

Microprocessadores e Aplicações

Acetatos de apoio às aulas teóricas

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

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

Funções em C

1. Introdução;
2. Registos de Controlo;
3. Gerador da Baud Rate;
4. Modo Assíncrono;
 - (a) Transmissão;
 - (b) Recepção;
 - (c) Modo 9 bits com detecção de endereço;
5. Modo Síncrono Mestre:
 - (a) Transmissão;
 - (b) Recepção;
6. Modo Síncrono Escravo:
 - (a) Transmissão;
 - (b) Recepção;

● Módulo USART

Introdução

● Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

Funções em C

O módulo USART - *Universal Synchronous Asynchronous Transmitter Receiver* é um dos três módulos de interface série integrados nos periféricos do microcontrolador PIC18F458.

O módulo USART é também conhecido como o módulo de interface série (SCI - *Serial Communication Interface*).

Configuração como sistema full-duplex assíncrono para comunicar com um PC, por exemplo.

Configuração como um sistema half-duplex, para comunicação com outros dispositivos, tais como: conversores A/D e D/A, EEPROM série, etc.

O módulo USART pode operar em um de três modos distintos:

- Modo Assíncrono - *Full Duplex*;
- Modo Síncrono Mestre - *Half Duplex*;
- Modo Síncrono Escravo - *Half Duplex*;

● Módulo USART

Introdução

Registos

● Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

Funções em C

O módulo USART tem dois registos associados:

- Registo de estado e controlo da transmissão- *Status Register* (TXSTA);
- Registo de estado e controlo da recepção (RCSTA);

Na configuração do módulo USART, os bits SPEN (registo RCSTA) e o TRISC<7> têm de ser colocados a 1 (o pino 7 do porto C é a entrada da porta série - RC7/RX/DT).

O bit TRISC<6> tem de ser colocado a zero dado que corresponde ao pino de transmissão de dados da porta série (RC6/TX/CK and).

● Módulo USART

Introdução

Registos

● Registos

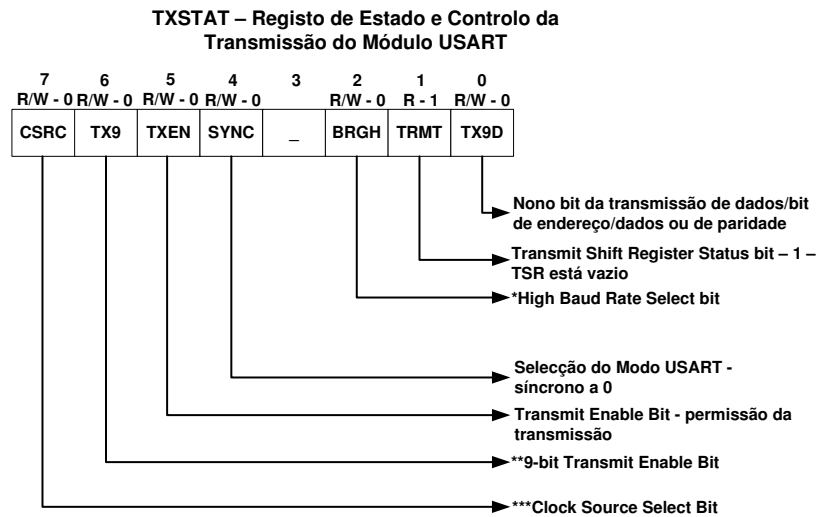
Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

Funções em C

A Figura seguinte mostra os conteúdos do registo de estado e controlo da transmissão- TXSTA.



*BRGH:

Modo Assíncrono:

- 1 - High speed (Velocidade elevada);
- 0 - Low speed (Velocidade baixa).

Modo Síncrono:

Não é utilizado.

- 1 - Recepção completa e SSPBUF está cheio;
- 0 - Recepção em progresso e SSPBUF está vazio.

** TX9 (Permissão de transmissão a 9 bits):

- 1 - transmissão a 9 bits;
- 0 - transmissão a 8 bits.

*** CSRC:

Modo Assíncrono:

Indiferente:

Modo Síncrono:

- 1 - Modo Mestre (relógio gerado internamente a partir do BRG (Baud Rate Generator));
- 0 - Modo Escravo (relógio a partir de uma fonte externa).

● Módulo USART

Introdução

Registos

● Registos

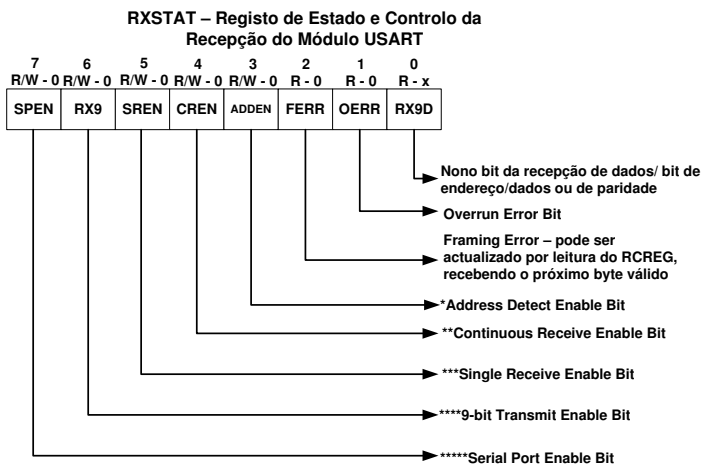
Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

Funções em C

A Figura seguinte mostra os conteúdos do registo de estado e controlo da recepção- RXSTA.



- *ADDEN (Modo assíncrono a 9 bits, RX9=1):
 - 1 – Permite a detecção de endereço, permite a interrupção e carga do buffer de recepção quando RSR<8> está activo;
 - 0 – Desactiva a detecção de endereço, todos os bytes são recebidos e o nono bit é o bit de paridade.
- **CREN:
 - Modo Assíncrono:
 - 1 – Permite recepção contínua;
 - 0 – Desactiva recepção contínua.
 - Modo Síncrono:
 - 1 – Permite recepção contínua até CREN ser limpo (este bit ignora o SREN);
 - 0 – Desactiva recepção contínua.
- ***SREN:
 - Modo Assíncrono:
 - Não é utilizado
 - Modo Síncrono:
 - 1 – Permite recepção única;
 - 0 – Desactiva recepção única (este bit é limpo após a recepção).
- **** RX9 (Permissão de recepção a 9 bits):
 - 1 – transmissão a 9 bits;
 - 0 – transmissão a 8 bits.
- ***** SPEN:
 - 1 - configura RX/DT e TX/CK como pinos da porta série;
 - 0 - Desactiva porta série

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

● Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

Funções em C

O BRG (*Baud Rate Generator*) é um gerador de Baud Rate de 8 bits dedicado que suporta quer o modo assíncrono, quer o modo síncrono do módulo USART.

O registo SPBRG controla o período de um temporizador de 8 bits.

No modo assíncrono o bit BRGH (registo TXSTA) também controla a Baud rate, no modo síncrono este bit é ignorado.

De seguida mostra-se a fórmula para calcular o erro na baud rate para os diferentes modos de operação (este caso é referente ao modo assíncrono).
Baud Rate Desejada (BRD):

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

● Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

Funções em C

$$(1) \quad BRD = FOOSC \div (64(X + 1))$$

Cálculo de X:

$$(2) \quad X = ((FOOSC \div BRD) \div 64) - 1$$

$$X = ((16000000 \div 9600) \div 64) - 1 = [25.042] = 25$$

Baud Rate Calculada (BRC):

$$(3) \quad BRC = 16000000 \div (64 \cdot (25 + 1)) = 9615$$

Erro:

$$(4) \quad ERRO = (BRC - BRD) \div (BRD) = 0.16\%$$

A tabela seguinte mostra a fórmula da baud rate para os diferentes modos de operação e de acordo com o valor do bit BRGH:

Modo	BRGH = 0 (Velocidade baixa)	BRGH=1 (Velocidade Alta)
Assíncrono	$BRD = FOSC \div (64(X + 1))$	$BRD = FOSC \div (16(X + 1))$
Síncrono	$BRD = FOSC \div (4(X + 1))$	Não Aplicável

Tabelas para cálculo da Baud Rate:

Folha de especificações do PIC18F458:

- Tabela 18-3 - Baud Rates para modo síncrono;
- Tabela 18-4 - Baud Rates para modo assíncrono com bit BRGH=0;
- Tabela 18-5 - Baud Rates para modo assíncrono com bit BRGH=1;

- Módulo USART

- Introdução

- Registos

- Baud Rate

- Modo Assíncrono

- Transmissão

- Recepção

- Modo Síncrono

- Funções em C

No modo assíncrono, o módulo USART utiliza o formato NRZ (*Non-Returnto-Zero*) normalizado:

- Um start bit;
- Oito (mais comum) ou nove bits de dados;
- Um stop bit.

O módulo USART integra um gerador de baud rate capaz de produzir estas taxas a partir da frequência do oscilador.

O bit menos significativo é o primeiro a ser transmitido e recebido. Note-se que a transmissão e recepção são formalmente independentes mas partilham o mesmo formato e baud rate.

O hardware não suporta paridade, mas esta pode ser implementada por software e armazenada no nono bit de dados. O modo assíncrono é seleccionado colocando a zero o bit SYNC do registo TXSTA.

O módulo USART assíncrono é composto pelos seguintes elementos: gerador da baud rate, circuito de amostragem, transmissão e recepção assíncronas.

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

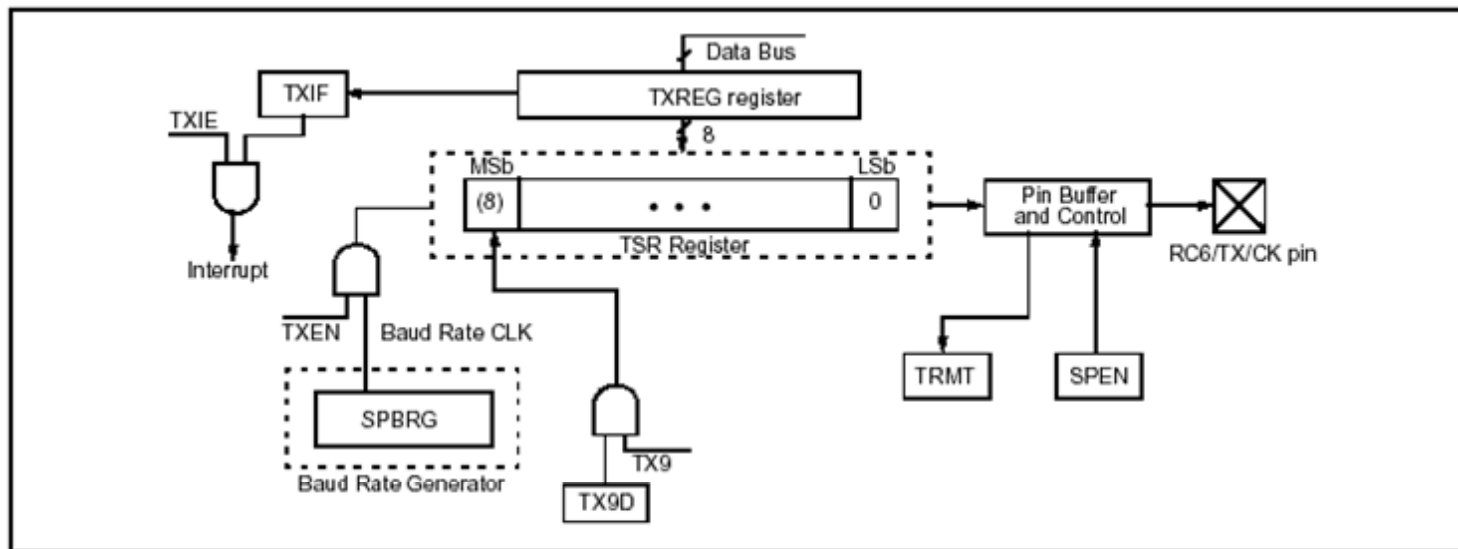
● Transmissão

● Recepção

Modo Síncrono

Funções em C

A Figura seguinte mostra o diagrama de blocos referente à transmissão.



O elemento central do diagrama de blocos é o registo TRS (*Transmit Serial Register*).

O registo TSR obtém os seus dados a partir do buffer de transmissão (TXREG) sendo este último carregado por software.

O registo TSR não é carregado enquanto o stop bit da carga antecedente não for transmitido.

- Módulo USART

- Introdução

- Registos

- Baud Rate

- Modo Assíncrono

- Transmissão

- Recepção

- Modo Síncrono

- Funções em C

Assim que o stop bit é transmitido, o TSR é carregado com novos dados do TXREG, caso estes estejam disponíveis.

Assim que os dados do registo TXREG são transferidos para o TSR, O TXREG é limpo e a flag da interrupção de transmissão TXIF é colocada a 1 (registo PIR1).

Esta interrupção pode ser permitida, colocando o bit TXIE (registo PIE1) a um.

Note-se que a flag é colocada a um que haja ou não permissão da interrupção. Esta flag não pode ser apagada por software. Esta será apagada assim que novos dados sejam carregados para o registo TXREG.

O bit TRMT (registo TXSTA) mostra o estado do registo TSR. Este bit é colocado a zero assim que o registo TSR é limpo. Não existe nenhuma rotina de interrupção associada a este bit. O registo TRS não se encontra mapeado na memória e devido a isso não se encontra disponível para o utilizador.

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

● Transmissão

● Recepção

Modo Síncrono

Funções em C

Passos de configuração da transmissão assíncrona:

1. Inicializar o registo SPBRG com a baud rate apropriada. Caso se pretenda baud-rate rápida, colocar a 1 o bit BRGH;
2. Activar a porta série assíncrona, colocando o bit SYNC a 0 e o bit SPEN a 1;
3. Colocar o bit TXIE a 1, caso se pretenda utilizar a interrupção de transmissão.
4. Caso se pretenda uma transmissão de 9 bits de dados, colocar o bit TX9 a 1;
5. Permitir a transmissão colocando a 1 o bit TXEN;
6. Se a transmissão de 9 bits estiver activa, o nono bit deve ser carregado para o bit TX9D;
7. Carrgar os dados para o registo TXREG, o que automaticamente inicia a transmissão.

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

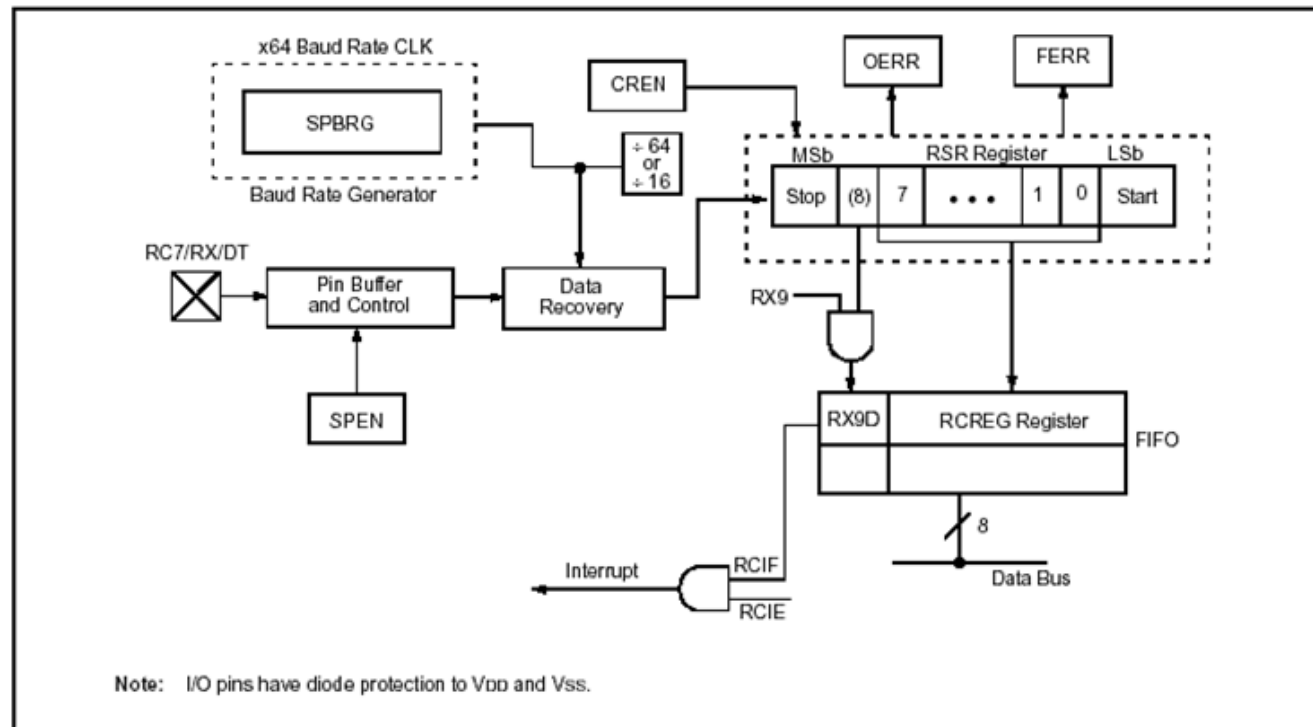
● Transmissão

● **Recepção**

Modo Síncrono

Funções em C

A Figura seguinte mostra o diagrama de blocos referente à recepção.



Os dados são recebidos através do pino RC7/RX/DT e conduzidos para o bloco de recuperação de dados, que consiste num registo de deslocamento rápido, que opera a uma $16\times$ a velocidade da baud rate. Este modo é tipicamente utilizado em sistemas RS-232.

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

● Transmissão

● Recepção

Modo Síncrono

Funções em C

Passos de configuração da recepção assíncrona:

1. Inicializar o registo SPBRG com a baud rate apropriada. Caso se pretenda baud-rate rápida, colocar a 1 o bit BRGH;
2. Activar a porta série assíncrona, colocando o bit SYNC a 0 e o bit SPEN a 1;
3. Colocar o bit RCIE a 1, caso se pretenda utilizar a interrupção de recepção.
4. Caso se pretenda uma recepção de 9 bits de dados, colocar o bit RX9 a 1;
5. Permitir a recepção colocando a 1 o bit CREN;
6. A flag RCIF será colocada a 1 sempre que a recepção estiver completa. A interrupção de recepção será gerada se RCIE estiver a 1;
7. Se a recepção de 9 bits estiver activa, ler o registo RCSTA para para adquirir o nono bit e determinar se ocorreu algum erro na recepção;
8. Ler o registo RCREG para adquirir os restantes 8 bits recebidos;
9. Se algum erro tiver ocorrido, limpar o erro colocando a zero o bit de permissão da recepção CREN.

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

● Transmissão

● **Recepção**

Modo Síncrono

Funções em C

Este modo é tipicamente utilizado em sistemas RS-485.

De seguida apresentam-se os passos de configuração do modo de recepção assíncrono com detecção de endereço:

1. Inicializar o registo SPBRG com a baud rate apropriada. Caso se pretenda baud-rate rápida, colocar a 1 o bit BRGH;
2. Activar a porta série assíncrona, colocando o bit SYNC a 0 e o bit SEN a 1;
3. Colocar o bit RCEN a 1, caso se pretenda utilizar a interrupção. Configurar a prioridade da interrupção configurando adequadamente o bit RCIP;
4. Colocar o bit RX9 a 1;
5. Colocar o bit ADDEN a 1 para permitir a detecção de endereços;
6. Permitir a recepção colocando a 1 o bit CREN;

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

● Transmissão

● **Recepção**

Modo Síncrono

Funções em C

Continuação da apresentação dos passos de configuração do modo de recepção assíncrono com detecção de endereço:

1. A flag RCIF será colocada a 1 sempre que a recepção estiver completa. A interrupção de recepção será gerada se os bits RCIE e GIE estiverem a 1;
2. Ler o registo RCSTA para determinar se ocorreu algum erro na recepção (ler também o nono bit de dados se aplicável);
3. Ler o registo RCREG para determinar se o dispositivo foi endereçado;
4. SE algum erro tiver ocorrido, limpar o erro colocando a zero o bit de permissão da recepção CREN.
5. Se o dispositivo foi endereçado, limpar o bit ADDEN para permitir a recepção dos dados a partir do buffer de recepção e interromper a CPU.

Modo Síncrono Mestre- Introdução

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

● Transmissão Mestre

● Recepção Mestre

● Modo Escravo

Funções em C

No modo síncrono os dados são transmitidos através de um sistema half-duplex, ou seja a transmissão e a recepção não podem ocorrer em simultâneo.

Quando o sistema se encontra a transmitir dados a recepção é inibida e vice-versa.

O modo síncrono é activado através da colocação a 1 do bit SYNC do registo TXSTA.

É também necessário colocar a 1 o bit SPEN (registo RCSTA) de modo a configurar adequadamente os pinos RC6/TX/CK e RC7/RX/DT como linhas de relógio e dados respectivamente.

O modo mestre faz cm que o processador transmita o sinal de relógio do mestre na linha CK. O modo mestre é configurado através da colocação do bit CSRC a 1 (registo TXSTA).

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

● Transmissão Mestre

● Recepção Mestre

● Modo Escravo

Funções em C

De seguida apresentam-se os passos de configuração do modo de transmissão síncrona mestre:

1. Inicializar o registo SPBRG com a baud rate apropriada.
2. Activar a porta série síncrona mestre, colocando a 1 o bit SYNC, o bit SPEN e o bit CSRC;
3. Colocar o bit TXIE a 1, caso se pretenda utilizar a interrupção de transmissão.
4. Caso se pretenda uma transmissão de 9 bits de dados, colocar o bit TX9 a 1;
5. Permitir a transmissão colocando a 1 o bit TXEN;
6. Se a transmissão de 9 bits estiver activa, o nono bit deve ser carregado para o bit TX9D;
7. Carregar os dados para o registo TXREG, o que automaticamente inicia a transmissão.

Modo Síncrono Mestre- Transmissão

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

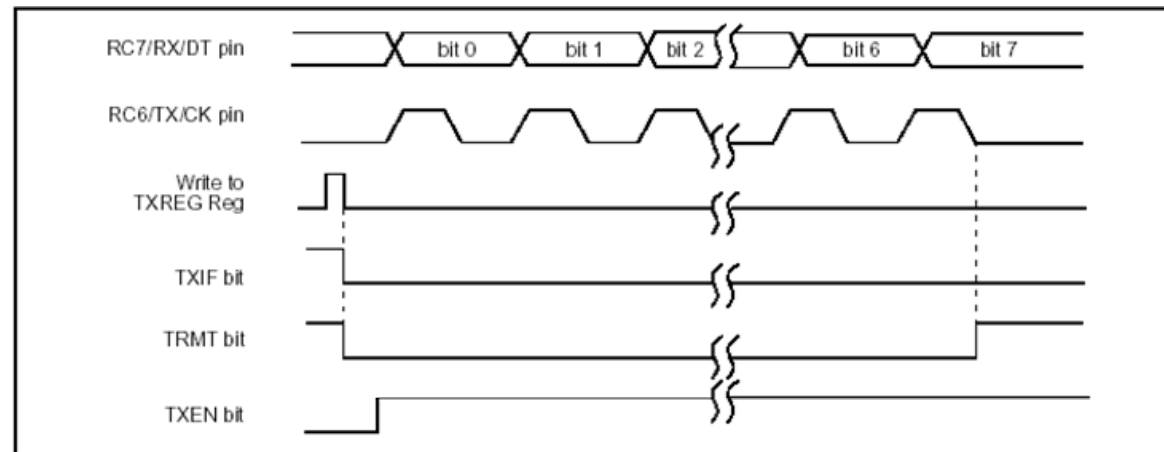
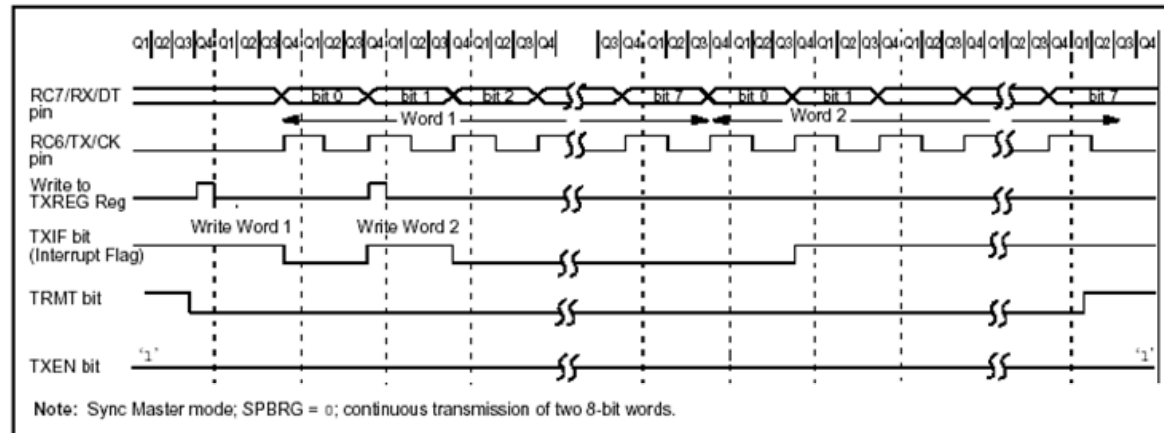
● **Transmissão Mestre**

● Recepção Mestre

● Modo Escravo

Funções em C

Figura seguinte mostra, através de diagramas temporais como se processa a transmissão em modo síncrono mestre.



- Módulo USART

- Introdução

- Registos

- Baud Rate

- Modo Assíncrono

- Modo Síncrono

- Transmissão Mestre

- **Recepção Mestre**

- Modo Escravo

- Funções em C

Assim que o modo síncrono mestre é seleccionado, a recepção é permitida através da colocação a 1 de ambos os bits, SREN e CREN (Registo RCSTA).

Os dados são amostrados para o pino RC7/RX/DT no bordo descendente do sinal de relógio.

Se o bit SREN estiver a 1 apenas se permite a recepção de uma palavra de cada vez.

Caso o bit CREN esteja a 1 a recepção é contínua.

Se os dois bits forem colocados a 1 o CREN é o que prevalece e a recepção é contínua.

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

● Transmissão Mestre

● **Recepção Mestre**

● Modo Escravo

Funções em C

Passos de configuração da recepção síncrona mestre:

1. Inicializar o registo SPBRG com a baud rate apropriada.
2. Activar a porta série assíncrona, colocando os bits SYNC, SPEN e CRSC a 1;
3. Colocar o bit RCIE a 1, caso se pretenda utilizar a interrupção de recepção.
4. Caso se pretenda uma recepção de 9 bits de dados, colocar o bit RX9 a 1;
5. Caso se pretenda uma recepção de palavra única colocar o bit SREN a 1, caso se pretenda uma recepção contínua colocar o bit CREN a 1;
6. A flag RCIF será colocada a 1 sempre que a recepção estiver completa. A interrupção de recepção será gerada se RCIE estiver a 1;
7. Se a recepção de 9 bits estiver activa, ler o registo RCSTA para para adquirir o nono bit e determinar se ocorreu algum erro na recepção;
8. Ler o registo RCREG para adquirir os restantes 8 bits recebidos;
9. Se algum erro tiver ocorrido, limpar o erro colocando a zero o bit de permissão da recepção CREN.

Modo Mestre Síncrono- Recepção

● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

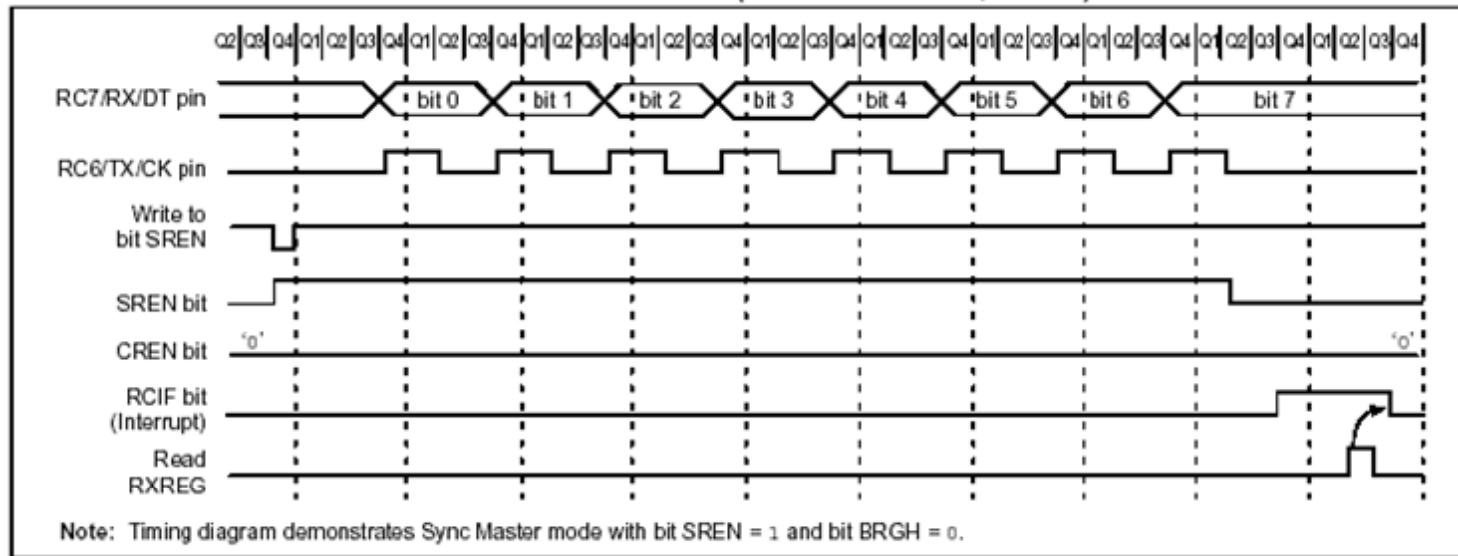
● Transmissão Mestre

● **Recepção Mestre**

● Modo Escravo

Funções em C

Figura seguinte mostra, através de diagramas temporais como se processa a recepção em modo mestre síncrono.



● Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

● Transmissão Mestre

● Recepção Mestre

● **Modo Escravo**

Funções em C

A única diferença entre o modo escravo síncrono e o modo mestre síncrono é que no segundo caso o sinal de relógio é fornecido internamente (pino RC6/TX/CK é uma saída), enquanto que no modo escravo este sinal é fornecido externamente através do pino RC6/TX/CK.

Isto permite ao dispositivo receber e transmitir e receber dados em modo sleep, algo que não pode ocorrer em modo mestre.

O modo escravo é activado através da colocação do bit CSRC a 1 (registo TXSTA).

Os passos da configuração da recepção e transmissão em modo escravo síncrono são semelhantes aos do modo mestre síncrono.

Porém o bit SREN não tem qualquer efeito em modo escravo síncrono.

- Módulo USART

Introdução

Registos

Baud Rate

Modo Assíncrono

Modo Síncrono

Funções em C

● Funções

Função	Descrição
BusyUSART	Indica se o módulo USART se encontra a transmitir
CloseUSART	Desactiva o módulo USART
DataRdyUSART	Verifica se existem dados para leitura no buffer de dados
getcUSART	Lê um byte do módulo USART
getsUSART	Lê uma string do módulo USART
OpenUSART	Configura o módulo USART
putcUSART	Escreve um byte no módulo USART
putsUSART	Escreve uma string no módulo USART
putrsUSART	Escreve uma string da memória de programa no módulo USART
ReadUSART	Lê um byte do módulo USART
WriteUSART	Escreve um byte no módulo USART
baudUSART	Configuração da baud rate para modo Enhanced

● Módulo USART

[Introdução](#)

[Registos](#)

[Baud Rate](#)

[Modo Assíncrono](#)

[Modo Síncrono](#)

[Funções em C](#)

● [Funções](#)

Exemplo de utilização do módulo USART:

```
#include <p18C452.h>
#include <usart.h>
void main(void)
{
    //configure USART
    OpenUSART( USART_TX_INT_OFF &
              USART_RX_INT_OFF &
              USART_ASYNC_MODE &
              USART_EIGHT_BIT &
              USART_CONT_RX &
              USART_BRGH_HIGH,
              25 );

    while(1)
    {
        while( !PORTAbits.RA0 ); //wait for RA0 high
        WriteUSART( PORTD ); //write value of PORTD

        if(PORTD == 0x80) // check for termination
            break; // value
    }

    CloseUSART();
}
```