

Microprocessadores e Aplicações

Acetatos de apoio às aulas teóricas

Ana Cristina Lopes
Dep. Engenharia Electrotécnica
<http://orion.ipt.pt> anacris@ipt.pt

Porta Série

● Porta Série

- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

1. Porta Série;

- (a) Introdução;
- (b) Registos Envolvidos;
- (c) Modos de Operação;
- (d) Cuidados a ter com a porta série;
- (e) Comunicação entre vários 8051;
- (f) Comunicação entre o 8051 e o PC;

Porta Série

- Porta Série
- **Introdução**
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

- A porta série existente na família MCS-51 é *full-duplex*, ou seja pode receber e transmitir dados simultaneamente;
- Esta porta caracteriza-se ainda por possuir um buffer que permite a recepção de um segundo byte antes que o byte previamente recebido tenha sido retirado (ou lido) do registo de recepção;
- Porém, se a leitura do primeiro byte não estiver terminada antes da recepção do segundo byte estar completa, um dos dois bytes será perdido.

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- **Registos Envolvidos**
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

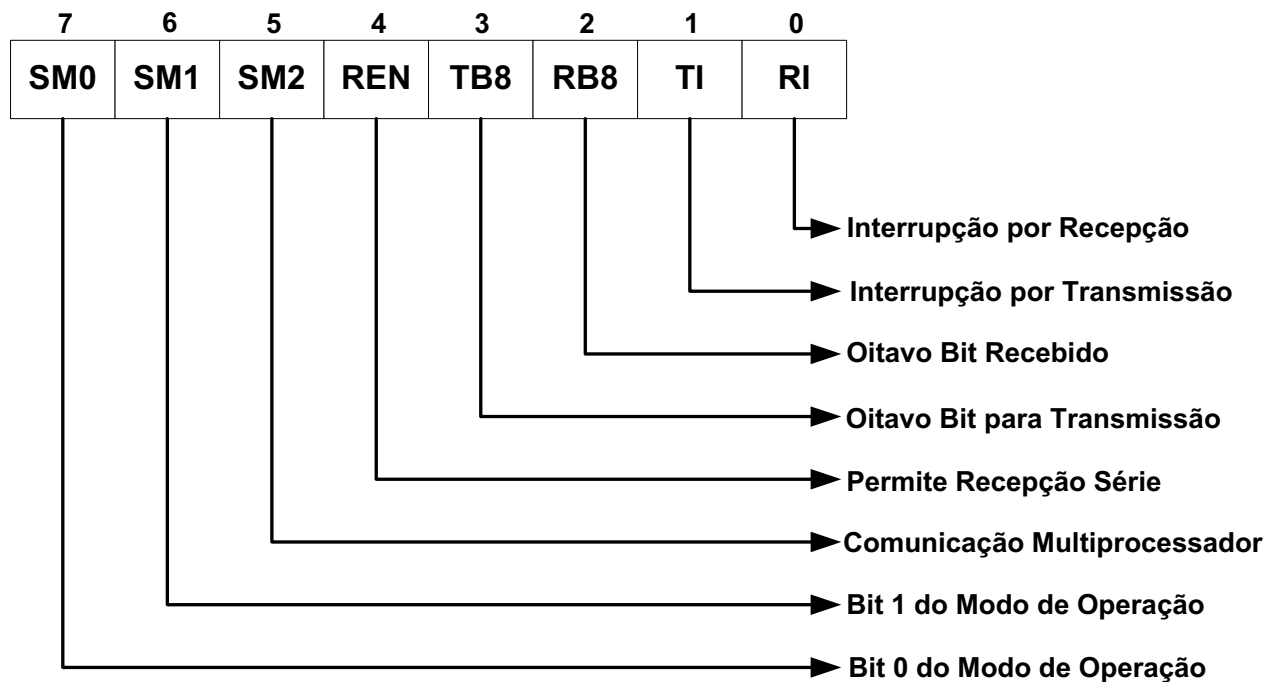
A porta série integra três registos essenciais:

- **SBUF:** Registo utilizado para enviar e receber dados pela porta série; Na realidade, este nome refere-se a dois registos:
 - ◆ Um de leitura, utilizado para receber os dados; e
 - ◆ Um de escrita, utilizado para enviar os dados;
- **SCON:** Registo responsável por controlar o modo de operação da porta série; e
- **PCON:** Toma parte no estabelecimento da baud rate da porta série.

- Porta Série
- Porta Série
 - Introdução
 - **Registos Envolvidos**
 - Modos de Operação
 - Cuidados - Porta Série
 - Comunicação entre 8051
 - Comunicação PC-8051

A Figura seguinte ilustra o conteúdo do registo SCON:

SCON – Controlo do Modo de Operação da Porta Série



Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- **Registos Envolvidos**
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

A Tabela seguinte mostra como são activos os diversos modos de operação da porta série:

SM0	SM1	Modo	Descrição	Frequência
0	0	0	Registo de Deslocamento	relógio/12
0	1	1	UART de 8 bits	variável
1	0	2	UART de 9 bits	relógio/12 ou relógio/64
1	1	3	UART de 9 bits	variável

UART - Universal Asynchronous Receiver Transmitter

Porta Série

● Porta Série

● Introdução

● **Registos Envolvidos**

● Modos de Operação

● Cuidados - Porta Série

● Comunicação entre 8051

● Comunicação PC-8051

De seguida apresenta-se a descrição dos restantes bits que integram o registo SCON:

- **SM2:** Comunicação Multiprocessador - este tipo de comunicação fica activa quando $SM2 = 1$, funcionando da seguinte forma:
 - ◆ $SM2 = 1$ e em Modo de Operação 1 → Interrupção ($RI = 1$) se o stop bit (bit de paragem) for igual a 1;
 - ◆ $SM2 = 1$ e em Modo de Operação 2 ou 3 → Interrupção ($RI = 1$) se for recebido $RB8 = 1$;

- **REN:** Permite a recepção série (*Reception Enable*);

- **TB8:** Oitavo bit a ser transmitido nos modos 2 e 3;

- **RB8:** Oitavo bit a ser recebido nos modos 2 e 3;

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

De seguida apresenta-se a descrição dos restantes bits que integram o registo SCON:

- **TI:** Flag de interrupção respeitante à finalização da transmissão pela porta série:
 - ◆ Modo 0: Activada no final da transmissão do oitavo bit;
 - ◆ Restantes Modos: Activada no início da transmissão do stop bit;

- **RI:** Flag de interrupção respeitante à finalização da recepção pela porta série:
 - ◆ Modo 0: Activada no final da recepção do oitavo bit;
 - ◆ Restantes Modos: Activada a meio da recepção do stop bit;

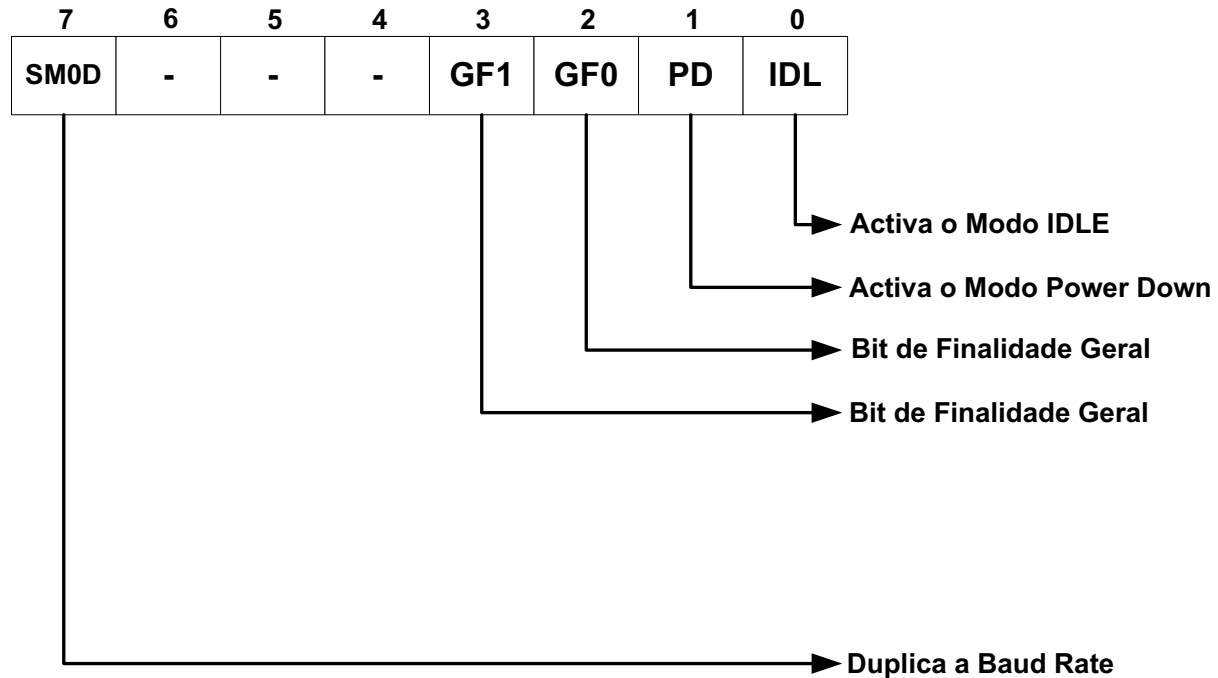
Nota Importante: As flags de transmissão e recepção não são apagadas por hardware e por isso, tal deve ser feito dentro da rotina de interrupção. Estas flags devem ser colocadas a zero por software.

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

A Figura seguinte ilustra o conteúdo do registo PCON:

PCON – Estabelecimento da Baud Rate da Porta Série e Outras Funções



Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

Existem quatro modos de operação da porta série. Cada modo possui uma finalidade distinta:

- Modo 0 - Síncrono de 8 bits com Baud Rate Fixa;
- Modo 1 - Assíncrono de 8 bits com Baud Rate Variável;
- Modo 2 - Assíncrono de 9 bits com Baud Rate Fixa;
- Modo 3 - Assíncrono de 9 bits com Baud Rate Variável;

Modo 0 - Síncrono 8 bits BR Fixa

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

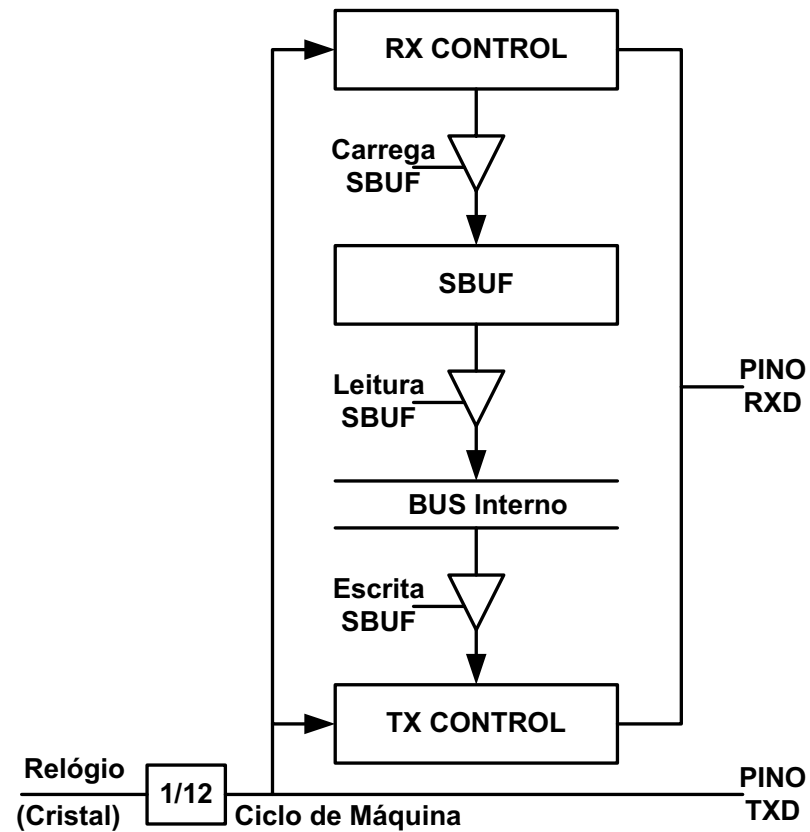
- No Modo 0 os dados entram e saem pelo pino RXD;
- O pino TXD fornece o sinal de relógio para o deslocamento;
- São recebidos transmitidos dados de 8 bits (primeiro recebe-se o bit menos significativo);
- A Baud Rate é 1/12 da frequência de relógio (igual a 1 ciclo de máquina);

Modo 0 - Síncrono 8 bits BR Fixa

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

A Figura seguinte ilustra o esquema da porta série em Modo 0:



Modo 1 - Assíncrono 8 bits BR Variável

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

- O Modo 1 funciona com 10 bits;
- A Baud Rate é programável;
- A recepção é feita pelo pino RXD e a transmissão pelo pino TXD;
- A Figura seguinte ilustra o frame de bits gerado pela porta série em Modo 1;
- O bit de partida (start bit) é sempre 0 e o bit de paragem (stop bit) é sempre 1 na transmissão;
- Na recepção o stop bit é colocado em RB8:

Frame de bits gerado pela porta série em Modo 1

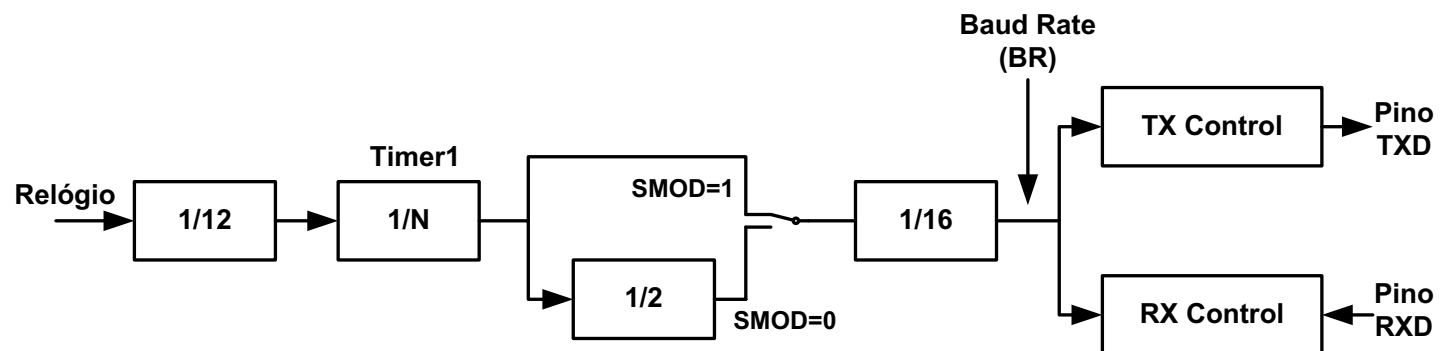
Start	Bit 0	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7	Stop
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	-------------

Modo 1 - Assíncrono 8 bits BR Variável

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

- No Modo 1 a Baud Rate é gerada pelo Timer1;
- A cada 16 (SMOD = 1) ou 32 (SMOD = 0) overflows é enviado um pulso para o circuito série;
- A recepção é feita pelo pino RXD e a transmissão pelo pino TXD;
- A Figura seguinte ilustra o esquema gerador da Baud Rate;
- A transferência do dado recebido para o registo SBUF (e RB8, que guarda o stop bit), assim como a activação do flag RI só acontecerá se: RI = 0 e (SM2= 0 ou stop bit = 1).



Modo 1 - Assíncrono 8 bits BR Variável

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

- Usando o Timer 1 é possível obter qualquer Baud Rate;
- Regra geral existe um BR pretendida, devendo calcular-se N (valor a ser colocado no Timer1) de acordo com a fórmula apresentada na equação seguinte;
- Devido à aproximação do valor a ser programado no Timer 1, este método não é 100% rigoroso

$$(1) \quad BR = \frac{\textit{Relogio}}{12 \times N \times (1 + \overline{SMOD}) \times 16} = \frac{\textit{Relogio}}{192 \times N \times (1 + \overline{SMOD})}$$

Modo 1 - Assíncrono 8 bits BR Variável

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

PROBLEMA: Considerando um cristal de 3,575611 MHz, que valor que deve ser programado no Timer1, por forma a obter-se uma Baud Rate de 9600 bauds? Note que deve utilizar o SMOD = 0.

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

SOLUÇÃO:

- $N = 3575611 / (384 * 9600) = 0,9699$ (aproximadamente 1);
- Utilizando o Timer1 no Modo 2, tem-se:
 - ◆ $256 - 1 = 255$ (o registo de 8 bits é programado com 255 para que haja overflow após a contagem de 1);
 - ◆ O TL1 é programado com 255 e a recarga - TH1 é também programado com esse valor.

Modo 2 - Assíncrono 9 bits BR Fixa

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

- O Modo 2 funciona com 11 bits;
- A Baud Rate pode ser 1/32 ou 1/64 do período de relógio;
- O bit TB8/RB8 serve para transmitir a paridade ou gerar um segundo bit de stop (TB8 = 1);
- A Figura seguinte ilustra o frame de bits gerado pela porta série em Modo 2;
- Na transmissão o bit 8 é copiado do bit TB8 do registo SCON;
- Na recepção o bit 8 é copiado para o bit RB8 do registo SCON;
- O dado recebido só é carregado para SBUF (e RB8) se: RI=0 e (SM2=0 ou bit 9 (stop bit) = 1).

Frame de bits gerado pela porta série em Modo 2

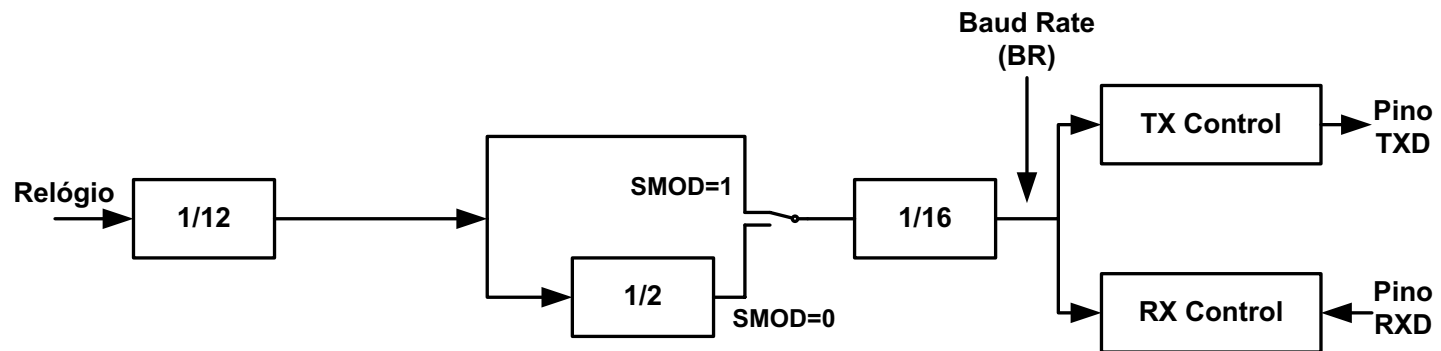
Start	Bit 0	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7	TB8/ RB8	Stop
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------	------

Modo 2 - Assíncrono 9 bits BR Fixa

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

- No Modo 2, o único controlo que se tem sobre o Baud Rate é através da utilização do bit SMOD;
- Se $SMOD = 0 \rightarrow BR = \text{Relógio} / 32$;
- Se $SMOD = 1 \rightarrow BR = \text{Relógio} / 64$;
- A Figura seguinte ilustra o esquema gerador da Baud Rate;



Modo 3 - Assíncrono 9 bits BR Variável

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

- O Modo 3 funciona com 11 bits - idêntico ao Modo 2;
- A Baud Rate é variável - idêntico ao Modo 1;
- A Figura seguinte ilustra o frame de bits gerado pela porta série em Modo 3;

Frame de bits gerado pela porta série em Modo 3

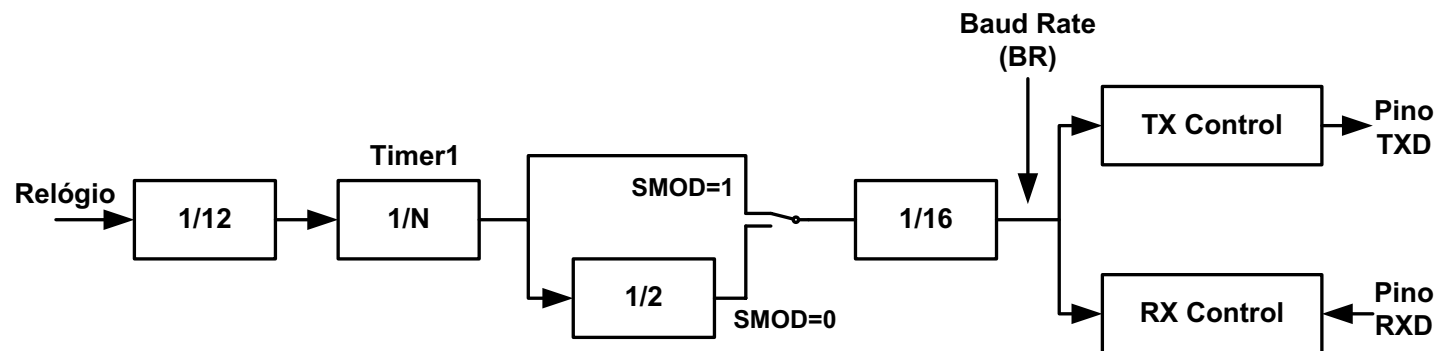
Start	Bit 0	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7	TB8/ RB8	Stop
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	---------------------	-------------

Modo 3 - Assíncrono 9 bits BR Variável

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

- A Baud Rate é gerada como no Modo 1;
- A Figura seguinte ilustra o esquema gerador da Baud Rate;



Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

- Para qualquer um dos Modos de Operação, a transmissão inicia-se quando é escrito um byte em SBUF;
- A recepção é permitida quando $REN = 1$ (no Modo 0 exige-se também que $RI = 0$);
- Só existe uma interrupção dedicada à porta série, a qual é gerada por dois eventos distintos: finalização da transmissão de 1 byte (flag $TI = 1$) e finalização da recepção de um byte (flag $RI = 1$);
- Para saber se a interrupção foi gerada por uma transmissão ou por uma recepção é necessário testar as flags TI e RI ;
- As flags RI e TI devem ser apagadas por software.

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

Deve existir bastante cuidado com a geração da Baud Rate. Diversas vezes não se consegue a comunicação série devido à imprecisão da Baud Rate. Veja-se o exemplo seguinte:

Considerando um cristal de 4 MHz, pretende-se programar o timer1 de modo a sejam gerados 9600 bauds para a porta série a operar em Modo 3.

Aplicando a fórmula da Equação (1) obtém-se que $N = 4000000 / (384 * 9600) = 1,085$ (SMOD=0). Uma vez que apenas se podem programar números inteiros existe a necessidade de aproximar N para 1.

Porém, devido a esta aproximação, a Baud Rate gerada deixou de ser 9600 bauds e passou a ser $BR = 4000000 / 384 = 10416,7$ bauds.

Será que este valor de BR irá afectar a comunicação?

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

Para responder a esta pergunta é necessário perceber o que acontece na transmissão série:

1. A transmissão é assíncrona, ou seja, pode ocorrer em qualquer instante;
2. O início é caracterizado pela presença de um bit de partida (Start);
3. Uma vez iniciada a transmissão, é necessário garantir a duração da transmissão de cada bit;
4. Para cada byte são transmitidos: um bit de partida (Start), um ou dois bits de paragem (Stop) e os bits de dados;
5. Importa garantir, tal como ilustra a Figura seguinte, que não ocorre um erro muito grande na transmissão desta frame de bits.

Cuidados a ter com a geração da BR

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

A Figura seguinte mostra os erros provocados pela imprecisão na Baud Rate. A Figura ilustra o exemplo da transmissão em Modo 3 descrito anteriormente.

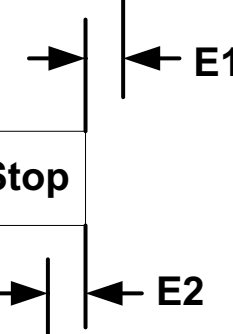
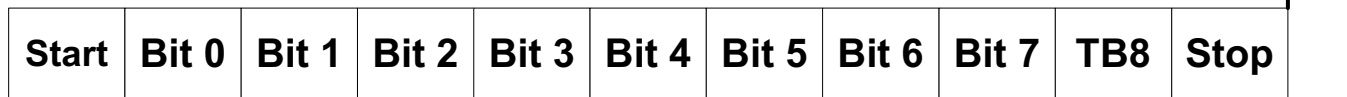
Baud Rate Menor



Baud Rate Pretendida



Baud Rate Maior



Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

De acordo com a Figura anterior a fase mais crítica situa-se na transmissão do último bit, caso ocorra um grande desfasamento (E1 ou E2) entre a BR pretendida e a realmente obtida.

É difícil estabelecer um valor limite para esses erros, uma vez que para cada caso existem diversos factores particulares que precisam de ser considerados.

No entanto, apresenta-se um valor prático, que funciona na maioria dos casos. Para tal arbitra-se que o valor do erro para o último bit deve ser menor que 40% da duração da transmissão de um bit (usando BR exacto). Esta situação é descrita pela Equação seguinte.

$$(2) \quad \left| \frac{11}{BR_p} - \frac{11}{BR} \right| \leq \frac{40}{100} \times \frac{1}{BR_p} \Leftrightarrow \left| \frac{1}{BR_p} - \frac{1}{BR} \right| \leq \frac{1}{27,5 \times BR}$$

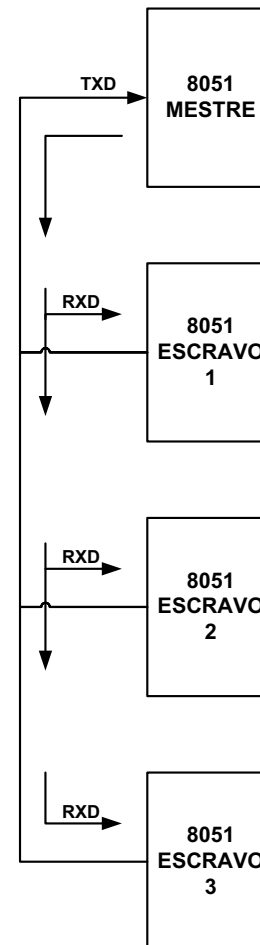
Logo, para um cristal de 4 MHz não consigo transmitir a 9600 bauds porque o erro é muito grande, ou seja: $8,167\mu s \leq 3,788\mu s \rightarrow$ FALSO.

Comunicação entre vários 8051

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- **Comunicação entre 8051**
- Comunicação PC-8051

A Figura seguinte ilustra o esquema de comunicação entre vários 8051.



Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

- Os modos 2 e 3 permitem interligar vários 8051, sendo um o mestre e os restantes escravos.
- Nestes modos existe:
 - ◆ 1 start bit;
 - ◆ 8 bits de dados;
 - ◆ 1 nono bit: que é copiado para o bit RB8 na recepção e é copiado do bit TB8 na transmissão (podendo ser 0 ou 1); e
 - ◆ 1 stop bit;
- Se $SM2 = 1$ e $RB8 = 1$, a interrupção da porta série é atendida.

De seguida apresenta-se o algoritmo de comunicação.

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- **Comunicação entre 8051**
- Comunicação PC-8051

Algoritmo de Comunicação:

1. Inicialmente todos os escravos têm $SM2 = 1$;
2. Quando o mestre pretender enviar dados para um escravo:
 - (a) Escrever 1 no seu bit TB8;
 - (b) Enviar pela porta série o endereço do escravo desejado;
 - (c) Como todos os bits RB8 estarão a 1, todos os escravos serão interrompidos para verificar se é seu o endereço enviado;
3. O escravo seleccionado coloca o seu bit SM2 a zero, ficando preparado para receber os novos dados, os quais terão agora o nono bit (RB8) a zero;
4. Os restantes escravos continuarão com $SM2 = 1$, não sendo mais interrompidos, dado que os dados enviados pelo mestre têm o nono bit a zero;

Resumo: O mestre envia endereços com o nono bit a 1 e dados com o nono bit a zero; sempre que o mestre quiser comunicar com outro escravo basta enviar um novo endereço com o nono bit a 1.

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051

● Comunicação PC-8051

Devido à diferença de tensão entre os níveis TTL e os usados no padrão RS-232C (PC), é necessário usar circuitos conversores para realizar o interface entre o microcontrolador e a porta série do PC.

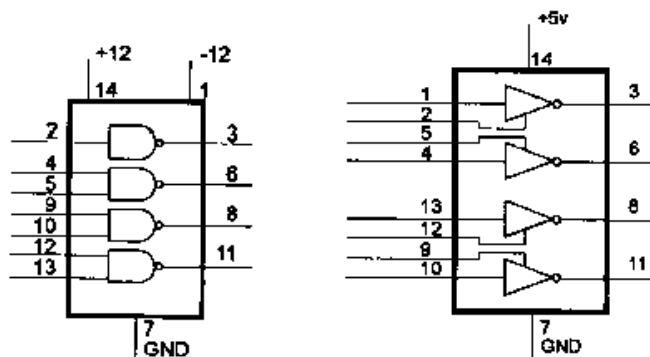
A conversão pode ser feita através de circuitos discretos ou através de circuitos integrados como o 1488 (conversor de TTL para RS-232C) e o 1489 (conversor de RS-232C para TTL). A seguir encontram-se os esquemas de ligação entre o 8051 e a porta série.

Comunicação entre o PC e o 8051

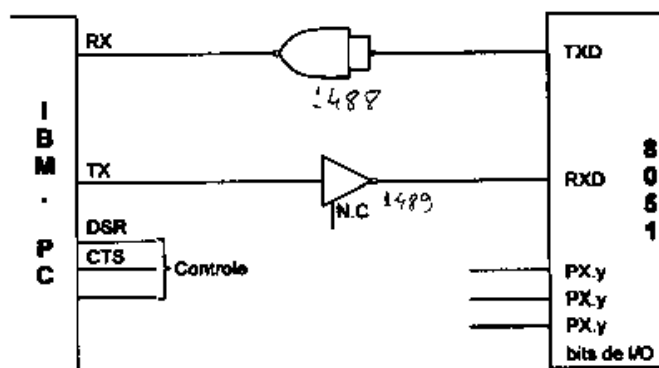
Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

A Figura seguinte ilustra um possível esquema básico de ligação entre o PC e o 8051.



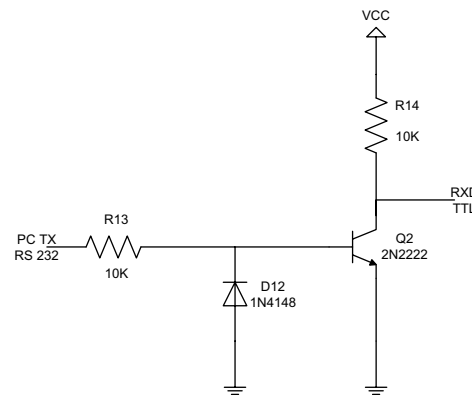
ICs 1488 (esquerda) e 1489 (direita)



Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

A Figura seguinte mostra o circuito conversor de RS 232 para TTL.



O funcionamento do circuito é simples: se a entrada PC-TX está a $+12V$, o transistor satura e a saída RXD fica a zero;

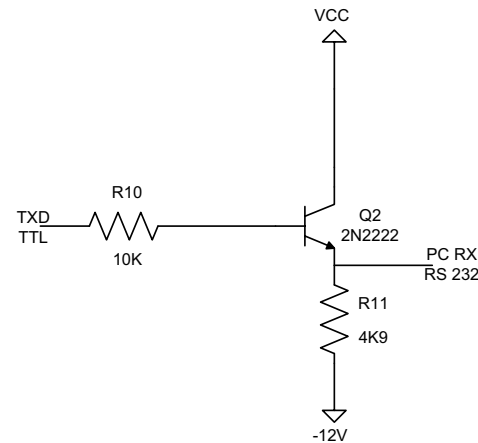
Por outro lado, se a entrada PC-TX está a $-12V$, o transistor estará ao corte e, devido à resistência de pull up (R14), a saída fica igual a VCC. Note-se que a porta série do PC interpreta como tensão positiva, qualquer tensão entre 3 e 12 V e como tensão negativa entre -12 e -3 V.

O diodo D12 aumenta a velocidade de transistor quando este faz a transição da saturação para o corte.

Porta Série

- Porta Série
- Introdução
- Registos Envolvidos
- Modos de Operação
- Cuidados - Porta Série
- Comunicação entre 8051
- Comunicação PC-8051

A Figura seguinte mostra o circuito conversor de RS 232 para TTL.



O funcionamento do circuito é simples: Quando o sinal TXD do 8051 está a 1, o transistor estará ao corte e a saída PC-RX fica a -12 V;
 Quando o sinal TXD está a zero, o transistor satura e a saída PC-RX fica +5 V.
 O problema deste circuito prende-se apenas com a fonte de tensão a -12 V.