

АКЦИЯ БИНОМ
НИМБ О АКЦИЯ
КОН АМБИЦИЯ
КОМБИНАЦИЯ

Раздел 3

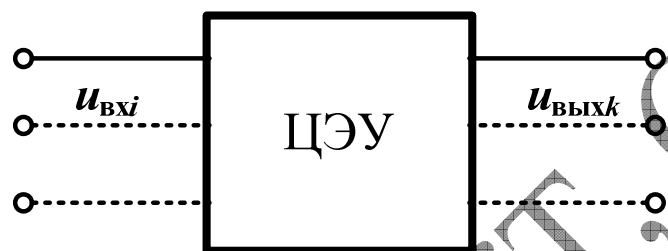
КОМБИНАЦИОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Введение

Рассматриваем *цифровой электронный элемент/устройство* (ЦЭ/ЦУ) – электронные устройства с информационными входами (куда подают входные сигналы) и информационные выходы (ЦЭ/ЦУ формирует выходные сигналы).

! Здесь не рассматриваются входы для питания, цепей коррекции и т.п. выводы ЦЭ.

! Сигнал – напряжение $u(t)$.



$$y_1 = g_1(x_1, x_2, \dots x_n)$$

...

$$y_k = g_k(x_1, x_2, \dots x_n)$$

...

$$y_M = g_M(x_1, x_2, \dots x_n)$$

✓ ЦЭ осуществляет преобразования над сигналами цифрового типа (напряжение с уровнем нуля U^0 либо уровнем единицы U^1).

✓ В простейшем случае описание ЦУ – описание связи информационных уровней напряжения на выходе (если несколько, то на каждом) с информационными уровнями напряжений на входах в виде ЛФ: $u_{xi} \leftrightarrow x_i, u_y \leftrightarrow y(x_1, x_2, \dots)$; $x = 0$, если $u_x = U^0$ и $x = 1$, если $u = U^1$.

! Но для описания функционирования реальных ЦУ, как правило, требуется рассмотрение более широкого круга вопросов.

✓ Цифровые элементы/устройства разделяют на *два важных класса*:

комбинационные

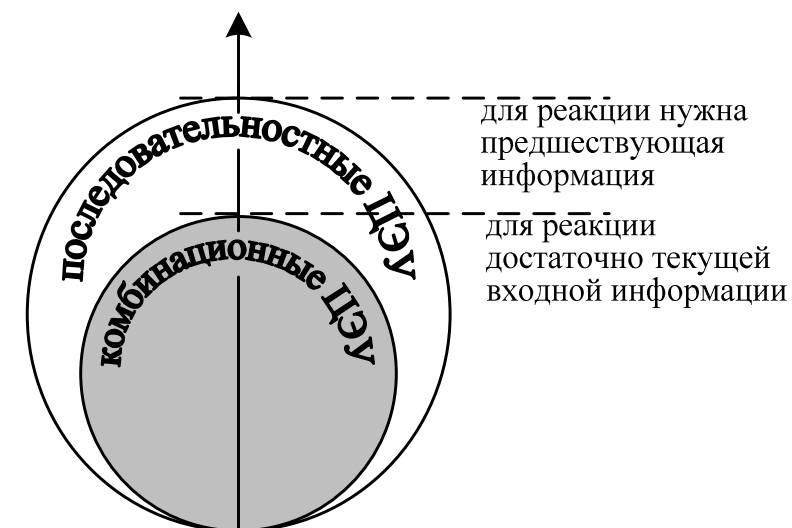
и

последовательностные

- Комбинационные ЦЭ/ЦУ – уровень напряжения *на выходе в данный момент времени* однозначно определяется *текущими* уровнями напряжений *на входах* (на значения выходных сигналов не влияет информация, которая присутствовала на входах ЦЭ ранее, комбинационные ЦЭ – "*цифровые устройства без памяти*", или "*автоматы без памяти*").
- Последовательностные ЦЭ/ЦУ – уровень напряжения *на выходе в данный момент времени* может определяться как *текущими* уровнями напряжений на входах, так и уровнями входных напряжений, которые *поступали на входы ЦЭ ранее* (учитывается как текущая, так и предшествующая входная информация, последовательностные ЦЭ – "*автоматы с памятью*").

! ПЦУ являются не альтернативой КЦУ. Схемотехника ПЦУ это расширение принципов схемотехники КЦУ для обеспечения возможности учитывать предшествующую информацию.

! Анализ структурного построения ПЦУ (раздел 4) учитывает все подходы для КЦУ + ряд дополнительных принципов, позволяющих задействовать предшествующую входную информацию при формировании выходного сигнала (организовать память).



3.1. Входные и выходные сигналы в цифровых электронных устройствах

Входные и выходные сигналы двухуровневые \rightarrow в идеализированном описании могут быть представлены логическими переменными.

Необходимое преобразование информации в КЦУ – связь между выходным сигналом $u_y(t)$ и входными сигналами $u_{x1}(t)$, $u_{x2}(t)$, ... – может быть задана логической функцией $u_y = g(u_{x1}, u_{x2}, \dots)$.

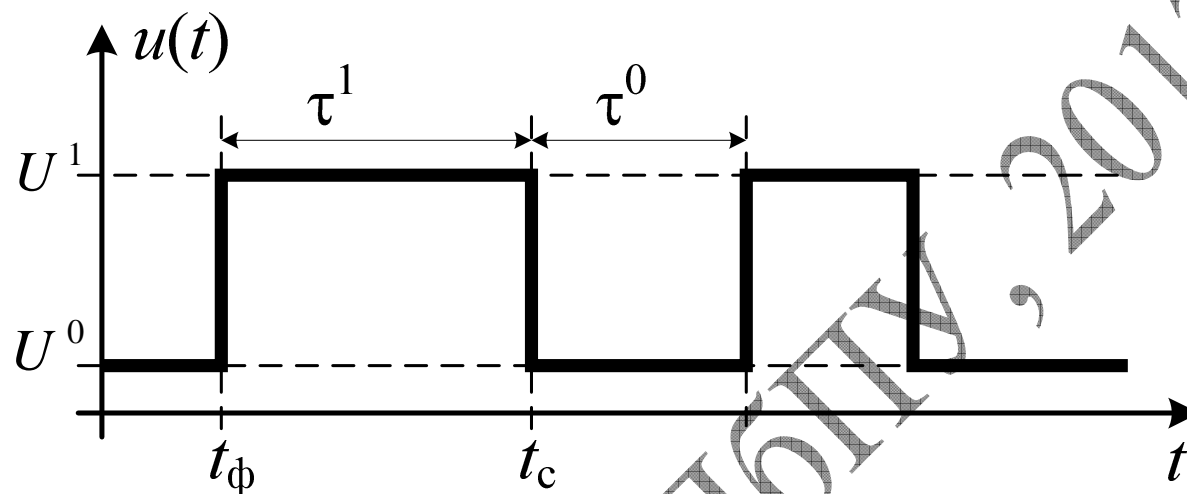
! Сигналы $u(t)$ меняются во времени, но в *идеализированном рассмотрении* КЦУ, время никак не входит в рассмотрение функции логической связи g .

Но такой подход к рассмотрению преобразования сигналов в ЦЭ элементе (не учитывать время) невозможно полностью реализовать в практических устройствах в силу ряда неизбежных технических ограничений на возможное поведение сигналов $u(t)$.

При обсуждении реальных КЦУ приходится обязательно рассматривать особенности, связанные с *зависимостью от времени реальных напряжений* $u(t)$ и отличий от идеализированных двухуровневых сигналов.

✓ Идеализированное рассмотрение цифрового сигнала

- прямоугольные импульсы (значения U^0 или U^1);
- фронт или срез импульса (моменты перехода от U^0 или U^1 или обратно);
- длительность нулевого уровня τ^0 , единичного уровня τ^1 .



! Временные зависимости сигналов (временные диаграммы) иллюстрируют ситуации, но закономерности соответствуют ЛФ $u_y = g(u_{x1}, u_{x2}, \dots)$ не связанной со временем.

! Переходы напряжения между уровнями полагаются мгновенными и промежуточные значения напряжений могут не рассматриваться.

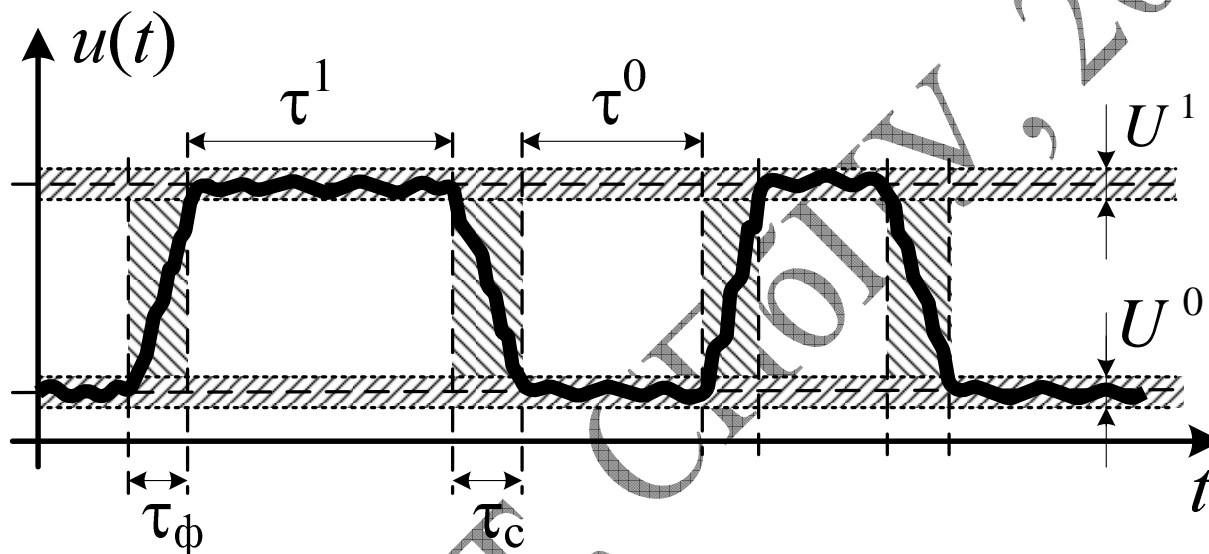
! В таком приближенном рассмотрении необходимо было бы только определиться с конкретными значениями уровней напряжений U^0 либо U^1 .

✓ Рассмотрение реального цифрового сигнала

Реальные импульсные сигналы $u(t)$ неизбежно отличаются от идеальных.

- Конечная длительность перехода: длительность фронта τ_{ϕ} / среза τ_{ψ} (нарастания/спада).

- Флуктуации: напряжение может соответствовать каким-либо номинальным значениям U^0 и U^1 только с какой-то ограниченной точностью. + Возможность дополнительных флуктуаций (на входе/выходе) из-за электрических наводок и помех.



! В общем случае все "неидеальности" могут влиять на работу цифровых элементов и не могут игнорироваться.

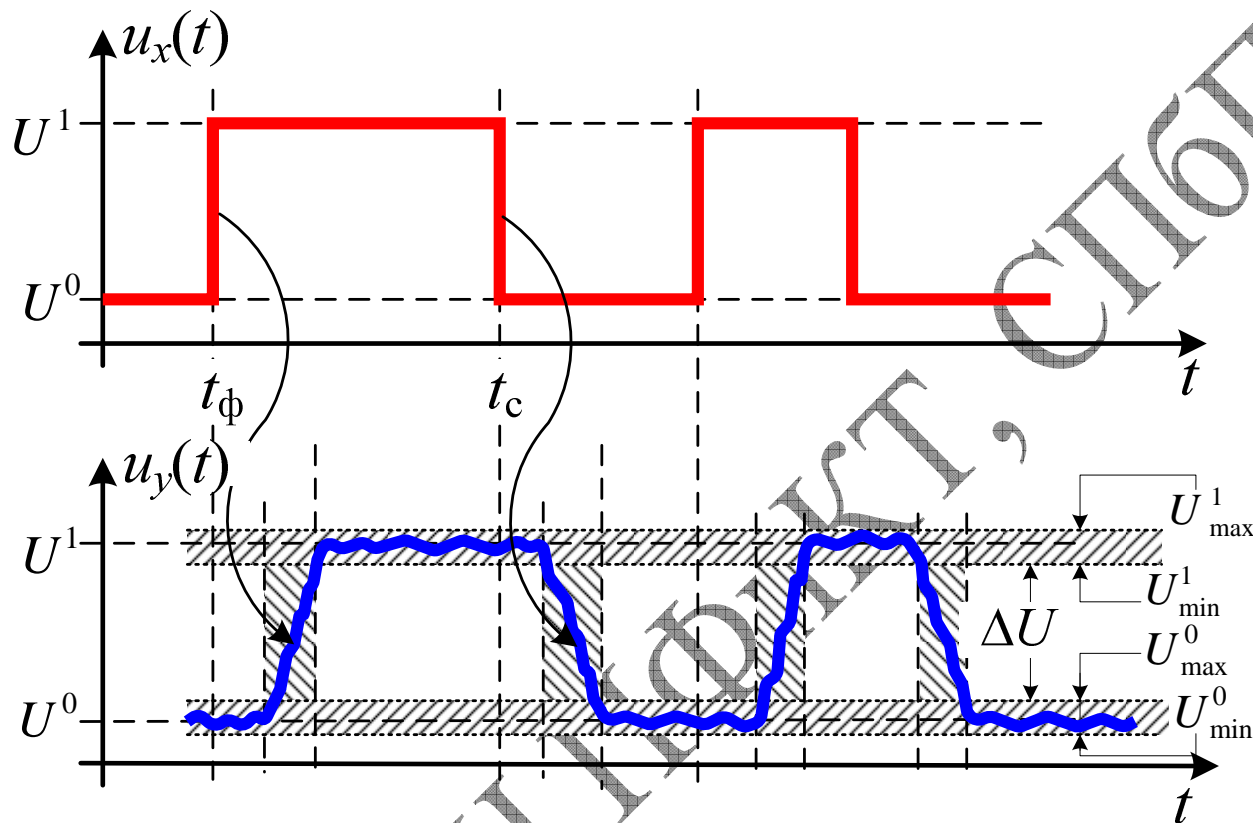
- ✓ При рассмотрении практических ЦУ для информационных уровней необходимо:
 - определить диапазоны напряжений, которые будут соответствовать нулевому или единичному уровню сигнала;
 - решить как цифровой элемент должен реагировать на напряжения вне диапазонов нуля или единицы в течение конечного времени фронта или среза импульса.

✓ Необходимо отдельно рассмотреть:

- вопрос "восприятия" ЦЭ-том входных сигналов;

- особенности формирования выходного сигнала.
- взаимодействие ЦЭ с предшествующими ЦЭ и с последующими элементами.

3.2. Реакция реального ЦЭ на идеальный входной сигнал



- Цифровые сигналы на входе полагаем идеальными (отличия пренебрежимо малы).

Неидеальность $u_y(t)$ – следствие ограничений работы самого ЦЭ, и характеризуют ЦЭ.

- Пусть $u_y(t)$ меняет уровень вследствие изменения уровня некоторого одного $u_x(t)$ (остальные входные сигналы не меняются).

- Для конкретности пусть $u_y = u_x$.

✓ Уровни выходного сигнала

- Интервалы для нуля/единицы (когда переключений нет).
- Шумы, наводки/помехи,

колебания нагрузки и т.п. причины \rightarrow флуктуации и $U_y = U^0 + \delta u$, $U^1 + \delta u$.

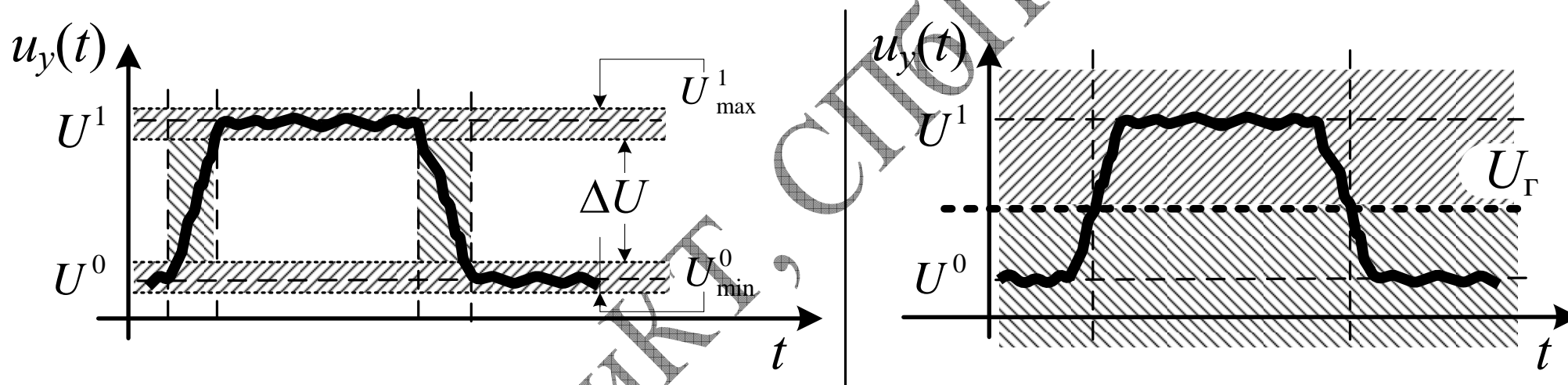
Параметрами ЦЭ, определяющих их совместимость, являются два диапазона u_y :

- границы уровня единицы U_{\min}^1 и U_{\max}^1 ;
- границы уровня нуля U_{\min}^0 и U_{\max}^0 .

! Буферная зона $\Delta U = U_{\min}^1 - U_{\max}^0$.

(?) Для чего нужны внешние границы (U_{\min}^0 и U_{\max}^1) и буферная зона?

(?) Достаточно ли задать вообще один граничный уровень (т.е. $U_{\min}^0 = U_{\max}^1$ и $\Delta U = 0$)?



- Внешние границы – технический момент (допустимые пределы, чтобы не вывести ЦЭ из строя или из нормального режима функционирования).
- Наличие буферной зоны $\Delta U = U_{\min}^1 - U_{\max}^0 \neq 0$ – принципиальное значение!
 - Допуск сколь угодно близкого возможного выходного напряжения уровня нуля/единицы → риск нештатного пересечения порога из-за шумов/под влиянием внешних помех.

– Очень важно для обеспечения надежной корректной реакции на переключение уровней $u_y(t)$ (будет дополнительно пояснено ниже).

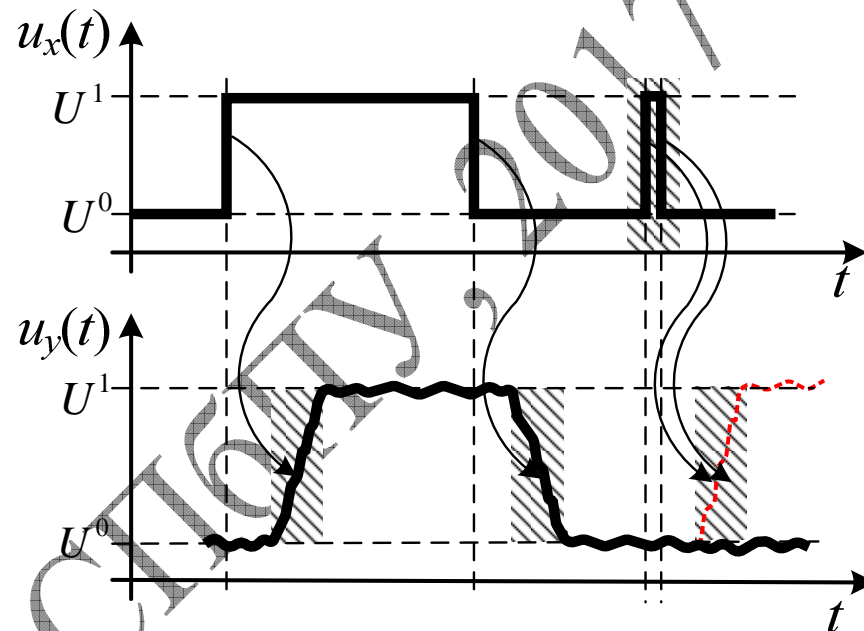
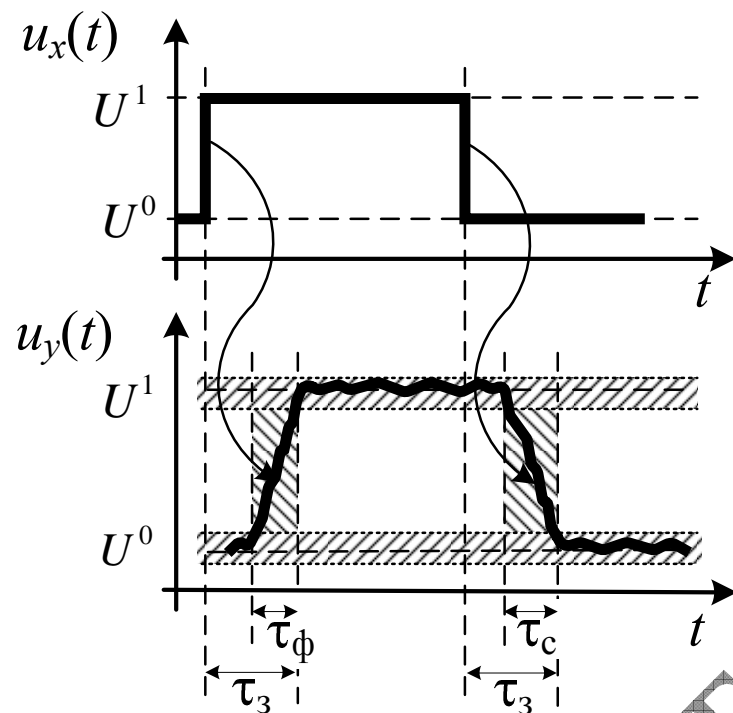
✓ **Нарастание/спад выходного сигнала**

Отражают собственные характеристики (возможности) ЦЭ:

- Конечная длительность фронта и среза его выходного сигнала.
- Время "задержки" τ_z (или время "реакции") при переключения ЦЭ.

Установление требуемого уровня u_y после переключения u_x происходит с некоторой задержкой. Иногда различают время переключения 0/1 и 1/0 (если задержки существенно отличаются).

! Время задержки может быть заметно больше, чем длительность фронта/среза.



(?) Реакция на ультра- короткий входной импульс, длительностью равной или меньшей τ_3 .

3.3. Срабатывание ЦЭ при реальном входном сигнале

Реальный входной сигнал:

- Претерпевает флуктуации (шумов и др. технические причины).
- Имеет фронт и срез конечной длительности.
- Вообще может существенно отличаться по форме от импульсного сигнала (из-за тех или иных причин и возможных искажений).

Необходимо ясно понимать как должен реагировать ЦЭ на такой сигнал, при каких условиях и в какие моменты должны происходить переключения уровней выходного напряжения.

- Технические ограничения → соблюдается рабочий диапазон $u_x(t)$ работы ЦЭ без повреждений (без снижения надежности и т.п.).

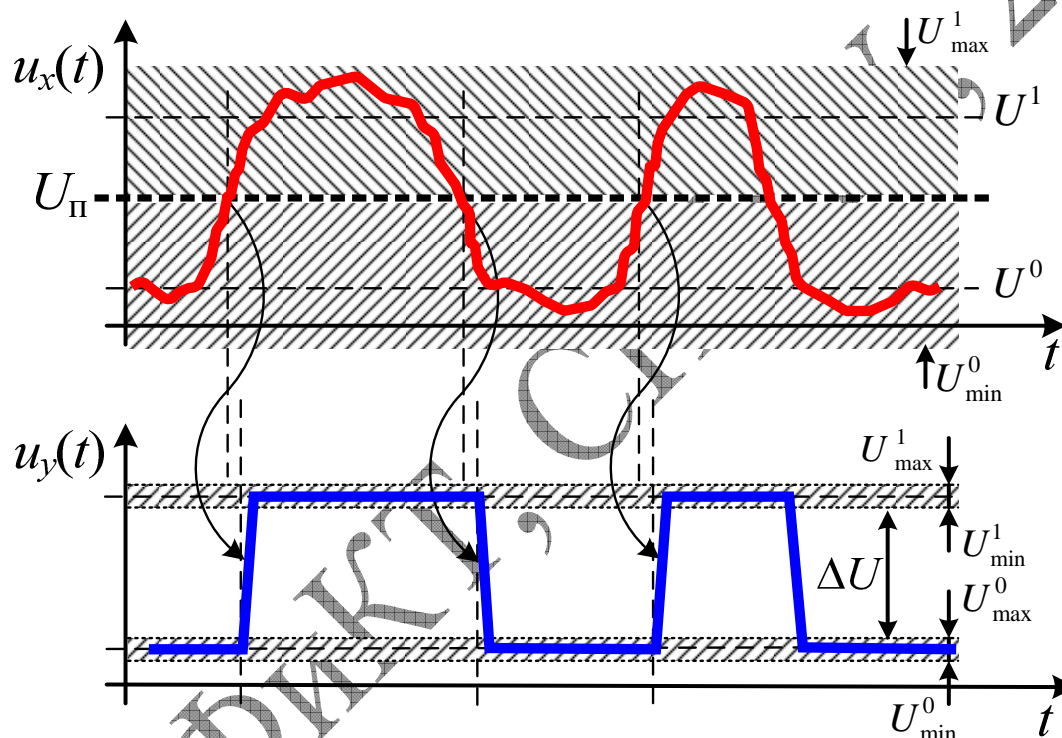
В системе совместимых ЦЭ такой диапазон должен быть шире, чем $U_{\min}^0 \div U_{\max}^1$.

- Более сложно! Как ЦЭ должен *интерпретировать информационный уровень* входного сигнала, когда $u_x(t)$, находится в пределах от U_{\min}^0 до U_{\max}^1 .

✓ Простейший подход:

введение порогового значения U_{Π} для входного напряжения.

- Если $u_x < U_{\Pi}$, то ЦЭ должен "интерпретировать" этот сигнал как сигнал с уровнем нуля
- Если $u_x > U_{\Pi}$, то ЦЭ должен реагировать на такой сигнал как на сигнал с уровнем единицы.

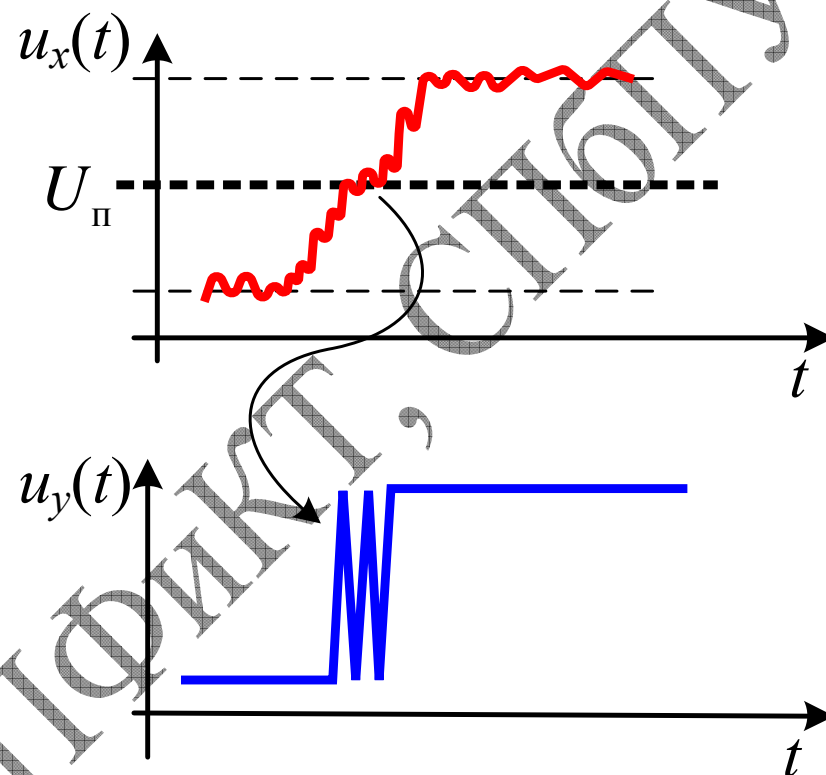


! Для корректной работы в системе ЦЭ-ов с заданными U^1_{\min} и U^0_{\max} (по выходу) необходимо $U^0_{\max} < U_{\Pi} < U^1_{\min}$ (обычно $U_{\Pi} \approx (U^1_{\min} + U^0_{\max})/2$).

Если u_y ЦЭ имеет уровень нуля, то $u_y \leq U^0_{\max} < U_{\Pi}$. На входе следующего ЦЭ гарантированно будет воспринят уровень нуля. И наоборот, при уровне единицы $u_y \geq U^1_{\min} > U_{\Pi}$ и далее гарантированно воспринимается как сигнал единичного уровня.

! Подход с одним порогом логичен и понятен, но он $U_{\text{п}}$ не гарантирует устойчивую работу ЦЭ с точки зрения реакции на изменение реального входного сигнала (с флуктуациями).

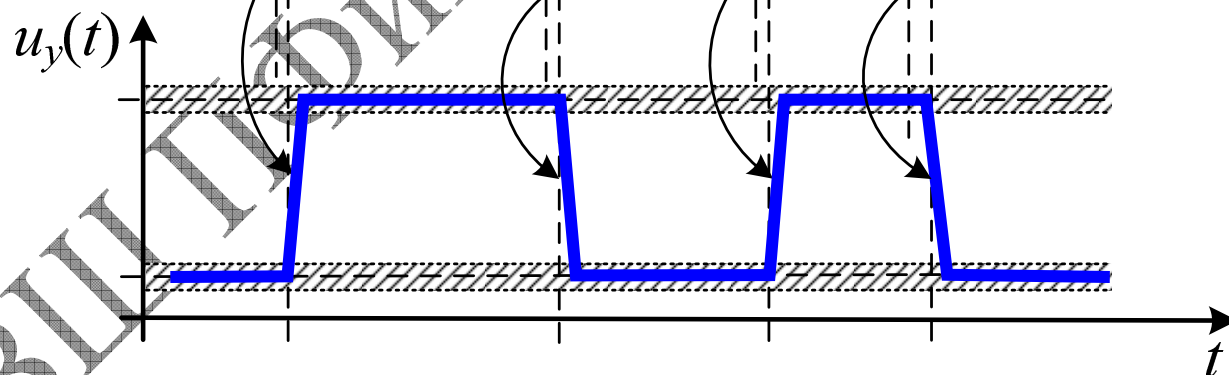
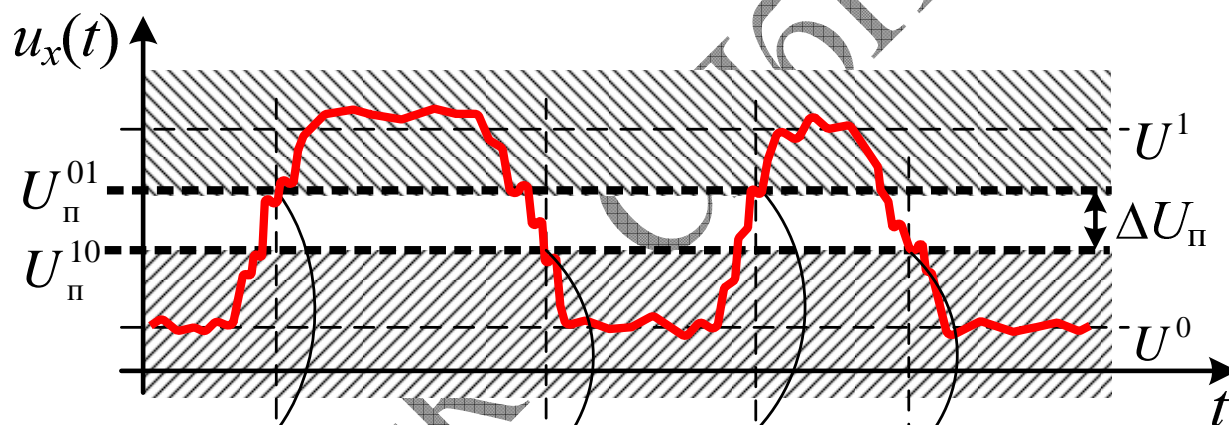
✓ Пример – проблема "дребезга" при реакции на флуктуации время фронта или среза входного сигнала



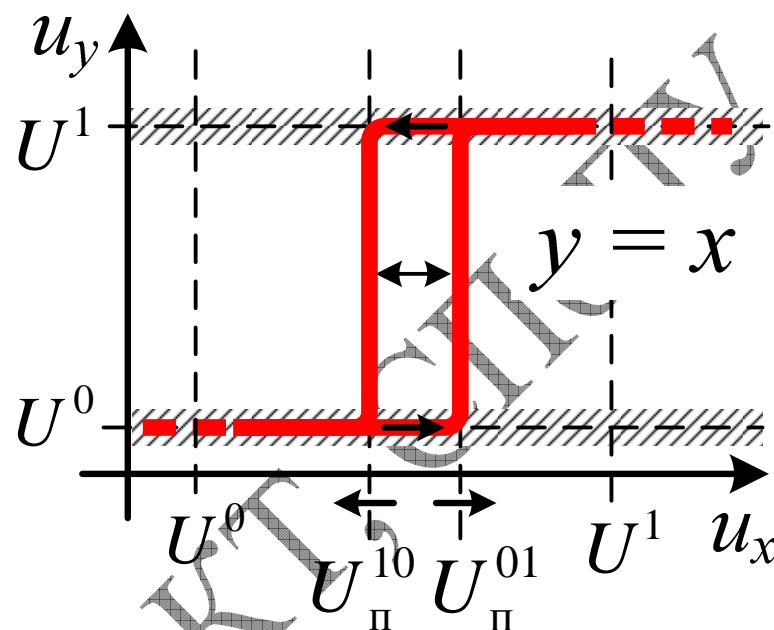
В некоторых случаях «дребезг» может быть допустим, в общем случае такой эффект (и подобные ему) не могут считаться допустимыми.

✓ Есть типовое решение, с использование *гистерезиса срабатывания*.

- ЦЭ имеет два входных пороговых значения: U_{Π}^{01} и U_{Π}^{10} (причем $U_{\Pi}^{01} > U_{\Pi}^{10}$).
- Если $u_x(t)$ растет от уровня нуля (к уровню единицы), он начнет *восприниматься* как сигнал с уровнем единицы после пересечения уровня U_{Π}^{01} .
- А если $u_x(t)$ снижается от уровня единицы (к уровню нуля), то он начнет *восприниматься* как сигнал с уровнем нуля после пересечения уровня U_{Π}^{10} .



✓ На входе ЦЭ должен быть каскад с гистерезисной переходной характеристикой,



- Элемент с такой переходной характеристикой относительно легко реализуется на основе простых электронных схем с положительной обратной связью.
- Элементы такого типа часто называют "**триггер Шмидта**".

! В описанном варианте триггер Шмидта *не является* частью класса последовательностных элементов, называемого «триггеры» (будут рассматриваться в разделе 4). Он не формирует память, он обеспечивает повторение либо инверсию информационных уровней и влияет только на переходные процессы. Однако при использовании других форматов входных уровней

сигналов на такой схеме можно организовать "хранение" значения выходного уровня (память), что и определило термин "триггер", исходно закрепившийся за такими каскадами.

✓ Для корректной работы системы цифровых элементов должно выполняться условие

$$U_{\max}^0 < U_{\Pi}^{10} < U_{\Pi}^{01} < U_{\min}^1.$$

Подавляется возможность появления эффектов дребезга из-за слабых флуктуаций напряжения u_x , (если уровень паразитных флуктуаций входного сигнала значительно меньше, чем разность порогов $U_{\Pi}^{01} - U_{\Pi}^{10}$).

! Разность порогов должна быть не слишком мала.

! Это обоснование необходимости введения значительной буферной зоны $U_{\max}^0 \div U_{\min}^1$ между выходными напряжениями разных информационных уровней, ширина которой, в свою очередь, должна превышать разность порогов.

✓ За счет применения каскадов гистерезисного срабатывания:

- Шумы выходного сигнала никак не связаны с флуктуациями на входе.
- Уровень и характер флуктуаций/шумов выходного сигнала является собственной характеристикой ЦЭУ.

! Гистерезис срабатывания означает зависимость формирования реакции ЦЭ от предшествующего состояния входного сигнала. Но это не означает, что устройство перестает быть комбинационным! Влияние только на сам процесс переключения (на момент его начала). По завершению процессов подъема/спада сигнала будет $u_y = g(u_{x1}, u_{x2}, \dots)$.

✓ Вопрос о реакции реальный ЦЭ если на вход не подан никакой сигнал (к его входу не подсоединен никакой источник напряжения, "вывод висит в воздухе").

- Ситуация не штатная, требования к реакции ЦЭ могут не регламентироваться.
- Реакция конкретного типа/модели ЦЭ зависит от его внутреннего устройства, принципов построения и технологии изготовления.
 - Для некоторых типов неподключенный вход будет всегда восприниматься как сигнал с одним из информационных уровней (либо всегда как сигнал с уровнем нуля, либо всегда как сигнал с уровнем единицы).
 - В других типах ЦЭ реакция может быть случайна или зависеть от многих обстоятельств, например от значений напряжений на других входах ЦЭ или даже на его выходах.

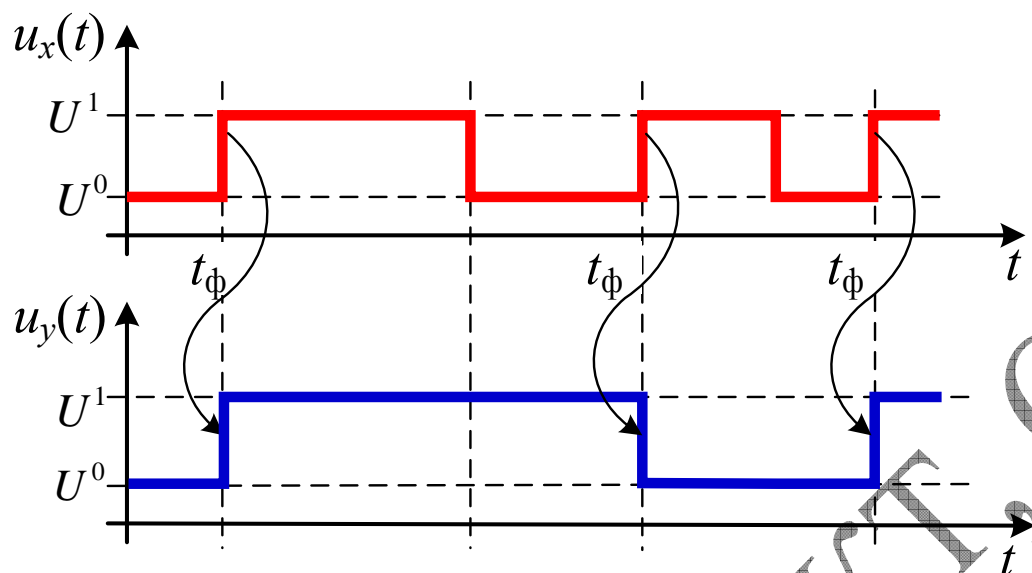
! В любом случае, если вход ЦЭ не подключен к какому-то источнику, задающему входное напряжение, то резко возрастает влияние наводок и помех.

✓ Потенциальный и импульсный режимы.

Обычно подразумевается, что информацию отражает уровень напряжения $u(t)$, т.е. уровень U^0 либо U^1 . Технически ЦЭ реагирует на направленное пересечение порога, но такое событие неизбежно сопровождается изменением уровня входного сигнала.

Режим, когда информация отражается уровнем сигнала (U^0 либо U^1) и ЦЭ реагирует на изменения этого уровня называют **потенциальным** ("потенциальный сигнал", "потенциальный вход").

В цифровой электронике возможны ситуации, когда информация отображается не в уровне сигнала, а в факте перехода напряжения от одного уровня к другому (можно выделять только переходы $U^0 \rightarrow U^1$, т.е. фронты, либо только переходы $U^1 \rightarrow U^0$, т.е. срезы). Такой режим называют **импульсным** ("импульсный сигналы", "импульсный вход", "динамический вход").



В таких случаях ЦЭ реагирует (меняет выходной сигнал/сигналы) на переход сигнала на импульсном входе, например на фронт, а изменение уровня срез не влияет на работу ЦЭ.

Простейший пример – инверсия выходного сигнала в моменты фронта входного. М.б. аналогичная реакция на срез.

Как правило, реакции ЦЭ при изменении уровня на импульсном входе определяются также и уровнями сигнала/сигналов на потенциальных входах в этот момент.

Алгоритм такой реакции может предусматривать отсутствие влияния на выходные изменений уровней потенциальных входов, до того момента, когда произойдет переход на потенциальном входе.

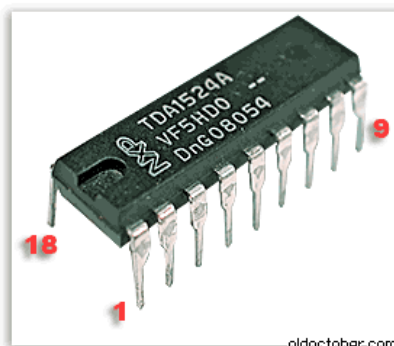
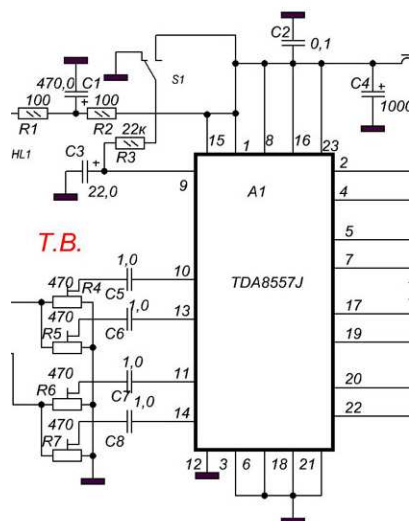
Отсутствие реакции ЦЭ на изменение уровня сигнала импульсного входа (и, тем более потенциального входа) означает возможность "запоминания"/"сохранения" входной информации. Такие возможности обеспечиваются приемами схемотехники *последовательностных цифровых устройств* (будут рассмотрены в разделе 4) и именно в таких устройствах могут использоваться импульсные режимы и, обычно, возникает необходимость использования импульсных входов.

3.4. Графические обозначения в цифровой схемотехнике

Принципиальная схема (в части цифрового электронного устройства)

✓ Изображение МС (прямоугольник) с указанием конкретной модели (прямое или косвенное) и нумерацией выводов.

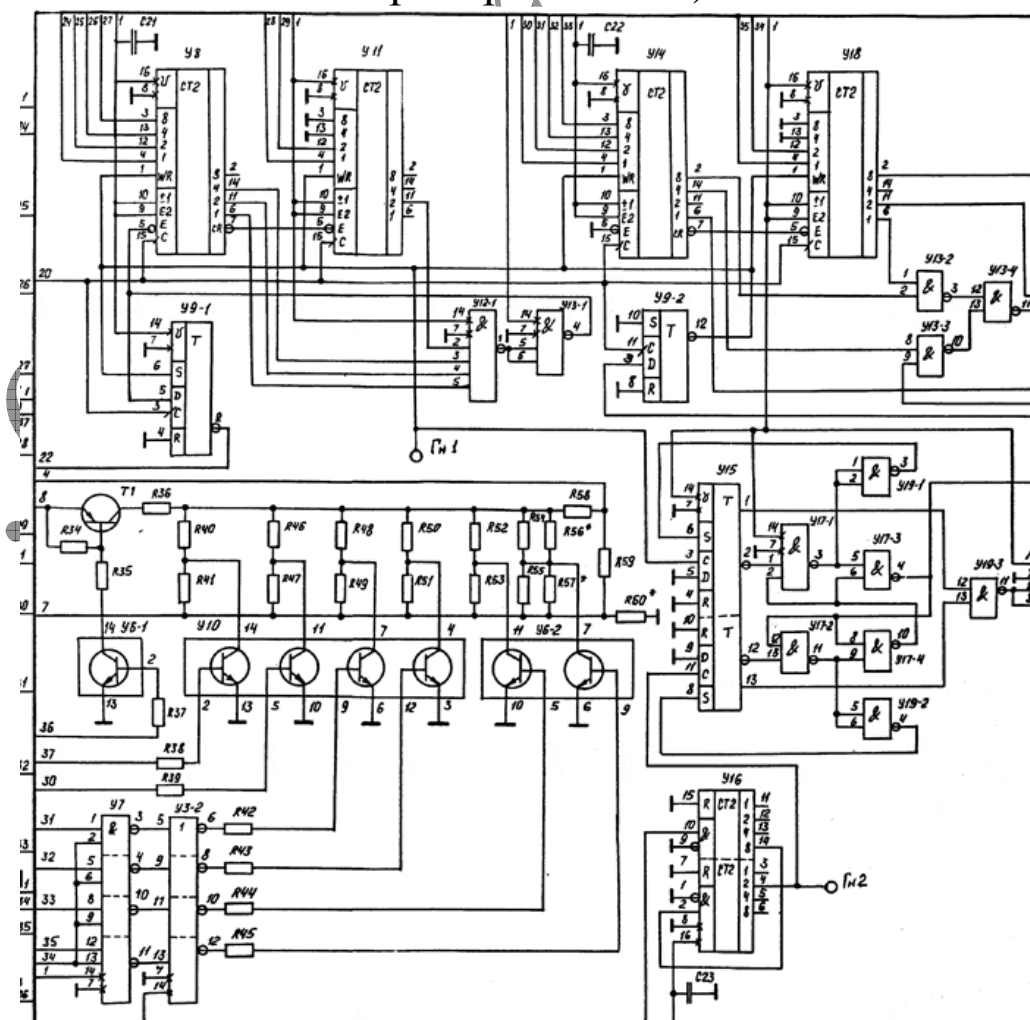
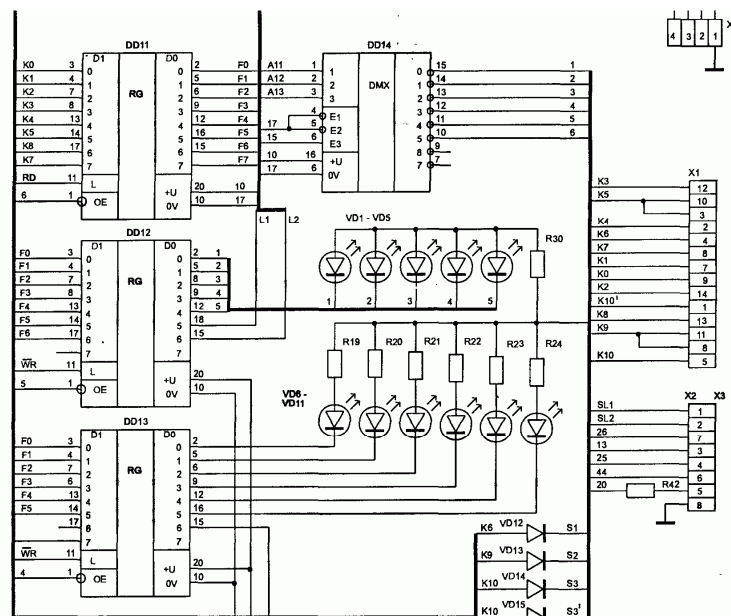
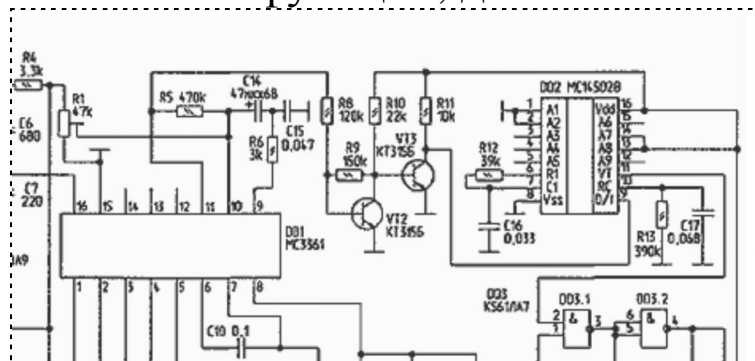
! Важно контролировать соответствие номеров выводов на схеме и "цоколевки" прибора.



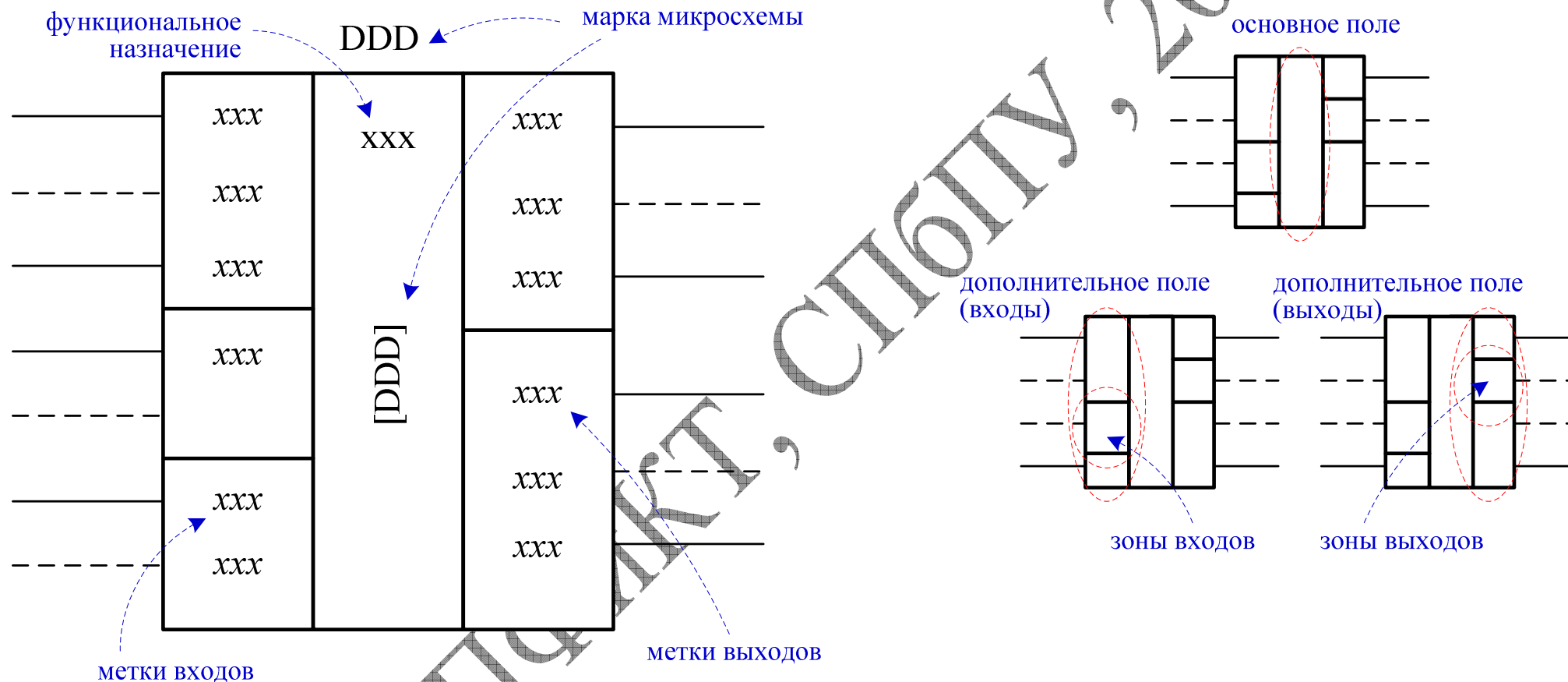
! В правилах цоколевки есть общепринятые приемы, но желательно проверять по справочникам / техническим описаниям производителя

✓ Понять работу схемы можно только зная номенклатуру и внимательно изучив связи между элементами (фактически явным или неявным построением подобия логической диаграммы).

✓ В реальных схемах, как правило строгое формальное определение элементов и связей сочетается с элементами пояснения функциональных связей, поясняются (т.е. указываются элементы от логической диаграммы с большей или меньшей детализацией: от элементарных логических функций, до более сложных, но типовых логических преобразований):

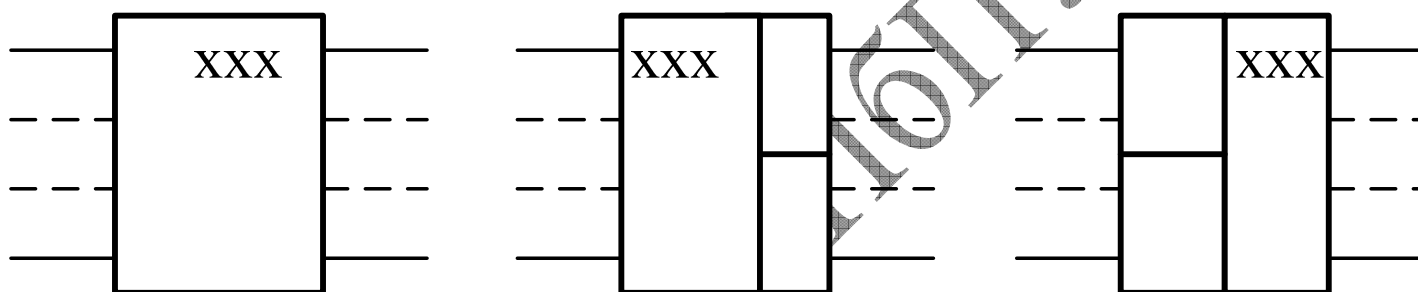


- ✓ Элемент: прямоугольник + выводы.
- ✓ Выводы: входы/выходы, двунаправленные, не несущие логической информации



- При наличии возможности выводы входов – слева, выводы выходов – справа.
- Метки входов/выходов – обозначение назначения / идентификация .
- Метки входов/выходов – разделение типов входов / выходов.

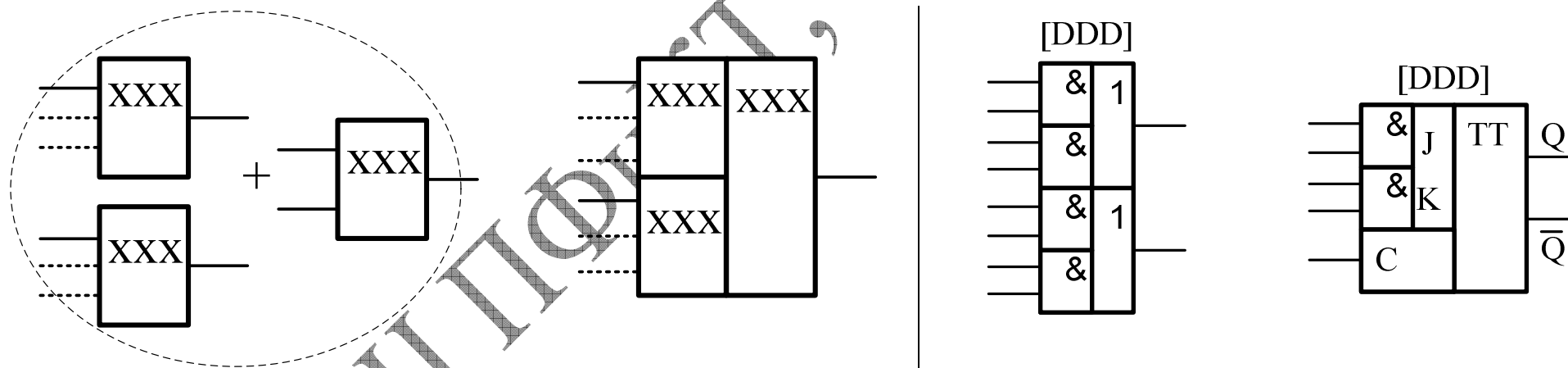
- ✓ Основное поле (с обозначением функционального назначения /марки) обязательно.
- ✓ Одно или оба дополнительных поля могут не требоваться (очевидность типа и назначения выводов, их симметричность ...).



И	&	мультиплексор	MUX	умножитель	MPL
ИЛИ	1	демультиплексор	DMUX	делитель	DIV
исключающее ИЛИ	=1	селектор	SL	триггер	T (TT)
		шифратор	CD	регистр	RG
		дешифратор	DC	счетчик	CT
		преобразователь	X/Y	память	M
		сравнение	=	ОЗУ	RAM
		арифметика	A	ПЗУ	ROM
		сумматор	SM (Σ)	процессор	P
		вычитатель	SUB	выч. устр/центр. проц.	CPU

- Если все выводы элемента являются не логическими, то перед обозначением функции может ставиться знак *.
- К обозначению функции (справа) могут быть добавлены технические данные элемента (например набор резисторов 100 Ом: *R100, оперативная память емкостью 16 кБайт: RAM16K и т.п.).
- При указании сложных функций используют комбинированные обозначения. Например, двоичный счетчик (СТ2) с дешифратором (ДС): СТ2ДС

✓ Совмещение функциональных преобразований:



Дополнительные обозначения выводов и метки выводов:

