

# Лекция 12

**Тема лекции: Принципиальные схемы ёмкостных и индуктивных трёхточек.**

**Назначение элементов, токи, принцип работы, связь со следующим каскадом**

- **Учебные вопросы:**
- **1. Принципиальные схемы ёмкостных и индуктивных трёхточек. Назначение элементов, токи, принцип работы.**
- **2. Связь со следующим каскадом.**
-

**1-й вопрос: Принципиальные схемы ёмкостных и индуктивных трёхточек. Назначение элементов, токи, принцип работы**

1. Историческая справка.
2. Мягкий режим самовозбуждения АГ.
3. Анализ изменений амплитуды первой гармоники тока в зависимости от КОС.
4. Особенности мягкого режима самовозбуждения.
5. Жёсткий режим самовозбуждения АГ.
6. Анализ жёсткого режима АГ.
7. Особенности работы АГ при жёстком режиме самовозбуждения.
8. Сущность режима автоматического смещения.
9. Принцип автоматического смещения АГ.
10. Принцип реализации автоматического смещения.
11. Схема автоматического смещения с помощью базового делителя.
12. Явление прерывистой генерации.
13. Сущность АГ с автотрансформаторной ОС.
14. Меры к подавлению высших гармоник.
15. Состав и работа схемы с автотрансформаторной ОС.

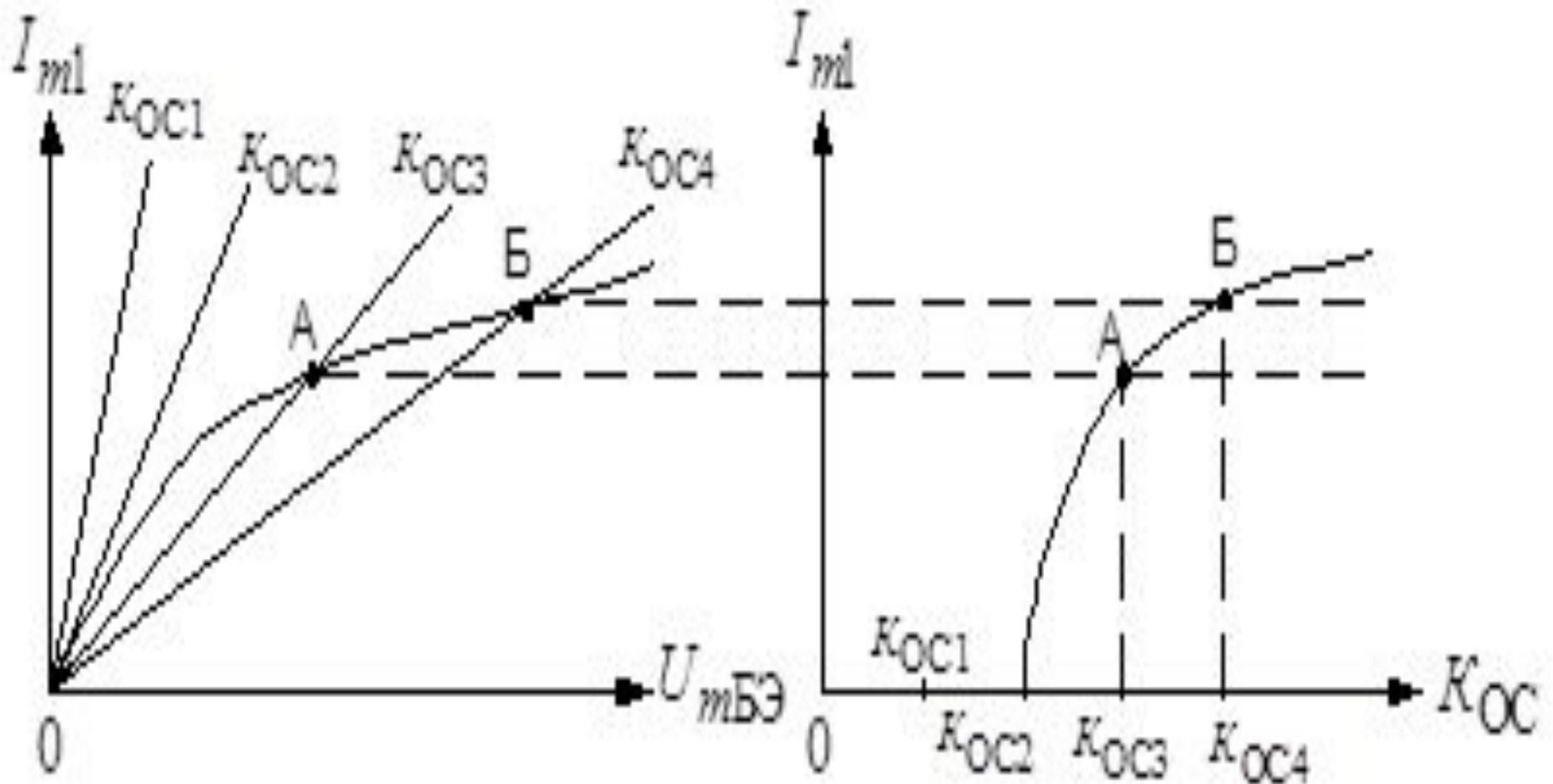
## Историческая справка

Первый патент на индуктивную трёхточечную схему был выдан инженеру американской фирмы "Вестерн электрик" Р. Хартлею (1918 г.), имя которого она носит в радиотехнической литературе. Это индуктивная трёхточка. В схеме Хартлея обратная связь изменяется путём перемещения точки присоединения катода по виткам катушки индуктивности контура. В 1918 году инженер той же фирмы Э. Колпитц запатентовал схему лампового генератора с ёмкостной обратной связью. Схемы Хартлея и Колпитца являются основными схемами автогенераторов и прототипами всех исторически более поздних автогенераторов.

# Историческая справка

В конце первой мировой войны в ламповой технике генерирования незатухающих колебаний были сделаны попытки использовать внутриламповые ёмкости. Положительная обратная связь через ёмкость сетка-анод триода, с которой боролись в радиоприёмниках, здесь оказалась полезной. Одна из ранних схем такого типа имела два контура – один в анодной цепи, другой – в сеточной цепи и была эквивалентна индуктивной трёхточке. Колебания возникали, когда контуры были несколько расстроены относительно частоты генерации и имели индуктивное сопротивление. Эта схема нашла применение на коротких волнах в радиоловительской практике 20-х годов. Позднее появились другие варианты двухконтурных генераторов. Важно подчеркнуть, что все они сводились либо к индуктивной, либо к ёмкостной трёхточкам. Принципы построения ламповых генераторов сохранились до наших дней, несмотря на то, что элементная база

# Мягкий режим самовозбуждения АГ



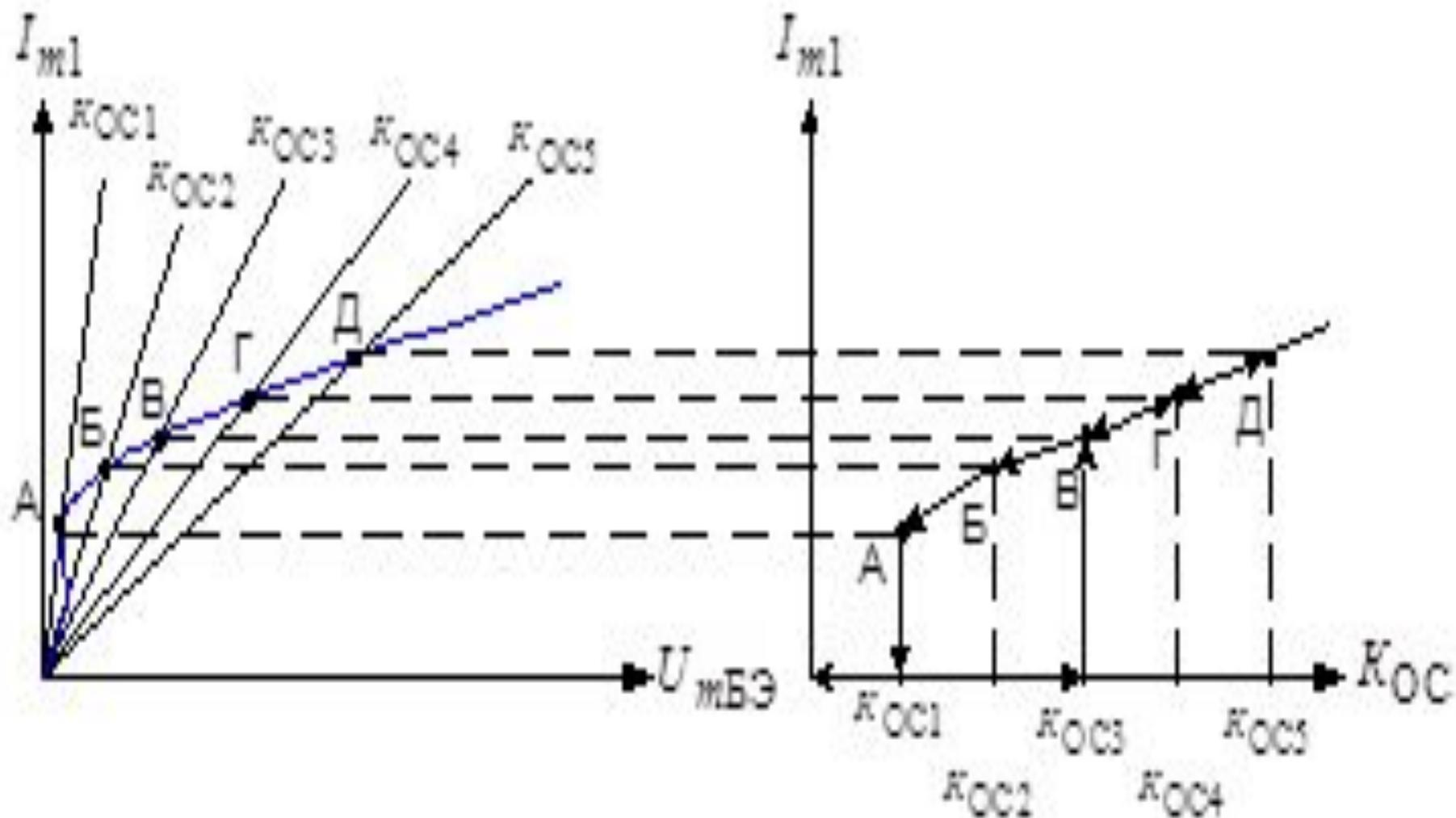
# Анализ изменений амплитуды первой гармоники тока в зависимости от КОС

- При  $K_{OC} = K_{OC1}$  состояние покоя устойчиво и генератор не возбуждается, амплитуда колебаний равна нулю. Величина  $K_{OC} = K_{OC2} = K_{KP}$  является граничной (критической) между устойчивостью и неустойчивостью состояния покоя. При  $K_{OC} = K_{OC3} > K_{KP}$  состояние покоя неустойчиво, генератор возбуждается, и величина  $I_{m1}$  установится соответствующей точке А. При увеличении  $K_{OC}$  величина первой гармоники выходного тока будет плавно расти и при  $K_{OC} = K_{OC4}$  установится в точке Б. При уменьшении  $K_{OC}$  амплитуда колебаний будет уменьшаться по той же кривой и колебания сорвутся при коэффициенте обратной связи  $K_{OC} = K_{OC2} < K_{KP}$ .
- Изменение  $K_{OC}$  приводит к изменению угла

# Особенности мягкого режима самовозбуждения

- - для возбуждения не требуется большой величины коэффициента обратной связи  $K_{oc}$  ;
- - возбуждение и срыв колебаний происходят при одном и том же значении коэффициента обратной связи  $K_{кр}$  ;
- - возможна плавная регулировка амплитуды стационарных колебаний путём изменения величины коэффициента обратной связи  $K_{oc}$  ;
- - как недостаток следует отметить большое значение постоянной составляющей коллекторного тока, что

# Жесткий режим самовозбуждения АГ



# Анализ жёсткого режима АГ

- Если рабочая точка находится на участке характеристики
- $i_k = f(u_{БЭ})$  с малой крутизной  $S < S_{MAX}$ , то режим само-возбуждения называется жёстким.
- Анализируя точки пересечения прямых обратной связи с колебательной характеристикой, приходим к выводу, что возбуждение автогенератора произойдет, когда коэффициент обратной связи превысит величину  $K_{OC3} = K_{OСКР}$ . Дальнейшее увеличение  $K_{OC}$  приводит к небольшому увеличению амплитуды первой гармоники выходного (коллекторного) тока  $I_{m1}$  по пути В-Г-Д. Уменьшение  $K_{OC}$  до  $K_{OC1}$  не приводит к срыву колебаний, так как точки В и Б устойчивы, а точка А устойчива справа. Колебания срываются

## Особенности работы АГ при жёстком режиме самовозбуждения

- - для самовозбуждения требуется большая величина коэффициента обратной связи  $K_{ос}$ ;
- - возбуждение и срыв колебаний происходят ступенчато при разных значениях коэффициента обратной связи  $K_{ос}$ ;
- - амплитуда стационарных колебаний в больших пределах изменяться не может;
- - постоянная составляющая коллекторного тока меньше, чем в мягком

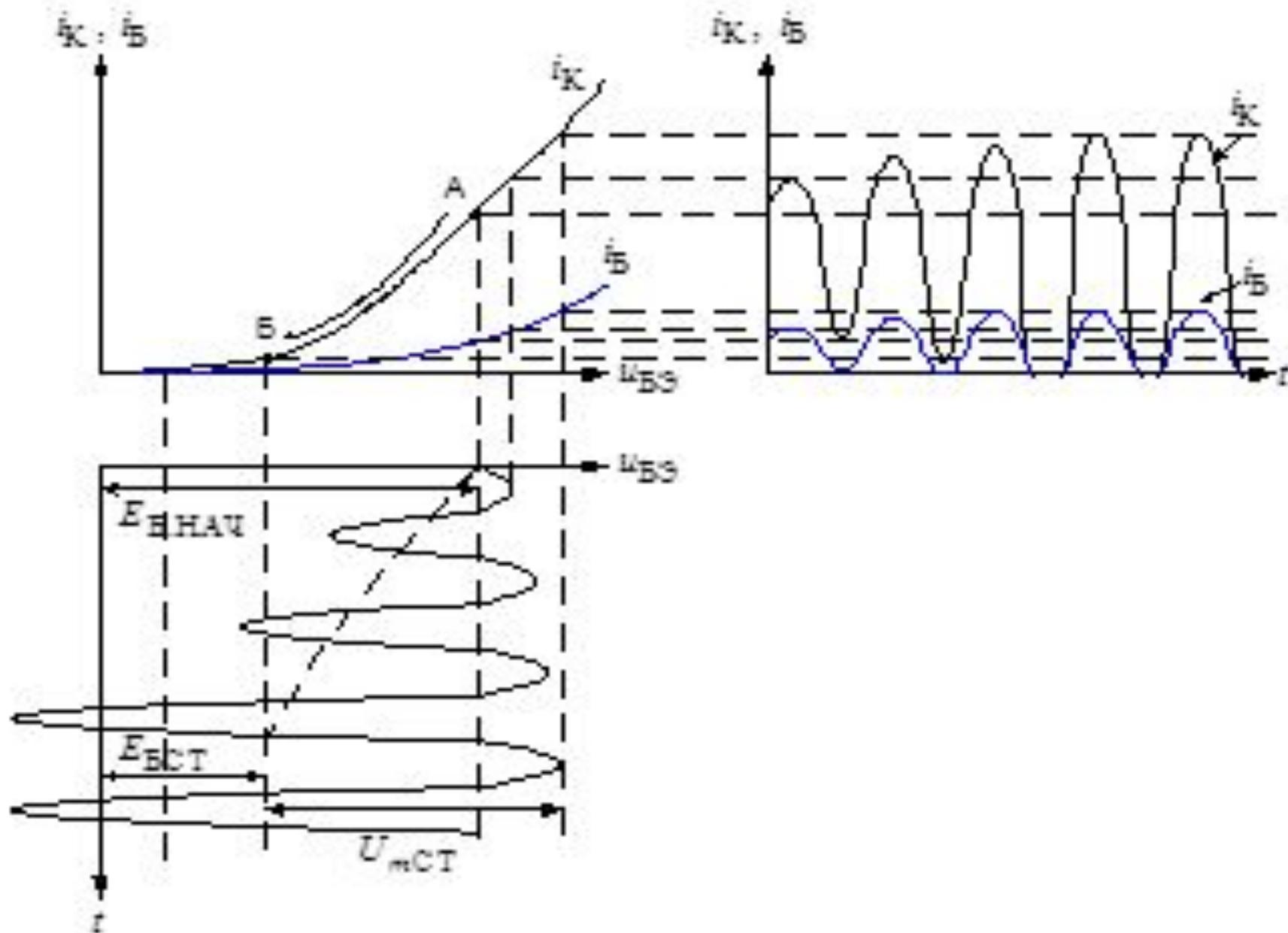
## Сравнение режимов работы АГ

- Сравнивая положительные и отрицательные стороны рассмотренных режимов самовозбуждения, приходим к общему выводу: надёжное самовозбуждение генератора обеспечивает мягкий режим, а экономичную работу, высокий КПД и более стабильную амплитуду колебаний – жёсткий режим.
- Стремление объединить эти преимущества привело к идее использования автоматического смещения, когда генератор возбуждается при мягком режиме самовозбуждения, а его работа происходит в

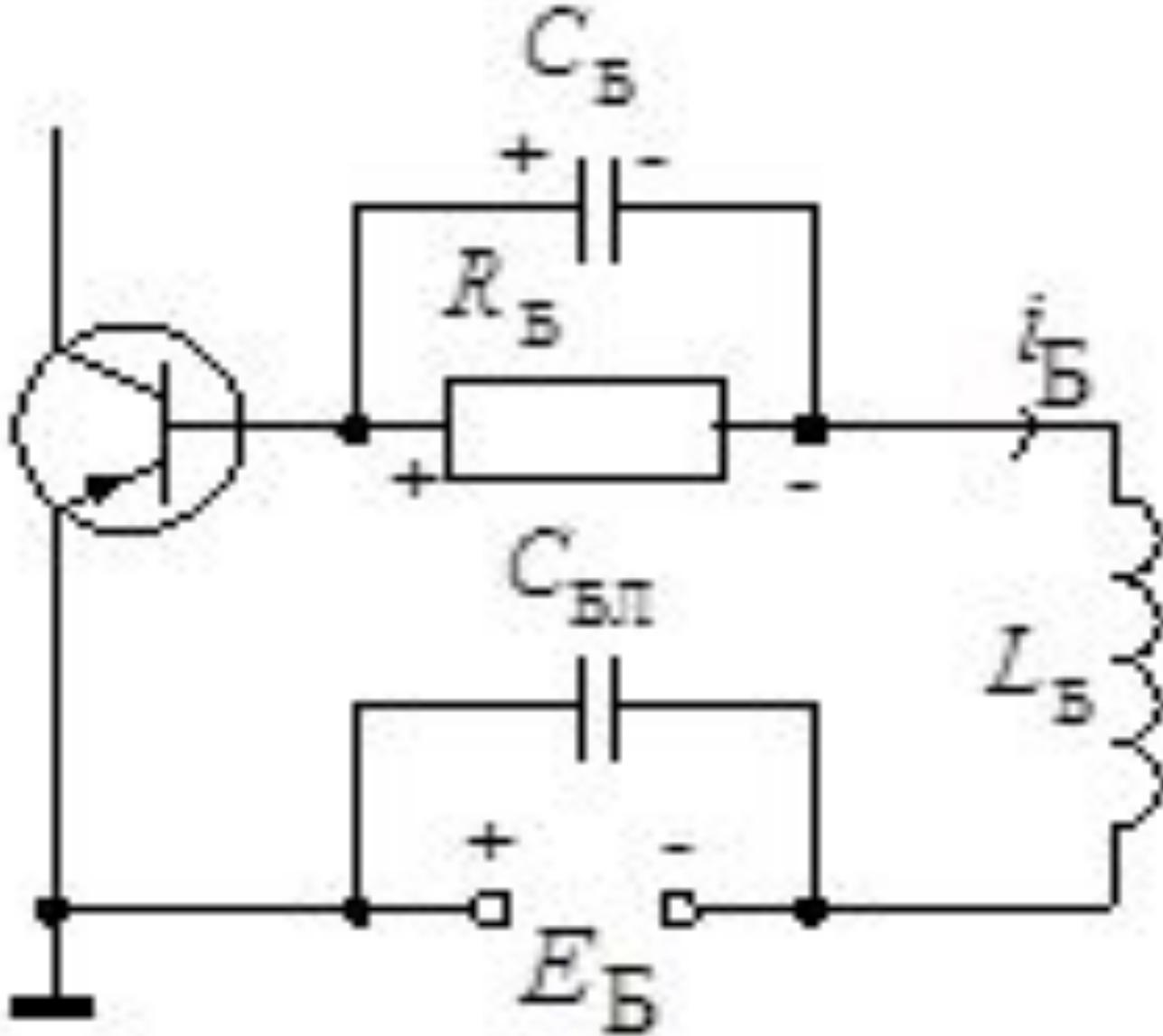
# Сущность режима автоматического смещения

Сущность режима заключается в том, что для обеспечения возбуждения автогенератора в мягком режиме исходное положение рабочей точки выбирается на линейном участке проходной характеристики с максимальной крутизной. Эквивалентное сопротивление контура выбирается таким, чтобы выполнялись условия самовозбуждения. В процессе нарастания амплитуды колебаний режим по постоянному току автоматически изменяется и в стационарном состоянии устанавливается режим работы с отсечкой выходного тока (тока коллектора), т. е. автогенератор работает в жёстком режиме самовозбуждения на участке

# Принцип автоматического смещения АГ



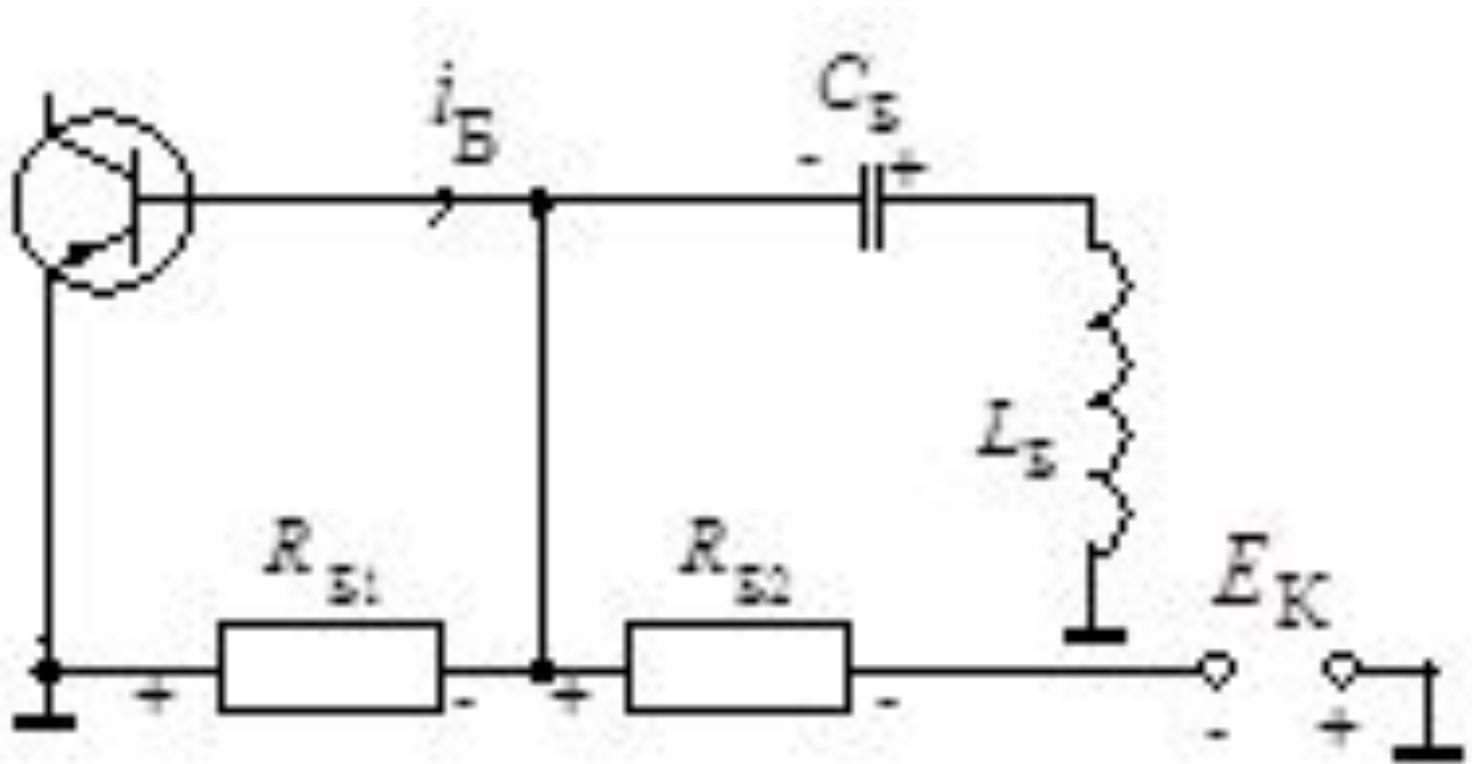
# Схема автоматического смещения АГ



# Практическая реализация автоматического смещения

- Напряжение автоматического смещения получают обычно за счёт тока базы путём включения в цепь базы цепочки  $R_B C_B$ .
- Начальное напряжение смещения обеспечивается источником напряжения  $E_B$ . При возрастании амплитуды колебаний увеличивается напряжение на резисторе  $R_B$ , создаваемое постоянной составляющей базового тока  $I_{B0}$ . Результирующее напряжение смещения  $(E_B - I_{B0} R_B)$  при этом уменьшается, стремясь к  $E_{БСТ}$ .
- В практических схемах начальное напряжение смещения обеспечивается с помощью базового делителя  $R_{B1}, R_{B2}$ .

# Схема автоматического смещения с помощью базового делителя



# Явление прерывистой генерации

- Введение в схему генератора цепи автоматического смещения может привести к явлению прерывистой генерации. Причиной её возникновения является запаздывание напряжения автоматического смещения относительно нарастания амплитуды колебаний. При большой постоянной времени  $t = R_B C_B$  колебания быстро нарастают, а смещение остаётся практически неизменным –  $E_{B.НАЧ}$ . Далее смещение начинает изменяться и может оказаться меньше той критической величины, при которой ещё выполняются условия стационарности, и колебания сорвутся. После срыва колебаний ёмкость  $C_B$  будет медленно разряжаться через  $R_B$  и смещение вновь будет стремиться к  $E_{B.НАЧ}$ . Как только крутизна станет достаточно большой, генератор снова возбуждётся. Далее процессы будут повторяться.

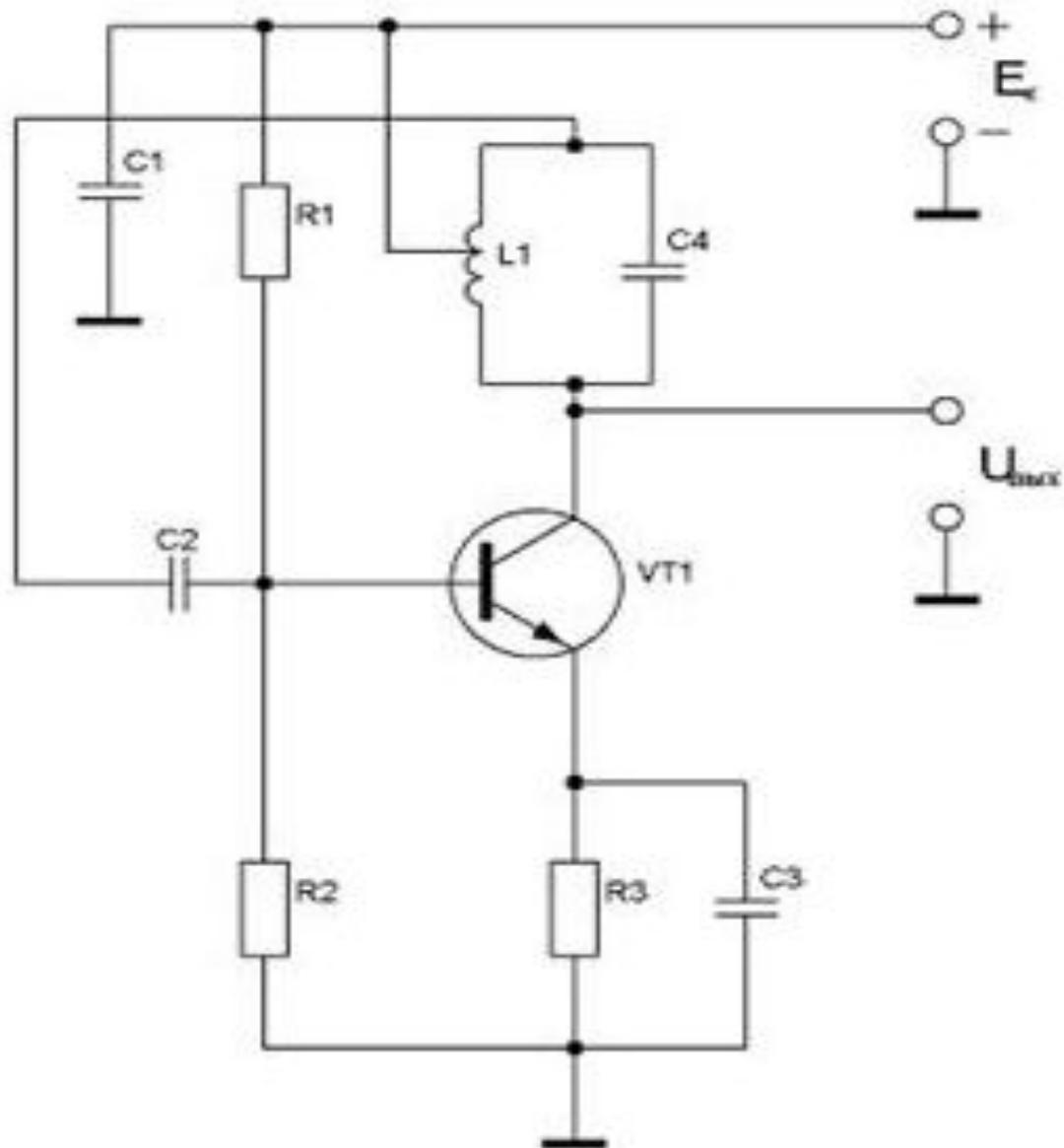
# Сущность АГ с автотрансформаторной ОС

- Генератор с автотрансформаторной обратной связью представляет собой индуктивную трёхточечную схему, а генератор с ёмкостной обратной связью ёмкостную трёхточечную схему.
- Получение почти синусоидальных автоколебаний, несмотря на то, что контур автогенератора настроен на частоту, близкую к резонансной, и выделяет колебания основной гармоники, в выходном напряжении всё же содержатся составляющие с частотами высших гармоник, приводящие к искажению формы выходных колебаний по сравнению с синусоидальной формой. Высшие гармоники подавляют в основном за счёт резонансных свойств контура выходной цепи. Известно, что чем выше добротность контура, тем острее его АЧХ и лучше фильтрация колебаний с частотами, отличающимися от резонансной. Однако получить высокую добротность контура в автогенераторе, особенно транзисторном, трудно. Поэтому принимают

# Меры к подавлению высших гармоник

- - подключают нагрузку к индуктивной ветви выходного контура, так как токи высших гармоник в основном проходят через ёмкостную ветвь, имеющую для них меньшее сопротивление;
- - применяют многоконтурные выходные цепи, в которых фильтрующие свойства одного контура дополняются и усиливаются другими контурами;
- - применяют двухтактные автогенераторы, обеспечивающие эффективное подавление гармоник;
- - включают дополнительные заграждающие фильтры (в автогенераторах, работающих на одной частоте), настроенные на  $n$ -ю гармонику;
- - применяют в выходных цепях диапазонных автогенераторов фильтры нижних частот, пропускающие основные колебания рабочего диапазона и ослабляющие все гармоники;
- - выбирают в усилительных каскадах, следующих за автогенератором, углы отсечки коллекторного (анодного)

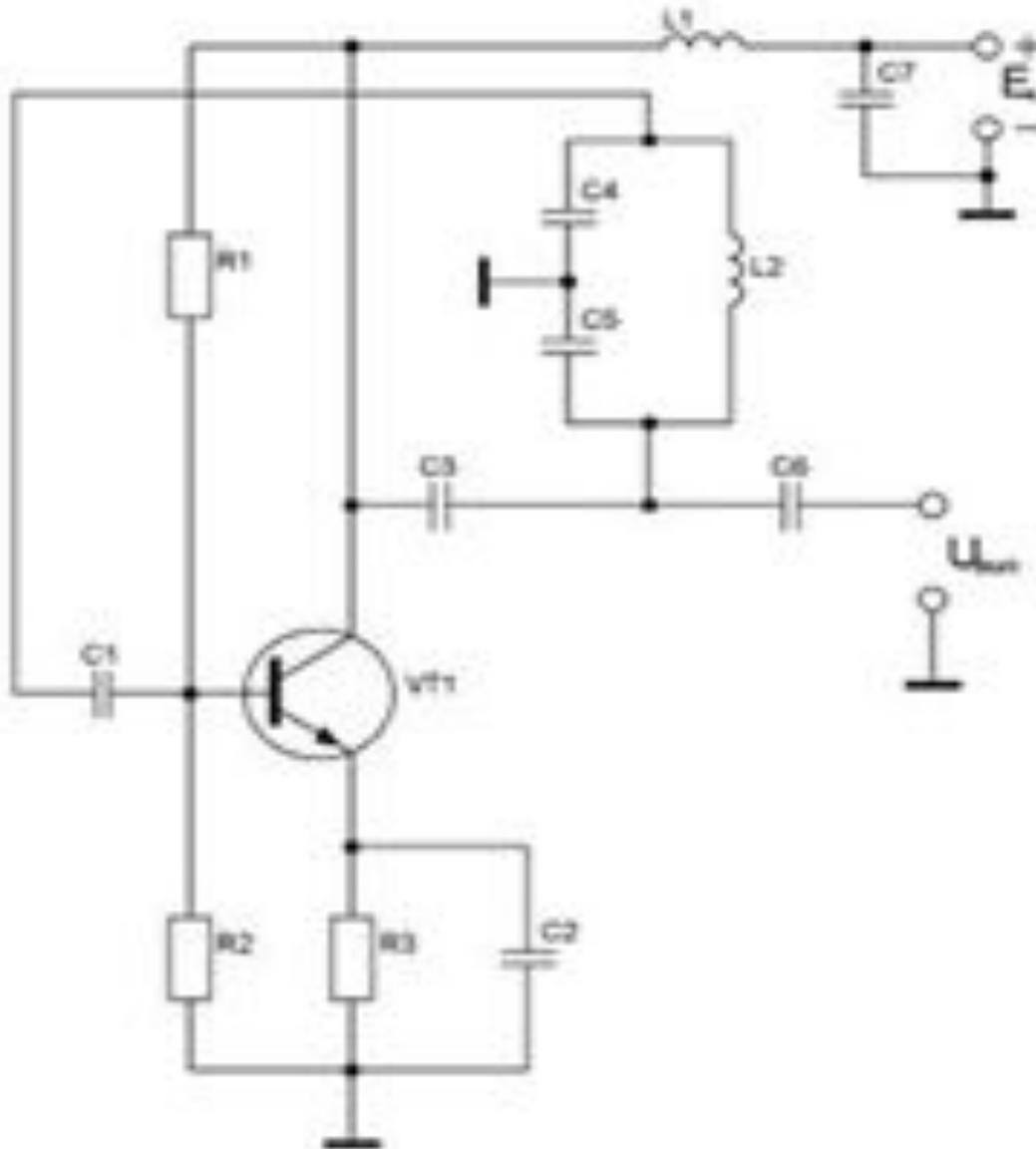
# Принципиальная схема АГ с автотрансформаторной ОС



# Состав и работа схемы с автотрансформаторной ОС

- Схема содержит колебательный контур второго вида  $L1C4$ , к трём точкам которого  $к$ ,  $э$ ,  $б$  соответственно подключены коллектор, эмиттер (через блокировочные конденсаторы большой ёмкости  $C1$ ,  $C3$ ) и база (через разделительный конденсатор  $C2$ ) транзистора  $VT$ . Начальное смещение на базе транзистора задаётся делителем напряжения  $R1$ ,  $R2$ . Элементы  $R3$ ,  $C3$  образуют цепь автосмещения, создаваемого падением напряжения на резисторе  $R3$  при протекании по нему постоянной составляющей эмиттерного тока.
- Напряжение обратной связи снимается с части витков катушки  $L1$ , которая одновременно служит делителем напряжения  $U_{кБ}$ , действующего на контуре. Как видно из схемы, условие баланса фаз выполняется потому, что напряжение  $U_{БЭ}$  всегда изменяется в противофазе с переменным напряжением на коллекторе. В этом можно убедиться, рассмотрев направление токов в ветвях контура  $L1C4$ . Индуктивность катушки  $L1$  в точке  $э$  делится на  $L_{кэ}$ , образующую левую (индуктивную) ветвь контура, и на  $L_{Бэ}$ , которая с конденсатором  $C4$  образует правую (емкостную) ветвь. Так как токи  $i_L$  и  $i_C$  в ветвях параллельного контура в любой момент времени противоположны по направлению.

# АГ с ёмкостной ОС



## Состав схемы АГ с ёмкостной ОС

В этой схеме применен колебательный контур третьего вида  $L2C4C5$ , соединенный точками  $k$ ,  $э$ ,  $б$  соответственно через конденсаторы  $C3$ ,  $C2$  и  $C1$  с коллектором, эмиттером и базой транзистора  $VT1$ . В автогенераторе применена схема параллельного коллекторного питания, в которой источник питания, колебательный контур и транзистор включены параллельно друг другу. Для ослабления шунтирующего действия высокочастотного дросселя  $L1$  на контур индуктивность дросселя выбирают исходя из соотношения  $L2=(10...20)L1$ . Общую ёмкость контура составляют ёмкости двух конденсаторов:  $C4$  и  $C5$ , причём  $C4$  образует ёмкостную ветвь контура, а  $C5$  и  $L1$  — индуктивную ветвь. Так как соответствующие токи  $i_c$  и  $i_L$  в любой момент времени направлены противоположно друг другу, напряжения  $U_{кэ}$  и  $U_{бэ}$  противофазны. Следовательно, условие баланса фаз выполняется, поскольку напряжение, снимаемое с конденсатора  $C5$ , является напряжением обратной связи, а снимаемое с  $C4$  —

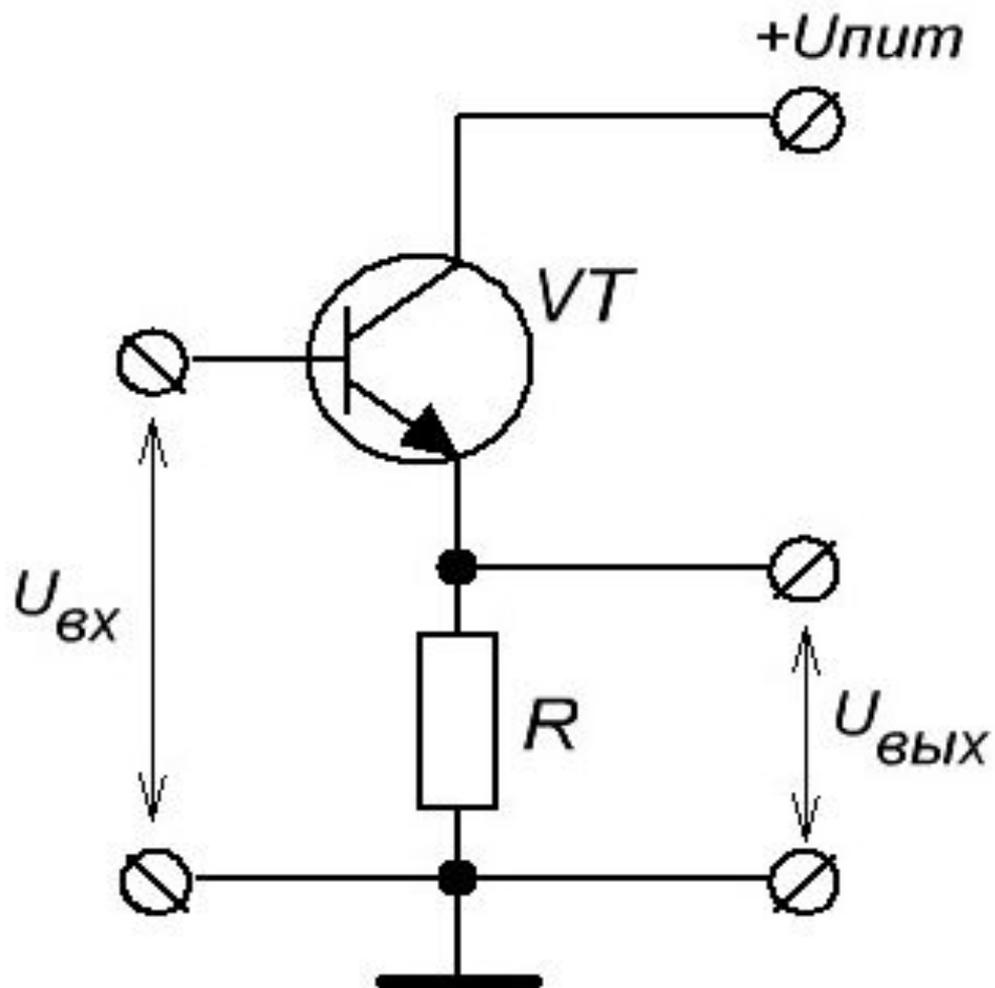
## **2-й вопрос: Связь со следующим каскадом**

- 1. Назначение буферного каскада АГ.**
- 2. Упрощенная схема эмиттерного повторителя.**
- 3. Свойства схемы ЭП.**
- 4. Сущность работы ЭП.**

# Назначение буферного каскада АГ

Автогенератор должен иметь буферный каскад. Буферные каскады используются для согласования параметров различных функциональных блоков в готовом устройстве. В качестве такого каскада наиболее часто используется эмиттерный повторитель в силу его основных достоинств, а именно: высокое входное и низкое выходное сопротивление, повторение фазы входного сигнала на выходе, простота составления электрической схемы и её расчёта. Буферный каскад включается непосредственно после АГ и обеспечивает ему постоянную во времени

# Упрощенная схема эмиттерного повторителя



# Свойства схемы ЭП

- 1) Напряжение  $U_{\text{ВЫХ}}$  меньше  $U_{\text{ВХ}}$  на 0,6-0,7 Вольт (падение напряжения на базе-эмиттере).
- 2)  $U_{\text{ВЫХ}}$  в точности повторяет по форме и фазе  $U_{\text{ВХ}}$ .
- 3) Сопротивление со стороны входа (входное сопротивление) большое.
- 4) Сопротивление со стороны выхода (выходное сопротивление) маленькое.
- Сопротивление со стороны входа (входное сопротивление) рассчитывается по формуле:
- $R_{\text{вх}} = R_{\text{э}} \times \beta,$
- где  $R_{\text{э}}$  - это сопротивление резистора в цепи эмиттера.
- $\beta$  - коэффициент усиления по току.

# Сущность работы ЭП

- Когда мы присоединяем нагрузку, то меняется и входное сопротивление, так как параллельно  $R_3$  присоединяется какое-то сопротивление, являющееся нагрузкой.
- Эмиттерный повторитель *уменьшает выходное сопротивление источника сигнала в  $\beta$  раз.*
- схема не усиливает напряжение, а даже его немного ослабляет. Так как входное сопротивление такой схемы большое, значит, можно нагрузить на вход эмиттерного повторителя какой-либо сигнал, не боясь, что он просядет, а на выход можно присоединить низкоомную нагрузку.
- Эмиттерный повторитель выполняет роль согласования между источником сигнала с высоким выходным сопротивлением и низкоомной нагрузкой. Еще более простыми словами: *эмиттерный повторитель понижает выходное сопротивление источника сигнала.* В этом и заключается его роль.
- Также эмиттерный повторитель даёт усиление по току, а не по напряжению. А так как повышается сила тока, следовательно, и мощность, отдаваемая в нагрузку, тоже будет больше, так как  $P=IU$ , где  $P$  - это мощность,  $I$  - сила тока,  $U$  - напряжение