Контактное поле $E_к$ в обоих $n-p$-переходах направлено *от электронного к дырочному полупроводнику* (см. § 108). Направление $E_к$ — *запорное*, противоположное направление — *пропускное*. Включим транзистор в схему согласно рис. 337, *а*. Половина, включенная в проходном направлении, называется *эмиттером*, а включенная в запорном направлении — *коллектором*. Ширина базы, разделяющей эти половины, всегда мала и измеряется десятками (или даже единицами) микрометров. Электрический ток внутри эмиттера (рис. 337, *а*) создается главным образом движением *электронов*,

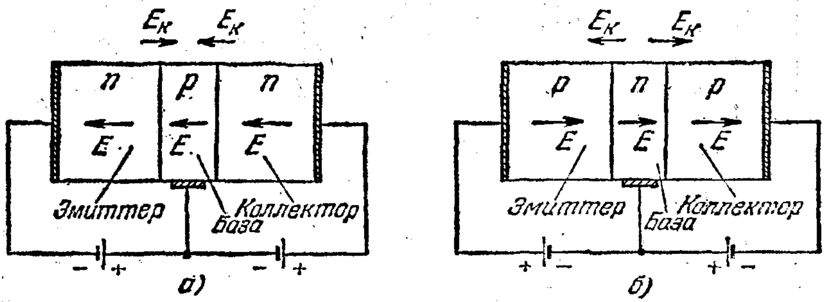

Рис. 337.

являющихся *основными носителями заряда*. Эти электроны проходят через левый $n-p$-переход в область базы и там под действием электрического поля E движутся по направлению к коллектору. Толщина базы должна быть такова, чтобы значительная часть электронов прошла через нее. Пройдя через правый $p-n$-переход, электроны попадают в коллектор уже в качестве *основных носителей заряда*. Тем самым они меняют ток в коллекторе. Те же рассуждения относятся и к рис. 337, б (только роль электронов будут выполнять положительные дырки). Таким образом, всякое изменение тока в цепи эмиттера будет вызывать изменение тока и в цепи коллектора. В этом отношении транзистор действует аналогично электронной лампе. Роль катода играет эмиттер, анода — коллектор, сетки — база.

§ 134. Релаксационные колебания

На рис. 338, *а* представлена характеристика неоновой лампы (см. § 117). Это — *нелинейная характеристика*. Если повышать напряжение на лампе V, то при $V = V_2$ она вспыхивает и начинает светиться красным светом. При дальнейшем повышении напряжения ток в лампе возрастает вдоль кривой AB. Если уменьшать напряжение на лампе в обратном порядке, то она гаснет при другом напряжении $V_1 < V_2$. Величины V_2 и V_1 называются *потенциалами зажигания* и *погасания* соответственно.

Включим неоновую лампу в цепь, изображенную на рис. 338, *б*. Сопротивление R должно быть очень велико, а электродвижущая сила батареи $\mathscr{E}$ — больше

V_2. Если замкнуть цепь, то конденсатор C начнет заряжаться. Напряжение на нем (равное напряжению на неоновой лампе V) будет возрастать по закону

$$V = \mathscr{E}\left(1 - e^{-t/\tau}\right),$$

где $\tau = RC$ (см. § 48). Когда напряжение V достигнет значения V_2, лампа загорится и начнет пропускать ток. Ее сопротивление практически обратится в нуль. Поэтому конденсатор очень быстро (почти мгновенно) начнет разряжаться через

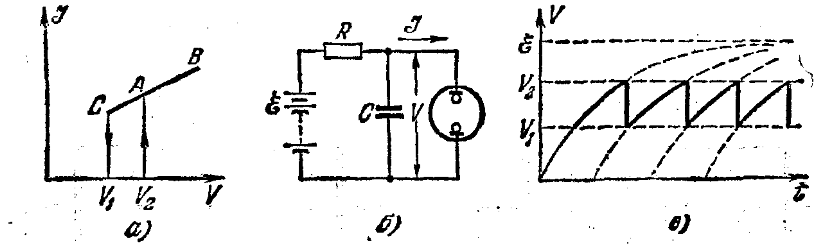

Рис. 338.

лампу. Однако когда напряжение на конденсаторе упадет до V_1, лампа погаснет и перестанет пропускать ток. С этого момента снова начнется зарядка конденсатора, пока потенциал V не достигнет значения V_2. Тогда лампа опять загорится и начнется новая разрядка конденсатора. И этот процесс будет продолжаться периодически с периодом

$$T = \tau \ln \frac{\mathscr{E} - V_1}{\mathscr{E} - V_2}.$$

Зависимость напряжения V от времени представлена на рис. 338, *в* жирной пилообразной кривой. Если период колебаний T порядка секунды или больше, то

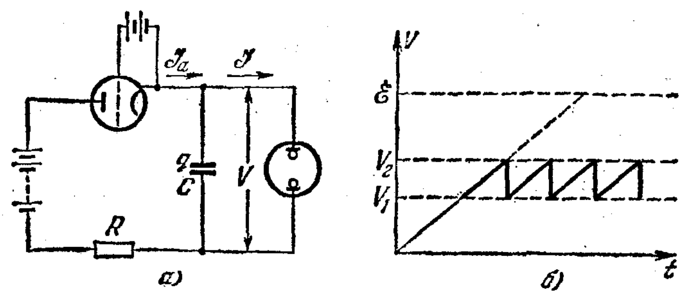

Рис. 339.

будут видны кратковременные вспышки света, разделенные более продолжительными паузами. Уменьшая R или C, можно получить период T гораздо меньше, и глаз уже не будет различать отдельных вспышек. В рассматриваемом случае автоколебания возникают потому, что существует определенное *время успокоения* (или *время релаксации*) контура $\tau = RC$. По этой причине колебания рассматриваемого типа получили название *релаксационных колебаний.*

Зубцы на пилообразной кривой рис. 338, *в* не прямые. Для многих целей, в особенности в электронных осциллографах, требуются пилообразные напряжения с *прямолинейными зубцами* — напряжение в пределах каждого зубца должно меняться во времени по линейному закону. Этого можно достигнуть, если ввести в цепь, помимо неоновой лампы, *второй нелинейный элемент* — электронную лампу (триод или лучше пентод), как указано на рис. 339, *а*. Через лампу потечет анодный ток $\mathscr{I}_a = \dot{q}$, практически не зависящий от анодного напряжения. Поэтому во время зарядки заряд на конденсаторе будет меняться во времени по линейному закону: $q = \mathscr{I}_a t + \text{const}$. По линейному закону будет меняться и напряжение на конденсаторе C (равное напряжению на неоновой лампе). Поэтому вместо кривой рис. 338, *в* получится такая же кривая, но с прямыми зубцами (рис. 339, *б*).

§ 135. Параметрическое возбуждение колебаний

1. Допустим, что с помощью надлежащего приспособления (например, электрического мотора) индуктивность L или емкость C колебательного контура (или то и другое) периодически меняются во времени. Свободные колебания такой системы описываются уравнением

$$\frac{d\Phi}{dt} + R\mathscr{I} + \frac{q}{C} = 0, \tag{135.1}$$

или

$$\frac{d}{dt}\left(L\frac{dq}{dt}\right) + R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \tag{135.2}$$

(см. § 122). При постоянном R это — *линейное дифференциальное уравнение с периодическими коэффициентами*, переходящее в нелинейное, когда сопротивление R зависит от тока $\mathscr{I}$. Аналогичным уравнением описывается и движение механической системы — *качелей*. Качающийся на качелях, приседая и распрямляясь, периодически поднимает и опускает центр масс своего тела и тем самым меняет параметры системы. При определенных условиях все рассмотренные системы становятся *неустойчивыми* — случайно возникшее отклонение от состояния равновесия приводит в них к возникновению и нарастанию колебаний. Это явление, поскольку оно вызывается изменениями параметров системы, называется *параметрическим возбуждением колебаний*, а сами колебания — *параметрическими*.

Нахождение условий возбуждения параметрических колебаний сводится к исследованию решений линейных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами. Решение таких уравнений представляет, вообще говоря, очень трудную математическую задачу. Найти решение в конечной аналитической форме обычно не удается. К тому же линейные уравнения позволяют получить *только условие возбуждения колебаний*, но не позволяют решить вопрос об *установлении их стационарной амплитуды*, так как при достаточно больших амплитудах дифференциальные уравнения, описывающие колебания, становятся *существенно нелинейными*. Мы рассмотрим только возбуждение параметрических колебаний и ограничимся при этом простейшим случаем, когда параметры