

BÀI 5. GIAO TIẾP UART

1. Mục đích

Qua bài học sinh viên có thể đạt được các kiến thức sau:

- Hiểu biết về cấu trúc của bộ UART trong PIC24F.
- Hiểu về cơ chế hoạt động và cấu hình UART trong PIC24F.
- Xây dựng các ứng dụng cơ bản dùng UART trên board Explorer 16/32 với PC.

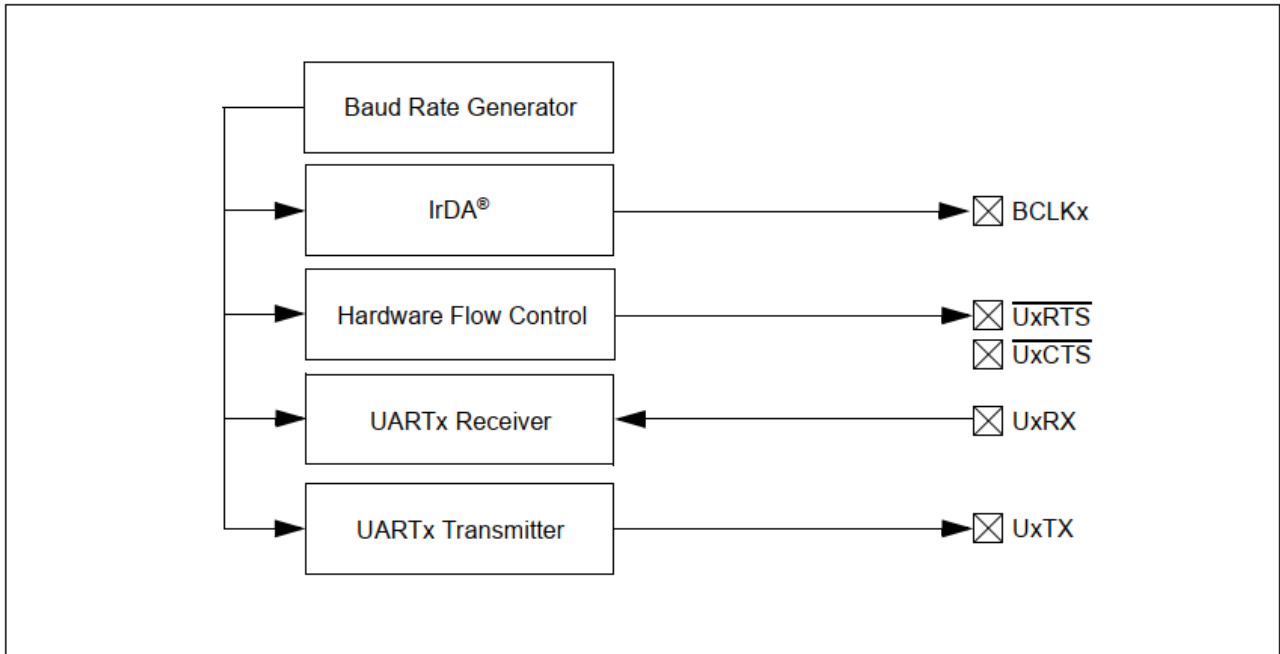
2. Tóm tắt nội dung lý thuyết

2.1. Giới thiệu

Bộ giao tiếp UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) là bộ giao tiếp nối tiếp có sẵn trên PIC24F. UART là hệ thống truyền nhận động bộ song công (full-duplex) và có thể giao tiếp với nhiều thiết bị ngoại vi như PC, LIN/J2602, RS-232 và RS-485. Bộ UART trên PIC24F cũng hỗ trợ tín hiệu điều khiển bằng phần cứng bởi UxCTS và UxRTS. Bộ UART trên PIC24F có những đặc điểm sau:

- Full-Duplex, 8 or 9-Bit dữ liệu truyền nhận qua chân UxTX và UxRX Pins.
- Tùy chọn parity với chẵn, lẻ hoặc không có parity (với 8-bit dữ liệu).
- Một hoặc hai stop bit.
- Điều khiển bằng phần cứng với chân tín hiệu UxCTS và UxRTS.
- Tích hợp đầy đủ tốc độ baud Generator với 16-bit Prescaler
- Baud Rates khác nhau, từ 1 Mbps đến 15 bps tại 16 MIPS
- 4 bộ nhớ đệm FIFO cho dữ liệu truyền.
- 4 bộ nhớ đệm FIFO cho dữ liệu nhận được.
- Kiểm soát lỗi parity, lỗi khung dữ liệu và lỗi overrun.
- Hỗ trợ chế độ 9 bit với do địa chỉ.
- Ngắt truyền và nhận dữ liệu.
- Hỗ trợ chế độ tự động dò baud rate.
- IrDA Encoder and Decoder Logic.
- Hỗ trợ 16 clock baud cho IrDA.

Hình 2.1 thể hiện cấu trúc bên trong của bộ UART trên PIC24F.



Hình 2.1. Cấu trúc của bộ UART.

2.2. Các thanh ghi điều khiển

Trên PIC24F có 6 bộ UART là UART1 đến UART6. Các thanh ghi của 2 bộ UART bao gồm:

- Thanh ghi cấu hình chế độ hoạt động: UxMODE.
- Thanh ghi điều khiển và trạng thái: UxSTA.
- Thanh ghi nhận: UxRXREG.
- Thanh ghi truyền: UxTXREG.
- Thanh ghi tạo baud rate: UxBRG.

Trong đó, “x” được xác định là “1” đến “6” cho các UART core từ UART1 đến UART6.

2.2.1. Thanh ghi UxMODE

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
UARTEN	UFRZ	USIDL	IREN ⁽¹⁾	RTSMD	ALTIO ⁽²⁾	UEN1	UEN0
bit 15						bit 8	

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
WAKE	LPBACK	ABAUD	RXINV	BRGH	PDSEL1	PDSEL0	STSEL
bit 7						bit 0	

Legend:

R = Readable bit

W = Writable bit

U = Unimplemented bit, read as '0'

-n = Value at POR

'1' = Bit is set

'0' = Bit is cleared

x = Bit is unknown

Hình 2.2. Thanh ghi UxMODE.

Bảng 2.1. Bảng mô tả các bit của thanh ghi UxMODE.

Bit	Tên	Chức năng
15	UARTEN: UARTx Enable bit	1 = Uartx được kích hoạt; Uartx Pins được kiểm soát bởi uartx như được định nghĩa bởi bit điều khiển UEN <1:0> và UTXEN. 0 = Uartx bị vô hiệu hoá; UARTx Pins được kiểm soát bởi các bit tương ứng PORT, LAT và TRIS.
13	USIDL: Stop in Idle Mode bit	1 = Nừng hoạt động khi thiết bị vào chế độ nhàn rỗi (Idle) 0 = Tiếp tục hoạt động ở chế độ nhàn rỗi
12	IREN: IrDA Encoder and Decoder Enable bit	1 = Cho phép IrDA mã hóa và giải mã. 0 = Không cho phép IrDA encoder và giải mã.
11	RTSMD: Mode Selection for UxRTS Pin bit	1 = UxRTS trong chế độ Simplex. 0 = UxRTS trong chế độ Flow Control.
9-8	UEN<1:0>: UARTx Enable bits	11 = UxTX, UxRX và BCLKx Pins được kích hoạt và sử dụng; UxCTS pin được điều khiển bằng cổng chốt. 10 = UxTX, UxRX, UxCTS và UxRTS Pins được kích hoạt và sử dụng. 01 = UxTX, UxRX và UxRTS Pins được kích hoạt và sử dụng; UxCTS pin được điều khiển bằng cổng chốt. 00 = UxTX và UxRX Pins được kích hoạt và sử dụng; UxCTS, UxRTS và BCLKx Pins được điều khiển bằng cổng chốt
7	WAKE: Enable Wake-up on Start bit Detect During Sleep Mode bit.	1 = Cho phép Wake-up. 0 = Không cho phép Wake-up.
6	LPBACK: UARTx Loopback Mode Select bit	1 = Kích hoạt chế độ loopback 0 = Chế độ loopback bị vô hiệu hoá
5	ABAUD: Auto-Baud Enable bit	1 = Cho phép đo tốc độ baud vào ký tự tiếp theo. Yêu cầu tiếp nhận trường Sync (55h); 0 = Đo tốc độ baud bị vô hiệu hoá.
4	RXINV: Receive Polarity Inversion bit	1 = UxRX ở trạng thái Idle là '0'. 0 = UxRX ở trạng thái Idle là '1'.
3	BRGH: High Baud Rate Select bit	1 = Tốc độ cao. 0 = Tốc độ thấp.
2-1	PDSEL<1:0>: Parity and Data Selection bits	11 = 9-bit data, no parity 10 = 8-bit data, odd parity 01 = 8-bit data, even parity 00 = 8-bit data, no parity
0	STSEL: Stop Selection bit	1 = 2 Stop bits 0 = 1 Stop bit

2.2.2. Thanh ghi UxSTA

R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R-0	R-1
UTXISEL1	UTXINV	UTXISEL0	—	UTXBRK	UTXEN	UTXBF	TRMT
bit 15						bit 8	

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-1	R-0	R-0	R/C-0	R-0
URXISEL1	URXISEL0	ADDEN	RIDLE	PERR	FERR	OERR	URXDA
bit 7						bit 0	

Legend:	C = Clearable bit		
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'	
-n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown

Hình 2.3. Thanh ghi UxSTA.

Bit	Tên	Chức năng
15,13	UTXISEL <1:0> Transmission Interrupt Mode Selection bits	11 = Reserved 10 = Ngắt được tạo ra khi một kí tự được chuyển tới thanh ghi truyền TxTSR và buffer trở nên rỗng. 01 = Ngắt được tạo ra khi kí tự cuối cùng được chuyển đi và tất cả các quá trình truyền đã hoàn thành. 00 = Ngắt được tạo ra khi bất kì kí tự được chuyển tới thanh ghi truyền TxTSR. Điều này có nghĩa là buffer có ít nhất một ví trí trống.
14	UTXINV : Transmit Polarity Inversion bit	IREN = 0: 1 = UxTX ở trạng thái Idle là '0'. 0 = UxTX ở trạng thái Idle là '1'. IREN = 1: 1 = IrDA mã hóa UxTX ở trạng Idle là '1'. 0 = IrDA mã hóa UxTX ở trạng Idle là '0'.
11	UTXBRK : Transmit Break bit	1 = UxTX pin được thúc đẩy thấp bất kể trạng thái phát (đồng bộ hóa kí tự Break-Start bit theo sau bởi mười hai '0' s và theo sau là một bit Stop). 0 = Động bộ quá trình truyền Break bị vô hiệu hóa.
10	UTXEN : Transmit Enable bit	1 = Cho phép UARTx truyền dữ liệu, UxTX pin được kiểm soát bởi UARTx (nếu UARTEN = 1). 0 = Truyền dữ liệu của UARTx bị vô hiệu hóa, bất kì quá trình truyền nào đang đợi thì sẽ bị bỏ qua và bộ đệm được reset. UxTX pin được kiểm soát bởi PORT.

9	UTXBF: Transmit Buffer Full Status bit (read-only)	1 = Bộ đệm truyền đã đầy. 0 = Bộ đệm truyền chưa đầy, có thể ghi ít nhất 1 hay nhiều dữ liệu vào bộ đệm.
8	TRMT: Transmit Shift Register is Empty bit (read-only)	1 = Thanh ghi truyền và bộ đệm truyền rỗng. 0 = Thanh ghi truyền không rỗng, một quá trình truyền đang được xử lý hay có hàng đợi trong bộ đệm truyền.
7-6	URXISEL<1:0>: Receive Interrupt Mode Selection bits	11 = Cờ ngắt được thiết lập khi bộ đệm nhận đầy. 10 = Cờ ngắt được thiết lập khi bộ đệm nhận đã chứa $\frac{3}{4}$ dung lượng của bộ đệm (3 kí tự). 0x = Cờ ngắt được thiết lập khi một kí tự được nhận.
5	ADDEN: Address Character Detect bit (bit 8 of received data = 1)	1 = Chế độ quét địa chỉ được kích hoạt. Nếu chế độ 9 bit không được chọn, bit điều khiển này không có tác dụng. 0 = Chế độ quét địa chỉ bị vô hiệu hóa.
4	RIDLE: Receiver Idle bit (read-only)	1 = Bộ nhận đang trong trạng thái Idle. 0 = Dữ liệu đang được nhận.
3	PERR: Parity Error Status bit (read-only)	1 = Lỗi parity được phát hiện cho kí tự hiện tại. 0 = Lỗi parity chưa được phát hiện.
2	FERR: Framing Error Status bit (read-only)	1 = Lỗi frame được phát hiện cho kí tự hiện tại. 0 = Lỗi frame chưa được phát hiện.
1	OERR: Receive Buffer Overrun Error Status bit (clear/read-only)	1 = Bộ đệm nhận bị tràn. 0 = Bộ đệm nhận không bị tràn.
0	URXDA: Receive Buffer Data Available bit (read-only)	1 = Bộ đệm nhận có dữ liệu, ít nhất một hoặc nhiều kí tự có thể được đọc. 0 = Bộ đệm nhận đang rỗng.

2.2.3. Thanh ghi UxRXREG

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R-0
—	—	—	—	—	—	—	URX8
bit 15							bit 8

R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0
URX<7:0>							
bit 7							bit 0

Legend:

R = Readable bit

W = Writable bit

U = Unimplemented bit, read as '0'

-n = Value at POR

'1' = Bit is set

'0' = Bit is cleared

x = Bit is unknown

Hình 2.4. Thanh ghi UxRXREG.

Bit	Tên	Chức năng
8	URX8 : Data bit 8 of the Received Character (in 9-bit mode)	Bit thứ 9 của dữ liệu khi chế độ truyền là 9 bit.
7-0	URX<7:0> : Data bits 7-0 of the Received Character	8 bit dữ liệu nhận được.

2.2.4. Thanh ghi UxTXREG

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	W-x
—	—	—	—	—	—	—	UTX8
bit 15							bit 8

W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x
UTX<7:0>							
bit 7							bit 0

Legend:

R = Readable bit W = Writable bit U = Unimplemented bit, read as '0'
-n = Value at POR '1' = Bit is set '0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

Hình 2.5. Thanh ghi UxTXREG.

Bit	Tên	Chức năng
8	UTX8 : Data bit 8 of the Transmitted Character (in 9-bit mode)	Bit dữ liệu thứ 9 trong chế độ 9 bit dữ liệu.
7-0	URX<7:0> : Data bits 7-0 of the Transmitted Character	8 bit dữ liệu truyền đi.

2.2.5. Thanh ghi UxBRG

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	W-x
BRG<15:8>							
bit 15							bit 8

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
BRG<7:0>							
bit 7							bit 0

Legend:

R = Readable bit W = Writable bit U = Unimplemented bit, read as '0'
-n = Value at POR '1' = Bit is set '0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

Hình 2.6. Thanh ghi UxBRG.

- BRG<15:0>: Giá trị bộ khởi tạo chia baud rate.

Baud rate được tạo theo công thức sau:

- Nếu BRGH = 0:

$$\text{Baud rate} = \frac{FCY}{16 * (UxBRG + 1)}$$
$$UxBRG = \frac{FCY}{16 * \text{Baud rate}} - 1$$

Với FCY = FOSC/2.

Ví dụ: FCY = FOSC/2 = 8 Mhz/2 = 4 Mhz. Baud rate mong muốn là 9600.

$$\rightarrow UxBRG = \frac{4000000}{16 * 9600} - 1 \approx 25$$

- Nếu BRGH = 1:

$$\text{Baud rate} = \frac{FCY}{4 * (UxBRG + 1)}$$
$$UxBRG = \frac{FCY}{4 * \text{Baud rate}} - 1$$

Với FCY = FOSC/2.

Ví dụ: FCY = FOSC/2 = 8 Mhz/2 = 4 Mhz. Baud rate mong muốn là 9600.

$$\rightarrow UxBRG = \frac{4000000}{4 * 9600} - 1 \approx 103$$

3. Nội dung thực hành

3.1. Cấu hình truyền và nhận 8 bit

a. Cấu hình truyền

1. Cấu hình tốc độ baud trên thanh ghi **UxBRG**.
2. Cấu hình số lượng bit truyền đi là 8, cấu hình parity và stop bit trên thanh ghi **UxMODE**.
3. Cấu hình ngắt trên thanh ghi **UxSTA**.
4. Cho phép UARTx hoạt động bằng bit **UTXEN** trên thanh ghi **UxSTA**.
5. Ghi dữ liệu xuống thanh ghi **UxTXREG** để truyền đi hoặc đọc dữ liệu nhận được từ thanh ghi **UxRXREG**.

b. Cấu hình ngắt của quá trình truyền trên UARTx

1. Cấu hình bit chế độ sinh ra ngắt ở bit **UTXISEL** trên thanh ghi **UxSTA**.
2. Cấu hình độ ưu tiên bằng bit **_UxTXIP = <độ ưu tiên>**.
3. Xóa cờ ngắt ở bit **_UxTXIF = 0**;
4. Bật ngắt ở bit **_UxTXIE = 1**;

c. Cấu hình ngắt của quá trình nhận trên UARTx

1. Cấu hình bit chế độ sinh ra ngắt ở bit **URXISEL** trên thanh ghi **UxSTA**.
2. Cấu hình độ ưu tiên bằng bit **_UxRXIP = <độ ưu tiên>**.
3. Xóa cờ ngắt ở bit **_UxRXIF = 0**;
4. Bật ngắt ở bit **_UxRXIE = 1**;

3.2. Thực hành cấu hình

Tạo project cho **PIC24FJ1024GB610**, đặt tên là **Lab4** và lưu trong thư mục: D:/VDK/Lab4.

Tạo file main.c với nội dung như đoạn code bên dưới. Đoạn code bên dưới dùng UART2 để giao tiếp với PC.

```
#include "xc.h"
#include <p24fj1024gb610.h>

#define BRATE 68 // 14400 Bd (BREGH=1)
#define U_ENABLE 0x8808 // enable UART, BREGH=1, 1 stop, no parity
#define U_TX 0x0400 // enable transmission, clear all flags
#define BACKSPACE 0x8 // ASCII backspace character code
#define BUF_SIZE 128

void initU1(void) {
    U1BRG = BRATE; // initialize the baud rate generator
    U1MODE = U_ENABLE; // initialize the UART module
    U1STA = U_TX; // enable the Transmitter
    U1STAbits.URXISEL = 1; // interrupt when a character is received
    RPINR18bits.U1RXR = 10; // RX pin is RP10
```

```
RPOR8bits.RP17R = 3;    // TX pin is RP17
}

int putU1(int c) {
    while (U1STAbits.UTXBF); // wait while Tx buffer full
    U1TXREG = c;
    return c;
}

void putsU1(char *s) {
    while (*s) // loop until *s == '\0', end of string
        putU1(*s++); // send the character and point to the next one
}

char getU1(void) {
    while (!U1STAbits.URXDA); // wait for a new character to arrive
    return U1RXREG; // read the character from the receive buffer
}

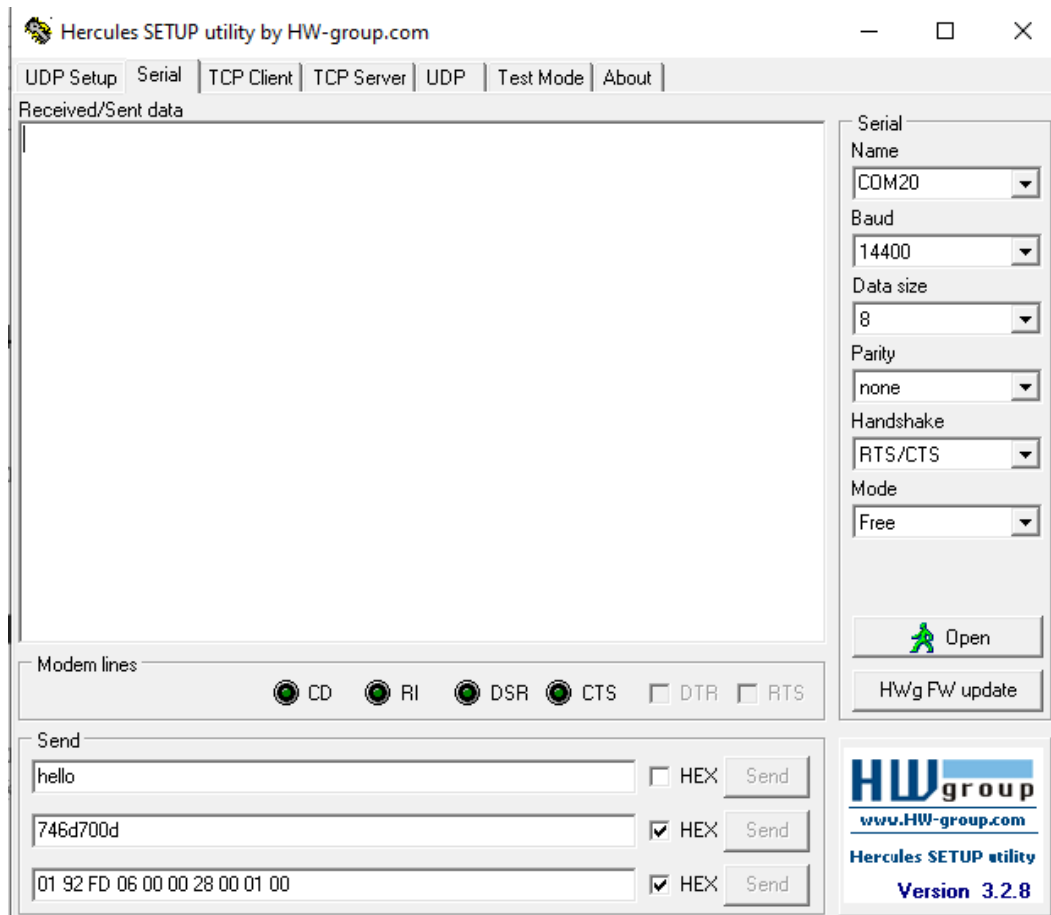
char *getsnU1(char *s, int len) {
    char *p = s; // copy the buffer pointer
    int cc = 0; // character count
    do {
        *s = getU1(); // wait for a new character
        if ((*s == BACKSPACE)&&(s > p)) {
            putU1(' '); // overwrite the last character
            putU1(BACKSPACE);
            len++;
            s--; // back the pointer
            continue;
        }
        if (*s == '\n') // line feed, ignore it
            continue;
        if (*s == '\r') // end of line, end loop
            break;
        s++; // increment buffer pointer
        len--;
    } while (len > 1); // until buffer full
    *s = '\0'; // null terminate the string
    return p; // return buffer pointer
}

int main(void) {
    char s[BUF_SIZE];
    initU1();
```

Lưu ý: để có thể tạo ra đúng tốc độ baud, ta tiến hành cấu hình bit như hình bên 2.9 bên dưới.

Hình 2.9. Cấu hình bit.

Tiến hành chạy chương trình trên PIC và phần mềm Hercules trên PC (hình 2.10), và cho biết kết quả.



Hình 2.10. Giao diện phần mềm Hercules.

4. Bài tập

4.1. Bài tập chuẩn bị ở nhà

1. Hãy cho biết cơ chế hoạt động của chuẩn truyền UART. Vẽ dạng sóng minh họa.
2. Giải thích đoạn code cấu hình UART đã cho ở phần 3.

4.2. Bài tập trên lớp

1. Thực hiện cấu hình ngắt mỗi khi nhận được giá trị cho UART1. (0.5đ).

Đề 1:

2. Thực hiện chương trình cấu hình UART để mỗi khi nhận được chuỗi “Hello” từ PC thì sẽ gửi lại chuỗi “My name is A”, với A là tên sinh viên. Khi nhận được chuỗi khác chuỗi “Hello”, thì gửi lại chuỗi “I do not know”. Lưu ý có sử dụng ngắt UART. (0.25đ).

Đề 2:

3. Thực hiện chương trình cấu hình UART và ADC để mỗi khi nhận được chuỗi “temperature?” thì sẽ gửi lại giá trị nhiệt độ đọc được từ cảm biến nhiệt độ. Ví dụ nhiệt độ là 28°C thì sẽ gửi đến PC chuỗi kí tự là “28 doC”. (0.25đ).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. PIC24FJ1024GB610 family datasheet.pdf
2. Explorer_16_32_Schematics_R6_3.pdf
3. PIC24FJ1024GB610 Plug-In Module (PIM) Information Sheet.pdf.
4. PIC24 FRM UART (70000582e).pdf.