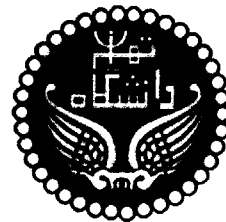
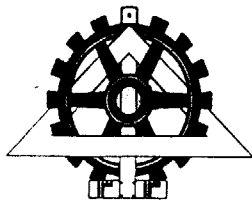


۱۱۶

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۱۶۳

۱۳۸۰ / ۹ / ۲۰



دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

موضوع:

طراحی و پیاده‌سازی کنترل مستقیم گشتاور در

موتور آهنربای دائم سنکرون

015282

توسط: حسن قاسمی

استاد راهنما: دکتر صادق واعظ زاده

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در

رشته مهندسی برق، قدرت

آذرماه ۱۳۸۰

۳۱۸۷۳

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در

رشته مهندسی برق، قدرت

عنوان:

طراحی و پیاده‌سازی کنترل مستقیم گشتاور در موتور
آهنربای دائم سنکرون

نگارش: حسن قاسمی

از این پایان نامه در تاریخ ۱۳۸۰/۹/۴ در مقابل هیأت داوران دفاع گردید و
مورد تصویب قرار گرفت.



دکتر محمدعلی بنی هاشمی

دکتر محمود کمره‌ای

دکتر جواد فیض

دکتر صادق واعظ زاده

دکتر جواد فیض

دکتر سعید افشارنیا

دکتر محمدرضا ذوالقدری

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی :

مدیر گروه آموزشی :

سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه :

استاد راهنما :

عضو هیئت داوران :

عضو هیئت داوران :

عضو هیئت داوران :



روان پاک پدرم، مادر فداکار، خانواده عزیز
تمامی اساتید و معلمین دلسوز که شمع
وجودشان روشنی بخش راه سعادت ما بوده است

همه کسانی که قلبشان برای آبادانی، پیشرفت و
سرافرازی ایران می تپد.

چکیده:

نتایج خوب بکارگیری روش کنترل مستقیم گشتاور در موتورهای القایی در مقایسه با روش‌های دیگر از یک سو و تولید مواد مغناطیسی جدید با قیمت مناسب از سوی دیگر، باعث توجه روزافزون محققان درایو برای بکارگیری روش کنترل مستقیم گشتاور در موتور آهنربای دائم سنکرون شده است. یکی از کارهای تحقیقاتی در سالهای اخیر در این زمینه، ارائه جداول کلیدزنی مختلف برای دستیابی به عملکرد مناسب در موتور مذکور می‌باشد. زمینه دیگر تحقیقاتی استفاده از روشهای پیشرفته‌ای چون کنترل فازی، شبکه‌های عصبی و نوروفازی در کلیدزنی اینورتر است. علاوه بر این نحوه انتخاب فرمان شار برای حداقل کردن تلفات و جریان راه‌اندازی مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق پس از نگاهی کوتاه به اصول کنترل مستقیم گشتاور، ابتدا روشهای معمولی کلیدزنی مورد بررسی قرار گرفته و سپس روشهای پیشرفته‌تر و خصوصیات هر روش مرور می‌شود. اعمال روش پیش‌بین در کلیدزنی موتورهای القایی و نتایج خوب حاصله از آن، باعث ترغیب استفاده از روش پیش‌بین در کلیدزنی موتور آهنربای دائم سنکرون می‌گردد. لذا نحوه اعمال روش پیش‌بین برای موتور مذکور و استنتاج معادلات آن تحت شرایط مختلف (کار دائم و حالت گذرای شار و گشتاور) ارائه می‌شود.

بالا بردن دینامیک گشتاور در شرایط راه‌اندازی یکی از مهم‌ترین اهداف مهندسان درایو بوده که عمدتاً با استفاده از کنترل برداری محقق شده است. ارائه روشی که موتور تحت کنترل مستقیم گشتاور و با دینامیک حداکثر راه‌اندازی شود به عنوان یکی از اهداف دیگر این تحقیق دنبال شده و دو روش مختلف برای آن پیشنهاد شده است. روش اول مبتنی بر جستجوی بردار ولتاژ بهینه برای اعمال به ماشین در هر پریرود نمونه‌برداری است. روش دوم که از توسعه و تکامل روش پیش‌بین نتیجه می‌شود ولتاژهای بهینه را در هر لحظه مستقیماً محاسبه و به ماشین اعمال می‌کند.

رفتار یک موتور آهنربای دائم سنکرون تحت روش اخیر مشروحاً مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد و با نتایج شبیه‌سازی مربوط به جداول کلیدزنی مختلف از جمله تحت یک کنترلر فازی مقایسه می‌شود. این نتایج حاکی از عملکرد مطلوب و برتر موتور تحت روش پیشنهادی است.

در نهایت، با استفاده از پردازشگر سریع TMS320C31 روش کنترل مستقیم گشتاور بر روی یک موتور آهنربای دائم سنکرون پیاده‌سازی می‌شود و نتایج آزمایشگاهی مربوط ارائه می‌گردد.

فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱ مروری بر کنترل برداری و کنترل مستقیم گشتاور	۲
۲-۱ هدف‌های اصلی تحقیق	۷
۳-۱ راهنمای پایان نامه	۸
فصل دوم : موتور PMS و اصول کنترل مستقیم گشتاور	۹
۱-۲ موتور آهنربای دائم سنکرون	۱۰
۱-۱-۲ ساختار موتور آهنربای دائم سنکرون	۱۰
۲-۱-۲ معادلات موتور آهنربای دائم سنکرون	۱۳
۱-۲-۱-۲ معادلات موتور در سیستم سه فازه abc	۱۳
۲-۲-۱-۲ معادلات موتور در دستگاه مرجع شار روتور dq	۱۴
۳-۲-۱-۲ معادلات موتور در دستگاه مرجع شار استاتور xy	۱۷
۲-۲ اصول کنترل مستقیم گشتاور	۲۰
۱-۲-۲ کنترل مستقیم گشتاور بوسیله کنترل شار استاتور	۲۱
۲-۲-۲ کنترل مستقیم گشتاور بوسیله کنترل مؤلفه d جریان استاتور	۲۲
۳-۲-۲ کنترل مستقیم گشتاور بوسیله کنترل گشتاور راکتیو	۲۲
۳-۲ انتخاب مرجع شار	۲۳
۱-۳-۲ انتخاب مرجع شار در موتور آهنربای دائم با قطب صاف	۲۴
۲-۳-۲ انتخاب مرجع شار در موتور آهنربای دائم با قطب برجسته	۲۵
۴-۲ کنترل گشتاور	۲۷
۱-۴-۲ کنترل گشتاور در موتور با قطب صاف	۲۷
۲-۴-۲ کنترل گشتاور در موتور با قطب برجسته	۲۷

فصل سوم : روشهای مختلف کلید زنی	۳۰
۱-۳ مقدمه	۳۱
۲-۳ استفاده از بردار ولتاژ صفر در کلید زنی	۳۱
۳-۳ روش چرخش نواحی کلیدزنی	۳۳
۴-۳ استفاده از کنترلر فازی	۳۵
۱-۴-۳ کاهش ضریبان گشتاور توسط کنترل کننده فازی	۳۵
۲-۴-۳ پیاده‌سازی کنترل کننده فازی	۳۸
۵-۳ اضافه کردن یک موج مثلثی با فرکانس بالا به خطای شار و گشتاور	۴۱
۶-۳ استفاده از اینورتر موازی دوگانه	۴۲
۷-۳ مدولاسیون بردارهای فضایی گسسته	۴۵
فصل چهارم: روش پیش‌بین و حداکثر کردن دینامیک گشتاور در راه‌اندازی	۴۷
۱-۴ روش پیش‌بین	۴۸
۱-۱-۴ روش پیش‌بین در حالت کار دائمی	۴۸
۲-۱-۴ کنترل شار تحت حالت گذرای گشتاور	۵۲
۳-۱-۴ کنترل گشتاور تحت حالت گذرای شار	۵۴
۴-۱-۴ کنترل موتور تحت حالت گذرای شار و گشتاور	۵۵
۲-۴ تأثیر اندازه دامنه شار مرجع در رفتار دینامیکی ماشین	۵۶
۳-۴ روش جستجو برای حداکثر کردن دینامیک گشتاور در راه‌اندازی	۵۸
۴-۴ روش تحلیلی برای حداکثر کردن دینامیک گشتاور در راه‌اندازی	۶۲
فصل پنجم : شبیه‌سازی	۶۴
۱-۵ مقدمه	۶۵
۲-۵ بلوک دیاگرام ها	۶۵
۳-۵ نتایج شبیه سازی	۶۷

۶۹	۱-۳-۵ استفاده از بردارهای ولتاژ صفر در جدول کلیدزنی
۷۰	۲-۳-۵ عدم استفاده از بردارهای ولتاژ صفر در جدول کلیدزنی
۷۱	۳-۳-۵ چرخش نواحی کلیدزنی به میزان ۳۰ درجه
۷۳	۴-۳-۵ استفاده از کنترل‌کننده فازی
۷۴	۵-۳-۵ اعمال روش پیش بین
۷۶	۶-۳-۵ راه‌اندازی با حداکثر دینامیک گشتاور
۸۱	۴-۵ خلاصه نتایج شبیه سازی
۸۲	فصل ششم : سخت افزار و پیاده‌سازی سیستم کنترل مستقیم گشتاور
۸۳	۱-۶ مقدمه
۸۵	۲-۶ طراحی کارت خروجی دیجیتال به آنالوگ
۸۷	۳-۶ پیاده‌سازی نرم افزار کنترل مستقیم گشتاور در موتور PMS
۹۳	۴-۶ نتایج پیاده‌سازی
۹۷	فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۸	۱-۷ نوآوری‌ها و نتایج تحقیق
۱۰۰	۲-۷ پیشنهادات
۱۰۱	منابع و مراجع
۱۰۴	پیوستها

- جدول ۱-۱: مقایسه روش کنترل برداری و کنترل مستقیم گشتاور ۶
- جدول ۱-۳: جدول کلیدزنی با استفاده از بردارهای ولتاژ غیرصفر و صفر (V_1 تا V_8) ۳۲
- جدول ۲-۳: جدول کلیدزنی با استفاده از بردارهای ولتاژ غیرصفر (V_1 تا V_6) ۳۲
- جدول ۳-۳: جدول کلیدزنی ۳۶
- جدول ۴-۳: قواعد استنتاج در موقع افزایش شار ۴۰
- جدول ۴-۳: قواعد استنتاج در موقع کاهش شار ۴۰
- جدول ۱-۴: انتخاب وضعیت اینورتر در حالت گذرای گشتاور و شار در روش پیش‌بین ۵۴
- جدول ۱-۵: پارامترهای یک موتور IPM ۶۸
- جدول ۲-۵: شار مرجع در گشتاورهای مختلف ۶۹
- جدول ۱-۶: مشخصات موتور آهنربای دائم سنکرون مدل BL7008-24-0-S-007 ۹۳

- شکل ۱-۱: بلوک دیاگرام کنترل برداری با فرمان شار و گشتاور ۳
- شکل ۱-۲: دیاگرام برداری ۱۵
- شکل ۲-۲: مدار معادل محور d ۱۵
- شکل ۳-۲: مدار معادل محور q ۱۵
- شکل ۴-۲: بلوک دیاگرام سیستم کنترل مستقیم گشتاور ۲۱
- شکل ۵-۲: حرکت انتهای بردار شار استاتور ۲۱
- شکل ۶-۲: اینورتر منبع ولتاژ VSI ۲۱
- شکل ۷-۲: منحنی گشتاور بر حسب زاویه بار به ازای مقادیر مختلف شار ۲۸
- شکل ۱-۳: دوران ناحیه I به اندازه 30° وقتی که ولتاژ V_2 اعمال می شود ۳۳
- شکل ۲-۳: دوران ناحیه I به اندازه 30° وقتی که ولتاژ V_3 اعمال می شود ۳۴
- شکل ۳-۳: بلوک دیاگرام چرخش نواحی کلیدزنی ۳۵
- شکل ۴-۳: مقایسه روش سنتی کنترل مستقیم گشتاور با اعمال ولتاژ بصورت درصد ۳۷
- شکل ۵-۳: مقایسه اثر زاویه شار بر روی شار و گشتاور ۳۸
- شکل ۶-۳: توابع عضویت ۳۹
- شکل ۷-۳: اضافه کردن سیگنال مثلثی به خطای شار و گشتاور ۴۲
- شکل ۸-۳: اینورتر سه فاز موازی دوگانه ۴۳
- شکل ۹-۳: صفحه مکان بردار شار و بردارهای خروجی اینورتر موازی دوگانه ۴۴
- شکل ۱-۴: تصویر بردار V_s روی دو بردار مجاور آن ۵۰
- شکل ۲-۴: منحنی گشتاور بر حسب زاویه بار به ازای مقادیر مختلف شار ۵۶
- شکل ۳-۴: جریان محور d در راه اندازی به ازای مقادیر مختلف شار مرجع ۵۸

- شکل ۴-۴: بردارهای خروجی اینورتر و چرخش بردار شار استاتور ۶۰
- شکل ۴-۵: تعیین گشتاور حاصله از بردارهای مختلف ولتاژ در چهار موقعیت شار ۶۱
- شکل ۵-۱: بلوک دیاگرام موتور آهنربای دائم سنکرون ۶۵
- شکل ۵-۲: مدل اینورتر سه فاز سه سطحی ۶۶
- شکل ۵-۳: بلوک دیاگرام DTC در محیط Simulink ۶۷
- شکل ۵-۴: کنترل مستقیم گشتاور با استفاده از جدول (۳-۱) ۷۰
- شکل ۵-۵: کنترل مستقیم گشتاور با جدول کلیدزنی (۳-۲) ۷۱
- شکل ۵-۶: نتایج شبیه‌سازی مربوط به چرخش نواحی کلیدزنی ۷۲
- شکل ۵-۷: پاسخ گشتاور و اندازه شار روش کنترل مستقیم گشتاور در دو حالت (a): کلیدزنی معمولی با استفاده از جدول (۳-۲) (b): کلیدزنی با چرخش نواحی ۷۳
- شکل ۵-۸: کنترل مستقیم گشتاور با استفاده از کنترلر فازی ۷۴
- شکل ۵-۹: نتایج روش پیش‌بین که در لحظه $t=0.01\text{sec}$ فرمان پله گشتاور داده شده است ۷۵
- شکل ۵-۱۰: نتایج روش پیش‌بین که در لحظه $t=0.01\text{sec}$ فرمان تضعیف شار داده شده است ۷۶
- شکل ۵-۱۱: شکل (۵-۱۱): پاسخ گشتاور در (i): روش معمولی DTC با مرجع شار برابر $1.3I_m$ (ii): روش معمولی DTC با مرجع شار برابر $2I_m$ (iii): روش پیشنهادی برای حداکثر کردن دینامیک گشتاور ۷۷
- شکل (۵-۱۲): مؤلفه d جریان استاتور در (i): روش معمولی DTC با مرجع شار برابر $2I_m$ (ii): روش معمولی DTC با مرجع شار برابر $1.3I_m$ (iii): روش پیشنهادی برای حداکثر کردن دینامیک گشتاور ۷۸

- شکل ۵-۱۳: مؤلفه q جریان استاتور ر در (i): روش معمولی DTC با مرجع شار برابر $2\lambda_m$
- (ii): روش معمولی DTC با مرجع شار برابر $1.3\lambda_m$ (iii): روش پیشنهادی
برای حداکثر کردن دینامیک گشتاور ۷۹
- شکل ۵-۱۴: مکان انتهایی بردار شار و جریان فاز a در دو حالت: (a): روش سنتی DTC با
 $\lambda_s^* = 1.3\lambda_m$ (b): روش پیشنهادی برای حداکثر کردن دینامیک گشتاور در
راهاندازی ۸۰
- شکل ۵-۱۵: زاویه بردار شار استاتور در حالت‌های (i): روش پیشنهادی برای حداکثر کردن
گشتاور (ii): روش معمولی DTC با $\lambda_s^* = 1.3\lambda_m$ ۸۰
- شکل ۶-۱: شماتیک کارت خروجی دیجیتال به آنالوگ ۸۶
- شکل ۶-۲: بلوک دیاگرام نرم‌افزار مربوط به کنترل مستقیم گشتاور ۹۰
- شکل ۶-۳: پاسخ پله گشتاور در راهاندازی موتور ۹۴
- شکل ۶-۴: گشتاور موتور ۲ میلی ثانیه پس از راهاندازی بی‌بار ۹۴
- شکل ۶-۵: اندازه شار استاتور در حالت بی‌بار ۹۵
- شکل ۶-۶: جریان فاز a موتور ۹۵
- شکل ۶-۷: ولتاژ خط به خط موتور ۹۶

dT_e	خطای گشتاور
ET_e	خطای گشتاور
$d\varphi$	خطای شار
$E\varphi$	خطای شار
I_a	جریان فاز a
I_m	مؤلفه موهومی
i_{ds}^*	مرجع مؤلفه d جریان استاتور
i_{qs}^*	مرجع مؤلفه q جریان استاتور
i_d	مؤلفه d جریان استاتور در دستگاه مرجع شار روتور
i_q	مؤلفه q جریان استاتور در دستگاه مرجع شار روتور
i_x	مؤلفه x جریان استاتور در دستگاه مرجع شار استاتور
i_y	مؤلفه y جریان استاتور در دستگاه مرجع شار استاتور
L_d	اندوکتانس محور d استاتور
L_q	اندوکتانس محور q استاتور
P	تعداد جفت قطب
P_{in}	توان الکتریکی ورودی به موتور
R_e	مؤلفه حقیقی
T_e	گشتاور الکترومغناطیسی
t_e	گشتاور الکترومغناطیسی
T_{ref}	فرمان گشتاور
t_{ref}	فرمان گشتاور
V_{DC}	ولتاژ باس DC
V_D	مؤلفه D ولتاژ در دستگاه ساکن

V_d	مؤلفه d ولتاژ در دستگاه چرخان
V_q	مؤلفه Q ولتاژ در دستگاه ساکن
V_Q	مؤلفه q ولتاژ در دستگاه ساکن
\bar{V}_k	بردار k ام از ولتاژهای خروجی اینورتر
\bar{V}_{k+1}	بردار k+1 ام از ولتاژهای خروجی اینورتر
\bar{V}_s	بردار ولتاژ خروجی اینورتر در دستگاه ساکن D-Q
ω_e	سرعت الکتریکی روتور
θ_e	موقعیت روتور بر حسب زاویه الکتریکی
θ_s	زاویه شار استاتور در دستگاه ساکن D-Q
θ_s'	زاویه شار استاتور دوران داده شده در دستگاه ساکن D-Q
$\bar{\lambda}_s$	بردار شار استاتور
$\bar{\phi}_s$	بردار شار استاتور
λ_d	مؤلفه d بردار شار استاتور در دستگاه مرجع شار روتور
φ_d	مؤلفه d بردار شار استاتور در دستگاه مرجع شار روتور
λ_q	مؤلفه q بردار شار استاتور در دستگاه مرجع شار روتور
φ_q	مؤلفه q بردار شار استاتور در دستگاه مرجع شار روتور
φ_x	مؤلفه x بردار شار استاتور در دستگاه مرجع شار استاتور
φ_y	مؤلفه y بردار شار استاتور در دستگاه مرجع شار استاتور
$ \psi_1 ^\circ$	مرجع شار استاتور
$ \psi_2 ^\circ$	مرجع شار روتور
σ_p	خروجی کنترل کننده هیستریزس شار
σ_r	خروجی کنترل کننده هیستریزس گشتاور
μ_0	تابع عضویت زاویه شار از ابتدای ناحیه

μ_{Ete}

تابع عضویت خطای گشتاور

 μ_δ

تابع عضویت درصد زمان کلیدزنی