

درایوهای الکتریکی پیشرفته

آنالیز، کنترل و مدل سازی با استفاده از متلب / سیمولینک

نویسنده:

ند موهان

مترجمین:

دکتر علی نهماوندی

مهندس عماد اکبر زاده

سرشناسه : موهان، ند Mohan, Ned

عنوان و نام پدیدآور : درایوهای الکتریکی پیشرفته آنالیز، کنترل و مدل سازی با استفاده از متلب / سیمولینک / نویسنده ند موهان؛ مترجمین علی نهاوندی، عماد اکبرزاده.

مشخصات نشر : ملایر: دانشگاه ملایر، ۱۳۹۶.

مشخصات ظاهری : ۱۹۵ص: مصور، جدول، نمودار.

شابک : 978-600-96727-5-2

وضعیت فهرست نویسی : فیا

عنوان علمی : Advanced electric drives : analysis, control, and modeling using MATLAB/Simulink.

موضوع : Electric driving -- MATLAB - Simulink (Computer program) -- Electric motors -- Mathematical models - Computer simulation

شناسه افزوده : نهاوندی، علی، ۱۳۶۲ - مترجم

شناسه افزوده : عماد اکبرزاده، ۱۳۶۸ - مترجم

شناسه افزوده : دانشگاه ملایر Malayer University

رده بندی کنگره : TK۴۰۵۸/م۳۰۹۶ ب

رده بندی دیویی : ۴۶۰۲۸۵۵۳/۶۲۱

شماره کتابشناسی : ۴۸۲۴۱۶۳

ملی

Book: Advanced Electric Drives, By: Ned Mohan

نام کتاب: درایوهای الکتریکی پیشرفته، آنالیز، کنترل و مدل سازی با استفاده از متلب / سیمولینک. نویسنده: ند

موهان

مترجمین: دکتر علی نهاوندی و مهندس عماد اکبرزاده

ناشر: انتشارات علمی دانشگاه ملایر

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۶

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

قطع: وزیری

قیمت: ۱۲۰۰۰۰ ریال

شابک: 978-600-96727-5-2

کلیه حقوق این اثر برای مترجمین و دانشگاه ملایر محفوظ است.

نشانی: ملایر - کیلومتر ۴ جاده اراک - دانشگاه ملایر - کد پستی: ۶۵۷۱۹-۹۵۸۶۳

تلفن و فکس: ۰۸۱-۳۲۳۵۵۴۶۲ - پست الکترونیکی: publication@malayeru.ac.ir

پیش گفتار	۱۰
۱) کاربردها: کنترل سرعت و گشتاور	۱۴
۱-۱) تاریخچه	۱۴
۲-۱) پیش زمینه	۱۵
۳-۱) انواع درایوهای AC بحث شده و نرم افزار شبیه سازی	۱۶
۴-۱) ساختار این کتاب	۱۶
۵-۱) موتور القایی "ت"ت	۱۶
۶-۱) خلاصه	۱۷
مراجع	۱۸
مسائل	۱۹
۲) معادلات ماشین القایی در مادیسازی: استفاده از بردارهای فضایی	۲۰
۱-۲) مقدمه	۲۰
۲-۲) سیم پیچی های توزیع شده استاتور	۲۰
۱-۲-۲) سیم پیچی های سه فاز توزیع شده	۲۲
۳-۲) اندوکتانس های استاتور (رتور مدار باز)	۲۲
۲-۳-۲) اندوکتانس مغناطیس کنندگی تکفاز استاتور $L_{1-1-phase}$	۲۳
۲-۳-۲) اندوکتانس متقابل استاتور L_{mutual}	۲۵
۳-۳-۲) اندوکتانس مغناطیس کنندگی بر فاز L_m	۲۵
۴-۳-۲) اندوکتانس استاتور L_s	۲۶
۴-۲) سیم پیچی های معادل در رتور قفسه سنجابی	۲۶
۱-۴-۲) اندوکتانسهای سیم پیچی رتور (استاتور مدار باز)	۲۷
۵-۲) اندوکتانس متقابل بین سیم پیچی های فازی رتور و استاتور	۲۸
۶-۲) مروری بر بردارهای فضایی	۲۹
۱-۶-۲) روابط بین فازورها و بردارهای فضایی در حالت ماندگار سینوسی	۳۱
۷-۲) شارهای پیوندی	۳۲
۱-۷-۲) شار پیوندی استاتور (رتور مدار باز)	۳۲
۲-۷-۲) شار پیوندی رتور (استاتور مدار باز)	۳۳
۳-۷-۲) شارهای پیوندی استاتور و رتور (جریان های استاتور و رتور همزمان)	۳۴
۸-۲) معادلات ولتاژ رتور و استاتور بر حسب بردارهای فضایی	۳۵
۹-۲) مقدمات تحلیل dq سیم پیچی ها	۳۵
۱۰-۲) خلاصه	۳۸
مراجع	۳۹
مسائل	۴۰
مشخصات پلاک:	۴۰
مقادیر فازی مدار موتور:	۴۰

۴۲	تحلیل دینامیکی ماشین‌های القایی برحسب سیم پیچی های dq
۴۲	(۱-۳) معرفی.....
۴۲	(۲-۳) معرفی سیم پیچی dq
۴۳	(۱-۲-۳) معرفی سیم پیچی dq استاتور.....
۴۵	(۲-۲-۳) سیم پیچی های dq رتور (در امتداد محور dq استاتور).....
۴۶	(۳-۲-۳) اندوکتانس متقابل بین سیم پیچی های dq روی استاتور و رتور.....
۴۷	(۳-۳) روابط ریاضی سیم پیچی های dq (در سرعت دلخواه ω_d).....
۵۰	(۱-۳-۳) ارتباط متغیرهای سیم پیچی های dq به متغیرهای سیم پیچی های فاز.....
۵۰	(۲-۳-۳) شارهای پیوندی سیم پیچی های dq برحسب جریان های آنها.....
۵۲	(۳-۳-۳) حادثات ولتاژ سیم پیچی های dq
۵۵	(۴-۳) دست آوردن شارها و جریان ها با ولتاژها به عنوان ورودی.....
۵۶	(۴-۳) انتخاب سرعت سیم پیچی dq, ω_d
۵۷	(۵-۳) گشتاور "مرومفتاب"ی.....
۵۷	(۱-۵-۳) گشتاور τ_{em} سیم پیچی محور d رتور.....
۵۹	(۲-۵-۳) گشتاور روی سیم پیچی محور q رتور.....
۵۹	(۳-۵-۳) گشتاور برآیند τ_{em} روی رتور.....
۶۰	(۶-۳) الکترو دینامیک.....
۶۰	(۷-۳) مدارهای معادل محور d و q
۶۱	(۸-۳) روابط بین سیم پیچی های dq و مدار معادل فاز، رزه فازور در شرایط حالت دائمی سینوسی متعادل.....
۶۳	(۹-۳) شبیه سازی کامپیوتری.....
۶۴	(۱۰-۹-۳) محاسبات شرایط اولیه.....
۶۵	آنالیز فازوری.....
۷۲	(۱۰-۳) خلاصه.....
۷۳	مراجع.....
۷۴	مسائل.....
۷۶	(۴) کنترل برداری درایو های موتور القایی: بررسی کیفی.....
۷۶	(۱-۴) معرفی.....
۷۶	(۲-۴) تقلید عملکرد درایوهای DC و درایو های DC بدون جاروبک.....
۷۸	(۱-۲-۴) کنترل برداری درایو های موتور های القایی.....
۷۹	(۳-۴) مقایسه ای با ترانسفورماتور تحریک شده جریانی یا ثانویه اتصال کوتاه شده.....
۸۳	(۱۰-۳-۴) استفاده از مدار معادل ترانسفورماتور.....
۸۴	(۴-۴) ارائه سیم پیچی محور d و q
۸۵	(۵-۴) کنترل برداری با محور d هم جهت با شار رتور.....
۸۵	(۱-۵-۴) تشکیل شار اولیه پیش از $t = 0$
۸۶	(۲-۵-۴) تغییر پله ای در گشتاور در $t = 0^+$
۹۰	(۶-۴) کنترل گشتاور، سرعت و موقعیت.....
۹۱	(۱-۶-۴) جریان مرجع i_{sq}^*
۹۱	(۲-۶-۴) جریان مرجع i_{sd}^*

۹۲	۳-۶-۴) تبدیل و تبدیل معکوس جریان‌های استاتور.....
۹۲	۴-۶-۴) مدل تخمینی موتور برای کنترل برداری.....
۹۳	۷-۴) واحد پردازش قدرت (ppu).....
۹۵	۸-۴) خلاصه.....
۹۶	مراجع.....
۹۷	مسائل.....
۹۷	مشخصات پلاک:.....
۹۷	مقادیر فازی مدار موتور:.....
۹۹	۵) توصیف محاسبات کنترل برداری در ماشین‌های القایی.....
۹۹	۱-۵) مدل موتور تحت شرایط محور d همراه با شار پیوندی رتور T_r
۱۰۱	۱-۱-۵) محاسبه ω_{dA}
۱۰۲	۲-۱-۵) محاسبه T_{em}
۱۰۲	۳-۱-۵) دینامیک شار پیوندی محور d رتور.....
۱۰۳	۴-۱-۵) مدل موتور.....
۱۰۴	۲-۵) کنترل برداری.....
۱۰۷	۱-۲-۵) حلقه‌های کنترل سرعت و موقعیت.....
۱۱۱	۲-۲-۵) راه‌اندازی اولیه.....
۱۱۱	۳-۲-۵) محاسبه ولتاژهای استاتور جهت اعمال کردن.....
۱۱۲	۴-۲-۵) طراحی کنترل‌کننده‌های PI.....
۱۱۷	۳-۵) خلاصه.....
۱۱۸	مراجع.....
۱۱۹	مسائل.....
۱۲۰	۶) اثرات عدم تنظیم در کنترل برداری موتور القایی.....
۱۲۰	۱-۶) اثر عدم تنظیم مربوط به ثابت زمانی نادرست رتور T_r
۱۲۴	مشخصات پلاک.....
۱۲۵	مقادیر فازی مدار موتور:.....
۱۲۵	۲-۶) تحلیل حالت ماندگار.....
۱۲۸	۱-۲-۶) i_{sd}^*/i_{sd}^* در حالت ماندگار.....
۱۲۸	۲-۲-۶) i_{sq}^*/i_{sq}^* در حالت ماندگار.....
۱۲۹	۳-۲-۶) θ_{err} در حالت ماندگار.....
۱۳۰	۴-۲-۶) T_{em}/T_{em}^* در حالت ماندگار.....
۱۳۱	۳-۶) خلاصه.....
۱۳۲	مراجع.....
۱۳۳	مسائل.....
۱۳۴	۷) تحلیل دینامیکی ژنراتورهای دو سو تغذیه و کنترل برداری آنها.....
۱۳۵	۱-۷) نحوه عملکرد DFIG.....

۱۴۱	۲-۷) تحلیل دینامیکی $DFIG$
۱۴۲	۳-۷) کنترل برداری $DFIG$
۱۴۲	۴-۷) خلاصه.....
۱۴۳	مراجع.....
۱۴۴	مسائل.....
۱۴۵	۸) اینورترهای $SV - PWM$
۱۴۵	۱-۸) معرفی.....
۱۴۵	۲-۸) ترکیب بردار فضایی ولتاژ استاتور v_{sa}
۱۵۰	۳-۸) تهیه سازی کامپیوتری $SV - PWM$
۱۵۱	۴-۸) حدود ت در اندازه V_s مربوط به بردار فضایی ولتاژ استاتور v_{sa}
۱۵۳	۱۰-۸) خلاصه.....
۱۵۴	مراجع.....
۱۵۵	مسائل.....
۱۵۶	۹) کنترل مستقیم موتور و عملکرد بدون انکدر درایوهای موتور القایی.....
۱۵۶	۱-۹) معرفی.....
۱۵۶	۲-۹) نمای کلی سیستم.....
۱۵۷	۳-۹) اصول عملکرد DTC بدون انکدر.....
۱۵۸	۴-۹) محاسبه T_{em} ، $\vec{\lambda}_r$ ، $\vec{\lambda}_s$ و $\vec{\lambda}_m$
۱۵۸	۱-۴-۹) محاسبه شار استاتور $\vec{\lambda}_s$
۱۵۹	۲-۴-۹) محاسبه شار رتور $\vec{\lambda}_r$
۱۶۰	۳-۴-۹) محاسبه گشتاور الکترومغناطیسی.....
۱۶۱	۴-۴-۹) محاسبه سرعت رتور ω_m
۱۶۲	۵-۹) محاسبه بردار فضایی ولتاژ استاتور.....
۱۶۵	۶-۹) کنترل مستقیم گشتاور با استفاده از محورهای dq
۱۶۵	۷-۹) خلاصه.....
۱۶۶	مراجع.....
۱۶۷	مسائل.....
۱۶۷	ضمیمه ۹-الف.....
۱۷۰	۱۰) کنترل برداری درایوهای موتور سنکرون مغناطیس دائم.....
۱۷۰	۱-۱۰) معرفی.....
۱۷۰	۲-۱۰) تحلیل $d - q$ ماشین های سنکرون مغناطیس دائم (فاقد قطب برجسته).....
۱۷۱	۱-۲-۱۰) شارهای پیوندی.....
۱۷۱	۲-۲-۱۰) ولتاژهای سیم پیچی های dq استاتور.....
۱۷۱	۳-۲-۱۰) گشتاور الکترومغناطیسی.....
۱۷۲	۴-۲-۱۰) الکترو دینامیک.....
۱۷۲	۵-۲-۱۰) رابطه بین مدارهای dq و مدار معادل حوزه فازوری برای هر فاز در شرایط حالت دائمی سینوسی متعادل.....

۱۷۳	رابطه بین k_E و λ_{fd}
۱۷۴	۱۰-۲-۶) کنترل کننده دینامیکی بر پایه dq برای درایوهای "dc بدون جاروبک".....
۱۷۹	۱۰-۳-۳) ماشین‌های سنکرون قطب برجسته.....
۱۷۹	۱۰-۳-۱) اندوکتانس‌ها.....
۱۸۰	۱۰-۳-۲) شارهای پیوندی.....
۱۸۱	۱۰-۳-۳) ولتاژهای سیم‌پیچی.....
۱۸۱	۱۰-۳-۴) گشتاور الکترومغناطیسی.....
۱۸۲	۱۰-۳-۵) مدارهای معادل محور dq.....
۱۸۲	۱۰-۳-۶) دیاگرام بردار فضایی در حالت دائمی.....
۱۸۴	۱۰-۴) خلاصه.....
۱۸۵	مراجع.....
۱۸۶	مسائل.....
۱۸۷	۱۱) درایوهای موتورهای سونیج (SRM).....
۱۸۷	۱۱-۱) معرفی.....
۱۸۷	۱۱-۲) موتور سونیج رلوکتانسی.....
۱۹۰	۱۱-۲-۱) گشتاور الکترومغناطیسی T_{em}
۱۹۱	۱۱-۲-۲) EMF القایی تولید شده، e_a
۱۹۲	۱۱-۳) شکل موج‌های لحظه‌ای.....
۱۹۴	۱۱-۴) نقش اشباع مغناطیسی [۷].....
۱۹۵	۱۱-۵) واحد پردازش قدرت برای درایوهای SRM.....
۱۹۶	۱۱-۶) تعیین موقعیت رتور جهت عملکرد بدون انکدر.....
۱۹۶	۱۱-۷) کنترل در حالت موتوری.....
۱۹۶	۱۱-۸) خلاصه.....
۱۹۷	مراجع.....
۱۹۸	مسائل.....

پیش گفتار

زمانی که اولین نسخه از این کتاب را در سال ۲۰۰۱ نوشتم، پاراگراف ابتدایی به صورت زیر بود: چرا باید کتابی در زمینه‌ای نوشته شود که تقریباً در برنامه آموزشی بسیاری از دانشگاه‌ها وجود ندارد؟ تنها جواب ممکن این است که امید به احیا کردن آن داریم (همانطور که توانستیم در دانشگاه مینه‌سوتا انجام دهیم) زیرا فرصت‌های بزرگی در آینده در انتظار ماست شامل کاربردهای بیومدیکال همانند پمپ‌های قلب، تحت کنترل درآوردن منابع انرژی‌های تجدیدپذیر مانند باد، اتوماسیون کارخانه‌ها با استفاده از رباتیک و حمل و نقل پاک با استفاده از وسایل الکتریکي هیبریدی.

مهاکرن، پس از گذشت بیش از یک دهه، متأسفانه وضعیت تغییری نکرده است. امید است که در زمان نسخه بعدی این کتاب در چند سال بعد شرایط تغییر کرده باشد.

این کتاب در ادامه کتاب ماشین‌های الکتریکي و درایوها، نسخه اول، که توسط انتشارات WILEY چاپ شده است، نوشته شده است.

تلاش من در این کتاب این است تا آنالیز، کنترل و مدل ماشین‌های الکتریکي را در نهایت سادگی و اختصار ارائه کنم، به طوری که به راحتی در طی یک نیمسال تحصیلی به عنوان یکی از دروس تحصیلات تکمیلی ارائه شود. برای این منظور یک خط مشی دو مرحله‌ای را انتخاب کردم: اول، فراهم کردن یک تصویر فیزیکی بدون متوسل شدن به روابط محاسباتی برای تجسم راحت موضوع و پس از آن اثبات کردن این آنالیز فیزیکی با استفاده از آنالیز ریاضی.

تصویر فیزیکی که در پاراگراف بالا از آن نام برده شد، لزوماً دارای پیچیدگی‌ها و جزئیاتی می‌باشد. بیشتر کتاب‌ها و مقالاتی که در این زمینه نوشته شده‌اند در تبدیلات کمیت‌های فازی b, a و c به محور dq لزوماً با روابط ریاضی بحث کرده‌اند، بدون اینکه این تبدیلات را به یک مجموعه از سیم‌پیچی‌ها ارتباط دهند، حتی به طور فرضی تا قابل تجسم باشند. به همین منظور، یک مجموعه سیم‌پیچی dq فرضی بر روی مختصات متعامد فرض می‌کنیم و سپس واژه‌ها را جریان‌های آن‌ها را به کمیت‌های فازی b, a و c ارتباط می‌دهیم. این مباحث در مورد بردارهای فضایی و مدارهای معادل که در حالت ماندگار ارائه می‌شوند در ادامه مباحث کتاب قبلی است که قبلاً شد.

برای تمامی سرفصل‌های این میحث شبیه‌سازی کامپیوتری نیاز است. برای این منظور، به دلایل زیر نرم افزار `simulink/matlab` را انتخاب کردم: یک نسخه دانشجویی که برای اهداف ما خیلی مناسب است با قیمت مناسب در دسترس است، و زمان کمی برای یادگیری و تسلط بر آن لازم است.

به عنوان سخن آخر، هدف این کتاب پوشش کامل مباحث الکترونیک قدرت و تئوری کنترل نیست، ترجیحاً، هدف این کتاب آنالیز ماشین‌های الکتریکی است به صورتی که به مبدل‌های شناخته شده الکترونیک قدرت ارتباط پیدا کند و با استفاده از هر روش کنترلی بتواند کنترل شود و ساده‌ترین روش کنترل کننده PI است که در این کتاب از آن استفاده شده است.

ند موهان

دانشگاه مینه‌سوتا