دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان‌نامه برای اخذ درجه کارشناسی در رشته مهندسی برق

عنوان پایان‌نامه :

کنترل مرتبه کسری برای مبدل‌های DC/DC

نگارش :

امیرحسین سالک نیا

استاد راهنما :

دکتر ابوالفضل جلیلوند

سال تحصیلی ۹۸ – ۱۳۹۷

چکیده

از مبدل‌های DC/DC به طور گستره در کاربردهای مختلفی از قبیل منابع تغذیه برای سیستم‌های الکترونیکی ، تجهیزات مخابراتی ، درایو موتورهای DC ، انرژی‌های تجدیدپذیر ، خودروهای هیبریدی و غیره استفاده می‌شود و کنترل این مبدل‌ها موضوع بسیاری از پژوهش‌های کنترلی بوده است . در این پایان‌نامه به طراحی کنترل‌کننده PID[1] و FOPID[2] برای مبدل بوست به کمک روش‌های بهینه‌سازی فراابتکاری پرداخته شده است . کنترل‌کننده FOPID حالت تعمیم یافته مرتبه کسری کنترل‌کننده معمول PID است که از حساب دیفرانسیل مرتبه کسری بهره می‌برد. این کنترل کننده نسبت به PID معمول داری برتری‌هایی از قبیل دفع اغتشاش بهتر ، پاسخ گذاری مطلوب‌تر می‌باشد ، اما مراحل طراحی و پیاده-سازی این کنترل‌کننده به علت استفاده از توان‌های مرتبه کسری برای مشتق‌گیر و انتگرال‌گیر در مقایسه با PID معمول دارای پیچیدگی‌های بیشتری است .

واژه‌های کلیدی : مبدل‌های DC/DC ، کنترل‌کننده PID ، کنترل‌کننده FOPID ، مبدل بوست ، الگوریتم‌های فراابتکاری ، سیستم‌های مرتبه کسری

---

[1] Proportional Integral Derivative
[2] Fractional Order PID

فهرست مطالب

فصل اول

آشنایی با مبدل‌های DC/DC ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تنظیم کننده‌های خطی ۲

۱-۳ مبدل‌های DC/DC ۳

۱-۳-۱ انواع مبدل‌های DC/DC ۴

۱-۳-۲ سیستم کنترل PWM ۶

۱-۳-۳ مبدل باک ۷

۱-۳-۴ مبدل بوست ۱۰

۱-۴ تطبیق امپدانس در مبدل‌های DC/DC ۱۳

۱-۴-۱ تطبیق امپدانس در مبدل باک ۱۴

۱-۴-۲ تطبیق امپدانس در مبدل بوست ۱۴

۱-۴-۳ نمونه ای از کاربرد مبدل‌های DC/DC در پنل‌های خورشیدی ۱۴

۱-۵ مقایسه میان چاپرها و تنظیم‌کننده‌های خطی ۱۶

۱-۵-۱ مزایای مبدل‌های DC/DC ۱۶

۱-۵-۲ معایب مبدل‌های DC/DC ۱۶

۱-۵-۳ مزایای تنظیم‌کننده‌های خطی ۱۶

۱-۵-۴ معایب تنظیم‌کننده‌های خطی ۱۷

فصل دوم

تابع تبدیل مبدل‌ها ۱۸

۲-۱ مقدمه ۱۹

۲-۲ مدل فضای حالت میانگین ۱۹

۲-۳ تابع تبدیل مبدل‌های باک و بوست ۲۱

فصل سوم

کنترل‌کننده‌های PID ۲۳

۳-۱ مقدمه ۲۴
۳-۲ کنترل‌کننده PID ۲۴
۳-۳ روش‌های تنظیم ضرایب PID ۲۵
۳-۴ روش تنظیم مبتنی بر بهینه‌سازی ۲۶
۳-۴-۱ طراحی کنترل‌کننده مبتنی بر بهینه‌سازی ۲۶
۳-۴-۲ بررسی انواع شاخص‌های (انتگرالی) عملکرد ۲۷
۳-۴-۳ ویژگی‌های یک تابع معیار مناسب ۲۷
۳-۴-۴ معیار انتگرال مجذور خطا (ISE) ۲۷
۳-۴-۵ معیار انتگرال قدر مطلق خطا (IAE) ۲۸
۳-۴-۶ معیار انتگرال حاصل ضرب زمان در مجذور خطا (ITSE) ۲۸
۳-۴-۷ معیار انتگرال حاصل ضرب زمان در قدرمطلق خطا (ITAE) ۲۹
۳-۴-۸ مقایسه انتخابگری شاخص‌های عملکردی ۲۹

فصل چهارم
کنترل‌کننده‌های FOPID ۳۵
۴-۱ حسابان مرتبه‌کسری در کنترل ۳۶
۴-۱-۱ بالارفتن کیفیت مدل‌سازی ۳۶
۴-۱-۲ بالارفتن کارایی کنترل‌کننده‌ها ۳۶
۴-۲ کنترل‌کننده PID مرتبه‌کسری یا FOPID ۳۷
۴-۳ پیاده‌سازی کنترل‌کننده‌های مرتبه کسری ۳۸
۴-۳-۱ تقریب‌های زمان پیوسته ۳۸
۴-۳-۲ تقریب‌های زمان گسسته ۳۸
۴-۴ روش زمان پیوسته اوستالوپ ۳۸

فصل پنجم
بهینه‌سازی کلونی زنبور ۴۲
۵-۱ مقدمه ۴۳
۵-۲ فرآیند جمع‌آوری گرده توسط زنبورهای عسل ۴۳

۵-۳ الگوریتم بهینه‌سازی ABC ۴۴
۵-۴ مراحل الگوریتم ABC ۴۵
۵-۵ بیان ریاضی مراحل الگوریتم ABC ۴۶
۵-۶ فلوچارت مراحل الگوریتم ABC ۴۹
فصل ششم
طراحی کنترل‌کننده PID و FOPID برای مبدل بوست ۵۰
۶-۱ مقدمه ۵۱
۶-۲ طراحی کنترل‌کننده ۵۱
۶-۳ پایداری حلقه بسته در طی مراحل بهینه‌سازی ۵۲
۶-۴ تابع تبدیل مبدل بوست به همراه کنترل‌کننده FOPID ۵۳
۶-۵ تابع تبدیل مبدل بوست به همراه کنترل‌کننده PID ۵۵
ضمیمه
الف . کد مقایسه انتخابگری شاخص‌های عملکردی ۵۷
ب . کد تقریب زمان پیوسته اوستالوپ S^{α} ۵۷
پ . کد پیاده‌سازی چرخ رولت ۵۸
ت . کد الگوریتم بهینه‌سازی زنبورعسل برای بدست آوردن ضرایب FOPID بهینه ۵۸
ث . کد الگوریتم بهینه‌سازی زنبورعسل برای بدست آوردن ضرایب PID بهینه ۶۳
نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۶
منابع ۶۷

فصل اول

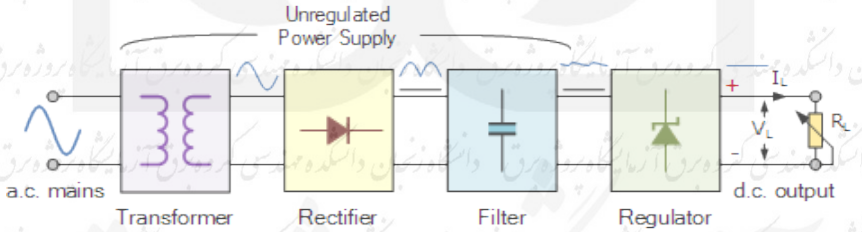
آشنایی با مبدل‌های DC/DC

۱-۱ مقدمه

در بسیاری از کاربردهای صنعتی لازم است که ولتاژ دارای مولفه ی DC دارای ریپل به یک ولتاژ DC بدون ریپل و قابل تنظیم تبدیل شود. که این هدف می‌تواند به کمک تنظیم‌کننده‌های ولتاژ خطی (رگولاتورها) و یا مبدل‌های الکترونیک قدرت DC/DC انجام شود اما به دلیل برتری مبدل‌های الکترونیک قدرت نسبت به تنظیم‌کننده‌های خطی در کاربردهای صنعتی از مبدل‌های الکترونیک قدرت استفاده می‌شود. یک مبدل DC/DC در حقیقت معادل DC یک ترانسفورماتور AC با نسبت دور متغیر (نسبت دور متناسب با چرخه کار[1]) است. بنابراین مانند ترانسفورماتور قادر است ولتاژ DC را افزایش (مبدل بوست) یا کاهش (مبدل باک) دهد و همانند ترانسفورماتور در حالت AC به کمک این مبدل‌ها می‌توان عمل تطبیق امپدانس[2]را در حالت DC انجام داد.

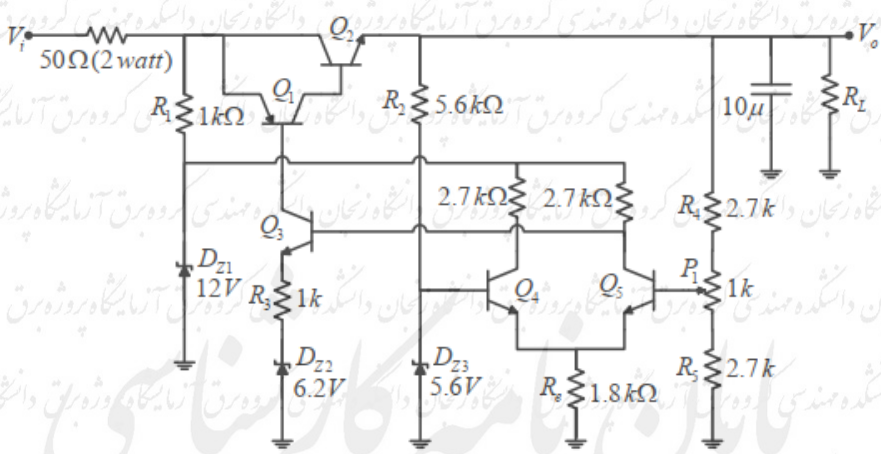
مبدل‌های DC/DC نقش مهمی در کاربردهای مختلف برای بهبود وضعیت توان دارند برای مثال در کاربردهای انرژی های تجدیدپذیر این مبدل‌ها رابط بین منابع ، مخازن ذخیره انرژی و بارها هستند . این مبدل‌ها می‌توانند در توان‌های کم و زیاد مانند پنل‌های خورشیدی ، دستگاه‌های الکترونیک قابل حمل و پیل‌های سوختی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین کاربردهای خودرویی مانند خودروهای الکتریکی و هیبریدی تنها با سیستم‌های الکترونیک قدرت هوشمند و با بازده بالا توجیه خواهند داشت.

۱-۲ تنظیم‌کننده‌های خطی



شکل ۱-۱ ساختار کلی تنظیم‌کننده‌های خطی به صورت بلوکی

[1] Duty cycle
[2] Impedance matching



شکل ۱-۲ ساختار مداری یک تنظیم‌کننده خطی نمونه

در ابتدا ولتاژ سینوسی (در اغلب موارد برق شهری) با دامنه زیاد به کمک یک ترانسفورماتور کاهنده کاهش می‌یابد و در مرحله بعد این ولتاژ به یک مدار یکسوساز پل (نیم موج یا تمام موج) وارد شده و خروجی یکسوساز شکل موجی دارای مولفه‌ی DC خواهد بود و سپس خروجی یکسوساز به یک فیلتر پایین‌گذر داده می‌شود تا مولفه‌های فرکانس بالا آن تضیف شده و خروجی فیلتر یک ولتاژ DC به همراه مقداری ریپل است که در مرحله نهایی این ریپل توسط تنظیم کننده از بین رفته و یک ولتاژ DC بدون ریپل در خروجی خواهیم داشت.

۱-۳ مبدل‌های DC/DC

ورودی مبدلDC/DC ، یک ولتاژ تنظیم نشده DC (Vg) است. مبدل، ولتاژ تنظیم شده V را در خروجی تولید می‌کند که اندازه (و شاید پلاریته) آن با Vg تفاوت دارد. برای مثال در یک کامپیوتر که از برق ۱۲۰ ولت یا ۲۳۰ ولت AC تغذیه می‌شود، ابتدا ولتاژ یکسو شده و به ترتیب به ولتاژ DC تقریباً ۱۷۰ یا ۳۴۰ ولت می‌رسد. یک یا چند مبدل در کامپیوتر وجود دارند که این مقدار DC را به یک مقدار DC دیگر با سطح ولتاژ پایین‌تر تبدیل می‌کنند تا برای آی‌سی‌های مدار قابل استفاده باشد.

بازده مبدل‌های ایده‌آل، ۱۰۰ درصد است، اما در عمل معمولاً بازدهی ۷۰ تا ۹۵ درصد به دست می‌آید. دستیابی به این بازدهی با مدارهای سوئیچینگ یا چاپر امکان‌پذیر است که اجزای آن‌ها تلفات توان بسیار کمی دارند. با مدولاسیون پهنای پالس[1] ، می‌توان ولتاژ خروجی را کنترل و تنظیم کرد. این روش در

[1] Pulse-width modulation

مبدل‌های DC/AC پربازده (اینورترها و تقویت‌کننده‌های توان) ، مبدل‌های AC/AC و تعدادی از مبدل‌های AC/DC (یکسوکننده‌های هارمونیک پایین) نیز به کار می‌رود.

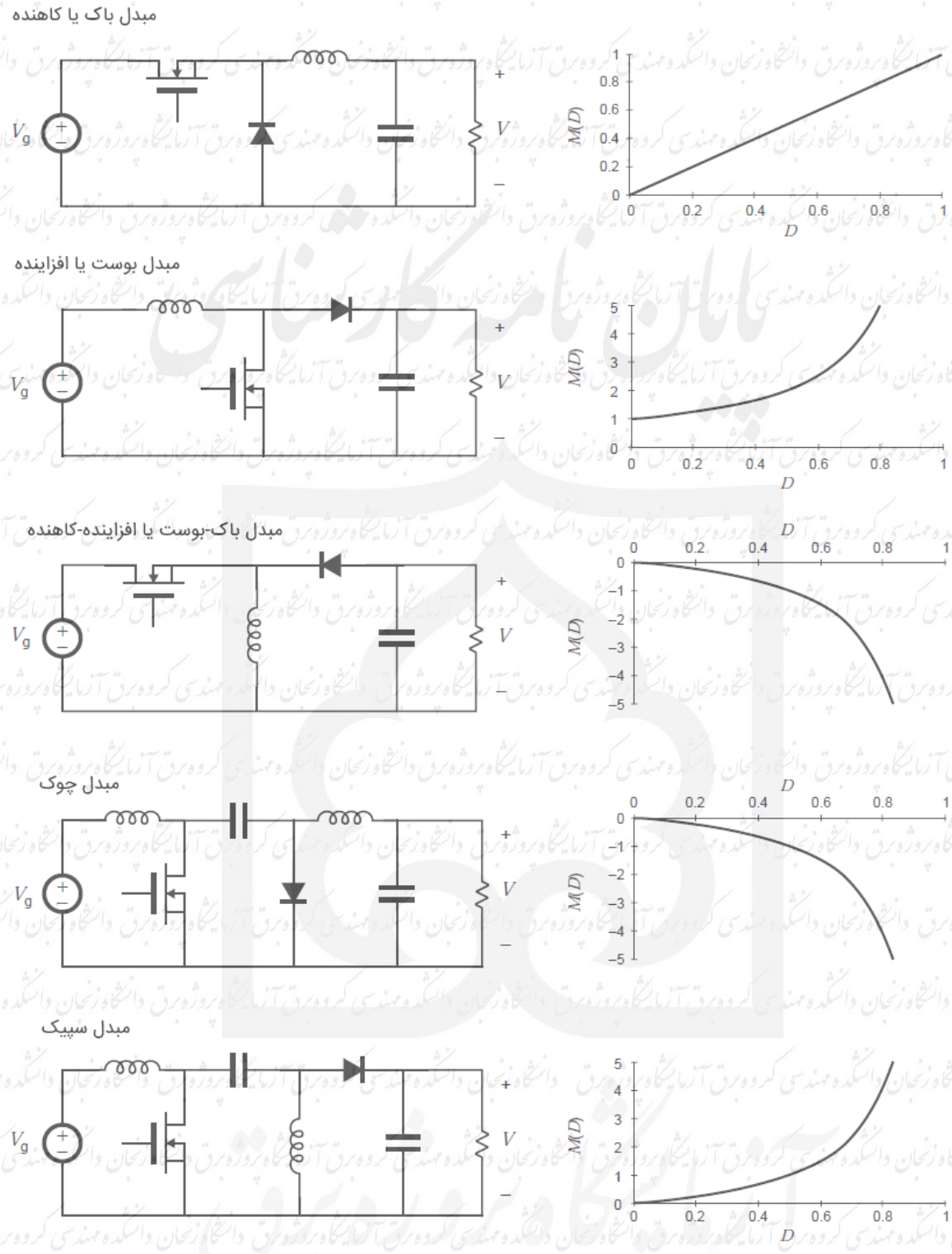
۱-۳-۱ انواع مبدل‌های DC/DC

تعداد زیادی مبدل DC/DC با توپولوژی‌های مداری مختلف وجود دارند که اندازه و پلاریته ولتاژ ورودی را تغییر می‌دهند. در این قسمت به بررسی اجمالی چهار نوع متداول از مبدل‌های DC/DC پرداخته شده است . در ابتدا مشخصات کلی این مبدل‌ها در جدول ۱-۱ و سپس شکل مداری هر مبدل به همراه نمودار نسبت تبدیل آن‌ها آورده شده است . در هر یک از مدارها، کلیدها با یک ماسفت و یک دیود تحقق یافته اند، هرچند از سایر قطعات نیمه‌هادی نیز می‌توان استفاده کرد.

جدول ۱-۱ مشخصات کلی چهار نوع متداول از مبدل‌های DC/DC

نسبت تبدیل مبدل	پلاریته خروجی نسبت به ورودی	نوع مبدل	نام مبدل
$M(D) = D$	مثبت	کاهنده	باک[۱]
$M(D) = 1/(1-D)$	مثبت	افزاینده	بوست[۲]
$M(D) = -D/(1-D)$	منفی	کاهنده – افزاینده	باک-بوست[۳]
$M(D) = -D/(1-D)$	منفی	کاهنده – افزاینده	چوک[۴]
$M(D) = D/(1-D)$	مثبت	کاهنده – افزاینده	سپیک[۵]

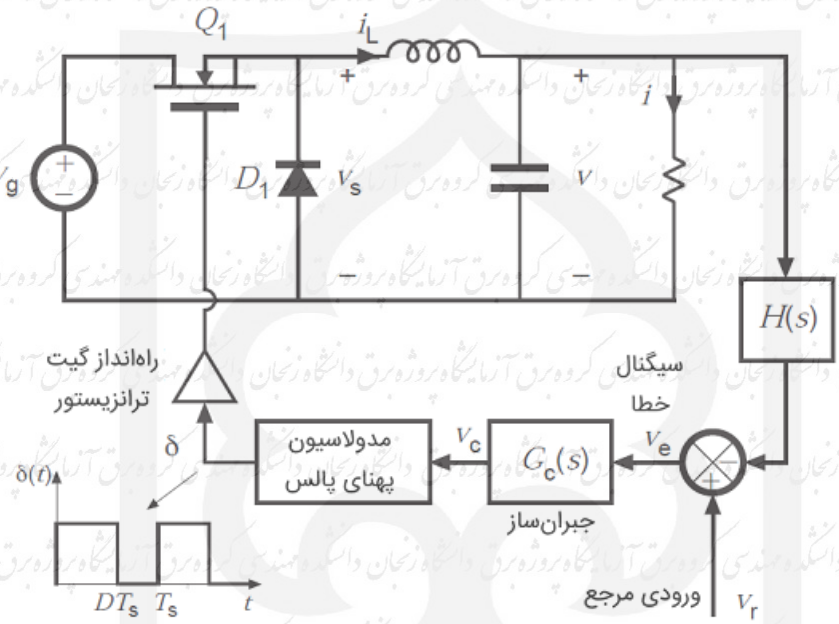
[۱] Buck
[۲] Boost
[۳] Buck-Boost
[۴] Cuk
[۵] Sepic



شکل ۱-۳ مدارهای مبدل‌ها به همراه نمودار نسبت تبدیل آنها

۱-۳-۲ سیستم کنترل PWM

از آن‌جایی که ولتاژ خروجی مبدل تابعی از دوره کاری D است، با یک سیستم کنترل می‌توان دوره کاری را تغییر داد و ولتاژ خروجی را برای رسیدن به مقدار مرجع V_r کنترل کرد. شکل۱-۴، نمودار بلوکی یک سیستم فیدبک ساده را برای مبدل باک نشان می‌دهد. ولتاژ خروجی با یک مقسم ولتاژ در دسترس قرار گرفته و با ولتاژ مرجع V_r مقایسه می‌شود. سیگنال خطا از یک جبران‌ساز تقویت‌کننده عملیاتی (آپ امپ) عبور می‌کند. ولتاژ آنالوگ vc(t) به یک بلوک مدولاسیون پنهای پالس وارد می‌شود. این بلوک، یک شکل موج ولتاژ سوئیچینگ تولید می‌کند که کنترل‌کننده گیت ماسفت Q1 است. دوره کاری (D) شکل موج، با ولتاژ کنترل vc(t) رابطه تناسبی دارد. این روش گاهی کنترل مُد ولتاژ[1] نامیده می‌شود.



شکل ۱-۴ مبدل باک در یک حلقه کنترلی PWM

اگر سیستم کنترل به خوبی طراحی شده باشد، دوره کاری به صورت خودکار و به گونه‌ای تنظیم خواهد شد که ولتاژ خروجی مبدل، ولتاژ مرجع vrرا دنبال کند. این فرایند، مستقل از تغییرات vg یا جریان بار است.

[1] voltage-mode control

دانشجویان محترم:

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

نتیجه‌گیری و پیشنهادات :

همان طور که در فصل ششم مشاهده شد ، کنترل کننده PID مرتبه کسری نسبت به PID معمول دارای برتری‌هایی از قبیل دفع اغتشاش بهتر و پاسخ حالت گذرای مطلوب‌تری می‌باشد که هزینه آن پیچیدگی سیستم کنترلی در طراحی و پیاده سازی است . درکاربردهایی که عملکرد PID معمول از حد انتظار پایین‌تر بوده و پیچیدگی سیستم کنترلی قابل پذیرش باشد FOPID جایگزین مناسبی برای PID معمول خواهد بود.

منابع :

[۱] سیریل لندر ، " الکترونیک صنعتی " ، مهندس محمدرضا موسوی تقی آبادی ، مهندس حمیدرضا رضایی‌نیا ، مهندس مسعود هوشمند ، مهندس نرجس رهنما ، ۱۳۸۶.

[۲] مریخ بیات ، فرشاد ، " مدل‌سازی و کنترل صنعتی " ، نص ، ۱۳۸۸.

[۳] تواضعی ، محمد صالح ؛ توکلی کاخکی ، مهسان ، " سیستم‌ها و کنترل‌کننده‌های مرتبه کسری"، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ، ۱۳۹۴.

[۴] مریخ بیات ، فرشاد ، " الگوریتم‌های بهینه سازی فراابتکاری " ، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی واحد زنجان ، ۱۳۹۴.

[5] Rashid, Muhammad H, "Power Electronics,circuits, devices and applications", 2nd ed.,Prentice Hall, 1993.

[6] Merikh bayat F, Jamshidi AL , "Comparing the Performance of Optimal PID and Optimal Fractional-Order PID Controllers Applied to the Nonlinear Boost Converter ", arXiv , 2013

[7] Liping Guo, DESIGN AND IMPLEMENTATION OF DIGITAL CONTROLLERS FOR BUCK AND BOOST CONVERTERS USING LINEAR AND NONLINEAR CONTROL METHODS , 2006