

Тема № 2 " Параметры логических элементов "

Статические параметры логических элементов: входные и выходные напряжения логических 0 и 1; входные и выходные токи логических 0 и 1; пороговые напряжения; логический перепад; статическая помехоустойчивость;

Мощность, потребляемая от источников питания.

Динамические параметры элементов: время задержки распространения сигнала; динамическая помехоустойчивость; динамическая мощность, потребляемая от источника питания; эксплуатационные параметры.

2.1. Статические параметры логических элементов

Параметры ЛЭ цифровых интегральных схем разделяются на параметры статического и динамического режимов работы.

К основным параметрам статического режима относятся:

выходные и входные напряжения высокого и низкого уровней

$$U^1_{\text{ВЫХ}}, U^1_{\text{ВХ}}, U^0_{\text{ВЫХ}}, U^0_{\text{ВХ}}.$$

Поскольку в цифровых устройствах входы одних ИМС подключаются (в большинстве случаев) непосредственно к выходам других, должны выполняться условия:

$$U^1_{\text{ВЫХ}} = U^1_{\text{ВХ}} = U^1; U^0_{\text{ВЫХ}} = U^0_{\text{ВХ}} = U^0;$$

выходные и входные токи высокого и низкого уровней

$$I^1_{\text{ВЫХ}}, I^1_{\text{ВХ}}, I^0_{\text{ВЫХ}}, I^0_{\text{ВХ}} ;$$

токи потребления в состоянии логического 0 и логической 1 на выходе ИМС

$$I^0_{\text{пот}}, I^1_{\text{пот}};$$

мощность, потребляемая ИМС от источника питания, в состоянии «включено» (логический 0 на выходе ИМС) P^0 и в состоянии «выключено» (логическая 1 на выходе ИМС) P^1 . Если $P^0 \neq P^1$, то в технических условиях (ТУ) или в паспорте ИМС приводится среднее значение потребляемой мощности в статическом режиме

$$P_{\text{ср}} = (P^0 + P^1)/2.$$

Разность пороговых напряжений

$$U_{\text{л}} = U_{\text{вых.пор}}^1 - U_{\text{вых.пор}}^0$$

называется логическим перепадом.

Максимально допустимое значение амплитуды потенциальной помехи, не вызывающей сбоя (ложного переключения) в цифровой схеме, называется помехоустойчивостью и определяется выражениями:

$$U_{\text{п}}^+ = U_{\text{вх.пор}}^0 - U_{\text{вых.пор}}^0;$$

$$U_{\text{п}}^- = U_{\text{вых.пор}}^1 - U_{\text{вх.пор}}^1;$$

$$(U_{\text{п}}^+ + U_{\text{п}}^-)/2 = (U_{\text{вх.пор}}^0 - U_{\text{вых.пор}}^0 + U_{\text{вых.пор}}^1 - U_{\text{вх.пор}}^1)/2 = (U_{\text{л}} - U_{\text{з.н}})/2,$$

где $U_{\text{з.н}} = (U_{\text{вх.пор}}^1 - U_{\text{вх.пор}}^0)$ – ширина зоны неопределенности.

Из уравнений следует, что для увеличения статической помехоустойчивости ЛЭ необходимо уменьшать ширину зоны неопределенности и увеличивать логический перепад. Уменьшение ширины зоны неопределенности достигается увеличением крутизны передаточной характеристики в режиме переключения. Для увеличения логического перепада необходимо исключить изменение выходного напряжения в режимах «включено» и «выключено», вызываемое изменением входного напряжения. В этом случае напряжение логического перепада будет ограничено только напряжением источника питания:

$$U_{\text{л}} \leq E_{\text{п}}.$$

При сопоставлении передаточных характеристик ЛЭ разных типов часто пользуются не абсолютными значениями статической помехоустойчивости, а их отношениями к минимальному логическому перепаду:

$$K_{\text{п}}^+ = U_{\text{п}}^+ / U_{\text{л}}; K_{\text{п}}^- = U_{\text{п}}^- / U_{\text{л}}.$$

Чем ближе передаточная характеристика к идеальной, тем ближе значения этих коэффициентов к 0,5.

Эффективным способом повышения статической помехоустойчивости ЛЭ является получение гистерезисной передаточной характеристики (рис. 3,а). При этом

$$U_{\text{п}} = (U_{\text{п}}^+ + U_{\text{п}}^-)/2 = (U_{\text{вх.пор}}^0 - U^0 + U^1 - U_{\text{вх.пор}}^1)/2 = (U_{\text{л}} - U_{\text{г}})/2,$$

где $U_{\text{г}}$ – напряжение гистерезиса.

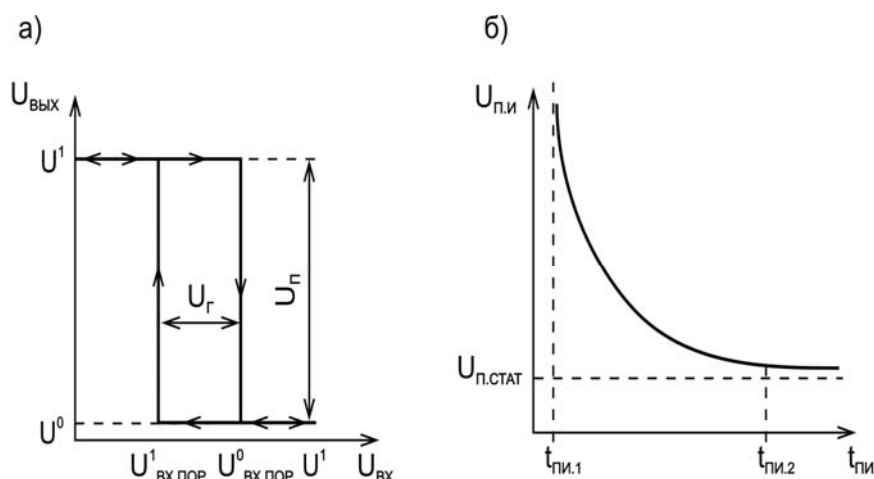


Рис. 1.

На рис. 3,б показана зависимость допустимой амплитуды импульсной помехи ($U_{\text{п.и}}$) от ее длительности ($t_{\text{п.и}}$). При превышении длительности импульсной помехи значения $t_{\text{п.и}2}$ импульсная помехоустойчивость приближается к статической, а при помехах длительностью $t_{\text{п.и}} < t_{\text{п.и}1}$ ЛЭ оказывается нечувствительным к их амплитудам.

В ТУ характеристика импульсной помехоустойчивости из-за отсутствия надежных критериев ее оценки при массовом производстве и ее зависимости от условий работы не приводится.

2.2. Динамические параметры логических элементов

Параметры, зависящие от времени, называются динамическими. Основными из них являются:

$t_{\text{зд.р}}^{1,0}$ – время задержки распространения сигнала при включении ЛЭ ;

$t_{\text{зд.р}}^{0,1}$ – время задержки распространения сигнала при выключении ЛЭ.

Часто пользуются усредненным параметром - средним временем задержки ЛЭ, определяемом как

$$t_{\text{зд.р.ср.}} = (t_{\text{зд.р}}^{1,0} + t_{\text{зд.р}}^{0,1})/2;$$

$t^{1,0}$ – длительность отрицательного фронта (спада) выходного импульса напряжения;

$t^{0,1}$ – длительность положительного фронта (нарастания) импульса выходного напряжения;

$t_{\text{зд.вкл}}$ – время задержки включения ЛЭ ;

$t_{\text{зд.выкл}}$ – время задержки выключения ЛЭ.

Методика определения этих параметров поясняется рис. 4, на котором показаны импульсы на входе и выходе инвертора.

К динамическим параметрам относятся также максимальная рабочая частота $F_{\text{мах}}$, при которой сохраняется работоспособность ЛЭ, и динамическая мощность $P_{\text{дин}}$. Эта мощность обусловлена расходом энергии источника питания на перезарядку паразитных емкостей, пересчитанных к выходу ЛЭ, при его переключениях из 0 в 1 и из 1 в 0. С ростом частоты значение $P_{\text{дин}}$ увеличивается.

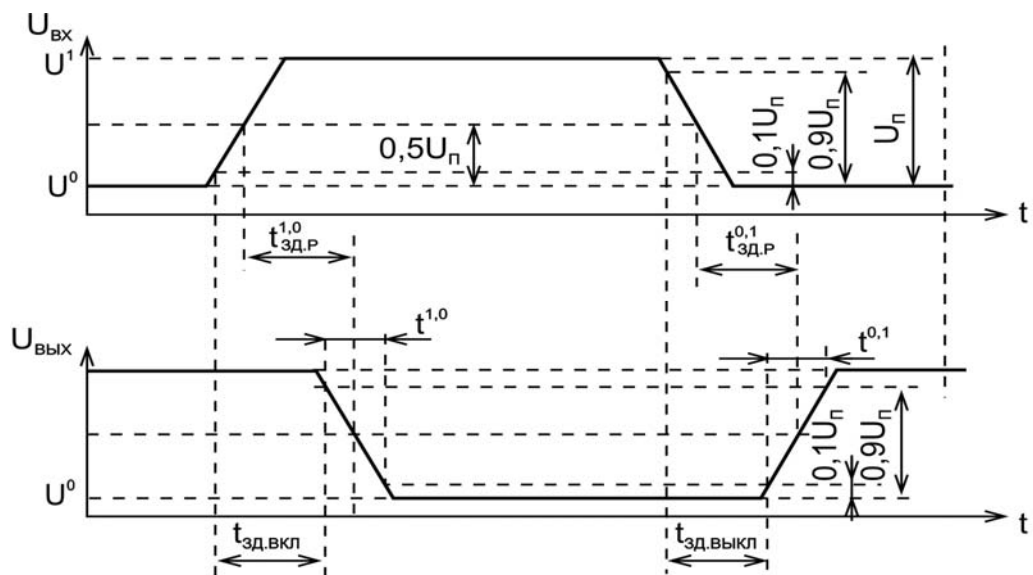


Рис. 2.

Ряд параметров учитывает как статику, так и динамику. Такие параметры называются интегральными. К ним относятся полная потребляемая мощность

$$P_{\text{пот}} = P_{\text{ср}} + P_{\text{дин}}$$

и работа или энергия переключения

$$A_{\text{пер}} = P_{\text{пот}} t_{\text{зд.р.ср.}}$$

При заданной технологии и схемотехнике (т. е. при заданном значении $A_{\text{пер}}$) можно создавать различные серии ИМС, обладающие либо высоким быстродействием (малое $t_{\text{зд.р.ср.}}$) и большой потребляемой мощностью, либо низким быстродействием и малой потребляемой мощностью.

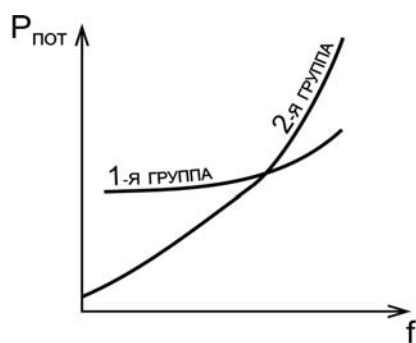


Рис. 3.

Таким образом, увеличение быстродействия ЛЭ при заданной технологии и схемотехнике неизбежно сопровождается увеличением потребляемой мощности.

По соотношению $P_{\text{ср}}$ и $P_{\text{дин}}$ все элементы цифровых интегральных схем (ЦИС) подразделяются на две группы. К первой группе относятся элементы, у которых $P_{\text{ср}} \gg P_{\text{дин}}$. У таких элементов в некотором диапазоне частот наблюдается слабая зависимость $P_{\text{пот}}$ от частоты (рис. 5). Ко второй группе относятся элементы у которых $P_{\text{ср}} \ll P_{\text{дин}}$. Для этих элементов зависимость $P_{\text{пот}}$ от частоты близка к линейной. Элементы второй группы являются более совершенными, так как у них сведен до минимума расход мощности в статическом режиме (например, в режиме хранения информации).

Энергия переключения характеризует уровень развития технологии, схемотехники и качество ИМС. По мере их совершенствования значение параметра $A_{\text{пер}}$ (измеряется в пикоджоулях) уменьшается примерно на 1,5 порядка в десятилетие. Для ЛЭ микросхем малой и средней степени интеграции $A_{\text{пер}} = 1 \dots 10$ пДж, а для ЛЭ в БИС и СБИС $A_{\text{пер}} = 0,01 \dots 1$ пДж.

Помимо статических, динамических и интегральных параметров элементы ЦИС характеризуются также схемотехническими и конструктивными параметрами:

- ♦ коэффициентом разветвления по выходу $K_{\text{раз}}$ – максимальным числом единичных нагрузок, которые можно одновременно подключить к выходу элемента. Под единичной нагрузкой подразумевается один вход базового элемента этой же серии. Чем больше значение $K_{\text{раз}}$, тем меньшее число ЛЭ потребуется для построения сложного цифрового

устройства. Однако с ростом $K_{\text{раз}}$ снижаются помехоустойчивость и быстродействие. Уменьшение помехоустойчивости ЛЭ на биполярных транзисторах происходит из-за увеличения выходных токов при увеличении числа подключённых нагрузок вследствие снижения уровня напряжения U^1 и повышения уровня напряжения U^0 . Снижение быстродействия обусловлено увеличением ёмкости нагрузки. Поэтому в одной серии микросхем малой, средней и большой степени интеграции содержатся ЛЭ, имеющие $K_{\text{раз}} = 4 \dots 25$;

- ◆ коэффициентом объединения по входу $K_{\text{об}}$, равным числу входов ЛЭ. С увеличением значения этого коэффициента расширяются логические возможности элементов, однако при этом ухудшается их быстродействие. Поэтому число входов большинства ЛЭ не превышает $3 \dots 4$, а при необходимости увеличения числа входов применяют специальные ЛЭ – расширители;
- ◆ типом и габаритами корпуса;
- ◆ количеством выводов корпуса;
- ◆ надёжностью, определяемой интенсивностью или частотой отказов

$$\lambda = n/(NT)$$

где: N – общее число элементов, подвергающихся испытанию;

T – время испытаний;

n – число элементов, вышедших из строя за время испытания. Для современных ИМС $\lambda = (10^{-7} \dots 10^{-9}) \cdot \text{ч}^{-1}$.

Все параметры ИМС зависят от температуры. Поэтому указывают диапазон температур $T_{\text{min}} \dots T_{\text{max}}$, в пределах которых отклонения параметров от их номинальных значений не превышают допустимые. Обычно $T = -60 \dots +125^\circ\text{C}$, а для ИМС, предназначенных для работы в менее жестких условиях, $T = -10 \dots +70^\circ\text{C}$.

К технико-экономическим параметрам относятся: стоимость ИМС; процент выхода годных ИМС при изготовлении; степень интеграции; функциональная сложность, характеризующая число условных логических преобразо-

ваний, выполняемых ИМС.