



دانشگاه زنجان

دانشکده برق

پایان نامه‌ی کارشناسی

مهندسی برق - کنترل

طراحی و پیاده‌سازی کنترل کننده دیجیتال مطمئن برای موتور در FPGA

نگارنده:

مجید میرزایی

استاد راهنما:

دکتر رضا امید

تیر ۱۳۹۶

چکیده

راه‌اندازی، تولید و مصرف انرژی الکتریکی را به خود اختصاص می‌دهند، همواره مورد توجه بوده است. به کارگیری سیستم‌های کنترل از متداول‌ترین راه‌های کاهش تلفات انرژی و عملکرد بهینه موتورها می‌باشد.

امروزه مسئله اصلی، تعیین مقدار مورد نیاز ضرایب کنترلر و نحوه پیاده‌سازی آن در طراحی سیستم‌های کنترلی است که بتوان به اهداف فوق دست پیدا کرد. با افزایش روش‌های مختلف طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های کنترل از جمله روش‌های پنوماتیکی و نیوماتیکی و سیستم‌های مکانیکی و روش‌های الکترونیکی، مهندسان در حوزه‌های مختلف در این عرصه وارد شده‌اند. در همین راستا متخصصان دیجیتال با ایجاد

ارتباط میان مفاهیم کنترلی و گیت‌های منطقی، سیستم‌های کنترلی حلقه بسته بهینه‌ای را در همین راستا طراحی کرده‌اند.

در این پروژه، مسئله کنترل دور موتور DC به وسیله FPGA را مورد بررسی قرار می‌دهیم. ابتدا روش‌های

کلاسیک طراحی کنترلر را بررسی نموده و روش بهینه را استخراج می‌کنیم، سپس به وسیله روش‌های شناسایی

سیستم روابط مکانیکی موتور را استخراج کرده و براساس آن حلقه‌های کنترلی را طراحی و بر روی FPGA

پیاده‌سازی می‌کنیم.

فهرست

- فصل ۱. معرفی FPGA و کنترلر PID ۱
- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۱-۲- انواع مدارهای منطقی برنامه پذیر ۷
- ۱-۳- ساختار FPGA ۷
- ۱-۴- سوئیچ‌های قابل برنامه‌ریزی CPLD و FPGA ۸
- ۱-۴-۱- ترانزیستور سوئیچ قابل برنامه‌ریزی با گیت شناور ۹
- ۱-۴-۲- سوئیچ قابل برنامه‌ریزی با حافظه SRAM ۱۰
- ۱-۴-۳- سوئیچ قابل برنامه‌ریزی آنتیفیوز ۱۰
- ۱-۵- روش طراحی سیستم‌های دیجیتال با FPGA ۱۱
- ۱-۵-۱- وارد کردن طرح اولیه و کامپایل ۱۲
- ۱-۵-۲- شبیه‌سازی ۱۲
- ۱-۵-۳- سنتز و آماده کردن طرح برای پیاده‌سازی ۱۳
- ۱-۵-۴- فایل پیاده‌سازی ۱۳
- ۱-۵-۵- شبیه‌سازی زمانی ۱۴
- ۱-۵-۶- برنامه‌ریزی FPGA ۱۴
- ۱-۶- موتور DC ۱۴

۱-۶-۳- پارامترهای مدل تقریبی مرتبه اول موتور و ارتباطشان با پاسخ پله حلقه باز سیستم	۱۷
۱-۷-۷- کنترلر PID	۱۷
۱-۷-۱- عملگر نسبی Proportional و تاثیر آن بر روی پاسخ پله حلقه بسته سیستم	۱۹
۱-۷-۲- عملگر انتگرالی Integral و تاثیر آن بر روی پاسخ پله حلقه بسته سیستم	۱۹
۱-۷-۳- عملگر مشتقی Derivative و تاثیر آن بر روی پاسخ پله حلقه بسته سیستم	۲۰
۱-۷-۴- جایگزینی عملگر مشتقی با یک فیلتر پایین گذر	۲۱
فصل ۲. روش های تنظیم پارامترهای یک کنترلر	۲۲
۱-۲- مقدمه	۲۳
۲-۲- روش Ziegler-Nichols	۲۴
۲-۳- روش زیگلر-نیکولز تعمیم یافته	۲۵
۲-۴- روش مکان هندسی برای طراحی کنترل کننده	۲۷
۲-۵- روش CHIEN HORNES RESWICK (CHR)	۳۰
۲-۶- روش COHEN COON	۳۲
فصل ۳. دیجیتال سازی سیگنال آنالوگ و پیاده سازی آن بر روی FPGA	۳۳
۱-۳- مقدمه	۳۴
۲-۳- انواع سیگنال ها	۳۵
۱-۲-۳- سیگنال زمان پیوسته	۳۵

دانشگاه زنجان و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق
۳-۲-۲- سیگنال زمان گسسته	۳۵		
۳-۳- انواع عملیات نمونه برداری	۳۶		
۳-۳-۱- نمونه برداری متناوب	۳۶		
۳-۳-۲- نمونه برداری از مرتبه مکرر	۳۶		
۳-۳-۳- نمونه برداری با نرخ مکرر	۳۶		
۳-۳-۴- نمونه برداری تصادفی	۳۶		
۳-۴- روش های تبدیل توابع پیوسته به توابع گسسته	۳۶		
۳-۴-۱- روش Zero-Order hold (ZOH)	۳۷		
۳-۴-۱-۱- تقریب مسطح و نمونه بردار ایده آل:	۳۹		
۳-۴-۱-۲- تابع تبدیل یک کنترل کننده PID دیجیتال:	۴۱		
فصل ۴. شبیه سازی در نرم افزارهای MATLAB و QUARTUS	۴۴		
۴-۱- پارامترهای مدل مرتبه اول موتور	۴۵		
۴-۲- بررسی اثرات عملگرهای مختلف بر روی پاسخ پله سیستم حلقه بسته:	۴۵		
۴-۳- اثر جایگزین کردن عملگر مشتق با یک فیلتر پایین گذر و اختصاص مقدار مناسب برای			
N	۵۰		
۴-۴- نتایج MATLAB برای روش های گسسته سازی سیستم:	۵۱		

فصل ۱. معرفی FPGA و کنترلر PID

محتوای دروس رشته‌های مهندسی برق، الکترونیک و کامپیوتر در کشورها و دانشگاه‌های مختلف متفاوت است. در این عرصه برخی موضوعات جدید با سرعت قابل ملاحظه‌ای جای خود را باز می‌کند. یکی از این موضوعات طراحی خودکار مدارهای دیجیتال می‌باشد. طراحی خودکار، فرآیند تبدیل یک طرح از یک ایده ذهنی به عمل را از هفته‌ها و ماه‌ها به دقیقه‌ها و ساعت‌ها کاهش می‌دهد. در این روش، طراح با استفاده از ابزار نرم افزاری مناسب، طرح خود را با یک زبان تعریف سخت افزار، بیان نموده و به یک تراشه برنامه پذیر منتقل می‌کند. این روش به دلیل مزایای بی‌شمار، کاربرد فراوانی پیدا کرده است. امروزه زبان سخت افزار VHDL برای توصیف، شبیه‌سازی و طراحی مدارهای دیجیتال از ساده‌ترین شکل تا پیچیده‌ترین سیستم‌ها به کار می‌رود.

امروزه فن آوری ساخت مدارات مجتمع پیشرفت چشم‌گیری کرده است. یکی از بخش‌های مهم این صنعت طراحی ساخت ابزارهای برنامه‌پذیر می‌باشد. این ابزارها تراشه‌های همه منظوره‌ای هستند که می‌توانند جهت کاربردهای مختلف پیکربندی شوند. تراشه‌های برنامه‌پذیر نقش بسیار مهمی در طراحی سخت افزارهای دیجیتال ایفا می‌کنند. تولید تراشه‌های برنامه‌پذیر با ظرفیت و سرعت بالا امکان پیاده سازی سیستم‌های بزرگ و سریع را در مدت کوتاه فراهم کرده است، از طرف دیگر وجود نرم افزارهای کارا در طراحی سخت افزار و پشتیبانی این نرم افزارها از زبان‌های توصیف سخت افزار مختلف و توانایی برنامه ریزی مدارات برنامه پذیر زمینه ساز رویکردی جدید در طراحی سیستم‌های دیجیتال شده است. در طراحی به روش مدرن، نوع نگرش و سطح نگرش طراح، استفاده از زبان توصیف سخت افزار، به کارگیری نرم افزارهای بهینه سازی، شبیه سازی

و سنتز و استفاده از تراشه‌های برنامه پذیر از اهمیت خاصی برخوردار است. امروزه علاوه بر مدارهای مجتمع (IC) استاندارد، مدارهای مجتمع خاص که ASIC نام دارند نیز براساس نیاز مشتری ساخته می‌شود. ساخت این نوع مدارها با تولید کم، بسیار گران تمام می‌شود. برای حل این مسئله

به این ترتیب طراحی مدارهای مجتمع خاص (ASIC) با آرایه‌ای از گیت‌ها متداول گشت که با ابزارهای برنامه‌ریزی CAD گیت‌ها را در عرض چند ثانیه به هم متصل می‌کنند، این نوع مدارها را، مدارهای قابل برنامه‌ریزی (FPGA) می‌نامند. اولین مدارهای منطقی قابل برنامه‌ریزی PLA نامیده شدند و بعد از آن مدارهای قابل برنامه‌ریزی PAL و PLD نیز به بازار عرضه شدند و بالاخره مدارهای پیچیده‌تر قابل برنامه‌ریزی CPLD مطرح شدند.

یک نوع مدار مجتمع قابل برنامه‌ریزی که در سال‌های اخیر عرضه شده است FPGA نامیده می‌شود. FPGA یک مدار مجتمع قابل برنامه‌ریزی توسط کاربر، با ظرفیت حدود ۲۰۰۰۰ تا حدود چند میلیون گیت می‌باشد و با تکنولوژی CMOS ساخته شده است. شکل (۱-۱) نمونه‌هایی از مدارهای قابل برنامه‌ریزی FPGA و



شکل (۱-۱) نمونه‌هایی از مدارهای مجتمع FPGA و CPLD

FPGA و CPLD براساس سلول‌های منطقی طراحی شده اند که ارتباط بین این سلول‌ها نیز قابل برنامه‌ریزی

می‌باشد. چون FPGA و CPLD از نظر برنامه‌ریزی و کاربرد می‌شما هم هستند، لذا در برخی نوشته‌ها CPLD را نوعی FPGA می‌نامند.

FPGA برای ساختن نمونه‌ای از مدار و طراحی سریع سیستم‌های دیجیتال، بسیار مناسب می‌باشد و چون

امکان برنامه‌ریزی آن وجود دارد، بنابراین به آسانی می‌توان متناسب با نیاز کاربر تغییرات لازم را در طراحی

انجام داد و FPGA را مجدداً برنامه‌ریزی نمود، به عبارت دیگر نمونه جدیدی از سیستم دیجیتالی طراحی

کرد. دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه

مدارات برنامه پذیر به سه دسته تقسیم می‌شوند.

برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه

۱. حافظه‌های فقط خواندنی برنامه پذیر (PROM)

۲. افزاره‌های منطقی برنامه پذیر (PLD)

۳. آرایه‌ی دروازه‌های برنامه پذیر میانی (FPGA)

سرعت اجرای توابع منطقی در FPGA ها بسیار بالا و در حد نانو ثانیه می‌باشد. اگر بخواهیم FPGA را به

طور ساده تشریح کنیم، عبارت است از یک تراشه که از تعداد بالایی بلوک منطقی و خطوط ارتباطی و پایه

های ورودی / خروجی (IOB) تشکیل شده است که به صورت آرایه‌ای در کنار یکدیگر قرار گرفته اند. خطوط

ارتباطی که وظیفه آنها ارتباط بین بلوک‌های منطقی است از سوئیچ‌های قابل برنامه‌ریزی تشکیل شده‌اند.

این سوئیچ‌ها بسته به نوعی که دارند، برخی تنها یک‌بار قابل برنامه‌ریزی بوده و برخی به تعداد دفعات زیادی

برنامه‌ریزی می‌گردند. بلوک‌های منطقی نیز دارای انواع مختلفی می‌باشند که عموماً توسط المانی پایه، تمامی

توابع منطقی را ایجاد می‌نمایند. به عنوان مثال بلوک‌های منطقی در خانواده ACT-1 از شرکت Actel، با

پایه مالتی پلکسری عمل می‌نمایند. به این معنا که توسط مالتی پلکسر، توانایی ایجاد توابع منطقی مختلف

را دارا می‌باشند. البته تعداد ورودی‌های هر بلوک منطقی متفاوت بوده و به نوع FPGA مربوط می‌گردد. به

عنوان مثال بلوک‌های منطقی در خانواده ACT-1 از نوع 8 ورودی می‌باشند. در برخی موارد به بلوک‌های

زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

FPGA دارای محاسن زیر است:

۱. مدارهای دیجیتال پیچیده به آسانی در آنها پیاده‌سازی می‌شود.
۲. سرعت تست مدار بالا است و قابل برنامه‌ریزی توسط کاربر می‌باشد.
۳. برای تولید کم، ارزان تمام می‌شود و متناسب با نیاز کاربر می‌توان FPGA را با ساختار جدید به کار گرفت.

هم‌چنین معایب آن عبارتست از:

۱. سطح سیلیکون FPGA به صورت بهینه استفاده نمی‌شود.
۲. تاخیر و توان مصرفی آن نسبت به ICهایی که در کارخانه ساخته می‌شوند، بیشتر است.

با توجه به محاسن فوق، طراحی سیستم‌های دیجیتال جدید با VHDL و پیاده‌سازی آن بر روی FPGA

افزایش روزافزونی یافته است، به طوریکه امروزه سازندگان مختلفی از جمله شرکت‌های Altera, Xilinx,

Actel, Quicklogic, AT&T و... انواع مختلف FPGAها را تولید و ابزارهای برنامه‌ریزی لازم، به بازار عرضه

نموده‌اند، به عنوان مثال برای FPGAهای شرکت Altera ابزار برنامه‌ریزی FPGA به نام MAX+PLUS یا

QUARTUS و برای FPGAهای شرکت Xilinx ابزار برنامه‌ریزی ای تحت عنوان Foundation و ISE استفاده

می‌شود.

طرز طراحی مدارهای دیجیتال با VHDL و FPGA مطابق مراحل زیر است: شکل (۱-۲-الف)

۱. ابتدا ویژگی طرح توسط مهندس طراح تهیه و به برنامه VHDL تبدیل می‌شود. شکل (۱-۲-ب)

۲. در این مرحله برنامه VHDL توسط ابزار برنامه‌ریزی FPGA کامپایل و سنتز می‌شود و متناسب با آن،

قطعات مدار مانند گیت‌ها، فلیپ‌فلاپ‌ها، جمع‌کننده‌ها و... مدار مشخص می‌شود.

۳. در این مرحله می‌توان مدار مذکور را شبیه‌سازی نمود واز نحوه عملکرد آن مطلع شد و تغییرات یا اصلاحات

موردنظر را در طرح انجام داد [۱].

نتیجه گیری:

در این پروژه همان طور که بیان گردید، به منظور کنترل سرعت موتور DC با استفاده از کنترلر PID و از طریق FPGA انجام شد. در بیان روش های تنظیم کنترلر چندین روش بیان شد، اما قابل ذکر است که روش های متنوع دیگری نیز وجود دارد که می توان با توجه به سیستمی که در دست داریم، بهترین روش را انتخاب کرد.

یکی از اصلی ترین مراحل طراحی کنترلر دیجیتالی، گسسته سازی و دیجیتالی سازی سیگنال آنالوگ می باشد که در این امر طراحی فیلترها و مدارهای نگهدارنده از اهمیت فراوانی برخوردار است، که در این پروژه این مراحل به ترتیب مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین در این پروژه مفاهیم مرتبط با FPGA و مراحل طراحی گیت های منطقی و شبیه سازی مدار کنترلر مورد توجه قرار گرفت.

مراجع

- [۱] دکتر حسین سید رضی، طراحی خودکار مدارهای دیجیتال با FPGA و زبان توصیف سخت افزار VHDL، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
- [۲] " Matlab and simulink for modeling and control" By Robert Babusk and Stefano Stramigioli , November 1999.
- [3] "PID Controllers : Theory , Design and Tuning" 2nd Edition , By Karl J.Astrom and Tore Hagglund.
- [4] "Linear Feedback Control" By Dingyu Xue, YangQuan Chen , and Derek P.Atherton.
- [5] MATLAB help, discrete modeling of systems.
- [6] "VHDL Programming By Example", Douglas L.Perry , 4th Edition , McGraw Hill , 2002.
- [7] "VHDL SYNTHESIS" A Technical Reference, Altium , 2004.