

## Лекция 11. Виды возбуждения автогенератора

В зависимости от положения начальной рабочей точки различают режим мягкого и жесткого возбуждения автоколебаний.

- Мягкое возбуждение

Покажем этот процесс на примере транзисторного каскада с использованием прямой проходной характеристики  $i_K=f(U_{БЭ})$ . Временные зависимости тока коллектора и выходного напряжения автогенератора при мягком возбуждении показаны на рис. 5.5.

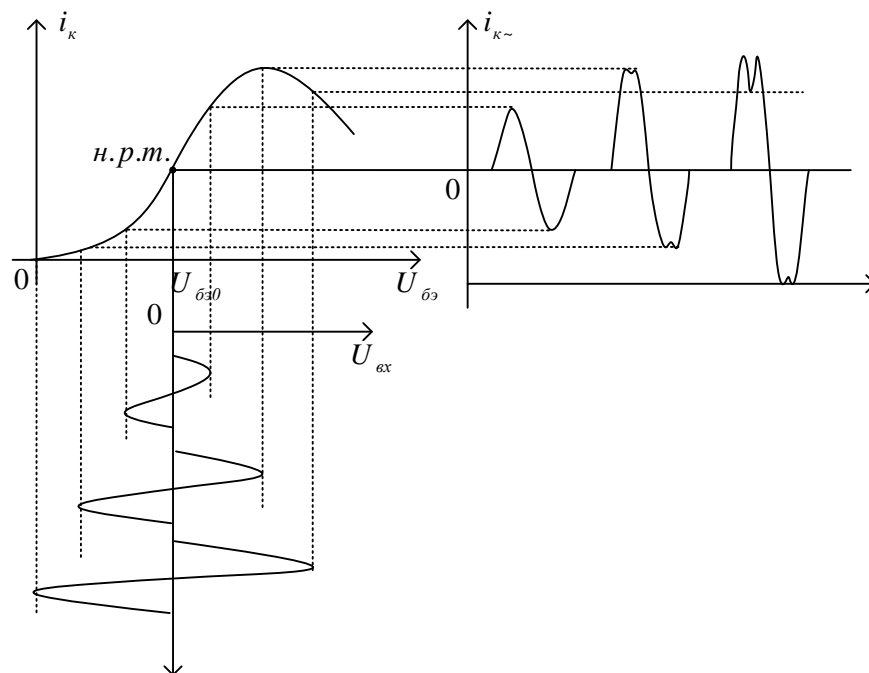


Рис. 5.5. Ток коллектора и выходное напряжение при мягком возбуждении автогенератора

Здесь начальная рабочая точка (н.р.т.) выбрана в области наибольшей крутизны  $S_0$  проходной характеристики. Как видно из рис. 5.5 и рис. 5.6, с увеличением амплитуды  $U_{БЭ}$  средняя крутизна  $S_1$  монотонно уменьшается.

Из выражения (5.16) видно, что среднюю крутизну можно определить из зависимости амплитуды первой гармоники тока от амплитуды входного воздействия в колебательном контуре  $I_K = f(V)$  – это колебательная характеристика автогенератора.

Вид этой функции существенно зависит от положения начальной рабочей точки. На рисунке 5.7 приведена колебательная характеристика при условии, что

НРТ находится на середине линейного участка прямой проходной характеристики. Это мягкий режим возбуждения. На характеристике  $I_K = f(U_{бэ})$  рис. 5.7 два состояния равновесия (точки 1 и 2): 1 – неустойчивое, 2 – устойчивое.

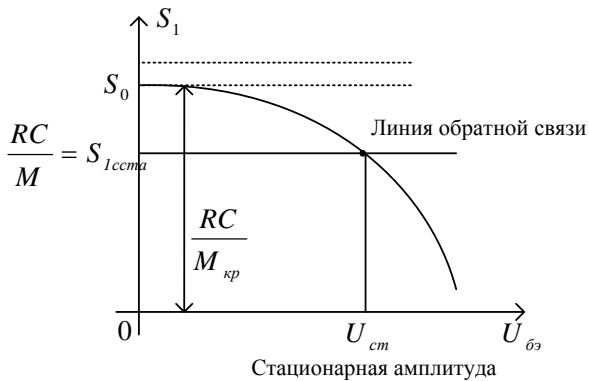


Рис. 5.6. Зависимость крутизны от напряжения  $U_{бэ}$

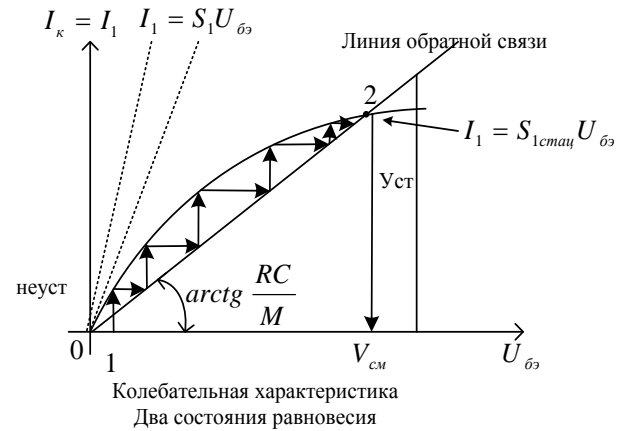


Рис. 5.7. Колебательная характеристика

При мягком режиме возбуждения линия обратной связи  $\frac{rC}{M} = S_1$  опускается вниз с увеличением степени обратной связи (здесь взаимоиנדукция)  $M$  (рис. 5.6). Пока линия  $\frac{rC}{M}$  не пересекает функцию  $S_1 = S_1(U_{бэ})$  имеет место устойчивое состояние покоя с нулевой амплитудой колебаний. Если коэффициент  $M$  увеличивается, то при  $M_{кр} = \frac{rC}{S_1(0)} = \frac{rC}{S_0}$  автогенератор возбуждается при сколь угодно малой амплитуде, т.к.  $S_0$  больше любого значения  $S_1$ . Дальнейший рост  $M$  приведет к плавному увеличению амплитуды генерируемых автоколебаний (рис. 5.8). Причем для данного  $M$  имеет место единственная амплитуда стационарных колебаний.

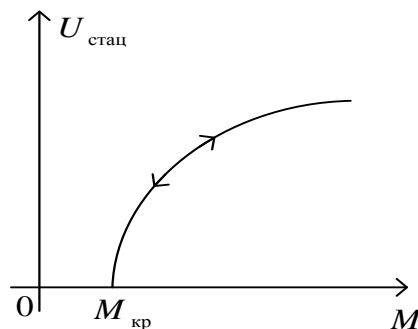


Рис. 5.8. Зависимость амплитуды генерируемых колебаний от  $M$

- Жесткое возбуждение

Если же начальная рабочая точка смещена влево (рис. 5.9) на нелинейный участок ВАХ, то средняя крутизна имеет экстремум (НРТ в области малой крутизны) - жесткий режим самовозбуждения.

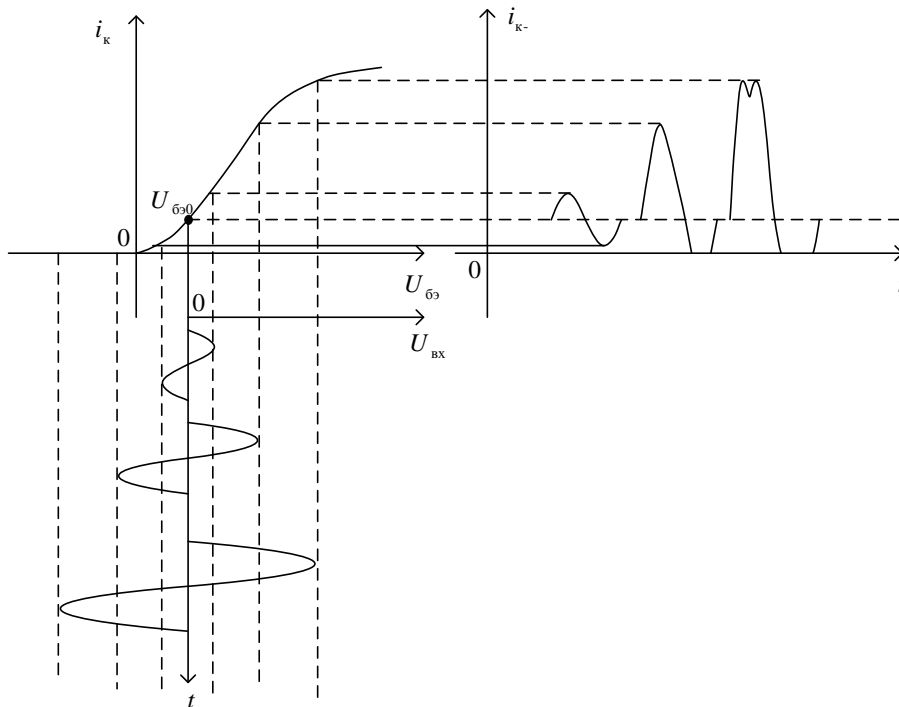


Рис. 5.9. Ток коллектора и выходное напряжение при жестком возбуждении автогенератора

Колебательные характеристики в этом случае имеют точку перегиба (рис. 5.10) и три точки равновесия: 1,3 -устойчивое, 2 - неустойчивое.

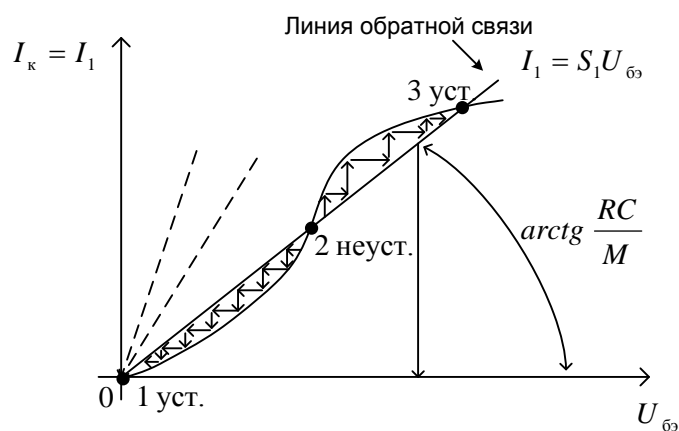


Рис. 5.10. Колебательная характеристика с точкой перегиба

И в этом режиме покажем процесс самовозбуждения и определение стационарной амплитуды с использованием понятия средней крутизны.

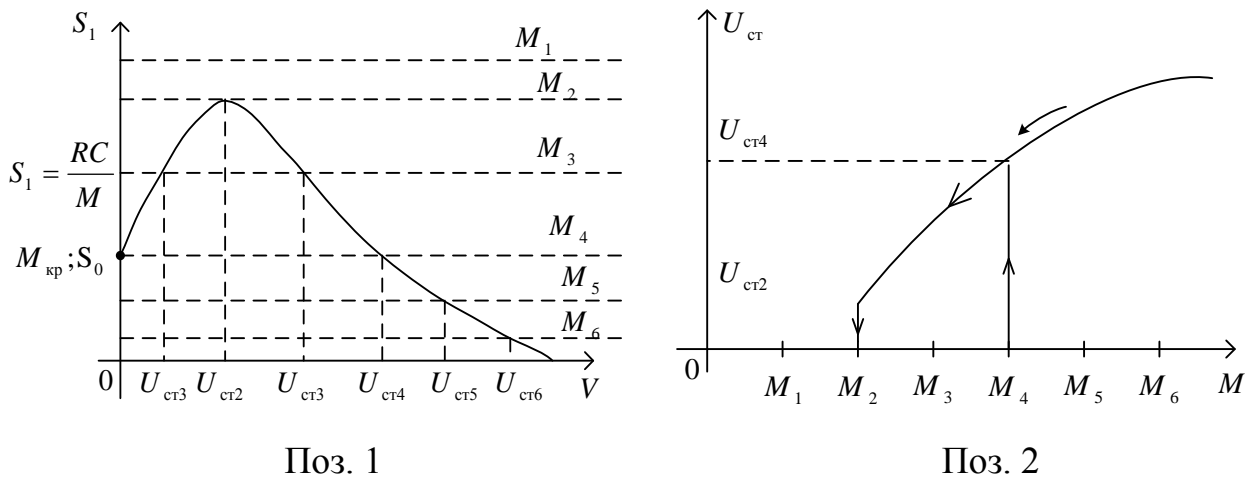


Рис. 5.11. График средней крутизны (поз. 1) и зависимости амплитуды генерируемых колебаний от  $M$  (поз. 2)

При  $M=M_1$  колебание будет отсутствовать, т.к. линия обратной связи не пересекает графика средней крутизны (рис. 5.11 поз. 1).

При  $M=M_2$  линия обратной связи касается графика средней крутизны, но колебание не возникает т.к. в этой точке средняя крутизна  $S_1$  больше чем крутизна  $S_0$  в начальной рабочей точке ( $S_0 < S_1$ ). Существующим малым флуктуациям соответствует крутизна  $S_0$  в рабочей точке характеристики, а ее значение недостаточно для обеспечения баланса амплитуд.

Колебания возникнут лишь при  $M=M_4$ , т.е. в тот момент, когда обратная связь становится достаточной для обеспечения баланса амплитуд даже при малой крутизне  $S_0$ . При  $M=M_4$  малые флуктуационные колебания начинают расти (рисунок 5.11 позиция 2). Вначале рост амплитуды колебаний вызывает увеличение средней крутизны  $S_1$  характеристики, что приводит к увеличению усиления. С увеличением усиления возрастает амплитуда колебаний, а следовательно, и средняя крутизна. При дальнейшем росте амплитуды средняя крутизна уменьшается и амплитуда в соответствии с уравнением стационарности

$$M_4 = \frac{rC}{S_{1cm}} \text{ принимает значение } U_{cm4}.$$

Последующие увеличение коэффициента взаимной индукции  $M$  (от  $M_4$  до  $M_6$ ) вызывает плавное увеличение амплитуды колебаний (от  $U_{cm4}$  до  $U_{cm6}$  и далее).

При уменьшении  $M$ , начиная от больших  $M$  ( $M > M_4$ ), колебания будут существовать до тех пор, пока  $M$  не станет равной  $M_2$ . Это связано с тем, что при больших амплитудах  $S_1 > S_0$  и в промежутке между  $M_4$  и  $M_2$  существующие колебания обеспечивают необходимую среднюю крутизну характеристики и условия стационарности выполняются (здесь  $\frac{dS}{dV} < 0$ ).

При  $M < M_2$  колебания в системе исчезнут, т.к. в этот момент нарушится баланс амплитуд. Уменьшение амплитуды стимулирует уменьшение средней крутизны и, наоборот (здесь  $\frac{dS}{dV} > 0$ ). Таким образом, при жестком режиме возбуждения зависимость  $U_{cm}(M)$  неоднозначна и носит петлеобразный характер, т.е. имеет место колебательный гистерезис.

Причем пересечение линии обратной связи с кривой средней крутизны в правой части, где  $\frac{dS}{dV} < 0$ , дает устойчивое значение стационарной амплитуды.

Другими словами, при запуске автогенератора напряжение на управляющем электроде должно как бы "перескочить" через интервал  $(0 \div U_{cm4})$ , что, очевидно, возможно, если находится под воздействием внешнего возбуждающего напряжения.

### **КПД автогенератора и оптимизация режима запуска**

Оценим графически динамику формы коллекторного тока автогенератора в зависимости от положения его начальной рабочей точки (рис. 5.12, 5.13).

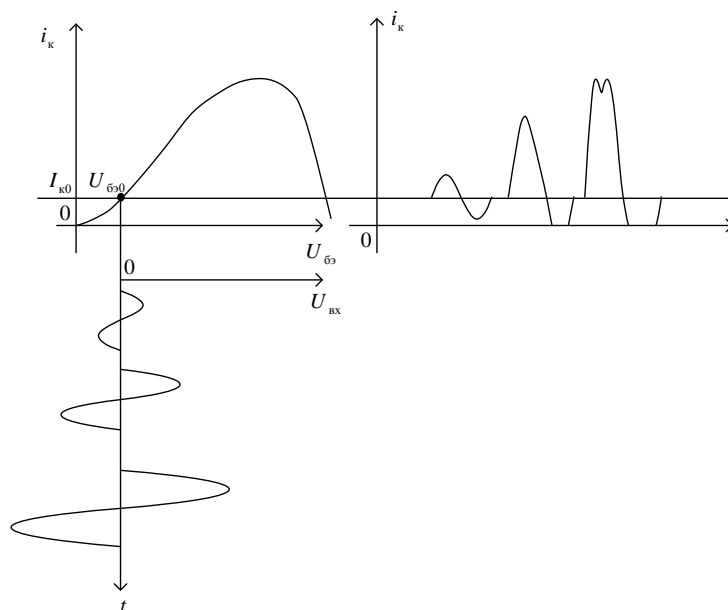


Рис. 5.12. Ток коллектора и выходное напряжение автогенератора

Отметим, что ток коллектора может при больших входных воздействиях не только уменьшаться до нуля, но и менять свой знак (рис. 5.12 и 5.13).

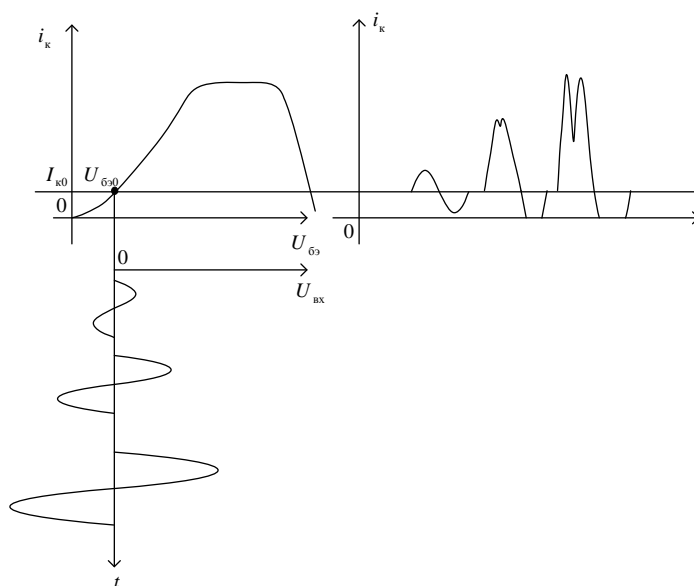


Рис. 5.13. Ток коллектора и выходное напряжение автогенератора при выборе рабочей точки в режиме отсечки коллекторного тока

Как видно из этого графического построения, форма коллекторного тока, как при мягком, так и при жестком режимах возбуждения может существенно отличаться от синусоидальной, из-за нелинейности активного элемента. Однако, на нагрузке в виде параллельного колебательного контура, вследствие его высокой избирательности выделяется синусоидальное напряжение, пропорциональное первой гармонике тока  $I_K$ .

По определению, КПД  $\eta = \frac{P_1}{P_0} \cdot 100\%$ , где  $P_1$  – мощность полезная,  $P_0$  –

потребляемая мощность. Как видно из построения, т.к. при мягком режиме возбуждения НРТ выбирается на участке максимальной крутизны, а при жестком

– вблизи  $U_{\sigma\delta} = 0$ , то  $I_{0\text{ мяг}} \gg I_{0\text{ жс}}, I_{1\text{ мяг}} < I_{0\text{ мяг}}, I_{1\text{ жс}} > I_{0\text{ жс}}$ . Отсюда следует, что  $\eta_{\text{жс.р.}} > \eta_{\text{м.р.}}$ .

Таким образом, достоинство жесткого режима возбуждения – высокий КПД. В то же время условия самовозбуждения в этом режиме очень тяжелые (скачкообразное возбуждение и срыв) и невозможно получить малые колебания. Достоинство мягкого режима возбуждения – плавное изменение амплитуды  $V$  при изменении коэффициента  $M$ . Достоинства мягкого и жесткого режимов самовозбуждения можно объединить в схеме автогенератора, содержащей элемент автоматического смещения. Схема и принцип ее работы показаны на рис. 5.14.

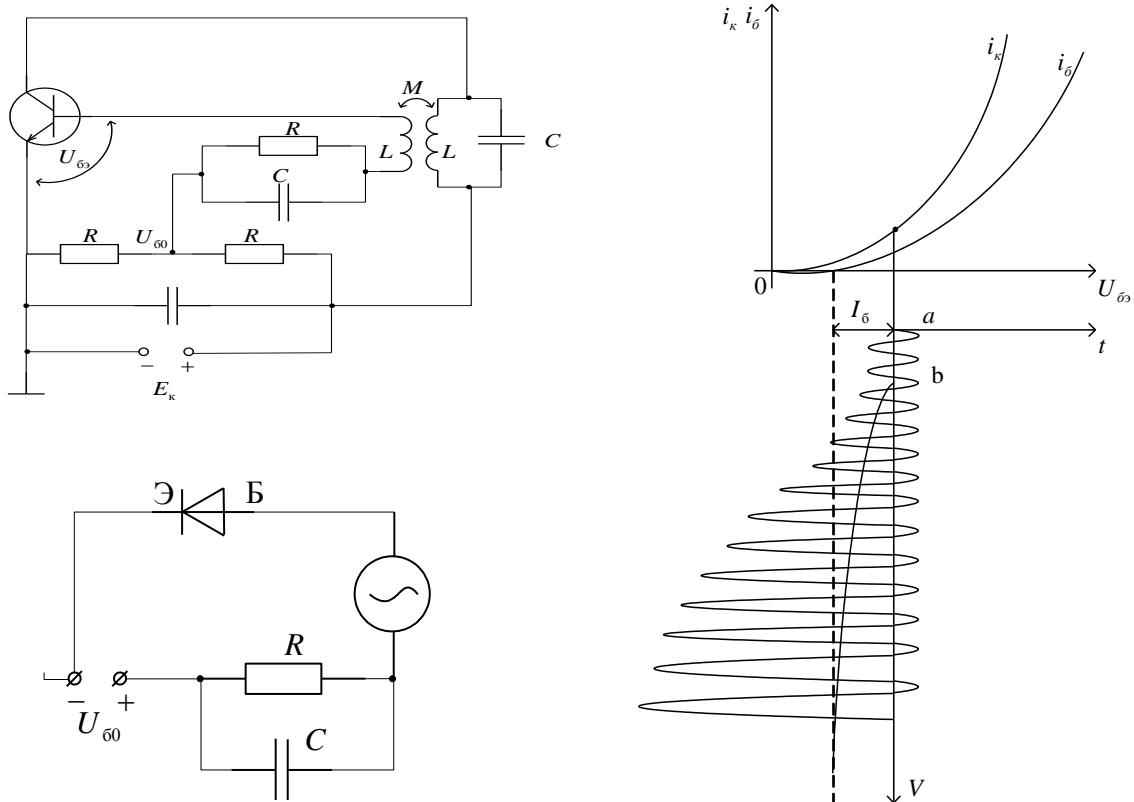


Рис. 5.14. Автогенератор, содержащий элемент автоматического смещения

В транзисторном автогенераторе с общим эмиттером (рис. 5.14 поз. 1) НРТ на ВАХ (рис. 5.14 позиция 2) в момент запуска расположена при положительном значении  $U_{бэ0}$  на середине линейного участка характеристики (чтобы был мягкий режим возбуждения). Поэтому на начальном этапе запуска нарастание амплитуды колебаний не сопровождается увеличением отрицательного напряжения смещения (участок *а-б* на рис. 5.14 позиция 2).

Рабочие токи сдвигаются влево лишь при заходе амплитуды колебания на нижний сгиб характеристики  $i_b=f(U_b)$ , когда проявляется эффект выпрямления напряжения  $V(t)$  в переходе база-эмиттер.

Здесь при постоянной времени  $RC \gg T_0$  (превышающей период ВЧ колебания) выпрямленное напряжение  $V_{выпр}$  (рис. 5.14 позиция 3) растет пропорционально амплитуде напряжения ОС.

Таким образом, цепь  $RC$  автоматически обеспечивает изменение напряжения смещения, благодаря чему создается режим мягкого запуска и выгодный с энергетической точки зрения (отсечка коллекторного тока) стационарный режим.