

# ФОРМИРОВАТЕЛИ ИМПУЛЬСОВ

# ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

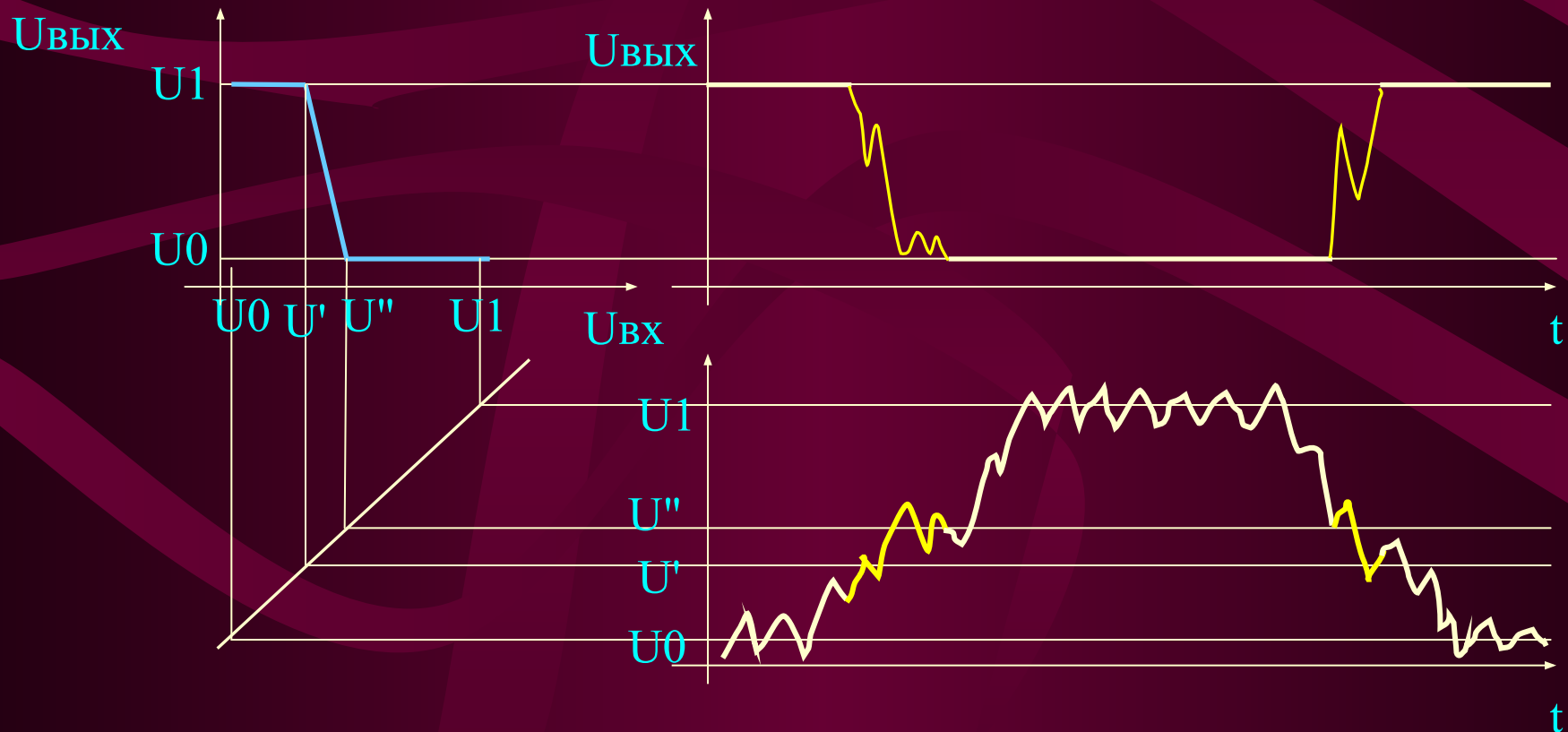


# ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ ЛЕКЦИИ

- ТРИГГЕРЫ ШМИТТА
- ФОРМИРОВАТЕЛИ ИМПУЛЬСОВ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ
- ГЕНЕРАТОРЫ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ (МУЛЬТИВИБРАТОРЫ)
- ЖДУЩИЕ МУЛЬТИВИБРАТОРЫ (ОДНОВИБРАТОРЫ)
- ПАРАМЕТРЫ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ
- ПАРАМЕТРЫ ИДЕАЛЬНОГО ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

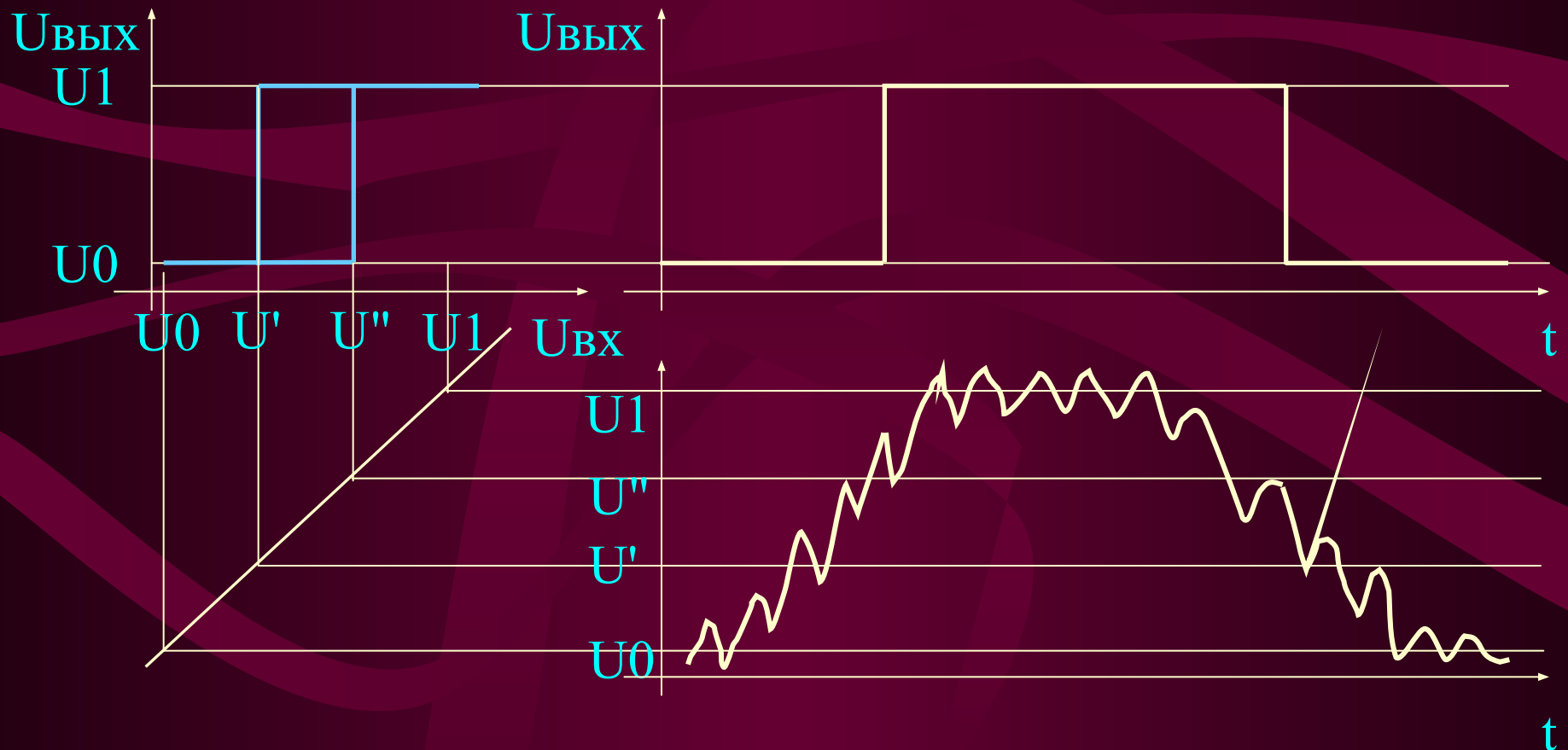
# ФОРМИРОВАТЕЛИ ИМПУЛЬСОВ

На вход вычислительных систем логические сигналы поступают вместе с помехами. Если такой сигнал подать непосредственно на вход логического элемента с передаточной характеристикой, приведенной на рис., это приведет к появлению на выходе дополнительных коротких импульсов, которые вызывают ложные срабатывания цифровых схем.



# ТРИГГЕРЫ ШМИТТА

Для борьбы с ложными помехами применяют на входах цифровых схем **ТРИГГЕРЫ ШМИТТА**, обладающие свойством гистерезиса.

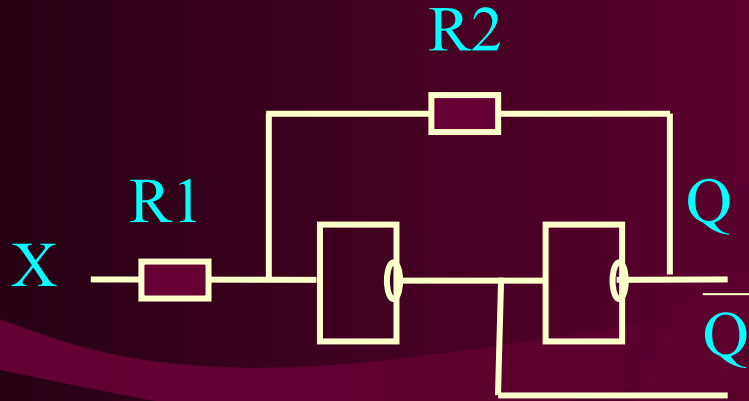


Такая характеристика называется «петлей гистерезиса», а напряжение между входными напряжениями  $U'$  и  $U''$  - зоной гистерезиса или шириной петли гистерезиса.

При увеличении входного напряжения, зашумленного импульсными помехами, выходное напряжение остается на нулевом уровне до первого перехода входного сигнала через порог  $U''$ , после чего выходное напряжение скачком перейдет в единичное состояние. Если амплитуда помех на входе не превышает ширины зоны гистерезиса, то возникновение ложных импульсов на выходе триггера Шмитта - невозможно.

Аналогично, при уменьшении входного сигнала до порога  $U'$  выходное напряжение остается на единичном уровне, после чего резко (с минимальной длительностью фронта) уменьшается до нуля. Влияние входных помех с амплитудой меньше, чем зона гистерезиса, - не проявляется на выходном сигнале триггера Шмитта.

Для построения триггера Шмитта необходим усилитель постоянного тока с глубокой положительной обратной связью



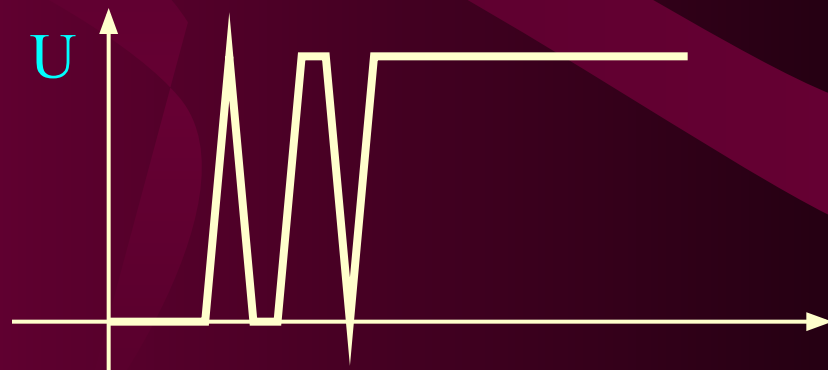
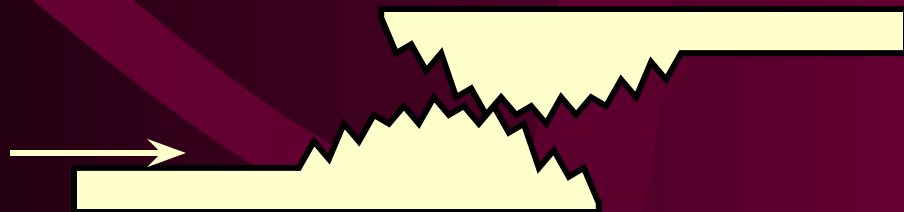
Параметры петли гистерезиса определяются элементами обратной связи.

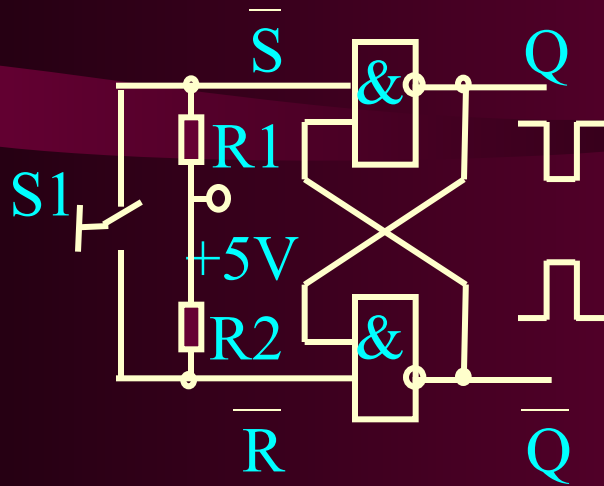
Как и в обычном триггере, в триггере Шмитта имеется два выхода: прямой  $Q$  и инверсный  $\sim Q$ .

В состав многих серий логических микросхем входят микросхемы с триггерами Шмитта а также логические элементы (например, «И-НЕ» или шинные формирователи) с передаточной характеристикой, имеющей петлю гистерезиса.

# ФОРМИРОВАТЕЛИ ИМПУЛЬСОВ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

При проектировании цифровых устройств возникают задачи формирования **одиночного импульса** при замыкании или размыкании **механических контактов** (например, кнопки или механического датчика перемещения). Проблема заключается в том, что срабатывание механического контакта сопровождается многократным переходом в течение короткого времени от замкнутого состояния к разомкнутому и обратно (**дребезг контактов**). Это может привести к формированию **пачки импульсов** вместо желаемого одиночного импульса или перепада логического уровня.





В «АНТИДРЕБЕЗГОВОМ ТРИГГЕРЕ» резисторы R1, R2 обеспечивают подачу логических единиц на входы  $\bar{R}$ - $\bar{S}$ -триггера при разомкнутых контактах, т.е. режим хранения.

Механический переключатель S1 подает в исходном состоянии нулевой потенциал на вход  $\bar{S}$ . Триггер находится в единичном состоянии. При переключении контактов кнопки S1 в нижнее положение - первое замыкание вызывает установку триггера по входу  $\bar{R}$  в нулевое состояние. Возникающий дребезг контактов только подтверждает это состояние. Аналогично переключается триггер после возвращения механических контактов в исходное состояние.

При каждом нажатии и отпускании кнопки S1 формируется одиночный отрицательный импульс на выходе Q триггера

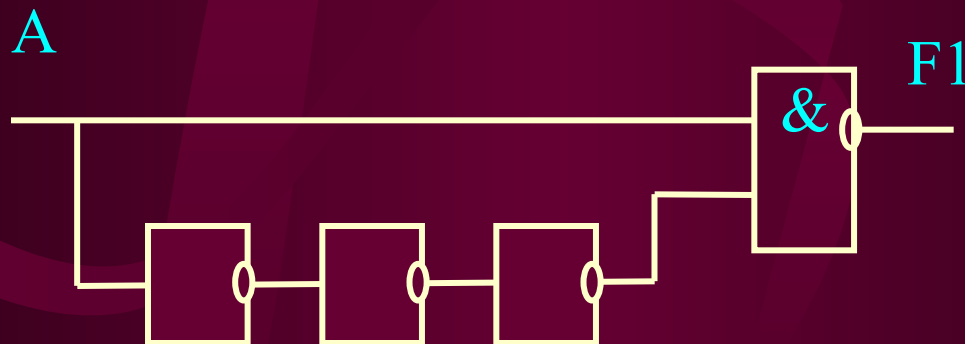


# ФОРМИРОВАТЕЛИ ИМПУЛЬСОВ ПО ФРОНТУ ВХОДНОГО СИГНАЛА

Для фиксации событий по фронту входного сигнала можно использовать триггеры, управляемые фронтом, или формирователи коротких импульсов в момент смены логических уровней входных сигналов.

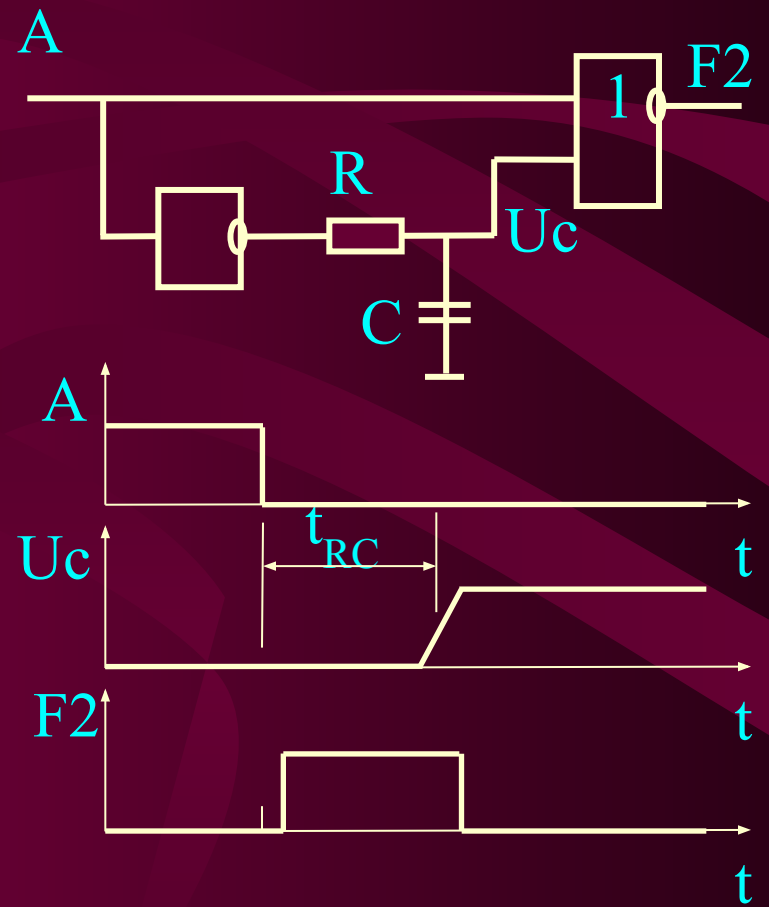
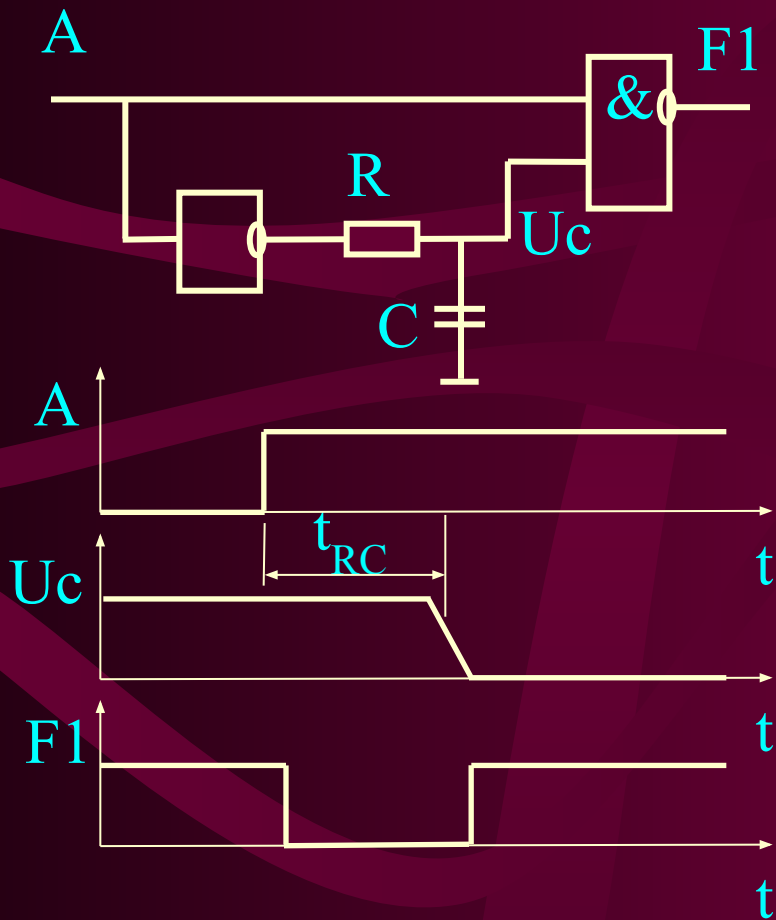
Такие формирователи строятся на основе известных эффектов гонок (состызаний).

Для формирования отрицательных импульсов обычно используют элементы Шеффера, а для положительных импульсов - элементы Пирса



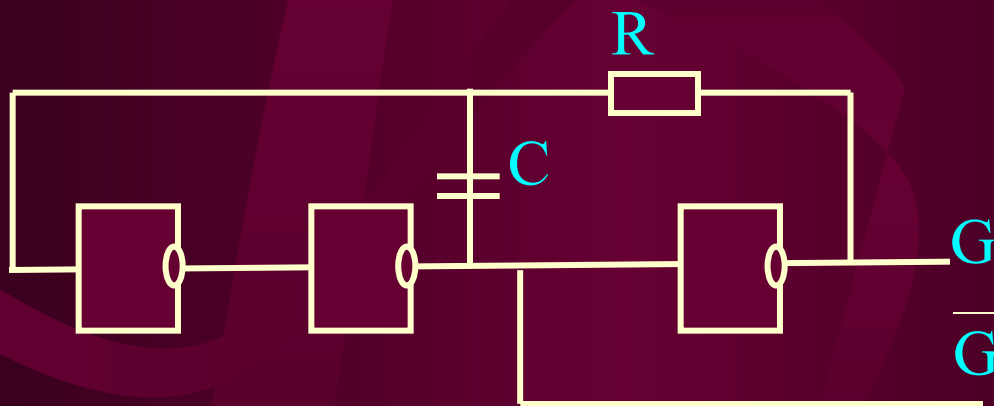
# Формирователь отрицательных импульсов

# Формирователь положительных импульсов



# ГЕНЕРАТОРЫ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ (МУЛЬТИВИБРАТОРЫ)

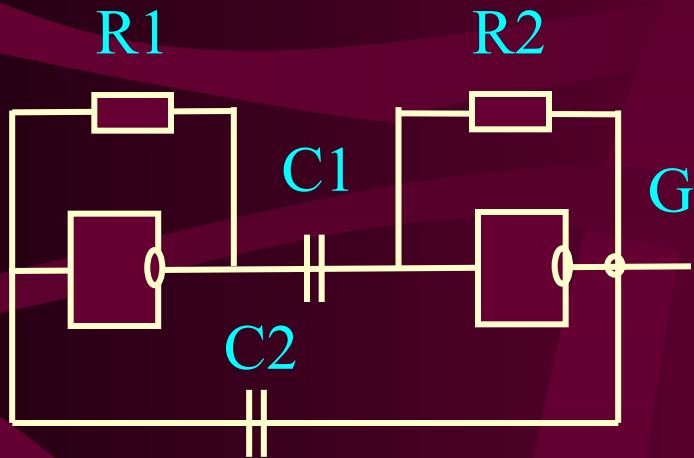
Простейшие мультивибраторы могут быть получены введением положительной обратной связи через реактивные элементы (конденсаторы или трансформаторы) в усилитель с большим коэффициентом усиления по напряжению. Поскольку любой логический элемент имеет на передаточной характеристике область активного усилительного 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:

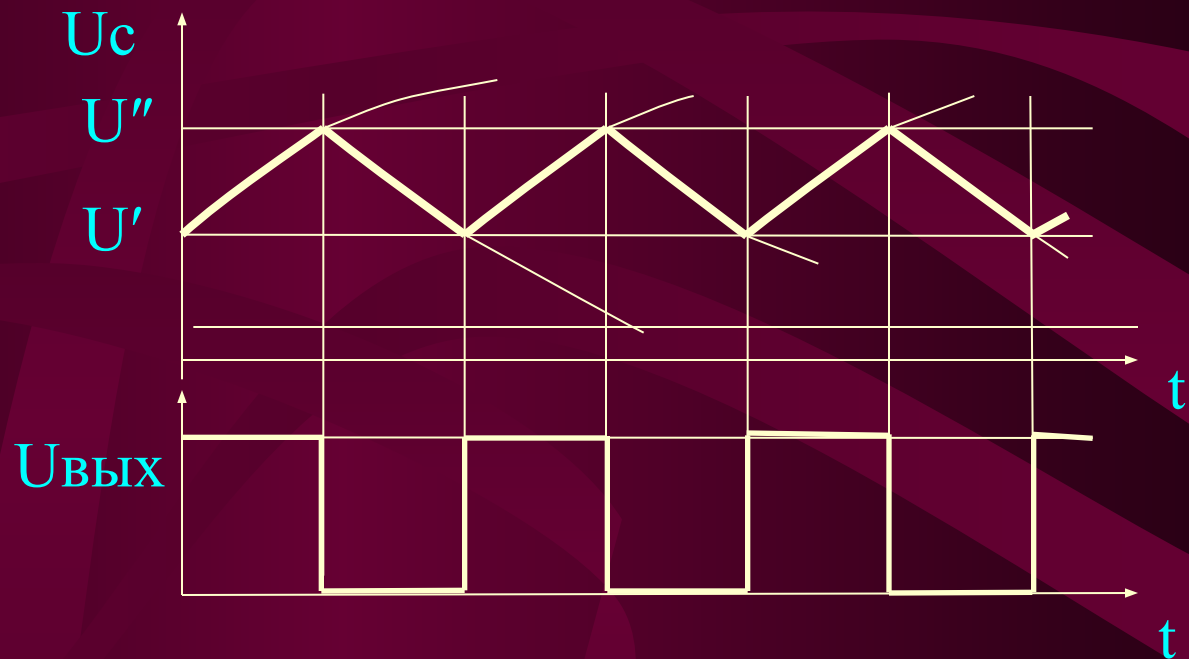
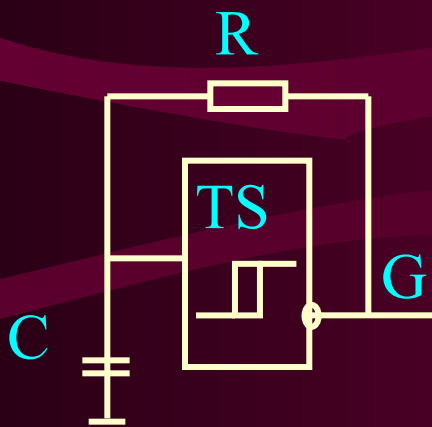
$$F \approx 1/(1,4 * R * C)$$



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

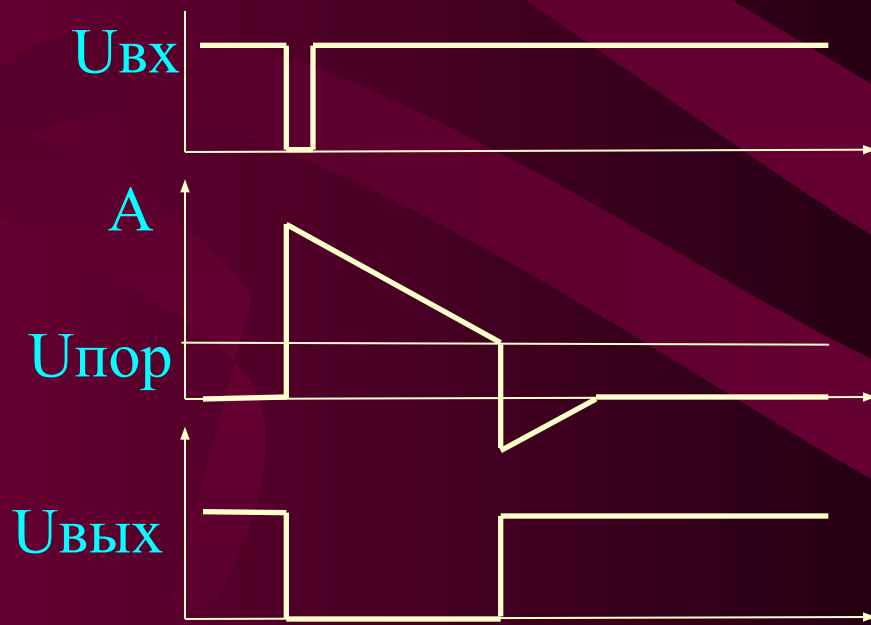
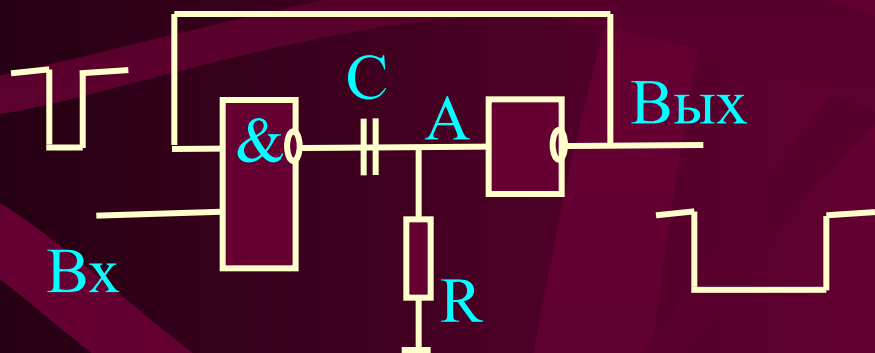
**Мультивибраторы** характеризуются невысокой стабильностью выходной частоты. Для повышения **стабильности** вместо одного из конденсаторов можно использовать в этих схемах **кварцевый резонатор**.

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



# ЖДУЩИЕ МУЛЬТВИБРАТОРЫ (ОДНОВИБРАТОРЫ)

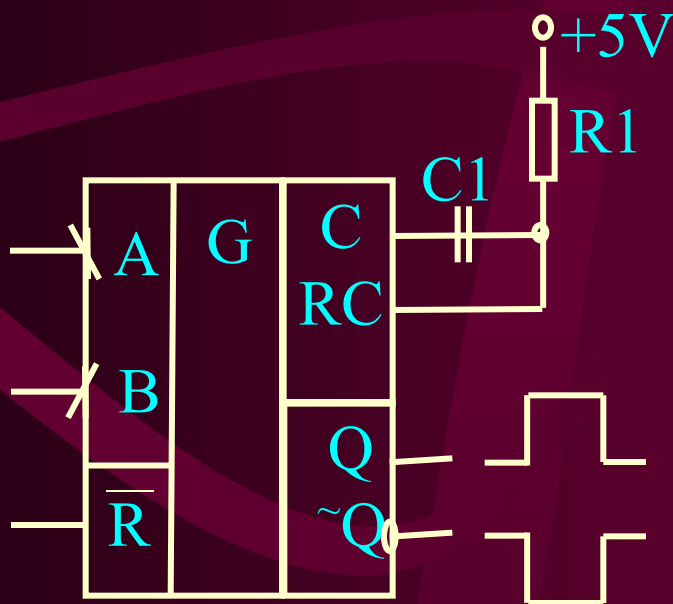
Схемы одновибраторов имеют одно устойчивое состояние, в котором они могут оставаться сколь угодно долго, и одно неустойчивое состояние, время нахождения в котором определяется параметрами RC-цепи. Переход в неустойчивое состояние осуществляется коротким входным импульсом или по фронту входного сигнала.



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	

# ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Большинство сигналов, поступающих на вход вычислительных систем, имеют **непрерывный** характер и требуют последующего преобразования в **дискретные** сигналы. До начала преобразования многие сигналы проходят обработку в **аналоговой** форме. К таким преобразованиям относятся:

- **линейное усиление;**
- **частотная фильтрация** (линейные преобразования);
- **интегрирование и дифференцирование** непрерывных сигналов;
- **нелинейные преобразования** (в частности, логарифмическое преобразование, детектирование и др.);
- **коммутация** аналоговых сигналов;
- **выделение** какого-нибудь **параметра**, например, амплитуды, среднего значения сигнала, фазы и др.



Основные преобразования аналоговых сигналов выполняются специальными интегральными микросхемами – операционными усилителями (ОУ), охваченными обратными связями (ОС).

Интегральные ОУ содержат:

- входной каскад, который всегда выполняется по дифференциальной, параллельно-симметричной схеме;
- промежуточный согласующий каскад;
- выходной каскад усилителя тока по схеме эмиттерного повторителя.

Неинверт.

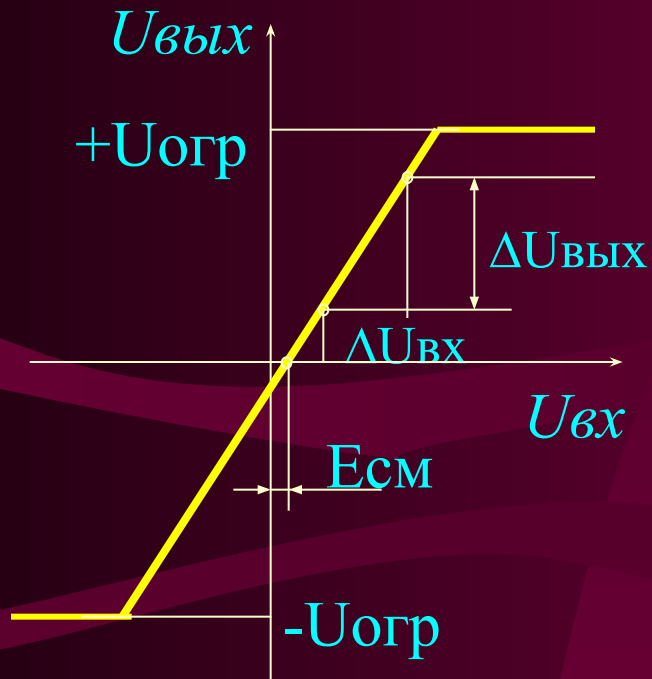
ВХОД



Инвертир.

ВХОД

# ПАРАМЕТРЫ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ



Разность напряжений на входах ОУ называют **дифференциальным** (разностным) входным сигналом ОУ, а полусумму входных напряжений - **синфазным** входным сигналом.

Основные статические параметры ОУ рассчитываются по передаточной характеристике ( $U_{\text{вх}}$  - дифференциальное входное напряжение).

□ **КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ( $K_u$ )** - отношение изменения выходного напряжения ( $\Delta U_{\text{вых}}$ ) к вызвавшему его изменению **ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ** ( $\Delta U_{\text{вх}}$ ) при работе ОУ на **линейном** участке передаточной характеристики.

$$K_u = \Delta U_{вых} / \Delta U_{вх}$$

Интегральные ОУ имеют коэффициент усиления, лежащий в диапазоне  $10^3 \dots 10^6$ .

□ ЭДС СМЕЩЕНИЯ ( $E_{см}$ ) - дифференциальное входное напряжение, при котором выходное напряжение ОУ равно нулю. Напряжение  $E_{см}$  может быть положительной или отрицательной величиной и имеет случайный характер.

Для интегральных усилителей на биполярных транзисторах  $E_{см}$  может составлять  $1 \dots 10$  мВ, для ОУ с входным каскадом на полевых транзисторах величина  $E_{см}$  значительно больше.

Большинство интегральных ОУ имеют выводы балансировки выходного напряжения. К этим выводам подключается подстроечный резистор, с помощью которого выставляется нулевое выходное напряжение при закороченных входах ОУ.

□ **СРЕДНИЙ ВХОДНОЙ ТОК ( $I_{вх}$ )** - среднеарифметическое значение токов инвертирующего и неинвертирующего входов ОУ, измеренных при таком входном напряжении  $U_{вх}$ , при котором выходное напряжение равно нулю.

Для ОУ на биполярных транзисторах средний входной ток обычно составляет доли мкА. Дальнейшее снижение входных токов (менее 1 нА) достигается использованием **полевых транзисторов** во входных каскадах ОУ.

□ **ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ( $R_{вх}$ )** - сопротивление со стороны одного из входов ОУ, в то время как другой вход заземлен. Это сопротивление еще называют: **ВХОДНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СИГНАЛА**. Входное сопротивление ОУ может составлять  $10^3..10^6$  Ом для входного каскада на биполярных транзисторах, и на несколько порядков больше для ОУ с **полевыми транзисторами** на входе.

□ **ВЫХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ( $R_{\text{вых}}$ )** - отношение изменения выходного напряжения ОУ ( $\Delta U_{\text{вых}}$ ) к изменению выходного тока ( $\Delta I_{\text{вых}}$ ) при изменении сопротивления нагрузки. Обычно величина  $R_{\text{вых}}$  составляет от десятков до сотен Ом.

□ **КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕДАЧИ СИНФАЗНОГО СИГНАЛА ( $K_{\text{сф}}$ )** - отношение изменения выходного напряжения к вызвавшему его изменению синфазного входного напряжения. Для большинства ОУ величина  $K_{\text{сф}}$  - менее единицы.

□ **КОЭФФИЦИЕНТ ОСЛАБЛЕНИЯ СИНФАЗНОГО СИГНАЛА ( $M_{\text{сф}}$ )** - отношение коэффициента усиления по напряжению ( $K_u$ ) к коэффициенту передачи синфазного сигнала ( $K_{\text{сф}}$ ). Обычно для определения коэффициента ослабления синфазного сигнала употребляется логарифмическая мера ( $L_{\text{сф}}$ ):

$$L_{\text{сф}} = 20 * \lg | M_{\text{сф}} |$$

Для большинства интегральных ОУ  $L_{\text{сф}} = 60..100$  дБ

# ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОУ

□ ПОЛОСА ЧАСТОТ УСИЛИВАЕМОГО СИГНАЛА - определяется, как правило, от нуля до ЧАСТОТЫ ЕДИНИЧНОГО УСИЛЕНИЯ ( $F_1$ ), т.е. частоты, на которой коэффициент усиления дифференциального сигнала ОУ уменьшается до единицы. Значение  $F_1$  у большинства интегральных ОУ лежит в пределах от сотен килогерц до десятков мегагерц.

□ МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ НАРАСТАНИЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ( $V_{\text{макс}}$ ) - определяется как наибольшая скорость изменения напряжения на выходе ОУ при подаче на его вход прямоугольного импульса максимально допустимой амплитуды. Для интегральных ОУ максимальная скорость нарастания лежит в пределах 0,3...50 В/мкс.

Эти два параметра взаимосвязаны: чем выше частота единичного усиления  $F_1$ , тем больше скорость нарастания выходного напряжения.



□ **КОЭФФИЦИЕНТ ШУМА (Кш)** - характеризует шумовые свойства **ОУ** и определяется как отношение шума на выходе **реального ОУ** (на вход которого подан реальный сигнал) к шумам на выходе **идеального ОУ** с таким же входным сигналом.

Шумовые свойства **ОУ** характеризуют также приведенными ко входу **шумовыми напряжениями** или токами.

Необходимо отметить, что почти все перечисленные параметры изменяются с **изменением температуры** кристалла **ОУ**. Поэтому в справочниках приводят также температурные коэффициенты изменения перечисленных параметров.

В справочниках задаются также диапазоны изменения указанных параметров при **изменении питающих напряжений**, так как для многих **ОУ** питающие напряжения могут изменяться в несколько раз, например, от **3 до 30 В**.

# ПАРАМЕТРЫ ИДЕАЛЬНОГО ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

При анализе схем на ОУ обычно пользуются идеализированной моделью операционного усилителя, параметры которого задаются следующими:

- коэффициент усиления по напряжению равен бесконечности;
- эдс смещения равно нулю;
- средний входной ток и разность входных токов равны нулю;
- входные сопротивления для дифференциального и для синфазного сигналов равны бесконечности;
- выходное сопротивление равно нулю;
- коэффициент передачи синфазного сигнала равен нулю;



- коэффициент ослабления синфазного сигнала равен бесконечности;
- полоса частот усиливаемого сигнала - от нуля до бесконечности;
- скорость нарастания выходного напряжения равна бесконечности;
- идеальный ОУ не вносит дополнительные шумы в усиливаемый сигнал;
- у идеального ОУ все параметры не зависят от температуры и питающих напряжений.

Следствием первого свойства идеального ОУ является тот факт, что у идеального ОУ, работающего в режиме усиления, **разность напряжений между входами всегда равна нулю.**

# Вопросы для экспресс-контроля

- **1.** Почему нежелательно подавать входной логический сигнал, пришедший от другого прибора, непосредственно на вход логического элемента?
- **2.** Чем отличается **триггер Шмитта** от обычных логических элементов?
- **3.** Какой параметр **триггера Шмитта** выбирается с учетом **амплитуды помех** во входном сигнале?
- **4.** Назовите методы борьбы с «**дребезгом контактов**» в механических переключателях.
- **5.** Приведите примеры полезного использования «**эффекта гонок**» (запаздывания сигналов при распространении).

# 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?
- 10. Какие преобразования **аналоговых сигналов** производят в вычислительных системах?
- 11. Основные параметры **реальных и идеальных операционных усилителей**.

**ЛЕКЦИЯ ОКОНЧЕНА**

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ**