



دانشگاه زنجان

دانشگاه زنجان

دانشکده ی مهندسی برق

پایان نامه ی کارشناسی

گرایش الکترونیک

عنوان:

طراحی و ساخت کنترل کننده ی FOPID برای مبدل بوست

نگارش: مینا اخوان

استاد راهنما: دکتر فرهاد مریخ بیات

دکتر فرهاد مریخ بیات

بهمن ماه 1391

پایان نامه کارشناسی

از استاد بسیار بزرگوارم

جناب آقای دکتر فرشاد مریخ بیات

که در طول انجام پروژه نهایت همکاری و مساعدت را به عمل آورده اند

کمال تشکر و قدردانی را دارم.

فهرست

عنوان

صفحه

6.....آزمایشگاه پروژه مقدمه

7.....فصل اول : معرفی مبدا بوست
7.....مروری بر مبدا بوست و روش های کنترل آن

8.....بخش قدرت مبدا بوست

9.....تحلیل مد هدایت جریانی پیوسته حالت ماندگار مبدا بوست
14.....مدل کردن مبدا بوست

17.....تحلیل سیگنال کوچک مبدا بوست در مد CCM

21.....فصل دوم : سیستم های مرتبه کسری
21.....مروری بر سیستم های مرتبه کسری

22.....کنترل کننده PID مرتبه کسری

23.....فصل سوم : پیاده سازی و شبیه سازی
23.....شبیه سازی

24.....الف.تابع تبدیل مبدا بوست
ب. تعیین پارامترهای تابع تبدیل کنترل کننده FOPID با استفاده از تابع تبدیل مبدا بوست

25.....ب.1. روش بازگشتی استالوب

30.....ب.2. بحث پایداری

31.....ب.3. نتایج

ج. تعیین پارامترهای تابع تبدیل کنترل کننده FOPID با استفاده از مدار
مبدل بوست 34

نتایج 34

د. تعیین پارامترهای مداری کنترل کننده FOPID با استفاده از مدار
مبدل بوست 37

د.1. روش تحقق مدار آنالوگ تابع تبدیل کنترل کننده FOPID 37

د.1.1. انتگرال گیر مرتبه کسری 38

د.1.1.1. تقریب گویا 38

د.1.1.2. تحقق مدار آنالوگ 39

د.1.2. مشتق گیر مرتبه کسری 41

د.1.2.1. تقریب گویا 41

د.1.2.2. تحقق مدار آنالوگ 44

د.2. کنترل کننده $P^{\alpha}D^{\beta}$ 46

د.2.1. تقریب گویا 46

د.2.2. تحقق مدار آنالوگ 47

د.2.3. نتایج 52

فصل چهارم : مقایسه کنترل کننده ها 56

مزیت های کنترل کننده FOPID نسبت به PID 56

معایب FOPID نسبت به PID 56

سخن آخر 57

مراجع 57

مقدمه

ظهور و استفاده ی هر چه بیشتر از مبدل های DC/DC بحث کنترل بهینه و هر چه بهتر این وسایل را مطرح می کند. کنترل کننده FOPID به عنوان تعمیم یافته ی کنترل کننده ی مشهور PID مطرح می باشد. این کنترل کننده که از حساب انتگرال و مشتق توان کسری بهره می برد دارای ریاضیات و تنظیمات پیچیده تری نسبت به کنترل کننده PID می باشد. اما به لحاظ عملکرد دارای برتری هایی نسبت به PID است. در این پایان نامه کنترل کننده ی FOPID در مراحل مختلف برای کنترل بهینه ی مبدل بوست طراحی شده و نتایج نشان داده می شود.

کنترل کننده FOPID دارای قدرت دفع اغتشاش بیشتری نسبت به کنترل کننده ی PID است. همچنین این کنترل کننده برای کنترل مدار به تعداد کمتری سوئیچ را روشن و خاموش می کند که بالطبع تلفات ناشی از سوئیچینگ در سیستم تحت کنترل این کنترل کننده کمتر خواهد بود.

طراحی کنترل کننده ی PID بهینه تنها شامل تعیین ضرایب این کنترل کننده می باشد در حالی که در طراحی کنترل کننده ی FOPID بهینه تعیین توان های کسری مشتقگیر و انتگرال گیر افزون بر تعیین ضرایب این کنترل کننده می باشد. الگوریتم کلونی زنبور عسل به عنوان الگوریتم هوشمند بهینه سازی جهت تعیین این ضرایب مورد استفاده واقع شده است.

فصل اول : معرفی مبدل بوست

مروری بر مبدل بوست و روش های کنترل آن

مبدل های DC/DC سیستم هایی هستند که بر پایه ی سوئیچینگ کار تغییر سطح ولتاژ DC را انجام می دهند. این سیستم ها که در تجهیزات الکترونیکی و منابع تجدید پذیر انرژی همانند انرژی خورشیدی و تولید برق استفاده می شود دارای مزیت هایی از جمله بازده تبدیل بالا و وزن کم است.

در کنار این مزیت ها مشکلاتی متوجه طراحی و تحلیل این سیستم ها می باشد. یکی از این مشکلات استفاده از ریاضیات پیچیده در تجزیه و تحلیل هایی است که در مراجع مختلف به منظور مدل کردن این سیستم ها بدان پرداخته شده است. روش های گوناگونی برای مدل کردن وجود دارد این روش ها رفته رفته کامل تر گشته و در آنها جنبه های بیشتری از سیستم در نظر گرفته شده است. به این صورت که در روش های مدل سازی معمول عموماً تابع تبدیل ولتاژ خروجی به چرخه ی کار ارائه می شود.

هدف از مدل کردن سیستم و بدست آوردن تابع تبدیل آن ارائه ی روش های کنترل بهتر مبدل های DC/DC است. هدف از کنترل نیز می تواند قرار گرفتن تغییرات ولتاژ و جریان خروجی در محدوده ای خاص باشد. در این پایان نامه مبدل انتخاب شده جهت مطالعه و طراحی کنترل کننده مبدل بوست می باشد.

در ساختار این مبدل از یک منبع DC به عنوان تغذیه کننده سیستم استفاده می شود. سوئیچ قدرت که می تواند از نوع ماسفت باشد نیز عنصر اصلی سوئیچینگ سیستم را تشکیل می دهد.

از یک سلف به عنوان عنصر ذخیره ساز انرژی استفاده می شود. خازن نیز در خروجی سیستم نصب می شود که عمل ریپل کردن ولتاژ خروجی را انجام می دهد. از دیود نیز به منظور جلوگیری از برگشت جریان بین ورودی و خروجی مدار استفاده می شود.

مبدل بوست را می توان نوع DC ترانسفورماتور افزایشده نامید با این تفاوت که جهت شارش انرژی در این مبدل یک جهته بوده و همچنین خروجی از ورودی ایزوله ی الکتریکی نمی باشد (یعنی از یک زمین

بهره می برند). مدل ریاضی مبدل بوست که در نقطه ی کار خطی شده است دارای صفر سمت راست است. از این رو این مبدل یک سیستم نامینیم فاز است و بایستی در طراحی کنترل کننده مناسب برای این مبدل دقت کرد تا ریبیل ولتاژ و جریان خروجی در محدوده ای از پیش تعیین شده قرار گیرد. پاسخ گذرا نیز نباید خارج از حد خاصی باشد. همچنین استراتژی کنترلی بایستی ولتاژ خروجی را به اندازه ی تعیین شده ی بالا ببرد و سیستم را از رفتن به مد اغتشاش باز دارد.

در مراجع کنترل کننده های زیادی برای این مبدل بر شمرده اند اما روش مدولاسیون پهنای باند در اکثر آنها مشترک است. البته در این کنترل کننده ولتاژ خروجی به ولتاژ تغذیه و بار وابسته است.

کارکرد مبدل های DC/DC در مد DCM (مد هدایت جریانی گسسته) و CCM (مد هدایت جریانی پیوسته) بستگی به فرکانس سوئیچینگ و اندازه ی بار و میزان ذخیره ی انرژی در سلف دارد. در عمل مبدل ها فقط برای کار در یک مد طراحی شده و برای کار در هر دو مد طراحی نمی شوند. مبدلی که بتواند در هر دو مد کار کند امتیازات خودش را دارد.

ابتدا اینکه چنین مبدلی در رنج بزرگتری می تواند کار کند. اندازه ی سلف آن کمتر از حالتی می شود که فقط در مد CCM کار می کند و به لحاظ اقتصادی به صرفه تر است.

ماندن در یکی از مدهای کارکردی در شرایط عادی خصوصیتی پسندیده برای مبدل است چرا که پاسخ فرکانسی مبدل به طرز محسوسی از مدی به مد دیگر تغییر می یابد.

بخش قدرت مبدل بوست

یک منبع تغذیه سوئیچی شامل بخش قدرت و بخش کنترلی می باشد. بخش قدرت کار اصلی تبدیل انرژی از ولتاژ ورودی به ولتاژ خروجی را انجام داده و شامل بخش های سوئیچ و فیلتر خروجی است.

سه توپولوژی معمول منابع تغذیه سوئیچی باک و بوست و باک-بوست است که این توپولوژی ها غیر ایزوله می باشند یعنی ولتاژ ورودی و خروجی از یک زمین مشترک بهره می برند.

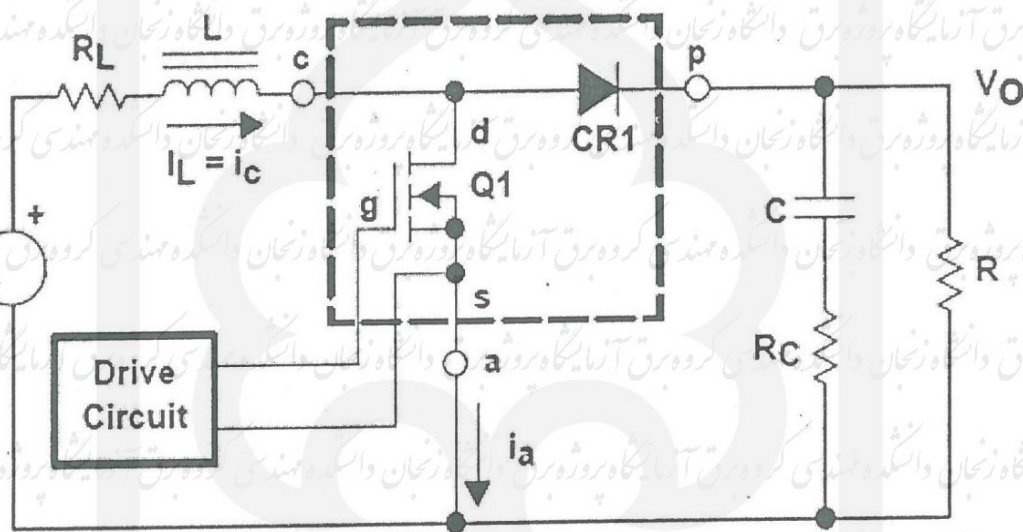
بوست توپولوژی غیر ایزوله ی مشهوری است که با عنوان مبدل افزایش دهنده نیز شناخته می شود. دلایل انتخاب بوست توسط طراحان این است که ولتاژ خروجی از ولتاژ ورودی بالاتر بوده و دارای پلاریته ی یکسان و غیر ایزوله نسبت به ورودی می باشد. جریان ورودی به این مبدل همیشه پیوسته است چرا که برابر با جریان سلف می باشد و جریان خروجی از این مبدل ناپیوسته یا پالسی است چرا که دیود خروجی فقط در بخشی از چرخه ی سوئیچ زنی هدایت کرده و خازن خروجی نیز جریان بار را در بقیه ی چرخه ی سوئیچ زنی تامین می کند.

در این پایان نامه مبدل بوست را در مد کاری پیوسته بررسی می کنیم و برای تعیین تابع تبدیل از مدل PWM سوئیچ استفاده می کنیم.

شکل 1 نمای ساده ای از بخش قدرت مبدل بوست را به همراه بلوک کنترلی نشان می دهد. سوئیچ قدرت Q1 یک ماسفت نوع n می باشد.

مزایای استفاده از ماسفت n کانال میزان کمتر $R_{DS(on)}$ در مقایسه با نوع p آن و همچنین سهولت استفاده از آن در ساختار مبدل بوست است.

دیود خروجی CR1 نام دارد و L (سلف) و C (خازن) فیلتر خروجی را تشکیل می دهند. مقاومت سری معادل خازن Rc و مقاومت dc سلف RI نیز از دیگر اجزای مدار هستند. مقاومت R بار دیده شده در خروجی منبع تغذیه را نشان می دهد.



شکل 1 مدار مبدل بوست

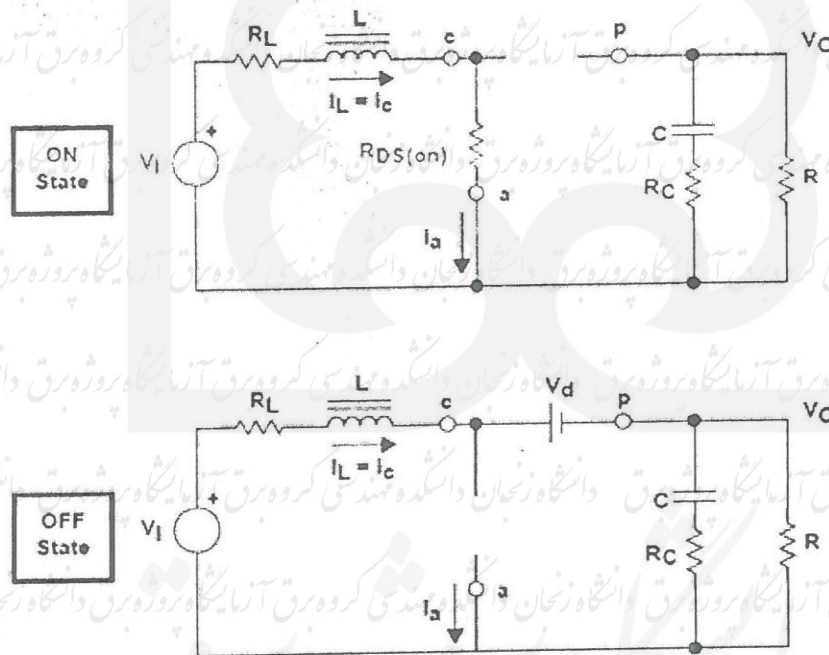
حین کارکرد عادی مبدل بوست Q1 مکرراً روشن و خاموش می شود که زمان های روشنی و خاموشی توسط مدار کنترلی بر مدار اعمال می شود. این عمل سوئیچینگ قطاری از پالس را در محل اتصال Q1 و CR1 و L ایجاد می کند در این صورت L به صورت خازن خروجی C فقط به هنگام هدایت CR1 متصل شده و تشکیل فیلتر LC خروجی را می دهند که این فیلتر قطار پالس ایجاد شده را در جهت تولید ولتاژی dc خروجی Vo فیلتر می کند.

تحلیل مد هدایت جریانی پیوسته حالت ماندگار مبدل بوست

نتیجه‌ی حاصل از این تحلیل استخراج رابطه‌ی تبدیل ولتاژ در مد هدایت جریانی پیوسته مبدل بوست می‌باشد. این نتیجه از این لحاظ حائز اهمیت است که چگونگی ارتباط ولتاژ خروجی با چرخه‌ی کار و ولتاژ ورودی و چرخه‌ی کار را می‌توان از ولتاژ ورودی و خروجی محاسبه کرد. حالت پایدار حاکی از آن است که ولتاژ ورودی و ولتاژ خروجی و جریان خروجی بار و چرخه کار ثابت هستند و تغییر نمی‌کنند.

حروف بزرگ که برای نام متغیرها انتخاب شده اند نشان دهنده‌ی حالت ماندگار بودن این متغیرهاست. مد هدایت پیوسته جریانی در هر چرخه کار دو حالت به خود می‌گیرد. در حالت روشن: $Q1$ روشن و $RC1$ خاموش است و در حالت خاموش: $Q1$ خاموش و $RC1$ روشن می‌باشد و هر حالت را می‌توان با یک مدار ساده خطی مدل کرد به نحوی که سوئیچ با مدار معادل خود در هر حالت جایگزین می‌شود.

شکل 2 مدار خطی مربوط به هر حالت را نشان میدهد.



شکل 2: حالت های مختلف مبدل بوست

مدت زمان حالت روشن مطابق با رابطه ی زیر است که در آن D چرخه ی کار می باشد که توسط مدار کنترلی تعیین می شود و مقدار آن از نسبت مدت زمان روشن بودن سوئیچ به یک سیکل کامل سوئیچینگ (T_s) حاصل می شود .

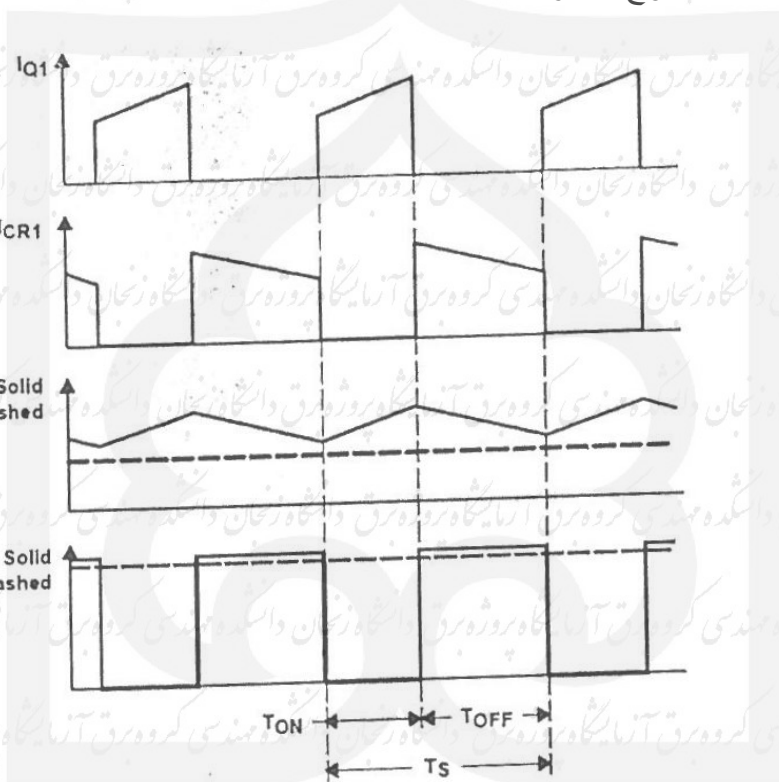
$$D \times T_s = T_{ON}$$

مدت زمان حالت خاموش T_{OFF} است. از آنجا که فقط دو حالت در سیکل سوئیچینگ وجود دارد T_{OFF} آن

برابر با رابطه ی زیر است:

$$(1 - D) \times T_s = T_{OFF}$$

این زمان ها همراه با شکل موج ها در شکل 3 نشان داده شده اند .



شکل 3. شکل موج های مبدل بوست در مد هدایت جریانی پیوسته

با توجه به شکل های 1 و 2 در حالت روشن $Q1$ که مقاومت کوچک درین به سورس $R_{DS(on)}$ را از خود نشان میدهد افت ولتاژ اندکی را که با V_{DS} نشان داده می شود دارد . افت ولتاژ کوچکی برابر با $I_L \times R_L$ نیز در مقاومت dc مربوط به سلف به چشم می خورد . از این رو V_1 منهای تلفات

ولتاژی که به سمت راست سلف L اعمال می شود ولتاژ درین به سورس ماسفت V_{DS} است. جریان سلف I_L از منبع ورودی V_I به $Q1$ و از آنجا به زمین جریان پیدا می کند. طی حالت روشن ولتاژ روی سلف ثابت و برابر با

$$V_I - (V_{DS} + I_L \times R_L)$$

می ماند. همانند آنچه که در شکل 2 برای جهت I_L نشان داده شده جریان سلف در اثر ولتاژ اعمالی افزایش می یابد. همچنین به دلیل اینکه ولتاژ اعمالی ثابت است افزایش جریان نیز خطی می باشد افزایش جریان سلف از رابطه ی آشنای زیر قابل محاسبه است:

$$V_L = L \times \frac{di_L}{dt} \Rightarrow \Delta I_L = \frac{V_L}{L} \times \Delta T \quad (1)$$

$$\Delta I_L (+) = \frac{V_I - (V_{DS} + I_L \times R_L)}{L} \times T_{ON} \quad (2)$$

مقدار $I_L (+)$ جریان ریپل سلف است که در این مدت تمامی جریان بار را خازن C تامین می کند. با توجه به شکل های 1 و 2 ترانزیستور $Q1$ در موقع خاموش بودن مقاومت بزرگی را از درین به سورس خود نشان میدهد. بنابراین از آنجایی که جریان عبوری از سلف L به یکباره قابلیت تغییر ندارد جریان از $Q1$ به $RC1$ انتقال پیدا می کند. به دلیل کاهش جریان سلف ولتاژ روی سلف تغییر پلاریته می دهد تا جایی که یکسوساز $RC1$ بایاس مستقیم شده و روشن می شود. ولتاژ اعمالی به سمت راست L اکنون ولتاژ خروجی V_O بعلاوه ولتاژ فرورارد دیود V_d بوده و جریان سلف I_L از منبع ورودی V_I به سمت مجموعه خازن و مقاومت بار جاری می شود. طی حالت خاموش بودن ولتاژ روی سلف ثابت و برابر با

$$V_I - (V_O + V_d + I_L \times R_L)$$

می باشد. با حفظ پلاریته قبلی این ولتاژ اعمالی منفی (یا عکس پلاریته) ولتاژ اعمالی در حالت روشن است از این رو جریان سلف در طی زمان خاموشی سوئیچ کاهش می یابد و از آنجا که ولتاژ اعمالی اساساً ثابت است کاهش جریان نیز خطی می باشد. کاهش جریان سلف در طی مدت خاموشی سوئیچ از معادله ی زیر قابل محاسبه است:

$$\Delta I_L (-) = \frac{(V_D + V_O + I_L \times R_L) - V_I}{L} \times T_{OFF} \quad (3)$$

فصل 4 : مقایسه کنترل کننده ها

مزیت های کنترل کننده ی FOPID نسبت به PID

در این کنترل کننده میزان انرژی کمتری مصرف می شود. بدین صورت که هر چه قدر سوئیچ کمتری

تعداد سوئیچ کنترل شده توسط کنترل کننده FOPID نسبت به PID کمتر است که به معنی تلفات کمتر در سوئیچینگ است.

از طرفی مشخصات زمانی سیگنال خروجی در کنترل کننده ی FOPID بهتر است.

معایب FOPID نسبت به PID:

تئوری و ریاضیات پیچیده تر نسبت به کنترل کننده ی PID

بهینه سازی سختتر به دلیل افزایش پارامترها از 3 پارامتر در PID به 5 پارامتر در FOPID .

سخن آخر

در این پایان نامه مقادیر استفاده شده برای پارامترهای مختلف از منبع پایان نامه کارشناسی ارشد گزایش قدرت با عنوان طراحی کنترل کننده PID مرتبه ی کسری برای مبدل بوست انتخاب شده است. همچنین از ذکر جزئیات الگوریتم کلونی صرف نظر کرده ایم اما در شبیه سازی های انجام شده چگونگی پیاده سازی این الگوریتم مشخص شده است.

مراجع

[1] V.Vorperian, Simplified Analysis of PWM Converters Using the Model of the PWM Switch : Parts I and II , IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 26 :490 – 505 , May 1990

[2] I.Podlubny , Fractional – order Systems and PI λ D μ Controllers, IEEE Transactions on Automatic Control, 44(1) : 208-241, 1999

[3] A. Charef, H.H.Sun, Y. Y. Tsao and B. Oneral, Fractal System as Represented by Singularity Function, IEEE Transactions on Automatic Control, 37(9) : 1465-1470 ,1992

[4] A . Charef , Analogue realization of fractional-order integrator , differentiator and fractional PI λ D μ controller , IEE Proceedings Control Theory Application , 153(6) : 714-720 , 2006