

вится возбуждённым полем и отдаёт ему часть своей энергии, к-рая отводится фидером  $\Phi_2$  в согласованную нагрузку. Подбором уровня связи с фидером  $\Phi_2$  и настройкой резонатора  $R_{\text{вых}}$  можно довести величину отводимой ВЧ-мощности до максимально возможной, определяемой степенью группировки пучка и энергией его частиц на выходе из пушки. Неиспользованная энергия электронов пучка выделяется в виде тепла на коллекторе (Кол.). Т. о., в К. часть кинетич. энергии электронов пучка трансформируется в энергию ВЧ-поля, отводимую в нагрузку.

**Характеристики пролётного К.** Выходная мощность К.-усилителя ограничена мощностью пучка, равной произведению тока пучка  $I$  на ускоряющее напряжение  $U_a$  пушки. Увеличению  $U_a$  препятствуют и трудности группирования электронов. Они становятся особенно значительными при тех энергиях электронов, когда начинают сказываться релятивистские эффекты, т. к. при этом быстро растёт необходимая длина дрейфового промежутка. Ограничения на ток  $I$  связаны с влиянием пространств. заряда: продольное расплывание сгустков из-за кулоновских сил затрудняет группирование электронов, рост поперечных сил расталкивания электронов приводит к необходимости использования сильного продольного магн. поля для фокусировки. В самых мощных К.  $U_a=300$  кВ,  $I=300$  А. При работе в импульсном режиме мощность на выходе К. достигает десятков МВт, а в непрерывном режиме не превышает сотен кВт, что связано с трудностью отвода тепла с коллектора.

Электронный кпд К. равен отношению ВЧ-мощности, отводимой в нагрузку, к мощности, отбираемой пучком у источника пост. напряжения. При правильной настройке выходного резонатора он определяется качеством группирования пучка в плоскости его зазора. Количеств. характеристикой степени группирования служит отношение амплитуды первой (рабочей) гармоники тока  $I_1$  (в его разложении в ряд Фурье) к ср. току пучка  $I$ . При идеальном группировании в точечные сгустки это отношение для всех гармоник равно 2. Теоретич. анализ движения электронов в группирователе показывает, что в идеальном случае для двухрезонаторного К. относит. амплитуда первой гармоники  $I_1=1,16$ , для трёхрезонаторного  $I_1=1,48$  и т. д. Т. к. амплитуды гармоник с ростом их номера спадают медленно, то возможна эфф. работа К. в качестве умножителя частоты. Если разбор электронов по энергиям в сгустках, определяемый отношением ВЧ-напряжения в зазорах резонаторов группирователя к ускоряющему напряжению пушки, невелик (в реальных конструкциях К. это всегда имеет место), то электронный кпд можно считать равным  $1/2$  относит. амплитуды гармоник тока. Для двухрезонаторного К. электронный кпд может достигать 58%, для трёхрезонаторного — 74%, однако за счёт неизбежных дополнит. потерь полный кпд мощных многорезонаторных К. обычно ~ 40%.

Коэф. усиления К. равен отношению мощности, отводимой в нагрузку, к мощности сигнала, поступающего во входной резонатор. Он достигает 60 дБ ( $10^6$  раз). Это обусловлено почти полным отсутствием во входном резонаторе затрат мощности сигнала на модуляцию электронов по скорости: однородно заряженный пучок половину периода потребляет мощность, а половину периода отдаёт её полю. Поэтому достаточно высокий уровень напряжения на зазоре, требуемый для эфф. модуляции, может быть получен и при малой мощности входного сигнала за счёт высокой добротности резонатора, настройки в резонанс и подбора уровня связи с входным фидером, обеспечивающим отсутствие отражения мощности.

К. являются узкополосными приборами, что обусловлено высокой добротностью резонаторов группирователя. При необходимости расширения рабочей полосы частот промежуточные резонаторы расстраиваются

в обе стороны от осн. частоты в ущерб коэф. усиления и кпд. Тем не менее полоса усиливаемых частот К. обычно не превышает долей % от рабочей частоты, и это является осн. недостатком К. Многорезонаторные К.-усилители работают в диапазоне дециметровых и сантиметровых волн и находят широкое применение в выходных каскадах радиолокаторов, телевизионных передатчиков, системах дальней связи, питания линейных ускорителей.

**Отражательный К.** Иногда в двухрезонаторных пролётных К. часть мощности из выходного резонатора подаётся с соответствующим сдвигом фазы во входной, тогда К. работает как автогенератор. Для этой цели, однако, чаще применяется отражательный К. (рис. 3).

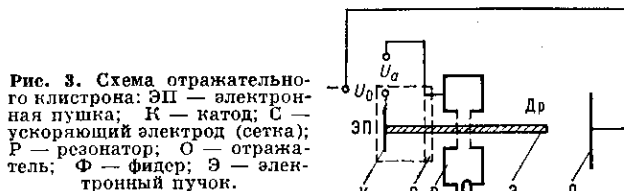


Рис. 3. Схема отражательного клистрона: ЭП — электронная пушка; К — катод; С — ускоряющий электрод (сетка); Р — резонатор; О — отражатель; Ф — фидер; Э — электронный пучок.

Электроны, эмитируемые с катода К, ускоряются пост. напряжением  $u_a$ , приложенным между катодом и сеткой С, и попадают в зазор резонатора Р, где под действием ВЧ-напряжения приобретают модуляцию по скорости. Дальнейшее движение электронов в дрейфовом пространстве, простирающемся до отражателя О, на к-рый подаётся отрицательный относительно катода потенциал  $u_0$ , происходит в пост. тормозящем поле. При уменьшении скорости электронов до 0 они начинают двигаться обратно в сторону резонатора, группируясь в сгустки. В отличие от пролётного К., группирование здесь происходит вокруг частиц, к-рые прошли зазор резонатора при нулевом поле в момент перехода его с ускоряющего в тормозящее. Электроны, пролетевшие зазор раньше этих частиц, испытали ускорение. Имея большую нач. скорость, они проходят в дрейфовом пространстве Др больший путь до остановки и обратный путь к резонатору совершают дольше. Электроны, вылетевшие из зазора позже, испытывают торможение, скорость их меньше, они проходят в дрейфовом пространстве меньший путь и тратят на это меньше время. Если образовавшиеся сгустки электронов пролетают зазор в обратном направлении при тормозящем ВЧ-поле, то пучок в среднем будет отдавать часть своей энергии полю, к-рая и отводится в нагрузку по фидеру Ф.

Поле в резонаторе выполняет одновременно неск. ф-ций: модулирует влетающий со стороны катода пучок электронов по скорости (не затрачивая на это энергии), тормозит осн. массу частиц сгруппированного пучка, возвращающегося от отражателя (отбирая энергию пучка), возбуждает с помощью петли связи волну в передающей линии (отводя ВЧ-мощность в нагрузку). Для выполнения фазовых соотношений, обеспечивающих генерацию, время пребывания центр. частиц сгустков в дрейфовом пространстве должно составлять  $3/4 T + pT$ , где  $p=0, 1, 2, \dots$ , а  $T$  — период колебаний. Это достигается подбором потенциала отражателя, разного для каждого  $p$ . Условие генерации при данном  $p$  выполняется в нек-ром интервале напряжений  $u_0$ , а каждому  $u_0$  соответствует своя частота генерации. Возможность такой электронной перестройки частоты, не требующей затраты энергии (электроны не попадают на отражатель), нашла применение на практике.

Поскольку резонатор выполняет неск. противоречивых ф-ций, получить хорошее группирование пучка в отражат. К. не удаётся, кпд его мал, но это не так существенно, т. к. осн. применение отражат. К. на-