

SPI features

- Full-duplex synchronous transfers on three lines
- Simplex synchronous transfers on two lines with or without a bidirectional data line
- 8- or 16-bit transfer frame format selection
- Master or slave operation
- Multimaster mode capability
- 8 master mode baud rate prescalers ($f_{PCLK}/2$ max.)
- Slave mode frequency ($f_{PCLK}/2$ max)
- Faster communication for both master and slave
- NSS management by hardware or software for both master and slave: dynamic change of master/slave operations
- Programmable clock polarity and phase
- Programmable data order with MSB-first or LSB-first shifting
- Dedicated transmission and reception flags with interrupt capability
- SPI bus busy status flag
- Hardware CRC feature for reliable communication:
 - CRC value can be transmitted as last byte in Tx mode
 - Automatic CRC error checking for last received byte
- Master mode fault, overrun and CRC error flags with interrupt capability
- 1-byte transmission and reception buffer with DMA capability: Tx and Rx requests

SPI(Serial Peripheral Interface) 통신은 4개의 통신 신호 (/SS, SCK, MISO, MOSI)를 사용하여 클럭에 동기를 맞추어 보다 고속으로 데이터 통신을 합니다.

주로 MCU와 주변 장치간에 통신을 하는데, MCU 끼리도 통신이 가능합니다.

마스터 모드와 슬레이브 모드로 설정 사용이 가능한데, 마스터 장치는 클럭을 발생하여 송신 동작을 진행합니다. 2개의 데이터 신호가 있으므로, 송신과 동시에 수신도 가능하며, 송수신 인터럽트 사용이 가능합니다.

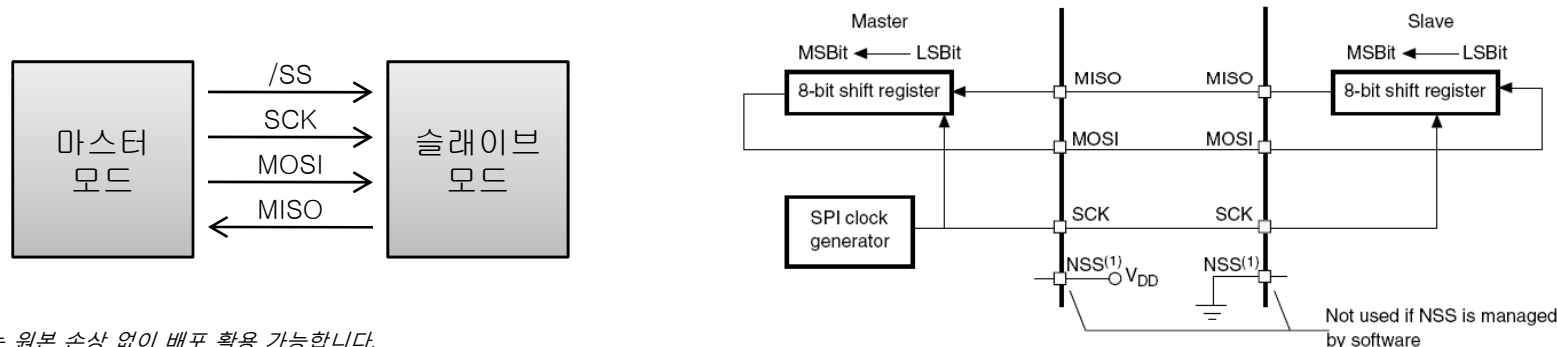
왼쪽의 SPI 통신 특징을 살펴보시기 바라며, AVR은 8비트 모드로 동작하는 반면 STM32에서는 8비트 및 16비트 모드가 가능하며, 최대 전송 속도는 PCLK의 2분주까지 가능합니다.

PCLK가 36MHz인 경우에 18MHz까지 동작이 가능하겠지요?

통신 클럭의 극성 변경이 가능하고, MSB-first, LSB-first 조정이 가능합니다.

Hardware적인 CRC도 가능하고 멀티마스터 모드도 가능하다고 하는데, 아직 사용해보지 않아서 저는 잘 모르겠습니다.

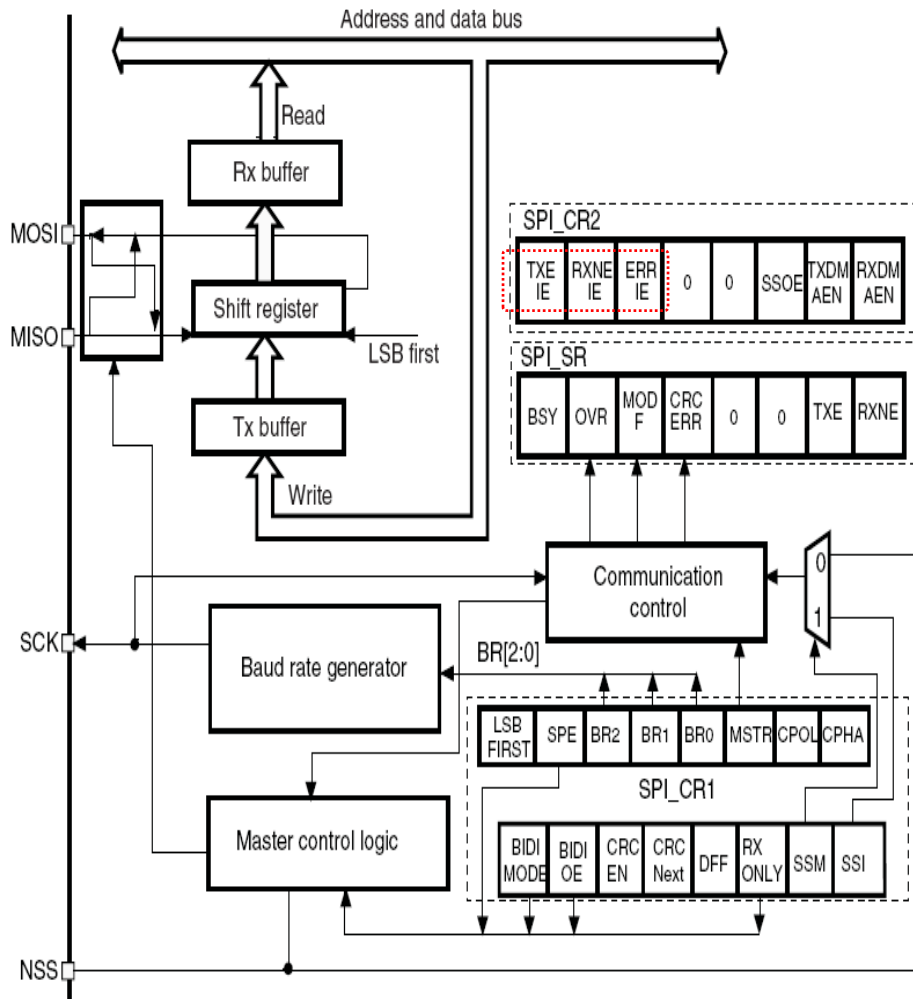
조금 아쉬운 점은 FIFO 성격의 버퍼가 보이지 않아서 수신 데이터를 빨리 빨리 읽어서 처리해주어야 할거 같습니다.



SPI 구성도 및 클럭 타이밍

내부 구성도와 타이밍 도는 우리에게 많은 것을 알려줍니다.
자세히 살펴보고, 고개를 끄덕거려야 합니다.

SPI 내부 구성도.

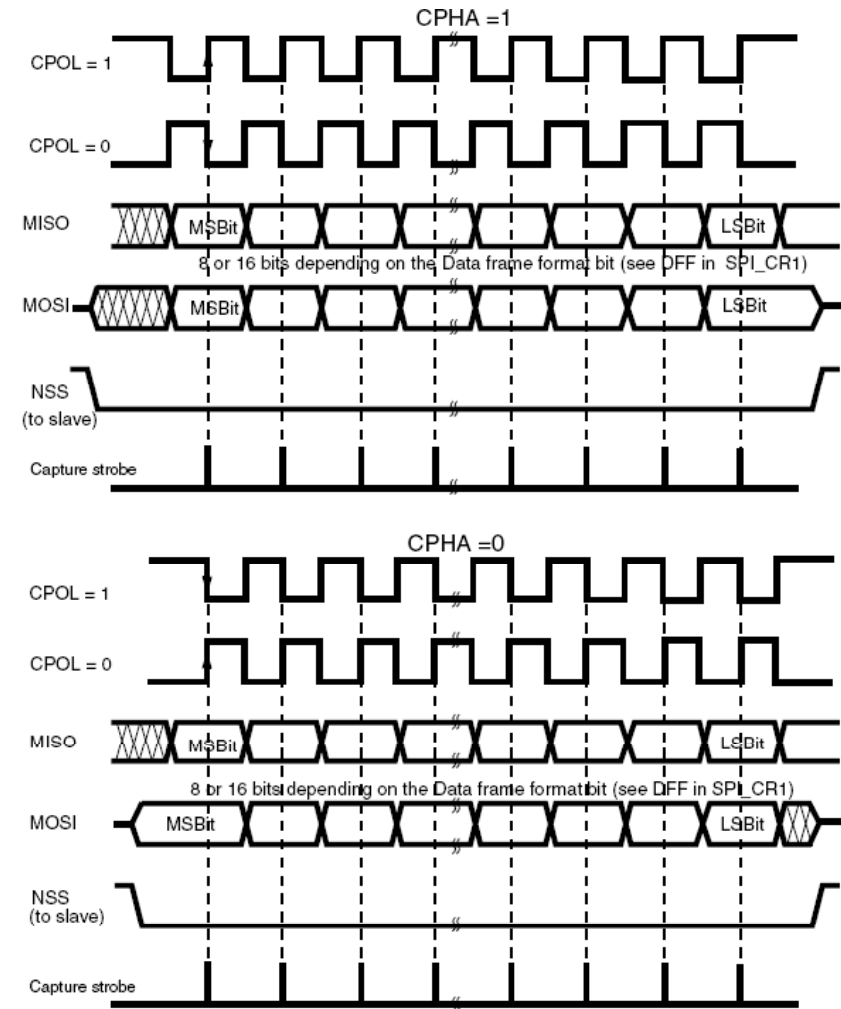


인터럽트:

TXE: 송신 버퍼가 비었다(데이터를 받을 수 있다.)

RXNE: 수신버퍼가 비어 있지 않다(데이터가 수신되었다)

에러 인터럽트: OVR(Overrun error), CRC error



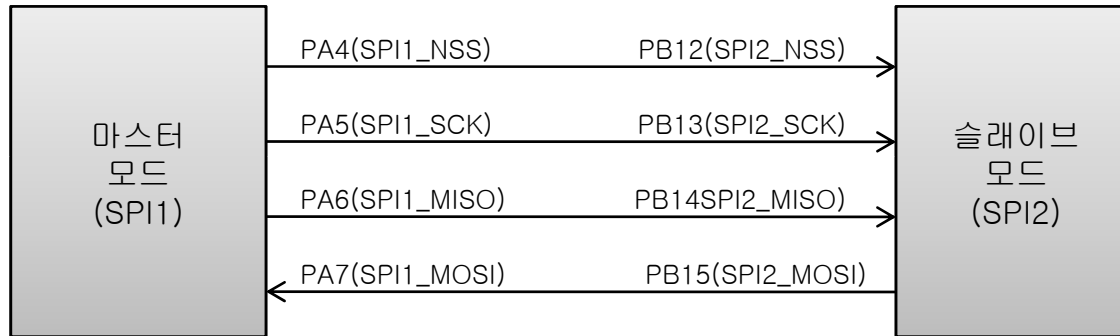
CPOL, CPHA 를 조절하여 주변장치가
원하는 클럭 형태로 맞추어 사용합니다.

Table 184. SPI register map and reset values

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0x00	SPI_CR1	Reserved																BIDIMODE	BIDIOE	CRCEN	CRCNEXT	DFR	RXONLY	SSM	SSI	LSBFIRST	SPE	BR [2:0]			MSTR	CPOL	CPHA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	Reset value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
0x04	SPI_CR2	Reserved																								TXEIE	RXNEIE	ERRIE	Reserved		SSOE	TXDMAEN	RXDMAEN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	Reset value																									0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
0x08	SPI_SR	Reserved																								BSY	OVR	MODF	CRCERR	UDR	CHSIDE	TXE	RXNE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	Reset value																									0	0	0	0	0	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0x0C	SPI_DR	Reserved														DR[15:0]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	Reset value															0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0x10	SPI_CRCPR	Reserved														CRCPOLY[15:0]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	Reset value															0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
0x14	SPI_RXCRCR	Reserved														RxCRC[15:0]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	Reset value															0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0x18	SPI_TXCRCR	Reserved														TxCRC[15:0]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	Reset value															0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
0x1C	SPI_I2SCFGR	Reserved																				I2SMOD	I2SE	I2SCFG	PCMSYNC	Reserved			I2SSTD	CKPOL	DATLEN	CHLEN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	Reset value																					0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
0x20	SPI_I2SPR	Reserved																						MCKOE	ODD				I2SDIV																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	Reset value																							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

SPI 통신 예제 구성

STM32F103R8T6을 가지고 실험하였으며, 아래와 같이 핀을 연결하였음



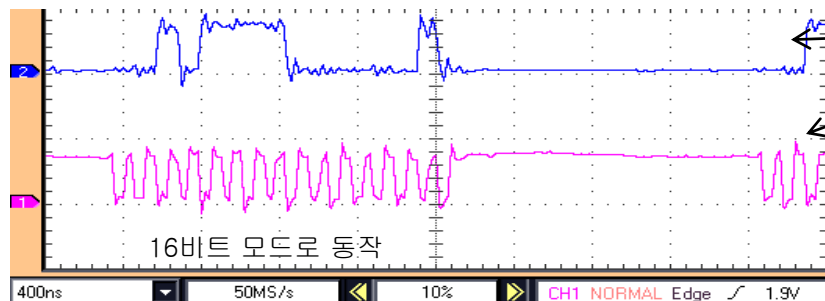
SPI1을 마스터 모드로 동작

SPI2을 슬레이브 모드로 동작

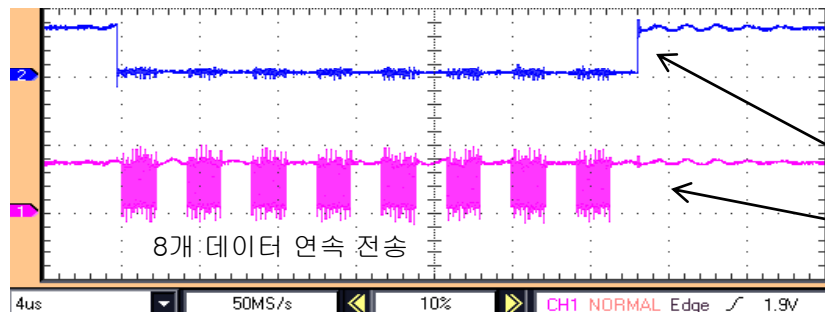
이전 강좌에서 LCD에 PA4~PA7을 사용하였는데, SPI 통신 실험을 위해서 본 강좌에서는 LCD 데이터 핀을 다음과 같이 이동하였음

이전 LCD 사용 핀:
 PA0 = RS
 PA1 = E
 PA4 = D4
 PA5 = D5
 PA6 = D6
 PA7 = D7

LCD 사용 핀 이동
 PA0 = RS
 PA1 = E
 PC6 = D4
 PC7 = D5
 PC8 = D6
 PC9 = D7



본 예제에서는 16비트 모드로 동작시켰으며, 연속하여 8워드 데이터를 전송(일전 주기 또는 버튼)하고 수신 데이터는(인터럽트를 사용) LCD에 표시 함



수신 데이터 값 표시 (16비트, 8개)

자동 송신 RUN/STOP

SPI 통신 예제 살펴보기

```
void init_spi1(void){ // for MASTER mode
GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
SPI_InitTypeDef SPI_InitStructure;
/* Enable GPIO clock for SPI_MASTER */
RCC_APB2PeriphClockCmd(SPI_MASTER_GPIO_CLK | RCC_APB2Periph_AFIO, ENABLE);

/* Enable SPI_MASTER Periph clock */
RCC_APB2PeriphClockCmd(SPI_MASTER_CLK, ENABLE);

/* Configure SPI pins: SCK, MISO and MOSI */
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = SPI_MASTER_PIN_SCK | SPI_MASTER_PIN_MISO
| SPI_MASTER_PIN_MOSI;
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF_PP;
GPIO_Init(SPI_MASTER_GPIO, &GPIO_InitStructure);

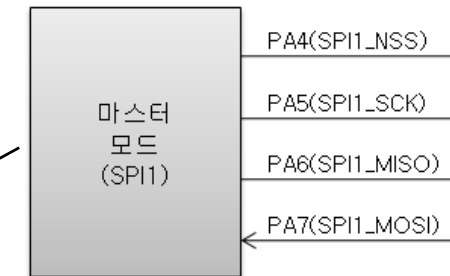
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_Out_PP;
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_4;
GPIO_Init(SPI_MASTER_GPIO, &GPIO_InitStructure);
H_SS1;

/* SPI_MASTER configuration -----
SPI_InitStructure.SPI_Direction = SPI_Direction_2Lines_FullDuplex;
SPI_InitStructure.SPI_Mode = SPI_Mode_Master;
SPI_InitStructure.SPI_DataSize = SPI_DataSize_16b; // or SPI_DataSize_8b;
SPI_InitStructure.SPI_CPOL = SPI_CPOL_High; // or SPI_CPOL_Low;
SPI_InitStructure.SPI_CPHA = SPI_CPHA_2Edge;
SPI_InitStructure.SPI_NSS = SPI_NSS_Soft;
SPI_InitStructure.SPI_BaudRatePrescaler = SPI_BaudRatePrescaler_8;
SPI_InitStructure.SPI_FirstBit = SPI_FirstBit_MSB;
SPI_InitStructure.SPI_CRCPolynomial = 7;
SPI_Init(SPI_MASTER, &SPI_InitStructure);

/* Enable SPI_MASTER */
SPI_Cmd(SPI_MASTER, ENABLE);
}
```

SPI1은 마스터 모드로 설정

사용 포트



SPI1 설정:

- 양방향
- 마스터모드
- 16비트 모드
- 클럭 극성
- MSB first
- 통신 클럭 속도: 9MHz
- 등등

SPI 통신 예제 살펴보기

```
void init_spi2(void){ // for SLAVE mode
GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
SPI_InitTypeDef SPI_InitStructure;
NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
/* Enable GPIO clock for SPI_SLAVE */
RCC_APB1PeriphClockCmd(SPI_SLAVE_GPIO_CLK | RCC_APB2Periph_AFIO, ENABLE);
/* Enable SPI_SLAVE Periph clock */
RCC_APB1PeriphClockCmd(SPI_SLAVE_CLK, ENABLE);

/* Configure SPI pins: SCK, MISO and MOSI */
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = SPI_SLAVE_PIN_SCK
| SPI_SLAVE_PIN_MISO | SPI_SLAVE_PIN_MOSI;
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF_PP;
GPIO_Init(SPI_SLAVE_GPIO, &GPIO_InitStructure);

/* SPI_SLAVE configuration -----
SPI_InitStructure.SPI_Direction = SPI_Direction_2Lines_FullDuplex;
SPI_InitStructure.SPI_Mode = SPI_Mode_Slave;
SPI_InitStructure.SPI_DataSize = SPI_DataSize_16b; //or SPI_DataSize_8b;
SPI_InitStructure.SPI_CPOL = SPI_CPOL_High; // SPI_CPOL_Low;
SPI_InitStructure.SPI_CPHA = SPI_CPHA_2Edge;
SPI_InitStructure.SPI_NSS = SPI_NSS_Hard;
// SPI_InitStructure.SPI_BaudRatePrescaler = SPI_BaudRatePrescaler_4;
SPI_InitStructure.SPI_FirstBit = SPI_FirstBit_MSB;
SPI_InitStructure.SPI_CRCPolynomial = 7;
SPI_Init(SPI_SLAVE, &SPI_InitStructure);

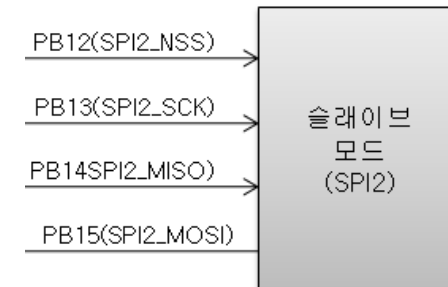
/* 1 bit for pre-emption priority, 3 bits for subpriority */
NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_1);

/* Configure and enable SPI_SLAVE interrupt -----
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = SPI_SLAVE_IRQn;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 1;
NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);

/* Enable SPI_SLAVE RXNE interrupt */
SPI_I2S_ITConfig(SPI_SLAVE, SPI_I2S_IT_RXNE, ENABLE);
/* Enable SPI_SLAVE */
SPI_Cmd(SPI_SLAVE, ENABLE);
}
```

SPI2는 슬레이브
모드로 설정

사용 포트



SPI2 설정:

- 양방향
- 슬레이브 모드
- 16비트 모드
- 클럭 극성
- MSB first
- 통신 클럭 속도: 마스터 클럭 이용
- 수신 인터럽트 설정 등등

SPI 통신 예제 살펴보기

```
#define SPI_BUF_LEN 20
u16 spi2_rx_data[SPI_BUF_LEN+1];
u8 spi2_rx_idx=0, spi2_rx_flag=0;
void SPI2_IRQHandler(void){
    if(spi2_rx_idx<SPI_BUF_LEN)
        spi2_rx_data[spi2_rx_idx++] = SPI_I2S_ReceiveData(SPI_SLAVE);
    spi2_rx_flag = 1;
}

void send_spi1_data(u16 data){
    L_SS1;
    SPI_I2S_SendData(SPI_MASTER, data);
    while(SPI_I2S_GetFlagStatus(SPI_MASTER, SPI_I2S_FLAG_BSY) == SET);
    H_SS1;
}

void send_spi1_datas(u8 len, u16 *dat){
    int i;
    L_SS1;
    for(i=0;i<len;i++){
        SPI_I2S_SendData(SPI_MASTER, dat[i]);
        while(SPI_I2S_GetFlagStatus(SPI_MASTER, SPI_I2S_FLAG_BSY) == SET);
    }
    H_SS1;
}
```

수신 인터럽트
처리 함수

1워드
송신 함수

LCD에 수신 데이터 표시



다수 워드
송신 함수

```
if(flag_300ms){
    flag_300ms = 0;
    mcnt++;

    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_printf("mcnt=%04X(%5d)", mcnt, mcnt);
    if(spi_tx_run){
        for(i=0;i<8;i++) spi1_tx_data[i] = mcnt + i;
        send_spi1_datas(8, spi1_tx_data);

        send_spi1_data(mcnt);
        send_spi1_data(mcnt+1);
        send_spi1_data(mcnt+2);
        send_spi1_data(mcnt+3);
        send_spi1_data(mcnt+4);
        send_spi1_data(mcnt+5);
        send_spi1_data(mcnt+6);
        send_spi1_data(mcnt+7);
    }
}
```

0.3초 간격으로 8워드
데이터 송신

버튼을 누를 때
데이터 송신

```
void key_down_proc(BYTE c){
    int i;
    switch(c){
        case 0:
            mcnt = 0;
            break;
        case 1:
            for(i=0;i<8;i++) spi1_tx_data[i] = 0;
            send_spi1_datas(8, spi1_tx_data);
            break;
        case 2:
            for(i=0;i<8;i++) spi1_tx_data[i] = 0x3333;
            send_spi1_datas(8, spi1_tx_data);
            break;
    }
}
```