Universidade do Minho - Departamento de Eletrónica Industrial

Sistemas Digitais - Laboratórios

Circuitos Integrados Digitais

Duração máxima: 1 aula.

Os alunos devem **entregar a preparação prévia ao docente no início da 1ª aula de cada trabalho (imediatamente ao entrar na sala)**, com a resolução de todas as questões indicadas a sublinhado no guia. **O atraso na entrega implicará uma penalização na nota.** A mesma resolução deve estar anotada no *logbook*.

Antes de realizar o trabalho, os alunos devem ter estudado os seguintes tópicos:

1) Correntes I_{IL}, I_{IH}, I_{OL} e I_{OH} e tensões V_{IL}, V_{IH}, V_{OL} e V_{OH}.
2) *Fanout* de portas TTL.
3) Margem de ruído.

Durante a realização do trabalho, os alunos devem:

1) Realizar as montagens indicadas no guia.
2) Registar no *logbook* todos os valores calculados e medidos.

Depois de realizar o trabalho na totalidade, os alunos devem:

1) Ter verificado experimentalmente os tópicos propostos.
2) Conhecer o significado de cada parte do nome completo (referência) de um circuito integrado TTL.
3) Saber interpretar as folhas de dados (*datasheets*) com informação do fabricante.
4) Saber dimensionar cargas em circuitos TTL.

Elementos de estudo:

1) Slides de Sistemas Digitais.
2) Bertoldo Schneider Jr., Fábio Kurt Schneider, “Famílias e Tecnologias Digitais”. http://paginapessoal.utfpr.edu.br/fabioks/disciplinas/tecnico-integrado/el04e-eln-digital-1/aulas/Familias-Digitais_Bertoldo_Fabio_Schneider.pdf
3) John F. Wakerly, “Digital Design, Principles and Practices”, Prentice Hall, 2000.

PROCEDIMENTO

Os circuitos integrados TTL são projetados para serem compatíveis entre si, no sentido em que a gama de tensões geradas por uma saída TTL de um CI seja interpretada como sendo o mesmo nível lógico (alto ou baixo) pela entrada de outro CI TTL, sendo a margem de segurança denominada por margem de ruído (ver Figura 1).

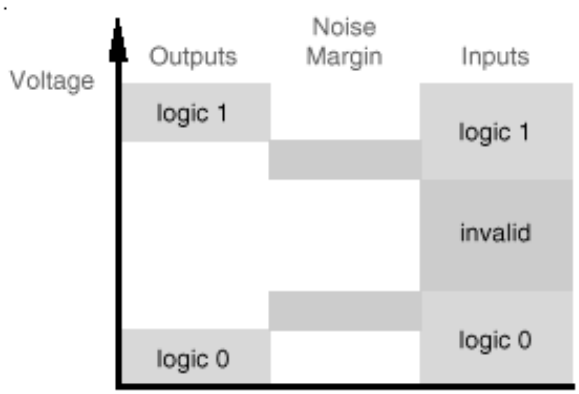

Figura 1 - Gama de tensões geradas (saída) e aceites (entradas) e margem de ruído [3].

Apesar disso, existem diferentes subtipos de circuitos integrados TTL, que utilizam diferentes tecnologias internas (diferentes tipos de circuitos, díodos, transístores, etc.), o que faz com que determinadas características elétricas (como as correntes de entrada e saída, o consumo de energia e a velocidade de comutação) possam variar consoante o subtipo. A Tabela 1 apresenta as características elétricas para a tecnologia LS.

1 - Considere que um dado circuito integrado possui a referência SN74LS00N. Cada uma das 5 partes dessa referência possui um significado relevante. Neste sentido, responda às seguintes perguntas:

a) Qual fabricante usa o prefixo SN? Indique outro prefixo existente e o respetivo fabricante.
b) Qual é a diferença entre as séries 74 e 54 da família TTL?
c) O que significa LS por extenso, em inglês? Indique outros 2 subtipos e o seu significado por extenso.
d) O número seguinte indica a função do CI, sendo que o número 00 corresponde a "Quad 2-Input NAND Gates", em inglês, conforme indicado no seu *datasheet*. Indique a função do CI correspondente aos 2 dígitos menos significativos do número mecanográfico de um dos elementos do seu grupo (conforme o texto do título do respetivo *datasheet*) e desenhe o seu *pinout*.
e) O sufixo da referência indica o tipo de encapsulamento. Quais as características do encapsulamento do tipo N? Que outros tipos de encapsulamento existem?

2 - A Tabela 1 indica os valores de V_{OL}, V_{IL}, V_{OH}, V_{IH}, I_{OL}, I_{IL}, I_{OH} e I_{IH} para circuitos integrados 74LS. Preencha a tabela representada abaixo com esses valores, incluindo os sinais.

	Mínimo	Nominal	Máximo
V_{OL}			
V_{IL}			
...			

Obs.: Como sabe, um sinal negativo indica que o sentido real da corrente é oposto ao sentido arbitrado. **O fabricante arbitrou que as correntes I_I e I_O entram na porta lógica.** Sendo assim, o valor positivo de I_{OL}, por exemplo, indica que a corrente real está de acordo com o valor arbitrado, ou seja, esta corrente entra na porta. Por outro lado, como o valor indicado para I_{OH} é negativo, isso significa que esta corrente flui para fora da porta.

3 - No circuito da Figura 2, considere que a entrada da porta inversora (pode usar qualquer uma do CI 7404, consulte antes o seu *pinout*) é ligada a um interruptor do Digital Lab. Naturalmente, deverá efetuar também as ligações da fonte de +5 V tanto ao Vcc do CI como a um dos terminais na resistência, como mostra a figura, e ligar o GND da fonte ao pino de massa do CI.

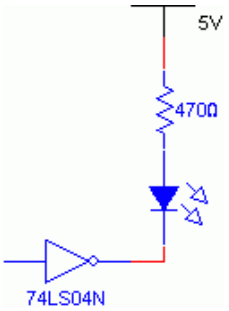

Figura 2 - Circuito apropriado para acender um LED.

Neste circuito, o LED acende com nível lógico "0" na saída da porta NOT (que corresponde ao nível lógico "1" na sua entrada, visto que o circuito está a usar uma porta inversora). Considere que neste caso a tensão sobre o LED (V_{LED}) é 1,6 V. O papel da resistência é fundamental para limitar o valor da corrente, sem ela os componentes seriam danificados.

Vamos determinar a corrente máxima (pior caso, pois queremos determinar se a saída da porta TTL suporta essa corrente) que pode passar no ramo formado pela resistência mais o LED para um dado valor de resistência (470 Ω neste caso). A corrente será máxima para o valor mínimo da tensão de saída (V_{OLmin}), ou seja, 0 V.

A tensão total sobre o ramo é igual à diferença de potencial entre as suas extremidades. Esses valores são conhecidos, assim como a tensão sobre o LED. Sendo assim, fica fácil obter a tensão sobre a resistência e calcular a corrente no ramo (I_{LED}) com base na aplicação da lei de ohm.

a) Apresente os cálculos e indique o valor calculado para a corrente nesse ramo.
b) Indique o valor de I_{OLmax} especificado pelo fabricante para a tecnologia LS, com base na consulta à Tabela 1. O valor calculado na alínea anterior é inferior? O que conclui?
c) Justifique o que aconteceria se substituísse a resistência indicada por outra de 150 Ω.

Obs.: I_{OL} significa corrente (I) de saída (**O - *outupt***) para o **nível lógico "0" (L - *low*) na saída**. Não é para o nível lógico "0" na entrada, e nem poderia ser, pois não faria sentido no caso de uma porta lógica com duas ou mais entradas com níveis lógicos diferentes. Da mesma forma, I_{IL} faz referência ao nível lógico na entrada.

Monte o circuito e meça o valor real da tensão no LED e de V_{OL}. Refaça o cálculo da corrente utilizando estes valores.

Obs.: Nunca ligue o multímetro em modo amperímetro em paralelo com qualquer componente do circuito, pois o amperímetro possui resistência interna muito baixa, pelo que se for ligado em paralelo irá provocar um curto-circuito. Para efetuar a medição corretamente deve abrir a malha do circuito onde deseja medir a corrente e colocar o amperímetro em série.

Meça o valor da corrente que passa no LED com o multímetro em modo amperímetro e compare com o novo valor teórico de corrente calculado (tem que ser igual).

4 - A Figura 3 apresenta um circuito alternativo que **não deve ser montado**.

À semelhança do que fizemos para o circuito anterior, vamos calcular a corrente que passa no ramo formado pela resistência mais o LED, que é igual à corrente de saída fornecida pela porta TTL. Neste caso o LED só poderia acender com nível lógico "1" na saída, que corresponde à corrente I_{OH}.

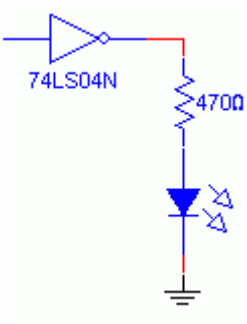

Figura 3 - Circuito que não deve ser utilizado para acender um LED.

O pior caso (corrente máxima drenada) ocorre para V_{OHmax}. Como este valor não é especificado na Tabela 1, vamos utilizar o valor de Vcc (5 V). Sendo assim, podemos concluir que a tensão sobre o ramo formado pela resistência mais o LED é igual à do circuito anterior, pelo que, se assumirmos o mesmo valor de V_{LED}, a corrente tem que ser igual à obtida anteriormente.

a) Apresente os cálculos e indique o valor calculado para a corrente nesse ramo.
b) A corrente drenada pode ser a mesma, mas o valor de I_O não é. O valor calculado na alínea anterior é inferior ao módulo de $\boldsymbol{I_{OHmax}}$? O que conclui quanto à utilização deste circuito?
c) Tendo em consideração que um LED não acende se a corrente for muito baixa, se no circuito da Figura 3 a resistência fosse de 15 kΩ, haveria algum problema com o funcionamento da montagem, tendo em conta o propósito de acender o LED?

5 - Com base na consulta ao *datasheet* do Digital Lab IDL-800, desenhe o circuito implementado internamente para acender um dos seus 8 LEDs através da aplicação de um sinal digital na entrada correspondente.

Como pode constatar, com exceção de alguns componentes adicionais para proteção do circuito, este corresponde exatamente ao circuito apresentado na Figura 2, e não ao circuito da Figura 3, pelos motivos expostos anteriormente.

6 - Responda às questões abaixo sobre *fanout*:

a) **Com base na lei dos nós de Kirchhoff**, determine o número máximo de entradas 74S que podem ser ligadas a uma saída 74ALS no nível lógico alto (N_H), com base nos respetivos valores de I_{IHmax} e I_{OHmax}.

b) Proceda de forma semelhante para calcular o número máximo de entradas para o nível lógico baixo (N_L).

c) Tendo em consideração os valores de N_H e N_L calculados e o facto de os circuitos deverem ser projetados para funcionar sem problemas nos dois níveis lógicos, qual deve ser o número máximo de entradas a ligar, ou seja, o *fanout*?

d) Para o circuito da Figura 2, tendo em consideração a corrente drenada pelo ramo do LED (I_{LED}), determine, com base na lei dos nós de Kirchhoff, quantas entradas 74LS poderiam ser ligadas adicionalmente à saída da porta inversora 74LS sem ultrapassar os limites especificados pelo fabricante.

7 - Responda às seguintes questões sobre margens de ruído:

a) Desenhe a Figura 1, indicando nas posições corretas na figura os valores mínimos e máximos de V_{IH}, V_{IL}, V_{OH} e V_{OL}.

b) Apresente as fórmulas para cálculo da margem de ruído de nível lógico alto e baixo. Seja explícito na designação das variáveis, ou seja, se utilizar o valor mínimo de V_{OH} escreva V_{OHmin}.

c) Com base nos valores fornecidos pelo fabricante (Tabela 1), calcule as margens de ruído dos circuitos integrados 74LS.

d) Se a margem de ruído for ultrapassada, qual é o problema que pode ocorrer?

Tabela 1 - Características elétricas de circuitos integrados TTL.

Absolute Maximum Ratings (Note)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	
DM54LS and 54LS	−55°C to +125°C
DM74LS	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C

Note: *The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.*

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	DM54LS04			DM74LS04			Units
		Min	Nom	Max	Min	Nom	Max	
V_{CC}	Supply Voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V_{IH}	High Level Input Voltage	2			2			V
V_{IL}	Low Level Input Voltage			0.7			0.8	V
I_{OH}	High Level Output Current			−0.4			−0.4	mA
I_{OL}	Low Level Output Current			4			8	mA
T_A	Free Air Operating Temperature	−55		125	0		70	°C

Electrical Characteristics over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ (Note 1)	Max	Units
V_I	Input Clamp Voltage	V_{CC} = Min, I_I = −18 mA				−1.5	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	V_{CC} = Min, I_{OH} = Max, V_{IL} = Max	DM54	2.5	3.4		V
			DM74	2.7	3.4		
V_{OL}	Low Level Output Voltage	V_{CC} = Min, I_{OL} = Max, V_{IH} = Min	DM54		0.25	0.4	V
			DM74		0.35	0.5	
		I_{OL} = 4 mA, V_{CC} = Min	DM74		0.25	0.4	
I_I	Input Current @ Max Input Voltage	V_{CC} = Max, V_I = 7V				0.1	mA
I_{IH}	High Level Input Current	V_{CC} = Max, V_I = 2.7V				20	μA
I_{IL}	Low Level Input Current	V_{CC} = Max, V_I = 0.4V				−0.36	mA
I_{OS}	Short Circuit Output Current	V_{CC} = Max (Note 2)	DM54	−20		−100	mA
			DM74	−20		−100	
I_{CCH}	Supply Current with Outputs High	V_{CC} = Max			1.2	2.4	mA
I_{CCL}	Supply Current with Outputs Low	V_{CC} = Max			3.6	6.6	mA

Switching Characteristics at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C (See Section 1 for Test Waveforms and Output Load)

Symbol	Parameter	R_L = 2 kΩ				Units
		C_L = 15 pF		C_L = 50 pF		
		Min	Max	Min	Max	
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	3	10	4	15	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	3	10	4	15	ns

Note 1: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 2: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

Tabela 2 - Características para diferentes tecnologias de circuitos integrados TTL [3].

Description	Symbol	Family				
		74S	74LS	74AS	74ALS	74F
Maximum propagation delay (ns)		3	9	1.7	4	3
Power consumption per gate (mW)		19	2	8	1.2	4
Speed-power product (pJ)		57	18	13.6	4.8	12
LOW-level input voltage (V)	V_{ILmax}	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
LOW-level output voltage (V)	V_{OLmax}	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
HIGH-level input voltage (V)	V_{IHmin}	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
HIGH-level output voltage (V)	V_{OHmin}	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
LOW-level input current (mA)	I_{ILmax}	–2.0	–0.4	–0.5	–0.2	–0.6
LOW-level output current (mA)	I_{OLmax}	20	8	20	8	20
HIGH-level input current (μA)	I_{IHmax}	50	20	20	20	20
HIGH-level output current (μA)	I_{OHmax}	–1000	–400	–2000	–400	–1000