

гия, теряемая электронами, может заряжать аккумулятор или использоваться как-либо иначе. Теперь сделаем последний шаг — заменим источник сопротивления (см. рис. 1, справа). Обратите внимание на полярность напряжения, образующегося на сопротивлении в результате протекания по нему наведенного тока. Полярность такая, «как надо». Пучок будет тормозить сам себя, если сопротивление не равно нулю или бесконечности. Действительно, если полярность напряжения была бы иной, пучок сам собой бы ускорялся. Как тогда быть с законом сохранения энергии? А так все в порядке — энергия, потерянная пучком, поступает в нагрузку и, если это простое сопротивление, переходит в тепло. Конечно, можно поступить и умнее (и сейчас мы узнаем, как). Но сначала подведем кратко итог — с помощью двухсеточного зазора можно создать у электронного пучка модуляцию по скорости, затем она преобразуется в модуляцию по плотности, и с помощью двухсеточного же зазора у такого пучка можно отнять энергию. Это все вместе и есть пролетный клистрон.

### Зачем частотам быть сверхвысокими

Представьте себе, что надо передавать информацию с большой скоростью и в вашем распоряжении имеется передатчик, работающий на некоторой частоте  $f$ . С какой скоростью можно передавать информацию при наличии такого передатчика? Пусть мы можем управлять передаваемым сигналом, вырезая из него отдельные периоды колебаний (рис.3). Таким способом можно передавать информацию со скоростью  $f$  бит/с (1 бит — это один выбор из двух ситуаций: есть полуволна или нет; для передачи буквенного текста надо 5 бит на букву, с помощью 5 бит можно записать  $2^5 =$

$= 32$  символа). Конечно, существует много видов модуляции, и скорости передачи информации с их помощью различны. Но порядок величины будет таким, как мы получили. Оценим теперь, какой частоты сигнал надо иметь, чтобы передать 100 текстов со скоростью нормальной речи или одну телевизионную передачу.

При нормальной речи человек произносит около 20 букв в секунду, т.е. надо передавать порядка 100 бит/с, а для передачи 100 разговоров одновременно достаточно иметь передатчик на частоте 10 кГц. Реально к радиочастотам относят частоты больше 100 кГц (волны короче 3000 м), т.е. любой радиопередатчик при соответствующей модуляции с этой задачей справится. Совсем иная ситуация с телевидением. Изображение содержит около  $2 \cdot 10^5$  элементов. Положим, что нам достаточно 8 градаций яркости. Таким образом, для передачи одного элемента изображения надо иметь 3 бита, а для передачи всего изображения —  $6 \cdot 10^5$  бит. Чтобы глаз не замечал мелькания, изображение должно меняться не реже 20 раз в секунду. Итак,  $20 \cdot 6 \cdot 10^5$  бит/с  $\approx 10^7$  бит/с, а частота передатчика должна быть не менее  $10^7$  Гц = 10 МГц. Эта частота соответствует длине волны 30 м, т.е. середине коротковолнового диапазона. Реально частота должна быть выше, поэтому телевизионные передачи ведут на частотах метрового диапазона и на еще более коротких волнах. Для передачи информации со все большей и большей скоростью нужны все более и более высокие частоты. Кроме того, высокочастотные электромагнитные колебания используются в радиолокации, для питания ускорителей и для многих других целей, вплоть до готовки в СВЧ-печах.

А не могут ли решать все необходимые задачи обычные электронные лампы?

### Нельзя объять необъятное... с помощью обычной электронной лампы

Возьмем обычную электронную лампу, или, как ее называют, лампу с электростатическим управлением, и начнем понемногу увеличивать частоту сигнала, подаваемого на ее сетку. Как уже рассказывалось, когда время пролета электрона станет сравнимо с периодом переменного напряжения, электрон начнет часть времени пролета ускоряться, а часть... тоже ускоряться, но уже меньшим напряжением. Усиление на таких частотах оказывается меньше. При еще более высоких частотах часть периода электрон летит в тормозящем поле. Наконец, наступает ситуация, когда электрон вообще не будет чувствовать управляющее (сеточное) напряжение — за время его полета от катода до сетки успеет пройти период входного напряжения, а суммарное влияние двух полуциклов этого напряжения окажется равным нулю. На какой частоте это произойдет? Пусть напряжение на сетке 1 В, зазор сетка — катод 10 мкм. Тогда время пролета электрона от катода до сетки составит 0,35 нс (формулу  $t = d\sqrt{2m/(eU)}$ , где  $t$  — время полета,  $d$  — зазор,  $m$  и  $e$  — масса и заряд электрона, а  $U$  — напряжение, выведите сами), что соответствует частоте примерно 3 ГГц. Это и есть предельная частота, на которой можно заставить работать обычную лампу. Но проблема, связанная со временем пролета электрона от катода до сетки, не единственная.

Время пролета от сетки до анода тоже не равно нулю, и ничего хорошего это за собой не влечет. Поскольку напряжение на сетке изменяется, электроны влетают в зазор сетка — анод с разными скоростями. Такие электроны могут «перепутываться» — влетевшие позже, но с большими скоростями, могут обгонять влетевшие раньше, но с меньшими скоростями. Вам ничего не вспоминается? Это же преобразование скоростной модуляции в модуляцию по плотности! Но лампам прока от этого нет, а в импульсном режиме просто чистый вред — возникает искажение формы импульса.

Наконец, резонансная частота контура возрастает с уменьшением ин-

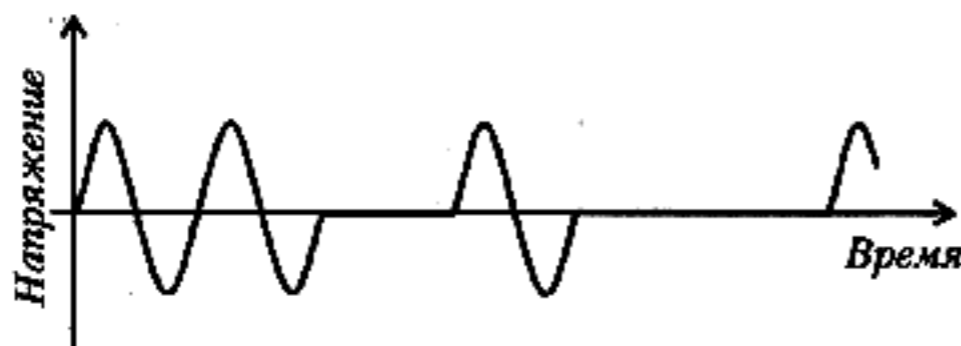


Рис.3. Передача информации с помощью модуляции (пример)