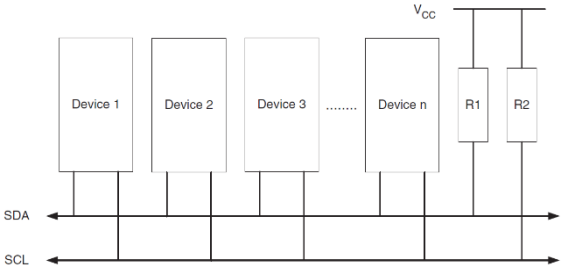
فعالیت قبل از آزمایش :

- در ادامهٔ متن، توضیحات مرتبط با ارتباط I^2C را مطالعه نموده و نحوهٔ پیاده‌سازی نمونهٔ آزمایشی این ارتباط را بررسی نمایید.

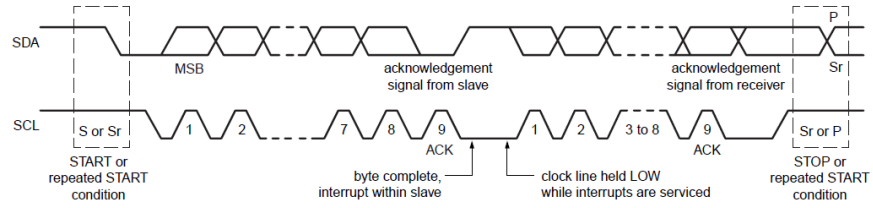
توجه : برنامه‌های نوشته شده در ابتدای جلسه تحویل گرفته می‌شود.

پیش‌زمینه : مقدمهٔ ارسال و دریافت سریال I^2C

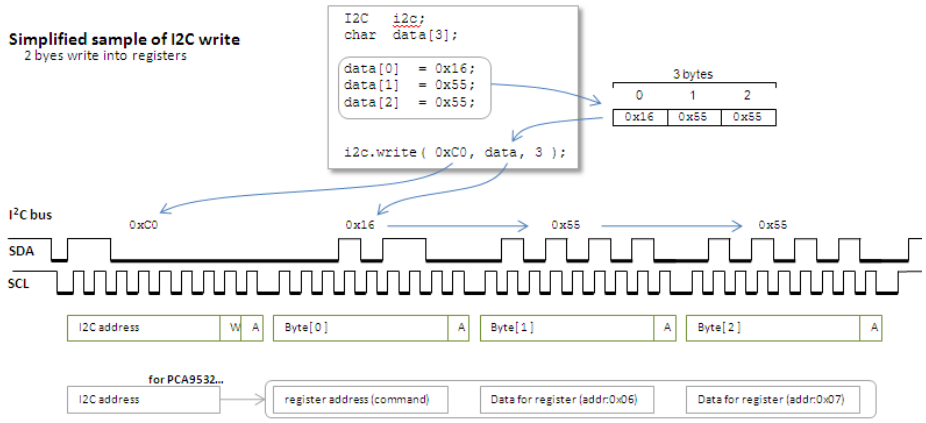
امروزه روشهای ارتباط سریال (ارتباط از طریق یک مسیر داده : سیم) متنوعی تعریف و در حال بهره‌برداری هستند. برخی روشها ارتباط را به صورت نقطه–به–نقطه (point-to-point) و برخی به صورت گذرگاه (bus) در اختیار می‌گذارند. در برخی روشها همراه با داده، سیگنال زمان‌بندی (clock) نیز ازسال می‌شود (synchronous). در روشهای دیگر تنها داده ارسال شده و برای تعیین زمان‌بندی روش ویژه‌ای در نظر گرفته می‌شود (asynchronous). روش ارتباطی I^2C از جمله روشهای گذرگاهی سنکرون است که عمدتاً برای ارتباط بین قطعات (بخشهای) درون یک سیستم (یک بورد معمولاً) بکار میرود. این روش از جهت سخت‌افزاری بسیار ساده و از جهت سرعت و تعداد بخشهای بر روی گذرگاه نیز برای اغلب کاربردها مؤثر است. در این روش دو هادی برای تبادل داده SDA و پالس ساعت SCL بین قطعات مختلف متصل می‌شود. فرکانسهای کاری متعارف آن ۱۰۰kHz ، ۴۰۰kHz و ۱MHz هستند. برای تأمین ویژگیهای الکتریکی مورد نیاز در گذرگاه، خروجیهای متصل به باس open drain هستند و لذا باید بر روی گذرگاه مقاومت pull-up قرار داد (بر روی هر دو خط که بسته به فرکانس کاری بین ۵۰۰ تا ۲k اهم در نظر گرفته می‌شود). I^2C دارای ساختار Master-Slave بوده و چندین Master می‌توانند در آن وجود داشته باشند. در شکلِ پایه، ۱۲۸ قطعه (device) می‌توانند بر روی یک گذرگاه قرار داشته باشند (اعم از master و slave).



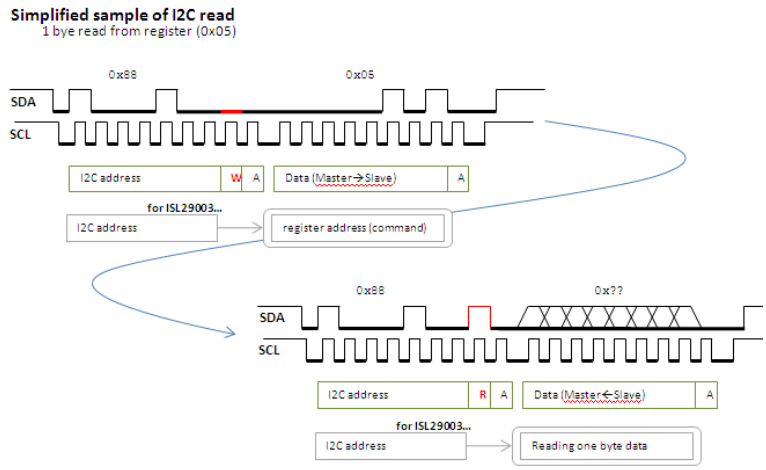
در حالت عادی خروجیها غیر غعال هستند و لذا به دلیل وجود مقاومتها، مقدار "1" بر روی هر دو خط گذرگاه قرار دارد. مقدار داده (که از طریق خط SDA انتقال می‌یابد) تنها هنگام low بودن خط SCL اعتبار دارد. از این طریق روش شروع ارسال داده و پایان آن تعریف می‌شود. هر قطعهٔ بر روی گذرگاه برای شروع تبادل داده (وضعیت master که تأمین کنندهٔ پالس ساعت خواهد بود) خروجی دادهٔ خود را "0" می‌کند. در این وضعیت "SDA="0 و "SCL="1 خواهند بود. این ترکیب شروع ارسال را مشخص می‌نماید که با وضعیت هنگام ارسال مقادیر اصلی متفاوت است. پس از آن با پایین آوردن SCL زمان بیت اول ارسالی شروع می‌شود. توجه شود که در I^2C بیتها بترتیب از وزن بالا به سمت وزن پایین بر روی خط قرار می‌گیرند. سپس SCL بالا برده می‌شود و زمان بیت اول تمام شده و به همین ترتیب بیتهای بعدی بر روی خط قرار خواهند گرفت (معمولاً مقصد بر روی لبهٔ بالارونده SCL داده را بر می‌دارد). بسته‌های ارسالی ۸بیتی هستند. در انتهای هر بسته بمدت یک پالس ساعت اضافی master مقدار "1" بر روی خط قرار می‌دهد. در این وضعیت master انتظار دارد مقصد که تا کنون دادهٔ هشت بیتی را دریافت کرده است با قرار دادن "0" بر روی خط SDA صحت عملیات را تأیید نماید. به این وضعیت تأیید (acknowledge) یا به صورت مختصر ACK می‌گویند. با توجه به open drain بودن خروجیهای متصل به خط، از نظر الکتریکی مشکلی پیش نمی‌آید. اگر این وضعیت رخ ندهد (یعنی مقصد خط SDA را low نکند) وضعیت negative acknowledge یا NAK رخ می‌دهد که به مفهوم عدم انتقال صحیح اطلاعات است. در چنین وضعیتی طراح باید اقدامات متعاقب را پیش‌بینی کرده باشد و مطابق آن رفتار کند (مثلاً عمل ارسال مجدداً تکرار شود یا



عملیات متوقف شده و پیغام خطا تولید شود). در هر ساختار گذرگاه I²C برای هر قطعهٔ متصل به گذرگاه یک آدرس ۷بیتی در نظر گرفته می‌شود. در هر عمل تبادل داده، master نخست آدرس مقصد را مشخص می‌نماید. آدرس ۷بیتی است و یک بیت نیز برای مشخص نمودن عمل خواندن یا نوشتن در نظر گرفته شده است. همهٔ قطعات متصل به گذرگاه، وقایع روی گذرگاه را رؤیت می‌کنند. قطعهٔ مقصد که آدرس خود را بر روی گذرگاه دریافت کرده ACK نموده و از این پس تا هنگامی که وضعیت پایان ارسال رخ دهد مخاطب این master خوهد بود. پس از ارسال آدرس slave ، مطابق قراردادهای دیگر (که مطابق نظر طراح سیستم در نظر گرفته می‌شود) بسته‌های متعاقب ارسال یا دریافت خواهند شد. در همهٔ این شرایط پالس ساعت از سوی master تأمین می‌شود اما بسته به شرایط داده می‌تواند از سوی master قرار داده شود (فرآیند write) یا از سوی slave ارائه گردد (فرآیند read). ACKها نیز از سوی مقصد انتقال داده‌ها پس از هر بستهٔ ۸بیتی انجام خواهد شد. دیده شد که هنگام شروع و همزمان با اعلام آدرس، وضعیت ارسال یا دریافت مشخص می‌شود. یک فرآیند



می‌تواند شامل چندین بخش ارسال یا دریافت باشد و به این منظور master بدون اعلام پایان عملیات (با مقصد مورد نظر) بستهٔ شروع مجدد ارسال نموده و در آن از وضعیت خواندن به نوشتن یا بالعکس می‌رود. پس از پایان یافتن انتقال داده بین دو قطعه، master وضعیت پایان انتقال داده را تولید می‌کند. در این وضعیت در شرایطی که master بر روی خط SCL مقدار "0" قرار داده، خط داده SDA را از low به high می‌برد. این وضعیت به معنی رها کردن گذرگاه توسط masterی که تا این لحظه گذرگاه را در اختیار داشته می‌باشد. قطعات قرار داشته بر روی گذرگاه این شرایط را مشاهده نموده و از این پس گذرگاه را برای دریافت آدرس خود رؤیت می‌کنند. همچنین سایر قطعات



می‌توانند به عنوان master گذرگاه را در اختیار بگیرند. در شکل مجموعهٔ ارسال ۳ بستهٔ ۸بیتی به مقصد (پس از تعیین آدرس مقصد) مشاهده می‌شود.

گذرگاه I²C از ابزارهای بسیار رایج برای تبادل داده بین قطعات (آی‌سی‌ها و moduleها) در مدارهای الکترونیکی است. قطعات متنوعی برای دسترسی به بخشهای خارجی بر اساس این گذرگاه طراحی شده و در اختیار قرار می‌گیرند. امروزه در بسیاری از ابزارهای پردازشی (CPUها، میکروکنترلرها و ...) بلوکهای سخت‌افزاری ویژهٔ ارتباط از طریق گذرگاه I²C در نظر گرفته شده است. با اینحال در برخی شرایط این ابزار درون قطعه وجود ندارد یا ممکن است طرح مورد نظر به تعداد بیشتری گذرگاه مستقل I²C نیاز داشته باشد. در این صورت لازم خواهد بود که پروتکل I2C به صورت نرم‌افزاری پیاده‌سازی شود. کدهای متنوعی برای پیاده‌سازی این پروتکل بر روی انواع بسترهای پروسسوری از طریق منابع مختلف در اختیار هستند. پیاده‌سازی با ایدهٔ مشابه آنچه در آزمایش دوم (ارتباط سریال آسنکرون) آورده شده بدست خود دانشجویان نیز امکان‌پذیر است.

در این آزمایش استفاده از بلوک I²C سخت‌افزاری موجود در میکروکنترلر مد نظر است. آماده‌سازی را می‌توان بکمک wizard در codevision انجام داد. در این صورت کتابخانهٔ I2C.h و توابع آماده‌سازی master_init() و slave_init() (بسته به انتخاب کاربر که بر اساس امکانِ قرار گرفتن قطعه در

شرایط master یا slave صورت می‌پذیرد) توسط wizard به کد افزوده می‌شوند. جهت انجام ارتباطها از توابع master_read() ، master_write()، slave_read() ، slave_write() استفاده می‌شود.

قطعات (آی‌سیها و مدولهای) متنوعی در بازار با درگاه I^2C عرضه می‌شوند که از جمله DACها و ADCها، واسطهای سایر درگاهها (Ethernet، WiFi، Bluetooth، ...)، حافظه‌ها (RAM، EEPROM، Flash، ...) سنسورها (حرارت، تنش، رطوبت، فشار، ...) هستند.

در این آزمایش ارتباط دو قطعهٔ میکروکنترلر همراه با یک ADC و یک DAC (۱۶بیتی حتی‌الامکان) بر روی باس I^2C برقرار می‌شود. برای هر یک از میکروکنترلرها یک صفحه‌کلید و یک نمایشگر هفت‌قسمتیِ چهاررقمی در نظر گرفته می‌شود. برنامهٔ دو میکروکنترلر بجز آدرسهای میکروکنترلرها کاملاً مشابه خواهند بود. هدف چنین است:

- با زدن دکمهٔ = مقدار نمایش داده شده بر روی نمایشگر خودی به میکروکنترلر دیگر منتقل و بر روی نمایشگر نمایش داده شود
- با زدن دکمهٔ – مقدار نمایش داده شده بر روی نمایشگر دیگر درخواست شده که پس از انتقال بر روی نمایشگر خودی نمایش داده شود
- با زدن دکمهٔ × مقدار نمایش داده شده برروی نمایشگر خودی به DAC منتقل شود
- با زدن دکمهٔ ÷ مقدار از ADC خوانده شده و بر روی نمایشگر خودی نمایش داده شود

کار آزمایشگاهی

۱- مجموعهٔ آزمایشی مطرح شده را در محیط شبیه‌ساز (مثلاً Proteus) آماده نموده و صحت عملکرد را مورد بررسی قرار دهید.