

به نام خدا

کنترل کننده های دور موتور های الکتریکی و تاثیر آنها بر روی بهینه سازی انرژی

گردآوری

مجید یگانه

کلمات کلیدی

موتور های DC ، بهینه سازی، مصرف انرژی، کنترل

پیچیدگی

در این تحقیق توضیحاتی در تحلیل و تشریح کار ماشینها و عملکرد آنها و همچنین در شرایطی که با مبدل های الکترونیک قدرت تغذیه و کنترل می شوند، در نوع خود شاید کم نظیر باشد. اصول مشترک و اساسی محرکه های الکتریکی (موتور مبدل تغذیه کننده آنها) را در بر می گیرد. موتورهای dc تغذیه شده با یکسو کننده های کنترل شده و برشگرها، موتورهای القایی قفس سنجابی کنترل شده با اینورترها، کنترل کننده های ولتاژ ac و سیکلورترها، موتورهای القایی رتور سیم پیچی شده با کنترل از طرف رتور. هر دو نوع سیستم های کنترل حلقه باز و حلقه بسته بحث شده اند.



فهرست

مقدمه	۸
۱. فصل اول، موتورهای جریان مستقیم DC	۹
۱-۱. روابط سرعت-گشتاور در حالت دائمی	۱۰
۲-۱. روشهای کنترل سرعت	۱۳
۱-۲-۱. کنترل ولتاژ آرمیچر	۱۳
۲-۲-۱. کنترل میدان	۱۴
۳-۲-۱. ترکیب روشهای کنترل ولتاژ آرمیچر و میدان	۱۶
۴-۲-۱. کنترل مقاومت آرمیچر	۱۷
۳-۱. راه اندازی	۱۷
۴-۱. حداقل نمودن تلفات در محرکه های dc سرعت متغیر	۱۸
۲. فصل دوم، کنترل موتورهای DC با یکسو کننده های قابل کنترل	۲۰
۱-۲. مدارهای یکسوکننده قابل کنترل	۲۱
۲-۲. یکسو کننده های با روش کنترلی مدولاسیون پهنای پالس PWM	۲۵
۱-۲-۲. مدولاسیون با پهنای پالس مساوی	۲۶
۲-۲-۲. مدولاسیون با پهنای پالس سینوسی	۳۰
۳-۲. کنترل جریان	۳۰
۱-۳-۲. حلقه کنترل جریان داخلی	۳۱
۲-۳-۲. کنترل حد جریان	۳۱
۴-۲. کار چندربعی محرکه های دارای یکسو کننده تمام کنترل شده	۳۲
۱-۴-۲. تغییر جهت جریان آرمیچر	۳۳
۲-۴-۲. تغییر جهت جریان تحریک	۳۶
۳. فصل سوم، کنترل موتورهای DC با برشگرها	۳۷
۱-۳. روشهای کنترل	۳۸
۲-۳. کنترل حالت موتوری یک موتور سری	۳۸
۳-۳. ترمز ژنراتوری موتورهای DC	۳۹

۳۹	۴-۳. کنترل جریان
۴۰	۵-۳. کنترل چند ربعی موتورهای تغذیه با برشگر
۴۰	۳-۵-۱. کنترل دور ربعی شامل حالت موتوری مستقیم و ترمز ژنراتوری مستقیم
۴۶	4. فصل چهارم، کنترل حلقه بسته محرکه‌های DC
۴۶	۴-۱. محرکه‌های سرعت متغیر تک ربعی
۴۶	۴-۱-۱. کنترل ولتاژ آرمیچر در تحریک ثابت
۵۱	۴-۱-۲. تضعیف تحریک
۵۲	۴-۱-۳. جزئیات بلوک‌های مختلف محرکه‌های حلقه بسته
۵۶	۴-۲. محرکه‌های سرعت متغیر چهار ربعی
۵۶	۴-۲-۱. معکوس کردن آرمیچر بتوسط یک کنتاکتور در یک محرکه
۵۹	۴-۲-۲. محرکه با بکارگیری دو مبدل با کنترل غیرهمزمان
۶۲	۵. فصل پنجم، موتورهای القایی
۶۲	۵-۱. عملکرد موتورهای القایی سه فاز
۶۴	۵-۱-۱. تحلیل حالت دائمی
۶۹	۵-۱-۲. موتورهای القایی - قفس سنجابی
۷۰	۵-۱-۳. طبقه بندی موتورهای قفس سنجابی
۷۲	۵-۱-۴. موتورهای القایی با رتور سیم بندی شده
۷۲	۵-۲. راه‌اندازی
۷۴	۵-۳. ترمز کردن
۷۴	۵-۴. کنترل سرعت
۷۴	۵-۴-۱. کنترل سرعت با منبع ولتاژ متغیر و فرکانس ثابت
۷۸	6. فصل ششم، کنترل موتورهای القایی با کنترل کننده‌های ولتاژ AC
۷۸	۶-۱. مدارهای کنترل کننده ولتاژ AC
۸۰	۶-۲. کنترل چهار ربعی و کار بصورت حلقه بسته
۸۴	۶-۳. محرکه های بارهای پنکه‌ای یا پمپ ها و جرثقیل ها
۸۴	۶-۳-۱. محرکه های بار های پنکه ای و پمپ ها

۸۷	۲-۳-۶. محرکه جرثقیل‌ها
۸۷	۴-۶. راه‌اندازی با کنترل‌کننده‌های ولتاژ AC
۸۸	۵-۶. حداقل نمودن تلفات
۸۹	۷. فصل هفتم، محرکه‌های موتور القایی کنترل شده با فرکانس
۹۰	۱-۷. کنترل موتور القایی با اینورتر منبع ولتاژ
۹۲	۱-۱-۷. اینورتر منبع ولتاژ سه فاز
۹۳	۲-۱-۷. اینورتر شش پله ای
۹۶	۳-۱-۷. کنترل ولتاژ اینورتر شش پله ای
۱۰۴	۴-۱-۷. محرکه‌های اینورتر منبع ولتاژ فرکانس متغییر
۱۱۷	۲-۷. اینورترهای PWM کنترل شده با جریان
۱۱۹	۳-۷. سیکلو کنورترها
۱۲۲	۸. فصل هشتم، محرکه‌های موتور القایی رتور سیم‌بندی شده با کنترل قدرت لغزش
۱۲۲	۱-۸. کنترل استاتیکی مقاومت رتور
۱۲۵	۲-۸. محرکه‌های استاتیکی شریبوس
۱۲۶	۱-۲-۸. عملکرد محرکه
۱۲۹	۲-۲-۸. کنترل سرعت در فوق سنکرون
۱۳۱	۳-۸. محرکه‌های تغییر یافته کرامر
۱۳۳	۹. فصل نهم، تاثیر کنترل دور موتورهای الکتریکی بر روی بهینه سازی مصرف انرژی
۱۳۳	۱-۹. مقدمه
۱۳۴	۲-۹. مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی
۱۳۵	۳-۹. موانع در سیاست گذاری انرژی
۱۳۵	۴-۹. انتخاب موتور مناسب
۱۳۵	۵-۹. تطابق موتور و بار
۱۳۷	۶-۹. موتورهای با راندمان بالا (<i>Energy Efficient Motors</i>)
۱۳۸	۷-۹. اقدامات مورد نیاز برای بهبود عملکرد سیستم‌های مرتبط با الکتروموتورها
۱۳۸	9-7-1. کیفیت توان <i>Power Quality</i>

- ۱۳۸ ۲-۷-۹. تثبیت ولتاژ شبکه
- ۱۳۹ ۸-۹. عدم تقارن فاز
- ۱۳۹ ۱-۸-۹. ضریب قدرت
- ۱۴۰ ۲-۸-۹. روشهای عملی برای افزایش بازدهی موتور
- ۱۴۲ ۹-۹. دستور العملهای لازم برای بهبود عملکرد موتورهای الکتریکی
- ۱۴۳ ۱۰-۹. دسته بندی اقدامات لازم برای بهینه سازی مصرف انرژی
- ۱۴۴ 9-11. تکنولوژی الکترونیک قدرت و درایوهای AC
- ۱۴۵ ۱۲-۹. کنترل کننده های دور موتور
- ۱۴۸ ۱۳-۹. مزایای استفاده از کنترل کننده های دور موتور
- ۱۴۹ ۱۴-۹. مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی و نقش کنترل کننده های دور موتور
- ۱۵۰ ۱۵-۹. پمپها و فنها
- ۱۵۵ ۱۶-۹. مثال از محاسبات صرفه جوئی انرژی در فن
- ۱۵۶ ۱۷-۹. یک مطالعه موردی در ایران:
- ۱۵۸ ۱۸-۹. سیستمهای تهویه مطبوع
- ۱۵۹ ۱۹-۹. صرفه جوئی انرژی در تاسیسات آب و فاضلاب
- ۱۶۰ ۲۰-۹. کمپرسورها
- ۱۶۰ ۲۱-۹. نیروگاهها
- ۱۶۱ ۲۲-۹. سیمان
- ۱۶۳ ۲۳-۹. قابلیتهای کنترل کننده های دور موتور مدرن
- ۱۶۴ ۱-۲۳-۹. نرم افزار کاربردی کنترل پمپ و فن
- ۱۶۴ 9-23-2. نرم افزار کنترلی *Master Follower*
- ۱۶۴ ۲۴-۹. درایوهای دور متغیر *VACON* مصدق از درایوهای مدرن
- ۱۶۵ ۲۵-۹. مسائلی که درایوهای دور متغیر بوجود می آورند.
- ۱۶۹ ۲۶-۹. توصیه ها
- ۱۷۰ ۲۷-۹. خلاصه ای از این بخش
- ۱۷۲ ۱۰. فصل دهم، معرفی درایوهای کاربردی و صنعتی (*DC* *PSMC* و *AC*)

۱۷۲	..... 10-1. درایوهای DC
۱۷۴	..... ۱۰-۲. قسمت کنترل
۱۷۵	..... ۱۰-۳. معرفی چند دستگاه برای کنترل سرعت موتورهای AC :
۱۷۵	..... 10-4. مشخصات فنی و معرفی قابلیت‌های دستگاه‌های PSMC-RM
۱۷۵	..... 10-5. مشخصات فنی و معرفی قابلیت‌های دستگاه‌های PSMC-DM
۱۷۵	..... 10-6. مشخصات فنی و معرفی قابلیت‌های دستگاه‌های PSMC-DL
۱۷۶	..... 10-7. مشخصات فنی و معرفی قابلیت‌های دستگاه‌های PSMC-DT-250A
۱۷۶	..... 10-8. مشخصات فنی و معرفی قابلیت‌های دستگاه‌های PSMC-DM
۱۷۶	..... ۱۰-۸-۱. مقدمه
۱۷۶	..... ۱۰-۸-۲. مشخصات فنی و قابلیت‌های سیستم
۱۷۸	..... ۱۰-۸-۳. مشخصات توان و جریان دستگاهها
۱۷۸	..... ۱۰-۸-۴. مشخصات ابعاد و وزن دستگاهها
۱۸۰	..... ۱۱. نصب و راه اندازی دستگاه
۱۸۰	..... ۱۱-۱. محل نصب دستگاه:
۱۸۰	..... ۱۱-۲. نحوه نصب دستگاه:
۱۸۱	..... ۱۱-۲-۱. اتصال ورودی های سه فاز به دستگاه:
۱۸۱	..... ۱۱-۲-۲. ارت کردن دستگاه:
۱۸۲	..... ۱۱-۲-۳. اتصال خروجی سه فاز دستگاه به موتور:
۱۸۲	..... ۱۱-۲-۴. پانل کنترل دستگاه
۱۸۳	..... ۱۱-۲-۵. ریست کردن دستگاه
۱۸۴	..... ۱۱-۲-۶. ذخیره کردن سرعت
۱۸۴	..... ۱۱-۲-۷. راه اندازی دستگاه توسط پانل کنترل روی دستگاه:
۱۸۵	..... ۱۱-۳. تنظیم پارامترهای سیستم
۱۸۵	..... ۱۱-۳-۱. پارامترهای سیستم
۱۸۵	..... ۱۱-۳-۲. پارامترهای معمولی سیستم
۱۹۱	..... ۱۱-۳-۳. تنظیم پارامترهای معمولی سیستم

۱۹۲	..... پارامترهای اساسی سیستم. ۴-۱۱
۱۹۵	..... تنظیم پارامترهای اساسی سیستم ۱-۴-۱۱
۱۹۸	..... PSMC-DM دستگاه تکنیکی مشخصات ۵-۱۱
۱۹۸	..... شرح کار کلی سیستم ۱-۵-۱۱
۱۹۹	..... Monitor Microprocessor Board سیستم ۶-۱۱
۲۰۲	..... سیستم شارژ خازنهای لینک DC : ۱-۶-۱۱
۲۰۲	..... Dynamic Braking ترمز دینامیکی 11-6-2
۲۰۴	..... Power Supply ماجول منبع تغذیه 11-6-3
۲۰۴	..... ترمینالهای ورودی و خروجی منبع تغذیه : ۷-۱۱
۲۰۵	..... خطاهای (Faults) سیستم و روشهای عیب یابی ۸-۱۱
۲۰۷	..... ترمینالهای کنترلی دستگاه ۹-۱۱
۲۰۸	..... معرفی ترمینالهای کنترلی ۱-۹-۱۱
۲۰۹	..... طرز اتصال ولوم به دستگاه ۲-۹-۱۱
۲۱۲	..... ON/OFF کلیدهای موتور توسط روشن و خاموش کردن 11-9-3
۲۱۳	..... طرز استفاده از سرعت دوم (Inching) دستگاه: ۴-۹-۱۱
۲۱۴	..... طرز استفاده از رله RUN و رله فالت FAULT دستگاه ۵-۹-۱۱
۲۱۵	..... استفاده از جریان ورودی 20-4 mA یا 20-0 mA برای کنترل سرعت موتور: 11-9-6
۲۱۶	..... استفاده از مد کنترل دو سیمه ۷-۹-۱۱
۲۱۷	..... استفاده از نشان دهنده دور FM ۸-۹-۱۱
۲۱۸	..... طرز اتصال دستگاه به کامپیوتر ۹-۹-۱۱
۲۲۱	..... استفاده از آداپتور جهت دور کردن پانل کنترل از دستگاه ۱۰-۹-۱۱
۲۲۴	..... منابع ۱۲



مقدمه

امروزه ماشینهای الکتریکی نقش عمده‌ای در زندگی بشر دارند. مقوله الکترونیک قدرت نیز در تغذیه، بهره‌برداری و کنترل ماشینهای الکتریکی از اهمیت بسیار برخوردار است. می‌توان گفت که دانش علمی و فنی این دو موضوع مکمل یکدیگر هستند.

در این تحقیق توضیحاتی در تحلیل و تشریح کار ماشینها و عملکرد آنها و همچنین در شرایطی که با مبدل‌های الکترونیک قدرت تغذیه و کنترل می‌شوند، در نوع خود شاید کم نظیر باشد. اصول مشترک و اساسی محرکه‌های الکتریکی (موتور مبدل تغذیه کننده آنها) را در بر می‌گیرد. موتورهای dc تغذیه شده با یکسو کننده‌های کنترل شده و برشگرها، موتورهای القایی قفس سنجابی کنترل شده با اینورترها، کنترل کننده‌های ولتاژ ac و سیکلوکنورترهای، موتورهای القایی رتور سیم پیچی شده با کنترل از طرف رتور. هر دو نوع سیستم‌های کنترل حلقه باز و حلقه بسته بحث شده‌اند.

در فصل اول در مورد موتورهای جریان سیستم DC بحث شده است که برخی از کاربردهای مهم این محرکه‌ها عبارتند از: غلطکهای نورد را منابع فلزی، غلطکهای کاغذ، ماشین‌های ابزار و موتورهای کششی نظیر قطارها.

در فصل دوم و سوم در مورد کنترل موتورهای DC با یکسوکننده‌های قابل کنترل با برشگرها توضیح داده شده است و در فصل چهارم کنترل حلقه بسته محرکه‌های DC مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. موتورهای القایی بخصوص موتورهای قفس سنجابی مزایایی نسبت به موتورهای dc دارند که در مورد این موتورها در فصل پنجم بحث شده است.

کنترل موتورهای القایی با کنترل کننده‌های ولتاژ AC و محرکه‌های موتور القایی کنترل شده با فرکانس در فصلهای ششم و هفتم به آنها پرداخته‌ایم.

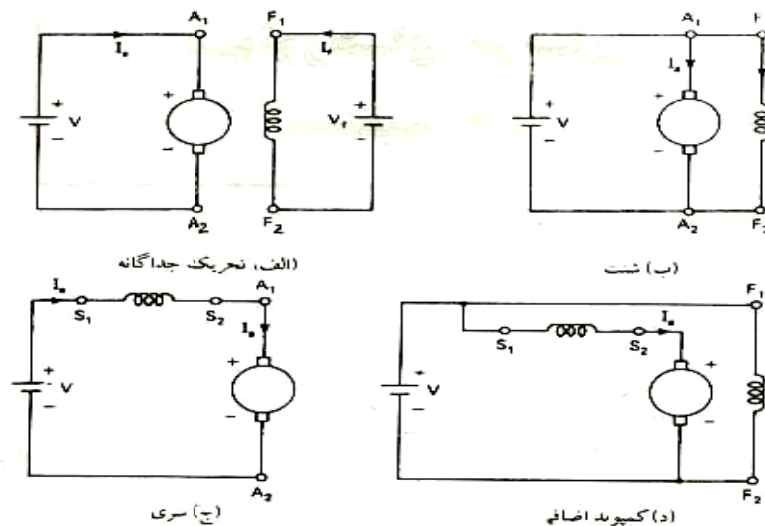
در فصل آخر نیز محرکه‌های موتور القایی رتور سیم‌بندی شده با کنترل لغزش بحث شده است.

۱. فصل اول، موتورهای جریان مستقیم DC

محرکه‌های DC بطور وسیع در کاربردهایی که به سرعت متغیر قابل کنترل، تنظیم مناسب و سرعت و حالت‌های کاری نظیر ترمزی، تعویض جهت حرکت و راه‌اندازی نیاز دارند، بکار برده می‌شوند. برخی کاربردهای مهم این محرکه‌ها عبارتند از: غلطکهای نورد صنایع فلزی، غلطکهای کاغذ، ماشین‌های ابزار و موتورهای کششی نظیر قطارها.

در این فصل روابط سرعت-گشتاور در حالت دائمی، روشهای کنترل سرعت، حالت‌های ترمزی و راه‌اندازی، و رفتار دینامیکی (گذرای) موتورهای dc تشریح می‌شوند.

در یک موتور تحریک جداگانه، ولتاژهای تحریک و آرمیچر بطور مستقل از یکدیگر می‌توانند کنترل شوند. در یک موتور شنت، تحریک و آرمیچر به منبع مشترکی وصل هستند و بنابراین کنترل مستقل جریان تحریک یا ولتاژ آرمیچر تنها در صورتی امکان‌پذیر است که یک مقاومت در هر کدام از مدارهای تحریک و آرمیچر قرار داده شود؛ که البته روش کنترلی نامناسبی است. در یک موتور سری، جریان تحریک همان جریان آرمیچر است، و بنابراین، شار میدان تابعی از جریان آرمیچر است. در موتور کمیوند اضافی، نیروی محرکه مغناطیسی (mmf) ناشی از تحریک سری تابعی از جریان آرمیچر و هم جهت با mmf ناشی از تحریک موازی است.



شکل 1-1 موتورهای dc مرسوم

۱-۱. روابط سرعت- گشتاور در حالت دائمی

مدار معادل آرمیچر یک موتور dc در حالت دائمی در شکل $I-1$ نشان داده شده است. مقاومت R_a مقاومت مدار آرمیچر است. برای موتورهای تحریک جداگانه و شنت، این مقاومت برابر با مقاومت سیم‌پیچی آرمیچر و برای موتورهای سری و کمپوند، برابر با مجموع مقاومت‌های سیم‌پیچی‌های آرمیچر و تحریک سری است. معادلات اساسی یک موتور dc عبارتند از :

$$E = K_e \phi \omega_m$$

$$V = E + R_a I_a$$

$$T = K_e \phi I_a$$

که

$$\phi = \text{شار مغناطیسی هر قطب بر حسب وبر ، } \omega_e b$$

$$I_a = \text{جریان آرمیچر ، } A$$

$$V = \text{ولتاژ آرمیچر ، } V$$

$$R_a = \text{مقاومت مدار آرمیچر ، } \Omega$$

$$\omega_m = \text{سرعت آرمیچر ، } \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$T = \text{گشتاور حاصله موتور، } N\text{-m}$$

$$K_e = \text{ضریب ثابت}$$

از معادلات (1-1) تا (2-1)

$$\omega_m = \frac{V}{K_e \phi} - \frac{R_a}{K_e \phi} I_a$$

$$= \frac{V}{K_e \phi} - \frac{R_a}{(K_e \phi)^2} T$$

معادلات (1-1) تا (5-1) برای هر سه نوع موتور dc ، یعنی تحریک جداگانه (یا شنت)، سری، و کمپوند بکار گرفته می‌شوند.

در موتورهای تحریک جداگانه، اگر ولتاژ تحریک ثابت نگاه داشته شود، در آنصورت با تغییرات گشتاور می‌توان شار را ثابت فرض نمود. اگر

$$K_e \phi = K \quad \text{ثابت} \quad (1-6)$$

آنگاه از معادلات (1-1)، (3-1) و (4-1) تا (6-1)

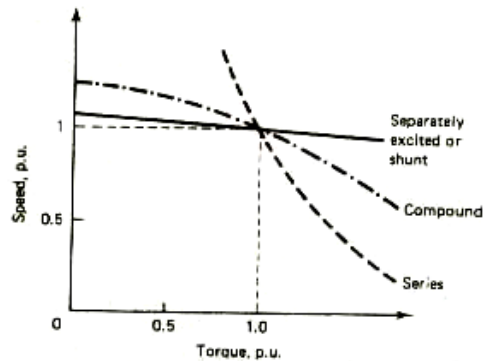
$$T = K I_a \quad (1-7)$$

$$E = K \omega_m \quad (1-8)$$

$$\omega_m = \frac{V}{K} - \frac{R_a}{K} I_a \quad (1-9)$$

$$= \frac{V}{K} - \frac{R_a}{K^2} T \quad (1-10)$$

بنابراین، مشخصه سرعت - گشتاورد یک موتور dc تحریک جداگانه یک خط راست است، همانگونه که در شکل (2-1) نشان داده شده است. سرعت بی باری ω_{m0} براساس مقادیر ولتاژ آرمیچر و تحریک تعیین می شود.



شکل 2-1 مشخصه های سرعت - گشتاور موتورهای dc

با افزایش گشتاور، سرعت کاهش می یابد و تنظیم سرعت به مقاومت مدار آرمیچر بستگی دارد (معادله (10-1)). در عمل، بواسطه عکس العمل آرمیچر، حتی در شرایطی که جریان تحریک ثابت نگاه داشته می شود شار مغناطیسی با افزایش گشتاور کاهش می یابد. لذا کاهش در سرعت کمتر از مقداری است که توسط معادله (10-1) داده می شود. در مقادیر برگ گشتاور، ممکن است شار تا حدی تضعیف گردد و شیب مشخصه مثبت شود، که نتیجه آن نا پایداری کار موتور است. در چنین وضعیتی، یک تحریک سری اضافی نسبتاً ضعیف برای کاهش اثر ضد مغناطیسی عکس العمل آرمیچر حدود 5 درصد است در کار بردهایی که به تنظیم خوب سرعت و کنترل وسیع سرعت نیاز دارند، از موتورهای dc تحریک جداگانه استفاده میشود.

در موتورهای سری ، تابعی از جریان آرمیچر است . در ناحیه غیر اشباع مشخصه مغناطیسی، می توان Φ را متناسب با I_a در نظر گرفت ، لذا ،

$$\Phi = K_F I_a \quad (1-11)$$

$$T = k_e k_f I_a^2$$

$$\omega_m = \frac{V}{k_e k_f I_a} - \frac{R_a}{K_e k_f} = \frac{V}{\sqrt{K_e k_f} \sqrt{T}} - \frac{R_a}{k_e k_f}$$

که در اینجا R_a ، مقاومت مدار آرمیچر ، مجموع مقاومت‌های آرمیچر و سیم پیچی تحریک است . در شکل (2-1) مشخصه سرعت - گشتاور در یک موتور سری dc نشان داده شده است . در یک موتور سری هر افزایشی در گشتاور با افزایش در جریان آرمیچر ، و بنا براین ، افزایش در شار همراه است . چون شار با گشتاور زیاد می شود ، بایستی سرعت افت کنند تا تعادل بین ولتاژ القایی و ولتاژ منبع برقرار بماند . لذا افت مشخصه سرعت - گشتاور موتور سری بزرگ است . یک موتور با طراحی استاندارد در گشتاور نامی در نقطه زانوی مشخصه مغناطیسی کار می کند . در اضافه بارهای با گشتاور سنگین ، مدار مغناطیسی به اشباع می رود و منحنی سرعت - گشتاور به خط راست نزدیک می شود .

موتورهای سری برای کاربردهایی که با گشتاور راه اندازی بالا و اضافه بارهای با گشتاور سنگین مواجه هستند ، مناسب می باشند . با افزایش گشتاور ، شار هم افزایش می یابد ، و بنابراین با افزایش یکسان در گشتاور ، افزایش در جریان موتور سری در مقایسه با موتور تحریک جداگانه کمتر است . لذا در اضافه بارهای با گشتاور سنگین اضافه باری روی منبع اضافه باری حرارتی موتور تا مقادیر قابل قبول محدود باقی می ماند .

بر اساس معادله (13-1) ، سرعت با عکس جذر گشتاور متناسب است . لذا سرعت با کاهش گشتاور افزایش می یابد . به طور کلی ، تحمل مکانیکی یک موتور dc بحدی است که اجازه می دهد موتور تا دو برابر سرعت نامی نیز کار کند . پس موتورهای سری در کاربردهایی که امکان کاهش شدید گشتاور بار وجود دارد و نتیجتاً "سرعت از دو برابر مقدار نامی آن تجاوز کند . نبایستی بکار گرفته شوند . موتورهای سری در محرکه هایی کاربرد دارند که راه اندازیها و اضافه بارهای مکرر داشته و گشتاور هیچگاه به زیر حد مجاز افت نمی کند.

سرعت بی باری به شدت میدان تحریک شنت ، و افت سرعت به شدت میدان تحریک سری بستگی دارند .

سرعت بی باری و افت سرعت با انتخاب مناسب شدت نسبی دو میدان تعیین می شوند. موتورهای کمپوند با شار اضافی در کاربرد هایی استفاده می شوند که به مشخصه ای مشابه مشخصه موتور سری نیاز داشته باشند و همزمان با آن سرعت بی باری نیز به یک حد مطمئن محدود شود ، برای مثال در بالا برها ، همچنین در مصارفی که بار بطور متناوب از بی باری تا بار خیلی سنگین تغییر می کند استفاده می شوند . در این نوع کار بردها، یک چرخ طیار روی محور موتور نصب می شود. طی مرحله بارگیری سنگین، افت شدید سرعت رخ می دهد و بنا براین ، مقدار بزرگی از گشتاور مورد نیاز بار از انرژی ذخیره شده در چرخ طیار تامین می شود . انرژی از دست رفته توسط چرخ طیار مجددا در طی یک دوره بی باری یا بار سبک بوسیله موتور تامین می شود . با استفاده از این روش، می توان از موتور با اندازه کوچکتر استفاده نمود . یک ماشین پرس نمونه ای از این نوع کار برد می باشد.

۱-۲. روشهای کنترل سرعت

رابطه سرعت - گشتاور موتورهای dc معادله $(5-1)$ نشان می دهد که سرعت را می توان با هر کدام از روشهای زیر کنترل نمود :

کنترل ولتاژ آرمیچر

کنترل شار میدان

کنترل مقاومت آرمیچر

۱-۲-۱. کنترل ولتاژ آرمیچر

اگر ولتاژ آرمیچر یک موتور dc تحریک جداگانه یا تحریک سری که در یک سرعت پایدار کار می کند به مقدار کمی کاهش یابد ، آنگاه جریان آرمیچر و بنا براین گشتاور موتور کاهش خواهند یافت . چون گشتاور موتور از گشتاور بار کوچکتر خواهد بود ، شتاب موتور منفی خواهد بود. در نهایت موتور در سرعتی کمتر که در آن گشتاور موتور و بار برابر هستند مستقر می شود. اگر ولتاژ آرمیچر یک موتور تحریک جداگانه به مقدار بزرگی کاهش یابد ، ممکن است از ولتاژ ضد محرکه کوچکتر شود . جریان آرمیچر معکوس شود و موتور همانند یک ژنراتور کار کرده و گشتاور منفی تولید کند . این وضعیت ادامه خواهد یافت تا سرعت بحدی کاهش یابد که نیروی ضد محرکه موتور با ولتاژ اعمال شده برابر شود . پس

از آن نحوه ادامه کار موتور مشابه حالت اول است که توضیح داده شد. در مورد یک موتور سری، حتی هنگامیکه ولتاژ آرمیچر تغییر پله ای بزرگ داشته باشد، موتور به صورت ژنراتور کار نمی کند و کاهش سرعت آن فقط به آن علت است که گشتاور موتور از گشتاور بار کمتر است.

از طرف دیگر، اگر ولتاژ آرمیچر یک موتور dc که در حالت دائمی کار می کند، افزایش یابد. جریان آرمیچر، و بنابراین گشتاور موتور افزایش خواهند یافت. و موتور شتاب خواهد گرفت، نتیجتاً "سرعت موتور و نیروی ضد محرکه افزایش خواهند یافت. در نهایت موتور در سرعتی بالاتر که در آن گشتاور موتور با بار برابر می شود مستقر خواهد شد.

در روند افزایش یا کاهش سرعت، تغییرات پله ای ولتاژ آرمیچر بایستی کوچک باشد. یک تغییر بزرگ در ولتاژ آرمیچر باعث ایجاد مقادیر بزرگ جریان در آرمیچر می شود که ممکن است به کموتاتور آن آسیب رسانده و عمر آن کاهش یابد.

با کاهش ولتاژ آرمیچر، موتور می تواند بر روی هر کدام از منحنی ها که بین منحنی سرعت-گشتاور طبیعی و محور گشتاور قرار گیرد، کار کند. برای یک موتور تحریک جداگانه، سرعت بی باری نیز تغییر می کند و مشخصه های سرعت - گشتاور برای ولتاژهای مختلف خطوط موازی هستند. چون ولتاژ آرمیچر نمی توان از مقدار نامی بیشتر نمود این روش کنترل سرعت فقط برای کار موتور در زیر مشخصه سرعت - گشتاور طبیعی به کار می رود.

ویژگی مهم این روش کنترل سرعت آن است که شکل و شیب مشخصه های سرعت - گشتاور با تغییر سرعت عوض نمی شوند. با این روش یک محرکه گشتاور ثابت بدست می آید چونکه حد اکثر جریان مجاز آرمیچر، و بنا براین حداکثر ظرفیت گشتاور موتور برای تمام سرعتها ثابت باقی می ماند.

ولتاژ dc متغییر با استفاده از هر کدام از مبدل های نیمه هادی زیرمی تواند به دست آید:

یکسو کننده کنترل شده (یا مبدل ac به dc).

برشگر (یا مبدل dc به dc).

۱-۲-۲. کنترل میدان

اگر در یک موتور تحریک جداگانه یا سرعت خاصی می چرخد، میدان تضعیف شود، نیروی ضد محرکه القایی آن کاهش می یابد. به دلیل کوچک بودن مقاومت آرمیچر مقدار افزایش در جریان آرمیچر نسبت به مقدار کاهش میدان بسیار بزرگتر خواهد بود. در نتیجه با وجود تضعیف میدان گشتاور بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد به نحوی که از گشتاور بار بیشتر می شود. فزونی گشتاور موتور بر گشتاور

باز موجب شتاب گیری موتور و افزایش ولتاژ القایی آرمیچر می شود . در حالیکه میدان موتور تضعیف شده نهایتاً موتور در سرعتی بالاتر از سرعت قبل مستقر می شود ، که در آن گشتاور موتور با گشتاور بار برابر است. هر تضعیف شدیدی در میدان منجر به ایجاد جریان هجومی خطرناکی می شود لذا تضعیف میدان بایستی به آرامی و به تدریج انجام شود .

از طرف دیگر ، هنگامی که میدان یک موتور تحریک جداگانه زیاد می شود ، ولتاژ القایی افزایش می یابد و اغلب از ولتاژ منبع بیشتر می شود . پس ، جریان آرمیچر نه فقط کاهش می یابد بلکه جهت آن نیز اغلب عوض می شود . در اینحالت موتور همانند یک ژنراتور کار می کند و به منبع انرژی می دهد . این انرژی از انرژی جنبشی موتور و بار گرفته می شود . یک کاهش سریع در سرعت رخ می دهد و نهایتاً موتور در یک سرعت جدید کمتر از سرعت قبل ، مستقر می شود که در آن گشتاور موتور و بار برابر هستند . در موتور سری افزایش میدان ، جریان آرمیچر را به نسبت بیشتری افزایش می دهد (اما جهت آن عوض نمی شود) . چون گشتاور موتور از گشتاور بار کمتر است ، سرعت موتور کم می شود و نهایتاً در سرعتی پایین تر مستقر می شود که در آن گشتاور موتور و بار هم برابر هستند.

در یک شار تضعیف شده ، برای یک افزایش معین در گشتاور ، جریان آرمیچر . بنابر این افت ولتاژ آرمیچر به نسبت بیشتری افزایش می یابند . نتیجتاً نیروی ضد محرک القایی ، و بنا بر این سرعت نیز به نسبت بیشتری افت می کنند . پس هر چه شار کمتر باشد ، شیب منحنی های سرعت - گشتاور بیشتر است . در مقادیر کم شار ، اگر مقدار گشتاور کم باشد، یک کاهش در شار ممکن است حتی منجر به کاهش در سرعت بشود .

در مورد یک موتور شنت ، کمترین سرعت قابل حصول متناظر با حد اکثر تحریک و بدون حضور هیچ مقاومت خارجی در مدار تحریک است. در مورد یک موتور تحریک جداگانه کمترین سرعت توسط گرمای تولید شده در سیم بندی تحریک و اشباع مدار مغناطیسی معین می شود چون در تحریک کامل ، ماشینهای جدید در مقدار قابل ملاحظه ای از اشباع مدار مغناطیسی کار می کنند. سرعت فقط به مقدار کمی در زیر مشخصه سرعت - گشتاور طبیعی می تواند کاهش یابد . حداکثر سرعت توسط ناپایداری موتور ناشی از اثر ضد مغناطیسی عکس العمل آرمیچر در یک میدان ضعیف و همچنین تحمل مکانیکی موتور محدود می شود . در موتورهای dc با طراحی عادی ، رساندن سرعت به $5/1$ تا 2 برابر سرعت نامی و در موتورهای با طراحی مخصوص ، رساندن سرعت به 6 برابر سرعت نامی امکان پذیر است. برای جلوگیری از ناپایداری ، در موتورهای تحریک جداگانه از یک سیم بندی سری با میدان نسبتاً ضعیف که

به میدان اصلی کمک می‌کند، استفاده می‌شود. در بارهای سنگین لحظه‌ای، یک جریان بزرگ، میدان را تقویت میکند و سرعت موتور تمایل به کاهش پیدا می‌کند .

کنترل میدان موتورهای تحریک جداگانه و شنت ، یک کنترل در قدرت ثابت فراهم می‌آورد، چونکه حداکثر قدرت موتور در تمامی سرعتها تقریباً " باقی ثابت می‌ماند . فرض می‌شود که حداکثر جریان مجاز آرمیچر $I_{a max}$ هنگامیکه میدان تضعیف می‌شود، عوض نمی‌شود . در جریان آرمیچر برابر با $I_{a max}$ ، ولتاژ ضد محرکه القایی E در تمام سرعتها به علت ثابت بودن ولتاژ تغذیه در مقدار v ، ثابت باقی می‌ماند . در نتیجه حداکثر قدرت حاصله موتور $E I_{a max}$ در تمام محدوده سرعت ثابت باقی می‌ماند و حداکثر گشتاور بطور معکوس با سرعت تغییر می‌کند.

این فرض که حداکثر جریان مجاز آرمیچر با کاهش شار عوض نمی‌شود ، بطور تقریبی قابل قبول است . زیرا عکس العمل آرمیچر در شرایطی که شار اصلی کاهش می‌یابد بنحو موثرتری بر شار تاثیر می‌گذارد ، بنا براین حداکثر جریانی که موتور می‌تواند عبور دهد بدون آنکه در کموتاتور آن جرقه ایجاد شود کاهش می‌یابد ، و موجب کاهش حداکثر قدرت مجاز تولیدی در سرعتهای بالا می‌شود . در یک موتور تحریک جداگانه، کنترل شار با تغییرات ولتاژ سیم پیچی تحریک توسط یک یکسو کننده قابل کنترل یا یک برشگر ، بسته به اینکه منبع موجود ac یا dc باشد انجام می‌شود .

موتورهای با اندازه کوچک به صورت شنت بسته می‌شوند ، و تغییرات شار با وارد کردن یک مقاومت متغیر در مدار تحریک به دست می‌آید. در یک موتور سری ، کنترل شار با اتصال یک مقاومت انشعابی به دو سر سیم پیچی تحریک ، حاصل می‌شود.

۱-۲-۳. ترکیب روشهای کنترل ولتاژ آرمیچر و میدان

در محرکه‌هایی که کنترل سرعت در محدوده ای وسیع ضروری است ، دو روش کنترل ولتاژ آرمیچر و میدان با هم ترکیب می‌شوند . در روش کنترلی ولتاژ آرمیچر امتیاز ثابت ماندن حداکثر ظرفیت گشتاوری ماشین در تمامی سرعتها وجود دارد . لذا در هر جایی که امکان داشته باشد این روش بکار گرفته می‌شود ، و از روش کنترل میدان برای دستیابی به سرعتهایی که با روش کنترل ولتاژ آرمیچر قابل حصول نیستند ، استفاده می‌شود . در چنین محرکه‌هایی ، سرعت مربوط به حالتی که ولتاژ آرمیچر در مقدار نامی و تحریک هم کامل است ، سرعت مبنا نامیده می‌شود. این سرعتی است که موتور در آن بر روی مشخصه سرعت - گشتاور طبیعی کار می‌کند . از حالت سکون تا سرعت نامی

تغییرات سرعت با کنترل ولتاژ آرمیچر به دست می آید و در این محدوده سرعت ، میدان در مقدار نامی خود ثابت نگاه داشته می شود . سرعتهای بالاتر از سرعت مبنا با روش کنترل ولتاژ آرمیچر نمی توانند به دست آیند چونکه ولتاژ آرمیچر موتور نبایستی از مقدار نامی بیشتر شود . بنا براین ، سرعتها ی بالاتر از سرعت مبنا با روش کنترل میدان به دست می آیند این نوع محرکه ها عبارتند از غلطکهای نورد ، کاربردهای کششی (قطارها) و غیره .

۱-۲-۴. کنترل مقاومت آرمیچر

اشکال اصلی این روش کنترل سرعت بازده کم آن می باشد . برای مثال ، برای باری با گشتاور ثابت کل قدرت ورودی به موتور (تحریک سری و جداگانه) و مقاومت سری، مقدار ثابتی است ، در همان در حالیکه قدرت تحویلی به بار متناسب با سرعت کاهش می یابد . بنا بر این درصد بازدهی موتور همان درصد سرعت نسبت به سرعت نامی آن است، بدین معنی که در سرعتی معادل 10 درصد سرعت نامی بازدهی موتور دقیقا 10 درصد است.

در روش کنترل آرمیچر شکل منحنی های سرعت - گشتاور در یک موتور تحریک جداگانه (یا شنت) از حالت سرعت تقریبا ثابت برای تمام گشتاورها به یک حالت سرعت متغیر عوض می شود . به همان دلیل و به سبب بازدهی کم ، از این روش برای کنترل موتورهای تحریک جداگانه بندرت استفاده می شود مگر برای رسیدن به سرعتها یی که برای لحظات بسیار کوتاه ضروری باشند .

برای محرکه هایی که در سرعتها ی پائین و به صورت تکراری و کوتاه مدت کار می کنند، کاهش بازدهی که محرکه زیاد نخواهد بود . به دلیل سادگی و پادین بودن هزینه اولیه ، این روش برای محرکه هایی با کار تکراری کوتاه مدت که از موتورهای سری استفاده می کنند کاملا مناسب و اقتصادی است .

۱-۳. راه اندازی

حداکثر جریانی که از یک موتور dc در حالت های گذاری کوتاه مدت می تواند عبور کند ، جریانی است که یک کمو تاسیون بدون جرقه داشته باشد و از نقطه نظر تئوری ، با بکار گیری سیم پیچی های جبران ساز در تمامی مقادیر سرعت و جریان می توان ولتاژهایی را که با کموتا سیون جریان مخالف کرده و ایجاد جرقه می کنند ، بطور کامل حذف نمود. اما در عمل مشاهده شده است که با افزایش مقدار جریان ، کامل انجام نمی شود و با عبور جریان از یک حد معین ، جرقه پدیدار می شود.

اگر موتور با ولتاژ نامی راه اندازی شود ، برای یک موتور با اندازه متوسط ، جریان به حدود 20 برابر جریان نامی خواهد رسید . جریانی به این بزرگی منجر به جرقه های شدید در کموتاتور و افزایش بیش از حد درجه حرارت در سیم پیچ های موتور شده و به آن آسیب می رساند . بنا بر این محدود نمودن جریان به یک حد بدون خطر در زمان راه اندازی و ضروری می شود . اینکار با کاهش ولتاژ دو سر موتور در لحظه راه اندازی و افزایش تدریجی آن با سرعت گرفتن موتور حاصل می شود .

ولتاژ موتور با کاهش ولتاژ منبع یا با ایجاد افت قسمتی از ولتاژ منبع بر روی یک مقاومت سری شده با موتور، انجام می شود. در کاربردهایی که به سرعت قابل تنظیم نیاز دارند، یک کنترل کننده برای کنترل سرعت موتور فراهم می شود . همین کنترل کننده ها برای محدود نمودن جریان موتور در مدت راه اندازی می تواند گرفته شود . در مواردیکه کنترل سرعت ضروری نیست ، برای محدود نمودن جریان از یک راه انداز استفاده می شود. در مواردیکه راه اندازی مکرر لازم نیست، با قرار دادن یک مقاومت اضافی چندین قسمتی در مدار آرمیچر و خروج تدریجی آن از مدار به نحوی که جریان موتور از حد سالم و بی خطر بیشتر نشود و در ضمن گشتاور تولیدی موتور همواره از گشتاور بار بزرگتر بماند، راه اندازی انجام می شود. این روش بطور گسترده بکار گرفته می شود.

۱-۴. حداقل نمودن تلفات در محرکه های dc سرعت متغیر

هزینه سنگین انرژی انگیزه ای برای کاهش تلفات انرژی در محرکه های سرعت متغیر می باشد. کاهش تلفات نه فقط باعث کاهش هزینه بهره برداری می شود ، بلکه هزینه سرمایه گذاری اولیه سیستم تغذیه کننده محرکه را نیز کاهش می دهد . در اتومبیل برقی که با باتری کار می کند ، کاهش تلفات استفاده موثرتری را به دنبال دارد و فواصل زمانی شارژ باتریها را نیز طولانی تر می کند و اتومبیل میتواند فواصل بیشتری را طی کند.

در هر نقطه کار ، که با سرعت و گشتاور مشخص می شود ، یک ترکیب خاص از جریان آرمیچر و جریان تحریک میتواند ملزومات نقطه کار را بر آورد سازد و تلفات محرکه را حداقل نماید در یک محرکه موتور dc مؤلفه های تلفاتی زیر وجود دارند:

تلفات مدار آرمیچر p : این تلفات جمع تلفات در منبع تغذیه آرمیچر ، تلفات در اتصال جاروبکها و تلفات در سیم پیچی آرمیچر خواهند بود این تلفات را می توان بصورت $P_a = I_a^2 R_a$ بیان نمود ، که در

آن R_a مقاومت مدار آرمیچر است ، و بیانگر تلفات در منبع ، اتصال جاروبکها ، و سیم پیچی آرمیچر است.

تلفات مدار تحریک P_F ، که شامل منبع تغذیه مدار تحریک هم می شود، اگر مقاومت مدار تحریک R_F باشد ، آنگاه $P_F = R_F^2 I_F^2$

تلفات هسته آرمیچر P_C که تابعی از سرعت موتور W_M و چگالی شار فاصله هوایی B_g است : بنا براین بصورت $P_C = K_C F(B_g, W_M)$ بیان می شود.

تلفات اصطکاک و مقاومت هوا P_W تابعی از سرعت موتور است $P_W = K_W F(W_M)$.

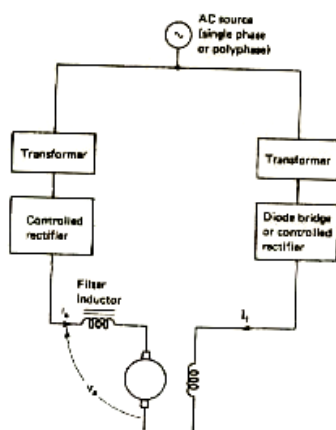
تلفات سرگردان P_S که تابعی از جریان آرمیچر I_a و سرعت موتور W_M است : بنا براین بصورت $P_S = K_S f(I_a, W_M)$ بیان می شود .

۲. فصل دوم، کنترل موتورهای DC با یکسو کننده‌های قابل کنترل

محرکه‌های dc که با یکسو کننده‌های قابل کنترل تغذیه می‌شوند، بطور گسترده در کاربردهایی که به یک محدوده وسیع کنترل سرعت و یا راه‌اندازی‌های مکرر، ترمز، وتعویض جهت چرخش نیاز دارند بکار برده می‌شوند. از جمله می‌توان به کاربردهایی نظیر غلطکهای نورد در صنایع فلزی، غلطکهای صنایع کاغذ، صنایع چاپ، ماشینهای حفاری معادن و ماشینهای ابزار اشاره نمود.

نمودار خطی یک محرکه موتور dc تحریک جداگانه تغذیه شده با یک یکسو کننده قابل کنترل در شکل 1-2 نشان داده شده است. حداکثر ولتاژ خروجی یکسو کننده در شرایط جریان پیوسته بایستی برابر با ولتاژ نامی آرمیچر موتور باشد. اگر مقدار ولتاژ منبع بقدری باشد که این شرط برقرار شود، یکسو کننده بطور مستقیم به منبع متصل می‌شود، در غیر اینصورت استفاده از ترانسفورمر با نسبت تبدیل مناسب بین منبع ac و یکسو کننده الزامی است.

گاهی اوقات بمنظور کاهش اعوجاج در جریان موتور از یک فیلتر اندوکتانسی بین یکسو کننده و آرمیچر موتور استفاده می‌شود. این امر باعث بهبود عملکرد موتور می‌شود. معمولاً سیم‌پیچی تحریک توسط یک ترانسفورمر و یک پل دیودی به همان منبع تغذیه کننده موتور متصل می‌شود. نسبت تبدیل ترانسفورمر به نحوی انتخاب می‌شود تا ولتاژ



کل 1-2 نمودار خطی یک محرکه موتور dc تغذیه شده با یکسو قابل کنترل

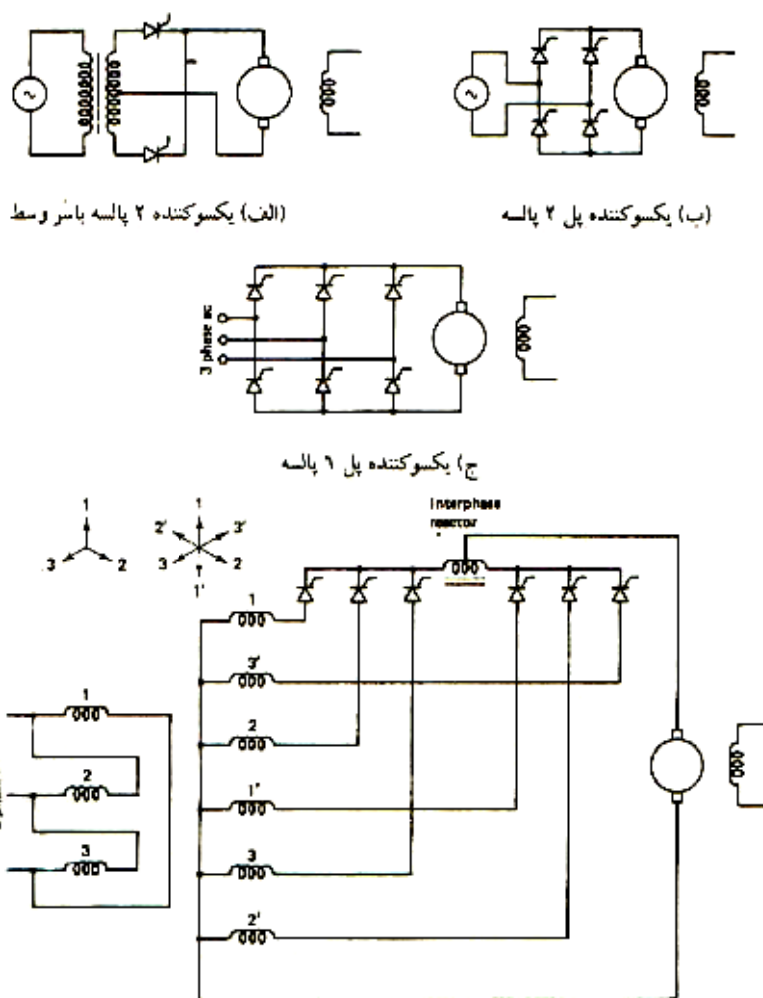
تحریک برابر با مقدار نامی ولتاژ آن باشد. در مواردی که کنترل جریان تحریک ضروری باشد پل دیودی با یک پل یکسو کننده قابل کنترل جایگزین می‌شود.

۲-۱. مدارهای یکسوکننده قابل کنترل

مدارهای یکسو کننده متنوعی وجود دارند، که برخی از منبع تکفاز و برخی از منبع سه فاز تغذیه می‌شوند. برای کنترل موتور، مدارهای یکسو کننده قابل کنترل به دو دسته یکسو کننده‌های تمام کنترل شده و نیمه کنترل شده تقسیم می‌شوند. برخی از یکسو کننده‌های تمام کنترل شده در شکل 2-2 و برخی از یکسو کننده‌های نیمه کنترل شده در شکل 2-3 نشان داده شده‌اند. از یکسو کننده‌های قابل کنترل تکفاز تا قدرت 10 کیلووات و در حالات خاص تا 50 کیلووات استفاده می‌شود. برای قدرتهای بالاتر، از یکسو کننده‌های قابل کنترل سه فاز استفاده می‌شود. در برخی کاربردها که فقط منبع تکفاز در دسترس باشد، همچون خطوط تغذیه قطارهای الکتریکی، از یکسو کننده‌های تکفاز قابل کنترل تا قدرتهای چند هزار کیلووات نیز استفاده می‌شود. برای دیگر مدارها، در صورتیکه مقدار ولتاژ نامی موتور با ولتاژ منبع ac سازگار نباشد استفاده از یک ترانسفورمر ضروری می‌باشد. این مزایا موجب برتری یکسوکننده شکل 2-2 الف بر یکسو کننده شکل 2-2 ب در موتورهای ولتاژ پائین شده است. اما در مقابل این مدار عیب مهمی هم دارد و آن استفاده از ترانسفورمر حجیم‌تر است زیرا در هر لحظه فقط از نصف سیم‌پیچی ثانویه جریان عبور می‌کند. برای ولتاژهای نامی عادی، و بخصوص هنگامیکه ولتاژ نامی موتور و ولتاژ منبع ac سازگار هستند مدار شکل 2-2 ب ترجیح داده می‌شود.

در بخشهای بعدی این فصل نشان داده خواهد شد که افزایش تعداد پالس مدار یکسوکننده باعث بهبود مشخصه‌های محرکه می‌شود. عملکرد شش پالسه با بکارگیری یکسو کننده پل سه فاز تمام کنترل شده شکل 2-2 ج تحقق می‌یابد. در مواردی که جهت تطبیق ولتاژ موتور و ولتاژ خروجی یکسو کننده استفاده از ترانسفورمر ضروری باشد، سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه ترانسفورمر بصورت مثلث بسته می‌شوند بنحویکه هارمونیکهای مضرب 3 جریان مغناطیسی می‌توانند وجود داشته باشند. در شکل 2-2 د آرایش دیگری از یک سو کننده کنترل شده شش پالسه نشان داده شده است. این مدار از اتصال موازی دو یکسو کننده کنترل شده سه پالسه همراه با یک راکتور بین فاز بدست آمده است. عملکرد بصورت دوازده پالسی از اتصال موازی دو یکسو کننده شش پالسه شکل 2-2 د از طریق یک راکتور بین فاز بدست می‌آید. این دو یکسو کننده توسط دو مجموعه ترانسفورمر سه فاز که اولیه‌های آنها بترتیب بصورت ستاره و مثلث بسته شده‌اند، تغذیه می‌شوند. با اتصال سری دو یکسو کننده کنترل شده شش پالسه شکل 2-2 ج نیز می‌توان به عملکرد دوازده پالسه دست یافت. برای این منظور لازمست که ترانسفورمر تغذیه

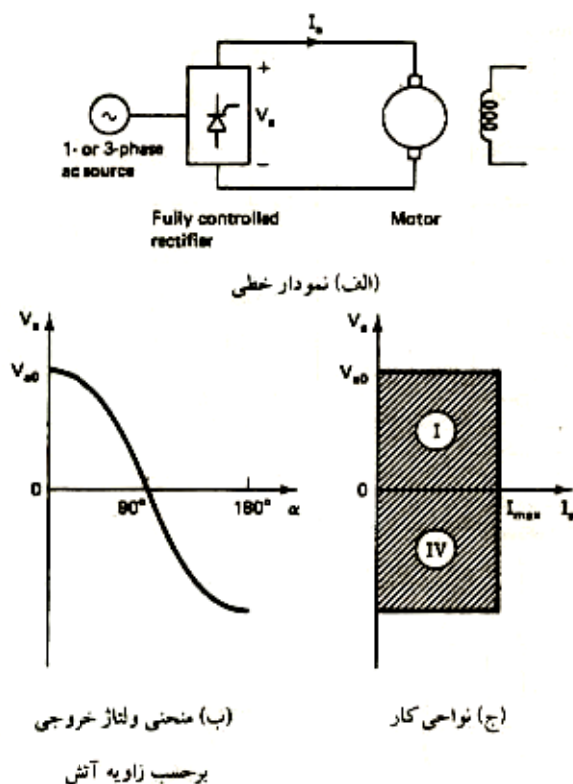
کننده یکسو کننده دارای دو مجموعه ثانویه- یکی با اتصال ستاره و دیگری با اتصال مثلث باشد. در تمام این یکسو کننده‌های کنترل شده سه فاز، هر تریستور برای 120° درجه از هر سیکل هدایت می‌کند. نماد مداری برای یکسو کننده‌های تمام کنترل شده در شکل 2-3 الف نشان داده شده است. V_a و I_a به ترتیب بیانگر مقادیر متوسط ولتاژ و جریان خروجی مبدل هستند. در شکل 2-3 ب تغییرات V_a بر حسب زاویه آتش a ، با فرض حالت هدایت پیوسته نشان داده شده است. حالت هدایت پیوسته کار موتور dc به حالتی اطلاق می‌شود که جریان آرمیچر بطور دائمی برقرار باشد- یعنی اینکه، حتی برای یک مدت زمان محدود صفر نمی‌شود.



شکل 2-2 یکسو کننده‌های تمام کنترل شده

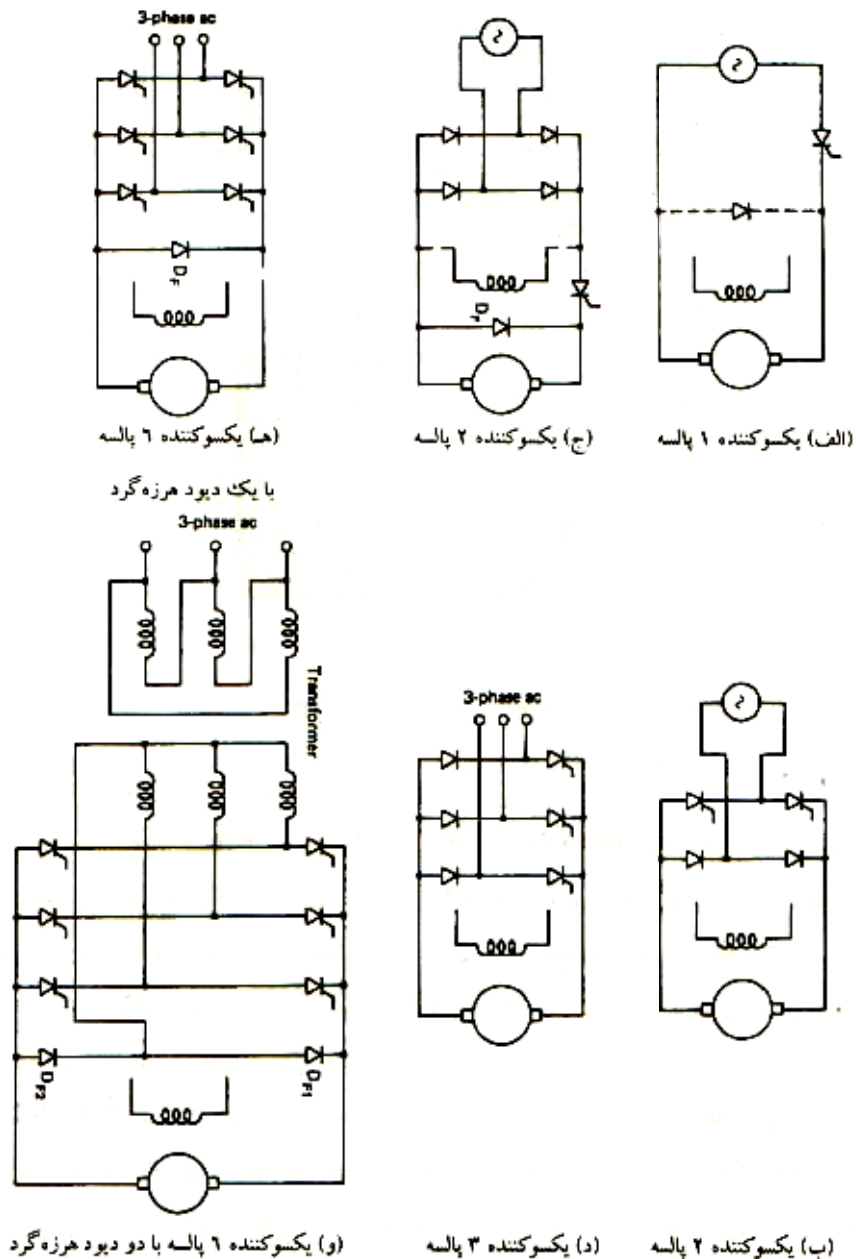
ولتاژ خروجی از حداکثر مقدار مثبت $+V_{a0}$ تا حداکثر مقدار منفی $-V_{a0}$ با کنترل زاویه آتش از 0° تا 180° درجه کنترل می‌شود. در عمل حداکثر مقدار a به 170° درجه محدود می‌شود تا از ایجاد خطای

کموتاسیون تریستورها جلوگیری شود. چون ولتاژ خروجی در هر دو جهت قابل کنترل می‌باشد یکسو کننده‌های تمام کنترل شده از نوع مبدل‌های دوربعی هستند، که عملکرد در ربع اول و ربع چهارم صفحه $V_a - I_a$ مطابق شکل 2-3 ج، را میسر می‌سازند.



شکل 2-3 مشخصه‌های یکسو کننده‌های تمام کنترل شده

I_{max} جریان نامی یکسو کننده است. در یک ولتاژ خروجی منفی، یکسو کننده همانند یک اینورتر با کموتاسیون خط کار می‌کند و در این حالت قدرت از بار به منبع ac انتقال می‌یابد. برای کنترل موتورهای با قدرت کسری از اسب بخار، ممکن است که یک یکسوکننده یک پالس، با یا بدون دیود هرزه گرد، مشابه شکل 2-4 الف بکار گرفته شود. هزینه چنین محرکه‌ای بدلیل تعداد کم قطعات یکسو کننده آن پائین است. عیب اصلی این یکسو کننده حضور یک مولفه dc و همچنین هارمونیکهای زوج در جریان منبع ناشی از عدم تقارن در شکل موج آن می‌باشد. با اضافه کردن یک دیود هرزه گرد به یکسو کننده‌های تمام کنترل شده شکل‌های 2-2 الف و ب، یکسو کننده‌های نیمه کنترل شده دو پالس تکفاز بدست می‌آیند.



شکل 2-4 یکسو کننده‌های نیمه کنترل شده

گاهی اوقات برای کاهش هزینه محرکه ممکن است که از مدار شکل 2-4 ج استفاده شود. در این مدار فقط از یک تریستور و یک مدار تریستور و یک پل یکسو کننده مشترک برای تغذیه آرمیچر و تحریک استفاده شده است. در مواردیکه اندوکتانس مدار آرمیچر کم است و موتور در سرعت‌های پائین بکار گرفته نمی‌شود، می‌توان دیود هرزه گرد D_f را حذف نمود. در مواردیکه اندوکتانس آرمیچر بزرگ است و یا بهره‌برداری در سرعت‌های پائین الزامی باشد، از ولتاژ هدایت دیود هرزه گرد، برای سد کردن هدایت

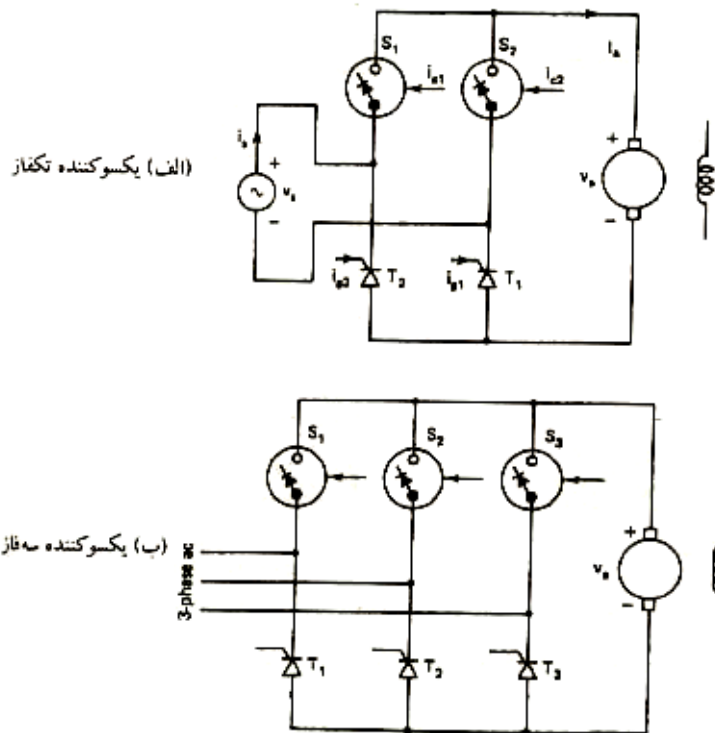
تریستور استفاده می‌شود. در مقایسه با یکسو کننده‌های تمام کنترل شده دو پالس، یکسو کننده نیمه کنترل شده دو پالس، قدرت راکتیو کمتری را مصرف می‌کند، و بنابراین در ضریب قدرت بالاتر کار می‌کند و اعوجاج کمتری در جریان موتور ایجاد می‌نماید.

یک یکسو کننده سه فاز نیمه کنترل شده با کار بصورت سه پالس در شکل 2-4 نشان داده شده است. یکسو کننده نیمه کنترل شده شش پالس شکل 2-4 هـ با اضافه کردن یک دیود هرزه‌گر به یکسو کننده سه فاز تمام کنترل شده شکل 2-2 ج بدست می‌آید. دیود D_F در زوایای آتش بالاتر از 60 درجه وارد عمل می‌شود. کار دیود هرزه‌گر باعث کاهش مؤلفه راکتیو جریان خط و اعوجاج در جریان موتور می‌شود. برای این مدار محدوده تغییرات لازم زاویه آتش برای کنترل ولتاژ خروجی از حداکثر تا صفر، از صفر تا 120 درجه است. در مدار شکل 2-4 و، عمل هرزه‌گردی برای زوایای آتش بزرگتر از 30 درجه شروع می‌شود. از دیودهای D_{F1} و D_{F2} برای این منظور استفاده می‌شود. محدوده لازم برای تغییرات زاویه آتش 150 درجه است. این مدار بدلیل استفاده از یک ترانسفورمر سه فاز با اتصال نقطه نول و یک دیود اضافی، پرهزینه است.

۲-۲. یکسو کننده‌های با روش کنترلی مدولاسیون پهنای پالس PWM

با امکان استفاده از کلیدهای نیمه هادی با کموتاسیون خودی (نظیر ترانزیستورهای قدرت، GTO ها، و ماسفت‌ها) در یکسو کننده‌های کنترل شده می‌توان روشهای مدولاسیون پهنای پالس PWM را بکار گرفت. یکسو کننده‌های پل تمام کنترل شده تکفاز و سه فاز pwm در شکل 2-5 نشان داده شده‌اند. کلیدهای نیمه‌هادی S_1, S_2, S_3 با کموتاسیون خودی بایستی قابلیت سد کردن ولتاژ معکوس را داشته باشند. هر کدام از کلیدها ممکن است با استفاده از یک ماسفت یا یک ترانزیستور قدرت که با یک دیود سریع سری شده است، یک GTO با قابلیت سد کردن ولتاژ معکوس، یک GTO سری شده با یک دیود زمانیکه GTO قابلیت سد کردن ولتاژ معکوس را ندارد، با یک تریستور از نوع اینورتری همراه با مدار کموتاسیون اجباری، تحقیق یابند.

روشهای مرسوم مدولاسیون پهنای پالس در یکسو کننده‌ها، مدولاسیون با پهنای پالس مساوی و مدولاسیون پهنای پالس سینوسی هستند.



شکل 2-5 یکسو کننده های کنترل

۲-۲-۱. مدولاسیون با پهنای پالس مساوی

اصول این روش برای یکسو کننده های تمام کنترل شده تکفاز شکل 2-5 الف در شکل های 2-6 و 2-7 نمایش داده شده است. یک سیگنال dc مدوله کننده V_R با دامنه متغیر A و یک موج حامل مثلثی V_T با دامنه ثابت A_m در یک مقایسه کننده با یکدیگر مقایسه می شوند. موج حامل با ولتاژ منبع ac ، V_s ، سنکرون شده است و فرکانس آن مضرب صحیحی از نصف فرکانس V_s است.

کار در حالت یکسوکنندگی در شکل 2-6 نشان داده شده است. تریستورهای T_1 و T_2 ، با کموتاسیون خط، به ترتیب از λ تا $\pi + \lambda$ و از $\pi + \lambda$ تا $2\pi + \lambda$ هدایت می کنند. طی دوره $\lambda \leq \omega t \leq \pi + \lambda$ کلید S_1 زمانی هدایت می کند که $V_R > V_T$ در غیر اینصورت، کلید S_2 هدایت می کند. طی دوره $\pi + \lambda \leq \omega t \leq 2\pi + \lambda$ زمانی هدایت می کند که $V_R > V_T$ در غیر اینصورت، S_1 هدایت می کند. انتقال جریان از T_1 به T_2 توسط عمل کموتاسیون خط فقط زمانی میسر است که ولتاژ منبع منفی باشد. بنابراین، پالس گیت برای تریستور T_2 باندازه یک زاویه λ از π جلو برده می شود. بهمین علت پالس گیت برای T_1 باندازه یک زاویه λ از صفر درجه به جلو برده می شود.

این الگوی کلید زنی قطعات، منبع را برای فواصل زمانی که V_R از V_T بزرگتر است به موتور وصل می‌کند و جریان منبع جاری می‌شود. برای فواصل زمانی که V_R کمتر از V_T است، جریان موتور از یک از دو مسیر هرزه گرد تشکیل شده توسط جفت T_1, S_1 و T_2, S_2 عبور می‌کند، نتیجتاً جریان منبع و ولتاژ خروجی یکسو کننده صفر هستند. شکل موجهای جریان و ولتاژ خروجی یکسو کننده، با فرض آنکه جریان موتور بدون اعوجاج باشد در شکل 6-2 نشان داده شده است.

کار در حالت اینورتری در شکل 7-2 نشان داده شده است. تریستورهای T_1 و T_2 مجدداً برای یک دوره برابر با π هدایت می‌کنند. برای کموتاسیون T_1 و T_2 بتوسط کموتاسیون خط، این تریستورها پالسهای گیتی دریافت می‌کنند که به ترتیب از $(\pi - \lambda)$ و $(2\pi - \lambda)$ آغاز می‌شوند. در دوره زمانی $S_2, -\lambda \leq \omega t \leq \pi - \lambda$ زمانی هدایت می‌کند که $V_R > V_T$ ، در غیر اینصورت S_1 هدایت می‌کند، و در فاصله $S_2, \pi - \lambda \leq \omega t \leq 2\pi - \lambda$ زمانی هدایت می‌کند که $V_R > V_T$ ، در غیر اینصورت S_2 هدایت می‌کند. شکل موج جریان منبع و ولتاژ خروجی یکسو کننده نیز در شکل نشان داده شده‌اند. در اینجا نیز منبع در زمانی به موتور وصل می‌شود و جریان آن جاری می‌شود که $V_R > V_T$.

در طی دوره‌ای که $V_R < V_T$ ، جریان بار به یکی از دو مسیر هرزه گرد هدایت می‌شود و جریان منبع صفر است. متوسط ولتاژ خروجی اینک منفی است و مولفه اصلی جریان منبع نسبت به ولتاژ منبع 180° اختلاف فاز دارد، که نتیجتاً ضریب قدرت اصلی برابر یک می‌شود. مجدداً در اینجا هم اعوجاج جریان موتور و ناحیه هدایت غیر پیوسته کوچک خواهند بود.

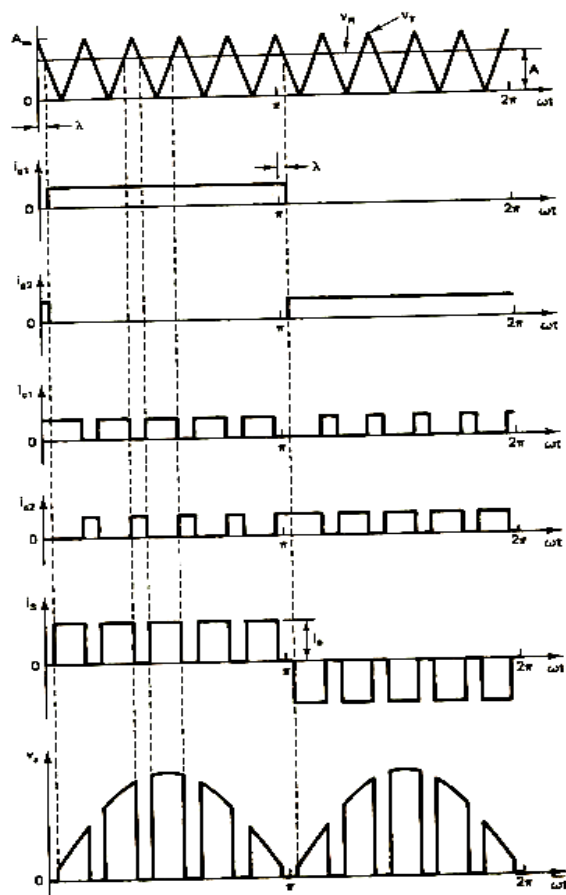
شاخص مدولاسیون M به صورت "نسبت دامنه‌های سیگنال مدوله کننده به سیگنال موج حامل" تعریف می‌شود. پس

$$m = \frac{A}{A_m}$$

دامنه ولتاژ خروجی، در هر دو دوره یکسوکنندگی و اینورتری، با کنترل مقدار شاخص مدولاسیون می‌تواند تغییر داده شود. در تئوری، مقدار ولتاژ خروجی با تغییر m از 1 تا 0 می‌تواند از مقدار حداکثرش $(2V_m / \pi)$ تا 0 تغییر کند. در عمل بدلیل محدود بودن زمانهای کلیدزنی S_1 و S_2 ، پهنای پالسها مقادیر حداکثر و حداقل معینی دارند، نتیجتاً ولتاژ خروجی یک مقدار حداقل، و مقدار حداکثر کوچکتر از $(2V_m / \pi)$ دارد.

محدودیت بر روی مقادیر حداقل ولتاژ خروجی، یک جریان لحظه‌ای بزرگ را در زمان معکوس شدن موتور موجب می‌شود. در طی دوره معکوس شدن در ابتدا یکسو کننده در حالت اینورتری کار خواهد کرد و موتور تحت شرایط ترمز ژنراتوری سرعتش کم خواهد شد. با افت سرعت، شاخص مدولاسیون کم می‌شود. در یک سرعت خاص بدلیل محدودیت روی حداقل ولتاژ خروجی یکسو کننده در حالت اینورتری، حالت ترمزی متوقف می‌شود. حال در این سرعت خاص، کار یکسو کننده از حالت اینورتری به یکسو کننده‌گی تغییر می‌کند تا موتور در جهت عکس به چرخش درآید. چون در این شرایط ولتاژ خروجی یکسو کننده از حداقل مقدار منفی خود به حداقل مقدار مثبت جهش می‌کند، یک جریان لحظه‌ای بزرگ ایجاد می‌شود، و یک ضربه به محرکه وارد می‌شود که ممکن است به یکسو کننده آسیب برساند. بر این مشکل بصورت زیر می‌توان فائق آمد.

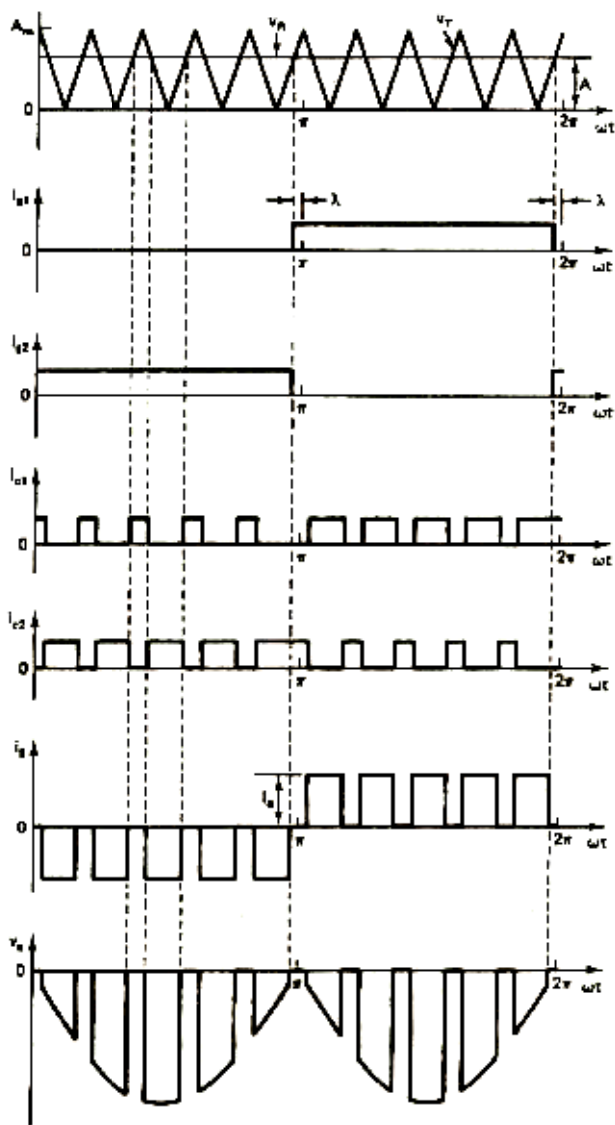
در جریان کار، برای بدست آوردن یک ضریب قدرت اصلی برابر با یک، در زمانی که حالت کار از اینورتری به یکسو کننده‌گی عوض می‌شود، فاز پالسهای کنترل باندازه 180° پرش می‌کنند.



شکل 2-6) شکل موجهای مربوط به حالت یکسو کننده‌گی یک سو کننده پل تک فاز با

مدولاسیون پهنای پالس مساوی

اگر فاز پالسهای کنترلی بتدریج عوض شود، آنگاه ولتاژ خروجی یکسو کننده نیز بتدریج از حداقل مقدار منفی آن تا مقادیر مثبت آن تغییر خواهد کرد، ولتاژ خروجی صفر زمانی بدست می آید که زاویه فاز 90° درجه باشد. ضریب قدرت یکسو کننده در طول زمان انتقال پائین خواهد بود.



شکل (2-7) شکل موجهای مربوط به حالت اینورتری یکسو کننده پل تمام کنترل شده با روش مدولاسیون پهنای پالس برابر

در اینجا بدلیل آنکه تمام پالسها برای یک m معین پهنای یکسان دارند، آنرا مدولاسیون پهنای پالس مساوی می نامند.

۲-۲-۲. مدولاسیون با پهنای پالس سینوسی

سیگنال dc مدوله کننده اینک با یک سیگنال سینوسی یکسو شده V_R جایگزین شده، که با منبع V_S سنکرون شده است و یک دامنه متغیر A دارد. موج حامل V_T نیز با ولتاژ منبع V_S سنکرون شده است و فرکانس آن مضرب صحیحی از نصف فرکانس V_S است. پالسهای کنترل، و شکل موجهای جریان منبع و ولتاژ خروجی یکسو کننده برای حالت یکسو کنندگی در شکل نشان داده شده‌اند. عملکرد این مدار مشابه آن چیزی است که در بخش قبل تشریح شد، بجز آنکه پهنای پالسها در اینجا یک تابع سینوسی از موقعیت پالس است، و بنابراین، آن را مدولاسیون پهنای پالس سینوسی می‌نامند. عملکرد مدار در حالت اینورتری زمانی حاصل می‌شود که سیگنالها به اندازه 180° جابجا شوند.

در مقایسه با مدولاسیون پهنای پالس مساوی، مدولاسیون پهنای پالس سینوسی، ضریب قدرت بالاتر و محتویات هارمونیک پائین‌تر در جریان منبع دارد اما اعوجاج جریان موتور در آن بیشتر است. در زمانی که $m=1$ بشود مدولاسیون از حالت مدولاسیون پهنای پالس سینوسی خارج می‌شود. برای $m=1$ ، ولتاژ خروجی اساساً کمتر از مقدار حداکثر آن $(2V_m/\pi)$ است. لذا، اگر کار به $m=1$ محدود شود، یکسو کننده بطور قابل ملاحظه‌ای افت ظرفیت خواهد داشت. از طرف دیگر، کار برای $m>1$ محتویات هارمونیک را افزایش می‌دهد.

با زیاد بودن تعداد پالس در ولتاژ خروجی در هر سیکل منبع، اعوجاج در جریان موتور می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد و هدایت غیرپیوسته بدون استفاده از هیچ سلفی بطور کامل حذف شود. پس، تعداد پالس بیشتر عملکرد و راندمان موتور را بهبود می‌دهد. همچنین هارمونیکهای فرکانس پائین جریان منبع را کم یا حذف می‌کند. اما تلفات کلیدزنی مبدل با افزایش تعداد پالس افزایش می‌یابد. یک یکسوکننده نیمه کنترل شده با مدولاسیون پهنای پالس با جایگزینی تریستورها توسط دیود بدست می‌آید. در اینحالت فقط عمل یکسوکنندگی امکان دارد، و عملکرد مدار مشابه یکسوکننده تمام کنترل شده خواهد بود.

۲-۳. کنترل جریان

در شرایط گذرا همچون راه‌اندازی، ترمز، معکوس نمودن چرخش، تغییرات ناگهانی در سرعت، و تحت اضافه بارهای حالت دائمی، جریان یکسو کننده ممکن است از مقادیر مجاز بدون خطر فراتر رود. هدف از

کنترل جریان نگهداشتن عمدی جریان در حد مجاز ماکزیمم آن در طی شرایط گذرا است. این کار اجازه می‌دهد که از کل ظرفیت گشتاور محرکه استفاده شود و لذا پاسخ بسیار سریعتری حاصل شود. کنترل موثر جریان امکانپذیر است زیرا مبدل‌های نیمه‌هادی پاسخ سریع دارند و کنترل زاویه آتش ساده و بدون تغییرات پله‌ای است که نتیجه آن کنترل ساده و بدون پرش ولتاژ خروجی است برای کنترل جریان روشهای زیربکار گرفته می‌شوند:

۲-۳-۱. حلقه کنترل جریان داخلی

این روش از سیستم‌های کنترل حلقه بسته سرعت و کنترل موقعیت استفاده می‌کند که در شکل 2-8 الف نشان داده شده است. سیگنال خطا در یک کنترل کننده (که نشان داده نشده است) پردازش می‌شود. خروجی کنترل کننده e_c به یک محدود کننده که جریان مرجع I_a^* را برای حلقه کنترل جریان داخلی معین می‌کند، اعمال میشود. جریان متوسط موتور I_a مجبور به دنبال کردن جریان مرجع I_a^* است. در طی دوره‌های گذرا، سیگنال خطا e_c مقدار بزرگی دارد. نتیجتاً خروجی محدود کننده به اشباع می‌رود، و جریان مرجع در حداکثر مقدار مجاز آن مستقر می‌شود. پس، به جریان اجازه داده نمی‌شود که از حد مجاز فراتر رود.

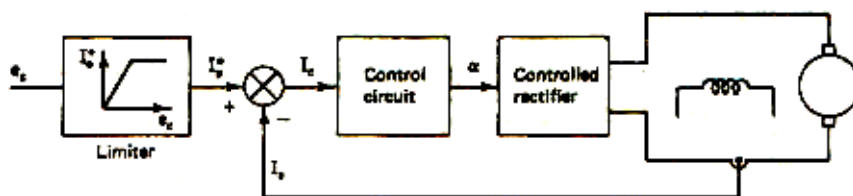
حلقه داخلی کنترل جریان در قسمت اعظم دوره گذرا، با نگهداشتن جریان در حداکثر مقدار مجاز پاسخ محرکه را سریعتر می‌کند.

گاهی اوقات محرکه‌های حلقه باز در طی دوره‌های راه‌اندازی، ترمزی، و تغییر جهت چرخش بصورت کنترل حلقه بسته جریان متصل می‌شوند. بلوک دیاگرام این محرکه شبیه به بلوک دیاگرام نشان داده شده در شکل 2-8 الف خواهد بود با این تفاوت که در آن بلوک محدود کننده و e_c حذف شده باشد. جریان مرجع I_a^* در مقدار حداکثر مجاز مستقر خواهد شد. محرکه در حداکثر جریان مجاز کار خواهد بود.

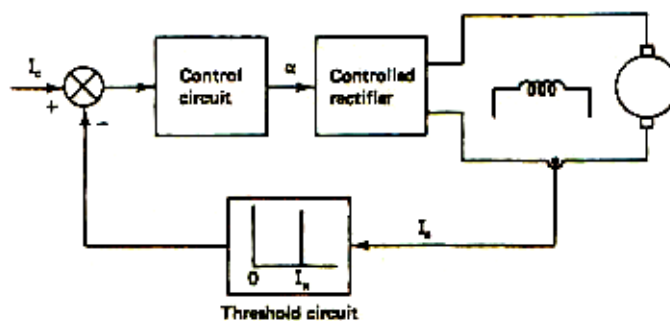
۲-۳-۲. کنترل حد جریان

بلوک دیاگرام این روش در شکل 2-8 ب نشان داده شده است. اگر I_a کمتر از مقدار حداکثر I_x باشد، خروجی مدار آستانه صفر باقی می‌ماند. مادامیکه $I_a < I_x$ ، کار موتور مستقل از مدار آستانه است. با اینحال، اگر I_a از I_x فراتر رود، حتی با مقدار بسیار کوچک، سیگنال بزرگی توسط مدار آستانه ایجاد

می‌شود، و زاویه آتش یکسو کننده به مقدار بزرگی تغییر خواهد کرد بنحویکه جریان را مجبور به کاهش تا زیر مقدار I_x می‌کند. بلافاصله پس از آنکه I_a به زیر I_x افت نمود، مدار آستانه غیرفعال می‌شود و زاویه آتش یکسو کننده به مقدار اولیه خود باز می‌گردد. اگر I_a مجدداً از I_x فراتر رفت، همان مراحل قبلی تکرار می‌شود تا جریان به زیر I_x آورده شود. پس روند حالت گذار بدون آنکه I_a از I_x بیشتر شود به اتمام می‌رسد.



(الف) کنترل یا حلقه داخلی جریان



(ب) کنترل حد جریان

شکل 2-8) طرحهای کنترل جریان

۲-۴. کار چندربعی محرکه‌های دارای یکسو کننده تمام کنترل شده

تا اینجا کار چند ربعی محرکه‌های دارای یکسو کننده شامل ترمز ژنراتوری تشریح شده است. همانگونه که در بخش قبل تشریح شد، کنترل جریان قسمتی از سیستم کنترل چنین محرکه‌هایی است. در طی دوره‌های گذار، این کنترل، جریان را در بین مقادیر مجاز نگه می‌دارد و گاهی اوقات نیز در قسمت اعظم دوره‌های گذار جریان را در مقدار حداکثر مجاز آن مستقر می‌سازد تا پاسخ سریع حاصل شود. همانگونه که قبلاً نیز توضیح داده شد، کار دو ربعی شامل موتوری مستقیم و ترمزی معکوس با استفاده از یک یکسو کننده تمام کنترل شده بدست می‌آید. برای کار دوربعی بصورت موتوری مستقیم و ترمزی معکوس یا کار چهار ربعی بصورت موتوری و ترمزی در هر دو جهت می‌توان روشهای زیر را بکار گرفت.

تغییر جهت جریان آرمیچر

تغییر جهت جریان تحریک

توضیحات این بخش برای کار متعارف یکسو کننده‌های تمام کنترل شده است. اصول کار برای یکسو کننده‌های با هرزه گرد کنترل شده و با مدولاسیون پهنای پالس یکسان است.

۲-۴-۱. تغییر جهت جریان آرمیچر

در این طرحها، جهت جریان تحریک ثابت باقی می‌ماند. اگر کنترل سرعت در بالای سرعت مبنا ضروری باشد، می‌توان تحریک را توسط یک یکسو کننده نیمه کنترل شده تکفاز تغذیه نمود، و در غیر اینصورت می‌توان آن را به یک پل دیودی با ولتاژ ثابت وصل نمود.

یکسو کننده تمام کنترل شده منفرد با یک کلید معکوس کننده

برای اجتناب از ولتاژهای القایی ضربه‌ای و کاهش اندازه کلید، لازم است که عمل کلید زنی در جریان نزدیک صفر انجام شود. با تنظیم زاویه آتش مبدل در بیشترین مقدار مجاز، می‌توان جریان آرمیچر را سریعاً به صفر رساند. در زمانی که جریان صفر است، ارسال پالسهای آتش متوقف می‌شود. چون لحظه صفر شدن جریان را نمی‌توان دقیقاً تشخیص داد، بدلیل نوسانات جریان و همچنین بدلیل جریان عبوری از مدار ضربه‌گیر، یک زمان مرده حدود 2 تا 10 میلی ثانیه‌ای، بمنظور اطمینان از این مسئله که جریان واقعاً صفر شده است برای کار مدار بایستی در نظر گرفته شود.

زاویه آتش بتدریج کاهش می‌یابد. جریان آرمیچر شروع به افزایش می‌کند و یک انتقال آرام به حالت ترمزی رخ می‌دهد. اتصال یکسو کننده برای کار ترمزی در بزرگترین زاویه آتش، طرح آتش پیشرفته نامیده می‌شود. در این طرح، انتقال به حالت ترمزی بدون هیچ جریان و گشتاور لحظه‌ای بزرگ امکان پذیر است. با اینحال زمان تاخیر قابل ملاحظه‌ای در آن وجود دارد و گشتاور ترمزی در آن به مدت نسبتاً طولانی در مقدار کمی باقی می‌ماند.

در زمانیکه زاویه آتش در حال کاهش است، جریان آرمیچر تمایل به عبور از حد مجاز دارد اما از این امر بواسطه عمل حلقه کنترل جریان جلوگیری می‌شود. سرعت موتور تحت شرایط ترمزی تا صفر کاهش می‌یابد و سپس در جهت معکوس با گشتاور نزدیک گشتاور حداکثر و تحت کنترل جریان شتاب می‌گیرد. زمانیکه سرعت به نزدیکی مقدار حالت دائمی خود رسید، جریان کم می‌شود و موتور در سرعت جدید و در جهت عکس مستقر می‌شود.

سرعت کم پاسخ اساسی‌ترین محدودیت این طرح است. زمان عمل کنتاکتور به تنهایی بین 50 تا 100 میلی ثانیه است. در این طرح تشخیص صفر شدن جریان الزامی است و بدلیل آنکه کنتاکتهای متحرک

دارد نیاز به تعمیر و نگهداری دارد. بدلیل پائین بودن هزینه طرح، در محرکه‌های قدرت پائین که پاسخ سریع در آنها ضروری نیست بکار می‌رود.
مبدل دو بل :

یک مبدل دو بل شامل دویکسوکننده تمام کنترل شده است که بطور معکوس و موازی به دو سر آرمیچر موتور متصل هستند.

مبدل دو بل می‌تواند بطور همزمان یا غیر همزمان کنترل شود. در کنترل همزمان، که به آن کنترل با جریان گردشی نیز گفته می‌شود، هر دو یکسوکننده بطور همزمان عمل می‌کنند. در کنترل غیر همزمان، که به آن کنترل بدون جریان گردشی گفته می‌شود، در هر زمان فقط یک یکسوکننده فعال است و یکسوکننده دیگر غیر فعال است.

سرعت پاسخ یک مبدل دو بل با کنترل غیر همزمان بطور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر زمان مرده قرار دارد. در محرکه‌های با مشخصه‌های عملکرد بالا، بخصوص در محرکه‌های سریع با اینرسی کم، بایستی این زمان به حداقل کاهش یابد. مقدار زمان مرده به دقت مدار تشخیص دهنده جریان صفر بستگی دارد. در تریتورها پس از آنکه جریان قطع شد یک زمان 50 تا 100 میلی ثانیه برای خاموش شدن کامل لازم است. اگر صفر شدن جریان دقیقاً تشخیص داده شود، یک زمان تاخیر چند صد میکروثانیه‌ای کفایت. بدلیل نوسانات موجود در جریان و همچنین بدلیل جریانهای عبوری از مدارهای ضربه‌گیر، امکان تشخیص دقیق جریان صفر وجود ندارد. در یک مبدل با جریان نامی چند هزار آمپر، یک جریان چند آمپری را می‌توان صفر فرض نمود، اما این فرض در اینجا مصداق ندارد، زیرا حتی در این جریان، تریتورهای یکسوکننده خارج شونده از مدار هنوز هدایت می‌کنند. لذا زمان مرده کافی برای اطمینان از صفر شدن جریان لازم است.

چون هدف اصلی از تشخیص جریان صفر و پس از آن تاخیر زمانی کافی، اطمینان از قطع تریتورهای یکسوکننده خارج شونده از مدار قبل از فعال نمودن یکسو کننده دیگر است، بجای تشخیص جریان صفر مناسبتر است که حالت تریتورهای یکسوکننده خارج شونده از مدار تشخیص داده شود. قطع یک تریتور وقتی کامل است (یعنی اینکه بتواند ولتاژ مستقیم را سد کند) که برای مدت زمانی طولانی‌تر از زمان بازیابی گیت تحت گرایش معکوس قرار گیرد و این زمان پس از شروع عمل سد کردن ولتاژ معکوس اندازه‌گیری می‌شود. چون زمان بازیابی معکوس گیت از مرتبه چند میکروثانیه است، یک تاخیر چند صد میکروثانیه‌ای پس از آنکه تریتور عمل سد کردن ولتاژ معکوس را شروع کرد کافی بنظر

می‌رسد. در یک یکسوکننده تمام کنترل شده سه فاز تریستورها بصورت جفتی و سری آتش می‌شوند و هدایت می‌کنند، بنابراین، این زمان برای نظارت بر حالت‌های سه تریستور پائینی (یا بالایی) کافی خواهد بود.

کنترل بصورت همزمان امتیازاتی دارد. کنترل ساده است، هدایت پیوسته تضمین می‌شود چونکه جریان موتور آزادانه می‌تواند در هر دو جهت جاری شود، لذا مبدل یک مشخصه انتقال با بهره ثابت دارد و محرکه نیز رگولاسیون سرعت خوبی دارد. این روش کنترل معایبی نیز دارد. حضور اندوکتانس‌های L_1 و L_2 هزینه، وزن، حجم، نویز و تلفات توان را افزایش می‌دهد. پاسخ گذرا بدلیل جریان گردشی کند می‌شود. ضریب قدرت و راندمان بدلیل جریان گردشی پائین هستند. جریان گردشی، قدرت راکتیو را افزایش می‌دهد و نتیجتاً ضریب قدرت را برای تمام زوایای آتش خراب می‌کند، و بخصوص در موتورهای با جریان پائین، چونکه جریان گردشی از جریان موتور، تاثیری نمی‌پذیرد. زمانیکه موتور در یک سرعت خاص کار می‌کند، یک افت بزرگ در ولتاژ منبع در اثر یک خطا ممکن است یک اختلاف بزرگ در ولتاژ القایی موتور و ولتاژ دوسر اینورتر پدید آورد. نتیجتاً یک جریان بزرگ از موتور و اینورتر عبور می‌کند. کنترل جریان نمی‌تواند این جریان را تنظیم کند و بایستی این جریان سریعاً بوسیله مدار شکن یا فیوز قطع شود.

کنترل غیر همزمان هم مزایایی دارد. افزایش راندمان و ضریب قدرت بدلیل عدم حضور جریان گردشی از جمله مزایای آن هستند. به راکتورهای L_1 و L_2 نیازی نیست و لذا هزینه، وزن، حجم، نویز، و تلفات قدرت کمتر دارد و همچنین پاسخ سریعتری در زمان تغییرات زاویه آتش دارد. هدایت غیر پیوسته در بارهای سبک و رگولاسیون ضعیف سرعت و مشخصه انتقال غیرخطی مبدل، وجود زمان مرده در طی مرحله عکس نمودن جریان آرمیچر، و افزایش وسایل و قطعات لازم برای تشخیص صفر بودن جریان و پیاده‌سازی مدار ایجاد کننده زمان مرده، از اشکالات عمده این روش هستند.

بدلیل نیاز به مدارهای کنترل پیچیده و وجود زمانهای تاخیر، در گذشته امکان استفاده از کنترل غیر همزمان در محرکه‌های با مشخصه‌های عملکرد بالا وجود نداشت. در حال حاضر بدلیل دسترسی به مدارهای مجتمع و روشهای بهتر برای آشکارسازی جریان صفر، بسادگی می‌توان از این روش کنترلی استفاده نمود و می‌توان مدارهای سریعی طراحی نمود. لذا امروزه بطور گسترده از این طرح کنترلی استفاده می‌شود. روش کنترل همزمان فقط در محرکه‌های با مشخصه عملکرد بالا و اینرسی کم که در

آنها وجود زمانهای تاخیر قابل قبول نیست بکار می‌رود. اخیراً یک مبدل دابل از نوع *pwm* با استفاده از *GTO* و روش کنترل همزمان طراحی شده است که جریان گردشی در آن کاملاً حذف شده است.

۲-۴-۲. تغییر جهت جریان تحریک

تغییر جهت جریان تحریک را می‌توان با استفاده از یک مبدل دابل یا یک یکسو کننده تمام کنترل شده تکفاز همراه با یک کلید معکوس کننده، که می‌تواند یک کنتاکتور باشد، انجام داد. اگر یک جهت جریان تحریک کار در ربع اول و ربع چهارم را نتیجه دهد، جهت دیگر کار در دو ربع دیگر را نتیجه می‌دهد. چون جریان تحریک در مقایسه با جریان آرمیچر خیلی کوچکتر است، مقادیر نامی یکسوکننده مدار تحریک در مقایسه با یکسوکننده مدار آرمیچر خیلی کوچکتر خواهد بود. لذا این محرکه‌ها می‌توانند ارزانترین محرکه‌های چهارربعی باشند. چون ثابت زمانی تحریک بزرگ است، مدت زمان عکس نمودن جهت جریان تحریک طولانی است. اغلب بمنظور کاهش زمان عکس شدن جریان تحریک، به مدار تحریک ولتاژی 3 تا 5 برابر مقدار نامی آن اعمال می‌شود. ولتاژ القاء شده در سیم‌بندی آرمیچر بواسطه عمل ترانسفورمری در طی مرحله عکس نمودن جریان آرمیچر بر روی کموتاسیون اثر معکوس دارد، و لذا لازمست که در این مدت زمان جریان آرمیچر صفر بماند. چون زمان تغییر جهت جریان تحریک بزرگ است و در این مدت گشتاور صفر می‌ماند، از این محرکه علیرغم ارزانی آن بندرت استفاده می‌شود. از این طرح در محرکه‌های قدرت بالا با اینرسی بزرگ، که در آن مدت تغییر جهت جریان تحریک فقط کسری از ثابت زمانی مکانیکی محرکه است و پاسخ سریع ضروری نیست استفاده می‌شود.

در شرایطی که تحریک از طریق یک مبدل دابل تغذیه می‌شود قدمهای زیر برای تغییر جهت چرخش موتور بایستی در نظر گرفته شوند. زاویه آتش یکسوکننده آرمیچر در بیشترین مقدار تنظیم می‌شود تا جریان آرمیچر صفر شود. سپس زاویه آتش یکسو کننده‌ای که مدار تحریک را تغذیه می‌کند در بیشترین مقدار تنظیم می‌شود. لذا جریان مدار تحریک هم اجباراً صفر می‌شود. پس از یک مدت زمان تاخیر مناسب، یکسوکننده دوم با کمترین زاویه آتش فعال می‌شود. زمانیکه جریان تحریک به مقدار مطلوب خود رسید و مجدداً با استفاده از طرح آتش پیشرفته فعال می‌شود. زاویه آتش بتدریج تغییر می‌کند تا در ابتدا موتور ترمز شود و سپس در جهت عکس شتاب بگیرد.

۳. فصل سوم، کنترل موتورهای DC با برشگرها

برشگرها برای کنترل موتورهای dc بکار گرفته می‌شوند. چونکه مزایایی نظیر راندمان بالا، انعطاف پذیری در کنترل، وزن سبک، اندازه کوچک، پاسخ سریع و امکان ترمز ژنراتوری تا سرعت‌های بسیار پائین را دارند. محرکه‌های dc کنترل شده با برشگرها در موتورهای کششی و سرو موتورها کاربرد دارند. در موتورهای کششی، در نقل و انتقال زیرزمینی، در وسایل نقلیه باطری‌دار همچون بالابرهای چنگالی و واگنهای برقی و غیره استفاده می‌شوند، و در کاربردهای کششی با تغذیه 1500 ولت dc جایگزین کنترل کننده‌های مقاومتی شده‌اند.

در سرو موتورها از موتورهای dc تحریک جداگانه و یا موتورهای dc مغناطیس دائم استفاده می‌شود چونکه مشخصه‌های کنترلی انعطاف‌پذیر دارند. در گذشته، عموماً از موتورهای سری برای کاربردهای کششی استفاده می‌شد. در حال حاضر، موتور تحریک جداگانه نیز برای کاربردهای کششی بکار گرفته می‌شود. علت اصلی برای استفاده از موتورهای سری گشتاور بزرگ راه‌اندازی آنها بود. ولی موتور سری نیز محدودیت دارد. تحریک یک موتور سری را بسادگی نمی‌توان با مبدلهای استاتیک کنترل نمود. اگر روش کنترل تحریک بکار گرفته نشود موتور سری بایستی بنحوی طراحی شود که سرعت مبنای آن با حداکثر سرعت مطلوب محرکه برابر باشد. سرعت‌های بالاتر از سرعت مبنا با کاهش تعداد دور سیم‌بندی تحریک بدست می‌آید. البته این امر باعث می‌شود که نسبت گشتاور به آمپر در سرعت‌های کم و صفر کاهش یابد. همچنین مشکلاتی در ارتباط با ترمز ژنراتوری یک موتور سری وجود دارد که در این فصل به آنها اشاره خواهد شد. از طرف دیگر، ترمز ژنراتوری یک موتور تحریک جداگانه نسبتاً ساده است و حتی تا سرعت‌های خیلی پائین نیز قابل اجراست. بدلیل محدودیتهای موتورهای سری، موتورهای تحریک جداگانه حتی در کاربردهای کششی نیز ترجیح داده می‌شوند. لذا با این دیدگاه که در سالهای اخیر از اهمیت موتورهای سری کاسته شده است، در این فصل محرکه‌های با موتور dc سری بطور مختصر مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

برای کنترل یک موتور dc در آرایش‌های حلقه‌باز و حلقه بسته، برشگرها نسبت به یکسوکننده‌های کنترل شده برتری‌هایی دارند. بدلیل بزرگتر بودن فرکانس اعوجاج ولتاژ خروجی در برشگر، اعوجاج جریان آرمیچر موتور کمتر است و ناحیه کار غیر پیوسته در صفحه سرعت-گشتاور کوچکتر است. همانطور که در فصل قبل به آن اشاره شد کاهش اعوجاج در جریان آرمیچر، تلفات و افت قدرت اسمی را کاهش می‌دهد. همچنین کاهش یا حذف ناحیه هدایت غیر پیوسته، تنظیم سرعت و پاسخ‌گذاری محرکه را بهبود

می‌دهد. به منظور افزایش فرکانس اعوجاج در ولتاژ خروجی، روش مرسوم استفاده از یک یکسوکننده با تعداد پالس بیشتر است. استفاده از یکسوکننده با تعداد پالس بیشتر، کاهش ضریب بهره‌برداری تریستورها و هزینه نسبی بیشتر را نتیجه می‌دهد. از طرف دیگر، برشگر می‌تواند بطور قابل ملاحظه در فرکانس بزرگتری کار کند. برای مثال، یک برشگر می‌تواند در فرکانس 300 هرتز کار کند، حتی با تریستورهای معمولی. در صورتیکه از تریستورهای قدرت (سریع) استفاده شود فرکانس می‌تواند تا 600 هرتز افزایش یابد. هنگامیکه ترانزیستورهای قدرت بکار گرفته می‌شوند، فرکانس می‌تواند بالاتر از 5/2 کیلوهرتز باشد. برای کاربردهای با قدرت پائین، از ما سفت هم می‌توان استفاده نمود و فرکانس می‌تواند بالاتر از 200 کیلوهرتز باشد. ولتاژ و جریان خروجی یکسوکننده فرکانس خیلی کمتری دارند - 100 هرتز در یکسوکننده تکفاز و 300 هرتز در یکسوکننده تمام کنترل شده سه فاز - در حالیکه فرکانس منبع dc 50 هرتز باشد.

هنگامیکه منبع از نوعی ac است، یک محرکه برشگری شامل یک پل دیودی که در ادامه یک برشگر دارد گاهی اوقات ترجیح داده می‌شود. کاربرد برشگر بصورت سنکرون با ولتاژ منبع ac بهبود در ضریب قدرت خط و کاهش در اعوجاج جریان آرمیچر را نتیجه می‌دهد.

۳-۱. روشهای کنترل

یک منبع dc با ولتاژ V یک بار القایی را از طریق کلید نیمه هادی s با کموتاسیون خودی تغذیه می‌کند. از نماد یک کلید نیمه هادی با کموتاسیون خودی استفاده شده است چونکه این کلید می‌تواند با استفاده از هر قطعه‌ای ساخته شود، تریستور با مدار کموتاسیون اجباری، GTO ، ترانزیستور قدرت، و ماسفت.

۳-۲. کنترل حالت موتوری یک موتور سری

مشکل اصلی در تحلیل یک موتور سری کنترل شده برشگر، غیرخطی بودن ارتباط ولتاژ القایی E و جریان آرمیچر (بواسطه اشباع مغناطیسی) است. اثر متوسط emf متغیر را می‌توان با یک emf ثابت که با E_a نشان داده می‌شود بصورت زیر مشخص نمود:

$$E_a = K_e \phi(I_a) \omega_m = K \omega_m \quad (3-1)$$

پس فرض می‌شود که این ولتاژ القایی ثابت، تابعی از مقدار متوسط جریان آرمیچر، I_a ، است. برای یک مقدار I_a مشخص، K از مشخصه مغناطیسی موتور بدست می‌آید. مشخصه مغناطیسی موتور سری

$E(I_a)$ ، با آزمایش بی‌باری ماشین بصورت تحریک جداگانه بدست می‌آید. برای مقادیر مختلف جریان سیم‌بندی تحریک I_a ، ولتاژ القایی بدست آورده می‌شود. با تقسیم این ولتاژهای القایی بر ω_m منحنی K بر حسب I_a بدست می‌آید.

بغیر از فرضیات ساده کننده قبلی، فرض می‌شود که اندوکتانس و مقاومت مدار تحریک ثابت هستند. اندوکتانس مدار تحریک بطور قابل ملاحظه‌ای در اثر اشباع مدار مغناطیسی و جریانهای گردابی تغییر می‌کند. با اینحال تغییرات اندوکتانس روی منحنی‌های کاری حالت دائمی موتور اثرات کوچکی دارد.

۳-۳. ترمز ژنراتوری موتورهای DC

در شرایطی که یک موتور با یک منبع ولتاژ ثابت تغذیه می‌شود، ترمز ژنراتوری در موتور فقط برای سرعت‌های بالاتر از سرعت نامی امکانپذیر است. ولی با استفاده از کنترل برشگری، این امکان فراهم می‌شود تا ترمز ژنراتوری برای سرعت‌های حتی تا نزدیکی صفر نیز امکان پذیر شود. این ویژگی در موتورهای حمل و نقل زیرزمینی و خودروهایی که با باتری کار می‌کنند، سبب صرفه‌جویی بزرگی در انرژی مصرفی می‌شود. در مورد خودروهایی که با باتری کار می‌کنند، قدرت ژنراتوری در باتری ذخیره می‌شود نتیجتاً، خودرو مسافت بیشتری را قبل از نیاز با شارژ مجدد می‌تواند طی کند. بدون کنترل با برشگر، یک موتور سری را نمی‌توان با استفاده از ترمز ژنراتوری ترمز نمود. با بکارگیری کنترل برشگری امکان ایجاد شرایط ترمز ژنراتوری برای موتور سری فراهم می‌شود. با اینحال ترمز ژنراتوری برای موتور سری بسادگی موتورهای تحریک جداگانه نیست.

۳-۴. کنترل جریان

بدلیل قابلیت کلید نیمه‌هادی با کموتاسیون خودی در قطع شدن در هر لحظه، کنترل حد جریان به روشهای مختلفی قابل پیاده‌سازی است. مقدار لحظه‌ای جریان (بجای مقدار متوسط آن در مورد یکسوکننده‌ها) آرمیچر با مقدار حداکثر مجاز (لحظه‌ای) آن مقایسه می‌شود. اگر جریان از این حد جریان عبور کند، کلید S قطع می‌شود. اینکار بطور خودکار ضریب وظیفه را بنحوی تنظیم می‌کند که جریان در حد بی‌خطر و مجاز باقی می‌ماند.

۳-۵. کنترل چند ربعی موتورهای تغذیه با برشگر

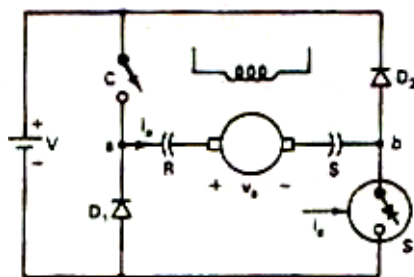
کنترل چند ربعی موتورهای dc که شامل ترمز ژنراتوری باشد در اینجا مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد، یک حلقه کنترل جریان، قسمتی از چنین محرکه‌هایی را تشکیل می‌دهد. در حالات گذرا، این حلقه کنترلی از افزایش جریان از حد مجاز آن جلوگیری می‌کند و در برخی کاربردها نیز مقدار جریان را در بیشتر طول زمان حالت گذرا در مقدار حداکثر خود نگاه می‌دارد تا پاسخ سریع حاصل شود. مشابه حالت برشگرهای تک ربعی که قبلاً تشریح شدند، در برشگرهای چند ربعی نیز یک فیلتر بین منبع و برشگر قرار داده می‌شود. برای سادگی، حلقه کنترل جریان و فیلتر در مدارهای برشگر که در این بخش تشریح می‌شوند نشان داده نخواهند شد.

۳-۵-۱. کنترل دور ربعی شامل حالت موتوری مستقیم و ترمز ژنراتوری مستقیم

در این حالت به یک برشگر با ولتاژ مثبت و قابلیت عبور جریان در هر دو جهت نیاز است. کنترل دو ربعی موتورهای dc بصورت فوق با یکی از دو روش زیر می‌تواند انجام شود.

طرح I : یک برشگر همراه با یک کلید معکوس کننده. مدارهای برشگر مربوط به حالت موتوری مستقیم و مربوط به حالت ترمز ژنراتوری مستقیم را می‌توان ترکیب نمود و مدار برشگر شکل $I-3$ را بدست آورد.

S یک کلید نیمه هادی با کموتاسیون خودی است، که بطور متناوب کار می‌کند و برای مدت زمان δT بسته است و برای مدت زمان $(1-\delta) T$ باز باقی می‌ماند. C یک کلید دستی است. هنگامیکه C بسته و S در حال کار است. که حالت موتوری مستقیم است. در این وضعیت، سر a نسبت به سر b مثبت است. ترمز ژنراتوری در جهت مستقیم هنگامی بدست می‌آید که کلید C باز می‌شود و اتصال آرمیچر با استفاده از کلید معکوس کننده RS عوض می‌شود، که در نتیجه آن سر b نسبت به سر a مثبت می‌شود.



شکل $I-3$ کنترل موتوری مستقیم و ترمز ژنراتوری با یک برشگر منفرد

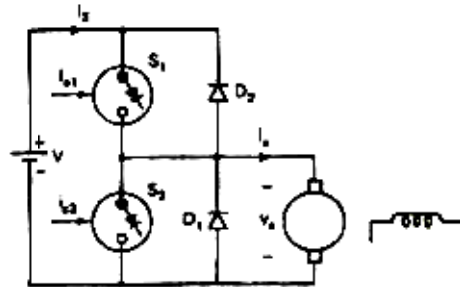
در مدت روشن بودن کلید S ، جریان موتور از مسیر شامل آرمیچر موتور، کلید S و دیود D_1 بسته می‌شود، و انرژی ذخیره شده در اندوکتانس مدار آرمیچر را افزایش می‌دهد. هنگامیکه کلید S باز می‌شود، جریان در مسیر آرمیچر، دیود D_2 ، منبع V ، دیود D_1 عبور کرده و به آرمیچر باز می‌گردد و انرژی را به منبع تحویل می‌دهد. در حالت کار موتوری، تغییر وضعیت به حالت ترمز ژنراتوری در قدمهای زیر انجام می‌شود. کلید S غیر فعال و C باز می‌شود. این عمل باعث می‌شود که جریان آرمیچر مجبور شود از طریق D_2 ، منبع V و دیود D_1 مسیر خود را ببندد. انرژی ذخیره شده در مدار آرمیچر به منبع باز می‌گردد و جریان توسط کلید RS معکوس می‌شود، سپس کلید S با مقدار مناسب δ مجدداً فعال شده تا حالت ترمز ژنراتوری شروع شود.

مدار برشگر شکل 1-3 برای یک موتوری سری نیز قابل استفاده است. آرمیچر آن مطابق شکل در مدار قرار می‌گیرد و تحریک آن بین a و R یا بین S و b قرار می‌گیرد. مدار تحریک برای اطمینان از آنکه جهت جریان تحریک برای هر دو حالت موتوری و ترمزی یکسان باقی بماند، در خارج کلید RS بسته می‌شود. در حالت موتوری، سر طرف چپ آرمیچر نسبت به سر طرف راست مثبت است. پس از تغییر وضعیت (C باز، آرمیچر معکوس، صفر شدن جریان موتور)، بدلیل پس ماند مغناطیسی، آرمیچر مقداری ولتاژ القایی دارد که در اینحالت طرف راست آن مثبت است. در مدت زمان روشن بودن کلید S ، ولتاژ القایی، جریانی را از مسیر شامل آرمیچر، S ، D_1 و تحریک عبور می‌دهد. جهت جریان بنحوی است که شار پس ماند را تقویت کند. نتیجتاً، ولتاژ القایی

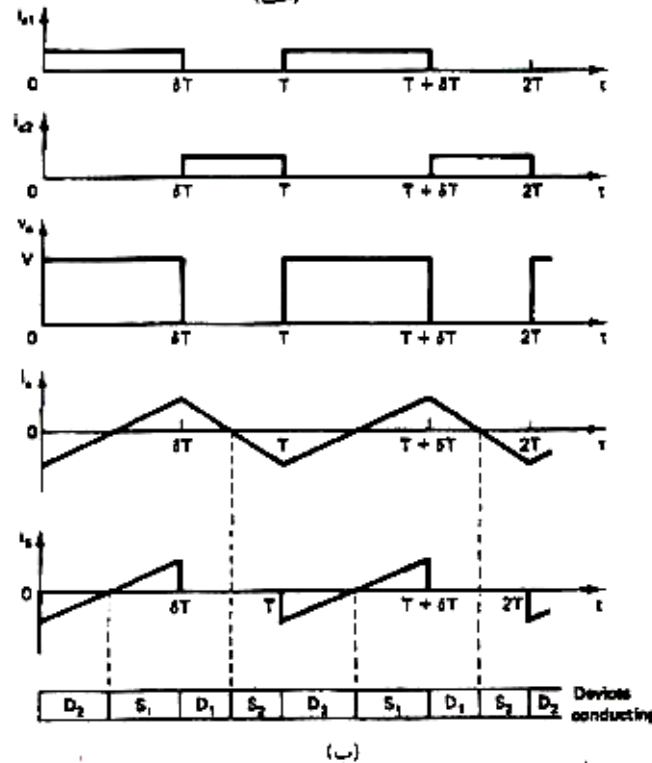
بصورت خود تحریک افزایش می‌یابد. بایستی توجه شود که در اینجا جهت میدان عکس نمی‌شود زیرا با تعویض جهت میدان، ماشین نمی‌تواند خود را تحریک کند. این روش در قطارهای زیرزمینی (مترو) و اتومبیل‌های برقی بطور وسیع استفاده می‌شود.

طرح 2: برشگر دوربعی کلاس C . در برخی کاربردها، نظیر محرکه‌های سرو مکانیسم و ماشینهای ابزار و غیره، حالت گذاری ملایمی از حالت موتوری به ترمزی و برعکس مورد نیاز است. برای این کاربردها از برشگر کلاس C شکل 2-3 الف استفاده می‌شود. کلید نیمه‌هادی S_1 با کموتاسیون خودی و دیود D_1 یک برشگر و کلید نیمه هادی S_2 با کموتاسیون خودی و دیود D_2 برشگر دیگر را تشکیل می‌دهند. هر دو برشگر برای حالت موتوری و ترمزی بطور همزمان کنترل می‌شوند. کلیدهای S_1 و S_2 بطور متناوب بسته می‌شوند. در پیوند کار برشگر T ، S_1 در مدت زمان δT روشن و S_2 در مدت زمان δT تا T روشن

هستند. برای جلوگیری از اتصال کوتاه منبع بایستی دقت نمود که S_1 و S_2 بطور همزمان هدایت نکنند. این عمل عموماً با ایجاد یک تاخیر مناسب بین قطع یکی از کلیدها و وصل دیگری انجام می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل 2-3 کنترل موتوری و ترمزی مستقیم با استفاده از برشگر دو ربعی کلاس C

الف) مدار برشگر (ب) شکل موجها

شکل موجهای سیگنال‌های کنترلی، i_a, v_a و i_s و هدایت کلیدهای مختلف در هر زمان برای یک پریود کار برشگر در شکل 2-3 ب نشان داده شده‌اند. در ترسیم این شکل موجها از تاخیر بین قطع بین یک کلید و وصل کلید دیگر، که معمولاً خیلی کوچک است، صرف نظر شده است. سیگنال‌های کنترلی برای

S_1 و S_2 به ترتیب با i_{c1} و i_{c2} نشان داده شده‌اند. در اینجا فرض می‌شود که هدایت کلید هنگامی رخ می‌دهد که سیگنال کنترلی به آن اعمال شود و کلید در گرایش مستقیم قرار بگیرد.

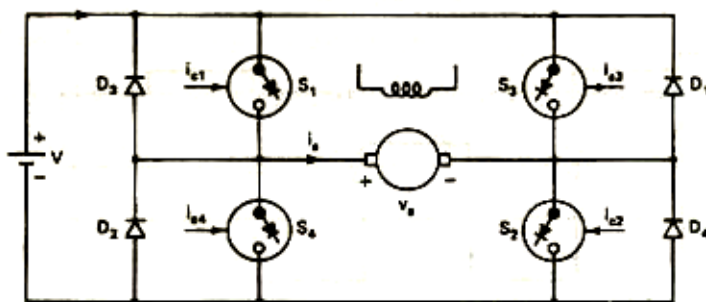
2-5-3 کنترل چهارربعی

عملکرد چهارربعی با استفاده از برشگر کلاس E مطابق شکل 3-3 حاصل می‌شود. این برشگر را با روشهای زیر می‌توان کنترل نمود.

روش I . اگر S_2 بطور دائم بسته نگاه داشته شود و S_1 و S_4 کنترل شوند، در آن صورت یک برشگر دورربعی همانند شکل 2-3 الف حاصل می‌شود. تحت این شرایط یک برشگر با ولتاژ مثبت و قابلیت عبور جریان در دو جهت بدست می‌آید که کنترل موتور در ربع I و II را نتیجه می‌دهد.

حال اگر S_3 بطور پیوسته بسته نگاه داشته شود و S_1 و S_4 کنترل شوند، یک برشگر دورربعی بدست می‌آید، که ولتاژ منفی و قابلیت عبور جریان در دو جهت را دارد و نتیجتاً کنترل موتور در دو ربع III و IV امکان پذیر می‌شود.

برای تغییر وضعیت از موتوری مستقیم به موتوری معکوس مراحل زیر بایستی دنبال شوند. در ربع اول S_2 همواره روشن است و S_1 و S_4 بایستی کنترل شوند. برای تغییر وضعیت، δ به حداقل مقدار خود کاهش می‌یابد. جریان موتور معکوس می‌شود و به حداکثر مقدار مجاز خود می‌رسد.



شکل 3-3) برشگر چهار ربعی کلاس E

حلقه کنترل جریان از عبور جریان از حد مجاز جلوگیری می‌کند. سرعت موتور با حداکثر گشتاور شروع به کاهش می‌کند و به صفر می‌رسد. حال S_2 باز می‌شود، S_3 بطور دائم بسته می‌شود و δ برای جفت S_1 و S_4 بنحوی تنظیم می‌شود که سرعت مطلوب حاصل شود. حال موتور با حداکثر گشتاور در جهت

معکوس سرعت می‌گیرد و جریان موتور هم توسط حلقه کنترل جریان تنظیم می‌شود. نهایتاً موتور در سرعت مطلوب مستقر می‌شود.

این روش کنترل ویژگیهای زیر را دارد: ضریب بهره‌برداری (استفاده) از کلیدها بواسطه عدم تقارن در کار مدار پائین است. کلیدهای S_2 و S_3 بایستی برای زمانهای طولانی روشن نگاه داشته شوند. این امر هنگامیکه از تریستورها بعنوان کلید استفاده می‌شود می‌تواند مشکلات کموتاسیون پدید آورد. حداقل ولتاژ خروجی بطور مستقیم به حداقل زمانی که کلید می‌تواند بسته باشد بستگی دارد. چون همواره یک حد روی حداقل زمان بسته بودن یک کلید وجود دارد، بخصوص در برشگرهای تریستوری، حداقل ولتاژ خروجی در دسترس و بنابراین حداقل سرعت موتور محدود می‌شود.

برای اطمینان از اینکه کلیدهای S_1 و S_4 و S_3 و S_2 بطور همزمان روشن نخواهند بود، یک فاصله زمانی ثابت بین قطع یک کلید و روشن شدن کلید بعدی بایستی وجود داشته باشد. این قید، حداکثر فرکانس مجاز کار را محدود می‌کند. همچنین در هر سیکل ولتاژ خروجی دوبار کلید زنی لازم است. روش II این برشگر، یک جریان مثبت و ولتاژ مثبت یا منفی را می‌تواند ایجاد کند. بنابراین، کنترل موتور در ربع I و ربع IV امکان پذیر است. کلیدهای S_4 و S_3 همراه با دیودهای D_3 و D_4 برشگر دیگری را تشکیل می‌دهند که کنترل موتور در ربع II و III را امکان پذیر می‌سازد.

تغییر وضعیت از ربع I به ربع III با اجرای مراحل زیر حاصل می‌شود. در ربع I، کلیدهای S_1 و S_2 با $0.5 < \delta < 1$ کنترل می‌شوند. جهت جریان آرمیچر در شکل 3-3 نشان داده شده است. برای تغییر وضعیت، S_1 و S_2 خاموش می‌شوند. جریان آرمیچر اینک از دیود D_1 و منبع V و دیود D_2 عبور می‌کند و سریعاً صفر می‌شود. جهت نیروی ضد محرکه موتوری به گونه‌ای است که طرف چپ مثبت است. اکنون کلیدهای S_4 و S_3 با $0 < \delta < 0.5$ کنترل می‌شوند، اما به $5/0$ هم می‌رسد. جریان موتور در جهت عکس جاری می‌شود و به حداکثر مقدار خود می‌رسد. حلقه کنترل جریان با تنظیم δ از عبور جریان موتور از مقدار حداکثر مجاز آن جلوگیری می‌کند. سرعت موتور در حداکثر گشتاور کاهش می‌یابد و به صفر می‌رسد. حال δ متناظر با سرعت مطلوب تنظیم می‌شود ($0.5 < \delta < 1$). موتور در حداکثر گشتاور شتاب می‌گیرد، در حالیکه جریان آن توسط حلقه کنترل جریان تنظیم می‌شود نهایتاً موتور در سرعت مطلوب و در جهت عکس به حالت پایدار می‌رسد.

ویژگیهای این روش کنترل نسبت به روش I به شرح زیر است: در ولتاژهای خروجی نزدیک صفر، هر کلید بایستی برای مدتی تقریباً معادل با T ثانیه روشن باشد، در حالیکه در روش I این زمان در حدود

صفر است. بنابراین محدودیتی در حداقل ولتاژ و حداقل سرعت موتور وجود ندارد همچنین هیچ وقفه‌ای بین قطع یک کلید و وصل کلید بعدی لازم نیست. در نتیجه فرکانس کار می‌تواند بزرگتر باشد. تلفات کلید زنی کمتر است زیرا در هر پریود ولتاژ خروجی فقط یک کلید زنی انجام می‌شود. بدلیل عملکرد متقارن، ضریب استفاده از کلیدها بهتر است.

روش **III** این روش، روش **II** اصلاح شده است. در روش **II**، کلیدهای S_1 و S_4 و دیودهای D_3 و D_4 عملی می‌سازد. در روش **II**، کلیدهای S_1, S_2 همراه با دیودهای D_1, D_2 یک برشگر را تشکیل می‌دهند که کنترل موتور در ربع **I** و ربع **IV** را فراهم می‌آورد. برشگر دوم، کنترل در ربع **II** و ربع **III** را با استفاده از کلیدهای S_3, S_4 و دیودهای D_3, D_4 عملی می‌سازد. در روش **II**، این برشگرها بطور مجزا کنترل می‌شوند. در روش حاضر هر دو برشگر بطور همزمان کنترل می‌شوند.



۴. فصل چهارم، کنترل حلقه بسته محرکه‌های DC

زمانیکه آرایشهای حلقه باز نمی‌توانند دقت مطلوب در کنترل سرعت محرکه در حالت دائمی را برآورده سازند، محرکه بصورت یک سیستم حلقه بسته بایستی بکار گرفته شود. حلقه‌های فیدبک اضافی شرایط محدود کردن پارامترها به حدود بی‌خطر یا قابل قبول و بهبود عملکرد دینامیک سیستم را فراهم می‌سازند. در اینجا ما بر روی سیستم‌های محرکه سرعت متغیر حلقه بسته که بطور گسترده در صنعت استفاده می‌شوند، متمرکز خواهیم شد. قدرت نامی چنین محرکه‌هایی در محدوده کسری از کیلووات تا ده هزار کیلو وات و بیشتر قرار می‌گیرد. محرکه‌های حلقه بسته شامل یکسو کننده‌های از محرکه‌های شامل برشگرها استفاده می‌شوند. از این جهت در اینجا محرکه‌های شامل یکسو کننده‌ها تشریح می‌شوند. همین طرحها در محرکه‌های شامل برشگرها نیز استفاده می‌شوند.

۴-۱. محرکه‌های سرعت متغیر تک ربعی

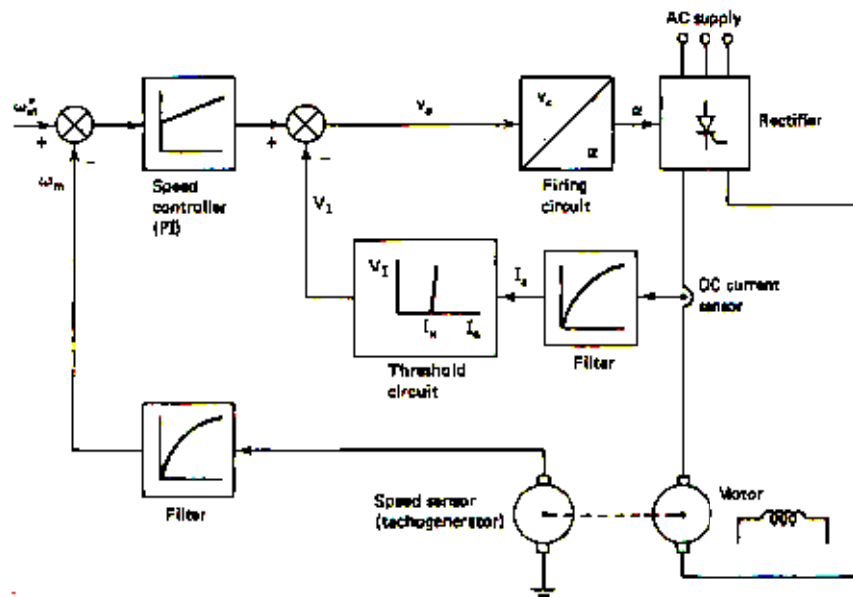
۴-۱-۱. کنترل ولتاژ آرمیچر در تحریک ثابت

طرح اصلی سیستم کنترل سرعت حلقه بسته شامل محدود کننده جریان که با نام کنترل جریان موازی نیز شناخته می‌شود، در شکل 1-5 الف نشان داده شده است. ω_m^* سرعت مرجع را تعیین می‌کند. سیگنالی متناسب با سرعت موتور از سنسور سرعت دریافت می‌شود. خروجی سنسور سرعت پس از عبور یک فیلتر برای حذف اعوجاج ac ، در یک مقایسه کننده با سرعت مرجع مقایسه می‌شود. خطای سرعت در یک کنترل کننده سرعت پردازش می‌شود و خروجی آن V_c ، زاویه آتش یکسو کننده، a را برای آنکه سرعت واقعی به سرعت مرجع نزدیک شود، تعیین می‌کند. کنترل کننده سرعت اغلب یک کنترل کننده PI (تناسبی، انتگرالی) است و سه وظیفه بر عهده دارد- پایدارسازی محرکه و تنظیم ضریب میرایی در مقدار مطلوب، به صفر رساندن خطای سرعت در حالت دائمی بتوسط خاصیت انتگرالی، خارج نمودن نویز بتوسط خاصیت انتگرالی آن. در سیستم‌های کنترل حلقه بسته اغلب از کنترل کننده‌های PD (تناسبی، دیفرانسیلی) و PID (تناسبی، انتگرالی، دیفرانسیلی) استفاده می‌شود. اما در محرکه‌هایی که از مبدل‌های استاتیکی استفاده می‌کنند کمتر کاربرد دارند که این به دلیل حضور نویز و اعوجاج ذاتی در جریان و سیگنال‌های فیدبک سرعت است.

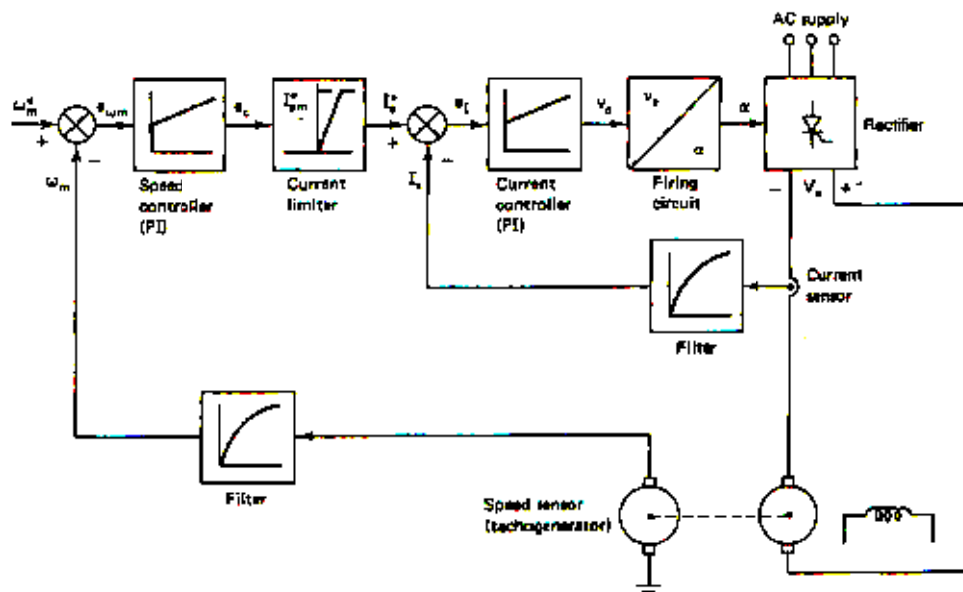
مادامیکه $I_a < I_x$ است، که I_x ماکزیمم مقدار مجاز I_a است، حلقه کنترل جریان روی کارمحرکه اثری ندارد. اگر I_a از I_x بیشتر شد، حتی به یک مقدار کوچک، یک سیگنال خروجی بزرگ بتوسط مدار آستانه ۱ ایجاد می شود، کنترل جریان بر کنترل سرعت غالب می شود، و خطای سرعت در یک جریان ثابت برابر با مقدار ماکزیمم مجاز آن تصحیح می شود. هنگامیکه سرعت به نزدیکی مقدار مطلوب خود رسید، I_a از I_x کمتر می شود، فعالیت حلقه کنترل جریان متوقف می شود و حلقه کنترل سرعت وارد عمل می شود. پس در این طرح، در هر لحظه، کار محرکه توسط حلقه کنترل سرعت یا حلقه کنترل جریان کنترل می شود، و بنابراین بنام کنترل جریان موازی نیز نامیده می شود.

طرح دیگر کنترل حلقه بسته سرعت در شکل 4-1 ب نشان داده شده است. در این طرح یک حلقه کنترل جریان داخلی و یک حلقه کنترل سرعت خارجی وجود دارد. حلقه سرعت اساساً همانند سرعت ذکر شده برای حالت قبلی، کنترل حد جریان، است. خطای سرعت در کنترل کننده سرعت، که برای سه منظور ذکر شده در بالا بکار می رود، پردازش می شود. خروجی کنترل کننده سرعت e_c به یک محدود کننده جریان که جریان مرجع I_a^* را برای حلقه داخلی کنترل جریان تعیین می کند، اعمال می شود.

جریان آرمیچر بتوسط یک سنسور جریان دریافت می شود و به منظور حذف اعوجاج از یک فیلتر، ترجیحاً یک فیلتر اکتیو، عبور داده می شود، و با جریان مرجع I_a^* مقایسه می شود. خطای جریان در یک کنترل کننده PI ، که همان سه وظیفه اشاره شده قبل را انجام می دهد، پردازش می شود. البته لزومی در به صفر رساندن خطای جریان در حالت دائمی وجود ندارد.



(الف) محرکه با کنترل حد جریان



(ب) محرکه با حلقه داخلی کنترل جریان

شکل 4-1) کنترل حلقه بسته سرعت برای محرکه یک ربعی

خروجی کنترل کننده جریان V_c زاویه آتش مبدل را تنظیم می کند به نحویکه سرعت واقعی به مقدار ω_m^* نزدیک شود. هر خطای مثبت سرعت، ناشی از افزایش در سیگنال فرمان سرعت یا ناشی از افزایش در گشتاور بار، یک جریان I_a^* بزرگتر ایجاد می کند. موتور در اثر افزایش در I_a شتاب می گیرد، تا

خطای سرعت را تصحیح کند و نهایتاً در I_a^* جدید مستقر شود که در آن گشتاور موتور و بار با هم برابرند و خطای سرعت به صفر نزدیک شده است. برای هر خطای مثبت و بزرگ سرعت، محدودکننده جریان اشباع می‌شود و جریان مرجع I_a^* به مقدار I_{am}^* محدود می‌شود، و اجازه داده نمی‌شود که جریان محرکه از مقدار ماکزیمم مجاز عبور کند. خطای سرعت در ماکزیمم جریان آرمیچر مجاز تصحیح می‌شود تا خطای سرعت کوچک شود محدود کننده جریان از اشباع خارج شود. حال خطای سرعت با I_a کمتر از مقدار مجاز ماکزیمم تصحیح می‌شود.

یک خطای منفی سرعت، جریان مرجع I_a^* را در یک مقدار منفی مستقر می‌سازد. چون جریان موتور نمی‌تواند معکوس شود، یک I_a^* منفی استفاده‌ای ندارد. با اینحال کنترل کننده PI را شارژ می‌کند. هنگامیکه خطای سرعت مثبت شود، کنترل کننده PI شارژ شده پاسخ زمانی طولانی‌تر خواهد داشت، و سبب تاخیر در عمل کنترل می‌شود. بنابراین محدودکننده جریان یک جریان مرجع صفر برای خطاهای منفی سرعت مهیا می‌سازد.

چون حلقه کنترل سرعت و حلقه کنترل جریان بصورت پشت سرهم قرار گرفته‌اند، حلقه داخلی جریان بنام کنترل آشاری ۱ نیز نامیده می‌شود. همچنین به آن کنترل هدایت شده جریان نیز گفته می‌شود. از این روش بدلیل مزایای زیرمعمولاً بیش از روش کنترل حد جریان استفاده می‌شود.

این روش پاسخ سریعتری نسبت به هر اغتشاش در ولتاژ منبع دارد. این موضوع را با در نظر گرفتن پاسخ دو سیستم محرکه به کاهشی در ولتاژ منبع می‌توان توضیح داد. یک کاهش در ولتاژ منبع، جریان و گشتاور موتور را کاهش می‌دهد. در کنترل حد جریان، سرعت افت می‌کند.

چونکه گشتاور موتور کمتر از گشتاور بار، که عوض هم نشده است، می‌باشد. خطای سرعت حاصله با تنظیم زاویه آتش یکسو کننده در مقداری کمتر، به مقدار ابتدایی آورده می‌شود. پاسخ محرکه اساساً بتوسط ثابت زمانی مکانیکی آن مشخص می‌شود. زمانیکه حلقه داخلی کنترل جریان بکار گرفته می‌شود، کاهش در سرعت موتور، ناشی از کاهش در ولتاژ منبع، یک خطای جریانی ایجاد می‌کند که باعث تغییر زاویه آتش یکسوکننده شده تا جریان آرمیچر را به مقدار اولیه آن با زگرداند. پاسخ گذرا در اینحالت بتوسط ثابت زمانی الکتریکی موتور تعیین می‌شود. چون ثابت زمانی الکتریکی یک محرکه

نسبت به ثابت زمانی مکانیکی آن خیلی کوچکتر است، حلقه داخلی کنترل جریان پاسخ سریعتری به اختلال ولتاژ ورودی می‌دهد.

کمی بعد توضیح خواهیم داد که برای الگوهای مشخصی از زاویه آتش، یکسوکننده به‌مراه مدار کنترل و در شرایط هدایت پیوسته بصورت یک ضریب بهره ثابت عمل می‌کند. محرکه برای این بهره بنحوی طراحی می‌شود که ضریب میرایی $707/0$ داشته باشد، که در اینحالت، مقدار جهش ۱ برابر 5 درصد است. در شرایط هدایت غیر پیوسته، بهره کاهش می‌یابد. هرچه زاویه هدایت کاهش بیشتری داشته باشد، کاهش بهره نیز بیشتر است. پاسخ محرکه در حالت هدایت غیر پیوسته کند می‌شود و با کاهش زاویه هدایت، خرابتر می‌شود. اگر طراحی محرکه بنحوی باشد که برای کار بصورت غیر پیوسته پاسخ زمانی سریع داشته باشد. در حالت هدایت پیوسته ممکن است محرکه پاسخ نوسانی یا حتی ناپایدار داشته باشد. جریان یک حلقه بسته در اطراف یکسوکننده و سیستم کنترل ایجاد می‌کند، و بنابراین، تغییرات بهره آنها روی عملکرد محرکه اثر خیلی کمتری می‌گذارد. لذا، پاسخ گذاری محرکه با حلقه داخلی جریان نسبت به کنترل حد جریان برتری دارد.

در روش کنترل حد جریان، قبل از آنکه عمل کنترل حد جریان آغاز شود بایستی در ابتدا جریان از مقدار مجاز فراتر رود. چون زاویه آتش تنها بصورت مقادیر گسسته تغییر می‌کند، قبل از آنکه محدودساز جریان فعال شود، در جریان جهش ایجاد می‌شود.

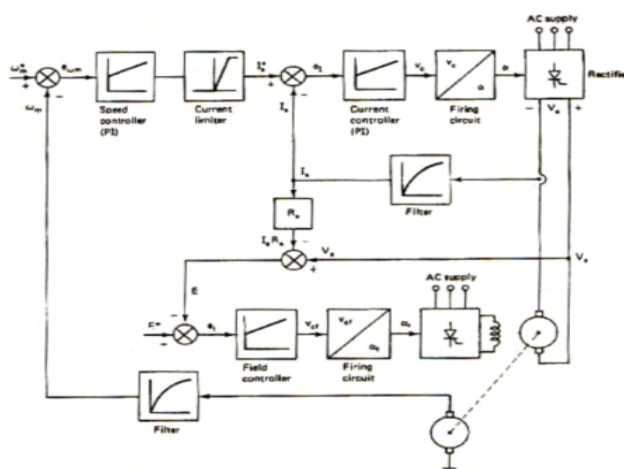
موتورهای کوچک نسبت به جریانهای گذرای شدید بسیار پرتاقت تر هستند. بنابراین، برای بدست آوردن یک پاسخ گذرای سریع، با انتخاب یک یکسوکننده با ظرفیت بزرگتر اجازه عبور جریانهای گذرای بسیار بزرگتر داده می‌شود. رگولاسیون جریان فقط برای مقادیر غیر عادی جریان لازم می‌شود. در چنین حالاتی برای سادگی، کنترل حد جریان بکار گرفته می‌شود.

هر دو طرح پاسخهای متفاوتی برای افزایش و کاهش در سیگنال فرمان سرعت دارند. یک کاهش در سیگنال فرمان سرعت حداکثر می‌تواند گشتاور موتور را صفر کند، نمی‌تواند آن را معکوس کند چونکه ترمز امکان‌پذیر نیست. محرکه اساساً بدلیل گشتاور بار سرعتش کم می‌شود و زمانیکه گشتاور بار کم است، پاسخ به یک کاهش در سیگنال فرمان سرعت آرام خواهد بود. بنابراین، این محرکه‌ها برای بارهای با گشتاور بزرگ مناسب هستند، همچون ماشینهای کاغذ و چاپ، پمپها، و بارهای پنکه‌ای.

۴-۱-۲. تضعیف تحریک

طرح‌های شکل 4-1 می‌توانند کنترل سرعت تا سرعت مبنا را فراهم آورند. برای کنترل سرعت در بالاتر از سرعت مبنا، بایستی کنترل تحریک و کنترل ولتاژ آرمیچر را با هم ترکیب نمود. ترجیحاً، کنترل سرعت از صفر تا سرعت مبنا در بیشترین مقدار تحریک و با کنترل ولتاژ آرمیچر بایستی انجام شود و کنترل در بالاتر از سرعت مبنا بایستی با تضعیف تحریک و در ولتاژ نامی آرمیچر انجام شود. این استراتژی با استفاده از طرح نشان داده شده در شکل 4-2 تقریباً قابل اجراست. این طرح یک حلقه کنترل داخلی جریان همراه با یک حلقه اضافی برای کنترل تحریک است. جریان تحریک بتوسط یک یکسوکنده کنترل شده کنترل می‌شود.

در حلقه کنترل تحریک، نیروی ضد محرکه الکتریکی $E = (V_a - I_a R_a)$ با یک ولتاژ مرجع E^* که بین 85/0 تا 95/0 مقدار ولتاژ نامی آرمیچر انتخاب می‌شود، مقایسه می‌شود. مقادیر بزرگتری برای موتورهای با آرمیچر با مقاومت پائین استفاده می‌شود. برای سرعت‌های زیر سرعت مبنا، کنترل کننده تحریک در اثر بزرگ بودن خطای e_f اشباع می‌شود، و ولتاژ نامی را به مدار تحریک اعمال می‌کند. این امر باعث می‌شود که در زیر سرعت مبنا، جریان تحریک در مقدار حداکثر خود باشد. زمانیکه سرعت به سرعت مبنا نزدیک شود، کنترل کننده تحریک از اشباع خارج می‌شود. حال اگر سرعت مرجع ω_m^* برای سرعتی بالاتر از سرعت مبنا تنظیم شود، یک خطای مثبت سرعت e_{ω_m} ایجاد می‌شود و جریان مرجع I_a^* درمقداری بزرگتر قرار می‌گیرد. زاویه آتش یکسوکنده آرمیچر کاهش می‌یابد تا در ابتدا V_a را زیاد کند. موتور شتاب می‌گیرد، E زیاد می‌شود، و خطای درون حلقه کنترل تحریک e_f کاهش می‌یابد. که جریان تحریک را کم می‌کند.



شکل 4-2) کنترل حلقه بسته آرمیچر همراه با تضعیف تحریک

در یک روند کاهش جریان تحریک، سرعت موتور همچنان افزایش می‌یابد تا آنکه سرعت موتور در مقدار مطلوب ω_m^* مستقر شود. چون در این زمان خطای سرعت e_{ω_m} کوچک خواهد بود، V_a به نزدیکی مقدار ابتدایی خود باز می‌گردد. پس، کنترل سرعت در بالاتر از سرعت مبنا با کاهش تحریک و ثابت نگه‌داشتن ولتاژ آرمیچر در نزدیکی مقدار نامی آن حاصل خواهد شد.

در ناحیه‌ای که تحریک تضعیف می‌شود، بدلیل ثابت زمانی بزرگ مدار تحریک، محرکه خیلی آرام پاسخ می‌دهد. گاهی اوقات برای بهبود پاسخ گذرا از تقویت تحریک استفاده می‌شود، اما اینکار، کار کنترل را پیچیده می‌کند. ممکن است شخص از یک یکسوکننده نیمه کنترل شده استفاده کند اما اغلب یک یکسوکننده تمام کنترل شده ترجیح داده می‌شود. بدلیل قابلیت در معکوس کردن ولتاژ، یک یکسوکننده تمام کنترل شده می‌تواند جریان تحریک را خیلی سریعتر کاهش دهد.

۴-۱-۳. جزئیات بلوک‌های مختلف محرکه‌های حلقه بسته

جزئیات بلوک‌های مختلف شکل‌های 4-1 و 4-2 در قسمت زیر تشریح می‌شوند.

۴-۱-۳-۱. سنسور سرعت

برای تشخیص سرعت از دو روش می‌توان استفاده نمود: با ولتاژ القایی و با استفاده از تاکومتر. در تحریک ثابت، سرعت با ولتاژ القایی E متناسب است. بنابراین، اگر از کنترل تحریک استفاده نشود، با اندازه‌گیری E از عبارت $(V_a - I_a R_a)$ می‌توان سرعت را معین نمود. دقت اندازه‌گیری بدلیل وجود مشکل در تعیین دقیق I_a به سبب حضور اعوجاج جریان، تغییرات شار در اثر اغتشاشات موجود در منبع، و تغییرات درجه حرارت سیم‌بندیهای تحریک و آرمیچر متأثر می‌شود. این روش گران نیست و اندازه‌گیری سرعت با دقت 2 درصد سرعت مبنا را فراهم می‌سازد.

تنظیم دقیق‌تر سرعت با استفاده از یک تاکومتر که بتوسط موتور می‌چرخد حاصل می‌شود. یک تاکومتر یک ژنراتور ac یا dc است که یک مشخصه بسیار خطی بین سرعت و ولتاژ خروجی آن وجود دارد. برای محرکه‌های dc ، اغلب تاکومتر dc استفاده می‌شود. یک تاکومتر dc با یک تحریک مغناطیس دائم و گاهی اوقات با جاروبکهای نقره‌ای، برای کاهش افت ولتاژ اتصال بین جاروبک و کموتاتور، ساخته می‌شود. ولتاژهای خروجی مرسوم 10 ولت بازا هر $rpm1000$ است. در ولتاژ خروجی تاکومتر اعوجاجی با فرکانس متناسب با سرعت وجود دارد. در سرعتهای کم، با استفاده از فیلتر با ثابت زمانی به اندازه کافی

بزرگ می‌توان سیگنال خروجی را به اندازه کافی فیلتر نمود که اینکار بر روی دینامیک محرکه اثر می‌گذارد. گاهی اوقات برای غلبه بر این مسئله از تاکومترهای مخصوص با قطر بزرگ و تعداد زیاد قطعات کموتاتور استفاده می‌شود. تاکومترهایی وجود دارند که با دقت $\pm 1/0$ درصد سرعت را اندازه‌گیری می‌کنند. تاکومتر بایستی بتوسط یک اتصال سخت قابل پیچش به محور موتور متصل شود بنحویکه فرکانس طبیعی سیستم شامل آرمیچر موتور و تاکومتر به اندازه کافی از پهنای باند حلقه کنترل سرعت دور باشد. زمانیکه دقت بسیار بالا در اندازه‌گیری سرعت لازم باشد، بطور مثال در تجهیزات کامپیوتری غلطکهای صنایع کاغذ و غیره، از تاکومترهای دیجیتال استفاده می‌شود. در یک تاکومتر دیجیتال از یک رمزکننده ۱ روی محور که فرکانسی متناسب با سرعت موتور می‌دهد استفاده می‌شود. یک رمزکننده شامل یک صفحه پلاستیکی شفاف با یک دیسک آلومینیمی است که به محور موتور متصل می‌شود. بر روی نوار محیطی خارجی دیسک پلاستیکی شفاف با نوارهای رنگی سیاه رنگی می‌شود بنحویکه نوار محیطی بصورت نوارهای شفاف و غیر شفاف در می‌آید. در یک دیسک آلومینیمی، بر روی نوار محیطی خارجی آن، تعدادی حفره یا شیار بصورت یکنواخت ایجاد می‌شود. یک واحد اپتوکوپلر ۲، شامل یک منبع نوری و یک گیرنده نوری، بنحوی روی این دیسکها نصب می‌شود که دیسک می‌تواند آزادانه بین منبع و گیرنده نوری بچرخد. هرگاه قسمت شفاف یا شیار یا حفره دیسک پلاستیکی یا آلومینیمی چرخان از مقابل فرستنده و گیرنده نوری عبور کند یک پالس ولتاژ در اپتوکوپلر ایجاد می‌شود. فرکانس قطار پالس تولیدی با سرعت محور متناسب است.

۴-۱-۳-۲. سنسور جریان آرمیچر

برای اجتناب از واکنش بین مدار کنترل، که سیگنال‌های ضعیف ولتاژ جریان دارد و مدار قدرت که دارای ولتاژ و جریان بالا و هارمونیکها می‌باشد، بایستی بین دو مدار ایزولاسیون وجود داشته باشد. بنابراین بجز در مبدلهای ولتاژ پائین، در اندازه‌گیری جریان بایستی ایزولاسیون لازم فراهم شده باشد. جریان در سمت *ac* یکسو کننده، بجز در مواردیکه از پدیده هرزه‌گردی استفاده می‌شود، حاوی اطلاعاتی مربوط به جریان سمت *dc* (جریان آرمیچر) یکسوکننده است. خروجی یکسو شده ترانسفورمرهای جریان، همراه با اولیه آنها که به خطوط *ac* وصل شده‌اند، سیگنالی متناسب با جریان آرمیچر ایجاد می‌کنند. یک ترانسفورمر جریان تکفاز برای یک یکسوکننده تکفاز لازم است، برای یک یکسوکننده

¹ -Encoder

² -Onto coupler

سه فاز یک ترانسفورمر جریان سه فاز ترجیح داده می‌شود، گرچه یک ترانسفورمر جریان تکفاز نیز کافیهست. فرکانس اعوجاج در جریان یکسوشده یک ترانسفورمر سه فاز برابر مقدار متناظر دریک ترانسفورر تکفاز است. بدلیل بالاتر بودن فرکانس اعوجاج، ثابت زمانی فیلترمی تواند پائین تر باشد، که پاسخ سریع حلقه کنترل جریان را بدنبال دارد. یک مدار که از ترانسفورمر سه فاز استفاده می‌کند محدودیتهای اصلی این طرح آنست که نمی‌تواند جهت جریان را تشخیص دهد و برای یکسوکننده‌های با پدیده هرزه‌گردی نمی‌تواند استفاده شود. بدلیل هزینه کم، سادگی و قابلیت اطمینان از این طرح بطور وسیع استفاده می‌شود.

چندین روش برای تشخیص مستقیم جریان آرمیچر وجود دارد. در اینجا دو روش که بیشتر مرسوم هستند تشریح می‌شوند. در اولین روش یک سنسور جریان که در آن از اثر هال^۱ استفاده می‌شود بکار گرفته می‌شود که توانایی تشخیص جهت جریان را هم دارد. در بازار برای محدوده وسیعی از جریان (چند آمپر تا چند صدآمپر) و با دقت حدود 1 درصد و تا 400 هرتز در دسترس است. در روش دوم از یک مقاومت شنت (بدون خاصیت القا پذیری) همراه با یک تقویت کننده ایزولاسیون^۲، که به منظور تقویت و ایزولاسیون بین مدارهای قدرت و کنترل بکار می‌رود، استفاده می‌شود. محدودیت اصلی مقاومت شنت آن است که تنها یک ولتاژ خروجی کوچک در حدود 5/7 تا 75 میلی ولت در جریان نامی می‌تواند فراهم آورد.

۴-۱-۳-۳. کنترل کننده PI

آشکار ساز خطا، کنترل کننده PI، و محدود کننده در یک مدار بصورت شکل 3-4 ترکیب می‌شوند. دیود D_1 و دیودزنز D_{z1} محدودیت روی ماکزیمم ولتاژ مثبت ایجاد می‌کنند و دیود D_2 و دیودزنز D_{z2} محدودیت روی ماکزیمم ولتاژ منفی. زمانیکه این مدار قسمتی از حلقه داخلی کنترل جریان را تشکیل می‌دهد، این محدودیتهای برای مقید کردن دامنه ولتاژ کنترلی V_c استفاده می‌شوند و بنابراین قید بر روی محدوده زاویه آتش که در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد فراهم می‌آورند. هنگامیکه این مدار در حلقه سرعت بکار گرفته می‌شود، ماکزیمم مقادیر مثبت و منفی جریان مرجع I_a^* را مقید و محدود

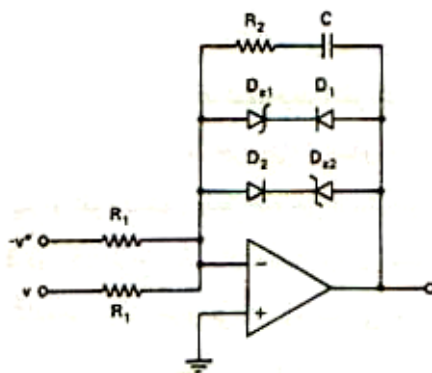
¹ -Hall effect
12- Insulation Amplifier

می‌سازند. در یک محرکه تک ربعی جریان مرجع منفی لازم نیست و بنابراین دیود D_2 به تنهایی می‌تواند نقش D_2 و D_{z2} را ایفاء کند.

تابع انتقال مدار در ناحیه خطی کار آن بصورت زیر داده می‌شود.

$$G_C(s) = \frac{K_c(1 + s t_c)}{S}$$

$$T_c = CR_2, K_c = \frac{I}{R_1 C}$$



شکل (3-4) کنترل کننده PI همراه با آشکار ساز خطا و محدودکننده؛ V, V^* به ترتیب سیگنالهای مرجع و فیدبک هستند.

۴-۳-۱-۴. مشخصه انتقال یکسوکننده و مدار کنترل

آتش یک یکسوکننده یک سری عملیات گسسته است. پس از آنکه درخواست تغییر زاویه آتش یکسوکننده دریافت شد، در یک یکسوکننده کنترل شده سه فاز که از یک منبع 50 هرتز تغذیه شود قبل از آنکه زاویه آتش بتواند تغییر کند یک مدت زمان 0 تا 33/3 میلی ثانیه ممکن است تاخیر وجود داشته باشد (که فاصله زمانی بین لحظات کلیدزنی متوالی است). چون ثابت زمانی مکانیکی موتور در مقایسه با این تاخیر بسیار بزرگتر است، از این تاخیر صرف نظر می‌شود و تغییر زاویه آتش آنی فرض می‌شود. با این تقریب یک یکسو کننده بسادگی با یک ضریب بهره مدل می‌شود. این مدل تقریبی، زمانیکه هدف طراحی یک سیستم با میرایی قابل ملاحظه باشد، مناسب است. با اینحال برای بررسی پایداری معتبر نیست. یک مدل بهتر ولی باز هم تقریبی نیز با اضافه کردن یک جمله $(1/(1+s t_d))$ به ضریب بهره فوق، که t_d تاخیر متوسط 67/1 میلی ثانیه برای یکسوکننده کنترل شده سه فاز و 5 میلی ثانیه‌ای برای یکسوکننده تکفاز، در فرکانس 50 هرتز می‌باشد حاصل می‌شود.

مشخصه انتقال واحد کنترل اغلب بنحوی انتخاب می شود که با مشخصه انتقال مبدل مطابقت داشته باشد. لذا مناسب است که یک مشخصه انتقال ترکیبی برای مبدل و واحد کنترل در نظر گرفته شود.

$$V_a = V_{a0} \cos a$$

اگر فرض کنیم که یک موج زمانی مرجع بصورت زیر تولید کنیم:

$$v_r = V_{rm} \cos \alpha$$

اگر یک پالس آتش در زمانی ایجاد شود که V_c با V_r برابر شود آنگاه،

$$v_c = V_{rm} \cos \alpha$$

از معادلات (3-4) و ضریب بهره ترکیبی، K_A ، بصورت زیر بدست می آید:

$$K_A = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_{a0}}{V_{rm}} = \text{ثابت}$$

۴-۲. محرکه های سرعت متغیر چهارربعی

۴-۲-۱. معکوس کردن آرمیچر بتوسط یک کنتاکتور در یک محرکه

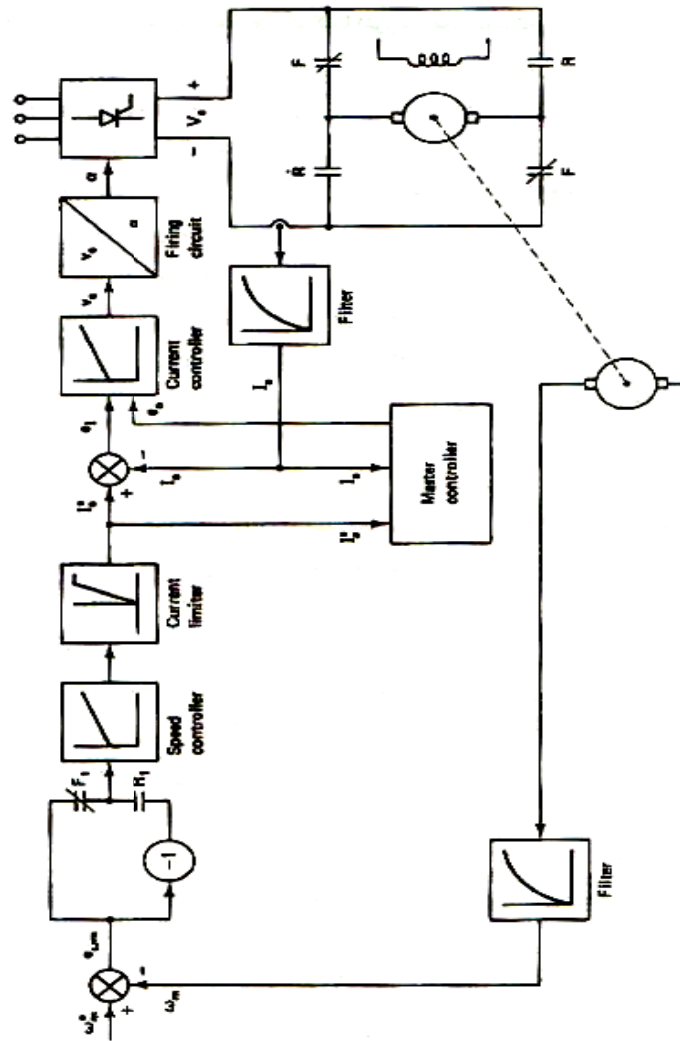
معکوس کردن آرمیچر بایستی پس از آنکه جریان آرمیچر صفر شد انجام شود. همچنین، پس از عکس شدن اتصال آرمیچر، بایستی یکسوکننده در زاویه آتش مناسبی مجدداً فعال شود تا از جهش ناگهانی جریان به یک مقدار بزرگ و قرار دادن محرکه در معرض یک ضربه جلوگیری شود. اینکار با استفاده از طرح آتش پیشرفته یا روش انطباق با نیروی ضد محرکه معکوس عملی می شود.

یک سیستم کنترل سرعت چهارربعی که از حلقه کنترل داخلی و طرح آتش پیشرفته استفاده می کند در شکل 4-4 نشان داده شده است. چون معمولاً برای چنین محرکه هایی پاسخ سریع در درجه اول مورد نظر نیست، معمولاً از طرح آتش پیشرفته استفاده می شود، با وجود آنکه پاسخ حاصله کند می شود. همچنین، کنترل حد جریان بدلیل سادگی آن معمولاً بیش از کنترل داخلی جریان استفاده می شود.

مراحل لازم برای معکوس نمودن جریان آرمیچر به کمک یک کنترل کننده اصلی عملی می شود. یک کنتاکتور معکوس کننده، که توسط کنترل کننده اصلی کنترل می شود، معمولاً سه اتصال بسته و سه اتصال باز دارد. معکوس شدن آرمیچر بتوسط کنترل کننده اصلی و به کمک کنتاکتور انجام می شود و شروع این عمل زمانی است که I_a^* و I_a بطور همزمان صفر می شوند. کنترل کننده اصلی طرح آتش پیشرفته را نیز اجرا می کند.

فرض کنید که محرکه در ابتدا در حالت دائمی و در جهت مستقیم کار می‌کند و کنتاکتور در وضعیت خاموش قرار دارد. I_a^* و I_a هر دو مثبت هستند، و خطاهای e_{om} و e_l بدلیل وجود کنترل‌کننده‌های PI به صفر نزدیک هستند. حال سیگنال فرمان سرعت ω_m^* کم می‌شود که سبب منفی شدن e_{om} می‌شود جریان مرجع را در $I_a^* = 0$ قرار می‌دهد. چون e_l اینک منفی است، ولتاژ خروجی یکسوکننده کاهش می‌یابد و جریان آرمیچر به صفر تقلیل می‌یابد. حال I_a^* و I_a بطور همزمان صفرند. با آشکار شدن این وضعیت (یعنی $I_a^* = 0$, $I_a = 0$) کنترل‌کننده اصلی یک سیگنال e_0 به اندازه کافی بزرگ اعمال می‌کند که زاویه آتش مبدل α را در بیشترین مقدار مجاز قرار می‌دهد و بطور همزمان کنتاکتور نیز عمل می‌کند و اتصالات باز آن بسته و اتصالات بسته آن باز می‌شوند.

مبدل در بزرگترین زاویه آتش به آرمیچر اتصال می‌یابد. حال سیگنال e_0 به آرامی به سمت صفر کاهش می‌یابد. جریان آرمیچر به آرامی زیاد می‌شود و یک انتقال ملایم به سمت ترمز رخ می‌دهد. انتقال وضعیت از مجموعه F_l به R_l , I_a^* را در یک مقدار مثبت قرار می‌دهد. تحت کنترل جریان سرعت محرکه کم می‌شود. هنگامیکه ω_m از ω_m^* کمتر شد، I_a^* مجدداً صفر می‌شود و I_a اجباراً صفر می‌شود. چون I_a^* و I_a بطور همزمان صفر هستند، کنترل‌کننده اصلی مجدداً e_0 را اعمال می‌کند تا α را در بزرگترین مقدار قرار می‌دهد. همچنین کنتاکتور باز می‌شود، و یکسوکننده را مجدداً از طریق اتصالات بسته F به آرمیچر وصل می‌کند و I_a^* را در یک مقدار مثبت قرار می‌دهد. حال e_0 به آرامی به سمت صفر کم می‌شود. جریان موتور زیاد می‌شود و محرکه در سرعتی که در آن $e_{om} = 0$ است قرار می‌گیرد.



شکل 4-4 کنترل سرعت بصورت حلقه بسته همراه با معکوس کردن آرمیچر در حالت

چهار ربعی

تنظیم سرعت مرجع به سه نوع مختلف ممکن است انجام شود که در آنها معکوس کردن آرمیچر هم وجود دارد. یک نوع، کاهش در سرعت در همان جهت چرخش قبلی است، که در قسمت قبلی مورد بررسی قرار گرفت. اینکار به دوبار معکوس کردن آرمیچر نیاز دارد-یکی برای انتقال کار به حالت ترمزی و دیگری برای برگشتن به حالت موتوری. در دومین نوع تنظیم، سرعت مرجع برای معکوس کردن سرعت تنظیم می‌شود. در این حالت فقط یک بار عکس کردن آرمیچر لازم می‌شود، پس از معکوس کردن اتصالات در ابتدا محرکه ترمز می‌شود و سپس در جهت معکوس تحت شرایط موتوری شتاب می‌گیرد تا به سرعت جدید برسد. سومین حالت، تنظیم سرعت مرجع برای یک مقدار بالاتر در همان جهت چرخش قبلی است. در این حالت به عکس شدن آرمیچر نیازی نیست.

۴-۲-۲. محرکه با بکارگیری دو مبدل با کنترل غیر همزمان

چند طرح حلقه بسته که در آنها از دو مبدل با کنترل غیر همزمان استفاده می‌شود وجود دارد. این طرحها تفاوت‌هایی بشرح زیر دارند.

ممکن است هر یکسو کننده یک مدار آتش مجزا داشته باشد، یا یک مدار آتش برای هر دو یکسو کننده استفاده شود.

کنترل جریان ممکن است بتوسط حلقه کنترل جریان داخلی یا حلقه کنترل حدجریان انجام شود.

کلیدزنی یکسو کننده‌ها می‌تواند به روش آتش پیشرفته یا روش انطباق با ولتاژ القایی انجام شود.

تعیین حالت یکسو کننده خارج شونده بطور غیر مستقیم با تشخیص صفر شدن جریان، یا مستقیماً با تشخیص حالت تریستورها انجام شود.

انتخاب یک طرح برای یک کاربرد خاص براساس نیازهای مربوط به سرعت پاسخ‌دهی آن انجام می‌شود. یک محرکه با عملکرد بالا، حلقه کنترل جریان داخلی، روش انطباق با ولتاژ القایی، و تشخیص مستقیم حالت تریستورها را بکار خواهد گرفت. برای طرحهای معمولی‌تر، ترکیبات دیگری انتخاب می‌شوند تا پیچیدگی طرح را کاهش دهند.

در شکل 4-4 طرحی که در آن از مدارهای آتش مجزا، حلقه کنترل جریان داخلی، روش انطباق ولتاژ القایی، و تشخیص جریان صفر استفاده می‌شود نشان داده شده است.

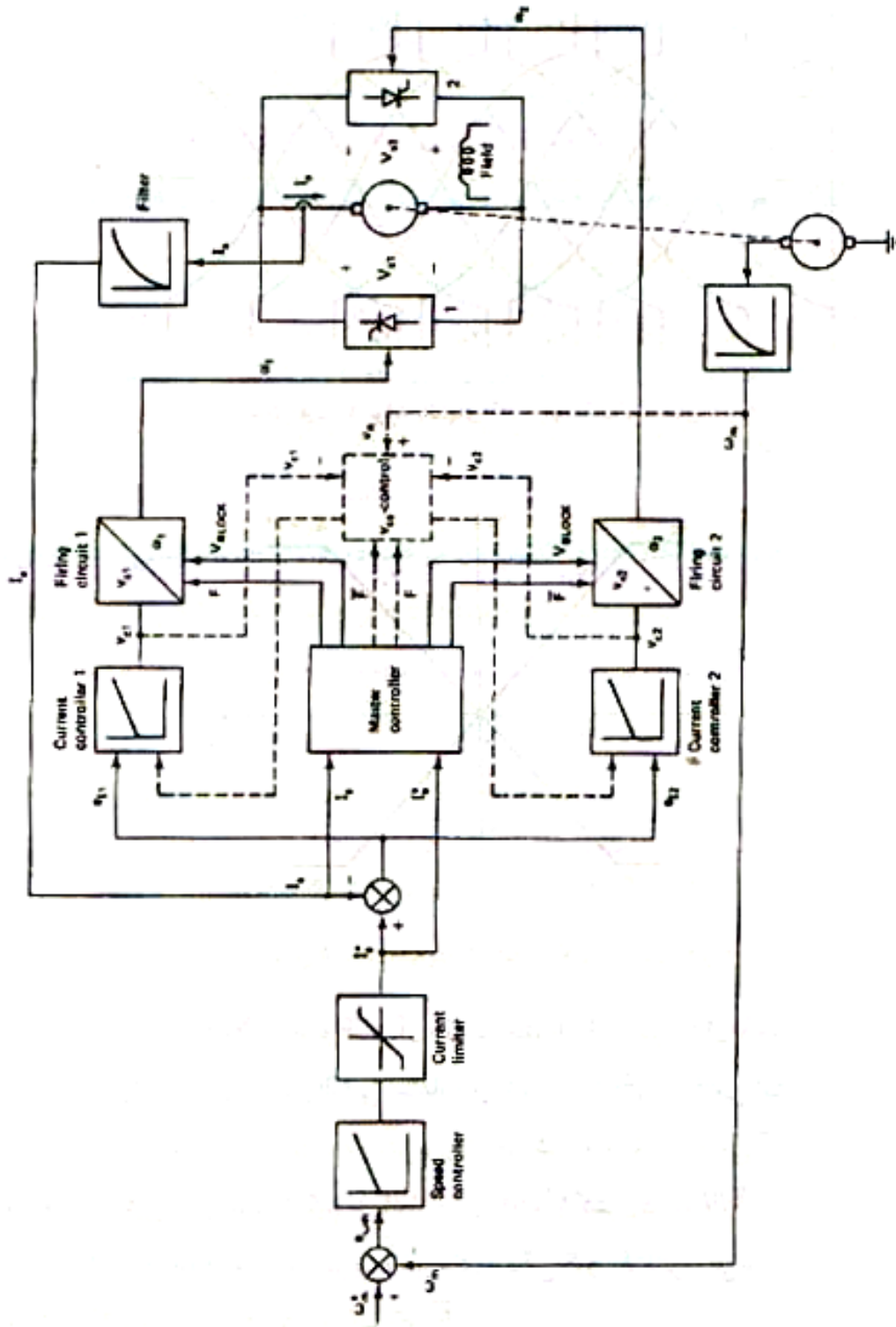
کنترل کننده اصلی (شکل 4-4) کارهای زیر را انجام می‌دهد:

بتوسط دو متغیر دیجیتال F و V_{Block} تصمیم می‌گیرد که کدامیک از دو یکسو کننده، پالسهای آتش را دریافت کند. هرگاه F و V_{Block} هر دو 1 هستند، یکسو کننده 1 پالسهای آتش را دریافت می‌کند. هرگاه \bar{F} و V_{Block} هر دو 1 هستند، یکسو کننده 2 پالسهای آتش را دریافت می‌کند. هرگاه V_{Block} صفر باشد، هیچکدام از یکسو کننده‌ها پالس دریافت نمی‌کنند.

جهت جریان I_a^* و صفر شدن جریان $(I_a = 0)$ را تشخیص می‌دهد اگر I_a^* منفی باشد و $(I_a = 0)$ ، شرایط اولیه برای کلید زنی از یکسو کننده 1 به 2 را فراهم می‌کند. از طرف دیگر، اگر I_a^* مثبت باشد و $(I_a = 0)$ ، شرایط اولیه برای کلید زنی از یکسو کننده 2 ب 1 را فراهم می‌کند.

همچنین مراحل میانی عمل کلیدزنی را اجرا می‌کند. با صفر کردن V_{Block} ، ارسال پالسهای آتش به یکسو کننده‌ای که بایستی خاموش شود، قطع می‌شود. پس از یک تاخیر ثابت τ (2 تا 10 میلی ثانیه‌ای)

پالسهای آتش به یکسوکننده‌ای که بایستی وارد عمل شود ارسال می‌شود. اینکار با قراردادن V_{Block} در I و قرار دادن F در مقدار مناسب انجام می‌شود.



شکل 4-5 کنترل سرعت حلقه بسته یک محرکه چهار ربعی بوسیله مبدل دوتایی با
کنترل غیرهمزمان

۵. فصل پنجم، موتورهای القایی

موتورهای القایی بخصوص موتورهای قفس سنجابی مزایای نسبت به موتورهای dc دارند. از مواردی نظیر نیاز به نگهداری کمتر، قابلیت اطمینان بالاتر، هزینه، وزن، حجم و اینرسی کمتر، راندمان بیشتر، قابلیت عملکرد در محیط های با گرد غبار و در محیط های قابل انفجار را می توان نام برد. مشکل اصلی موتورهای dc وجود کموتور و جاروبک است، که نگهداری زیاد و پرهزینه و نامناسب بودن عملکرد موتور در محیط های با گرد و غبار بالا و قابل انفجار را بدنبال دارد. با توجه به مزایای فوق در تمامی کار بردها، موتورهای القایی بطور وسیع بر سایر موتورهای الکتریکی ترجیح داده می شوند. با اینحال تا چندی پیش از موتورهای القایی فقط در کاربردهای سرعت ثابت استفاده شده است و در کار بردهای سرعت متغیر موتورهای dc ترجیح داده شده اند. این امر ناشی از آنست که روشهای مرسوم در کنترل سرعت موتورهای القایی هم غیر اقتصادی و هم دارای راندمان کم بوده است.

با بهبود در قابلیت ها و کاهش در هزینه ترستور ها و اخیرا در ترانزیستورها ی قدرت و GTO ها امکان ساخت محرکه های سرعت متغیر با استفاده از موتورهای القایی بوجود آمده است که در برخی موارد حتی از نظر هزینه و عملکرد از محرکه های با موتور dc نیز پیشی گرفته اند. در نتیجه این پیشرفتها، محرکه های موتورهای القایی در برخی کار بردهای سرعت متغیر بجای محرکه های dc مورد استفاده قرار گرفته اند. پیش بینی می شود در آینده موتور های القایی بطور گسترده در محرکه های سرعت متغیر مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

۵-۱. عملکرد موتورهای القایی سه فاز

یک موتور القایی دارای یک سیم پیچی متعادل سه فاز بر روی استاتور است. رتور یک موتور القایی از نوع رتورسیم بندی شده شامل یک سیم پیچ متعادل سه فاز با تعداد قطبهای یکسان با استاتور است. رتور یک موتور قفس سنجابی هادیهای دارد که توسط حلقه های انتهایی اتصال کوتاه شده اند. در اثر پدیده القاء ولتاژی در رتور با تعداد فاز و قطب یکسان با سیم بندیهای استاتور بوجود می آید.

زمانی که سیم بندی استاتور با یک منبع سع فاز با فرکانس ω (رادیان بر ثانیه) تغذیه می شود، میدان گردانی با سرعت سنکرون ω_{ms} (رایان بر ثانیه) ایجاد می شود که

$$\omega_{ms} = \frac{2}{p} \omega = \frac{4\pi f}{p} \text{ rad/sec} \quad \text{و} \quad \text{تعداد قطب ها } = p \quad (5-1)$$

اگر سرعت رتور ω_m (رادیان بر ثانیه) باشد، در این صورت سرعتی نسبی بین میدان گردان استاتور و رتور عبارتست از:

$$\omega_{sl} = \omega_{ms} - \omega_m = s\omega_{ms} \quad (5-2)$$

که ω_{sl} سرعت لغزش نامیده می شود. لغزش s از رابطه زیر بدست می آید.

$$s = \frac{\omega_{ms} - \omega_m}{\omega_{ms}} \quad (5-3)$$

بنا بر این

$$\omega_m = (1 - s)\omega_{ms} \quad (5-4)$$

به علت وجود سرعت نسبی بین میدان گردان استاتور و رتور یک ولتاژ سه فاز متعادل در سیم بندد یهای رتور القاء می شود که فرکانس آن متناسب با سرعت لغزش موتور است. بنا بر این،

$$\omega_r = \frac{\omega_{sl}}{\omega_{ms}} (\omega) = s\omega \quad \text{rad/sce} \quad (5-5)$$

که ω_r فرکانس رتور بر حسب رادیان بر ثانیه است. برای ω_m کوچکتر از ω_{ms} سرعت نبی مثبت است. در نتیجه توالی ولتاژ رتور همانند توالی ولتاژ استاتور است. عبور جریان سه فاز در رتور باعث ایجا میدانی گردانی می شود که نسبت به رتور با سرعت لغزش ω_{sl} و هم جهت با گردش رتور دوران می کند. در نتیجه سرعت میدان گردان رتور به استاتور (مرجع ساکن) با سرعت میدان گردان استاتور برابر خواهد شد. لذا گشتاور حالت ماندگار ایجاد شده که مقدار آن عبارت زیر بدست می آید.

$$T = \frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2} \right)^2 \Phi_{ma} F_{mr} \sin \delta_r \quad (5-6)$$

که Φ_{ma} شار فاصله هوایی در قطب بر حسب وبر f_{mr} حداکثر MMF رتور بر حسب آمپر دور و δ_r زاویه گشتاور یا اختلاف فاز میان MMF رتور و MMF فاصله هوایی برای سرعتهای ω_m کوچکتر از ω_{ms} میدان های رتور و استاتور نسبت به هم ساکن باقی می ماند و گشتاور حالت دائمی ایجاد می شود. برای $\omega_m = \omega_{ms}$ سرعت نسبی بین میدان استاتور و رتور صفر می شود. در نتیجه ولتاژی در رتور القاء نمی شود و گشتاور خروجی صفر است.

برای ω_m, ω_{ms} سرعت نسبی میدان رتور و استا تور عکس می شود. در نتیجه جهت ولتاژها و جریانهای القایی رتور نیز عکس می شوند و توالی فاز آنها با استا تور نیز مخالف خواهد شد. جریان سه فاز القایی رتور میدان گردانی در جهت عکس حرکت رتور با سرعت ω_{sl} ایجاد می کند. بنا بر این در اینجانب سرعت میدان رتور نسبت به میدان استا تور صفر می شود و در نتیجه گشتاور حالت دائمی ایجاد می شود. از آنجایی که جهت جریان رتور معکوس شده علامت گشتاور منفی می شود و ماشین در حالت ژنراتوری قرار می گیرد. از حالت ژنراتوری برای ایجاد شرایط ترمز ژنراتوری استفاده می شود.

۵-۱-۱. تحلیل حالت دائمی

مدار معادل فاز یک موتور القایی در شکل I-5 الف نشان داده شده است. α_{TI} نسبت دور سیم بندی استا تور n_s به دور سیم بندی رتور n_r است. مدار معادل می تواند با ارجاع کمیتها ی رتور به فرکانس و تعداد دورهای استا تور ساده تر شود. مدار معادل نتیجه در شکل I-5 ب نشان داده شده است. R'_r و x'_r به ترتیب مقاومت و راکتانس پراکندگی رتور ارجاع شده به استا تور هستند که از روابط زیر بدست می آیند.

$$R'_r = a_{TI}^2 R_r \quad \text{و} \quad x'_r = a_{TI}^2 x_r \quad (5-7)$$

قسمت سمت چپ تقطه چین AB در شکل I-5 ب را می توان با مدار معادل تونن آن جایگزین نمود تا مدار ساده تر شکل I-5 ج را بدست آید. $V_t \angle \theta_t$ و R_t, x_t به ترتیب منبع ولتاژ تونن مقاومت و راکتانس تونن هستند. مقادیر فوق از روی روابط زیر بدست می آیند.

$$V_t = \frac{V X_m}{\sqrt{R_s^2 + (X_s + X_m)^2}} \quad (5-8)$$

$$\theta_t = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{x_s + x_m}{R_s} \right)$$

$$R_t + jX_t = \frac{JX_m(R_s + jx_s)}{R_s + J(X_s + X_m)} \quad (5-10)$$

در مدار معادل شکل I-5 ب جریان استا تور I_s به جریان رتور I'_r از طریق معادله زیر مربوط می شود.

$$\bar{I}_s = \frac{[(R'_s / S) + J(X'_r + X_m)] \bar{I}'_r}{jX_m} \quad (5-11)$$

مدار معادل تقریبی شکل 1-5 ب نیز غالبا برای سادگی محاسبات بکار گرفته می شود. در این حالت از افت ولتاژ جریان بی باری متور در سیم بندی استا تور صرف نظر می شود. از مدار معادل شکل 1-6 ج،

$$\bar{I}'_r = \frac{V_t}{(R_t + R'_r/s) + j(x_t + x'_r)} \quad (5-12)$$

قدرت انتقالی از فاصله هوایی P_g برابر قدرت جذب شده در مقاومت معادل رتور s است. بنا بر این

$$P_g = 3I'^2_r \left(\frac{R'_r}{s} \right) \quad (13-5)$$

که P_g قدرت هوایی نامیده می شود، با معادله زیر نیز بیان می شود

$$p_g = 3EI'_r \cos \theta_r \quad (5-14)$$

که در آن θ_r اختلاف فاز بین بردار \bar{E} و I'_r است. قسمتی از قدرت فاصله هوایی در مقام رتور بصورت تلفات مسی رتور مصرف می شود و ما بقی آن به قدرت مکانیکی تبدیل می شود. لذا قدرت مکانیکی بصورت زیر بیان می شود:

$$P_m = p_g - 3I'^2_r R'_r$$

با جایگزینی از معادله (13-5)

$$p_m = 3I'^2_r R'_r \left(\frac{1-s}{s} \right) = p_g (1-s) \quad (5-15)$$

حال گشتاور حاصله موتور عبارتست از:

$$T = \frac{P_m}{\omega_m}$$

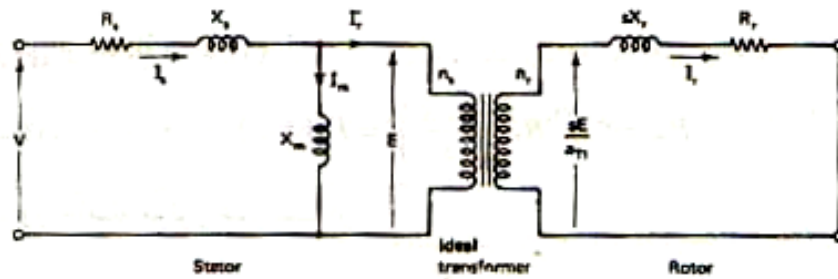
جایگزینی معادلات (4-5) و (15-5) نتیجه می دهد که

$$T = \frac{P_g}{\omega_{ms}} \quad (5-16)$$

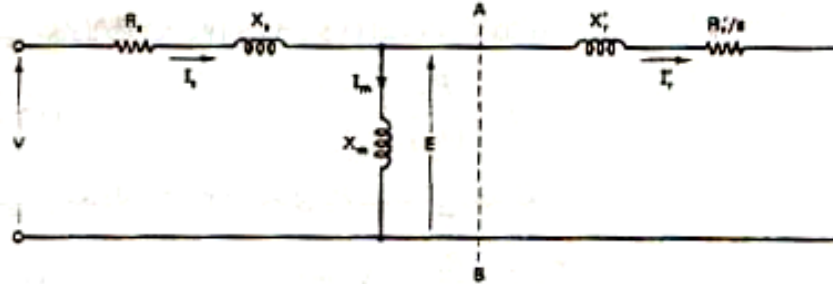
جایگزینی از معادله (13-5) بجای P_g نتیجه می دهد که

$$T = \frac{3}{\omega_{ms}} I'^2_r \frac{R'_r}{s} (N - m) \quad (5-17)$$

و با جایگزینی مقدار I'_r از معادله (12-5) خواهیم داشت:



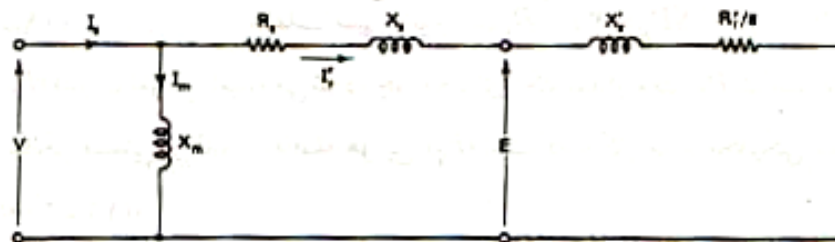
(الف) مدار معادل در فاز



(ب) مدار معادل فاز رجوع شده به استاتور



(ج) مدار معادل فاز ساده شده رجوع شده به استاتور



(د) مدار معادل تقریبی در فاز رجوع شده به استاتور

شکل 1-5) مدارهای معادل یک موتور القایی در فاز

$$T = \frac{3}{\omega_{ms}} \left[\frac{V_t^2 R'_r / s}{(R_t + R'_r / s)^2 + (X_s + X'_r)^2} \right] N - M \quad (5-18)$$

گشتاور خروجی موتور بر روی محور با کم کردن گشتاور های تلفاتی اصطکاک ، هوا و هسته از T بدست می آید . همچنین از معادله (5-16) و (5-17) داریم :

$$sPg = 3I_r'^2 R'_r = \text{تلفات مسی رتور} \quad (5-19)$$

عبارت sPg قدرت لغزش نامیده می شود ، چونکه برای مقدار معین P_g متناسب با لغزش است . این عبارت بیانگر قسمتی از قدرت فاصله هوایی P_g است که به کار مفید مکانیکی تبدیل نمی شود .
از معادله (5-16)

$$T = \frac{P_g}{S\omega_{ms}} \quad (5-20)$$

معادله (5-20) برای بدست آوردن عبارت گشتاور موتورهای القایی رتور سیم پیچی شده که از دو طرف تغذیه می شوند قابل استفاده است. در تغذیه دو طرفه ، موتور القایی بطور همزمان از سوی استاتور و از سوی رتور تغذیه می شود . در شرایطی که موتور فقط از سوی استاتور تغذیه می شود ، مطابق معادله (5-19) قدرت لغزشی معادل تلفات مسی رتور خواهد بود. بر اساس معادله (5-18) ، برای مقادیر مشخص ولتاژ و فرکانس استاتور ، گشتاور تابعی از لغزش است . لغزشی که در آن حداکثر گشتاور بوجود می آید ، از مشتق گیری معادله گشتاور نسبت به s و مساوی صفر قرار دادن آن بدست می آید . روش دیگری هم بصورت زیر می تواند استفاده شود .

از معادله (5-16) گشتاور زمانی حد اکثر است که P_g در بیشترین مقدار باشد . قدرت فاصله هوایی همان قدرتی است که در مقاومت معادل R'_r / s جذب می شود. با در نظر گرفتن مدار معادل تونن که منبع ولتاژ تغذیه آن v_t و امپدانس آن $R_t + j(x_t + x'_r)$ است قدرت فاصله هوایی که در s_m حداکثر می شود هنگامی حاصل می شود که R'_r / s_m با امپدانس داخلی برابر شود . بنا بر این:

$$\frac{R'_r}{s_m} = \pm \sqrt{R_t^2 + (X'_r + X_t)^2} \quad (5-21)$$

$$T_{Max} = \frac{3}{2\omega_{ms}} \frac{V_t^2}{R_t \pm \sqrt{R_t^2 + (X_t + X'_r)^2}} \quad (5-22)$$

معادله (22-5) نشان می دهد که حداکثر گشتاور فاصله هوایی به مقاومت رتور بستگی ندارد ولی لغزش در حد اکثر گشتاور S_m با تغییرات مقاومت رتور متناسب است، معادله (21-6). با استفاده از معادلات (12-5) و (21-5) می توان نشان داد که جریان رتور در گشتاور حداکثر مستقل از مقاومت رتور و لغزش است. فاز جریان استاتور نسبت به ولتاژ تغذیه آن با استفاده از معادلات (9-5)، (11-5) و (12-5) بصورت زیر بدست می آید:

$$\Phi_s = -\tan^{-1}\left(\frac{X_s + X_m}{R_s}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{X'_s + X_m}{R'_s/S}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{X_t + X'_r}{R_t + R'_r/s}\right) \quad (5-23)$$

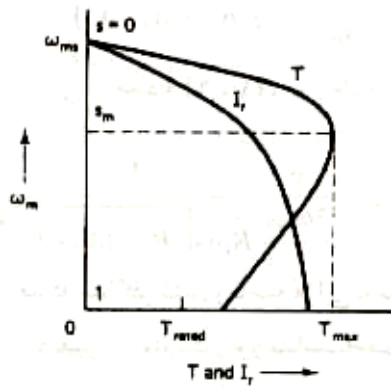
و ضریب قدرت موتور عبارتست از :

$$\text{ضریب قدرت} = \cos \Phi_s$$

مر بوط به مقدار معادل شکل 1-5 د را م میتوان بدست آورد و این کار با جایگزینی θ_t, x_t, R_t, v_t توسط x_s, R_s, v و در معادلات (12-5)، (18-5)، (21-5)، (22-5) انجام می شود. زاویه ضریب قدرت با معادله زیر معین می شود.

$$\Phi_s = -\frac{\pi}{2} + \tan^{-1}\left(\frac{X_s + X'_r + X_m}{R_s + R'_r/s}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{X_s + X'_r}{R_s + R'_r/s}\right) \quad (5-24)$$

منحنی های سرعت - گشتاور و سرعت جریان رتور برای یک موتور القای نمونه که سرعت آن از سرعت سنکرون تا صفر تغییر می کند در شکل 2-5 نشان داده شده است. جریان رتور که در سرعت سنکرون صفر است در اثر کاهش R'_r/s با کاهش سرعت افزایش می یابد. گشتاور موتور نیز بواسطه افزایش مولفه هم فاز جریان رتور با نیروی ضد محرکه E افزایش می یابد که با معادلات (14-5) و (17-5) نشان داده شده است. گشتاور در لغزش S_m به مقدار حداکثر می رسد. با کاهش بیشتر سرعت علیرغم افزایش جریان رتور، گشتاور کاهش می یابد. این بدان علت است که R'_r/s کوچک می شود و ضریب قدرت هم کاهش می یابد.



شکل 5-2 منحنی های سرعت - گشتاور و سرعت جریان رتور برای یک موتور القایی

موتور فقط در ناحیه بین $s=0$ تا $s=s_m$ از مشخصه گشتاور - سرعت می تواند بصورت پایدار کار کند. در اکثر بارها، کار در ناحیه $s > s_m$ نا پایدار است. بنا بران به ناحیه منحنی سرعت - گشتاور متناظر با $s > s_m$ اغلب ناحیه احتمالاً ناپایدار منحنی سرعت - گشتاور گفته می شود. زمانیکه مقاومت رتور کم است، تغییرات سرعت از بی بار تا گشتاور بار نامی تنها درصد کوچکی از سرعت موتور است پس، موتور اساساً در یک سرعت ثابت کار میکند. اضافه بارهای کوتاه مدت موتور تا گشتاور حداکثر امکان پذیر است. اگر گشتاور بار از گشتاور حداکثر فراتر رود - که به آن گشتاور شکست با فرار نیز گفته می شود - موتور می ایستد و حفاظت اضافه جریان بایستی بلا فاصله منبع را از موتور جدا کند تا از آسیب دیدن موتور در اثر اضافه حرارت جلوگیری شود.

۵-۱-۲. موتورهای القایی - قفس سنجابی

در یک موتور قفس سنجابی، در مرحله طراحی پارامترهای مختلفی بایستی انتخاب شوند. یک موتور با مقاومت رتور کوچک ترجیح داده می شود چونکه مشخصه های کاری ماشین بهبود می یابد. مقاومت کوچک منجر به لغزش اسمی کوچک می شود که این امر موجب بازدهی بالا و رگولاسیون سرعت خوب می شود. با اینحال، جریان راه اندازی را بزرگ و گشتاور راه اندازی کوچک می شود. هر افزایشی در مقاومت رتور مشخصه راه اندازی را بهبود می دهد زیرا جریان راه اندازی کاهش و گشتاور راه اندازی افزایش می یابد اما مشخصه های کار عادی ماشین را خراب می کند. گشتاور شکست معیاری برای سنجش توانایی موتور در مقابل اضافه بارهای کوتاه مدت است. رتوری بار راکتانس کوچک یک گشتاور شکست

بزرگ را ایجاد می کند ولی در مقابل افزایش جریان راه اندازی را بدنبال دارد . پس ملزومات طراحی برای کار عادی و دائمی موتور ، و در مرحله راه اندازی متضاد هستند .

در یک موتور القایی قفس سنجابی ، یک راه اندازی خوب همراه با عملکرد دائمی عادی هنگامی بدست می آید که مقاومت رتور بطور اتوماتیک با سرعت تغییر کند ، بطوریکه در حالت توقف مقاومت بزرگ و با افزایش سرعت کاهش یابد و در سرعت های نزدیک سرعت نامی مقدار آن کاملاً کوچک شود . چنین تغییراتی با وابسته کردن مقدار مقاومت رتور به فرکانس رتور تحقق می یابد. در حالت توقف ، فرکانس رتور بزرگ و برابر با فرکانس استاتور است . با افزایش سرعت فرکانس رتور کاهش می یابد و در سرعت نامی به محدوده 2 تا 10 درصد فرکانس استاتور می رسد. رتور بگونه ای طراحی می شود که مقاومت آن در فرکانس استاتور بزرگ باشد و با کاهش فرکانس رتور ، مقاومت کم می شود و در فرکانسی برابر 2 تا 10 درصد فرکانس استاتور کوچک می شود . این نوع تغییرات مقاومت رتور با استفاده از رتور با میله های عمیق یا رتور قفس سنجابی دابل بدست می آید . رتور قفس سنجابی با شیار عمیق ، دارای شیارهای عمیق باریک است .

می توان تصور نمود که هادی داخل شیار توسط چند هادی داخل شیار توسط چند هادی نازک که بصورت موازی به یکدیگر متصل شده اند جایگزین بشوند . در سرعت های کم وقتی که فرکانس رتور بالاست تفاوت راکتانسهای هادی ها باعث می شود که توزیع جریان در هادی بالا و پایین متفاوت گردد . بطوریکه هادی بالا بیشترین جریان و هادی پایین کمترین جریان را از خود عبور می دهند . به علت عدم توزیع یکنواخت جریان ، مقاوم موثر هادی ها افزایش و راکتانسهای آنها کاهش می یابد . زمانی که سرعت به نزدیکی سرعت نامی می رسد بدلیل کاهش فرکانس رتور، راکتانس لایه های پائینی تقلیل می یابد . لذا توزیع جریان داخل شیار عمدتاً ناشی از مقاومت معادل رتور کاهش می یابد. رتور قفس سنجابی دابل شامل 2 هادی اتصال کوتاه شده در هر شیار است .

۵-۱-۳. طبقه بندی موتورهای قفس سنجابی

موتورهای قفس سنجابی القائی سه فاز بطور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. متناسب با هر کار برد ، مشخصه های خاصی از سرعت - گشتاور و سرعت جریان لازم است . با انتخاب مناسب رتور از نظر مقاومت و راکتانس و میزان عمق شیار و یا دابل بودن آن می توان موتوری طراحی نمود که مشخصه های مورد نیاز را داشته باشد . موتورهای با ظرفیت بالا برای کار بردهای خاص طراحی می شوند . در موتورهای متوسط و کوچک (در حدود کمتر از 150 کیلو وات) طراحی بر اساس طبقه بندی های

استاندارد انجام می‌شود. استانداردهای فوق با توجه به مشخصه‌های سرعت - گشتاور و سرعت - جریان در طول زمان و برای برآورده شدن نیازهای اکثر موتورهای القائی تعیین شده‌اند. در کار بردهای مهندسی، انتخاب بگونه‌ای انجام می‌شود که مشخصه موتور به مشخصه مورد نیاز نزدیکترین حالت باشد. برخی از کشورها استانداردهای خاصی برای خود وضع نموده‌اند.

یک موتور کلاس *A*، دارای رتوری با مقاومت و راکتانس کم است و لغزش کوچک، بازدهی و ضریب قدرت بالا در بار نامی، گشتاور شکست بالا، گشتاور راه انداز معمولی، و جریان راه اندازی بالایی دارد. موتور کلاس *A*، رفتار مناسبی در حالت کار دائم از خود نشان می‌دهد. ولی رفتار راه اندازی مطلوبی ندارد. لغزش با ر کامل از 2٪ در موتورهای با ظرفیت بالا تا 4٪ در موتورهای با ظرفیت پائین تغییر می‌کند. گشتاور شکست دو برابر گشتاور نامی است. محدوده گشتاور راه اندازی از گشتاور نامی برای موتورهای بزرگ تا دو برابر گشتاور نامی برای موتورهای کوچک می‌باشد در موتورهای بزرگ جریان راه اندازی 8 برابر جریان نامی و در موتورهای کوچک 5 برابر جریان نامی است.

یک موتور کلاس *B*، نیز دارای لغزش نامی کوچک و گشتاور راه اندازی معمولی است. جریان راه انداز موتور کلاس *B*، 70 تا 80 درصد جریان راه اندازی موتور کلاس *A* مشابه است. زیرا راکتانس رتور یک موتور کلاس *B* بزرگتر از راکتانس موتور مشابه کلاس *A* است. گشتاور راه اندازی با استفاده از یک رتور شیار عمیق یا دابل فراهم می‌شود. بعلاوه افزایش راکتانس پراکندگی رتور، گشتاور شکست از 2 برابر گشتاور نامی کمی کمتر است. همچنین ضریب قدرت در بار نامی کمی تقلیل می‌یابد.

در موتور کلاس *C* از رتور دابل استفاده می‌شود. مقاوم رتور در لحظه راه اندازی از مقاومت موتور مشابه کلاس *B* بیشتر می‌باشد. همچنین جریان راه اندازی کوچکی دارد. در موتور کلاس *C* در مقایسه با کلاس *B* مشابه گشتاور شکست کوچکتر، راندمان بار نامی کمتر و لغزش بار نامی بزرگتر (لغزش کمتر از 5٪) دارد.

موتور قفس سنجابی کلاس *D* به صورت تک شیار با مقاومت بزرگ و راکتانس کم طراحی می‌شود. گشتاور راه انداز بالا (در حدود 3 تا 4 برابر گشتاور نامی) و جریان راه اندازی آن کوچک است. ولی علیرغم اصلاح مشخصه در حالت راه اندازی مشخصه حالت کار دائم نامناسبی را از خود نشان می‌دهد. از جمله می‌توان به لغزش با نامی بالا (5 الی 50 درصد) و راندمان کاری کم اشاره نمود.

کلاس F ترکیبی از مشخصه های مناسب در کار ائم (لغزش 2 الی 4 درصد) و جریان راه اندازی کوچک را دارد . ولی در مقابل گشتاور راه انداز و شکست کمی را ایجاد می کند . به همین دلیل ، بر خلاف موتورهای قفس سنجابی کار برد وسیعی ندارد .

۵-۱-۴. موتورهای القائی با رتور سیم بندی شده

یکی از ویژگی های موتور های القائی رتور سیم بندی شده است به موتورهای قفس سنجابی آن است که به مصالحه بین مشخصات حالت راه اندازی و کار دائم، نیازی ندارد . سیم بندی رتور بامقاومت کوچک طراحی می گردد و بطوریکه در حالت دائم راندمان مناسب و لغزش کوچکی ایجاد می شود. مشخصه ای راه اندازی با اضافه نمودن مقاومت در مدار رتور اصلاح می شوند .

در شرایطی که به گشتاور راه اندازی بزرگ نیاز باشد ، مقاومت خارجی رتور چنان تعیین می کند تا بیشترین گشتاور در راه اندازی ایجاد گردد. این عمل کاهش جریان راه اندازی را نیز به دنبال دارد و به محض آنکه رتور سرعت گرفت مقاومت خارجی موتور کاهش می یابد. بطوریکه موتور در مرحله راه اندازی با بیشترین گشتاور شتاب گیری می کند . از آنجائی که قسمت اعظم تلفات رتور در مقاومت خارجی ایجاد می شود ، افزایش دمای رتور در شرایط راه اندازی کم است . انتخاب مقاومت مناسب رتور ، باعث می شود که از بیشترین ظرفیت گشتاور استفاده شود ، بنابراین در کاربردهایی که به راه اندازی و شرایط ترمزی پی در پی نیاز باشد (با گشتاور بالا) از موتور رتور سیم بندی شده استفاده می شود.

بخاطر در دسترس بودن سیم بندی رتور ، قابلیت انعطاف و کنترل پذیری موتورهای رتور سیم بندی شده بیش از موتور های قفس سنجابی است . زیرا هم امکان تغییر مقاومت رتور و هم تزریق ولتاژ به رتور وجود دارد . ولی در مقابل ضعفهایی نسبت به موتور قفس سنجابی دارد . از جمله می توان به قیمت بالا ، نیاز به نگهداری و تعمیر مکرر جاروبک و حلقه های لغزان رتور و کاهش استحکام رتور اشاره نمود .. لذا همانند موتورهای قفس سنجابی کار برد وسیعی ندارد .

۵-۲. راه اندازی

زمانیکه موتور های القایی بطور مستقیم به ولتاژ خط متصل شود ، جریان راه اندازی بزرگی را می کشد . در شرایطی که امپدانس داخلی منبع تغذیه بزرگ و یا ظرفیت جریان خروجی آن محدود باشد ، راه اندازی موتور موجب افت ولتاژ خط می شود . در نتیجه سایر بارهای متصل به آن منبع تغذیه دچار اشکال می گردند . لذا لازم است با استفاده از روشهایی ، جریان راه اندازی محدود شود . رفتار موتورهای

قفس سنجابی در شرایط راه اندازی با توجه به نوع آن (کلاس موتور) متفاوت می باشد ، همانطور که در بخش 3-1-5 بدان اشاره شد . راه اندازی موتورهای رتور سیم پیچی شده با افزایش مقاومت خارجی رتور انجام می شود و جریان راه اندازی نیز محدود می شو که در بخش 4-1-5 بدان اشاره شد . روش های دیگری هم وجود دارد که هم در مورد موتورهای قفس سنجابی و هم در مورد رتور سیم بندی شده کار برد دارند . بطور مثال می توان از کاهش ولتاژ تغذیه ، تغییر فرکانس استاتور و یا افزایش امپدانس استاتور نام برد. در موتورهای رتور سیم بندی شده همچنین از تزریق ولتاژ در مدار رتور نیز به منظور کاهش جریان راه اندازی می توان استفاده نمود . از این روشها بجز روش افزایش امپدانس استاتور در کنترل سرعت موتورها نیز استفاده می شود که در قسمتهای بعدی این فصل مورد بحث قرار می گیرند.

از روشهای متعارف کاهش جریان راه اندازی ، کاهش ولتاژ تغذیه است که توسط کلید ستاره - مثلث و یا اتوترانس انجام می شود . روش ستاره - مثلث در موتورهای قابل استفاده است که در شرایط عادی بصورت مثلث مورد بهره برداری قرار می گیرند . با تغییر سیم بندی از مثلث به ستاره ولتاژ و جریان راه

اندازی با ضریب $\frac{1}{\sqrt{3}}$ و گشتاور راه اندازی با ضریب $\frac{1}{3}$ تقلیل می یابند . در راه اندازی با اتوترانس با نسبت تبدیل a_T ، جریان راه اندازی و گشتاور راه اندازی به ترتیب با ضرایب a_T و a_T^2 تقلیل می یابند . در هر دو روش در تغییر وضعیت از حالت راه اندازی به حالت دائم اگر از کلید استفاده شود، امکان بروز جریان های گذرا با دامنه بالا وجود دارد . قطع کلید از منبع تغذیه باعث می شود که جریان استاتور صفر شود و میدان گردان استاتور حذف شود . بواسطه ثابت زمانی بزرگ رتور جریان در رتور ادامه می یابد، و میدان رتور باعث القای ولتاژ بر روی سیم بندی استاتور می گردد . فاز ولتاژ القایی در استاتور بستگی به وضعیت میدان رتور دارد و مستقل از فاز ولتاژ شبکه می باشد . در لحظه وصل مجدد موتور به شبکه ای با ولتاژ جدید ممکن است فاز ولتاژ القایی ناشی از میدان رتور و شبکه در فاز مقابل قرار گیرند و در نتیجه جریان هجومی شدیدی ایجاد گردد.

موتورهای بزرگ معمولا با 2 سیم بندی در استاتور طراحی می شوند . بطوریکه در حالت عادی معمولا هر دو سیم بندی بطور موازی در مدار قرار می گیرند و در طی مرحله راه اندازی فقط یکی از سیم بندی ها در مدار قرار می گیرد . این امر باعث افزایش امپدانس معادل موتور شده و در نتیجه جریان راه اندازی محدود می شود . این روش بنام روش راه اندازی با سیم بندی کسری نامیده می شود .

۵-۳. ترمز کردن

همانند موتورهای dc روشهای متفاوتی در ترمز الکتریکی موتورهای القائی مورد استفاده قرار می گیرند که به 3 دسته زیر تقسیم میشوند :

ترمز ژنراتوری

ترمز با معکوس کردن تغذیه

ترمز دینامیکی یا رئوستایی

بر خلاف موتورهای dc تومر دینامیکی در موتورهای القایی از چند طریق امکان پذیر است .

۵-۴. کنترل سرعت

در این بخش اصول روشهای کنترل سرعت محرکه های الکتریکی که در آنها از مبدل های نیمه هادی کنترل شده استفاده می شود مورد بررسی قرار می گیرد . روشهای مرسوم عبارتند از :

کنترل با منبع ولتاژ متغیر فرکانس ثابت

کنترل با منبع ولتاژ فرکانس متغیر

کنترل مقاومت رتور

کنترل از روش تزریق ولتاژ در مدار رتور

روشهای 1و2 در مورد موتورهای قفس سنجابی و رتور سیم بندی شده و روشهای 3و4 فقط در موتورهای رتور سیم بندی شده قابل استفاده هستند .

۵-۴-۱. کنترل سرعت با منبع ولتاژ متغیر و فرکانس ثابت

گشتاور فاصله هوایی در موتور القائی متناسب با مجذور ولتاژ تغذیه است .

شکل کلی منحنی های سرعت - گشتاور مشابه است ولی با مجذور ولتاژ تغییر می نماید . کنترل سرعت ، با تغییر ولتاژ تغذیه به گونه ای انجام می شود که در سرعت مورد نظر گشتاور بار بوسیله موتور تامین می شود . از آنجایی که افزایش ولتاژ بالاتر از ولتاژ نامی مجاز نمی باشد بنا بر این در این روش ، افزایش سرعت تا سرعت نامی امکان پذیر است .

چون گشتاو در لغزش مشخص با مجذور ولتاژ متناسب است، لذا جریان رتور مستقیماً متناسب با ولتاژ تغذیه است. در نتیجه نسبت گشتاور به جریان با کاهش ولتاژ تغذیه کاهش می یابد. همچنین گشتاور موجود برای یک بار گذاری حرارتی مشخص برای موتور کاهش می یابد. گشتاور شکست نیز با مجذور ولتاژ کم می شود. بنا براین بهره برداری در سرعتها ی پایین و با شرایط حرارتی طبیعی موتور، در صورتی امکان پذیر است که گشتاور بار با کاهش سرعت تقلیل یابد بطور مثال میتوان به بارهای پنکه ای بعنوان این دسته از بار های متغیر اشاره نمود.

برای داشتن محدوده وسیعی از تغییرات سرعت، لازم است از موتورهای با لغزش نامی بالا استفاده شود و بنا براین موتورهای کلاس D قفس سنجابی با لغزش بین 10 تا 20 درصد در بار نامی و یا موتورهای رتور سیم بندی شده با مقاومت خارجی بالا بکار گرفته می شوند. در موتورهای رتور سیم بندی شده بواسطه آنکه تلفات مسی رتور در مقاومت خارجی ایجاد می شود (خارج از رتور) نسبت به موتورهای کلاس D مناسبتر می باشند. لذا می توان از موتورهای کوچکتری نیز استفاده نمود و اما این امر لزوماً منجر به داشتن محرکه با هزینه پایین تر نیست، چونکه هزینه های بالاتر مربوط به نگهداری یک موتور رتور سیم بندی شده و همچنین مقاومتها ی اضافی خارجی وجود دارد.

اگر از تلفات گردشی، تلفات مسی استاتور و تلفات هسته صرف نظر شود، راندمان موتور از معادله (5-15) به صورت زیر بدست می آید.

$$\eta_m \cong \frac{P_m}{P_g} = (1 - s) \quad (5-25)$$

معادلات (5-15) و (5-19) نشان می دهند که با افزایش لغزش، قدرت حاصله کاهش و تلفات مسی رتور افزایش می یابند. در نتیجه راندمان موتور در سرعتهای کم، کاهش زیادی خواهد داشت.

2-4-5 کنترل سرعت با تغییر فرکانس

بر اساس معادله (5-1)، سرعت سنکرون مستقیماً با فرکانس تغذیه متناسب است. لذا با تغییر فرکانس تغذیه به سرعت موتور به کمتر و بیش از سرعت نامی تغییر می نماید.

ولتاژ القایی E متناسب با حاصلضرب فرکانس و شار فاصله هوایی است. اگر از افت ولتاژ استاتور صرف نظر شود می توان ولتاژ ورودی موتور را متناسب با حاصلضرب شار و فرکانس در نظر گرفت. اگر فرکانس بدون هیچ تغییری در ولتاژ تغذیه کاهش یابد شار فاصله هوایی افزایش می یابد.

موتورهای القایی به گونه ای طراحی می شوند که در نزدیکی ناحیه زانوی منحنی اشباع مغناطیسی قرار گیرند. بنابراین افزایش شار باعث می گردد که موتور با اشباع مواجه شود که در نتیجه، منجر به افزایش نویز صوتی می گردد. همانطور که افزایش شار باعث بروز مشکلات ناشی از اشباع می گردد، کاهش شار نیز مناسب نمی باشد زیرا ظرفیت گشتاور موتور تقلیل می یابد. لذا تغییر فرکانس با تغییر ولتاژ تغذیه همراه است به گونه ای که شار در موتور ثابت باقی بماند. افزایش فرکانس به بیش از فرکانس اصلی در ولتاژ ثابت انجام می شود. این امر بواسطه محدودیتهای ناشی از تحمل عایقی استاتور بوجود می آید. متغیر a را به صورت زیر تعریف می کنیم.

$$a = \frac{f}{f_{rated}}$$

که در رابطه فوق f فرکانس کار و f_{rated} فرکانس نامی است. a فرکانس پیرونیست نیرنامیده می شود. کنترل مزایای آن برای حصول نسبت گشتاور به جریان بالا، راندمان مناسب و ضریب قدرت بالا، موتور همواره در ناحیه با شیب منفی سرعت-گشتاور بکار گرفته می شود. اینکار با محدود کردن سرعت لغزش با جریان انجام می شود. فرض کنید که سیستم محرک یک تغییر در سیگنال سرعت را دریافت نماید. در شرایط موتوری کاهش در سیگنال سرعت کاهش در فرکانس تغذیه را بدنبال دارد. این وضعیت سبب قرار گرفتن نقطه کار در ناحیه ترمز ژنراتوری می شود. نتیجتاً در اثر گشتاور ترمزی و گشتاور بار سرعت کاهش می یابد. برای سرعت های کمتر از سرعت ω_{ms} ، فرکانس و ولتاژ با نسبت (v/f) کاهش می یابد (شار ثابت). در این حالت ناحیه شیب منفی منحنی سرعت با محدود کردن سرعت لغزش نقطه کار در ناحیه شیب منفی سرعت-گشتاور باقی می ماند. برای سرعت های بالاتر از سرعت ω_{ms} ، در ولتاژ ثابت، فرکانس به تنهایی کاهش می یابد تا نقطه کار در ناحیه شیب منفی مشخصه سرعت-گشتاور قرار گیرد. در نزدیکی سرعت مورد نظر کار به حالت موتوری جابجا می شود و در نهایت موتور در سرعت مورد نظر قرار می گیرد. اگر منبع تغذیه امکان جذب انرژی ناشی از ترمز ژنراتوری را نداشته باشد، ترمز ژنراتوری امکان پذیر نبوده و در این حالت گشتاور موتور بایستی صفر شود. نتیجتاً عامل اصلی در کاهش سرعت، گشتاور بار می باشد.

در شرایط موتوری با افزایش سیگنال مرجع سرعت، فرکانس تغذیه افزایش می یابد. در نتیجه گشتاور موتور از گشتاور بار بیشتر شده و موتور شتاب می گیرد. در اینجا با محدود نگه داشتن سرعت لغزش

نقطه کار در ناحیه شیب منفی منحنی های سرعت- گشتاور نگهداشته می شود . نهایتاً محرکه در سرعت مطلوب قرار می گیرد.

معمولاً موتورهای کلاس **B** قفس سنجابی، برای این شرایط مورد استفاده قرار می گیرند. در جاهایی که بازدهی انرژی اهمیت دارد از موتور کلاس **A** نیز استفاده می شود. در این طرحها لغزش بار کامل کوچک است که نتیجتاً بازدهی بالا و رگولاسیون سرعت مناسب را بدنبال دارد. همچنین با استفاده از روش کنترل فرکانس ایجاد گشتاور بزرگ با جریان کاهش یافته و در تمامی محدوده سرعت موتور امکان پذیر است. بنا براین روش کنترل فرکانس این امکان را فراهم می آورد که موتور قفس سنجابی دارای مشخصه های خوب در حالات گذرا و در حالت کا دائمی باشد. قابل ذکر است که این موتورها ارزان، محکم، مطمئن با عمر طولانی و نگهداری کم هستند و چون مکان ترمز ژنراتوری تا سرعت صفر نیز امکان پذیر است، این محرکه با روش کنترل فرکانس دارای ویژگی دارای ویژگیهای بسیار مطلوب در حالت دائمی و گذرا می باشد.

۶. فصل ششم، کنترل موتورهای القایی با کنترل کننده‌های ولتاژ AC

برای داشتن محدود وسیع تغییرات سرعت، بایستی از موتور قفس سنجابی کلاس D استفاده شود. چون نسبت گشتاور به جریان با کاهش ولتاژ کم می‌شود، لذا این روش برای کاربردهایی که به گشتاور کم در سرعت‌های پائین نیاز دارند مناسب است.

تغییرات ولتاژ تغذیه توسط کنترل کننده ولتاژ ac بدست می‌آید. لازم به یادآوری است که این کنترل کننده از یک منبع ac ثابت یک ولتاژ ac متغیر فرکانس ثابت ایجاد می‌کند. با اینحال در این تبدیل ضریب قدرت کوچک است و مقدار قابل ملاحظه‌ای از هارمونیکها نیز در ولتاژ خروجی کنترل کننده ایجاد می‌شود. با کاهش ولتاژ خروجی، ضریب قدرت کاهش و محتویات هارمونیک افزایش می‌یابند. افزایش هارمونیکها باعث افزایش تلفات وافت ظرفیت موتور می‌شوند. گشتاور موتور که در ولتاژهای پائین کوچک است کاهش بیشتری می‌یابد.

موتورهای القایی که با کنترل کننده‌های ولتاژ ac کنترل می‌شوند در بارهای پنکه‌ای، پمپها و جرثقیلها بکار گرفته می‌شوند.

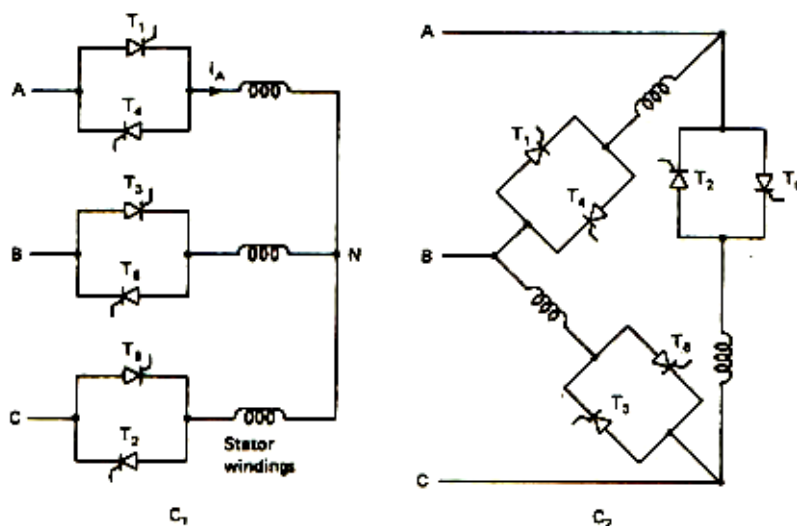
۶-۱. مدارهای کنترل کننده ولتاژ AC

شکل 6-1 دو طرح متداول کنترل کننده‌های ولتاژ ac سه فاز برای استاتور با اتصالات ستاره و با اتصال مثلث را نشان می‌دهد. در موتورهای کوچک هر زوج تریستوری موازی را می‌توان با یک تریاک جایگزین نمود. آرایش C_1 در حالتی که استاتور بصورت مثلث است نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با یک اتصال مثلث جریان چرخشی هارمونیک سوم، تلفات موتور را افزایش می‌دهد. در آرایش C_1 ، هر زوج تریستوری جریان خط شبکه را عبور می‌دهند. در حالی که در آرایش C_2 هر زوج تریستوری فقط جریان فاز را عبور می‌دهند. بنابراین جریان نامی تریستور در آرایش C_2 با ضریب $[\sqrt{3}/2]$ نسبت به آرایش C_1 کاهش می‌یابد در شرایط عادی کار مبدل، حداکثر ولتاژی که به تریستورها اعمال می‌شود در آرایش C_1 به اندازه $[\sqrt{3}/2]$ مرتبه کوچکتر از آرایش C_2 است (2). ولی در شرایط غیرعادی حداکثر ولتاژ یکسان است، (یعنی برابر با حداکثر ولتاژ خط). چنین شرایط غیر طبیعی بسادگی می‌تواند ایجاد شود، برای مثال در شرایطی که تریستورهای یک فاز در اثر خرابی قطعه و یا فرمان آتش غلط هادی شوند و جریان

بقیه فازها تمایل به قطع شدن داشته باشند. چون امکان وقوع اینگونه خطاها همواره وجود دارد بایستی ولتاژ نامی ترისტورها از حداکثر ولتاژ خط بیشتر باشد. بنابراین طرح کنترل کننده C_2 هزینه کمتری نسبت به C_1 دارد. با اینحال مدار C_2 فقط در مواردی بکار گرفته می‌شود که ماشین دارای اتصال مثلث بوده و وسرهای سیم‌بندیهای ماشین در دسترس باشند. این وضعیت در بسیاری از کاربردهای موتورهای القایی وجود ندارد.

با جایگزینی یکی از ترისტورهای هر جفت موازی با یک دیود می‌توان یک کنترل کننده ac از رانتر بدست آورد. در این طرح هارمونیکهای زوج نیز ایجاد می‌شوند. در آرایش C_1 ، هارمونیک دوم بر هارمونیک پنجم غالب است ولی در آرایش C_2 هارمونیک دوم بر هارمونیک سوم غالب است. حضور هارمونیک دوم با فرکانس پائین، تلفات موتور را بخصوص در سرعتهای پائین بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد.

در آرایشهای نامتقارن یک یا دو زوج ترისტوری حذف می‌شوند و فازهای متناظر آنها مستقیماً به منبع وصل می‌شوند. این مدارهای نامتقارن سبب کار نامتقارن موتور القایی و افزایش هارمونیکها می‌شوند. ظرفیت گشتاور، که در سرعتهای پائین کم است، بشدت کاهش می‌یابد به همین منظور دلیل از این مدارهای نامتقارن استفاده نمی‌شود.



شکل 6-1) مدارهای کنترل کننده‌های ولتاژ ac سه فاز

تریستورهای مدار کنترل کننده شکل 6-1 به ترتیب شماره آنها و با اختلاف فاز 60 درجه بطور متوالی آتش می‌شوند. در مدار C_1 زاویه آتش α از لحظه‌ای که ولتاژ فازی V_{AN} صفر است و در مدار C_2 زاویه آتش α از لحظه‌ای که ولتاژ خط V_{AB} صفر است اندازه‌گیری می‌شوند. زاویه زیر را تعریف می‌کنیم:

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{X_{in}}{R_{in}} \right]$$

که $R_{in} + jX_{in}$ امپدانس ورودی موتور ا لقای است.

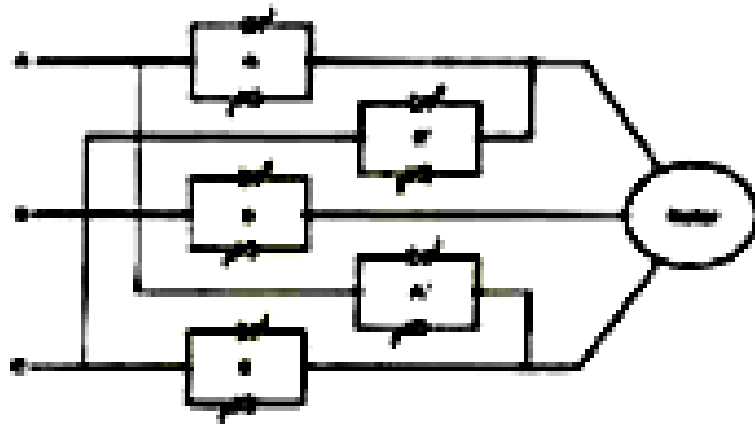
برای زاویه‌هی آتش $\alpha \leq \phi$ ، ولتاژ تغذیه موتور ثابت و تقریبا برابر با ولتاژ تغذیه است. لذا جریان و ولتاژ موتور هر دو سینوسی کامل هستند . برای مقادیر بزرگتر a ، جریان موتور بصورت غیر پیوسته در می آید و ولتاژ موتور با افزایش a ، کاهش می یابد . جریان و ولتاژ موتور در مدارهای C_1, C_2 به ترتیب در $a = 150^\circ$ و $a = 180^\circ$ صفر می شوند . بدلیل هدایت غیر پیوسته و وابستگی R_{in} و X_{in} به لغزش موتور s ، تجزیه و تحلیل موتور القائی که با کنترل کننده ولتاژ ac تغذیه می شوند پیچیده است. مشخصه های سرعت -گشتاور نیز بطور قابل ملاحظه ای از مشخصه های سرعت-گشتاور مربوط به تغذیه موتور با ولتاژ سینوسی متغیر اختلاف دارد.

شکل موجهای جریان و ولتاژ موتور به زاویه آتش بستگی دارند.

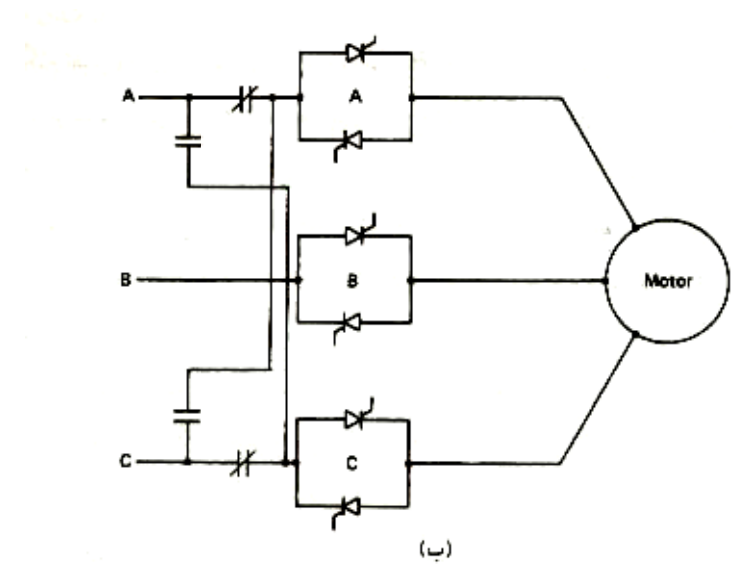
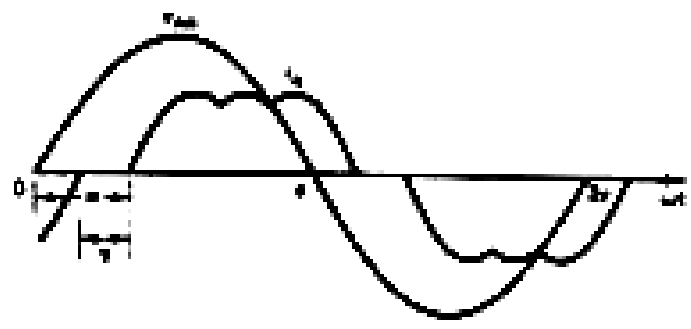
موج جریان برای مدار C_1 و با $a = 60^\circ$ رانشان می دهد . تاخیر از لحظه صفر شدن تا زمان آتش تریستور بعدی در همان فاز ، زاویه توقف $(holdoff)y$ نامیده می شود.

۶-۲. کنترل چهار ربعی و کار بصورت حلقه بسته

مدارهای سه فاز شکل 6-1 می توانند در حالت موتوری مستقیم و ترمزی (از نوع تغییر توالی و لتاژ) کار کنند . برای کار موتوری در سرعت پائین و کار ترمزی با سرعت بالا استفاده از موتور القایی قفس سنجابی کلاس D باعث ایجاد گشتاوردهای بالاتر با جریان کمتر می شود.



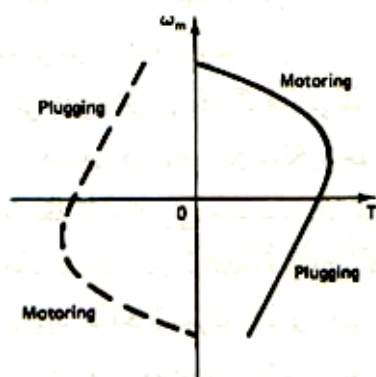
شکل 2-6 شکل موج جریان فاز i_A برای $a = 60^\circ$ برای مدار C_1 در شکل 1-6



(ب)

ادامه شکل 3-6

عملکرد بصورت چهار ربعی از طریق جابجایی فازها با استفاده از مدار شکل 6-3 الف بدست می آید. زوجهای تریستوری C, B, A امکان کار در نواحی IV, I را فراهم می سازند. در شکل 6-4 منحنی سرعت - گشتاور در یک ولتاژ استاتور ثابت و برای کار در نواحی IV, I نشاد داده شده است. استفاده از زوجهای تریستوری C', B', A' توالی ولتاژ تغذیه موتور را عوض می کند و در نتیجه شرایط کار موتور در نواحی III, II فراهم می شود. در شکل 6-4 منحنی سرعت گشتاور برای همان ولتاژ قبلی استاتور و کار در نواحی III و II با منحنی خط چین نشان داده شده است.



شکل 6-4) منحنی های سرعت - گشتاور برای یک ولتاژ استاتور برای توالی مثبت و توالی منفی

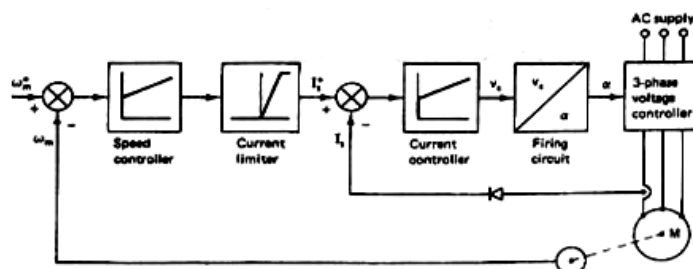
هنگام تغییر وضعیت عملکرد از مجموعه ABC به $A'B'C'$ و یا بر عکس، بایستی دقت نمود که قبل از ورود تریستورهای فعال شونده، جفت‌های خارج شونده کاملاً قطع شده باشند. زیرا در غیر اینصورت منبع تغذیه از طریق تریستورهای هادی اتصال کوتاه می شود. حفاظت در برابر اینگونه خطاها فقط بتوسط فیوزها انجام می شود. مدار کنترل کننده جریان نمی توان چنین حفاظتی را تامین کند. بنا براین به منظور تغییر وضعیت تریستورها از یک گروه (ABC) به گروه دیگر $(A'B'C')$ ، ابتدا پالسها آتش برداشته می شوند. تا جریان صفر شود. پس از صفر شدن جریان و مدار، که توسط سنسور جریان تشخیص داده می شود، جهت اطمینان از قطع تریستورها، پس از یک زمان توقف 5 تا 10 میلی ثانیه ای پالسها به آن مجموعه تریستوری که بایستی فعال شوند ارسال می شوند. در کنترل چند ربعی، از حلقه کنترل جریان برای محدود کردن جریان موتور به یک حد مجاز نیز استفاده می شود.

عملکرد چهار ربعی را با استفاده از مدار شکل 6-3 ب نیز می توان بدست آورد. این مدار شامل سه زوج تریستور C, B, A و یک کنتاکتو با دو کنتاکت باز و دو کنتاکت بسته است. عملکرد در ربع یک چهار در

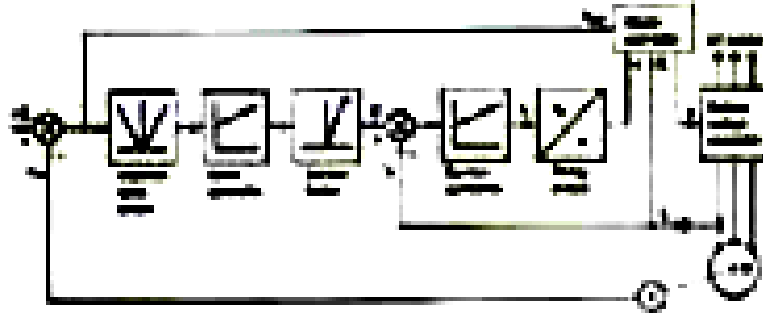
حالتی که کنتاکتور قطع است و عملکرد د رربع دو و سه در حالتی که کنتا کتور وصل است امکان پذیر است. برای کاهش ظرفیت نامی کنتاکتور تغییر وضعیت کنتاکتور پس از صفر شدن جریان انجام می شود. پس در لحظه ای که کنتاکتور بایستی تغییر وضعیت دهد . ابتدا پالسهای تریستورها برداشته می شوند تا جریان صفر شود.

پس از یک مدت زمان مناسب پس از صفر شدن جریان ، کنتا کتور عمل می کند و پالسها نیز مجددا ارسال می شوند.

برای کنترل سرعت بصورت حلقه بسته ، طرح حلقه داخلی کنترل جریان که در فصل قبل تشریح شد بکار گرفته می شود ، مشابه محرکه موتور *dc*. دراین طرح ، یک حلقه خاجی کنترل سرعت و یک حلقه داخلی کنترل جریان بکار گرفته می شوند . برای کار در ربع ، از کنترل کننده های ولتاژ شکل 6-1 استفاده می شود . برای عملکردچهار ربعی ، کنترل کننده های ولتاژ شکل 6-3 بکار گرفته می شوند. یک طرح کلی کنترلی حلقه بسته برای کنترل تک ربعی در شکل 6-5 نشان داده شده است . کنترل حلقه بسته چهار ربعی با استفاده از کنترل کننده ولتاژ شکل 6-3 الف و محرکه شکل 6-6 نیز تحقق می یابد . عملکرد محرکه را برای تغییر جهت حرکت در نظر بگیرید. هنگامیکه سیگنال فرمان سرعت برای تغییر جهت دادن تنظیم می شود، سیگنال خطای سرعت e_{om} معکوس شده واز حد مجاز عبور می کند. کنترل کننده اصلی با دریافت این سیگنال از ارسال پالسهای فرمان تریستور ها جلوگیری می کند. تا جریان اجبارا صفر شود. پس از تشخیص صفر شدن جریان ، کنترل کننده اصلی پس از یک تاخیر بین 5 تا 10 میلی ثانیه جهت اطمینان از قطع تریستور ها ، ارسال مجدد پالسها را به مجموعه تریستورها یی که بایستی هادی شوند ، شروع می کند . در ابتدا سرعت محرکه کاهش می یابد و سپس دریک حداکثر جریان ثابت در جهت عکس شتاب می گیرد و نهایتا به سرعت مطلوب می رسد.



شکل 6-5 کنترل سرعت حلقه بسته تک ربعی



شکل 6-6 کنترل سرعت حلقه بسته چهار ربعی

۳-۶. محرکه های بارهای پنکه ای یا پمپ ها و جرثقیل ها

دو کار برد مهم موتور های القائی که با کنترل کننده های ولتاژ ac تغذیه می شوند محرکه بار پنکه ای یا پمپ و محرکه جرثقیل هستند .

۱-۳-۶. محرکه های بارهای پنکه ای و پمپ ها

در این محرکه ها، گشتاور با مجذور سرعت و قدرت با توان سوم سرعت تغییر می کنند. حجم سیالی که توسط پمپ یا پنکه انتقال داده می شود، در یک فشار ثابت، متناسب با قدرت موتور است، و بنا براین متناسب با توان سوم سرعت است . برای مثال ، یک کاهش $6/53$ درصدی در سرعت نسبت به سرعت بار کامل ، مقدار حجم سیال جاری شده را به 10 درصد کاهش می دهد. لذا در اکثر محرکه های پمپ ها و پنکه ها ، محدوده تغییرات سرعت خیلی باریک است . چون گشتاور متناسب با مجذور سرعت کاهش می یابد و منترل سرعت هم فقط در محدوده کوچکی لازم است، موتورهای القائی قفس سنجابی کلاس D که لغزش بار کامل آنها بین $1/0$ تا $2/0$ است و با کنترل کننده های ac کار می کنند ، برای چنین کار بردهایی مناسب هستند . از معادله (5-17) گشتاور موتور بصورت زیر بدست می آید.

$$T = \frac{3}{\omega_{ms}} I_r'^2 \frac{R_r'}{s}$$

همچنین

$$T_l = C \omega_m^2 = C(1-s) \omega_{ms}^2$$

که C یک ضریب ثابت است.

اگر از گشتاورهای اصطحکاک، تفاوت مقاوم هوا و تلفات هسته صرف نظر شود،

$$T = T_1$$

با جایگزینی از معادلات (2-6) و (3-6) در معادله (4-6) و مرتب سازی جملات نتیجه زیر حاصل می شود.

$$I_r' = K \left[\frac{(1-s)\sqrt{s}}{\sqrt{R_r'}} \right] \quad (6-5)$$

$$K = \sqrt{(C\omega_{ms}^3)/3} \quad (6-6)$$

اگر از شاخه مغناطیس کننده مدار معادل شکل 5-1-5 د صرف نظر شود، $I_s = I_r'$ و معادله (5-6) بصورت زیر در می آید

$$I_s = K \left[\frac{(1-s)\sqrt{s}}{\sqrt{R_r'}} \right]$$

معادله (7-6) نشان می دهد که برای یک مقدار مشخص لغزش، جریان موتور یا جذر مقاومت رتور بطور معکوس متناسب است. اگر جریان بار کامل استاتور و لغزش متناظر با آن به ترتیب با I_{rated} و S_{rated} نشان داده شوند، از معادله (7-6) نتیجه می شود که

$$I_{rated} = K \left[\frac{(1-S_{rated})\sqrt{S_{rated}}}{\sqrt{R_r'}} \right]$$

با تقسیم معادله (7-6) به معادله (8-6) ،

$$\frac{I_s}{I_{rated}} = \frac{(1-s)\sqrt{2}}{(1-S_{rated})\sqrt{S_{rated}}}$$

لغزشی که در آن I_s به مقدار حداکثر خود می رسد با مشتق گیری I_s نسبت به لغزش و مساوری صفر قرار دادن (dI_s/ds) از معادله (7-6) بدست می آید که نتیجه می دهد که

$$s_m = \frac{1}{3}$$

جایگزینی از معادله (10-6) در معادله (9-6) نتیجه زیر را بدنبال دارد.

$$\frac{I_{max}}{I_{rated}} = \frac{2}{3\sqrt{3}(1-S_{rated})\sqrt{S_{rated}}}$$

که I_{max} ، حداکثر مقدار I_s است. این مقدار از جریان نامی موتور بیشتر است.

معادله (6-11) بیان می‌کند که حداکثر جریان برای موتورهای با لغزش نامی بزرگتر، کمتر است. نسبت حداکثر جریان به جریان نامی موتور برای لغزش‌های نامی بین 1/0 تا 2/0 به ترتیب معادل 35/1 تا 07/1 است. بنابراین اگر موتوری بکار گرفته شود که توان نامی آن با توان موردنیاز بار یکسان باشد، برای سرعت‌های کمتر از سرعت نامی، موتور دچار اضافه‌بار خواهد شد.

در شرایطی که محدوده سرعت موتور از سرعت سنکرون تا حدود $\frac{2}{3}$ سرعت سنکرون (یا $\frac{1}{3}$) و یا کمتر از آن لازم باشد، آنگاه موتوری با جریان نامی معادل I_{max} بایستی انتخاب شود. با انجام چنین کاری، جریان موتور در بار کامل از جریان نامی کمتر خواهد بود. لذا موتور در ظرفیت کمتر از مقدار نامی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. میزان افت ظرفیت موتور تقریباً معادل نسبت جریان نامی به حداکثر جریان است. بنابراین در لغزش‌های بار کامل بین 1/0 تا 2/0 افت ظرفیت موتور به ترتیب معادل 74/0 تا 93/0 خواهد بود. بجز مواردیکه که در آنها از روش خنک‌سازی اجباری استفاده می‌شود، میزان

خنک‌سازی موتور در لغزش $s = \frac{1}{3}$ نسبت به سرعت بار نامی کم خواهد بود. بنابراین افت واقعی ظرفیت موتور بیشتر خواهد بود. از اینرو با توجه به مشکل افت ظرفیت موتور، موتورهای با لغزش نامی بزرگتر ترجیح داده می‌شوند. ولی در مقابل راندمان در بار نامی دچار آسیب می‌شود. لذا لغزش بار نامی با در نظر گرفتن چنین شرایطی انتخاب می‌شود. بطور کلی لغزش بین 1/0 تا 2/0 انتخاب می‌شود.

در بحث‌های قبلی، اثرات هارمونیک‌های تولید شده بوسیله کنترل‌کننده‌های ولتاژ ac در نظر گرفته نشده است. همزمان با کاهش ولتاژ تغذیه، به جهت کاهش سرعت موتور، هارمونیک‌های جریان استاتور و رتور افزایش می‌یابند. مقدار هارمونیک‌های جریان موتور تقریباً به مقدار راکتانس‌های موتور بستگی دارند.

بنابراین جریان هارمونیکی در $s = \frac{1}{3}$ با افزایش در لغزش بار کامل تغییر قابل ملاحظه‌ای نخواهد داشت. هنگامیکه گرمای اضافی موتور ناشی از هارمونیکها در نظر گرفته شود، افت ظرفیت موتور از آن چیزی که هم اکنون به آن اشاره شد بیشتر خواهد گردید.

در محرکه‌های پنکه یا پمپ، حالت ترمزی لازم نیست چونکه سیال به اندازه کافی گشتاور ترمزی ایجاد می‌کند. در مواردیکه به دبی ثابتی از سیال نیاز است از سیستم کنترل حلقه بسته استفاده می‌شود تا با تغییر فشار سیال بعد از پمپ مقدار دبی ثابت باقی بماند.

۶-۳-۲. محرکه جرثقیل‌ها

در محرکه‌های مربوط به جرثقیل‌ها و بالابرها، عملکرد موتوری و ترمزی در هر دو جهت لازم است. تغییر وضعیت موتور از حالت موتوری به ترمزی و برعکس بایستی بطور ملایم انجام شود. بنابراین موتور با یک کنترل کننده چهارربعی همانند شکل 6-3 الف تغذیه می‌شود. برای داشتن محدوده وسیعی از تغییرات سرعت و تغییر وضعیت ملایم، از کنترل حلقه بسته سرعت همراه با حلقه کنترل داخلی جریان استفاده می‌شود.

با استفاده از یک موتور قفس سنجابی کلاس D که با یک کنترل کننده ولتاژ ac تغذیه می‌شود، گشتاور ترمزی مناسب و گشتاور موتوری بزرگ در سرعت‌های پائین بدست می‌آید. ولی بهره‌برداری طولانی در این شرایط امکان پذیر نیست چونکه اضافه جریانی موتور زیاد است. لذا از یک موتور القایی رتور سیم‌پیچی شده با مقاومتهای متغیر در رتور استفاده می‌شود. با داشتن یک مقاومت رتور به اندازه کافی بزرگ، یک گشتاور بزرگ با جریان رتور کاهش یافته حاصل می‌شود. بدلیل کاهش در جریان گرمای موتور بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. مقاومت متغیر ممکن است شامل چندین قسمت باشد که با استفاده از کنتاکتور وارد مدار و یا از آن خارج می‌شوند. به روشی دیگر، ممکن است از یک مقاومت کنترل شده توسط یک برشگر استفاده شود. با استفاده از ترکیب کنترل کننده ولتاژ ac و مقاومت متغیر رتور، مشخصه‌های موتوری به شکلی در می‌آیند که با ملزومات گشتاور و سرعت در حالات موتوری و ترمزی سازگار می‌شوند.

۶-۴. راه‌اندازی با کنترل کننده‌های ولتاژ AC

از کنترل کننده‌های ولتاژ ac در راه‌اندازی موتور القایی نیز استفاده می‌شود. بدلیل کنترل غیرپله‌ای ولتاژ موتور و انعطاف‌پذیری کنترل ناشی از پائین بودن قدرت مدار کنترلی، کنترل کننده‌های ولتاژ ac در راه‌اندازی مزایای بیشتری نسبت به روشهای راه‌اندازی مرسوم همچون راه‌اندازی با اتوترانسفورمر، راه‌اندازی با کلید ستاره و مثلث و غیره دارند. برخی از مزایا عبارتند از شتاب‌گیری و کاهش سرعت یکنواخت، سادگی در پیاده‌سازی کنترل جریان، حفاظت آسان در مقابل تکفاز کار کردن یا کار بصورت نامتقارن، نیاز به نگهداری کمتر در کاربردهایی که راه‌اندازی و توقف مکرر خودکار دارند، عدم حضور جریانهای هجومی که در زمان قطع و وصل ولتاژ خط در اتوترانسفورمر و راه‌اندازی ستاره-مثلث وجود دارند.

هنگامیکه شرایط کاری مناسب هستند، در راهاندازی با کنترل‌کننده‌های ولتاژ ac صرفه‌جویی انرژی هم وجود دارد چونکه موتور را می‌توان با ولتاژ بهینه تغذیه نمود که در بخش بعدی به آن اشاره می‌شود.

۶-۵. حداقل نمودن تلفات

در بخش قبل توضیح داده شد که صرفه‌جویی قابل توجه در تلفات موتور در بارهای سبک با کاهش ولتاژ تغذیه امکان‌پذیر است. در چنین کاربردهایی، کنترل ولتاژ برای کاهش تلفات است نه برای کنترل سرعت. صرفه‌جویی در انرژی به سه عامل بستگی دارد: بارگذاری موتور، دامنه ولتاژ اعمال شده، و کیفیت ساختمانی موتور. صرفه‌جویی در انرژی در حالت موتورهای تکفاز بیش از موتورهای سه فاز است. مهمترین عامل موثر بر صرفه‌جویی انرژی نحوه بارگیری از موتور است. هرچه بار سبک‌تر باشد، صرفه‌جویی انرژی بیشتر است. دوره کاری یک موتور بصورت نسبت مدت زمان بار کامل به مجموع زمانهای بی‌باری و بار کامل تعریف می‌شود. در کاربردهای با دوره کاری کوتاه صرفه‌جویی در انرژی بیشتر است. کاربردهای فراوانی وجود دارند که در آنها دوره کاری کوتاه است نظیر برشکاری فلزات، ماشین‌های ابزار، ماشین‌های ابزار، ماشین‌های خیاطی، سوراخکاری قطعات و غیره. در چنین کاربردهایی، موتور با یک ولتاژ ثابت تغذیه می‌شود، چونکه کنترل سرعت ضروری نیست. صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در انرژی در مواردی که از یک ولتاژ متغیر استفاده شود حاصل می‌شود.

صرفه‌جویی در انرژی به منبع تغذیه نیز بستگی دارد. موتوری که در نزدیکی یک پست توزیع کار می‌کند نسبت به موتوری که در انتهای خط توزیع کار می‌کند ولتاژ بزرگتری خواهد داشت. بنابراین، کاهش ولتاژ صرفه‌جویی بزرگتری را فراهم می‌آورد. یک موتور با طراحی نادرست جریان مغناطیسی بیشتری می‌کشد و تلفات هسته بزرگتری خواهد داشت (که این امر می‌تواند ناشی از فاصله هوایی بزرگتر و کیفیت نامرغوب ورقه‌ها باشد). برای یک موتور با طراحی خوب، کار در ولتاژ کاهش یافته در شرایط بارهای سبک منجر به صرفه‌جویی بیشتر در انرژی خواهد شد.

تغییرات در ولتاژ موتور فقط با قرار گرفتن یک کنترل‌کننده ولتاژ ac بین منبع و موتور امکان‌پذیر است. تلفات کنترل‌کننده ولتاژ ac و تلفات اضافی موتور ناشی از هارمونیک‌های ولتاژ باعث کاهش صرفه‌جویی انرژی می‌شود. در بیشتر کاربردها، صرفه‌جویی خالص در انرژی با هزینه اضافی مربوط به یک کنترل‌کننده ولتاژ ac برابری نمی‌کند. با اینحال، اگر از کنترل‌کننده ولتاژ ac برای راهاندازی موتور استفاده شود، آنگاه از همان کنترل‌کننده می‌توان برای کاهش تلفات نیز استفاده نمود.

۷. فصل هفتم، محرکه های موتور القایی کنترل شده با فرکانس

در محرکهای سرعت متغییر از موتور dc که با یک سو کننده قابل کنترل تغذیه می شود به طور وسیعی استفاده می شود.

یک موتور القایی قفس سنجانی چند مزیت نسبت به یک موتور dc دارد. از جمله قیمت ارزان، طول عمر زیاد، استحکام و قابلیت اطمینان بالا را می توان نام برد. همچنین به علت عدم حضور کمو تاتور و جاروبکها، موتور قفسه سنجابی نیاز به تعمیر و نگهداری ندارد. موتور در محیط های قابل انفجار نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد. ساختمان رتور موتور قفس سنجابی بگونه ای است که می توان آن را در سرعت، قدرت و ولتاژ بالاتر طراحی نمود. همچنین، وزن و حجم ممان اینرسی آن کمتر است. با این حال هزینه سیستم کنترل فرکانس متغییر به مراتب بیش از هزینه یکسو کننده قابل کنترل می باشد. با آنکه قیمت موتور القایی قفس سنجابی در قدرت یکسان از قیمت موتور dc موتور بسیار کم است ولی در مجموع هزینه محرکه ac فرکانس متغییر عموماً بالاتر است.

در کاربردهای خاص که نیاز به تعمیر و نگهداری نبایستی وجود داشته باشد همچون کاربرد در تأسیسات زیر دریایی و زیر زمینی و همچنین کاربرد در محیط های قابل انفجار و آلوده نظیر معادن و صنایع شیمیائی استفاده از محرکه های القایی با فرکانس متغییر عمومیت پیدا کرده است. به دلیل مزایای موتورهای قفس سنجابی و روش کنترل فرکانس متغییر، محرکهای ac فرکانس متغییر در کاربردهایی نظیر موتورهای کششی، پمپها، بارهای پنکه ای کمپرسورها، با صنایع بافندگی و ماشین ابزارها و وسایل نقلیه نیز مورد استفاده قرار گیرند.

هم اکنون به سبب در دسترس بودن و پیشرفت ترانزیستور های قدرت، از لحاظ مقادیر نامی بالا و مشخصه های بهبود یافته، در قدرتهای پایین هزینه محرکه های ac فرکانس متغییر با محرکه dc قابل مقایسه شده است. همچنین در چند ساله اخیر، با پیشرفت های ایجاد شده در ساخت GTO انتظار می رود که محرکه های ac بطور کامل جایگزین محرکه های dc در قدرتهای متوسط و تا حدی قدرتهای بالا بشوند.

در این فصل محرکه های فرکانس متغییر مورد بررسی قرار می گیرند که در آنها در مبدلهای نیمه هادی قدرت استفاده می شود این مبدلهای به 3 دسته زیر تقسیم بندی می شوند:

1- اینورتر منبع ولتاژ

2- اینورتر منبع جریان

3- سیکلوکنورتر

اینوترها dc را به ac با فرکانس متغییر تبدیل می کنند. اگر خروجی ac اینتور بصورت یک منبع ولتاژ ac عمل کند، به گروه اینورتر منبع ولتاژ تعلق دارد. به همین صورت اگر خروجی ac اینوتر بصورت یک منبع جریان ac عمل کند، آن را اینورتر منبع جریان می نامند.

به دلیل کوچک بودن امپدانس داخلی، ولتاژ خروجی یک اینوتر منبع ولتاژ با تغییرات بار ثابت باقی می ماند بنابراین برای محرکه های تک موتور و چند موتور مناسب هستند. با اتصال کوتاه شدن پایانه های خروجی، جریان به سرعت افزایش می یابد زیرا امپدانس داخلی ثابت زمانی آن کوچک هستند. بنابراین حفاظت در برابر اتصال کوتاه توسط سیستم کنترل جریان میسر نیست بایستی با فیوزهای سریع حفاظت انجام می شود.

در مقابل بدلیل بزرگ بودن امپدانس داخلی یک اینوتر منبع جریان، تغییر ولتاژ پایانه های اینوترتر جریان در اثر تغییر بار بسیار بزرگ است. بنابراین اگر در حالت چند ماشینه از اینوترتر جریان استفاده شود. تغییر بار هر یک از موتورها بر کار سایر موتورهای اثر دارد پس در کاربرد چند ماشینه از اینوترتر منبع جریان استفاده نمی شود. چون جریان خروجی اینوترتر منبع جریان مستقل از امپدانس بار است، حفاظت ذاتی در مقابل اتصال کوتاه پایانه هایش دارد.

سیکلوکنورترها از منبع ac ثابت می توانند مشخصه منبع ac فرکانس متغییر ولتاژ یا جریان را ایجاد نمایند.

۷-۱. کنترل موتور القائی با اینورتر منبع ولتاژ

کار موتور تا سرعت نامی با روش کنترل (v/f) ثابت و بعد از آن با ولتاژ ثابت انجام می شود. در سرعت های پایین برای جبران افت ولتاژ استاتور، نسبت v/f کمی افزایش می یابد. محرکه از حالت سکون تا سرعت نامی در حداکثر جریان و گشتاور ثابت عمل می کند. در بالاتر از سرعت نامی، تا سرعت بحرانی که در آن گشتاور با گشتاور فرار برابر است، محرکه که در قدرت ثابت عمل میکند در سرعت های بالاتر از سرعت بحرانی کار موتور فقط با کاهش قدرت امکانپذیر است و در این ناحیه جهت جلوگیری از توقف موتور معمولاً محرکه با روش کنترل سرعت لغزش ثابت کنترل می شود. برای افزایش ناحیه کار با قدرت ثابت، از موتورهای القائی با گشتاور فرار بزرگتر می توان استفاده نمود. یک موتور هنگامی گشتاور فرار بزرگتر دارد که را کتانس نشتی آن کوچک باشد. ولی اگر

راکتانس موتور کوچک باشد، زمانیکه هارمونیک ها حاضر باشند، دامنه ضربانهای گشتاور افزایش و ظرفیت قابل استفاده موتور کاهش می یابد.

نکات ذکر شده فوق در مورد کار موتوری برای کار به صورت ترمز ژانراتوری نیز صادق است با این تفاوت که ناحیه کاری گشتاور ثابت تا سرعتی بالاتر از سرعت ناکامی امکان پذیر است.

هنگامیکه نسبت v/f در سرعتهای پایین برای جبران افت ولتاژ روی مقاومت استاتور افزایش می یابد، در حین کار موتوری در بارهای سبک موتور به اشباع می رود و ممکن است که جریان موتور از جریان نامی آن بیشتر شود.

در محرکه های فرکانس متغیر معمولاً از موتور قفس سنجابی کلاس B استفاده می شود. در این کاربردهای خاص برای داشتن راندمان انرژی بالاتر ممکن است از موتورهای کلاس A استفاده شود. در بخش قبل کار یک موتور القائی با تغذیه غیر سینوسی مورد بررسی قرار گرفت چون راکتانس مغناطیسی ناشی از هارمونیکهای منبع قابل صرف نظر هستند و در نتیجه شار فاصله هوایی را می توان سینوسی کامل در نظر گرفت. دامنه هارمونیکهای جریان و رتور که مستقل از سرعت موتور هستند. به راکتانس رتور و دامنه هارمونیکهای ولتاژی بستگی دارند. راکتانس موتور همانند یک فیلتر پایین گذر عمل می کند و در نتیجه دامنه هارمونیک های بالایی جریان رتور را کاهش می دهد. بنابراین اگر منبع ولتاژ دارای هارمونیک های بزرگی باشد. یک موتور القائی با راکتانس بزرگ ترجیح داده می شود.

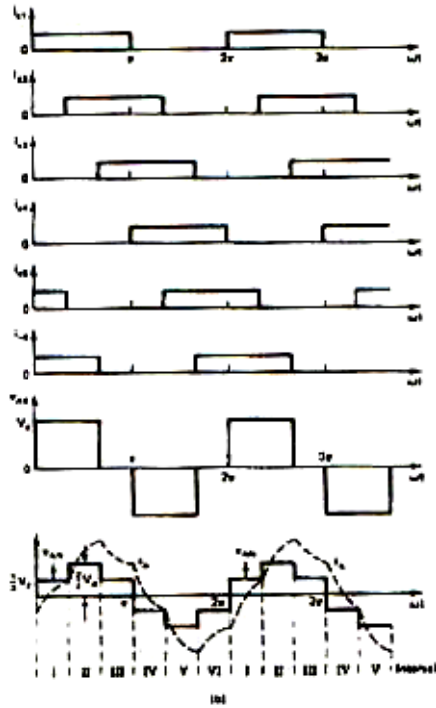
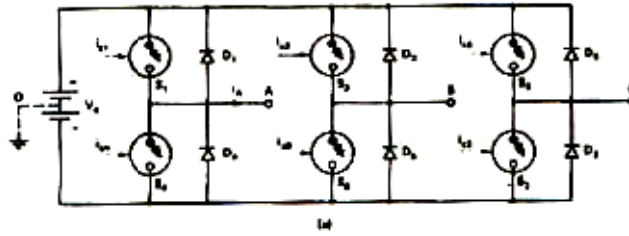
همچنین با توجه به آنکه شار سینوسی است، آثار هارمونیک ها بر روی گشتاورد و قدرت ایجاد شده قابل صرف نظر هستند. با این حال هارمونیک های جریان ، تلفات مسی را افزایش و ظرفیت موتور را کاهش می دهد. اثر پوستی در موتورهای شیار عمیق و یا دوبل سبب افزایش تلفات مسی هارمویکی می شود. بنابراین ، در مواردیکه دامنه هارمونیک های ولتاژ بالاست از موتورهای قفس سنجابی دوبل و یا شیار عمیق استفاده نمی شود. عکس العمل بین مؤلفه اصلی شار و جریانهای هارمونیک پنجم و هفتم رتور، ضربان گشتاور با فرکانس شش برابر فرکانس اصلی ایجاد می کنند. بطریق مشابه، جریانهای هارمویکی یازده و سیزده رتور ضربان گشتاور با فرکانس دوازده برابر فرکانس اصلی ایجاد می کنند. اما دامنه این گشتاور ضرباتی خیلی کمی است در حالتی که فرکانس مؤلفه اصلی کم است ، که نتیجتاً سرعت موتور کم است ، ضربان گشتاور موتور سبب نوسانات بزرگ سرعت می شود به طوریکه حرکت موتور به صورت پله ای در می آید. این حالت بخصوص در شرایطی که نیاز به

تغییر جهت حرکت موتور وجود دارد بارزتر است. با انتخاب یک موتور با راکتانس بالا، افت ظرفیت موتور و آثار نوسانات گشتاور کمتر می شود. در مواردیکه ولتاژ تغذیه دارای هارمونیک‌های با دامنه بزرگ باشد بایستی از موتور قفس سنجابی کلاس **B** استفاده شود. اما با این کار مقدار گشتاور فرار کاهش می‌یابد و بواسطه آن، محدوده تغییرات سرعت در ناحیه قدرت ثابت نیز کاهش می‌یابد. از موتور کلاس **A** نیز در مواردی استفاده می شود که هارمونیک‌های ولتاژ تغذیه قابل صرف نظر باشند. در این بخش اینورترهای منبع ولتاژ سه فاز و محرکه‌های فرکانس متغییر که با این اینورترها تغذیه می شوند مورد بررسی قرار می گیرند.

۷-۱-۱. اینورتر منبع ولتاژ سه فاز

شکل 7-1 الف: مدار قدرت یک اینورتر منبع ولتاژ سه فاز را نشان می دهد. در اینورتر منبع ولتاژ سه فاز از شش کلید نیمه هادی با کموتاسیون خودی استفاده می شود. از 6 دیود **D1** تا **D6** با اتصال به صورت موازی و معکوس با هر کلید استفاده می شود. به علت حضور دیودهای **D1** تا **D2** هیچ یک از کلیدها در گرایش معکوس قرار نمی گیرند. لذا می توان از ترانزیستور قدرت **GTO** ما سفت و یا تریتورهای اینورتری با کموتاسیون اجباری به جای **s1** تا **s6** استفاده نمود. از دیودهای سریع با زمان بازیابی کوچک به جای **D1** تا **D6** نیز استفاده می شود. برای هر زوج کلید و دیود مدار حفاظتی ضربه گیر (اسنابر) لازم است، که در شکل نشان داده نشده است. موتور که بین سرهای **A, B, C** وصل می شود ممکن است دارای اتصال مثلث یا ستاره باشد. ممکن است اینورتر به صورت شش پله ای و یا به صورت مدولاسیون پهنای پالس کار کند که در بخشهای بعدی هر دو روش مورد بررسی قرار می گیرند.





شکل 1-7 اینورتر منبع ولتاژ سه فاز

۷-۱-۲. اینورتر شش پله ای

سیگنالهای کنترلی شش کلید اینورتر شکل 1-7 الف $ic1$ تا $ic6$ در شکل 1-7 نشان داده شده اند. پریور ولتاژ خروجی اینورتر 2π رادیان است. (دوره تناوب T) پهنای هر سیگنال کنترلی π رادیان است و

سیگنالهای کنترلی با اختلاف فاز $\frac{\pi}{3}$ رادیان و با توالی منظم با کلیدهای اعمال می شوند در شکل 1-7 ب دوره تناوب T به 6 فاصله زمانی مساوی تقسیم شده است. در طی هر فاصله زمانی ، کلیدها مطابق جدول زیر سیگنال کنترل دریافت می کنند.

ارسال فرمان به کلید	فاصله زمانی	ارسال فرمان به کلید	فاصله زمانی
2.3.4	IV	1.5.6	I
5.4.3	V	1.2.6	II
5.4.6	VI	1.2.3	III

یک کلید هنگامی هدایت می کند که سیگنال فرمان دریافت کند و در گرایش مستقیم قرار گیرد و جریان بار با آن برقرار نماید. ولی اگر در گرایش معکوس قرار گیرد جریان بار به توسط دیودهای موازی با آنها برقرار می شود. در این حالت کلید در گرایش معکوس قرار می گیرد و ولتاژ معکوس دو سر کلید برابر با ولتاژ هدایتی دیود موازی با آن است. در هر حالت با حضور سیگنال کنترل کلید یا دیود موازی با آن هدایت جریان بار به عهده دارند. با استفاده از اطلاعات فوق می توان شکل موج ولتاژ خط را ترسیم نمود. برای مثال در دوره I زوج کلید - دیود I و 5 و 6 هدایت می کنند.

بنابراین سرهای A, C به ولتاژ مثبت منبع dc و سر B به ولتاژ منفی منبع dc متصل می شود. لذا $V_{AB} = V_d$ ، $V_{BC} = -V_d$ ، $V_{CA} = 0$ ولتاژ خط V_{AB} در شکل 1-7 نشان داده شده است. ولتاژهای خطی V_{BC} ، V_{CA} به ترتیب به اندازه 120 و 140 درجه نسبت به V_{AB} تأخیر دارند. برای یک بار با اتصال ستاره، ولتاژهای فاز را نیز می توان بطریق فوق به دست آورد. در شکل 1-7 ولتاژ فاز V_{AN} نیز نشان داده شده است. زوج کلیدهای (s1, s4) و (s3, s6) و (s5, s2) سه ساق اینورتر را تشکیل می دهند. کلیدهای هر ساق به تناوب هدایت می کنند. در هر لحظه بایستی فقط یکی از کلیدها هدایت کند زیرا روشن بودن همزمان دو کلید در یک ساق به معنی اتصال کوتاه شدن منبع ولتاژ dc است و جریان اتصال کوتاه شدید از مدار عبور می کند. لذا بایستی بین خاموش شدن یک کلید در یک ساق و روشن شدن کلید دیگر در همان ساق تأخیری وجود داشته باشد. وقوع چنین خطایی فقط بتوسط فیوزهای سریع قابل حذف است.

با توجه به نحوه کار مدار به صورت بالا شکل ولتاژ خطی و یا فازی در هر سیکل به صورت شش پله ای خواهد بود که به همین دلیل به اینورتر شش پله ای معروف است. بسط فوریه ولتاژهای V_{AB} و V_{AN} بصورت زیر است.

$$V_{ab} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} V_d [\sin(\omega t + \pi/6) + \frac{1}{5}\sin(5\omega t - \pi/6) + \frac{1}{7}\sin(7\omega t + \pi/6) \dots]$$

$$V_{NA} = \frac{2}{\pi} V_d \left[\sin \omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t \dots \right]$$

7-2

مقدار مؤثر مولفه اصلی ولتاژ برابر است با:

$$V_I = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_d$$

7-3

مقدار مؤثر ولتاژ فازی نیز برابر است با

$$V = \left[\frac{1}{\pi} \left\{ \int_0^{\pi/3} \left(\frac{1}{3} V_d \right)^2 d(\omega t) + \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \left(\frac{2}{3} V_d \right)^2 d(\omega t) + \int_{2\pi/3}^{\pi} \left(\frac{1}{3} V_d \right)^2 d(\omega t) \right\} \right]^{1/2} = \frac{\sqrt{2}}{3} V_d$$

7-4

ولتاژهای خط و فاز دارای مؤلفه های هارمونیک یکسانی هستند تفاوت شکل موجهای خط و فاز ناشی از اختلاف فاز بین هارمونیک های مختلف هر یک با مؤلفه اصلی می باشد. در اینجا فقط هارمونیک های مراتب $k = 6n+1$ حضور دارند که n یک عدد صحیح است. هارمونیکهای مضرب سه وجود ندارند. بنابراین جریان چرخشی در اتصال مثلث بوجود نمی آید.

شکل 1-7 ب شکل موج جریان فاز استاتور را در اتصال ستاره نشان می دهد. این جریان همان جریان خروجی i_A اینورتر است که در زوج های کلید - دیود ($S1, S2, D4$ و $S4$) جاری می شود. در فاصله $0 \leq \omega t \leq \pi$ زمانی که کلید $S1$ سیگنال فرمان دریافت می کند جریان i_A از طریق زوج ($S1, D1$) جاری می شود و جریان مثبت i_A از $S1$ و جریان منفی i_A از $D1$ عبور می کند. در فاصله $\pi \leq \omega t \leq 2\pi$ هنگامیکه $S4$ سیگنال فرمان دریافت می کند i_A از زوج ($S4$ و $D4$) عبور می کند. جریان مثبت i_A و جریان منفی i_A از $S4$ عبور می کند. در موتورهای با استاتور بصورت اتصال مثلث شکل موج جریان مشابهی برای i_A بدست می آید.

معادلات 1-7 و 2-7 به تربیت دامنه مؤلفه اصلی و هارمونیک های ولتاژ فازی استاتور بصورت مثلث و ستاره را می دهند.

برای کنترل سرعت موتور القایی تغییرات همزمان ولتاژ و فرکانس لازم است. فرکانس ولتاژ خروجی اینورتر با تغییر پریود زمانی یک سیکل کنترل می شود. این کار به سادگی و با تغییر دادن پهنای زمانی سیگنالهای کنترل I_{Cl} تا I_{C6} انجام می شود. بر اساس معادلات 1-7 و 2-7 مؤلفه اصلی ولتاژ خروجی این اینورتر ثابت است. برای تغییر آن می توان از روشهای تشریح شده در بخش بعد استفاده نمود.

۷-۱-۳. کنترل ولتاژ اینورتر شش پله ای

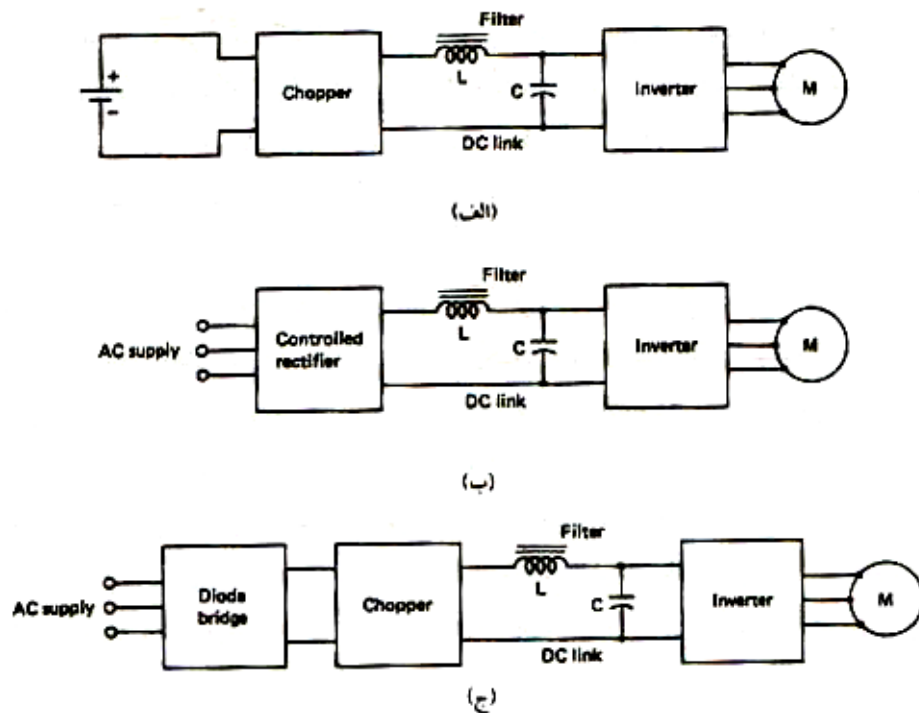
روشهای کنترل ولتاژ خروجی اینورتر شش پله ای به دو دسته تقسیم می شوند:

1- کنترل ولتاژ dc ورودی

2- کنترل ولتاژ ac خروجی با استفاده از چند اینورتر

۷-۱-۳-۱. کنترل ولتاژ dc ورودی

مؤلفه اصلی ولتاژ خروجی یک اینورتر را می توان با تغییر ولتاژ ورودی vd کنترل نمود. هنگامیکه اینورتر با یک منبع ولتاژ dc تغذیه می شود در مواردی همچون حمل و نقل زیر زمینی (مترو) خودروهای برقی، محرکه هایی که با سلول های خورشیدی تغذیه می شوند و غیر ولتاژ dc ورودی به اینورتر با قرار دادن یک برشگر بین منبع dc و اینورتر تغییر داده می شود. مطابق آنچه که در شکل 2-7 الف نشان داده شده است.



شکل 2-7 روشهای کنترل ولتاژ در محرکه های اینورتری شش پله ای

بسته به نوع کاربرد از برشگر افزایشنده و یا کاهشنده استفاده می شود. برای حذف اعوجاج ولتاژ dc خروجی برشگر از یک فیلتر lc ما بین برشگر و اینورتر استفاده می شود و فیلتر مزبور از تداخل آثار

ولتاژ خروجی برشگر به ورودی اینورتر و جریان ورودی اینورتر به خروجی برشگر جلوگیری به عمل می آورد.

زمانی که منبع از نوع ac است. تغییر ولتاژ ورودی اینورتر با طرحهایی همچون شکل های 2-7 ب 2-7 ج حاصل می شود. در شکل 2-7 ب ولتاژ متغییر dc از یک سو کننده قابل کنترل بدست می آید. از اشکالات اساسی این روش وجود هارمونیک های فرکانس پائین در ولتاژ خروجی یکسو کننده و جریان منبع و ضریب قدرت کم یک سو کننده در ولتاژهای خروجی کم می باشد.

در این طرحها نیز در خروجی یکسو کننده از فیلتر استفاده می شود بدلیل وجود هارمونیک های فرکانس پائین در ولتاژ خروجی یک سو کننده خازن فیلتر در این طرح خیلی بزرگتر از خازن فیلتر طرح شکل 2-7 الف است. یک خازن بزرگ سبب کند شدن پاسخ گذاری محرکه می شود. اگر یک سو کننده دارای هرزه گرد کنترل شده باشد، می توان ضریب قدرت را بهبود و اندازه فیلتر را نیز کاهش داد. در صورتی که از یک سو کننده کنترل شده با مدولاسیون پهنای پالس استفاده شود. می توان ضریب قدرت را باز هم بهتر و اندازه فیلتر را نیز کوچکتر نمود.

اشکالات طرح شکل 2-7 ب را که هم اکنون به اشاره شد می توان با استفاده طرح شکل 2-7 ج، که در آن یک پل دیودی و یک برشگر به کار رفته شده اند، حذف نمود. ضریب قدرت مؤلفه اصلی مدار در تمام شرایط کاری برابر واحد باقی می ماند و پاسخ سریع سیستم نیز به وجود می آید. در کاربردهای چند اینورتری، می توان از یک پل دیودی مشترک نیز استفاده نمود با این حال مشکلات این طرح ناشی از استفاده از یک مبدل قدرت اضافی می باشد.

زمانی که عمل فیلتری به صورت ایده آن انجام شود شکل موج ولتاژ خروجی اینورتر، با یک تغییر در دامنه اش، عوض نمی شود. بنابراین، در این جا نیز می توان از معادلات (1-7) و (2-7) برای هر مقدار ولت ولتاژ خروجی اینورتر استفاده نمود. در عمل، در فرکانسهای پایین اثر فیلتر خیلی کم می شود و این به علت هارمونیکهای فرکانس پایین در جریان ورودی اینورتر در تمام طرحهای شکل 2-7 و محتویات بزرگ هارمونیک در ولتاژ خروجی یک سو کننده، در شکل 2-7 ب می باشد. نتیجتاً محتویات هارمونیک ولتاژ خروجی با کاهش سرعت موتور افزایش می یابند. با این حال برای کار محرکه فرض می شود که عمل فیلتر به صورت ایده آل آن انجام می شود.

طرح های شکل های 2-7 الف و 2-7 ج با مشکلات زیر مواجه هستند؛

1- به علت حضور هارمونیکهای فرکانس پایین، تلفات موتور در تمامی سرعتها افزایش می یابد که موجب کاهش ظرفیت موتور می شود.

2- ضربانهای گشتاور در سرعت های پایین به علت حضور هارمونیکهای پنجم ، هفتم ، یازدهم و سیزدهم وجود دارد.

3- در سرعتهای پایین ، هارمونیکهای جریان افزایش می یابد و موجب افزایش تلفات موتوری شوند. افزایش نسبت (v/f) در سرعتهای پایین برای جبران افت ولتاژ مقاومت استاتور ، ممکن است سبب عبور جریان زیادی از ماشین در بارهای سبک شود که این امر ناشی از اشباع است. این دو اثر ممکن است موجب افزایش دمای موتور در بارهای سبک شود.

اشکالات 2 و 3 لازم می دارد که حداقل سرعت موتور به 10٪ سرعت نامی محدود شود.

استفاده از اینورترها ترستوری، مشکل دیگری را به دنبال دارد. در تمام سرعتها محرکه نیاز به قابلیت کموتاسیون جریان یکسانی دارد. اما قابلیت کموتاسیون یک اینورتر ترستوری با کاهش ولتاژ dc ورودی کم می شود. برای حل این مشکل از یک منبع ولتاژ ثابت مستقل برای مدار کموتاسیون استفاده می شود.

در اینوترهایی که از ترانزیستور قدرت، ماسفت و GTO استفاده می شود مشکل کموتاسیون وجود ندارد. زیرا این عنصر با کنترل سیگنال بیست یا گیت در حال قطع قرار میگیرد به دلیل عدم حضور مدارهای کموتاسیون ، اینوترهایی که از ترانزیستور قدرت، ماسفت و GTO استفاده می کنند. حجم، وزن و هزینه کمتر و راندمان بالاتر نسبت به اینورترهای ترستوری دارند.

۷-۱-۳-۲. کنترل ولتاژ ac خروجی با استفاده از چند اینورتر

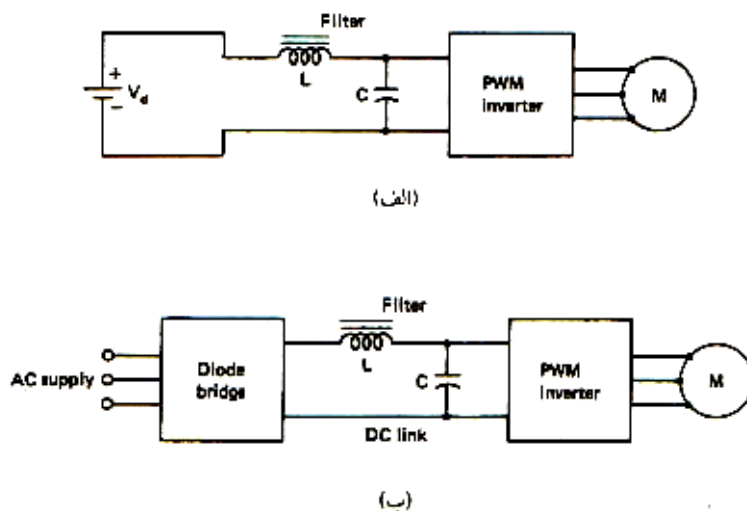
با جمع کردن ولتاژهای خروجی دو اینورتر شش پله ای که سیگنالهای کنترلی آنها با هم اختلاف فاز دارند می توان مؤلفه اصلی ولتاژ خروجی را تغییر داد. اگر اختلاف فاز بین سیگنالهای ϕ باشد، آنگاه اختلاف فاز ولتاژهای خروجی اینوترها ϕ خواهد بود. با کنترل ϕ از صفر تا 180 درجه می توان مؤلفه اصلی ولتاژ خروجی را از بیشترین مقدا تا صفر تغییر داد .

ولتاژ منتجه همان هارمونیکهای مشابه به حالت تک اینورتری را دارد. اما با کاهش مؤلفه اصلی نسبت آنها سریعاً افزایش می یابد. بنابراین حوزه سرعت به 25 تا 30 درصد سرعت مبنا محدود می شود. چون اینورترها می توانند با یک پل دیودی مشترک کار کنند، لذا ضریب قدرت ورودی بزرگ و پاسخ گذران سریع است.

۷-۱-۳-۳. اینورتر *PWM*

مشکلات اینورتر شش پله ای با استفاده از اینورتر *PWM* بر طرف شده است شکل 7-3 اینورتر *PWM* را نشان می دهد. در اینورترهای *PWM* می توان ولتاژ *ac* خروجی را کنترل نمود. لذا می توان آنرا با ولتاژ *dc* ثابت تغذیه نمود. زمانی که منبع ولتاژ از نوع *dc* است، از طرح شکل 7-3 الف استفاده می شود. زمانی که منبع ولتاژ از نوع *ac* است. اینورتر از یک پل دیودی مشابه آنچه در شکل 7-3 نشان داده شده است و در آن ضریب قدرت مؤلفه اصلی یک می باشد، استفاده می شود. بدلیل کوچک بودن محتویات هارمونیک ولتاژ خروجی یک سو کننده جریان ورودی اینورتر اندازه عناصر فیلتر کوچک است و در نتیجه پاسخ گذاری مبدل سریع می باشد. با استفاده از روش *PWM* محتویات هارمونیک ولتاژ خروجی اینورتر کوچک می شوند، در نتیجه کار محرکه در سرعتها پایین آرام است و ضربانهای گشتاور و حرکت جهشی در آن وجود ندارد و همچنین راندمان بالاتر و افت ظرفیت موتور کمتر خواهد بود. چون ولتاژ *dc* ورود اینورتر ثابت است بطور همزمان می توان چند اینورتر و موتورهای آنها را از یک پل دیودی مشترک تغذیه نمود. همچنین مشکلات کموتاسیون مربوط به اینورترهای تریستوری شش پله ای که در بخش قبل به آنها اشاره شد، حذف می شوند. البته حصول چنین مزایایی با پیچیده شدن کنترل و افزایش تلفات کلید زنی ناشی از فرکانس کار بالای کلیدها همراه خواهد بود.

برای ایجاد مدالاسیون پهنای پالس روشهای مختلفی وجود دارد. برای مثال می توان از *PWM* سینوسی *PWM* با نمونه برداری یکنواخت و روشهای *PWM* بهینه که در آنها حداقل نمودن برخی معیارهای خاص - مثلاً، حذف برخی از هارمونیک های انتخاب شده بهینه سازی راندمان حداقل نمودن ضربه های گشتاور و غیره نام برد. روشهای *PWM* سینوسی و یک نواختی با مدارهای آنالوگ قابل پیاده سازی هستند ولی روشهای *PWM* بهینه به جز طراحی که در مرجع به آن اشاره شده است نیاز به کنترل میکروپروسسوری دارند. در تمام این طرحهای آرایش مدار قدرت همانند شکل 7-1 الف هستند.



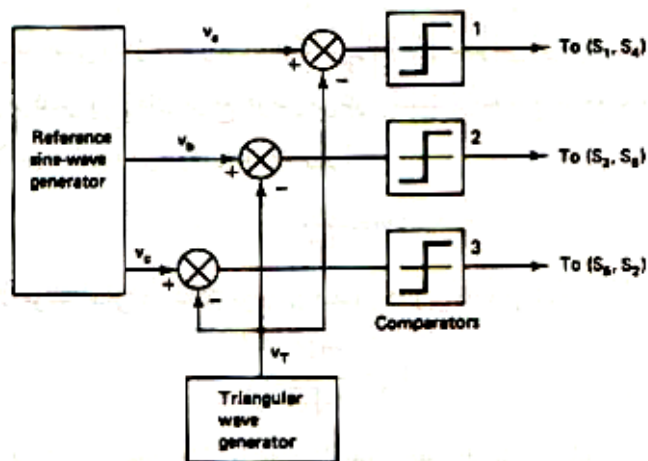
شکل 7-3 محرکه‌های اینورتری *pwm*

7-1-3-4. مدولاسیون پهنای پالس سینوسی

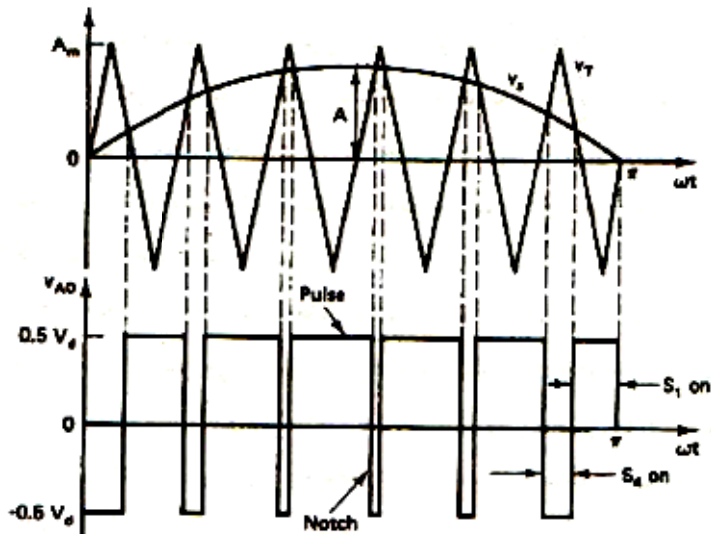
سه ولتاژ مرجع v_a, v_b, v_c با دامنه متغییر A در سه مقایسه کننده در یک موج حامل مثلثی شکل v_t با دامنه A^m مقایسه می شوند به همان صورت که در شکل 4-7 الف نشان داده شده است. خروجی ها مقایسه کننده های 1.2.3 سیگنالهای کنترلی هستند که به ترتیب به سه ساق اینورتر که از جفت کلیدهای $(S_5, S_2), (S_3, S_6), (S_7, S_4)$ تشکیل می شوند، اعمال می شوند کار جفت کلید (S_7, S_4) در نظر بگیرید. این کلیدها ولتاژ فاز A ماشین را کنترل می کنند ولتاژ فاز A نسبت به سر وسط منبع تغذیه dc یعنی O تعیین می شود مطابق شکل 4-7 ب موج مرجع V_a با ولتاژ حامل V_t در مقایسه کننده I مقایسه می شود. سیگنال فرمان در لحظاتی که ولتاژ V_a از V_t بزرگتر باشد به کلید $S1$ و در لحظاتی که V_a از V_t کوچکتر باشد به کلید $S4$ اعمال می شود. شکل موج حاصل V_{ao} برای نصف پریود در شکل نشان داده شده است.

شکل موجهای شکل 4-7 ب برای حالتی رسم شده اند که یک سیکل موج مرجع متناظر با 12 سیکل موج مثلثی است. شخص می تواند به روش مشابه، ولتاژهای V_{bo} و V_{co} را به ترتیب با در نظر گرفتن وضعیت وضعیت (S_3, S_6) و (S_5, S_2) جفتهای بدست آورد. روش فوق را *PWM* سینوسی می نامند چونکه پهنای پالس یک تابع سینوسی از وضعیت زاویه پالس در سیکل است. به این

مدولاسیون ، مدولاسیون مثلثی یا PWM با نمونه برداری طبیعی نیز اطلاق می شود. ولتاژ خط V_{ab} با تفریق V_{bo} از V_{AO} بدست می آید. به طریق مشابه می توان V_{Bc} و V_{CA} را به دست آورد. در شکل 5-7 ایجاد شکل موجهای ولتاژهای خط در حالتی که هر سیکل موج مرجع شامل شش سیکل مثلثی است، نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل 4-7 اصول مدولاسیون پهنای پالس سینوسی

فرکانس مؤلفه اصلی ولتاژ موتور مشابه فرکانس ولتاژهای سینوسی مرجع است. لذا فرکانس ولتاژ موتور با تغییر فرکانس ولتاژهای مرجع عوض می شود. نسبت دامنه موج مرجع به موج حامل m که شاخص مدولاسیون نامیده می شود، به صورت زیر است:

$$m = \frac{A}{Am}$$

مقدار مؤثر مؤلفه اصلی در شکل موج VAO بصورت زیر داده می شود

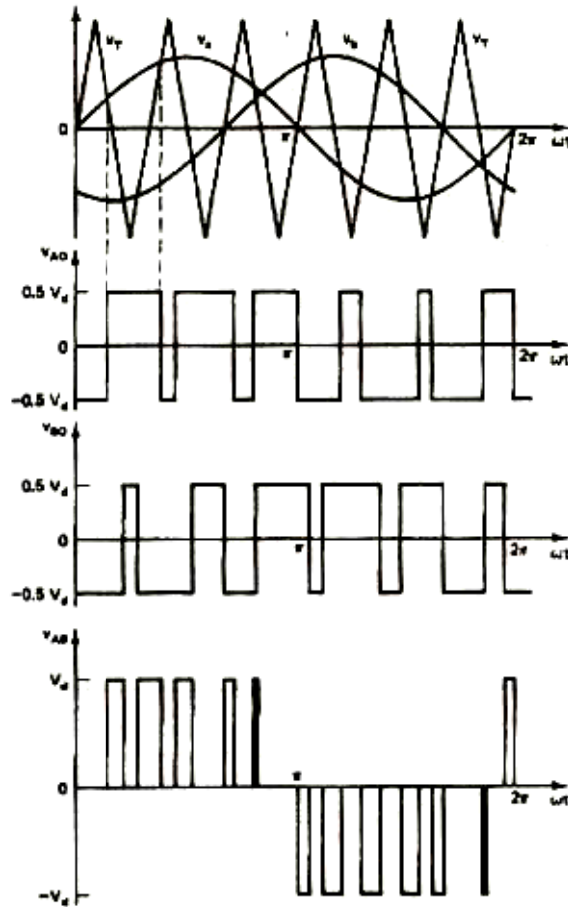
$$V_1 = \frac{mV_d}{2\sqrt{2}}$$

بنابراین با افزایش m مقدار مؤثر مؤلفه اصلی بطور خطی افزایش می یابد. در $m=2$ دامنه ولتاژ مرجع با ولتاژ حامل برابر می شود. اگر $m>1$ تعداد پالسهای VAO کمتر می شود و مدولاسیون از حالت PWM سینوسی خارج می شود.

شکل موج VAO شامل هارمونیکهای مضرب فرد فرکانس حامل F_c است (یعنی $5f_c = 3f_c \pm F_c$ غیره) هارمونیک هایی که مضارب زوج F_c هستند صفرند. شکل موج همچنین حاوی هارمونیک های جانبی در اطراف فرکانس مرکزی F_c می باشند که فرکانس آنها به صورت زیر است.

$$f_h = kf_c \pm kf$$

که F_h و F به ترتیب فرکانس های مؤلفه های جانبی فرکانس موج مرجع بر حسب Hz هستند. K ، k اعداد صحیح هستند و $K+k$ همواره یک عدد فرد است. هارمونیکها و مؤلفه های جانبی در جدول 7-1 فهرست شده اند. حوزه هایی که در اطراف فرکانس موج حامل و مضارب فرد آن قرار دارند.



شکل 5-7 مدولاسیون پهنای پالس سینوسی

شامل مؤلفه های جانبی بالاتر و پایین با دامنه یکسان هستند که با مضارب زوج فرکانس مرجع از هم جدا می باشند. حوزه هایی که در اطراف مضارب زوج فرکانس موج حامل هستند شامل مؤلفه های جانبی بالاتر و پایین تر هستند که با مضارب فرد فرکانس مرجع از هم جدا می باشند. با افزایش فاصله از مرکز حوزه دامنه های هارمونیکهای داخل حوزه فرکانسی به سرعت کاهش می یابند. همچنین پهنای یک حوزه با افزایش شاخص مدولاسیون افزایش می یابد.

جدول 7- هارمونیکها در PWM سینوسی

هارمونیکها	$k = 1, k = 2, 4, 6$	$k = 2, k = 1, 3, 5, \dots$	$k = 3, k = 2, 4, 6, \dots$
	f_c	—	$3f_c$
مؤلفه های جانبی	$f_c \pm 2f$	$2f_c \pm f$	$3f_c \pm 2f$
هارمونیک	$f_c \pm 4f$	$2f_c \pm 3f$	$3f_c \pm 4f$
	غیره	غیره	غیره

اجازه دهید که یک ضریب P بصورت زیر تعریف کنیم

$$P = \frac{f_c}{f}$$

7-8

زمانیکه P بزرگ است، فرکانس هارمونیکها در مقایسه با مؤلفه اصلی بزرگ است. مقدار نامی اندوکتانسی نشستی ماشین می تواند هارمونیکهای را فیلتر نماید و جریان به شکل سینوسی نزدیک شود. به مدولاسیون زمانی مدولاسیون سنکرون اطلاق می شود که P یک عدد صحیح است و موج حامل نسبت به ولتاژهای مرجع سه فاز Va و Vb و Vc متقارن باشد. این شرایط زمانی برقرار خواهد بود که P مضرب صحیحی از 3 باشد. در حالتی که این شرایط برقرار نباشد به مدولاسیون آسنکرون یا آزاد گفته می شود. مطابق با جدول 7-1 برای یک P زوج هارمونیکهای زوج در Vao وجود خواهند داشت. این حالت حتی برای مدولاسیون سنکرون با یک P مضرب زوجی از 3 نیز وجود دارد.

7-1-4. محرکه های اینورتر منبع ولتاژ فرکانس متغیر

بجز حالت مربوط به کنترل با شرط حداقل تلفات، معیار کنترل ماشینهای القائی بر اساس شار تقریباً ثابت تا سرعت مبنا و ولتاژ تغذیه ثابت در بالاتر از سرعت مبنا می باشد. تا سرعت مبنا با حداکثر جریان مجاز استاتور عملکرد بصورت گشتاور ثابت و از سرعت بحرانی ω_{mc} عملکرد بصورت قدرت ثابت می باشد. در ناحیه گشتاور ثابت، سرعت لغزش ثابت نگه داشته می شود. در ناحیه قدرت ثابت، سرعت لغزش بطور خطی با فرکانس افزایش می یابد و در سرعت بحرانی ω_{mc} به مقدار مربوط به نقطه شکست می رسد. در سرعتهای بالاتر از ω_{mc} کار در سرعت لغزش مربوط به نقطه شکست و با جریان استاتور و قدرت کاهش یافته انجام می شود.

جریان نامی اینورتر بنحوی انتخاب می شود که با جریانهای گذاری نامی موتور تطبیق داشته باشد. برای پاسخ گذاری سریع ، جریان موتور می تواند از مقدار نامی تجاوز کند. جریان موتور می تواند مقداری بین جریان نامی و جریان مربوط به نقطه گشتاور فرار باشد. جریان نامی اینورتر با حداکثر جریان موتور برابر انتخاب می شود. در صورتی که به پاسخ گذاری سریع نیاز نباشد. جریان نامی اینورتر برابر با جریان نامی موتور انتخاب می شود. در اینصورت در هزینه اینورتر و یکسو کننده کنترل شده وابسته به آن صرفه جویی قابل ملاحظه ای می شود. همانند حالت محرکه های dc یک حلقه کنترل جریان ، تنها اجازه افزایش گذاری موتور تا مقدار نامی جریان نامی اینورتر را می دهد. در صورتی که جریان گذار بیش از جریان نامی موتور بشود ، حلقه کنترل جریان نمی تواند حفاظتی در برابر اضافه بارها ایجاد کند. در این مورد همراه با حلقه کنترل جریان از برخی از انواع حفاظت اضافه جریان با زمان معکوس استفاده می شود. کنترل جریان ممکن است شامل یک کنترل کننده حد جریان یا شامل حلقه کنترل جریان داخلی باشد.

کنترل جریان ممکن است بصورت غیر مستقیم با کنترل سرعت لغزش نیز اجرا شود در یک شار ثابت ، مقدار سرعت لغزش موتور برای جریان مشخص استاتور ثابت است بنابراین در ناحیه گشتاور ثابت ، حداکثر مقدار جریان به طور غیر مستقیم با اعمال محدودیت روی سرعت لغزش ، کنترل می شود در ناحیه قدرت ثابت ، سرعت لغزش برای یک جریان معین موتور بطور خطی با فرکانس تغییر می کند و بنابراین با محدود نمودن سرعت لغزش به یک حد مشخص ، حداکثر جریان کنترل می شود. اگر کار در سرعتهای بالاتر از سرعت بحرانی ω_{mc} لازم باشد، در آن صورت محرکه می تواند در یک سرعت لغزش ثابت که کمی کوچکتر از سرعت لغزش نقطه شکست می باشد کار می کند. در این حالت جریان استاتور نیز از مقدار مجاز پایین تر است.

برای آنکه ماشین در یک ضریب قدرت خوب ، نسبت بالای گشتاور به جریان و راندمان بالا کار کند، لازم است که محرکه در سرعت لغزشی کار کند که از سرعت لغزش نقطه شکست کوچکتر باشد، هم در حالت کار موتوری و هم در حالت کار ژنراتوری . با این کار از افزایش ناگهانی سرعت موتور در حالت ترمز ژنراتوری در مقابل یک گشتاور بار فعال نیز جلوگیری به عمل می آید.

در محرکه های اینورتری فرکانس متغیر، وجود شریط ترمزی ضروری است. برای لغزشهای منفی ، موتور القائی در حالت ژنراتوری ، خازن فیلتر را شارژ می کند اگر انرژی تولیدی به نحوی به کار گرفته

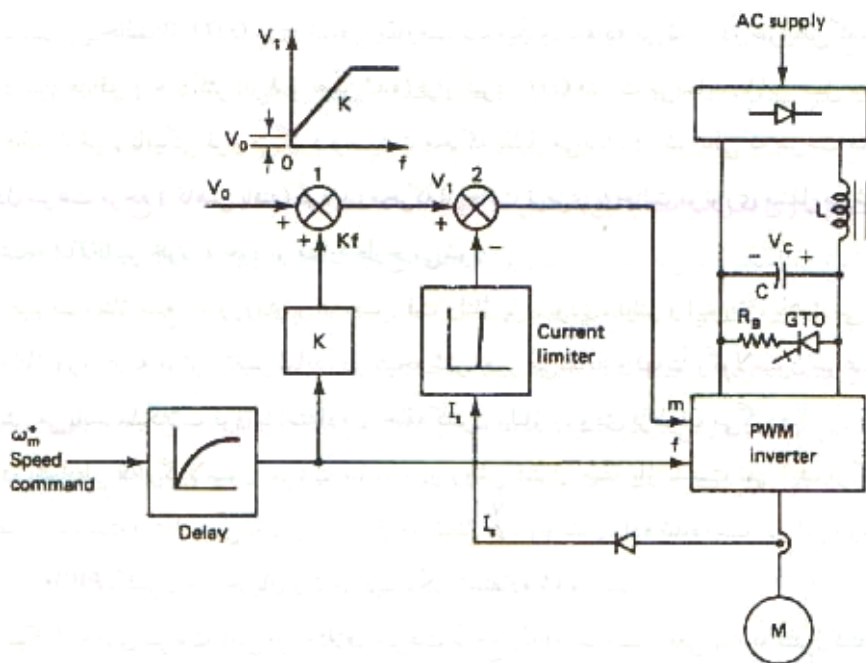
نشود، ولتاژ خازن به مقدار بسیار زیادی افزایش می یابد که می تواند به قطعات نیمه هادی آسیب برساند. و خازن نیز منفجر بشود و خطراتی برای پرسنل و محیط اطراف ایجاد نماید.

چندین طرح برای محرکه های اینورتر ولتاژ وجود دارد. اختلاف این طرح به نوع اینورتر (شش پله یا PWM)، نوع ترمز (ژنراتوری یا دینامیک) و نوع کنترل جریان (کنترل مستقیم جریان یا کنترل سرعت لغزش) بستگی دارد. در اینجا چند روش که در آنها از اینورتر PWM استفاده می شود مطرح می شوند. این روشها بسادگی به اینورتر شش پله ای نیز می توانند تعمیم داده شوند.

در شکل 7-6 یک محرکه فرکانس متغیر حلقه باز با کنترل حد جریان و ترمز دینامیکی نشان داده می شود. سیگنال فرمان سرعت $\omega^* m$ فرکانس اینورتری f را تعیین می کند. از فرکانس اینورتر، ولتاژ اینورتر $V_1 = kf + V_0$ حاصل می شود. در این صورت ماشین تا سرعت مبنا در یک شار تقریباً ثابت کار خواهد نمود. در سرعت مبنا ولتاژ تغذیه موتور به مقدار نامی می رسد. در نتیجه د بالاتر از سرعت مبنا موتور با یک ولتاژ تغذیه ثابت کار می کند. مقدار ثابت V_0 در رابطه فوق به گونه ای انتخاب می شود که شار نامی در سرعت صفر ایجاد می شود و ثابت K نیز بنحوی انتخاب می شود که ولتاژ در سرعت مبنا به مقدار نامی برسد.

کنترل کننده حد جریان از افزایش غیر مجاز جریان موتور جلوگیری بعمل می آورد. جریان استاتور I_s بتوسط یک ترانسفورمر جریان سه فاز و یک پل دیودی سه فاز اندازه گیری و بر آورد می شود. مادامیکه I_s کمتر از مقدار مجاز است خروجی محدود کننده جریان صفر است که در نتیجه m بر اساس سیگنال $V1$ تنظیم می شود. به محض آنکه I_s از مقدار مجاز عبور کند، خروجی محدود کننده جریان، مقدار m را کاهش می دهد و I_s تقلیل می یابد. بنابراین جریان I_s در حول و حوش یک مقدار حداکثر کار می کند تا آنکه سرعت به مقداری برسد که جریان استاتور متناظر با آن زیر حد مجاز قرار بگیرد.





شکل 6-7 محرکه اینورتر *PWM* حلقه باز با فرکانس متغیر و ترمز دینامیکی

در مواردیکه مدار تأخیر دهنده وجود نداشته باشد، یک تغییر پله ای در سیگنال فرمان سرعت سبب می شود که لغزش موتور از مقدار متناظر با نقطه شکست بیشتر شود در نتیجه جریان موتور تمایل به افزایش به مقداری بیش از جریان نامی دارد، ولی واحد کنترل کننده حد جریان از افزایش آن جلوگیری می کند. ولتاژ تغذیه موتور کاهش می یابد. و نتیجتاً گشتاور موتور نیز کم می شود. این امر ممکن است منجر به انتقال نقطه کار موتور به ناحیه ناپایدار شود و موتور بایستد به همین ترتیب با کاهش پله ای سیگنال فرمان سرعت این امکان وجود دارد که حالت ترمزی در لغزشی بیش از لغزش متناظر با گشتاور شکست رخ دهد، که منجر به افزایش ناگهانی سرعت موتور بشود. بنابراین لازم است که سیگنال فرمان سرعت از طریق مدار تأخیر دهنده اعمال شود. پس فرکانس اینورتر بطور آرام تغییر می کند و سرعت موتور هم تغییرات فرکانس را دنبال می کند. نتیجتاً لغزش از مقدار لغزش نقطه شکست عبور نمی کند. با این حال مدار تأخیر دهنده سبب کند شدن پاسخ گذرای محرکه خواهد شد. کاهش سیگنال سرعت در حالت دائمی باعث می شود که محرکه در حالت ترمز دینامیکی قرار گیرد. در این حالت از *GTO* سری شده با مقاومت دینامیک استفاده می شود. در شرایطی که ولتاژخازن بین حدافل و حداکثر (از قبل تعیین شده) قرار گیرد *GTO* هدایت می نماید. با این عمل محرکه در حالت ترمز دینامیکی قرار میگیرد و سرعت محرکه تقلیل می یابد. در

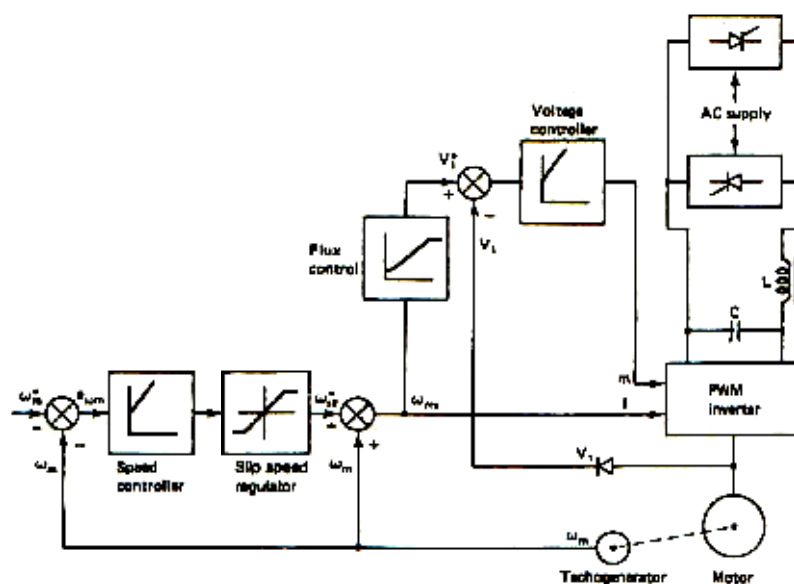
شرایطی که سرعت محرکه معادل سرعت مرجع (کاهش یافته) گردید، محرکه از حالت ترمزی به حالت موتوری منتقل می شود و در نتیجه *GTO* نیز خود به خود از مدار خارج می شود. تغییرات ولتاژ منبع *ac* ورودی و همچنین افت ولتاژ پل دیودی، فیلتر و اینورتر، باعث می شوند که ولتاژ ورودی به موتور تغییر نماید. در نتیجه شار تغییر می نماید. و نهایتاً رگولاسیون سرعت نیز افزایش می یابد. مشکلات فوق با استفاده از حلقه کنترل ولتاژ ورودی بر طرف می گردد. در شرایطی که رگولاسیون سرعت مناسب در روش کنترل حلقه باز بدست نمی آید، از کنترل سرعت حلقه بسته استفاده می شود. روش فوق در شکل 6-7 نشان داده شده است. در این روش از اینورتر *PWM* کنترل حد جریان و ترمز دینامیکی استفاده شده است.

سیگنال خطای سرعت ناشی از اختلاف سرعت مرجع ω_m^* و سرعت واقعی ω_m به کنترل کننده *Pi* اعمال می شود. فرکانس اینورتر به گونه ای تنظیم می شود که سرعت واقعی معادل سرعت مرجع باشد. سیگنال *VI* از f ایجاد می شود $V_1 = kf + V_0$ ولتاژ *VI* سیگنال مرجع حلقه کنترل ولتاژ موتور را ایجاد می نماید تا هر تغییری که در ولتاژ تغذیه موتور ایجاد می گردد توسط تنظیم نهایی *m* جبران شود. در سرعت های بالاتر از سرعت نامی V_1^* یا اشباع مواجه می شود. در نتیجه موتور در شرایط ولتاژ ثابت عمل می نماید لذا با حضور حلقه کنترل و ولتاژ تغذیه موتور ناشی از افت ولتاژ *ac* فیلتر، مبدل و .. جبران می گردد. برای حذف آثار نویز و حذف خطای حالت دائمی از حالت کنترل کننده *PI* استفاده می شود.

محدود کننده جریان ضمن محدود نمودن جریان شرایطی را ایجاد می نماید که فرکانس اینورتر، سرعت موتور را دنبال نماید. لذا لغزش همواره از لغزش متناظر با گشتاور شکست کوچکتر است. هر افزایشی در سیگنال مرجع سرعت محدود کننده جریان را فعال می نماید. در نتیجه افزایش فرکانس به آرامی صورت می پذیرد موتور با حداکثر جریان گشتاور مجاز شتابگیری می نماید. وقتی که سرعت موتور به سرعت مرجع نزدیک گردید، محدود کننده جریان از مدار خارج می گردد و موتور در گشتاور معادل بار و سرعت مورد نظر قرار میگیرد. به طریق مشابه، محرکه با دریافت سیگنال کاهش سرعت، توسط محدود کننده جریان با حداکثر جریان و گشتاور ترمزی کاهش سرعت می دهد در این شرایط فرکانس اینورتر خروجی محدود کننده جریان معکوس می شود و وقتی که سرعت موتور به سرعت مورد نظر نزدیک شد. کنترل کننده جریان از مدار خارج می شود و کار محرکه به حالت موتوری (در سرعت پائین) منتقل می شود.

پاسخ دینامیکی محرکه سریع است زیرا توسط محدود کننده جریان ، سیگنال خطای سرعت برای داشتن حداکثر گشتاور اصلاح می شود. محدود کننده جریان ، پایداری عملکرد محرکه را به سبب محدودیت بر روی سرعت لغزش تضمین می نماید.

شکل 7-7 روش دیگر کنترل حلقه بسته را نشان می دهد. در این روش ω_{sl} به طور مستقیم و جریان به طور غیر مستقیم کنترل می شوند. برای حصول حالت ترمزی از مبدل دابل استفاده شده است.



شکل 7-7 کنترل حلقه بسته یک محرکه اینورتری PWM کنترل شده با سرعت لغزش همراه با ترمز زنراتوری

سیگنال خطای سرعت به کنترل کننده PI و از آن نیز به تنظیم کننده سرعت لغزش اعمال می شود. خروجی تنظیم کننده سرعت لغزش ، سیگنال مرجع ω_{sl}^* را تنظیم می نماید. حداکثر ω_{sl}^* به نحوی محدود می شود که جریان مجاز اینورتر محدود گردد. سرعت سنکرون ω_m نیز توسط جمع کننده ای که دارای دو ورودی ω_{sl}^* و ω_m است بدست می آید. با استفاده از فرکانس اینورتر مشخص می شود، با استفاده از فرکانس اینورتر (ω_{ms}) سیگنال مرجع سرعت V_1^* توسط بلوک کنترل شار ایجاد می شود. این امر باعث می شود. که موتور در شار ثابت تا سرعت نامی و در ولتاژ ثابت در بالاتر از سرعت نامی مورد بهره برداری قرار گیرد.

یک افزایش پله ای در سیگنال فرمان سرعت ω_m^* باعث می شود که سیگنال خطای سرعت مثبتی ایجاد شود. لذا سرعت لغزش ω_{sl}^* در حداکثر تنظیم می شود و محرکه با حداکثر جریان اینورتر شتاب گیری می نماید. حداکثر گشتاور تا زمانی که سیگنال خطای سرعت به مقدار کوچکی تقلیل یابد اعمال می گردد. نهایتاً محرکه در سرعت لغزشی که گشتاور موتوری و بار یکسان هستند قرار می گیرد. یک کاهش پله ای در سیگنال فرمان سرعت، سیگنال خطای سرعت منفی ایجاد می نماید. لذا سرعت لغزش در حداکثر (منفی) تنظیم می گردد و محرکه در حداکثر جریان اینورتری و حداکثر گشتاور ترمزی در حالت ترمز ژنراتوری قرار میگیرد. این عمل تا زمانی ادامه می یابد که سیگنال خطای سرعت کوچک می گردد. در این حالت مجدداً محرکه در حالت موتوری قرار می گیرد و موتور در سرعت جدیدی که گشتاور موتوری و بار یکسان است دوران می کند.

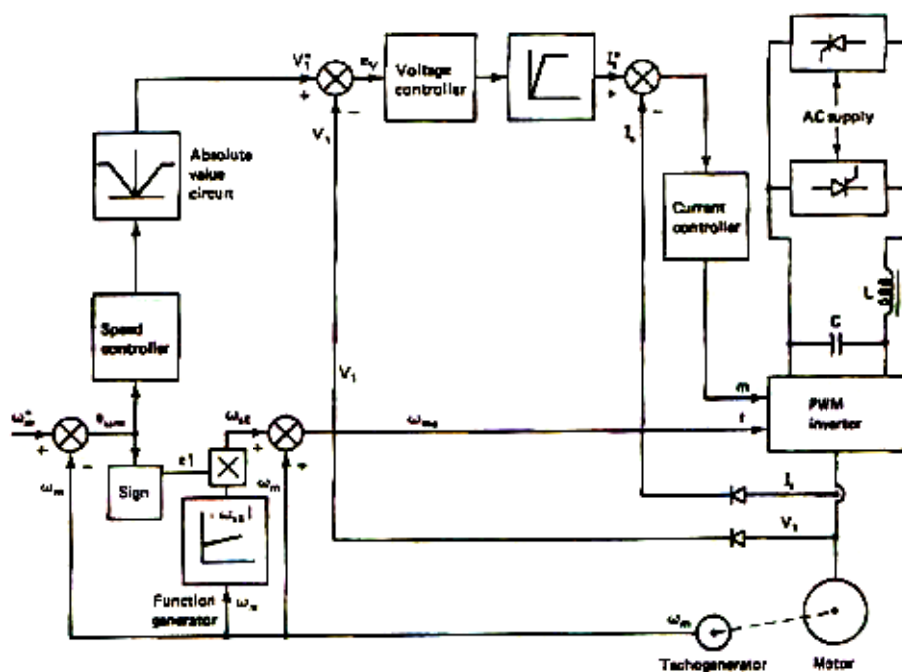
محرکه فوق دارای سرعت پاسخ دینامیکی بالایی است زیرا سیگنال خطای سرعت. باعث ایجاد حداکثر گشتاور می گردد. کنترل مستقیم سرعت لغزش باعث می گردد که محرکه که در تمامی شرایط در حالت پایدار عمل نماید. مشخصه دینامیکی محرکه مزبور تا اندازه ای بهتر از مشخصه دینامیکی محرکه شکل 6-7 است. در این آرایش از مدارهایی پر هزینه نمونه برداری جریان نیز استفاده نشده است.

همانگونه که در ابتدای بخش بدان اشاره گردید جهت عملکرد مناسب در سرعتهای بالاتر از سرعت نامی، لازم است حد سرعت لغزش با افزایش سرعت به طور خطی افزایش یابد تا به حالت شکست نزدیک شود این امر با جمع نمودن خروجی تنظیم کننده سرعت لغزش با سیگنال سرعت لغزش اضافی که متناسب با فرکانس و با علامت مناسب است بدست می آید. در فرکانسهای بالاتر از فرکانس مربوط به گشتاور شکست، سرعت لغزش در نزدیکی مقدار شکست آن ثابت نگاه داشته می شود.

شکل 7-8 حلقه کنترلی را نشان می دهد که به منظور حداقل سازی تلفات از آن استفاده می شود. در صورتیکه از اشباع مغناطیسی موتور صرف نظر می شود، راندمان موتور زمانی حداکثر است که سرعت لغزش با تغییر سرعت مطابق شکل فوق تغییر نماید. ولی اگر از تغذیه غیر سینوسی نظیر اینورتر استفاده شود بایستی تلفات ناشی از حضور هارمونیک های تغذیه نیز در نظر گرفته شود. تلفات هارمونیک به ولتاژ تغذیه بستگی دارد (نظیر تلفات هسته) که باعث افزایش تلفات می گردند. لذا عملکرد بهینه با منابع غیر سینوسی در ولتاژهای کمتری نسبت به حالت سینوسی

ایجاد می شود. در سرعت مورد نظر، مقدار بهینه سرعت لغزش در حالت ترمزی، کمی نسبت به حالت موتوری متفاوت خواهد بود. در طرح شکل 7-8 مقدار بهینه سرعت لغزش در هر دو حالت یکسان در نظر گرفته شده است.

ولی در شرایطی که اختلاف این دو مقدار زیاد باشد ممکن است از دو ژنراتور تابع استفاده شود. طرح 7-8 بصورت زیر کار می کند.



شکل 7-8 محرکه اینورتری PWM فرکانس متغیر همراه با ترمز ژنراتوری و کنترل به روش حداقل تلفات

برای سرعت مورد نظر ω_m از ژنراتور تابع سرعت لغزش بهینه ω_{sl} بدست می آید. سیگنال فوق با سرعت واقعی جمع می گردد تا سرعت سنکرون بدست آید. از روی سیگنال سرعت سنکرون فرکانس اینورتر تنظیم می شود. علامت سیگنال ω_{sl} به علامت e_{om} بستگی دارد. اگر علامت e_{om} مثبت باشد، محرکه بایستی در حالتی موتوری قرار گیرد تا سیگنال خطای e_{om} اصلاح گردد. بنابراین ω_{sl} نیز بایستی مثبت باشد. به دلیل مشابه برای e_{om} منفی ω_{sl} نیز منفی می گردد. سیگنال خطای سرعت e_{om} توسط بلوک قدر مطلق حاصل می شود تا سیگنال مرجع V_1^* که ولتاژ مرجع حلقه

کنترل ولتاژ ورودی موتور را مشخص می کند ایجاد گردد. یک حلقه کنترل جریان داخلی در داخل حلقه کنترل ولتاژ اضافه می شود. بنابراین هنگامی که حلقه کنترل فرکانس، سرعت لغزش بهینه در هر سرعت را ایجاد نماید، حلقه کنترل ولتاژ، ولتاژ تغذیه موتور را به گونه ای تنظیم می نماید تا گشتاور بارو موتور معادل سرعت ω_m^* کنترل کننده های ولتاژ جریان و سرعت از نوع کنترل کننده PI می باشند.

هر افزایش پله ای در ω_m^* باعث می گردد که e_{om} بزرگی ایجاد گردد. در نتیجه یک سیگنال بزرگ خطای ولتاژ e_v ایجاد می گردد. I_s^* در حد اکثر مقدار خود قرار گرفته و موتور با حد اکثر جریان مجاز شتاب گیری می نماید. همزمان با تغییر سرعت ω_{sl} بهینه به طوری خود کار معادل مقدار بهینه تنظیم می شود. در لحظه ای e_{om} که نزدیک صفر گردد سیگنال جریان I_s^* کاهش می یابد. و موتور در سرعت جدید گشتاوری معادل گشتاور بار (در حالت دائمی) ایجاد می نماید.

اگر سیگنال مرجع سرعت کاهش پله ای داشته باشد، سرعت سنکرون ω_{ms} کمتر از سرعت موتور شده و در نتیجه حالت ترمز ژنراتوری ایجاد می گردد و ماشین با حد اکثر جریان مجاز شروع به کاهش سرعت می نماید این عمل تا هنگامی که سرعت ماشین به سرعت مورد نظر نرسیده ادامه می یابد و به محض آنکه سرعت مورد نظر گردید، محرکه در حالت موتوری قرار می گیرد. از آنجایی که سرعت پاسخ تغییرات شار به تغییرات ولتاژ ورودی موتور کم است سرعت پاسخ دینامیکی محرکه کند می باشد.

در کلیه روشهایی که در مورد بررسی قرار گرفت عملکرد چهار ربعی محرکه با استفاده از تغییر توالی تغذیه قابل حصول می باشد. تغذیه با توالی مثبت کار در ربع I, II و تغذیه با توالی منفی کار در ربع III و IV را امکان پذیر می سازد وقتی که حرکت در جهت معکوس لازم است توالی تغذیه موتور در سرعت صفر تغییر می نماید. تغییر توالی تغذیه با تعویض سیگنال های کنترل بین دو ساق اینورتر عملی می شود.

محرکه های اینورتر منبع جریان فرکانس متغیر

حالت های کاری محرکه با حالت های کاری محرکه ولتاژ مشابه است. محرکه جریان در شار ثابت تا سرعت نامی (گشتاور ثابت) مورد بهره برداری قرار می گیرد. در بالاتر از سرعت نامی ولتاژ محرکه ثابت نگاه

داشته می‌شود. در نتیجه محرکه در قدرت ثابت کار می‌کند. ولی در کنترل به روش حداقل تلفات، محرکه تحت شرایط فوق قرار نمی‌گیرد.

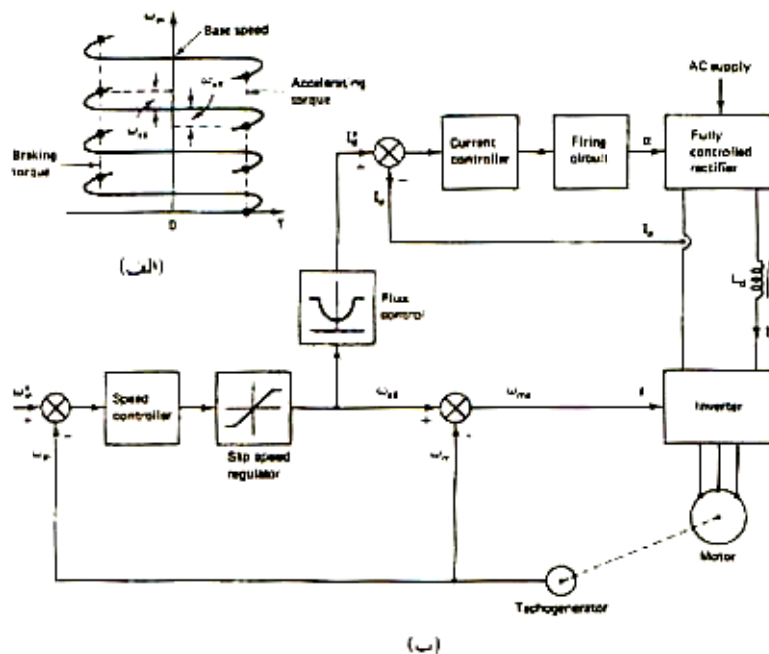
عملکرد موتور در شار ثابت تا سرعت نامی باعث می‌گردد که نسبت جریان I_s به سرعت لغزش رتور ω_{sl} در تمام فرکانسها ثابت باقی بماند. از آنجایی که I_d با I_s متناسب است، لذا بین I_d و ω_{sl} نیز نسبت مشابهی برقرار می‌باشد. زمانی که محرکه در شرایط شار ثابت قرار می‌گیرد، عملکرد محرکه در ناحیه ناپایدار مشخصه سرعت-گشتاور قرار می‌گیرد لذا استفاده از سیستم کنترل حلقه بسته الزامی است. چون بایستی موتور در شار ثابت کار کند، رفتار حالت دائمی آن مشابه حالتی است که با اینورتر منبع ولتاژ کار می‌کند.

سیستم کنترل حلقه بسته یک محرکه CSI در شکل 7-9 نشان داده شده است. سیگنال خطای سرعت پس از پردازش در کنترل کننده سرعت، به تنظیم کننده سرعت لغزش وارد می‌شود، که سرعت لغزش ω_{sl} را کنترل می‌کند. مجموع سرعت رتور ω_m و سرعت لغزش ω_{sl} ، سرعت سنکرون ω_{sl} است، که فرکانس اینورتر را تعیین می‌کند. بر اساس مقدار سرعت لغزش، کنترل کننده شار یک سیگنال مرجع I_d^* را تولید می‌کند که آن هم از طریق یک حلقه بسته کنترل جریان، جریان اتصال dc یعنی I_d را تنظیم می‌کند تا شار ثابت بماند. به منظور داشتن پاسخ حالت دائمی دقیق و تضعیف نویز از کنترل کننده‌های PI در کنترل کننده‌های سرعت و جریان استفاده می‌شود.

زمانیکه خطای سرعت مثبت است، لغزش مثبت شده و در نتیجه، محرکه در حالت موتوری شتاب می‌گیرد تا به سرعت مورد نظر نزدیک شود. وقتی سیگنال خطای سرعت منفی است، سرعت لغزش نیز منفی است، و لذا سرعت سنکرون کمتر از سرعت دوران ω_m می‌گردد. لذا محرکه در شرایط ترمزی قرار گرفته و سرعت آن کاهش می‌یابد. وجود محدودیت در مقدار خروجی واحد تنظیم کننده، مقدار I_d اینورتر و مبدل را محدود می‌کند. بنابراین عملکرد حالت گذرای محرکه در حالت موتوری و ترمزی در سرعت‌های کمتر از سرعت نامی، در جریان نامی اینورتر صورت می‌پذیرد. از آنجایی که شار ثابت است، محرکه در حداکثر گشتاور مجاز عمل می‌نماید (در شکل 7-9 الف با خط چین نشان داده شده است). لذا پاسخ گذرای سریع بدست می‌آید.

همانطوری که اشاره شد در بالاتر از سرعت نامی، موتور در ولتاژ ثابت کار می‌کند. نتیجتاً موتور با شار تضعیف شده در قدرت ثابت کار می‌کند. برای آنکه محرکه تا جریان نامی اینورتر کار کند، حد سرعت

لغزش بایستی بطور خطی با افزایش فرکانس، افزایش یابد. این شرط با جمع نمودن خروجی تنظیم کننده سرعت لغزش و یک سیگنال اضافی سرعت لغزش که با فرکانس متناسب است و علامت مناسب دارد، عملی می شود.



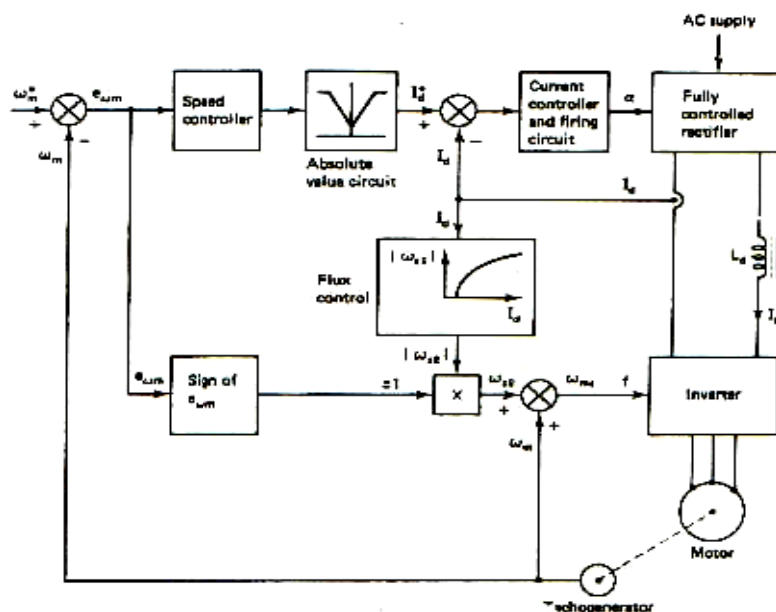
شکل 7-9 محرکه فرکانس متغیر *CSI* با کنترل سرعت لغزش

روش دیگری در شکل 7-10 نشان داده شده است. خطای سرعت در یک کنترل کننده سرعت و یک مدار قدر مطلق گیر پردازش می شود تا جریان مرجع I_d^* حاصل گردد. با استفاده از کنترل حلقه بسته جریان I_d^* را دنبال می نماید بر اساس مقدار I_d ، واحد کنترل شار، سیگنال متناسب با ω_{sl} ایجاد می نماید تا شار ثابت باقی بماند با جمع ω_m و ω_{sl} سرعت سنکرون و بنابراین فرکانس اینورتر تعیین می گردد.

در شرایطی که e_{om} مثبت باشد، برای حالت ترمزی علامت سرعت لغزش مثبت است و اگر e_{om} منفی باشد، برای حالت ترمزی علامت e_{om} منفی است.

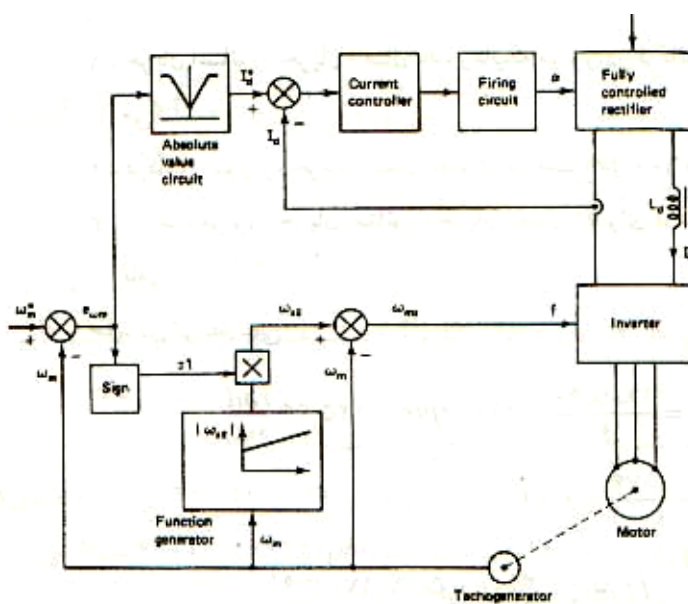
اشباع مدار قدر مطلق گیر باعث می گردد که خطهای سرعت در جریان نامی اینورتر تصحیح شود.

چون شار ثابت است محرکه با حد اکثر گشتاور عمل می نماید. (که در شکل 7-9 الف با خط چین نشان داده شده) بنابراین پاسخ گذاری محرکه سریع خواهد بود. در یک اینورتر ترستوری ، منظور کموتاسیون مناسب ترستورهای لازم است که جریان I_d از مقدار معینی کمتر نگردد. اینکار بتوسط مدار قدر مطلق گیر که حداقل خروجی آن یک مقدار ثابت است، انجام می شود.



شکل 7-10 محرکه فرکانس متغیر CSI با کنترل جریان

هر دو محرکه مورد بحث در قسمت بالا، پاسخ دینامیکی مشابه ای دارند.



شکل 7-11 محرکه CSI با فرکانس متغیر با کنترل حداقل تلفات

محرکه ای که با کنترل تلفات حداقل را نشان می دهد. رابطه بین سرعت لغزش بهینه و سرعت موتور همانند اینورتر منبع ولتاژ می باشد. ارتباط فوق توسط ژنراتور تابع ایجاد می شود. در اینجا فرض شده است که برای یک سرعت مشخص لغزش بهینه برای حالت موتوری و ژنراتوری یکسان می باشد اگر اختلاف لرزش بهینه در حالت موتوری و ژنراتوری زیاد باشد از دو ژنراتور تابع استفاده می شود.

ژنراتورهای تابع، مقدار سرعت لغزش بهینه ω_{sl} را با توجه به سرعت موتور ω_m تعیین می نماید. زمانی که سیگنال خطهای سرعت مثبت است، یک حالت کار موتوری لازم است و اگر سیگنال خطای سرعت منفی باشد یک حالت ترمزی مورد نیاز است.

لذا سرعت لغزش بهینه ω_{sl} هم علامت با e_{om} می باشد. با استفاده از جمع کننده، می توان فرکانس کار اینورتر را با جمع نمودن سیگنال ω_{sl} و ω_m به دست آورد. از یک حلقه جریان داخلی در حلقه سرعت برای سه منظور استفاده می شود.

منبع جریان برای تغذیه اینورتر را فراهم می آورد، از افزایش جریان از حد مجاز آن جلوگیری به عمل می آورد، و در سرعت مشخصی، گشتاور محرکه را تغییر می دهد. کار مدار قدر مطلق گیر شبیه به مطالب بحث شده در محرکه شکل 7-10 است.

زمانیکه ω_m^* افزایش می یابد I_d^* در حد اکثر مقدار خود تنظیم می شود و محرکه با حد اکثر جریان (حد اکثر گشتاورد) شتاب گیری می نماید. سرعت لغزش همواره در نقطه بهینه تنظیم می شود. در نزدیک سرعت مطلوب ω_m^* ، کاهش I_d^* می یابد. نهایتاً با تنظیم I_d^* ، گشتاور موتوری محرکه با گشتاور بار یکسان می گردد. زمانیکه ω_m^* کاهش می یابد مجدداً I_d^* در حد اکثر مقدار خود تنظیم می شود با توجه به آنکه e_{om} منفی است علامت لغزش سرعت بهینه نیز منفی خواهد بود موتور با حداکثر جریان در حالت ترمزی قرار می گیرد. به طوری که سرعت موتور کاهش یافته تا به نزدیکی سرعت مورد نظر می رسد در اینجا I_d^* کاهش یافته و گشتاور ترمزی تقلیل می یابد، علامت e_{om} نیز تغییر کرده و محرکه از حالت ترمزی به حالت موتوری منتقل می گردد. و موتور در سرعت جدید تنظیم می شود.

۷-۲. اینورترهای PWM کنترل شده با جریان

در اینورترهایی که تا کنون بحث شده‌اند، VSI با منبع ولتاژ dc و CSI با منبع جریان dc تغذیه می‌شوند. در این بخش اینورتر منبع جریان PWM که با منبع ولتاژ dc تغذیه می‌شود مورد بررسی قرار می‌گیرد. این محرکه بنام اینورتر PWM کنترل شده با جریان نامیده می‌شود.

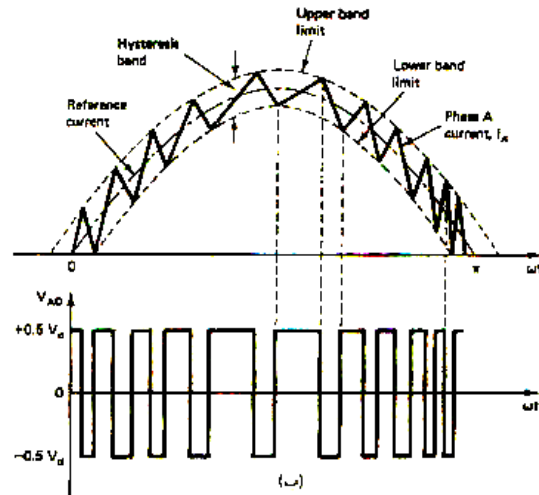
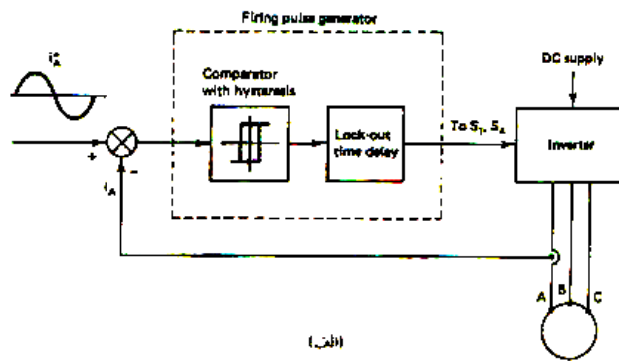
از مدار قدرت اینورتر منبع ولتاژ در شکل 7-1 الف استفاده می‌شود. ولتاژ تغذیه اینورتر توسط روشهایی که در شکل 7-3 نشان داده شده است، بدست می‌آید. جریان سه فاز مرجع i_A^* ، i_B^* ، i_C^* با سه جریان i_A ، i_B ، i_C مقایسه می‌شوند. طرح نمادی مقایسه کننده برای فاز A در شکل 7-12 الف و نحو تولید یک شکل موج مدوله شده برای نیم سیکل مثبت i_A^* در شکل 7-12 ب نشان داده شده‌اند.

حالتی را در نظر بگیرید که کلید S_1 روشن است. ولتاژ فاز A ماشین نسبت به سر وسط مجازی منبع V_{AO} مثبت می‌باشد. لذا، جریان فاز A و i_A افزایش می‌یابد وقتی i_A به حد بالایی خود رسید، خروجی مقایسه کننده از I به صفر تغییر می‌کند. پس از آن S_1 قطع می‌شود و پس از یک زمان وقفه روشن می‌شود. در نتیجه V_{AO} منفی می‌شود و i_A کاهش می‌یابد. زمانیکه i_A به حد پایینی محدوده خود رسید عکس حالت فوق رخ می‌دهد. S_4 قطع و پس از یک تاخیر مناسب S_1 روشن می‌شود.

بنابراین مجدداً جریان فاز A افزایش می‌یابد. با قطع و وصل پی در پی S_1 و S_4 جریان فاز A می‌تواند در یک حوزه هیستریزیس، جریان مرجع i_A^* را دنبال نماید. فرکانس و دامنه مؤلفه اصلی جریان i_A مشابه فرکانس و دامنه i_A^* می‌باشد. لذا، دامنه و فرکانس جریانهای ماشین i_A ، i_B ، i_C با تغییر دامنه و فرکانس جریانهای مرجع i_A^* ، i_B^* ، i_C^* قابل کنترل هستند. از آنجایی که دامنه جریان های ماشین مستقل از امپدانس بار و ولتاژ تغذیه بار می‌باشد (فقط به سیگنال مرجع بستگی دارد)، لذا اینورتر ذاتاً به شکل یک اینورتر منبع جریان عمل می‌نماید.

حداکثر اعوجاج جریان موتور به حوزه هیستریزیس جریان محدود می‌شود. بنابراین، حداکثر جریان لحظه‌ای و هارمونیکهای جریان مقادیر کمی دارند. محتویات کم هارمونیکی باعث کمتر شدن تلفات و افت ظرفیت موتور و ضربان های گشتاور می‌شوند.

مقدار کم حداکثر جریان لحظه‌ای در اینورتر های ترانزیستوری یک مزیت به شمار می‌رود، چونکه نسبت حداکثر لحظه‌ای جریان به جریان نامی دائمی برای یک ترانزیستور کم است.



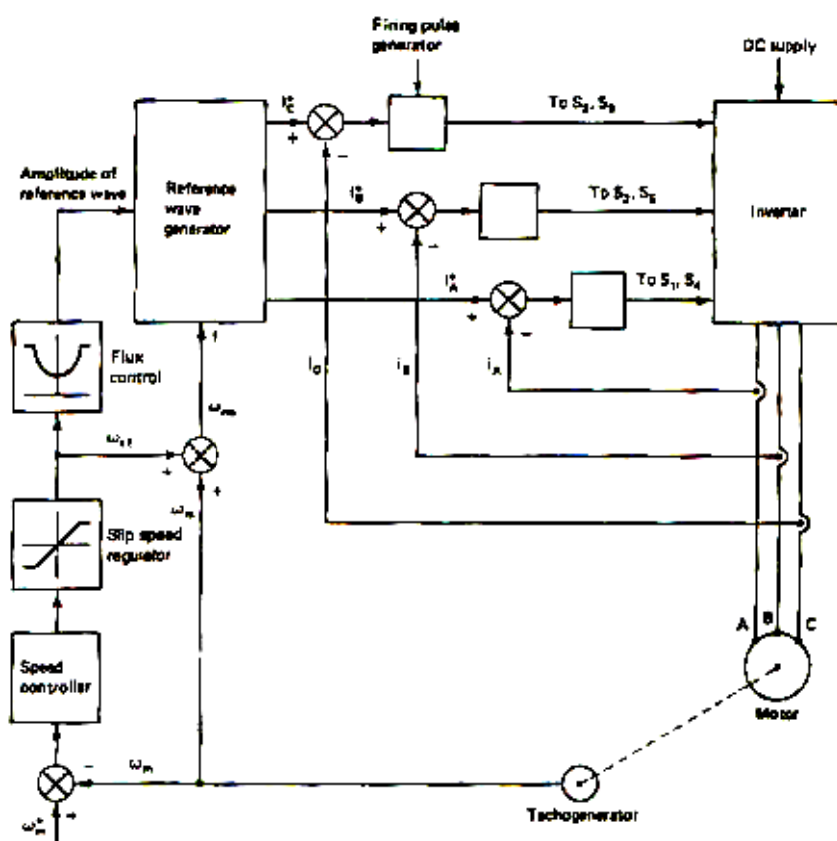
شکل 7-12 مدولاسیون پهنای پالس کنترل شده با جریان

در اینورترهای با ترستور و با *GTO* نیز این امر یک مزیت است چونکه ظرفیت کموتاسیون را کاهش می‌دهد. یک کاهش در حوزه هیستریزیس، مقدار اعوجاج جریان را کاهش و فرکانس مدولاسیون را افزایش می‌دهد.

انتخاب مناسب حوزه هیستریزیس بستگی به دفعات قطع و وصل عناصر کلید زنی بکار رفته در اینورتر دارد. هر چه فرکانس مدولاسیون بالاتر باشد، شکل موجهای جریان و ولتاژ ماشین بهتر هستند و لذا قطعات سریع همچون ترانزیستورهای قدرت و ما سفت ها در اینورترهای فرکانس بالا بکار برده می‌شوند. در حال حاضر در اینورترهای فرکانس بالا از ترانزیستورهای قدرت به طور وسیعی استفاده می‌شود.

با افزایش فرکانس اینورتر برای افزایش سرعت، امیدانس ماشین نیز افزایش یافته و برای آنکه جریان مشابهی در ماشین ایجاد شود لازم است که ولتاژ ماشین افزایش یابد. لذا بایستی پهنای پالس‌ها افزایش و پهنای برشها کاهش یابد. با این کار، انتقال آرام از حالت *PWM* کنترل شده با جریان به حالت اینورتر و ولتاژ شش پله‌ای امکان پذیر می‌شود. لذا، تا سرعت نامی، محرک به صورت یک محرک *CSI* و در بالاتر از سرعت نامی بصورت یک محرک *VSI* کار می‌کند.

حالات کاری محرک همانند مطالب بخش قبل است. از سیستم‌های محرک‌های حلقه بسته نشان داده شده در شکل 7-9 و 7-10 با این تغییر که سیگنال‌های f و I_d^* ، اینک یک ژنراتور موج جریان سه فاز مرجع را کنترل می‌نمایند، نیز می‌توان استفاده نمود. این ژنراتور، جریانهای مرجع i_A^* ، i_B^* ، i_C^* را ایجاد می‌کند، بطوری که جریان سیم بندی‌های A و B و C ماشین i_C ، i_B ، i_A و را به نحوی که بیان گردید کنترل و تنظیم می‌کند. محرک‌ای که براساس طرح رگولاتور سرعت لغزش مطابق شکل 7-10 کار می‌کند در شکل 7-13 نشان داده شده است. مدارهای قدرت اینورتر PWM کنترل شده با جریان و اینورتر PWM منبع ولتاژ یکسان می‌باشد.



شکل 7-13 محرک فرکانس متغیر حلقه بسته با استفاده از اینورتر PWM کنترل شده با

جریان

۷-۳. سیکلو کنورترها

طبق شکل 7-14 یکسو کننده‌های 1 و 2 بصورت یکسو کننده شش پالس و یا سه پالس (تمام کنترل شده و نیمه کنترل شده) متصل می‌شوند. مبدل 2 امکان عملکرد در چهار ربع را دارد. این عمل با ولتاژ

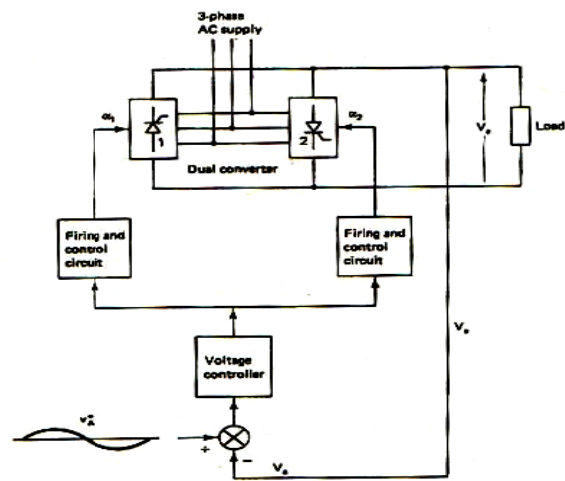
و فرکانس مختلف انجام می‌شود. جریان مثبت بار توسط یکسو کننده 1 تغذیه می‌گردد. جریان منفی بار نیز توسط یکسو کننده 2 تغذیه می‌شود. در شرایطی که یکسو کننده ها بصورت غیر همزمان کنترل شوند، فقط یکی از یکسو کننده‌ها در هر لحظه هدایت جریان را به عهده دارد. یکسو کننده 1 برای جریان مثبت و یکسو کننده 2 برای جریان منفی هدایت جریان بار را به عهده می‌گیرند. یکسو کننده 1 در شرایطی که ولتاژ V_a مثبت باشد به صورت یکسو کننده و در شرایطی که ولتاژ منفی است به صورت اینورتری عمل می‌نماید. عکس شرایط فوق برای یکسو کننده 2 صادق است. در شرایطی که از کنترل همزمان استفاده می‌شود، هر دو مبدل بطور همزمان در مدار قرار دارند. زمانی که جریان بار مثبت باشد، جریان بار توسط یکسو کننده 1 برقرار می‌گردد، بطوری که با توجه به ولتاژ V_a حالت اینورتری (منفی) و یکسوکنندگی (مثبت) ایجاد می‌گردد.

یکسو کننده 2 آماده نگاه داشته می‌شود تا جریان منفی بار را تحویل نماید. زاویه آتش یکسو کننده 2 طوری تعیین می‌شود تا اطمینان حاصل گردد که جریان گردش dc بین دو مبدل قرار نگیرد. ولی جریان ac گردش در نتیجه اختلاف لحظه‌ای ولتاژ پایانه‌های یکسو کننده‌ها ایجاد میگردد. از اندوکتانسها L_1 و L_2 برای محدود نمودن جریان گردش ac استفاده می‌شود. زمانی که جریان بار معکوس گردید. یکسو کننده‌ها تغییر حالت داده و عیناً شرایط قبل حاکم می‌گردد.

یک مبدل دوبل را در نظر بگیرید که یک بار RL را تغذیه می‌کند و بروش کنترل غیر همزمان کنترل می‌گردد. ولتاژ خروجی مبدلها توسط حلقه کنترل بسته مطابق شکل 7-14 تنظیم می‌گردد.

سیگنال مرجع V_A^* شامل یک سیگنال سینوسی با فرکانسی کمتر از فرکانس تغذیه می‌باشد. به لحاظ حضور سیستم کنترل حلقه بسته، زوایای آتش ترستورهای مختلف به گونه‌ای تنظیم می‌گردند که متوسط V_a بطور خودکار سیگنال مرجع V_A^* را دنبال نماید. فرکانس هارمونیک اصلی ولتاژ خروجی معادل فرکانس V_A^* می‌باشد. دانه ولتاژ خروجی V_A^* را می‌توان با دامنه و فرکانس ولتاژ خروجی V_A^* کنترل نمود. لذا مبدل دوبل فوق همانند یک سیلکونورتر تک فاز عمل نماید. سیستم فوق این امکان را فراهم می‌سازد که از منبع ولتاژ فرکانس ثابت، منبع ولتاژ فرکانس متغیر بدست آید.

سیلکونورتر سه فاز از سه سیلکونورتر تکفاز که سیگنال های مرجع آن 120 درجه اختلاف فاز دارند بدست می‌آید.



شکل 14-7 سیلکونورتر تکفاز با استفاده از مبدل دوبا و کنترل حلقه بسته ولتاژ

۸. فصل هشتم، محرکه‌های موتور القائی رتور سیم‌بندی شده با کنترل قدرت لغزش

با استفاده از روشهایی که در فصل‌های قبل به آنها اشاره شد کلیه موتورهای القائی رتور سیم‌بندی شده و قفس سنجابی از طرف استاتور قابل کنترل هستند. در عمل موتورهای قفس سنجابی به علت مزایایی که در فصل‌های گذشته به آنها اشاره شده ترجیح داده می‌شوند.

در این فصل روشهایی مورد بررسی قرار می‌گیرند که کنترل موتور از طرف رتور انجام می‌گردد و بنابراین فقط در مورد موتورهای رتور سیم‌بندی شده قابل استفاده هستند. موتورهای رتور سیم‌بندی شده نسبت به موتورهای قفس سنجابی معایبی دارند که می‌توان به هزینه گرانتر، وزن و حجم بیشتر اشاره نمود. همچنین مسائل نگهداری و تعمیر موتورهای رتور سیم‌بندی شده به دلیل وجود ذغال و حلقه‌ای لغزان بسیار بیشتر از موتورهای قفس سنجابی است ولی در مقابل بدلیل قابلیت کنترل موتور القائی از طرف مدار تور در کاربردهای مشخص ارزانتر از روشهای کنترل موتورهای قفس سنجابی هستند و راندمان آنها نیز بیشتر است.

بخشی از قدرت فاصله هوایی که به قدرت مکانیکی تبدیل نمی‌شود، قدرت لغزش نامیده می‌شود. روشهای کنترل قدرت لغزش، مقدار قدرت لغزش را تنظیم می‌کند. بنابراین در یک قدرت فاصله هوایی معین، قدرت تبدیل نشده به قدرت مکانیکی، قابل کنترل می‌باشد. پس در یک گشتاور معین سرعت تغییر می‌کند. کنترل مقاومت رتور و تزریق ولتاژ به مدار رتور جزء این دسته قرار می‌گیرند. در این فصل با استفاده از مبدلهای نیمه‌هادی این روشها مورد بررسی قرار می‌گیرند که عبارتند از:

کنترل استاتیک مقاومت رتور ۱

محرکه استاتیکی شربوس ۲

محرکه استاتیکی کرامر ۳

۸-۱. کنترل استاتیکی مقاومت رتور

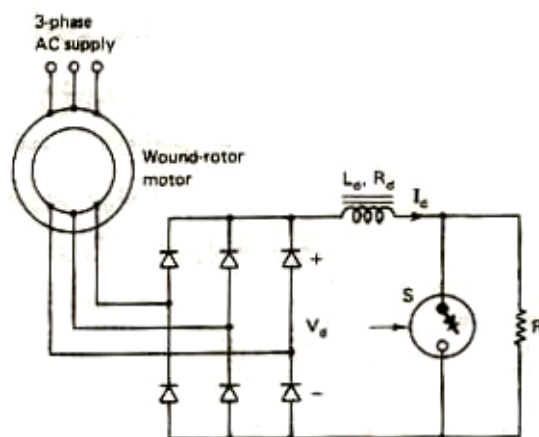
این روش کنترلی کم بازده است چونکه کاهش سرعت با تلف کردن قدرت در مقاومت خارجی حاصل می‌شود. ولی از مزایای آن می‌توان به قیمت پائین، ضریب قدرت خوب و یک نسبت گشتاور به جریان

۱ - Static Rotor Resistance Control

۲ - Static Kramer drive

۳ - Static scherbius drive

بالا برای محدوده وسیعی از سرعت (شامل راهاندازی و ترمز) اشاره نمود. تنها روش دیگر کنترل سرعت که در آن نسبت گشتاور به جریان بزرگ است روش کنترل فرکانس استاتور می‌باشد، که بسیار پیچیده است. بنابراین کنترل مقاومت رتور در کاربردهای با هزینه کم که به نسبت گشاور به جریان بالا نیاز دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد، نمونه‌های این کاربردها عبارتند از: ماشین‌های حفاری قدرت پائین، محرکه‌های جرثقیل‌ها و غیره. بجای تغییر مکانیکی مقاومت رتور، می‌توان با استفاده از برشگر، مقاومت مدار رتور را تغییر داد. کاربرد این روش باعث می‌شود که مقاومت رتور بطور پیوسته و بدون جهش تغییر نماید. بنابراین، تغییرات سرعت موتور نیز همینگونه خواهد بود. همانطور که در شکل 8-1 نشان داده شده است، ولتاژ ac رتور توسط یکسو کننده سه فاز پل دیودی به ولتاژ dc تبدیل می‌شود و سپس به مقاومت خارجی اعمال می‌گردد. کلید S ، با کموتاسیون خودی، با مقاومت R موازی شده و بطور متناوب با پریود T کار می‌کند و در هر پریود به اندازه t_{on} روشن می‌ماند. مقدار مؤثر مقاومت R تغییر t_{on} از 0 تا T از R تا صفر تغییر می‌کند. از اندوکتانس L_d برای کاهش اعوجاج جریان I_d استفاده می‌شود. یک اعوجاج بزرگ در I_d باعث افزایش هارمونیک‌های جریان رتور و افزایش افت ظرفیت خروجی موتور می‌شود. همچنین حضور L_d امکان هدایت غیرپیوسته در بارهای سبک را کاهش می‌دهد. همانند حالت موتور dc هدایت غیر پیوسته باعث بد شدن رگولاسیون سرعت می‌شود. عامل اصلی ایجاد اعوجاج پل دیودی است و کلید S بدلیل کار در فرکانس بالا نقشی در ایجاد اعوجاج ندارد. ولتاژ خروجی پل دیودی V_d از بیشترین مقدار خود در حالت سکون به حدود 5 درصدی مقدار حداکثر آن در نزدیکی سرعت نامی می‌رسد. اگر کلید S یک تریستور باشد کموتاسیون مطمئن یا با استفاده از یک خازن کموتاسیون بزرگ یا با استفاده از یک منبع کمکی برای شارژ خازن کموتاسیون حاصل می‌شود. بنابراین تریستور برای چنین کاربردی مناسب نیست. چون نسبت دور سیم‌بندی استاتور به رتور در موتورهای القایی معمولاً بزرگتر از یک است ولتاژ V_d کوچک است و بنابراین در قدرتهای پائین استفاده از ترانزیستور مناسبتر است. در قدرتهای بالاتر از حد توان ترازیستورها ممکن است از GTO استفاده شود. بدلیل وجود کموتاسیون خودی این قطعات، کموتاسیون مطمئن در تمامی سرعتها وجود دارد و همچنین کلید نیمه‌هادی S حجم کوچکی خواهد داشت.



شکل 8-1 کنترل موتورهای القایی رتور سین بندی شده با کنترل استاتیکی مقاومت رتور

روش دیگر تغییر مقاومت رتور، استفاده از یکسو کننده پل سه پالس یا شش پالس بجای ترکیب پل دیودی و کلید می باشد. مقدار قدرت مصرفی در مقاومت R با کنترل زاویه آتش یکسو کننده تنظیم می شود.

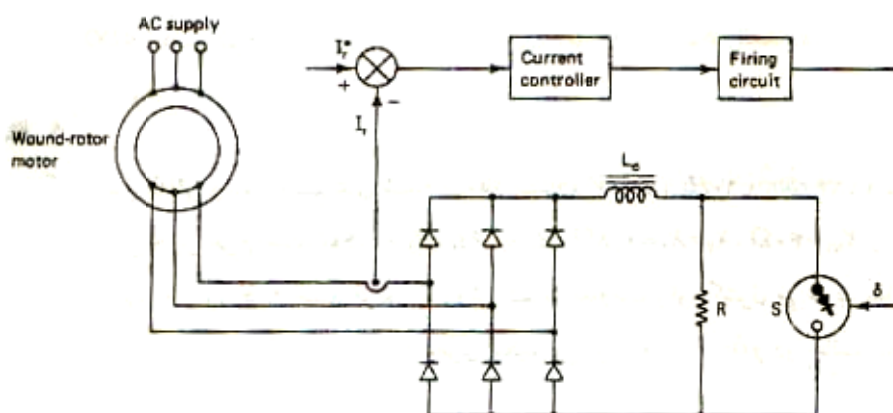
در موتورهای با طراحی مناسب، می توان از نوسانات گشتاور هارمونیک که مقادیر کوچکی دارند صرف نظر نمود.

در مقایسه با روشهای کنترل مرسوم همچون روش کنترل مقاومت رتور که در آنها از کنتاکتورها، تنظیم کننده های لغزش و غیره استفاده می شود در روش کنترل استاتیکی مقاومت رتور اشکال کاهش قدرت موتور وجود دارد. اما مزایای بسیاری هم دارد همچون کنترل پیوسته و یکنواخت، سرعت پاسخ بالا، تعمیر و نگهداری کمتر، عمر طولانی، ابعاد کوچک، تعادل بین جریانهای فازها و کنترل حلقه بسته ساده و غیره.

بخاطر سادگی کار در حالت حلقه بسته و سرعت بالا در حین راه اندازی و ترمز، محرکه پاسخ گذاری سریعی را فراهم می آورد. شتاب گیری سریع در مرحله راه اندازی با کار موتور در حداکثر گشتاور، یعنی گشتاور شکست، و برای تمامی سرعتها امکان پذیر است. در بخش 5-1-1 نشان داده شد که در گشتاور شکست در کلیه سرعتها، جریان رتور یک مقدار ثابت دارد. آرایش سیستم کنترل حلقه بسته در شکل 8-2 نشان داده شده است که در آن داشتن شتاب گیری سریع، سیگنال مرجع جریان برای ایجاد گشتاور شکست (ثابت) تنظیم می شود. همچنین می توان جهت حرکت موتور را معکوس نمود. طرح کنترلی حلقه بسته شکل (8-2) برای کاهش سریع سرعت پس از تعویض توالی فازها و همچنین برای

معکوس کردن جهت گردش موتور می تواند استفاده شود، بشرط آنکه R به اندازه کافی بزرگ انتخاب شود تا حداکثر گشتاور در بیشترین سرعت ایجاد شود. در روش ترمز دینامیکی با فرض یک جریان dc ثابت در استاتور، جریان رتور در گشتاور شکست و در کلیه سرعتها ثابت می باشد که در بخش قبل تشریح شد. بنابراین از طرح کنترل حلقه بسته شکل 2-8 برای یک ترمز دینامیکی سریع می توان استفاده نمود.

در برخی جرثقیل ها برای داشتن تنظیم خوب سرعت و عملکرد آرام و یکنواخت، محرکه با کنترل سرعت حلقه بسته همراه با حلقه کنترل جریان داخلی استفاده می شود.

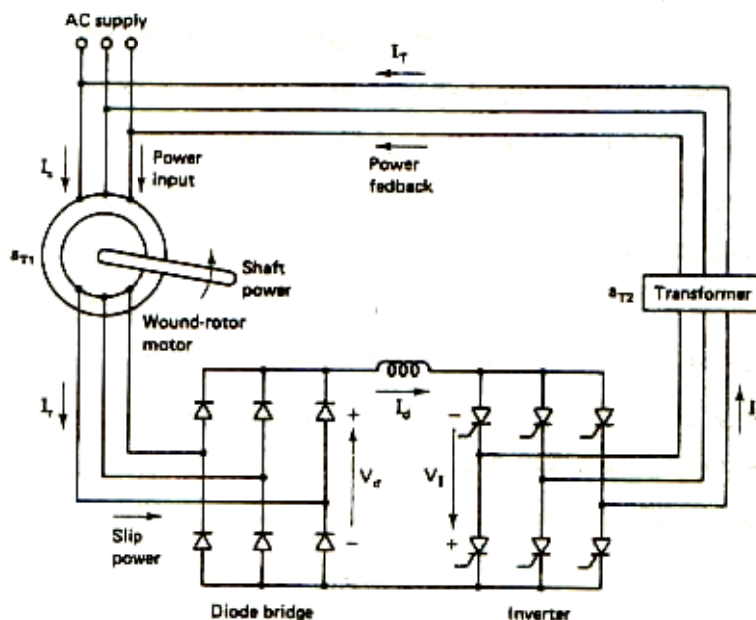


شکل 2-8 سیستم کنترل حلقه بسته جریان برای راه اندازی و ترمز

۸-۲. محرکه های استاتیکی شریبوس

بحای تلف کردن قدرت لغزش در مقاومت رتور می توان آن را با استفاده از روش پیشنهادی شریبوس به منبع تغذیه باز گرداند. در شکل 3-8 طرح مبتنی بر این روش استاتیکی نشان داده شده است که محرکه استاتیکی شریبوس نامیده می شود. همچنین به آن طرح بازیابی قدرت لغزش ۱ یا مبدل زنجیری زیر سنکرون ۲ نیز اطلاق می شود، چونکه فقط توانایی کنترل سرعت محرکه در زیر سرعت سنکرون را دارد. یک پل دیودی، قسمتی از قدرت لغزش را به dc تبدیل می کند که آنهم بنوبه خود با استفاده از یک اینورتر سه فاز با کموتاسیون خط به ac سه فاز با فرکانس منبع تبدیل می شود و از طریق یک

ترانسفورمر، قدرت را به خط تغذیه اصلی بر می گرداند. فیلتر سلفی L_d باعث حذف حالت هدایتی غیر پیوسته و حداقل نمودن اعوجاج جریان مدار اتصال dc می شود که در نتیجه آن تلفات مسی هارمونیک و افت ظرفیت موتور کمتر می شود.



شکل 3-8 محرکه استاتیکی شریبوس

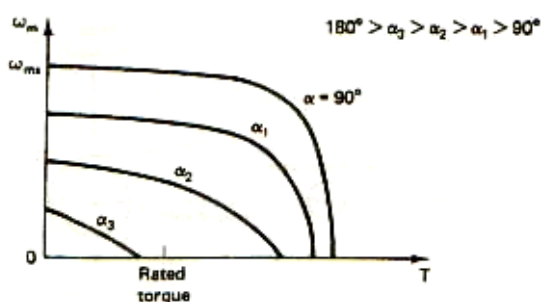
۸-۲-۱. عملکرد محرکه

در شکل 4-8 طبیعت منحنی های سرعت- گشتاور محرکه استاتیکی شریبوس برای مقادیر مختلف α نشان داده شده است. در نزدیکی سرعت سنکرون، تنظیم سرعت خوب است. در سرعت های کم، تنظیم سرعت به شدت خراب می شود ولی در عمل از این محدوده بندرت استفاده می شود. به دلیل تلفات اضافی ناشی از پل دیودی، فیلتر، اینورتر و مقاومت R'_h ، سرعت نامی محرکه برای $\alpha = 90^\circ$ کمتر از سرعت نامی موتور است. محتویات هارمونیکی جریان رتور همانند روش کنترل استاتیک مقاومت رتور است. بنابراین اثر آنها بر روی موتور همانند اثر آنها در روش کنترل استاتیک مقاومت رتور است. نکات مهمی که بایستی به آنها توجه شود آن است که از افت ظرفیت موتور که بیش از 5 درصد است و از گشتاورهای هارمونیک، هم پایدار و هم نوسانی، صرف نظر می شود.

در شرایطی که محرکه برای عملکرد در محدوده معینی از سرعت طراحی می شود، در اثر یک اختلال امکان دارد که سرعت موتور از محدوده کنترل کمتر شده نتیجاً ولتاژ اتصال dc از حداکثر دامنه ولتاژ

ورودی اینورتر بیشتر شود. این امر می‌تواند منجر به خطای کموتاسیون در اینورتر و نتیجتاً اتصال کوتاه در مدار اتصال dc و منبع تغذیه ac از طریق تریستورهای اینورتر شود. برای جلوگیری از این پدیده می‌توان از سنسور سرعت استفاده نمود. در شرایطی که سرعت موتور از محدوده کنترل کمتر می‌شود، استراتژی کنترل تغییر کرده و کنترل مقاومت رتور اجرا می‌شود. از سنسور تشخیص سرعت در زمان راه‌اندازی می‌توان استفاده نمود بدین صورت که در راه‌اندازی از روش کنترل مقاومت استفاده می‌شود و پس از آن روش کنترل استاتیکی شریبوس بکار گرفته می‌شود.

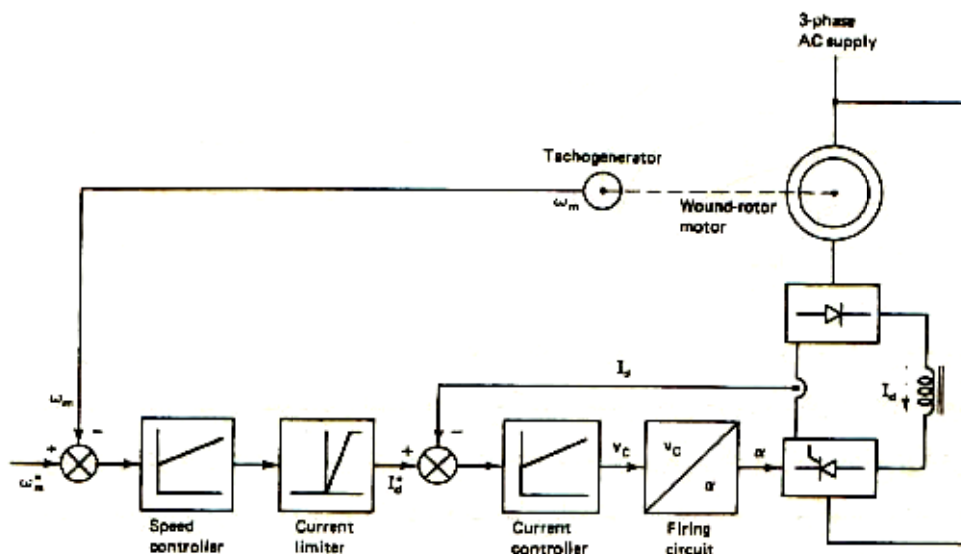
اگر تغییر جهت چرخش محرکه لازم باشد، از یک کنتاکتور برای تغییر توالی فاز تغذیه در مدار استاتور استفاده می‌شود. در تغییر جهت چرخش یک انتقال به حالت کنترل مقاومت رتور نیز انجام می‌شود.



شکل 4-8 طبیعت منحنی‌های سرعت - گشتاور محرکه استاتیکی

در برخی از کاربردها نظیر محرکه‌های بارهای پنکه‌ای و پمپ‌ها، سیستم کنترل سرعت حلقه بسته مورد نیاز است. کنترل حلقه بسته با استفاده از طرح کنترل حلقه داخلی جریان، شکل 4-8، حاصل می‌شود. چون محرکه استاتیکی شریبوس قابلیت ترمزی زیرسنکرون ندارد، فقط می‌تواند در حالت موتوری مستقیم قرار گرفته شود. هر کاهشی در سیگنال مرجع سرعت باعث افزایش نیروی محرکه emf اینورتر می‌شود. نتیجتاً I_d به صفر افت می‌کند، و سبب می‌شود که گشتاور به سمت صفر برود. بنابراین، محرکه در اثر گشتاور مقاوم بار کاهش سرعت خواهد داشت. در محرکه‌های بارهای پنکه‌ای و پمپ‌ها، گشتاور بار به اندازه کافی بزرگ است که موجب کندشدن سریع سرعت می‌شود. با کاهش سرعت، زمانی که سرعت به سرعت مورد نظر نزدیک شد، جریان اتصال dc برقرار می‌شود و مقدارش بنحوی تنظیم می‌شود که گشتاور بار و موتور در سرعت مورد نظر برابر شوند. با افزایش سیگنال مرجع سرعت، جریان I_d در حداکثر مقدارش تنظیم می‌شود و محرکه با حداکثر جریان و گشتاور موتوری شتاب می‌گیرد. در نزدیکی سرعت مورد نظر، محدود کننده جریان از اشباع خارج می‌شود و مقدار جریان I_d بنحوی تنظیم می‌گردد تا گشتاور بار و موتور برابر شوند. زمانیکه اینورتر بصورت متعارف و کار در شرایط تمام کنترل

شده کار کند، جریان اتصال dc با تشخیص ac اینورتر مشخص می‌شود، همانگونه که در محرکه‌های dc انجام می‌شود. زمانیکه اینورتر با هرزه گرد کنترل شده یا به روش مدولاسیون پهنای پالس کار می‌کند، جریان اتصال dc با جریانهای ac اینورتر متناسب نیست، نتیجتاً بایستی مستقیماً آن را از روی اتصال dc اندازه‌گیری نمود.



شکل 5-8 کنترل حلقه بسته سرعت در محرکه استاتیکی شریبوس

در اینجا مناسب است که مقایسه‌ای بین محرکه استاتیکی شریبوس و محرکه کنترل کننده ولتاژ ac مطرح شده در بخش 3-6 انجام شود چونکه از هر دو عموماً در کاربردهایی نظیر محرکه‌های پنکه‌ها و پمپ‌ها در محدوده‌های کوچک سرعت استفاده می‌شود.

در طرح کنترل کننده ولتاژ ac ، کاهش سرعت با تلف کردن قدرت لغزش در رتور حاصل می‌شود. در حالیکه در روش شریبوس، کاهش سرعت با بازگشت قدرت لغزش به خط تغذیه انجام می‌شود. بنابراین روش شریبوس راندمان بسیار بهتری نسبت به روش کنترل کننده ولتاژ ac دارد.

در طرح کنترل کننده ولتاژ ac ، با کاهش سرعت موتور از مقدار نامی جریان موتور افزایش می‌یابد مقدار

حداکثر جریان در $s = \frac{1}{3}$ حاصل می‌شود. این امر باعث افت ظرفیت موتور می‌شود برای آنکه این مقدار افت کم باشد، استفاده از یک موتور با لغزش نامی بین $1/0$ تا $2/0$ (موتور کم راندمان) الزامی است. در یک محرکه استاتیکی شریبوس، جریان با کاهش سرعت کم می‌شود، لذا، این طرح متحمل کاهش

ظرفیت موتور نمی‌شود. بنابراین از یک موتور رتور سیم‌بندی شده با راندمان بالا و لغزش نامی کوچک استفاده می‌شود. این امر موجب افزایش سرعت، قدرت، و راندمان دربار کامل می‌شود. ضریب قدرت در محرکه استاتیکی شریبوس در سرعت بار کامل و نزدیکی آن کم است. در طرح کنترل کننده ولتاژ ac ، از موتور قفس سنجابی می‌توان استفاده نمود، لذا دچار محدودیتهای موتور و رتور سیم‌بندی شده که در ابتدای این فصل به آنها اشاره شد، نمی‌شود. هزینه اولیه محرکه استاتیکی شریبوس بالاتر از محرکه کنترل کننده ولتاژ ac است. اما در مقابل هزینه بهره‌برداری آن کمتر است.

۸-۲-۲. کنترل سرعت در فوق سنکرون

همانطور که در بخش قبل اشاره شد، محرکه شکل 8-3 می‌تواند فقط بصورت موتوری زیر سنکرون و ترمز ژنراتوری فوق سنکرون کار کند، چونکه جهت انتقال قدرت فقط از سمت رتور به سمت منبع ac است. اگر با ایجاد تغییراتی انتقال قدرت بین رتور و منبع ac اصلی دو طرفه باشد، آنگاه کار موتوری و ترمزی در سرعت‌های زیر سنکرون و فوق سنکرون عملی می‌شود. اگر مقادیر نامی طراحی بگونه‌ای انتخاب شود که شرایط کار در حداکثر لغزش S_{max} مهیا شود، آنگاه محدوده کنترل لغزش از $-S_{max}$ تا S_{max} امکان پذیر است. بعبارت دیگر محدوده کنترل سرعت برای همان مقادیر نامی دوبرابر می‌شود. برای تحقق چنین وضعیتی ولتاژ تزریقی به مدار رتور، بایستی فرکانس و توالی فاز ولتاژ القایی رتور را دنبال کند.

اولین تغییر که باعث می‌شود انتقال قدرت در دو جهت صورت پذیرد، جابجایی پل دیودی با یک یکسو کننده تمام کنترل شده 6 پالسه است. جهت قدرت انتقالی را می‌توان با تغییر حالت کار اینورتر به یکسو کننده و یکسو کننده (متصل به رتور) به اینورتر تغییر داد. افزایش در محدوده کنترل سرعت، افزایش هزینه و پیچیدگی مدار را بهمراه دارد. هزینه یک پل تریستوری بیش از یک پل دیودی است. یک مدار آتش با فرکانس لغزش برای مبدل جدید ضروری است. در نزدیکی سرعت سنکرون، دامنه کم ولتاژ رتور نمی‌تواند شرایط کموتاسیون خط تریستورهای یکسوکننده جدید را ایجاد کند، نتیجتاً در نزدیکی سرعت سنکرون، محرکه دچار خطا شده و قادر به تأمین گشتاور مورد نیاز بار نیست.

دومین تغییر که می‌تواند انتقال قدرت را در دو جهت میسر سازد، جایگزینی پل دیودی با یک اینورتر منبع جریان است. توالی فاز و فرکانس اینورتر بایستی توالی فاز و فرکانس ولتاژهای القایی رتور را دنبال

نماید. ترکیب یک اینورتر منبع جریان و یکسو کننده تمام کنترل شده قادر است قدرت را در هر دو جهت منتقل نماید. همچنین بدلیل کموتاسیون اجباری هیچ مشکلی در امر کموتاسیون در نزدیکی سرعت سنکرون رخ نمی‌دهد. در سرعت سنکروه برای ایجاد گشتاور، جریان dc لازم در رتور توسط اینورتر منبع جریان تامین می‌شود. هزینه و پیچیدگی این محرکه نسبت به محرکه شکل 8-3 بالاتر است.

سومین تغییر ممکن جایگزینی پل دیودی و اینورتر با یک سیکلوکنورتر است، که می‌تواند بصورت یک منبع ولتاژ یا یک منبع جریان عمل نماید. توالی فاز و فرکانس سیکلوکنورتر بایستی ولتاژهای القایی رتور را دنبال نماید. چون کموتاسیون تریستورهای سیکلوکنورتر توسط ولتاژ ثابت خط (ولتاژ خروجی ترانسفورمر) انجام میشود، بنابراین کموتاسیون مستقل از سرعت محرکه است، و در نزدیکی سرعت سنکرون کموتاسیون بطور عادی و بدون مشکل انجام می‌شود. در سرعت سنکرون، جریان dc رتور توسط سیکلوکنورتر تامین می‌شود و گشتاور ایجاد می‌گردد. هنگامیکه محرکه در یک حوزه محدودی از سرعت

کنترل می‌شود، فرکانس سیکلوکنورتر بایستی به کمتر از $\frac{1}{3}$ فرکانس منبع تغذیه محدود شود تا یک شکل موج جریان تقریباً سینوسی در رتور وجود داشته باشد که در نتیجه آن، بهبود راندمان و افت کمتر ظرفیت موتور حاصل می‌شود.

بدلیل جذب قدرت راکتیو توسط سیکلوکنورتر، ضریب قدرت این محرکه کوچک است.

گاهی اوقات برای کاهش هزینه، وزن و حجم محرکه، ترانسفورمر حذف می‌شود و سیکلوکنورتر مستقیماً به منبع متصل می‌شود. ولی در مقابل ضریب قدرت بشدت افت می‌کند و هزینه سیکلوکنورتر نیز بدلیل افزایش ولتاژ نامی تریستورها تا حدی افزایش می‌یابد.

چون در سیکلوکنورتر از تعداد زیادی تریستور استفاده می‌شود، این محرکه فقط برای قدرتهای خیلی بالا مناسب است.

در تمام سه طرح فوق زمانیکه محرکه برای حوزه محدودی از سرعت طراحی شده باشد، برای راه‌اندازی از مقاومت راه‌انداز استفاده می‌شود، تغییر جهت چرخش محرکه امکان پذیر نیست. اگر تغییر جهت چرخش ضروری باشد، یک کنتاکتور تغییر دهنده توالی فاز به استاتور متصل می‌شود و از کنترل مقاومت رتور در روند تغییر جهت موتور استفاده می‌شود. در عمل از طرح I استفاده نمی‌شود. ازدو طرح دیگر در محرکه‌های پنکه‌ها و پمپ‌ها با قدرت خیلی بالا استفاده می‌شود. اما افزایش در هزینه و پیچیدگی محرکه، مزایای ناشی از افزایش در محدوده سرعت آن را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. استفاده از محرکه

استاتیکی شریبوس عموماً در سرعت زیرسنکرون ترجیح داده می‌شود. چونکه هزینه و پیچیدگی آن کاهش می‌یابد.

۸-۳. محرکه‌های تغییر یافته کرامر ۱

کرامر پیشنهاد نمود که قدرت لغزش گرفته شده از رتور برای کنترل سرعت را می‌توان در یک موتور کمکی که با موتور اصلی هم محور است به کار مفید مکانیکی تبدیل نمود. قدرت مکانیکی حاصله توسط موتور کمکی به قدرت موتور اصلی اضافه می‌شود. بنابراین در تمامی سرعتها قدرت یکسانی به بار مکانیکی تحویل داده می‌شود. در طرحهای اولیه این محرکه، ولتاژهای رتور با فرکانس لغزش به کمک یک پل دیودی به ولتاژ dc تبدیل می‌شدند. این ولتاژ dc برای تغذیه آرمیچر یک موتور dc که روی محور موتور القایی نصب شده بود، استفاده می‌شد. اگر از مقاومت آرمیچر صرف‌نظر شود، آنگاه ولتاژ ضد محرکه القایی موتور dc معادل ولتاژ خروجی پل دیودی بوده، که آن نیز به نوبه خود متناسب با لغزش موتور القایی است. با کنترل تحریک موتور dc ، ولتاژ القایی موتور dc و نتیجتاً سرعت موتور القایی می‌تواند کنترل شود. محرکه استاتیکی کرامر در حال حاضر کاربرد فراوانی ندارد که علت آن مشکلات و مسائل مربوط به موتور dc بخصوص در سطوح قدرت بالا است. در این محرکه ماشین dc با یک موتور dc بدون جاروبک جایگزین می‌شود که شامل یک موتور سنکرون تغذیه شده با یک اینورتر با کموتاسیون بار ۲ است. سرعت با تغییر دادن زاویه پیش‌فاز کموتاسیون کنترل می‌شود. با کنترل جریان میدان نیز می‌توان سرعت را کنترل نمود، اما بدلیل مسائل وابسته مطرح شده در زیر، کمتر استفاده می‌شود. برای آنکه محرکه در سرعت سنکرون کار کند، بایستی جریان میدان به صفر تقلیل یابد تا ولتاژ پایانه dc اینورتر صفر شود. اما در این وضعیت ولتاژ برای ایجاد شرایط مناسب برای کموتاسیون بار کافی نخواهد بود. همچنین پاسخ کند مدار تحریک و افزایش عکس‌العمل آرمیچر در جریانها تحریک کم از عیوب روش کنترل جریان تحریک هستند. با اینحال از روش کنترل جریان تحریک برای کنترل شار و کنترل ولتاژ پایانه‌های موتور سنکرون تا محدوده مقادیر نامی تریتورهای اینورتر استفاده می‌شود.

ضریب قدرت بهتر و هارمونیک‌های کمتر در جریان خط از ویژگیهای این محرکه نسبت به محرکه استاتیکی شریبوس است. در محرکه استاتیکی شریبوس، قدرت راکتیو و هارمونیک‌ها به قدرت بازگشتی

به خط تغذیه وابسته هستند. در محرکه استاتیکی کرامر بدلیل آنکه قدرت به خط تغذیه باز نمی‌گردد، مشکلات مربوط به بازگشت قدرت نیز برطرف می‌شوند.

۹. فصل نهم، تاثیر کنترل دور موتورهای الکتریکی بر روی بهینه سازی مصرف انرژی

۹-۱. مقدمه

بحث انرژی از دو دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی حائز اهمیت است. بهینه سازی مصرف انرژی به این معنی است که بتوان با استفاده از تجهیزات و یا مدیریت بهتر همان کار را ولی با مصرف انرژی کمتر انجام بدهیم.

صرفه جوئی انرژی می تواند با استفاده از تجهیزات بهتر نظیر: عایق بندی مطلوب، افزایش راندمان سیستمهای حرارتی، و بازیابی تلفات حرارتی بدست آید از طرف دیگر اعمال مدیریت انرژی، بمنظور درک سیستمهای موجود و طریقه استفاده از آنها، میتواند در کاهش مصرف انرژی نقش مهمی داشته باشد. در سیاست گذاری انرژی باید سازمانها رویکرد سیستمی داشته باشند. برای مثال در بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی هدف تنها کاهش هزینه های انرژی یک یا چند الکتروموتور مشخص نیست، بلکه باید آثار اقدامات مورد نظر روی سایر سیستمها نیز بدقت مورد توجه قرار گیرد. در یک بنگاه اقتصادی صرفه جوئی انرژی میتواند موجب برتری رقابتی بنگاه گردد.

در اغلب بخشهای صنعتی انرژی الکتریکی مهمترین منبع انرژی صنعت بشمار می رود. از آنجا که موتورهای الکتریکی، مصرف کننده اصلی انرژی الکتریکی در کارخانجات صنعتی میباشند. لذا بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی که موضوع مقاله است از اهمیت ویژه ای برخوردار خواهد بود. برای درک اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی به این مورد اشاره می کنیم که اگر راندمان موتورهای الکتریکی القائی موجود در اروپا تنها به میزان 1٪ افزایش یابد، هزینه مصرف انرژی الکتریکی به میزان 6/1 میلیارد دلار در سال کاهش خواهد یافت.

آمار منتشر شده از سوی وزارت نیرو نشان می دهد در سال 1373، 5/38٪ از کل انرژی الکتریکی مصرف شده در ایران توسط موتورهای الکتریکی بوده است [F1]. البته این میزان در کشورهای صنعتی تا 65٪ می رسد و شاخص خوبی برای نشان دادن سطح صنعتی شدن یک کشور می باشد [10]. اهداف بهینه سازی مصرف انرژی را میتوان بصورت زیر بیان نمود:

استفاده منطقی از انرژی

حفظ منابع انرژی

اصلاح میزان مصرف انرژی در بخشهای مصرف کننده انرژی

کاهش گازهای گلخانه ای و آلودگی هوا

اصلاح وضعیت موجود

کسب برتری رقابتی در بنگاههای اقتصادی

می توان اقدامات مختلفی برای صرفه جویی انرژی الکتریکی در الکتروموتورهای صنعتی بعمل آورد. در حالت کلی این اقدامات به دو دسته تقسیم میشود:

1- اقدامات مربوط به طراحی موتور

2- اقدامات مربوط به بهره برداری از موتورها

اقدامات مربوط به بهره برداری از موتورها را نیز میتوان به دو دسته تقسیم نمود:

1- اقدامات روی موتور، نظیر تهویه، روغنکاری، و بارگذاری

2- استفاده از درایو یا کنترل کننده دور موتور

در این مقاله نخست روشهای بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی را مورد بحث قرار می دهیم سپس کاربرد درایوها در کنترل موتورهای الکتریکی و تاثیری که آنها می تواند در صرفه جویی مصرف انرژی بگذارند مورد بررسی قرار خواهد گرفت .

۹-۲. مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی

در سالهای اخیر بهینه سازی مصرف انرژی در صنایع بدلائل اقتصادی و زیست محیطی اهمیت بیشتری یافته و موجب شده است که اقدامات عملی گسترده ای در این زمینه بعمل آید. علی رغم اینکه یکی از بزرگترین مصرف کنندگان انرژی الکتریکی در بخش صنعت موتورهای الکتریکی می باشند ، لیکن در زمینه افزایش بازدهی مبدلهای انرژی الکتریکی به مکانیکی مستقر در صنایع اقدامات عملی چندانی بعمل نیامده است. بدیهی است که افزایش بازدهی محرک های صنعتی نه تنها از نظر اقتصادی مورد توجه استفاده کنندگان می باشد بلکه در برنامه ریزی انرژی در سطح ملی نیز حائز اهمیت است .

مطالعات انجام شده در صنایع ایران حکایت از وضعیت نابسامان انتخاب و بهره برداری از موتورهای الکتریکی دارد . بر اساس این تحقیقات اغلب موتورها بزرگتر از میزان نیاز انتخاب شده و در شرایط بدی نگهداشت میشوند. استفاده از موتورهای با راندمان بالا در ایران رایج نبوده و گزارش موثری از استفاده از درایو جهت صرفه جویی انرژی در دست نیست. کاربردهای صنعتی بسیاری می توان یافت که موتورها در بازدهی بسیار پایین تر از مقدار حداکثر قرار دارند . بعنوان مثال در یکی از کارخانجات صنعتی کشورمان در یک مورد ، متوسط توان مصرفی در یک موتور القائی سه فاز صنعتی تنها 28٪ توان نامی

اندازه گیری شده است. بدیهی است پایین بودن توان خروجی، تا این حد تاثیرات منفی قابل توجهی بر بازدهی و ضریب توان موتور خواهد داشت .

از سوی دیگر دولت نیز نتوانسته است در ترویج فرهنگ استفاده بهینه از انرژی الکتریکی توفیقات خوبی داشته باشد. بعنوان مثال وزارت نیرو و سازمانهای وابسته به آن که مشخصا در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی در سطح کلان عمل میکند هنوز در ارتباط با کاهش مصرف داخلی نیروگاهها اقدام موثری بعمل نیاورده است. در حالیکه پتانسیل صرفه جوئی انرژی الکتریکی زیادی در نیروگاهها وجود دارد.

۹-۳. موانع در سیاست گذاری انرژی

در ایران موانعی که سر راه بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی وجود دارد را میتوان بصورت زیر دسته بندی نمود:

- سیاست دولت در پرداخت سوبسید به صنایع
- عدم آگاهی مدیران صنایع از روشهای صرفه جوئی انرژی الکتریکی
- ضعف دانش فنی مهندسين مرتبط با بهینه سازی مصرف انرژی
- نگرانی از ضریب اطمینان درایو و آثار منفی آن روی شبکه و موتور
- نداشتن یک رویکرد سیستمی در استفاده از موتورهای با راندمان بالا

۹-۴. انتخاب موتور مناسب

موتورهای القائی سه فاز و یک فاز به دلیل تنوع مصرف در کاربردهای زیادی مورد استفاده قرار می گیرند. مشخصه های بارمکانیکی ناشی از کاربرد و مورد مصرف می باشد. بدیهی است موتور در صورتی می تواند بار مکانیکی متصل به آن را تامین کند که مشخصه عملکردی موتور منطبق بر مشخصه بار مکانیکی باشد .

۹-۵. تطابق موتور و بار

همانطور که در بالا اشاره شد موتور و بار دارای مشخصه های خاص خود می باشند . منظور از تطابق بین موتور و بار انطباق بین مشخصه های موتور و مشخصه های بار متصل به محور موتور میباشد .

مشکل اصلی در صنایع کشور آن است که در اغلب موارد تطابق مطلوبی بین مشخصه های بار و موتور وجود ندارد. توان اغلب موتورها بیش از بار متصل به محور شان می باشد و با توجه به اینکه قیمت تمام شده موتور متناسب با توان آن می باشد، لذا بدیهی است انتخاب موتور با توان بیش از نیاز بار، علاوه بر افزایش هزینه اولیه موتور موجب افزایش سایر هزینه ها از قبیل کابل کشی و نصب و راه اندازی و تعمیر خواهد شد .

از طرف دیگر در صورتیکه موتور انتخاب شده بزرگتر از حد لازم باشد در این صورت موتور در حالت بار کامل و یا نزدیک به بار کامل کار نکرده و لذا بازدهی آن پایین تر از مقدار حداکثر آن خواهد بود . و خود این امر اشکالات جدی در بهینه سازی مصرف انرژی ایجاد خواهد کرد .

در موتورهای القائی سه فاز در صورت کاهش میزان بازدهی موتور ، به ویژه به میزان کمتر از 80٪ بار کامل ، شاهد کاهش قابل توجه در بازدهی موتور خواهیم بود . متأسفانه در اکثر موارد به این نکته توجه نشده و تنها تاثیر نامطلوب انتخاب موتور بزرگتر از حد لازم بر هزینه اولیه مورد توجه قرار می گیرد . در صورتیکه محاسبات انجام شده حاکی از آن است که تاثیر انتخاب نامناسب موتور بر هزینه های متغیر (هزینه اتلاف انرژی اضافی) قابل توجه و بمراتب بیش از افزایش هزینه ثابت اولیه می باشد .

یک مثال این موضوع را روشن خواهد کرد :

مثال : فرض می کنیم برای انجام یک کار مکانیکی ، موتور القائی سه فاز با توان خروجی 110 کیلو وات مناسب باشد و بجای آن موتور با توان 132 کیلو وات انتخاب شود . اطلاعات زیر را مورد توجه قرار می دهیم :

- بازدهی موتور در بار کامل = $2/94$ ٪

- بازدهی موتور در $3/83$ ٪ بار کامل = $5/92$ ٪

- طول عمر مفید موتور = 15 سال

- ضریب کارکرد = $8/0$

با انجام کمی محاسبات می توان نتیجه گرفت که مصرف انرژی در طول 15 سال بمقدار 600/937 کیلو وات ساعت افزایش پیدا خواهد کرد. مطالب فوق این واقعیت را بیان می کند که انتخاب موتور مناسب به لحاظ اقتصادی حائز اهمیت فراوان بوده و لذا تطابق بین بار و موتور از اهمیت ویژه ای برخوردار است . انتخاب موتور بزرگتر از حداقل مورد نیاز به دلایل زیر غیر اقتصادی می باشد :

1- با افزایش توان موتور قیمت آن یعنی هزینه اولیه افزایش می یابد .

- 2- با افزایش توان موتور هزینه های نگهداری و تعمیرات آن افزایش می یابد .
- 3- با افزایش توان موتور بدلیل پایین آمدن ضریب بار ، بازدهی موتور کاهش یافته و بدین ترتیب انرژی تلف شده افزایش می یابد .

۹-۶. موتورهای با راندمان بالا (Energy Efficient Motors)

گرچه قیمت موتورهای با راندمان بالا بیشتر از موتورهای استاندارد است، ولی در اغلب کاربردها استفاده از آنها کاملاً اقتصادی است. مخصوصاً در کاربردهائی که:

- مدت زمان روشن بودن موتور بیش از زمان خاموش بودن آن باشد
- مدت زمان روشن بودن موتور بیش از 2000 ساعت در سال باشد
- گشتاور بار نسبتاً ثابت بوده و موتور بدرستی به بار تطبیق شده باشد.

استفاده از موتورهای با راندمان بالا توصیه میشود. بارهائی چون میکسرها، نقاله ها و فیدرها از این نوع هستند. اهمیت موضوع وقتی آشکار میشود که توجه کنیم که هزینه انرژی مصرفی یک الکتروموتور در طول عمر مفید آن 10 تا 20 برابر قیمت موتور است [16]. موتورهای با راندمان بالا علاوه بر صرفه جوئی انرژی معمولاً مزیت‌های دیگری نیز دارند. برای مثال آنها جریان های بیشتری را در هنگام راه اندازی تحمل میکنند و حرارت و نویز کمتری تولید میکنند. هر چند که موتورهای با راندمان بالا تنها 2 تا 3 درصد راندمان را بهبود میدهند، اما اگر در انتخاب و بکارگیری آنها بجای یک موتور کل سیستم در نظر گرفته شود، اثر بخشی کار بالا خواهد رفت. با رویکرد سیستمی به موضوع و در نظر گرفتن عوامل دیگر نظیر هزینه های تعمیر و نگهداشت و بهره برداری میتوان به کارائی این موتورها بیشتر پی برد. میزان صرفه جوئی انرژی در صورت استفاده از موتور با راندمان بالا، به جای موتورهای استاندارد از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\text{صرفه جوئی} = hp \times 0.746 \times l \times hr \times c \times \left[\frac{100}{\eta_{std}} - \frac{100}{\eta_{ee}} \right]$$

در رابطه فوق hp توان موتور بر حسب اسب بخار، l ضریب بار (در صد از بار کامل تقسیم بر 100)، hr ساعات کار در طول سال، c متوسط قیمت انرژی (قیمت هر کیلووات ساعت انرژی)، std راندمان موتور استاندارد (٪)، و ee راندمان موتور با راندمان بالا (٪) است.

توصیه میشود هنگام خرید موتور و یا سفارش ساخت ماشین به سازندگان ماشین از موتورهای با راندمان بالا استفاده گردد. همچنین معمولاً اقتصادی است که بجای سیم پیچی کردن موتورهای سوخته و

استفاده مجدد از آنها، از موتورهای با راندمان بالا استفاده گردد. زمان بازگشت سرمایه (به سال) در خرید این نوع موتورها، بطور ساده عبارت خواهد بود از:

$$\frac{\text{قیمت موتور (و نصب آن)}}{\text{میزان صرفه جوئی انرژی حاصله}} \times \text{زمان بازگشت سرمایه}$$

۹-۷. اقدامات مورد نیاز برای بهبود عملکرد سیستمهای مرتبط با الکتروموتورها

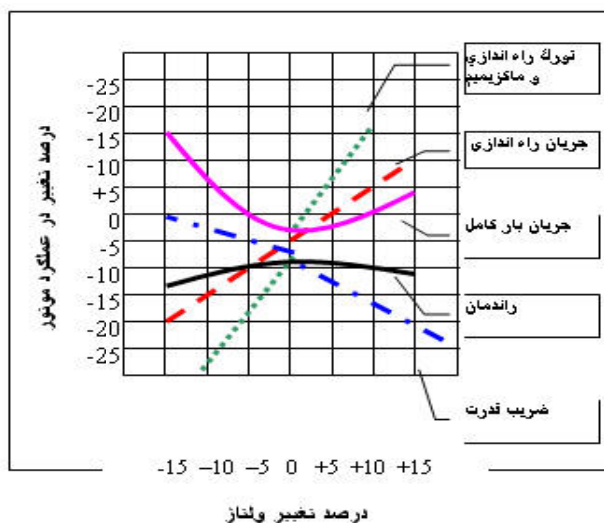
یک موتور معمولاً با اجزا و سیستمهای دیگر در ارتباط است. برای بهبود عملکرد الکتروموتورها لازم است سیستمهای مرتبط با موتور نیز در نظر گرفته شود. این سیستمها شامل شبکه برق، کنترل کننده های موتور، الکتروموتور و سیستم انتقال نیرو میگردد.

۹-۷-۱. کیفیت توان Power Quality

مسائل کیفیت توان شبکه شامل کلیه اختلالات شبکه برق مثل عدم تقارن در ولتاژ، افت ولتاژ، چشمک زدن، اسپایک، سیستم ارت بد، هارمونیکها و نظایر آن میشود [5]. از آنجا که کیفیت توان تاثیر زیادی در اتلاف انرژی دارد، لازم است یک مهندس مجرب وضعیت شبکه برق تاسیسات را زیر نظر داشته باشد.

۹-۷-۲. تثبیت ولتاژ شبکه

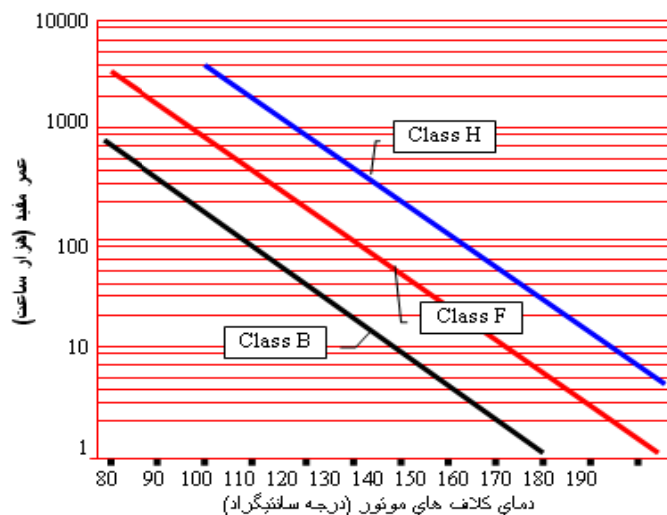
تا آنجا که ممکن است باید ولتاژ اعمالی به موتور نزدیک به ولتاژ کار موتور باشد. گرچه تغییرات 10٪ در ولتاژ موتور مجاز است اما از نقطه نظر اتلاف انرژی میزان انحراف از ولتاژ نامی موتور باید کمتر از 5٪ باشد. تغییر ولتاژ موتور موجب افت ضریب قدرت، عمر مفید موتور و راندمان میگردد [6]. شکل (I)



شکل (1): بررسی تاثیر تغییرات ولتاژ اعمالی به موتور روی تورک، جریان راه اندازی، جریان

بار کامل، راندمان و ضریب قدرت

اگر ولتاژ موتور بیش از 5٪ کاهش پیدا کند، راندمان بین 2 تا 4 درصد افت پیدا کرده و دمای موتور حدود 15 درجه افزایش می یابد و این افزایش دما عمر عایق موتور را کاهش خواهد داد. در شکل (2) عمر موتور در دماهای کار مختلف و با کلاسهای عایقی مختلف نشان داده شده است.



شکل (2): بررسی تاثیر دمای کلاسهای موتور روی عمر مفید آن برای موتورهای با کلاس

عایقی مختلف

۹-۸. عدم تقارن فاز

عدم تقارن فاز باید کمتر از 1٪ باشد. عدم تقارن فاز بصورت زیر توسط NEMA تعریف شده است:

$$100\% \times \left(\frac{\text{متوسط ولتاژ سه فاز - حداکثر انحراف ولتاژ از مقدار ولتاژ}}{\text{متوسط متوسط ولتاژ سه فاز}} \right)$$

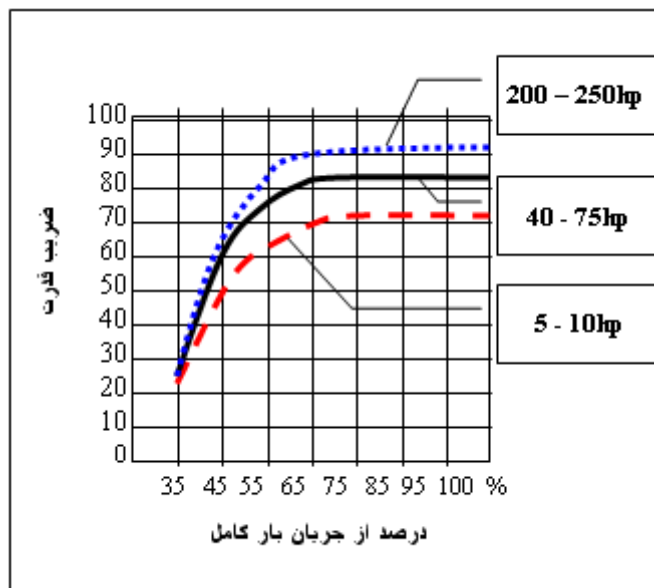
برای مثال اگر ولتاژهای فاز بترتیب 462 و 463 و 455 ولت باشد. متوسط ولتاژ سه فاز برابر با 460 ولت میشود و در صد عدم تقارن بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$\frac{460-455}{460} \times 100\% = 1.1\%$$

۹-۸-۱. ضریب قدرت

ضریب قدرت پائین موجب افزایش جریان کابلها و ترانسفورماتورها و افت ولتاژ شده و بدین ترتیب باعث کاهش ظرفیت سیستم تغذیه میشود [7]. ضریب قدرت پائین ناشی از بار کم در شفت موتور است. در

شکل (3) منحنیهای ضریب قدرت برای بارهای مختلف و رنجهای توانی متفاوت موتورها آمده است [8].
بوضوح مشاهده میشود با کاهش بار موتور ضریب قدرت تغییرات قابل توجهی میکند.



شکل (3): تغییرات ضریب قدرت متناسب با بار موتور

۹-۸-۲. روشهای عملی برای افزایش بازدهی موتور

اشاره شد که بالا بردن بازدهی متوسط موتورهای القائی به لحاظ اقتصادی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بدیهی است نحوه عمل و دستیابی به نتایج مطلوب وابسته به نوع و اندازه موتور، شرایط بارگذاری، نحوه نگهداری و غیره بوده و لذا نمی توان دستور العمل کلی برای ارتقاء بازدهی کلیه موتورهای القائی ارائه داد. بطور کلی اقدامات لازم برای بالا بردن بازدهی موتورهای القائی را می توان به دو دسته تقسیم نمود. دسته اول تمهیداتی است که در زمان طراحی و ساخت موتور باید بکار گرفت. دسته دوم شامل مجموعه اقدامات عملی جهت بالا بردن بازدهی موتورهای القائی در حال کار در صنایع می شود.

اقدامات عملی ساده ای منجر به افزایش راندمان کار می گردد به عنوان مثال مقدار معمول جریان بی باری در موتورهای القائی سه فاز در محدوده 3 تا 5 درصد جریان نامی موتور است. ولی در بررسی های بعمل آمده مشاهده شده است که در اکثر موارد جریان بی باری موتور بیشتر از این مقدار بوده و در برخی موارد تا 12٪ جریان نامی افزایش یافته است. این افزایش در جریان بی باری موتور باعث عدم نگهداری صحیح از موتور است. در اکثر موارد این شرایط نامطلوب در حالات بارگذاری نیز مشاهده می شود. به این معنی که با اعمال بار مکانیکی غیر مفید به محور موتور، بصورت اصطکاکهای مکانیکی ناشی از عدم نگهداری صحیح، موجب میشود که موتور بار اعمال شده را در جریان الکتریکی بیشتری

تامین می کند . و در واقع بخشی از توان الکتریکی ورودی صرف تامین بار و قسمت دیگر آن برای غلبه بر اصطکاک مکانیکی مصرف می شود .

بدین ترتیب موارد زیر را در ارتباط با تلفات اهمی موتور میتوان بیان کرد :

1- تلفات اهمی موتور متغیر بوده و تابعی از میزان و نحوه بارگذاری موتور می باشد .

2- در بسیاری از موارد عدم نگهداری صحیح از قسمت‌های چرخان موتور به ویژه بلبرینگ محور موتور ، موجب ایجاد بار مجازی ناشی از افزایش اصطکاک مکانیکی شده و لذا جریان ورودی موتور در حالت بی باری و بار از حد مطلوب و اعلام شده توسط سازنده بیشتر خواهد شود

3- افزایش جریان ورودی موتور موجب بالا رفتن تلفات اهمی و حرارت ایجاد شده در سیم پیچ شده و لذا درجه حرارت اطراف سیم پیچ افزایش خواهد یافت .

از مشخصات بارز تلفات مکانیکی موتور دشواری محاسبه میزان و تعیین منابع آن است . بخش عمده تلفات مکانیکی در قسمت های چرخان موتور بوده و ناشی از اصطکاک و بار می باشد و لذا میزان تلفات مکانیکی تا حد زیادی وابسته به شرایط نگهداری موتور دارد . با روغن کاری مناسب و بموقع بلبرینگ و نظافت قسمت‌های چرخان موتور و همچنین اطمینان از بالانس بودن محور ، میتوان تلفات مکانیکی موتور را به حداقل رساند بدین ترتیب در ارتباط با تلفات مکانیکی موتور میتوان موارد زیر را اظهار داشت:

1- میزان تلفات مکانیکی تابعی از شرایط نگهداری موتور می باشد .

2- با انجام اقدامات مناسب در نگهداری موتور می توان تلفات مکانیکی را بسادگی در مقدار حداقل خود نگه داشت.

3- تلفات مکانیکی نیز منجر به افزایش درجه حرارت بویژه در قسمت‌های چرخان موتور می شود انواع تلفات موتور بدون توجه به نوع آن منجر به ایجاد حرارت می شود بدین ترتیب خنک کاری موتور بویژه در شرائطی که موتور زیر بار است از اهمیت ویژه ای برخوردار است . بالا رفتن درجه حرارت موتور باعث کاهش عمر مفید آن می شود .

در موارد زیادی مشاهده شده است که بدلیل عدم رعایت نکات ساده و مهم در نگهداری موتور باعث کاهش بازدهی سیستم خنک کن شده و درجه حرارت موتور در حالت بار نامی افزایش پیدا کند . در این گونه موارد گاهی اوقات بجای رفع اشکال نگهداری، اقدام به جایگزین کردن موتور با توان بیشتر می شود که این امر خود منجر به کاهش بازدهی سیستم و اتلاف انرژی خواهد شد .

بر اساس تجارب شرکت پرتو صنعت نوع دیگری از اشکالات مربوط به سیم پیچی موتورهای معیوب توسط افراد غیر متخصص می شود. مشاهدات ما نشان می دهد که در برخی از موارد موتور بدفعات مورد سیم پیچی قرار می گیرد. عدم رعایت نکات فنی در عایق بندی موتور سیم پیچی شده و همچنین استفاده از ابزار و آلات غیر اصولی در درآوردن سیم پیچی سوخته شده موتور نتایج بدی بدنبال دارد. بعنوان یک اصل تجربی موتورهایی که به این شیوه سیم پیچی مجدد می شوند برای کار با اینورتر یا کنترل کننده دور موتور مناسب نیستند. اغلب این موتورها بدلیل آسیب هایی که به مدار مغناطیسی آنها در حین سیم پیچی وارد می شود از جریان بی باری بالاتر از حد معمول برخوردار بوده و عایق بندی آنها برای کار با اینورتر مناسب نمی باشد. این نوع موتورها حرارت بیشتری نسبت به موتورهای سالم دارند و تلفات انرژی زیادی ایجاد می کنند. ضمناً این موتورها بمراتب آسیب پذیرتر از موتورهای فابریک می باشند. توصیه می شود در سیم پیچی موتورهای آسیب دیده از تکنیسین های مجرب و ابزارآلات مناسب استفاده شود. ضمناً تا زمانیکه اطمینان از فرآیند کار حاصل نشده باشد از استفاده از این نوع موتورها همراه با کنترل کننده دور موتور اجتناب گردد. توصیه می شود اگر قصد تعویض این نوع موتورها را دارید و یا میخواهید موتورهای جدیدی تهیه کنید، موتورهایی تهیه کنید که راندمان بالاتری داشته باشند.

۹-۹. دستور العملهای لازم برای بهبود عملکرد موتورهای الکتریکی

اشاره شد که عوامل موثر در بازدهی موتورهای الکتریکی را می توان بصورت زیر بیان نمود:

- عوامل موثر در مراحل طراحی و ساخت
- عوامل موثر در بهره برداری

بررسی عوامل موثر فوق خارج از حوصله این مقاله است. یک مطالعه خوب از عوامل فوق توسط آقای دکتر اوروعی در سال 1373 انجام گرفته است. [FI] در اینجا بطور خلاصه به عوامل موثر در بهره برداری از موتور که به افزایش بازدهی آنها منجر خواهد شد اشاره میشود. در جدول (I) خلاصه ای از عوامل موثر در بازدهی موتورهای الکتریکی آمده است.

توضیحات	عامل	
بازدهی موتور عموماً در صورتي حداکثر خواهد بود که بار موتور در حدود ۸۰ تا ۱۰۰ درصد بار نامي شود.	بار کامل	وابسته به شرایط بارگذاری موتور
تغییر سرعت باید توسط کنترل کننده دور موتور انجام گیرد.	سرعت	
برای جلوگیری از هر گونه تغییر سرعت در موتور	بار ثابت	
برای جلوگیری از کاهش گشتاور موتور	ولتاژ ثابت	
برای اطمینان یافتن از عدم افزایش دمای موتور از حد مجاز و برخورداری از عمر مفید مورد نظر	تهویه	وابسته به شرایط نگهداری موتور
برای جلوگیری از اعمال بار مجازي بر محور موتور ناشي از افزایش اصطکاک	روغن کاری	

جدول (I) عوامل موثر در بازدهی موتورهای الکتریکی

همان طور که مشاهده می شود مجموعه اقدامات ساده فوق خصوصاً اقداماتی که به عوامل وابسته به شرایط نگهداری موتور می شود می تواند منجر به صرفه جوئی اقتصادی قابل توجهی شود . برای اطمینان یافتن از اینکه بازدهی موتورهای مستقر در صنایع و سایر کاربردها در حد مطلوب قرار دارد می توان نسبت به تدوین شناسنامه صنعتی برای هر موتور (و بویژه موتورهای بزرگ) اقدام نموده و با ثبت اطلاعات مورد نظر از جمله موارد زیر بازدهی این موتور ها را مورد بررسی قرار داد :

- میزان بار (درصد از بار کامل)
 - میزان تغییرات بار (درصد از بار کامل)
 - میزان تغییرات سرعت (درصد از سرعت سنکرون)
 - میزان تغییرات ولتاژ شبکه (درصد از ولتاژ نامی)
- توصیه میشود کارخانجاتی که در آنها تعداد موتور مورد استفاده زیاد می باشد نسبت به جمع آوری اطلاعات فوق و اقدامات اصلاحی اقدام نمایند.

۹-۱۰. دسته بندی اقدامات لازم برای بهینه سازی مصرف انرژی

برای روشن شدن تاثیر اقدامات مختلف برای افزایش بازدهی موتورهای الکتریکی در جدول (2) نتایج قابل انتظار این اقدامات برای دسته ای از موتورهای القائی با توان خروجی 2/2 تا 30 کیلو وات نمایش داده شده است [FI].

مرحله	نوع اقدام	بیش بینی میزان افزایش بازدهی %
طراحی	بهینه سازی طرح	۵-۱۵
تولید	بکارگیری تکنولوژی مدرن	۰-۵
بهره برداری	بار کامل و ثابت	۱۰-۱۵
بهره برداری	ولتاژ ثابت	۰-۵
بهره برداری	تهویه مطلوب	۴-۶
بهره برداری	اصطکاک کم	۵-۸

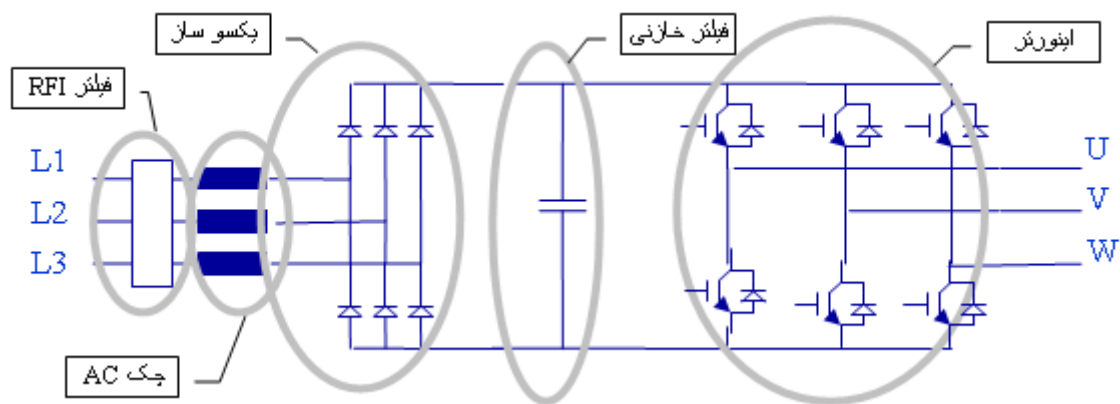
جدول (2) : اقدامات مختلف برای افزایش بازدهی موتورهای الکتریکی با توان 2/2 تا 30 کیلو وات .

۹-۱۱. تکنولوژی الکترونیک قدرت و درایوهای AC

تکنولوژی الکترونیک قدرت (*Power Electronics*)، بهره وری و کیفیت فرایندهای صنعتی مدرن را بی وقفه بهبود میبخشد. امروزه با کمک همین تکنولوژی امکان استفاده از منابع انرژی غیرآلاینده بازیافتی (*Renewable Energy*)، نظیر باد و فتو ولتائیک فراهم شده است. تخمین زده میشود که با استفاده از الکترونیک قدرت، حدود 15 تا 20 درصد امکان صرفه جویی انرژی الکتریکی وجود دارد [17]. در واقع با کاهش بیوقفه قیمت ها در عرصه الکترونیک قدرت زمینه برای حضور آنها در کاربردهای صنعتی، حمل و نقل و حتی خانگی فراهم میگردد.

نیروی محرک بیشتر پمپها و فن ها موتورهای القایی هستند که در دور ثابت کار میکنند. لیکن در سالهای اخیر با پیشرفتهای انجام گرفته در زمینه تکنولوژی الکترونیک قدرت ، استفاده از موتورهای القایی قفس سنجابی همراه با کنترل کننده دور موتور (*AC DRIVE* یا اینورتر یا بطور ساده درایو) رو به گسترش است . درایوها دستگاههایی هستند که توان ورودی با ولتاژ و فرکانس ثابت را به توان خروجی با ولتاژ و فرکانس متغیر تبدیل میکنند. باید توجه کرد که دور یک موتور تابعی از فرکانس منبع تغذیه آن است. برای این منظور یک درایو نخست برق شبکه را به ولتاژ *DC* تبدیل کرده و سپس آنرا با استفاده از یک اینورتر مجدداً به ولتاژ *AC* با فرکانس و ولتاژ متغیر تبدیل میکند. در شکل (4) قسمتهای اصلی یک درایو ولتاژ پائین نشان داده شده است. همانطور که مشاهده میکنید قسمت اینورتر متشکل از سوئیچهای قدرتی است که در سالهای اخیر تغییرات تکنولوژیک زیادی پیدا کرده اند. در واقع با معرفی سوئیچهای قدرتی چون *IGBT* با قیمتهای رو به کاهش، زمینه برای عرضه درایوهای با قیمت مناسب فراهم شد. در هر حال خاطر نشان میکنیم که شکل موج خروجی درایو ترکیبی از پالسهای *DC* با دامنه ثابت است. این موضوع موجب میشود که خود درایو منشا اختلالاتی در کار موتور شود. برای مثال

کیفیت شکل موج خروجی درایو میتواند سبب اتلاف حرارتی اضافی ناشی از مولفه های هارمونیکی فرکانس بالا در موتور شده و یا موجب نوسانات گشتاور *Torque Pulsation* در موتور گردد. با این حال درایوهای امروزی بدلیل استفاده از سوئیچهای قدرت سریع این نوع مشکلات را عملاً حذف کرده اند.



شکل(4): ساختمان یک کنترل کننده دور موتور (فقط قسمتهای قدرت نشان داده شده است).

کنترل کننده های دور موتورهای الکتریکی هر چند که ادوات پیچیده ای هستند ولی چون در ساختمان آنها از مدارات الکترونیک قدرت استاتیک استفاده می شود و فاقد قطعات متحرک می باشند، از عمر مفید بالایی برخوردار هستند . مزیت دیگر کنترل کننده های دور موتور توانائی آنها در عودت دادن انرژی مصرفی در ترمزهای مکانیکی و یا مقاومت های الکتریکی به شبکه می باشد . در چنین شرائطی با استفاده از کنترل کننده های دور مدرن می توان از اتلاف این نوع انرژی جلوگیری نمود . بطوریکه در برخی کاربردها قیمت انرژی بازیافت شده از این طریق ، در کمتر از یکسال معادل هزینه سرمایه گذاری سیستم بازیافت انرژی می شود .

۹-۱۲. کنترل کننده های دور موتور

تا اینجا درمورد مجموعه اقداماتی که برای بهینه سازی مصرف انرژی میتوانستیم روی موتورهای الکتریکی اعمال کنیم بحث شد. اشاره شد که در کشور ایران در سال 73 بیش از 35 درصد مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی بخش صنعت بوده است . البته این مقدار در کشورهای صنعتی تا 65 درصد نیز میرسد. این امر اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی را نشان میدهد. در این قسمت از مقاله در مورد تاثیر استفاده از کنترل کننده های دور موتور در کاهش مصرف انرژی صحبت خواهیم کرد. سعی میکنیم با استفاده از تعدادی مثال اهمیت

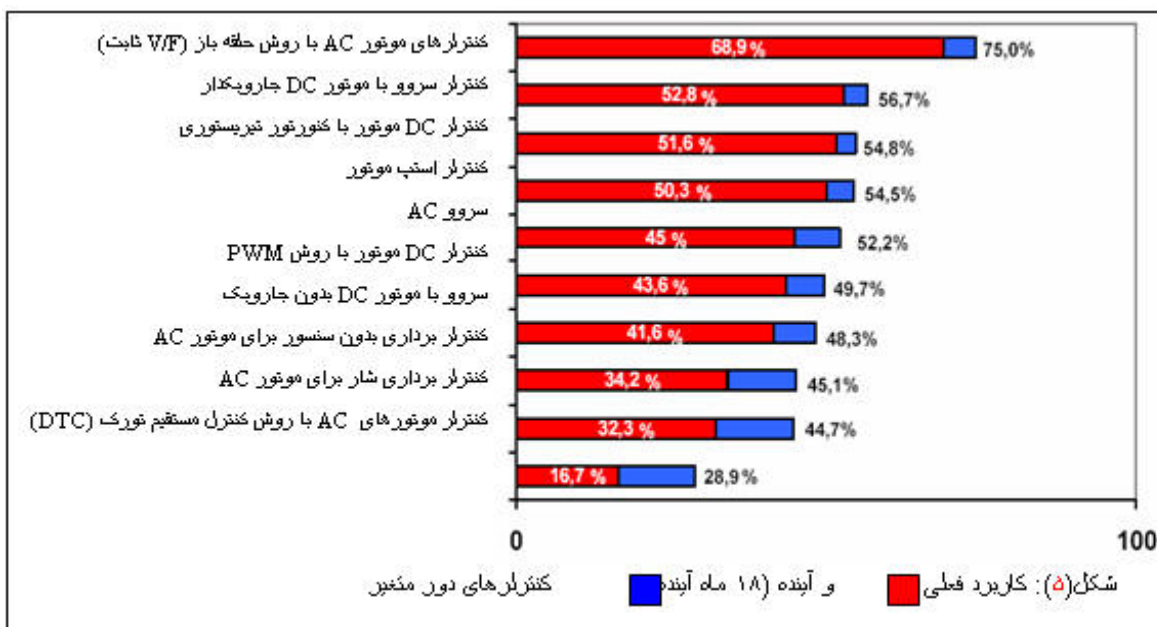
موضوع را نشان دهیم . بطور خلاصه در کاربردهای صنعتی زیادی، صرفه جوئی که با استفاده از کنترل کننده دور موتور در مصرف انرژی حاصل میشود بمراتب بیشتر از اقدامات برشمرده در قسمت‌های قبلی مقاله است.

استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور موتور ، امکان اعمال تغییرات لازم در سرعت موتور فن و یا پمپ را بطور دائم فراهم آورده و بدین ترتیب می توان با توجه به فرآیند مورد نظر از اتلاف انرژی ایجاد شده در تنظیم کننده های مکانیکی جلوگیری نمود . با استفاده از درایو موتور به بار تطبیق داده شده ، و هر گونه نیاز به خاموش و روشن کردن موتور و یا ادوات تنظیم کننده نظیر شیر یا دمپر حذف می گردد . همچنین کنترل سرعت دقیق و متعاقب آن توان خروجی قابل دسترسی بوده و با توجه به استفاده از مدارات الکترونیکی ، استهلاک قسمت‌های کنترل کننده در حد بسیار پایین خواهد بود .

تصمیم گیری در مورد استفاده از موتور با کنترل کننده دور متغییر بستگی به نوع کاربرد مورد نظر دارد . از آنجا که هزینه اولیه این سیستمها (کنترل کننده دور موتور) بیش از سایر روشها می باشد و با توجه به اینکه صرفه جوئی ناشی از بالا بودن بازدهی تنها بصورت کاهش هزینه راهبری نمایان می شود، لذا استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور در طول زمان منجر به صرفه جوئی اقتصادی می شود . معمولاً بسته به نوع کاربرد زمان بازگشت سرمایه گذاری بین یک تا سه سال متغیر خواهد بود .

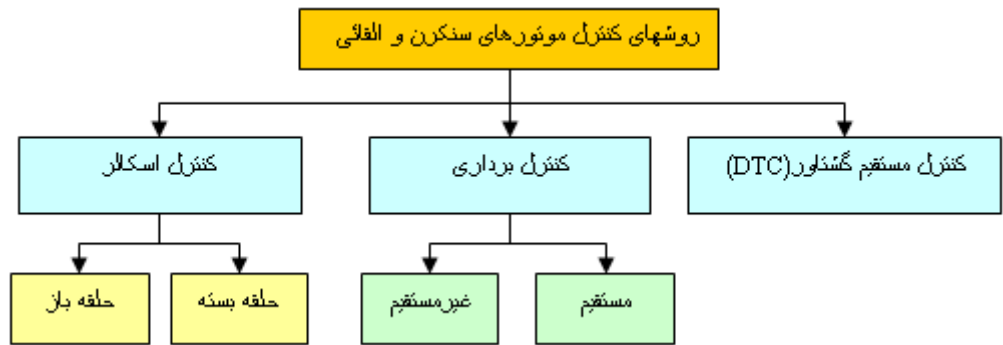
متأسفانه در اکثر موارد مهمترین عامل در انتخاب محرک قیمت اولیه است. بدین معنی که سیستم بر مبنای کمینه سازی هزینه اولیه انتخاب می شود. در حالیکه در طول عمر مفید آن هزینه قابل توجهی صرف انرژی تلف شده و یا تعمیر و نگهداری می شود .

در شکل (5) میزان استفاده از کنترلرهای دور متغیر نشان داده شده است.



کنترل کننده های دور موتور انواع مختلفی دارند. آنها قادرند انواع موتورهای AC و DC را کنترل کنند. قیمت کنترلرها وابسته به نوع تکنولوژی بکار رفته در ساختمان آنها میباشد. ساده ترین روش کنترل موتورهای AC روش تثبیت نسبت ولتاژ به فرکانس (یا کنترل V/F ثابت) میباشد. اینک این روش، بطور گسترده در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار میگیرد. این نوع کنترلرها از نوع اسکالر بوده و بصورت حلقه باز با پایداری خوب عمل میکنند. مزیت این روش سادگی سیستمهای کنترلی آن است. در مقابل این نوع کنترلرها برای کاربردهای با پاسخ سریع مناسب نمیباشند.

روباتها و ماشینهای ابزار نمونه هائی از کاربردهای با دینامیک بالا هستند. در این کاربردها روشهای کنترلی برداری استفاده میشود. در روشهای کنترلی برداری با تفکیک مولفه های جریان استاتور به دو مولفه تورک ساز و فلو ساز، و کنترل آنها با استفاده از رگولاتورهای PI ترتیبی داده میشود که موتور AC نظیر موتور DC کنترل شود. و بدین ترتیب تمام مزایای موتور DC از جمله پاسخ گشتاور سریع آنها در موتورهای AC نیز در دسترس خواهد بود. برای مثال پاسخ گشتاور در روشهای برداری حدود $10 - 20ms$ و در روشهای کنترل مستقیم گشتاور ($Direct Torque Control$) این زمان حدود $5ms$ است. اینک روشهای کنترل برداری متعددی پیاده سازی شده است که بررسی آنها خارج از حوصله این مقاله است. در هر حال نوع کنترلر مطلوب، متناسب با کاربرد انتخاب میگردد. در شکل (6) خلاصه ای از انواع روشهای کنترل موتورهای AC نمایش داده شده است.



شکل(6): خلاصه ای از انواع روشهای کنترل موتورهای AC

۹-۱۳. مزایای استفاده از کنترل کننده های دور موتور

مزایای استفاده از کنترل کننده های دور موتور هم در بهبود بهره وری تولید و هم در صرفه جوئی مصرف انرژی در کاربردهائی نظیر فنها ، پمپها، کمپروسورها و دیگر محرکه های کارخانجات ، در سالهای اخیر کاملاً مستند سازی شده است. کنترل کننده های دور موتور قادرند مشخصه های بار را به مشخصه های موتور تطبیق دهند. این اسباب توان راکتیو ناچیزی از شبکه میکشند و لذا نیازی به تابلوهای اصلاح ضریب بار ندارند. در زیر به مزایای استفاده از کنترل دور موتور اشاره میشود:

1- در صورت استفاده از کنترل کننده های دور موتور بجای کنترلرهای مکانیکی، در کنترل جریان سیالات، بطور مؤثری در مصرف انرژی صرفه جوئی حاصل میشود. این صرفه جوئی علاوه بر پیامدهای اقتصادی آن موجب کاهش آلاینده های محیطی نیز میشود.

2- ویژگی اینکه کنترل کننده های دور موتور قادرند موتور را نرم راه اندازی کنند موجب میشود علاوه بر کاهش تنشهای الکتریکی روی شبکه ، از شوکهای مکانیکی به بار نیز جلوگیری شود. این شوکهای مکانیکی میتوانند باعث استهلاک سریع قسمتهای مکانیکی ، بیرینگها و کوپلینگها، گیربکس و نهایتاً قسمتهائی از بار شوند. راه اندازی نرم هزینه های نگهداری را کاهش داده و به افزایش عمر مفید محرکه ها و قسمتهای دوار منجر خواهد شد.

3- جریان کشیده شده از شبکه در هنگام راه اندازی موتور با استفاده از درایو کمتر از 10٪ جریان اسمی موتور است.

4- کنترل کننده های دور موتور نیاز به تابلوهای اصلاح ضریب قدرت ندارند.

5- در صورتی که نیاز بار ایجاب کند با استفاده از کنترل کننده دور ، موتور میتواند در سرعتهای پائین کار کند . کار در سرعتهای کم منجر به کاهش هزینه های تعمیر و نگهداشت ادواتی نظیر بیرینگها، شیرهای تنظیم کننده و دمپرها خواهد شد.

6- یک کنترل کننده دور قادر است رنج تغییرات دور را ، نسبت به سایر روشهای مکانیکی تغییر دور، بمیزان قابل توجهی افزایش دهد. علاوه بر آن از مسائلی چون لرزش و تنشهای مکانیکی نیز جلوگیری خواهد شد.

7- کنترل کننده های دور مدرن امروزی با مقدمات نرم افزاری قوی خود قادرند راه حلهای متناسبی برای کاربردهای مختلف صنعتی ارائه دهند.

۹-۱۴. مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی و نقش کنترل کننده های دور موتور

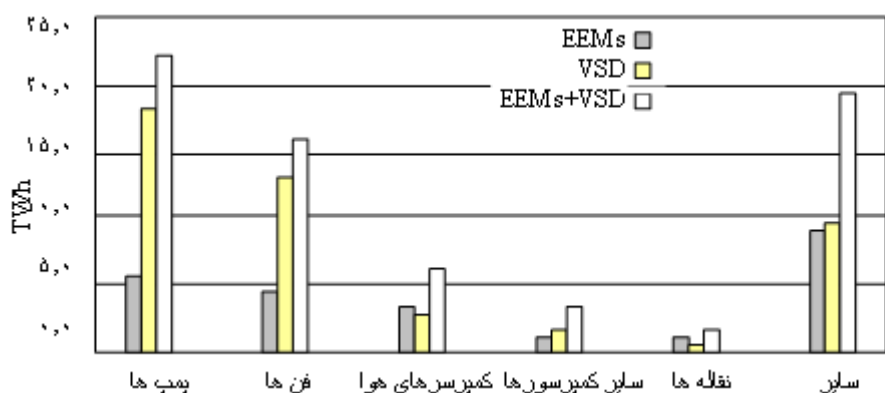
امروزه در کشورهای صنعتی الزامات زیست محیطی از یکسو و رقابت بنگاههای اقتصادی از سوی دیگر، مدیریت بهینه سازی انرژی را در صورت یک امر غیر قابل اجتناب در آورده است. مجموعه اقداماتی که برای صرفه جوئی انرژی در کارخانجات صورت میگیرد شامل مواردی چون جایگزینی موتورهای الکتریکی با انواع موتورهای با بازدهی بالا، استفاده از کنترل کننده های دور موتور در کاربردهائی که اتلاف انرژی در آنها زیاد است، بازیافت انرژی از پروسه های حرارتی و نظایر آنها میشود. نتایج اعمال چنین اقداماتی نشان میدهد در موارد زیادی ، و بخصوص در جاهائی که از فنها ، پمپها، و کمپروسورها در فرایند تولید استفاده میشود، بکارگیری کنترل کننده های دور موتور علاوه بر انعطاف پذیر نمودن کنترل فرایند، تاثیر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی داشته است. در بسیاری از موارد زمان بازگشت سرمایه بین یک تا سه سال میباشد.

کمتر از 10٪ موتورها مجهز به درایو هستند. در حالیکه در بیش از 25٪ آنها استفاده از درایو توجیه اقتصادی دارد [16].

بر اساس مطالعات انجام گرفته توسط اتحادیه اروپا [10] تا سال 2005 میلادی پتانسیل صرفه جوئی انرژی بالغ بر 63.5 TWh در صنایع کشورهای عضو اتحادیه اروپا وجود دارد. که از این میزان بیش از 44.7 TWh آن توجیه اقتصادی دارد. این میزان صرفه جوئی انرژی تنها در سایه استفاده از موتورهای با راندمان بالا و درایو بدست میاید. که سهم درایو در صرفه جوئی دارای توجیه اقتصادی حدود 63٪ است. نتایج چنین مطالعاتی را بطور خلاصه در جدول (3) مشاهده میکنید.

VSD+EEM	کنترل کننده دور موتور VSD	موتور راندمان بالا IEEM	بخش صنعت پتانسیل فنی
۴۶,۲	۲۵,۵	۱۲,۰	سایر
۱۷,۲	۱۲,۲	۵,۷	جمع (TWh)
۶۲,۵	۴۷,۸	۱۷,۸	بخش صنعت پتانسیل اقتصادی
۲۲,۶	۲۲,۴	۱۲,۰	سایر
۱۱,۱	۵,۷	۵,۷	جمع (TWh)
۴۴,۷	۲۸,۱	۱۷,۸	

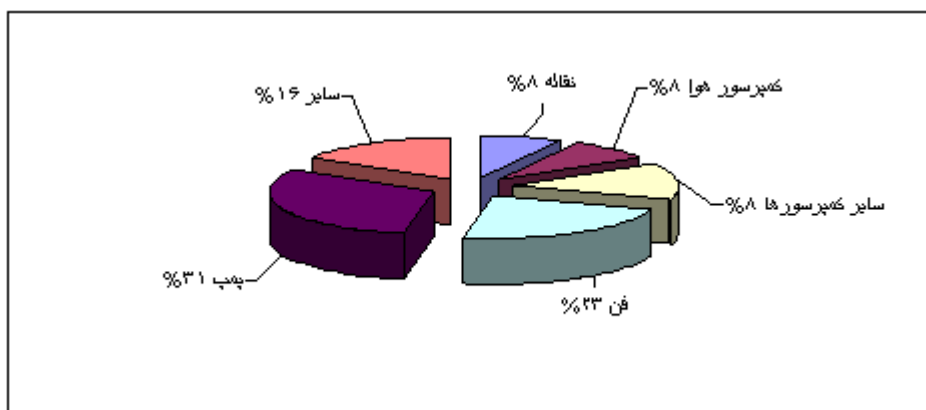
جدول (3): پتانسیل فنی و اقتصادی صرفه جوئی انرژی با استفاده از موتورهای با راندمان بالا (EEM) و کنترل دور (VSD) در کشورهای عضو اتحادیه اروپا تا سال 2005. مطالعه فوق با تفکیک بار پتانسیل اقتصادی صرفه جوئی انرژی را نیز در اتحادیه اروپا مشخص نموده است. که نتایج آنرا در شکل (7) مشاهده میکنید.



شکل (7): پتانسیل صرفه جوئی اقتصادی در کشورهای عضو اتحادیه اروپا به تفکیک نوع بار

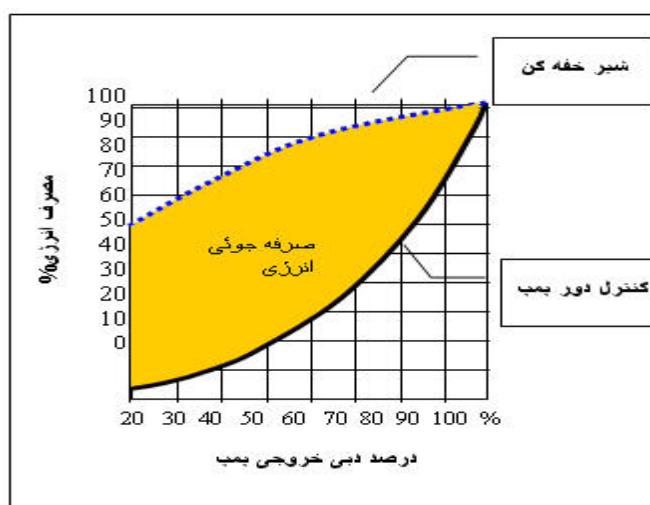
۹-۱۵. پمپها و فنها

چیزی حدود 40 درصد انرژی مصرفی در بخش صنعت در پمپها و فنها مصرف میشود. برای مثال در انگلستان ترکیب مصرف کنندگان انرژی در موتورها و در کاربردهای صنعتی بصورت زیر است [15].



شکل(8): میزان انرژی مصرفی توسط بارهای مختلف در انگلستان

اغلب این سیستمها از موتورهای القائی با روتور قفس سنجابی استفاده میکنند. و خروجی توسط ادواتی چون شیرهای تنظیم کننده و دمپرها کنترل میشوند. متأسفانه مقادیر قابل توجهی انرژی توسط این فنها و پمپها تلف میشوند. موتورهای بکار رفته در اغلب این ادوات از مقدار مورد نیاز بزرگتر بوده و سیستمهای مکانیکی تنظیم کننده جریان سیالات در آنها بسیار تلفاتی میباشند. به این عوامل باید هزینه های قابل توجه تعمیر و نگهداشت نیز اضافه شود. با توجه به اینکه هزینه های خرید پمپ معمولاً کمتر از 5 درصد هزینه های بهره برداری آن در طول عمر سیستم پمپ است، کیفیت بهره برداری عامل مهمتری در تصمیم گیری برای انتخاب سیستمهای پمپ بشمار میرود.



شکل(9): مقایسه انرژی مصرفی کنترل فلو با شیر و درایو

انتخاب پمپ ها معمولاً بر اساس حداکثر دبی مورد انتظار صورت میگیرد. در حالیکه اغلب اوقات هرگز فلوی ماکزیمم مورد استفاده قرار نمیگیرد. این امر منجر به بزرگ شدن پمپ ها شده و بدین ترتیب مقدمات کار برای اتلاف انرژی و استهلاک هر چه سریعتر سیستم های پمپ فراهم میشود. اگر یک پمپ در دور نامی خود کار کند و دبی خروجی پمپ به مصرف برسد سیستم در راندمان مطلوب خود کار

خواهد کرد. اما اگر تنها 50 درصد دبی حداکثر مورد نیاز باشد چه اتفاقی خواهد افتاد؟ بدیهی است که در این حالت نیز موتور در دور نامی خود کار خواهد کرد و توان مصرفی اضافی توسط موتور تلف خواهد شد. از سوی دیگر برای کنترل دبی خروجی لازم خواهد بود از ادوات مقاومتی نظیر شیر خفه کن استفاده گردد. با استفاده از کنترل کننده های دور موتور میتوان جریان سیالات در پمپ ها را با اعمال تغییر دور موتور ، کنترل نمود. امروزه این روش بدلیل انعطاف پذیری و صرفه جوئی اقتصادی قابل توجه جایگزین روشهای سنتی متکی بر تنظیم جریان سیال با استفاده از شیرهای تنظیم کننده مکانیکی و دمپرها میشود. در شکل (9) تفاوت دو روش در میزان مصرف انرژی نشان داده شده است.

9-16- قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن

قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن های سانتریفوژ پایه نظری صرفه جوئی انرژی با استفاده از درایو هستند. بر طبق این قوانین و در یک پمپ یا فن سانتریفوژ، روابط زیر حاکم است:

$$Q \sim N$$

فلو یا حجم ، Q :سرعت N :

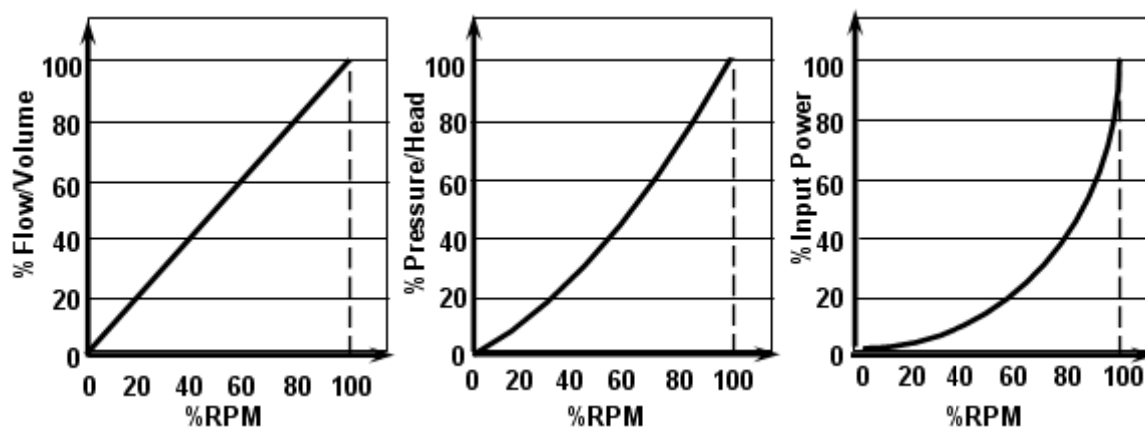
$$H \sim N^2$$

هد یا فشار H :

$$P \sim N^3$$

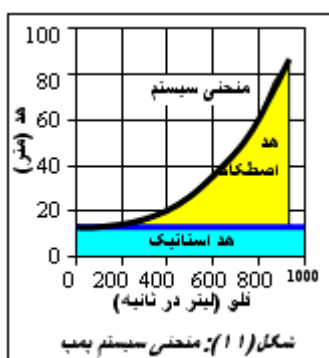
توان ورودی P :

با توجه به شکل (10) فلو/ ولوم بصورت خطی با دور پمپ/فن تغییر میکند. برای مثال اگر دور موتور نصف شود فلو نیز نصف خواهد شد. از طرف دیگر با توجه به منحنی وسط فشار یا هد متناسب با مربع دور تغییر میکند. در این حالت اگر دور موتور نصف شود، فشار یا هد چهار برابر کاهش پیدا کرده و به 25٪ خواهد رسید. منحنی سمت راست نشان میدهد که اگر دور موتور نصف شود مصرف توان 8 برابر کاهش پیدا کرده و به 12.5٪ خواهد رسید



شکل (10): نمایش تصویری قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن سانتریفوژ

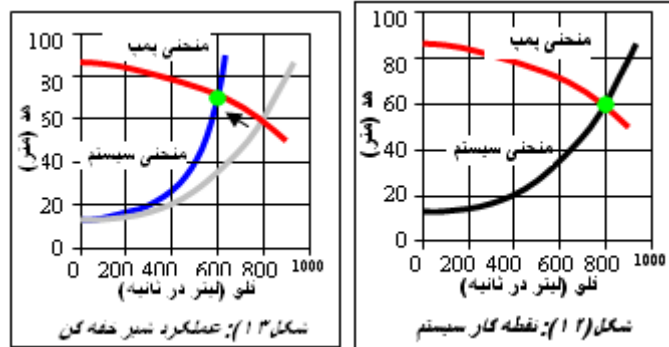
به خاطر میسپاریم با استفاده از کنترل کننده های دور موتور و کاهش تنها 15 درصد دور میتوان به میزان 40 درصد در مصرف انرژی صرفه جوئی کرد. حال اجازه بدهید کمی دقیقتر به رفتار یک پمپ توجه کنیم. شکل (11) مشخصات یک سیستم پمپ را نشان میدهد. هد استاتیک عبارتست از اختلاف ارتفاع پمپ و تانک مقصد. بدیهی است که اگر یک پمپ نتواند به این ارتفاع غلبه کند دبی خروجی صفر خواهد بود. مولفه دوم هد اصطکاکی است. که در واقع بیانگر توان مورد نیاز جهت غلبه بر تلفات ناشی از عبور سیال از لوله ها، شیرها، زانوها و دیگر اجزای سیستم لوله کشی میباشد. این تلفات کلا وابسته به سرعت عبور سیال بوده و غیر خطی است. با اضافه کردن دو منحنی، منحنی سیستم بدست میآید.



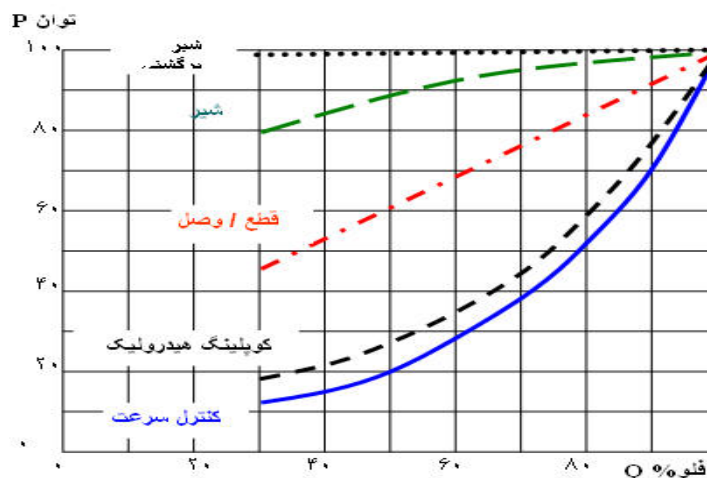
در شکل (12) منحنی های سیستم و منحنی پمپ باهم نشان داده شده است. نقطه کار یک پمپ محل تلاقی منحنی پمپ و منحنی سیستم می باشد. با توجه به این منحنی ها روشن میشود که میزان فلو در این سیستم 800 لیتر در ثانیه و هد 60 متر میباشد. اگر بخواهیم نقطه کار را تغییر بدهیم لازم خواهد بود چیزی به سیستم اضافه نمائیم.

یک روش متداول در اینجا استفاده از شیر خفه کن است. در شکل (13) تاثیر عملکرد شیر خفه کن در نقطه کار پمپ را مشاهده میکنید. در واقع شیر اصطکاک مسیر سیال را افزایش داده و باعث افت فلو میگردد. با وجود اینکه با حضور شیر فلو به 600 لیتر در ثانیه کاهش پیدا کرده ولی در توان مصرفی سیستم تغییر محسوسی ایجاد نشده است. حال نگاهی دقیقتر به موضوع خواهیم داشت. همانطور که در شکل (14) مشاهده میکنید، برای دستیابی به فلو مورد نظر از دو روش کنترل فلو با استفاده از شیر و کنترل با استفاده از درایو استفاده شده است. در روش کنترل فلو با شیر میزان توان مصرفی 0.875 درصد و در کنترل فلو با درایو توان مصرفی 0.42 درصد توان نامی میباشد. برای مثال اگر نامی پمپ 100KW باشد. تفاوت توان مصرفی دو روش برابر خواهد بود با:

$$(100KW \times 0.875) - (100KW \times 0.42) = 45.5KW$$



شکل (14) مقایسه توان مصرفی یک سیستم پمپ در دو حالت: الف) کنترل فلو با استفاده از شیر خفه کن (شکل سمت چپ). ب) کنترل فلو با استفاده از درایو (شکل سمت راست).



شکل (15) - میزان مصرف انرژی در یک پمپ در پنج حالت: با استفاده از شیر برگشتی، با استفاده از شیر خفه کن، با قطع و وصل پمپ، با استفاده از کوپلینگ هیدرولیک، با استفاده از کنترل کننده دور موتور

هر چند که در سیستمهایی که هد استاتیک بالائی دارند با تغییر دور، راندمان پمپ هم به میزان زیادی تغییر میکند، ولی مزایای دیگر درایو استفاده از آن را بخوبی توجیه میکند. برای مثال میزان فشار هیدرولیک وارد شده به پره های پمپ سانتریفوژ با مجذور سرعت افزایش مییابد. این نیروها به بیرینگهای پمپ اعمال شده و عمر مفید آنها را کاهش خواهد داد. خاطر نشان میشود که عمر بیرینگها بطور معکوس با توان هفتم سرعت متناسب است. از سوی دیگر با کاهش دور نویز و نوسانات سیستم نیز کاهش پیدا میکند.

در شکل (15) میزان مصرف انرژی در یک پمپ در پنج حالت: با استفاده از شیر برگشتی، با استفاده از شیر خفه کن، با قطع و وصل پمپ، با استفاده از کوپلینگ هیدرولیک، و با استفاده از کنترل کننده دور

موتور نمایش داده شده است. با توجه به این شکل تاثیر قابل توجه کنترل کننده دور موتور در کاهش انرژی مصرفی، نسبت به روشها، مشاهده میشود. در روش شیر برگشتی متناسب با نیاز مقداری از دبی خروجی پمپ به وروی آن عودت داده میشود. بدیهی است که در این حالت توان مصرفی برای هر دبی خروجی ثابت خواهد بود.

امروزه در کشورهای پیشرفته بعنوان یک برخورد اولیه در کاهش سریع مصرف انرژی، مجهز نمودن این نوع فنها و پمپها به درایو میباشد.

نکاتی که باید در طراحی سیستمهای پمپ مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

- سیستم را بزرگ انتخاب نکنید. حتی اگر بعدها نیاز به توسعه پیدا کردید. باز مطلوب آن است که بعدا کنار سیستم موجود پمپ بیشتری اضافه کنید

- توجه کنید که هزینه های خرید پمپ در مقایسه با هزینه های انرژی آن در طول عمر پمپ ناچیز است. پس پمپهای با راندمان بالا را استفاده کنید.

- از درایو برای کنترل فلو استفاده کنید

- بجای استفاده از یک پمپ بزرگ از تعدادی پمپ کوچک بطوریکه مجموع آنها ظرفیت مورد نیاز را تامین نماید، استفاده کنید. بدین ترتیب میتوانید در صورت عدم نیاز به ظرفیت اضافی آن را از مدار خارج کنید.

۹-۱۶. مثال از محاسبات صرفه جوئی انرژی در فن

برای روشن شدن تاثیر استفاده از درایو در کاربرد فن به مثال زیر توجه میکنیم. نخست اشاره میکنیم به قوانین حاکم بر فن که موسوم به قوانین افینیتی (*Affinity Laws*) میباشد:

$$Eq. 1: (N1 / N2) = Q1 / Q2$$

$$Eq. 2: (N1 / N2)^2 = P1 / P2$$

$$Eq. 3: (N1 / N2)^2 = T1 / T2$$

$$Eq. 4: (N1 / N2)^3 = HP1 / HP2$$

در معادلات فوق N معرف سرعت، Q معرف میزان جریان سیال، T معرف گشتاور، HP معرف توان مصرفی و P معرف فشار است.

حال فرض میکنیم یک فن با موتور $250hp$ با راندمان 95% موجود است. و سیکل کار آن را در هر هفته بصورت زیر در نظر میگیریم:

ساعات کار	بار	سرعت
۴۰	۱۰۰٪	۱۰۰٪
۸۰	۴۶٪	۷۵٪
۴۰	۱۲٪	۵۰٪

بدون استفاده از درایومیزان انرژی مصرفی در هر هفته برابر است با:

$$\square / \text{هفته/KWh} = (\text{hp} \times 0.746 \times \text{کار} \times \text{ساعات کار}) / 0.95 = (250 \times 0.746 \times 160) / 0.95 = 31,411 \text{ KWh/هفته}$$

با استفاده از درایومیزان انرژی مصرفی در هر هفته برابر است با:

$$\text{هفته/KWh} = (((250 \times .746 \times 40\text{hrs})/.95) + ((105 \times .746 \times 80\text{hrs})/.95) + ((31 \times .746 \times 40\text{hrs}) / .95)) = 15,422 \text{ KWh/ هفته}$$

میزان صرفه جوئی انرژی در سال برابر است با:

$$\text{سال/صرفه جوئی انرژی} = (31,411 - 15,422) * 50 = 800,000 \text{ KWh/سال}$$

و اگر ارزش هر کیلووات ساعت انرژی را 4 سنت در نظر بگیریم ارزش انرژی صرفه جوئی شده برابر خواهد بود با:

$$800,000 \text{ KWh} * .04 = 32,000 \$$$



۹-۱۷. یک مطالعه موردی در ایران:

گزارشی از وضعیت فعلی فنهای پیش گرمکن خط 2 سیمان آبیگ و بررسی امکان صرفه جوئی انرژی در آنها گزارش زیر توسط مرکز تحقیقات سیمان آبیگ آماده شده است:

فنها در صنعت سیمان کاربرد گسترده ای دارند. و برای انتقال گازهای ناشی از فرایند تولید سیمان و یا انتقال مواد از آنها استفاده میشود. از آنجائی که شرایط فرایندی با توجه به تغییرات پارامترهای آن ثابت نمی باشد. در نتیجه میزان تولید گازهای فرایندی با توجه به تغییرات پارامترهای آن ثابت نمی باشد. در نتیجه میزان تولید گازهای فرایندی نیز متغیر بوده و لازم ست این امر با تغییر هوادهی فنها تحت کنترل باشد. از متداول ترین روشهای کنترلی که برای فلوی گاز در فن ها تا بحال مورد استفاده قرار گرفته است، کنترل فلو توسط دریچه در ورودی فن میباشد. اگر چه این روش، طریقه ای موثر در کنترل فلو بوده اما در مصرف انرژی تاثیر قابل ملاحظه ای نداشته است. در صورتی که کنترل فلوی گاز با

استفاده از کنترل دور فن، علاوه بر کارایی بهتر بمیزان زیادی در مصرف انرژی الکتریکی فن صرفه جوئی انرژی ایجاد خواهد کرد.

بعنوان مطالعه موردی فن های پیش گرمکن واحد 2 سیمان آبیگ مورد بررسی قرار میگیرد. بمنظور آنکه بتوان میزان بالقوه انرژی قابل صرفه جوئی در این فن ها بدست آید از دو روش:

1- محاسبه توان با استفاده از پارامترهای بدست آمده از فرایند

2- اندازه گیری توان موتور درایو

استفاده کرده و یک بررسی مقایسه ای بین ایندو بعمل می آوریم. برای محاسبه توان از رابطه معمول آن:

$$P(KW) = \frac{Q \times \Delta P}{3600 \times 102 \times \eta}$$

استفاده کرده ایم. پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه نیز در فرایند و در شرایط نرمال بهره وری اندازه گیری شد.

$$Q = 327,000 \text{ m}^3/\text{h} \text{ فلولی گاز}$$

فشار هوا قبل از دریچه(شرایط فرایند)

$$P1 = -560 \text{ mm WG}$$

فشار هوا بعد از دریچه و قبل از فن

$$P11 = -1100 \text{ mm WG}$$

فشار هوا بعد از دریچه(شرایط فرایند)

$$P2 = -10 \text{ mm WG}$$

وضعیت دریچه 22٪ و دور موتور برابر با دور نامی 990RPM ، و توان نامی موتور فن 1300KW با راندمان 0.8 بود. در این شرایط میزان توان مصرفی فن با استفاده از پارامترهای بهره برداری و با توجه به P فرایند :

$$P(KW) = \frac{327,000 \times \overbrace{(560 - 10)}^{\Delta P \text{ فرایند}}}{3600 \times 102 \times 0.8} = 612 \text{ KW}$$

و با استفاده از P فرن، یعنی تفاوت فشار ورودی و خروجی فن، توان مصرفی عبارت است از :

$$P(KW) = \frac{327,000 \times \overbrace{(1100 - 10)}^{\Delta P \text{ فن}}}{3600 \times 102 \times 0.8} = 1213 \text{ KW}$$

و مقدار خوانده شده توسط دستگاه واتمتر برای هر دو فن شماره 35 و 36 (فن های پیش گرمکن)

بصورت زیر بود:

$$P35 = 1260 \text{ KW}$$

$$P_{36} = 1210 \text{ KW}$$

مقایسه دو مقدار توان فن (محاسبه شده و اندازه گیری شده) حداقل دو مسئله را روشن میکند:

1- صحت محاسبات انجام شده (عدد 1213 در مقابل 1260 و یا 1210).

2- استفاده از دریچه باعث افزایش P فن شده و این امر باعث افزایش توان مصرفی فن شده است.

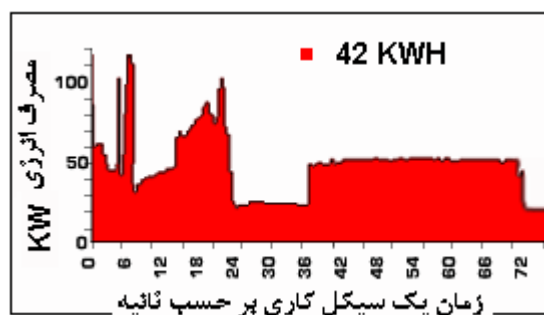
مورد فوق بخوبی نشان میدهد که حذف دریچه ورودی و استفاده از کنترل دور میتواند شرایط کار فن را به شرایط فرایند نزدیکتر کرده و در آنصورت در مصرف انرژی فن کاهش قابل ملاحظه ای مشاهده خواهد شد. نهایتاً بر روی فن شماره 36 کنترل دور نصب شد و در حالیکه دور فن روی 680RPM تنظیم شده بود شرایط فرایندی مشابه با حالت بدون کنترل دور فراهم شده و تولید نیز به حالت نرمال رسید. در این حالت شرایط دریچه 100٪ باز و مقدار توان مصرفی موتور 560KW قرائت گردید. همانگونه که انتظار داشتیم با استفاده از کنترل دور توانستیم توان فن را به شرایط بهره برداری قبل رسانده و توان مصرفی را بمیزان زیاد کاهش دهیم. انتظار می رود با توجه به میزان سرمایه گذاری انجام شده جهت تهیه کنترل دور مورد نیاز، زمان بازگشت سرمایه 3 سال باشد.

۹-۱۸. سیستمهای تهویه مطبوع

موضوع صرفه جوئی انرژی در دنیای رقابتی امروز حتی آثار خود را در سیستمهای تهویه مطبوع هتلها نیز خود را مطرح کرده است. در این مکانها امکان صرفه جوئی انرژی تا مرز 50 درصد روی سیستمهای HVAC یا سیستمهای حرارتی و هواسازی و تهویه مطبوع، وجود دارد. و سرمایه گذاری اولیه در مدت دو سال از محل صرفه جوئی انرژی قابل بازیابی میباشد.

20-9- ماشین تزریق پلاستیک

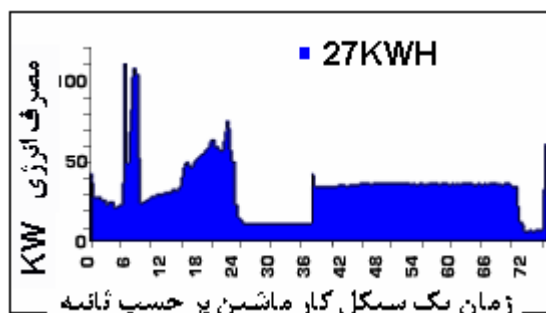
در یک ماشین تزریق پلاستیک استفاده از کنترل کننده دور موتور میتواند تا 50 درصد صرفه جوئی در مصرف انرژی بدنبال داشته باشد [2]. برای روشن شدن این مطلب به دیاگرام زیر توجه میکنیم:



شکل (16) مصرف انرژی در یک سیکل کاری ماشین تزریق پلاستیک- بدون استفاده از

درایو

در دیاگرام فوق مصرف انرژی در یک سیکل کاری نشان داده شده است. این حالت نرمال کار ماشین بوده و در این وضعیت از درایو استفاده نشده است. با استفاده از کنترل کننده دور موتور میتوان تلفاتی ماشین را بمیزان قابل توجهی کاهش داد. مضافاً اینکه در این صورت ماشین خیلی نرمتر کار کرده و از شوکهای مکانیکی اجتناب خواهد شد. خود این امر منجر به کاهش هزینه های تعمیر و نگهداشت ماشین میشود. در دیاگرام زیر توان مصرفی ماشین در حالت کار با کنترل کننده دور موتور نمایش داده شده است:



شکل (17) مصرف انرژی در یک سیکل کاری ماشین تزریق پلاستیک- با استفاده از درایو

با مقایسه دو دیاگرام مشاهده میشود که مصرف انرژی از 42 کیلووات ساعت به 27 کیلووات ساعت تقلیل پیدا کرده است.

۹-۱۹. صرفه جوئی انرژی در تاسیسات آب و فاضلاب

شرکت *Vacon* سازنده درایوهای AC گزارش کرده است [12] که در سیستم تصفیه فاضلاب شهر گرومز سوئد با استفاده از درایو 40.5٪ صرفه جوئی انرژی بدست آورده است. این در حالی است که در سیستم فوق و با استفاده از درایو مصرف مواد شیمیائی نیز 53٪ کاهش پیدا کرده است. اینک شرکت *Vacon* راهلهای جامعی در تاسیسات آب و فاضلاب ارائه میدهد. این راهلهای شامل طراحی این تاسیسات، انتخاب درایو، و محاسبات صرفه جوئی انرژی میشود [13]. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه با شرکت پرتو صنعت تماس بگیرید.

۹-۲۰. کمپرسورها

شرکت اطلس کوپکو موفق شده است با استفاده از درایو مصرف انرژی کمپروسورهای تولیدی خود را بمیزان 35٪ کاهش دهد. در کنار این دستاورد مهم اطلس کوپکو توانسته است با استفاده از درایو فشار کمپروسور را با دقت و پایداری بیشتری کنترل کند، جریان راه اندازی را محدود نماید و ضریب قدرت را به بیش از 95٪ برساند. و بدین ترتیب این کمپروسورها نیازی با خازنهای اصلاح ضریب قدرت ندارند. از سال 1994 بعد که اطلس کوپکو این کمپروسورها را معرفی کرده است توانسته است بازار کمپروسورهای دنیا را تسخیر کند. این رویکرد سیستمی در طراحی و ارائه محصول با کیفیت، نمونه خوبی از افزایش مزیت رقابتی یک بنگاه اقتصادی میباشد.

۹-۲۱. نیروگاهها

در نیروگاهها پتانسیل قابل توجهی برای صرفه جوئی انرژی وجود دارد. مصرف داخلی نیروگاههای بخاری میتواند بین 5 تا 14 درصد انرژی تولید شده توسط نیروگاه باشد. این میزان انرژی عمدتاً در ID فن، FD فن، فید پمپ، فنهای کولینگ تاورف پمپهای سیرکولاسیون و خنک کن مصرف میشود. یک مطالعه موردی از نیروگاههای هند نشان میدهد [14] که از مجموع 22 واحد نیروگاهی 210 مگاواتی، با بکارگیری درایو در فنهای ID و یا پمپهای BFP، سالانه بالغ بر 158 میلیون کیلووات ساعت انرژی، به ارزش 11.3 میلیون دلار صرفه جوئی انرژی حاصل میگردد. این در حالی است که ارزش سرمایه گذاری اولیه 7/25 میلیون دلار بوده است. و بدین ترتیب میتوان انتظار داشت که در کمتر از 3/2 سال سرمایه گذاری اولیه مستهلک شده و عواید سرشاری نصیب نیروگاهها گردد. در جدول (4) خلاصه ای از این بررسی را مشاهده میکنید.

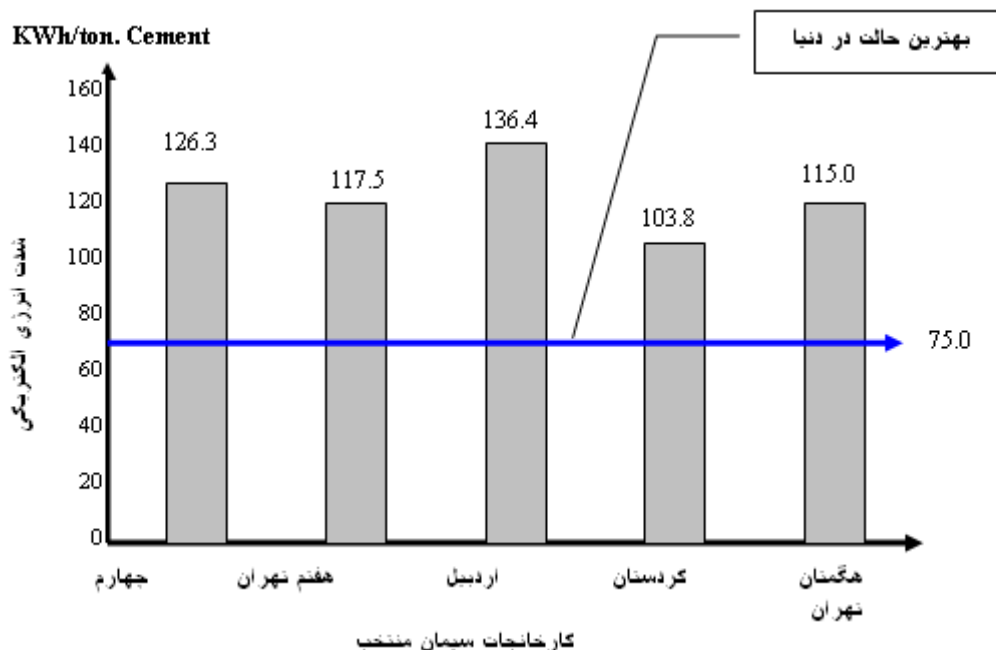
نیروگاه	کاربرد درایو	سرمایه گذاری به میلیون دلار	صرفه جوئی انرژی به میلیون کیلووات ساعت	صرفه جوئی سالانه به میلیون دلار	زمان بازگشت سرمایه به سال
NTPS	درایو برای فن ID	2.571	15.7	1.118	2.3
PTPS	درایو برای فن ID	2.571	9.7	0.69	3.7
KSTPS	درایو برای فن ID	2.571	13.715	0.98	2.6
PNTPS	درایو برای فن ID	0.857	3.254	0.232	3.7
NTPS	درایو برای پمپ BFP	5.143	41.3	2.949	1.7
PTPS	درایو برای پمپ BFP	5.143	25.5	1.823	2.8
KSTPS	درایو برای پمپ BFP	5.143	39.731	2.838	1.8
PNTPS	درایو برای پمپ BFP	1.714	9.283	0.663	2.6
جمع		25.713	158.183	11.293	

جدول (4): بررسی نتایج استفاده از درایو در برخی از کاربردهای با مصرف انرژی بالا

بمنظور کاهش مصرف داخلی نیروگاهها در کشور هند

۹-۲۲. سیمان

در ایران حدود 9٪ انرژی الکتریکی صنعتی در صنایع سیمان مصرف میشود. مطالعاتی که در سال 2002 توسط آقای علیرضا شیرازی در صنایع سیمان انجام گرفت نشان داد [12] که میزان مصرف انرژی در این صنایع نسبت به استانداردهای جهانی آن خیلی بالا است. در شکل (18) شدت انرژی الکتریکی مورد نیاز در صنایع سیمان ایران برای تولید هر تن سیمان با بهترین حالت جهانی آن نشان داده شده است. و در جدول (5) خلاصه ای از این مطالعه نشان داده شده است.



شکل (18): پتانسیل صرفه جوئی در مصرف انرژی الکتریکی در صنایع سیمان ایران در مقایسه با بهترین حالت جهانی آن (Kwh/Ton)

کارخانه	مقدار انرژی الکتریکی (Kwh/Ton)	پتانسیل صرفه جوئی انرژی (Kwh/Ton)	پتانسیل صرفه جوئی انرژی (Kwh)
چهارم تهران	126,2	51,2	20,221,275
هفتم تهران	117,5	42,5	25,969,270
اردبیل	126,4	61,4	42,251,114
کردستان	102,8	28,8	16,800,480
هگمتان	115,0	40	22,592,400
جمع :			128,025,629

جدول (5ب) پتانسیل صرفه جوئی سالانه انرژی الکتریکی در صنایع منتخب سیمان ایران در مقایسه با استاندارد جهانی

اطلاعات فوق نشان می دهد که در هر کارخانه سیمان می توان حدود 1.5 میلیون دلار در هر سال در مصرف انرژی الکتریکی صرفه جوئی نمود و اگر تعداد خطوط تولید سیمان را در حال حاضر 60 خط تولید در نظر بگیریم میزان مصرف انرژی الکتریکی در صنایع سیمان سالانه بالغ بر 90 میلیون دلار خواهد بود . برای بدست آوردن این نتایج ارزش هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی 6 سنت در نظر گرفته شده است. هر چند که این مقدار صرفه جوئی انرژی تنها با استفاده از درایو بدست نمی آید ولی استفاده از درایو سهم عمده ای در این صرفه جوئی خواهد داشت.

۹-۲۳. قابلیت‌های کنترل کننده های دور موتور مدرن

درایوهای مدرن امروزی بر اساس تکنولوژی مدولار ساخته میشوند. این امر هم در قسمت‌های سخت افزاری و هم در قسمت‌های نرم افزاری درایو رعایت میشود. ساختار مدولار قابلیت بر آورده سازی بسیاری از نیازهای مشتری را دارد. اغلب این درایوها از تکنولوژی کنترل برداری بهره میگیرند. این روش کنترل امکان کنترل موتور را با دقت و دینامیک زیاد فراهم میآورد. بطوریکه این درایوها اینک قادرند درست نظیر درایوهای **DC** رفتار نمایند. آنها را میتوان در کاربردهای کنترل سرعت و یا کنترل گشتاور بسهولت مورد استفاده قرارداد. بطوریکه سادگی و استحکام موتورهای القائی در کنار این درایوها مجموعه ای مطمئن و کارا از آنها میسازد. هر چند که این درایوها از تکنولوژی الکترونیک قدرت پیچیده استفاده میکنند اما بدلیل استاتیک بودنشان هزینه های نگهداشت زیادی به صنعت تحمیل نمی کنند.

درایوهای مدرن قادرند بطور اتوماتیک فلو ی مغناطیسی در موتور را در سطح بهینه ان نگهدارند. این ویژگی در جاهائی که بار موتور کم است منجر به صرفه جوئی انرژی خواهد شد.

درایوهای مدرن امروزه در کاربردهای فیدبک و سرو نیز بسهولت بکار گرفته میشوند. ساختار مدولار آنها بگونه ای است که میتوان متناسب با کاربرد از کارتهای اختیاری استفاده نمود. این کارتها امکان تطبیق درایو با کاربرد مشتری را فراهم می آورند. در کنار این مقدمات سخت افزاری باید به برنامه های نرم افزاری متعددی نیز اشاره نمود، که معمولات توسط سازندگان درایو برای نیازهای مختلف صنعتی ارائه میشود. استفاده از این برنامه های کاربردی بسیار ساده بوده و کاربر میتواند برنامه دلخواه خود را انتخاب و در داخل درایو قراردادهد. درایوهای امروزی میتوانند بسیاری از فیلد باسهای موجود را پشتیبانی کنند. امروزه پروفی باس به عنوان یک فیلدباس باز (*Open*)، در بسیاری از کاربردهای صنعتی متداول شده است. سازندگان درایو با استفاده از پروفایل *Profii Drive* بسهولت سازگاری خود را با پروفی باس برقرار میسازند.

درایوها علاوه بر ماموریت‌های اصلی خود قابلیت‌های بشمار دیگری نیز دارند که از جمله میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

- حفاظت کامل الکتروموتور در مقابل اضافه جریان و نوسانات ولتاژ
- انعطاف پذیری در کنترل پروسه
- سازگاری با نیازهای کاربردی موتور

سیستم نرم افزاری درایوهای ساخت شرکت *Vacon* از دو لایه تشکیل شده است. لایه اول نرم افزار سیستم و لایه دوم جهت توسعه نرم افزارهای کاربردی کاربرد اختصاص یافته است. با کمک این لایه کاربر میتواند با کمک ابزار گرافیکی و با استفاده از زبانهای رایج برنامه نویسی برنامه های کاربردی خود را توسعه دهد. وکن تنها به همین اکتفا نکرده و با آماده نمودن صدها برنامه کاربردی به کاربر کمک میکند بسهولت برنامه کاربردی مورد نظر را در درایو نصب نموده و از آنها استفاده نماید. بعنوان نمونه میتوان به نرم افزارهای کاربردی زیر اشاره نمود:

۹-۲۳-۱. نرم افزار کاربردی کنترل پمپ و فن

همانطور که از نام آن پیداست، این برنامه کاربردی جهت کنترل یک یا چند فن یا پمپ بکار میرود. این نرم افزار بطور اتوماتیک متناسب با فلوی مورد نظر یک یا چند پمپ را روشن کرده و فلو را کنترل میکند. برنامه بطور اتوماتیک تمام پمپ ها را در پریرود زمانی مشخص بکار میگیرد.

9-24-2- نرم افزار کاربردی کنترل سطح پیشرفته

این نرم افزار کاربردی جهت کنترل دقیق سطح سیال در مخازن بکار میرود. این نرم افزار نیز بطور اتوماتیک تعدادی پمپ را مدیریت میکند.

۹-۲۳-۲. نرم افزار کنترلی *Master Follower*

این برنامه قادر است تورک مورد نیاز بار را در تعدادی موتور تسهیم نماید. این موتورها متفقا یک بار را درایو میکنند. و این برنامه ناظر به هماهنگی دقیق آنها در تامین گشتاور مورد نیاز بار است

۹-۲۴. درایوهای دور متغیر *VACON* مصداقی از درایوهای مدرن

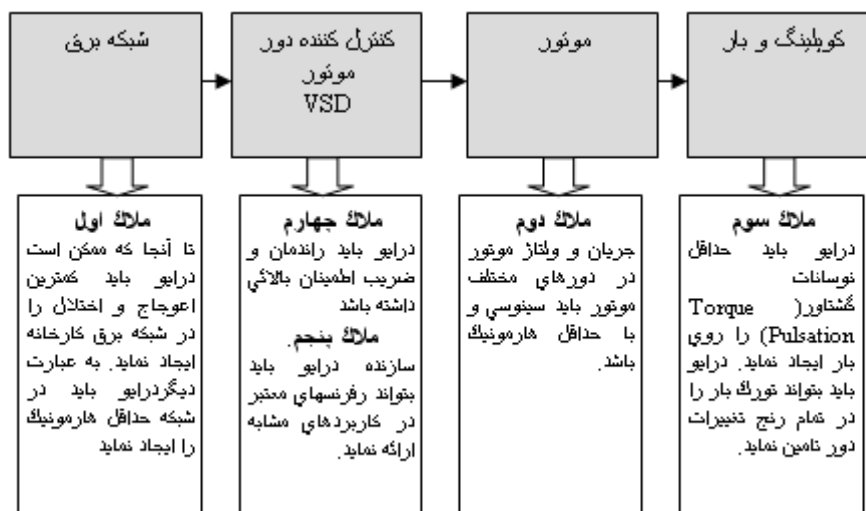
کنترل کننده های دور موتور ساخت شرکت وکن نمونه کاملی از درایوهای مدرن امروزی است [3]. درایوهای وکن دارای ساختاری کاملا مدولار بوده و به کاربر اجازه میدهد با استفاده از نرم افزار قدرتمند داخلی، که بر اساس استاندارد *IEC 61131-3* کار میکنند، برنامه های خود را توسعه دهد. بدین ترتیب این درایو قادر است در کاربردهای زیادی نقش یک *PLC* را نیز بازی کرده و به کاربر اجازه میدهد بسهولت برای کاربردهای خود راه حل ارائه دهد. علاوه بر این قابلیت، شرکت وکن در اقدامی بی سابقه با طراحی و توسعه صدها برنامه کاربردی مختلف برای کاربردهای صنعتی، بهره برداری از درایوهای خود را کاملا منعطف نموده است. اینها بخشی از ویژگیهای منحصر بفردی است که درایوهای وکن را تبدیل به

نمادی از درایو حرفه ای برای هزاره جدید نموده است. توصیه میکنیم برای آشنائی بیشتر با این درایوهای قدرتمند با شرکت پرتو صنعت تماس بگیرید.

۹-۲۵. مسائلی که درایوهای دور متغیر بوجود می آورند.

هر چند که درایوها مزایای زیادی دراند ولی در انتخاب و بکارگیری آنها باید دقت کافی به عمل آید. خصوصا اگر درایوهای مورد بحث توانهای بالائی داشته و تولید کارخانه به عملکرد آنها کاملا مرتبط باشد. در واقع تحقیقات نشان داده است که نگرانی از ضریب اطمینان درایو بعنوان یکی از موانع اصلی در عدم رغبت صنایع به استفاده از آنها در صرفه جوئی انرژی میباشد [10].

درایوهای ولتاژ متوسط (*Medium Voltage Drives*) از تکنولوژی ساخت پیچیده ای برخوردارند. اینها معمولا ترکیبی از الکترونیک قدرت، کنترل، میکرو کامپیوترها، ترانسفورماتورها و فیلترها میباشند. پر واضح است که ارزیابی این اجزا و انتخاب درایو نهائی امری دشوار و نیازمند زمان و بسیج کارشناسان متخصص خواهد بود. با این حال چهارچوب ساده زیر میتواند خریداران درایو را در ارزیابی و انتخاب درایو مورد نظرشان یاری دهد. در این چهارچوب پیچیدگیهای داخلی درایو مورد توجه قرار نمیگیرد. بلکه سعی میشود از آثار جانبی درایو عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گیرد. بر این اساس مطابق شکل (19) مسائل جانبی درایو را طبقه بندی نموده و ملاکهای برای ارزیابی آنها تعیین میکنیم.



شکل (19): چهارچوب پیشنهادی برای ارزیابی درایوهای ولتاژ متوسط با توجه به آثار

جانبی آنها

ملاک اول تضمین میکند که شبکه برق کارخانه تحت تاثیر عملکرد درایو قرار نگیرد. این موضوع وقتی اهمیت بیشتر پیدا میکند که توان درایوهای مورد بحث زیاد بالا باشد. اغوجاجهای ناشی از عملکرد درایو

روی شبکه میتواند عملکرد سایر دستگاههای حساس کنترلی را مختل سازد، تداخل در خطوط مخابراتی کارخانه ایجاد نماید، و یا توان راکتیو از شبکه کشیده شود. و واکنش سازمانهای برق منطقه ای را بدنبال داشته باشد. خلاصه ای از روشهای مختلف جهت کاهش هارمونیکهای ناشی از عملکرد بارهای غیر خطی و از جمله درایو در جدول (6) آمده است.

سازگاری با <i>IEEE519</i>	ملاحظات	تاثیر روی هارمونیکها	میزان تاثیر روی <i>THID</i>		
خیر	- کمترین قیمت - راکتورهای AC حالات گذرای ورودی را محدود میکنند - مسئله افت ولتاژ روی چک	مرتب پائین	45%-29%		راکتور AC یا DC
خیر	- کم قیمت		45%		ترانسفورماتور ایزوله
	- قیمت متوسط - کاستن از آستانه تحریک سیستم	مورد نظر	20%	<i>Trap Tuned</i>	فیلترهای غیر فعال
بله بصورت محدود	- خیلی گران - کاستن از آستانه تحریک سیستم - کاهش پایداری سیستم	مورد نظر	5%	<i>Broadband Low pass</i>	

جدول (6): روشهای کاهش هارمونیکهای ناشی از عملکرد کنترل کننده های دور موتور

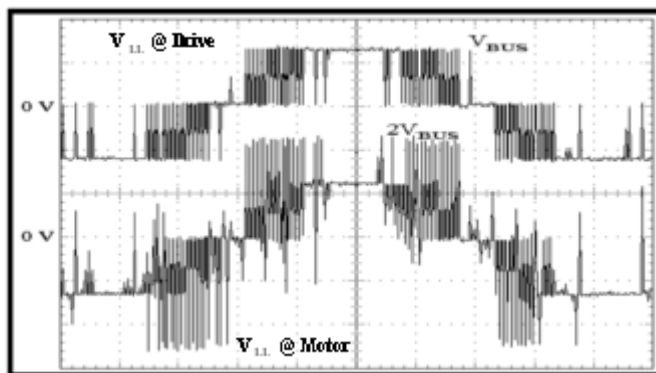
بله	<ul style="list-style-type: none"> - گران - ضرب قدرت را بهبود میدهد - از <i>IGBT</i> استاندارد استفاده می کند 	مرتبۀ پائین		<i>VFD</i> با ورودی اکتیو	دیوایس اکتیو
بله	<ul style="list-style-type: none"> - گران - <i>MTBF</i> کم - افزایش هارمونیکهای مرتبه بالا - ضرب قدرت را بهبود میدهد 	مرتبۀ پائین		فیلتر اکتیو	
خیر	<ul style="list-style-type: none"> - قیمت متوسط - حساس به عدم تقارن جریان 			12 پالسه 24%	سیستمهای چند پالسه: 12,18,24
بله	<ul style="list-style-type: none"> - بالاترین <i>MTBF</i> - مقاوم در برابر شرایط گذرا - حساس به عدم تقارن جریان 			18 پالسه <5%	

ادامه جدول (6): روشهای کاهش هارمونیکهای ناشی از عملکرد کنترل کننده های دور موتور

توصیه میشود استانداردهای *IEEE519* در درایوهای ولتاژ متوسط یا *Medium Voltage Drives* رعایت شود. بطور خلاصه این استاندارد ملزم میکند که توتال هارمونیک ولتاژ در شبکه کمتر از 5٪ و توتال هارمونیک جریان کمتر از 3٪ باشد. همچنین لازم است ضریب قدرت درایو در تمام رنج تغییرات دور بالای 95٪ باشد.

ملاک دوم تضمین میکند که برق خروجی از درایو تنشهای ولتاژ و جریان اضافی به موتور تحمیل نخواهد کرد. تنشهای ولتاژ میتواند عایق موتور را تحت فشار قرار دهد. از سوی دیگر جریانهای هارمونیکی میتوانند باعث نوسانات گشتاور در موتور و بار بشوند. اعوجاج در ولتاژ و جریان موتور میتواند باعث القای جریانهای مخرب در بیرینگهای موتور شده و فرسایش سریع آن را بدنبال داشته باشد. مضافاً اینکه جریانهای هارمونیکی در موتور منجر به ایجاد حرارت اضافی در موتور خواهد شد. در شکل (20) شکل موجهای ولتاژ خروجی یک درایو نمونه را میتوانید مشاهده کنید. در شکل موج بالا ولتاژ خروجی در

ترمینالهای درایو، و شکل موج پائین ولتاژ ورودی در ترمینالهای موتور را مشاهده میکنید. دامنه اسپایکهای ولتاژ حدود 1500 ولت است. این اسپایکها میتوانند عایق موتور را تحت فشار قرار دهند.



شکل (20): شکل موج خروجی از یک درایو و اسپایکهای ناشی از عملکرد سوئیچهای قدرت و خازنهای پراکندگی سیستم:

شکل موج بالا شکل موج خروجی درایو. شکل موج پائین شکل موج ورودی موتوریک معیار خوب برای کیفیت توان خروجی درایو را میتوان محدودیت طول کابل موتور به درایو قرار داد. اغلب سازندگان درایو محدودیت های زیادی در طول کابل درایو به موتور اعمال میکنند. آنها میگویند اگر طول کابل مثلا از 100 متر بیشتر باشد لازم است از فیلتر برای سازگاری درایو به موتور استفاده گردد. از این رو برای حصول اطمینان از کیفیت توان خروجی درایو به سه معیار زیر توجه میکنیم:

- طول کابل خروجی از درایو به موتور نباید از سوی سازنده درایو محدود گردد.
- حتی الامکان در خروجی درایو ضرورتی برای استفاده از فیلتر نباشد.
- درایو باید سازگار با هر نوع موتور استاندارد موجود بوده و نیازی به کار مهندسی جهت تطبیق درایو به موتور نباشد.

ملاک سوم تضمین میکند که درایو حداقل تاثیر را روی بار و کوپلینگها داشته باشد. نوسانات گشتاور باعث استهلاک سریعتر بار و کوپلینگها میشود. اینها آستانه تحریک سیستم را نیز پائین میآورند. ضمنا درایو باید بتواند گشتاور مورد نیاز بار را در تمام سرعتها تامین نماید. توصیه میشود میزان نوسانات گشتاور یا *Torque Pulsation* در خروجی درایو کمتر از 0.5٪ در رنج تغییرات دور باشد.

ملاک چهارم تضمین میکند که درایو با هزینه کمتر کار خود را انجام بدهد و خود عاملی برای وقفه در تولید نگردد. همچنین درایو فانکشنهای ساده ای داشته و سهولت قابل سرویس باشد. و از پشتیبانی فنی مطمئن و سریع برخوردار باشد.

ملاک پنجم میتواند از این لحاظ مورد توجه قرار گیرد که احتمال آن را بدهیم که مشتریان دیگری که از درایو مشابه استفاده میکنند، در انتخاب و بکار گیری درایوهایشان بررسی های کافی کرده اند.

9-27- درایوهای ولتاژ متوسط *Perfect Harmony*

در سال 1994 شرکت *ASIRobicon* با معرفی درایوهای ولتاژ متوسط *Perfect Harmony* مشکلات بر شمرده در بالا را حل نمود. با معرفی درایوهای *Perfect Harmony* نگرانیهای صنایع از مسائل این نوع درایوها، نظیر هارمونیکها، ضریب اطمینان و کیفیت توان بتدریج بر طرف شد. بطوریکه اینک بیش از 3000 دستگاه از این نوع درایوها در صنایع و کاربردهای کلیدی بکار گرفته شده است. در جدول (7) خلاصه ای از ویژگیهای منحصر بفرد این درایوها آمده است.

ویژگی	مقدار	ملاحظات
توتال هارمونیک ولتاژ ورودی	1.2%	الزامات IEEE519 در این مورد 5% است
توتال هارمونیک جریان ورودی	0.8%	الزامات IEEE519 در این مورد 3% است
نوسانات گشتاور (Torque Pulsation)	0.1%	
محدودیت در طول کابل خروجی	خیر	موردهای عملی با طول کابل ۲۵ کیلومتر وجود دارد
ضریب قدرت در تمام رنج سرعت	بیش از 95%	
راندمان درایو	بیش از 98%	
متوسط زمان قبل از بروز خطا (MTBF)	70,000 ساعت	با استفاده Power Cell Bypass Option

جدول (7): برخی از مشخصات پیشرفته درایوهای *Perfect Harmony*

۹-۲۶. توصیه ها

1- در بهینه سازی مصرف انرژی بجای یک یا چند موتور کل سیستم را در نظر بگیرید. در این نوع بررسی ها لازم است تاثیر اقدامات مورد نظر روی سایر سیستمها از جمله بهره برداری و تعمیر و نگهداشت بدقت مورد توجه قرار گیرد.

2- در هنگام تصمیم گیری در خرید موتور کل هزینه های چرخه عمر سیستم مورد نظر را مورد توجه قرار دهید. بیاد داشته باشید که معمولا هزینه اولیه خرید یک موتور، نسبت به هزینه های انرژی و تعمیر و نگهداشت آن در طول عمر مفید سیستم ناچیز است.

3- موتور را متناسب با بار انتخاب کنید. بعبارت دیگر از انتخاب موتور بزرگتر از نیاز بار اجتناب کنید.

- 4- هنگام خرید موتور، موتورهای با راندمان بالا (*Energy Efficient Motors*) را انتخاب کنید. و اگر سفارش ساخت ماشینی را به ماشین ساز می‌دهید از او بخواهید از موتورهای با راندمان بالا استفاده کند.
- 5- در جاهایی که نیاز به تغییر دور است از کنترل کننده دور موتور (*Frequency Converter*) استفاده کنید.
- 6- در کنترل فلو/حجم در پمپ/فن از کنترل کننده دور موتور استفاده کنید.
- 7- معمولاً جایگزینی یک موتور با راندمان بالا بجای یک موتور سوخته با توجه به هزینه های چرخه عمر آن اقتصادی است. بنابراین توصیه میشود با بررسیهای سیستماتیک حتی المقدور بجای سیم پیچی مجدد موتور سوخته آنرا با موتور با راندمان بالا جایگزین کنید.
- 8- شبکه توزیع برق کارخانه را همواره چک کنید.
- 9- ولتاژ اعمالی به موتور باید ثابت و برابر با ولتاژ نامی موتور باشد.
- 10- موتورها را بموقع روغنکاری کنید.
- 11- سیستم تهویه موتور را همواره کارآمد نگهدارید. و دمای موتور را کنترل کنید.
- 12- از عدم تقارن ولتاژ برق کارخانه جلوگیری کنید.
- 13- از ترانسفورماتور متناسب با بار استفاده کنید.
- 13- در انتخاب درایو های ولتاژ متوسط (*Medium Voltage AC Drive*) دقت بیشتری بعمل آورید. توصیه میشود از چهارچوب پیشنهادی در این مقاله کمک بگیرید.
- 14- شرکت پرتو صنعت همواره حاضر است بازگشت سرمایه ناشی از صرفه جوئی انرژی الکتریکی با استفاده از درایو را تضمین نماید. حتی در مواردی خود حاضر به سرمایه گذاری در تاسیسات شما خواهد بود. بنابراین در ممیزی انرژی تا آنجا که مسئله مربوط به استفاده از درایو میشود میتوانید با این شرکت مشاوره کنید.

۹-۲۷. خلاصه ای از این بخش

در این مقاله بطور خلاصه به اهمیت صرفه جوئی انرژی در بخشهای صنعت اشاره کردیم. و خاطر نشان کردیم که این موضوع از دوجنبه اقتصادی و زیست محیطی اهمیت دارد. باید اضافه نمود که بهینه سازی مصرف انرژی بخشی از سیاستهای دولتی هر کشور پیشرفته ای نیز میباشد. در ایران نیز دولت بتدریج به این موضوع علاقه مند شده و اقداماتی نیز در حال انجام میباشد. اشاره شد که در ارتباط با صرفه جوئی انرژی، موتورهای الکتریکی میتواند یک هدف بسیار مهم باشد. برتریهای فنی موتورهای با

راندمان بالا نسبت به سایر موتورها موجب شده است که کشورهای پیشرفته تولید موتورهای معمولی را طبق یک جدول زمانی متوقف سازند. توصیه شد که کارخانجات میتوانند با بکارگیری اقدامات ساده و بسیار کم هزینه میتوانند صرفه جوئی قابل توجهی در مصرف انرژی بدست آورند. در ادامه مقاله از کنترل کننده های دور موتور بعنوان دستگاههای فوق العاده مؤثر در کاهش انرژی مصرفی بسیاری از تجهیزات کارخانجات یاد کردیم. و نشان دادیم که در کاربردهائی نظیر فن و پمپ استفاده از درایوها میتواند تا 50 درصد در کاهش مصرف انرژی مؤثر باشند. ضمناً به یک نمونه عملی با نتایج عالی در صنایع کشورمان اشاره کردیم. و در خاتمه توصیه های مفید و عملی برای بهینه سازی مصرف انرژی در صنایع مطرح شد.

به امید روزی که کارخانجات کشورمان با رعایت این نکات مسئولیت اجتماعی خود را در قبال محیط زیست ایفا کنند، و با بکارگیری این اصول نسبت به رقبای خود برتری اقتصادی بدست آورند.

۱۰. فصل دهم، معرفی درایوهای کاربردی و صنعتی AC و PSMC (DC)

ساخته شده توسط شرکت پرتو صنعت

۱۰-۱. درایوهای DC

درایوهای DC در کاربردهایی که با یک محدوده وسیع کنترل سرعت، راه اندازهای مکرر، تعویض جهت چرخش و در سیستمهایی که نیاز به کنترل دور موتور با گشتاور اولیه زیاد باشد بکاربرده می شوند. از جمله می توان به کاربردهایی نظیر:

غلطکهای نورد

ماشین ابزار

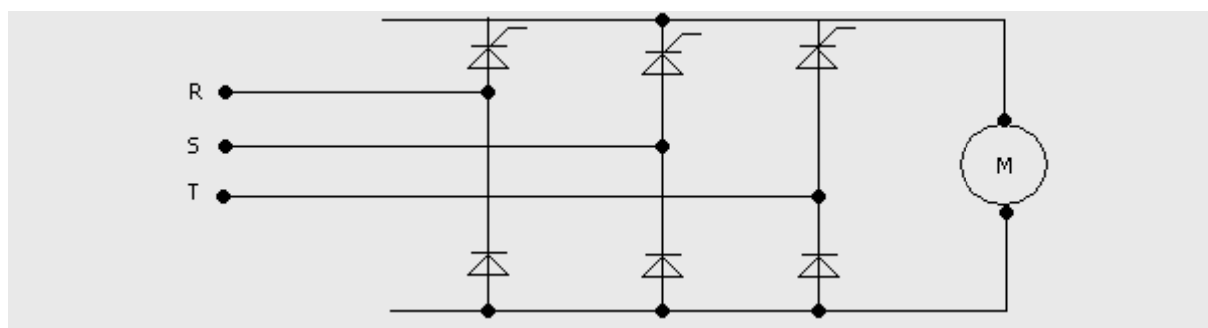
صنایع کشش مفتول

اکسترودرها

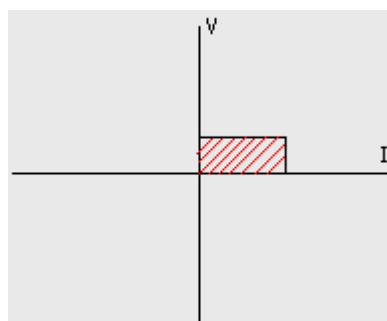
ماشین های چاپ

صنایع کاغذ

درایوهای DC در مدل‌های $1q$ تک ربعی، $2q$ دو ربعی، $4q$ چهار ربعی ساخته می شوند هرکدام از این نوع درایوها کاربردهای خاصی دارند که به شرح آنها می پردازیم. سری $1q$: مدار قدرتی مدل $1q$ مانند شکل زیر می باشد:



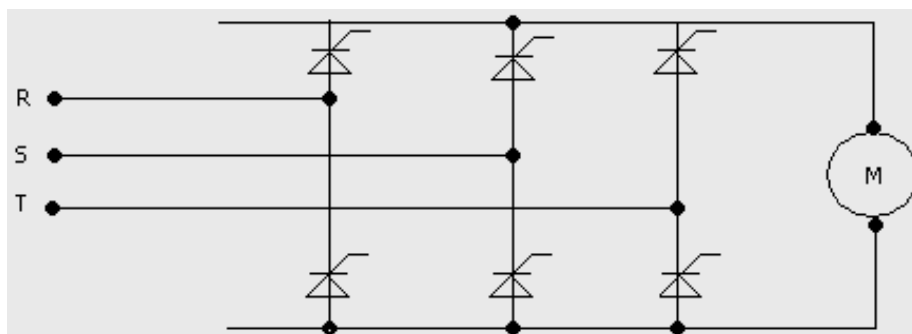
در نوع $1q$ ولتاژ و جریان همواره مثبت بوده و ناحیه کار در شکل زیر نمایش داده شده است



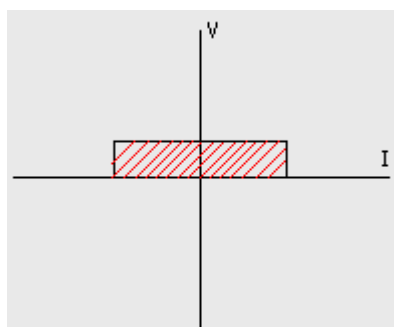
این نوع درایوها در کاربردهایی استفاده می شوند که موتور همواره تحت فشار بار باشد. از این نوع بارها می توان اکسترودرها، میکسرها اشاره کرد.

سری 2q

مدار قدرتی این نوع از درایوهای DC مانند شکل زیر می باشد:



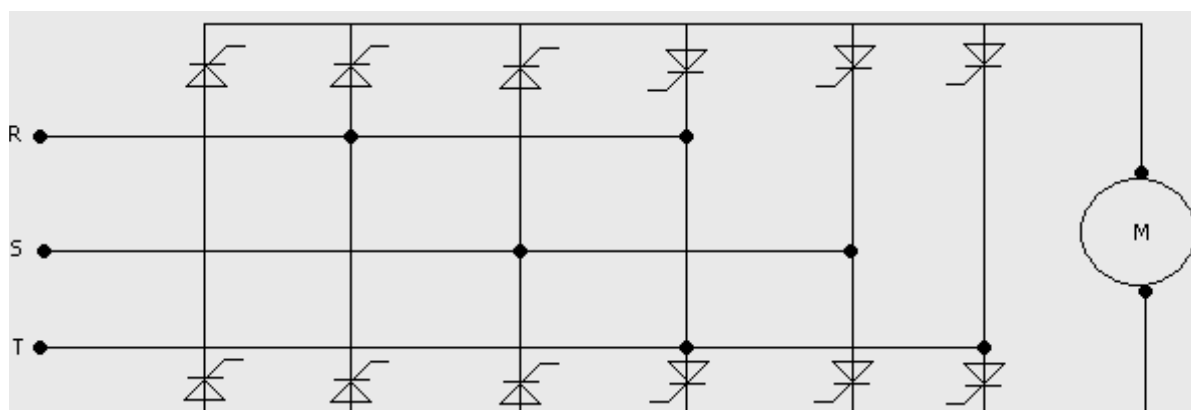
در این نوع درایو ولتاژ همواره مثبت بوده و جریان می توان در جهت منفی نیز ایجاد گردد از این رو این نوع درایو در دو ربع کار می کنند مانند شکل زیر:



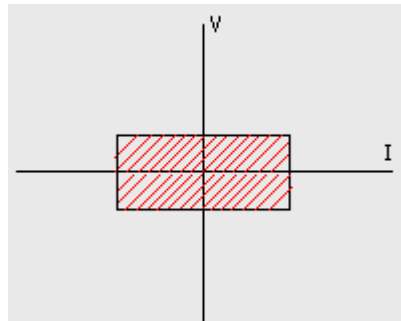
این نوع درایوها در کاربردهایی که موتور همواره تحت فشار باشد یا سیستمهایی که هنگام پائین آوردن سرعت بار دارای اینرسی جنبشی می باشد استفاده می شوند. از این نوع کاربردها می توان به اکسترودر میکسر، غلطکهای تورد، بانچرهای سیم و کابل اشاره کرد.

سری 4q دو طرفه

مدار قدرتی این نوع درایو مانند شکل زیر می باشد:



این نوع درایوها می توانند در خروجی ولتاژ مثبت یا منفی ایجاد کنند علاوه جریان نیز می تواند منفی یا مثبت باشد شکل زیر بیانگر کار این نوع درایو در چهار ربع می باشد.

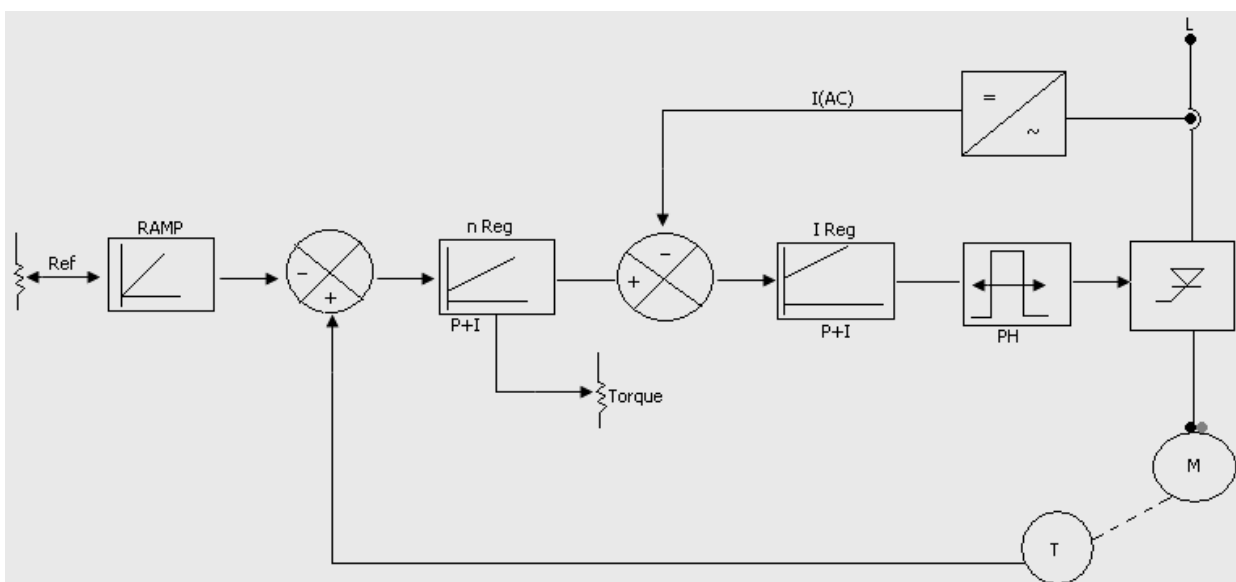


این نوع درایوها می توانند بجای دو مدل قبلی نیز کار کنند.

در کاربردهایی که نیاز به عوض کردن جهت چرخش یا حالت برگرداندن انرژی به شبکه (*Regenerative*) باشد از این نوع درایو استفاده می شود. در اغلب مواردی که از دنسر *Dancer* برای کنترل استفاده می گردد از این نوع درایوها استفاده می شود. در کاربردهایی که اینرسی توسط بار ایجاد شده و لازم است کنترل سرعت انجام گیرد باید از این نوع درایوها استفاده کرد. از این نوع کاربردها می تواند به تسمه نقاله انتقال مواد از بالا به پائین ، جرثقیلها ، جمع کن سیم و کابل که با دنسر (*Dancer*) کنترل می شود ، در ماشین افزارها ، فرز ، بورینگ ، کاراسل ، فرز دروازه ای اشاره کرد.

۱۰-۲. قسمت کنترل

قسمت کنترل در کلیه مدلها شبیه به هم بوده و بلوک دیاگرام آن در شکل زیر نمایش داده شده است.



مرجع سرعت (*REF*) وار مدار *RAMP* شده تا تغییرات ولوم سرعت برای بالا رفتن و پائین آمدن سرعت در اختیار کاربر باشد. خروجی مدار *RAMP* با فیدبک سرعت (ناکو) مقایسه می گردد این مقایسه در کنترل *PI* که با نام *n Reg* مشخص شده انجام می گیرد. خروجی قسمت *n Reg* مرجع جریان یا گشتاور می باشد. مرجع جریان با جریان واقعی *I AC* وارد قسمت *I Reg* شده و پس از مقایسه در این قسمت ولتاژ لازم برای جابجایی فاز را برای قسمت *PH* ایجاد می کند خروجی مدار جابجا کننده فاز *PH* بوسیله مدارهای ایزولاتور (ترانسفورمر پالس) به تریستورها اعمال گردد. با کنترل زاویه آتش تریستورها میزان ولتاژ اعمالی به موتور تغییر یافته و در نتیجه دور کنترل می گردد.

۱۰-۳. معرفی چند دستگاه برای کنترل سرعت موتورهای AC:

این دستگاهها برای کنترل سرعت موتورهای AC آسنکرون قفس سنجابی و یا سیم پیچی شده ساخته شده اند. (ساخته شده در شرکت پرتو صنعت)

این دستگاهها قابل کنترل از راه دور بوده و می توانند به کامپیوتر یا *PLC* متصل شوند. همچنین با اتصال چندین دستگاه به هم امکان ایجاد شبکه بر اساس پروتکل *RS485* وجود دارد. این دستگاهها می توانند بصورت مستقل و یا در سیستمهای کنترل و اتوماسیون صنعتی مورد استفاده قرار گیرند. سیستم کنترل این دستگاهها میکروپروسسوری بوده و تنظیم تمامی پارامترهای سیستمی دستگاه، بصورت نرم افزاری و از طریق پانل کنترل روی دستگاه انجام می گیرد.

۱۰-۴. مشخصات فنی و معرفی قابلیتهای دستگاههای PSMC-RM

این دستگاهها در توانهای مختلف از 2.2 تا 11 کیلو وات موجود می باشند. دستگاههای 2.2، 3 و 4 کیلووات فاقد فن خنک کننده و دستگاههای 5.5، 7.5 و 11 کیلووات دارای فن خنک کننده می باشند.

۱۰-۵. مشخصات فنی و معرفی قابلیتهای دستگاههای PSMC-DM

این دستگاهها در توانهای مختلف از 3 تا 11 کیلو وات موجود می باشند. دستگاههای 3 و 4 کیلووات فاقد فن خنک کننده و دستگاههای 5.5، 7.5 و 11 کیلووات دارای فن خنک کننده می باشند.

۱۰-۶. مشخصات فنی و معرفی قابلیتهای دستگاههای PSMC-DL

این دستگاهها در توانهای مختلف از 15 تا 37 کیلو وات موجود می باشند.

۱۰-۷. مشخصات فنی و معرفی قابلیت‌های دستگاه‌های PSMC-DT-250A

این دستگاهها در توانهای مختلف از 200 تا 250 کیلو وات موجود می باشند.

۱۰-۸. مشخصات فنی و معرفی قابلیت‌های دستگاه‌های PSMC-DM

۱۰-۸-۱. مقدمه

دستگاه‌های PSMC-DM برای کنترل سرعت موتورهای AC آسنکرون (الفائی) از نوع قفس سنجایی و یا سیم پیچی شده ساخته شده اند. این دستگاهها در توانهای مختلف از 3 تا 11 کیلو وات موجود می باشند. دستگاههای 3 و 4 کیلووات فاقد فن خنک کننده و دستگاههای 5.5، 7.5 و 11 کیلووات دارای فن خنک کننده می باشند.

دستگاه‌های PSMC-DM دارای قابلیت‌های متنوعی برای کاربردهای مختلف در صنعت می باشند. این دستگاهها قابل کنترل از راه دور بوده و می توانند به کامپیوتر یا PLC متصل شوند. همچنین با اتصال چندین دستگاه به هم امکان ایجاد شبکه بر اساس پروتکل RS485 وجود دارد. این دستگاهها می توانند بصورت مستقل و یا در سیستمهای کنترل و اتوماسیون صنعتی مورد استفاده قرار گیرند. سیستم کنترل این دستگاهها میکروپروسسوری بوده و تنظیم تمامی پارامترهای سیستمی دستگاه، بصورت نرم افزاری و از طریق پانل کنترل روی دستگاه انجام می گیرد.

۱۰-۸-۲. مشخصات فنی و قابلیت‌های سیستم

مشخصات فنی و قابلیت‌های سیستم در جدول 1-1 آمده است.

جدول 1-1

ولتاژ ورودی	سه فاز 380 V، 50 / 60 Hz
ماکزیمم ولتاژ خروجی	سه فاز 380 V
تکنیک استفاده شده	SVPWM با استفاده از ترانزیستورهای قدرت IGBT
سیستم کنترل	میکروپروسسوری
دقت فرکانس	1-99 Hz با دقت 0.1 Hz
مشخصه ولتاژ - فرکانس	قابل تنظیم برای بارهای مختلف در دو مد خطی و سهمی
گشتاور راه اندازی	قابل تنظیم

ظرفیت جریان دهی دستگاه	1.5 برابر جریان نامی برای حدود 10 ثانیه
زمان شتاب افزایش و کاهش	قابل تنظیم از 1 ثانیه تا 18 ساعت
فرکانس حداقل	قابل تنظیم از 1.0 Hz تا 20 Hz
فرکانس حداکثر	قابل تنظیم از 20 Hz تا 99 Hz
سیستم ترمز	قابل تنظیم بر اساس شتاب کاهنده و قابلیت افزودن المنت ترمز اضافی از طریق ترمینالهای BRK1 و BRK2 برای دسترسی به ترمزهای شدیدتر
تنظیم سرعت	از 2 تا 200 درصد سرعت نامی قابل تنظیم از طریق پانل کنترل، ولوم، شاسی پوش باتون، ولتاژ آنالوگ 0-2.5 V، جریان 4-20 mA یا 0-20 mA و کنترل از طریق کامپیوتر
چپگرد-راستگرد-توقف	قابل انتخاب توسط پانل کنترل، پانل Remote یا شاسی پوش باتون یا کلید ON/OFF
سرعت دوم یا INCHING	قابل تنظیم بین فرکانس 1 Hz تا 50 Hz و انتخاب از طریق کلید ON/OFF
تنظیم پارامترهای سیستم	بصورت نرم افزاری و از طریق پانل کنترل
رله خطا یا Fault	توسط کنتاکت بدون ولتاژ در دسترس می باشد
رله Run یا روشن شدن موتور	توسط کنتاکت بدون ولتاژ در دسترس می باشد
کنترل فیدبک	با استفاده از تاکومتر امکان کنترل سرعت بصورت فیدبک میسر است
کنترل Remote	از طریق پانل Remote امکان کنترل از راه دور دستگاه وجود دارد
ارتباط با کامپیوتر	بر اساس پروتکل RS485 و بصورت سریال از طریق دو سیم
امکان ایجاد شبکه	با اتصال حداکثر 32 دستگاه به هم امکان ایجاد شبکه و کنترل

کامپیوتری آن میسر می باشد	
حفاظت سیستم در برابر اتصال کوتاه، اضافه جریان، اضافه ولتاژ، ولتاژ کم و	حفاظت‌های سیستم

۱۰-۸-۳. مشخصات توان و جریان دستگاهها

مشخصات توان و جریان خروجی دستگاهها در جدول 1-2 آمده است.

جدول 1-2

نوع سربندی موتور و ماکزیمم ولتاژ خروجی	جریان نامی خروجی	ماکزیمم توان مجاز	نوع دستگاه
مثلاً یاسـتاره V 380	7.5 A	3 KW	PSMC-DM (3 KW)
مثلاً یاسـتاره V 380	10 A	4 KW	PSMC-DM (4 KW)
مثلاً یاسـتاره V 380	13.2 A	5.5 KW	PSMC-DM (5.5 KW)
مثلاً یاسـتاره V 380	18 A	7.5 KW	PSMC-DM (7.5 KW)
مثلاً V 380	24 A	11 KW	PSMC-DM (11 KW)

۱۰-۸-۴. مشخصات ابعاد و وزن دستگاهها

مشخصات ابعاد و وزن دستگاهها در جدول 1-3 نشان داده شده است.

جدول 1-3

وزن (Kg)	ارتفاع (cm)	عمق (cm)	عرض (cm)	توان (KW)	نوع دستگاه
8	36	21.1	20.2	4 – 3	PSMC-DM
12	36	21.1	24.6	11 – 5.5	PSMC-DM

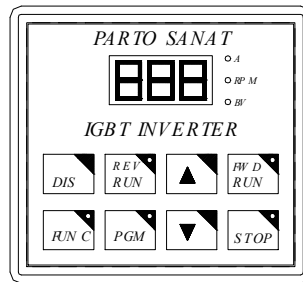
شکل‌های زیر نمای دستگاه را از روبرو، پهلو و بالا نشان می دهند.

توجه کنید شکل ذیل برای دستگاه‌های $KW 4 - 3$ می باشد و برای دستگاه‌های $KW 11 - 5.5$ اندازه عرض دستگاه را از جدول صفحه قبل بخوانید.

۱۱. نصب و راه اندازی دستگاه

۱۱-۱. محل نصب دستگاه:

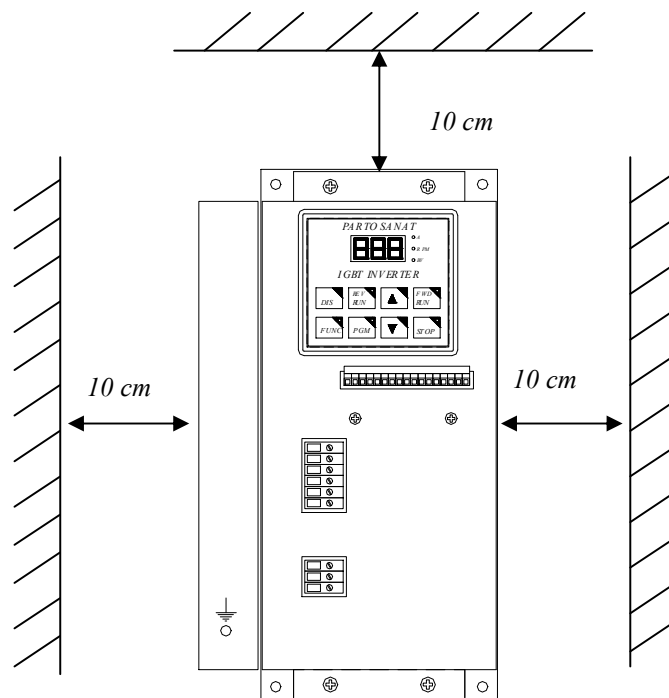
دستگاه باید در جای مناسبی از نظر شرایط آب و هوایی نصب گردد. دما و رطوبت محیط دستگاه نباید خیلی زیاد باشد. همچنین محل نصب دستگاه باید بدون ارتعاش و لرزش باشد و دستگاه در محل نصب خود باید کاملاً محکم شود.



الف-2-1

۱۱-۲. نحوه نصب دستگاه:

بر روی بدنه دستگاه سوراخهائی تعبیه شده است تا بتوان آن را بر روی دیوار یا زمین نصب نمود. برای اینکه هوا بتواند به راحتی در اطراف دستگاه جریان یابد و دستگاه را خنک نگه دارد، باید فاصله دستگاه از موانع اطراف حداقل 10 سانتی متر در نظر گرفته شود. به شکل 2-1 توجه کنید:



پس از نصب صحیح دستگاه در محل مناسب خود و انتخاب کابل مناسب با توجه به توان دستگاه، کابل‌های ورودی و خروجی دستگاه را بصورتی که در ادامه توضیح داده می شود وصل نمائید.

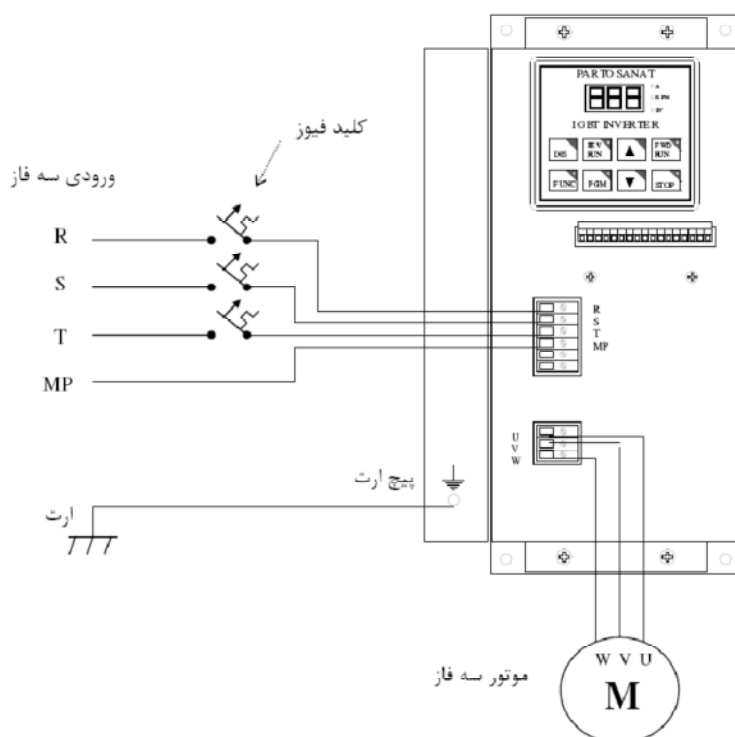
۱۱-۲-۱. اتصال ورودی های سه فاز به دستگاه:

ورودی های سه فاز R, S, T و سیم نول باید به ترمینالهای R, S, T و MP روی دستگاه متصل شوند. برای کنترل و حفاظت بهتر دستگاه باید از سه عدد کلید فیوز که با توجه به توان دستگاه انتخاب می گردد، استفاده شود. با توجه به شکل 2-2 سیمهای سه فاز R, S, T وارد سه عدد کلید فیوز شده و خروجی این سه کلید وارد ترمینالهای R, S, T روی دستگاه می شوند.

۱۱-۲-۲. ارت کردن دستگاه:

برای جلوگیری از برق گرفتگی و نیز آسیب رسیدن به دستگاه در صورت اتصال برق به بدنه، باید بدنه دستگاه به زمین وصل شود و یا در اصطلاح ارت شود. همچنین ارت کردن دستگاه باعث کاهش تأثیر نویز بر عملکرد دستگاه می شود. برای ارت کردن دستگاه باید ترمینال E و یا ترمینال ارت روی هیت سینگ به سیم ارت متصل شود. معمولاً کارخانه ها دارای یک سیم ارت می باشند که به زمین وصل است و توسط آن تجهیزات خود را ارت می نمایند. اگر محل نصب دستگاه فاقد سیم ارت باشد، باید ارت مناسب برای دستگاه تعبیه شود.

در صورت عدم دسترسی به سیم ارت، پیچ ارت به نول برق شهر (MP) وصل شود.



شکل 2-2: طریقه اتصال کابلهای ورودی و خروجی به دستگاه

۱۱-۲-۳. اتصال خروجی سه فاز دستگاه به موتور:

پس از اتصال صحیح ورودی های سه فاز به دستگاه باید ترمینالهای خروجی دستگاه به موتور وصل گردند. برای اینکار باید ترمینالهای U ، V و W دستگاه به ترتیب به ترمینالهای U ، V و W موتور وصل گردند.

دقت شود این ترمینالها بطور صحیح اتصال یابند. به شکل 2-2 توجه نمائید.

۱۱-۲-۴. پانل کنترل دستگاه

تنظیم پارامترهای دستگاه و کنترل آن از طریق پانل کنترل روی دستگاه انجام می گیرد. این پانل در شکل 2-3 نشان داده شده است، که بر روی آن 8 کلید کنترل، یک نمایشگر و سه چراغ کوچک قرار گرفته است.

شاسی *FWD RUN*: برای راه اندازی موتور در جهت راستگرد و نیز حرکت بین پارامترهای سیستم در موقع تنظیم آنها بکار می رود.

شاسی **STOP** : برای متوقف کردن موتور و ذخیره کردن سرعت بکار می رود.

شاسی : که کلید **UP** نامیده می شود برای افزایش سرعت و نیز افزایش مقدار پارامترها موقع تنظیم آنها بکار می رود.

شاسی : که کلید **DOWN** نامیده می شود برای کاهش سرعت و نیز کاهش مقدار پارامترها موقع تنظیم آنها بکار می رود.

شاسی **REV RUN** : برای راه اندازی موتور در جهت چپگرد و نیز حرکت بین پارامترهای سیستم موقع تنظیم آنها بکار می رود.

شاسی **PGM** : برای ورود به برنامه تغییر پارامترهای سیستم و نیز ذخیره کردن مقدار پارامتر تغییر یافته بکار می رود.

شاسی **DIS** : برای تعیین مقداری که نمایشگر نشان می دهد بکار می رود. با هر بار فشار آن یکی از چراغهای سمت راست نمایشگر روشن می شود. اگر چراغ **A** روشن باشد، مقدار جریان موتور بر حسب درصد جریان نامی نشان داده می شود. اگر چراغ **RPM** روشن باشد، مقدار فرکانس خروجی دستگاه بر حسب هرتز **Hz** نشان داده خواهد شد. مثلاً فرکانس **50 Hz** نشان دهنده این است که موتور در دور نامی خود در حال چرخش است و فرکانس **25 Hz** نشان دهنده این است که موتور در نصف دور نامی در حال چرخش است. اگر چراغ **BV** روشن باشد، مقدار ولتاژ لینک **DC** دستگاه نشان داده می شود.

شاسی **FUNC** : کاربرد چندانی ندارد و برای تعریف فانکشن و افزودن قابلیت‌هایی به سیستم در صورت درخواست خریدار و توسط کارخانه سازنده استفاده می شود.

۱۱-۲-۵. ریست کردن دستگاه

برای ریست کردن دستگاه دو شاسی **UP** و **DOWN** را همزمان فشار دهید. در اینصورت دستگاه ریست شده و موتور متوقف می شود. پیغام **P-S** برای چند لحظه ظاهر شده و چراغ **STOP** روشن خواهد شد. و فرکانس تنظیمی روی نمایشگر نمایان خواهد شد. در صورت وقوع خطا در سیستم و مشاهده یکی از پیغامهای **OCF - OUF - LUF - Err - PSF - HSF - NOF - UUF** بر روی نمایشگر، دستگاه را ریست نمایید.

در صورتیکه پارامتری را اشتباهاً تغییر دادید و مقدار اولیه آن را فراموش کردید، قبل از زدن شاسی **PGM** دستگاه را ریست نمایید تا پارامتر تغییر داده شده ذخیره نشود.

همچنین برای ورود به برنامه *SETUP* و تنظیم پارامترهای سیستم، دستگاه باید ریست شود. نحوه تنظیم پارامترهای سیستم در بخش سوم بطور کامل توضیح داده شده است.

۱۱-۲-۶. ذخیره کردن سرعت

هر وقت سرعت دستگاه را توسط شاسی های *UP* و *DOWN* تنظیم می کنید، با فشار شاسی *STOP*، سرعت نهائی در حافظه ذخیره می شود و با راه اندازی دوباره موتور، سرعت موتور به مقدار سرعت ذخیره شده خواهد رسید.

۱۱-۲-۷. راه اندازی دستگاه توسط پانل کنترل روی دستگاه:

پس از اطمینان از اتصال صحیح ترمینالهای ورودی و خروجی دستگاه و اتصال برق سه فاز ورودی، دستگاه را توسط پانل نصب شده بر روی آن راه اندازی می نمائیم. برای راه اندازی دستگاه کلیدهای ورودی سه فاز دستگاه را وصل نمائید. پیغام *P-S* بر روی صفحه نمایش ظاهر می گردد و سپس فرکانس تنظیمی نمایش داده می شود. برای به حرکت درآوردن موتور شاسی *FWD RUN* را فشار دهید. با فشار این شاسی موتور در جهت راستگرد شروع به حرکت می نماید. با شاسی های *و* می توانید سرعت موتور را افزایش و کاهش دهید و به سرعت مورد نظر برسائید. با فشار شاسی *REV RUN* موتور در جهت چپ گرد می چرخد و با فشار شاسی *STOP* موتور متوقف می شود.

شکل 2-3: پانل کنترل دستگاه - PSMC

دقت کنید موتور می بایست در فرکانس *1 Hz* در بار کامل براحتی بچرخد. در صورتیکه موتور در این فرکانس نچرخد، پارامتر *b00* را می بایست تا حدی زیاد کنید که موتور براحتی بچرخد. توضیحات تکمیلی راجع به تنظیم پارامتر *b00* را در بخش تنظیم پارامترها مطالعه نمائید. برای راه اندازی اولیه دستگاه کلیه پارامترهای دستگاه توسط کارخانه سازنده تنظیم شده است و نیازی به تنظیم آنها توسط کاربر نمی باشد. با توجه به نوع استفاده از دستگاه کاربر می تواند پارامترهای دلخواه خود را تنظیم نماید.

۱۱-۳. تنظیم پارامترهای سیستم

بخاطر اینکه دستگاههای کنترل کننده دور موتورهای AC دارای کاربردهای متنوعی در صنعت می باشند، بنابراین باید قابلیت تنظیم دستگاه برای کاربردهای مختلف وجود داشته باشد. در درایوهای سری *PSMC-DM* نیز پارامترهایی پیش بینی شده است تا با تنظیم آنها بتوان این دستگاهها را برای کاربردهای متنوعی بکار برد. بخاطر سیستم میکروپروسسوری دستگاههای *PSMC-DM*، تغییر پارامترهای دستگاه بصورت نرم افزاری و از طریق پانل کنترل روی دستگاه انجام می گیرد و نیاز به تغییرات سخت افزاری نمی باشد. این دستگاهها دارای حافظه ای می باشند که پس از تغییر پارامترها، مقدار هر پارامتر در آن ذخیره می شود و در هر بار روشن کردن دستگاه این پارامترها از حافظه خوانده شده و سیستم مطابق با آنها تنظیم خواهد شد. بنابراین تا زمانیکه پارامترهای سیستم را تغییر ندهید، از مقادیر قبلی پارامترها استفاده خواهد شد.

۱۱-۳-۱. پارامترهای سیستم

پارامترهای سیستم به دو بخش تقسیم شده اند: پارامترهای معمولی سیستم و پارامترهای اساسی سیستم. پارامترهای معمولی سیستم: این پارامترها معمولاً کاربرد زیادی دارند و اکثراً ممکن است توسط کاربر تغییر داده شوند. بنابراین تغییر آنها در حالت کار نرمال دستگاه امکان پذیر است و براحتی انجام می شود.

پارامترهای اساسی سیستم: این پارامترها بیشتر مربوط به سیستمهای اساسی و حفاظتی دستگاه می باشند و معمولاً یکبار و در محل کارخانه تنظیم می شوند و کاربر نیازی به تنظیم آنها ندارد. با این حال در صورت ضرورت می توان آنها را نیز تغییر داد. تغییر این پارامترها فقط با ریست *reset* کردن دستگاه و ورود به برنامه *Setup* امکان پذیر است.

۱۱-۳-۲. پارامترهای معمولی سیستم

در این قسمت پارامترهای معمولی سیستم معرفی شده و هر یک از آنها توضیح داده می شوند. و نیز تأثیر هر پارامتر بر عملکرد کاری دستگاه بیان می شود. در جدول زیر پارامترهای معمولی سیستم و مقادیر حداقل و حداکثر آنها آمده است.

جدول 3-1 : پارامترهای معمولی سیستم

نام پارامتر	توصیف پارامتر	حداقل	حداکثر
1	حد پائین فرکانس را مشخص می کند	Hz 01.0	Hz 20.0
2	حد بالای فرکانس را مشخص می کند	Hz 20	Hz 99
3	شتاب افزایشده دور موتور	1	255
4	شتاب کاهشده دور موتور	1	255
5	ضریب شتاب افزایشده	1	255
6	ضریب شتاب کاهشده	1	255
7	مشخص کننده حد ولتاژ بالا	0	100
8	ورژن نرم افزار دستگاه را مشخص می کند	24	24
9	زمان ترمز گیری دستگاه	1	255
10	ولتاژ DC اعمالی در هنگام ترمزگیری	0	60
11	مقدار گشتاور راه اندازی را مشخص می کند	0	60
12	فرکانسی که در آن ولتاژ ماکزیمم به موتور اعمال خواهد شد	Hz 37	Hz 100
13	مد کاری فرمان سرعت دستگاه را مشخص می کند	0	3
14	فعال و غیر فعال کردن سیستم ترمز دستگاه	0	2
15	فرکانس (Inch) دور دوم موتور را مشخص می کند	Hz 01.0	Hz 50.0
16	آدرس دستگاه را مشخص می نماید	1	255

در ادامه به شرح هر یک از پارامترهای معمولی سیستم می پردازیم:

LSL : حد پائین فرکانس با این پارامتر تنظیم میشود . این پارامتر در اختیار کاربر بوده و در حالت عادی اپراتور میتواند آنرا تنظیم کند. مقدار حداقل و حداکثر این پارامتر 1.0Hz و 20.0Hz میباشد. فرکانس دستگاه از مقداری که این پارامتر مشخص می کند پائین تر نخواهد رفت. دقت کنید همواره کنترل دور موتور از فرکانس 1Hz شروع بکار می کند و با توجه به شتاب افزایشده زیاد می شود.

HSL: حد بالای فرکانس با این پارامتر تنظیم میشود. این پارامتر در اختیار کاربر بوده و در حالت عادی اپراتور میتواند آنرا تنظیم کند. مقدار حداقل و حداکثر این پارامتر 20.0Hz و 99.0Hz میباشد. فرکانس دستگاه از مقداری که این پارامتر مشخص می کند بالاتر نخواهد رفت.

ACC: با این پارامتر شتاب افزایشده تنظیم میشود. منظور از شتاب افزایشده این است که موتور در چه زمانی از لحظه استارت به دور مورد نظر برسد. فرض کنید بخواهیم موتور را در 10 ثانیه بدور نامی خودش برسانیم در آن صورت لازم است فرکانس را روی 50.0Hz تنظیم کنیم و مقدار **ACC** را روی عدد 10 تنظیم نمائیم. در این صورت با **RUN** کردن موتور، دور آن در زمان 10 ثانیه به دور اسمی موتور خواهد رسید. مقدار حداقل این پارامتر 1 بوده و مقدار حداکثر آن 255 میباشد. ضمناً توجه کنید که پارامتر **AC** مرتبط با پارامتر **ACC** بوده و زمان واقعی شتاب از رابطه زیر بدست می آید:

$$\text{شتاب افزایشده} = AC \times ACC$$

بدیهی است که مقدار پارامتر **AC** برای زمانهای کمتر از 255 ثانیه باید 1 باشد. ضمناً توجه کنید که زمان شتاب میتواند بین یک ثانیه تا 18 ساعت متغیر باشد!

dEC: با این پارامتر شتاب کاهشده تنظیم میشود. منظور از شتاب کاهشده این است که موتور در چه زمانی از دور نامی به دور صفر برسد. فرض کنید بخواهیم موتوری را که با دور اسمی خودش کار میکند در 10 ثانیه متوقف کنیم. در آن صورت لازم است مقدار **dEC** را روی عدد 10 تنظیم نمائیم. در این صورت با **STOP** کردن موتور، دور آن در زمان 10 ثانیه به صفر خواهد رسید. مقدار حداقل این پارامتر 1 بوده و مقدار حداکثر آن 255 میباشد. ضمناً توجه کنید که پارامتر **dC** مرتبط با پارامتر **dEC** بوده و زمان واقعی شتاب کاهشده از رابطه زیر بدست می آید:

$$\text{شتاب کاهشده} = CE_d \times Cd$$

بدیهی است که مقدار پارامتر **dC** برای زمانهای کمتر از 255 ثانیه باید 1 باشد.

Ac: رجوع کنید به توضیحات پارامتر **ACC**

dc: رجوع کنید به توضیحات پارامتر **dEC**

OUL : این پارامتر برای تنظیم حدی از اضافه ولتاژ لینک **DC** که در آن سیستم **DC Chopper** وارد کار میشود ، بکار میرود. در مواقعی که دور موتور را میخواهیم کاهش بدهیم متناسب با اینرسی بار مقداری انرژی از بار به درایو برگردانده میشود. این انرژی باعث شارژ خازنهای بزرگ لینک **DC** میشود. و بتدریج ولتاژ این خازنها افزایش پیدا میکند. بالاتر از یک سطح ولتاژی که توسط این پارامتر تنظیم میشود ، سیستم **DC Chopper** وارد کار شده و مطابق شکل زیر یک مقاومت تلفاتی را در دو سر خازن های لینک **DC** قرار میدهد.

این پارامتر دارای مقادیر حد اقل و حداکثر **0** و **100** میباشد. و نحوه اثر گذاری آن با رابطه زیر داده میشود:

$$\text{حد ولتاژ بالای لینک } DC = 650 + oUL$$

با توجه به فرمول فوق اگر مقدار **oUL** برابر با **0** باشد حد ولتاژ بالا **V 650** خواهد بود. و اگر **oUL** برابر با **100** باشد حد این ولتاژ برابر با **V 750** خواهد شد. توصیه میشود تنها با درک کامل مفاهیم و در صورت نیاز این پارامتر را تغییر دهید.

SP : زمان ترمز، بر حسب ثانیه بیان میشود . در هنگام دادن فرمان **STOP** (فشاردن شاسی **STOP**) و در صورتیکه مقدار پارامتر **brA** روی عدد **2** تنظیم شده باشد، پس از رسیدن دور به صفر این پارامتر مدت زمان تزریق ولتاژ **DC** به موتور را تعیین میکند. مثلا اگر این پارامتر روی **5** تنظیم شده باشد پس از زدن شاسی **STOP** و کاهش دور ، بمدت **5** ثانیه به موتور ولتاژ **DC** تزریق خواهد شد. در هنگام تغییر جهت گردش موتور نیز در بین دو حالت چرخش تزریق ولتاژ **DC** خواهیم داشت. مقدار ولتاژ **DC** تزریقی با پارامتر **dCb** مشخص میگردد. مقدار حداقل پارامتر **SP** برابر با **1** و مقدار حداکثر آن برابر با **200** میباشد. توجه کنید این پارامتر زمانی قابل استفاده است که پارامتر **brA** روی عدد **2** تنظیم شده باشد.

dCb : این پارامتر مقدار ولتاژ **DC** تزریقی در هنگام ترمز را مشخص میکند. و زمان تزریق ولتاژ **DC** با پارامتر **SP** مشخص میشود. توجه شود که ولتاژ **DC** در صورتی به موتور تزریق خواهد شد که پارامتر **brA** قبلا روی عدد **2** تنظیم شده باشد.

boo : این پارامتر میزان جبران سازی افت IxR را در دورهای پایین مشخص میکند. هر چه میزان این پارامتر بالا باشد گشتاور راه اندازی افزایش خواهد یافت. توجه کنید که انتخاب مقادیر بالا برای این پارامتر عواقب زیر را نیز بدنبال خواهد داشت:

افزایش دمای موتور در دورهای پائین

اشباع شدن موتور

بروز فالت در اینورتر بواسطه اضافه جریان

بنابراین توصیه میشود در انتخاب این پارامتر دقت کنید. بعنوان یک قاعده کلی موتورهای با توان کم دارای مقاومت استاتور نسبتاً بالا بوده و بر عکس موتورهای توان بالا مقاومت استاتور کمتری خواهند داشت. بنابراین مقدار این پارامتر برای موتورهای توان پائین بیشتر از موتورهای توان بالا خواهد بود. مقدار این پارامتر متناسب با بار موتور میباشد. برای تنظیم این پارامتر بصورت زیر عمل کنید:

تنظیم پارامتر **boo** :

فرکانس درایو را روی **1.0** تنظیم کنید

موتور را روشن کنید (با استفاده از شاسی **FWD RUN** یا **REV RUN**)

شاسی **PGM** را فشار دهید.

با استفاده از شاسی **FWD RUN** پارامتر **boo** را پیدا کنید.

با استفاده از شاسی **UP** و **DOWN** مقدار پارامتر **boo** را آنقدر تغییر دهید تا موتور شروع به حرکت کند. توجه کنید برای موتوری که در زیر بار و در حال کار میباشد شما امکان این را دارید که مقادیر بیشتری از پارامتر **boo** را انتخاب کنید ولی با توجه به توضیحاتی که در بالا داده شد این کار به قیمت تلفات زیاد در موتور حاصل خواهد شد. بنابراین توصیه میشود در انتخاب این پارامتر ملاک را حرکت بدون اشکال موتور بار دار ، قرار دهید.

در شکل زیر تاثیر این پارامتر روی منحنی V/F نشان داده شده است:

U-F : با این پارامتر شما میتوانید نوع منحنی مناسب V/F را انتخاب کنید. این پارامتر مطابق با کار شما در شرکت پرتو صنعت تنظیم شده است. توجه کنید در فرکانس حدود **40 Hz** با این پارامتر می توانید جریان موتور را بهینه کنید. معمولاً در بارهایی که از ظرفیت موتور تا **80** % استفاده شده است، مقدار این پارامتر را تا حدود **51** می توانید کاهش دهید و جریان موتور را در فرکانس **40Hz** در کمترین مقدار قرار دهید.

dIs : با این پارامتر مد تنظیم سرعت درایو تعیین میشود انتخاب این پارامتر با توجه به جدول زیر صورت میگیرد:

مد کار	مقدار dIs
کار با صفحه شاسی	0
کار با ولوم	1
کار با سریال پورت	2

اگر $dIs = 1$ باشد، کنترل سرعت با صفحه شاسی ممکن نخواهد بود. در مد کار با سریال پورت فرامین از طریق پورت سریال سیستم داده میشود. برای اطلاعات بیشتر در ارتباط با کار با سریال پورت به قسمت " کار با سریال پورت " رجوع کنید.

brA : این پارامتر برای فعال و غیر فعال کردن سیستم ترمز دستگاه بکار می رود. این پارامتر مطابق جدول زیر تنظیم میگردد:

تاثیر پارامتر	مقدار brA
حذف قابلیت ترمز	0
حذف قابلیت ترمز	1
فعال کردن قابلیت ترمز	2

در صورتی که مقدار این پارامتر 2 انتخاب شده باشد. در هنگام زدن شاسی $STOP$ موتور ترمز خواهد کرد. در صورتیکه مقدار این پارامتر 0 یا 1 انتخاب شود با زدن شاسی $STOP$ موتور با اینرسی بار از

حرکت باز خواهد ایستاد. در هنگام ترمز پارامترهای dEc و SP و dCb تعیین کننده سرعت ترمزگیری خواهند بود.

ضمناً در صورت استفاده از المان ترمز(مقاومت تلفاتی) ، سرعت ترمزگیری افزایش خواهد یافت. برای اطلاعات بیشتر در ارتباط با ترمز به قسمت " ترمز دینامیکی " رجوع کنید.

InH : انتخاب سرعت اینچ با این پارامتر انجام میشود. فرکانس قابل تنظیم در این حالت بین 1.0 تا 50.0 هرتز میباشد. توجه کنید که سرعت اینچ از روی صفحه شاسی قابل انتخاب نبوده و باید از کنتاکت بیرونی برای این کار استفاده شود. در این حالت باید پارامتر **Hey** برابر با 2 بوده و دستگاه روشن باشد.

SrA : این پارامتر آدرس دستگاه را مشخص می نماید. این پارامتر تنها در مد کاری $dIs=2$ کاربرد دارد.

۱۱-۳-۳. تنظیم پارامترهای معمولی سیستم

پارامترهای معمولی سیستم در حالت کار نرمال دستگاه می توانند تغییر نمایند و نیازی به **reset** کردن دستگاه نمی باشد، ولی بهتر است قبل از تغییر پارامتر، موتور را با فشار شاسی **STOP** متوقف نمائید.

برای تنظیم پارامترهای معمولی سیستم بصورت زیر عمل نمائید:

با فشار شاسی **STOP**، موتور را خاموش نمائید.

شاسی **PGM** را فشار دهید تا وارد برنامه تنظیم پارامترهای معمولی سیستم شوید.

با استفاده از شاسی های **FWD RUN** و **REV RUN** پارامتر مورد نظر را انتخاب کنید. با هر بار فشار

شاسی **FWD RUN** پارامتر بعدی و با هر بار فشار شاسی **REV RUN** پارامتر قبلی انتخاب می شود.

پس از پیدا کردن پارامتر مورد نظر با استفاده از شاسی های **UP** و **DOWN** مقدار پارامتر انتخاب شده را

تنظیم نمائید. با فشار شاسی **UP** مقدار پارامتر افزایش می یابد و با فشار شاسی **DOWN** مقدار پارامتر کاهش خواهد یافت.

شاسی **PGM** را فشار دهید. در اینصورت برای چند لحظه پیغام **SAU** (به معنای **Save**) روی نمایشگر

ظاهر خواهد شد. بدین ترتیب مقدار جدید پارامتر در حافظه درایو ذخیره خواهد شد.

۱۱-۴. پارامترهای اساسی سیستم

پارامترهای اساسی سیستم بیشتر مربوط به سیستمهای حفاظتی دستگاه می باشند. از آنجا که این پارامترها در عملکرد دستگاه تأثیر خیلی زیادی دارند، لذا توصیه می شود فقط در صورت ضرورت و با درک کامل مفاهیم این پارامترها، اقدام به تغییر آنها کنید. ضمناً توجه داشته باشید که معمولاً کاربر نیازی به تغییر پارامترهای اساسی سیستم ندارد و اغلب این پارامترها در کارخانه و با توجه به نیاز شما تنظیم شده اند.

در جدول زیر پارامترهای اساسی سیستم آمده است:

جدول 2-3: پارامترهای اساسی سیستم

مقدار نوعی	مقادیر حدی	توصیف پارامتر	پارامتر	
0	2 0	فعال و غیر فعال کردن خطای اضافه جریان	_OC	1
0	2 0	فعال و غیر فعال کردن خطای اضافه ولتاژ	_OU	2
0	2 0	فعال و غیر فعال کردن خطای ولتاژ کم	_UU	3
0	2 0	فعال و غیر فعال کردن خطای کلی درایو	_Er	4
0	2 0	بار کردن مقادیر Default سیستم	DEF	5
100	200 0	تنظیم جریان نامی	Cur	6
0	2 0	پارامتر مخصوص کارخانه	UUL	7
0	2 0	میزان حساسیت در مقابل خطا	_FL	8
0	2 0	فعال و غیر فعال کردن راستگرد شدن موتور	rrn	9
0	2 0	فعال و غیر فعال کردن چپگرد شدن موتور	Lrn	10
2	2 0	فعال و غیر فعال کردن خطای دمای زیاد هیت سینک	_HS	11
2	2 0	فعال و غیر فعال کردن خطای دمای زیاد موتور	_No	12

0	2	0	تعیین نوع شاسی های ورودی به ترمینالهای کنترلی	HEY	13
0	2	0	تعیین نوع منحنی V/F	H2	14
0	2	0	تعیین نوع ورودی برای تنظیم فرکانس کار	UI	15
2	2	0	پارامتر مخصوص کارخانه	SOR	16
0	2	0	فعال و غیر فعال کردن خطای شارژ ناقص خازنها	_LU	17

پارامترهای اساسی سیستم اکثراً مربوط به خطاهای دستگاه می باشند و جهت فعال یا غیر فعال کردن این خطاها بکار می روند. اگر هر خطائی غیر فعال شود به معنی این است که دستگاه در برابر خطای ایجاد شده عکس العمل نشان نداده و بکار خود ادامه خواهد داد. در اینصورت سیستم حفاظتی دستگاه کاهش می یابد و ممکن است آسیب جدی ببیند.

OC_ : این پارامتر برای مشخص نمودن خطای اضافه جریان بکار می رود. اگر این پارامتر 0 انتخاب شود دستگاه در مقابل اضافه جریان فالت خواهد داد و موتور متوقف خواهد شد. (روی صفحه نمایش **OCF** ظاهر می شود). اگر این پارامتر 2 انتخاب شود قابلیت فالت سیستم در هنگام اضافه جریان حذف خواهد شد.

OU_ : این پارامتر برای مشخص نمودن خطای اضافه ولتاژ بکار می رود. اگر این پارامتر 0 انتخاب شود دستگاه در مقابل اضافه ولتاژ فالت خواهد داد و موتور متوقف خواهد شد. (روی صفحه نمایش **OUF** ظاهر می شود). اگر این پارامتر 2 انتخاب شود قابلیت فالت سیستم در هنگام اضافه ولتاژ حذف خواهد شد.

UU_ : این پارامتر برای مشخص نمودن خطای ولتاژ کم شبکه بکار می رود. اگر این پارامتر 0 انتخاب شود دستگاه در مقابل ولتاژ کم فالت خواهد داد و موتور متوقف خواهد شد. (روی صفحه نمایش **UUF**

ظاهر می شود.) اگر این پارامتر 2 انتخاب شود قابلیت فالت سیستم در هنگام ولتاژ کم شبکه حذف خواهد شد.

Er : اگر این پارامتر 2 انتخاب شود قابلیت فالت سیستم بطور کلی حذف خواهد شد، و دستگاه در مقابل هیچ یک از خطاها فالت نخواهد داد.

dEF : با این پارامتر میتوانید مقادیر **default** پارامترها را بار کنید. اگر مقدار این پارامتر 2 باشد مقادیر **default** پارامترها بار خواهد شد. مقادیر **default** پارامترها در جدول 3-3 آمده است. دقت کنید به هنگام دستکاری پارامترها و اختلال در آنها می توانید با این پارامترها مجدداً پارامترها را تنظیم کنید و سپس پارامترهای اختصاصی را وارد نمایید. دقت کنید در دستگاههای سری **DM** و **DS** پارامتر **SOR** مقدار 2 انتخاب شود.

FL : این پارامتر میزان حساسیت در برابر خطا را تعیین می کند. اگر این پارامتر 0 باشد سیستم در برابر هر خطایی فالت خواهد داد. اگر مقدار این پارامتر 2 باشد تعداد 5 فالت متوالی در درایو غیر فعال خواهد شد.

rrn : اگر مقدار این پارامتر 2 باشد امکان راستگرد کردن موتور حذف خواهد شد.

Lrn : اگر مقدار این پارامتر 2 باشد امکان چپگرد کردن موتور حذف خواهد شد.

HS : این پارامتر جهت غیر فعال کردن فالت هیت سینک (دمای هیت سینک) می باشد اگر مقدار 2 انتخاب شود این فالت غیر فعال می گردد.

NO : این پارامتر جهت غیر فعال کردن فالت دمای بالای موتور میباشد با انتخاب 2 این فالت غیر فعال میگردد.

Hey : این پارامتر برای تعیین نوع شاسی های استفاده شده برای ترمینالهای کنترلی دستگاه می باشد. مقدار 0 برای شاسی های از نوع **Push Botton** و مقدار 2 برای کلید های از نوع **ON/OFF** بکار میرود.

H2 : برای تعیین نوع منحنی V/F بکار میرود. بطوریکه اگر مقدار این پارامتر 0 باشد منحنی از نوع خطی خواهد بود. و برای مقدار 2 منحنی از نوع سهمی میباشد.

UI : تعیین نوع ورودی از بیرون برای تنظیم فرکانس (سرعت موتور). مقدار 0 برای ورودی از نوع ولتاژ و مقدار 2 برای ورودی از نوع جریان ($20mA-4$) یا ($mA\ 20-0$) بکار میرود. جهت استفاده از ولتاژ یا جریان بیرونی باید پارامتر dIS یک شده باشد.

Sor : تنظیم داخلی توسط کارخانه.

-LU : غیر فعال کردن فالت ناشی از عدم شارژ خازنها. اگر مقدار این پارامتر 2 باشد فالت LUF غیر فعال میشود. و در صورت تنظیم مقادیر بین 3 تا 255 رله شارژ بصورت زمانی عمل می کند.

۱۱-۴-۱. تنظیم پارامترهای اساسی سیستم

پارامترهای اساسی سیستم فقط با ریست کردن دستگاه و ورود به برنامه **Setup Utility** قابل تغییر می باشند. توجه کنید که در **Setup Utility** هم پارامترهای معمولی سیستم و هم پارامترهای اساسی سیستم قابل تغییر می باشند. با ورود به **Setup Utility** ابتدا پارامترهای معمولی سیستم ظاهر خواهند شد، پارامترهای اساسی سیستم بعد از علامت --- شروع می شوند.

برای تنظیم پارامترهای اساسی سیستم بصورت زیر عمل نمائید:

بطور همزمان دو شاسی **UP** و **DOWN** را فشار دهید تا سیستم ریست شود. با ریست شدن سیستم برای چند لحظه پیغام **P-S** روی نمایشگر ظاهر می شود. شما باید در همین فاصله کوتاه پس از ریست کردن سیستم و مشاهده پیغام **P-S** دو شاسی **STOP** و **DOWN** را با هم فشار دهید و آنقدر صبر کنید تا پیغام **SYS** روی نمایشگر ظاهر شود.

با مشاهده پیغام **SYS** دو شاسی **STOP** و **DOWN** را رها کنید. در اینصورت یک عدد روی نمایشگر ظاهر خواهد شد، از این ببعد دستگاه در وضعیت **Setup Utility** قرار می گیرد.

شاسی **PGM** را یکبار فشار دهید تا روی نمایشگر پیغام **LSL** ظاهر شود. توجه داشته باشید که اگر در وضعیت **Setup Utility** بجای فشار شاسی **PGM** بعنوان اولین شاسی، شاسی دیگری را فشار دهید، سیستم قفل می نماید و مجبور خواهید بود دستگاه را دوباره ریست کرده و اعمال بالا را تکرار کنید.

با استفاده از شاسی های **FWD RUN** و **REV RUN** پارامتر مورد نظر را انتخاب نمایید. توجه داشته باشید که پارامترهای اساسی سیستم بعد از علامت --- شروع می شوند.

با استفاده از شاسی های **UP** و **DOWN** مقدار پارامتر انتخاب شده را تنظیم نمایید.

با فشار شاسی *PGM* مقدار پارامتر تنظیم شده را ذخیره نمایید.

سیستم را ریست کرده و از *Setup Utility* خارج شوید.

توجه: در کلیه پارامترهای دو مقداری، *0* یعنی پارامتر فعال است و *2* یعنی پارامتر حذف شود.

برای مثال اگر برای پارامتر *OC* مقدار *0* انتخاب شود به این معنی خواهد بود که سیستم در مقابل اضافه جریان فالت خواهد داد. و بر عکس اگر مقدار این پارامتر *2* انتخاب شود، به این معنا خواهد بود که سیستم در مقابل اضافه جریان فالت نخواهد داد. (یعنی خاصیت حفاظتی سیستم کاهش داده شده است).

در جدول 3-3 مقادیر *Default* پارامترهای سیستم نشان داده شده است. اگر مقدار پارامتر *DEF*، *2* انتخاب شود این مقادیر جایگزین پارامترهای سیستم خواهند شد.

جدول 3-3- مقادیر *Default* پارامترها

پارامترهای معمولی سیستم

پارامتر	حداقل	حداکثر	مقدار <i>Default</i> پارامتر	مقدار اختصاصی	مقدار تنظیمی خریدار
<i>LSL</i>	<i>Hz 01.0</i>	<i>Hz 20.0</i>	<i>Hz 01.0</i>		
<i>HSL</i>	<i>Hz 20</i>	<i>Hz 99</i>	<i>Hz 50.0</i>		
<i>ACC</i>	<i>1</i>	<i>255</i>	<i>15</i>		
<i>dEC</i>	<i>1</i>	<i>255</i>	<i>15</i>		
<i>AC</i>	<i>1</i>	<i>255</i>	<i>1</i>		
<i>dC</i>	<i>1</i>	<i>255</i>	<i>1</i>		
<i>oUL</i>	<i>0</i>	<i>100</i>	<i>0</i>		
<i>Uer</i>	<i>2</i>	<i>24</i>	<i>24</i>		
<i>SP</i>	<i>Sec 1</i>	<i>Sec 255</i>	<i>Sec 20</i>		
<i>dCb</i>	<i>0</i>	<i>60</i>	<i>V 0</i>		
<i>boo</i>	<i>0</i>	<i>60</i>	<i>V 7</i>		
<i>U_F</i>	<i>Hz 37</i>	<i>Hz 100</i>	<i>Hz 65</i>		

		0	3	0	<i>dIS</i>	13
		0	2	0	<i>brA</i>	14
		5.0	<i>Hz 20.0</i>	<i>Hz 01.0</i>	<i>InH</i>	15
		1	255	1	<i>SrA</i>	16

پارامترهای اساسی سیستم

مقدار تنظیمی خریدار	مقدار اختصاصی	مقدار <i>Default</i> پارامتر	مقادیر حدی پارامتر		پارامتر	
		0	2	0	<i>_OC</i>	1
		0	2	0	<i>_OU</i>	2
		0	2	0	<i>_UU</i>	3
		0	2	0	<i>_Er</i>	4
		0	2	0	<i>DEF</i>	5
		100	200	0	<i>Cur</i>	6
		0	2	0	<i>UUL</i>	7
		0	2	0	<i>_FL</i>	8
		0	2	0	<i>rrn</i>	9
		0	2	0	<i>Lrn</i>	10
		2	2	0	<i>_HS</i>	11
		2	2	0	<i>_No</i>	12
		0	2	0	<i>HEY</i>	13
		0	2	0	<i>H2</i>	14
		0	2	0	<i>UI</i>	15
		2	2	0	<i>SOR</i>	16
		0	2	0	<i>_LU</i>	17

۱۱-۵. مشخصات تکنیکی دستگاه PSMC-DM

ساختار دستگاههای کنترل کننده دور موتور سری PSMC-DM را کلاً به سه بخش می توان تقسیم کرد:

- واحد کنترل میکروپروسسوری سیستم
- واحد قدرت سیستم *Power Unit*
- واحدهای ورودی و خروجی سیستم

بلوک دیاگرام کلی دستگاههای PSMC-DM در شکل 1-4 نشان داده شده است. بخش هایی که داخل منطقه خاکستری رنگ بلوک دیاگرام هستند، مربوط به اجزاء و قسمتهای داخلی و نصب شده روی سیستم می باشند و بخش هایی که خارج از منطقه خاکستری رنگ می باشند، مربوط به اجزاء و قسمتهایی هستند که از بیرون به دستگاه می توانند وصل شوند.

همانطور که در بلوک دیاگرام نشان داده شده است، بخش کنترل که وظیفه کنترل و مدیریت کل سیستم را بر عهده دارد بنام *Monitor Microprocessor Board* مشخص شده است و بخش قدرت سیستم که با خط چین نشان داده شده است، بنام *Power Unit* مشخص شده است. قسمتهای ورودی / خروجی سیستم بر روی شکل نشان داده شده اند.

۱۱-۵-۱. شرح کار کلی سیستم

طرز کار سیستم بطور کلی به این شکل است که برق سه فاز $V 380$ از طریق ترمینالهای R ، S و T وارد دستگاه شده و در یک یکسوساز سه فاز دیودی به ولتاژ DC تبدیل می شود. ولتاژ DC توسط خازنهای بزرگی صاف می شود، که این خازنها در زمان روشن شدن دستگاه ابتدا توسط یک مقاومت شارژ می شوند. پس از شارژ خازنها این مقاومت توسط رله *Charge Relay* از مدار خارج می گردد. ولتاژ یکسو شده به قسمت اینورتر سیستم اعمال می شود. در قسمت اینورتر ولتاژ و فرکانس همزمان کنترل شده و خروجی مناسبی را برای تغذیه موتور AC فراهم می نماید. کنترل قسمت اینورتر توسط بخش کنترلی یعنی *Microprocessor Board* انجام می گیرد، که با استفاده از تکنیک $SVPWM$ و کنترل همزمان ولتاژ و فرکانس خروجی اینورتر، یک ولتاژ سه فاز با فرکانس و دامنه متغییر، متناسب با سرعت مورد نیاز موتور فراهم می نماید.

۱۱-۶. بخش کنترل میکروپروسسوری سیستم *Monitor Microprocessor Board*



کنترل تمام قسمتهای مختلف سیستم توسط برد میکروپروسسوری *Microprocessor Board* که به اختصار برد میکرو نامیده می شود، انجام می گیرد. این برد شامل دو عدد میکرو کنترلر می باشد. یکی از میکرو کنترلرها وظیفه ساخت سیگنالهای *PWM* را بر عهده دارد، که این سیگنالها با اعمال به گیت درایوها (*Gate Drives*)، ترانزیستورهای قدرت *IGBT* را روشن و خاموش می نمایند، تا در خروجی سیستم، ولتاژ سه فاز متناسب با سرعت مورد نظر برای کار موتور فراهم شود. میکرو کنترلر دیگر وظیفه مدیریت و کنترل کل سیستم را بر عهده دارد.

مهمترین وظایف برد میکرو به شرح زیر می باشد:

ساخت سیگنالهای کنترلی بر اساس تکنیک *SVPWM*، برای سوئیچینگ قسمت اینورتر سیستم که شامل 6 عدد ترانزیستور قدرت *IGBT* می باشد.

کنترل سیستم شارژ خازنهای لینک *DC* که برای صاف کردن ولتاژ یکسو شده بکار می روند.

کنترل سیستم ترمز دستگاه با روشن و خاموش کردن ترانزیستور *IGBT* ترمز بر اساس مقدار ولتاژ لینک *DC*.

مدیریت خطاهای (*Faults*) سیستم :

خطای اضافه جریان در خروجی اینورتر (*OCF*)

خطای اضافه ولتاژ لینک (*OUF*) (*DC*)

خطای کاهش ولتاژ لینک (*UUF*) (*DC*)

خطای دمای بالای هیت سینگ (*HSF*)

خطای دمای بالای موتور (*HSF*)

خطای شارژ ناقص خازنهای لینک (*LUF*) (*DC*)

ارتباط با پانل کنترل دستگاه برای نشان دادن اطلاعات سیستم از قبیل فرکانس کار دستگاه، جریان عبوری از دستگاه، ولتاژ باس و نیز نشان دادن علائم ویژه در هنگام وقوع خطا در دستگاه، برای آگاهی کاربر.

دریافت اطلاعات از طریق کلیدهای کنترلی روی پانل دستگاه برای تنظیم و کنترل سیستم.

تنظیم پارامترهای سیستم بر اساس اطلاعات ذخیره شده در حافظه، از قبیل نوع منحنی *V/F*، مقدار گشتاور راه اندازی، شتاب افزایشنده، شتاب کاهشنده، فرکانس حداقل، فرکانس حداکثر و سایر پارامترهای قابل تنظیم سیستم.



ارسال دستوراتی از قبیل چپگرد، راستگرد، توقف، سرعت اینچ و سایر دستورات سیستم به قسمت‌های مختلف دستگاه، که توسط کاربر داده می شوند.

ارسال و دریافت اطلاعات از طریق ترمینالهای **485+** و **485-** بر اساس پروتکل **RS485**، به کامپیوتر و پانل

Remote

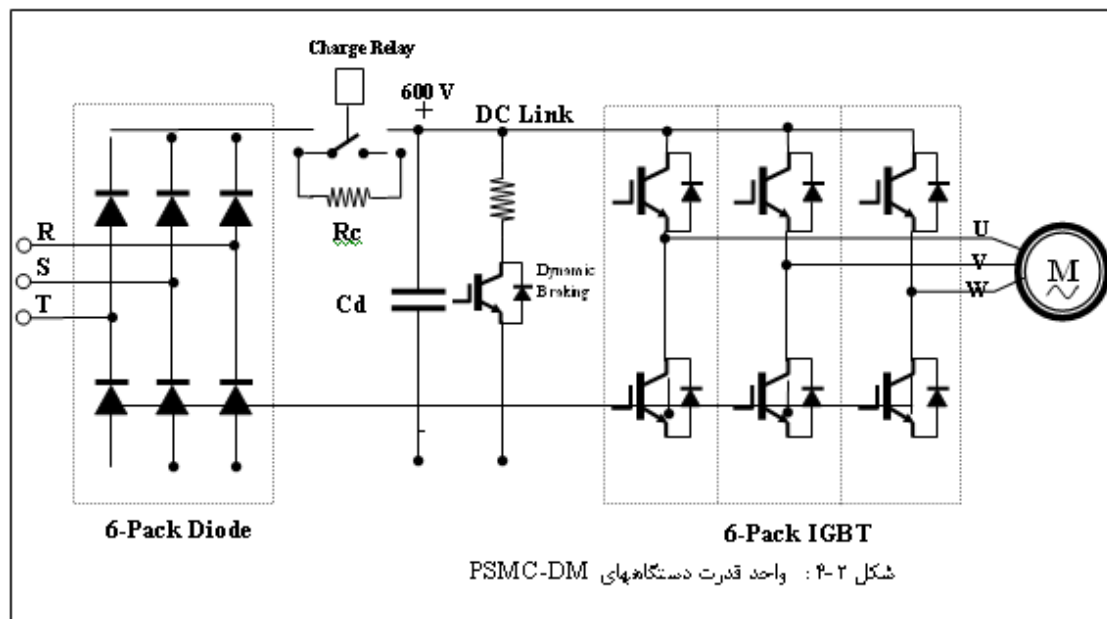
دریافت سیگنالهای کنترلی از کلیدهایی که می توانند به ترمینالهای کنترلی وصل شوند تا کنترل سیستم از راه دور انجام شود.

ارسال سیگنالهایی به عنوان خروجی برای استفاده در سیستمهای آلام، مانند رله **Fault**، رله **Run** و سیگنال **0** تا **5** ولت متناسب با فرکانس کار دستگاه به ترمینال **FM**،

بر روی برد میکرو دو کانکتور وجود دارد که یکی از آنها برای ارتباط با پانل کنترل و دیگری برای ارتباط با برد **Main** بکار می رود. ارتباط برد میکرو با این قسمتها از طریق دو عدد ریبون انجام می شود. دو عدد کانکتور نیز برای تغذیه برد توسط منبع تغذیه وجود دارد. همچنین تعدادی جامپر برای تنظیمات سخت افزاری سیستم روی برد میکرو قرار داده شده است.

10-16- واحد قدرت سیستم Power Unit

واحد قدرت سیستم شامل یک یکسوساز سه فاز (که از **6** عدد دیود قدرت تشکیل شده است)، تعدادی خازن لینک **DC** برای صاف کردن ولتاژ یکسو شده توسط دیودها، یک سیستم شارژ خازنهای **DC Link**، یک ترانزیستور **IGBT** برای قرار دادن المنت حرارتی در مدار در زمان ترمز کردن دستگاه، و یک اینورتر که شامل **6** عدد ترانزیستور قدرت **IGBT** است، می باشد. با سوئیچینگ ترانزیستورهای قدرت **IGBT** توسط سیگنالهای ارسالی از واحد کنترل، برق سه فاز با ولتاژ و فرکانس متغیر در خروجی اینورتر تولید می شود، که با اعمال آن به موتور می توان سرعت موتور را کنترل نمود. نقشه سیستم قدرت در شکل **2-4** نشان داده شده است. توجه شود **6** عدد دیود قدرت بصورت یک **Package** و **6** عدد **IGBT** بصورت سه **Package** بر روی دستگاه نصب شده اند.



۱۱-۶-۱. سیستم شارژ خازنهای لینک DC :

چون در زمان روشن شدن دستگاه، خازنهای بزرگ لینک DC دشارژ می باشند، بنابراین اگر مستقیماً در مدار قرار گیرند، جریان زیادی کشیده و سیستم آسیب خواهد دید. بدین دلیل ابتدا توسط یک مقاومت، این خازنها شارژ می شوند و وقتی ولتاژ لینک به مقدار مورد نظر رسید، با فرمان برد میکرو و از طریق یک رله، مقاومت از مدار خارج می شود. اگر سیستم شارژ خازنها درست عمل نکند، دستگاه خطای (*Fault*) داده و متوقف می شود.

۱۱-۶-۲. ترمز دینامیکی *Dynamic Braking*

یک موتور در شرایط زیر تبدیل به یک مولد یا ژنراتور میشود:

اگر بار موتور ناگهان کم شود

هنگام ترمز کردن موتور

هر گاه دور موتور را ناگهان کاهش بدهیم

اگر شفت موتور توسط نیروی خارجی و زمانی که با اینورتر کار میکند حرکت در بیاید.

در این شرایط موتور مقداری انرژی تولید کرده و آنرا بطرف اینورتر خواهد فرستاد. این انرژی باید راهی برای گذر به شبکه پیدا کند. از آنجا که سیستم یکسوساز درایو اجازه عبور آن به شبکه را نمی دهد

انرژی بر گشتی باعث شارژ خازن های لینک *DC* خواهد شد. شارژ بیش از حد این خازنها باعث اضافه ولتاژ روی آنها شده و این موضوع میتواند باعث تخریب خازنها بشود. برای مقابله با این موضوع درایوهای *PSMC-DM* از یک مقاومت تلفاتی بنام المان ترمز استفاده میکنند. این مقاومت در موقع شارژ اضافی خازنها و بطور اتوماتیک با روشن شدن ترانزیستور *IGBT* ترمز وارد کار شده و انرژی اضافی را تلف می کند. در صورتی که این المان حرارتی در درایو مورد استفاده قرار نگرفته باشد درایو با مکانیزمهای دیگری با موضوع برخورد خواهد کرد. بدیهی است که در اینحالت خاصیت ترمز گیری درایو و به تبع آن موتور از بین خواهد رفت. ترمزگیری تابع شرایط زیر است:

میزان اینرسی بار

مقدار المان ترمز (توان تلفاتی المان)

ظرفیت سویچ (میزان جریان مجاز سویچ ترمز)

زمان ترمزگیری

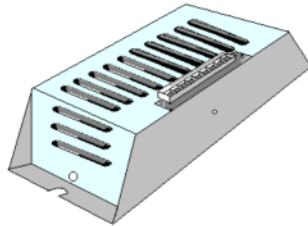
هرچه میزان اینرسی بار بیشتر باشد انرژی نهفته در آن در هنگام کار موتور بیشتر خواهد بود که البته میزان انرژی نهفته در بار بستگی به دور موتور خواهد داشت. بطوری که با افزایش دور انرژی نهفته در سیستم دوار نیز افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر وقتی این انرژی به سمت درایو پمپ میشود ابزار درایو برای مقابله با آن همان المان ترمز میباشد. بنابراین سرعت اتلاف انرژی توسط درایو تابع توان تلفاتی المان ترمز و ظرفیت سویچ ترمز میباشد. ممکن است لازم شود برای بارهای با اینرسی بالا از تعداد بیشتری المان ترمز و یک سیستم خنک کن مناسب بیرونی برای ترمز در زمان مورد نظر استفاده شود. زمان مورد نظر برای ترمز نیز در انتخاب المان ترمز تاثیر زیادی دارد. بطوریکه هر چه این زمان کوتاهتر شود میزان المان ترمز و ظرفیت سویچ ترمز نیز باید افزایش پیدا کند. بهر حال با توجه به شرایط فوق استفاده از ترمز برای بارهای با اینرسی بالا لازم است بررسی های کاملی بعمل آید.

لازم به ذکر است که در درایوهای توان پائین این شرکت المان ترمز در صورت نیاز باید جداگانه تهیه گردد و از بیرون به درایو وصل شود. برای این منظور ترمینالهای *BRK1* و *BRK2* در درایو پیش بینی شده است. برای درایوهای توان بالا المان ترمز در حد متعارف در داخل درایو پیش بینی شده است. و المانهای اضافی باید از بیرون به آن متصل گردد.

در درایوهای سری *PSMC-DM* و *PSMC-DS* چه توان پائین و چه توان بالا، المان ترمز از بیرون وصل می شود.

۱۱-۶-۳. ماجول منبع تغذیه Power Supply

ماجول منبع تغذیه از نوع فلای بک و سوئیچینگ بوده و برای کار در محیطهای صنعتی و نوپزی طراحی



و ساخته شده است. توان خروجی این منبع تغذیه $20W$ میباشد. و دارای سه خروجی $5V$ ولت و دو خروجی $24V$ ولت میباشد. مشخصات اصلی:

توان کل خروجی $20W$

خروجی $5V+$ و $1A$

خروجی $25V$ و $350mA$

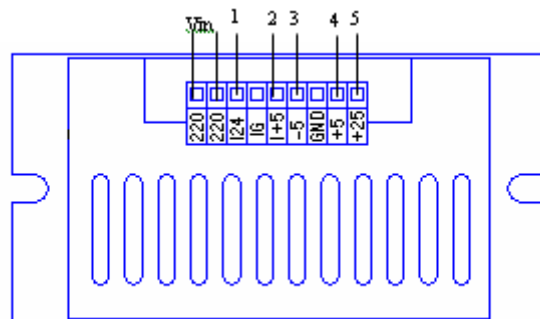
خروجی $5V-$ و $100mA$

خروجی $5V$ و $200mA$ با زمین ایزوله

خروجی $24V$ و $200mA$ با زمین ایزوله

۱۱-۷. ترمینالهای ورودی و خروجی منبع تغذیه :

در شکل زیر مشخصات ترمینالهای ورودی و خروجی منبع تغذیه آمده است.



در شکل فوق ترمینالها عبارتند از:

220 : ولتاژ ورودی $220V$

220 : ولتاژ ورودی $220V$

I24 : خروجی $24v$ ایزوله

IG : زمین ایزوله

I+5 : خروجی $5v+$ ایزوله

5- : خروجی $5V-$

GND : زمین کنترلی (غیرایزوله)

5+ : خروجی 5 ولت غیرایزوله

25+ : خروجی 24 ولت غیر ایزوله

۸-۱۱. خطاهای (Faults) سیستم و روشهای عیب یابی

دستگاههای *PSMC-DM* در مقابل انواع اشکالات و خطاهایی که ممکن است موقع کار برای آنها پیش آید، حفاظت شده اند. اگر اشکال و خطایی در کار دستگاه بوجود آید، دستگاه بطور اتوماتیک خطا را تشخیص داده و بر روی نمایشگر پانل کنترل، نوع آن را نشان می دهد و موتور متوقف می شود. کاربر با شناخت این اشکالات و خطاها می تواند اقدام به برطرف کردن آنها نماید.

در دستگاه، خطاها روی نمایشگر بصورت زیر مشخص می شوند و به حالت چشمک زن ظاهر می شوند.

NOF و *HSF* ، *Err* ، *OCF* ، *UUF* ، *OUF* ، *PSF* ، *LUF*

مثلاً اگر سیستم دچار اضافه جریان بیش از مقدار قابل قبول شود، بر روی نمایشگر پیغام *OCF* ظاهر شده و دستگاه متوقف خواهد شد، تا آسیبی به دستگاه و موتور وارد نگردد.

هر یک از خطاهای دستگاه را می توان توسط پارامترهای اساسی در برنامه *Setup* ، فعال و یا غیر فعال نمود. اگر خطایی غیر فعال شود، در موقع بروز خطا ، دستگاه از آن چشم پوشی کرده و بکار خود ادامه خواهد داد. توجه شود این قابلیت بیشتر برای عیب یابی و تعمیر سیستم استفاده می شود و در حالت کار دائم نباید خطایی را غیر فعال نمود، چون ممکن است سیستم آسیب ببیند.

در جدول زیر تمام خطاها و مفهوم آنها بیان شده است:

شرح	مفهوم	خطا (Fault)
<p>در هنگام راه اندازی دستگاه، ابتدا سیستم شارژ خازنهای لینک DC عمل کرده و باعث می شود که خازنها تا 500 ولت شارژ شوند. اگر ولتاژ خازنها به 500 ولت نرسد، دستگاه خطا داده و پیغام LUF بر روی نمایشگر ظاهر می شود.</p> <p>در این حالت ممکن است ولتاژ شبکه کاهش یافته باشد و یا اینکه یک یا دو تا از فازهای ورودی قطع شده باشند. دقت کنید در جاهایی که افت ولتاژ خط زیاد باشد و ولتاژ شبکه پائین باشد، این پیغام هنگام روشن شدن کنترل دور ظاهر می شود.</p>	<p>خطای ولتاژ خط Line Voltage Fault</p>	<p>LUF</p>
<p>این خطا مربوط به منبع تغذیه DC داخل دستگاه می باشد. اگر خطایی در منبع تغذیه پیش آید و درست عمل نکند، نماد PSF بر روی نمایشگر ظاهر می شود. در اینصورت منبع تغذیه و اتصالات آن باید چک شود.</p>	<p>خطای منبع تغذیه DC Power Supply Fault</p>	<p>PSF</p>
<p>هنگامیکه ولتاژ خازنهای لینک DC از مقدار تنظیمی پارامتر OUL بالاتر رود، سیستم ترمز در مدار قرار می گیرد. در این زمان پیغام OU روی نمایشگر می آید. اگر زمان اضافه ولتاژ از 2 ثانیه بیشتر شود، دستگاه فالت داده و پیغام OUF روی نمایشگر ظاهر می شود.</p> <p>اضافه ولتاژ می تواند ناشی از افزایش ولتاژ شبکه و نیز اینرسی زیاد بار باشد. در این حالت با زیاد کردن پارامتر DCC می توان افزایش ولتاژ را کاهش داد.</p>	<p>خطای اضافه ولتاژ Over Voltage Fault</p>	<p>OUF</p>

<p>وقتی که ولتاژ لینک DC از یک حدی پائین تر بیاید، پیغام UU بر روی نمایشگر ظاهر می شود. اگر این زمان از 2 ثانیه بیشتر شود، پیغام UUF بر روی نمایشگر ظاهر شده و دستگاه متوقف می شود.</p> <p>این کاهش ولتاژ احتمالاً می تواند ناشی از کاهش ولتاژ شبکه و یا قطع شدن یکی از فازهای ورودی باشد.</p>	<p>خطای ولتاژ کم Under Voltage Fault</p>	<p>UUF</p>
<p>وقتی که جریان از حد جریان مجاز موتور بالاتر رود، پیغام OC روی نمایشگر دستگاه ظاهر می شود. اگر به مدت 10 ثانیه دستگاه در همین وضعیت باشد، فالت داده و پیغام OCF روی نمایشگر ظاهر می شود و دستگاه متوقف خواهد شد.</p>	<p>خطای اضافه جریان Over Current Fault</p>	<p>OCF</p>
<p>در صورت بروز جریانهای خیلی بالا در دستگاه (که می تواند ناشی از اتصال کوتاه، اتصال فاز به زمین و یا فشارهای شدید بار باشد). دستگاه پیغام Err داده و متوقف خواهد شد.</p>	<p>خطای اتصال کوتاه یا اتصال زمین</p>	<p>Err</p>
<p>این خطا مربوط به بالا رفتن درجه حرارت هیت سینک می باشد که در این مدل دستگاهها کاربرد ندارد. لذا پارامتر HSF برابر 2 می باشد.</p>	<p>خطای دمای بالای هیت سینک Heat Sink Temperature Fault</p>	<p>HSF</p>
<p>این خطا مربوط به بالا رفتن درجه حرارت موتور می باشد که در این مدل دستگاهها کاربرد ندارد. لذا پارامتر NO برابر 2 می باشد.</p>	<p>خطای دمای بالای موتور Motor Temperature Fault</p>	<p>NOF</p>

۹-۱۱. ترمینالهای کنترلی دستگاه

بر روی دستگاه و در زیر پانل کنترل تعداد 17 عدد ترمینال قرار داده شده است که این ترمینالها برای کاربردهای خاص در نظر گرفته شده اند. اتصال به باس **RS-485** ، اتصال ولوم برای کنترل سرعت موتور، امکان راه اندازی و کنترل موتور توسط شاسی های پوش باتون و یا کلیدهای **ON/OFF** از فاصله های دور و استفاده از قابلیت های دیگر سیستم توسط این ترمینالها انجام می گیرد. در این قسمت این ترمینالها

معرفی شده و روش استفاده از آنها بیان خواهد شد. توجه شود برای استفاده از این ترمینالها ممکن است مجبور باشید تعدادی از پارامترهای سیستم را در برنامه *Setup* و توسط پانل کنترل تغییر دهید. روش تغییر پارامترهای سیستم در بخش مربوط به خود بطور کامل توضیح داده شده است.

۱۱-۹-۱. معرفی ترمینالهای کنترلی

شکل 1-6 ترمینالهای کنترلی دستگاه را به ترتیبی که بر روی دستگاه قرار دارند نشان می دهد. در این قسمت این ترمینالها معرفی می شوند و روش استفاده از آنها در ادامه توضیح داده خواهد شد.

48	48	G	ST	D	R	U	IN	L	+2	F	R	R	F	T	M	A
5+	5-	24	O	O	R	P/	H	R	4	N	C	N	M	A	S	G
			P	W	U	+P		U		O		O		C		N
				N	N			N								D
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

شکل 1-6: ترمینالهای کنترلی دستگاه

485+: این ترمینال به همراه ترمینال **485-** دو خط دیفرانسیلی باس **RS-485** می باشند. برای اتصال

دستگاه به باس **RS-485** و کنترل کامپیوتری آن از این دو ترمینال استفاده می شود که اطلاعات را

بین دستگاه و کامپیوتر رد و بدل می نمایند. طرز اتصال دستگاه به کامپیوتر و روش کنترل کامپیوتری آن در بخش مربوط به خود بطور کامل توضیح داده شده است.

485-: خط منفی باس **RS-485** می باشد.

G24: این ترمینال زمین مشترک ترمینالهای **STOP**، **DOWN**، **RRUN**، **UP/+P**، **INH**، **LRUN** و **FM**

MS می باشد.

STOP: این ترمینال برای متوقف کردن (ترمز کردن) موتور از فاصله دور استفاده می شود.

DOWN: این ترمینال برای کاهش دور موتور استفاده می شود.

RRUN: این ترمینال برای روشن کردن موتور در جهت راستگرد بکار می رود.

UP/+P: این ترمینال برای افزایش سرعت موتور بکار می رود. در ضمن این ترمینال برای یکی از

سرهای

ولوم نیز استفاده می شود.

INH: این ترمینال برای استفاده از سرعت دوم موتور بکار می رود.

LRUN: این ترمینال برای روشن کردن موتور در جهت چپگرد بکار می رود.

24+ -10: این ترمینال خروجی $24+$ ولت می باشد.

FNO-11: این ترمینال به همراه ترمینال **RC** برای تشخیص خطا در دستگاه بکار می رود، و در

واقع یک

کنتاکت رله داخلی می باشد و این کنتاکت بدون ولتاژ است.

RC -12: این ترمینال پایه مشترک ترمینالهای **FNO** و **RNO** می باشد.

RNO -13: این ترمینال به همراه ترمینال **RC** برای مشخص کردن روشن بودن موتور بکار می رود.

و در واقع

یک کنتاکت رله داخلی می باشد و این کنتاکت بدون ولتاژ است .

FM -14: این ترمینال خروجی متناظر با فرکانس دستگاه می باشد، و به صورت خروجی ولتاژ **0-**

Volt 2.5

متناظر با فرکانس **50-1 Hz** می باشد.

TAC -15: این ترمینال جهت فیدبک کنترل سرعت استفاده می شود.

MS -16: این ترمینال برای کنترل سرعت موتور از طریق ولوم استفاده می شود و سر وسط ولوم

خارجی به

این ترمینال متصل می شود.

AGND -17: ترمینال زمین می باشد.

۱۱-۹-۲. طرز اتصال ولوم به دستگاه

اگر بخواهید سرعت موتور را توسط یک ولوم (پتانسیومتر) و بدون استفاده از پانل کنترل روی دستگاه

کنترل نمائید، باید از یک ولوم **1** کیلو اهم استفاده نمائید. برای استفاده از ولوم لازم است پس از نصب

ولوم به ترمینالهای کنترلی مربوطه، تنظیماتی بصورت سخت افزاری و نرم افزاری روی دستگاه داده شود. تنظیم سخت افزاری با تغییر تعدادی از جامپرهای برد کنترلی (برد میکرو) داخل دستگاه انجام می شود. طرز باز نمودن درپوش دستگاه و محل برد کنترلی و نقشه برد کنترلی و محل جامپرهای تنظیمی روی آن در پایان همین فصل آمده است. چگونگی تنظیمات نرم افزاری دستگاه در فصل 3 توضیح داده شده است.

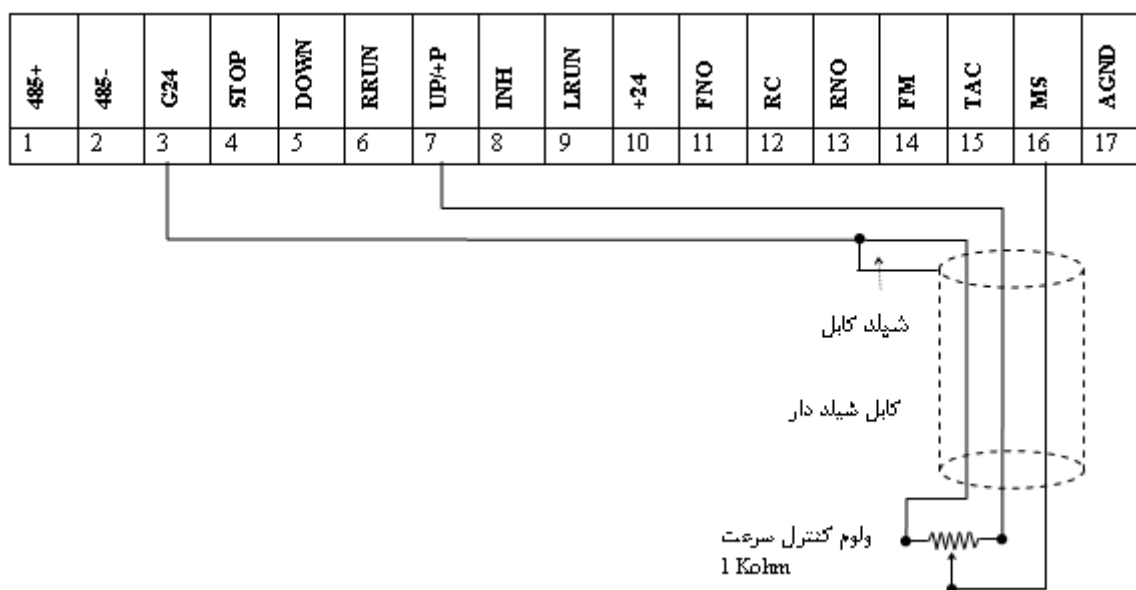
برای اتصال ولوم به دستگاه به صورت زیر عمل نمائید:

با توجه به شکل 2-6 دو سر ولوم را به ترمینالهای **UP/+P** و **G24** وصل نمائید و سر وسط ولوم را به ترمینال **MS** وصل کنید.

با باز نمودن درپوش دستگاه، بر روی برد کنترلی (برد میکرو) جامپرهای **JP10** و **JP11** را خارج کرده و جامپرهای **JP9** و **JP12** را متصل نمائید. (جامپرها در شکل 14-6 نشان داده شده است). پارامتر **dis** را روی **1** تنظیم کنید.

با اتصال ولوم به دستگاه، کنترل سرعت موتور با پانل کنترل دستگاه امکان پذیر نبوده و فقط می توان از طریق ولوم، سرعت موتور را کنترل نمود.

توجه: در صورتیکه ولوم در جهت عقربه های ساعت دور را کم می کند، سیمهای متصل به دو سر کناری ولوم را جابجا کنید.



توجه: شیلد کابل از طرف دستگاه به **G24** متصل شود و از طرف ولوم آزاد باشد.

- روشن و خاموش کردن موتور و افزایش و کاهش دور توسط ترمینالهای کنترلی
- روشن و خاموش کردن موتور و افزایش و کاهش دور توسط ترمینالهای کنترلی

در صورتیکه بخواهید موتور را از فاصله ای دورتر و توسط تعدادی کلید یا شاسی کنترل نمائید (مثلاً وقتیکه می خواهید از طریق یک تابلو کنترل، موتور را کنترل نمائید). می توانید این کلیدها یا شاسی ها را به ترمینالهای کنترلی وصل کرده و از طریق آنها فرمانهای لازم را جهت کنترل موتور صادر نمائید. برای اینکار می توانید هم از شاسی های فشاری پوش باتون (*Push Button*) که در حالت عادی باز (*Normally Open*) می باشند، و هم از کلیدهای *ON/OFF* استفاده نمائید. انتخاب نوع کلید توسط پارامتر *Hey* از برنامه *Setup* انجام می گیرد. اگر پارامتر *Hey* 0 باشد شاسی های از نوع *Push Button* و اگر پارامتر *Hey* 2 باشد کلیدهای از نوع *ON/OFF* انتخاب خواهد شد.

برای اتصال شاسی های کنترلی از نوع پوش باتون (معمولاً این شاسی ها در صنعت به شاسی *START* معروف هستند). به ترمینالهای کنترلی مطابق با نقشه شکل 3-6 و بصورت زیر عمل نمائید:

پارامتر *Hey* را روی مقدار 0 تنظیم نمائید.

شاسی توقف موتور را بین ترمینالهای *STOP* و *G24* وصل نمائید. در اینصورت با فشار این شاسی موتور متوقف می شود.

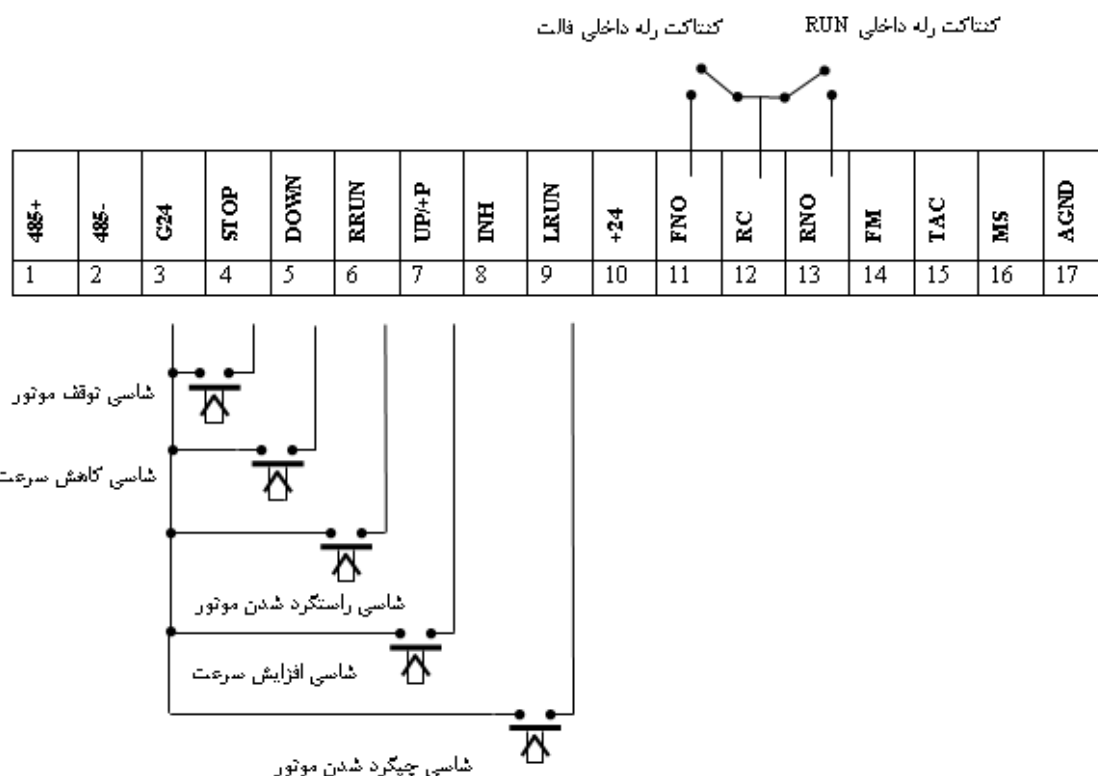
شاسی کاهش سرعت موتور را بین ترمینالهای *DOWN* و *G24* وصل نمائید. در اینصورت با فشار این شاسی سرعت موتور کاهش می یابد و با رها کردن شاسی، سرعت در مقدار تنظیمی باقی می ماند.

شاسی راستگرد شدن موتور را بین ترمینالهای *RRUN* و *G24* وصل نمائید. در اینصورت با فشار این شاسی موتور در جهت راستگرد شروع به کار می نماید.

شاسی افزایش سرعت را بین ترمینالهای *UP/+P* و *G24* وصل نمائید. در این صورت با فشار این شاسی، سرعت موتور افزایش می یابد و با رها کردن شاسی، سرعت در مقدار تنظیمی باقی خواهد ماند. توجه شود برای استفاده از ترمینال *UP/+P* باید جامپر *JP11* روی برد کنترلی وصل شود و پارامتر *dIS* روی

مقدار 0 تنظیم شود. توجه کنید به هنگام استفاده از شاسی دیگر نمی توانید ولوم به دستگاه متصل نمائید.

شاسی چپگرد شدن موتور را بین ترمینالهای *LRUN* و *G24* وصل نمائید. در اینصورت با فشار این شاسی موتور در جهت چپگرد شروع به کار می نماید.



شکل ۳-۶: طرز اتصال شاسی های پوش باتون به ترمینالهای کنترلی

۱۱-۹-۳. روشن و خاموش کردن موتور توسط کلیدهای ON/OFF

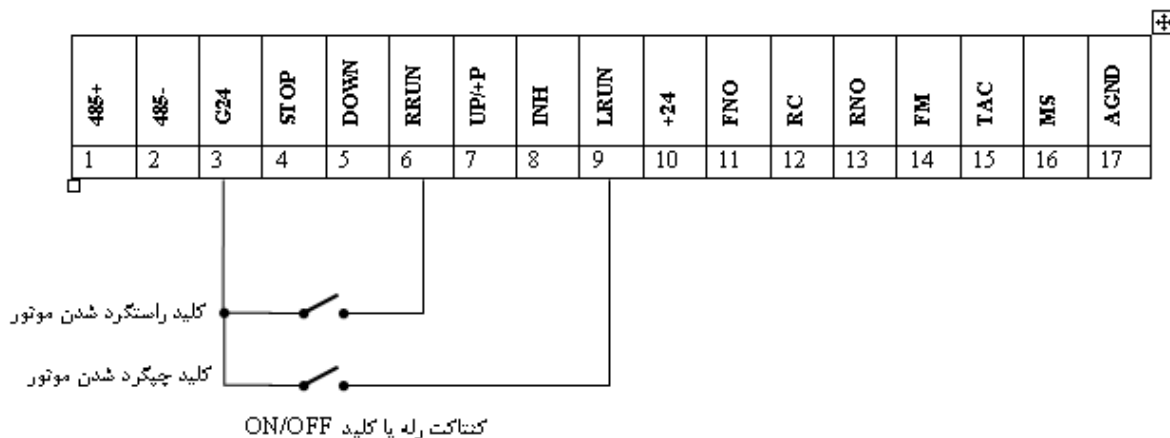
در صورتیکه بخواهید موتور را از فاصله ای دور تر و توسط تعدادی کلید *ON/OFF* یا کنتاکت رله کنترل نمائید، می توانید این کلیدها را به ترمینالهای کنترلی وصل نمائید.

طرز اتصال این کلیدها مطابق با نقشه شکل 4-6 و بصورت زیر است:

پارامتر *Hey* را روی مقدار 2 تنظیم نمائید.

کلید *ON/OFF* یا کنتاکت روشن کننده موتور در جهت راستگرد را به ترمینالهای *RRUN* و *G24* وصل نمائید. در اینصورت با وصل این کلید موتور در جهت راستگرد روشن می شود و با قطع کلید موتور متوقف خواهد شد.

کلید **ON/OFF** یا کنتاکت روشن کننده موتور در جهت چپگرد را به ترمینالهای **LRUN** و **G24** وصل نمائید. در اینصورت با وصل این کلید موتور در جهت چپگرد روشن می شود و با قطع کلید موتور متوقف خواهد شد.



شکل ۴-۶: طرز اتصال کلید ON/OFF یا کنتاکت رله به ترمینالهای کنترلی

۱۱-۹-۴. طرز استفاده از سرعت دوم (Inching) دستگاه:

از ترمینال **INH** می توانید برای انتخاب سرعت دوم موتور استفاده نمائید. برای اینکار از یک عدد کلید **ON/OFF** یا کنتاکت رله که بین ترمینالهای **INH** و **G24** قرار می گیرد، استفاده می شود. انتخاب مقدار دور دوم موتور توسط پارامتر **INH** انجام می گیرد.

برای استفاده از سرعت دوم مطابق با نقشه شکل ۵-۶ و بصورت زیر عمل نمائید:
مقدار پارامتر **Hey** را روی ۲ تنظیم نمائید.

کلید یا کنتاکتهای رله را مطابق شکل ۵-۶ متصل نمائید.

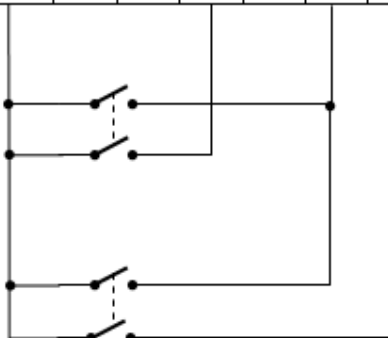
مقدار سرعت دوم موتور را توسط پارامتر **INH** تنظیم نمائید.

بدین ترتیب اگر همزمان با کنتاکت **INH**، کنتاکت **RRUN** را فرمان دهید، موتور در جهت راستگرد و اگر همزمان با کنتاکت **INH**، کنتاکت **LRUN** را فرمان دهید، موتور در جهت چپگرد و با سرعت **INH** روشن خواهد شد.

485+	485-	C24	STOP	DOWN	RRUN	UP+P	INH	LRUN	+24	FNO	RC	RNO	FM	TAC	MS	ACND
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

راستگرد شدن موتور در
سرعت دوم INH

چپگرد شدن موتور در
سرعت دوم INH



کنتاکت رله یا کلید

شکل ۵-۶: طرز اتصال کلیدهای ON/OFF برای استفاده از سرعت دوم

۱۱-۹-۵. طرز استفاده از رله RUN و رله فالت FAULT دستگاه

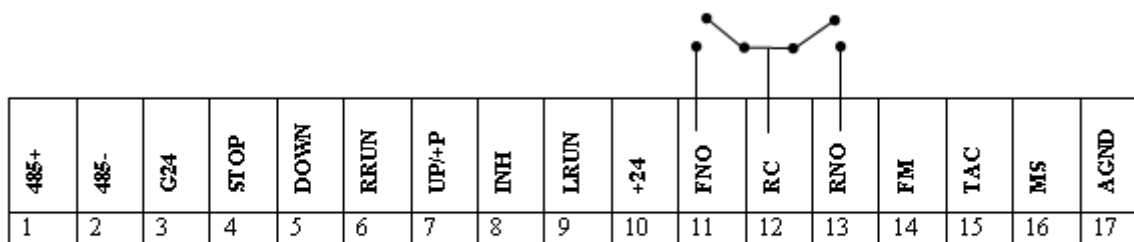
اگر بخواهید توسط یک سیستم آلارم روشن بودن موتور و یا بروز خطا *Fault* در دستگاه را تشخیص دهید، می توانید از ترمینالهای *RNO*، *RC* و *FNO* استفاده نمایید.

ترمینال *FNO* به همراه ترمینال *RC* دو سر یک کنتاکت *NO* (*Normally Open*) بدون ولتاژ می باشد، که با وقوع خطا در دستگاه این کنتاکت می بندد. این کنتاکت ماکزیمم جریان $200mA$ و ولتاژ $V 24$ را می تواند قطع و وصل نماید.

ترمینال *RNO* به همراه ترمینال *RC*، دو سر یک کنتاکت *NO* بدون ولتاژ می باشد که مربوط به رله *RUN* (روشن بودن موتور) است. هنگامیکه فرمان روشن شدن موتور داده می شود، در صورت شرایط نرمال و به حرکت در آمدن موتور این کنتاکت بسته می شود.

در شکل 6-6 این ترمینالها مشخص شده اند.

کنتاکت رله داخلی RUN کنتاکت رله داخلی فالت



شکل ۶-۶: رله RUN و رله فالت داخلی دستگاه

۱۱-۹-۶. استفاده از جریان ورودی $mA\ 20-4$ یا $mA\ 20-0$ برای کنترل سرعت موتور:

با استفاده از جریانهای ورودی $mA\ 20-4$ یا $mA\ 20-0$ می توانید سرعت موتور را کنترل نمایید. برای اینکار از ترمینالهای MS و $G24$ استفاده می شود.

برای استفاده از این ترمینالها مطابق با شکل ۶-۷ و بصورت زیر عمل نمایید:

مقدار پارامتر dIS را روی I تنظیم نمایید.

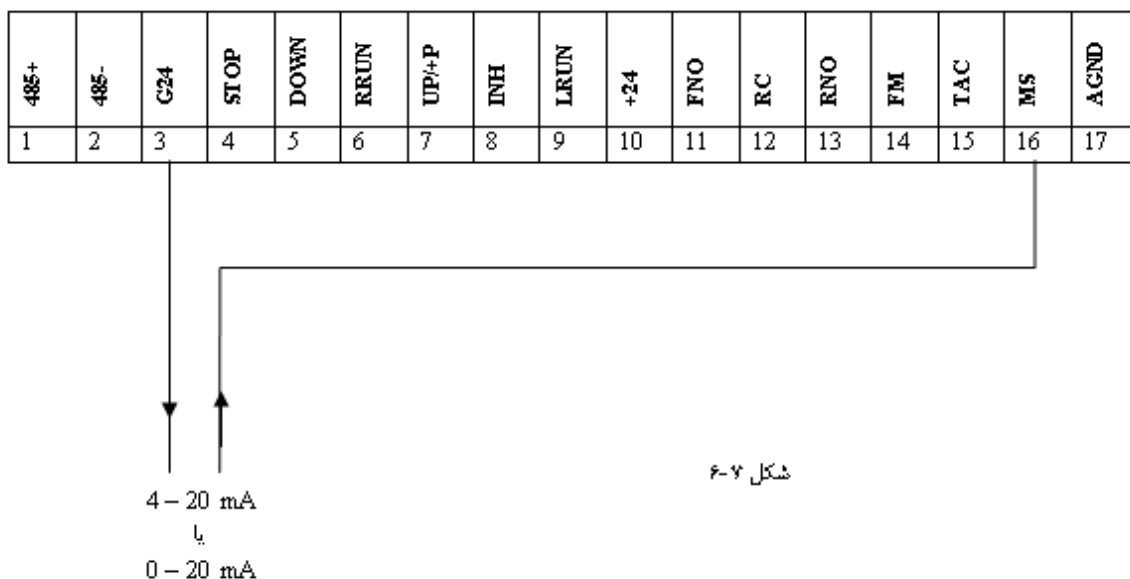
جامپرهای $JP8$ و $JP9$ روی برد کنترلی (برد میکرو) را وصل نمایید.

مقاومت $Ohm\ RCur\ 200 =$ را وصل نمایید. محل قرار گرفتن این مقاومت بر روی نقشه برد کنترلی مشخص شده است.

مقدار پارامتر UI را با توجه به نوع جریان ورودی تنظیم نمایید. برای جریان $mA\ 20-4$ مقدار $UI = 2$ و برای جریان $mA\ 20-0$ مقدار $UI = 0$ می باشد.

ترمینالهای MS و $G24$ را به منبع جریان مورد نظر وصل نمایید.

در اینصورت سرعت موتور متناسب با مقدار جریان ورودی تغییر خواهد کرد.



شکل ۶-۶

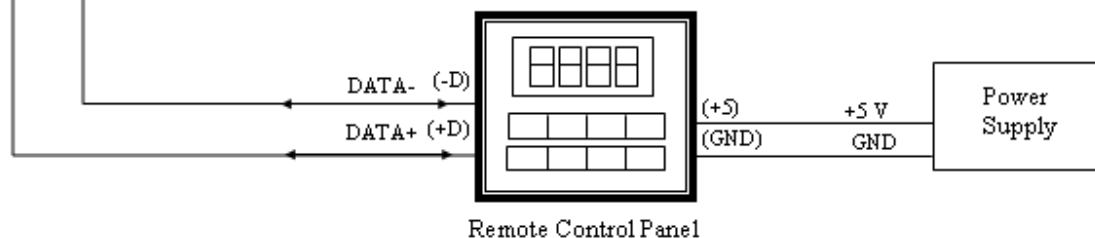
۱۱-۹-۷. استفاده از مد کنترل دو سیمه

با استفاده از یک پانل کنترل *Remote* و تنها از طریق دو سیم می توانید دستگاه را از فاصله ای دور کنترل نمائید. برای اینکار از ترمینالهای $+485$ و -485 استفاده می شود. پانل کنترل از راه دور را می توانید از شرکت پرتو صنعت تهیه نمائید.

طرز اتصال پانل کنترل از راه دور به دستگاه در شکل ۸-۶ نشان داده شده است. لازم به توضیح است که در صورت استفاده از پانل *Remote* مقدار پارامتر *SrA* باید روی I تنظیم شود.

همچنین نیاز به یک منبع تغذیه $+5VDC$ نیز می باشد که این منبع تغذیه را نیز می توانید از شرکت پرتو صنعت تهیه نمائید.

485+	485-	G24	STOP	DOWN	RRUN	UP/+P	INH	L/RUN	+24	FNO	RC	RNO	FM	TAC	MS	AGND
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

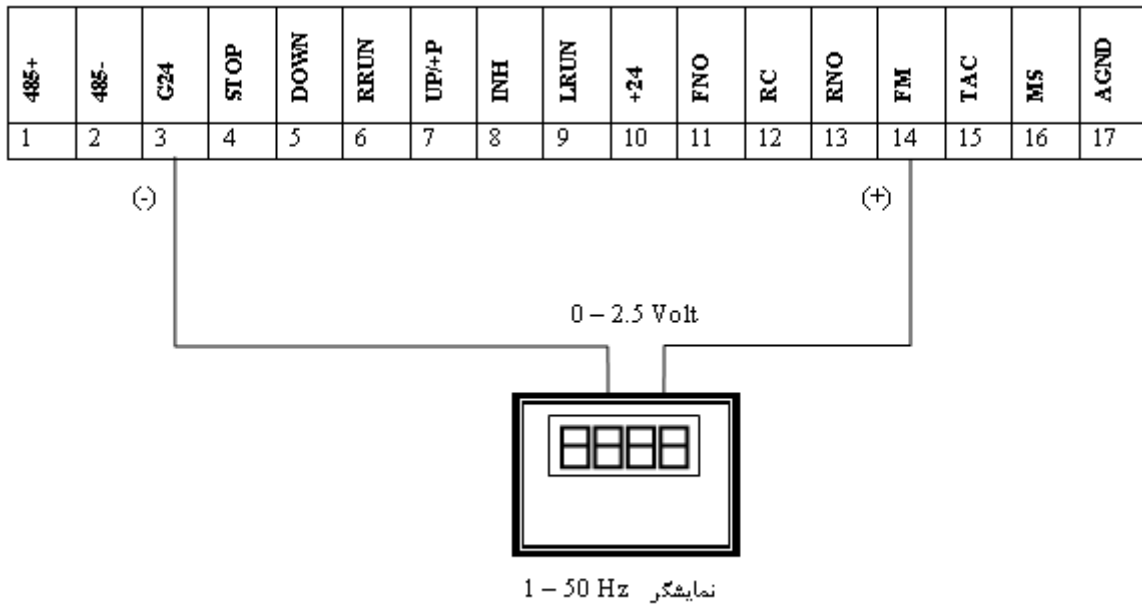


Remote Control Panel
 شکل ۸-۶ : طرز اتصال پانل کنترل از راه دور به دستگاه

۱۱-۹-۸. استفاده از نشان دهنده دور FM

ترمینال FM به همراه ترمینال G24 ولتاژ خروجی $0 - 2.5 \text{ Volt}$ و جریان خروجی 10 mA را متناسب با فرکانس کار دستگاه در اختیار کاربر قرار می دهد. با اتصال این ترمینال به یک نمایشگر مناسب می توان فرکانس کار دستگاه را در نقطه ای دیگر مشاهده نمود. و یا می توان از این ولتاژ خروجی در سیستمهای کنترلی و حفاظتی استفاده نمود.

شکل ۹-۶ طرز اتصال نمایشگر فرکانس به ترمینالهای FM و G24 را نشان می دهد.



شکل ۹-۶: اتصال نمایشگر فرکانس به ترمینالهای کنترلی

۱۱-۹-۹. طرز اتصال دستگاه به کامپیوتر

برای اتصال دستگاه به کامپیوتر از ترمینالهای $+485$ و -485 استفاده می شود. اتصال دستگاه به کامپیوتر از طریق پورت سریال کامپیوتر انجام می گیرد. که در این حالت این ترمینالها از طریق یک مبدل $RS232-RS485$ به پورت سریال کامپیوتر متصل می شود. برای کنترل کامپیوتری دستگاه دستوراتی پیش بینی شده است تا از طریق آنها با دستگاه ارتباط برقرار کرده و آنرا کنترل نمود. توضیحات کامل در رابطه با کنترل کامپیوتری دستگاه و دستورات آن در جزوه ای جداگانه آمده است، که این جزوه را در صورت نیاز می توانید از شرکت پرتو صنعت تهیه نمایید.

شکل 10-6: طرز اتصال دستگاه به کامپیوتر

طرز برداشتن درپوش دستگاه و تنظیم جامپرهای آن

شکل 6-11 دستگاه *PSMC-DM* و اجزاء آنرا نشان می دهد. برای باز نمودن درپوش دستگاه آنرا به صورتی که در این شکل نشان داده شده است، قرار دهید و با استفاده از یک پیچ گوشتی مناسب 6 عدد پیچی را که در شکل با فلشهای پررنگ در سمت راست، بالا و پائین دستگاه نشان داده شده است باز نمائید.

شکل 6-11

پس از باز نمودن پیچها، دستگاه را بصورتی که در شکل 6-12 نشان داده شده است قرار دهید بطوریکه هیت سینک در زیر دستگاه قرار گیرد. با استفاده از یک پیچ گوشتی تخت قوی در پوش دستگاه را از نقاطی که در شکل نشان داده شده است حدود 2 سانتی متر به سمت بیرون فشار دهید. با آزاد شدن درپوش آن را از روی دستگاه بردارید.

در شکل 6-13 اجزاء داخلی دستگاه و محل قرار گرفتن آنها مشخص شده است. جامپرهای تنظیمی دستگاه بر روی برد کنترلی (برد میکرو) قرار گرفته اند. نقشه برد کنترلی در شکل 6-14 نشان داده شده است. جامپرهای روی آن بصورت پررنگتر مشخص شده است.

نوک پیچ گوهستی را بر روی
لبه های نشان دانه شده قرار
دهید و به سمت خود فشار
دهید تا درپوش آزاد شود

برد کنترلی (برد

شکل 13-6: اجزاء داخلی دستگاه و محل قرار گرفتن برد کنترلی

شکل 14-6: نقشه برد کنترلی (برد میکرو)
جامپرهای روی برد بصورت پررنگ مشخص شده

۱۱-۹-۱۰. استفاده از آداپتور جهت دور کردن پانل کنترل از دستگاه

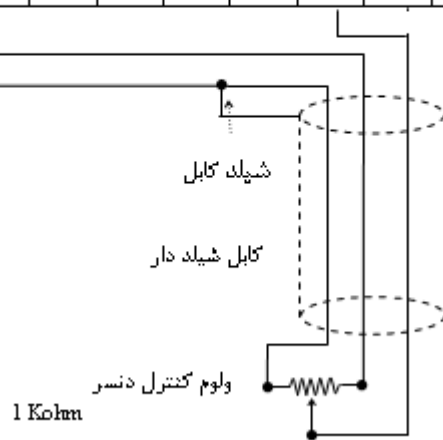
در صورتیکه بخواهید پانل کنترل دستگاه را بر روی یک تابلو کنترل جداگانه نصب نمائید تا از طریق آن دستگاه کنترل شود، می توانید از پانل آداپتور استفاده نمائید. در اینصورت پانل آداپتور بجای پانل کنترل بر روی دستگاه کنترل دور نصب می شود و پانل کنترل از طریق یک ریبون (که حداکثر می تواند یک متر باشد) به کانکتور روی پانل آداپتور اتصال می یابد. به شکل 15-6 توجه نمائید.
پانل آداپتور را می توانید از شرکت پرتو صنعت تهیه نمائید.

شکل 15-6 : طرز اتصال پانل آداپتور به

طرز اتصال دنسر به دستگاه

برای اتصال دنسر به دستگاه مطابق نقشه شکل زیر عمل نمائید:

485+	485-	G24	STOP	DOWN	RRUN	UP/+P	INH	LRUN	+24	FNO	RC	ENO	FM	TAC	MS	AGND
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17



طرز اتصال ولوم کنترل دسر به دستگاه

در اتصال ولوم کنترل دسر به دستگاه به نکات زیر توجه نمائید:

الف- کابل ولوم حتماً شیلددار باشد و شیلد از طرف ترمینال به **G24** متصل شود.

ب- نقطه تعادل دسر حدود $2.5 V$ می باشد و در این حالت ولتاژ **TAC** نسبت به **G24**، $2.5 V$ می شود.

ج- هنگامیکه ولتاژ **TAC** نسبت به **G24** کمتر از $2.5 V$ شود دور شروع به زیاد شدن می نماید. و هنگامیکه ولتاژ

TAC نسبت به **G24** بیشتر از $2.5 V$ شود، دور شروع به کاهش می نماید.

د- **POT1** جهت تنظیم سرعت انتگرال گیری می باشد. تغییرات سرعت دستگاه را می توان کندتر و یا تندتر نمود.

ه- **POT2** جهت از بین بردن نوسانات دسر می باشد.

POT1 و **POT2** در شکل زیر که نمای کناره برد میکرو می باشد نمایش داده شده است.

۱۲. منابع

F1- مهندس محمد مهدی کاظمی مقدم ، " کنترل و حفاظت الکتروموتورها " ، مرکز تحقیقات وزارت نیرو ، 1380.

F2- دکتر هاشم اورعی، "بهینه سازی مصرف انرژی در الکتروموتورهای صنعتی" مرکز تحقیقات نیرو، 1373.

F3 - کاظم دولت آبادی، "ارزیابی و انتخاب درایو *Medium Voltage*"، شرکت پرتو صنعت، 1382.

1. <http://www.partosanat.com>

2. <http://www.vacon.com>

