

# گذرگاه SPI و نحوه عملکرد آن

پیام سنائی<sup>۱</sup>

گروه برق - الکترونیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد  
E-mail: paiaam\_sanaee@yahoo.com

## چکیده

در حال حاضر یکی از مطرح ترین و مهم ترین مباحث در علم کنترل، پیاده سازی سیستم های اتوماتیک و دستگاه های اندازه گیری توسط میکروکنترلرها می باشد. گذرگاه های اطلاعاتی به عنوان مسیرهای ارتباطی، برای ارسال فرامین و تبادل اطلاعات مابین سنسورها، ادوات جانبی و میکروکنترلرها استفاده می شوند. در پیاده سازی گذرگاه ها سادگی نحوه تبادل داده ها و فرامین، کاهش تعداد سیم های ارتباطی و هزینه های اقتصادی، به همراه سادگی و راحتی پروتکل های ارتباطی و روال های ورودی/ خروجی مربوطه از اهمیت به سزایی برخوردار می باشند. یکی از گذرگاه های جدید گذرگاه SPI است. از مزایای آن سادگی، فقط توسط چهار سیم تبادل اطلاعات صورت پذیرفته، هزینه کمتری نسبت به سایر گذرگاه ها داشته و از قابلیت اعتماد بالایی برخوردار می باشد. تراشه ها و ادوات جانبی متعددی این گذرگاه را پشتیبانی نموده و در بازار موجود می باشند مانند ADC, DAC, RTC, EEPROM, SmartSensor, ... در مقاله پیش رو به معرفی گذرگاه SPI (Serial Peripheral Interface) و نحوه تبادل اطلاعات توسط این گذرگاه می پردازیم.

## واژه های کلیدی: گذرگاه - گذرگاه های سریال - SPI

### مقدمه

اجزای مهم یک سیستم کنترلی، پردازشگر مرکزی و سنسورها می باشند. عموماً حسگرها و سنسورها توسط گذرگاه هایی به میکروکنترلرهای مرکزی متصل شده تا عملیات جمع آوری اطلاعات، خطی سازی، فیلتر نمودن اغتشاشات، پالایش سیگنال و اصلاح سیگنال، ذخیره سازی و نمایش نتایج توسط پردازنده ها صورت پذیرد. در این جا گذرگاه ها که واسط ما بین دستگاه های جانبی/ مدارات واسط و پردازشگرها می باشند از اهمیت به سزایی برخوردارند. در انتقال اطلاعات مابین سنسورها و میکروکنترلرها پارامترهای مهمی که مد نظر می باشند عبارتند از سادگی نحوه انتقال اطلاعات و توان پایین در

گذرگاه یا BUS مجموعه و دسته سیمی می باشد که از طریق آن اطلاعات، فرامین و دستورات بین اجزای داخلی یک سیستم کامپیوتری و واحدهای دیجیتال مختلف جابه جا می شوند. برخلاف روش اتصال نقطه به نقطه (Point to Point)، چندین دستگاه / واحد می توانند توسط این مجموعه سیم و مبتنی بر این زیرساخت به یکدیگر متصل شده و در تبادل اطلاعات بطنند. [1]

<sup>1</sup> عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

ارسال داده‌ها، افزایش بُرد، افزایش سرعت انتقال داده، بالاتر بردن قدرت اعتماد و کاهش هزینه‌ها. برخی از گذرگاه‌هایی که هم اکنون در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از RS232, RS485, GPIB, USB, I<sup>2</sup>C, SPI, IEEE1451, JTAG [2]. امروزه با پیشرفت تکنولوژی هر روزه گذرگاه‌های سریال جدیدتری معرفی می‌شوند. هدف از ارائه این گذرگاه‌ها تسهیل در برقراری ارتباط توسط کاهش تعداد سیم‌های ارتباطی، افزایش کارایی و راندمان و افزایش نرخ انتقال اطلاعات می‌باشد. امروزه برای تبادل اطلاعاتی که از سرعت و نرخ بالایی برخوردار نیستند گذرگاه‌های سریال ایده‌آل‌تر و اقتصادی‌تر از گذرگاه‌های موازی می‌باشند زیرا که به تعداد سیم کمتری نیاز دارند.

## معرفی گذرگاه SPI

گذرگاه SPI مخفف Serial Peripheral Interface می‌باشد. این گذرگاه سریال سنکرون که مبتنی بر روش Master-Slave می‌باشد توسط شرکت Motorola ابداع گردید. شرکت National Semiconductor نیز جداگانه روی گذرگاه‌ی با ساختار مشابه به نام MicroWire کار نمود که بعدها به عنوان یکی از زیرشاخه‌های گذرگاه SPI محسوب شد. در ابتدا هدف از طراحی این گذرگاه برقراری تبادل اطلاعات ما بین پردازنده مرکزی، تراشه‌های جانبی و ادوات جانبی کُند بود. اما اهمیت این گذرگاه به گونه‌ای شده که امروزه بسیاری از میکروکنترلرهای جدید، تراشه‌های جانبی و سنسورها این گذرگاه را پشتیبانی می‌کنند. نسل جدید این گذرگاه QSPI (Queued Serial Peripheral Interface) می‌باشد. [3]

گذرگاه SPI گذرگاهی سنکرون و سریال بوده یعنی به همراه اطلاعات سیگنال پالس ساعت نیز ارسال می‌گردد. سرعت تبادل اطلاعات می‌تواند تا چند مگابیت بر ثانیه نیز برسد. از دیگر ویژگی‌های این گذرگاه اینکه دو طرفه بوده و امکان ارسال و دریافت همزمان اطلاعات را دارا می‌باشد. سطح ولتاژ برای کلیه خطوط ۵ ولت می‌باشد. بنابراین برای تبادل اطلاعات به منبع تغذیه دیگری نیاز نخواهیم

داشت. این گذرگاه دارای چهار خط ارتباطی بوده که شامل ۲ خط اطلاعاتی دو طرفه، یک خط کنترلی SS و یک خط پالس ساعت می‌باشد. در شکل ۱ نحوه اتصال دو دستگاه مبتنی بر گذرگاه SPI نمایش داده شده است.

علیرغم این که این گذرگاه یک رشته سیم بیش از گذرگاه I<sup>2</sup>C داراست اما ساده‌تر بوده و امکان ارسال و دریافت توأمان اطلاعات را به صورت Full Duplex دارا بوده و بنابراین از پهنای باند دو برابری نسبت به گذرگاه I<sup>2</sup>C برخوردار می‌باشد. [2,3,4]

نحوه تبادل اطلاعات مبتنی بر شیفت رجیسترها ی سریال بوده و به ازای هر پالس ساعت یک بیت از واحد Slave به Master و همچنین یک بیت از واحد Master به Slave منتقل می‌شود. برای تبادل اطلاعات مبتنی بر این گذرگاه عموماً یکی از تراشه‌ها در مُد Master قرار گرفته و سایر تراشه‌ها در مُد Slave قرار می‌گیرند. تراشه Master وظیفه تولید پالس ساعت همزمان کننده و سیگنال‌های کنترلی (Slave Select) SS را برای سایر ادوات داشته و به عنوان Bus Controller و توزیع کننده و دریافت کننده اطلاعات استفاده می‌شود. یکی از مزایای این گذرگاه این است که ابعاد اطلاعاتی که ما بین ادوات جابه‌جا می‌شود می‌تواند متغییر باشد. به این معنی که طول ثبات‌های داخلی می‌تواند متغییر باشد. اما در اکثر مواقع بسته‌های اطلاعاتی ۸ بیتی می‌باشند. از دیگر نکات اینکه کدهای فرمان نیز همانند اطلاعات ما بین تراشه‌ها جابه‌جا می‌شوند.

## خطوط کنترلی و اطلاعات در گذرگاه SPI

هر تراشه Slave در گذرگاه SPI نیاز به دو خط کنترلی SS, SCLK و دو خط اطلاعاتی که به صورت زیر نامیده می‌شوند.

MOSI (Master Out Slave In)

MISO (Master In Slave Out)

هنگامی تراشه Slave انتخاب می‌شود که پایه کنترلی ورودی (Slave Select) SS فعال شده باشد. در تراشه Slave توسط پایه ورودی SCLK پالس‌های همزمان کننده دریافت می‌شود. سر MISO به صورت بافر سه

حالت می‌باشد و هنگامی که تراشه انتخاب نشده باشد در حالت امپدانس بالا قرار می‌گیرد. سر MOSI ورودی بوده و اطلاعات از طریق این پایه خوانده می‌شوند. در اکثر مواقع امر انتقال اطلاعات سریال با بیت با ارزش بیشتر آغاز می‌شود. [3,5]

اما تراشه Master دارای دو دسته خط می‌باشد، خطوط کنترلی SCLK, CS و دو خط اطلاعاتی MISO, MOSI. پایه SCLK خروجی بوده و پالس همزمان کننده روی آن ارسال می‌شود. تراشه Master توسط خطوط CS تراشه Slave را انتخاب می‌کند و با استفاده از خطوط اطلاعاتی MOSI, MISO اطلاعات را با تراشه‌های جانبی تبادل می‌کند. در این گذرگاه آغاز امر تبادل اطلاعات بر عهده تراشه Master می‌باشد و به ازای ارسال هر بیت یک بیت نیز دریافت می‌کند. [3,5]

### ساختارهای مختلف گذرگاه SPI

آرایش‌های مختلفی برای اتصال تراشه‌های SPI می‌توان متصور شد که به شرح زیر می‌باشند. [2]

- ۱- اتصال یک تراشه Master به یک تراشه Slave.
- ۲- اتصال یک تراشه Master به چند تراشه Slave.
- ۳- اتصال یک تراشه Master به چند تراشه Slave جهت افزایش ابعاد اطلاعات<sup>۱</sup>.

در روش اول یک تراشه Master و یک تراشه Slave وجود دارد. در روش دوم همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید هر تراشه Slave دارای یک خط کنترل جداگانه می‌باشد. در این روش تراشه Master توسط خطوط CS تراشه Slave مورد نظر را انتخاب نموده و با آن به تبادل اطلاعات می‌پردازد. اما در روش سوم صرفاً ابعاد اطلاعات افزایش یافته و خطوط کنترل تمامی تراشه‌ها به یکدیگر متصل شده است. فقط برخی از تراشه‌های یکسان مانند حافظه از این متد پشتیبانی می‌نمایند. این شیوه برای گسترش ابعاد اطلاعات استفاده می‌شود به عنوان مثال با استفاده از تراشه‌های حافظه ۸ بیتی، حافظه‌ای با کلماتی به طول ۱۶ بیتی پیاده‌سازی شود.

از دیگر آرایش‌های ممکنه می‌توان به حالت‌های زیر اشاره نمود. [5]

- ۱- آرایش single master.
- ۲- آرایش multi master.

در آرایش multi master چند تراشه Master داشته و در هر لحظه یکی از تراشه‌ها به عنوان Master انتخاب شده و کنترل گذرگاه را به عهده می‌گیرد. بدیهی است که در این آرایش خطوط کنترل CS و خط SCLK در میکروها و تراشه‌های Master از نوع بافر سه حالتی بوده و در هر لحظه یکی از این چند تراشه کنترل گذرگاه را بر عهده می‌گیرند.

### روندهای تبادل اطلاعات در گذرگاه SPI

برای تبادل اطلاعات چهار مُد و روش مختلف وجود دارد. توسط این روندها تعیین می‌شود که تبادل اطلاعات در لبه بالارونده و یا در لبه پایین‌رونده پالس ساعت صورت می‌گیرد همچنین تعیین می‌شود که حالت Idel پالس ساعت صفر بوده و یا یک می‌باشد. [3]

برای تعیین مُد عملکرد گذرگاه از دو بیت CPOL, CPH استفاده می‌شود. بیت CPOL مبین این است که وضعیت خط پالس ساعت به هنگام آغاز تبادل اطلاعات چگونه است. صفر بودن این بیت به معنای این است که در آغاز تبادل اطلاعات هنگامی که خط SS از تراشه فعال شده خط پالس ساعت صفر می‌باشد. یک بودن این بیت به این معناست که در آغاز تبادل اطلاعات خط پالس ساعت یک می‌باشد. بیت CPHA بیانگر این است که در کدام لبه پالس ساعت اطلاعات ذخیره می‌شود. صفر بودن این بیت به این معناست که اطلاعات در لبه بالا رونده ذخیره می‌شود و یک بودن این بیت به این معناست که در لبه پایین رونده اطلاعات ذخیره می‌شود. عموماً گذرگاه‌های SPI در مد صفر کار می‌کنند. در جدول یک و شکل ۴ مدهای مختلف تبادل اطلاعات در گذرگاه SPI نمایش داده شده است. [3,4,5]

<sup>1</sup> Cascading several SPI device (Daisy chain)

## زیر برنامه‌ای جهت ارسال و دریافت اطلاعات

لیست برخی از تراشه‌های معروفی که این گذرگاه را پشتیبانی می‌کنند در جدول ۲ آورده شده است.

زیر برنامه‌ای به زبان اسمبلی تراشه AT89C51 نوشته شده که گذرگاه SPI را پشتیبانی نماید. در آغاز تبادل اطلاعات خط پالس ساعت یک بوده و اطلاعات روی لبه پایین رونده پالس ساعت توسط دستگاه جانبی خوانده می‌شود. مقدار اولیه ثبات انباره پس از فراخوانی زیر برنامه RDWR\_SPI به دستگاه جانبی ارسال شده و همچنین پس از برگشت به برنامه اصلی درون انباره اطلاعاتی که از دستگاه جانبی دریافت شده قرار می‌گیرد. در این زیر برنامه بسته اطلاعاتی که توسط گذرگاه SPI تبادل می‌شود هشت بیتی است. این زیر برنامه توسط تراشه AD7890 تست شده است.

```
SDI      EQU      P1.0
SDO      EQU      P1.1
SCLK     EQU      P1.2
;=====
;          SUBROUTINE .
;=====
RDWR_SPI: MOV     R0,#08H
;
L0:      SETB   SCLK
        RLC    A
        MOV   SDO,C
        NOP
        CLR   SCLK
        NOP
        MOV  C, SDI
        MOV  ACC.0,C
        DJNZ R0,L0
;
        SETB SCLK
        RET
```

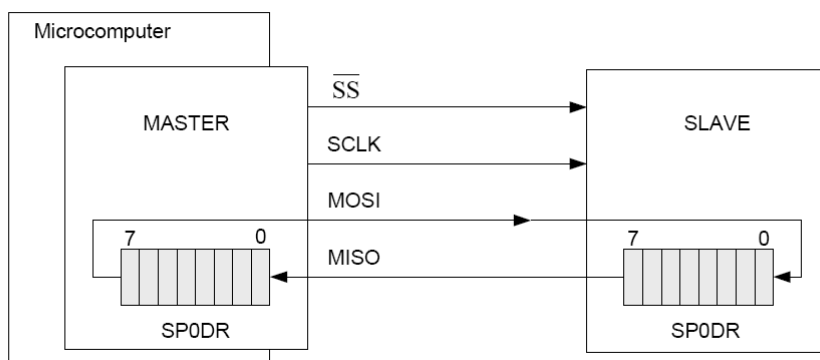
## نتیجه گیری

گذرگاه‌های سریال در قبال کاهش سرعت تبادل اطلاعات از مزایای سادگی طراحی، کاهش مسیرهای ارتباطی بین ادوات سخت‌افزاری و فیبر مدار چاپی، کاهش هزینه و کاهش توان مصرفی برخوردار است. گذرگاه SPI یکی از

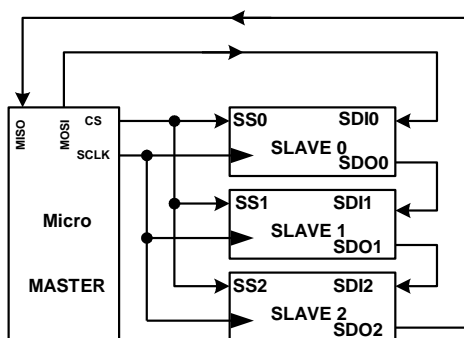
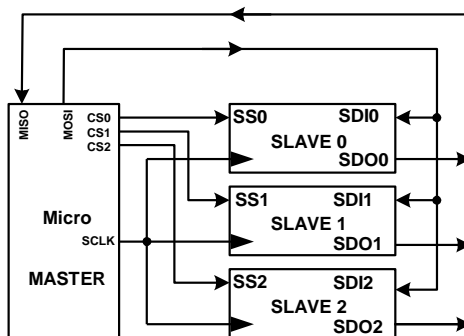
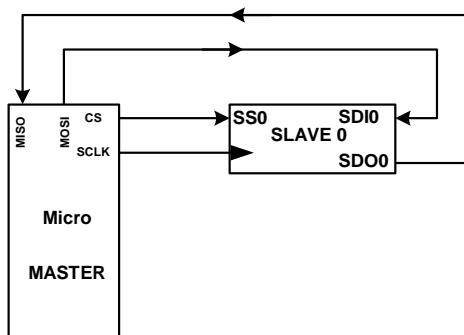
معروف‌ترین گذرگاه‌های سریالی بوده که در عین حال طرز کار ساده‌ای نیز دارد. گذرگاه SPI یکی از چندین گذرگاه پذیرفته شده‌ای می‌باشد که به صورت گسترده برای تبادل اطلاعات ما بین تراشه‌های دیجیتال استفاده می‌شود. از مزایای این تراشه اینکه به سادگی شبکه‌های BUS با پروتکل Listen talk قابل پیاده‌سازی می‌باشد.

## مراجع

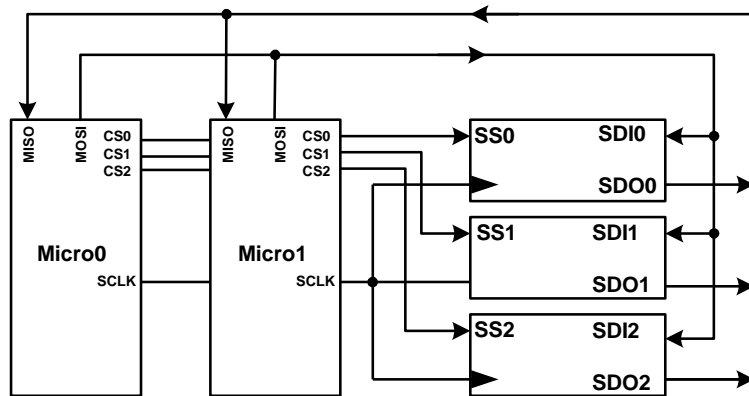
1. D. Kalinsky, R. Kalinsky; "Introduction to Serial Peripheral Interface"; <http://www.embedded.com>
2. "SPI - Serial Peripheral Interface"; <http://www.mct.net>
3. Motorola Inc. "SPI block user guide" V02.06. March 2002.
4. N. Nölker, A. Klemenz; "Interfacing Slow Peripherals to D.modules via SPI"; Digital Signalprocessing Technology; <http://www.dsignt.de>; 2000
5. Uvicom Inc. "Serial Peripheral Interface (SPI) and Microwire/Plus implementation Using the SX Communications Controller"; 2000



شکل ۱: خطوط ارتباطی در گذرگاه SPI

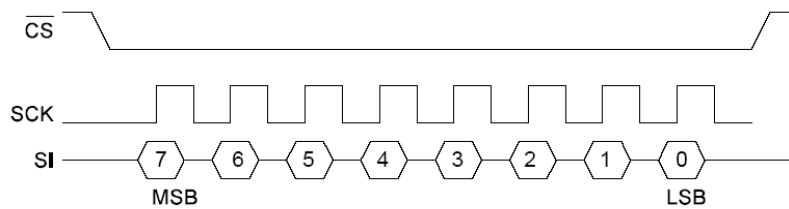


شکل ۲: آرایش‌های مختلف ارتباطی در گذرگاه SPI

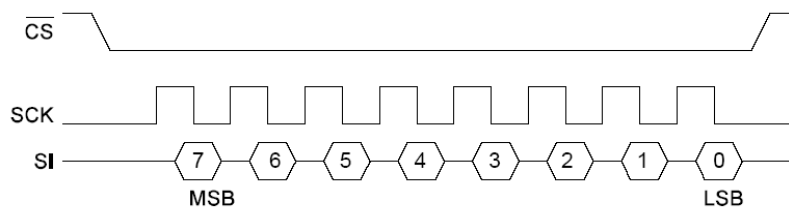


شکل ۳: آرایش multi master در گذرگاه SPI

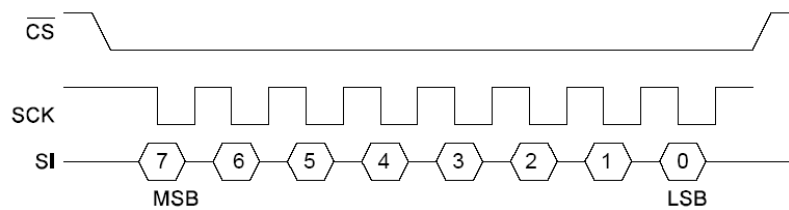
SPI Mode 0 : CPOL=0, CPHA=0



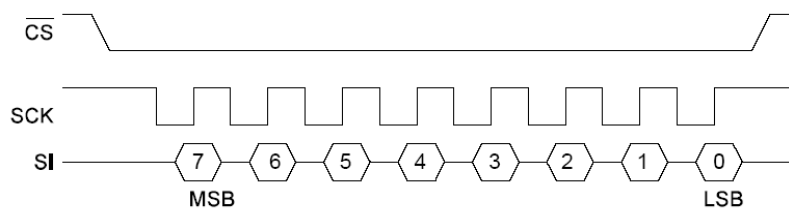
SPI Mode 1 : CPOL=0, CPHA=1



SPI Mode 2 : CPOL=1, CPHA=0



SPI Mode 3 : CPOL=1, CPHA=1



شکل ۴: نحوه تبادل اطلاعات در گذرگاه SPI

SPI mode	CPOL Clock polarities	CPHA Clock phase
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1

جدول ۱: مُدهای مختلف گذرگاه SPI

IC	Type
AD5302	DAC
AD7890	ADC
AT25040	EEPROM
AT45011	FLASH
DS1306	RTC
KP100	Pressure Sensor
MAX7219	LED Display Driver
LM74	Temperature Sensor
MAX349	MUX 8 to 1
MAX395	Switch
DS1267	Digital Potentiometer

جدول ۲: لیست تراشه‌های نمونه