

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

باسمه تعالی



تعهدنامه

اینجانب محمد چشفر متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده از درجه اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

محمد چشفر



دانشکده برق، الکترونیک و کامپیوتر

کنترل دور موتور سه فاز مد جریانی به روش هیستریزیس چند سطحی با کنترل مستقیم گشتاور

نگارش

محمد چشفر

استاد راهنمای اول: دکتر زین العابدین موسوی

استاد راهنمای دوم: دکتر پرویز امیری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق قدرت

بهمن ۱۳۹۱

چکیده

جهت کنترل دور موتورهای AC روش‌های متنوعی پیشنهاد شده است، که یکی از مهمترین آن‌ها روش کنترل مستقیم گشتاور (¹DTC) می‌باشد. در این روش سعی بر این است که موتور القایی همانند یک موتور DC با کنترل مجزای گشتاور و شار راه اندازی شود. برای حصول به این نتیجه از روش‌های مختلفی بهره گرفته می‌شود. روش مدولاسیون هیستریزیس² از جمله روش‌های جدیدی می‌باشد که امکان کارکرد مستقیم متناوب‌ساز³ در حالت جریانی را فراهم می‌نماید. متناوب‌سازها به صورت دو سطحی یا چند سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ که از بین این دو متناوب‌سازهای چند سطحی با مزیت کاهش فرکانس کلیدزنی و مقادیر نامی با استقبال بیشتری خصوصاً در توان بالا مواجه شده است، مضافاً با افزایش سطوح به‌طور قابل ملاحظه‌ای از هارمونیک‌های سیستم نیز کاسته می‌شود. در این پایان‌نامه بعد از معرفی اجمالی موتور القایی، روش کنترل مستقیم گشتاور به تفصیل شرح داده شده است. در ادامه پس از بررسی انواع متناوب‌سازهای چند سطحی، روش‌های کنترل آن‌ها مطرح گردیده است. سپس روش‌های کنترل مستقیم گشتاور توسط اینورتر چند سطحی مطرح و با استفاده از شبیه‌سازی بررسی شده‌اند. بر طبق این شبیه‌سازی نشان داده شد که کنترل مستقیم گشتاور توسط اینورتر چند سطحی عملکرد مناسب‌تری داشته و مولفه هارمونیک کل جریان استاتور را کاهش داده است. مولفه هارمونیک کل جریان در اینورتر دو سطحی ۳/۴٪، در سه سطحی ۶٪ و در چهار سطحی ۲٪ و در چند سطحی ۱۲٪ قطعی حدود ۲٪ به دست آمده است. سپس یک نمونه آزمایشگاهی اینورتر پنج سطحی با کنترل هیستریزیس جریانی طراحی و پیاده‌سازی شد. سپس آزمایشات مربوطه انجام گرفت. در نهایت اعتبار سنجی انجام و تعقیب جریان خروجی و کلیدزنی صحیح مورد توجه قرار گرفت.

کلمات کلیدی: اینورتر چند سطحی، مدولاسیون هیستریزیس، کنترل مستقیم گشتاور

1- Direct Torque Control
2 -Hysteresis
3 -Inverter

فهرست مطالب

فصل اول: موتور القایی و روش های کنترل آن

- ۱-۱-مقدمه ۱
- ۲-۱-موتور القایی ۱
- ۳-۱-روش های کنترل موتور القایی ۷
- ۱-۳-۱-کنترل اسکالر ۷
- ۱-۱-۳-۱-تکنیک v/f ثابت ۸
- ۲-۳-۱-کنترل برداری یا کنترل جهت دار میدان ۸
- ۱-۲-۳-۱-روابط ماشین در کنترل برداری ۸
- ۲-۲-۳-۱-روش مستقیم یا فیدبک ۱۱
- ۳-۲-۳-۱-مدل جریانی ۱۳
- ۳-۳-۱-کنترل مستقیم گشتاور و شار ۱۴
- ۱-۳-۳-۱-روابط کنترل مستقیم گشتاور ۱۴
- ۲-۳-۳-۱-روش کنترل DTC ۱۶

فصل دوم: اینورترهای چند سطحی

- ۱-۲-مقدمه ۲۳
- ۱-۱-۲-مفهوم چند سطحی ۲۴
- ۲-۲-انواع اینورترهای چند سطحی ۲۵
- ۱-۲-۲-اینورتر چند سطحی با برش دیودی ۲۷
- ۱-۱-۲-۲-اصول کار اینورتر با برش دیودی ۲۸
- ۲-۱-۲-۲-ویژگی های اینورتر با برش دیودی ۲۹

- ۲-۲-۲ اینورتر چند سطحی با خازن شناور ۳۱
- ۱-۲-۲-۲ اصول کار اینورتر خازن شناور ۳۲
- ۲-۲-۲-۲ ویژگی های اینورتر خازن شناور ۳۳
- ۳-۲-۲ اینورتر چند سطحی سری ۳۴
- ۱-۳-۲-۲ اصول کار اینورتر سری ۳۵
- ۳-۳-۲-۲ ویژگی های اینورتر سری ۳۶

فصل سوم: روش های کنترل اینورترهای چند سطحی هیستریزس

- ۱-۳-۱-۱ بررسی انواع مدولاسیون ۳۹
- ۱-۳-۱-۱ کنترل جریان مدولاسیون پهنای پالس باند هیستریزسی ۴۰
- ۲-۳-۲-۲ مدولاسیون هیستریزس چند سطحی ۴۳
- ۲-۳-۲-۲ مدولاسیون هیستریزس چند سطحی چند بانده ۴۴
- ۳-۳-۲-۲ مدولاسیون هیستریزس باندهای چند آفسته ۴۶
- ۴-۳-۲-۲ مقایسه روش های مدولاسیون هیستریزس چند سطحی ۴۸
- ۳-۵-۲-۲ کنترل مستقیم گشتاور توسط اینورتر چند سطحی ۴۹

فصل چهارم: شبیه سازی انجام شده

- ۱-۴-۱ تکنیک های کنترل جریان برای کاربرد در اینورترهای منبع ولتاژ توان بالا ۵۴
- ۱-۴-۱-۱ روش کنترل مقاوم و قابل اطمینان ۵۴
- ۲-۴-۱-۲ روش کنترل جریان بهبود یافته اینورتر چند سطحی ۵۸
- ۲-۴-۲-۲ کنترل مستقیم گشتاور با استفاده از اینورتر چند سطحی ۶۱
- ۱-۴-۲-۱ کنترل مستقیم گشتاور با استفاده از اینورتر دو سطحی ۶۱
- ۲-۴-۲-۲ کنترل مستقیم گشتاور با استفاده از اینورتر سه سطحی ۶۵
- ۳-۴-۲-۳ نتیجه گیری ۷۰

فصل پنجم: طراحی مدار آزمایشگاهی

۷۲	..... ۱-۵ مقدمه
۷۲	..... ۲-۵ اینورتر پنج سطحی سری
۷۳	..... ۳-۵ اینورتر پل کامل
۷۳	..... ۴-۵ راه اندازه‌های مسافت
۷۳	..... ۱-۴-۵ تامین جریان گیت مسافت
۷۵	..... ۲-۴-۵ راه اندازه‌ی مسافت با سورس شناور
۷۸	..... ۳-۴-۵ تاخیر خاموش شدن مسافت
۸۱	..... ۵-۵ طراحی مدار کنترلی
۸۳	..... ۶-۵ جمع بندی

فصل ششم: نتایج آزمایشگاهی

۸۵	..... ۱-۶ مقدمه
۸۵	..... ۲-۶ طرح مدار اینورتر چند سطحی با کنترل هیستریزس جریانی
۸۶	..... ۳-۶ طراحی برد مدار چاپی
۸۷	..... ۴-۶ نتایج بدست آمده
۸۸	..... ۵-۶ جمع بندی و نتیجه گیری

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۵	..... ۱-۷ نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۷	..... مراجع

فهرست جداول

- جدول ۲-۱ سطوح ولتاژ با برش دیودی و وضعیت کلیدها ۳۰
- جدول ۲-۲ یکی از ترکیب های ممکن کلیدها برای اینورتر خازن شناور ۳۳
- جدول ۳-۱ روش انتخاب در عملکرد چهار ربعی ۷۱
- جدول ۳-۲ بردارهای ولتاژ انتخاب شده در هر شش قطاع ۵۱
- جدول ۳-۳ بردارهای ولتاژ انتخاب شده در هر ۱۲ قطاع ۵۲
- جدول ۴-۱ برنامه حافظه فقط خواندنی ۵۸

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ مدار معادل تکفاز موتور القایی ۳
- شکل ۱-۲ مشخصه سرعت گشتاور موتور القایی ۵
- شکل ۱-۳ کنترل سرعت ولت بر هرتز حلقه باز با اینورتر تغذیه ولتاژ ۷
- شکل ۱-۴ منحنی گشتاور سرعت با اثر تغییرات فرکانس، گشتاور بار و ولتاژ تغذیه ۸
- شکل ۱-۵ کنترل برداری موتور القایی ۹
- شکل ۱-۶ فازورهای حالت ماندگار ۱۰
- شکل ۱-۷ اصول پیاده سازی کنترل برداری با مدل $de-qe$ ماشین ۱۱
- شکل ۱-۸ بلوک دیاگرام کنترل برداری مستقیم با جهت یابی شار روتور ۱۲
- شکل ۱-۹ تخمین شار مدل جریانی ۱۳
- شکل ۱-۱۰ بردارهای شار استاتور، شار روتور و جریان استاتور در صفحه $ds-qs$ ۱۶
- شکل ۱-۱۱ بلوک دیاگرام کنترل مستقیم شار و گشتاور ۱۷
- شکل ۲-۱ شکل عمومی اینورترهای چند سطحی ۲۴
- شکل ۲-۲ نمونه ای از ولتاژ خروجی یک اینورتر چند سطحی ۲۵
- شکل ۲-۳ اینورتر چند سطحی پل با پنج سطح و برش دیودی ۲۷
- شکل ۲-۴ شکل موج های ولتاژ اصلی اینورتر چند سطحی ۲۹
- شکل ۲-۵ مدار یک اینورتر تکفاز پنج سطحی با خازن شناور ۳۱
- شکل ۲-۶ اینورتر سری چند سطحی پل H تکفاز ۳۵
- شکل ۲-۷ تولید موج شبه مربعی ۳۶
- شکل ۳-۱ اصول کنترل جریان باند هیستریزیسی ۴۰
- شکل ۳-۲ بلوک دیاگرام کنترلی PWM باند هیستریزیسی ۴۲
- شکل ۳-۳ کنترل جریانی مدولاسیون هیستریزیسی چند بانده ۴۵
- شکل ۳-۴ مدولاسیون چند بانده پنج سطحی ۴۵
- شکل ۳-۵ مدولاسیون چند آفسته سه سطحی ۴۷
- شکل ۳-۶ مدولاسیون چند آفسته پنج سطحی ۴۸
- شکل ۳-۷ بردارهای ولتاژ حاصل از اینورتر سه سطحی ۵۰
- شکل ۴-۱ اینورتر سری پنج سطحی ۵۴
- شکل ۴-۲ مدولاسیون چند سطحی ۵۵
- شکل ۴-۳ دیاگرام بلوکی روش کنترل مقاوم و قابل اطمینان ۵۶
- شکل ۴-۴ سیستم کلیدزنی بهینه ۵۶
- شکل ۴-۵ شکل موج حاصل از اینورتر چند سطحی ۵۸
- شکل ۴-۶ مدار تولید کننده مرجع جریان ساختگی ۵۹

- شکل ۴-۷ شکل موج بدست آمده ازمدولاسیون هیستریزس چند سطحی بهبود یافته ۶۰
- شکل ۴-۸ شبیه سازی کنترل مستقیم گشتاور با اینورتر دو سطحی ۶۱
- شکل ۴-۹ بلوک های مختلف تشکیل دهنده کنترل مستقیم گشتاور ۶۲
- شکل ۴-۱۰ محتوای بلوک کنترل مستقیم گشتاور ۶۳
- شکل ۴-۱۱ خروجی اینورتر دو سطحی ۶۴
- شکل ۴-۱۲ مکان بردار شار اینورتر دو سطحی ۶۴
- شکل ۴-۱۳ مولفه های هارمونیکی جریان استاتور اینورتر دو سطحی ۶۵
- شکل ۴-۱۴ خروجی اینورتر سه سطحی ۶ قطعی ۶۶
- شکل ۴-۱۵ مکان بردار شار اینورتر سه سطحی شش قطعی ۶۷
- شکل ۴-۱۶ مولفه های هارمونیکی جریان استاتور اینورتر سه سطحی شش قطعی ۶۷
- شکل ۴-۱۷ خروجی اینورتر سه سطحی ۱۲ قطعی ۶۸
- شکل ۴-۱۸ مکان بردار شار اینورتر سه سطحی ۱۲ قطعی ۶۹
- شکل ۴-۱۹ مولفه های هارمونیکی جریان استاتور اینورتر سه سطحی ۱۲ قطعی ۷۰
- شکل ۵-۱ اینورتر پل کامل ۷۳
- شکل ۵-۲ شکل موج ولتاژ و جریان خروجی اینورتر پل کامل ۷۴
- شکل ۵-۳ مدارهای راه انداز گیت ماسفت ۷۵
- شکل ۵-۴ دیاگرام بلوکی ICL7667 برای هر راه انداز ۷۶
- شکل ۵-۵ مدار راه انداز گیت با استفاده از ترانسفورماتور پالس ۷۴
- شکل ۵-۶ نحوه اتصال H11L1 ۷۵
- شکل ۵-۷ مدار مولد زمان مرده ۷۹
- شکل ۵-۸ ولتاژهای خروجی مدار ایجاد تاخیر ۸۰
- شکل ۵-۹ ولتاژ خروجی مدار مولد زمان مرده ۸۰
- شکل ۵-۱۰ نحوه اتصال پایه های ACS712 ۸۱
- شکل ۵-۱۱ مدار تولید خطای جریان ۸۲
- شکل ۵-۱۲ مدار تولید پالس توسط مقایسه گر هیستریزس ۸۲
- شکل ۶-۱ طرح مدار زمان مرده ۸۵
- شکل ۶-۲ مدار اینورتر پل کامل ۸۶
- شکل ۶-۳ برد مدار چاپی دورو مولد زمان مرده ۸۶
- شکل ۶-۴ برد مدار چاپی اینورتر پل کامل ۸۷
- شکل ۶-۵ مدار مونتاژ شده اینورتر پل کامل ۸۷
- شکل ۶-۶ مدار مونتاژ شده مولد زمان مرده ۸۸
- شکل ۶-۳ مدار کنترل کننده هیستریزسی جریانی پنج سطحی ۸۸
- شکل ۶-۷ اینورتر چند سطحی پیاده شده در آزمایشگاه میکروالکترونیک ۸۸

- ۸۹ شکل ۶-۸ ولتاژ خروجی اینورتر پنج سطحی
- ۸۹ شکل ۶-۹ جریان و ولتاژ خروجی اینورتر پنج سطحی
- ۹۰ شکل ۶-۱۰ ولتاژ خروجی اینورتر با تغییر مرجع
- ۹۰ شکل ۶-۱۱ جریان خروجی اینورتر با تغییر مرجع
- ۹۰ شکل ۶-۱۲ ریپل جریان خروجی

فصل اول

موتور القای و روش های کنترل آن

۱-۱- مقدمه

ساختار موتور القایی برخلاف ساختار غیر تزویجی بسیار ساده موتور DC تحریک جداگانه، دارای تزویج زیاد، مشخصه غیر خطی و چند متغیری می باشد. موتورهای القایی دارای چندین مزیت هستند؛ از آن جمله، وزن کم آن ها، قابلیت عملکرد در محیط های با گرد و غبار یا قابل انفجار و نیاز به تعمیر و نگهداری کمتر در مقایسه با موتورهای DC را می توان نام برد. موتور القایی سه فاز در راه اندازی با سرعت قابل تنظیم کاربرد فراوان داشته و دارای سیم پیچ های استاتور و روتور سه فاز هستند.

۱-۲- موتور القایی

سیم پیچ های استاتور با یک ولتاژ ac سه فاز تغذیه می شوند که در نتیجه ولتاژی را در سیم پیچ روتور ناشی از عملکرد ترانسفورماتوری القا می کند. می توان سیم پیچی استاتور را به گونه ای توزیع کرد که اثر چند قطبی ایجاد شود و در نتیجه چندین چرخه از نیروی محرکه مغناطیسی (mmf) در اطراف فاصله هوایی تولید گردد. این میدان موجب توزیع فضایی چگالی شار سینوسی در فاصله هوایی می شود. سرعت چرخش میدان، سرعت سنکرون نامیده می شود که به صورت زیر تعریف می گردد:

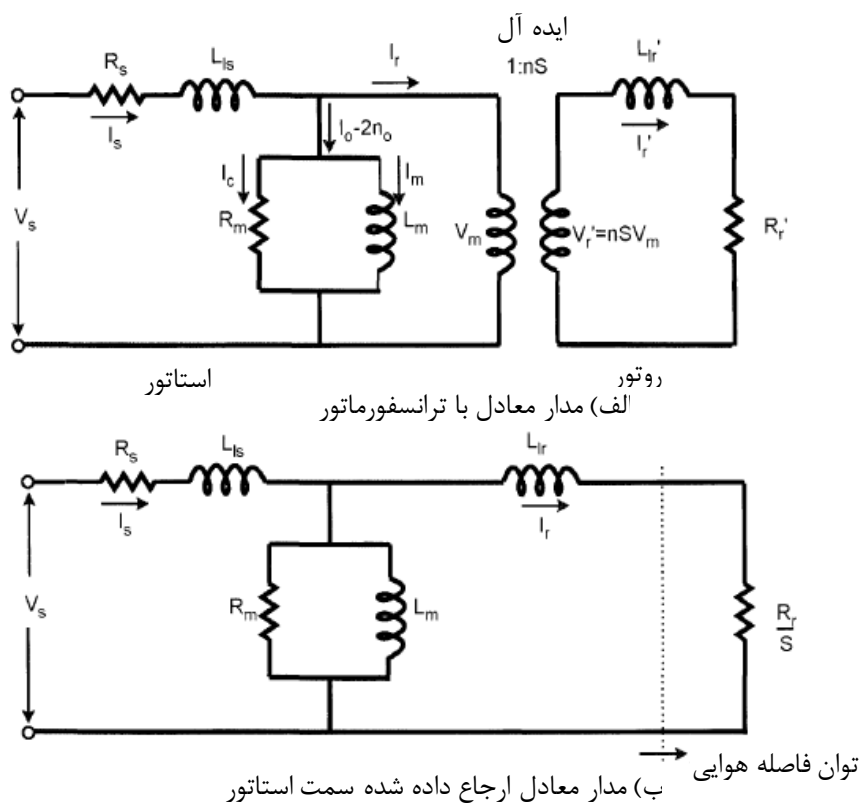
$$\omega_s = \frac{2\omega}{p} \quad (1-1)$$

که در آن p ، تعداد قطب ها و ω فرکانس تغذیه بر حسب رادیان بر ثانیه است.
 چنانچه ولتاژ فاز استاتور برابر $v_s = \sqrt{2}v_s \sin \omega t$ باشد، یک شار پیوندی (در روتور) ایجاد خواهد شد که از رابطه زیر به دست می آید:

$$\varphi(t) = \varphi_m \cos(\omega_m t + \delta - \omega_s t) \quad (2-1)$$

S لغزش است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$S = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} \quad (3-1)$$



شکل ۱-۱ مدار معادل تکفاز موتور القایی

که در آن سرعت موتور به صورت $\omega_m = \omega_m(1 - s)$ به دست می آید. مدار معادل کامل برای یک فاز موتور در شکل (۱-۱) نشان داده شده است که در آن: R'_r مقاومت انتقال یافته هر فاز سیم پیچی روتور، X'_r راکتانس نشتی هر فاز روتور به ازای منبع تغذیه می باشد. R_s و X_s به ترتیب مقاومت و راکتانس نشتی سیم پیچی استاتور می باشد. در این شکل جریان روتور برابر است با:

$$I_r = \frac{E}{R_r/s + jX_r} \quad (۴-۱)$$

که R_r و X_r مربوط به سیم پیچ روتور می باشد. مدل مداری هر فاز موتور های القایی در R_m نشانگر تلفات تحریک (یا هسته) و X_m راکتانس مغناطیسی می باشند. I'_r نیز جریان روتور از دیدگاه استاتور است. وقتی که منبع تغذیه وصل شود، تلفات هسته استاتور وجود خواهد شد و تلفات هسته روتور به لغزش بستگی دارد. توان فاصله هوایی (توانی که از استاتور به روتور از طریق فاصله هوایی عبور می کند) برابر است با:

$$P_g = 3(I'_r)^2 \frac{R'_r}{s} \quad (۵-۱)$$

توان تولیدی برابر است با:

$$P_d = P_g(1 - s) \quad (۶-۱)$$

گشتاور تولید برابر است با:

$$T_d = \frac{P_d}{\omega_s} \quad (۷-۱)$$

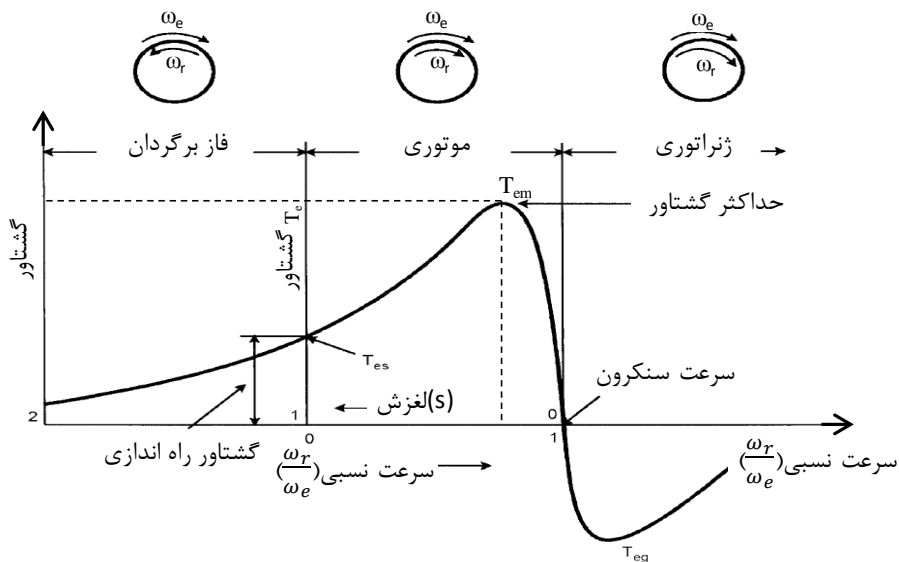
اگر $(R_s^2 + X_s^2) \gg X_m^2$ باشد، $V_s \approx V_m$ خواهد شد و راکتانس مغناطیس کنندگی X_m را می

توان برای سادگی بیشتر به سیم پیچی استاتور همانند شکل (۱-۱-ب) منتقل کرد.

می توان نشان داد که گشتاور موتور به مشخصه های موتور وابسته است.

$$T_d = \frac{3R'_r V_s^2}{s\omega_s [(R_s + R'_r/s)^2 + (X_s + X'_r)^2]} \quad (۱-۱)$$

اگر موتور از یک ولتاژ ثابت در یک فرکانس ثابت تغذیه شود، گشتاور تولیدی تابعی از لغزش خواهد بود و مشخصه های گشتاور-سرعت را می توان از معادله (۱-۱) به دست آورد. یک نمونه از منحنی گشتاور تولیدی به عنوان تابعی از لغزش یا سرعت نسبی در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. عملکرد موتوری معکوس و ترمزی ژنراتوری با تغییر توالی فاز سرهای موتور به دست می آید.



شکل ۱-۲ مشخصه سرعت گشتاور موتور القایی

مشخصه سرعت-گشتاور معکوس به صورت خط چین نشان داده شده است. سه ناحیه کاری وجود دارد: (۱) موتوری یا توان دهی $0 \leq s \leq 1$ ، (۲) ژنراتوری $s < 0$ و (۳) فاز برگردان $1 \leq s \leq 2$. در حالت موتوری، موتور در جهت میدان می چرخد و همچنان که لغزش افزایش می یابد، گشتاور نیز افزایش می یابد در حالی که شار فاصله هوایی ثابت می ماند. هنگامی که گشتاور به بیشترین مقدار

خود یعنی T_{em} در $S=S_m$ می رسد، با افزایش لغزش به دلیل کاهش شار فاصله هوایی، گشتاور کاهش پیدا خواهد کرد.

در حالت ژنراتوری، سرعت ω_m از سرعت سنکرون ω_s بزرگتر است و هر دو در یک جهت می باشند. در این حالت لغزش و در نتیجه R'_r/s نیز منفی است. این بدان معناست که توان از محور به مدار روتور فیدبک می شود و موتور به صورت یک ژنراتور عمل می کند. موتور توان را به سیستم تغذیه بر می گرداند. مشخصه گشتاور سرعت همانند حالت موتوری است اما مقدار گشتاور منفی می باشد.

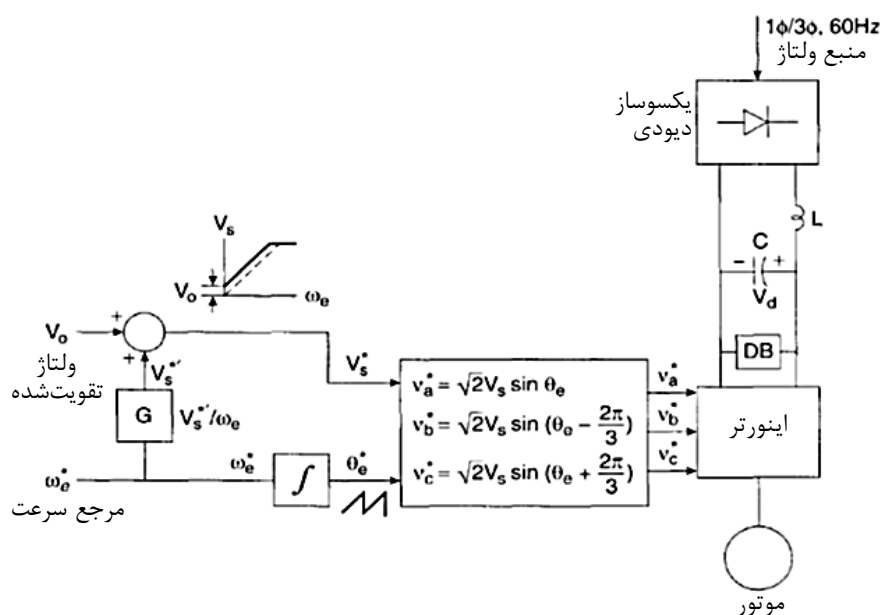
در فاز برگردان معکوس، سرعت بر خلاف جهت میدان است و لغزش مقداری بزرگتر از یک را دارد. این حالت هنگامی رخ می دهد که توالی منبع تغذیه در حالی که در موتور در جهت مستقیم می چرخد معکوس شود به گونه ای که جهت میدان نیز معکوس گردد. گشتاور تولیدی که در همان جهت میدان است، با حرکت مخالف نموده و به عنوان یک گشتاور ترمزی عمل می کند. از آنجا که $S < 1$ است، جریان های موتور بزرگ ولی گشتاور تولیدی کوچک است. انرژی ناشی از ترمز فاز برگردان باید در موتور تلف شود و این ممکن است موجب داغ شدن بیش از حد موتور گردد. این ترمز معمولاً پیشنهاد نمی شود.

چنانچه R_s در مقایسه با امپدانس های دیگر مدار کوچک در نظر گرفته شود، معمولاً برای موتورهای با قدرت بیشتر از 1kw همین گونه است، رابطه سرعت به عنوان تابعی از گشتاور به صورت زیر می شود:

$$\omega_m = \omega_s \left(1 - \frac{s_m}{2T_{mm}} T_d \right) \quad (9-1)$$

از معادله (9-1) می توان نتیجه گرفت که اگر موتور با لغزش کوچک کار کند، گشتاور تولیدی متناسب با لغزش خواهد بود و سرعت با افزایش گشتاور کاهش می یابد. جریان روتور که در سرعت سنکرون صفر است، با کاهش سرعت در اثر کاهش مقدار R_r/s افزایش می یابد. گشتاور تولیدی نیز تا رسیدن به بیشترین مقدار در $S=S_m$ افزایش می یابد. به ازای $S < S_m$ ، موتور به صورت پایدار در بخشی از

مشخصه سرعت-گشتاور کار خواهد کرد. اگر مقاومت روتور کوچک باشد، s_m کوچک خواهد بود در نتیجه میزان تغییر سرعت موتور از گشتاور بی باری تا گشتاور نامی، در صد کمی خواهد شد. موتور اساساً در یک سرعت ثابت می چرخد. چنانچه گشتاور بار از گشتاور شکست بیشتر شود، موتور متوقف شده و حفاظت اضافه بار باید فوراً منبع تغذیه را قطع نماید تا از صدمه زدن موتور در اثر افزایش دما جلوگیری شود. باید توجه داشت که به ازای $s > s_m$ ، گشتاور با وجود افزایش جریان روتور کاهش می یابد و عملکرد بیشتر موتورها در این حالت ناپایدار است.



شکل ۳-۱ کنترل سرعت ولت بر هرتز حلقه باز با اینورتر تغذیه ولتاژ [۱]

۳-۱-۳ روش های کنترل موتور القایی

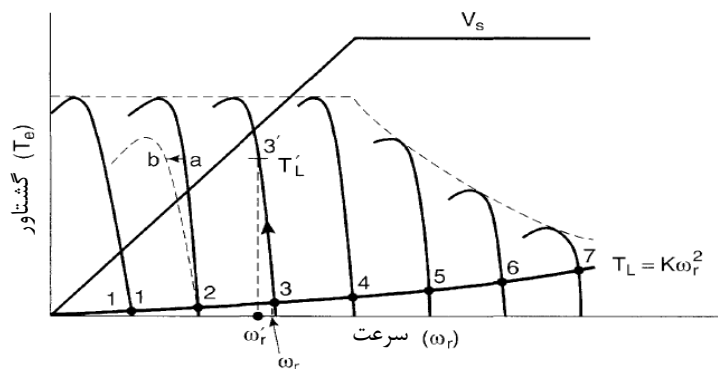
۳-۱-۱ کنترل اسکالر:

کنترل اسکالر، همان طور که از نامش پیداست، فقط مربوط به دامنه متغیرهای کنترل و نادیده گرفتن اثر کوپلینگ در ماشین است. برای مثال برای کنترل شار می توان ولتاژ ماشین را کنترل کرد و تغییر فرکانس یا لغزش می تواند برای کنترل گشتاور به کار رود. به هر حال شار و گشتاور به ترتیب تابعی از ولتاژ و فرکانس هم هستند. کنترل اسکالر در مقابل کنترل برداری یا جهت دار میدان است،

که هم دامنه و هم فاز تنظیم متغیرهای برداری کنترل می شوند. درایوهای کنترل برداری در صنعت کاربرد دارند. هر چند از اهمیت آن ها اخیرا به علت پیاده سازی فوق العاده درایوهای کنترل برداری، کاسته شده است. شکل (۳-۱) بلوک دیاگرام یک نمونه از کنترل اسکالر مشاهده می شود [۱].

۱-۳-۱-۱- روش v/f ثابت

امروزه کنترل v/f ثابت یکی از روش های متداول مورد استفاده در محرکه موتورهای القایی است. شکل (۴-۱) عملکرد حالت دائم محرکه با روش کنترلی v/f در وضعیتی که بار موتور یک فن یا پمپ (گشتاور تقریبا ثابت) است را نشان می دهد. با افزایش تدریجی فرکانس سرعت افزایش می یابد. این روند را می توان تا جایی که ولتاژ تغذیه ثابت شود (به حد اکثر مقدار برسد) ادامه داد.



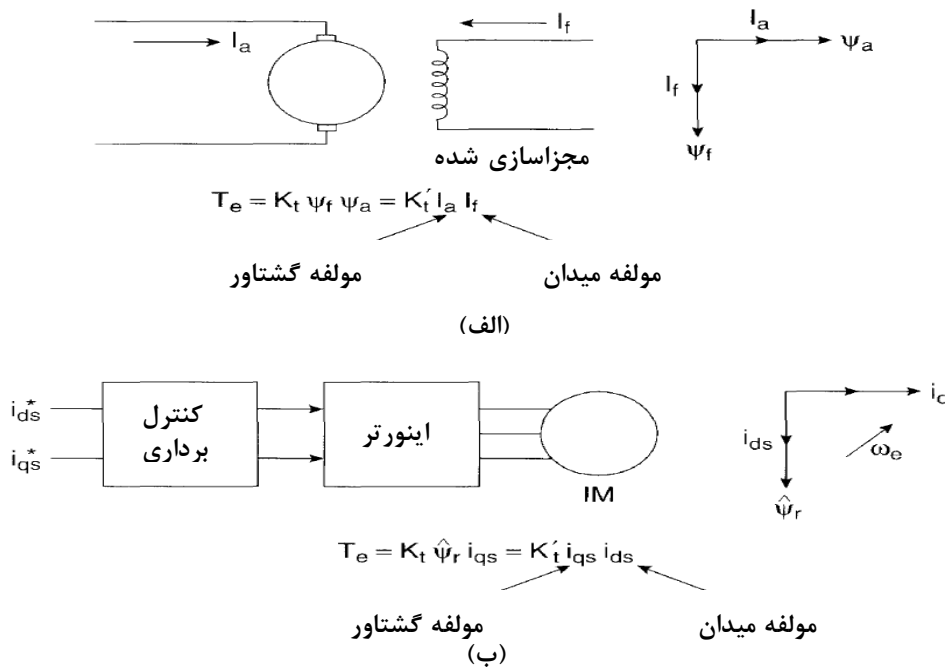
شکل ۴-۱ منحنی گشتاور سرعت با اثر تغییرات فرکانس، گشتاور بار و ولتاژ تغذیه [۱]

۱-۳-۲- کنترل برداری یا کنترل جهت دار میدان:

۱-۳-۲-۱- روابط ماشین در کنترل برداری

از سال ۱۹۷۰ مطرح شد که موتور القایی می تواند شبیه یک موتور DC تحریک جداگانه کنترل شود و باعث یک انقلاب در عملکرد محرکه های موتور AC شد. کنترل برداری همچنین به نام های

کنترل مجزاسازی، متعامد یا بردار تبدیل معروف است. کنترل برداری برای هر دو نوع محرکه ماشین القایی و سنکرون به کار می‌رود. شکل (۵-۱) شباهت کنترل موتور DC و موتور القایی را نشان می‌دهد. اگر کنترل ماشین در یک مرجع قاب گردان همزمان (d^e-q^e) بازنویسی شود، عملکرد شبیه ماشین DC می‌تواند به موتور القایی بسط داده شود. به طوری که متغیرهای سینوسی در حالت ماندگار به صورت کمیت‌های DC ظاهر شوند [۱].



شکل ۵-۱ الف- موتور DC تحریک جداگانه ب- کنترل برداری موتور القایی [۱]

در شکل (۵-۱) ب) اینورتر موتور القایی با دو ورودی i_{ds}^* و i_{qs}^* نشان داده شده است که این جریان‌ها به ترتیب مولفه مستقیم و مولفه عمود جریان استاتور در مرجع قاب گردان سنکرون می‌باشند. که i_{ds}^* با جریان میدان و i_{qs}^* با جریان آرمیچر ماشین DC مقایسه می‌شود. گشتاور را می‌توان این گونه بیان نمود:

$$T_e = K_t \hat{\psi}_r i_{qs} \quad (10-1)$$