

---

## Глава 2

# ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

---

Существует большое количество характеристик ЦИМС, определяющих работоспособность микросхем и снимаемых по определенным методикам. Характеристики ЦИМС делятся на статические и динамические. Статические характеристики представляют собой зависимости между входными и выходными токами и напряжениями в установившемся режиме работы. Динамические характеристики определяют поведение микросхем в переходных режимах, то есть при переключении из одного состояния в другое. По соответствующим характеристикам определяются статические и динамические параметры ЦИМС. Кроме статических и динамических параметров каждая интегральная микросхема характеризуется совокупностью конструктивных и схемотехнических параметров [6].

### 2.1 Схемотехнические и конструктивные параметры



.....  
*Коэффициент  $k_{об}$  объединения по входу логического элемента — число входов логического элемента, по которым реализуется логическая функция, в том числе с учетом входов логических расширителей.*  
.....

Для элементов многоступенчатой логики различают коэффициент объединения по логической функции ИЛИ  $k_{об. или}$  и коэффициент объединения по логической функции И  $k_{об. и}$ .



.....  
**Коэффициент  $k_{раз}$  разветвления по выходу логического элемента (нагрузочная способность)** — число единичных нагрузок, которые можно одновременно подключить к выходу логического элемента.  
 .....

Единичной нагрузкой является один вход базового логического элемента данной серии ЦИМС. Для ряда элементов данной серии один вход может быть эквивалентен нескольким единичным нагрузкам. С увеличением числа нагрузок параметры ЦИМС ухудшаются. Допустимое количество входов элементов другой серии специально оговаривается.

## 2.2 Статические характеристики и параметры

К статическим характеристикам относятся входная, передаточная, выходная и обратная передаточная характеристики. Основными статическими характеристиками являются первые три [6].



.....  
**Передаточная характеристика** — зависимость выходного напряжения от входного напряжения, то есть  $U_{вых} = f_{пер}(U_{вх})$ .  
 .....

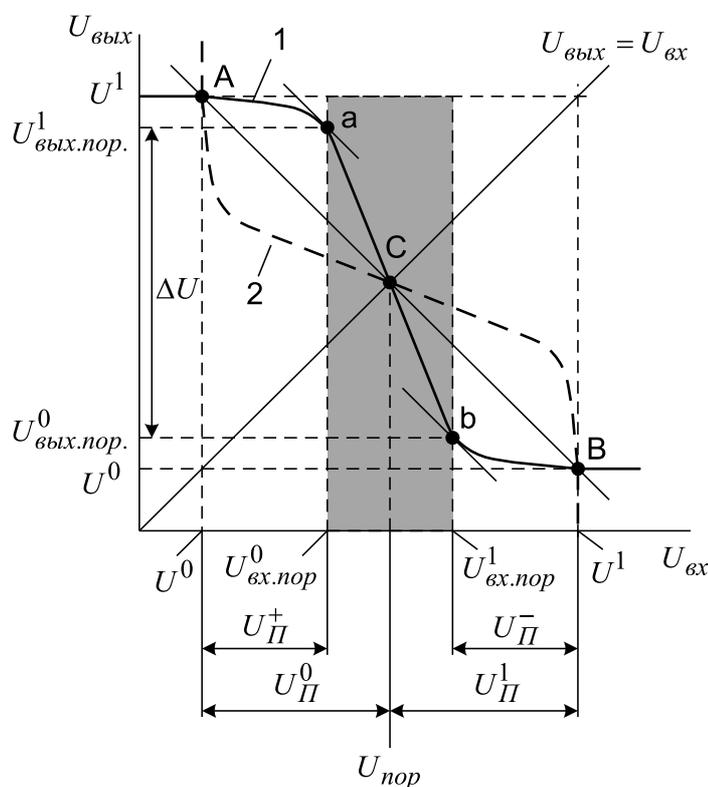


Рис. 2.1 – Передаточная характеристика инвертирующего элемента

Характеристика снимается для одного из входов ЦИМС, а остальные входы подключаются к цепи, в которой в зависимости от логической структуры элемента действуют уровни напряжения логического нуля или логической единицы при заданном количестве нагрузок  $k_{\text{раз}}$  на выходе элемента. В зависимости от вида передаточной характеристики различают инвертирующие и неинвертирующие логические элементы. Для инвертирующего элемента высокому уровню входного потенциала соответствует низкий, а для неинвертирующего — высокий уровень потенциала на выходе. Передаточная характеристика инвертирующего элемента представлена на рис. 2.1.

По передаточной характеристике определяют:

- пороговое напряжение  $U_{\text{пор}}$  — входное напряжение, малые отклонения от которого в ту или другую сторону приводят к переходу логического элемента на его выходе из состояния логической «1» в состояние логического «0» или обратно;
- $U_{\text{вых. пор}}^1$ ,  $U_{\text{вых. пор}}^0$  — значения выходных пороговых напряжений логических «1» и «0» соответственно, определяемых с помощью пороговых точек  $a$  и  $b$ , в которых дифференциальный коэффициент усиления по напряжению  $k_U = -1$  (рис. 2.1);
- логический перепад  $\Delta U = U_{\text{вых. пор}}^1 - U_{\text{вых. пор}}^0$ ;
- запас помехоустойчивости по уровню логического «0»  $U_{\text{п}}^+$  и по уровню логической «1»  $U_{\text{п}}^-$  — разность напряжений, измеряемых по оси входных напряжений передаточной характеристики в рабочей точке и ближайшей к ней точке с единичным усилением;
- помехозащищенность по уровню логического «0»  $U_{\text{п}}^0$  и по уровню логической «1»  $U_{\text{п}}^1$  — разность напряжений, измеряемых по оси входных напряжений передаточной характеристики в рабочей точке и пороговым напряжением;
- помехоустойчивость по уровню логического «0» и «1» — отношение помехозащищенности к логическому перепаду;
- уровни напряжения логического нуля  $U^0$  и логической единицы  $U^1$ .

Идеальная передаточная характеристика, для которой запас помехоустойчивости максимальный, должна соответствовать условиям:  $U_{\text{вых. пор}}^0 = 0$ ,  $U_{\text{вых. пор}}^1 = \Delta U$ ,  $U_{\text{вх. пор}}^0 = U_{\text{вх. пор}}^1 = U_{\text{пор}} = \Delta U/2$  и тогда  $U_{\text{п}}^+ = U_{\text{п}}^- = U_{\text{п}}^0 = U_{\text{п}}^1 = \Delta U/2$ . Для повышения помехоустойчивости необходимо увеличивать логический перепад и значения входных пороговых напряжений, однако увеличение логического перепада связано с ростом напряжения питания и увеличением потребляемой мощности, а увеличение пороговых напряжений приводит к уменьшению быстродействия.

При оценке помехоустойчивости используют *напряжение статической помехи* — наибольшее входное напряжение, не изменяющее состояния элемента.



.....  
**Входная характеристика** — зависимость входного тока от входного напряжения, то есть  $I_{\text{вх}} = f_{\text{вх}}(U_{\text{вх}})$ .  
 .....

Характеристика снимается для одного из входов ЦИМС, а остальные входы подключаются к цепи, в которой в зависимости от логической структуры элемента действуют уровни напряжения логического нуля или логической единицы при заданном количестве нагрузок  $k_{\text{раз}}$  на выходе элемента. Из входной характеристики определяют входные токи логического нуля  $I_{\text{вх}}^0$  и логической единицы  $I_{\text{вх}}^1$  при уровнях напряжения  $U_{\text{вх}}^0$  и  $U_{\text{вх}}^1$  соответственно.



.....  
**Выходная характеристика** — зависимость выходного тока от выходного напряжения, то есть  $I_{\text{вых}} = f_{\text{вых}}(U_{\text{вых}})$ .  
 .....

Характеристика снимается для двух состояний элемента — элемент включен, элемент выключен.

Инвертирующий элемент считается включенным, когда на его выходе действует напряжение низкого уровня, и выключенным, когда на его выходе действует напряжение высокого уровня. Неинвертирующий элемент считается включенным, когда на его выходе действует напряжение высокого уровня, и выключенным, когда на его выходе действует напряжение низкого уровня.

Для изменения выходного напряжения используется внешний источник питания с регулируемой полярностью и значением напряжения. Из выходной характеристики определяют выходные токи логического нуля  $I_{\text{вых}}^0$  и логической единицы  $I_{\text{вых}}^1$  при уровнях напряжения  $U_{\text{вых}}^0$  и  $U_{\text{вых}}^1$  соответственно.

## 2.3 Динамические характеристики и параметры

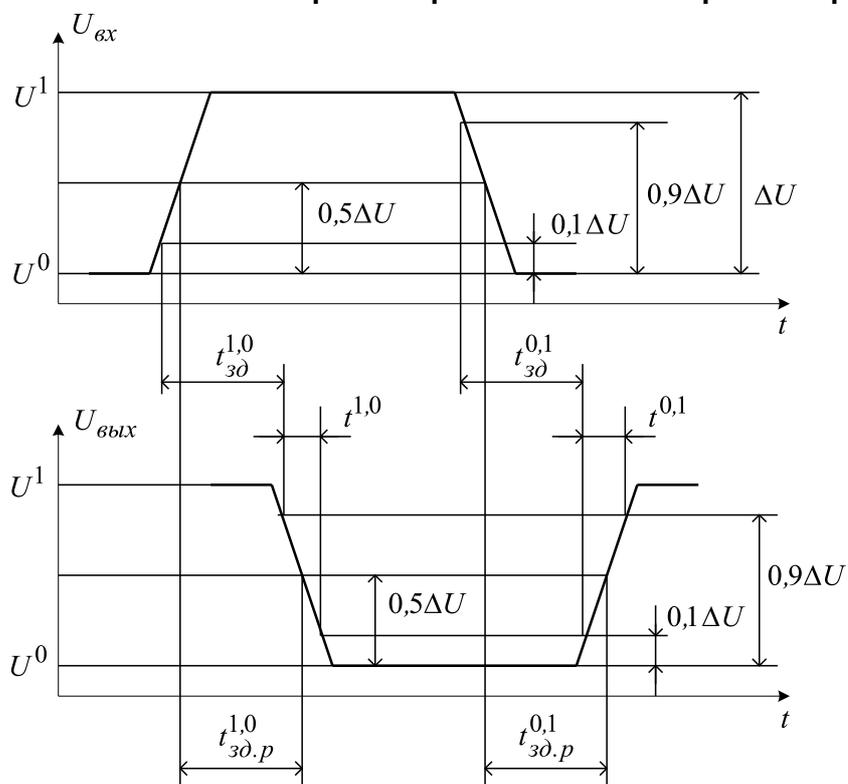


Рис. 2.2 – Основные динамические параметры

Основные динамические параметры рассмотрим на примере инвертирующего элемента. Характер изменения входного и выходного напряжений инвертирующего логического элемента в общем случае показан на рис. 2.2.

Основными параметрами цифровых микросхем при работе в динамическом режиме являются [6]:

- *Время перехода  $t^{1,0}$  на выходе элемента из состояния логической единицы в состояние логического нуля* — интервал времени, в течение которого напряжение на выходе элемента изменяется от значения  $U^1 - 0.9\Delta U$  до  $U^0 + 0.1\Delta U$ .
- *Время перехода  $t^{0,1}$  на выходе элемента из состояния логического нуля в состояние логической единицы* — интервал времени, в течение которого напряжение на выходе элемента изменяется от значения  $U^0 + 0.1\Delta U$  до  $U^1 - 0.9\Delta U$ .
- *Время задержки включения  $t_{зд}^{1,0}$*  — интервал времени между входным и выходным сигналами при переходе выходного напряжения от уровня логической единицы к уровню логического нуля, измеренный на уровне 0.1 логического перепада входного сигнала и 0.9 логического перепада выходного сигнала.
- *Время задержки выключения  $t_{зд}^{0,1}$*  — интервал времени между входным и выходным сигналами при переходе выходного напряжения от уровня логического нуля к уровню логической единицы, измеренный на уровне 0,9 логического перепада входного сигнала и 0,1 логического перепада выходного сигнала.
- *Время задержки распространения сигнала при включения  $t_{зд.р}^{1,0}$*  — интервал времени между входным и выходным сигналами при переходе выходного напряжения от уровня логической единицы к уровню логического нуля, измеренный на уровне 0.5 логического перепада входного и выходного сигналов.
- *Время задержки распространения сигнала при выключения  $t_{зд.р}^{0,1}$*  — интервал времени между входным и выходным сигналами при переходе выходного напряжения от уровня логического нуля к уровню логической единицы, измеренный на уровне 0.5 логического перепада входного и выходного сигналов.
- *Среднее время задержки распространения сигнала*

$$t_{зд.р.ср} = \frac{t_{зд.р}^{1,0} + t_{зд.р}^{0,1}}{2}.$$

- *Рабочая частота переключения  $f_{п}$*  — максимальная частота, на которой в наилучших условиях гарантируется срабатывание счетного триггера, составленного из логических элементов данной серии.

Динамическими характеристиками являются:

- *Динамическая нагрузочная характеристика*

$$t_{зд.р.ср} = f(C_{н} \text{ или } k_{раз}),$$

где  $C_{н}$  — емкость нагрузки.

- *Формирующие характеристики* — зависимость времени перехода элемента на его выходе из одного состояния в другое от времени перехода из одного состояния в другое входного сигнала:

$$t_{\text{ВЫХ}}^{1,0} = f(t_{\text{ВХ}}^{0,1}), \quad t_{\text{ВЫХ}}^{0,1} = f(t_{\text{ВХ}}^{1,0}).$$

## 2.4 Энергетические характеристики и параметры

Мощность, потребляемая микросхемой от источника питания, зависит от ее логического состояния. Микросхема потребляет ток  $I_{\text{П}}^0$  при  $U_{\text{ВЫХ}} = U^0$  и ток  $I_{\text{П}}^1$  при  $U_{\text{ВЫХ}} = U^1$ , поэтому *мощность потребления в состоянии логического нуля* определяется выражением  $P_{\text{П}}^0 = U_{\text{ИП}} I_{\text{П}}^0$ , а *мощность потребления в состоянии логической единицы* — выражением  $P_{\text{П}}^1 = U_{\text{ИП}} I_{\text{П}}^1$ .

Мощности потребления определяются при работе логического элемента в режиме холостого хода на выходе (без подключения нагрузок).



.....  
*Средняя мощность потребления* определяется в предположении, что логический элемент периодически переключается со скважностью, равной двум, то есть половину периода на выходе формируется уровень логического нуля и половину периода — уровень логической единицы:  $P_{\text{П.ср}} = \frac{P_{\text{П}}^1 + P_{\text{П}}^0}{2}$ .  
 .....

Мощность потребления указывается в паспорте на один логический элемент или чаще на микросхему в целом.

В процессе переключения цифровых микросхем ток в цепи источника питания существенно увеличивается. Вследствие этого микросхемы потребляют дополнительную, динамическую, мощность  $P_{\text{дин}}$ , величина которой пропорциональна частоте переключения  $f_{\text{п}}$ . В результате средняя мощность, потребляемая микросхемой в режиме переключения,  $P = P_{\text{П.ср}} + P_{\text{дин}}$  оказывается больше, чем мощность  $P_{\text{П.ср}}$  в статическом режиме. Для микросхем обычно приводят значение  $P$  при некоторой рабочей частоте, близкой к максимальной  $f_{\text{max}}$ .



.....  
 Для характеристики цифровых микросхем используют параметр, называемый *работой переключения*  $A_{\text{п}} = P_{\text{П.ср}} t_{\text{зд.р.ср}}$ . Этот показатель оказывается постоянным в диапазоне изменения мощности  $P_{\text{П.ср.min}} < P_{\text{П.ср}} < P_{\text{П.ср.max}}$  и характеризует качество схемотехнического проектирования и конструкторско-технологической реализации микросхемы.  
 .....



## Контрольные вопросы по главе 2

- 1) Определить логический перепад, если значения выходных пороговых напряжений логических «1» и «0» соответственно составляют  $U_{\text{вых. пор}}^1 = 2.4 \text{ В}$ ,  $U_{\text{вых. пор}}^0 = 0.4 \text{ В}$ .
- 2) Определить помехозащищенность по уровню логического «0», если уровень напряжения логического нуля  $U^0 = 0.4 \text{ В}$ , а пороговое напряжение  $U_{\text{пор}} = 2 \text{ В}$ .
- 3) Определить помехоустойчивость идеальной передаточной характеристики.
- 4) Определить среднее время задержки распространения сигнала, если время задержки распространения сигнала при включении составляет  $t_{\text{зд. п}}^{1,0} = 18 \text{ нс}$ , а время задержки распространения сигнала при выключения  $t_{\text{зд. п}}^{0,1} = 20 \text{ нс}$ .
- 5) Определить средний ток, потребляемый интегральной микросхемой от источника питания, если средняя статическая мощность потребления составляет  $P_{\text{п. ср}} = 60 \text{ мВт}$ , а напряжение источника питания  $U_{\text{ип}} = 5 \text{ В}$ .