



سامانه مدیریت خانه هوشمند

مقدمه

دنیای دیجیتال امروز خدماتی را برای مردم فراهم کرده که زندگی را آسان تر و ایمن تر ساخته است. امکاناتی که سیستم های دیجیتال در اختیار کاربران قرار می دهند علیرغم تعدد و تنوع، می توانند روزانه زندگی فردی و جمعی را مدیریت کرده و از مشکلاتی که از بی دقتی ما انسان ها نشأت می گیرد جلوگیری کنند. این سامانه ها از هوشمندی نسبی برخوردار هستند. یکی از این امکانات، سامانه مدیریت خانه هوشمند^۱ است. خانه های هوشمند مانند سایر موارد مرتبط با تکنولوژی، به سرعت در حال توسعه و گسترش هستند. با ظهور اینترنت چیزها^۲ که هدف آن مرتبط کردن تمام دستگاه ها با شبکه جهانی اینترنت است، خانه های هوشمند به عنوان یکی از اجزای مهم این تکنولوژی مطرح شده است.

با توجه به این که ما انسان ها بیش از ۹۰ درصد زمان خود را در ساختمان ها سپری می کنیم و همچنین بیش از ۴۰ درصد مصرف انرژی در بیشتر کشورها در ساختمان ها مصرف می شود، در بیشتر جوامع توسعه یافته و در حال توسعه ساختمان هوشمند بسیار مورد توجه واقع شده است. ساختمان هوشمند با زیر شاخه هایی نظیر خانه هوشمند، دفتر کار هوشمند، هتل هوشمند، بیمارستان هوشمند و ... شناخته می شود. در تمام این موارد، هدف اصلی از هوشمندسازی، پیاده سازی مواردی مانند روشنایی هوشمند، سیستم سرمایش و گرمایش هوشمند، پرده و کرکره هوشمند، سیستم حفاظتی هوشمند، سیستم چندرسانه ای هوشمند و سایر موارد از این دست می باشد.

شرح کلی سامانه

پروژه پایانی درس مدارهای منطقی، طراحی یک سیستم مدیریت خانه هوشمند است که از کاربر، حسگرها و وسایل هوشمند داده های مختلفی را دریافت کرده و با تحلیل و بررسی آنها، وضعیت ابزارهای مختلف را مشخص می کند و یا هشدارهایی تولید می کند. هدف از این پروژه آشنایی دانشجویان با طراحی یک سامانه نهفته بی درنگ^۳ است.

در این سامانه دمای اتاق، میزان روشنایی و رمز ورود به سامانه قابل پیکربندی است. مجموعه ای از ورودی های فرضی مانند حسگر دما، احتراق و گاز منواکسید کربن وجود دارد که داده ی ورودی را به سامانه ی پردازش و کنترل ارسال می کند و هشدار مناسبی داده می شود. با توجه به دمای ورودی از حسگر و دمای تعیین شده، سامانه سرمایشی-گرمایشی روشن شده و برای مدت زمان مناسبی با شدت مناسبی روشن می ماند. با توجه به روز یا شب بودن و میزان روشنایی پیکربندی شده، میزان بسته یا باز بودن کرکره یا تعداد لامپ روشن مشخص می گردد.

^۱ Smart Home Management System

^۲ Internet of Things

^۳ Real-time Embedded System

برای پیاده‌سازی پروژه، دو فاز در نظر گرفته شده است. در فاز اول مدارهای مورد نیاز برای بخش‌های مختلف به طور مستقل طراحی خواهد شد. در فاز نهایی با توجه به کارکرد سامانه، بخش‌های طراحی شده در فاز اول با یکدیگر ترکیب شده و یک ماشین حالت جهت کنترل توأم آن‌ها و ایجاد هشدار یا پیکربندی وسایل طراحی خواهد شد.

فاز اول: طراحی واحدهای پردازشی

در فاز اول پروژه بخش پردازشی امکاناتی که در سامانه‌ی خانه‌ی هوشمند وجود دارد طراحی می‌شود. در این فاز، بخش‌های مختلف به صورت مستقل از هم طراحی می‌شوند. این بخش از پروژه از پنج بخش (۳ بخش اجباری و ۲ بخش اختیاری) جهت راه‌اندازی حسگرها و ماژول‌ها تشکیل شده است.

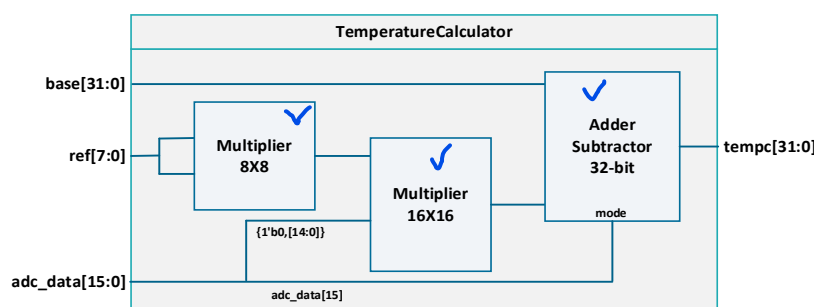
ماژول ۱: حسگر دما (تبدیل ولتاژ به دما)

فرض کنید در خانه‌ی هوشمند یک ماژول دماسنج وجود دارد. ارتباط با دماسنج از طریق **مبدل آنالوگ به دیجیتال** انجام می‌گیرد. در این سامانه ابتدا دمای محیط به وسیله‌ی دماسنج دیجیتالی به مقدار ولتاژ مناسب تبدیل می‌شود. سپس ولتاژ که یک کمیت پیوسته و آنالوگ است، با استفاده از مبدل آنالوگ به دیجیتال به داده‌ی دیجیتالی تبدیل می‌شود. داده‌ی به دست آمده یک داده‌ی خام بوده و لزوماً برابر با مقدار دمای محیط نیست و باید به داده‌ی مناسبی تبدیل شود.

از رابطه‌ی ۱ جهت تبدیل داده‌ی خام (خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال) به داده‌ی مورد انتظار (دمای محیط) استفاده می‌شود.

$$temp_c = base + \left\lfloor \frac{(ref^2 \times adc_data)}{64} \right\rfloor \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

- خروجی $temp_c$ دمای محیط برحسب سلسیوس است و عددی ۳۲ بیتی با نمایش مکمل ۲ است.
 - ورودی ref ولتاژ کاری ماژول است که توسط سیستم تعیین می‌شود و عددی ۸ بیتی در مبنای مکمل ۲ است
 - ورودی $base$ ضریب محیطی برای حسگر است که توسط کارخانه تنظیم می‌شود و ۳۲ بیتی در مبنای مکمل ۲ است.
 - ورودی adc_data خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال است و عددی ۱۶ بیتی با نمایش مقدار-علامت است.
- شکل ۱ نحوه‌ی پیاده‌سازی این عملیات را نشان می‌دهد.



شکل ۱: سامانه حسگر دما

ماژول ۲: حسگر گاز و دود (تشخیص دهنده‌ی دنباله بیتی)

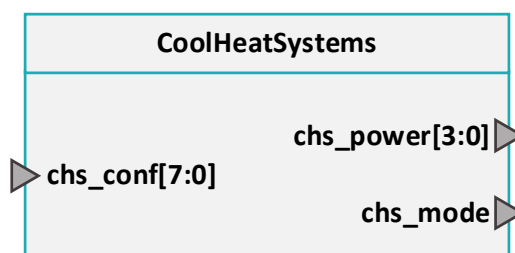
مدار تشخیص گاز و دود دارای یک ورودی تک بیتی (din) و یک کلاک (clk) است و با توجه به دنباله‌ی بیتی مشاهده شده، یک خروجی سه بیتی (gas_mode) تولید می‌کند که هر بیت در صورتی برابر یک می‌شود که غلظت گاز مربوطه از حد آستانه بیشتر باشد. جدول ۱ دنباله‌ی بیتی مورد نظر برای غلظت غیرمجاز هر گاز را نشان می‌دهد. بدیهی است که ممکن است چند گاز مختلف به صورت همزمان از حد آستانه بیشتر باشند. جهت طراحی از هر نوع ماشین حالتی می‌توان استفاده کرد. ابتدا ماشین حالت مدار را رسم نموده و سپس کد وریلاگ متناظر آن را توصیف نمایید.

جدول ۱: دنباله‌ی بیتی و خروجی متناظر

| دنباله‌ی بیتی مربوطه | خروجی | نوع گاز |
|----------------------|-------|-----------------|
| 1011101010 | 001 | متان |
| 101010010011 | 010 | کربن مونو اکسید |
| 100100100 | 100 | کربن دی اکسید |

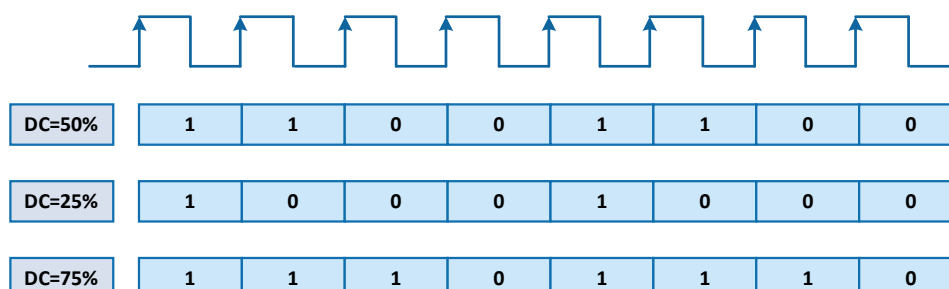
ماژول ۳: سامانه سرمایش و گرمایشی (تولید پالس عرض)

سامانه‌ی سرمایشی و گرمایشی در دو بخش پیکربندی می‌شود. درجه‌ی تولید گرما یا سرما به وسیله‌ی یک عدد ۸ بیتی (chs_conf) مشخص می‌شود. اگر تعداد بیت‌های یک در این عدد ۸ بیتی عددی زوج باشد بخش کولر ($chs_mode = 0$) و در صورتی که عددی فرد باشد بخش گرم‌کننده ($chs_mode = 1$) روشن می‌شود. تعداد یک‌ها نیز قدرت آن (chs_power) را مشخص می‌کند. به عنوان مثال اگر ورودی عدد 00101001 باشد، بخش تولید کننده گرما با قدرت ۳ روشن می‌شود. شکل ۲ نحوه‌ی پیاده‌سازی این عملیات را نشان می‌دهد.



شکل ۲: سیستم تولیدکننده سرما و گرما

در بخش مشخص کردن سرعت فن سامانه از چرخه‌ی کار استفاده می‌شود. در این سیستم جهت ایجاد سرعت‌های مختلف، در خروجی مدار به طور متناوب اعداد یک یا صفر ارسال می‌شوند، به این صورت که برای یک بازه‌ی مشخص (تعداد کلاک مشخص) تعدادی یک ارسال کرده و در مابقی بازه به طور مکرر صفر ارسال می‌کند. تعداد یک‌های ارسالی به صورت درصد بیان شده و چرخه‌ی کار^۴ نامیده می‌شود. به عنوان مثال، اگر طول دوره تناوب برابر ۱۲۸ باشد (۱۲۸ کلاک) آنگاه چرخه‌ی کار ۵۰ درصد به این معناست که در ۶۴ کلاک اول عدد یک به خروجی فرستاده شود و در ۶۴ کلاک بعدی عدد صفر ارسال شود. چرخه‌ی کار ۲۵ درصد ($\frac{32}{128}$) نیز به این معناست که در ۳۲ کلاک اول عدد یک به خروجی فرستاده شود و در ۹۶ کلاک بعدی عدد صفر ارسال شود. ورودی این بخش یک عدد ۸ بیتی با نام $speed$ است که $\frac{speed}{256}$ مشخص‌کننده‌ی چرخه‌ی کار است. خروجی نیز تک بیتی (pwd_data) است. شکل ۳ نمونه‌ی دو بیتی از این سیستم را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نمونه‌ی دو بیتی از واحد تولید عرض پالس

^۴ Duty Cycle

ماژول ۴: سامانه روشنایی (مدیریت چراغ و کرکره) (اختیاری)

در این سامانه با توجه به ساعات شبانه روز روشنایی خانه پیکربندی می‌شود. در هنگام شب برای روشن کردن اتاق‌ها از چراغ و در هنگام روز از نور آفتاب (با باز کردن مقداری از کرکره) استفاده می‌شود. در جدول ۲ تعداد لامپ‌های روشن و میزان باز بودن کرکره پنجره مشخص شده است. میزان باز بودن کرکره با یک عدد چهار بیتی (خروجی wshade) مشخص می‌گردد. تعداد لامپ‌ها ۱۶ عدد است که توسط یک عدد چهار بیتی (user_light) تعداد لامپ‌های روشن مشخص می‌شود. این داده‌ی چهار بیتی به یک دیکدر ۴ به ۱۶ خاص منظوره داده می‌شود تا روشن یا خاموش بودن هر لامپ را مشخص کند. در این دیکدر، داده‌های خروجی مینترم‌هایی که از عدد ورودی کوچکتر هستند یک و مابقی مینترم‌ها صفر می‌شود. به عنوان مثال، اگر ورودی (تعداد لامپ‌های روشن) برابر ۶ باشد، خروجی‌های ۰ الی ۵ برابر یک و خروجی‌های ۶ الی ۱۵ برابر صفر می‌شود.

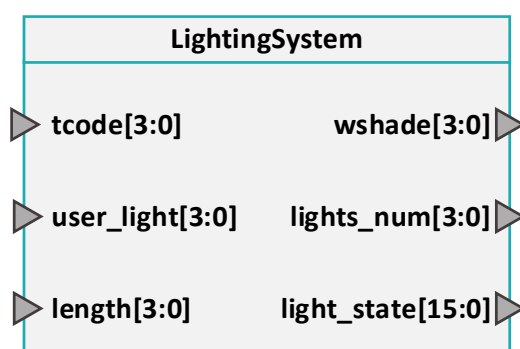
برای هر بازه‌ی ساعتی یک کد چهار بیتی با نام (tcode) در نظر گرفته شده است که در جدول ۲ نیز قابل مشاهده است.

شکل ۴ ورودی‌ها و خروجی‌های مدار کلی را مشخص می‌کند.

جدول ۲: تعداد لامپ‌های روشن و میزان باز بودن کرکره

| تعداد لامپ‌های روشن | درصد باز بودن کرکره | کد | بازه‌ی ساعتی |
|--------------------------|------------------------|------|-----------------|
| ۰ | ٪۱۰۰ | 0001 | ۷:۰۰ الی ۱۱:۰۰ |
| ۰ | ٪۷۵ | 0010 | ۱۱:۰۰ الی ۱۵:۰۰ |
| نسبت مساحت به محیط اتاق* | توسط کاربر مشخص می‌شود | 0100 | ۱۵:۰۰ الی ۱۸:۰۰ |
| توسط کاربر مشخص می‌شود | ٪۰ | 1000 | ۱۸:۰۰ الی ۲۳:۰۰ |
| ۰ | ٪۰ | 0000 | بقیه موارد |

* اتاق‌ها مربعی شکل هستند و طول اتاق با یک عدد چهار بیتی (length) مشخص می‌شود.

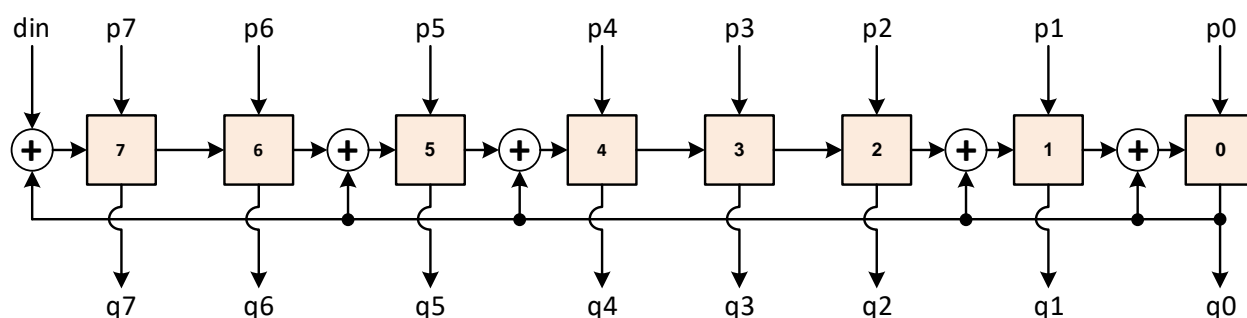


شکل ۴: نمونه‌ی دو بیتی از واحد تولید عرض پالس

ماژول ۵: رقص نور اتاق کودک (اختیاری)

برای اتاق کودک یک چراغ‌نما قرار داده شده است که به طور تصادفی رنگ‌های متفاوتی را نشان می‌دهد. جهت روشن کردن تصادفی چراغ‌ها از واحد CRC⁵ استفاده شده است. شکل ۵ ساختار داخلی این سیستم را نشان می‌دهد. ابتدا یک عدد در ثبات‌ها از طریق تنظیمات کاربر قرار داده می‌شود. سپس در هر کلاک یک داده ۸ بیتی جدید تولید می‌شود. عملیات \oplus معادل XOR است.

⁵ Cyclic Redundancy Check



شکل ۵: تولیدکننده عدد تصادفی



شکل ۶: شماتیک تولیدکننده عدد تصادفی

فاز دوم: پیکربندی و واحد کنترل

در فاز دوم (نهایی پروژه) یک واحد حافظه جهت ذخیره‌ی داده‌های پیکربندی توسط کاربر طراحی می‌شود. در این بخش یک واحد کنترل جهت بررسی درستی رمز عبور نیز قرار داده می‌شود.

ماژول ۶: واحد حافظه

یک ثابت عریض است که هر بخش از آن مربوط به تنظیمات یک ماژول است. جدول ۳ جزئیات آن را نشان می‌دهد.

جدول ۳: تعداد لامپ‌های روشن و میزان باز بودن کرکره

| شماره بیت‌ها | ماژول | نام ورودی در ماژول | شرح |
|--------------|-------|--------------------|---|
| mem [7:0] | ۱ | ref | ولتاژ کاری حسگر دما |
| mem [15:8] | ۳ | chs_conf | چرخه‌ی کار سامانه سرعت فن |
| mem [19:16] | ۴ | user_light | تعداد لامپ روشن یا میزان باز بودن کرکره |
| mem [23:20] | ۴ | length | طول یک ضلع اتاق مربعی |
| mem [31:24] | ۵ | p | مقدار اولیه ثابت در مدار رقص نور |
| mem [32] | ۵ | din | مقدار داده در مدار رقص نور |
| mem [34:33] | ۷ | userpass | رمز ورود سیستم |

در نظر داشته باشید که در یک حافظه باید کل داده‌ی ورودی همزمان عوض شود. لذا باید روشی در نظر بگیرید که فقط بخش مورد نظر را تغییر دهید.



ماژول ۷: واحد پیکربندی و رمز عبور

در این واحد ابتدا رمز عبور بررسی می‌شود و در صورت درستی آن، محتوای حافظه تغییر داده می‌شود.

سامانه در ابتدا در حالت «بیکار» قرار دارد (حالت A). کاربر باید ابتدا با فعال کردن ورودی request، سامانه را وارد حالت «فعال» نماید (حالت B). سپس سامانه منتظر می‌ماند تا کاربر رمز عبور دو بیتی را وارد کرده و دکمه‌ی تأیید (confirm) را فشار دهد. در صورتی که رمز عبور درست باشد، سامانه وارد حالت «درخواست» می‌شود (حالت C) و در غیر این صورت، سامانه به حالت «تله» (حالت E) می‌رود. اگر سامانه وارد حالت «درخواست» شود، منتظر می‌ماند تا کاربر یک داده ۳۵ 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 D). در تمام این مراحل اگر کاربر ورودی request را صفر کند، سامانه بلافاصله به حالت «بیکار» می‌رود.

آزمون محک خودکار

برای بررسی درستی عملکرد هر یک از مدارها یک فایل محیط آزمون^۶ قرار داده شده است. خروجی مورد انتظار نیز برای آن ماژول در قالب فایل در اختیار شما قرار داده می‌شود. برای فاز نهایی و تست همه جانبه یک فایل محیط آزمونی در اختیار مدرسین قرار دارد تا درستی پیاده‌سازی را بررسی نمایند.

سامانه دارای یک کلاک بوده و برای همه‌ی مدارهای ترتیبی یکسان است.

قالب کد پروژه

همانند آزمایش‌ها، برای پروژه کد قالب در صفحه گیت‌هاب درس قرار داده شده است. به دلیل تست خودکار، دانشجویان موظف هستند از آن استفاده نمایند و به هیچ وجه نام فایل، نام ماژول و نام پورت‌ها را تغییر ندهند. (لینک)

نحوه‌ی انجام و تحویل پروژه

از مسیر گیت‌هاب درس فایل‌های قالب پروژه قرار داده شده است. علاوه بر آن فایل فشرده‌ای با نام SmartHomeSystem.zip در اختیارتان قرار داده شده است. این فایل در واقع یک پروژه در محیط Xilinx ISE Design Suite است که فایل‌های توصیف وریلاگ نیز به آن اضافه شده است. نام ماژول‌های اصلی و ورودی - خروجی در داخل فایل نوشته شده است. نام ماژول و ورودی - خروجی را تغییر ندهید. کدهای خود را در محل مشخص شده بنویسید. اگر نیاز دارید ماژول جدیدی طراحی نمایید، پس از ماژول اصلی یک ماژول را توصیف نمایید. یک فایل وریلاگ با نام user.v نیز قرار داده شده است. می‌توانید مدارهایی که به‌طور مشترک در بخش‌های متفاوتی استفاده می‌شود (مانند دیکدر، مالتی‌پلکسر، فلیپ‌فلاپ و ...) را در آن بنویسید.

کدها باید سنتزپذیر باشند و در نرم‌افزار Xilinx ISE Design Suite خطا (Error) نداشته باشید ولی برای برخی از ماژول‌ها هشدار (Warning) قابل قبول است. جهت تصدیق درستی کارکرد هر ماژول یک فایل محیط آزمون قرار داده شده است. خروجی متناظر با آن نیز با همان نام و با پسوند out. قرار داده شده است. برای بررسی درستی و دیباگ از آن استفاده نمایید.

فایل شبیه‌سازی برای سه ابزار Xilinx ISE Design Suite، MentorGraphic ModelSim و Icarus Verilog تست شده است و سازگار است.

^۶ Testbench File

زمانبندی پروژه

آخرین مهلت ارسال فاز اول پروژه به صورت الکترونیکی ساعت ۲۳:۵۹ پنجشنبه ۹ بهمن و آخرین مهلت ارسال کل پروژه به صورت الکترونیکی برای همه گروه‌ها ساعت ۲۳:۵۹ جمعه ۱۷ بهمن خواهد بود. تحویل پروژه به مدرسین آزمایشگاه (پرسش و پاسخ) در طول روزهای شنبه ۱۸ بهمن و یکشنبه ۱۹ بهمن مطابق زمانبندی که مدرسین به دانشجویان گروه خود اعلام می‌کنند خواهند کرد. بدیهی است که جهت رعایت عدالت، دانشجویان باید همان نسخه‌ای از پروژه را در روزهای شنبه و یکشنبه تحویل دهند که در آخر وقت جمعه برای مدرسین ارسال کردند. بخش‌های اختیاری در فاز نهایی ارسال شود. بنابراین برای فاز اول ماژول‌های ۱ الی ۳ و برای فاز نهایی ماژول‌های فاز ۱ الی ۷ ارسال شوند.

دانشجویان باید پروژه خود را طبق زمان‌بندی‌ای که اعلام خواهد شد، به استاد آزمایشگاه خود تحویل دهند. امکان تحویل قبل از زمان مقرر شده با موافقت و هماهنگی استاد آزمایشگاه امکان‌پذیر است.

ارزیابی پروژه

ارزیابی از سه بخش اصلی تشکیل شده است.

- بخش اول ارزیابی از طریق شبیه‌سازی طرح است. فایل شبیه‌سازی کل در ادامه در اختیار شما قرار داده شده است.
- بخش دوم ارزیابی از طریق سنتزپذیر بودن کد است که توسط مدرسین بررسی خواهد شد و در هنگام تحویل شفاهی نیز باید آماده باشد.
- بخش سوم ارزیابی از طریق پرسش شفاهی (مجازی) است که هنگام تحویل پروژه باید به آن‌ها پاسخ دهید. هر یک از اعضای گروه باید مستقلاً بر کلیه مدارهای طراحی شده تسلط کامل داشته باشند و برای ماژول‌هایی که به طراحی نیاز دارند، مانند رسم جدول کارنو، رسم ماشین حالت و ... باید بر بروی کاغذ رسم نموده و هنگام ارائه‌ی پروژه تحویل دهند.
- یک گزارش یک الی دو صفحه‌ای از طراحی خود را آماده کنید و مواردی که فکر می‌کنید باید برای مدرسین آزمایشگاه بیان کنید را در آن بنویسید. نام و نام خانوادگی، شماره دانشجویی، نام استاد درس مدار منطقی و نام مدرس آزمایشگاه را نیز بنویسید.
- ماژول‌های ۴ و ۵ اختیاری است که هر کدام ۲۰ درصد نمره اضافی دارد. در ادامه بارم‌بندی نمرات پروژه و آزمایشگاه درس آمده است.

| مورد | درصد نمره |
|------------------------------|-----------|
| پیش‌گزارش | ۱۰ |
| ارائه‌ی مجازی و حضور در کلاس | ۴۰ |

- ماژول‌ها باید سنتزپذیر باشند. اگر مداری سنتزپذیر نباشد ولی کارکرد درستی داشته باشد ۵۰ درصد نمره آن لحاظ می‌شود.
- فازهای اختیاری هر کدام ۲۰ درصد نمره اضافی دارند. نمره پروژه ۲.۵ نمره است و در واقع پروژه یک نمره اضافی دارد.
- در طول ارائه پرسش‌های شفاهی از ابزار و کدهای نوشته شده و مفاهیم طراحی پرسیده می‌شود. در صورتی که دانشجو به بخشی از کدهای نوشته شده یا ابزار تسلط کافی نداشته باشد، نمره صفر لحاظ خواهد شد.

ریز نمرات پروژه پایانی

| نمره (درصد) | اجزای مدار ترکیبی سامانه مدیریت خانه هوشمند | |
|-------------|--|--|
| ۱۵ | پیاده سازی مدار ضرب کننده ۸ بیتی | ماژول ۱ (حسگر دما) |
| | پیاده سازی مدار ضرب کننده ۱۶ بیتی | |
| | پیاده سازی مدار جمع کننده-تفریق کننده ۳۲ بیتی | |
| ۱۵ | پیاده سازی تشخیص دهنده ها به طور مستقل | ماژول ۲ (حسگر گاز و دود) |
| | پیاده سازی تشخیص دهنده ها همپوشان | |
| ۱۵ | کارکرد درست مدار داخلی | ماژول ۳ (سامانه سرمایش و گرمایشی) |
| | کارکرد درست برای وظیفه کار متفاوت | |
| ۲۰+ | پیاده سازی بخش دیکدر | ماژول ۴ (فاز اختیاری: سامانه روشنایی) |
| | پیاده سازی براساس جدول مربوطه | |
| | کارکرد درست سیستم به طور جامع | |
| ۲۰+ | پیاده سازی مدار داخلی | ماژول ۵ (فاز اختیاری: رقص نور) |
| | پیاده سازی تولیدکننده عدد تصادفی | |
| ۱۵ | کارکرد درست حافظه | ماژول ۶ (واحد حافظه) |
| | نوشتن و خواندن محتوای درست | |
| ۲۰ | پیاده سازی ماشین حالت | ماژول ۷ (واحد کنترلی) |
| | بررسی درستی رمز عبور به با استفاده از مقایسه کننده | |
| | ذخیره اطلاعات درست | |
| - | گزارش توابع و مدارهای طراحی شده | گزارش |
| ۲۰ | پاسخ به پرسش های شفاهی، تسلط به ابزار و کد نوشته شده | تسلط و پرسش شفاهی |