

محركه‌های الکترونیکی پیشرفته

تحلیل، کنترل و مدلسازی

با استفاده از MATLAB/Simulink

نویسنده:

ند موغان

مترجمان:

دکتر سید ابراهیم افجه‌ای

(هیأت علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه شهید بهشتی)

دکتر علیرضا سیادت‌ان

(هیأت علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه شهید بهشتی)

نیاز دانش

فهرست مطالب

۹.....	فصل ۱ ، کاربردها: کنترل سرعت و گشتاور.....
۹.....	۱-۱ تاریخچه
۱۰.....	۲-۱ پیش زمینه
۱۰.....	۳-۱ انواع درایوهاي AC بحث شده و نرم افزار شبیه سازی
۱۱.....	۴-۱ ساختار این کتاب
۱۱.....	۵-۱ موتور القایی "تست"
۱۲.....	۶-۱ خلاصه
۱۲.....	مراجع
۱۲.....	مسائل
۱۳.....	فصل ۲ ، معادلات ماشین القایی در کمیت‌های فازی: با کمک بردارهای فضایی
۱۳.....	۱-۲ مقدمه
۱۳.....	۲-۲ سیم پیچ‌های استاتور سینوسی توزیع شده
۱۵.....	۱-۲-۲ سیم پیچ‌های استاتور سینوسی توزیع شده‌ی سه فاز
۱۵.....	۳-۲ اندوکتانس‌های استاتور (روتور مدار باز)
۱۶.....	۱-۳-۲ اندوکتانس مغناطیس کنندگی تک فاز استاتور $L_{m,1\text{-phase}}$
۱۷.....	۲-۳-۲ اندوکتانس متقابل استاتور L_{mutual}
۱۸.....	۳-۳-۲ اندوکتانس مغناطیس کنندگی فاز L_m
۱۸.....	۴-۳-۲ اندوکتانس استاتور L_s
۱۹.....	۴-۲ سیم پیچ‌های معادل در یک روتور قفس سنجابی
۲۰.....	۱-۴-۲ اندوکتانس‌های سیم پیچ روتور (استاتور مدار باز)
۲۰.....	۵-۲ اندوکتانس‌های متقابل بین سیم پیچ‌های فاز استاتور و روتور
۲۱.....	۶-۲ مروری بر بردارهای فضایی
۲۲.....	۱-۶-۲ رابطه‌ی بین فازورها و بردارهای فضایی در حالت ماندگار سینوسی
۲۳.....	۷-۲ شارهای پیوندی
۲۳.....	۱-۷-۲ شار پیوندی استاتور (روتور مدار باز)
۲۴.....	۲-۷-۲ شار پیوندی روتور (استاتور مدار باز)
۲۵.....	۳-۷-۲ شارهای پیوندی استاتور و روتور (جریان‌های هم زمان استاتور و روتور)
۲۶.....	۸-۲ معادلات ولتاژ استاتور و روتور بر حسب بردارهای فضایی
۲۶.....	۹-۲ ساختن یک مورد برای تحلیل یک سیم پیچ dq
۲۹.....	۱۱-۲ خلاصه
۲۹.....	مراجع
۲۹.....	مسائل

۳۳.....	فصل ۳، تحلیل دینامیک ماشین‌های القابی بر حسب سیم‌پیچ‌های dq
۳۳.....	۱-۳ مقدمه
۳۳.....	۲-۳ نمایش سیم‌پیچ dq
۳۳.....	۱-۲-۳ نمایش سیم‌پیچ dq ای استاتور
۳۶.....	۲-۲-۳ سیم‌پیچ‌های dq روتور (در راستای محورهای dq ای مشابه با استاتور)
۳۷.....	۳-۲-۳ اندوکانس متقابل بین سیم‌پیچ‌های dq بر روی استاتور و روتور
۳۷.....	۳-۳-۳ روابط ریاضی سیم‌پیچ‌های dq (در سرعت دلخواه ω_d)
۳۹.....	۱-۳-۳ مرتبط کردن متغیرهای سیم‌پیچ dq به متغیرهای سیم‌پیچ فاز
۴۰.....	۲-۳-۳ شارهای پیوندی سیم‌پیچ‌های dq بر حسب جریان هایشان
۴۱.....	۳-۳-۳ معادلات ولتاژ سیم‌پیچ dq
۴۴.....	۴-۳-۳ به دست آوردن شارهای و جریان‌ها با در نظر گرفتن ولتاژ به عنوان ورودی
۴۴.....	۴-۳ انتخاب سرعت ω_d سیم‌پیچ dq
۴۵.....	۵-۳ گشتاور الکترومغناطیسی
۴۵.....	۱-۵-۳ گشتاور روی سیم‌پیچ محور d روتور
۴۷.....	۲-۵-۳ گشتاور روی سیم‌پیچ محور q روتور
۴۷.....	۳-۵-۳ گشتاور الکترومغناطیسی خالص T_{em} روی روتور
۴۸.....	۶-۳ الکترودینامیک
۴۸.....	۷-۳ مدارهای معادل محورهای q و d
۴۹.....	۸-۳ رابطه‌ی بین سیم‌پیچ‌های dq و مدار معادل حوزه‌ی فازور هر فاز در حالت ماندگار سینوسی معادل
۵۰.....	۹-۳ شبیه‌سازی کامپیوتری
۵۱.....	۱-۹-۳ محاسبه‌ی شرایط اولیه
۵۸.....	۱۰-۳ خلاصه
۵۸.....	مراجع
۵۸.....	مسائل

۶۱.....	فصل ۴، کنترل برداری درایوهای موتور القابی: بررسی کیفی
۶۱.....	۱-۴ مقدمه
۶۱.....	۲-۴ تقلید عملکرد درایو dc و درایو dc بدون جاروبک
۶۱.....	۱-۲-۴ کنترل برداری درایوهای موتور القابی
۶۳.....	۳-۴ تمثیل یک ترانسفورماتور تحریک شده با جریان با یک بخش ثانویه‌ی اتصال کوتاه شده
۶۴.....	۱-۳-۴ استفاده از مدار معادل ترانسفورماتور
۶۷.....	۴-۴ نمایش سیم‌پیچ محور d و محور q
۶۸.....	۵-۴ کنترل برداری با محور d همتراز شده با شار روتور
۶۸.....	۱-۵-۴ افزایش شار اولیه قبل از $t = 0^-$
۶۹.....	۲-۵-۴ تغییر پله در گشتاور در $t = 0^+$
۷۲.....	۶-۴ کنترل گشتاور، سرعت و موقعیت
۷۳.....	۱-۶-۴ جریان مرجع ($i_{sq}^*(t)$)
۷۳.....	۲-۶-۴ جریان مرجع ($i_{sd}^*(t)$)
۷۴.....	۳-۶-۴ تبدیل و تبدیل معکوس جریان‌های استاتور

۷۴.....	۴-۶-۴ مدل تخمینی موتور برای کنترل برداری
۷۵.....	۷-۴ واحد پردازش توان (PPU)
۷۶.....	۸-۴ خلاصه
۷۷.....	مراجع
۷۷.....	مسائل
۷۹.....	فصل ۵ / توصیف ریاضی کنترل برداری در ماشین‌های القایی
۷۹.....	۱-۵ مدل موتور با محور d ی هم راستا با شار پیوندی روتور $\vec{\lambda}_r$
۸۱.....	۱-۱-۵ محاسبه ω_{dA}
۸۱.....	۲-۱-۵ محاسبه T_{em}
۸۲.....	۳-۱-۵ دینامیک‌های شار پیوندی محور d روتور
۸۲.....	۴-۱-۵ مدل موتور
۸۴.....	۲-۵ کنترل برداری
۸۵.....	۱-۲-۵ حلقه‌های کنترل سرعت و موقعیت
۸۷.....	۲-۲-۵ راهاندازی اولیه
۸۸.....	۳-۲-۵ محاسبه‌ی ولتاژهایی که به استاتور اعمال می‌شوند
۸۹.....	۴-۲-۵ طراحی کنترلهای PI
۹۲.....	۳-۵ خلاصه
۹۳.....	مراجع
۹۳.....	مسائل
۹۵.....	فصل ۶ / تاثیرات detuning در کنترل برداری موتور القایی
۹۵.....	۱-۶ تاثیر detuning ناشی از ثابت زمانی نادرست روتور τ_r
۹۹.....	۲-۶ تحلیل حالت ماندگار
۱۰۲.....	۱-۲-۶ حالت ماندگار i_{sd}^* / i_{sd}
۱۰۲.....	۲-۲-۶ حالت ماندگار i_{sq}^* / i_{sq}
۱۰۲.....	۳-۲-۶ حالت ماندگار θ_{err}
۱۰۳.....	۴-۲-۶ حالت ماندگار T_{em}^* / T_{em}
۱۰۴.....	۳-۶ خلاصه
۱۰۴.....	مراجع
۱۰۴.....	مسائل
۱۰۵.....	فصل ۷ / تحلیل دینامیک ژنراتورهای القایی دوبل تغذیه شونده و کنترل برداری آنها
۱۰۶.....	۱-۷ درک عملکرد DFIG
۱۱۲.....	۲-۷ تحلیل دینامیک DFIG
۱۱۲.....	۳-۷ کنترل برداری DFIG
۱۱۲.....	۴-۷ خلاصه
۱۱۲.....	مراجع
۱۱۲.....	مسائل

فصل ۸، اینورترهای مدولاسیون پنهانی پالس فضای برداری (SV-PWM)	۱۱۵
۱-۸ مقدمه	۱۱۵
۲-۸ سنتز بردار فضایی ولتاژ استاتور \vec{v}_s^a	۱۱۵
۳-۸ شبیه‌سازی کامپیوترا اینورتر SV-PWM	۱۱۹
۴-۸ حد دامنهٔ \hat{V}_s بردار فضایی ولتاژ استاتور \vec{v}_s^a	۱۲۰
۵-۸ خلاصه	۱۲۲
مراجع	۱۲۳
مسائل	۱۲۴
فصل ۹، کنترل مستقیم گشتاور (DTC) و عملکرد بدون انکودر درایوهای موتور القایی	۱۲۵
۱-۹ مقدمه	۱۲۵
۲-۹ کلیت سیستم	۱۲۵
۳-۹ اصول کاری DTC بدون انکودر	۱۲۶
۴-۹ محاسبهٔ ω_m , T_{em} , $\vec{\lambda}_r$, $\vec{\lambda}_s$ و	۱۲۷
۱-۴-۹ محاسبهٔ شار استاتور $\vec{\lambda}_s$	۱۲۷
۲-۴-۹ محاسبهٔ شار روتور $\vec{\lambda}_r$	۱۲۷
۳-۴-۹ محاسبهٔ گشتاور الکترومغناطیسی T_{em}	۱۲۸
۴-۴-۹ محاسبهٔ سرعت روتور ω_m	۱۲۹
۵-۹ محاسبهٔ بردار فضایی ولتاژ استاتور	۱۳۰
۶-۹ کنترل مستقیم گشتاور با استفاده از محورهای dq	۱۳۲
۷-۹ خلاصه	۱۳۳
مراجع	۱۳۳
مسائل	۱۳۳
ضمیمهٔ ۹ - الف	۱۳۴
فصل ۱۰، کنترل برداری درایوهای موتور سنکرون آهنربای دائمی	۱۳۷
۱-۱۰ مقدمه	۱۳۷
۲-۱۰ تحلیل dq مашین‌های سنکرون آهنربای دائمی (غیر قطب برجسته)	۱۳۷
۱-۲-۱۰ شارهای پیوندی	۱۳۸
۲-۲-۱۰ ولتاژهای سیم‌پیچ dq استاتور	۱۳۸
۳-۲-۱۰ گشتاور الکترومغناطیسی	۱۳۹
۴-۲-۱۰ الکترودینامیک	۱۳۹
۵-۲-۱۰ رابطهٔ بین مدارهای dq و مدار معادل حوزهٔ فازور هر فاز در حالت ماندگار سینوسی متعادل	۱۳۹
۶-۲-۱۰ کنترل دینامیک مبتنی بر dq برای درایوهای DC بدون جاروبک	۱۴۰
۳-۱۰ ماشین‌های سنکرون قطب برجسته	۱۴۲
۱-۳-۱۰ اندوکتانس‌ها	۱۴۲
۲-۳-۱۰ شارهای پیوندی	۱۴۶
۳-۳-۱۰ ولتاژهای سیم‌پیچ	۱۴۶

۱۴۷.....	۴-۳-۱۰ گشتاور الکترومغناطیسی
۱۴۷.....	۵-۳-۱۰ مدارهای معادل محور dq
۱۴۷.....	۶-۳-۱۰ دیاگرام بردار فضایی در حالت ماندگار
۱۴۸.....	۴-۱۰ خلاصه
۱۴۸.....	مراجع
۱۴۹.....	مسائل

۱۵۱.....	فصل ۱۱، درایوهای موتور رلوکتانسی سوئیچ شونده (SRM)
۱۵۱.....	۱-۱۱ مقدمه
۱۵۱.....	۲-۱۱ موتور رلوکتانسی سوئیچ شونده
۱۵۳.....	۱-۲-۱۱ گشتاور الکترومغناطیسی T_{em}
۱۵۴.....	۲-۲-۱۱ نیروی ضد محركه مغناطیسی القایی e_a
۱۵۵.....	۳-۱۱ شکل موج های لحظه ای
۱۵۶.....	۴-۱۱ نقش اشباع مغناطیسی
۱۵۸.....	۵-۱۱ واحدهای پردازش توان برای درایوهای SRM
۱۵۸.....	۶-۱۱ تعیین موقعیت روتور برای عملکرد بدون انکودر
۱۵۹.....	۷-۱۱ کنترل در حالت موتوری
۱۵۹.....	۸-۱۱ خلاصه
۱۶۰.....	مراجع
۱۶۰.....	مسائل

فهرست علائم

۱. متغیرهایی که تابعی از زمان هستند

۲. مقادیر پیک (متغیرهای متغیر با زمان)

۳. فازورها

۴. بردارهای فضایی

$$\vec{H}(t), \vec{B}(t), \vec{F}(t), \vec{v}(t) = \hat{V}e^{j\theta}, \hat{i}(t) = \hat{I}e^{j\theta}, \vec{\lambda}(t) = \hat{\lambda}e^{j\theta}$$

برای بردارهای فضایی، از رابطه‌ی نمایی به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$e^{j\theta} = 1\angle\theta = \cos\theta + j \sin\theta e^{j\theta} = 1\angle\theta = \cos\theta + j \sin\theta$$

توجه کنید که هم فازورها هم بردارهای فضایی که دو کمیت مجزا هستند مقادیر پیک

خودشان را دارند که با " \wedge " نشان داده می‌شود.

زیروندها

فازهای استاتور a, b, c فازهای روتور a, b, c سیم پیچ‌های d, q استاتور s روتور r مغناطیس کنندگی m مکانیکی (θ_m, ω_m) (m در)مکانیکی (θ_m, ω_m) ($mech$ در)

نشستی ۱

بالاوندها

محور به کار رفته به عنوان مرجع برای تعریف یک بردار فضایی را نشان می‌دهد (نداشتن بالاوند به این معنی است که محور d به عنوان مرجع استفاده می‌شود).

× مقدار مرجع

نمادها

 p تعداد قطب‌ها ($p \geq 2$, عدد زوج)

θ تمام زاویه‌ها از جمله θ_m و جهت محور (برای مثال $e^{j2\pi/3}$), به رادیان الکتریکی هستند (رادیان الکتریکی برابر با $2\pi/p$ برابر رادیان مکانیکی است).

ω تمام سرعت‌ها، از جمله ω_{syn} , ω_m , ω_{dA} , ω_d و ω_{slip} (به جز ω_{mech}) به رادیان الکتریکی بر ثانیه هستند.

ω_{mech} سرعت روتور به رادیان واقعی (مکانیکی) بر ثانیه: $\omega_{mech} = (2\pi/p)\omega_m$

θ_{mech} زاویه‌ی روتور به رادیان واقعی (مکانیکی) بر ثانیه: $\theta_{mech} = (2\pi/p)\theta_m$

fl : شارهای پیوندی با fl در مثال‌های MATLAB و Simulink نشان داده می‌شوند.

پارامترهای موتور القایی که به جای یکدیگر به کار می‌روند:

$$R'_r = R_r$$

$$L'_{fr} = L_{fr}$$