

прямую линию—*развертку* луча. На рис. 408 показана схема лампового генератора, создающего пилообразные импульсы напряжения. Здесь два триода, объединенных в одном баллоне, причем сетки их соединены. Существенно, что анодная цепь первого триода (*блокинг-генератора*) весьма сильно связана с сеточной цепью через трансформатор, имеющий для увеличения взаимной индукции железный сердечник. Колебания в сеточной цепи определяются появлением заряда на конденсаторе C_1 и стеканием этого заряда через сопротивление R_1 на землю; чем меньше постоянная времени этой цепи ($\tau = C_1 R_1$), тем быстрее разря-

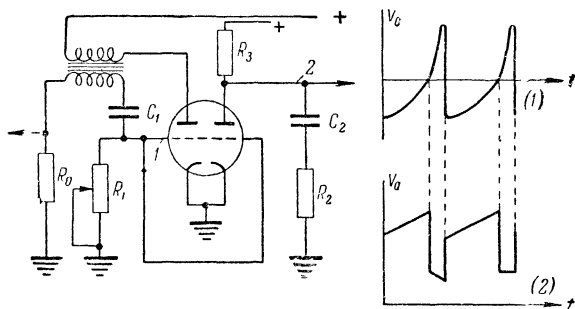


Рис. 408. Блокинг-генератор и генератор пилообразных импульсов напряжения.

жается конденсатор сетки C_1 . Если в начальный момент потенциал сетки был отрицателен и лампа блокинг-генератора (левый триод) была заперта, то, когда конденсатор C_1 разрядится, через лампу проходит быстро возрастающий ток; это быстрое возрастание тока обеспечивается тем, что при увеличении тока через трансформатор на сетку подается положительное напряжение (при включении обмоток трансформатора следует подобрать правильную полярность). Далее, существенно, что лампа блокинг-генератора работает в таком режиме, когда большому анодному току соответствует весьма большая утечка электронов через сетку; благодаря этому току сетки вслед за *положительным выбросом* (кривая 1 на рис. 408) напряжение на сетке снова становится отрицательным и лампа блокинг-генератора вновь оказывается запертой. Напряжение на аноде второго триода (кривая 2 на том же рисунке) резко и глубоко падает каждый раз, когда начинает проходить ток через лампу, так как в цепь анода включено большое сопротивление R_2 (порядка 0,5—2 *Мом*). Когда же лампа оказывается запертой, напряжение восстанавливается, возрастая приблизительно линейно, и с тем большей скоростью, чем меньше постоянная времени анодной цепи ($\tau = C_2 R_2$)¹⁾.

§ 93. Модуляция электрических колебаний

Рассмотрим, как происходит формирование радиосигналов. На передающей радиостанции мощный генератор колебаний возбуждает и поддерживает электрические колебания

¹⁾ Описанная схема (на двойных триодах 6Н8 или 6Н1П) применяется во многих наших телевизорах для формирования импульсов вертикальной (кадровой) развертки частотой 50 *гц*. Горизонтальные движения электронного луча в телевизионных трубках должны происходить с очень большой скоростью; импульсы, управляющие горизонтальной (строчной) разверткой, должны иметь значительную интенсивность; для их формирования схему рис. 408 дополняют лампой, увеличивающей амплитуду колебаний напряжения, и элементами цепей, улучшающими линейность.

высокой частоты в проводах антенны. При этом антенна излучает электромагнитные волны. Если на мгновение прервать работу генератора или отключить от него антенну, излучение волн прекращается. Продолжительность таких перерывов — в нашей воле. Этим и пользуются для формирования радиотелеграфных сигналов, причем устанавливают условную систему сигналов, состоящую, например, из комбинации коротких и продолжительных посылок электромагнитных волн (так, в частности, воспроизводятся точки и тире общеизвестной азбуки Морзе). В мощных радиотелеграфных передатчиках, работающих автоматически со скоростью до 300 слов в минуту, перерывы излучения высокочастотных колебаний производятся особыми электронными приборами («электронными мультипликаторами»).

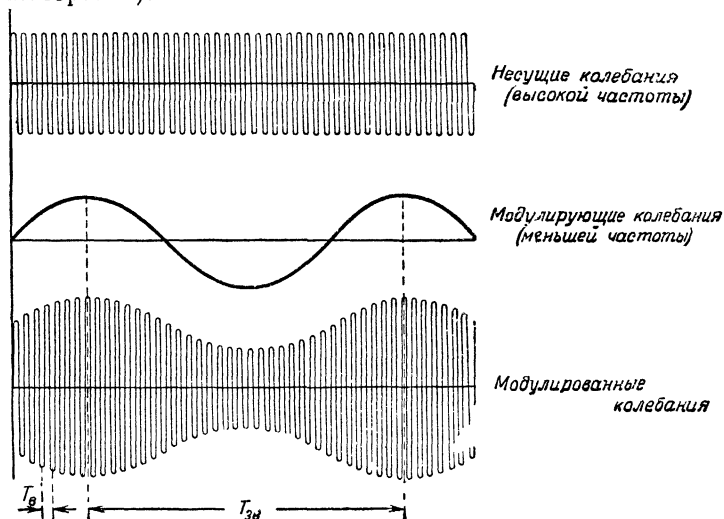


Рис. 409. Модуляция колебаний.

Процесс формирования радиотелефонных сигналов более сложен. В этом случае на непрерывные колебания высокой частоты (ее называют *несущей частотой*) «накладываются» относительно медленные колебания звуковой частоты. Но пригодны только определенные способы сочетания колебаний, а именно такие, при которых колебания не просто суммируются как независимые, но при которых образуются сложные так называемые *модулированные*¹⁾ колебания. Модулированные колебания представляют собой высокочастотные колебания, амплитуда которых периодически изменяется с меньшей (в радиовещании со звуковой) частотой.

¹⁾ От лат. *modulatio* — измерение, мера.

Пусть величина тока I колеблется с высокой (круговой) частотой ω :

$$I = I_0 \sin \omega t, \quad \text{где } I_0 = \text{const.}$$

Для формирования радиотелефонных сигналов звуковые колебания $\omega_{\text{зв}}$ «накладываются» на высокочастотные так, что амплитуда высокочастотных колебаний уже не будет оставаться постоянной,

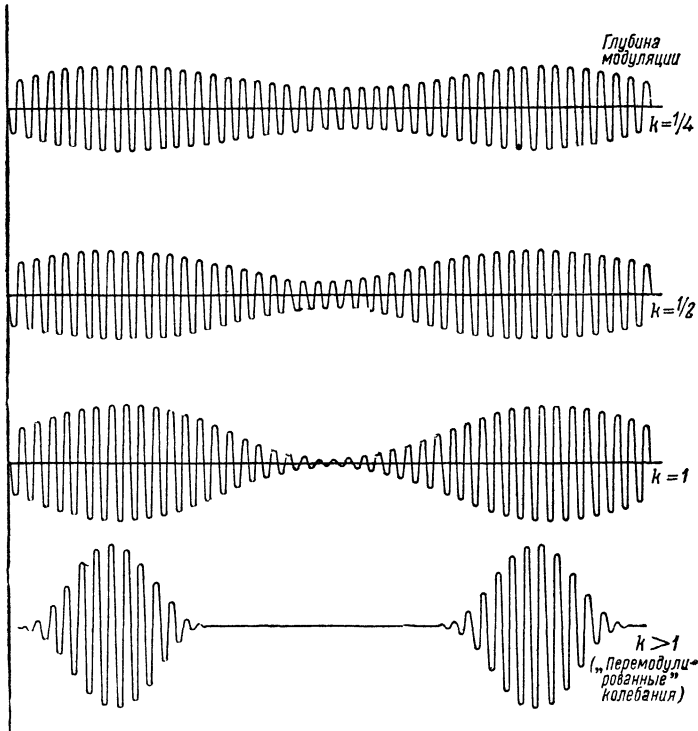


Рис. 410. Зависимость формы модулированных колебаний от глубины модуляции.

а будет изменяться синхронно с «наложенными» звуковыми колебаниями:

$$\left. \begin{aligned} I &= I_{\text{мод}} \sin \omega t, \\ I_{\text{мод}} &= I_0 + k I_0 \sin \omega_{\text{зв}} t. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

График таких колебаний показан на рис. 409.

Коэффициент k называют коэффициентом модуляции, или глубиной модуляции. Амплитуда модулированного тока изменяется

в пределах от $I_{\text{макс}} = I_0 + kI_0$ до $I_{\text{мин}} = I_0 - kI_0$. Следовательно,

$$k = \frac{I_0 - I_{\text{мин}}}{I_0} = \frac{I_{\text{макс}} - I_{\text{мин}}}{I_{\text{макс}} + I_{\text{мин}}}.$$

В высококачественном радиовещании глубина модуляции не превышает 0,5—0,8. Рис. 410 показывает зависимость формы модулированных колебаний от глубины модуляции.

Перепишав уравнение модулированных колебаний (14) в виде

$$I = I_0 (1 + k \sin \omega_{\text{зв}} t) \sin \omega t$$

и применив формулы простых тригонометрических преобразований, получим:

$$I = I_0 \sin \omega t + \frac{1}{2} k I_0 \sin (\omega + \omega_{\text{зв}}) t + \frac{1}{2} k I_0 \sin (\omega - \omega_{\text{зв}}) t. \quad (15)$$

Стало быть, модулированное колебание, если его разложить на гармонические колебания (т. е. выявить его «спектральный состав»), оказывается состоящим не из двух колебаний с частотами ω и $\omega_{\text{зв}}$, а из трех колебаний с частотами

$$\omega, \quad \omega + \omega_{\text{зв}} \quad \text{и} \quad \omega - \omega_{\text{зв}}$$

(об аналогичном возникновении комбинационных частот было рассказано в акустике, т. I, §§ 62 и 71).

На рис. 411 показан спектральный состав модулированного колебания. В соответствии с такой интерпретацией уравнения (14) частоты $\omega + \omega_{\text{зв}}$ и $\omega - \omega_{\text{зв}}$ называют боковыми частотами.

Электромагнитные волны радиовещательной станции модулируются совокупностью многих гармонических колебаний звуковой частоты примерно от 50 до 10 000 гц . Боковые частоты образуют в этом случае боковые полосы шириной по 10 000 гц в обе стороны от несущей частоты.

Для модуляции колебаний в одной из применяемых схем («сеточной модуляции») к сетке генераторной лампы одновременно подводят: через индуктивную связь с анодной цепью—колебания несущей частоты ω и через трансформатор T (рис. 412)—электрические колебания звуковой частоты, созданные микрофоном и, если нужно, предварительно усиленные. Поскольку обмотка трансформатора оказывает току высокой (несущей) частоты большое сопротивление, то в цепи обратной связи трансформатор T шунтируют конденсатором C , имеющим не слиш-

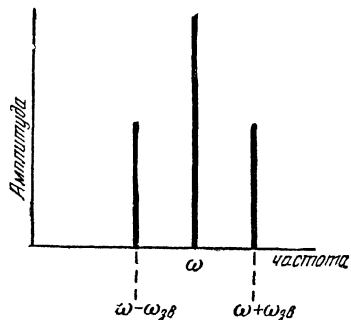


Рис. 411 Модулированное колебание состоит из трех гармонических колебаний.

ком большую емкость, чтобы для токов звуковой частоты его сопротивление оставалось значительным.

Для осуществления процесса модуляции колебаний является весьма важным, чтобы лампы, генерирующие модулированные колебания, работали на *криволинейных участках сеточных характеристик* (стр. 261). Для этого сеткам ламп сообщается более или менее значительный отрицательный потенциал, смещающий рабочую точку на характеристике влево к нижнему криволинейному участку. Если бы зависимость между подводимым к сетке напряжением звуковой частоты и током в лампе была линейной, то вместо модулирования высокочастотных колебаний мы получили бы простое сложение (суперпозицию) колебаний высокой и звуковой частоты по закону

$$I = I_0 \sin \omega t + I_{0\text{ЗВ}} \sin \omega_{\text{ЗВ}} t.$$

Математический анализ вопроса показывает, что модуляция колебаний по закону (14) вызывается только нарушением линейной зависимости между напря-

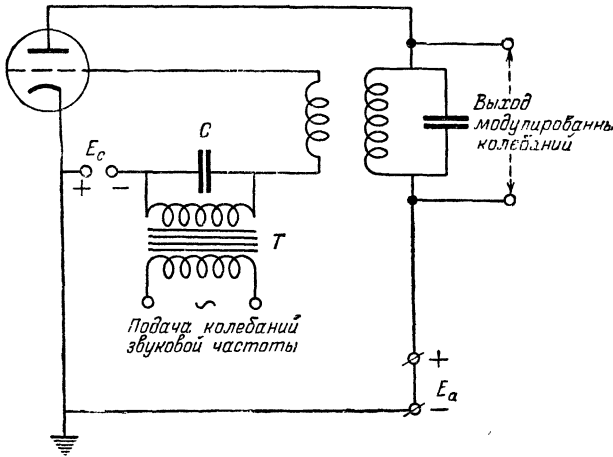


Рис. 412. Генератор амплитудно-модулированных колебаний (сеточная модуляция).

жением и током. Когда прирост анодного тока в лампе зависит от потенциала сетки не линейно, а по закону параболы

$$\Delta I_a = a V_g + b V_g^2$$

и при этом колебания звуковой частоты, подводимые к сетке, гармоничны:

$$V_g = V_0 \sin \omega_{\text{ЗВ}} t,$$

то коэффициент модуляции равен

$$k = \frac{2b}{a} V_0,$$

т. е. глубина модуляции тем более велика, чем больше амплитуда напряжения звуковой частоты и чем больше кривизна параболической зависимости тока в лампе от сеточного напряжения (при $b=0$ и $k=0$).

Поскольку лампа, генерирующая модулированные колебания, вследствие постоянного отрицательного потенциала на сетке («отрицательного смещения сетки») работает на изгибе сеточной характеристики, то очевидно, что в «нижние» полупериоды звуковых колебаний, когда потенциал сетки становится еще более отрицательным, лампа будет почти заперта—ток в ней будет близок к нулю. Поэтому казалось бы, что модулированные колебания должны оказаться несимметричными, со срезанными «нижними» полупериодами и иметь вид, показанный на верхнем графике рис. 413. Так это и было бы, если бы раскачивание колебаний в резонансном контуре не дополняло срезанных полупериодов аналогично тому, как это происходит при раскачивании толчками качелей. В итоге излучаемые модулированные колебания имеют симметричную форму (нижний график на рис. 413).

Наряду с описанной так называемой *амплитудной модуляцией* применяют (в телевидении и радиовещании на ультракоротких волнах) другой вид модуляции—*частотную модуляцию*. При частотной модуляции изменяется не амплитуда несущей частоты, а в небольших пределах изменяется сама несущая частота; эти изменения несущей частоты происходят с периодом звуковых колебаний. Для осуществления частотной модуляции параллельно с резонансным контуром генераторной лампы включают сетку модуляторной лампы (рис. 414), для которой создают такой режим работы, что подводимые к сетке низкочастотные колебания существенно и ритмично изменяют емкость C_{gk} (сетка—катод). Так

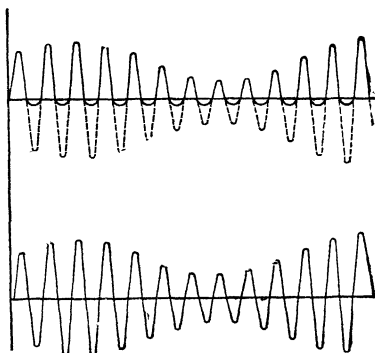


Рис. 413. Раскачка колебаний в резонансном контуре дополняет отрицательные полупериоды модулированных колебаний.

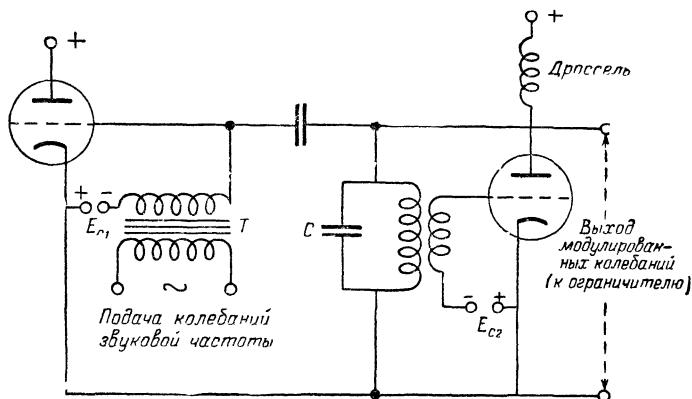


Рис. 414. Генератор частотно-модулированных колебаний.

как эта емкость C_{gk} включена параллельно емкости C резонансного контура, то в такт звуковым колебаниям изменяется собственная частота резонансного контура генераторной лампы, а стало быть, и частота генерируемых несущих

колебаний. Возникающие амплитудные изменения снимаются особыми «ограничителями», дополняющими схему рис. 414.

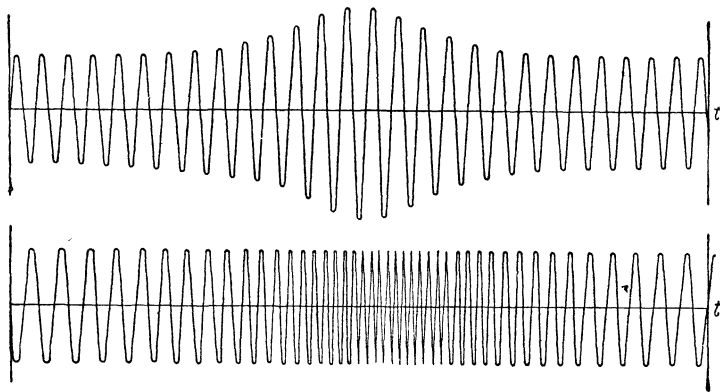


Рис. 415. Сопоставление амплитудной и частотной модуляций.

При частотной модуляции изменение несущей частоты происходит по закону

$$\frac{d\omega}{dt} = \omega + (\Delta\omega)_{\text{макс}} \cos \omega_{\text{ав}} t.$$

На рис. 415 сопоставлены амплитудно-модулированный сигнал (верхний график) и тот же сигнал частотно-модулированный (нижний график; изменения частоты представлены на нем преувеличенно).

§ 94. Прием, детектирование и усиление радиосигналов. Супергетеродины

Рассмотрим, как происходит прием радиосигналов. На значительных расстояниях от передающей радиостанции электрическое поле волн направлено при длинноволновой радиосвязи (§ 91) перпендикулярно к поверхности земли, магнитное поле ориентировано горизонтально. Если в таком поле волн вертикально расположен какой-либо проводник, то силовые линии магнитного поля волн, пересекая этот проводник, вызовут в проводнике электродвижущую силу. В случае синусоидальной электромагнитной волны в проводнике получится синусоидальная электродвижущая сила. Частота индуцированной электродвижущей силы будет равна частоте переменного тока, питающего излучающую систему передатчика.

Прием сигналов должен производиться иногда на расстояниях тысяч километров от излучающей системы. На таких расстояниях напряженность поля электромагнитной волны крайне мала.

Приемная радиоустановка состоит из ряда устройств, задачей которых является, во-первых, собственно прием электромагнитных волн выбранной радиостанции, затем усиление полученных сигналов и, наконец, их регистрация или же преобразование их в звуковые волны.