

дуктивности и емкости (формула Томсона). Если лампа работает на некоторой частоте, обычно в ее сеточной и анодной цепях применяются контуры, настроенные на эту частоту. Но лампа имеет собственную емкость (между электродами) и собственную индуктивность (вводов). Ни меньше этой емкости, ни меньше этой индуктивности емкость и индуктивность контура сделаны быть не могут.

Итак, вот три проблемы — время пролета катод — сетка, время пролета сетка — анод, емкость/индуктивность лампы. Посмотрим, как решались эти проблемы.

### Обратим недостатки в достоинства

Начнем с самого простого. Из формулы для времени пролета электрона от катода до сетки следует, что уменьшить его можно только уменьшением зазора или увеличением напряжения (т.е. увеличением скорости). Уменьшать зазор можно, конечно, не беспредельно. Сделать его меньше 10 мкм очень трудно. Обратимся к напряжению или скорости электрона. Естественно предложение — сначала ускорить электрон и лишь затем подвергать «управлению». Это и сделано в клистроне. Сначала электрон ускоряется относительно высоким напряжением и лишь затем вводится в двухсеточный управляющий зазор.

Время пролета сетка — анод тоже обращено на пользу — именно в это время, как вы уже знаете, скоростная модуляция преобразуется в модуляцию по плотности.

Но что делать с емкостями и индуктивностями? Представим себе кон-

тур, настроенный на очень высокую частоту. Конденсатор в нем — две пластины, индуктивность — кусок провода (рис.4). У такого контура есть недостаток — он будет сильно излучать в окружающее пространство. Как с этим бороться? Известно как — экранированием. Прокрутим мысленно провод, соединяющий пластины конденсатора, вокруг вертикальной оси — получим нечто, похожее на тор («бублик»). Вместе с пластинами он образует то, что называется «объемный резонатор». Емкость у него по-прежнему связана с пластинами, а индуктивность — все остальное. Точнее было бы сказать — электрическое поле сосредоточено в зазоре, магнитное — в остальной части.

Конечно, такой резонатор настроить на сколь угодно высокую частоту нельзя. Но все-таки... И главное — как хорошо объемный резонатор сочетается с двухсеточным зазором! Надо только сделать зазор из двух сеток, либо на лампу с двухсеточным зазором надеть снаружи (можно уже вне вакуума) «индуктивную» часть резонатора — «бублик». Для невооруженного глаза он выглядит пустым изнутри. Но мы-то знаем — внутри у него магнитное поле.

Итак, вот он, первый ЭВП СВЧ: катод, (за которым электроны ускоряются), входной зазор, входной резонатор, пролетная труба, выходной зазор, выходной резонатор и, наконец, коллектор-электрод, на который придут уже не нужные нам электроны, отдавшие свою энергию в выходном зазоре (рис.5).

### Усилитель превращается в генератор

Выведем часть сигнала из выходного резонатора и вернем ее во входной. Если сдвиг фаз в самом клистроне и в цепи обратной связи такой, что часть выходного сигнала, возвращаясь на вход, совпадает по фазе со входным сигналом, усилитель может превратиться в генератор. Для этого еще надо, чтобы часть была не слишком маленькой — чтобы вернувшийся сигнал был больше исходного. Помните, что происходит на сцене, если усиление сигнала микрофона достаточно велико и на него попадает звук от динамиков? О фазе в этом случае заботится не приходится — генерация возбуждается на той час-

тоте, на которой сдвиг фаз во всей цепи составит  $2\pi$ .

Заметим, что «сигналом» является в некотором смысле и сам электронный поток, точнее — распространяющиеся в нем электронные сгустки. Что если заставить их возвращаться во входной резонатор? Пусть, например, вместо второго резонатора стоит «отражатель» — электрод, на который подано отрицательное напряжение. Сгусток подлетит к нему, развернется и полетит назад, к входному зазору. Проходя через входной зазор, такой сгусток вызовет появление электрического поля. Если фаза этого поля такова, что оно будет усиливать модуляцию электронного потока, прибор начнет генерировать. Изменением напряжения на отражателе можно управлять временем полета сгустка между первым и вторым проходами через резонатор. Чем отрицательное напряжение на отражателе больше, тем на большем расстоянии от себя он остановит сгусток и заставит вернуться его в зазор. Напротив, уменьшением напряжения можно добиться ситуации, когда сгусток вернется не в первый «удачный» момент, а во второй (аналогия с качелями). Впрочем, мощность сигнала, генерируемого прибором — его называют отражательным клистроном, — будет в этом случае меньше. У отражательного клистрона есть одно приятное свойство — частота генерируемых им колебаний меняется при изменении напряжения на отражателе. Естественно — он генерирует на той частоте, на которой выполняется условие совпадения фаз (помните микрофон и динамик на эстраде?). А время полета сгустка и фаза его прибытия зависят, как вы уже знаете, от напряжения на отражателе.

Отражательный клистрон был создан в 1940 году В.Ф.Коваленко и, независимо от него, Н.Д.Девятковым, Е.Н.Данильцевым, И.В.Пискуновым. В течение десятилетий он был основным типом генератора СВЧ-колебаний. Его главным преимуществом перед другими была возможность «электрической перестройки» — управлением частотой путем изменения напряжения. Позже полупроводниковые приборы составили отражательному клистроному весьма серьезную конкуренцию. Однако в диапазоне миллиметровых длин волн ЭВП по-прежнему «дают фору» полупроводникам.

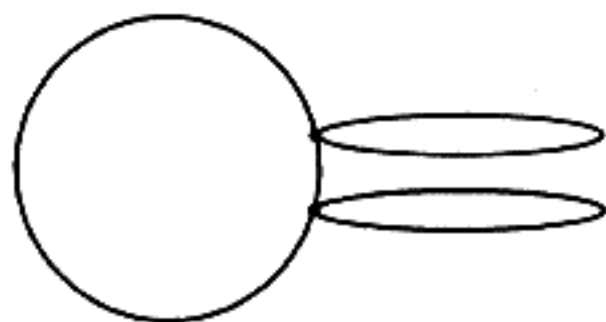


Рис.4. СВЧ-контур

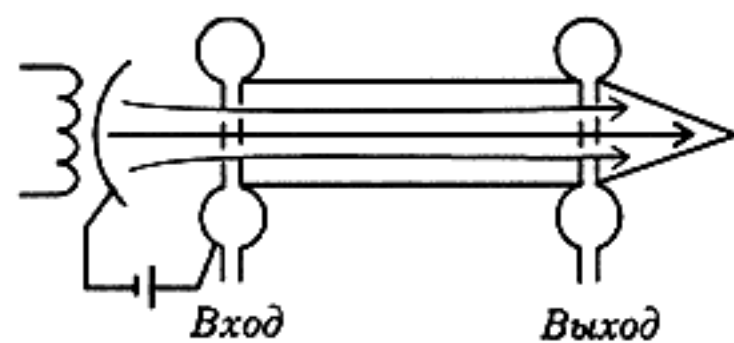


Рис.5. Пролетный клистрон