

# 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.**

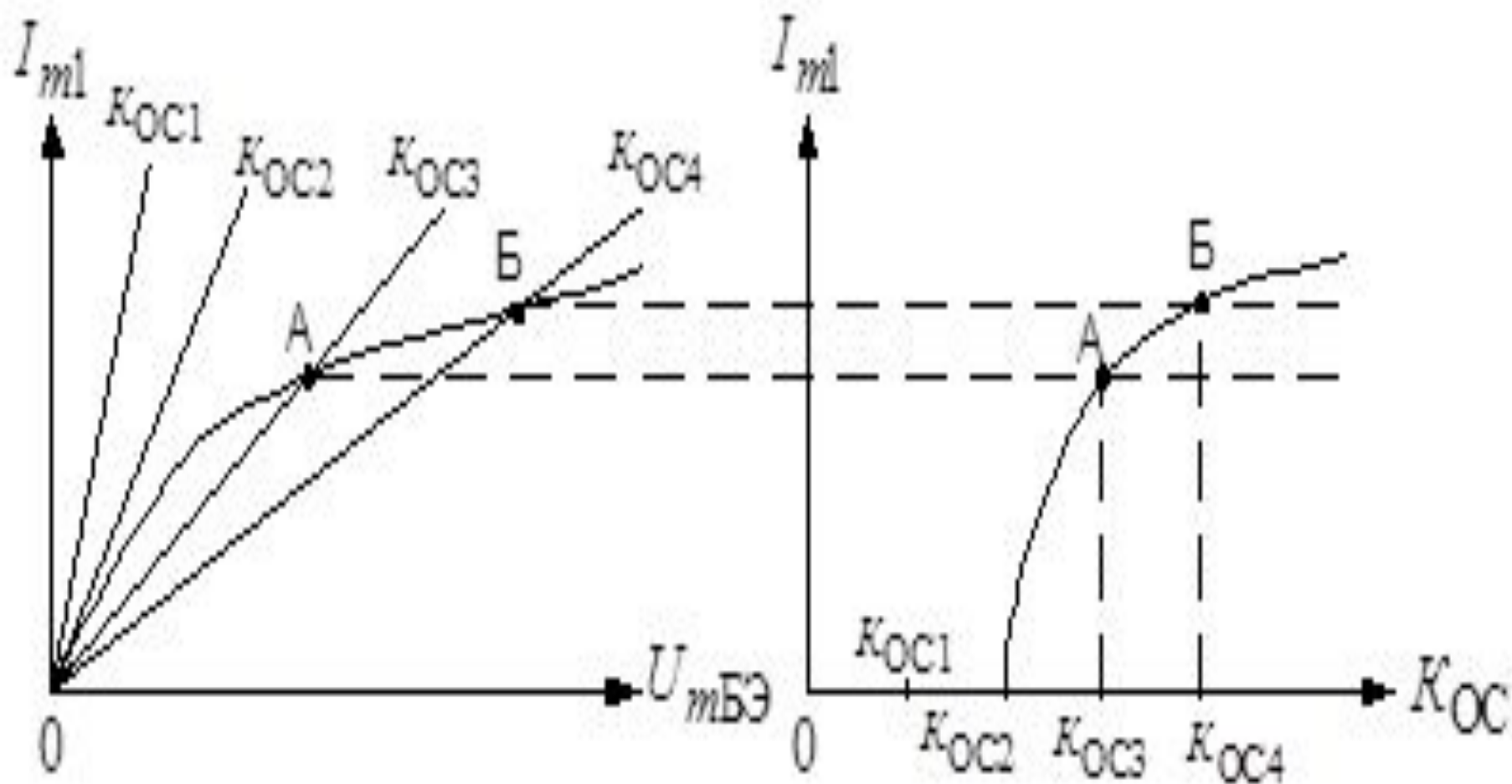
## Историческая справка

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



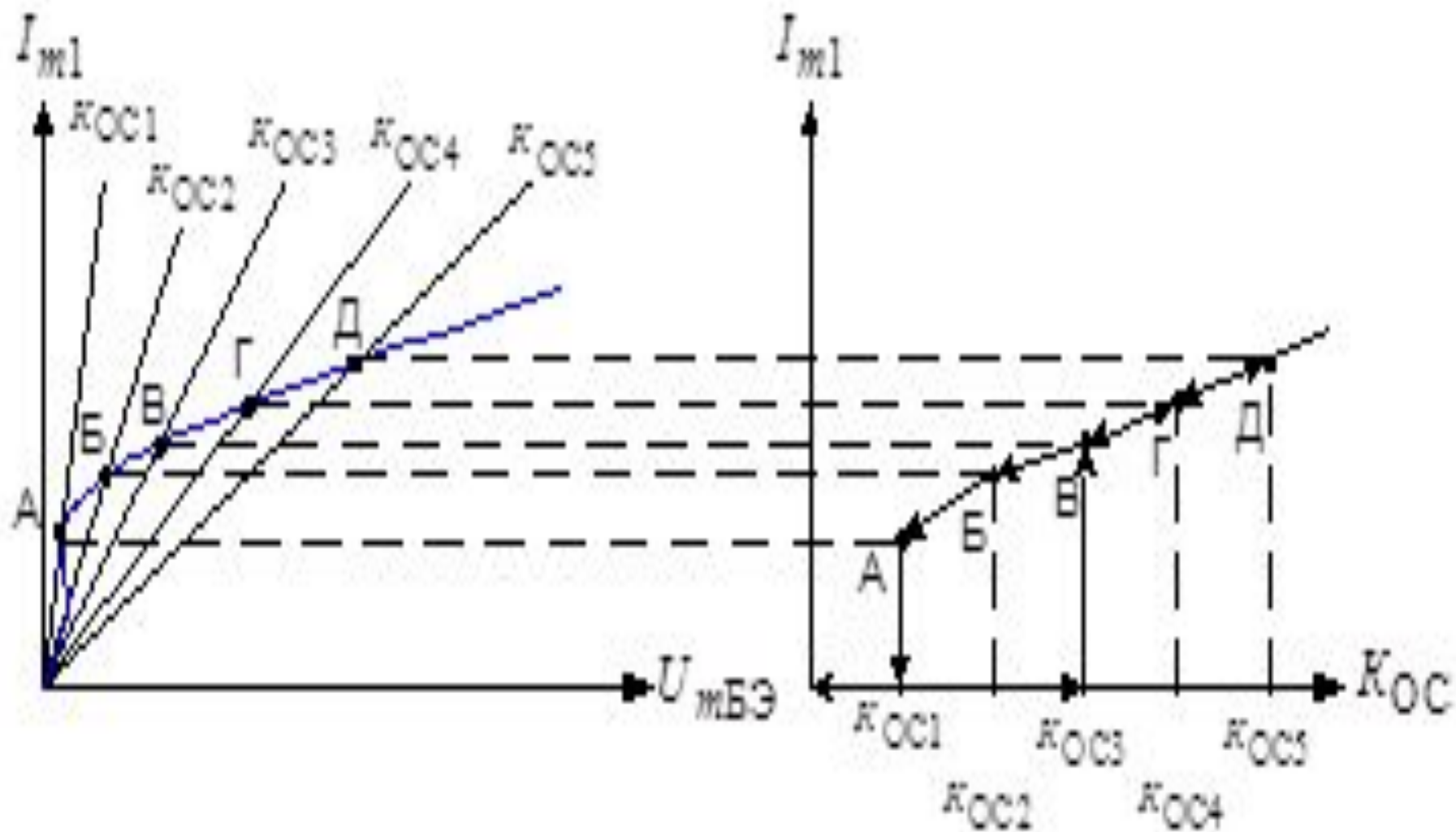
# Анализ изменений амплитуды первой гармоники тока в зависимости от КОС

- 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  $K_{ос}$  ;
- - 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  $K_{ос}$  ;
- - 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  $S < S_{МАХ}$ , 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  $K_{ОСЗ} = K_{ОСКР}$ . Дальнейшее увеличение  $K_{ОС}$  приводит к небольшому увеличению амплитуды первой гармоники выходного (коллекторного) тока  $I_{m1}$  по пути В-Г-Д. Уменьшение  $K_{ОС}$  до  $K_{ОС1}$  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

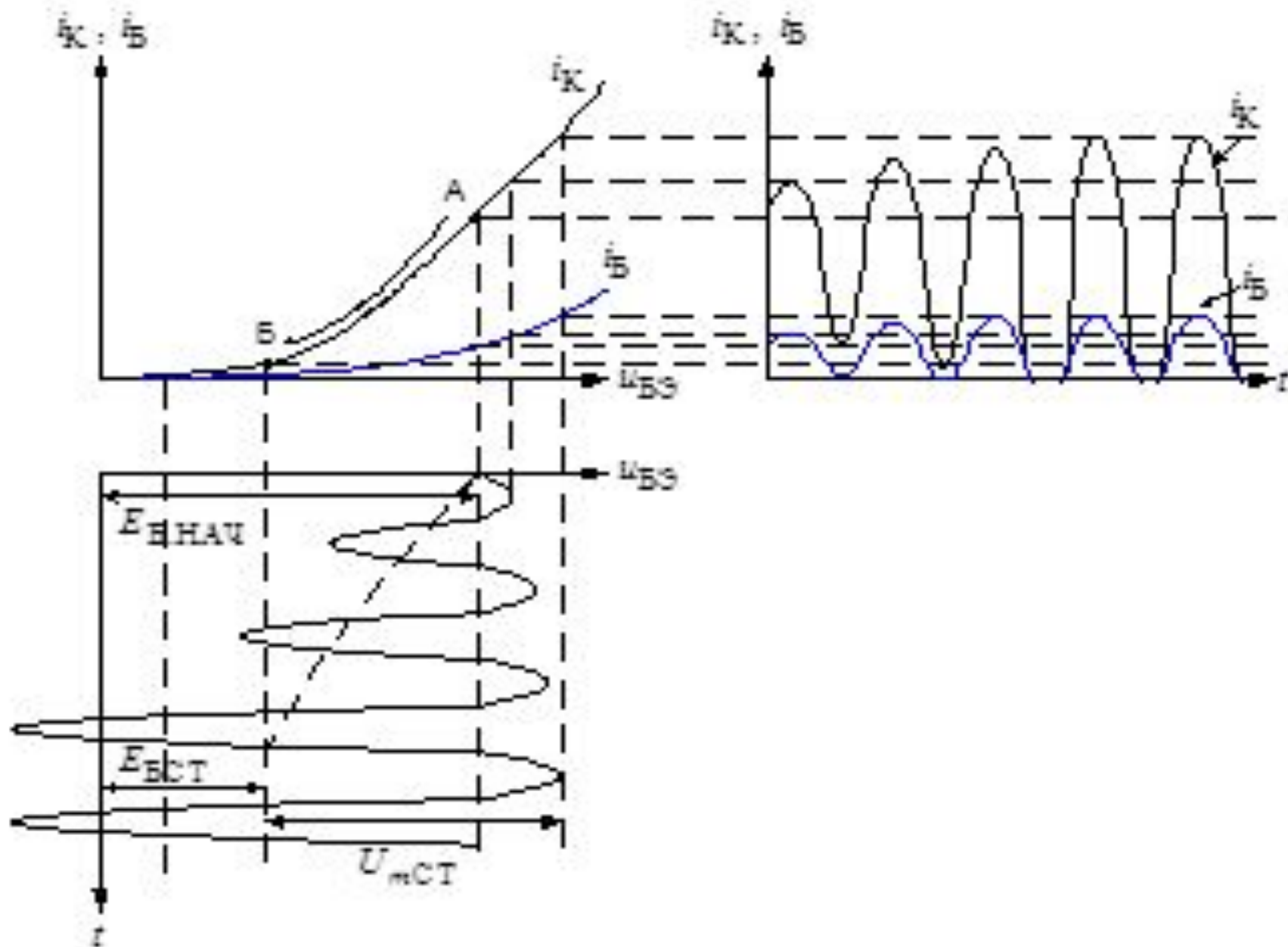
## Сравнение режимов работы АГ

- 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

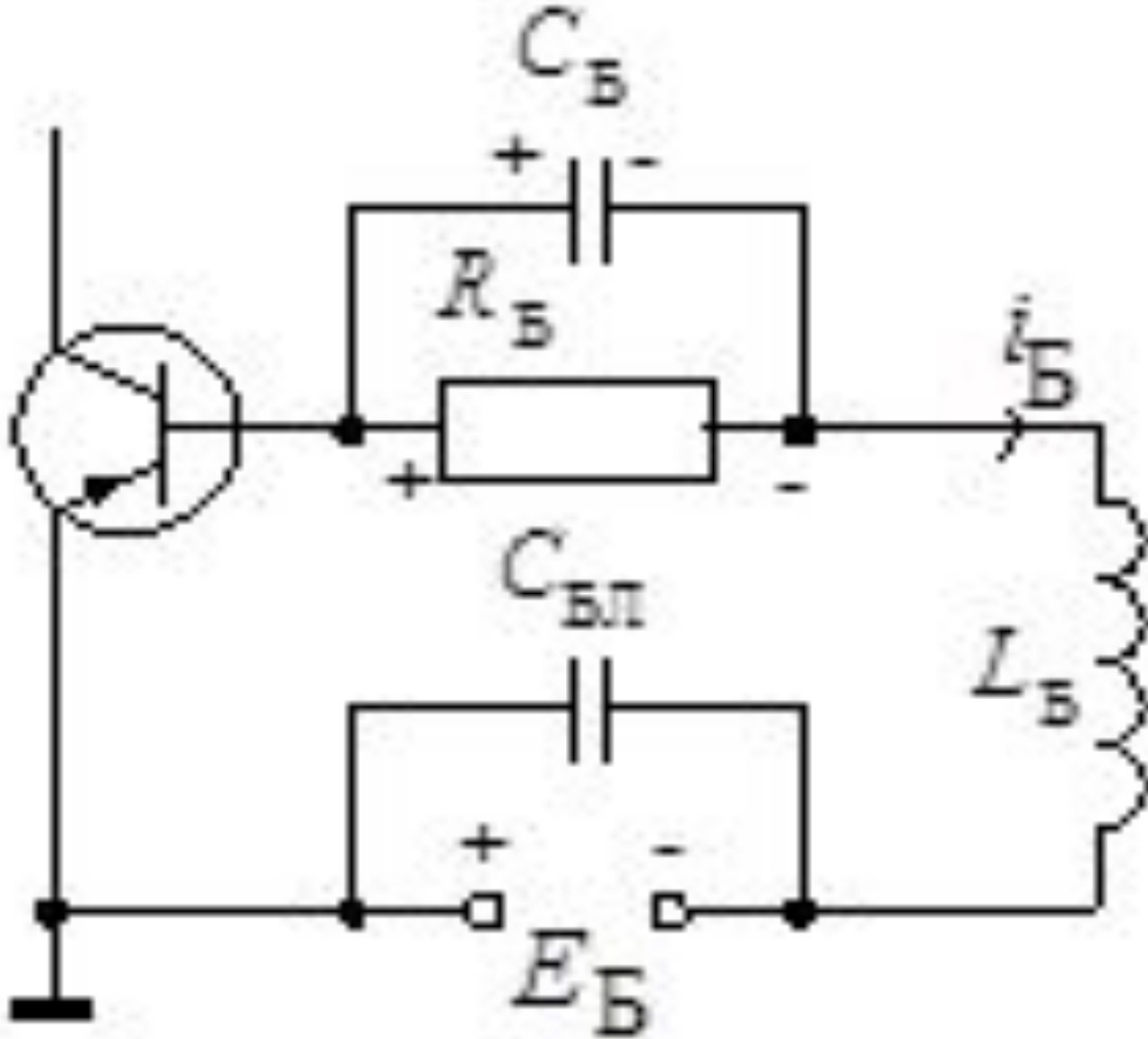
# Сущность режима автоматического смещения

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



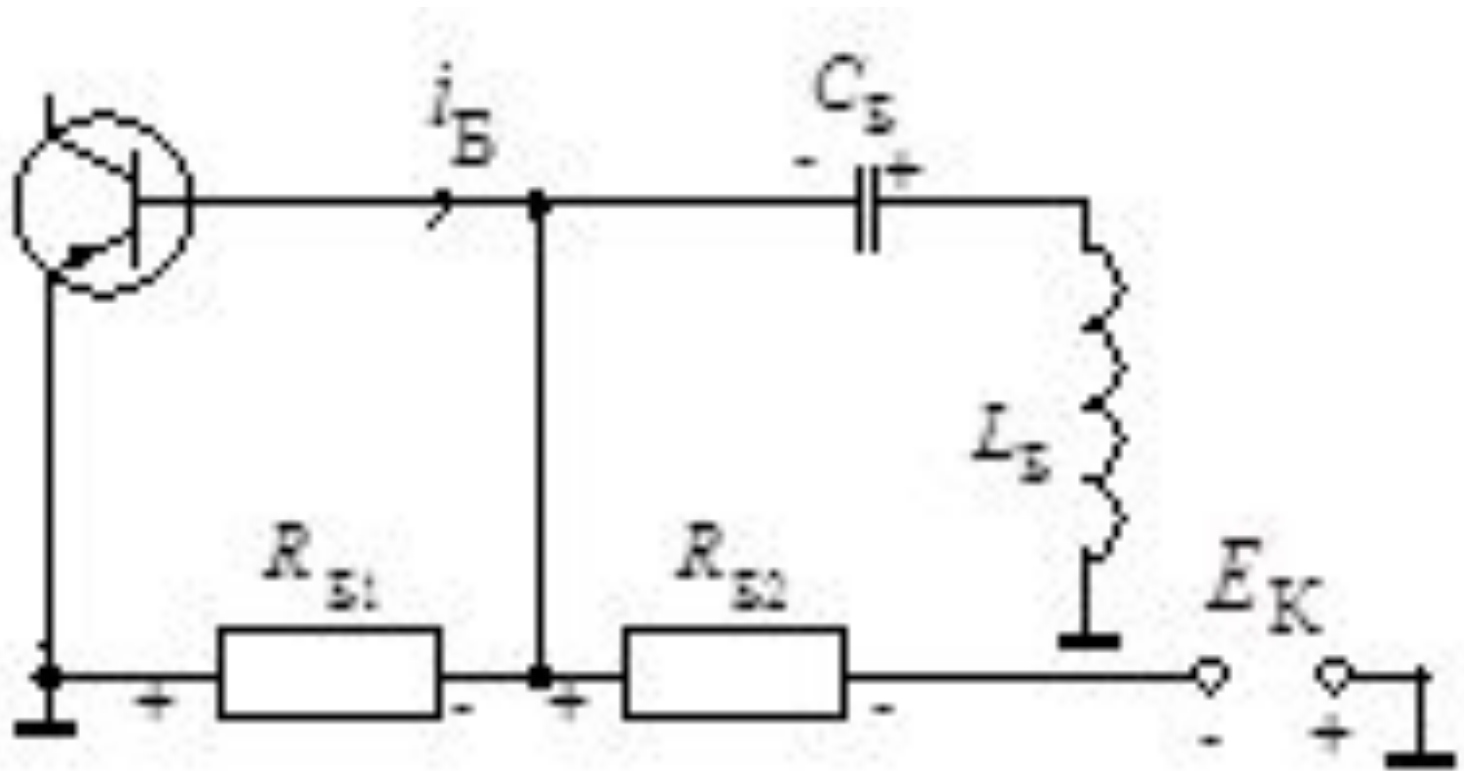
# Схема автоматического смещения АГ



# 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.

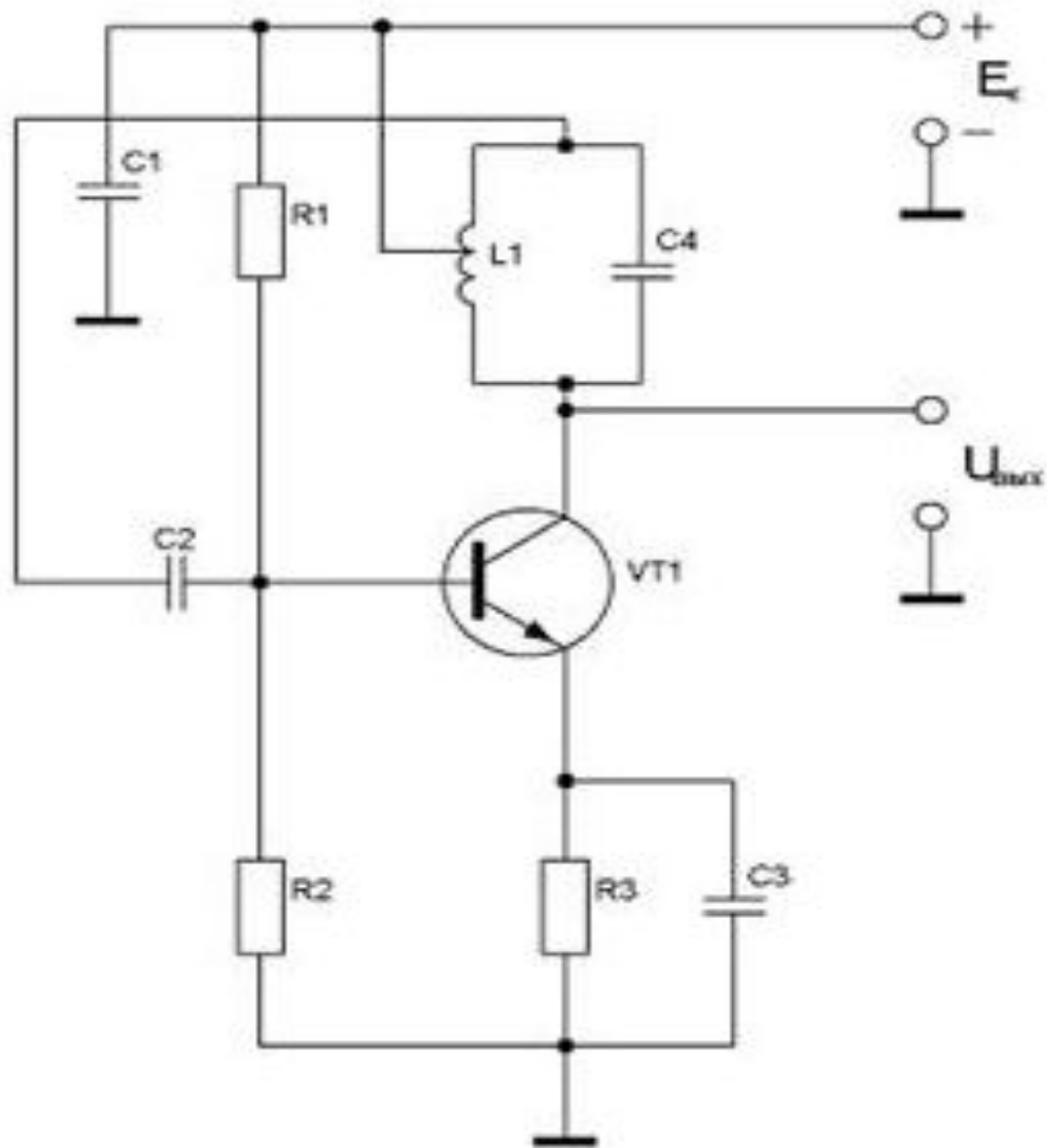
# Сущность АГ с автотрансформаторной ОС

- 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)

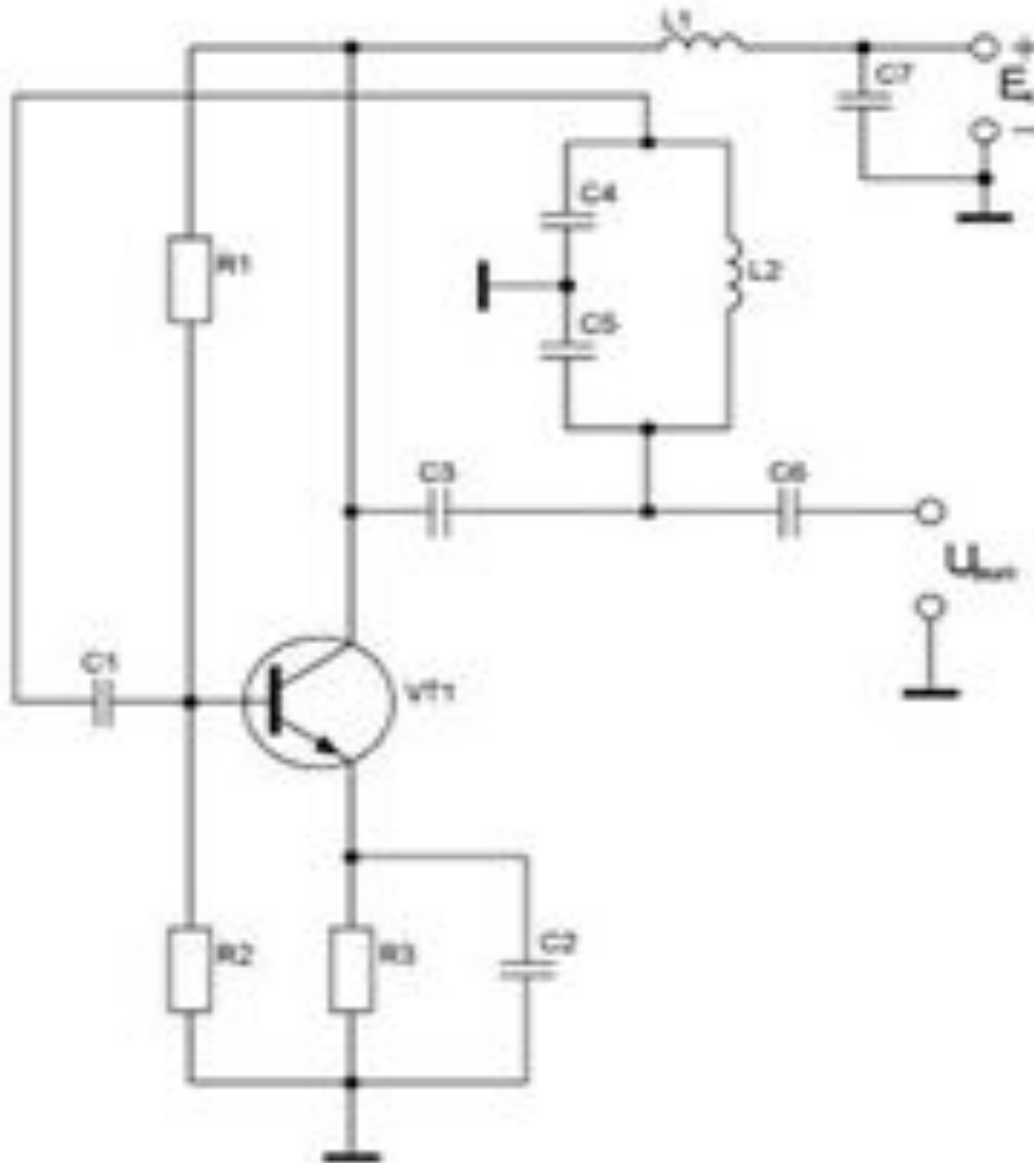
# Принципиальная схема АГ с автотрансформаторной ОС



# 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**

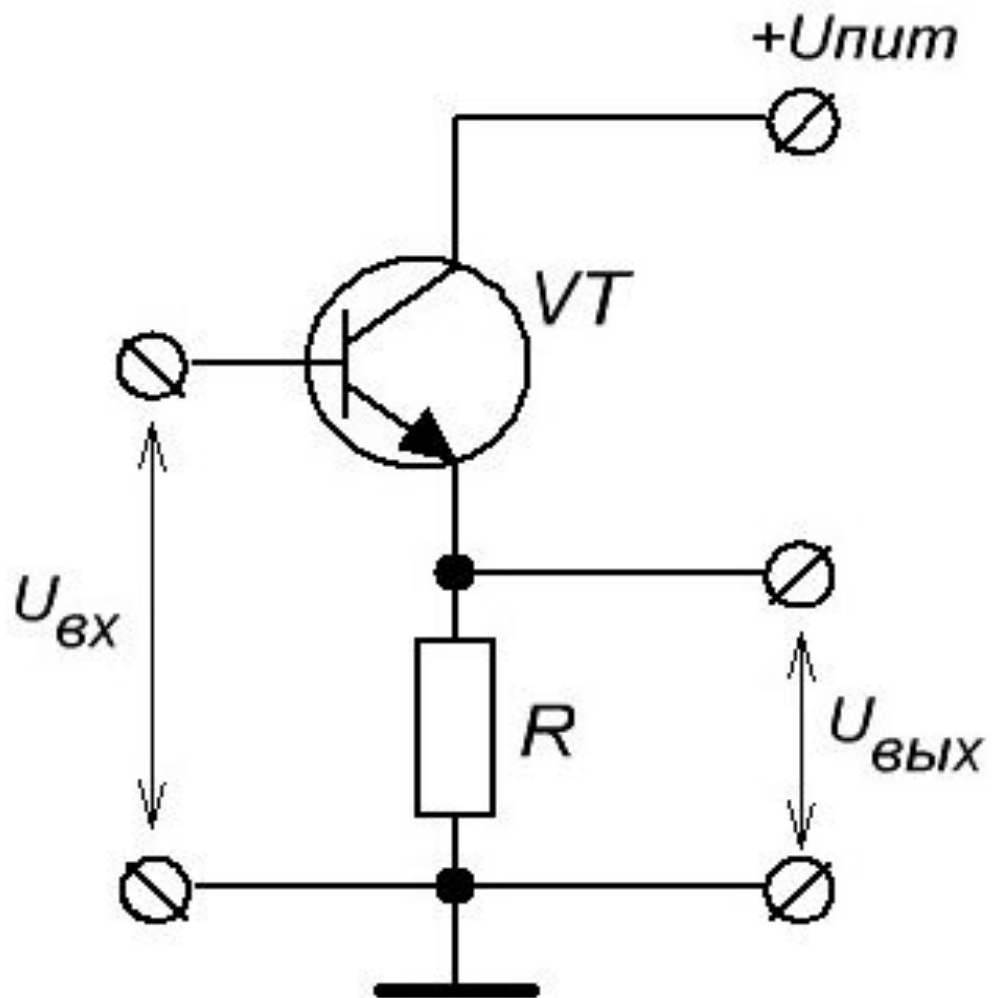
- 1. Назначение буферного каскада АГ.**
- 2. Упрощенная схема эмиттерного повторителя.**
- 3. Свойства схемы ЭП.**
- 4. Сущность работы ЭП.**



# 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