



## درس سیستم‌های نهفته مبتنی بر هسته

تکلیف کامپیوتری ۴: یادگیری و نحوه پیاده‌سازی سخت افزاری پروتکل ارتباطی سریال SPI بمنظور استفاده

### در سیستم‌های نهفته

پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

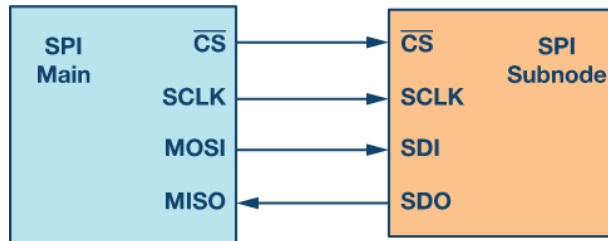
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دکتر احمد شعبانی

نیم‌سال دوم سال تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۱

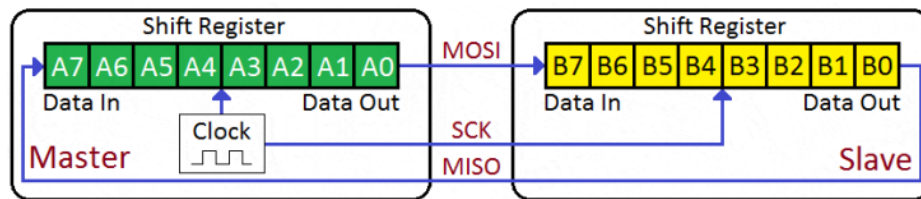
نگارش: علی ایمانقلی ([ali.imangholi@ut.ac.ir](mailto:ali.imangholi@ut.ac.ir))

**مقدمه:** هدف از این تمرین کامپیوتری یادگیری نحوه کارکرد و چگونگی پیاده‌سازی سخت افزاری پروتکل سریال SPI می‌باشد. این پروتکل یکی از پروتکل‌های رایج سنکرون و Full Duplex برای ایجاد یک ارتباط دو طرفه پرسرعت و کم مصرف در فواصل کوتاه می‌باشد. با استفاده از این پروتکل می‌توان ابزارهای جانبی متعددی را در یک سیستم نهفته به یکدیگر متصل نمود. شکل ۱ نحوه برقراری ارتباط SPI بین یک ماستر و یک گره اسلیو که می‌تواند انواع سنسورها یا ابزارهای جانبی مختلف باشد را نشان می‌دهد.



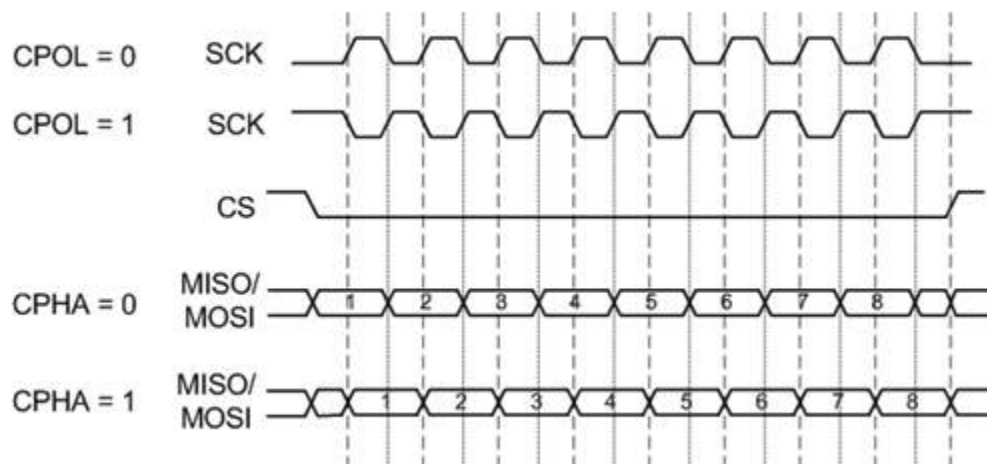
شکل ۱. نحوه اتصال دو گره ماستر و اسلیو در پروتکل SPI

این پروتکل با استفاده از یک پین انتخاب تراشه (CS) که با سطح منطقی صفر فعال می‌گردد می‌تواند گره مورد نظر را برای ایجاد ارتباط سریال انتخاب نماید. بعد از انتخاب تراشه مقصد با استفاده از این پین، پین کلاک از سمت گره ماستر تغذیه شده و به تمامی گره‌های اسلیو ارسال می‌گردد. شکل ۲ نحوه ارتباط بین ثباتهای ماستر و اسلیو را در حالت LSB First نشان می‌دهد. در این حالت بیت کم ارزش اولین بیتی است که از سمت گره ماستر خارج شده و به سمت گره اسلیو فرستاده می‌شود. این مورد برای ارسال از سمت اسلیو نیز صادق است و کم ارزشترین بین ثبات اسلیو ابتدا به سمت گره ماستر خارج می‌گردد. این فرآیند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که تمامی بیت‌های ثباتهای دو گره با هم جابجا شوند و در نهایت ماستر پین انتخاب تراشه اسلیو مربوطه را یک کرده و پین کلاک سریال را قطع می‌نماید.



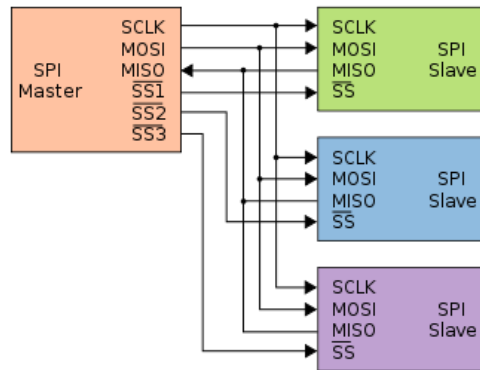
شکل ۲. نحوه ارتباط بین ثابتهای گره مستر و گره اسلیو در پروتکل SPI

شکل ۳ سیگنالهای زمانبندی ایجاد و خاتمه ارتباط SPI بین دو گره را در مدهای کاری مختلف نشان می‌دهد. در حالتیکه پلاریتی کلاک (CPOL) در وضعیت صفر و فاز کلاک (CPHA) در وضعیت یک قرار دارد مد کاری ارتباط سریال یک است. بعبارتی دیگر در مد کاری یک، کلاک ابتدا در وضعیت غیرفعال صفر قرار داشته و با شروع ارتباط نوسان می‌کند. ضمن اینکه، داده‌ها از سمت هر دو گره مستر و اسلیو بر روی لبه بالا رونده کلاک خارج شده (shifted in/ Shifted out) و هر کدام از گره‌ها از داده‌های ورودی روی لبه پایین رونده کلاک نمونه برداری می‌کنند. در این حالت هر گره بر روی لبه پایین رونده سیگنال ورودی را خوانده و سپس در لبه بالا رونده یک بیت شیفت به ثبات خود اعمال می‌کند.



شکل ۳. زمانبندی و نحوه ارسال اطلاعات بین گره مستر و اسلیو در پروتکل SPI

شکل ۴ نحوه ارتباط سریال SPI بین یک مستر و چند گره اسلیو را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴ می‌توان دریافت که برای ایجاد ارتباط سریال نیازی به خطوط ارسال و دریافت اطلاعات مجزا و اختصاصی برای هر گره اسلیو نیست و تمامی گره‌های اسلیو خطوط ارتباطی ارسال (MOSI) و دریافت (MISO) را به اشتراک می‌گذارند. لازم به ذکر است که تنها گره اسلیوی که پین انتخاب تراشه آن فعال شده باشد قادر به دریافت و ارسال اطلاعات می‌باشد و دیگر گره‌ها نسبت به داده روی خطوط ارتباطی MOSI هیچ واکنشی نخواهند داد و همچنین نسبت به خط داده MISO دارای امپدانس بالا (High 'Z') هستند.



شکل ۴. نحوه ارتباط چند گره اسلیو به یک مستر در پروتکل ارتباطی SPI

### قسمت اول (۵۰ نمره): با استفاده از زبان سخت افزاری Verilog ساختار مربوط به یک گره اسلیو SPI را به شکل

سخت افزاری توصیف نمایید. بمنظور پیاده سازی این گره اسلیو به فرضیات مسئله در ادامه توجه خاص نمایید.

- گره اسلیو مورد نظر شامل دو ثبات هشت بیتی است که در حالت LSB First ارتباط برقرار می کنند. اولین بیت وارد شده از سمت مستر (کم ارزشترین بیت) به اسلیو نشان دهنده آدرس ثبات مورد نظر جهت انجام عملیات نوشتن یا خواندن می باشد و هفت بیت بعدی، داده مورد نظر جهت کنترل وضعیت LEDها هستند. ثبات با آدرس صفر در گره اسلیو به هفت LED قرمز و ثبات با آدرس یک به هفت LED آبی مطابق با شکل ۵ متصل شده است. خروجی ثباتهای اسلیو در این تمرین هیچ استفاده ای ندارد و تنها برای اعتبارسنجی ارتباط سریال بکار گرفته می شود. لازم به ذکر است که داده های ثباتهای گره اسلیو تنها زمانی به مدارات LED اعمال می شوند که پین انتخاب تراشه یک شده باشد و در نتیجه ارتباط سریال خاتمه یافته باشد.

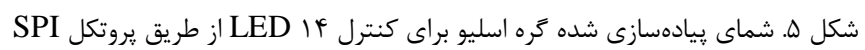
- گره اسلیو مورد نظر تنها در مد کاری یک پروتکل SPI فعالیت می کند.

### قسمت دوم (۳۰ نمره): تست بنچی بنویسید که ضمن درستی سنجی کد قسمت اسلیو پیاده سازی شده، بترتیب

ابتدا LEDهای قرمز را از LED شماره یک تا شماره هفت بترتیب با فاصله زمانی مشخص روشن و خاموش نماید. سپس اینکار برای LEDهای آبی تکرار شود. این کار میبایست برای LEDهای قرمز و LEDهای آبی در هشت مرحله مجزا ارتباط SPI صورت گیرد که در مرحله آخر تمامی LEDها خاموش میگردد. دقت شود زمانیکه LEDهای قرمز روشن هستند میبایست LEDهای آبی خاموش باشند و بالعکس. ضمن اینکه ثباتها در حالت پیشفرض در منطق صفر قرار دارند و در نتیجه تمامی LEDها خاموش هستند.

### قسمت سوم (۲۰ نمره): خروجی تست بنچ خود بمنظور درستی سنجی سخت افزار پیاده سازی شده را تفسیر

نمایید. برای اینکار از خروجی نرم افزار MODELSIM استفاده نموده و تصاویر خروجی را در گزارش خود بارگذاری نمایید. گزارش کد نوشته شده و خروجیهای استخراجی نیز در فرمت مناسب بارگذاری شود.



موفق و سلامت باشید