

# Лекция 13

## Тема лекции: Генераторы, управляемые напряжением

- Учебные вопросы:
- 1. Принципы построения ГУН.
- 2. Основные параметры ГУН

# 1-й вопрос: Принципы построения ГУН

1. Назначение основных элементов ГУН.
2. КС высокочастотных ГУН.
3. Типы ГУН.
4. Использование варикапов в ГУН.
5. Диапазон перестройки ГУН.
6. Паразитная амплитудная модуляция в ГУН.
7. Основные преимущества и недостатки ГУН.
8. Использование варикапа в индуктивной трёхточке.
9. Влияние нелинейности ёмкости варикапа.
0. Зависимость ёмкости варикапа от напряжения.
1. Зависимость частоты АГ от напряжения на варикапе.
2. Схема электронной перестройки частоты с помощью варикапа.
3. Правило включения варикапа.
4. Эквивалентная схема ГУН с электронной перестройкой частоты.
5. Варикап со сверхрезким переходом.

# Назначение элементов ГУН

- Генератор, управляемый напряжением, представляет собой автогенератор (АГ), частота выходного сигнала которого  $f_{\text{ВЫХ.}}$  может изменяться под действием внешнего управляющего сигнала напряжения  $E_y$  или тока.
- Основными элементами ГУН являются генераторный прибор, колебательная система (КС) и управитель частотой, т. е. реактивный нелинейный элемент, включенный в состав КС. Под действием управляющего сигнала изменяется реактивное сопротивление (проводимость) управителя, резонансная частота КС и, как следствие, частота генерируемых колебаний.
- Назначение генераторного прибора – компенсировать потери в колебательной системе. В качестве генераторного прибора вплоть до сантиметрового диапазона волн используются биполярные и полевые транзисторы. В миллиметровом диапазоне применяются двухполюсные генераторные полупроводниковые приборы с отрицательным

## КС высокочастотных ГУН

**КС высокочастотных ГУН выполняется на сосредоточенных LC-элементах. В состав КС в ряде случаев может быть включен кварцевый резонатор. В диапазоне СВЧ в зависимости от конкретных значений частоты КС и блокировочные элементы могут быть выполнены, как на базе элементов с сосредоточенными параметрами, так и на основе соответствующих микрополосковых линий или других устройств с распределенными параметрами. В состав КС также может быть введен коаксиальный**

# Типы ГУН

- **ГУНы можно разделить на два типа в зависимости от выходного сигнала:**
- **Гармонические осцилляторы**;
- **Релаксационные генераторы**.
- **Гармонические осцилляторы генерируют сигнал синусоидальной формы. В их состав входят усилитель и резонансный контур (контур необходим для того, чтобы отправить сигнал обратно на вход). Колебания происходят на частоте настройки, где положительное усиление возникает благодаря цепи обратной связи.**
- **Перестраиваемые генераторы** (иначе – генераторы, управляемые напряжением **ГУН**) часто выполняют по схеме ёмкостной трёхточки с контуром между коллектором и базой.

# Использование варикапов в ГУН

- Для перестройки частоты используется варикап, ёмкость которого зависит от приложенного к нему обратного напряжения смещения  $C_v = C_0 / (1 + U / \varphi_k)^{\gamma}$ , где  $C_0$  – ёмкость варикапа при нулевом смещении,  $\varphi_k$  – контактная разность потенциалов,  $\gamma$  – показатель степени, зависящий от типа  $p$ - $n$ -перехода.
- При  $\gamma = 0.5$  – речь идет о варикапе с «плавным» переходом, при  $\gamma = 0.5$  – с «резким» переходом, а при  $1 \leq \gamma \leq 2$  – о «сверхрезком». Значение определяется законом изменения концентрации примесей в  $p$ - $n$ -переходе. **Наибольшее применение в ГУН имеют варикапы с  $\gamma = 0.5$ .** При выборе варикапа с определенным значением следует учитывать определяющее влияние этого параметра на линейность СМХ.

# Диапазон перестройки ГУН

- Диапазон перестройки ГУН в первую очередь определяется пределами изменения ёмкости варикапа. Максимально возможная величина ёмкости  $C_{B \max}$  ограничивается необходимостью работы в режиме закрытого  $p-n$ -перехода ( $u_{п \max} < 0$ ), а минимально возможная – обратным пробивным напряжением ( $<$ ). С ростом возрастает и отношение и у диодов со «сверх-резким» переходом оно доходит до 6...8. С увеличением амплитуды высокочастотного напряжения на варикапе это отношение уменьшается. Кроме того, диапазон перестройки зависит от коэффициента включения варикапа в КС АГ и убывает с его уменьшением. Однако уменьшение коэффициента включения сопровождается уменьшением , что допускает

# Паразитная амплитудная модуляция в ГУН

При изменении частоты, обусловленном изменением, происходят и изменение волнового сопротивления КС и добротности варикапа, где – сопротивление материала полупроводника и выводов диода. При этом изменяется эквивалентное сопротивление КС, вызывающее изменение амплитуды колебаний, т. е. паразитную амплитудную модуляцию (ПАМ). Отмеченное явление может привести к уменьшению  $K_D$  за счёт срыва генерации при недостаточном запасе по самовозбуждению. ПАМ выходного сигнала ГУН может быть устранена путём включения на его выходе ограничителя амплитуды.



# Основные преимущества и недостатки ГУН

Основными преимуществами управителей частоты на варикапах являются простота схемной реализации, практически отсутствие инерционности в управлении частотой, ничтожная мощность, потребляемая от источника управляющего напряжения, и малые габариты. К недостаткам таких управителей следует отнести значительную нелинейность СМХ при больших  $K$  и возникающее при этом

# Использование варикапа в индуктивной

## трёхточке

- ГУН с управителями на варикапах обычно выполняются на основе «трёхточечных» схем автогенераторов. Сразу же отметим, что вне зависимости от конкретной схемы АГ для увеличения  $K_d$  необходимо уменьшать амплитуду напряжения высокой частоты  $C_{в max} / C_{в min}$  в варикапе, что увеличивает отношение  $K_d$ .
- Использование схемы «индуктивной трехточки» позволяет получить максимальное значение  $K_d$ , поскольку варикап может быть единственным ёмкостью  $U_k(1 + K_{o.c})$  в контуре колебательной системы ГУН. Однако при этом амплитуда  $U_{вч}$  будет равна  $U_k K_{o.c}$  – амплитуда высокочастотного напряжения между коллектором и эмиттером  $U_{вч} \approx U_k$  исторически, а коэффициент обратной связи. Если используется схема «ёмкостной трехточки», то  $U_{вч} \approx U_k K_{o.c}$  при включении варикапа между коллектором и эмиттером и  $U_{вч} \approx U_k$  – при включении между базой и эмиттером. Присутствие в КС этих схем помимо варикапа линейных ёмкостей приводит, с одной стороны, к уменьшению  $K_d$ , с другой – к росту

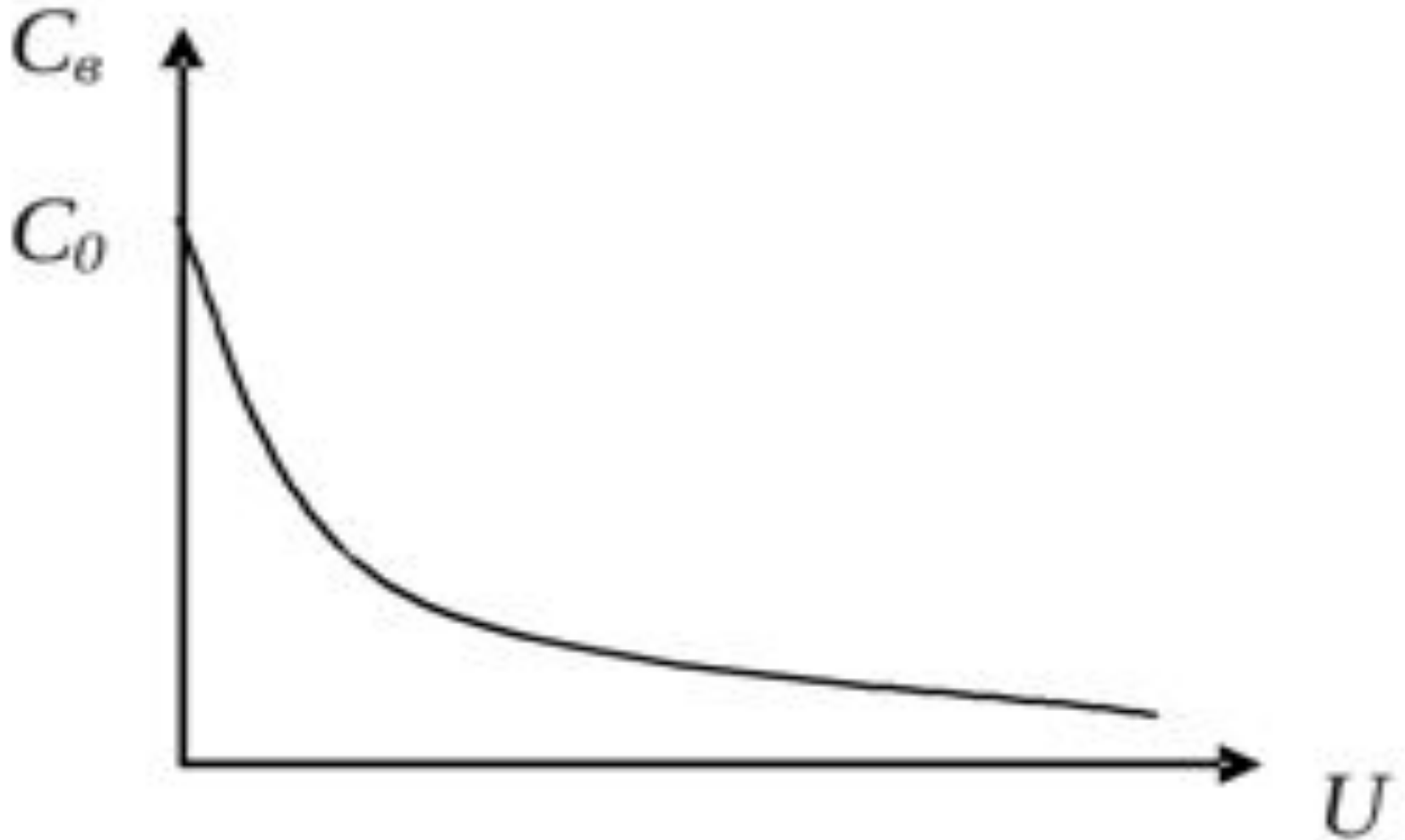
# Влияние нелинейности емкости

## варикапа

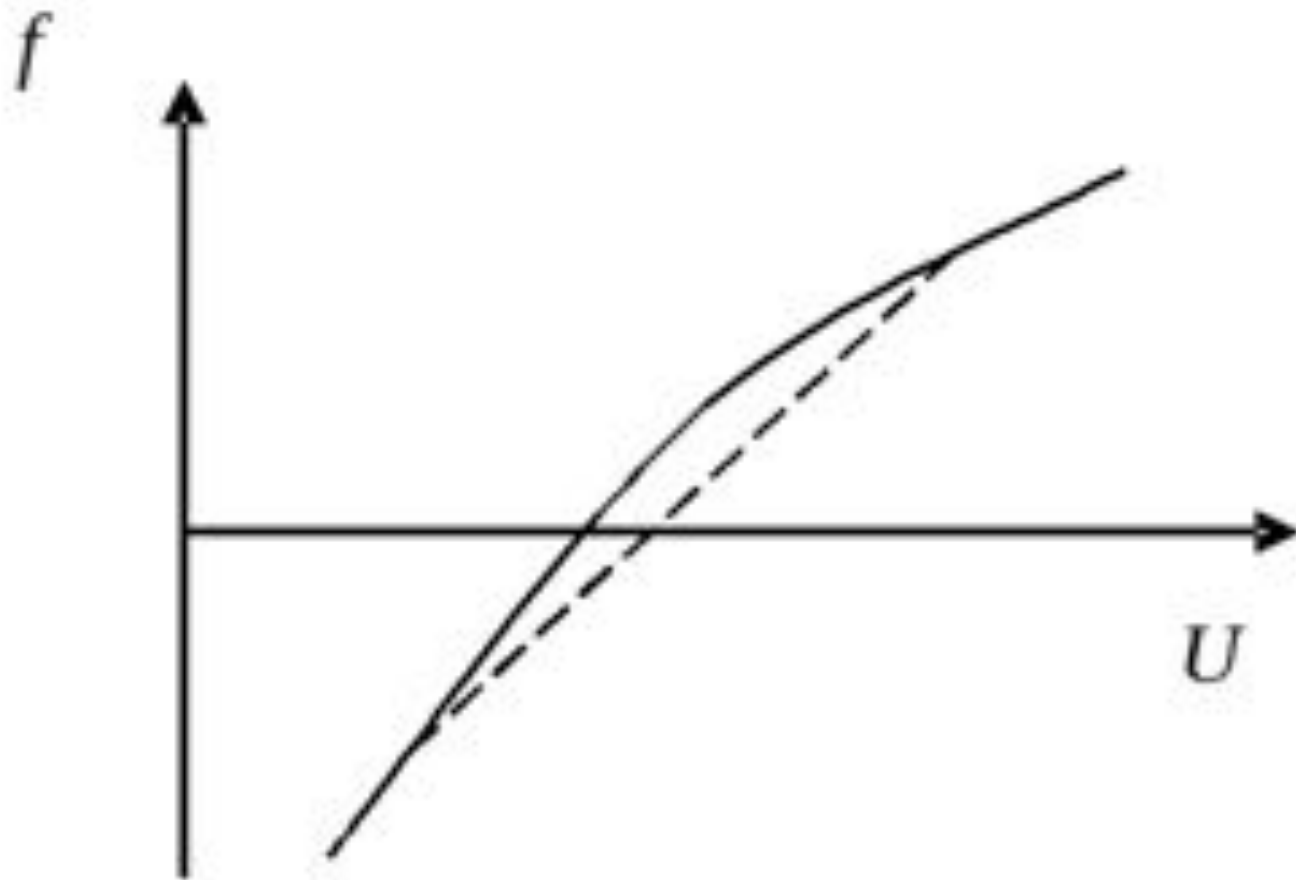
Наличие в КС ГУН нелинейной ёмкости варикапа увеличивает уровень высших гармоник. Для их уменьшения целесообразно использовать два варикапа, встречно включенных по отношению к напряжению высокой частоты. В таком случае падение этого напряжения на варикапах сопровождается противофазным изменением их емкостей и практически постоянной величиной емкости их последовательного соединения.

Результирующая ёмкость  $C_{в\ max} / C_{в\ min}$  | теля

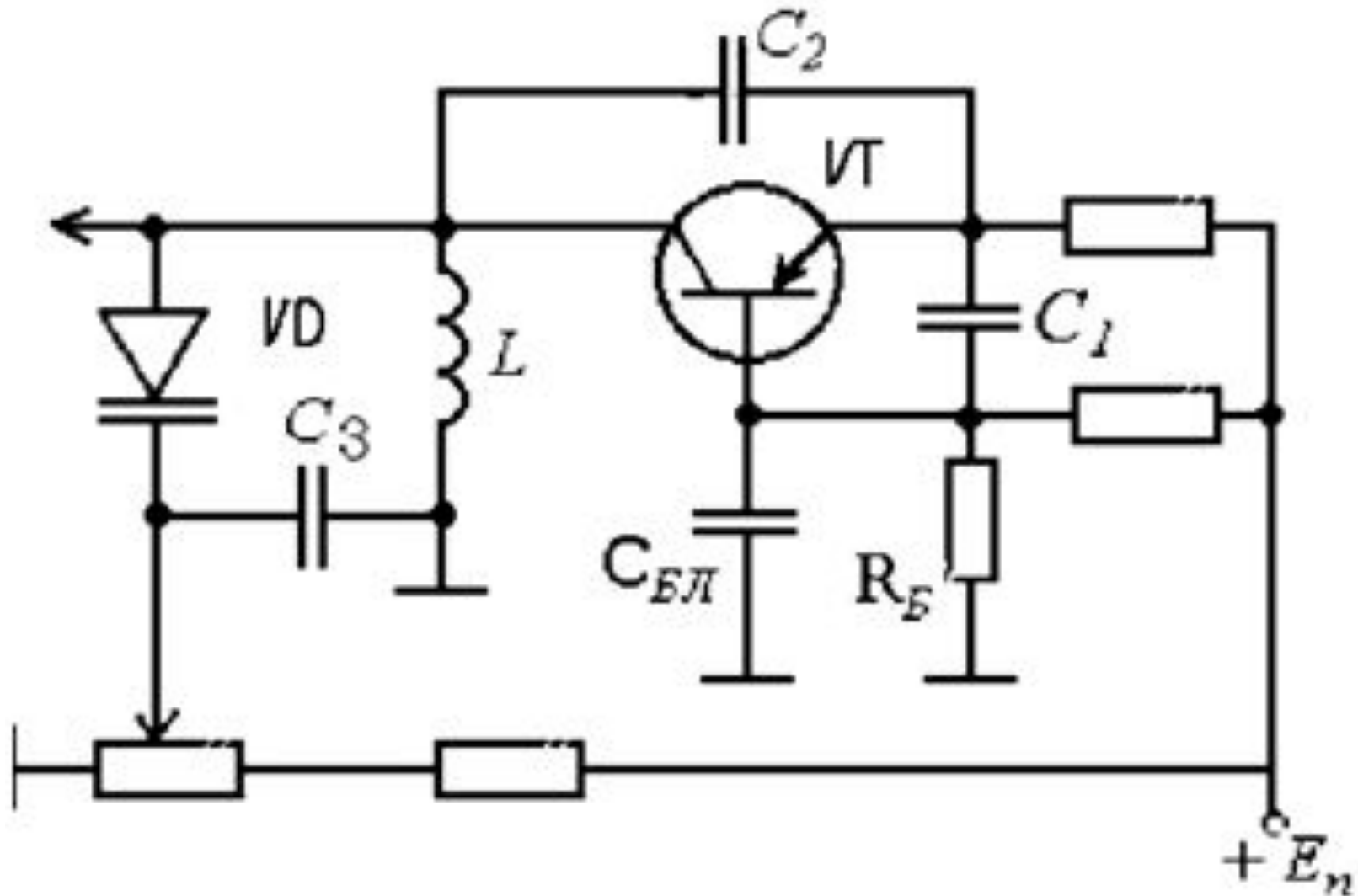
# Зависимость ёмкости варикапа от напряжения



# Зависимость частоты АГ от напряжения на варикапе



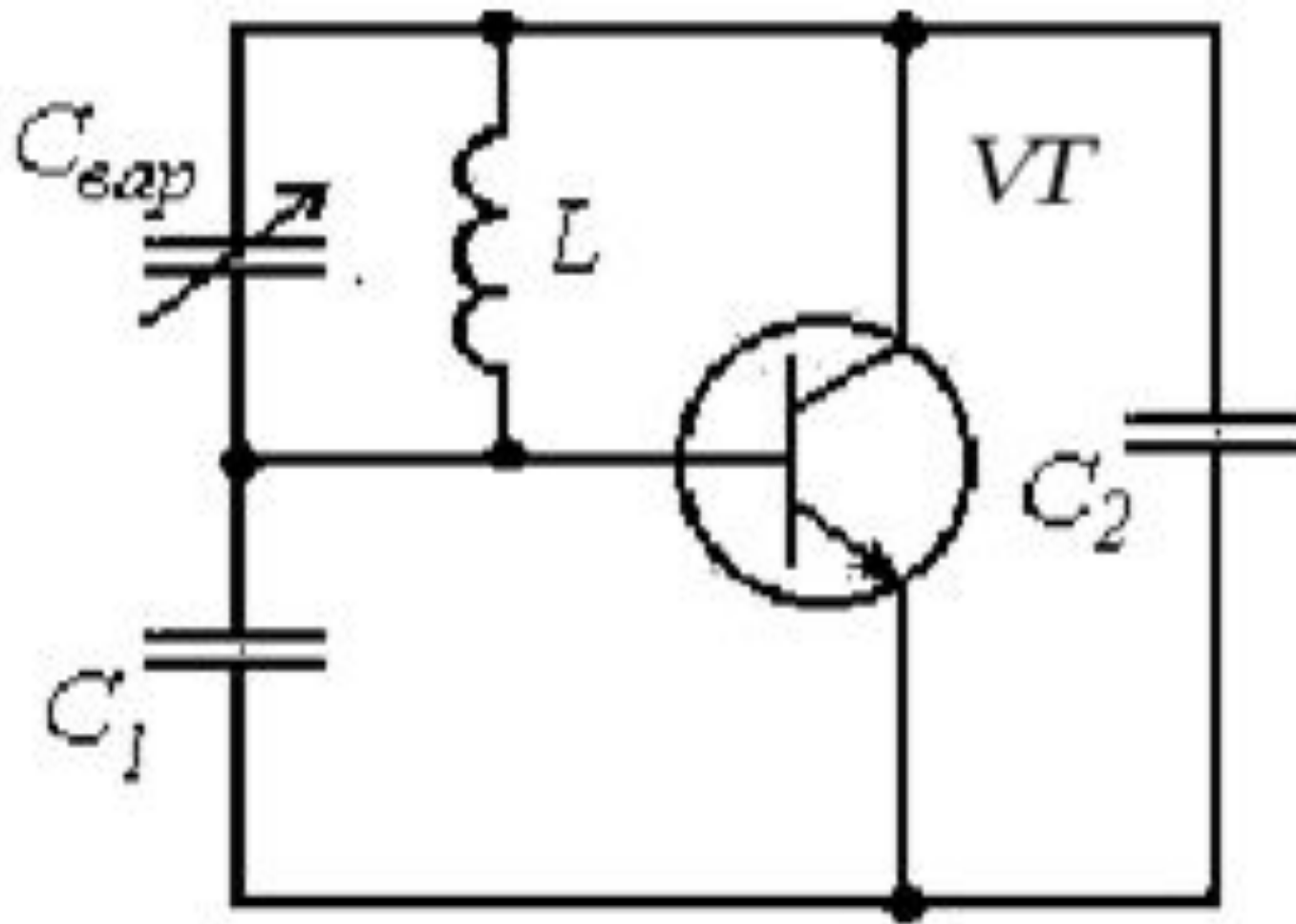
# Схема электронной перестройки частоты с помощью варикапа



# Правило включения варикапа в схему трёхточки

**Варикап должен быть в закрытом состоянии, т.е. включен в обратном направлении, т.к. при прямом включении через него будет протекать большой ток и он будет шунтировать контур.**

# Эквивалентная схема ГУН с электронной перестройкой частоты





## Варикап со свехрезким переходом

Часто требуется линейная зависимость частоты от напряжения смещения. Для этого, согласно формуле Томсона, требуется  $C_0 = Au^{-2}$  п, у которого т.е. варикап со свехрезким переходом. Однако такие зависимости удаётся получить лишь в сравнительно узком диапазоне напряжений – от 6 до 8 вольт. Поэтому варикапы со свехрез-кими переходами применяют не столь широко, как обычные варикапы с резкими

## 2-й вопрос: Основные параметры ГУН

1. Требования к ГУН.
2. Основные параметры СМХ.
3. Основные параметры и характеристики ГУН.
4. Схема ГУН на операционных усилителях

# Требования к ГУН

- - вид статической модуляционной характеристики (СМХ), т. е. зависимость  $f_{\text{ВЫХ.}}$  от  $E_y$ ;
- - диапазон изменения частоты;
- - уровень фазовых шумов вблизи  $f_{\text{ВЫХ.}}$  в выходном сигнале ГУН;
- - инерционность управления частотой;
- - чувствительность к внешним дестабилизирующим факторам.

# Основные параметры СМХ

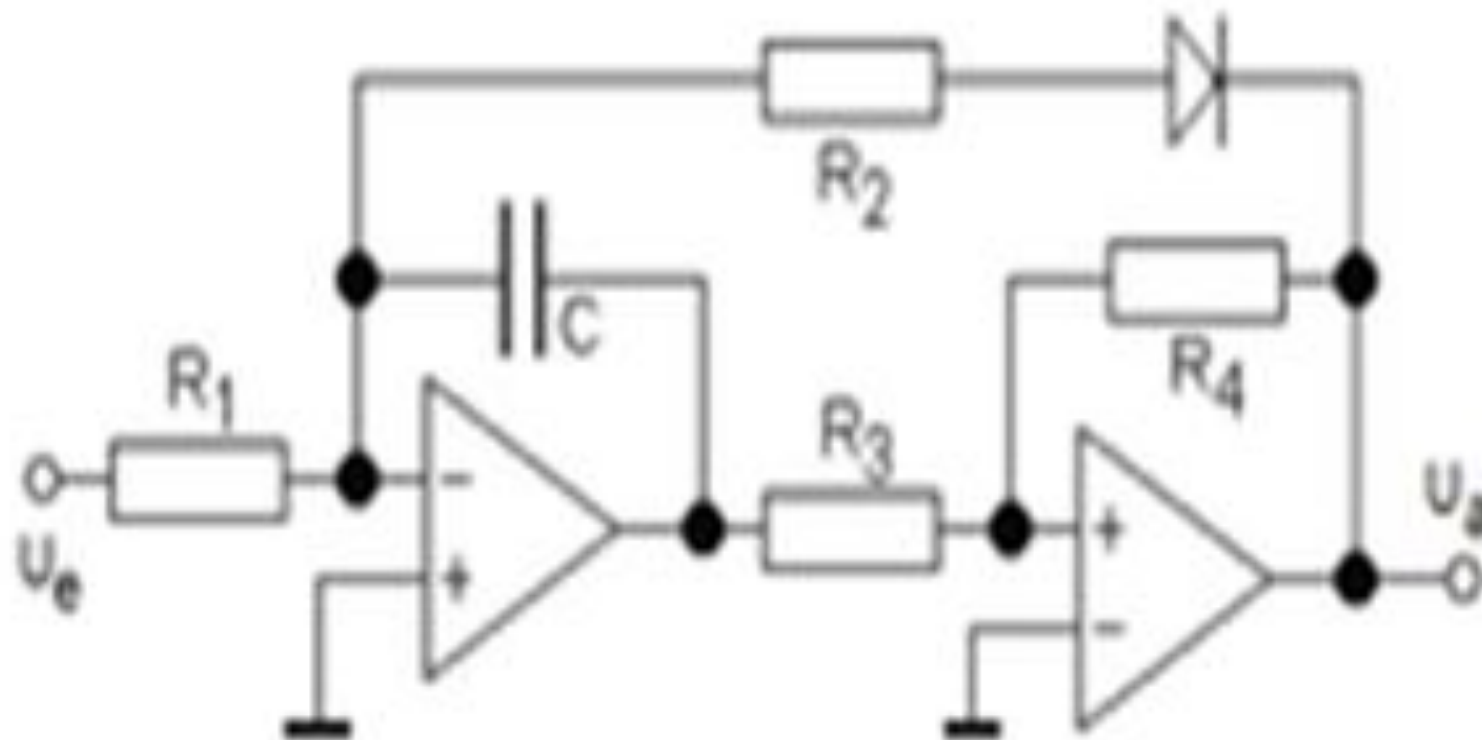
Основными параметрами СМХ являются её линейность и крутизна  $S_{\text{ГУН}}$ . Требования к линейности СМХ с точки зрения перестройки частоты ССЧ ниже, чем при формировании сигналов с частотной модуляцией. Однако необходимо учитывать, что нелинейность СМХ приводит к изменению  $S_{\text{ГУН}}$  в диапазоне рабочих частот ССЧ и, следовательно, к изменению параметров синтезатора. Линейность СМХ падает с ростом диапазона перестройки  $K_D$ .

Шумовые параметры ГУН обычно хуже, чем у неуправляемых АГ, что связано с наличием собственных шумов элементов цепей управления частотой и воздействием внешних дестабилизирующих факторов через эти цепи на стабильность  $f$

# Основные параметры и характеристики ГУН

- 1. Диапазон частот перестройки ГУН.
- 2. Крутизна перестройки ГУН по частоте.
- 3. Характеристика перестройки ГУН по частоте.
- 4. Нелинейность перестройки по частоте.
- 5. Мощность выходного сигнала.
- 6. Отклонение от номинальной величины мощности на выходе ГУН.
- 7. Зависимость выходной мощности от температуры.
- 8. Зависимость частоты от температуры.
- 9. Скорость перестройки частоты.
- 10. Ширина полосы частот модуляции.
- 11. Остаточная расстройка ГУН.
- 12. Уход частоты ГУН.
- 13. Уход частоты ГУН при изменении температуры.
- 14. Затягивание частоты.
- 15. Смещение частоты.
- 16. Коэффициент гармоник.
- 17. Побочные составляющие.
- 18. Фазовый шум

# Схема ГУН на операционных усилителях



# Качество выходного сигнала ГУН

## Качество выходного сигнала ГУН

характеризуют:

- **выходная мощность;**
- **диапазон частот;**
- **спектральная плотность мощности (СПМ) фазового шума;**
- **подавление высших гармоник;**
- **значения питающего напряжения;**
- **продолжительность процесса включения и выключения.**