБВ с замедляющими системами типа цепочек связанных резонаторов полосы усиливаемых частот меньше (~10%), но зато выходные мощности достигают десятков кВт в непрерывном и единиц МВт в импульсном режиме работы. Типичные значения кпд ~20–30%, для его увеличения снижают потенциал коллектора с целью торможения электронов и возврата части их энергии источнику (рекуперация); используют также уменьшение фазовой скорости волны к концу замедляющей системы для обеспечения синхронизма с тормозящимися электронами, скачки фазы поля вдоль системы и др. приёмы. Коэф. усиления составляет $G = 20 \lg(A_{\text{вых}}/A_{\text{вх}}) = 30-60$ дБ ($A_{\text{вых}}$, $A_{\text{вх}}$ — амплитуда сигнала на выходе и входе), причём для предотвращения самовозбуждения ЛБВ из-за отражений от концов замедляющей системы на одном или двух участках системы помещают поглотитель энергии СВЧ-колебаний. Маломощные ЛБВ с выходной мощностью менее 2 Вт используют в качестве маломощных входных усилителей с коэф. шума $\approx 4-20$ дБ.

Лит.: Лебедев И. В., Техника и приборы СВЧ, 2 изд., т. 2, М., 1977; Кукарин С. В., Электронные СВЧ приборы, 2 изд., М., 1981; Вайнштейн Л. А., Солнцева В. А., Лекции по сверхвысокочастотной электронике, М., 1973; Цейтлин М. Б., Фурсаев М. А., Бедкий О. В., Сверхвысокочастотные усилители со скрещенными полями, М., 1978.

В. А. Солнцева.

ЛАМПА ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ (ЛОВ) — генератор эл.-магн. колебаний СВЧ-диапазона, принцип действия к-рого основан на преобразовании энергии электронных пучков в энергию СВЧ-излучения в результате длительного синхронного взаимодействия этих пучков с обратными волнами. ЛОВ во мн. отношениях аналогична лампе бегущей волны (ЛБВ) — как по формированию электронных пучков, так и по сходности процессов их самосогласованного взаимодействия с СВЧ-полями. Почти каждому варианту ЛБВ можно поставить в соответствие аналогичный вариант ЛОВ.

Схематич. изображение одной из ЛОВ приведено на рис. 1. Статич. электр. поле в электронной пушке 1 ускоряет пучок электронов 2, движущихся прямолинейно. Часть кинетич. энергии электронов отдаётся в пространстве взаимодействия обратной эл.-магн. волне, фазовая скорость v_ϕ к-рой близка поступат. скорости электронов v_e :

$$v_\phi \approx v_e < c, \quad (1)$$

а групповая скорость $v_{гp}$ имеет противоположное направление ($v_{гp} \uparrow, v_e \approx v_\phi$). Остаточная энергия пучка рассеивается на коллекторе 5.

Условие фазового синхронизма (1) обеспечивает длительное, по сравнению с периодом колебаний $T = 1/f$ (f — частота), синфазное взаимодействие электронов с волной, если она имеет отличную от нуля продольную компоненту электр. поля ($E v_e \neq 0$). Волна с такой структурой поля формируется с помощью замедляющей системы 3 (рис. 1), в качестве к-рой часто используются волноводы с периодически изменяющимися параметрами. Подбором пространственного периода d волновода достигается фазовый синхронизм (1) электронов с одной из гармоник обратной волны, вклад других несинхронных гармоник оказывается незначительным.

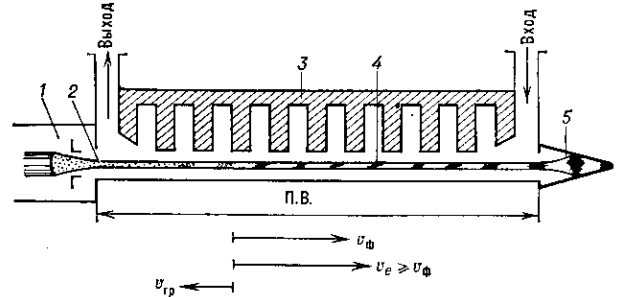


Рис. 1. Условная схема лампы обратной волны типа «О»: 1 — электронная пушка; 2 — электронный пучок; 3 — замедляющая система; 4 — сгусток электронов; 5 — коллектор; П. В. — пространство взаимодействия.

Взаимодействие электронов с волной в ЛОВ можно рассмотреть на примере замедляющей системы в форме зигзагообразного волновода (рис. 2). В секциях А, В, С, D, F электр. поле направлено вдоль движения электронов, следовательно, условие $E v_e \neq 0$ выполнено. Если в секции А какая-то группа электронов попала в тормозящую фазу поля волны, бегущей по волноводу справа налево, то подбором периода d и длины зигзага волновода можно добиться того, чтобы при подлёте этой же группы электронов к след. секции В поле волны опять оказалось тормозящим, и так для всех последующих секций. В результате первоначально стационарный и однородный пучок модулируется по скорости — электроны, попавшие в ускоряющую фазу поля, увеличивают свою скорость, а в тормозящую фазу — уменьшают.

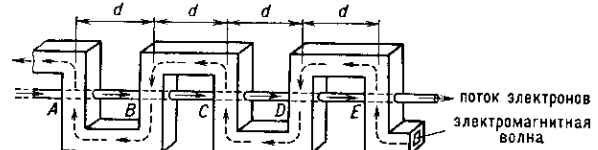


Рис. 2. Замедляющая система в виде зигзагообразного волновода.

В дальнейшем из-за неравномерного взаимного смещения частицы собираются в периодич. последовательность сгустков 4 (рис. 1), т. е. в пучке возникает ВЧ-ток. Это явление наз. группировкой или фазировкой частиц. Наведённый ВЧ-ток электронов возбуждает (излучает) ВЧ-поле, к-рое, складываясь с первонач. волной, приводит к её усилению. Чтобы сгруппиров. пучок излучал, а не поглощал эл.-магн. волны, нач. скорость электронов v_e должна слегка превышать фазовую $v_\phi \geq v_\phi$. По существу эти два взаимосвязанных процесса — частный случай т. н. индуцированного излучения, составляющего основу большинства генераторов и усилителей с распределёнными параметрами (как классических, так и квантовых — лазеров).

Элементарным излучателем в ЛОВ, изображённой на рис. 1, является одиночный электрон (или сгусток электронов), движущийся равномерно вдоль оси со ско-