

# ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ



**ХНУРЭ**, факультет **КИУ**, каф **ЭВМ**,  
Тел. 70-21-354. Доц. Торба А.А.

# ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ ЛЕКЦИИ

- УСЛОВИЕ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ  
АВТОГЕНЕРАТОРОВ
- ГЕНЕРАТОРЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ  
СИГНАЛОВ
- ГЕНЕРАТОРЫ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ  
ИМПУЛЬСОВ (МУЛЬТИВИБРАТОРЫ)
- ЖДУЩИЕ МУЛЬТИВИБРАТОРЫ  
(ОДНОВИБРАТОРЫ)

# ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

- Генератором электрических колебаний называется устройство, преобразующее **энергию источника постоянного тока** в энергию переменного тока **требуемой формы**.
- В зависимости от формы выходного напряжения различают: генераторы **гармонических колебаний** (выходной сигнал имеет вид синусоиды) и генераторы **негармонических колебаний** (импульсные или релаксационные генераторы).
- Генератор электрических колебаний может работать в одном из двух режимов: режим **непрерывных автоколебаний** (**автогенератор**) или режим **запуска внешними сигналами**.

- Выходное переменное напряжение в режиме **непрерывных автоколебаний** формируется **сразу** после подключения напряжения питания и не требует для начала работы подачи **внешнего управляющего воздействия**.
- Генераторы, работающие в режиме **запуска** **внешними сигналами**, после подключения источника питания могут сколь угодно долго находиться **в устойчивом состоянии**, не формируя выходное переменное напряжение.
- При подаче **управляющего сигнала** на вход такого генератора, на его выходе формируется выходной сигнал, параметры которого полностью **определяются собственными характеристиками устройства**.

# УСЛОВИЕ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ АВТОГЕНЕРАТОРА

- **Положительная обратная связь (ПОС)** является главной общей особенностью всех генераторов.
- **Коэффициент усиления по напряжению** для усилительного устройства с **ПОС** определяется соотношением:
- $k_{U\_ПОС} = U_{вых} / U_{вх} = k_U / (1 - b_{ос} \cdot k_U)$ .
- Если выполняется условие:  $1 - b_{ос} \cdot k_U = 0$ , то коэффициент усиления становится равным **бесконечности**.
- Это означает, что усилительное устройство **создает выходной сигнал** даже при **бесконечно малом напряжении тепловых шумов** на входе усилителя.

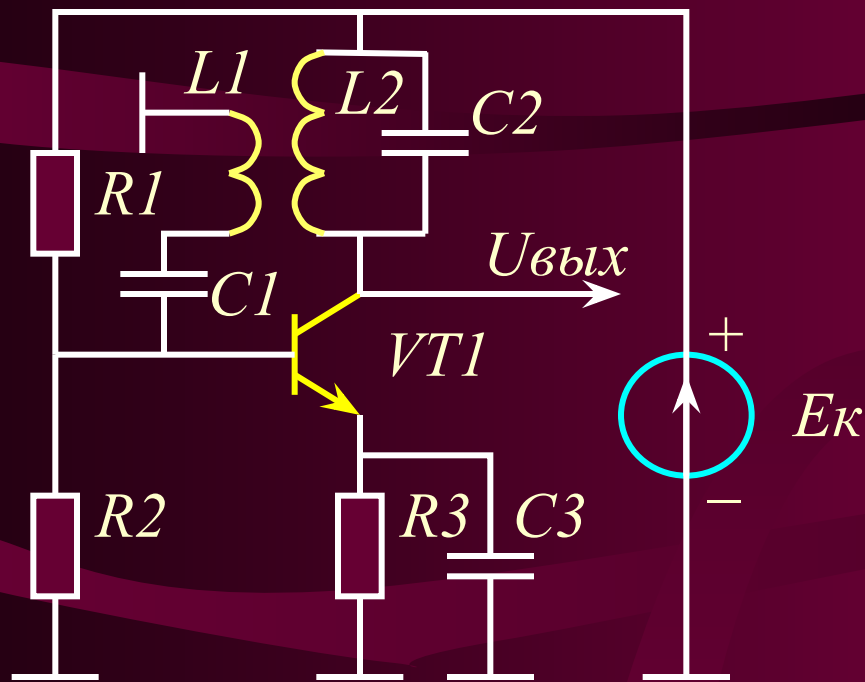
- Учитывая **условия устойчивости усилителей**, можно сделать вывод о том, что:
- система с обратной связью **неустойчива**, если **имеются частоты**, при которых **одновременно выполняются два условия**:
  - 1 – **фазовый сдвиг в разомкнутой цепи** обратной связи **равен или кратен  $2\pi$**  (т.е. имеется **положительная ОС**) и
  - 2 – коэффициент передачи разомкнутого тракта больше единицы:  **$k_U \cdot b_{oc} \geq 1$**
- Первое условие называется – **баланс фаз** автогенератора; второе условие называется – **баланс амплитуд** автогенератора.

# ГЕНЕРАТОРЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

- Для генератора **гармонического** (синусоидального) сигнала эти условия должны выполняться **только на одной частоте**.
- Если указанные условия выполняются **для нескольких частот**, то выходное напряжение имеет **негармонический характер**.
- Различают следующие основные типы гармонических автогенераторов:
  - **низкочастотные** (до 100 кГц),
  - **высокочастотные** (от 100 кГц до 100 МГц) и
  - **ультравысокочастотные** (более 100 МГц).

- Основными функциональными элементами автогенератора являются: активный элемент, выполненный в виде **усилительного устройства** для обеспечения **баланса амплитуд**, и **фазосдвигающая цепь**, обеспечивающая **баланс фаз**.
- Простейший автогенератор гармонических колебаний может быть реализован **на однокаскадном усилителе**, снабженном цепью **ПОС**.
- Усилитель по схеме с **ОЭ** обеспечивает **сдвиг фаз  $180^\circ$** . Поэтому для обеспечения **положительной обратной связи** необходим трансформатор **L2,L1** с **противофазными обмотками**, создающими дополнительный **сдвиг фаз  $180^\circ$** .

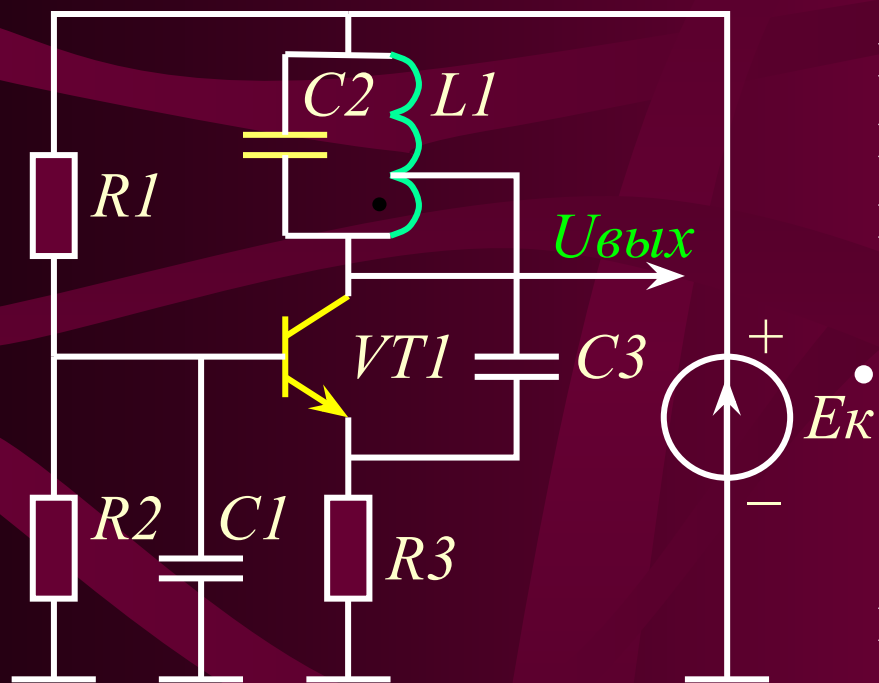




- Необходимый коэффициент передачи разомкнутой цепи обратной связи (**не менее единицы**) определяется коэффициентом усиления транзисторного каскада с **ОЭ** —  $k_U$  и коэффициентом передачи понижающего трансформатора **L2, L1** — *вос*.

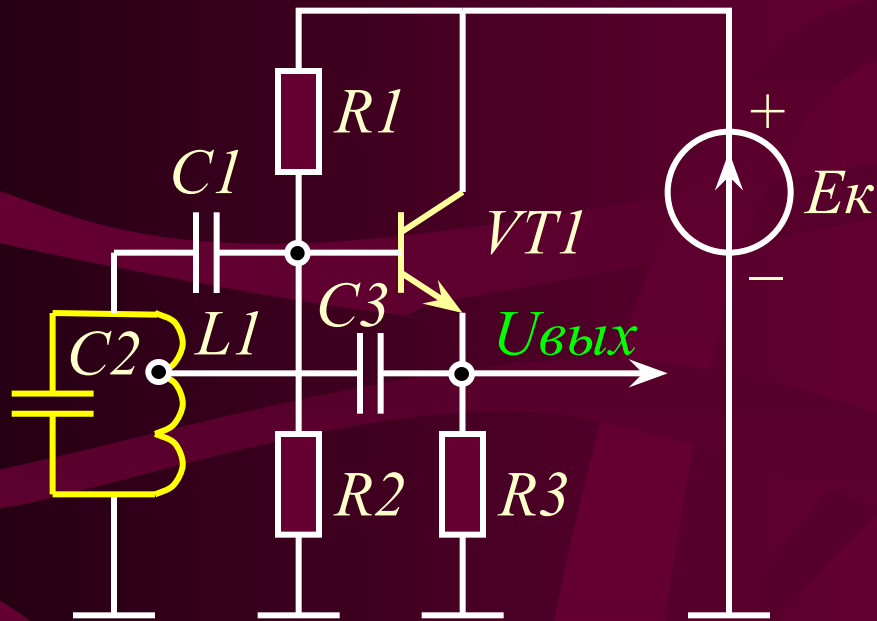
- Параллельный колебательный контур **L2, C2** обладает **максимальным сопротивлением** на **резонансной частоте**.
- Поэтому **только на этой частоте** усилительный каскад с **ОЭ** имеет максимальный коэффициент усиления.

- Усилительные каскады с **ОБ** и **ОК** не инвертируют входной сигнал, поэтому для построения автогенераторов не нужен дополнительный **сдвиг фазы на  $180^\circ$**  и можно использовать только одну индуктивность с отводом



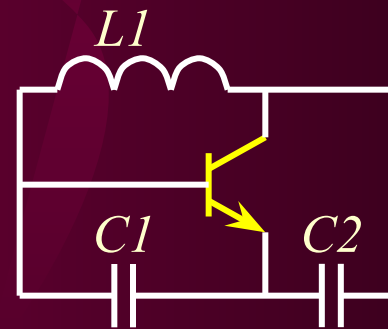
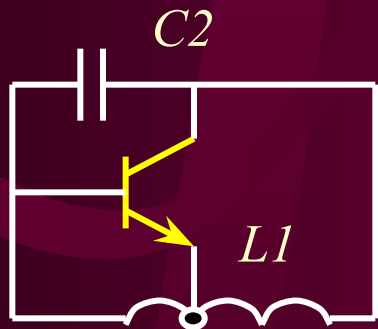
- Схема усилительного каскада с **ОБ** обладает коэффициентом усиления по напряжению **значительно большим единицы**.
- Поэтому **часть выходного напряжения** снимается с отвода индуктивности  $L1$  колебательного контура  $L1, C2$  и подается на вход усилительного каскада.

- Коэффициент усиления по напряжению в схеме с **ОК** немного **менее единицы**.

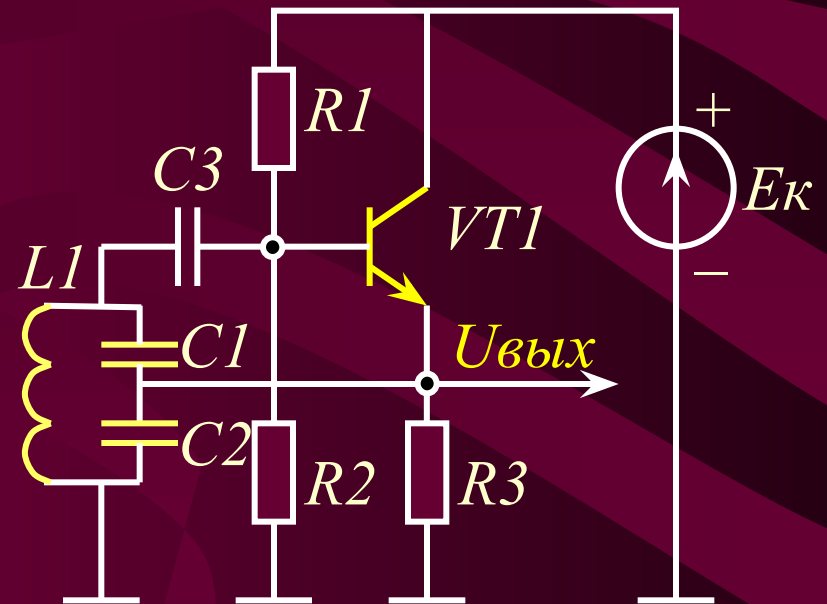
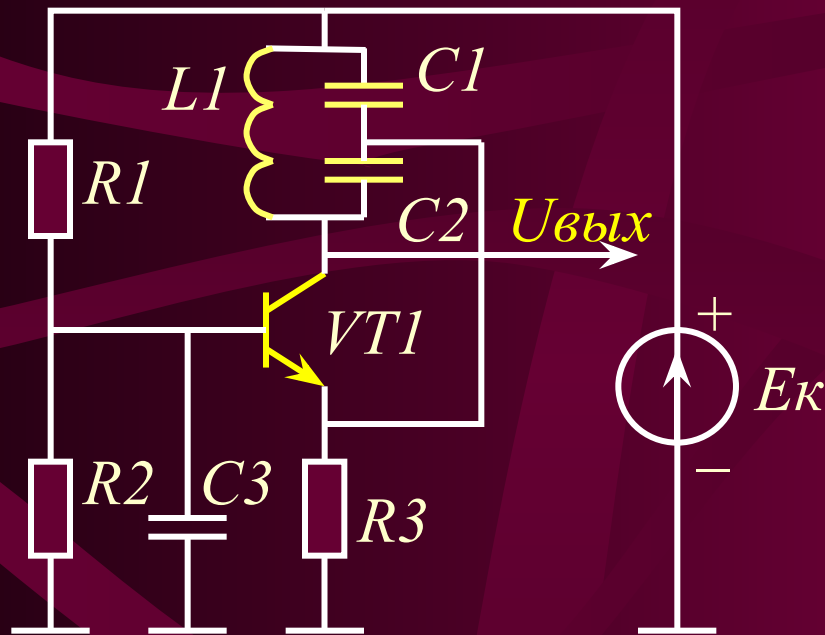


- Поэтому для обеспечения **баланса амплитуд** автогенератора выходное напряжение с эмиттера транзистора **VT1** подается на **отвод индуктивности L1** колебательного контура, а на базу транзистора по цепи **обратной связи** поступает **полное напряжение** с колебательного контура **L1C2**.

- Такие схемы называют **«индуктивная трехточка»**. Три вывода транзистора подключены (по переменному току) к элементам колебательного контура **L1C2** в трех точках, а на индуктивности с отводом L1 реализован делитель переменного напряжения.
- Изготовление индуктивностей с отводами – более сложная технологическая операция, поэтому на практике чаще используют **индуктивности без отводов**, а делитель переменного напряжения реализуют **на конденсаторах**, включенных последовательно в колебательном контуре **L1C1C2**. Такая схема называется **«емкостная трехточка»**.

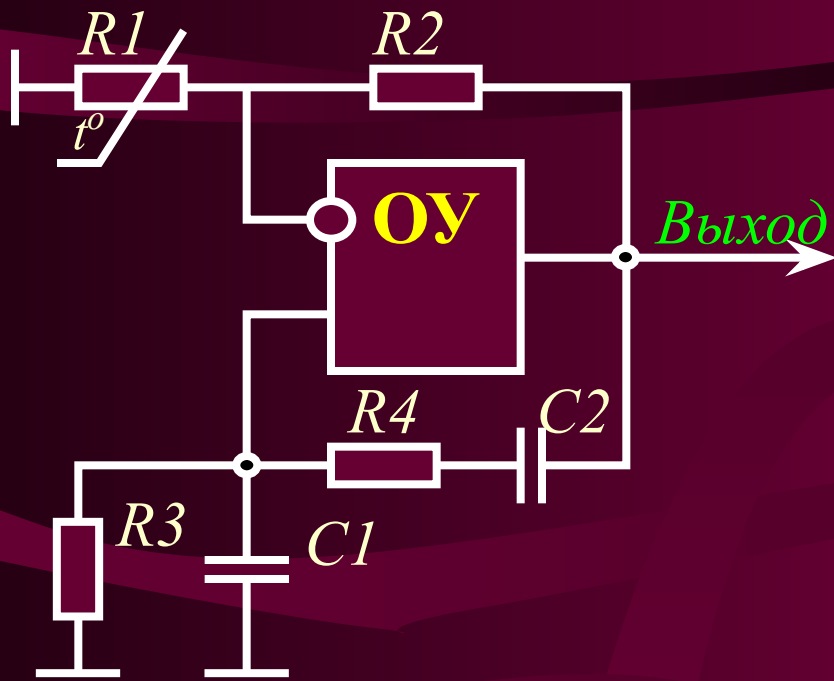


- Необходимо отметить, что схемы «**трехточки**» могут быть реализованы только на каскадах с **ОБ** и **ОК**, т.е. на усилительных каскадах **без инверсии** входного сигнала



# НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

- В низкочастотных автогенераторах (с частотой генерации **менее 100 кГц**) катушки индуктивности имеют **очень большие габариты**. Поэтому в этом диапазоне частот используют **RC-генераторы** без катушек индуктивности.
- Наиболее известен низкочастотный генератор синусоидальных колебаний с **мостом Вина**.
- Он обладает достаточно высокой **стабильностью частоты** и **малыми искажениями** гармонического сигнала, кроме этого он **легко перестраивается** по частоте.
- Усилительным элементом является операционный усилитель (**ОУ**), охваченный цепью **отрицательной обратной связи** через резисторы **R1, R2**.



- Через **частотно-зависимый делитель R4, C2, R3, C1** на вход операционного усилителя подается сигнал положительной обратной связи (**ПОС**).

При соблюдении условия:  **$R3 = R4 = R$**  и  **$C1 = C2 = C$**  цепь положительной обратной связи на частоте:

$$F = 1 / 2 \cdot \pi \cdot R \cdot C$$

имеет **действительный коэффициент передачи** по напряжению, равный  **$k = 1/3$**  (мнимая часть коэффициента передачи на этой частоте равна нулю).

- для того, чтобы в генераторе с **мостом Вина** установились колебания, операционный усилитель с цепью **ООС** должен иметь **коэффициент усиления, равный 3**.
- Цепь **нелинейной отрицательной обратной связи R1, R2** обеспечивает требуемый коэффициент передачи только для **заданного значения выходного напряжения** (равного примерно половине напряжения источников питания операционного усилителя).
- в качестве резистора **R1** чаще используется **канал полевого транзистора**, на управляющий затвор которого подают выпрямленное переменное напряжение **с выхода генератора**. Величина выходного переменного напряжения управляет **сопротивлением канала** полевого транзистора, изменяя коэффициент передачи цепи **ООС** и стабилизируя тем самым выходное напряжение.



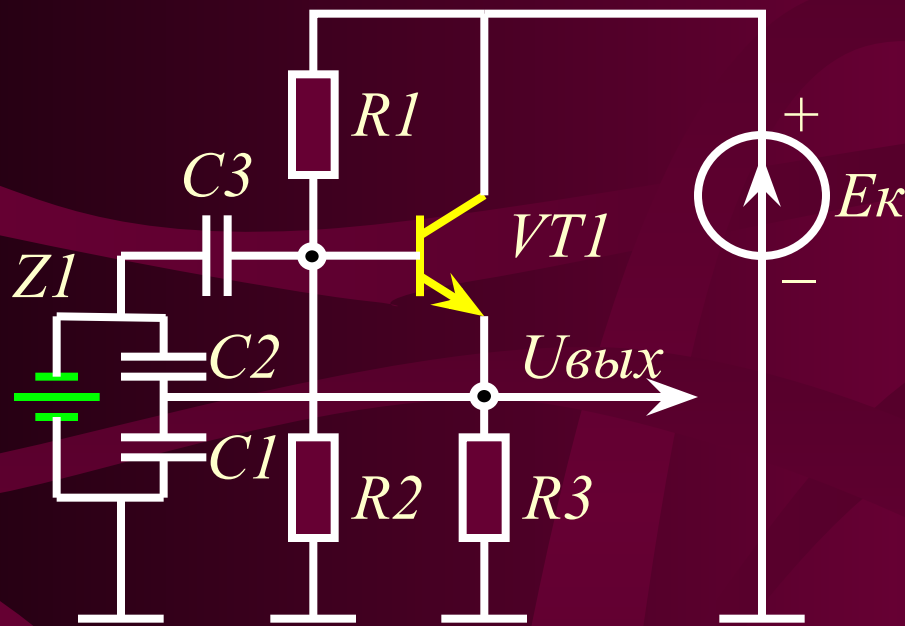
# КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

- Стабильность частоты генератора определяется главным образом **добротностью резонансной цепи** и изменением номиналов частото задающих элементов при **изменении температуры** и других дестабилизирующих факторов.
- Наибольшая практическая величина добротности **LC** контуров составляет **несколько сотен**, что подходит для большинства целей, но не годится для **стандартов частоты**.
- Когда требуется **очень стабильная частота автоколебаний**, применяют **кристаллический резонатор**.
- Некоторые кристаллы, особенно **кварц** (двуокись кремния) и некоторые **керамики**, такие как свинцово-циркониевый титанат, обладают **пьезоэлектрическими свойствами**, т.е. они механически деформируются под воздействием электрического поля.

- В результате **пьезоэлектрического эффекта** тонкая пластинка **кварца** или **керамики** с проводящими электродами, напыленными на ее поверхность, совершает **механические колебания**, когда к электродам подведено переменное напряжение.
- Эти колебания, в свою очередь, создают **электрические сигналы**, которые выглядят как **«противо ЭДС»**, определяющая эффективный **электрический импеданс** (комплексное сопротивление) кристалла.
- Амплитуда колебаний максимальна на **резонансной частоте кристалла**.
- **Внутренние потери** в кристалле очень малы и величина эквивалентной добротности может быть очень большой, достигая  **$10^5 \div 10^6$** .
- Диапазон **резонансных частот** может быть от **десятков килоГерц** до **десятков МегаГерц** и зависит эта частота от **размеров и формы кристаллов**.

- **Электрические параметры** кристаллов являются комбинацией характеристик **последовательного** и **параллельного колебательных контуров**.
- На большей части частотного диапазона эквивалентное сопротивление кристалла имеет емкостной характер, за исключением **частот вблизи резонанса**, где сопротивление уменьшается до очень малых величин на частоте **«последовательного»** резонанса, а затем увеличивается до очень больших величин на частоте **«параллельного»** резонанса.
- Частота **параллельного** резонанса всегда **несколько выше** частоты **последовательного** резонанса, но в большинстве случаев их можно считать одинаковыми.

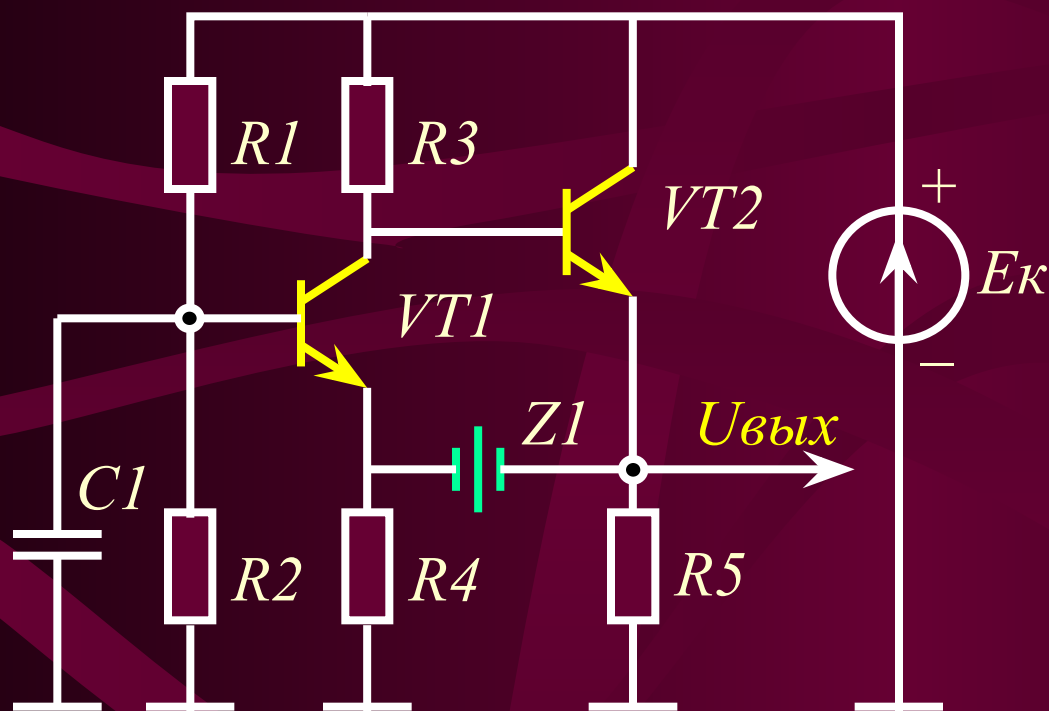
Из-за своего двойственного поведения при резонансе кристалл может использоваться по-разному в **цепи обратной связи** генератора.



- На рис. приведена схема кварцевого генератора по схеме **емкостной трехточки**.
- Кварцевый резонатор **Z1** включен вместо **катушки индуктивности**

Кварцевый резонатор работает на частоте **параллельного резонанса**.

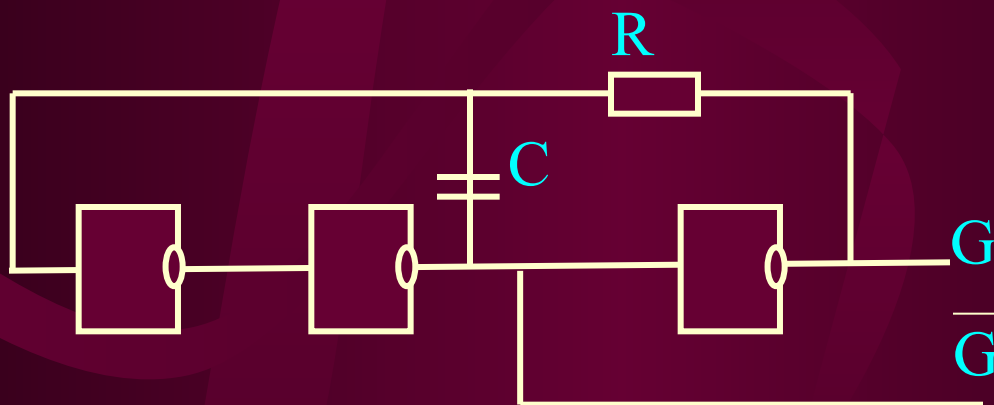
- В этой схеме кварцевый резонатор **Z1** работает на **частоте последовательного резонанса**, т.е. имеет на этой частоте **минимальное сопротивление**.



Резонатор включен в цепь **положительной обратной связи** между каскадами с **ОБ** на транзисторе VT1 и с **ОК** на транзисторе VT2 (**без инверсии** сигналов).

# ГЕНЕРАТОРЫ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ (МУЛЬТИВИБРАТОРЫ)

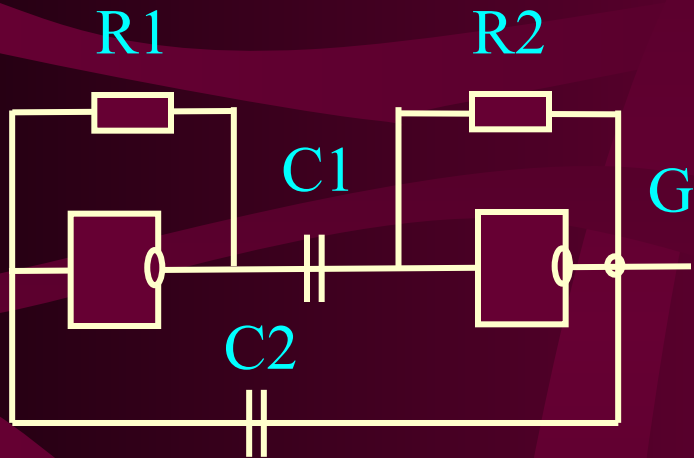
Простейшие мультивибраторы могут быть получены введением положительной обратной связи через реактивные элементы (конденсаторы или трансформаторы) в усилитель с большим коэффициентом усиления по напряжению. Поскольку любой логический элемент имеет на передаточной характеристике область активного усилительного режима, достаточно обеспечить такой режим и ввести положительную обратную связь через конденсатор



Резистор **R**, включенный в цепь **отрицательной** обратной связи по постоянному току, переводит все логические элементы в **активный усилительный режим**.

Конденсатор **C**, включенный в цепь **положительной** обратной связи по переменному току, обеспечивает режим **самовозбуждения**. Частота генерируемых импульсов определяется параметрами RC-цепочки:

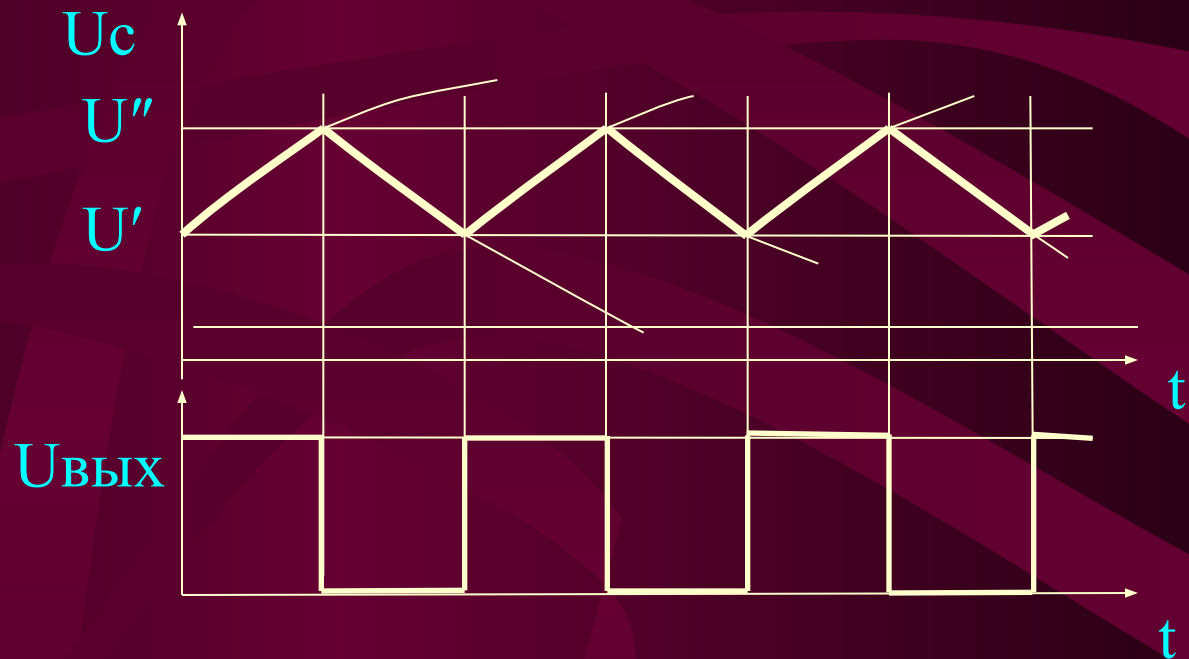
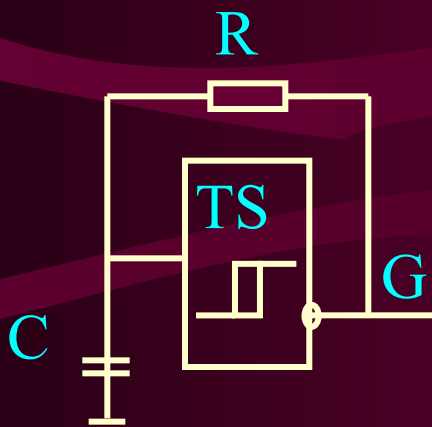
$$F \approx 1/(1,4 * R * C)$$



Можно реализовать мульти-вibrator на двух инверторах. Каждый инвертор выводится в режим аналогового усиления своим резистором (R1, R2),

**Мультивибраторы** характеризуются невысокой стабильностью выходной частоты. Для повышения **стабильности** вместо одного из конденсаторов можно использовать в этих схемах **кварцевый резонатор**.

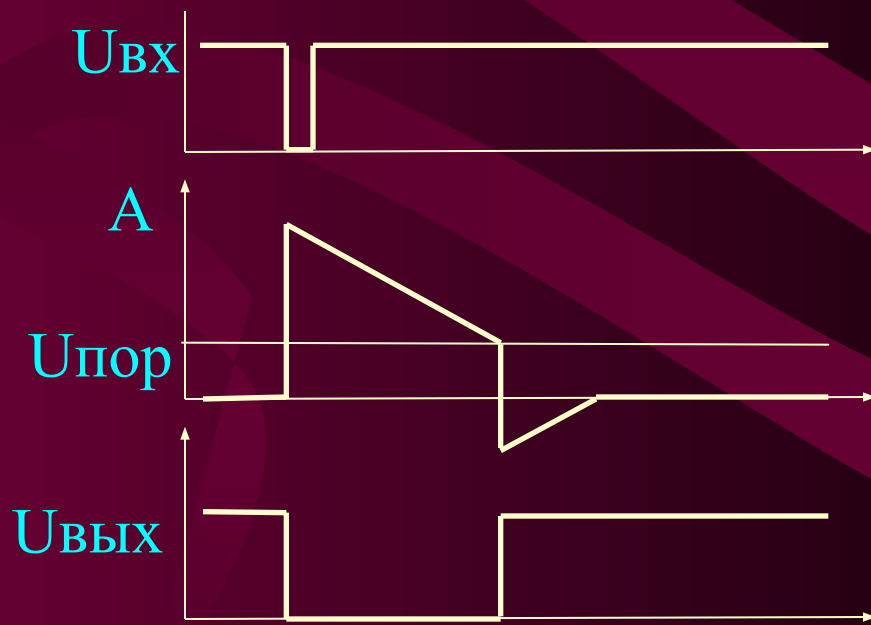
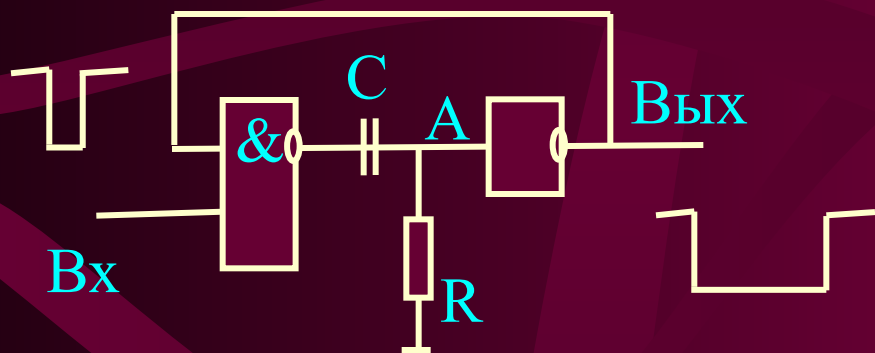
Очень простой генератор можно реализовать на триггере Шмитта. Выходная частота определяется параметрами **RC-цепи** и величиной **зоны гистерезиса**.





# ЖДУЩИЕ МУЛЬТИВИБРАТОРЫ (ОДНОВИБРАТОРЫ)

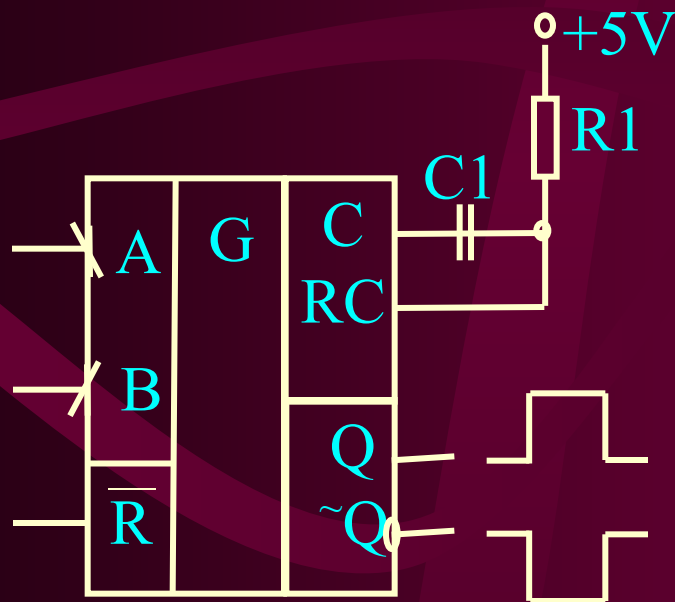
Схемы одновибраторов имеют одно устойчивое состояние, в котором они могут оставаться сколь угодно долго, и одно неустойчивое состояние, время нахождения в котором определяется параметрами RC-цепи. Переход в неустойчивое состояние осуществляется коротким входным импульсом или по фронту входного сигнала.



В составе большинства серий логических микросхем **ТТЛШ** и **КМОП** имеются ждущие мультивибраторы, например, **К555АГ3** - два ждущих мультивибратора. Каждый из мультивибраторов микросхемы имеет: два входа для запуска (**A**, **B**) и вход сброса (**R**), выходы для подключения времязадающих элементов (**C**, **RC**), прямой (**Q**) и инверсный ( $\sim Q$ ) выходы.

Длительность импульса примерно равна:

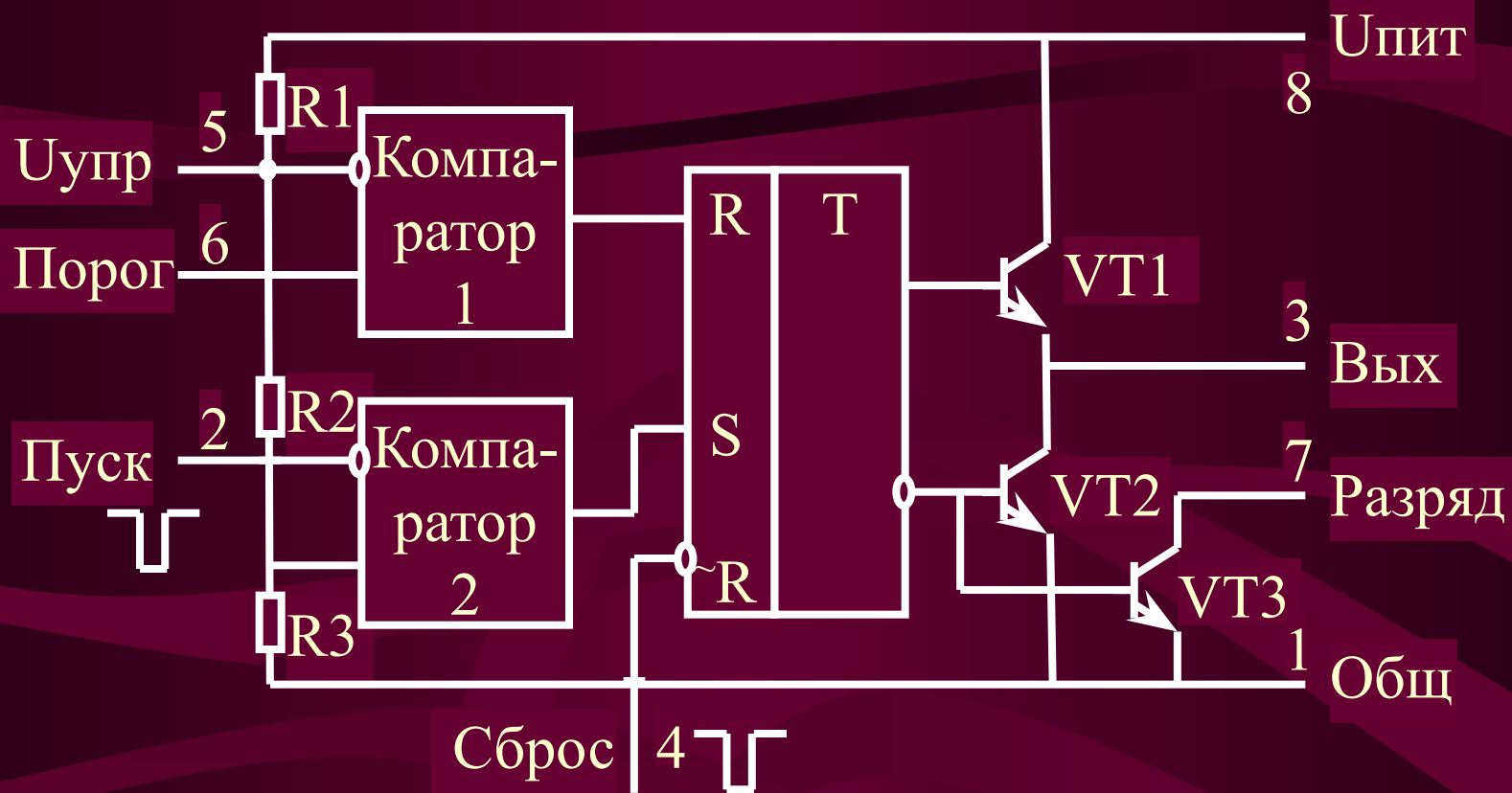
$$T(\text{мкс})=0,45 * R1(\text{кОм}) * C1(\text{нФ}).$$



$\sim R$	A	B	Q	$\sim Q$
0	*	*	0	1
*	1	*	0	1
*	*	0	0	1
1	0	↑	импульс	
1	↓	1	импульс	

# ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ТАЙМЕР И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

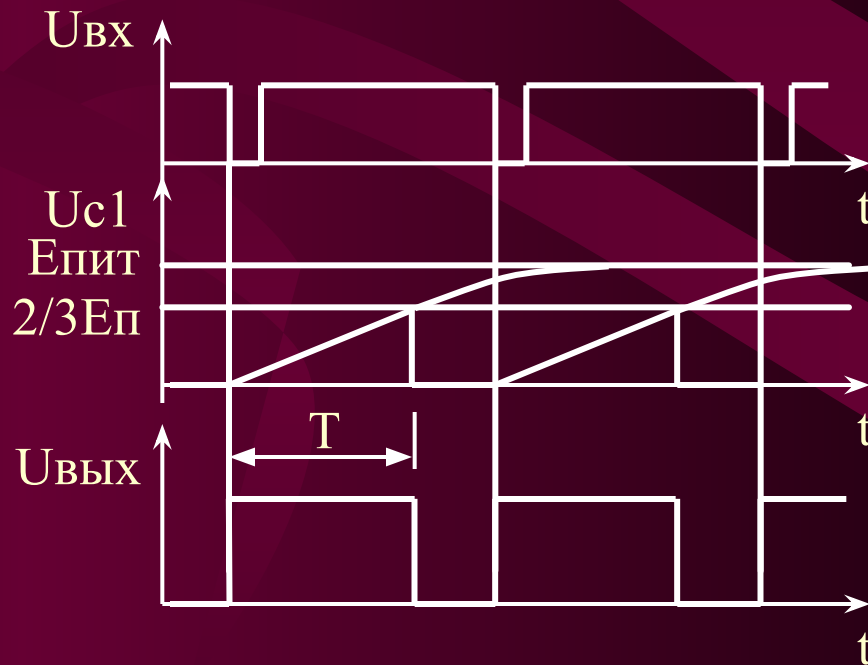
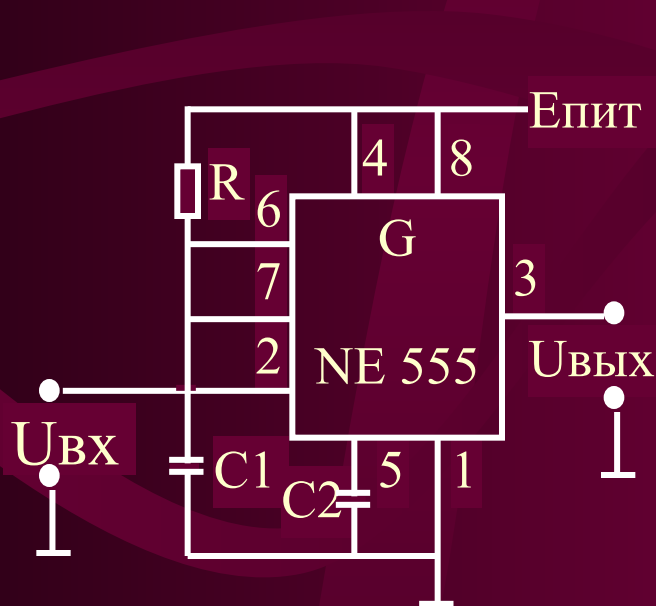
- Интегральный таймер предназначен для формирования точных временных интервалов, генерации **стабильных частот** и функциональных преобразований временных параметров сигналов.
- Самый первый интегральный таймер **NE 555** (фирмы Signetix) появился в 1972 г. Эта ИС применяется в диапазоне временных интервалов **от 10 мкс до 1 часа**. Таймеру **NE 555** соответствует отечественная ИС **КР1006ВИ1** в DIP корпусе с 8 выводами.
- На функциональной схеме таймера КР1006ВИ1 можно выделить: R-S-триггер, Компаратор 1 и Компаратор 2, мощный выходной каскад на транзисторах  $VT1$ ,  $VT2$ , ключ разряда  $VT3$ , резистивный делитель  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$ .



- Резисторы делителя имеют очень хорошее взаимное **согласование сопротивлений** и их температурных коэффициентов, поэтому любое значение напряжения питания всегда делится с большой точностью **на три равные части.**

# Ждущий мультивибратор на таймере

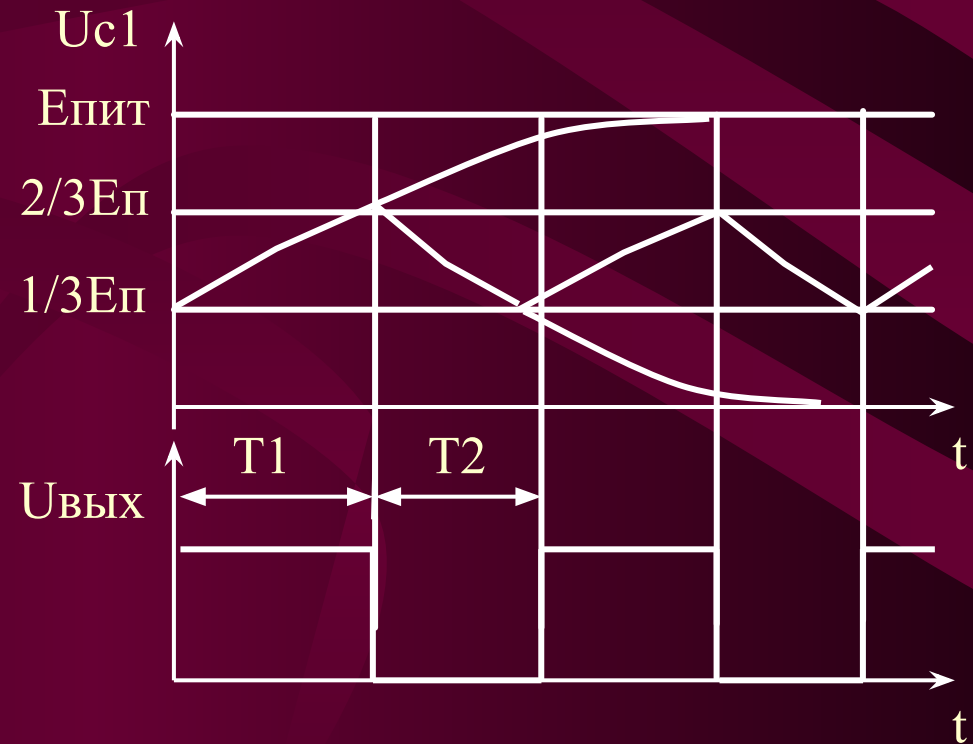
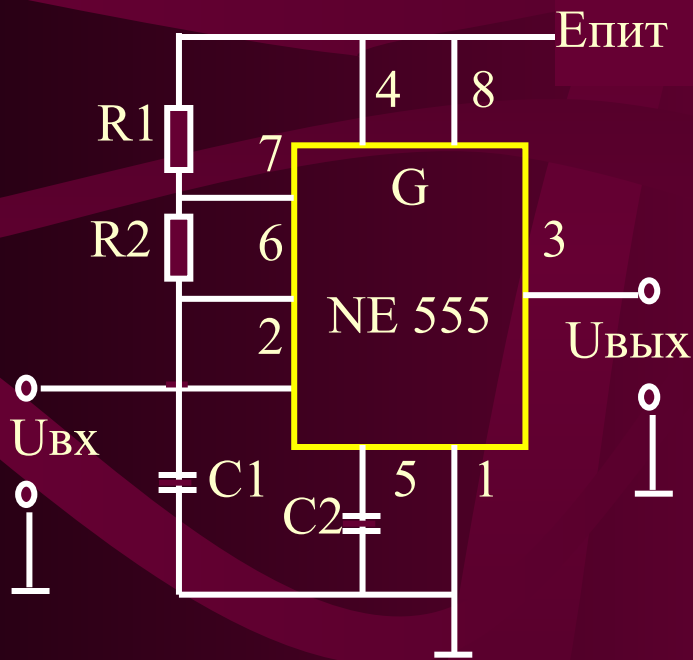
- Ждущий мультивибратор генерирует **одиноким импульсом** заданной длительности как отклик на каждый отрицательный импульс запуска.
- При напряжении питания  $E_{пит}=5В$  входные и выходные сигналы совместимы с логическими микросхемами ТТЛШ и КМОП.



- Амплитуда входного запускающего импульса может составлять  **$1/3 * E_{пит}$  и более.**
- В исходном нулевом состоянии триггера конденсатор  **$C1$  разряжен** через открытый транзистор  $VT3$ .
- С приходом запускающего импульса триггер устанавливается в единичное состояние, транзистор  $VT3$  закрывается и **конденсатор  $C1$  заряжается через резистор  $R$ .**
- Напряжение на конденсаторе изменяется по экспоненте до величины **порога срабатывания** верхнего компаратора  $K1$ .
- Длительность выходного импульса определяется номиналами резистора  $R$  и конденсатора  $C1$ :
- **$T = 1,1 * R * C1$**
- и не зависит от величины напряжения питания.

# Мультивибраторы на таймерах

- Мультивибратор должен генерировать последовательность прямоугольных импульсов напряжения с заданными значениями частоты и скважности.



- Заряд времязадающего конденсатора осуществляется через два резистора  $R1+R2$ . После срабатывания верхнего компаратора  $K1$  триггер переключается в нулевое состояние, открывается транзистор  $VT3$  вывод 7 таймера оказывается соединенным с общим проводом и времязадающий конденсатор  $C1$  разряжается через резистор  $R2$  до напряжения срабатывания нижнего компаратора  $K2$ .
- Поскольку заряд конденсатора  $C1$  осуществляется через **два резистора**, а разряд – через **один из них**, то время заряда  $T1$  будет больше времени разряда  $T2$ .
- $T1 = 0,7 * (R1 + R2) * C1;$
- $T2 = 0,7 * R2 * C1.$



# Вопросы для экспресс-контроля

- Назовите условия самовозбуждения генератора
- Для каких схем возможно построение «трехточек»?
- Почему невозможно построить «трехточку» для схемы с ОЭ?
- Чем определяется частота генератора?
- От чего зависит стабильность частоты автогенератора?
- Как улучшить стабильность частоты автогенератора?

# Вопросы для экспресс-контроля

- 6. Методы реализации генераторов прямоугольных импульсов. Назовите условия самовозбуждения генераторов.
- 7. Чем определяется частота генератора?
- 8. Назовите методы повышения стабильности частоты генераторов?
- 9. Чем отличается ждущий мультивибратор от обычного генератора?

**ЛЕКЦИЯ ОКОНЧЕНА**

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ**