دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی‌تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی کامپیوتر

دستور کار آزمایشگاه مدارهای منطقی

تهیه و تنظیم:

گروه مدرسین

تابستان ۱۴۰۲

این دستور کار (دستور کار آزمایشگاه مدارهای منطقی) زیر نظر اساتید محترم آقایان دکتر مرتضی صاحب‌الزمانی و دکتر مهدی صدیقی، توسط گروه مدرسین تهیه شده است.

گروه مدرسین (به ترتیب الفبا):

۱- وحید امینی
۲- فرزانه ارزاقی
۳- جمیله بهزادی
۴- جواد تلافی
۵- امیر حاجی‌صادقی
۶- سعید سیدفرجی
۷- رضا فانی
۸- عظیم فرقدان
۹- هانیه قاسمی
۱۰- علی محمدپور
۱۱- پویا محمودی
۱۲- مرضیه هاشمی‌پور
۱۳- زهرا معین

- این نسخه از دستور کار در تابستان ۱۴۰۲ زیر نظر اساتید مورد بازبینی قرار گرفته است.

فهرست مطالب

فهرست مطالب ۳
فهرست شکل‌ها ۴
قوانین آزمایشگاه مدارهای منطقی ۶
نکات مهم ۷
۱- آشنایی با ابزارهای آزمایشگاه ۱۰
۲- آشنایی با گیت‌های منطقی پایه ۲۸
۳- پیاده‌سازی توابع منطقی با استفاده از جدول کارنو ۳۲
۴- آشنایی با زبان توصیف سخت‌افزار (HDL) ۳۴
۵- آشنایی با مالتی‌پلکسر، انکدر و دیکدر ۳۶
۶- پیاده‌سازی مقایسه‌کننده به‌صورت ساختاری ۳۷
۷- پیاده‌سازی جمع‌کننده-تفریق‌کننده به صورت ساختاری ۳۸
۸- پیاده‌سازی واحد محاسبه و منطق ۴۰
۹- تحلیل و پیاده‌سازی مدارات ترتیبی ۴۲
۱۰- پیاده‌سازی ماشین حالت ۴۶
پیوست ۱: راهنمای پایه‌های تراشه‌ها ۴۷
پیوست ۲: روش نوشتن TESTBENCH ۴۸
پیوست ۳: مراحل سنتز و بارگذاری کد توصیف سخت‌افزاری روی FPGA ۵۰
پیوست ۴: کار با نمایشگر هفت قسمتی ۶۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ نمونه‌هایی از مالتی‌مترهای مرسوم ۱۰
شکل ۱-۲ تنظیم سلکتور روی اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم با مقدار حداکثر ۲۰ ولت ۱۱
شکل ۱-۳ تنظیم سلکتور روی اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم برای برخی مالتی‌مترها ۱۱
شکل ۱-۴ کابل‌های اتصال یک سر فیشی یک سر سوزنی ۱۲
شکل ۱-۵ تنظیم سلکتور روی تست اتصال با بوق ۱۳
شکل ۱-۶ یک منبع تغذیه‌ی نوعی ۱۳
شکل ۱-۷ تنظیم ولتاژ کانال‌های ۱ و ۲ روی ولتاژهای مورد نظر ۱۴
شکل ۱-۸ کابل‌های دو سر سوسماری ۱۵
شکل ۱-۹ بردبورد ۱۶
شکل ۱-۱۰ انواع دیگری از بردبورد ۱۶
شکل ۱-۱۱ نمونه‌هایی از سوراخ‌های به هم متصل در بردبورد ۱۷
شکل ۱-۱۲ کل اتصالات یک بردبورد ۳۰ ستونی ۱۷
شکل ۱-۱۳ نحوه‌ی ایجاد اتصالات بردبورد ۱۸
شکل ۱-۱۴ اتصال دهنده‌های ستون‌های ۵ تایی سوراخ‌ها ۱۸
شکل ۱-۱۵ نحوه‌ی قرار گرفتن یک پایه از قطعات در بین دو نوار با خاصیت فنری ۱۹
شکل ۱-۱۶ نمونه‌هایی از قرار دادن قطعات در بردبورد ۱۹
شکل ۱-۱۷ نمونه‌ای از قرار دادن نادرست قطعات روی بردبورد ۱۹
شکل ۱-۱۸ اتصال ناخواسته‌ی پایه‌ی قطعات به هم ۲۰
شکل ۱-۱۹ اتصال تغذیه برای قطعات بردبورد ۲۰
شکل ۱-۲۰ اتصال ریل‌های بالا و پایین بردبورد به هم برای داشتن تغذیه‌ها از هر دو طرف آن ۲۱
شکل ۱-۲۱ راهی دیگر برای اتصال ریل‌های بالا و پایین تغذیه ۲۱
شکل ۱-۲۲ بردبوردهایی که ریل‌های تغذیه‌ی از وسط منقطع دارند ۲۲
شکل ۱-۲۳ دو نوع بردبورد با ریل‌های منقطع (بالا) و پیوسته (پایین) ۲۲
شکل ۱-۲۴ ایجاد اتصال در وسط ریل‌های تغذیه‌ی بردبوردهایی که ریل‌هایشان از وسط قطع می‌باشند ۲۳
شکل ۱-۲۵ سیم‌های آماده برای استفاده به منظور ایجاد اتصال بین قطعات ۲۳
شکل ۱-۲۶ مدار اتصال LED به منبع تغذیه ۲۴

شکل ۱-۲۷ دو روش اتصال مدار LED در بردبورد ۲۴
شکل ۱-۲۸ یک عکس واقعی از بستن مدارهای LED (به دو روش) ۲۴
شکل ۱-۲۹ تشخیص پایه‌های LED از هم ۲۵
شکل ۱-۳۰ کدهای مقاومتی ۲۶
شکل ۲-۱ نمونه‌هایی از تراشه‌های DIP ۲۸
شکل ۲-۲ نحوه‌ی اتصال تراشه‌های DIP به بردبورد ۲۸
شکل ۲-۳ بریدگی نیم‌دایره‌ای تراشه‌ها ۲۹
شکل ۲-۴ علامت فرورفتگی بالای پایه‌ی یک ۲۹
شکل ۲-۵ اتصال LED به خروجی تراشه‌ها ۲۹
شکل ۲-۶ یک نمونه مدار ۳۱
شکل ۴-۱ نوعی مدار افزونگی بیت توازن ۳۵

قوانین آزمایشگاه مدارهای منطقی

جهت افزایش کارآیی درس آزمایشگاه مدارهای منطقی، رعایت عدالت بین تمامی گروه‌های آزمایشگاه و آموزش حداکثری مطالب درس به صورت عملی، مدرسین و دانشجویان ملزم به رعایت نکات و قوانین ذیل هستند:

۱- تعداد جلسات در طول نیم‌سال **حداقل** ۱۲ جلسه خواهد بود (۱۰ جلسه آزمایش به همراه حداقل ۲ جلسه پروژه).

۲- مدرسین و دانشجویان موظفند رأس ساعت در کلاس حاضر شوند.

۳- پس از گذشت پنج دقیقه از شروع کلاس، به ازای هر پنج دقیقه تأخیر ۱۰ درصد نمره آن جلسه کسر می‌شود.

۴- حداکثر میزان تاخیر ۳۰ دقیقه است.

۵- دانشجویان می‌توانند در طول ترم **حداکثر یک جلسه** غیبت داشته باشند. در صورت غیبت بیش از یک جلسه مطابق قانون، درس و آزمایشگاه آن‌ها حذف غیبت خواهد شد.

۶- دانشجویان در صورت غیبت نمی‌توانند در کلاس دیگری شرکت کنند. جهت جبران نمره آزمایشی که دانشجو در آن جلسه غایب بوده است، دانشجو می‌تواند در ساعات خالی آزمایشگاه، آزمایش را انجام دهد. بدیهی است این امر غیبت را حذف نمی‌کند و در صورت غیبت مجدد درس و آزمایشگاه دانشجو حذف غیبت خواهد شد.

۷- در صورت غیبت و عدم جبران آن، نمره آن جلسه صفر منظور خواهد شد.

۸- اگر دانشجویانی نتوانند در طی یک جلسه آزمایشی را تمام کنند، در طول هفته موظفند تا در ساعات خالی آزمایشگاه، آزمایش را تکمیل کنند و پیش از شروع جلسه بعد نتایج را به مدرس خود تحویل دهند. حداکثر تعداد جلساتی که به درازا کشیده می‌شود ۳ جلسه در طول نیمسال است. دانشجو برای تکمیل آزمایش نمی‌تواند به گروه‌های دیگر ملحق شود.

۹- آزمایش‌ها در گروه‌های دو نفره انجام می‌شوند و میزان فعالیت اعضای گروه تعیین کننده نمره آن‌ها خواهد بود (در صورت عدم فعالیت یکی از اعضای گروه آن فرد نمره‌ای دریافت نخواهد کرد).

۱۰- هر آزمایش شامل یک پیش‌گزارش است. این پیش‌گزارش باید به صورت **دست نویس** و **پیش از شروع آزمایش‌ها** به مدرس تحویل داده شود. پیش‌گزارش مطلوب هر آزمایش در دستور کار آمده است.

۱۱- ارائه گزارش کار آزمایش‌ها از آزمایش چهارم به بعد الزامی نیست و تحویل خروجی صحیح به مدرس کفایت می‌کند.

۱۲- جهت کسب نمره قبولی در آزمایشگاه، کسب حداقل نمره قبولی در درس الزامی است.

۱۳- جهت حفظ حرمت کلاس و نظافت آزمایشگاه، خواهشمند است از خوردن و آشامیدن در طول کلاس خودداری نمایید.

۱۴- وارد آوردن هرگونه خسارت و لطمه به تجهیزات آزمایشگاه مستلزم جبران خسارت است.

۱۵- بارم‌بندی تقریبی نمره آزمایشگاه (که به اساتید درس گزارش خواهد شد) به صورت زیر خواهد بود:

الف) پیش‌گزارش‌ها: ۱۰%

ب) انجام آزمایش‌ها: ۵۵%

پ) پروژه: ۳۵%

نکات مهم

پیش از شروع آزمایش‌ها ضروری است تا دانشجویان گرامی این بخش را مطالعه فرمایند و در طی جلسات آزمایشگاه این نکات را رعایت نمایند.

۱- قبل از انجام هر آزمایش، مبحث تئوری مربوط به آن آزمایش به‌طور کامل مطالعه شود، چرا که در حین جلسه، وقت کافی برای توضیح و یادگیری قسمت تئوری وجود ندارد.

۲- در آزمایش‌های آخر، لازم است موارد ذکر شده در آزمایش‌های قبلی و ابتدایی را به خاطر داشته باشید. پس اگر آزمایشی را انجام می‌دهید، حتماً علاوه بر گزارش کاری که به مربی خود تحویل می‌دهید، برای خود نیز یادداشت بردارید تا بعداً به مشکل برنخورید.

۳- هرگاه جایی در آزمایش‌ها و نقشه‌های مدارها، اتصال خروجی تراشه‌ای مشخص نشده باشد، آن را آزاد رها کنید (به جایی وصل نکنید) ولی هیچ‌گاه ورودی یک تراشه را نمی‌توان به جایی وصل نکرد چون این کار باعث تاثیرپذیری زیاد مدار نسبت به نویز می‌شود.

۴- هیچ‌گاه خروجی یک تراشه را به خروجی تراشه‌ی دیگر یا V_{CC} و GND وصل نکنید. این کار به تراشه صدمه می‌رساند (با این توضیحات متوجه می‌شویم که مهم است بدانیم کدامیک از پایه‌ها مربوط به خروجی تراشه و کدامیک مربوط به ورودی آن می‌شوند. این امر مستلزم تسلط روی عملکرد مدار است. در نتیجه باز هم اهمیت مطالعه‌ی قسمت تئوری جلوه‌گر می‌شود).

۵- هیچ‌گاه دیودهای نورانی (یا اصولاً هر قطعه‌ای که در آن LED به کار رفته مثل هفت قسمتی‌ها و ماتریس‌های LED) را مستقیماً به خروجی تراشه یا منبع تغذیه وصل نکنید، بلکه آن را با یک مقاومت بین ۱۰۰ تا ۳۳۰ اهمی سری نموده، و سپس وصل کنید.

۶- تراشه‌های TTL، نیاز به منبع تغذیه ۵ ولتی دارند ولی تراشه‌های CMOS می‌توانند با منبع تغذیه‌های ۳ تا ۱۵ ولتی کار کنند.

۷- قسمت مهم کار در این آزمایشگاه عیب‌یابی مدارها است. صرفاً وصل‌کردن مدار چندان مهم نیست؛ بلکه مهم، عیب‌یابی آن است. معمولاً مداری که وصل می‌کنید، دارای عیب‌هایی است و کمتر مداری بدون اشتباه وصل می‌شود. پس باید یاد بگیرید که بتوانید هر مداری را (حتی مداری که خودتان در بستن آن نقشی نداشته‌اید)، عیب‌یابی کنید. برای این کار لازم است هر آزمایشی را که انجام می‌دهید و با هر تراشه‌ای که آشنا می‌شوید، طرز کار آن را دقیقاً یاد بگیرید تا وقتی که در مدارهای بزرگتر، از این تراشه‌ها در کنار هم استفاده می‌شود، بتوانید با پی‌گیری ولتاژهای خروجی‌های قطعات مدار، به مشکل کار پی ببرید.

۸- دقت کنید باز کردن و دوباره بستن مداری که درست کار نمی‌کند، راه حل درستی نیست. سعی کنید خودتان مشکل کار را پیدا کنید.

۹- در آزمایش‌های اول با سطوح ولتاژ آشنا می‌شوید. سعی کنید که محدوده‌ی ولتاژهای '۱' منطقی و '۰' منطقی درست را به خاطر بسپارید تا در عیب‌یابی مدارها وقتی به سطح ولتاژی غیر معمول برخوردید، بدانید که در آنجا ممکن است مشکلی وجود داشته باشد. وقتی می‌خواهید ولتاژ خروجی تراشه‌ای را بخوانید، اگر خروجی آن به LED متصل است، اول LED را جدا کنید و بعد ولتاژ را بخوانید.

۱۰- تا مطمئن نشدید که یک تراشه خراب است، اقدام به تعویض آن نکنید. حتماً اول به نحوی مطمئن شوید که تراشه مشکل دارد. بهترین راه برای اطمینان از خراب بودن تراشه، تست کردن جداگانه‌ی آن روی یک بردبورد سالم است. یادتان نرود که برای اطمینان بیشتر، ولتاژها را از روی پایه‌ی فلزی تراشه بخوانید.

۱۱- تراشه‌هایی که فکر می‌کنید دچار مشکل هستند را پس از اطمینان از خراب بودن به جعبه‌ی خود در آزمایشگاه بر نگردانید تا بعداً همین تراشه‌های معیوب باعث اتلاف وقت دیگران یا خودتان نشوند.

۱۲- سعی کنید ولتاژهایی که با مالتی‌متر می‌خوانید، از روی پایه‌های فلزی تراشه‌ها باشد (یعنی ترمینال فلزی مالتی‌متر را با استفاده از یک تکه سیم که محکم به آن وصل کرده‌اید دقیقاً به پایه‌ای که می‌خواهید مقدارش را بخوانید تماس دهید نه به سوراخ‌های بردبورد)؛ چون احتمال خرابی بردبورد یا قطع بودن سیم‌ها وجود دارد. حتماً می‌دانید که برای خواندن مقدار ولتاژ جایی توسط مالتی‌متر، یک سر (ترمینال به رنگ مشکی) مالتی‌متر را باید به زمین وصل کرد و ترمینال دیگر آن (به رنگ قرمز) را به جایی که می‌خواهید ولتاژ آن را اندازه بگیرید. پس برای راحتی کار می‌توانید در ابتدای آزمایش یک ترمینال مالتی‌متر را به‌طور ثابت به زمین (GND) مدار وصل کنید.

۱۳- همیشه قبل از شروع کار، با مالتی‌متر چک کنید که اصولاً ولتاژ تغذیه به مدار و تراشه‌ها می‌رسد یا خیر. با بررسی کردن پایه‌های مربوط به تغذیه‌ی تراشه‌ها می‌توانید قطعی‌های احتمالی سیم‌ها یا خرابی بردبورد (در راه رساندن ولتاژ تغذیه) را چک کنید. گاهی اوقات مداری که می‌بندید دارای اشکالی است که روی ولتاژ تغذیه اثر می‌گذارد و آن را کم می‌کند و حتی گاهی این ولتاژ را به حدود صفر می‌رساند. در این صورت باید در مدار دنبال جایی بگردید که احتمالاً خط V_{CC} ناخواسته به زمین (GND) وصل شده باشد. اگر مدار پیچیده است و پیدا کردن چنین موقعیتی مشکل است کافیست تک تک سیم‌های مدار (از سیم‌های تغذیه شروع کنید) را از جای خود جدا کنید و بعد به جای خود برگردانید تا اینکه به سیمی برسید که با جدا کردن آن، ولتاژ تغذیه به مقدار اصلی خود برگردد. با این کار متوجه می‌شوید که این سیم مشکل را بوجود آورده است و باید چک کنید که اشکال کار در وصل کردن این سیم چه بوده است.

۱۴- همیشه فقط دو سیم از منبع تغذیه به بردبوردی که مدار را روی آن می‌بندید بکشید و در مدار هر جایی نیاز به منبع تغذیه داشتید از ریل‌هایی که این سیم‌ها به آن‌ها متصل شده استفاده کنید (دقت کنید که در برخی بردبوردها چهار ریل افقی بردبورد از وسط منقطع می‌باشند و در صورت نیاز باید آن‌ها را با سیم به هم متصل کرد). کشیدن تعداد زیادی سیم از منبع تغذیه، مدار را شلوغ و کار را مشکل می‌کند.

۱۵- ، سیم (یا مقاومت، خازن یا مواردی شبیه این‌ها) را از روی تراشه‌ها رد نکنید. چون در این صورت اگر آن تراشه خراب باشد جابه‌جایی آن مشکل خواهد بود و همچنین رد کردن قطعات با پایه‌های لخت از روی تراشه‌ها یا از روی هم احتمال اتصال ناخواسته آن‌ها را به هم و به تراشه افزایش می‌دهد.

۱۶- هیچ وقت مطمئن نباشید مداری که بسته‌اید عاری از خطاست و دلیل کار نکردن آن خرابی قطعات است. اشتباه ممکن است همه جا و توسط هر کسی (حتی ماهرترین افراد) بوجود آید. پس اشکالی ندارد که در مداری که بسته‌اید، اشتباه وجود داشته باشد؛ بلکه مهم این است که بتوانید از مدار جواب بگیرید. باز هم تذکر داده می‌شود که بستن مدار به تنهایی کافی نیست، باید بتوانید مداری که بسته‌اید (توسط خودتان یا دیگران) را به بهترین نحو و در کوتاه‌ترین زمان عیب‌یابی کنید و این کار جز با صبر و حوصله و همچنین تمرین و ممارست زیاد ممکن نمی‌شود. سعی کنید در این آزمایشگاه، عیب‌یابی را به بهترین نحو یاد بگیرید.

۱۷- مدار پیچیده‌ای که خود شامل قطعات مختلف است را می‌توان این گونه اشکال‌زدایی کرد که بعد از دادن ورودی‌ها و دیدن خروجی‌های نهایی، اگر این خروجی‌ها، با خروجی‌هایی که مورد نظر ماست، متفاوت باشند می‌توان یک مرحله به عقب برگشت (مثلاً اگر خروجی‌ها از تراشه‌ای گرفته می‌شوند به ورودی‌های آن تراشه رجوع کرد) و آن خطوط را چک کرد، اگر این خطوط مقادیر درست مورد نظر را داشتند، متوجه می‌شویم اشکال در تراشه‌ی مذکور وجود دارد و باید آن تراشه یا قطعات متصل شده به آن با دقت بیشتری چک شوند تا دقیقاً به عامل خطا رسید. ولی اگر این خطوط هم نادرست باشند، باز هم باید به یک مرحله عقب‌تر برگشت و این کار را آنقدر تکرار کرد تا به قطعه یا قطعات یا مسیرها یا به طور کلی هر مورد (یا مواردی) که مشکل را ایجاد کرده‌اند رسید. به این نکته هم توجه داشته باشید که ممکن است مداری به ازاء یک یا چند ورودی خاص جواب بدهد ولی به ازاء یک یا چند ورودی دیگر جواب ندهد. بدیهی است که این مدار را نمی‌توان مدار سالمی فرض کرد. همچنین ممکن است به مشکلی از مدار پی ببرید و آن را مرتفع کنید ولی کماکان خروجی‌های مدار، خروجی‌های مورد نظر نباشند. از اینجا نتیجه می‌گیریم که باز هم در مدار مشکل وجود دارد که باید دوباره کارهای فوق‌الذکر را تکرار کرد تا مشکل(های) دیگر هم برطرف شوند.

۱- آشنایی با ابزارهای آزمایشگاه

در اینجا به ابزارهای اساسی مربوط به آزمایشگاه مدارهای منطقی که زیاد با آن‌ها سروکار خواهید داشت اشاره می‌شود. در صورتی که در حین انجام برخی آزمایش‌ها به صورت استثنا به ابزار خاص دیگری نیاز داشته باشید، توضیحات تکمیلی در آزمایشگاه توسط مدرس داده خواهد شد.

(الف) مالتی‌متر

مالتی‌مترهای مرسوم می‌توانند سه عمل اصلی اندازه‌گیری ولتاژ، اندازه‌گیری جریان و اندازه‌گیری مقاومت را انجام دهند. در ضمن بعضی از مالتی‌مترها توانایی‌های دیگری از جمله اندازه‌گیری خازن، فرکانس، بتای ترانزیستور و تست دیود را هم دارند.

در شکل ۱-۱ نمای ظاهری نمونه‌هایی از مالتی‌مترها را مشاهده می‌کنید. اگر چه ممکن است مالتی‌مترها شکل‌های متفاوتی داشته باشند، ولی با دانستن طرز کار یکی از آن‌ها می‌توان تا حد زیادی به نحوه‌ی کار با دیگر مالتی‌مترها پی‌برد.

شکل ۱-۱ نمونه‌هایی از مالتی‌مترهای مرسوم

همان‌طور که از شکل ۱-۱ پیداست قسمت اصلی مالتی‌متر را یک کلید سلکتور چرخان و یک صفحه نمایش تشکیل می‌دهد. در آزمایشگاه مدارهای منطقی بیشتر با قسمت اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم مالتی‌متر و گاهی هم خواندن مقدار مقاومت و تست اتصال (با بوق) سروکار داریم.

برای سنجش ولتاژ مستقیم، دکمه سلکتور چرخان مالتی‌متر را روی ۲۰V که در شکل ۱-۲ مشخص شده می‌گذاریم. در این حالت ولتاژ ۲۰ ولت حداکثر ولتاژی است که مالتی‌متر می‌تواند اندازه بگیرد (اصولاً در هر وضعیت، ولتاژ، جریان، مقاومت و بقیه‌ی موارد، عددی که سلکتور نشان می‌دهد، نشان‌دهنده‌ی بیشترین مقداری است که مالتی‌متر در آن وضعیت می‌تواند اندازه بگیرد). اینکه چرا عدد ۲۰ ولت انتخاب شده، به این دلیل است که در آزمایشگاه مدارهای منطقی با ولتاژهای حدود ۵ ولت سروکار داریم و اگر ولتاژ کمتر از ۲۰ را روی سلکتور ملاحظه کنید می‌بینید که ۲ ولت است و برای اندازه‌گیری ۵ ولت مناسب نیست. ولتاژهای بیشتر از ۲۰ ولت هم به خاطر اینکه در آن‌ها دقت کار پایین می‌آید معمولاً برای کار در این آزمایشگاه انتخاب نمی‌شوند.

شکل ۱-۲ تنظیم سلکتور روی اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم با مقدار حداکثر ۲۰ ولت

البته برای نوع دیگر مالتی‌متر که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، فقط کافیست که سلکتور را روی علامت مشخص شده در شکل ۱-۳ قرار دهیم و خود مالتی‌متر عمل تنظیم دقت و حداکثر ولتاژ را به صورت خودکار انجام می‌دهد. در برخی مالتی‌مترهای دیگر، کلیدی به نام RANGE (یا نامی مشابه) وجود دارد که با کمک آن می‌توان دقت و حداکثر ولتاژ را تنظیم کرد.

شکل ۱-۳ تنظیم سلکتور روی اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم برای برخی مالتی‌مترها

سپس باید کابل‌های اتصال یک سر فیشی یک سر سوزنی (شکل ۱-۴) که عموماً برای راحتی کار به دو رنگ قرمز و مشکی می‌باشند (ولی از نظر عملکرد با هم فرقی ندارند) را به ترتیب به دو سوکت VΩHz و COM متصل کنیم. طرف

دیگر آن‌ها را باید به جایی که می‌خواهیم اختلاف پتانسیل دو سرش را اندازه بگیریم، متصل کنیم. معمولاً بیشتر اوقات نیاز به خواندن ولتاژ نقاطی از مدار داریم. برای این منظور، ترمینال قرمز (سوکت VΩHz) را به نقطه‌ی مورد نظر از مدار وصل می‌کنیم. همچنین ترمینال مشکی (متصل شده به سوکت COM مالتی‌متر) را نیز به زمین مدار (قطب منفی منبع تغذیه) متصل می‌کنیم.

در ضمن اگر جای ترمینال‌ها را جابه‌جا متصل کنید، اشکالی رخ نمی‌دهد و فقط منفی ولتاژ مورد نظر را به ما نشان می‌دهد. دقت نمایید که مالتی‌متر در حالت HOLD قرار نداشته باشد چرا که در اینصورت آخرین مقدار قبل از Hold کردن را نشان می‌دهد و تغییرات را دنبال نمی‌کند. حالت HOLD در صفحه نمایش نشان داده می‌شود و با دکمه HOLD (فشاری یا قطعی/وصلی) می‌توان آن را انتخاب یا حذف کرد.

توجه داشته باشید که باید یک تکه سیم کوتاه به سرهایی که قرار است به مدار متصل شوند وصل کنید (یک سر آن را بیشتر لخت کنید و دور فلز سوزنی سر کابل بپیچید تا محکم شود) چون سرهای سوزنی به راحتی داخل سوراخ‌های بردبورد نمی‌روند و محکم نمی‌ایستند و در صورت فشار دادن بیش از حد به سوراخ بردبورد صدمه وارد می‌کنند.

شکل ۱-۴ کابل‌های اتصال یک سر فیشی یک سر سوزنی

حالت دیگری از مالتی‌متر که گاهی به آن نیاز پیدا می‌کنیم خواندن مقدار مقاومت است. در این حالت کلید سلکتور چرخان را روی یکی از حالت‌های مقاومت (Ω) قرار می‌دهیم و ترمینال‌ها هم به همان دو سوکت VΩHz و COM وصل می‌شوند. در این حالت مقداری که در نمایشگر مشاهده می کنید، مقدار مقاومت است. توجه داشته باشید که نباید همزمان به دو سر کابل‌های مالتی‌متر (قسمت فلزی آن‌ها) دست بزنید چرا که در این حالت مقاومت بدن شما با مقاومت مورد اندازه‌گیری سری یا موازی شده و عدد خوانده شده بسته به مورد ممکن است با واقعیت تفاوت زیادی پیدا کند.

حالت دیگر مورد نیاز، تست اتصال است که همانطور که در شکل ۱-۵ نشان داده شده سلکتور مالتی‌متر را روی علامت مشخص شده قرار می‌دهیم و ترمینال‌ها را به همان دو سوکت VΩHz و COM وصل می‌کنیم. در این صورت اگر دو سر ترمینال به دو نقطه وصل شوند که توسط یک رسانا (یا با یک مقاومت کم) به هم متصل هستند، دستگاه بوق میزند. این حالت برای جاهایی که با چشم نمی‌توان اتصال بین آن‌ها را چک کرد مثلاً سیم‌های دارای روکش یا بین سوراخ‌های بردبورد مناسب است.

شکل ۱-۵ تنظیم سلکتور روی تست اتصال با بوق

برای اندازه‌گیری جریان باید سلکتور را روی گزینه مناسب A قرار داد و ترمینال‌های قرمز و مشکی را هم به ترتیب به mA و COM متصل کرد (جابجایی آن‌ها با هم فقط منفی جریان را نشان می‌دهد). دو ترمینال را باید به صورت سری در مسیر جریانی که قرار است اندازه‌گیری شود، قرار داد.

(ب) منبع تغذیه

در شکل ۱-۶ نمای ظاهری یک نمونه از منابع تغذیه را مشاهده می‌کنید. ممکن است منابع تغذیه ظاهرهای مختلفی داشته باشند ولی با دانستن طرز کار یکی، می‌توان از نوع‌های دیگر منابع ولتاژ نیز استفاده کرد.

این منبع تغذیه دارای ۴ خروجی متمایز است که با CH1، CH2، CH3 و CH4 نشان داده شده‌اند. دو خروجی CH1 و CH2 (که سوکت‌هایشان در وسط منبع تغذیه قرار دارد) قابل تنظیم هستند و با ولوم‌های پیچی VOLTAGE مربوطه می‌توان ولتاژشان را تنظیم کرد و همزمان در صفحات نمایش CH1 MASTER (V) و CH2 SLAVE (V) مقدارشان را مشاهده کرد (بهتر است زیاد به مقداری که می‌بینید اتکا نکنید و خود خروجی کانال را با مالتی‌متر به صورت دقیق‌تر اندازه بگیرید).

شکل ۱-۶ یک منبع تغذیه‌ی نوعی

در شکل ۱-۷، نشان داده شده که کانال ۱ روی ولتاژ ۵ ولت و کانال ۲ روی ولتاژ ۳۰/۷ ولت تنظیم شده است. خروجی‌های CH3 و CH4 به ترتیب دارای ولتاژهای ثابت و غیر قابل تغییر ۵ ولت و ۱۲ ولت می‌باشند. به خاطر داشته برای آنکه خروجی‌های منبع تغذیه فعال باشند، باید کلید OUTPUT که در سمت راست قرار دارد فشرده شده باشد (حالت ON) در غیر این‌صورت ولتاژ تمامی خروجی‌ها صفر خواهد بود (این کلید برای نرساندن موقت ولتاژ به مداری که به منبع وصل کرده‌اید و معمولاً می‌خواهید مشکلاتش را برطرف نمایید مناسب است).

شکل ۱-۷ تنظیم ولتاژ کانال‌های ۱ و ۲ روی ولتاژهای مورد نظر

توجه داشته باشید که کلید INDEP/TRACK که در وسط منبع قرار دارد بالا باشد (فشرده نشده باشد «حالت INDEP») چون در غیر این‌صورت (حالت TRACK) دو کانال ۱ و ۲ با هم موازی (در صورتی که کلید پایینی آن که کلید SERIES/PARALLEL است فشرده شده باشد «حالت PARALLEL») یا سری (در صورتی که فشرده نشده باشد «حالت SERIES») خواهند شد که به ترتیب برای داشتن جریان بیشتر (حاصل‌جمع جریان‌های دو کانال) و ولتاژ بیشتر (حاصل‌جمع ولتاژهای دو کانال) به کار می‌آیند. در این آزمایشگاه هم ولتاژ و هم جریان هر یک از کانال‌ها به تنهایی برای آزمایش‌ها کفایت کرده و نیازی به این کار نیست. در نتیجه نیازی به فشردن کلید INDEP/TRACK و انجام تنظیمات مربوطه نیست).

برای اتصال هر یک از کانال‌هایی که انتخاب کرده‌اید به مدار، می‌توانید از کابل‌های دو سر سوسماری استفاده کنید که در شکل ۱-۸ نشان داده شده‌اند. معمولاً کابل قرمز را به سوکت + و کابل مشکی را به سوکت – وصل می‌کنیم (رنگ‌ها صرفاً جهت تسریع کار در نظر گرفته می‌شوند و فرقی با هم ندارند). خروجی‌های وسطی کانال‌های ۱ و ۲ که با علامت زمین مشخص شده‌اند به جایی وصل نمی‌شوند. توجه داشته باشید که باید یک تکه سیم کوتاه به سرهایی که قرار است به مدار متصل شوند وصل کنید.

شکل ۱-۸ کابل‌های دو سر سوسماری

دو ولوم CURRENT روی منبع، برای تنظیم حداکثر جریان تحویلی کانال‌های ۱ و ۲ هستند. همچنین برای اینکه به دلیل اتصال اشتباه به قطعات داخل مدار لطمه‌ای وارد نشود، می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. در صورتی که حداکثر جریانی که قرار است مدارتان از منبع بکشد را بدانید (در حد چند یا چندین میلی‌آمپر برای آزمایش‌های این آزمایشگاه)، می‌توانید ولوم مذکور را تنظیم کنید که منبع از آن جریان بیشتر تحویل ندهد. برای این منظور روی ولتاژ مورد نظرتان خروجی را اتصال کوتاه کنید (دو سر منفی و مثبت را به هم متصل کنید). اکنون ولوم CURRENT را آنقدر بچرخانید که صفحه نمایش مربوطه CH1 MASTER (A) و CH2 SLAVE (A) مقدار جریانی که مد نظرتان است (کمی بیشتر از حداکثر جریان مدار به خاطر احتیاط) را نشان دهد. بعد از اینکه خروجی مورد نظر را از حالت اتصال کوتاه در آوردید منبع آماده استفاده است. اگر به هر دلیلی جریانی بیش از مقدار مشخص شده بخواهد کشیده بشود منبع، آن را محدود نموده و چراغ کوچک .C.C مربوطه را روشن می‌کند.

از این به بعد هر جا به علامت ➢ برخوردید یعنی باید کار خواسته شده را عملاً انجام دهید.

- **با مالتی‌متر ولتاژ خروجی‌های ثابت (CH3 و CH4) و قابل تنظیم (CH1 و CH2) منبع تغذیه را اندازه بگیرید (گاهی اصطلاحاً می‌گوییم بخوانید).**

(ج) بردبورد

برای بستن و امتحان کردن مدارها راه‌های مختلفی وجود دارد که از بین آن‌ها بهترین گزینه برای کارهای آزمایشگاهی استفاده از بردبورد است. این وسیله بیشتر برای کارهای نمونه‌سازی (Prototyping) استفاده می‌شود که در آن از درستی عملکرد مداری که قرار است بعدها روی بوردهای مدار چاپی (PCB) ساخته شود اطمینان حاصل می‌شود و اگر بنا باشد تغییری در ساختار مدار برای بهبود آن داده شود در این مرحله به راحتی انجام می‌شود.

چون در بردبورد بر خلاف بردهای مدار چاپی عمل لحیم‌کاری صورت نمی‌گیرد، این وسیله قابل استفاده‌ی مجدد است. یک نمونه از بردبوردهای مرسوم در آزمایشگاه را در شکل ۱-۹ می‌توانید مشاهده کنید.

شکل ۱-۹ بردبورد

البته نمونه‌های دیگری هم از بردبورد وجود دارند که برخی از آن‌ها را در شکل ۱-۱۰ می‌بینید. اصول استفاده از همه‌ی آن‌ها یکسان است و در ادامه شرح داده خواهد شد.

شکل ۱-۱۰ انواع دیگری از بردبورد

همانطور که در شکل‌ها مشاهده می‌کنید، روی بردبوردها تعدادی سوراخ وجود دارد که پایه‌های قطعات الکترونیکی و الکتریکی و همچنین سیم‌هایی که اتصالات آن‌ها را به هم ایجاد می‌کنند در آن‌ها قرار می‌گیرد. این سوراخ‌ها به روش خاصی که در ادامه به آن اشاره می‌شود در داخل بردبورد به هم متصل هستند.

بردبورد شامل یک تعداد (نوعاً ۳۰ و ۶۴ به‌طور مرسوم) ستون ۵ تایی از سوراخ‌ها است که در امتداد هم در دو ردیف چیده شده‌اند. فاصله‌ی این ستونها از هم به صورت استاندارد است. در شکل ۱-۱۱ اتصال این ستون‌های ۵ تایی به یکدیگر را ملاحظه می‌کنید (این اتصال‌ها در داخل بردبورد انجام شده است). در ضمن چهار ردیف از سوراخ‌ها (موسوم به ریل) در بالا و پایین بردبورد وجود دارند و سوراخ‌های هر کدام از این ردیف‌ها به هم متصل هستند.

در شکل ۱-۱۱ دو نمونه از این ردیف‌ها مشخص شده‌اند. دقت داشته باشید که با اینکه در این ردیف‌ها دسته‌های ۵ سوراخی با یک فاصله از هم جدا شده‌اند ولی از نظر الکتریکی جدا نیستند و به هم متصلند. در شکل ۱-۱۲ هم کل اتصالات یک بردبورد ۳۰ ستونی (Half Size) نشان داده شده است. در این شکل خطوط بین دایره‌ها که نمادی از سوراخ‌ها می‌باشند، اتصالات را نشان می‌دهند.

شکل ۱-۱۱ نمونه‌هایی از سوراخ‌های به هم متصل در بردبورد

شکل ۱-۱۲ کل اتصالات یک بردبورد ۳۰ ستونی

اگر پوشش پشتی بردبورد را باز کنید (عموماً با چسب محکمی چسبانده شده تا به راحتی و در حین کار جدا نگردد)، می‌توانید نحوه‌ی ایجاد اتصالات مذکور را ببینید. در شکل ۱-۱۳ این اتصالات در چند مورد و با زوایای مختلف نشان داده شده است.

در این آزمایشگاه به هیچ عنوان پوشش پشت بردبوردها را باز نکنید.

شکل ۱-۱۳ نحوه‌ی ایجاد اتصالات بردبورد

اتصالات ستون‌های ۵تایی سوراخ‌ها توسط قطعاتی فلزی که در شکل ۱-۱۴ نمونه‌ای از آن‌ها را مشاهده می‌کنید ایجاد می‌شوند. در حقیقت قسمت بالای این قطعات شامل ۵ جفت نوار فلزیست که اتصالات فنرگونه‌ای ایجاد می‌کنند و هر جفت دقیقاً در راستای یک سوراخ بردبورد قرار می‌گیرد که پایه‌های قطعات پس از وارد شدن در سوراخ بین دو نوار قرار گرفته و توسط آن جفت نوار محکم نگه داشته می‌شود و در ضمن به ۴ سوراخ دیگر از نظر الکتریکی متصل می‌شود.

شکل ۱-۱۴ اتصال دهنده‌های ستون‌های ۵ تایی سوراخ‌ها

در شکل ۱-۱۵ نمونه‌هایی آورده شده که در آن‌ها می‌توانید ببینید که چگونه پایه‌ای از یک قطعه‌ی الکترونیکی بین دو نوار فلزی قرار گرفته شده و این دو نوار به علت خاصیت فنری که دارند آن پایه را محکم کرده‌اند تا به راحتی در حین انجام آزمایش تکان نخورد و اتصال الکتریکی آن با اجزاء دیگر برقرار بماند.

شکل ۱-۱۵ نحوه‌ی قرار گرفتن یک پایه از قطعات در بین دو نوار با خاصیت فنری

در شکل ۱-۱۶ هم نحوه‌ی قرار دادن تعدادی از قطعات در بردبورد را مشاهده می‌کنید. همانطور که مشاهده می‌شود پایه‌های قطعات باید در سوراخ‌های بردبرد فشار داده شوند تا توسط فنرهای مذکور محکم نگه داشته شوند.

شکل ۱-۱۶ نمونه‌هایی از قرار دادن قطعات در بردبورد

باید توجه داشت که به دلیل اینکه ستون‌های ۵ تایی سوراخ‌ها از داخل به هم متصل می‌باشند، قرار دادن دو پایه یا بیشتر از یک قطعه‌ی الکترونیکی در یک ستون باعث می‌شود که عملاً از نظر الکتریکی به هم متصل شوند و در نتیجه قطعه‌ی مورد نظر کار خود را انجام ندهد. در نتیجه چینشی شبیه به آنچه در شکل ۱-۱۷می‌بینید نادرست است.

شکل ۱-۱۷ نمونه‌ای از قرار دادن نادرست قطعات روی بردبورد

نکته‌ی دیگری که باید به هنگام قرار دادن قطعات دقت کنید آن است که پایه‌های قطعات، مخصوصاً آن‌هایی که بلند می‌باشند آنقدر به هم نزدیک نشوند که در حین کار سهواً به هم برخورد کنند، چرا که در این صورت به علت هادی بودن پایه‌ها، اتصالات ناخواسته به وجود می‌آید. مخصوصاً وقتی مدار شلوغ است و قرار است تعداد زیادی قطعه در یک جای کوچک در کنار هم قرار گیرند. شکل ۱-۱۸ نمونه‌ای از این برخوردهای سهوی را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۱۸ اتصال ناخواسته‌ی پایه‌ی قطعات به هم

حال به نحوه‌ی استفاده از بردبورد برای پیاده‌سازی مدارات می‌پردازیم. معمولاً در همه‌ی مدارها نیاز به یک منبع تغذیه داریم. معمولاً از چهار ردیف بالا و پایین بردبورد برای اتصال تغذیه استفاده می‌کنیم چون آن‌ها مناسب این کار هستند و کار رساندن تغذیه‌ی الکتریکی مورد نظر به قطعات را آسان می‌سازند. بدین منظور کافیست از دو قطب مثبت و منفی منبع تغذیه دو سیم به دو سطر از چهار سطر بردبورد که از این به بعد به آن‌ها ریل گفته می‌شود (و نامگذاری مرسومی هم هست) متصل کنیم. در شکل ۱-۱۹ این مطلب نشان داده شده است. توجه داشته باشید که ریل‌ها از نظر الکتریکی به ریل‌های دیگر متصل نیستند (و اینطور هم نباید باشد چون عملاً داشتن چند ریل به کار خاصی نمی‌آمد).

شکل ۱-۱۹ اتصال تغذیه برای قطعات بردبورد

با توجه به مورد ذکر شده چنانچه بخواهیم هم از بالای بردبورد تغذیه داشته باشیم و هم از پایین آن باید ریل‌های بالا و پایین را (نظیر به نظیر) به هم وصل کنیم. این کار مطابق شکل ۱-۲۰ انجام می‌شود. البته دقت کنید که ریل‌ها مشابه هم می‌باشند و اینکه از کدام ریل برای کدام ولتاژ (مثبت یا منفی) استفاده شود مهم نیست و فقط به قرارداد ما و اینکه به چه صورتی راحت هستیم بستگی دارد. البته در برخی بردبوردها از نوارهای رنگی قرمز و آبی (در بعضی مشکی) در کنار ریل‌ها برای کمک به این قضیه استفاده شده است.

شکل ۱-۲۰ اتصال ریل‌های بالا و پایین بردبورد به هم برای داشتن تغذیه‌ها از هر دو طرف آن

راهکار دیگری که برای این منظور می‌توان انجام داد و کمی هم مطمئن‌تر و محکم‌تر است، استفاده از سوزن‌های ماشین دوخت (مطابق شکل ۱-۲۱) است. قبل از این کار از رسانا بودن دو سر سوزن‌های مذکور و اینکه پوشش عایقی نداشته باشند اطمینان حاصل کنید (برای این کار می‌توان از تست بوق مالتی‌متر برای تشخیص رسانایی استفاده کرد).

شکل ۱-۲۱ راهی دیگر برای اتصال ریل‌های بالا و پایین تغذیه

دقت داشته باشید در برخی از بردبوردهای بزرگ (Full Size) ریل‌های تغذیه از وسط از هم جدا شده‌اند و به هم متصل نیستند. با نگاه کردن به شکل ظاهری بردبوردها می‌توان این نوع‌ها را تشخیص داد. عموماً فاصله‌ی بین سوراخ‌های وسط ریل‌ها در اینگونه بردبوردها بیشتر (به اندازه‌ی دو سوراخ) است در صورتی که در بردبوردهای با ریل‌های متصل فاصله‌ی سوراخ‌های وسط با سوراخ‌های دیگر فرقی نمی‌کند و همه به اندازه‌ی یک سوراخ فاصله دارند. این مطلب در شکل ۱-۲۲ نشان داده شده است. در بردبوردهایی که ریل‌ها با رنگ نشانه‌گذاری شده‌اند هم، برای نشان دادن این امر، خطوط رنگی در وسط منقطع شده‌اند (شکل ۱-۲۳).

شکل ۱-۲۲ بردبوردهایی که ریل‌های تغذیه‌ی از وسط منقطع دارند

شکل ۱-۲۳ دو نوع بردبورد با ریل‌های منقطع (بالا) و پیوسته (پایین)

در اینگونه بردبوردها باید مطابق شکل ۱-۲۴ از سیم‌های کوتاهی (یا سوزن ماشین دوخت) برای اتصال بین دو نیمه‌ی ریل‌ها استفاده کرد تا تغذیه را در کل امتداد بردبورد داشته باشیم (البته در صورتی که نیاز داشته باشیم).

شکل ۱-۲۴ ایجاد اتصال در وسط ریل‌های تغذیه‌ی بردبوردهایی که ریل‌هایشان از وسط قطع می‌باشند

اتصال بین قطعات را می‌توان با استفاده از سیم‌ها انجام داد. نمونه‌ای از سیم‌های مخصوص این کار در شکل ۱-۲۵ نشان داده شده است. در صورت عدم وجود چنین سیم‌هایی می‌توان از سیم‌های معمولی (مفتولی نازک) روکش دار استفاده کرد. توجه داشته باشید که این سیم‌ها نه کلفت باشند که با چند بار استفاده خاصیت فنری بردبوردها را از بین ببرند و نه چندان نازک که اتصال برقرار نگردد یا مدام قطع شود. بهترین قطر برای این سیمها به اندازه‌ی قطر پایه‌ی قطعات مرسوم الکترونیکی است.

شکل ۱-۲۵ سیم‌های آماده برای استفاده به منظور ایجاد اتصال بین قطعات

می‌خواهیم مداری ببندیم که در آن یک LED (دیود نورانی) را روشن کنیم. این مدار در شکل ۱-۲۶ نشان داده شده است. داشتن مقاومت الزامی است چون بدون آن LED خواهد سوخت. می‌توان از کلید استفاده نکرد و در این صورت LED به طور دائم روشن خواهد بود.

شکل ۱-۲۶ مدار اتصال LED به منبع تغذیه

این مدار را به روش‌های گوناگونی می‌توان روی بردبورد سوار کرد که در شکل ۱-۲۷ دو روش اتصال نشان داده شده است که از نظر الکتریکی هر دو دقیقاً یک کار را انجام می‌دهند. در شکل ۱-۲۸ هم یک عکس واقعی که از بسته شدن مدارهای فوق روی بردبورد گرفته شده نشان داده شده است.

شکل ۱-۲۷ دو روش اتصال مدار LED در بردبورد

شکل ۱-۲۸ یک عکس واقعی از بستن مدارهای LED (به دو روش)

توجه داشته باشید که LED ها قطبی هستند، یعنی پایه‌هایشان با هم فرق می‌کند. در شکل ۱-۲۶ سر بالایی LED سر آند (Anode) و سر پایینی آن سر کاتد (Cathode) است. شکل ۱-۲۹ سه روش شناسایی پایه‌های LED (آند و کاتد) را از هم نشان می‌دهد. اگر پایه‌های LED سالم باشند و از قبل کوتاه نشده باشند، آن پایه که بلندتر است آند است و دیگری کاتد. در غیر اینصورت به پایین بدنه‌ی آن نگاه کنید. طرفی که یک قسمت تخت روی آن ایجاد کرده‌اند کاتد است و دیگری آند. راه دیگر نگاه کردن به داخل LED است. طرفی که فلز بزرگتری (منظور با سطح مقطع بیشتر) دارد کاتد و آن دیگری آند است.

شکل ۱-۲۹ تشخیص پایه‌های LED از هم

مقاومت به کار رفته در مدار فوق ۳۳۰ اهم است که وظیفه‌ی آن ممانعت از عبور جریان بسیار زیاد و به تبع آن جلوگیری از سوختن LED است (توجه داشته باشید که LED یک دیود است و در صورت وصل شدن به یک منبع جریان بزرگ‌تر از V_t به صورت ایده‌آل جریان بی‌نهایت را از خود عبور خواهد داد. البته LEDها ایده‌آل نیستند و یک مقاومت داخلی کوچک جریان را کنترل خواهد کرد ولی معمولا آن مقاومت داخلی آنقدر بزرگ نیست که بتواند مانع سوختن LEDها که با ولتاژ ۵ ولت کار می‌کنند شود بنابراین قرار دادن یک مقاومت در محدوده چند صد اهم می تواند جریان عبوری را محدود و مانع سوختن LEDها شود).

شکل ۱-۳۰ (الف) و (ب) دو نحوه‌ی نمایش کدهای مقاومتی را نشان می‌دهند. اغلب مقاومت‌های استفاده شده در آزمایشگاه‌ها دارای ۴ نوار (۴ باند) می‌باشند (مقاومت بالایی شکل ۱-۳۰(الف)) و رنگ چهارم که با کمی فاصله از بقیه قرار گرفته (یک روش تشخیص ترتیب شماره‌ی رنگ‌ها) اغلب طلاییست (تولرانس ۵%).

اگر رقم متناظر رنگ اول یک مقاومت ۴ باندی را a، رنگ دوم آن را b و رنگ سوم آن را c بنامیم، مقدار مقاومت بر حسب اهم از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\overline{ab} \times ۱۰^{c}$$

که در آن $\overline{ab}$ به معنی در کنار هم قرار دادن دو رقم a و b است. مثلا زرد، بنفش، سبز مقدار 4.7MΩ را می‌دهد. مقاومت‌های استاندارد با ضرایب 1، 1.2، .۵1، 1.8، 2.2، 2.7، 3.3، 3.9، 4.7، ۶۵.، 6.8 و 8.2 می‌باشند.

(الف)

	1st digit	2nd digit	3rd digit	multiply	tolerance	TCR (ppm/K)
Black	0	0	0	1		
Brown	1	1	1	10	1% (F)	100
Red	2	2	2	100	2% (G)	50
Orange	3	3	3	1K		15
Yellow	4	4	4	10K		25
Green	5	5	5	100K	0.5% (D)	
Blue	6	6	6	1M	0.25% (C)	10
Violet	7	7	7	10M	0.1% (B)	5
Gray	8	8	8	100M	0.05% (A)	
White	9	9	9	1G		
Gold				0.1	5% (J)	
Silver				0.01	10% (K)	
None					20% (M)	

(ب)

شکل ۱-۳۰ کدهای مقاومتی

آزمایش ۱

- **۱.۱)** به جای کلید در شکل ۱-۲۶، دو ترمینال یک مالتی‌متر که در حالت آمپرمتر قرار داده شده را قرار دهید و مقدار جریانی که از مدار می‌گذرد را حساب کنید. در صورتی که مالتی‌متر با قابلیت اندازه‌گیری جریان در اختیار ندارید یا در اختیار دارید ولی قسمت آمپرمتر آن خراب است (معمولاً فیوزهای محافظ قسمت آمپرمتر به دلیل حساسیت بالا و اتصال اشتباه می‌سوزند پس زیاد با این مورد مواجه می‌شوید)، کافیست برای اندازه گیری جریان عبوری از مدار، ولتاژ دو سر مقاومت را بخوانید و تقسیم بر مقدار مقاومت کنید (به جای کلید در این حالت یک سیم قرار دهید).
- **۲.۱)** مقدار ولتاژ روی مقاومت و ولتاژ روی LED را با مالتی‌متر که در حالت ولت‌متر قرار داده شده بخوانید و بنویسید.
- **۳.۱)** مقاومت را با مقادیر ۱۰۰ اهم، ۴۷۰ اهم و ۱ کیلو اهم عوض کنید و در هر حالت مراحل ۱ و ۲ را انجام دهید. در ضمن در هر حالت به شدت نور LED و اینکه خاموش یا روشن است هم توجه داشته باشید و مشاهدات و نتیجه‌گیری‌ها را یادداشت کنید.

۲- آشنایی با گیت‌های منطقی پایه

پیش‌گزارش

- تراشه‌های مورد استفاده در این آزمایش هر کدام چه گیتی هستند؟ درون هرکدام از آن‌ها چند گیت منطقی وجود دارد؟
- وجود پایه‌های VCC و GND در تراشه‌های منطقی به چه منظور است؟
- حدود ولتاژهای صفر و یک منطقی چقدر است؟

وسایل مورد نیاز

- منبع تغذیه، بردبورد، مالتی‌متر،
- مقاومت ۱۵۰ اهمی، دیود نورانی (LED)،
- تراشه‌های ۷۴۰۰، ۷۴۰۴، ۷۴۰۸، ۷۴۳۲، ۷۴۸۶ و ۴۰۱۱.

در شکل ۲-۱ نمونه‌هایی از پکیج (بسته‌بندی) تراشه‌های مرسوم موجود در آزمایشگاه را مشاهده می‌کنید که به آن‌ها DIP (Dual In-line Package) گفته می‌شود و دارای دو ردیف پایه به موازات هم می‌باشند.

شکل ۲-۱ نمونه‌هایی از تراشه‌های DIP

شکل ۲-۲ نحوه‌ی اتصال تراشه‌های DIP به بردبورد

برای قرار دادن این تراشه‌ها در بردبورد به روشی که در شکل ۲-۲ نشان داده شده عمل می‌کنیم. توجه داشته باشد که حتماً باید دو ردیف پایه‌ها در دو طرف شیار وسطی بردبورد قرار گیرند چرا که در غیر اینصورت همه‌ی جفت پایه‌های روبروی هم تراشه به علت اینکه ستون‌های ۵ تایی بردبورد در داخل آن به هم متصل‌اند، نظیر به نظیر به هم وصل می‌شوند.

هر پایه‌ی تراشه یک شماره به خود اختصاص داده و شماره‌گذاری پایه‌ها بدین صورت است که وقتی از بالا به تراشه نگاه کنید و طوری آن را در دست بگیرید که بریدگی نیم‌دایره‌ی آن (که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است) در سمت چپ واقع شود، پایه پایینی سمت چپی (که گاهی با یک نقطه فرورفتگی در بالای آن مشخص می‌شود و در شکل ۲-۴ نشان داده شده است) پایه‌ی شماره‌ی ۱ شده و پایه‌ی کناری آن پایه‌ی شماره‌ی ۲ و به همین ترتیب تا پایه‌ی انتهای پایینی تراشه می‌شماریم و سپس از روبروی آن (انتهای سمت راست بالایی) ادامه می‌دهیم (شماره‌گذاری به شکل پاد ساعتگرد است). بدین صورت پایه‌ی آخر، پایه‌ی انتهای سمت چپ بالایی تراشه خواهد بود.

شکل ۲-۳ بریدگی نیم‌دایره‌ای تراشه‌ها

شکل ۲-۴ علامت فرورفتگی بالای پایه‌ی یک

آزمایش ۲

- **۱.۲)** تراشه‌ی 7404 (که شامل شش گیت NOT است) را آزمایش کنید.

برای این کار این تراشه را روی بردبورد قرار دهید و پایه‌های زمین یا GND (پایه‌ی شماره‌ی ۷) و V_{CC} (پایه‌ی شماره‌ی ۱۴) آن را به یک منبع تغذیه با خروجی ۵V متصل کنید. (نقشه‌ی تراشه‌ها در انتها آمده است)

به ورودی یکی از گیتهای NOT تراشه، به ترتیب ولتاژ ۰ و ۵ ولت (یعنی ۰ و ۱ منطقی) وصل کنید و خروجی را در این دو حالت با مالتی‌متر اندازه بگیرید. ولتاژ خروجی در دو حالت صفر منطقی و یک منطقی چه مقداری است؟ حدود سطح‌های ولتاژ صفر منطقی و یک منطقی را در این آزمایش یادداشت کنید تا در آزمایش‌های بعدی به هنگام خطایابی از آن استفاده کنید.

- با باز نگه داشتن ورودی (وصل نکردن به هیچ منبعی) یا به اصطلاح N.C. (No Connection)، خروجی چه مقداری به خود می‌گیرد؟ صفر منطقی است یا یک منطقی؟ در این صورت، ورودی صفر منطقی تعبیر می‌شود یا یک منطقی؟ همچنین خروجی تراشه 7404 را در دو حالت یک منطقی و صفر منطقی با استفاده از دیود نورانی (LED) مشاهده کنید.

شکل ۲-۵ اتصال LED به خروجی تراشه‌ها

توجه کنید که LED را مستقیماً به خروجی وصل نکنید؛ چون ممکن است جریان زیادی کشیده شود و تراشه یا دیود بسوزد. بدین منظور LED را معمولاً با یک مقاومت بین ۱۰۰ تا ۳۳۰ اهم به خروجی مورد نظر وصل می‌کنند (شکل ۲-۵).

✎ **۲.۲)** تراشه‌های ۷۴۰۰، ۷۴۰۸، ۷۴۳۲، ۷۴۸۶ و ۴۰۱۱ را هم آزمایش کنید. آن‌ها را به ترتیب روی بردبورد قرار دهید و طبق جدول ۲-۱ به پایه‌های ورودی، مقدار دهید و **مقدار ولتاژ خروجی** را در جدول یادداشت کنید.

همان طور که در درس الکترونیک دیجیتال آموزش داده خواهد شد، برای ساخت مدارات منطقی تکنولوژی ساخت-های متفاوتی وجود دارد و این تکنولوژی‌ها می‌توانند باعث تغییراتی در عملکرد تراشه نسبت به دیگری شوند. برای مثال، این که اگر ورودی یک تراشه را به هیچ ولتاژی وصل نکنیم چه خواهد شد و یا این که پایه‌های خروجی تراشه تا چه حد قادر به تولید جریان هستند بستگی به تکنولوژی دارد. در ادامه ما دو خانواده رایج از تراشه‌ها (با تکنولوژی‌های TTL و CMOS) را آزمایش می‌کنیم.

تفاوت بین اندازه‌ی ولتاژهای خروجی در حالت‌های یک منطقی و صفر منطقی بین تراشه‌های TTL (سری 7400 یا تراشه‌هایی که عموماً شماره آن‌ها با 74 شروع می‌شود با حروف وسط S، LS، ALS، F، H، بدون حرف وسط) و CMOS (تراشه‌هایی که عموماً شماره آن‌ها با 4 شروع می‌شود یا شروع با 74 و حرف وسط عموماً HC و آن‌هایی که C دارند) را با توجه به اعدادی که در جدول پر کرده‌اید بیان کنید. در سطر اول جدول هم حرف وسط تراشه را در جای خالی پر کنید (در صورتی که حرف وسط نداشت با یک علامت ضربدر در جای خالی این را نشان دهید).

✎ همچنین وقتی ورودی را NC می‌کنید چه تفاوتی در خروجی این دو نوع تراشه مشاهده می‌کنید؟

در صورتی که در آزمایشگاه گونه‌های متفاوتی (نه از نظر عملکرد بلکه از نظر نحوه‌ی ساخت) از تراشه‌ها (که حروف وسط متفاوتی دارند) موجود است آن‌ها را هم آزمایش کنید و ولتاژهایشان را در ستون‌های خالی جدول با ذکر حرف وسط یادداشت کنید. لازم نیست این کار را برای همه‌ی گیت‌های مذکور و برای همه‌ی حالات ورودی امتحان کنید. بلکه از هر گیتی یک نمونه و برای آن هم دو حالت خروجی 1 و 0 منطقی را انجام دهید.

در طراحی مدارهای منطقی، هیچ‌گاه نباید ورودی را باز (NC) نگه داشت؛ چون ممکن است باعث اختلال در عملکرد مدار شود.

جدول ۲-۱ ولتاژهای ورودی و خروجی تراشه‌های مختلف

A	B	74---00	74---08	74---32	74---86	4011
0	0					
5	0					
5	5					
N.C	0					
۵	N.C					
N.C	N.C					

۳.۲) مدار شکل۲-۶ را پیاده‌سازی کنید و به ازای تمام ورودی‌های ممکن، خروجی را اندازه‌گیری کرده و در جدول ۲-۲ یادداشت نمایید.

جدول ۲-۲ ولتاژهای ورودی و خروجی تراشه‌های مختلف

a	b	c	f $(0/1)$	f $(volt)$
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

شکل ۲-۶ یک نمونه مدار

۳- پیاده‌سازی توابع منطقی با استفاده از جدول کارنو

پیش‌گزارش

- توابعی که در این آزمایش آمده‌اند را با استفاده از جدول کارنو ساده کنید.

وسایل مورد نیاز

- منبع تغذیه، بردبورد، مالتی‌متر،
- تراشه‌های ۷۴۰۴، ۷۴۰۸، ۷۴۳۲

آزمایش ۳

- **۱.۳)** تابع منطقی زیر را با استفاده از جدول کارنو ساده کرده و مدار آن را با استفاده تراشه‌های منطقی به‌صورت مجموع حاصل‌ضرب‌ها[۱] پیاده‌سازی کنید. سپس جدول ۳-۱ را با توجه به عملکرد مداری که پیاده‌سازی کرده اید، تکمیل کنید (ولتاژ گره‌ها را یادداشت کنید).

$$f(A,B,C) = [(A' + B + C)(A + C)(A + B)]$$

جدول ۳-۱ نتیجه عملکرد مدار بخش ۱

a	b	c	f $(0/1)$	f $(volt)$
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

[۱] Sum of Products

این مدار یک رأی‌گیر اکثریت است. در این مدار هر زمان حداقل دوتا از ورودی‌ها یک (یا صفر) باشند، خروجی نیز یک (یا صفر) می‌شود. از این مدار در کاربردهایی که احتمال رخداد خطا وجود دارد استفاده می‌شود، بدین صورت که محاسبات به طور همزمان در سه مدار انجام می‌شود و خروجی این مدارها به این رأی‌گیر داده می‌شوند.

۲.۳) تابع منطقی زیر را با استفاده از جدول کارنو ساده و مدار آن را با استفاده از تراشه‌های منطقی پیاده‌سازی کنید. بعد از پیاده‌سازی تابع، جدول ۳ ۲ را تکمیل کنید.

$$f(a,b,c,d) = \sum(1,3,4,5,6,9,11,12,14) + d\ (0,7)$$

۳.۳) در مداری که پیاده‌سازی کرده‌اید، مقادیر حالات بی اهمیت چیست؟ این رفتار را چگونه توجیه می‌کنید؟

جدول ۳-۲ نتیجه عملکرد مدار بخش ۲

a	b	c	d	f $(0/1)$	f $(volt)$
0	0	0	0		
0	0	0	1		
0	0	1	0		
0	0	1	1		
0	1	0	0		
0	1	0	1		
0	1	1	0		
0	1	1	1		
1	0	0	0		
1	0	0	1		
1	0	1	0		
1	0	1	1		
1	1	0	0		
1	1	0	1		
1	1	1	0		
1	1	1	1		

۴- آشنایی با زبان توصیف سخت‌افزار (HDL)

پیش‌گزارش

- برای مدار قسمت «پ» در شکل ۴-۱ جدول صحت را بدست آورده و آن را به صورت مجموع حاصل‌ضرب‌ها پیاده‌سازی کنید.
- مدار طراحی شده در قسمت قبل را با استفاده از زبان وریلاگ توصیف نمایید.

آزمایش ۴

زبان توصیف سخت‌افزار، زبانی است که از آن برای توصیف سخت‌افزار سیستم‌های دیجیتال به صورت متنی استفاده می‌کنند. به عبارت دیگر، از زبان‌های HDL می‌توان برای توصیف رابطه‌ی منطقی بین سیگنال‌های ورودی یک مدار و سیگنال‌های خروجی آن بهره برد. از این رو، این زبان‌ها می‌توانند مدارهای منطقی، عبارت‌های بولی و یا مدارهای پیچیده را توصیف کنند. زبان‌های HDL متنوعی مانند VHDL و وریلاگ ارائه شده است. در این آزمایشگاه از زبان وریلاگ استفاده خواهد شد.

یک شبیه‌ساز HDL توصیف مدار را دریافت و بر اساس مقدار ورودی‌ها و ساختار مدار یا سیستم دیجیتالی، مقدار خروجی‌ها را مشخص می‌کند. بنابراین می‌توان قبل از ساخت، مدار را آزمایش کرد و از صحت عملکرد آن مطمئن شد. در این آزمایشگاه جهت شبیه‌سازی از ابزار Xilinx ISim استفاده خواهیم کرد.

مدار شکل ۴-۱ مدار افزونگی بیت توازن[۲] است که جهت تشخیص و تصحیح خطا در سیستم‌های دیجیتال مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدار تعداد ۱ های موجود را در یک رشته‌ی بیتی درنظر می‌گیرد. مدار افزونگی بیت توازن در دو بخش فرستنده (تولید کننده) و گیرنده (تشخیص دهنده) پیاده‌سازی می‌شود.

الف) مدار بیت توازن به صورت درختی

ب) مدار بیت توازن به صورت زنجیری

پ) مدار تولید کننده بیت توازن سه ورودی ...

[۲] Parity bit

شکل ۴-۱ نوعی مدار افزونگی بیت توازن

بیت‌های توازن دارای دو مدل زوج و فرد هستند که در انتقال و ذخیره اطلاعات، در کنار داده اصلی قرار می‌گیرند تا اگر داده‌ی اصلی دچار تغییر شد این تغییر کشف شود. مقدار این بیت توسط جدول ۴-۱ تعیین می‌شود:

جدول ۴-۱ تصمیم‌گیری مقدار بیت افزونگی

نوع بیت توازن	**زوج**		**فرد**	
تعداد یک‌های داده	زوج	فرد	زوج	فرد
مقدار بیت توازن	۰	۱	۱	۰

- **۱.۴)** با توجه به جدول ۴-۱، با ذکر دلیل نوع بیت توازن (فرد یا زوج) را برای مدار قسمت «پ» در شکل ۴-۱ تعیین کنید.

- **۲.۴)** مدار قسمت «پ» در شکل ۴-۱ را با استفاده از زبان وریلاگ در سطح گیت توصیف نمایید. (گیت $xnor$ را ایجاد (Instantiate) کنید)

- **۳.۴)** فایل محیط آزمونی[۳] طراحی نمایید که تمامی ورودی‌های ممکن را به مدار اعمال کند. سپس مدار را شبیه‌سازی نمایید. درستی مقادیر حاصل از شبیه‌سازی را با مقادیر صحیح مقایسه کنید.

- **۴.۴)** مدار قسمت «پ» در شکل ۴-۱ را به صورت مجموع حاصل‌ضرب‌ها طراحی نمایید. سپس با استفاده از زبان وریلاگ آن را توصیف نمایید. فایل محیط آزمون طراحی‌شده در بخش ۳.۴ را به آن اعمال کرده و درستی خروجی آن را بررسی نمایید.

- **۵.۴)** کدام یک از روش‌های پیاده‌سازی را ترجیح می‌دهید؟ چرا؟

- **۶.۴)** اکنون که از صحت خروجی‌ها مطمئن شده‌اید، به کمک «**پیوست ۳: مراحل سنتز و بارگذاری کد توصیف سخت‌افزاری روی FPGA**» این مدار را سنتز کرده و آن را روی بورد FPGA برنامه‌ریزی کنید. مجدداً به کمک ورودی‌ها و خروجی‌های بورد، صحت عملکرد کد خود را بررسی کنید.

[۳] Testbench file

۵- آشنایی با مالتی‌پلکسر، انکدر و دیکدر

پیش‌گزارش

- مدارهای دیکدر ۲ به ۴، مالتی‌پلکسر ۴ به ۱ و انکدر اولویت ۲ به ۴ را در سطح گیت رسم کرده و توصیف آنها را با زبان وریلاگ در سطح گیت بنویسید.

آزمایش ۵

- **۱.۵)** مدارهای بالا را در سطح گیت و با استفاده از زبان وریلاگ توصیف نمایید. یک فایل محیط آزمون طراحی کرده و مدارهای طراحی‌شده را شبیه‌سازی کنید.
- **۲.۵)** با استفاده از مدار دیکدر ۲×۴ طراحی‌شده در قسمت قبل، یک دیکدر ۴×۱۶ طراحی نمایید. مدار را با استفاده از زبان وریلاگ توصیف نمایید.
- **۳.۵)** با استفاده از دیکدر ۴×۱۶ طراحی‌شده در قسمت قبل، تابع زیر را پیاده‌سازی کنید. (شاید در این پیاده‌سازی‌ها لازم باشد از یکی از گیت‌های پایه مانند And و Or... استفاده کنید).

$$f(a,b,c,d) = \prod(0,1,4,6,8,9,10,12,14,15)$$

- **۴.۵)** تابع پیاده‌سازی شده توسط دیکدر را روی بورد FPGA برده و آن را تست کنید.

۶- پیاده‌سازی مقایسه‌کننده به‌صورت ساختاری

پیش‌گزارش

- مدار شکل ۶-۱ یک مقایسه‌کننده‌ی ۳ بیتی است. در ورودی مقایسه‌کننده سه پایه L، E و G قرار دارد. وظیفه این پایه‌ها و هدف از قرار دادن آن‌ها چیست؟
- با استفاده از بلاک‌های مقایسه‌کننده ۳ بیتی مقایسه‌کننده ۸ بیتی طراحی کنید.

شکل ۶-۱ مقایسه‌کننده‌ی ۳ بیتی

آزمایش ۶

- **۱.۶)** مدار شکل ۶-۱ را با استفاده از زبان وریلاگ به صورت رفتاری (یعنی توصیف در سطح گیت نباشد بلکه عملکرد مقایسه‌کننده با دستورهایی مانند always و if توصیف شده باشد) توصیف نمایید. یک فایل محیط آزمون طراحی و مدار را شبیه‌سازی کنید.
- **۲.۶)** مقایسه‌کننده‌ی ۳ بیتی طراحی‌شده در بخش قبل را بر روی بورد FPGA پیاده‌سازی کرده و درستی آن را بررسی کنید.
- **۳.۶)** مقایسه‌کننده‌ی ۸ بیتی که در پیش‌گزارش طراحی کردید را به صورت ساختاری (یعنی با ایجاد نمونه (instantiation) از مقایسه‌کننده ۳ بیتی و اتصال آنها به یکدیگر) توصیف نمایید. سپس آن را شبیه‌سازی کنید.

شکل ۶-۲ مقایسه‌کننده‌ی ۸ بیتی

۷- پیاده‌سازی جمع‌کننده-تفریق‌کننده به صورت ساختاری

پیش‌گزارش

- پس از مطالعه دستور کار این آزمایش، توصیف‌های خواسته‌شده را به زبان وریلاگ بنویسید.

آزمایش ۷

- **۱.۷)** در گام نخست این آزمایش، هدف پیاده‌سازی مدار شکل ۷-۱ است. این مدار دو بیت A و B را دریافت و بر اساس اینکه مقدار Cin صفر یا یک باشد، به صورت متناظر دو بیت را با یکدیگر جمع یا از یکدیگر تفریق می‌کند.

از دانشجویان انتظار می‌رود تا این مدار را با زبان وریلاگ به‌صورت ساختاری[۴] توصیف کنند. توصیف مدار تمام جمع‌کننده‌ی این شکل نیز باید در سطح گیت انجام پذیرد (فرض کنید تأخیر گیت‌های AND و OR هرکدام ۵ نانوثانیه، گیت XOR ۱۰ نانوثانیه و گیت NOT ۲ نانوثانیه است. تأخیرهای ذکرشده در تمامی مراحل این آزمایش برقرار هستند).

شکل ۷-۱ مدار جمع‌کننده-تفریق‌کننده تک بیتی

- **۱.۷)** در گام دوم این آزمایش لازم است تا دانشجویان مطابق شکل ۷-۲ مدار جمع‌کننده-تفریق‌کننده ۴ بیتی را با استفاده از مدار بخش اول توصیف کنند.
- **۲.۷)** اکنون دانشجویان باید برای این مدار یک برنامه آزمون نوشته و مدار را به ازای حداقل ۳ حالت تفریق و ۳ حالت جمع آزمایش کنند. پس از اعمال ورودی تا زمانی که خروجی ثابت بشود، خروجی چه گذارهایی دارد؟ آن‌ها را یادداشت کنید. علت این تغییرات چیست؟

[۴] یعنی با ایجاد نمونه (instantiation) از گیت‌ها و اتصال آنها به یکدیگر با سیم

شکل ۷-۲ مدار جمع‌کننده-تفریق‌کننده چهار بیتی

۳.۷) در گام آخر این آزمایش لازم است دانشجویان مطابق مراحل ذکر شده در پیوست ۳، کدهای بخش اول و دوم خود را سنتز کرده و آن را بر روی بورد FPGA بارگذاری کنند. ورودی‌های بخش ۲.۷ را با کمک کلیدهای موجود بر روی بورد اعمال کنید و نتایج را مشاهده کنید.

۸- پیاده‌سازی واحد محاسبه و منطق

پیش‌گزارش

✎ پس از مطالعه دستور کار این آزمایش، توصیف‌های خواسته‌شده را به زبان وریلاگ بنویسید.

آزمایش ۸

واحد محاسبه و منطق[۵] یکی از مهم‌ترین قسمت‌های یک پردازنده است. ALU از سه قسمت محاسبه، منطق و کنترل تشکیل شده است. قسمت محاسباتی اعمالی نظیر جمع، تفریق، ضرب و تقسیم را انجام می‌دهد. در قسمت منطقی اعمالی نظیر NOT، XOR، OR، AND و NOR انجام می‌شود. در نهایت، قسمت کنترل نیز وظیفه تعیین واحد عملیاتی و عملیات مورد نظر را به عهده دارد. در این آزمایش هدف پیاده‌سازی یک ALU بسیار ساده است. شکل ۸-۱ بلوک دیاگرام این ساختار را نشان می‌دهد.

شکل ۸-۱ بلوک دیاگرام یک واحد محاسبه و منطق

جدول ۸-۱ کدهای عملیاتی را که توسط واحد محاسبه و منطق در این آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد. در این آزمایش به دلیل محدودیت زمانی از پیاده‌سازی سایر عملگرها صرف نظر می‌شود. عملکرد مورد نظر و همچنین داده‌های ورودی را می‌توان با استفاده از سوییچ‌های (DIP Switch) موجود بر روی بورد تعیین نمود.

جدول ۸-۱ کدهای تعیین‌کننده عملکرد ALU

$Operation$	$Description$	Sel_1	Sel_0
NOT	$NOT\ A$	0	0
NAND	$\overline{A \bullet B}$	0	1
ADD	$A + B$	1	0
MULTIPLY	$A \times B$	1	1

[۵] Arithmetic-Logic-Unit

۱.۸) جدول ۸-۱ را ابتدا در سطح جریان داده[۶] ساختاری توصیف کنید. اکنون برنامه آزمونی بنویسید تا صحت عملکرد طرح را بررسی کند. بعد از اطمینان از صحت نتایج، برنامه را بر روی بورد FPGA و با استفاده از LED ها آزمایش کنید.

نکات مهم:

در خطوط ورودی مالتی‌پلکسر برخی ورودی‌ها تعداد بیت کمتری دارند. برای آنکه تمامی ورودی‌ها ۴ بیتی باشند، بیت پر ارزش در این ورودی‌ها را صفر در نظر بگیرید.

[۶] dataflow

۹- تحلیل و پیاده‌سازی مدارات ترتیبی

پیش‌گزارش

- پس از مطالعه دستور کار این آزمایش، توصیف‌های خواسته‌شده را به زبان وریلاگ بنویسید.
- برای مدار این آزمایش، نمودار زمانی صفحه انتهایی آزمایش ۹ را با فرض آن‌که گیت‌های منطقی بدون تاخیر هستند رسم کنید.
- **توجه: در این آزمایش رسم نمودار زمانی مدار با فرض تاخیر برای گیت‌ها در آزمایشگاه کوئیز گرفته خواهد شد.**

آزمایش ۹

- **۱.۹)** فلیپ‌فلاپ‌ها با لبه پایین‌رونده سیگنال ساعت (CLK) کار می‌کنند. اکنون این مدار را با استفاده از زبان وریلاگ توصیف کنید. برنامه محیط آزمونی بنویسید که ورودی‌هایش مشابه با نمودار داده‌شده در بخش اول باشد. خروجی شبیه‌سازی را با خروجی گام نخست مقایسه کنید.
- **۲.۹)** با استفاده از تأخیرهای داده‌شده، مدار را شبیه‌سازی کنید و نتیجه شبیه‌سازی را با نتیجه بدست آمده توسط خودتان مقایسه کنید. تأخیر هر یک از گیت‌ها را ۱۰ نانوثانیه درنظر بگیرید. دوره تناوب سیگنال ساعت را نیز ۸۰ نانوثانیه و تأخیر ورودی ساعت تا خروجی فلیپ‌فلاپ را ۵ نانوثانیه درنظر بگیرید.
- **۳.۹)** رفتار خروجی‌ها را تحلیل کنید. به نظر شما این مدار چه عملیاتی را پیاده‌سازی می‌کند؟
- **۴.۹)** مدار را بر روی بورد FPGA پیاده‌سازی کرده و خروجی‌ها را به نمایشگر هفت قسمتی[۷] وصل کنید.

توضیحات نحوه عملکرد نمایشگر هفت قسمتی و کدهای لازم جهت راه‌اندازی این نمایشگر روی بورد FPGA موجود در آزمایشگاه، در پیوست ۴ آمده است. جهت نمایش برروی بورد از مقسم فرکانسی[۸] جهت تولید ساعت استفاده کنید.

فرکانس کلاک ورودی بورد FPGA آزمایشگاه برابر ۴۰ مگاهرتز است. یعنی در هر ثانیه ۴۰ میلیون بار سیکل کلاک مشاهده می‌شود (در هر ثانیه ۴۰ میلیون بار لبه فعال کلاک تشکیل خواهد شد). در توصیف‌های گذشته مشاهده کردیم که انجام عملیات مورد نظر ما در طراحی‌هایی که از کلاک استفاده می‌کنند وابسته به لبه فعال (بالارونده یا پایین‌رونده) کلاک است. به‌طور مثال یک شمارنده را در نظر بگیرید، این سیستم با هر بار مشاهده لبه بالارونده یا پایین‌رونده کلاک (با توجه به نحوه کدنویسی شما) یک بار عملیات شمارش را انجام خواهد داد. هنگام مشاهده اعداد بر روی هفت قسمتی نیز اگر شمارنده با کلاک ۴۰ مگاهرتز کار کند در هر ثانیه ۴۰ میلیون عدد باید نمایش داده شود. بنابراین اعداد نمایش داده شده برروی هفت قسمتی بسیار سریع بوده و با چشم قابل دیدن نخواهد بود. مقسم فرکانسی در واقع فرکانس کلاک ورودی را کاهش داده و یک کلاک کندتر می‌سازد. در ادامه قطعه کد مقسم فرکانسی برای تولید یک کلاک ۲ هرتزی آمده است.

---

[۷] 7-Segment display

[۸] Frequency Divider

- تغییرات لازم را اعمال کنید و با استفاده از مقسم فرکانسی از روی کلاک با فرکانس ۴۰ مگاهرتزی یک کلاک ۱ هرتزی تولید کنید (یعنی در هر ثانیه فقط یک لبه بالارونده داشته باشیم). و با هر دو کلاک (۱ هرتزی و ۲ هرتزی) اعداد را بر روی هفت قسمتی نمایش و مشاهدات خود را گزارش دهید.

```
module freqDivider ( input clk_in, output clk_out );

reg [25:0] counter = 0;
always @ (posedge clk_in)
begin
        if (counter == 10000000 – 1)
        begin
        counter <= 0;
        clk_out <= ~ clk_out;
        end
        else
        begin
        counter <= counter + 1;
        end
end

endmoudule
```

نحوه عملکرد کد

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد با فرکانس ۴۰ مگاهرتز در هر ثانیه ۴۰ میلیون لبه کلاک داریم. برای این‌که این تعداد لبه به سیستم اعمال نشود و در هرثانیه به ازای تعداد زیاد لبه کلاک، عملیاتی را انجام ندهد، توسط یک reg counter که در کد تعریف شده است تعداد لبه‌های کلاک واقعی سیستم شمرده می‌شود و زمانی که تعداد لبه‌ها به اندازه‌ی دلخواه ما رسید، با تغییر سطح کلاک، لبه کلاک ساختگی ما درست می‌شود. برای مثال در کد برای ساختن کلاک ۲ هرتز نیاز به ایجاد دو سیکل (دو لبه کلاک) در یک ثانیه داریم. پس ۴۰ میلیون به ۴ قسمت مساوی تقسیم خواهد شد. طبق کد هر دفعه که counter به مقدار ۱۰ میلیون سیکل برسد (۱۰ میلیون بار لبه مثبت کلاک اصلی دیده شود)، کلاک ساختگی ما که clk_out نام دارد تغییر سطح می‌دهد و counter نیز برای شمارش مجدد ۱۰ میلیون سیکل بعدی کلاک اصلی صفر می‌شود. این تغییر سطح کلاک باعث ایجاد یک لبه پایین رونده یا بالا رونده در کلاک ساختگی می‌شود. با این روند بعد از گذشت ۴۰ میلیون سیکل از کلاک اصلی، کلاک ساختگی ما ۴ بار تغییر سطح داده است. پس با ۴ بار تغییر سطح کلاک ساختگی در ازای ۴۰ میلیون بار تغییر سطح کلاک اصلی، ما دو سیکل کلاک در یک ثانیه ایجاد کرده‌ایم.

۴۰،۰۰۰،۰۰۰ سیکل کلاک اصلی
CLK
یک سیکل کلاک اصلی
از ۱۰ میلیون سیکل تا ۲۰ میلیون سیکل کلاک اصلی
از ۳۰ میلیون سیکل تا ۴۰ میلیون سیکل کلاک اصلی
از ۰ سیکل تا ۱۰ میلیون سیکل کلاک اصلی
از ۲۰ میلیون سیکل تا ۳۰ میلیون سیکل کلاک اصلی
کلاک ساختگی ما
سیکل اول از کلاک ساختگی ما (clk_out)
سیکل دوم از کلاک ساختگی ما (clk_out)

1
UD
J
K
JK FF
Q
Q'
CLK
Q0
S
Q1
R
Q2
CLK

UD
CLK
R
S
Q2
Q1
Q0

۱۰- پیاده‌سازی ماشین حالت

پیش‌گزارش

- دیاگرام حالت ماشین زیر را رسم کنید.
- با استفاده ار زبان وریلاگ، یک ثبات ۴ بیتی توصیف نمایید.

آزمایش ۱۰

- **۱.۱۰)** یک ثبات ۴ بیتی توصیف نمایید.

سامانه‌ای را در نظر بگیرید که نیاز است پس از احراز هویت فرد، اطلاعاتی را در یکی از دو جعبه‌ی مشخص‌شده نگه‌داری کند. فرد رمز را وارد کرده و در صورت درست بودن آن، داده را در سامانه وارد می‌کند. سامانه با توجه به نوع داده جعبه‌ی مورد نظر را شناسایی کرده و داده را در آن قرار می‌دهد. حال از شما خواسته شده است تا یک سامانه‌ی دیجیتالی برای این منظور طراحی نمایید. در یک سامانه‌ی دیجیتالی ثبات مانند یک جعبه عمل می‌کند.

- **۲.۱۰)** سامانه در ابتدا در حالت "بیکار" قرار دارد (حالت 000). کاربر باید ابتدا با فعال کردن ورودی Request، سامانه را وارد حالت «فعال» نماید (حالت 001). سپس سامانه منتظر می‌ماند تا کاربر رمز عبور ۴ بیتی را وارد کرده و دکمه‌ی تأیید (Confirm) را فشار دهد. درصورتی که رمز عبور درست باشد، سامانه وارد حالت "درخواست" می‌شود (حالت 101) و درغیر این‌صورت، سامانه به حالت تله (حالت 111) می‌رود. اگر سامانه وارد حالت "درخواست" شود، منتظر می‌ماند تا کاربر یک داده ۴ بیتی را وارد نموده و دکمه‌ی Confirm را انتخاب کند تا در لبه‌ی فعال ساعت بعدی، سامانه اطلاعات را در ثبات‌های مربوطه ذخیره کند (حالت 110). در تمام این مراحل اگر کاربر ورودی Request را صفر کند، سامانه بلافاصله به حالت "بیکار" می‌رود. داده‌های فرد باید در یکی از ثبات‌ها و داده‌های زوج در ثبات دیگر ذخیره شود.

- **۳.۱۰)** با در نظر گرفتن شکل زیر جهت پیاده‌سازی سامانه، دیاگرام ماشین حالت سامانه را رسم کنید.
- **۴.۱۰)** بر اساس دیاگرام حالت طراحی شده، سامانه را با استفاده از ماشین حالت محدود (FSM) طراحی و با زبان وریلاگ توصیف نمایید. سپس طراحی خود را شبیه‌سازی کنید.

پیوست ۱: راهنمای پایه‌های تراشه‌ها

7404

7408

7400

7432

7486

4011

پیوست ۲: روش نوشتن Testbench

فایل محیط آزمون یا Testbench به طراح کمک می‌کند بدون اینکه سخت‌افزار واقعی را داشته باشد، رفتار آن را شبیه‌سازی کند. مزیت اصلی شبیه‌سازی این است که می‌توان مقادیر همه سیگنال‌ها را بررسی کرد. برای اینکه بتوانید طراحی خود را شبیه‌سازی کنید، باید برای آن یک Testbench بنویسید.

Testbench چیست؟

Testbench در واقع یک فایل HDL (در اینجا وریلاگ) است، اما با کدی که شما مدار مورد نظرتان را در آن توصیف کرده‌اید، متفاوت است. این کد در واقع برای این نوشته می‌شود که عملکرد مدار اصلی را با استفاده از آن شبیه‌سازی کرده و خروجی‌ها را بررسی کنیم. کد زیر را در نظر بگیرید:

```
module basic_and (a, b, out);
input a, b;
output out;
  and XGATE(out, a, b);
endmodule
```

این کد عملکرد گیت AND را توصیف می‌کند، برای اینکه بخواهیم عملکرد این گیت را آزمایش کنیم، باید برای این کد یک Testbench بنویسیم، کد زیر Testbench نوشته‌شده برای این گیت است.

```
module basic_and_tb();

  reg a, b;
  wire out;

  basic_and DUT(a, b, out);

  initial begin
    a = 1'b0;
    b = 1'b0;
  #20;
    a = 1'b1;
    b = 1'b0;
  #20;
    a = 1'b1;
    b = 1'b1;
  #20;
  end
endmodule
```

همان طور که مشاهده می شود، یک Testbench، مانند هر توصیف دیگر وریلاگ با اعلان یک ماژول شروع می‌شود، با این تفاوت که این ماژول هیچ ورودی و خروجی ندارد. بعد از اعلان متغیرهای لازم، ماژولی که قرار است عملکرد آن به وسیله این Testbench بررسی شود را نمونه‌گیری می‌کنیم. DUT[۹] نام رایجی است که برای یک نمونه ماژول انتخاب می‌کنیم.

---

[۹] Design Under Test

بعد از نمونه‌گیری از ماژول تحت تست، بعد از عبارت کلیدی initial begin، شروع به مقداردهی ورودی‌های مدار می‌کنیم. بعد از اعمال هر ترکیب ورودی یک عبارت به صورت 20# می‌بینیم، این عبارت در واقع به این معناست که بعد از اعمال هر ترکیب ورودی، به مدت ۲۰ واحد زمانی که در ابتدای کد و با کلمه کلیدی Timescale مشخص شده است، منتظر می‌ماند و بعد از آن ترکیب بعدی را به ورودی اعمال می‌کند.

پیوست ۳: مراحل سنتز و بارگذاری کد توصیف سخت‌افزاری روی FPGA

فاز اول: ایجاد پروژه

شکل ۱ صفحه شروع کار با ابزار ISE

شکل ۲۰ ایجاد یک پروژه جدید

شکل ۳ تعیین ویژگی‌های بورد FPGA

شکل ۳ ایجاد یک فایل در پروژه

شکل ۵ تعیین نوع و نام فایل

شکل ۶ تعیین پورت‌هاي ورودي و خروجي

✎ تعیین پورت‌های ورودی و خروجی در این بخش الزامی نیست.

فاز دوم: شبیه‌سازی کد

شکل ۰۴ منوی شبیه‌سازی با ISim

شکل ۸ اعمال مقدار ثابت به سیگنال‌ها (هنگامی که testbench نداریم)

شکل ۹ نتیجه شبیه‌سازی

فاز سوم: سنتز و برنامه‌ریزی بورد

شکل ۱۰ منوی سنتز

شکل ۱۱ نتیجه سنتز

شکل ۱۲ اجرای برنامه تخصیص پایه‌های ورودی و خروجی

شکل ۱۳ تایید اجرای برنامه تخصیص پایه‌های ورودی و خروجی

شکل ۵ منوی تخصیص پایه‌های ورودی و خروجی

شکل ۰۶ تخصیص پایه‌های ورودی و خروجی

شکل ۱۶ ایجاد فایل برنامه‌ریزي

شکل ۷ ایجاد یک پروژه برنامه‌ریزی بورد FPGA

شکل ۸ تایید نوع برنامه‌ریزی

شکل ۰۹ انصراف از برنامه‌ریزی بخش حافظه بورد FPGA

شکل ۱۰ افزودن فایل برنامه‌ریزی مناسب

شکل ۱۱ انتخاب فایل مناسب

شکل۱۲ برنامه ریزی FPGA

شکل ۱۳ تائید نهایی

شکل ۱۴: وضعیت برنامه ریزی

پیوست ۴: کار با نمایشگر هفت قسمتی

نمایشگر هفت قسمتی، از هفت قطعه فتوالکتریک، مانند کریستال مایع یا LED ساخته می‌شود. این قطعات به گونه‌ای که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در کنار هم قرار داده شده‌اند. با روشن کردن برخی از این LEDها می‌توان اعداد و همچنین برخی از کاراکترها را نمایش داد.

شکل۱: چگونگی نمایش اعداد با هفت قسمتی [1]

Binary Inputs				Decoder Outputs							7-Segment Display Outputs
D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	9

شکل۲: نگاشت مقادیر BCD به هفت قسمتی [2]

ماژول مبدل BCD به هفت قسمتی مربوط به آزمایش ۹

```
module bcd2seven_seg (
input [2:0]a,
output [4:0] SEG_SEL,
output reg [7:0]SEG_DATA);

always @(a)
 begin
       case(a)
       3’000:SEG_DATA = 8'b01111111;
       3’001:SEG_DATA = 8'b00000110;
       3’010:SEG_DATA = 8'b01011011;
       3’011:SEG_DATA = 8'b01001111;
       3’100:SEG_DATA = 8'b01100110;
       3’101:SEG_DATA = 8'b01101101;
       3’110:SEG_DATA = 8'b01111101;
       3’111:SEG_DATA = 8'b00000111;
       endcase
 end
assign SEG_SEL= 5’b00001;


endmodule
```

نکته: در کد، SEG_SEL به‌منظور انتخاب چهارمین هفت قسمتی از بین چهار هفت قسمتی روی بورد، با مقدار باینری 00001 مقداردهی شده است. پایه‌هایی که روی شکل ۳ با رنگ نارنجی مشخص شده است تعیین می‌کند کدام یک از هفت قسمتی‌ها باید کار کند. در صورتی‌که هیچ یک از این پایه‌ها روشن نشوند، هیچ‌کدام از هفت قسمتی‌ها فعال نخواهد شد. همچنین پایه‌های مربوط به روشن شدن هر یک از ۷ قسمت، با DAT A، DAT B، DAT G، DAT F، DAT C، DAT E، DAT D مشخص شده است.

شکل ۳ : هفت قسمتی روی بورد

تعیین پورت‌های طرح بر روی FPGA مربوط به آزمایش ۹

```
# PlanAhead Generated physical constraints

NET "SEG_DATA[0]" LOC = P10;
NET "SEG_DATA[1]" LOC = P7;
NET "SEG_DATA[2]" LOC = P11;
NET "SEG_DATA[3]" LOC = P5;
NET "SEG_DATA[4]" LOC = P4;
NET "SEG_DATA[5]" LOC = P12;
NET "SEG_DATA[6]" LOC = P9;
NET "SEG_DATA[7]" LOC = P3;

NET "SEG_SEL[0]" LOC = P15;
NET "SEG_SEL[1]" LOC = P20;
NET "SEG_SEL[2]" LOC = P19;
NET "SEG_SEL[3]" LOC = P18;
NET "SEG_SEL[4]" LOC = P16;

NET "UD" LOC = P161;
NET "reset" LOC = P162;
NET "CLK" LOC = P184;
```

منابع:

[1] "7-Segment Display." [Online]. Available: http://www.physics.udel.edu/~watson/scen103/7seg.html.

[2] "BCD to 7-Segment Decoder." [Online]. Available: http://macao.communications.museum/eng/exhibition/secondfloor/MoreInfo/Displays.html.