
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 $U_{вых} = f_{пер}(U_{вх})$.

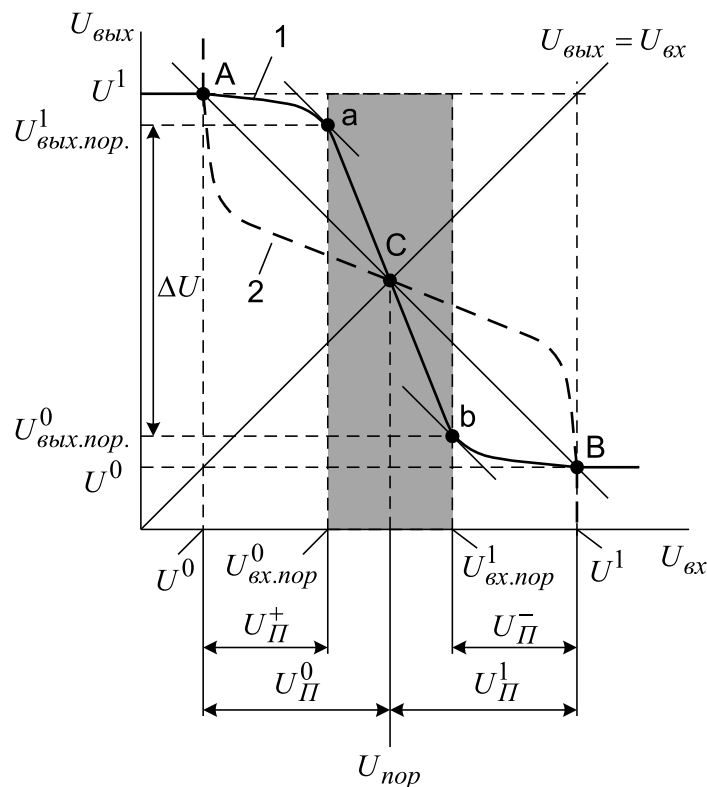


Рис. 2.1 – Передаточная характеристика инвертирующего элемента

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

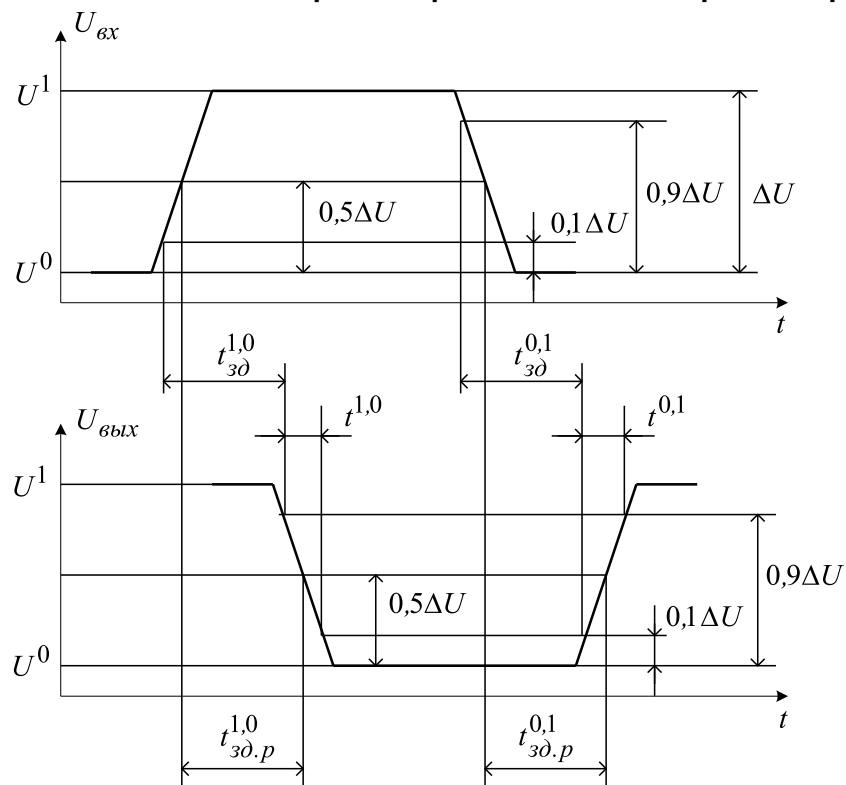


Рис. 2.2 – Основные динамические параметры

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_{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 $U_{\text{ип}} = 5 \text{ В}$.