



دانشگاه زابل

دانشکده فنی و مهندسی

گروه برق

گرایش: الکترونیک

پروژه کارشناسی

کنترل دیجیتالی مبدل های (اینورترها) DC/AC

استاد راهنما: جناب آقای دکتر جلیل وند

شهین مهدیون راد

تابستان ۱۳۸۷

فهرست

عنوان

صفحه

۱. مقدمه: کاربرد کنترل دیجیتال در مدارات الکترونیک قدرت..... ۱

۱.۱. الکترونیک قدرت مدرن..... ۲

۱.۲. چرا کنترل دیجیتال..... ۳

۱.۳. مزیتهای و چشم اندازها..... ۴

۲. مثال نمونه ای: اینورتر منبع ولتاژ تک فاز..... ۶

۲.۱. اینورتر منبع ولتاژ..... ۶

۲.۱.۱. اجزاء اساسی..... ۶

۲.۱.۲. الکترونیک اضافی مورد نیاز مساله: راه اندازی و سنس..... ۸

۲.۱.۳. اصول عملکرد..... ۹

۲.۱.۴. زمان مرده..... ۱۱

۲.۲. کنترل سطح پایین اینورتر منبع ولتاژ (مدولاسیون PWM)..... ۱۴

۲.۲.۱. PWM آنالوگ: عملکرد نمونه برداری طبیعی..... ۱۴

۲.۲.۲. PWM دیجیتال: عملکرد نمونه گیری یکنواخت..... ۲۰

۲.۲.۳. حالت تکی و دوپل PWM..... ۲۵

۲.۲.۴. می نیمم کردن تأخیر مدولاتور: یک انگیزه برای چند نمونه برداری..... ۲۸

۲.۳. روش های کنترل آنالوگ..... ۳۰

۲.۳.۱. کنترل جریان خطی: راه حل PI..... ۳۱

۳۸. کنترل جریان غیر خطی؛ کنترل پسماند مغناطیسی؛ دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۳۹. کنترل مد جریان دیجیتال..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۴۰. شرایط کنترل جریان (ملزومات کنترل جریان)..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۳،۱،۱. اصلاح مشخصه های سینکال و نمونه گیری..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۳،۱،۲. همزمان سازی نمونه گیری و PWM..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۳،۱،۳. نویز کوانتیزاسیون و نویز محاسباتی..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۳،۲. عملکرد اساسی کنترل جریان دیجیتال..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۳،۲،۱. کنترل کننده انتگرالی تناسبی؛ نظر اجمالی..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۳،۲،۲. مدل دینامیکی ساده شده تاخیرها..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۳،۲،۳. کنترلر تناسبی - انتگرالی؛ استراتژی گسسته سازی..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۳،۲،۴. اثرات تأخیر محاسبه..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۳،۲،۵. استخراج دامنه‌ی زمان گسسته مدل دینامیکی مبدل..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۳،۲،۶. حداقل کردن تأخیر محاسبه..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

چکیده مطالب..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

۸۳. نتایج شبیه سازی با نرم افزار ح‌چ‌ن‌س‌چ‌ن..... دانشگاه زنجان و انشده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

مراجع

فصل اول

کاربرد کنترل دیجیتالی در مدارات

الکترونیک قدرت

الکترونیک قدرت و نظریه سیستم زمان گسسته از ابتدا کاملاً به هم مربوط بوده اند. این جمله ممکن

است در ابتدا عجیب به نظر برسد، اما اگر کسی به منابع تامین سوئیچ ها که سیستمهای پریودیک

متغیری هستند و وضعیتشان توسط سیگنالهای منطقی روشن می شود بیندیشد، ارتباط بین آن دو

روشن می شود. اثبات این مطلب ممکن است در مقالات تخصصی پایه ای که به آنالیز و مدل کردن

پهنای پالس، منبع قدرت مدوله شده و یا مبدل های dc به dc کنترل شده با جریان پیک می پردازند

یافت شود. این مقالات باز نمود بسیار دقیقی از مبدل های سوئیچینگ و مدارات کنترلی وابسته آنها که

شبهه یا همان سیستم های دینامیکی داده های نمونه برداری شده می یابند، ارائه می دهند.

ارتباط پایه ای که بین این دو زمینه به ظاهر متفاوت مهندسی وجود دارد، محرک انجام تحقیقات قابل

ملاحظه ای در طول سالیان است که این تحقیقات به کاربرد کنترل دیجیتال در مدارات الکترونیک

قدرت اختصاص یافته است. از ابتدا نظریه اساسی کاربرد کنترلرهای ولتاژ یا جریانی برای مبدل های

سوئیچینگ که از پردازنده های سیگنال دیجیتال یا میکروکنترلرها استفاده می کنند، اساس کاربردهای

صنعتی جریان را نشان می دهند. توجه تحقیقات به سمت روش های پیشرفته است به طوری که

طراحی کنترلرهای دیجیتالی، دیگر توام با فرضیه یا قوانین خشک نیست و راه حل های قابل پیشرفت

برای نسل های بعدی منابع قدرت مثل صوت وجود دارد.

اگر شتاب تولیدات علمی مربوط به این موضوعات را در سالهای اخیر در نظر بگیریم، می توان ایجاد

مدارات پردازشگر انرژی را در سالهای نه چندان دور پیش بینی کرد به طوری که قطعات قدرت و

کنترل منطقی با هم روی یک تراشه نیمه هادی قرار گیرند. از این دیدگاه انتظار می رود که در چند سال

آینده فاصله بین روشهای طراحی مهندسی الکترونیک قدرت و طراحان مدارات آنالوگ یا دیجیتال به

طور عمده ای کاهش یابد.

۱.۱) الکترونیک قدرت مدرن

الکترونیک قدرت کلاسیک ممکن است از چندین دیدگاه به یک نظم قابل قبولی رسیده باشد. تکنولوژی

اجزا گسسته که منبع قدرت سوئیچینگ را پایه ریزی کرده، امروزه آنچنان باعث توسعه کاربردهای

صنعتی شده، که کسی توقع دیدن نوآوری جدیدی را حداقل در آینده نزدیک ندارد. در حال حاضر به

نظرمی رسد که زمینه های تحقیقاتی مربوط به توپولوژی مبدل های قدرت و راهبردهای کنترل آنالوگ

بصورت کامل مورد بررسی قرار گرفته اند.

از طرف دیگر ما می توانیم بعضی از زمینه های امیدوار کننده تحقیقاتی را که آینده الکترونیک قدرت را

تحت پوشش قرار می دهند شناسایی کنیم. برای مثال می توان فرصت مناسبی را برای ابداع در زمینه

قطعات نیمه رسانای با باند ممنوعه بزرگ در نظر داشت، بخصوص اگر نیمه رسانا را با تکنولوژی

پایه ریزی شده براساس کربیدسیلیسیم، ارسنیک گالونیم و نیتريد گالونیوم در نظر بگیریم. اینها در آینده

نه تنها قابل استفاده برای تقویت سیگنالهای زادیویی فرکانس بالا هستند بلکه همچنین برای تبدیل

قدرت، راه را برای مدارات مبدل قدرت در فرکانس ها یا دماهای بالا باز می کنند و در نتیجه باعث یک

جهش در زمینه قدرت می شوند.

تمایل به سمت چگالی توانهای بالاتر تحقیقات را به جهت های دیگری سوق می دهد. در این میان سه

عامل را که از نظر ما نقش مهمی را ایفا می کنند بیان خواهیم کرد. نخست مجتمع سازی قطعات تکی

اجزاء پسیو خازنی و مغناطیسی است، که ممکن است سبب تحقق مبدل های نیمه همگن با کمترین

حجم شوند. دومی مربوط به آنالیز و تعدیل تداخلات الکترومغناطیسی است که در طراحی مبدل های

فرکانس بالا که در این مبدل ها امکان ایجاد مسائل وخیم نیز پیش بینی می شود، نقش مهمی دارد. سومی

توسعه تکنولوژی و ابزارهای طراحی است که باعث اجتماع مدارات کنترل و ابزارهای قدرت روی یک

تراشه می شود و این یعنی قدرت هوشمند.

از این دیدگاه، کاربرد تکنیکهای کنترل دیجیتال برای منابع قدرت کلیدزنی نقش مهمی را بازی می کنند. در حقیقت اجتماع توابع کنترلی پیچیده که احتمالاً نیازمند منابع قدرت نسل های بعدی هستند مسئله ای است که به صورت واقع بینانه با ابزارهای قدرت طراحی کنترل دیجیتال حل می شود.

۱.۲) چرا کنترل دیجیتال

کاربرد کنترل دیجیتالی در منابع قدرت سوئیچ زنی به خاطر مزایایی که کنترل کننده های دیجیتالی در برابر کنترل کننده های آنالوگ دارند همیشه جالب بوده است. آزمایشگاه پروژه برق و دانشگاه زنجان و اسکندرمندی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و دانشگاه زنجان و اسکندرمندی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و دانشگاه زنجان و اسکندرمندی گروه برق

مهمترین مزیت، فراهم کردن امکان اجرای قوانین کنترل سطح بالا، توجه به عوامل غیر خطی و امکان تغییر پارامترها یا وجود تلورانسهای ساختاری بوسیله خود تحلیلی است که در عملکرد آنالوگ بسیار سخت یا غیر ممکن است. دیگر مزیت مهم این کنترلرها انعطاف پذیری ذاتی در کنترلرهای دیجیتالی است که به طراح اجازه می دهد تا استراتژی کنترل را اصلاح کند یا حتی بدون تغییرات اساسی در

سخت افزار کنترلر آن را دوباره برنامه ریزی کند. همچنین از مزیت های مهم دیگر آن می توان وجود

تلورانس بالا در برابر سیگنالهای نویزی و عدم تغییر عملکرد با گذشت زمان و نیز عدم وجود اثرات نامناسب جریانهای گرمایی نام برد.

علاوه بر این، باید توجه داشته باشیم که حجم زیادی از قطعات الکترونیکی، از وسایل خانگی گرفته تا ابزارهای صنعتی نیاز به حضور چیزی دارند که آن دستگاهها را راه اندازی کند و این بدون حضور میکروپروسسورهای جاسازی شده در آن دستگاهها امکان ندارد. استفاده از قدرت محاسبه ای که بدین ترتیب امکان پذیر است، حتی در کارهای کنترلی سطح پایین نیز غیر قابل اجتناب می باشد.

به خاطر دلایل ذکر شده کاربرد کنترلرهای دیجیتالی بطور روز افزون در حال گسترش بوده و به تنها راه

حل مناسب برای تمام زمینه های تولید منابع قدرت صنعتی تبدیل شده است. به عنوان مثال امروزه درایورهای سرعت قابل تنظیم (ASDS) و منابع قدرت بدون وقفه (UPSS) با ابزارهای دیجیتالی

کنترل می شوند. دسترسی روبه رشد میکروکنترلرهای کم هزینه با عملکرد بالا و پردازنده های سیگنال دیجیتال، محرکی برای گسترش میکروکنترلرهای دیجیتال حتی در زمینه هایی که هزینه مدارات کنترل مشکلی جدی است، می باشد مانند منابع قدرت، تجهیزات قابل حمل، شارژرهای باتریها یا دستگاههای جوش و چندین کاربرد دیگر.

با این وجود، در بازار رقابتی امروز افزایش چشمگیر کاربرد کنترلرهای دیجیتال مگر با روشهای اجرایی جدید، که متفاوت از میکروکنترلرهای قدیمی یا کاربرد DSP است، قابل حصول نمی باشد، تا اینکه کاربردشان اثباتی بر کارایی شان باشد. از این دیدگاه تحقیقات درباره کاربردهای کنترل دیجیتال باید

روی طراحی مدارات مجتمع فراتر از یک الگوریتم طراحی و کاربرد متمرکز شود. مسائلی از قبیل اشغال کمترین فضا، مقیاس پذیری و کاهش مصرف توان نقش مهمی را ایفا می کنند. مهندسين الكترونيك قدرت در این مورد درگیر راه حلی برای طراحی مدارات مجتمع دیجیتال که نقش مهمی را در آینده ایفا می کنند می باشند.

۱.۳) گرایشها و چشم اندازها

با توجه به مباحث قبلی جای تعجب نیست اگر بگوییم گسترش فزاینده در کنترلرهای دیجیتال در حوزه میکروکنترلیک قدرت را که این گسترش واقعا غیر قابل تصور است پیش بینی می کنیم. همانطور که در قسمت قبلی به اختصار توضیح دادیم، مزایای مدارات کنترل دیجیتال آنقدر بدیهی است که تمام راه حلهای کنترلی یکپارچه آنالوگ موجود، در حال جایگزینی با انواع جدیدی که دربرگیرنده پردازنده های سیگنال دیجیتال است، می باشد. علاوه بر این، می توان تشخیص داد که انواع کنترلرهای دیجیتال با

احتیاجات حال و آینده مبدلهای قدرت مجتمع مطابقت دارند. نکته اینجاست که این فرآیند چقدر زمان بر خواهد بود. ما می توانیم تلاش کنیم تا رؤس مطالب را در مورد توسعه کنترلرهای دیجیتال با

تعیین محل کاربرد آنها بطور اجمالی بیان کنیم. کاربرد توانهای متوسط به بالانظیر درایورهای الکتریکی منابع قدرت تست، منبع قدرت بدون وقفه و منابع انرژی قابل تجدید، برای مدت زمان زیادی براساس

دیجیتالی در این زمینه به شدت باقی خواهند ماند. روند تکاملی احتمالا بوسیله افزایش توانع سطح بالا ارائه خواهد شد.

از آنجائیکه کاربرد توانهای پایین نیز مهم می باشد و ما آن را در بخش قبلی ذکر کردیم نمی توانیم در یک لحظه بازار دائمی را برای کنترلرهای دیجیتالی توصیف کنیم، با این وجود کاربرد کنترلرهای دیجیتالی در این زمینه موضوع تحقیقات زیادی است. در آینده نزدیک راه حل‌های کنترلر جدید را می توان انتظار داشت که کنترلرهای آنالوگ را با راه حل‌های دیجیتالی معادل جایگزین خواهند کرد.

مجتمع سازی توان و مدارات کنترلر می تواند به طور موفقیت آمیزی باعث ایجاد تغییرات اساسی در مسیر طراحی مبدل‌های یا توان کم شود.

در فصل دوم یک نمونه آزمایشی در نظر گرفته شده یک اینورتر منبع ولتاژ، و اولین مساله کنترلر، یعنی اجرای یک حلقه کنترل جریان که در ابتدا در مورد آنالوگ آن که همان راه حل‌های زمان پیوسته

است بحث می شود، ارائه می دهد. فصل سوم به راه حل‌های کنترلر دیجیتالی برای همان مسائل ذکر شده در فصل قبلی اختصاص داده شده است. در ابتدا یک مورد نسبتاً ساده مثلاً گسسته سازی کنترلرهای

زمان پیوسته را ارائه دهیم. در ادامه راه حل‌های دیجیتالی دیگر مثل آنهایی که براساس فیدبک زمان گسسته پایه ریزی شده اند ارائه شده است.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

چکیده مطالب

این مقاله شرایط مهندس طراح یا دانشجوی الکترونیک قدرت را نشان می دهد که شامل برخی از

مسائل کنترل متبل قدرت نوعی و راه حل های اساسی دیجیتال آنها بر اساس تکنیک های پیشرفته

کنترل دیجیتال است. در اینجا به کاربردهای مختلف اینورتر منبع ولتاژ نیم پل که بصورت تک

فاز تحقق یافته اند پرداخته شده است.

این مورد به این دلیل انتخاب شده است که علاوه بر سادگی و شناخته شده بودن آن ، بحث در مورد

طیف قابل ملاحظه ای از کاربرد های کنترل دیجیتال معمول ، از مدولاسیون عرض پالس

دیجیتال (DPWM) تا کنترل جریان و ولتاژ خروجی اینورتر را امکانپذیر می سازد. ما انواع اساسی از

کاربرد حلقه کنترل جریان دیجیتال ، بعنوان مثال کنترلر PI را شرح دادیم.

ابتدا در مورد حلقه کنترل جریان آنالوگ بحث کردیم و سپس با یکی از روش های گسسته سازی مدل

گسسته در زمان کنترلر PI را به دست آوردیم .

با این کار نویز محاسباتی و نویز گسسته سازی (کوآنتیزاسیون) به نویز های موجود افزوده می شود که

در مورد این نویزها و روش های کاهش اثرات آنها بحث می شود. دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده زنجان دانشکده مهندسی

نکته قابل ذکر دیگر تاخیر محاسبه و اثرات آن بر روی عملکرد نهایی است. تاخیر محاسبه زمان مورد

نیاز پردازنده جهت محاسبه ی یک مقدار جدید نمونه متغیر ورودی داده شده است.

مراجع:

- [1] ISOSMARTTM Half Bridge Driver Chipset, IXBD4410/4411 Data sheet and Application note, _C 2004, IXYS website.
- [2] N. Urasaki, T. Senjyu, K. Uezato and T. Funabashi, "An adaptive dead-time compensation strategy for voltage source inverter fed motor drives," *IEEE Trans. Power Electron*, Vol. 20, No. 5, pp. 1150–1160, doi.org/10.1109/TPEL.2005.854046
- [3] A. R. Munoz and T. A. Lipo, "On-line dead-time compensation technique for open-loop PWM-VSI drives," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 14, No. 4, pp. 683–689, 1999.
- [4] N. Mohan, T. Undeland and W. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications and Design*. New York: Wiley, 2003.
- [5] J. Kassakian, G. Verghese and M. Schlecht, *Principles of Power Electronics*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1991.
- [6] R. W. Erickson and D. Maksimovic, *Fundamentals of Power Electronics*, 2nd edition. Berlin: Springer, 2001.
- [7] R. D. Middlebrook, "Predicting modulator phase lag in PWM converter feedback loop," *Adv. Switched-Mode Power Convers.*, Vol 1, pp. 245–250, 1981.
- [8] D. M. Van de Sype, K. DeGusseme, A. P. Van den Bossche and J. A. Melkebeek, "Smallsignal Laplace-domain analysis of uniformly-sampled pulse-width modulators," *In 2004 Power Electronics Specialists Conference (PESC)*, 20–25 June, pp. 4292–4298.
- [9] D. M. Van de Sype, K. DeGusseme, A. R. Van den Bossche and J. A. Melkebeek, "Small Signal Z-domain Analysis of Digitally Controlled

Converters,” *IEEE Trans. on Power Electron.*, Vol. 21, No. 1, pp. 470–478, 2006.

[10] G. C. Verghese, M. E. Elbuluk and J. G. Kassakian, “A general approach to sampled-data modeling for power electronic circuits,” *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 1, pp. 76–89, 1986.

[11] G. R. Walker, “Digitally-implemented naturally sampled PWM suitable for multilevel converter control,” *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 18, No. 6, pp. 1322–1329, 2003. doi.org/10.1109/TPEL.2003.818831

[12] Q. Yao and D. G. Holmes, “A simple, novel method for variable-hysteresis-band current control of a three phase inverter with constant switching frequency,” in *Conf. Rec. IEEEIAS Annual Meeting*, Toronto, ON, Canada, Oct. 1993, pp. 1122–1129.

[13] S. Buso, S. Fasolo, L. Malesani and P. Mattavelli, “A dead-beat adaptive hysteresis current control,” *IEEE Trans. Indust. Appl.*, Vol. 36, No. 4, pp. 1174–1180, 2000. doi.org/10.1109/28.855976

[14] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer and J. R. Buck, *Discrete Time Signal Processing*, 2nd edition. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1999.

[15] K. Ogata, *Discrete Time Control Systems*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1987.