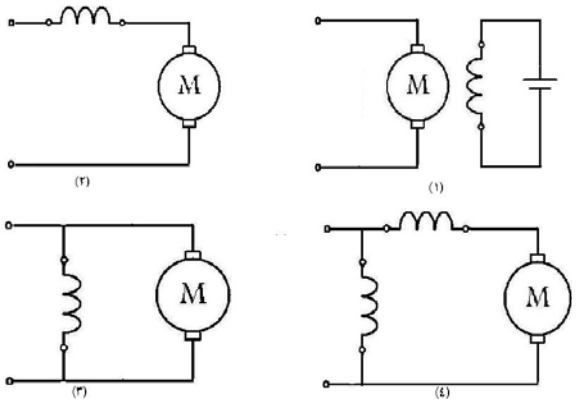
فصل اول
موتورها و درایوهای جریان مستقیم DC

1-1- موتورهای DC

محرکه‌های DC بطور وسیع در کاربردهایی که به سرعت متغیر قابل کنترل، تنظیم مناسب 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 شکل (1-1) مدار معادل موتورهای DC که معمولاً بکار می‌روند نشان داده 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 کمپوند 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

1) موتور تحریک جداگانه 2) موتور با تحریک سری 3) موتور با تحریک شنت 4) موتور کمپوند

1-1-1- روابط سرعت-گشتاور موتورهای DC در حالت دائمی

مدار معادل آرمیچر یک موتور dc در حالت دائمی در شکل (1-2) 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:

$$E = K_e \varphi \omega_m \qquad (1-1)$$

$$V = E + R_a I_a \qquad (1-2)$$

$$T = K_e \varphi I_a \qquad (1-3)$$

که

φ = شار مغناطیسی هر قطب بر حسب وبر، web

I_a = جریان آرمیچر، A

V = ولتاژ آرمیچر، V

R_a = مقاومت مدار آرمیچر، Ω

ω_m = سرعت آرمیچر، rad/s

T = گشتاور حاصله موتور، N.m

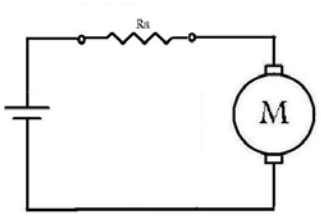
k_e = ضریب ثابت

از معادلات (1-1) تا (1-3)

$$\omega_m = \frac{V}{K_e\varphi} - \frac{R_a I_a}{K_e\varphi} \qquad (1-4)$$

$$= \frac{V}{K_e\varphi} - \frac{R_a}{(K_e\varphi)^2} T \qquad (1-5)$$

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



شکل (1-2): مدار معادل آرمیچر یک موتور dc در حالت دائمی

1-1-2- موتورهای تحریک جداگانه

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

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

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

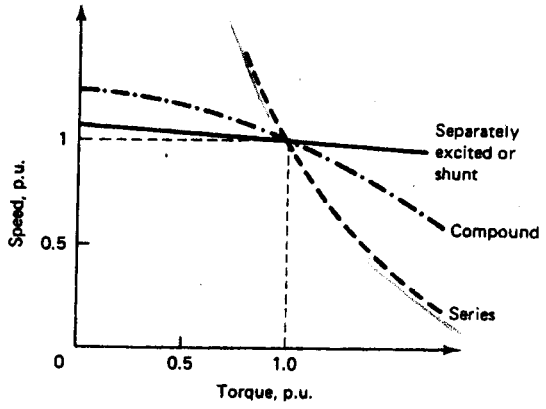
$$T = K I_a \qquad (1-7)$$

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

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

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

بنابراین، مشخصه سرعت-گشتاور یک موتور dc تحریک جداگانه یک خط راست است، همانگونه که در شکل (1-3) نشان داده شده است. سرعت بی‌باری ω_{m0} براساس مقادیر ولتاژ آرمیچر و تحریک تعیین می‌شود.



شکل (1-3): مشخصه‌های سرعت-گشتاور موتورهای dc

با افزایش گشتاور، سرعت کاهش می‌یابد و تنظیم سرعت به مقاومت مدار آرمیچر بستگی دارد (معادله (1-10)). در عمل، بواسطه عکس‌العمل آرمیچر، حتی در شرایطی که جریان تحریک ثابت نگاه داشته می‌شود شار مغناطیسی با افزایش گشتاور کاهش می‌یابد. لذا کاهش در سرعت کمتر از مقداری است که توسط معادله (2-10) داده می‌شود. در مقادیر بزرگ گشتاور، ممکن است شار تا حدی تضعیف گردد و شیب مشخصه مثبت شود، که نتیجه آن ناپایداری کار موتور است. در چنین وضعیتی، یک تحریک سری اضافی نسبتاً ضعیف برای کاهش اثر ضدمغناطیسی عکس‌العمل آرمیچر بکارگرفته می‌شود. در موتورهای با قدرت متوسط، افت سرعت از بی باری تا بار کامل معمولاً در

حدود 5 درصد است. در کاربردهایی که به تنظیم خوب سرعت و کنترل وسیع سرعت نیاز دارند، از موتورهای dc تحریک جداگانه استفاده می‌شود.

1-1-3- موتورهای سری

در موتورهای سری، شار تابعی از جریان آرمیچر است. در ناحیه غیراشباع مشخصه مغناطیسی، می‌توان φ را متناسب با I_a در نظر گرفت، لذا،

$$\varphi = K_f I_a \qquad (11-1)$$

با جایگزینی در معادلات (1-1)، (1-4) و (1-5) معادلات زیر بدست می‌آیند:

$$T = K_e K_f I_a^2 \qquad (12-1)$$

$$\omega_m = \frac{V}{K_e K_f I_a} - \frac{R_a}{K_e K_f} \qquad (13-1)$$

$$= \frac{V}{\sqrt{K_e K_f}} \frac{1}{\sqrt{T}} - \frac{R_a}{K_e K_f} \qquad (14-1)$$

که در اینجا ، مقاومت مدار آرمیچر، مجموع مقاومتهای سیم‌پیچی آرمیچر و سیم‌پیچی تحریک است.

در شکل (1-3) 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 بنابراین، افزایش در شار همراه است. چون شار با گشتاور زیاد می‌شود، بایستی سرعت افت کند 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 نقطهٔ زانوی مشخصه مغناطیسی کار می‌کند. در اضافه بارهای با گشتاور سنگین، مدار مغناطیسی به اشباع می‌رود و منحنی سرعت-گشتاور به خط راست نزدیک می‌شود.

موتورهای سری برای کاربردهایی که با گشتاور راه‌اندازی بالا و اضافه بارهای با گشتاور سنگین مواجه هستند، مناسب می‌باشند. با افزایش گشتاور، شار هم افزایش می‌یابد، 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 گشتاورسنگین، اضافه باری روی منبع و اضافه باری حرارتی موتور تا مقادیر قابل قبول محدود باقی می‌ماند.

براساس معادله (1-14)، سرعت با عکس جذر گشتاور متناسب است. لذا سرعت با کاهش گشتاور افزایش می‌یابد. بطور کلی، تحمل مکانیکی یک موتور dc بحدی است که اجازه می‌دهد 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 محرکه‌هایی کاربرد دارند که راه‌اندازیها و اضافه بارهای مکرر داشته و گشتاور هیچگاه به زیر حد مجاز افت نمی‌کند.

1-1-4- موتورهای کمپوند

معادلات کاری یک موتور کمپوند با شار اضافی از معادلات (1-1) تا (1-3) بدست می‌آیند. مشخصه سرعت-گشتاور آن در شکل (1-3) رسم شده است. سرعت بی‌باری به شدت میدان تحریک شنت و افت سرعت به شدت میدان تحریک سری بستگی دارند. سرعت بی‌باری و افت سرعت با انتخاب مناسب شدت نسبی دو میدان تعیین می‌شوند. موتورهای کمپوند با شار اضافی در کاربردهایی استفاده می‌شوند که به مشخصه‌ای مشابه مشخصه موتور سری نیاز داشته باشند و همزمان با آن سرعت بی باری نیز به یک حد مطمئن محدود شود، برای مثال در بالابرها. همچنین در مصارفی که بار بطور متناوب از بی باری تا بار خیلی سنگین تغییر می‌کند استفاده می‌شوند. در این کاربردها، یک چرخ طیار روی محور موتور نصب می‌شود. طی مرحله بارگیری سنگین، افت شدید سرعت رخ می‌دهد و بنابراین، مقدار بزرگی از گشتاور مورد نیاز بار از انرژی ذخیره شده در چرخ طیار تامین می‌شود. انرژی از دست رفته توسط چرخ طیار مجدداً در طی یک دورهٔ بی باری یا بار سبک بوسیلهٔ موتور تامین می‌شود. با استفاده از این روش، می‌توان از موتور با اندازهٔ کوچکتر استفاده نمود. یک ماشین پرس نمونه‌ای ازاین کاربرد می‌باشد.

مشخصه‌های نشان داده شده در شکل (1-3) مشخصه‌های سرعت-گشتاور طبیعی نامیده می-شود، زیرا در شرایطی که موتور با ولتاژ و شار نامی کار می‌کند و هیچ مقاومت خارجی به آرمیچر یا تحریک اضافه نشده است، بدست آمده‌اند.

1-2- روشهای کنترل سرعت

رابطهٔ سرعت-گشتاور موتورهای dc ، معادله (1-5)، نشان می‌دهد که سرعت را می‌توان با هر کدام از روشهای زیر کنترل نمود:

1- کنترل ولتاژ آرمیچر
2- کنترل شار میدان
3- کنترل مقاومت آرمیچر

1-2-1- کنترل ولتاژ آرمیچر

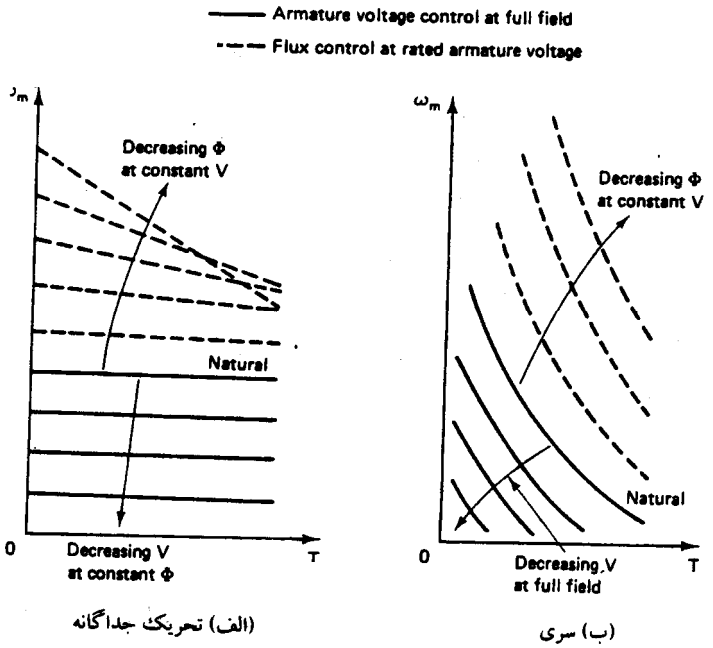
اگر ولتاژ آرمیچر یک موتور dc تحریک جداگانه یا تحریک سری که در یک سرعت پایدار کار می‌کند به مقدار کمی کاهش یابد,آنگاه مطابق شکل (1-2) جریان آرمیچر, و در نتیجه گشتاور موتور کاهش خواهند یافت. چون گشتاور موتور از گشتاور بار کوچکتر می‌شود، شتاب موتور منفی خواهد شد، که منجر به کاهش سرعت و ولتاژ القایی خواهد شد. در نهایت موتور در سرعتی کمتر که در آن گشتاور موتور و بار برابر هستند مستقر می‌شود. اگر ولتاژ آرمیچر یک موتور تحریک جداگانه به مقدار زیادی کاهش یابد، ممکن است از ولتاژ ضدمحرکه 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 پله‌ای بزرگی داشته باشد، موتور به صورت ژنراتور کار نمی‌کند و کاهش سرعت 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 می‌کند، افزایش یابد، براساس معادلات (1-2) و (1-3)، جریان آرمیچر و بنابراین گشتاور موتور افزایش خواهند یافت و موتور شتاب خواهد گرفت، و نتیجتاً سرعت موتور و نیروی ضدمحرکه افزایش خواهند یافت. در نهایت موتور در سرعتی بالاتر که در آن گشتاور موتور با بار برابر می‌شود مستقر خواهد شد.

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

مشخصه‌های سرعت-گشتاور حالت دائمی موتورهای dc تحریک جداگانه و سری برای مقادیر مختلف ولتاژ آرمیچر با خطوط تو پر به ترتیب در اشکال 1-4-الف و 1-4-ب نشان داده شده‌اند. با کاهش ولتاژ آرمیچر، موتور می‌تواند بر روی هر کدام از منحنی‌ها که بین منحنی سرعت-گشتاور طبیعی و محور گشتاور قرار دارد، کار کند. برای یک موتور تحریک جداگانه، سرعت بی‌باری نیز تغییر می‌کند و مشخصه‌های سرعت-گشتاور برای ولتاژهای مختلف خطوط موازی هستند. چون ولتاژآرمیچررا نمی‌توان از مقدار نامی بیشتر نمود، این روش کنترل سرعت فقط برای کار موتور در زیر مشخصه سرعت-گشتاور طبیعی به کار می‌رود.

ویژگی مهم این روش کنترل سرعت آنست که شکل و شیب مشخصه‌های سرعت-گشتاور با تغییر سرعت عوض نمی‌شوند. با این روش، یک محرکه با گشتاور ثابت بدست می‌آید چونکه

حداکثر جریان مجاز آرمیچر، و بنابراین، حداکثر ظرفیت گشتاور موتور برای تمام سرعتها ثابت باقی می‌ماند.



شکل (1-4): منحنی‌های سرعت-گشتاور موتورهای تحریک جداگانه و سری

ولتاژ DC متغیر با استفاده از مبدلهای نیمه‌هادی بصورت زیر می‌تواند بدست آید:

1- یکسو کننده کنترل شده (یا مبدل AC به DC)

2- برشگر (یا چاپر DC به DC)

1-2-2- کنترل میدان

اگر در یک موتور تحریک جداگانه یا سری که در سرعت خاصی می‌چرخد، میدان تضعیف شود، نیروی ضد محرکه القایی آن کاهش می‌یابد. 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 ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد به نحویکه از گشتاور بار بیشتر می‌شود. فزونی گشتاور موتور بر گشتاور بار موجب شتابگیری موتور و افزایش ولتاژ القایی آرمیچر می‌شود.

در حالیکه میدان موتور تضعیف شده نهایتاً موتور در سرعتی بالاتر از سرعت قبل مستقر می‌شود، که در آن گشتاور موتور با گشتاور بار برابر است. هر تضعیف شدیدی در میدان منجر به ایجاد جریان هجومی خطرناکی می‌شود. لذا تضعیف میدان بایستی به آرامی و به تدریج انجام شود.

از طرف دیگر، هنگامیکه میدان یک موتور تحریک جداگانه زیاد می‌شود، ولتاژ القایی افزایش می‌یابد و اغلب از ولتاژ منبع بیشتر می‌شود. پس جریان آرمیچر نه فقط کاهش می‌یابد بلکه جهت آن نیز اغلب عوض می‌شود. در این حالت موتور همانند یک ژنراتور کار می‌کند و به منبع انرژی می-دهد.

این انرژی از انرژی جنبشی موتور و بار گرفته می‌شود. یک کاهش سریع در سرعت رخ می‌دهد و نهایتاً موتور در یک سرعت جدید، کمتر از سرعت قبل، مستقر می‌شود که در آن گشتاور موتور و بار برابر هستند.

در موتور سری افزایش میدان، جریان آرمیچر را به نسبت بیشتری افزایش می‌دهد (اما جهت آن عوض نمی‌شود). چون گشتاور موتور از گشتاور بار کمتر است، سرعت موتور کم می‌شود و نهایتاً در سرعتی پایینتر مستقر می‌شود که در آن گشتاور موتور و بار با هم برابر هستند.

مشخصه‌های سرعت- گشتاور حالت دائمی موتورهای تحریک جداگانه و سری در شار کاهش یافته با خطوط نقطه‌چین به ترتیب در اشکال 1-4-الف و 1-4-ب نشان داده شده‌اند. در یک شار تضعیف شده، برای یک افزایش معین در گشتاور، جریان آرمیچر و بنابراین، سرعت نیز به نسبت بیشتری افزایش می‌یابند. نتیجتاً, نیروی ضدمحرکه القایی, و بنابراین سرعت نیز به نسبت بیشتری افت می‌کنند. پس هرچه شار کمتر باشد، یک کاهش در شار ممکن است حتی منجر به کاهش در سرعت بشود(شکل 1-4-الف).

در مورد یک موتور شنت، کمترین سرعت قابل حصول متناظر با حداکثر تحریک و بدون حضور هیچ مقاومت خارجی در مدار تحریک است. در مورد یک موتور تحریک جداگانه، کمترین سرعت توسط گرمای تولید شده در سیم‌بندی تحریک و اشباع مدار مغناطیسی معین می‌شود. چون در تحریک کامل، ماشینهای جدید در مقدار قابل ملاحظه‌ای از اشباع مدار مغناطیسی کار می‌کنند، سرعت فقط به مقدار کمی در زیر مشخصه سرعت-گشتاور طبیعی می‌تواند کاهش یابد. حداکثر سرعت توسط ناپایداری موتور ناشی از اثر ضد مغناطیسی عکس‌العمل آرمیچر در یک میدان ضعیف و همچنین تحمل مکانیکی موتور محدود می‌شود. در موتورهای dc با طراحی عادی، رساندن سرعت به 1/5 تا 2 برابر سرعت نامی و در موتورهای با طراحی مخصوص، رساندن به 6 برابر سرعت نامی امکانپذیر است. برای جلوگیری از ناپایداری، در موتورهای تحریک جداگانه از یک سیم‌بندی 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 میدانهای موتورهای تحریک جداگانه و شنت، یک کنترل در توان ثابت فراهم می‌آورد، چونکه حداکثر توان موتور در تمامی سرعتها تقریباً ثابت باقی می‌ماند. فرض می‌شود که حداکثر جریان مجاز آرمیچر I_{amax} هنگامیکه میدان تضعیف می‌شود، عوض نمی‌شود. در جریان آرمچیر با I_{amax} ، ولتاژ ضدمحرکه القایی E در تمام سرعتها به علت ثابت بودن ولتاژ تغذیه در مقدار V، ثابت باقی می‌ماند. در نتیجه حداکثر توان حاصله موتور $E\ I_{amax}$ در تمامی محدودهٔ سرعت ثابت باقی می-ماند و حداکثر گشتاور بطور معکوس با سرعت تغییر می‌کند.

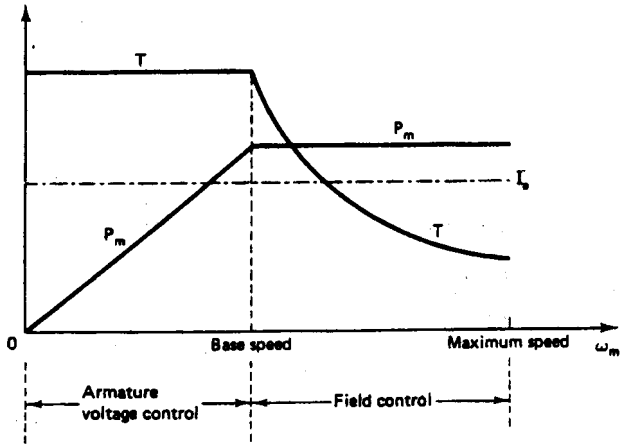
این فرض که حداکثر جریان مجاز آرمیچر با کاهش شار عوض نمی‌شود، بطور تقریبی قابل قبول است. زیرا عکس‌العمل آرمیچر در شرایطی که شار اصلی کاهش می‌یابد بنحو موثرتری بر شار تاثیر می‌گذارد، بنابراین حداکثر جریانی که موتور می‌تواند عبور دهد بدون آنکه در کموتاتور آن جرقه ایجاد شود کاهش می‌یابد، و موجب کاهش حداکثر توان مجاز تولیدی در سرعتهای بالا می‌شود.

در یک موتور تحریک جداگانه، کنترل شار با تغییرات ولتاژ سیم‌پیچی تحریک توسط یک یکسو کننده قابل کنترل یا یک برشگر، بسته به اینکه منبع موجود ac یا dc باشد، انجام می‌شود. موتورهای با اندازهٔ کوچک به صورت شنت بسته می‌شوند، و تغییرات شار با وارد کردن یک مقاومت متغیر در مدار تحریک بدست می‌آید. در یک موتور سری، کنترل شار با اتصال یک مقاومت انشعابی(divertor) به دو سر سیم‌پیچی تحریک حاصل می‌شود. در برخی از موتورهای سری، این امکان وجود دارد که با تغییر تعداد دور سیم‌پیچی تحریک، شار را کنترل نمود.

1-2-3- ترکیب روشهای کنترل ولتاژ آرمیچر و میدان

در محرکه‌هایی که کنترل سرعت در محدوده‌ای 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 بدست می‌آید. و در این محدودهٔ سرعت، میدان در مقدار نامی خودثابت نگاه داشته می‌شود. سرعتهای بالاتر از سرعت مبنا با روش کنترل ولتاژ آرمیچر نمی‌توانند بدست آیند چونکه ولتاژ آرمیچر موتور نبایستی از مقدار نامی بیشتر شود. بنابراین، سرعتهای بالاتر از

سرعت مبنا با روش کنترل میدان بدست می‌آیند مشروط بر آنکه گشتاور مورد نیاز بار در این سرعتها با گشتاور کاهش یافته موتور تطبیق داشته باشد. شکل (1-5) تغییرات گشتاور و قدرت محرکه برای روش کنترل ترکیبی در سرعتهای پایینتر و بالاتر از سرعت مبنا را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل دیده می‌شود، مقدار نامی جریان آرمیچر برای تمامی محدودهٔ سرعت ثابت فرض شده است.



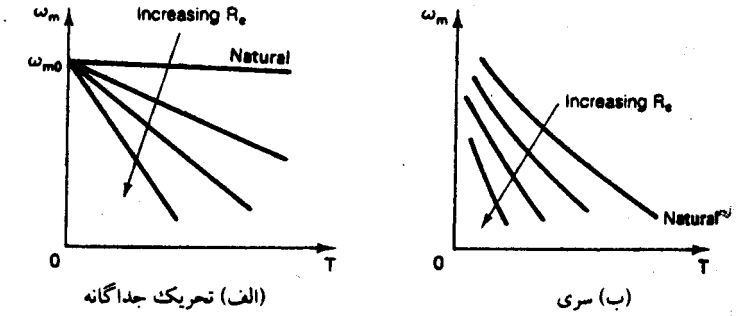
شکل (1-5): محدوده‌های گشتاور و قدرت در روش کنترل ترکیبی ولتاژ آرمیچر و میدان

فقط در مواردی که محرکه‌های چند موتوره از یک منبع مشترک برای تغذیه آرمیچر استفاده می‌کنند از روش کنترل میدان در زیر سرعت مبنا استفاده می‌شود.

1-2-4- کنترل مقاومت آرمیچر

مشخصه‌های سرعت-گشتاور موتورهای تحریک جداگانه (یا شنت) و تحریک سری برای مقادیر مختلف مقاومت خارجی سری شده با آرمیچر به ترتیب در شکلهای 1-6-الف و 1-6-ب نشان داده شده‌اند.

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



شکل(1-6): منحنی‌های سرعت-گشتاور موتورهای dc با کنترل مقاومت آرمیچر

شکل 1-6-الف نشان می‌دهد که در روش کنترل آرمیچر شکل منحنی‌های سرعت- گشتاور در یک موتور تحریک جداگانه (یا شنت) از حالت سرعت تقریباً ثابت برای تمام گشتاورها به یک حالت سرعت متغیر عوض می‌شود. به همین دلیل و به سبب بازدهی کم، از این روش برای کنترل موتورهای تحریک جداگانه بندرت استفاده می‌شود مگر برای رسیدن به سرعتهایی که برای لحظات بسیار کوتاه ضروری باشند.

برای محرکه‌هایی که در سرعتهای پایین و به صورت تکراری و کوتاه مدت کار می‌کنند، کاهش بازدهی کل محرکه زیاد نخواهد بود. به دلیل سادگی و پایین بودن هزینه اولیه، این روش برای محرکه‌هایی با کار تکراری کوتاه مدت که از موتورهای سری استفاده می‌کنند کاملاً مناسب و اقتصادی است.

1-3- راه‌اندازی موتور DC

حداکثر جریانی که از یک موتور dc در حالتهای گذرای کوتاه‌مدت می‌تواند عبور کند، جریانی است که یک کموتاسیون بدون جرقه داشته باشد.از نقطه نظر تئوری، با بکارگیری سیم‌پیچیهای جبرانساز در تمامی مقادیر سرعت و جریان می‌توان ولتاژهایی را که با کموتاسیون جریان مخالفت

کرده و ایجاد جرقه می‌کنند، به طور کامل حذف نمود. اما در عمل مشاهده شده است که با افزایش مقدار جریان، حذف کامل انجام نمی‌شود و با عبور جریان از یک حد معین، جرقه پدیدار می‌شود. در ماشینهای بدون جبرانساز، جریان به دو برابر جریان نامی و در ماشینهای با طراحی مخصوص و دارای جبرانسازجریان به 3/5 برابر جریان نامی می‌تواند افزایش یابد.

اگر موتور با ولتاژ نامی راه‌اندازی شود، برای یک موتور با اندازهٔ متوسط، جریان به حدود 20 برابر جریان نامی خواهد رسید. جریانی به این بزرگی منجر به جرقه‌های شدی در کموتاتور و افزایش بیش از حد درجه حرارت در سیم‌پیچهای موتور شده و به آن آسیب می‌رساند. بنابراین محدود نمودن جریان به یک حد بدون خطر در زمان راه‌اندازی ضروری می‌شود. اینکار با کاهش ولتاژ دو سر موتور در لحظه راه‌اندازی و افزایش تدریجی آن با سرعت گرفتن موتور حاصل می‌شود. ولتاژ موتور با کاهش ولتاژ منبع یا با ایجاد افت قسمتی از ولتاژ منبع بر روی یک مقاومت سری شده با موتور، انجام می‌شود. در کاربردهایی که به سرعت قابل تنظیم نیاز دارند، یک کنترل کننده برای کنترل سرعت موتورفراهم می‌شود. همین کنترل کننده برای محدود نمودن جریان موتور در مدت راه‌اندازی می‌تواند بکار گرفته شود. در مواردیکه کنترل سرعت ضروری نیست، برای محدود نمودن جریان ازیک راه‌اندازاستفاده می‌شود. در مواردیکه راه‌اندازی مکرر لازم نیست، با قرار دادن یک مقاومت اضافی چندین قسمتی در مدار آرمیچر و خروج تدریجی آن از مدار بنحوی که جریان موتور از حد سالم و بی‌خطر بیشتر نشود و در ضمن گشتاور تولیدی موتور همواره از گشتاور بار بزرگتر بماند، راه‌اندازی انجام می‌شود. این روش بطور گسترده بکار گرفته می‌شود.

4-1- ترمز الکتریکی در موتور DC

در ترمز الکتریکی، موتور بصورت یک ژنراتور کار می‌کند و گشتاوری با علامت منفی تولید می‌کند. ترمز الکتریکی به دلایل زیر ممکن است لازم باشد:

1- اگر یک موتور در حال چرخش از منبع جدا شود تنها گشتاور مقابله کننده با چرخش آن گشتاور بار T_l خواهد بود و پس از آنکه انرژی جنبشی ذخیره شده در اینرسی آن بطور کامل از بین رفت خواهد ایستاد. در حالتی که گشتاور بار کوچک است یا اینرسی موتور- بار بزرگ است، مدت زمان ایست کامل بایستی کاهش یابد که اینکار با اعمال گشتاور مخالف اضافی بوسیله ترمز الکتریکی انجام می‌شود.

2- در برخی کاربردها نظیر کاربردهای کششی دز شرایط اضطراری برای جلوگیری از بروز حادثه توقف سریع الزامی است و ترمز الکتریکی برای ایجاد ترمز سریع و یکنواهت بکار می‌رود.

3- کاربردهایی وجود دارند که در آنها توقف دیقیق لازم است، همچون بالابرها، ماشینهای ابزار، کنترل موقعیت قالبهای ریخته‌گری و مکانیزم پیچاندن ورقهای فلزی در کاربردهای نورد. ترمز الکتریکی، امکان توقفهای دقیق را بدون آنکه بخشهای مکانیکی در معرض تنشهای بزرگ ناخواسته قرار بگیرند فراهم می‌آورد.

4- در کاربردهای خاص که شامل بارهای فعال هستند، سرعت محرکه در صورت عدم استفاده از ترمز الکتریکی ممکن است به مقادیر خطرناکی برسد. برای مثال در جرثقیلهای الکتریکی در زمانیکه بار به سمت پایین حرکت می‌کند، موتور بایستی یک نیروی ترمزی برای نگه داشتن سرعت در محدودهٔ مجاز فراهم آورد. به همین ترتیب هنگامیکه یک قطار در سرازیری حرکت می‌کند یک نیروی ترمزی برای محدود نگه داشتن ترمز قطار لازم است.

نیروی ترمزی با استفاده از ترمزهای مکانیکی نیز بدست می‌آید. اما در این ترمزها مشکلات فرسایش و اصطکاک در بخشهای مکانیکی وجود دارد، و حالت ترمزی ملایمی وجود ندارد. همچنین با بکارگیری ترمز ژنراتوری بجای اتلاف انرژی (که بخصوص در ترمزهای مکانیکی وجود دارد) می‌توان آنرا بنحو مفید مورد استفاده قرار داد.

طی مرحله ترمزی، موتور به صورت ژنراتوری عمل می‌کند. با جهت نشان داده شده برای جریان در مدار معادل حالت دائمی شکل (1-2) ماشین گشتاوری را در جهت مثبت تولید می‌کند و انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند، که توسط بار جذب می‌شود. اگر بطریقی جهت جریان آرمیچر عوض شود، در حالیکه جهت شار ثابت باقی بماند، گشتاور موتور معکوس شده و ماشین با دریافت انرژی مکانیکی از بار و تبدیل آن به انرژی الکتریکی بصورت یک ژنراتور کار خواهد کرد. انرژی مکانیکی از بار یا از انرژی ذخیره شده در اینرسی سیستم موتور یا از گشتاور فعال بار بدست می‌آید. عمل ترمزی بر حسب اینکه انرژی الکتریکی تولید شده چگونه بکار گرفته شود دسته‌بندی می‌شود. سه روش ترمز برای یک موتور dc وجود دارد.

1- ترمز ژنراتوری(Regenerative braking)

2- ترمز دینامیکی یا ترمز رئوستایی(Dynamic braking)

3- ترمز با اعمال ولتاژ معکوس (Plugging)

1-5- خلاصه ای از درایو موتورهای DC

1-5-1- مشخصات

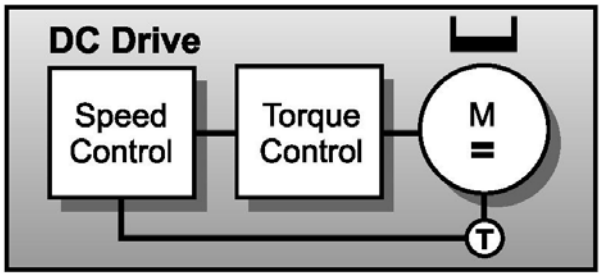
مشخصات سیستمهای درایو DC عبارتند از:

- جهت میدان مغناطیسی بوسیلهٔ کموتاتورهای مکانیکی ثابت نگه داشته می‌شود.

- متغیرهای کنترلی (جریان آرمیچر و جریان میدان) مستقیماً اندازه‌گیری می‌شوند.
- کنترل گشتاور به صورت مستقیم انجام می‌پذیرد.

در یک موتور DC، میدان بوسیلهٔ عبور جریان از سیم‌پیچهای استاتور حاصل می‌شود. این میدان همواره بر میدان حاصل از عبور جریان از هادیهای روتور عمود است. این شرط، برای حصول گشتاور ماکزیمم یک ضرورت محسوب می‌شود. جاروبکها و کموتاتورها تضمین می‌کند این شرایط مستقل از موقعیت روتور، همواره ثابت نگه داشته می‌شود.

پس از تعیین و تثبیت جهت میدان با تغییر جریان آرمیچر گشتاور موتور DC به سادگی کنترل می‌شود. مزیت بکارگیری درایوهای DC آنست که بوسیله کنترل جریان آرمیچر سرعت و گشتاور بصورت مستقیم کنترل می‌شوند. شکل (1-7) وضعیت کنترل سرعت و گشتاور را در موتور DC نمایش می‌دهد. ملاحظه می‌شود که گشتاور بوسیلهٔ یک حلقه داخلی و سرعت بوسیلهٔ یک حلقه خارجی کنترل می‌گردد.



شکل (1-7): کنترل حلقه بسته سرعت یک موتور DC

یک موتور DC قادر است گشتاوری با مشخصات زیر تولید کند:

گشتاور مستقیم

چون گشتاور یک موتور DC با جریان آرمیچر آن متناسب است، پس می‌توان مستقیماً و با دقت بالا گشتاور آنرا کنترل نمود.

گشتاور سریع

پاسخ دینامیکی موتورهای DC بسایر سریع می‌باشد. همچنین گشتاور این موتورها را می‌توان به طورلحظه‌ای با استفاده از یک منبع جریان تغییر داد. استفاده از منبع ولتاژ نیز سرعت قابل قبولی را در اختیارمی‌گذارد. در این حالت ثابت زمانی روتور (که از مقاومت آرمیچر و کل اندوکتانس مسیر عبور جریان متاثر است) دخالت دارد.

کنترل ساده

از آنجا که تعیین جهت میدان مغناطیسی بوسیلهٔ کموتاتورهای مکانیکی صورت می‌پذیرد نیازی به استفاده از مدارات پیچیده الکترونیکی برای ثابت نگه داشتن میدان نیست. البته برای ثابت نگه داشتن جهت میدان مغناطیسی تحت شرایط مختلف و حذف اثر عکس‌العمل آرمیچر استراتژی‌های جانبی دیگری نیز باید درنظر گرفته شود.

1-5-2- معایب

اما موتورهای DC دارای معایبی نیز هستند که برخی از آنها عبارتند از:

- قابلیت اطمینان موتور نسبتاً کم است
- سرویس و نگهداری این موتورها پرهزینه است
- هزینهٔ خریداری موتور زیاد است
- برای محیطهای قابل اشتعال غیر قابل استفاده هستند
- بعنوان فیدبک سرعت به انکودر (Encoder) نیاز دارند

1-5-3- وضعیت درایوهای DC در بازار

بطور مرسوم، برای کاربردهایی که به کنترل سرعت و گشتاور دقیق نیاز دارند, هزینهٔ کمتر درایوهای DC در مقایسه با درایوهای AC بسیار مهمتر از هزینهٔ بالاتر موتورهای DC در مقایسه با موتورهای AC ، بوده است. اما همچنانکه تکنولوژی درایو AC پیشرفت می‌کند، تمایل به استفاده از این درایوها کمتر می‌شود. توسعهٔ کنترل برداری، به درایوهای AC اجازه می دهد تا در کاربردهایی با دقت عمل بالا که در آن کنترل سرعت یا گشتاور با دقت بالا مورد نیاز است، به کار برده شوند . همچنین هزینهٔ در حال کاهش VSD های AC بدان معناست که درایوها و موتورهای AC به عنوان استاندارد معین شده‌اند. بازار درایوهای DC، بی تحرک و ایستا مانده است، اما همچنان در موارد زیادی موتورهای جریان مستقیم کاربرد دارند و محصولات متنوعی از طرف سازندگان به بازار ارائه می‌گردد.