

بنام خدا



دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر

دستور کار آزمایشگاه مدارهای منطقی و معماری کامپیوتر

دکتر الهام چشمی‌خانی

پاییز ۱۴۰۲

قوانین آزمایشگاه

- ۱- دانشجویان بایستی راس ساعت شروع کلاس، در آزمایشگاه حضور داشته باشند. امکان تاخیر تا ۱۰ دقیقه وجود دارد.
- ۲- پس از گذشت ۱۰ دقیقه، به ازای هر ۵ دقیقه ۱۰٪ از نمره آن جلسه کسر خواهد شد.
- ۳- تاخیر بیش از ۴۰ دقیقه معادل با یک غیبت محسوب خواهد شد.
- ۴- دانشجویان می‌توانند در طول ترم حداکثر یک جلسه غیبت داشته باشند. در صورت غیبت بیش از یک جلسه، درس آزمایشگاه برای آن‌ها حذف غیبت خواهد شد.
- ۵- نمره آزمایش جلسه‌ای که دانشجو در آن غایب بوده است، صفر خواهد بود مگر اینکه آزمایش را انجام دهد.
- ۶- در صورتی که دانشجو بخواهد آزمایشی را که به علت یک جلسه غیبت انجام نداده است را جبران کند، در ساعات خالی آزمایشگاه بایستی این کار را انجام دهد و قبل یا بعد از جلسه اصلی آزمایشگاه به مدرس تحویل دهد.
- ۷- آزمایش‌ها در گروه‌های دو نفره انجام می‌شود و بر حسب میزان فعالیت هر عضو به آن فرد نمره داده می‌شود. بنابراین، در یک گروه یکی از اعضا ممکن است نمره بیشتر یا کمتری از همگروهی خود دریافت کند.
- ۸- هر آزمایش شامل یک پیش‌گزارش است. این پیش‌گزارش بایستی پیش از روز انجام آزمایش به صورت تایپ شده نوشته و در سایت درس بارگذاری شود. بنابراین، برای مثال، برای این ترم که روزهای سه‌شنبه کلاس آزمایشگاه تشکیل می‌شود، پیش‌گزارش هر آزمایش تا ساعت ۲۳:۵۹ روز دوشنبه زمان برای تحویل و بارگذاری دارد.
- ۹- پیش‌گزارش بایستی شامل این باشد که در جلسه بعدی قرار است چه کاری انجام شود. برای آن کار نیازمند کدام یک از منطق‌ها و ماجول‌هایی هستید که تئوری آن‌ها را خوانده‌اید و حتی کدی که بنظرتان می‌تواند کمک‌تان کند را نیز بیان کنید.
- ۱۰- پس از انجام آزمایش نیز بایستی گزارشی از عملکرد خود و نحوه آزمایش تا ساعت ۲۳:۵۹ روز قبل از برگزاری آزمایشگاه (به مانند زمان تحویل پیش‌گزارش) ارسال شود. این گزارش شامل این است که در طول آزمایش چه کرده‌اید، کدی که نوشته‌اید و ترتیب انجام کارها و خروجی‌ها را نیز بایستی در آن بیان کنید. در نهایت نیز آنچه که از انجام آزمایش آموختید را در یک پاراگراف بیان کنید.
- ۱۱- وارد آوردن هر گونه خسارت و لطمه به تجهیزات آزمایشگاه مستلزم جبران خسارت است.
- ۱۲- بارمبندی تقریبی نمره آزمایشگاه:
 - الف) پیش‌گزارش ۱۵٪
 - ب) انجام آزمایش و ارائه آن به مدرس و میزان پاسخگویی به سوالات مدرس ۷۰٪
 - ج) گزارش ۲۰٪

مقدمه

هدف از این آزمایشگاه آشنایی بیشتر دانشجویان با مباحث مدارهای منطقی و معماری کامپیوتر به شکل عملی است.

در درس مدارهای منطقی ابتدا با گیت‌های پایه نظیر AND، OR، XOR و NOT آشنا شدید. سپس نحوه بهم بستن این گیت‌ها برای ساخت مدارات پیچیده‌تر ترکیبی مانند دیکودرها، انکودرها، مالتی‌پلکسرها و مدارات جمع‌کننده و تفریق‌کننده را آموختید. سپس، با مفهوم مدارات ترتیبی آشنا شدید و متوجه شدید که این مدارات، نیازمند نگهداشتن وضعیت قبلی سیستم برای خروجی اکنون سیستم هستند. این مدارات، مداراتی بودند که اصطلاحاً دارای حافظه بودند.

در این آزمایشگاه نیز ابتدا به مرور گیت‌های پایه و عملیات اولیه منطقی پرداخته می‌شود. سپس مدارات پیچیده‌تر مانند جمع‌کننده را به شکل عملی پیاده‌سازی خواهیم نمود و در نهایت مدارات دارای حافظه را بر روی بردهای موجود در آزمایشگاه تست خواهیم کرد.

در درس‌های مدارهای منطقی و معماری کامپیوتر با زبان‌های توصیف سخت‌افزار آشنا شده‌اید. در این آزمایشگاه قرار است با استفاده از زبان‌هایی که آموخته‌اید آزمایش‌ها را بر روی بردهای سخت‌افزاری نیز پیاده‌سازی کنید. بنابراین، در این آزمایشگاه علاوه بر مرور عمیق‌تر زبان VHDL، با استفاده از ابزار Xilinx ISE و Intel Quartus به سنتز و پیاده‌سازی مدار طراحی شده بر روی برد FPGA نیز خواهیم پرداخت.

در ادامه این آزمایشگاه، چون از نام آزمایشگاه نیز چنین بر می‌آید، پس از آزمایش‌های مربوط به مدارات منطقی به بررسی عملی آنچه در معماری کامپیوتر یاد گرفته‌اید می‌پردازیم. بنابراین، در ادامه به پیاده‌سازی واحدهای مختلف کامپیوتر از جمله کامپیوتر پایه، واحد حساب و منطق، واحد حافظه و بررسی تولیدکننده فرکانس سیستم کامپیوتری خواهیم پرداخت.

پس با توجه به آنچه که بدان اشاره شد، این آزمایشگاه شامل دو بخش؛ بخش اول شامل کار کردن با گیت‌های پایه مدارات منطقی و بخش دوم شامل پیاده‌سازی مدارات با زبان‌های توصیف سخت‌افزار و در نهایت پیاده‌سازی آن‌ها بر روی برد FPGA خواهد بود. در ادامه به بررسی هر دو بخش خواهیم پرداخت و سپس هر آزمایش به طور تفصیلی تشریح خواهد شد.

بخش اول: مدارات منطقی

در بخش اول آزمایشگاه مدارات منطقی و معماری کامپیوتر، با استفاده از قطعات و تراشه‌های تولید شده شرکت‌های بزرگ دنیا به شکل عملی اتصالات و گیت‌های منطقی را مرور خواهیم کرد.

مدارهای دیجیتال با مدارهای مجتمع ساخته می‌شوند. یک مدار مجتمع^۱ یک کریستال کوچک نیمه‌هادی سیلیکون به نام تراشه^۲ است که قطعات الکترونیکی لازم برای پیاده‌سازی گیت‌های دیجیتال را در خود دارد. تراشه در داخل یک محفظه پلاستیکی و یا سرامیکی جاسازی می‌شود و اتصالات آن با سیم‌های طلایی نازک به پایه‌های خارجی جوش داده می‌شود تا مدار مجتمع به وجود آید. تعداد پایه‌ها ممکن است از ۱۴ پایه در بسته‌های کوچک تا ۷۰ پایه در هر یک از چهار طرف تراشه و در مجموع بیش از ۳۰۰ پایه متغیر باشد. مدارهای مجتمع را بر اساس پارامترهای مختلفی دسته‌بندی می‌کنند. این دسته‌بندی بر اساس تعداد گیت‌هایی است که می‌توانند در یک تراشه جای بگیرند. این دسته‌ها عبارتند از: مدارهای مجتمع با مقیاس کوچک^۳، مدارهای مجتمع با مقیاس متوسط^۴، مدارهای مجتمع با مقیاس بزرگ^۵ و مدارهای مجتمع با مقیاس بسیار بزرگ^۶.

دسته‌بندی دیگر این است که می‌توان بر اساس فناوری به کار رفته در تراشه‌ها، آن‌ها را به انواع RTL، DTL، TTL، ECL، MOS و CMOS تقسیم‌بندی نمود. از بین این تراشه‌ها، تراشه‌های TTL و CMOS تا به امروز کاربرد داشته‌اند، بنابراین، به بررسی این دو فناوری خواهیم پرداخت. لازم به ذکر است که در این آزمایشگاه با نوع TTL کار خواهیم کرد.

فناوری بکار رفته در ساخت برخی از تراشه‌ها، TTL یا Transistor-Transistor Logic است. این مدارات مجتمع توسط شرکت Texas Instrument ساخته شده‌اند. پس از این شرکت، شرکت‌های دیگری مانند شرکت‌های Motorola، National Semiconductor، Signetics و Ferranti مدارات مجتمع خود را تحت عنوان‌های مشابه TTL نامگذاری و به بازار عرضه کردند. تراشه‌های TTL دسته‌ای از مدارات منطقی هستند که از ترانزیستورهای BJT و مقاومت تشکیل شده‌اند. علت نام گذاری آنها این است که هم عمل گیت‌های منطقی و هم عمل تقویت‌کنندگی در این تراشه‌ها توسط ترانزیستور صورت می‌گیرد که این متفاوت از تراشه‌های RTL و DTL است.

تمامی تراشه‌های TTL استاندارد، از سطح ولتاژ ۵ ولت برای تغذیه استفاده می‌کنند. ورودی TTL در حالتی که مقداری بین ۰ تا ۰/۸ ولت (نسبت به ترمینال زمین) داشته باشند Low محسوب می‌شود و بیانگر صفر منطقی است. زمانی که این ولتاژ مقداری بین ۲/۲ تا ۵ ولت را داشته باشد High محسوب می‌شود که نشان از یک بودن منطقی دارد (البته سطح‌های ولتاژ در زیر دسته‌های مختلف می‌تواند کمی متفاوت باشند). هر نوع از اطلاعات محاسباتی یا کنترلی موردنظر را می‌توان با عبور سیگنال‌های باینری از میان ترکیباتی از گیت‌ها مورد استفاده قرار داد. هر سیگنال بیانگر یک متغیر باینری بوده و یک بیت از اطلاعات را حمل می‌کند. مدارات ساخته شده از BJT سریع‌تر از فناوری FET می‌باشند.

¹ Integrated Circuit (IC)

² Chip

³ Small-Scale Integration (LSI)

⁴ Medium-Scale Integration (MSI)

⁵ Large-Scale Integration (LSI)

⁶ Very Large-Scale Integration (VLSI)

جدول ۱. انواع تراشه‌های خانواده TTL سری ۷۴

نام خانواده TTL	مفهوم اختصار	اختصار	شماره تراشه
استاندارد (سری ۷۴)	Standard TTL	-	74xx
سرعت بالا (سری ۷۴H)	High speed TTL	H	74Hxx
کم مصرف (سری ۷۴L)	Low power TTL	L	74Lxx
شاتکی (سری ۷۴S)	Schottky TTL	S	74Sxx
شاتکی پیشرفته (سری ۷۴AS)	Advanced Schottky TTL	AS	74ASxx
شاتکی کم مصرف (سری ۷۴LS)	Low power Schottky TTL	LS	74LSxx
شاتکی کم مصرف پیشرفته (سری ۷۴ALS)	Advanced Low power Schottky TTL	ALS	74ALSxx
سازگار با CMOS (سری ۷۴C)	CMOS Compatible TTL	C	74Cxx

در مقابل، فناوری به کار رفته در مدارات مجتمع CMOS نیز همانطور که از اسم آن بر می آید، فناوری MOSFET است که ترکیبی از ترانزیستورهای NMOS و PMOS مشهور است که در دروس مدارهای الکتریکی و الکترونیکی با آن‌ها آشنا شده‌اید. این دو نوع تکمیل کننده‌ی عملکرد یکدیگر هستند. از مشخصات مهم این تراشه‌ها، یکی ایمنی آنها در برابر Noise و دیگری مصرف کم توان در حالت ایستا است. در نتیجه تراشه‌های مبتنی بر CMOS نسبت به انواع دیگر گیت‌های منطقی مانند TTL تلفات توانی کمتری دارند.

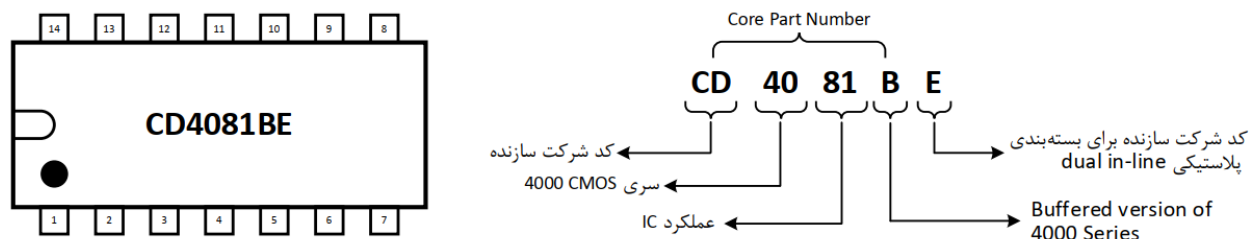
مزیت دیگر این فناوری این است که با استفاده از مدارات CMOS قادریم تعداد زیادی گیت را در فضای نسبتاً کمی جاسازی کنیم. مزیت‌های ذکر شده باعث شده‌اند امروزه در اکثر فناوری‌های مدرن شاهد حضور CMOS باشیم. دمای کار معمولی تراشه‌های CMOS از ۵۵- تا ۱۲۵+ درجه سانتی گراد است. خانواده استاندارد این دسته از مدارات با سری ۴۰ شناخته می‌شود.

در این آزمایشگاه با مدارات منطقی TTL سری ۷۴ کار خواهیم کرد. برای تغییر دادن بعضی از مشخصات TTL مانند سرعت، توان مصرفی، ایمنی در برابر نویز، تغییراتی در طرح اولیه TTL داده شد، اما چون شکل ظاهری تراشه و روابط منطقی در این طرح‌ها درست همانند خانواده اصلی و استاندارد TTL بود، این طرح‌ها نیز تحت عنوان خانواده منطقی TTL نامیده شدند که انواع مهم این طرح‌ها در جدول ۱ آورده شده‌اند.

دو خانواده دیگر TTL نیز وجود دارند که برای کاربردهای صنعتی و نظامی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دو خانواده به ترتیب، سری ۶۵ و سری ۵۴ هستند. تفاوت این سه خانواده با یکدیگر در توان مصرفی، میزان حساسیت به نویز، دمای کاری، تاخیر انتشار^۷ و برون‌دهی^۸ آنان است. روی بسته‌بندی هر یک از تراشه‌ها اعداد و حروفی وجود دارد که هر یک نمایش‌دهنده کاربرد و موارد مصرفی در آن تراشه است. برای مثال حرف M که در سمت راست کد تراشه نوشته می‌شود نشان‌دهنده‌ی جنس روکش تراشه است که از جنس فلز (Metal) می‌باشد. حروف دیگری نیز روی تراشه وجود دارد که نمایش‌دهنده تعداد پایه‌های آن تراشه است. برای مثال DIP به معنای پایه‌ها در دو ردیف موازی یا (Dual In Parallel) می‌باشد.

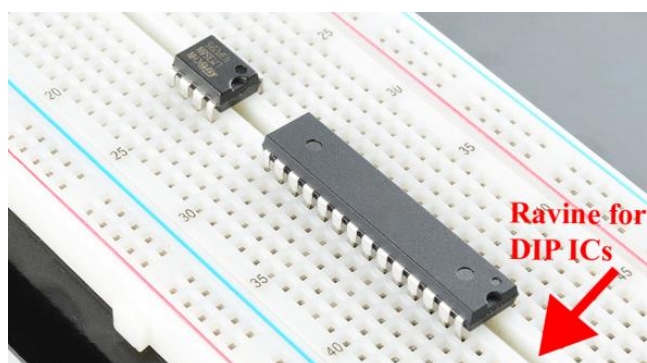
^۷ Propagation Delay^۸ Fan-out

نمونه‌ای از شماره‌ها و حروف روی یک تراشه در شکل ۱ آمده است. در سمت چپ این شکل، خود تراشه و در سمت راست آن توضیحات مربوط به هر یک از حروف و اعداد روی تراشه به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۱. تشریح اعداد و حروف روی یک تراشه نمونه

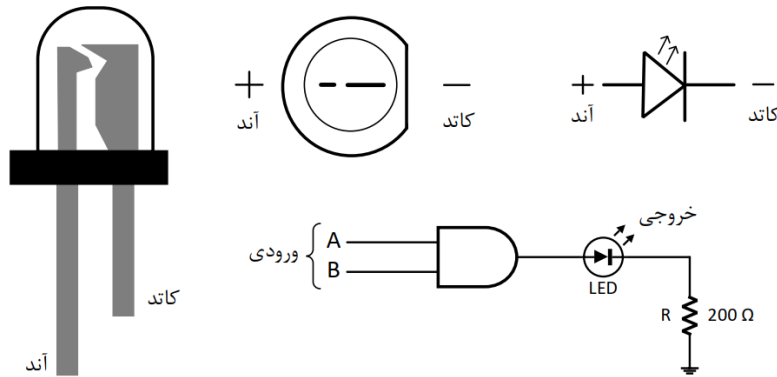
شکل ۲ دو عدد تراشه را نمایش می‌دهد که بر روی بردبرد قرار گرفته‌اند. هر تراشه که دانشجویان در این آزمایشگاه استفاده خواهند کرد دارای یک حفره در بالا و یک دایره در قسمت چپ آن است. این حفره نیمه به معنای قسمت بالای تراشه و دایره به معنای شروع پایه از شماره ۱ می‌باشد. شماره پایه‌ها همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، از شماره ۱ در یک ردیف شروع و در همان ردیف تا به انتها زیاد می‌شود و سپس به شکل پادساعتگرد در ردیف روبرو از پایین ادامه می‌یابد تا به آخرین پایه با بیشترین شماره برسد. این پایه در نهایت در ردیف روبروی دایره قرار می‌گیرد.



شکل ۲. نمونه‌ای از قرارگیری دو تراشه بر روی بردبرد

نکته دیگر در بخش اول، استفاده از LEDها است. LED یک دیود نورانی است که دو پایه دارد. این دو پایه کاتد و آند است. کاتد سر منفی دیود و آند سر مثبت دیود است که در شکل ۳ نمایش داده شده است. سه روش برای شناسایی وجود دارد که در شکل ۳ مشخص است. روش اول، پایه کوتاه سر کاتد و پایه بلند سر آند است. سطح صاف دیود، نزدیک پایه کاتد و سطح محدب آن نزدیک پایه آند است. روش آخر نیز فلز داخلی LED است که اگر ضخیم باشد به پایه کاتد و اگر نازک باشد، به پایه آند متصل خواهد بود.

برای اتصال، بایستی خروجی مدار را به آند LED متصل کرد و کاتد آن را حتماً با یک مقاومت به زمین متصل کنید. مقاومت به منظور محدود کردن شدت جریان و جلوگیری از دیود و تراشه به کار می‌رود و مقدار مقاومت بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ اهم خواهد بود.



شکل ۳. پایه‌های دیود نورانی و نحوه اتصال آن به خروجی مدار

نکات مهم پیش از شروع به کار عملی در آزمایشگاه مدارهای منطقی و معماری کامپیوتر

پیش از شروع آزمایشگاه، دانشجویان بایستی موارد زیر را به دقت مطالعه کرده و در طی جلسات آزمایشگاه رعایت کنند:

- ۱- قبل از انجام هر آزمایش، مبحث تئوری مربوط به آن آزمایش بطور کامل مطالعه شود.
- ۲- هیچ‌گاه ورودی یک تراشه را نمی‌توان به جایی وصل نکرد چون این کار باعث تاثیرپذیری زیاد مدار نسبت به نویز می‌شود.
- ۳- هیچ‌گاه خروجی یک تراشه را به خروجی تراشه‌ی دیگر یا V_{cc} و GND وصل نکنید. این کار به تراشه صدمه میرساند.
- ۴- هیچ‌گاه دیودهای نورانی یا هر قطعه‌ای که در آن LED به کار رفته است، مانند Seven Segment 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.
- ۵- تراشه‌های TTL نیاز به منبع تغذیه ۵ ولتی و تراشه‌های CMOS می‌توانند با منبع تغذیه‌های ۳ تا ۱۵ ولتی کار کنند.
- ۶- قسمت مهم کار در بخش اول این آزمایشگاه عیب‌یابی مدارها است. صرفاً وصل کردن مدار چندان مهم نیست، بلکه عیب‌یابی آن مهم‌تر است. معمولاً مداری که متصل می‌نمایید دارای عیب‌هایی است و کمتر مداری بدون اشتباه وصل می‌شود. پس بایستی یاد بگیریم که بتوانیم هر مداری را عیب‌یابی کنیم حتی اگر آن مدار را خودمان نبسته باشیم. این کار مستلزم آن است که با هر تراشه‌ای که آشنا می‌شویم، طرز کار آن را به دقت یاد بگیریم تا با بررسی ولتاژهای خروجی‌های قطعات مدار به مشکل کار پی ببریم.
- ۷- برای خواندن ولتاژ با مالتی‌متر، از روی پایه‌های فلزی تراشه اقدام به این کار نکنید و نه از سوراخ‌های بردبرد، چون احتمال خرابی بردبرد و قطع سیم‌ها وجود دارد. برای خواندن ولتاژ با مالتی‌متر، یک سر (ترمینال به رنگ مشکی) مالتی‌متر را به زمین وصل می‌کنیم و ترمینال دیگر (به رنگ قرمز) را به جایی که می‌خواهیم ولتاژ آن را اندازه بگیریم متصل می‌کنیم.

آزمایش شماره ۱: آشنایی با گیت‌های منطقی

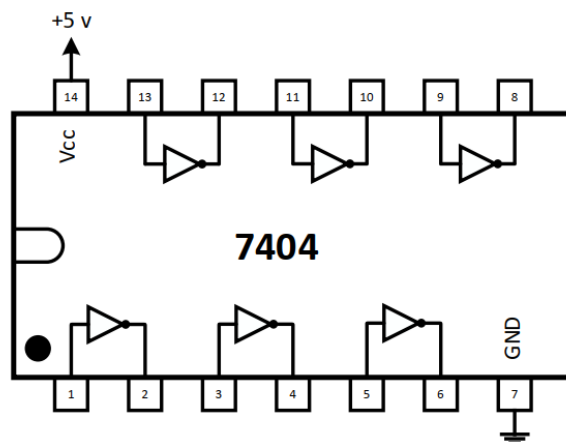
در این آزمایش با رفتار منطقی هر یک از گیت‌های پایه مدارات منطقی آشنا خواهیم شد.

وسایل مورد نیاز:

- بردبرد، مالتی‌متر، منبع تغذیه
- مقاومت ۱۵۰ اهمی، دیود نورانی
- تراشه‌های ۷۴۰۰، ۷۴۰۴، ۷۴۰۸، ۷۴۳۲، ۷۴۸۶، ۷۴۱۱

الف) تراشه شماره ۷۴۰۴ (که شامل شش گیت NOT است) را آزمایش کنید.

برای این کار تراشه شماره ۷۴۰۴ را که در شکل ۴ نمایش داده شده است را بر روی بردبرد قرار دهید و پایه‌های زمین و ۵ ولت منبع تغذیه را به ترتیب به پایه ۷ و ۱۴ تراشه متصل نمایید.



شکل ۴. شمای داخلی تراشه ۷۴۰۴

به ورودی یکی از گیت‌های NOT در تراشه، به ترتیب ولتاژ ۰ و ۵ ولت (یعنی صفر و یک منطقی) وصل کنید و خروجی را در این دو حالت با مالتی‌متر اندازه بگیرید. ولتاژ خروجی در دو حالت صفر و یک منطقی چه مقداری است؟

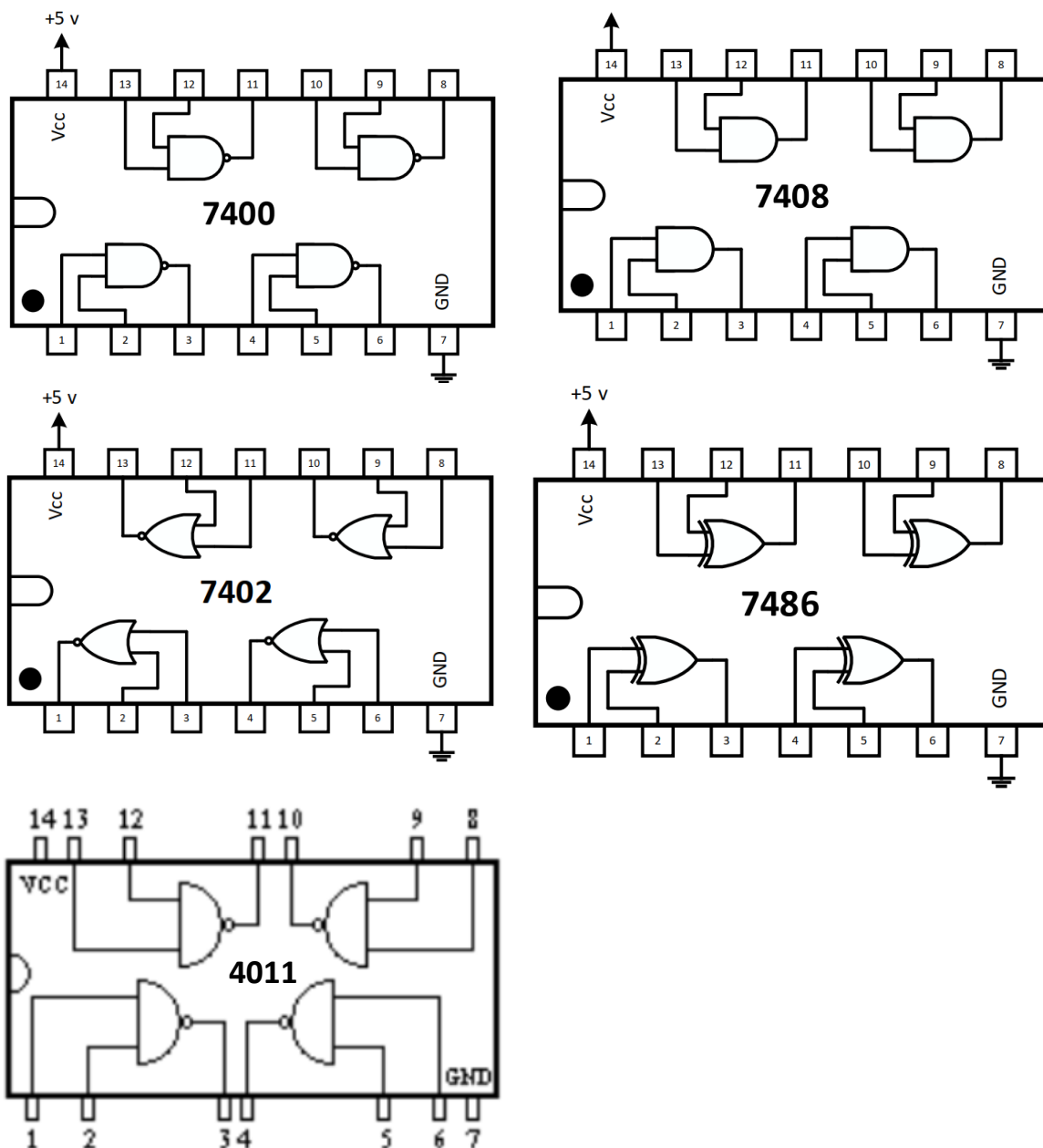
حدود سطوح ولتاژ صفر منطقی و یک منطقی را در این آزمایش یادداشت کنید تا در آزمایش‌های بعدی به هنگام خطایابی از آن استفاده کنید.

با باز نگه داشتن ورودی (وصل نکردن به هیچ منبعی) یا به اصطلاح (No Connection) N.C، خروجی چه مقداری به خود می‌گیرد؟ صفر منطقی یا یک منطقی است؟ در این صورت، ورودی صفر منطقی تعبیر می‌شود یا یک منطقی؟

خروجی تراشه ۷۴۰۴ را در دو حالت یک منطقی و صفر منطقی با استفاده از دیود نورانی مشاهده کنید.

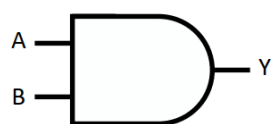
تذکر: LED را مستقیماً به خروجی وصل نکنید و با استفاده از مقاومت به خروجی مورد نظر مطابق شکل ۳ وصل کنید. در طراحی مدارهای منطقی، هیچ‌گاه نباید ورودی را باز (N.C.) قرار داد، چون باعث اختلال در عملکرد مدار می‌شود.

ب) تراشه‌های ۷۴۰۰، ۷۴۰۸، ۷۴۳۲، ۷۴۸۶ و ۴۰۱۱ را نیز آزمایش کنید. تراشه‌های مذکور در شکل ۵ نمایش داده شده است.

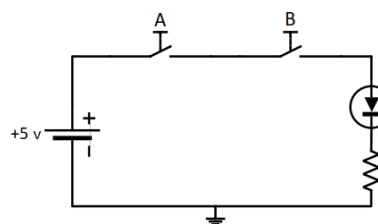


شکل ۵. شمای داخلی تراشه‌ها

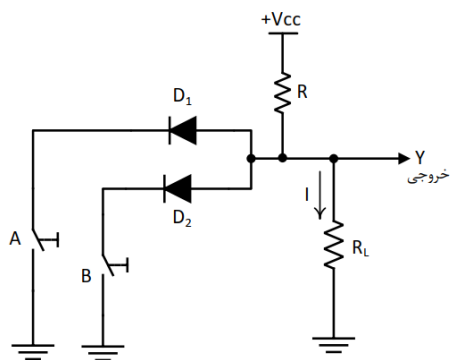
نماد مداری یک گیت AND که چهار عدد از آن در تراشه ۷۴۰۸ وجود دارد، مدار معادل کلیدی، و مدار معادل دیودی در حالت اتصال کوتاه دیودها در شکل ۶ نمایش داده شده است.



(پ)



(ب)



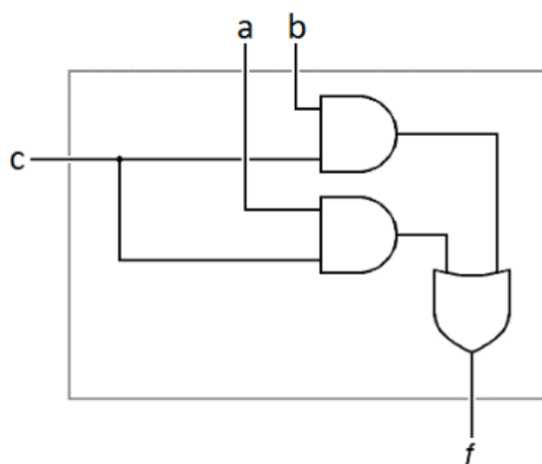
(الف)

با توجه به آزمایش‌های انجام شده، جدول ۲ را پر کنید.

جدول ۲. نتیجه آزمایش مدارات

A	B	7400	7408	7432	7486	4011
0	0					
5	0					
0	5					
5	5					
N.C.	0					
5	N.C.					
N.C.	N.C.					

(ج) مدار شکل ۶ را پیاده‌سازی کنید و به ازای تمامی ورودی‌های ممکن، خروجی تولید شده در جدول درستی را پر کنید.



شکل ۶. نمونه مدار مورد آزمایش

آزمایش شماره ۲: پیاده‌سازی توابع منطقی با استفاده از جدول کارنو

در این آزمایش به یادآوری جدول کارنو خواهیم پرداخت و نحوه پیاده‌سازی عملی توابع منطقی با استفاده از تراشه‌های سری ۷۴ را آموزش خواهیم داد.

وسایل مورد نیاز:

- بردبورد، مالتی‌متر، منبع تغذیه
- مقاومت ۱۵۰ اهمی، دیود نورانی
- تراشه‌های ۷۴۰۴، ۷۴۰۸، ۷۴۳۲

الف) تابع منطقی زیر با استفاده از جدول کارنو ساده کرده و مدار آن را با استفاده از تراشه‌ها منطقی پیاده‌سازی کنید (SOP).

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

ولتاژ گره‌ها را در جدول زیر بر اساس مداری که پیاده‌سازی کرده‌اید یادداشت کنید.

جدول ۳. نتیجه آزمایش مدارات

V_A	V_B	V_C	V_F

این مدار چه مداری است؟ کاربرد آن برای چیست؟

ب) تابع زیر را با استفاده از جدول کارنو ساده کنید و با استفاده از تراشه‌های منطقی پیاده‌سازی نمایید.

$$f(A, B, C, D) = \sum(1, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 14) + d(0, 7)$$

جدول شماره ۴ را بر اساس نتایج حاصل از آزمایش پر کنید.

جدول ۴. نتیجه آزمایش مدارات

V_A	V_B	V_C	V_D	V_f

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

آزمایش شماره ۳: آشنایی با مالتی پلکسر، دیکدر و انکدر

در این آزمایش به یادآوری و بررسی نحوه کار با مدارهای دیکدر 2^4 ، مالتی پلکسر 4×1 و انکدر 2^4 را در سطح گیت می پردازیم. زبان توصیف سخت افزار^۹، زبانی است که از آن برای توصیف سخت افزار سیستم های دیجیتال به صورت متنی استفاده می کنند. به عبارت دیگر، از زبان های توصیف سخت افزار می توان برای توصیف رابطه منطقی بین سیگنال های ورودی یک مدار و سیگنال های خروجی آن می توان استفاده کرد. از این رو، این زبان ها می توانند مدارهای منطقی، عبارت های بولی و یا مدارهای پیچیده را توصیف کنند. از بین زبان های توصیف سخت افزار، زبان Verilog و VHDL محبوبیت دارند که در این آزمایشگاه ما با زبان توصیف VHDL کار خواهیم کرد.

یک شبیه ساز HDL، توصیف مدار را دریافت می کند و بر اساس مقدار ورودی ها و ساختار سیستم دیجیتال طراحی شده، مقدار خروجی ها را تعیین می کند. بنابراین، می توان قبل از ساخت، مدار را آزمایش کرد و از صحت عملکرد آن مطمئن شد.

الف) مدارهای زیر را در سطح گیت و با استفاده از زبان توصیف سخت افزار VHDL پیاده سازی نمایید.

- دیکدر 2^4
- مالتی پلکسر 4×1
- انکدر اولویت 4×2

ب) اکنون با استفاده از مدار دیکدری که در مرحله قبل طراحی کرده اید، تابع زیر را پیاده سازی کنید. می توانید از سایر گیت های پایه نیز برای پیاده سازی استفاده کنید.

$$F(A, B, C, D) = \sum m(1, 2, 4, 7, 8, 11, 13, 14)$$

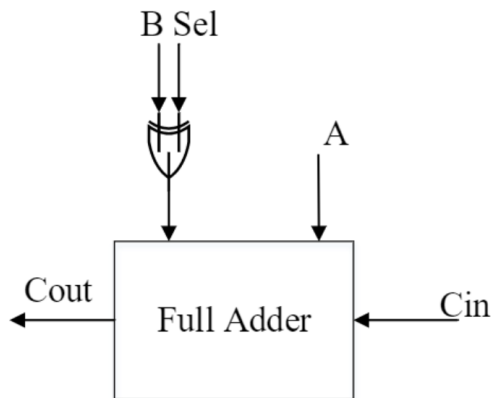
ج) تابعی که پیاده سازی کرده اید چه مداری است؟ این مدار به چه کاری می آید.

د) با استفاده از کاربردی که یافته اید، اگر داده ورودی ۴ بیتی باشد، از چه نوعی از این کاربرد بایستی استفاده کرد؟ چرا؟

^۹ Hardware Description Language (HDL)

آزمایش شماره ۴: پیاده‌سازی مدار جمع‌کننده-تفریق‌کننده چهار بیتی به صورت ساختاری

هدف در این آزمایش پیاده‌سازی مدار شکل ۷ است. در این مدار، دو بیت A و B به عنوان ورودی، وارد سیستم می‌شوند و با توجه به اینکه ورودی دیگر که C_{in} است، مقدار صفر یا یک را دارا باشد، دو بیت متناظر با یکدیگر جمع یا از هم تفریق می‌شوند.



شکل ۷. مدار جمع‌کننده-تفریق‌کننده تک بیتی

الف) این مدار را با زبان VHDL به صورت ساختاری^{۱۰} توصیف کنید. توصیف مدار تمام جمع‌کننده‌ی شکل ۷ نیز به صورت ساختاری انجام شود (فرض کنید تاخیر گیت‌های AND و OR هر کدام ۵ نانوثانیه، گیت XOR ۱۰ نانوثانیه و گیت NOT ۲ نانوثانیه است. تاخیرهای ذکرشده در تمامی مراحل آزمایش برقرار است).

ب) حال با استفاده از مدرا توصیف شده در بخش قبل، مدار جمع‌کننده-تفریق‌کننده ۴-بیتی را توصیف کنید.

ج) در این مرحله به شبیه‌سازی کد HDL و توصیف مدار می‌پردازیم. برای مدار قسمت (ب) یک برنامه آزمون (Testbench) بنویسید و بر اساس مقدار ورودی‌ها و ساختار سیستم دیجیتال طراحی شده، مقدار خروجی‌ها را برای ۳ حالت تفریق و ۳ حالت جمع تعیین کنید. گذارهای خروجی را پس از اینکه خروجی ثابت شد، تشریح کنید. علت تغییرات مشاهده شده چیست؟

نکته: توصیف ساختاری به معنای تولید نمونه یا **instantiation** از گیت‌ها و اتصال آن‌ها به یکدیگر با استفاده از سیم است.

¹⁰ Structural