

INTERLIGANDO PERIFÉRICOS DE 5V EM UM MICROPROCESSADOR DE 3.3V

Prof. Antônio A. F. Quevedo

Nos projetos deste curso, iremos eventualmente usar circuitos integrados para o projeto de periféricos, que terão seus pinos de sinal ligados ao nosso microprocessador. Entretanto, muitas vezes temos disponíveis apenas componentes para operação em 5V, enquanto que o processador opera a 3.3V. Como então podemos garantir que os níveis lógicos de um componente sejam corretamente interpretados pelo outro? Além disso, não há risco de dano a algum componente por excesso de tensão em uma entrada?

Para respondermos a esta questão, temos que definir alguns conceitos, relativos a faixas de tensão para os níveis lógicos nas entradas e nas saídas de cada componente. Acompanhe a figura 1:

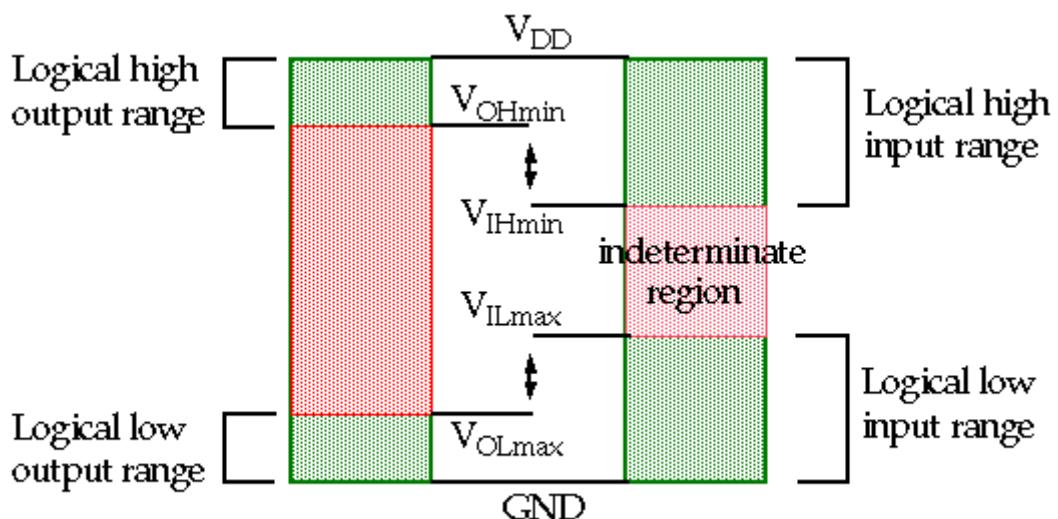


Figura 1: Faixas de tensão para saídas e entradas digitais

Do lado esquerdo, vemos as faixas de tensão para uma saída digital. Há dois valores importantes a serem levados em consideração: $V_{OH\min}$ e $V_{OL\max}$. O primeiro valor se refere ao menor valor de tensão possível em uma saída digital quando está no nível alto, e o segundo valor é o maior valor de tensão possível em uma saída digital quando está no nível baixo. Assim, uma saída no nível alto terá um valor de tensão garantido pelo fabricante entre $V_{OH\min}$ e V_{DD} , e esta mesma saída quando no nível baixo terá um valor de tensão entre GND e $V_{OL\max}$ (faixas verdes na figura).

Do lado direito, vemos as faixas de tensão admissíveis em uma entrada digital. Da mesma forma que na saída, há dois valores importantes: $V_{IH\min}$ e $V_{IL\max}$. O primeiro valor se refere ao menor valor de tensão que a entrada pode interpretar como nível alto, e o segundo valor é o maior valor de tensão que a entrada pode interpretar como nível baixo. Assim, o fabricante garante que uma entrada irá interpretar como nível alto um valor de tensão entre $V_{IH\min}$ e V_{DD} , e irá interpretar como nível baixo um valor de tensão entre GND e $V_{IL\max}$ (faixas verdes na figura). A faixa vermelha é conhecida como **região indeterminada**, pois não há como garantir qual o nível lógico que a entrada irá interpretar quando a tensão nela está entre $V_{IL\max}$ e $V_{IH\min}$.

Os valores das diferenças entre tensões de saída e entrada ($V_{ILmax} - V_{OLmax}$ e $V_{OHmin} - V_{IHmin}$) são conhecidos como **margens de ruído** para os níveis baixo e alto respectivamente. Isto significa que um ruído presente em uma conexão entre uma saída e uma entrada pode ter amplitude máxima igual à margem de ruído que mesmo assim o nível lógico será corretamente interpretado. Note que há dois valores para a margem de ruído: um para cada nível lógico. Normalmente se considera o valor mais baixo.

Componentes da mesma família, alimentados com a mesma tensão, possuem margens de ruído positivas. Mas como vamos garantir a correta interpretação dos níveis lógicos entre componentes com alimentações distintas? Precisamos analisar os valores dos 4 parâmetros, e as faixas de tensões de entrada e saída para cada nível lógico, e ver se os valores possíveis de uma saída caem dentro da faixa aceitável de tensões de entrada. Vamos usar como exemplo o nosso processador (MCF51CN128), alimentado com 3.3V, e o *driver* para RS232 que iremos usar para implementar a interface serial, o MAX232, alimentado com 5V.

A figura 2 mostra uma parte do *datasheet* do MCF51CN128 (tabela 8, página 15).

Num	C	Characteristic	Symbol	Condition	Min	Typ ¹	Max	Unit
1	—	Operating Voltage ²	—	—	1.8 ³	—	3.6	V
2	C	Output high voltage All I/O pins, low-drive strength	V _{OH}	1.8 V, I _{Load} = -2 mA	V _{DD} - 0.5	—	—	V
	P	All I/O pins, high-drive strength		2.7 V, I _{Load} = -10 mA	V _{DD} - 0.5	—	—	
	T			2.3 V, I _{Load} = -6 mA	V _{DD} - 0.5	—	—	
	C			1.8 V, I _{Load} = -3 mA	V _{DD} - 0.5	—	—	
3	D	Output high current Max total I _{OH} for all ports	I _{OH} T	—	—	—	100	mA
4	C	Output low voltage All I/O pins, low-drive strength	V _{OL}	1.8 V, I _{Load} = 2 mA	—	—	0.5	V
	P	All I/O pins, high-drive strength		2.7 V, I _{Load} = 10 mA	—	—	0.5	
	T			2.3 V, I _{Load} = 6 mA	—	—	0.5	
	C			1.8 V, I _{Load} = 3 mA	—	—	0.5	
5	D	Output low current Max total I _{OL} for all ports	I _{OL} T	—	—	—	100	mA
6	P	Input high voltage all digital inputs	V _{IH}	V _{DD} > 2.7 V	0.70 x V _{DD}	—	—	V
	C			V _{DD} > 1.8 V	0.85 x V _{DD}	—	—	
7	P	Input low voltage all digital inputs	V _{IL}	V _{DD} > 2.7 V	—	—	0.35 x V _{DD}	V
	C			V _{DD} > 1.8 V	—	—	0.30 x V _{DD}	

Figura 2: Parte da tabela de características DC do MCF51CN128

Vejamos os valores que nos interessam. Na tabela, há valores distintos de acordo com a tensão de alimentação. Para V_{OH} , podemos notar que em todos os casos o valor mínimo é $V_{DD} - 0.5V$, sendo que o máximo certamente não ultrapassa os 3.3V da alimentação. Assim, o V_{OH} fica na faixa entre 2.8 e 3.3V. Para V_{OL} , em todos os casos temos um máximo de 0.5V, sendo que o mínimo é obviamente 0V. Assim, o V_{OL} fica na faixa entre 0 e 0.5V.

Nas entradas, temos para $V_{DD} > 2.7V$ um V_{IHmin} de 70% da tensão de alimentação e um V_{ILmax} de 35% da tensão de alimentação. Isto nos leva a uma faixa de V_{IH} entre 2.3 e 3.3V, e a uma faixa de V_{IL} entre 0 e 1.15 V.

Agora vejamos como se comporta o MAX232 alimentado com 5V. Na figura 3 temos parte do *datasheet* deste componente (páginas 2 e 3).

TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 3.2\text{mA}$	0.2	0.4	V
	$I_{OUT} = 1.6\text{mA}$ (MAX220)		0.4	
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1.0\text{mA}$	3.5	$V_{CC} - 0.2$	V
Input Logic Threshold Low		1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High	All devices except MAX220 MAX220: $V_{CC} = 5.0\text{V}$	2	1.4	V
		2.4		

Figura 3: Partes da tabela de características DC do MAX232

Note que neste caso os valores para entradas foram tirados da seção do transmissor RS232 (que recebe a entrada em nível lógico padrão), enquanto que os valores para saídas foram tirados da seção do receptor RS232 (que gera um nível lógico correspondente).

Para V_{OH} , o valor mínimo é 3.5V, sendo que o máximo certamente não ultrapassa os 5V da alimentação. Assim, o V_{OH} fica na faixa entre 3.5 e 5V. Para V_{OL} , temos um máximo de 0.4V, sendo que o mínimo é obviamente 0V. Assim, o V_{OL} fica na faixa entre 0 e 0.4V.

Nas entradas, temos um $V_{IH\min}$ de 2V e um $V_{IL\max}$ de 0.8V no pior caso. Isto nos leva a uma faixa de V_{IH} entre 2 e 5V, e a uma faixa de V_{IL} entre 0 e 0.8 V.

Agora podemos fazer a comparação entre faixas de valores e calcular as margens de ruído, que obviamente não podem ser negativas. Ou de outra forma, as 2 inequações abaixo devem ser satisfeitas:

$$(1) V_{OL\max(\text{saída})} \leq V_{IL\max(\text{entrada})}$$

$$(2) V_{OH\min(\text{saída})} \geq V_{IH\min(\text{entrada})}$$

A tabela 1 resume os valores de interesse para nós.

	V_{IL}	V_{IH}	V_{OL}	V_{OH}
MCF51CN128	0 – 1.15V	2.3 – 3.3V	0 – 0.5V	2.8 – 3.3V
MAX232	0 – 0.8V	2 – 5V	0 – 0.4V	3.5 – 5V

Tabela 1: Resumo dos parâmetros

Vamos primeiro considerar uma saída do processador conectada a uma entrada do *driver*. Quando a saída está em nível baixo, seu valor está entre 0 e 0.5V. A entrada do MAX232 aceita como nível baixo valores de tensão até 0.8V. Assim, o maior valor possível de tensão na saída ainda será interpretado como nível lógico baixo na entrada (inequação 1 satisfeita), com uma margem de ruído de 0.3V, o que é razoável para nossas montagens. Para o nível alto, a saída estará entre 2.8 e 3.3V, e a entrada do *driver* aceita como nível alto tensões a partir de 2V. Assim, temos a inequação 2 satisfeita com uma margem de ruído de 0.8V. Concluindo, uma saída do processador pode ser conectada diretamente a uma entrada do *driver* sem problemas de interpretação de níveis lógicos.

Há mais um detalhe importante: de acordo com o *datasheet* do MAX232, a maior corrente que uma entrada pode drenar é de $1\mu\text{A}$, o que é perfeitamente aceitável para as saídas do processador.

Agora vamos considerar o caso inverso: uma saída do *driver* conectada a uma entrada do processador. Quando a saída está em nível baixo, seu valor está entre 0 e 0.4V. A entrada do processador aceita como nível baixo valores de tensão até 1.15V. Assim, o maior valor possível de tensão na saída ainda será interpretado como nível lógico baixo na entrada (inequação 1 satisfeita), com uma margem de ruído de 0.75V. Para o nível alto, a saída estará entre 3.5 e 5V, e a entrada do *driver* aceita como nível alto tensões a partir de 2.3V. Assim, temos a inequação 2 satisfeita com uma margem de ruído de 1.2V. Em resumo, os níveis lógicos gerados no MAX232 serão corretamente interpretados pelo processador.

Quanto à corrente, o limite máximo drenado por uma entrada do processador também é de $1\mu\text{A}$, o que é perfeitamente aceitável para as saídas do *driver*.

Neste caso, entretanto, há um fator a mais a ser considerado. As tensões geradas pela saída do *driver* no nível alto são maiores que a tensão de alimentação do processador. Isto pode danificar o componente por excesso de corrente na entrada. Desta forma, deve-se garantir que nesta situação (nível alto no *driver*) não haja corrente excessiva entre os componentes.

Existem vários métodos que podem ser utilizados para o ajuste do nível alto da saída do componente de 5V, das mais simples às mais complexas. Os componentes digitais atuais permitem uma solução simples para esta questão: a maioria possui diodos de *clamp* em suas entradas, exatamente para sua proteção. O processador que usamos não é exceção, conforme a nota (4) da tabela 8, página 16, do *datasheet*: “All functional non-supply pins are internally clamped to V_{SS} and V_{DD} ”. A exceção fica com o pino de RESET. Os diodos de *clamp* são conectados de acordo com a figura 4:

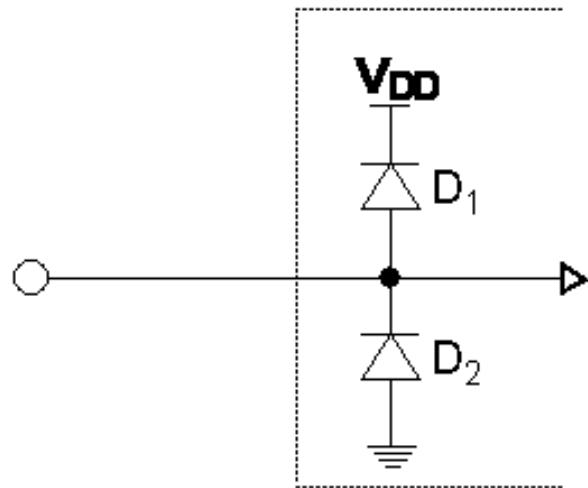


Figura 4: Circuito de proteção da entrada digital do processador.

Enquanto os valores de tensão na entrada estão entre 0 e 3.3V, os diodos não conduzem, e assim não interferem no funcionamento da entrada digital. Quando a tensão de entrada fica acima de 3.3V ou abaixo de 0V, o diodo D1 ou D2 respectivamente irá conduzir, limitando a tensão na entrada a 0.7V acima de V_{DD} ou abaixo de V_{SS} , o que é perfeitamente tolerável pela entrada do processador. Assim, os diodos de entrada protegem-na dos excessos de tensão.

Há apenas um problema: uma saída forçando uma tensão maior na entrada irá produzir uma forte corrente entre os dois componentes. Esta corrente é drenada pelo diodo de *clamp*, que irá se sobrecarregar e possivelmente queimar. Assim, o diodo D1 pode entrar em curto (forçando a entrada ao nível alto permanentemente) ou abrir (acabando com a proteção de entrada). A solução é limitar a corrente que pode circular de um componente para o outro, e isto é feito simplesmente com a colocação de um resistor em série entre a entrada do processador e a saída do *driver*. Um valor de $10\text{k}\Omega$ é adequado para esta conexão.

Concluindo, uma saída do *driver* pode ser conectada a uma entrada do processador sem problemas de interpretação de níveis lógicos. Entretanto, para evitar danos ao processador, suas entradas devem possuir diodos de *clamp*, e deve-se colocar um resistor de $10\text{k}\Omega$ entre os componentes.

Informações detalhadas sobre outras formas de interfacear dispositivos de 3.3V e 5V podem ser encontradas em: http://www.sparkfun.com/commerce/tutorial_info.php?Tutorial_id=65