فصل دوم:
درایو موتورهای DC

- مروری بر موتورهای DC
- روشهای کنترل سرعت موتورهای DC
- کنترل موتورهای DC با استفاده از یکسوسازها (مبدلهای AC/DC)
- کنترل موتورهای DC با استفاده از چاپرها (مبدلهای DC/DC)
- کنترل حلقه بسته درایوهایDC

❑ مروری بر موتورهای DC

➢ مقدمه

❖ علل استفاده زیاد از محرکه‌های DC:

- ✓ سهولت در کنترل سرعت
- ✓ تنظیم سرعت مناسب
- ✓ سهولت دستیابی به عملکرد ترمزی، تغییر جهت گردش
- ✓ دارا بودن گشتاور نرم در بازه وسیعی از سرعت

❖ کاربردهای مهم محرکه‌های DC:

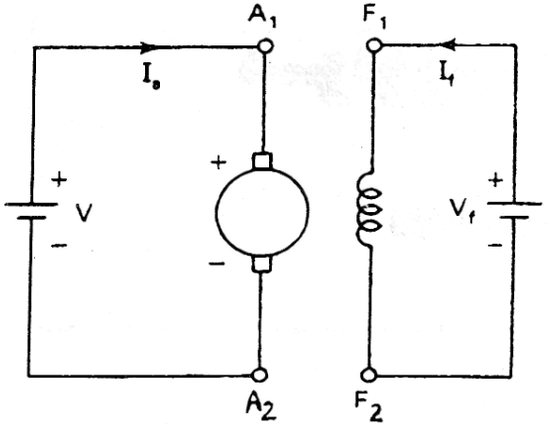
- ✓ غلطک‌های نورد در صنایع فولاد
- ✓ غلطک‌های کاغذ
- ✓ ماشین‌های ابزار
- ✓ موتورهای کششی نظیر قطارها، اتوبوس ها

❖ موتورهای DC مورد مطالعه در این درس:

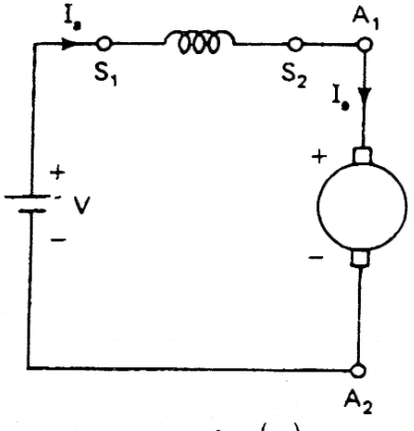
- ✓ موتور DC تحریک مستقل
- ✓ موتور DC تحریک سری

❑ مروری بر موتورهای DC

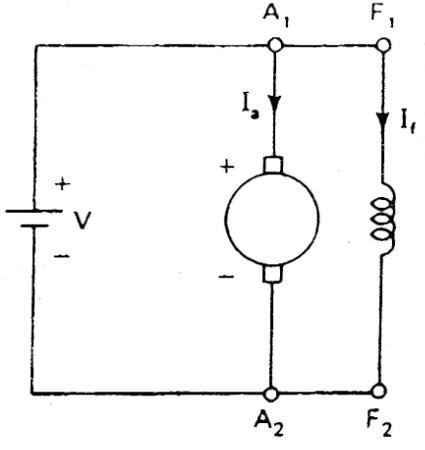
➢ انواع موتورهای DC متداول



(الف) تحریک جداگانه



(ج) سری



(ب) شنت

➢ معادلات سرعت – گشتاور موتور DC در حالت دائمی

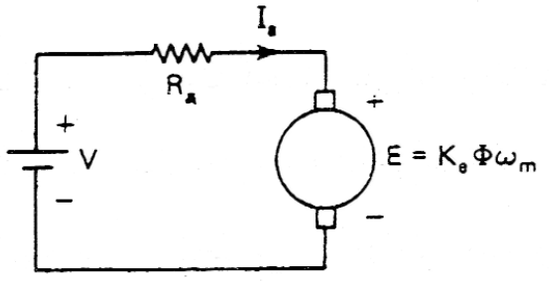
$$E = K_e \phi \omega_m \qquad (۱)$$

$$V = E + R_a I_a \qquad (۲)$$

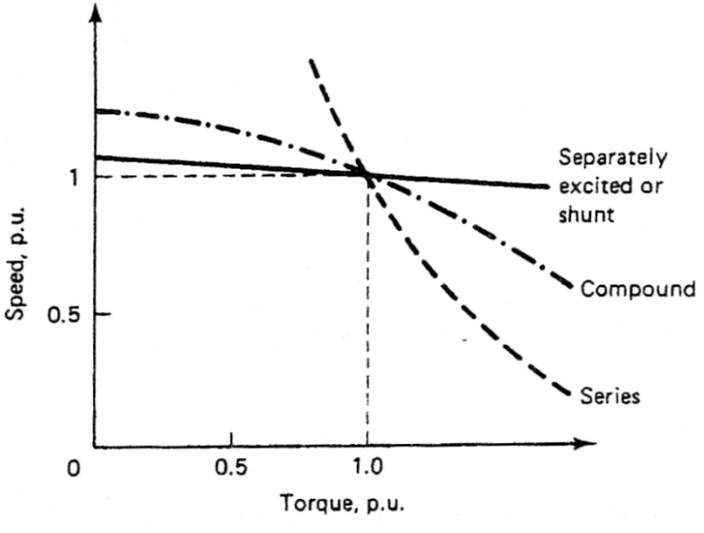
$$T = K_e \phi I_a \qquad (۳)$$

$$\omega_m = \frac{V}{K_e \phi} - \frac{R_a I_a}{K_e \phi} \qquad (۴)$$

$$= \frac{V}{K_e \phi} - \frac{R_a}{(K_e \phi)^2} T \qquad (۵)$$



مدار معادل آرمیچر موتور DC در حالت دائمی



مشخصه‌های سرعت-گشتاور انواع موتورهای DC

➢ معادلات حالت دائمی سرعت – گشتاور موتور DC تحریک مستقل

✓ در موتور تحریک جداگانه، اگر ولتاژ تحریک ثابت نگهداشته شود، می توان شار را ثابت فرض نمود. لذا اگر:

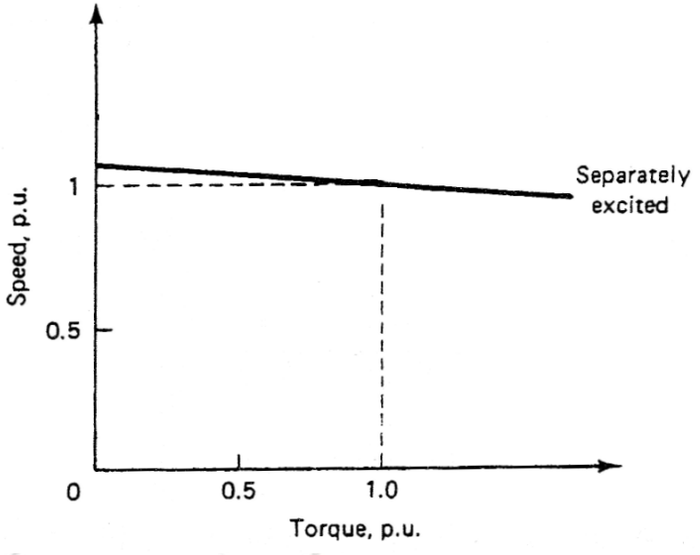
$$K_e \phi = K(\text{ثابت}) \qquad (۶)$$

$$T = K_e \phi I_a \quad \Rightarrow \quad T = K I_a \qquad (۷)$$

$$E = K_e \phi \omega_m \quad \Rightarrow \quad E = K \omega_m \qquad (۸)$$

$$\omega_m = \frac{V}{K} - \frac{R_a}{K} I_a \qquad (۹)$$

$$= \frac{V}{K} - \frac{R_a}{K^2} T \qquad (۱۰)$$



مشخصه سرعت-گشتاور موتور DC تحریک مستقل

✓ افت سرعت از سرعت بی‌باری تا سرعت نامی به مقدار مقاومت آرمیچر بستگی دارد.

✓ مقدار آن در موتورهای با قدرت متوسط در حدود ۵٪ است.

➢ معادلات حالت دائمی سرعت – گشتاور موتور DC تحریک سری

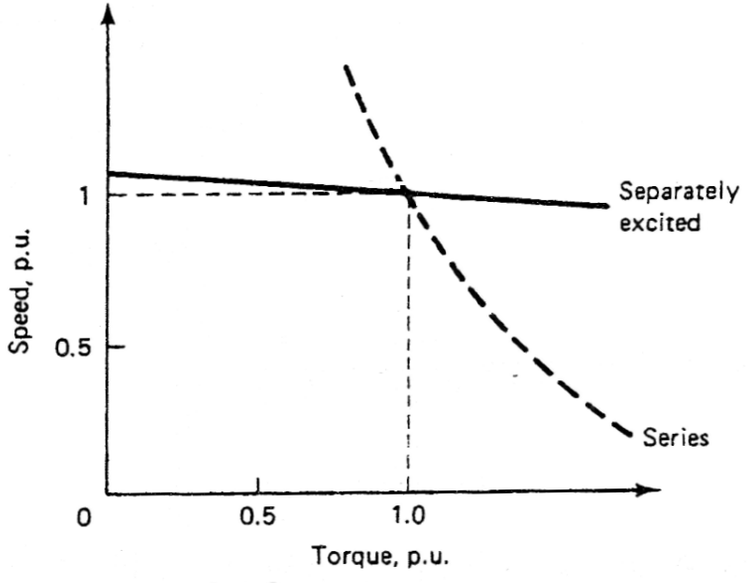
✓ در موتور تحریک سری، شار تحریک تابعی از جریان آرمیچر است و در ناحیه غیر اشباع می توان فرض نمود:

$$\phi = K_f I_a \qquad (11)$$

$$T = K_e \phi I_a \quad \Rightarrow \quad T = K_e K_f I_a^2 \qquad (12)$$

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

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



مشخصه‌های سرعت-گشتاور موتور DC تحریک مستقل و تحریک سری

✓ موتورهای سری برای کاربردهایی که با گشتاور راه‌اندازی بالا و اضافه بارهای با گشتاور سنگین مواجه هستند، مناسب می باشند.

✓ با افزایش گشتاور، جریان و درنتیجه شار هم افزایش یافته و بنابراین با افزایش یکسان در گشتاور، افزایش جریان موتور سری نسبت به موتور تحریک مستقل کمتر است. لذا در اضافه بارهای با گشتاور سنگین، اضافه بار حرارتی موتور تا مقادیر قابل قبولی محدود می ماند.

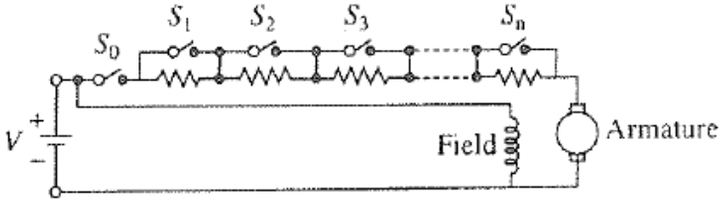
$$\omega_m = \frac{V - R_a I_a}{K_e \phi} \qquad (۱۵)$$

✓ اگر یک موتور DC با ولتاژ نامی راه‌اندازی شود، برای یک موتور با اندازه متوسط، جریان به حدود ۲۰ برابر جریان نامی خواهد رسید که منجر به ایجاد جرقه‌های شدید در کموتاتورها و گرم شدن سیم پیچ‌های موتور می‌گردد. لذا محدود نمودن جریان راه‌اندازی، یک اصل مهم در محرکه‌های DC است.

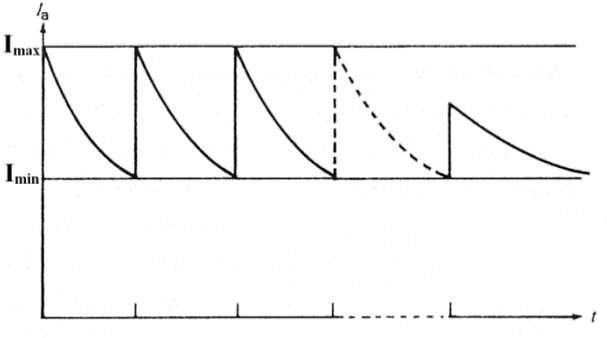
❖ روش‌های محدود نمودن جریان راه‌اندازی:

1) در کاربردهای سرعت ثابت: استفاده از جعبه مقاومت راه‌انداز

2) در کاربردهای سرعت متغیر: کاهش ولتاژ آرمیچر در لحظه راه‌اندازی و افزایش تدریجی آن همزمان با افزایش سرعت



(الف) راه‌انداز مقاومتی n مرحله‌ای برای موتور شنت



(ب) تغییرات جریان آرمیچر طی راه‌اندازی موتور DC

➢ ترمز کردن موتور DC

- ✓ در بسیاری از کاربردها لازم است تا موتور سریعا به ایست کامل برسد.
- ✓ ساده‌ترین روش برای ایست موتور آنست که ولتاژ تغذیه آرمیچر قطع گردد. اما در این روش، موتور با توجه به انرژی جنبشی خود با گذشت زمان نسبتا طولانی به حالت توقف کامل خواهد رسید.
- ✓ لذا برای توقف موتور در زمان دلخواه از روش‌های زیر می‌توان استفاده نمود:

۱- ترمز مکانیکی (Mechanical Braking)

۲- ترمز با بازیاب انرژی (Regenerative Braking)

۳- ترمز دینامیکی (Dynamic Braking)

٤- ترمز با تغذیه معکوس (Plugging Braking)

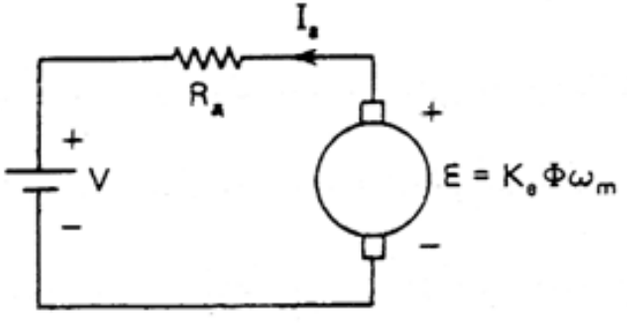
❖ ترمز مکانیکی:

- ✓ در کاربردهایی که توقف خیلی سریع نیاز نیست و اتلاف انرژی نیز اهمیت زیادی ندارد، از ترمز مکانیکی استفاده می شود.
- ✓ در ترمز مکانیکی لنت ترمز توسط عملگرهای الکترومغناطیسی با شافت چرخان موتور درگیر شده و آنرا متوقف می کند.

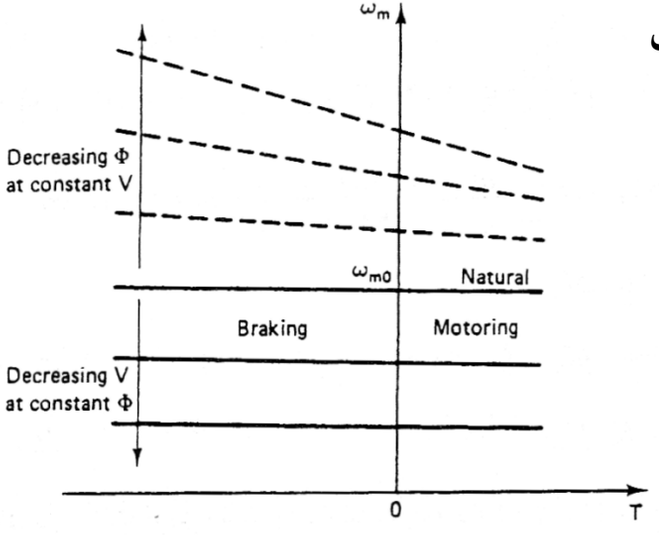
✓ **ایده این روش:** در این روش، انرژی جنبشی ماشین به انرژی الکتریکی تبدیل شده و به منبع تغذیه تحویل داده می‌شود. در صورتی می‌توان از این روش استفاده نمود که منبع DC متصل به آرمیچر بتواند انرژی بازیاب را جذب و ذخیره نماید.

✓ **بازیاب انرژی در موتور تحریک مستقل:** می توان با تنظیم V به نحوی که همواره از E کوچکتر باشد، جهت جریان را معکوس نمود و انرژی را بازیاب نمود. اما در برخی کاربردها که چندین تغذیه از V استفاده می کنند، کاهش V مقدور نمی‌باشد. در این کاربردها، فقط تا وقتی که E از V بزرگتر است، بازیاب انرژی ممکن است. البته در حالت کار با منبع ولتاژ ثابت، با استفاده از برشگر می‌توان ولتاژ V را تغییر داد تا همواره $V > E$ باشد.

✓ **بازیاب انرژی در موتور تحریک سری:** به راحتی موتور تحریک مستقل نمی‌باشد و باید آنرا بصورت موتور شنت در آورده و سپس ترمز بازیاب نمود.

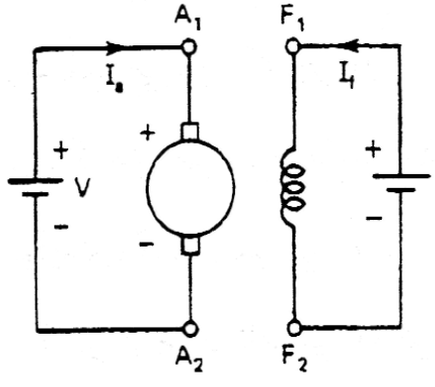


جهت جریان در حالت ترمز ژنراتوری

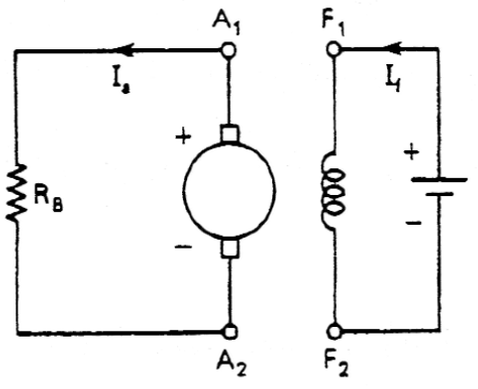


منحنی‌های سرعت -گشتاور موتور تحریک مستقل در حالت ترمز ژنراتوری

✓ **اصول این روش:** در این روش، موتور DC در حال چرخش، از منبع تغذیه جدا شده و مدار آرمیچر به مقاومت مناسبی متصل می‌شود. لذا جهت جریان معکوس شده و موتور بصورت یک ژنراتور عمل نموده و گشتاور منفی (ترمزی) ایجاد می کند.

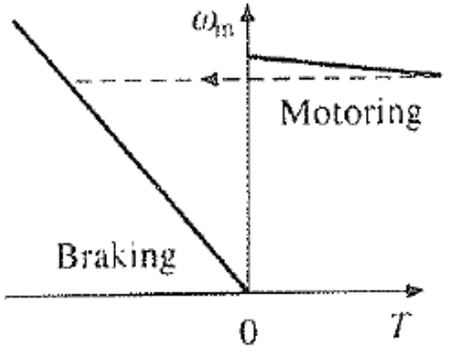


(a) حالت موتوری



(b) حالت ترمزی

(الف) ترمز دینامیکی موتور تحریک مستقل



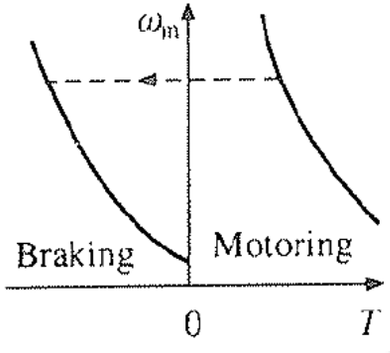
(ب) تغییر مشخصه T-ω موتور تحریک مستقل در عمل ترمز دینامیکی

✓ **محدود نمودن جریان آرمیچر:** در این روش، برای محدود ماندن جریان آرمیچر به زیر مقدار حداکثر جریان مجازش، از مقاومت اضافی بصورت سری در مدار آرمیچر استفاده می شود.

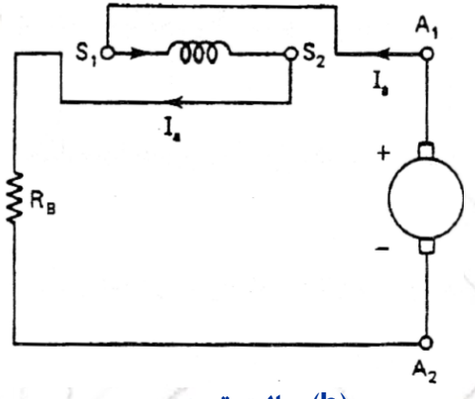
✓ **عیب این روش ترمزی:** به دلیل اتلاف حرارتی انرژی جنبشی این روش علیرغم سادگی روشی بی‌بازده است.

✓ **در حالت ترمز دینامیکی موتور سری: در حالت کار ژنراتوری، جهت میدان تحریک باید با جهت پسماند یکی باشد.**

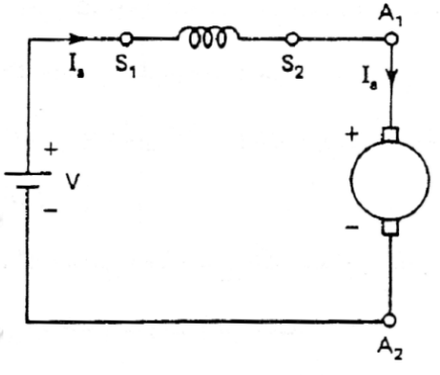
لذا ورودی‌های تحریک (یا آرمیچر) باید معکوس شوند.



(ب) تغییر مشخصه T-ω موتور سری در عمل ترمز دینامیکی



(b) حالت ترمزی



(a) حالت موتوری

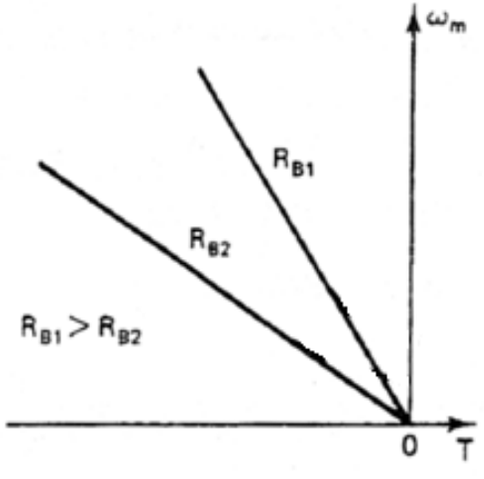
(الف) ترمز دینامیکی موتور سری

✓ **مشکل اصلی ترمز دینامیکی موتور سری: برای هر مقدار مقاومت ترمزی، یک سرعت حداقلی (بحرانی) وجود دارد که در زیر این سرعت گشتاور ترمزی صفر می شود. دلیل آن بخاطر آنست که ماشین در زیر این سرعت نمی‌تواند خود را تحریک کند.**

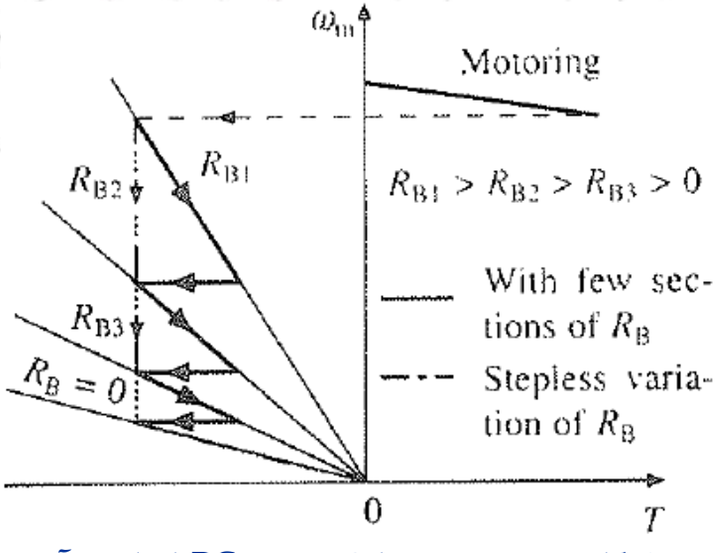
✓ **مدت زمان رسیدن به حالت توقف:** این زمان به اصطکاک موتور، ممان اینرسی روتور و بار و گشتاور ترمزی (مقدار مقاومت) وابسته است.

✓ **انتخاب مقدار مقاومت R_B:**

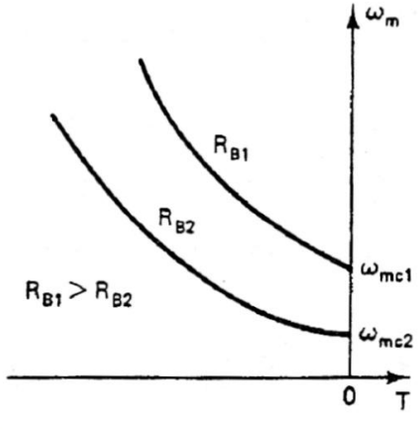
1) هر چه مقدار مقاومت کمتر باشد، جریان و گشتاور ترمزی بیشتر شده و موتور زودتر متوقف می شود.
2) حداکثر مقدار مقاومت به نحوی انتخاب می شود که جریان در شروع ترمز و در بیشترین سرعت برابر با بیشترین مقدار مجاز جریان باشد و با کاهش سرعت، مقدار مقاومت کاهش می‌یابد تا گشتاور ترمز در بیشترین مقدار باقی بماند. در نهایت این مقاومت به مقدار صفر می رسد.



(الف) مشخصه ای موتور تحریک مستقل به ازای R_B های مختلف



(ب) تغییر نقطه کار موتور در ترمز دینامیکی موتور DC با مقاومت آرمیچر متغیر



(ج) مشخصه ای موتور سری به ازای R_B های مختلف

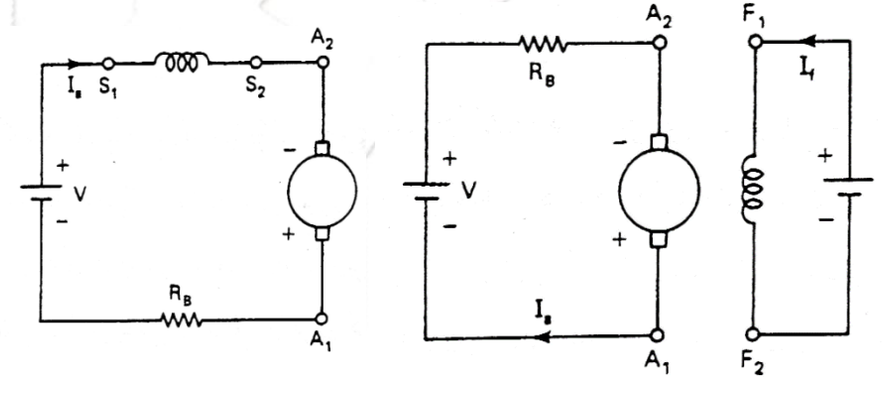
منحنی‌های سرعت-گشتاور موتورهای DC در شرایط ترمزدینامیکی

➢ ترمز کردن موتور DC: ترمز با تغذیه معکوس یا پلاگینگ

✓ **اصول این روش:** اگر سرهای ورودی آرمیچر یک موتور تحریک جداگانه در حالتی که می چرخد عوض شوند، ولتاژ منبع و ولتاژ ضدمحرکه هم‌جهت شده و جهت جریان موتور معکوس شده و در نتیجه گشتاور ترمزی تولید می‌شود.

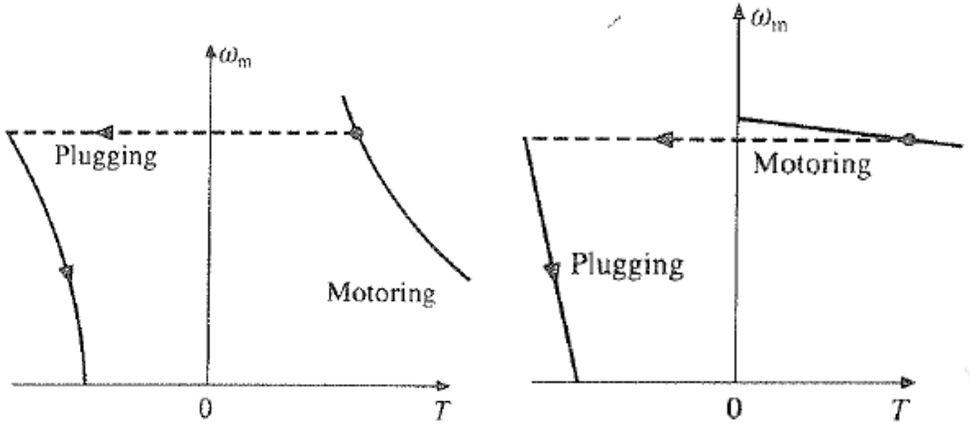
✓ در روش ترمز پلاگینگ نیز برای محدود نمودن جریان آرمیچر از مقاومت اضافی بصورت سری در مدار آرمیچر استفاده می شود.

✓ **ویژگی‌های این روش:** اتلاف انرژی بالا – بازده پائین – لزوم جداسازی موتور از منبع در نزدیکی‌های سرعت صفر جهت توقف موتور.



(a) موتور تحریک مستقل (b) موتور تحریک سری

(الف) ترمز موتور DC به روش پلاگینگ



(a) موتور تحریک مستقل (b) موتور تحریک سری

(ب) مشخصه‌های T-ω و تغییر نقطه کار موتور DC در شرایط ترمزبا تغذیه معکوس

✓ رابطه گشتاور- سرعت موتور DC در بخش قبل بصورت زیر حاصل شد:

$$\omega_m = \frac{V}{K_e\phi} - \frac{R_a}{(K_e\phi)^2}T \qquad (16)$$

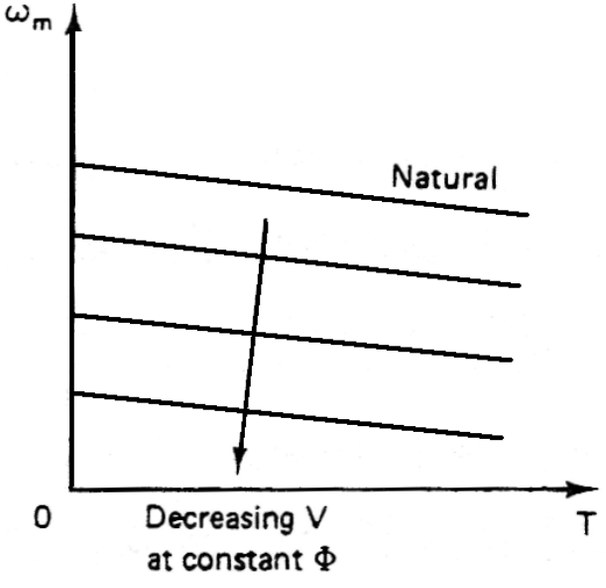
✓ این رابطه نشان می دهد که سرعت موتور DC را می توان با هر کدام از روش‌های زیر کنترل نمود:

1) کنترل ولتاژ آرمیچر
2) کنترل شار میدان تحریک
3) کنترل مقاومت آرمیچر – روشی بی بازده بوده و منسوخ شده است

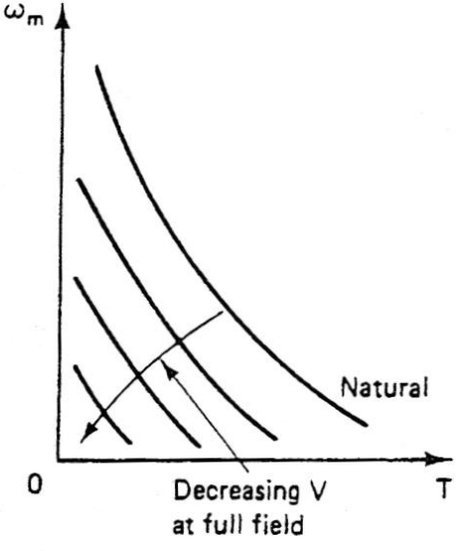
➢ کنترل سرعت به روش کنترل ولتاژ آرمیچر

✓ در این روش، تحریک (ولتاژ تحریک) ثابت نگهداشته می شود و تنها ولتاژ آرمیچر بسته به سرعت مورد نیاز از مقدار صفر تا مقدار نامی قابل تغییر است.

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



منحنی‌های سرعت – گشتاور موتور تحریک مستقل
در حالت تغییر ولتاژ آرمیچر



منحنی‌های سرعت – گشتاور موتور تحریک سری
در حالت تغییر ولتاژ آرمیچر

❖ نکات مهم:

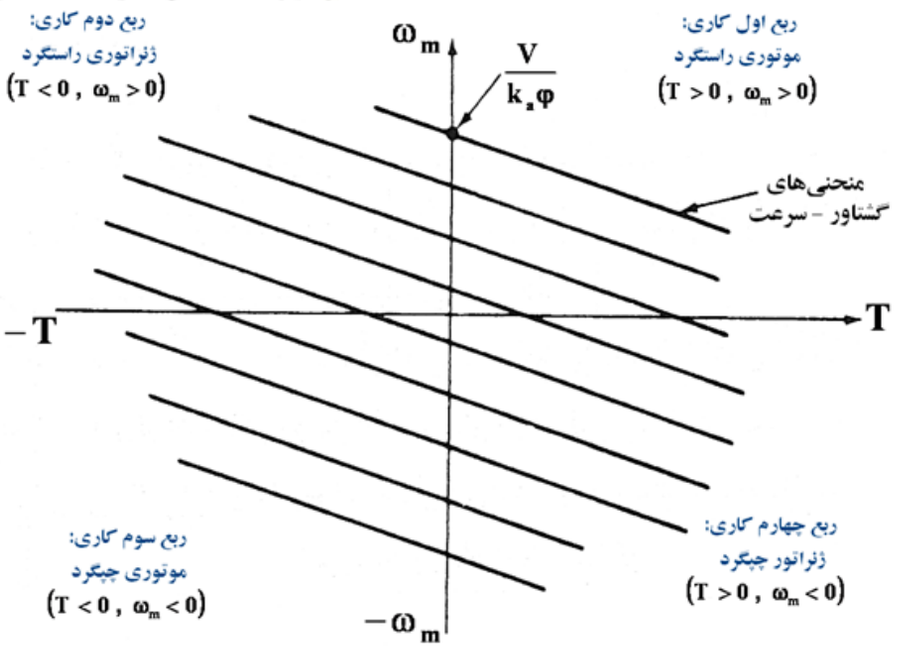
✓ در این روش اعمال ولتاژی بیش از ولتاژ نامی به آرمیچر مجاز نمی‌باشد.

✓ لذا محدوده کنترل سرعت در این روش از سرعت صفر تا سرعت نامی موتور است.

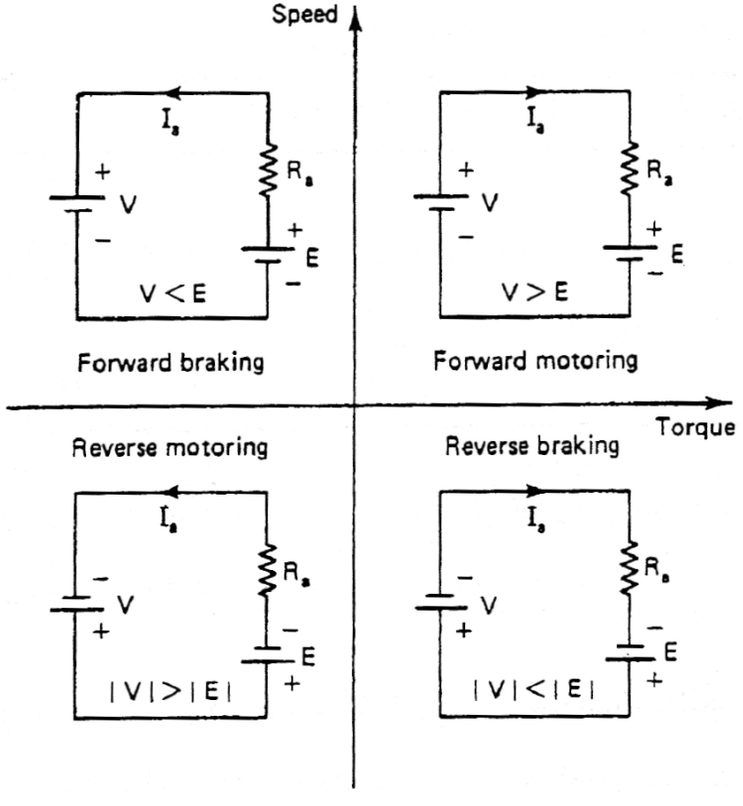
❑ روشهای کنترل سرعت موتورهای DC

➢ کنترل سرعت به روش کنترل ولتاژ آرمیچر

- ✓ در این روش موتورِ DC علاوه بر حالت موتوری می تواند در حالت ژنراتوری نیز کار کند. علاوه بر اینها، موتور می تواند هم در جهت مستقیم و هم معکوس بچرخد و همچنین عمل ژنراتوری در حالت چرخش مستقیم ایجاد شود و یا جهت معکوس.
- ✓ لذا منحنی های گشتاور سرعت می توانند در تمام نواحی کاری ماشین رسم شوند و ماشین در تمامی نواحی (یا ربع ها) کار کند.



(الف) منحنی‌های سرعت-گشتاور موتور DC تحریک مستقل در حالت عملکرد چهار ربعی

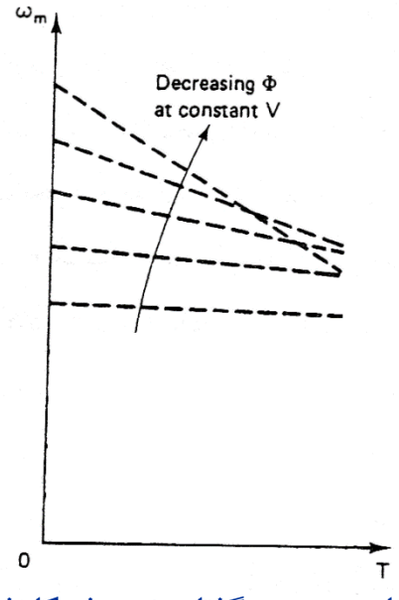


(ب) عملکرد چهار ربعی محرکه موتور DC

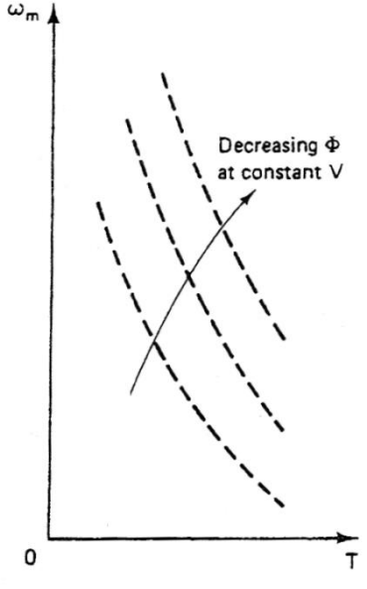
❑ روشهای کنترل سرعت موتورهای DC

➢ کنترل سرعت به روش کنترل شار تحریک (کاهش شار)

- ✓ روش کنترل شار یا میدان تحریک (کاهش شار تحریک) برای تنظیم سرعت در سرعت‌های بالاتر از سرعت نامی قابل استفاده است که در آنجا روش کنترل ولتاژ آرمیچر به دلیل بیشتر شدن ولتاژ آرمیچر از مقدار نامی آن قابل کاربرد نیست.
- ✓ مقدار کاهش شار متناسب با عکس مقدار افزایش سرعت است. مثلا اگر سرعت موتور می خواهد به دو برابر سرعت نامی اش برسد، باید شار تحریک نصف شود.
- ✓ در این روش با توجه به کاهش شار، و مجاز نبودن افزایش جریان آرمیچر به بیش از مقدار مجاز (مقدار نامی) گشتاور تولیدی مجاز موتور هم کاهش می یابد. در نتیجه در روش کنترل شار تحریک، طبیعت بار باید طور باشد که گشتاور بار همزمان با گشتاور موتور حتما متناسب با عکس افزایش سرعت کاهش یابد. در غیر اینصورت موتور دچار اضافه جریان و آسیب دیدن خواهد شد.
- ✓ این روش در صنعت بنام روش Flux weakening یا Field weakening هم معروف است.



(الف) منحنی های سرعت – گشتاور در روش کاهش شار برای موتور تحریک مستقل



(ب) منحنی های سرعت – گشتاور در روش کاهش شار برای موتور سری

➢ کنترل سرعت به روش کاهش شار

✓ **منطق مورد استفاده در روش کنترل میدان:** اگر در یک موتور تحریک مستقل یا سری که در سرعت خاصی در حال چرخش است، میدان تضعیف شود، نیروی ضدمحرکه 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 و از مقدار گشتاور بار بیشتر می‌شود. در نتیجه موقتا موتور شتاب گرفته و سرعت آن زیاد می شود.

✓ **حداکثر سرعت قابل دستیابی در روش کاهش شار:** حداکثر سرعت توسط ناپایداری ناشی از اثر عکس‌العمل آرمیچر در یک میدان تحریک ضعیف و همچنین تحمل مکانیکی موتور محدود می شود. در موتورهای DC با طراحی عادی، رساندن سرعت به ۱/۵ تا ۲ برابر سرعت نامی و در موتورهای با طراحی مخصوص، رساندن سرعت به ٦ برابر سرعت نامی امکان‌پذیر است.

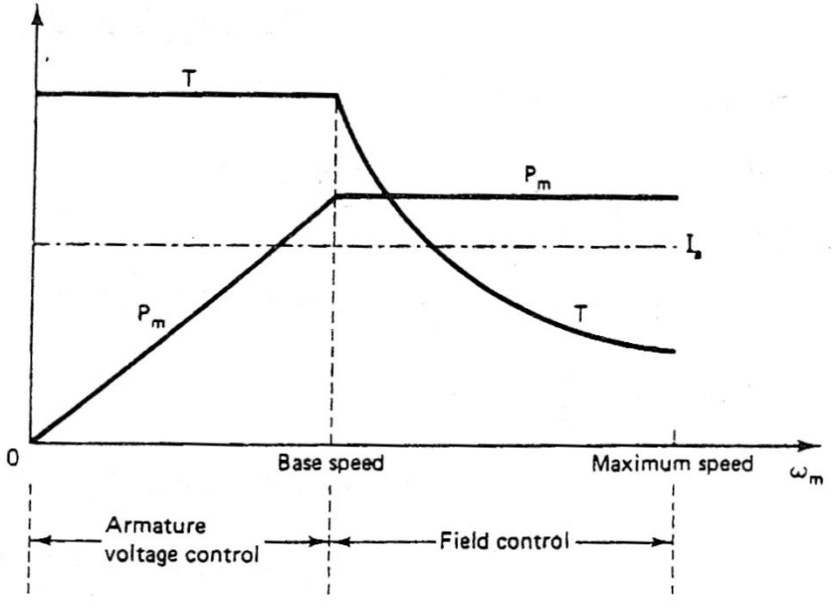
✓ **ناحیه کنترل میدان یا ناحیه توان ثابت:** در کنترل میدان موتور تحریک مستقل، فرض می‌شودکه حداکثر مجاز جریان آرمیچر ($I_{a,max}$) هنگامیکه میدان تضعیف می شود، عوض نمی‌شود. از طرفی دیگر ولتاژ آرمیچر نیز ثابت است. لذا ولتاژ ضدمحرکه E نیز ثابت مانده و در نتیجه حداکثر توان فاصله هوایی یعنی $E \times I_{a,max}$ ثابت باقی می‌ماند. لذا این ناحیه به ناحیه توان ثابت معروف است. در این حالت حداکثر مقدار گشتاور بطور معکوس با سرعت تغییر می کند.

✓ **چگونگی کاهش شار تحریک:** در موتور تحریک مستقل از برشگر و یا یکسوساز کنترل شده در مدار تحریک استفاده می شود. اما در موتور سری، با وارد کردن یک مقاومت موازی با سیم‌پیچ تحریک سری و یا تغییر تعداد دور سیم‌پیچ تحریک سری، شار کاهش می‌یابد.

❑ روشهای کنترل سرعت موتورهای DC

➢ ترکیب دو روش کنترل ولتاژ آرمیچر و کنترل میدان

- ✓ در محرکه‌هایی که کنترل سرعت در محدوده وسیع ضروری است، دو روش کنترل ولتاژ آرمیچر و میدان با هم ترکیب می‌شوند.
- ✓ در ناحیه کنترل ولتاژ، از حداکثر گشتاور مجاز موتور می‌توان استفاده نمود و در ناحیه کنترل شار، از حداکثر توان موتور می‌توان بهره برد.
- ✓ از روش کنترل میدان بندرت در سرعت‌های زیر سرعت نامی استفاده می شود. در برخی محرکه‌ها که چند موتور از یک منبع ولتاژ مشترک برای تغذیه آرمیچرشان استفاده می‌کنند، از روش کنترل ولتاژ آرمیچر برای تنظیم همزمان سرعت‌های موتورها در زیر سرعت نامی استفاده می‌شود. در صورتیکه سرعتها با یک ولتاژ مشترک برابر نبودند، می‌توان برای تنظیم دقیق‌تر سرعت از کنترل میدان استفاده نمود.



محدوده‌های گشتاور و قدرت (توان) در روش کنترل ترکیبی ولتاژ آرمیچر و میدان

❑ روشهای کنترل سرعت موتورهای DC

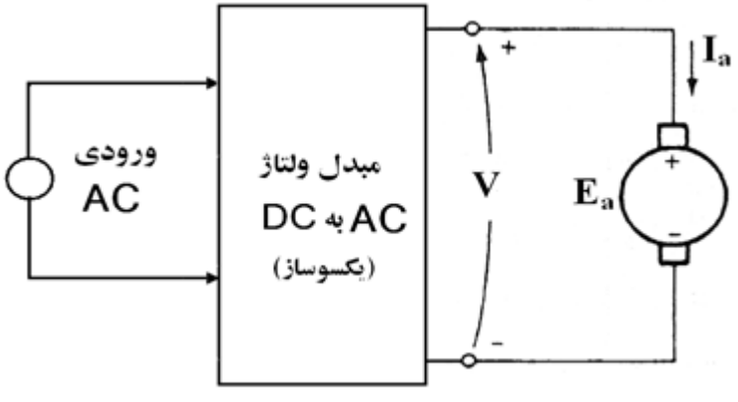
➢ انواع روش های کنترل ولتاژآرمیچر

❖ کنترل ولتاژ آرمیچر با منبع AC

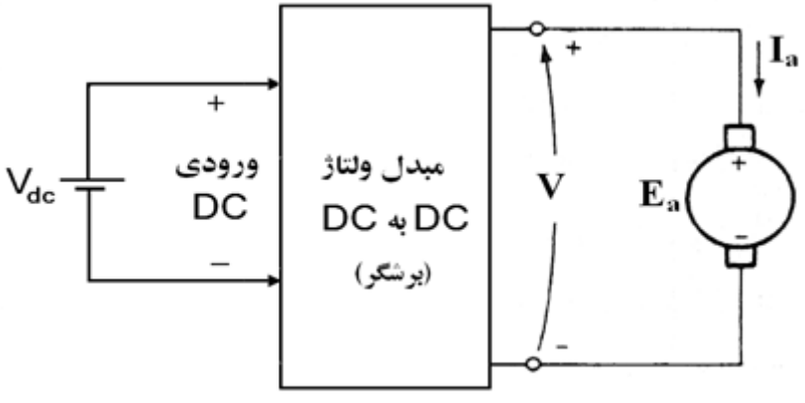
1) استفاده از آرایش های وارد-لئونارد
2) استفاده از ترانسفورماتور با تپ های مختلف
3) استفاده از یکسوسازهای ولتاژ (Rectifier)

❖ کنترل ولتاژ آرمیچر با منبع DC

استفاده از کنترل‌کننده‌های حالت جامد شامل برشگرهای ولتاژ (Chopper)



(الف) کنترل ولتاژ آرمیچر موتور DC توسط یکسوساز



(ب) کنترل ولتاژ آرمیچر موتور DC توسط برشگر

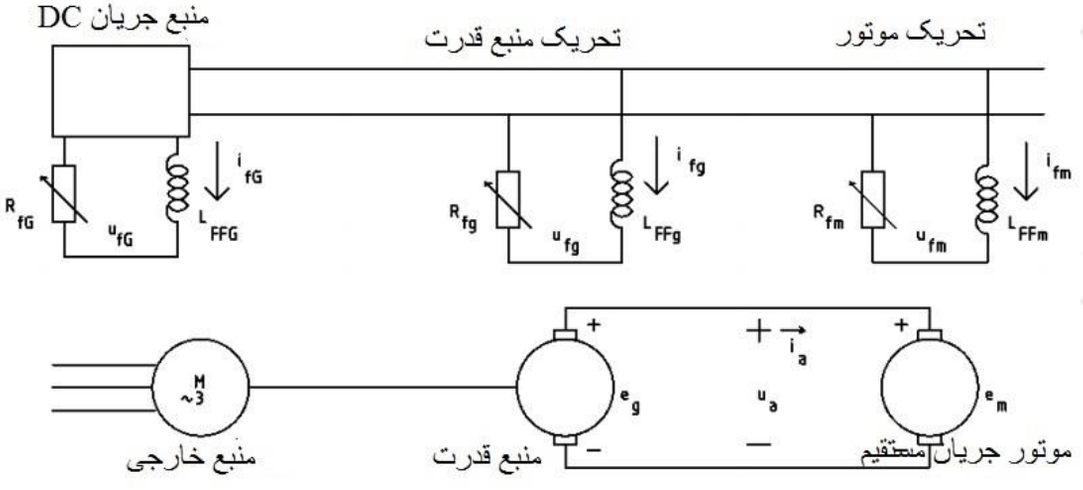
❑ روشهای کنترل سرعت موتورهای DC

➢ انواع روش های کنترل ولتاژآرمیچر: سیستم وارد-لئونارد

✓ یکی از مهمترین و پر کاربردترین روشهای کنترل دور موتور DC در قرن گذشته روش کنترل دور وارد- لئونارد می باشد. این روش در سال ۱۸۹۱ توسط مهندس آمریکایی به همین نام اختراع شد و حتی تا به امروز نیز می توان بازمانده های آن را در بعضی از کارخانه های صنعتی پیدا کرد.

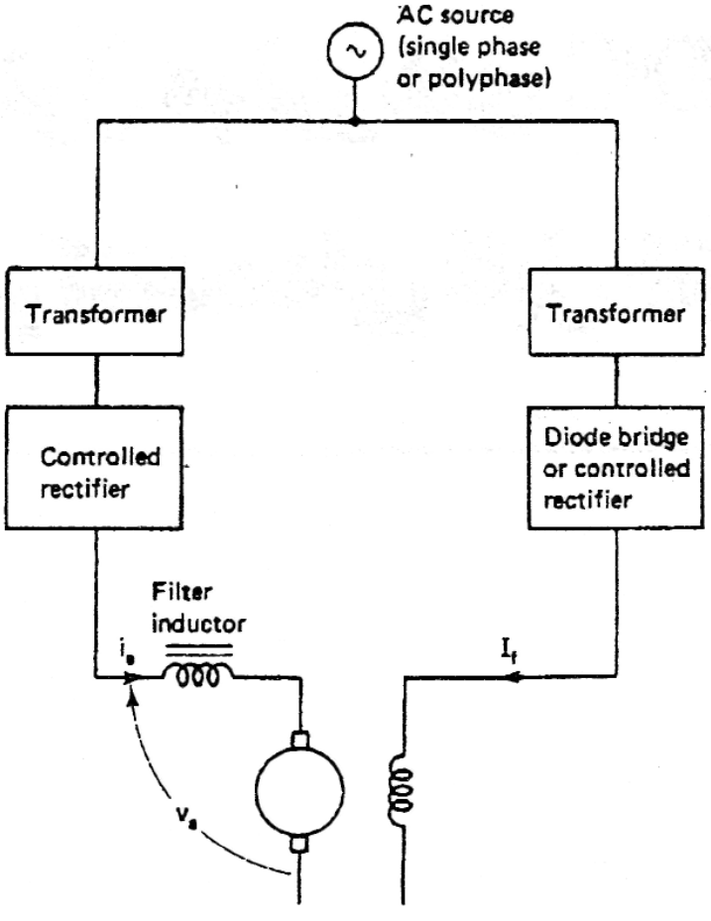
❖ اجزای سیستم وارد-لئونارد

1) یک محرکه گرداننده مکانیکی: نظیر موتور القایی متصل به شبکه، موتور دیزلی، موتور بخار، ...
2) یک ژنراتور DC: مولد ولتاژ آرمیچر مناسب برای موتور DC دور متغیر موردنظر
3) موتور DC دور متغیر مورد نظر



یک نوع آرایش سیستم وارد-لئونارد

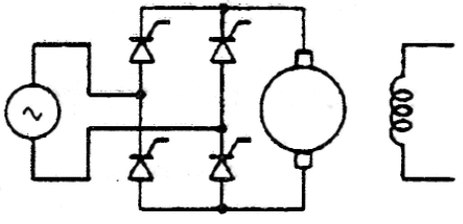
کاربرد: در مواردی که یک محدوده وسیع کنترل سرعت و یا راه اندازیهای مکرر و تعویض جهت چرخش مورد نیاز است.



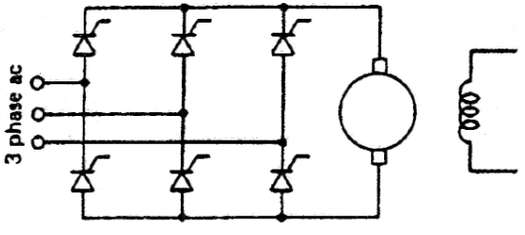
شکل ۳ ـ ۱ نمودار خطی یک محرکه موتور *dc* تغذیه‌شده با یک یکسوکننده قابل کنترل

❖ **انواع یکسوکننده ها از نظر تغذیه: با منبع تکفاز، با منبع سه فاز**

- **یکسوکننده های تکفاز: تا محدوده توان ۱۰ kW از آنها استفاده می گردد.**
- **یکسوکننده های سه فاز: قدرت های بالاتر از ۱۰ kW**

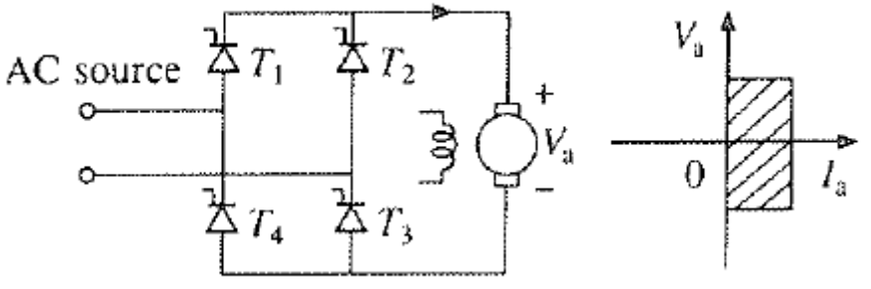


(الف) یکسوساز تکفاز تمام پل

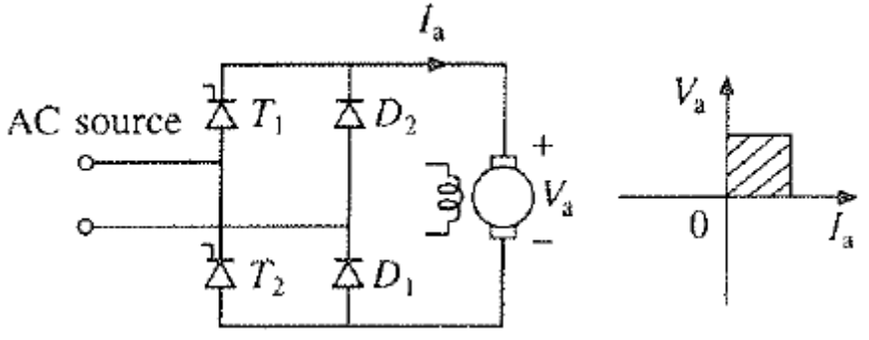


(ب) یکسوساز پل سه فاز

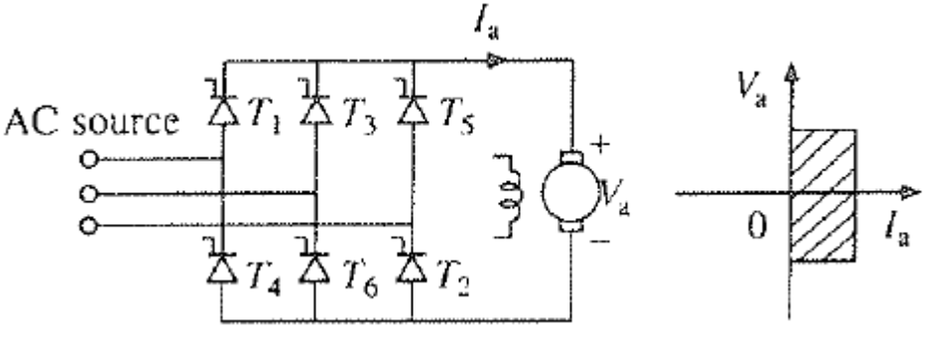
❖ **انواع یکسوکننده ها از نظر قابلیت کنترلی: تمام کنترل شده، نیمه کنترل شده**



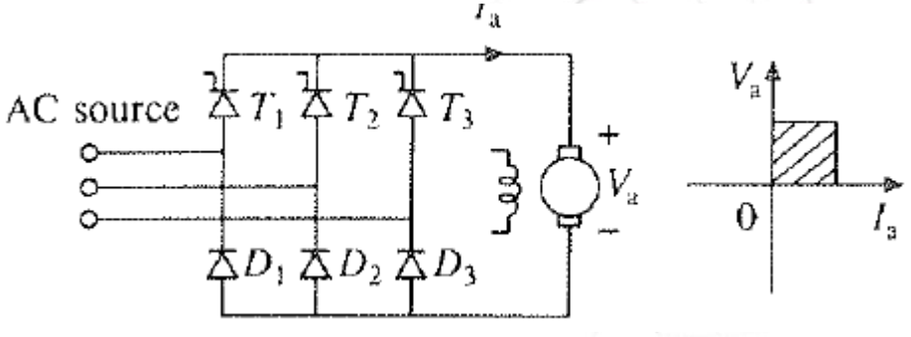
(الف) یکسوساز تک فاز تمام کنترل شده



(ب) یکسوساز تک فاز نیمه کنترل شده

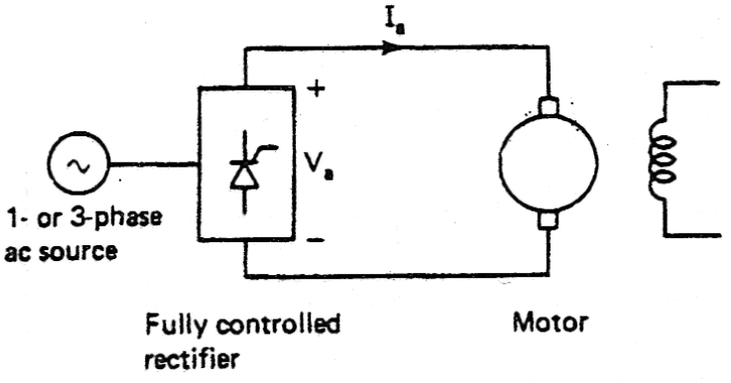


(ج) یکسوساز سه فاز تمام کنترل شده

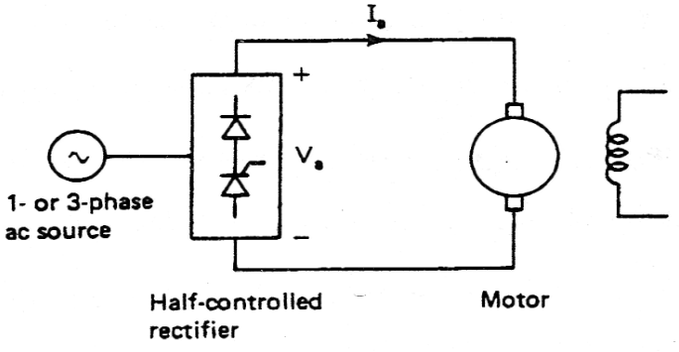


(د) یکسوساز سه فاز نیمه کنترل شده

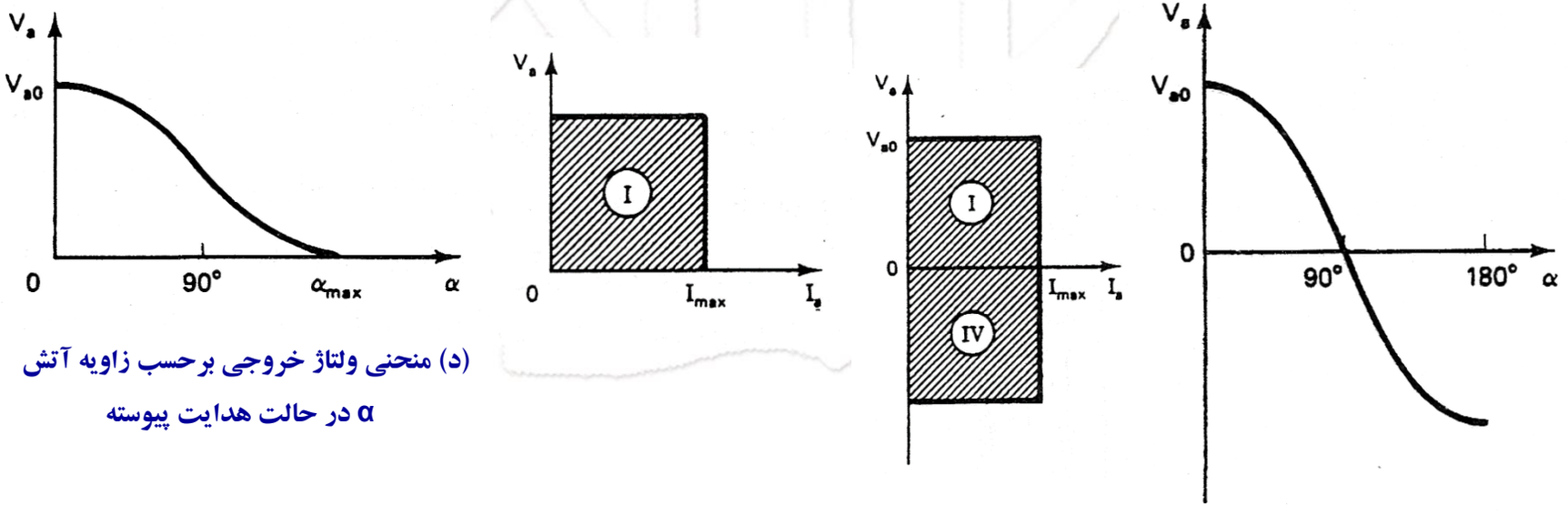
- ✓ تمامی یکسوسازهای فوق، جریان را فقط در یک جهت می توانند عبور بدهند (زیرا سوئیچها یک جهته هستند).
- ✓ اما یکسوسازهای تمام کنترل شده می توانند در هر دو جهت چرخش چپ و راست کار کنند.
- ✓ به عبارت دیگر نوع تمام کنترل شده در دو ربع یک و چهار می توانند کار کنند.



(الف) نمودار خطی یکسوساز تمام کنترل شده



(ج) نمودار خطی یکسوساز نیمه کنترل شده

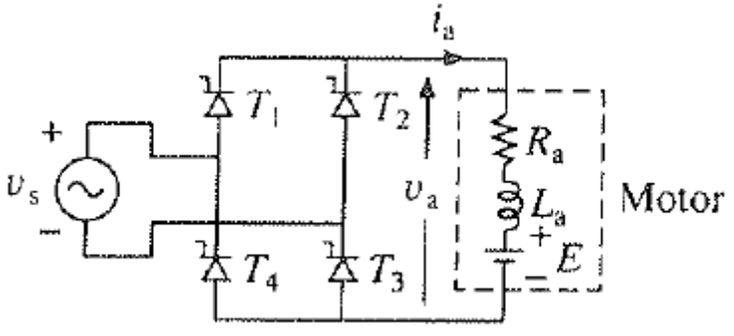


(ب) منحنی ولتاژ خروجی برحسب زاویه آتش α در حالت هدایت پیوسته

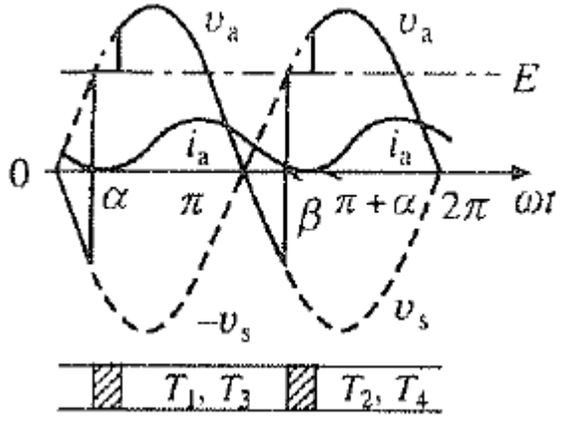
(د) منحنی ولتاژ خروجی برحسب زاویه آتش α در حالت هدایت پیوسته

دانشگاه کاشان / دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر / گروه قدرت / درس درایوهای الکتریکی (دوره کارشناسی) / دکتر حلوایی

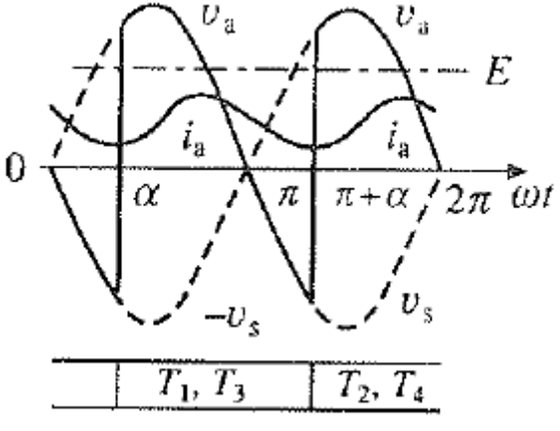
- ✓ در تمامی یکسوسازهای تغذیه کننده موتورهای DC، در حالاتی ممکن است جریان آرمیچر برای زمانهایی صفر شود. به این حالت، هدایت ناپیوسته گویند که سبب تنظیم نامناسب سرعت می گردد.
- ✓ حالت هدایت ناپیوسته می تواند بخاطر کم بودن اندوکتانس آرمیچر، کم بودن مقدار گشتاور در ناحیه سرعتی مشخصی ایجاد گردد.



(الف) تغذیه آرمیچر موتور DC با یکسوساز تکفاز تمام کنترل شده



(ب) شکل موجها در حالت هدایت ناپیوسته



(ج) شکل موجها در حالت هدایت پیوسته

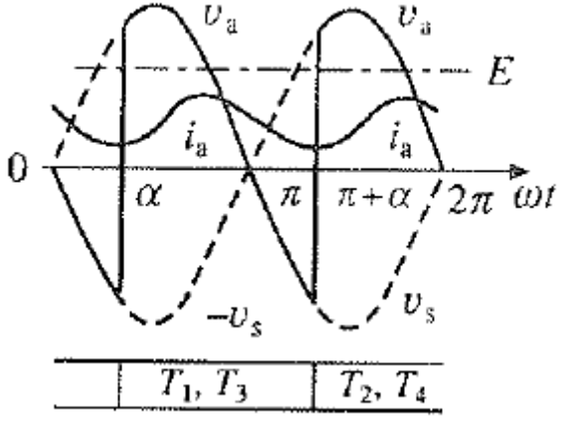
➢ تحلیل حالت دائمی هدایت پیوسته در حالت استفاده از یکسوساز تکفاز

✓ برای بدست آوردن مشخصه T-ω در حالت هدایت پیوسته، کافیست ولتاژ متوسط آرمیچر را با انتگرالگیری از ولتاژ لحظه ای آرمیچر طی یک دوره تناوب بصورت زیر بدست آوریم:

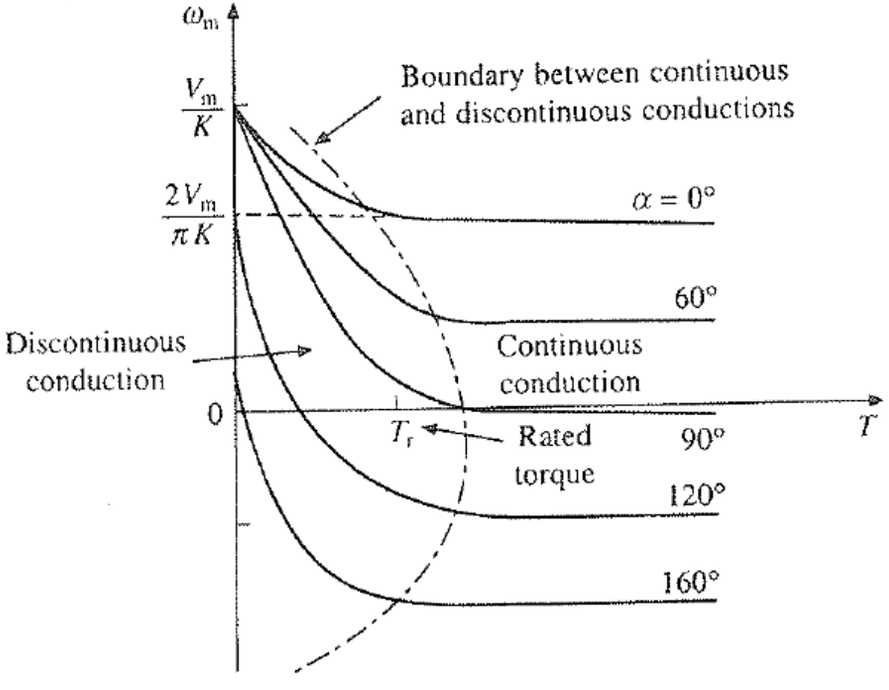
$$V_a = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha \qquad (5.83)$$

$$I_a = \frac{(2V_m/\pi)\cos\alpha - K\omega_m}{R_a}$$

$$\omega_m = \frac{2V_m}{\pi K}\cos\alpha - \frac{R_a}{K^2}T \qquad (5.84)$$



(ج) شکل موجها در حالت هدایت پیوسته



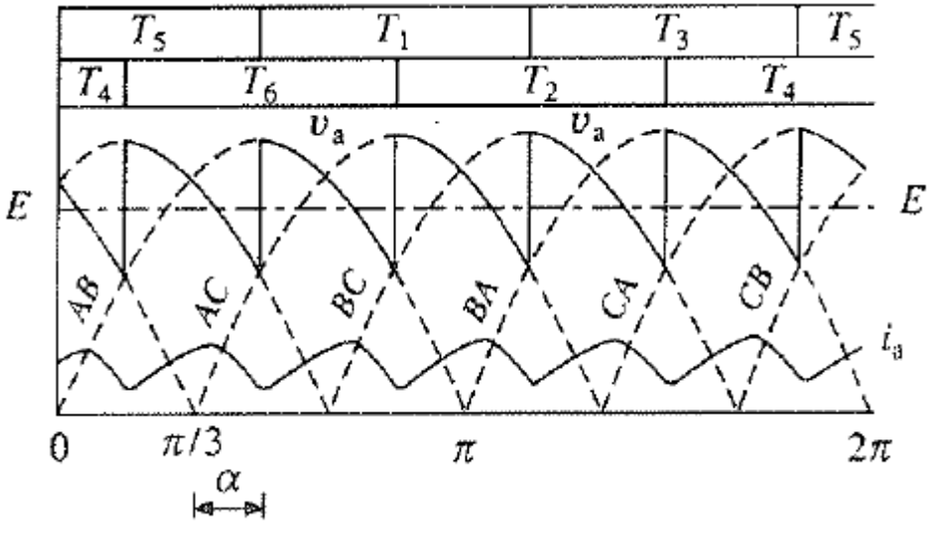
(د) مشخصه های گشتاور-سرعت موتور تحریک مستقل در حالت استفاده از یکسوساز تکفاز

دانشگاه کاشان / دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر / گروه قدرت / درس درایوهای الکتریکی (دوره کارشناسی) / دکتر حلوایی

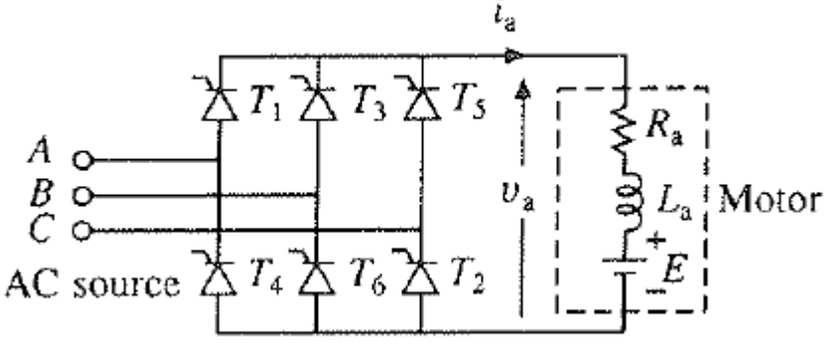
➢ تحلیل حالت دائمی استفاده از یکسوساز سه فاز تمام کنترل شده

- ✓ در توانهای بالا از یکسوساز سه فاز استفاده می گردد.
- ✓ در این ساختار هم، هر دو حالت هدایت جریان پیوسته و ناپیوسته وجود دارد که البته ناحیه حالت هدایت ناپیوسته بسیار باریک است. به عبارتی این ساختار کمتر در حالت ناپیوستگی جریان کار می کند و لذا از پرداختن به حالت ناپیوسته صرفنظر می شود.
- ✓ در حالت هدایت جریان پیوسته که ولتاژ خروجی در هر سیکل از $\omega t = \alpha+\pi/3$ تا $\omega t = \alpha+2\pi/3$ تغییر می کند ولتاژ آرمیچر بصورت زیر قابل محاسبه است:

$$V_a = \frac{1}{\pi/3}\int_{\alpha+\pi/3}^{\alpha+2\pi/3} V_m \sin\omega t\, d(\omega t) = \frac{3V_m}{\pi}\cos\alpha \qquad (۱۸)$$

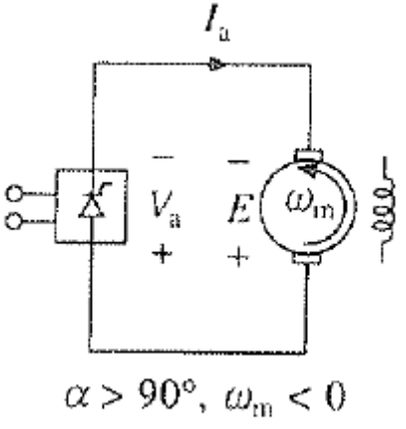


(ب) هدایت پیوسته جریان استفاده از یکسوساز سه فاز تمام کنترل شده

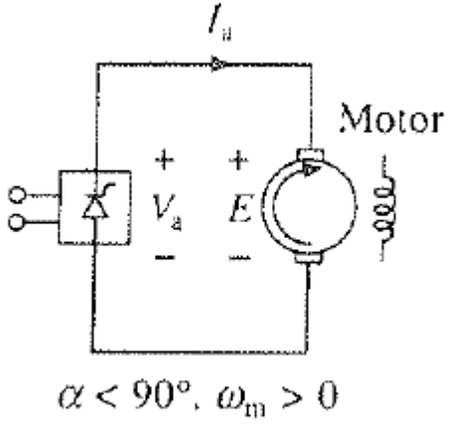


(الف) استفاده از یکسوساز سه فاز تمام کنترل شده

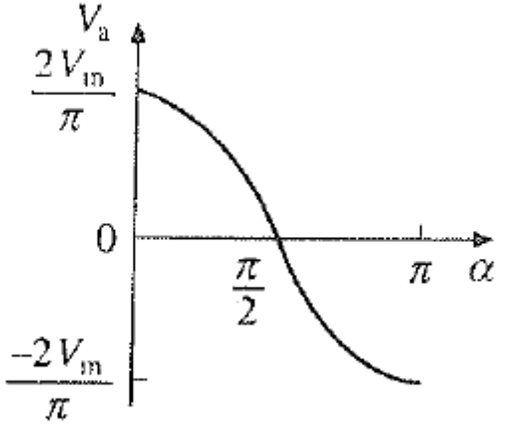
✓**عملکرد دو ربعی در ربع های ۱ و ٤:** همانطور که قبلا نیز بیان شد، می توان با معکوس نمودن ولتاژ آرمیچر (منفی نمودن آن با اعمال زاویه آتش مناسب)، محرکه در ربع ٤ (ترمزی معکوس) نیز کار کند.



(ج) عملکرد ترمزی معکوس (ژنراتوری)



(ب) عملکرد موتوری



(الف) منحنی V_a - α

✓**چگونگی ایجاد عملکرد ترمز ژنراتوری:** برای این منظور جهت جریان باید عوض شود، اما در یکسوساز این کار غیرممکن است. لذا با تنظیم زاویه α بین ۹۰ تا ۱۸۰ درجه، به نحوی که شرط $E > V$ همواره صادق باشد، توان dc وارد شده به مدار یکسوساز به منبع acمنتقل می شود.

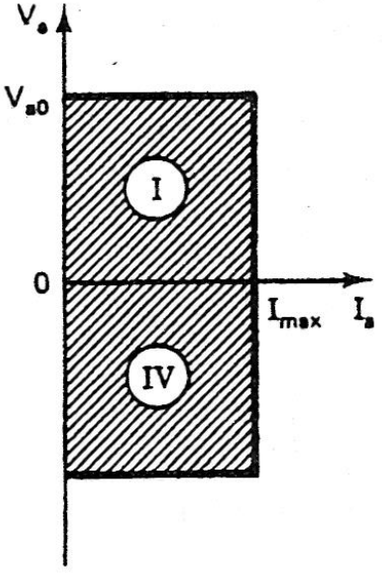
✓**چگونگی معکوس نمودن ولتاژ القایی E:** اتصال یک بار فعال به محور به نحوی که موتور را در جهت معکوس بچرخاند.

✓**توجه:** مکانیزم ایجاد ترمز ژنارتوری راستگرد (ربع ۲) با ترمز ژنراتوری چپگرد (ربع ٤) با هم متفاوت است.

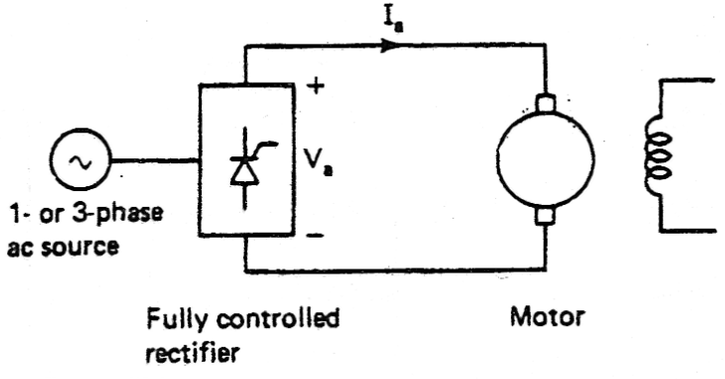
❑ کنترل موتورهای DC با استفاده از یکسوسازها

➢ عملکرد چهار ربعی محرکه موتور DC تحریک مستقل با یکسوساز

- ✓ در بخشهای قبل اشاره گردید که در صورت استفاده از یکسوساز تمام کنترل شده، امکان کار موتور در دو ربع ۱ (موتوری راستگرد) و ٤ (ترمزی چپگرد) وجود دارد.
- ✓ اما به دلیل آنکه امکان معکوس نمودن جریان در سوئیچهای یکسوساز وجود ندارد، نمی توان در ربعهای ۲ و ۳ کار کرد.
- ✓ برای منظور فوق می توان از مدارهای جانبی در خروجی یکسوساز استفاده نمود.



(ب) نواحی کاری یکسوساز تمام کنترل شده



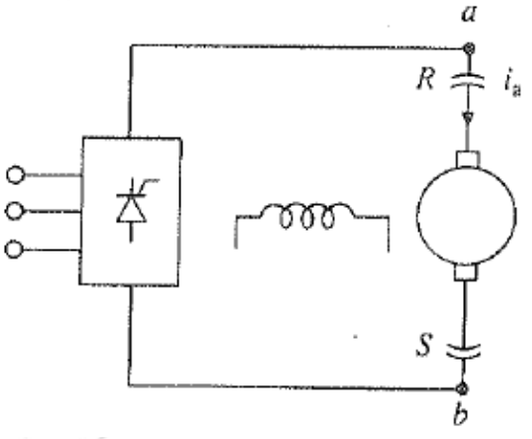
(الف) نمودار خطی یکسوساز تمام کنترل شده

❖ عملکرد چهار ربعی با دو روش ۱- تغییر جهت جریان آرمیچر و ۲- تغییر جهت جریان تحریک بدست می آید.

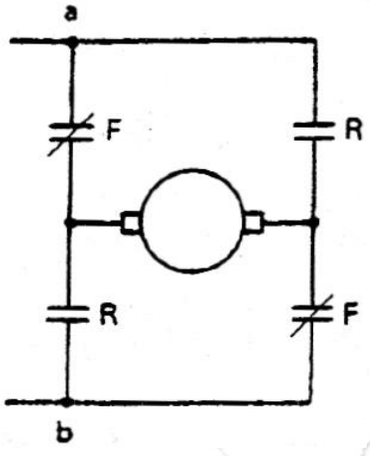
❖ عملکرد چهار ربعی با تغییر جهت جریان آرمیچر:

۱- استفاده از کلیدهای معکوس کننده جریان

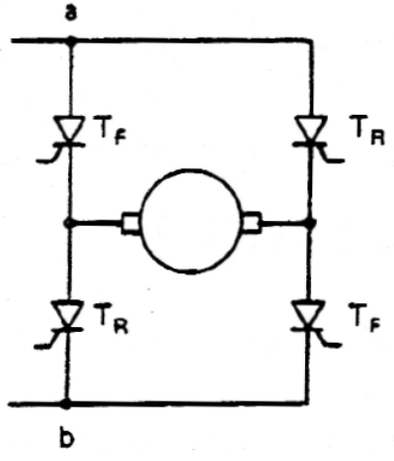
۲- استفاده از مبدل دوبل



(الف) تغییر جهت جریان آرمیچر با کلیدهای معکوس کننده



(ب) استفاده از کلید کنتاکتوری



(ج) استفاده از سوئیچ نیمه هادی

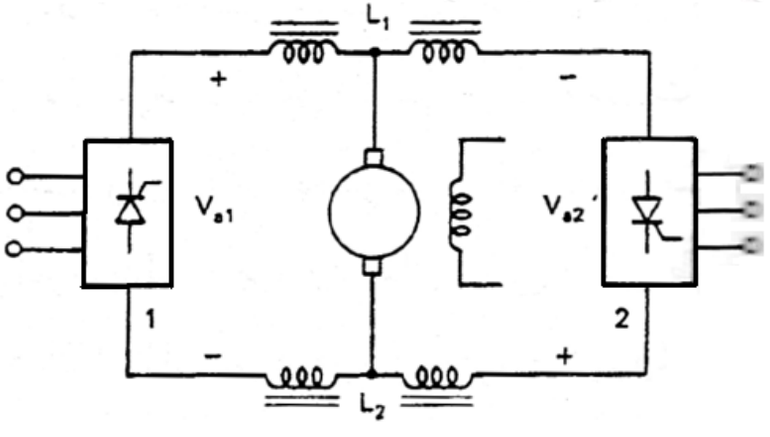
- ✓ در طرح شکل (ب) از کلیدهای کنتاکتوری استفاده می گردد. برای معکوس کردن جریان، ابتدا با افزایش زاویه آتش تا ۹۰ درجه، جریان را از مقدار مثبت به صفر رسانیده و سپس حالت سوئیچها را از F به R تغییر می دهیم تا تنش کمتری به کنتاکتورها وارد شود.
- ✓ در طرح (ج) بجای کنتاکتور از سوئیچ نیمه هادی استفاده می شود که باعث افزایش سرعت عملکرد محرکه در تغییر جهت جریان می شود.

❖ استفاده از مبدل دوبل برای تغییر جهت جریان آرمیچر:

- ✓ یک مبدل دوبل شامل دو یکسوکننده تمام کنترل شده است که بطور معکوس و موازی به دو سر آرمیچر و موتور متصل هستند.
- ✓ یکسو کننده ۱، کار در ربعهای اول و چهارم (جریان آرمیچر مثبت) و یکسوکننده ۲ کار در ربعهای دوم و سوم (جریان آرمیچر منفی) را میسر می سازند.
- ✓ این دو مبدل می توانند بصورت همزمان یا غیرهمزمان کنترل شوند.
- ✓ در کنترل همزمان (کنترل با جریان گردشی)، هر دو مبدل بصورت همزمان عمل می کنند. در کنترل غیرهمزمان در هر لحظه از زمان فقط یکی از مبدلها کار می کند و دیگری غیرفعال است.
- ✓ در روش کنترل همزمان و برای اجتناب از افزایش ولتاژ سلفها، باید روابط زیر بین زاویه آتش هر دو مبدل برقرار باشد:

$$V_{a1} + V_{a2} = 0 \qquad (۱۹)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 180^o \qquad (۲۰)$$



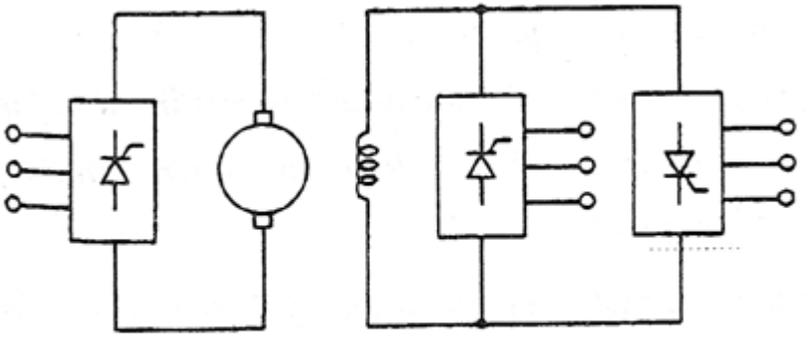
مبدل دوبل با کنترل همزمان

❑ کنترل موتورهای DC با استفاده از یکسوسازها

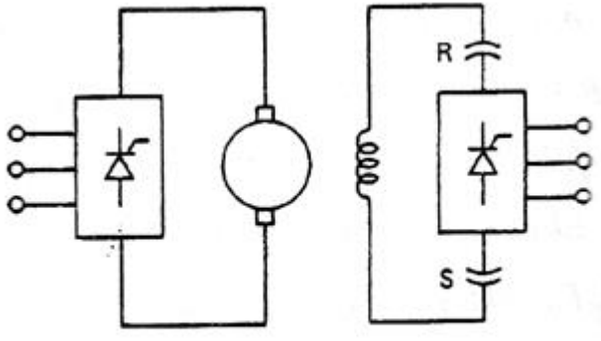
➢ عملکرد چهار ربعی محرکه موتور DC تحریک مستقل با یکسوساز

❖ عملکرد چهار ربعی با تغییر جهت جریان تحریک:

- ✓ با تغییر جریان تحریک، شار منفی شده و عملکرد از ربعهای اول و چهارم می تواند به ربعهای دوم و سوم منتقل شود.
- ✓ به دلیل توان پائین تر مدار تحریک، استفاده از این روش ارزان تر است. اما زمان معکوس نمودن جهت جریان تحریک طولانی است. لذا از آن بندرت استفاده می شود.



(الف) کنترل تحریک توسط یک مبدل دوبل



(ب) کنترل تحریک با یک یکسوکننده تکفاز و یک کلید معکوس‌کننده

➢ تاثیرات یکسوساز بر منبع AC

- ✓ یکسوکننده ها ضریب قدرت کمی دارند و از منبع تغذیه خود جریان غیرسینوسی می کشند.
- ✓ اتصال کوتاههای موقتی در لحظه کموتاسیون تریستورها، پالسهای جریانی تیزی ایجاد می کند که ولتاژ را بیشتر خراب می کند.
- ✓ هارمونیکهای جریان خط بخصوص پالسهای جریانی تیز موجب تداخل الکترومغناطیسی با خطوط تلفنی و تجهیزات مخابراتی مجاور می شود.

❖ محاسبه ضریب توان یکسوکننده:

V = مقدار موثر ولتاژ منبع (که فرض می شود سینوسی است)

I_{rms} = مقدار موثر جریان منبع

I_1 = مقدار موثر مولفه اصلی جریان منبع

φ_1 = زاویه بین V و I_1

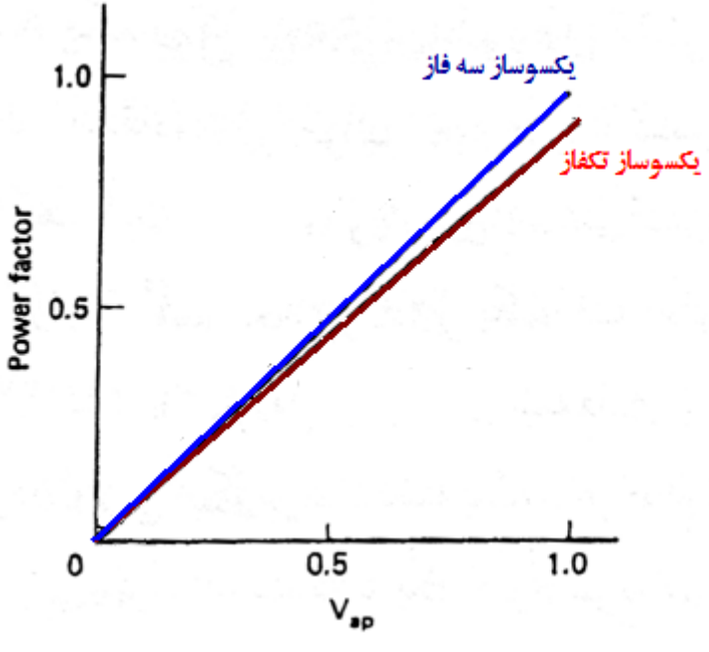
$\cos\varphi_1$ = ضریب جابجایی یا ضریب قدرت هارمونیک اصلی

$$\text{P.F.} = \frac{\text{قدرت حقیقی}}{\text{قدرت ظاهری}} = \frac{VI_1\cos\phi_1}{VI_{rms}} \qquad (۲۱)$$

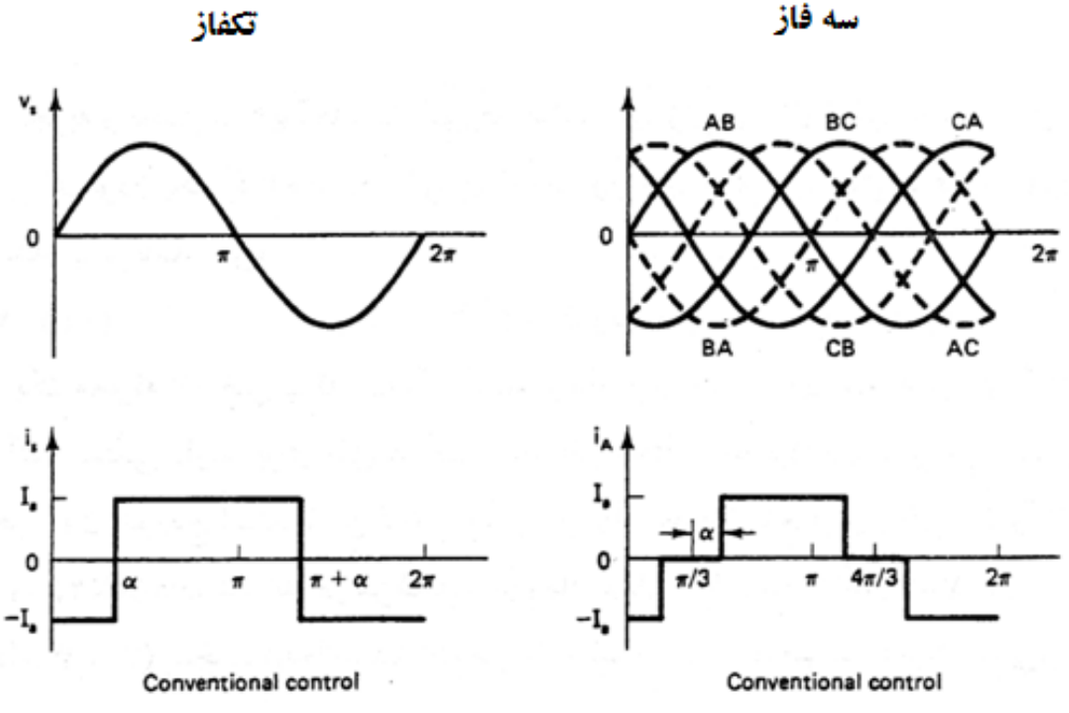
$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_s^2 d(\omega t)} \qquad (۲۲)$$

➢ تاثیرات یکسوساز بر منبع AC

- ✓ جریان کشیده شده از منبع توسط یکسوساز، بصورت مربعی همانند شکل های زیر است.
- ✓ ضریب توان یکسوساز با افزایش ولتاژ آرمیچر (کاهش زاویه آتش تریستورها)، افزایش می یابد.
- ✓ مقدار ضریب توان یکسوساز سه فاز از تک فاز قدری بیشتر است.



(ب) تغییرات ضریب توان یکسوساز برحسب ولتاژ آرمیچر پریونیت شده (یا زاویه آتش α)



(الف) شکل موجهای جریان آرمیچر و منبع در یکسوسازهای مختلف با فرض ثابت بودن جریان آرمیچر

دانشگاه کاشان / دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر / گروه قدرت / درس درایوهای الکتریکی (دوره کارشناسی) / دکتر حلوایی

مبدل	پارامترهای کنترلی	ضریب قدرت (P.F.)	ضریب قدرت اصلی	I_n/I_a	ولتاژ خروجی (Pu)
تکفاز متعارف	$0 \le \alpha \le \Pi$	$0/9 \cos\alpha$	$\cos\alpha$	برای n فرد $\frac{0/9}{n}$	$\cos\alpha$
تکفاز با هرزه گرد کنترل شده	$0 \le \alpha \le \Pi$ $\alpha n = 0$	$\frac{0/8(1+\cos\alpha)}{\sqrt{\Pi-\alpha}}$	$\cos(\alpha/2)$	$\frac{0/9}{n}\sqrt{\frac{1+\cos n\alpha}{2}}$ برای n فرد	$\frac{1}{2}(1+\cos\alpha)$
سه‌فاز متعارف	$0 \le \alpha \le \Pi$	$0/955 \cos\alpha$	$\cos\alpha$	$\frac{0/78}{n}$ $n = 1, 5, 7, 11$	$\cos\alpha$
سه‌فاز با هرزه گرد کنترل شده	$0 \le \alpha \le \Pi/3$	$0/955 \cos\alpha$	$\cos\alpha$	$\frac{0/78}{n}$ $n = 1, 5, 7, 11$	$\cos\alpha$
	$\frac{\Pi}{3} \le \alpha \le 2\Pi/3$ $\alpha n = 0$	$0/98\left[1+\cos\alpha(\alpha+\Pi/3)\right] / \left(\sqrt{(\frac{2\Pi}{3}-\alpha)}\right)$	$\cos(\alpha/2)$	$\frac{1/56}{n}\sqrt{\frac{1+\cos\pi(\alpha+\frac{\pi}{3})}{2}}$ $n = 1, 5, 7, 11$	$1+\cos(\alpha+\Pi/3)$

- ✓ در سطوح قدرت بالا، هارمونیکهای جریان و توان راکتیو پسفاز مشکلات جدی ایجاد می کنند. در این موارد از جبران سازی قدرت راکتیو استاتیکی همراه با فیلتر استفاده می شود.
- ✓ علاوه بر روشهای فوق، در برخی کاربردها، از یکسوسازهای با روشهای کنترلی بهتر نظیر روش مدولاسیون پهنای پالس، یا یکسوسازهای ۱۲ پالسه استفاده می شود.

❑ کنترل موتورهای DC با استفاده از برشگرهای DC

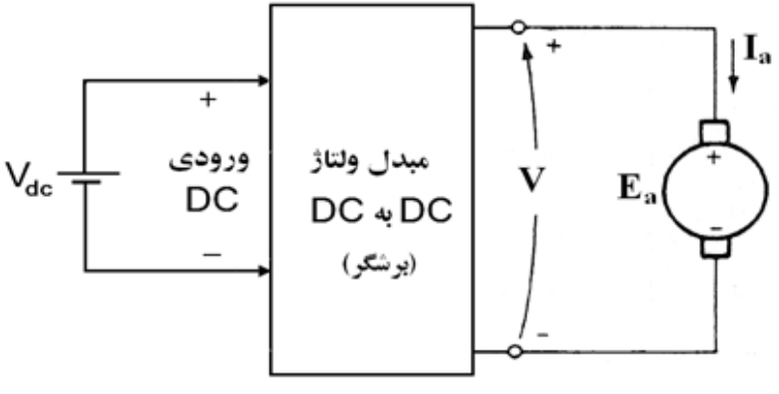
➢ انواع برشگرهای DC

✓ **کاربرد:** در مواردی که منبع تغذیه در دسترس از نوع DC باشد.

✓ **برای مثال:** در خودروهای برقی و هیبریدی که از باتری، سلولهای خورشیدی و یا پیل سوختی استفاده می گردد برشگرها DC (چاپرها) بکار گرفته می شوند.

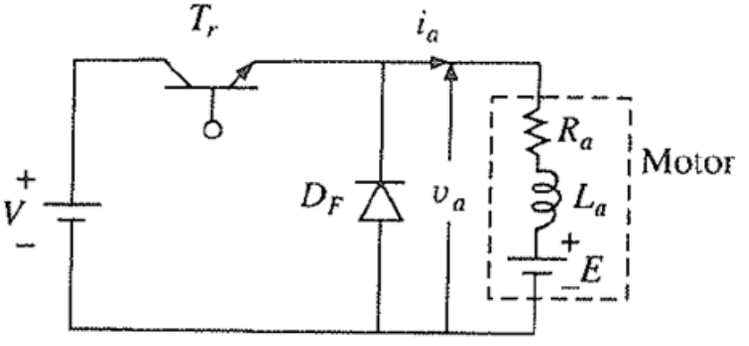
✓ **انواع برشگرها:**

1) برشگر کاهنده ولتاژ یا باک یا کلاس A (تک ربعی)
2) برشگر افزاینده ولتاژ یا بوست یا کلاس B (تک ربعی)
3) برشگر افزاینده/کاهنده ولتاژ کلاس C (دو ربعی ۱ و ۲)
4) برشگر کلاس D (دو ربعی ۱ و ٤)
5) برشگر افزاینده/کاهنده ولتاژ کلاس E (چهار ربعی)



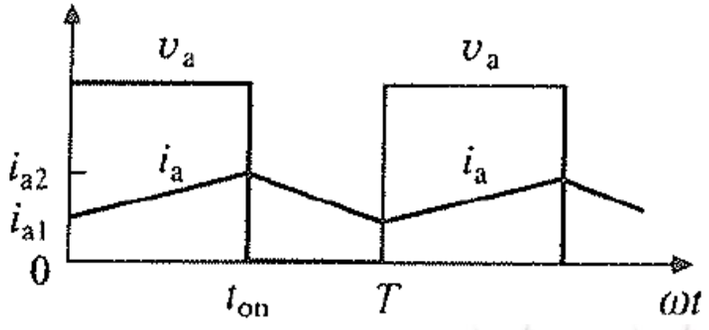
کنترل ولتاژ آرمیچر موتور DC توسط برشگر

➢ عملکرد موتوری با استفاده از مبدل باک (کلاس A)



(الف) مدار پایه ای برشگر باک

جهت کنترل ولتاژ آرمیچر موتور DC تحریک مستقل



(ب) تغییرات ولتاژ و جریان آرمیچر موتور با برشگر باک

❖ نکات و ویژگی های مبدل باک:

۱- ولتاژ دو سر بار (موتور DC) یک ولتاژ کاملا dc نیست و شامل هارمونیک هایی از فرکانس برش است.

۲- جریان موتور نیز دارای اعوجاج است.

۳- اعوجاج جریان منبع باعث می شود که حداکثر قدرت ورودی مورد نیاز بزرگ شود و علاوه بر آن هارمونیک ایجاد می کند که بدین منظور از یک فیلتر LC بین منبع و برشگر استفاده می شود.

٤- کار در فرکانس سوئیچینگ بالا، محتوای هارمونیک ولتاژ را کاهش داده و همچنین اندازه فیلتر را کاهش می دهد.

٥- این مبدل فقط قادر به ایجاد ولتاژ و جریان مثبت است و لذا یک برشگر تک ربعی است.

٦- جریان آرمیچر می تواند صفر شود و حالت ناپیوستگی بوجود آید.

۷- دلایل ناپیوستگی جریان می تواند کوچک بودن گشتاور بار و یا کم بودن اندوکتانس آرمیچر باشد.

۸- برای جلوگیری از ناپیوستگی جریان، می توان فرکانس سوئیچینگ را بالا برد و یا از روش کنترل جریان هیسترزیس (حدی) استفاده نمود.

➢ تحلیل عملکرد موتوری در حالت استفاده از مبدل باک

✓ معادله ولتاژ در دوره وظیفه:

$$R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + E = V, \qquad 0 \le t \le t_{on} \qquad (۲۳)$$

✓ معادله ولتاژ در دوره هرزگردی دیود:

$$R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + E = 0, \qquad t_{on} \le t \le T \qquad (۲۴)$$

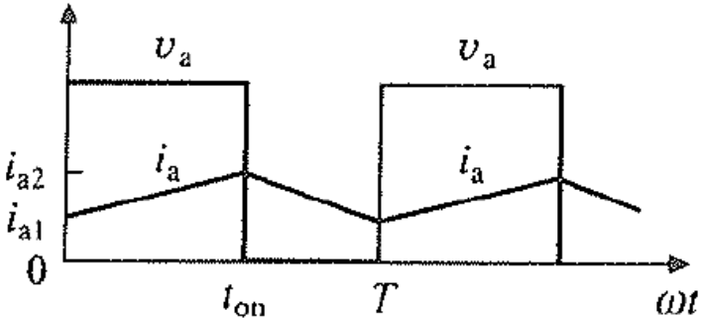
✓ با فرض $i_a(0) = i_{a1}$ معادله جریان عبارتست از:

$$i_a(t) = \left(\frac{V-E}{R_a}\right)\left(1-e^{-t/\tau_a}\right) + i_{a_1} e^{-t/\tau_a} \qquad (۲۵)$$

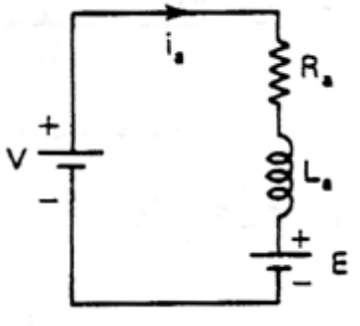
✓ با اندکی محاسبه، رابطه اعوجاج جریان بصورت زیر نتیجه می شود:

$$\Delta i_a = \frac{i_{a_2} - i_{a_1}}{2} = \frac{V}{2R_a}\left[\frac{1+e^{T/\tau_a} - e^{\delta T/\tau_a} - e^{(1-\delta)T/\tau_a}}{e^{T/\tau_a} - 1}\right] \qquad (۲۶)$$

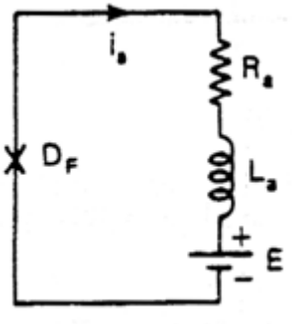
δ = دوره عملکرد = t_{on}/T



(الف) تغییرات ولتاژ و جریان آرمیچر موتور با برشگر باک



(ب) مدار معادل در حالت وصل بودن سوئیچ (دوره وظیفه)



(ج) مدار معادل در حالت هرزگردی دیود (دوره خاموشی)

➢ معادلات T-ω موتور تحریک مستقل در حالت استفاده از مبدل باک

✓ چون متوسط افت ولتاژ دو سر اندوکتانس در حالت دائمی صفر است لذا:

$$V_a = E + R_a I_a \qquad (۲۷)$$

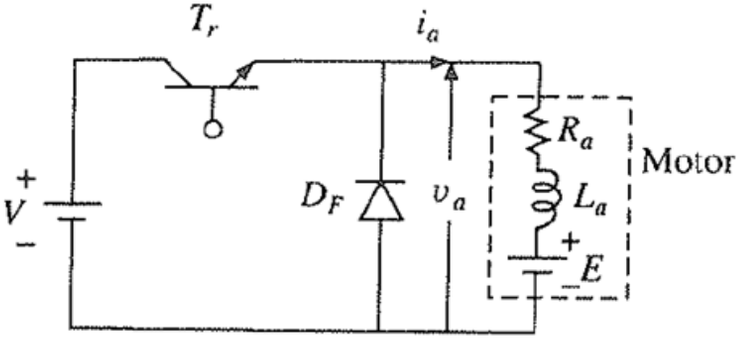
که V_a و I_a مقادیر متوسط ولتاژ و جریان آرمیچر هستند. لذا:

$$\delta V = E + R_a I_a \qquad (۲۸)$$

$$I_a = \frac{\delta V - E}{R_a} \qquad (۲۹)$$

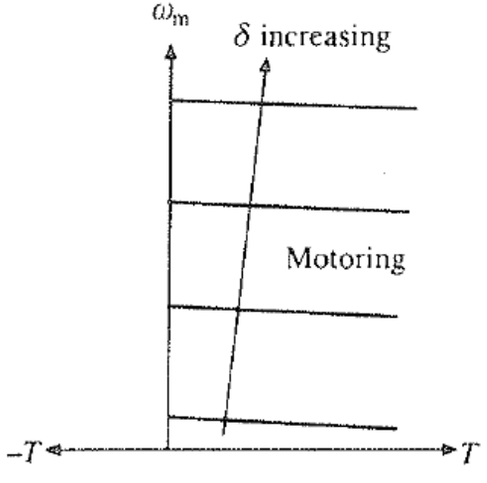
$$T_a = K I_a \qquad (۳۰)$$

$$\omega_m = \frac{\delta V}{K} - \frac{R_a}{K^2} T_a \qquad (۳۱)$$



(الف) مدار پایه ای برشگر باک

جهت کنترل ولتاژ آرمیچر موتور DC تحریک مستقل



(ب) مشخصه T-ω در حالت موتوری با مبدل باک

❖ مروری بر اصول عملکرد مبدل بوست (مبدل افزاینده ولتاژ یا کلاس B):

$$\delta = \frac{T - t_{on}}{T} = 1 - \frac{t_{on}}{T} \qquad (0 < \delta < 1) \qquad (۳۲)$$

۱- فرض می شود به دلیل وجود خازن در خروجی، V_o ثابت باقی می ماند.

۲- در حالت وصل بودن سوئیچ T_r $(0 < t < t_{on})$، دیود D قطع و جریان سلف L شروع به افزایش نموده و بعبارتی انرژی در آن ذخیره می گردد.

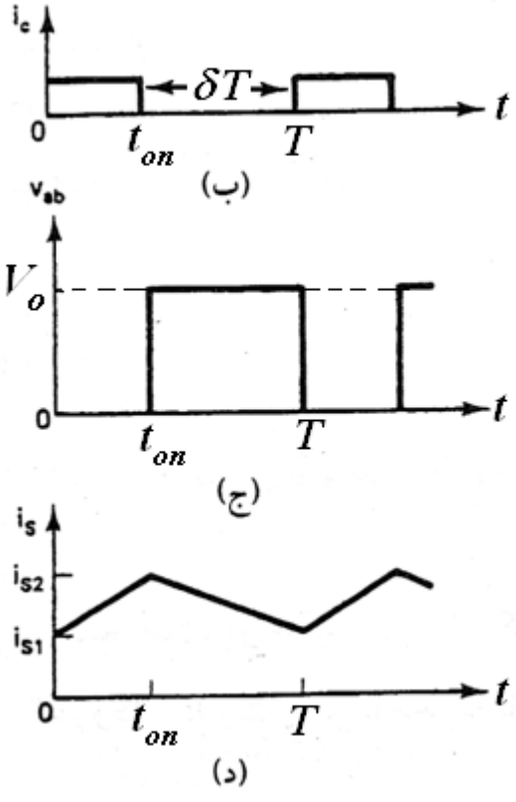
۳- در دوره خاموشی سوئیچ T_r $(t_{on} < t < T)$، که دوره عملکرد می نامیم، دیود D هدایت نموده و جریان سلف به سمت بار جاری می گردد.

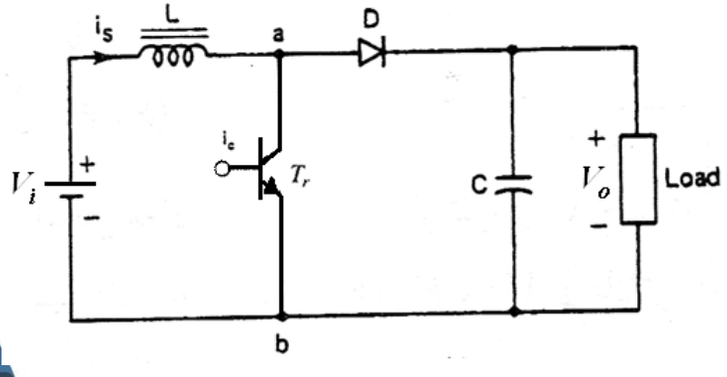
٤- با توجه به صفر بودن ولتاژ متوسط سلف L در یک دوره تناوب، مقدار متوسط ولتاژ V_{ab} با V_i برابر است.

$$V_i = \overline{V}_{ab} = \frac{1}{T}\int_{t_{on}}^{T} V_o dt = \delta V_o \quad \text{یا} \quad V_o = \frac{V_i}{\delta} \qquad (۳۳)$$

توجه: در برخی مراجع، δ را بصورت t_{on}/T تعریف می کنند که در نتیجه ولتاژ خروجی از رابطه زیر حاصل می شود:

$$V_o = \frac{V_i}{1 - \delta} \qquad (۳٤)$$





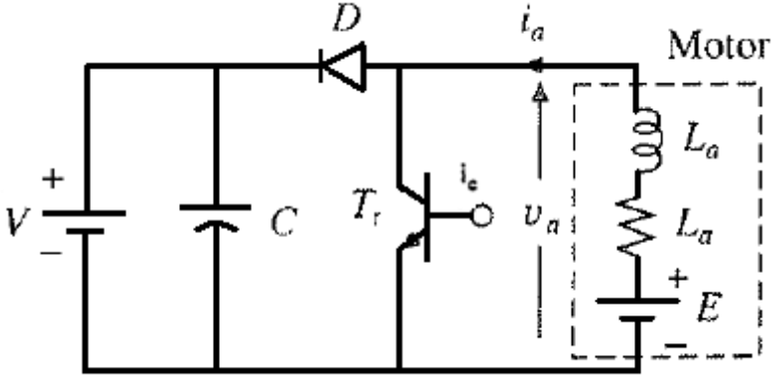
(الف) مدار پایه ای برشگر بوست

دانشگاه کاشان / دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر / گروه قدرت / درس درایوهای الکتریکی (دوره کارشناسی) / دکتر حلوایی

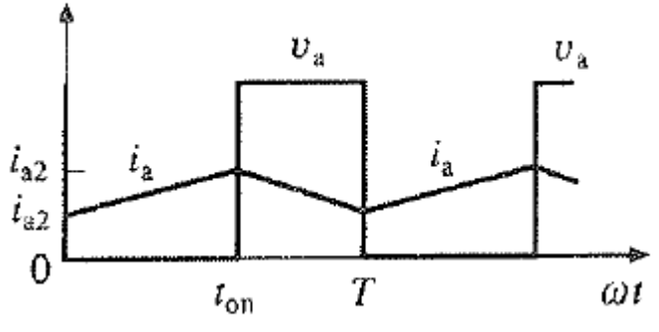
➢ عملکرد ترمز ژنراتوری با استفاده از مبدل بوست (کلاس B)

- ✓ برای ایجاد عملکرد ترمز ژنراتوری، باید جریان از سمت موتور به سمت منبع برود. اما می دانیم که ولتاژ ضدمحرکه E از ولتاژ منبع V کوچکتر است. لذا مطابق شکل (الف) از یک مبدل بوست به نحوی استفاده می گردد که ولتاژ E ورودی آن (نقش V_i) باشه و خروجی اش هم ولتاژ منبع V (نقش V_o) باشد.
- ✓ سلف آرمیچر موتور در واقع نقش سلف L در مدار بوست پایه ای را ایفا می کند.
- ✓ با استفاده از رابطه (۳۳) و یا مطابق شکل (ب) زیر، ولتاژ آرمیچر V_a برحسب ولتاژ منبع V از رابطه زیر حاصل می شود:

$$V_a = \frac{1}{T}\int_{t_{on}}^{T} V dt = \delta V \qquad (۳۵)$$



(الف) ترمز ژنراتوری موتور تحریک مستقل به کمک مبدل بوست



(ب) شکل موج ولتاژ و جریان آرمیچر

➢ عملکرد ترمز ژنراتوری با استفاده از مبدل بوست (کلاس B)

✓ جریان متوسط آرمیچر مطابق شکل (الف) از رابطه مقابل قابل محاسبه است:

$$I_a = \frac{E - \delta V}{R_a} \qquad (۳۶)$$

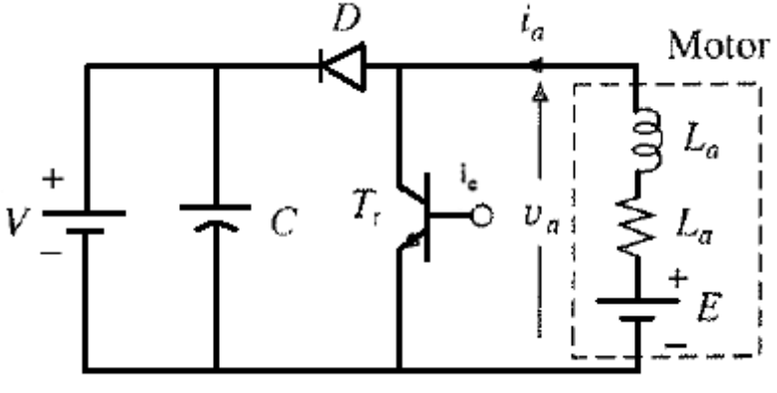
✓ چون جریان معکوس شده است، گشتاور ترمزی از رابطه مقابل حاصل می شود:

$$T = -KI_a \qquad (۳۷)$$

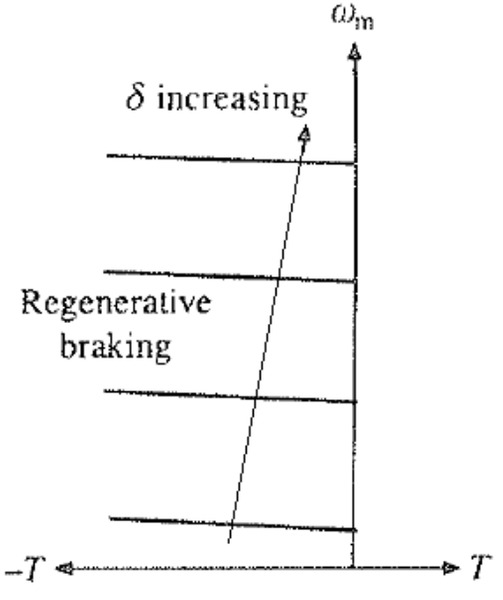
✓ و لذا مشخصه گشتاور سرعت در حالت ترمزی ژنراتوری از رابطه مقابل بدست می آید:

$$\omega_m = \frac{\delta V}{K} - \frac{R_a}{K^2} T_a \qquad (۳۸)$$

✓ رابطه (۳۸) مشابه رابطه (۳۱) یعنی مشخصه در حالت موتوری و هنگام استفاده از مبدل باک است.



(الف) ترمز ژنراتوری موتور تحریک مستقل به کمک مبدل بوست



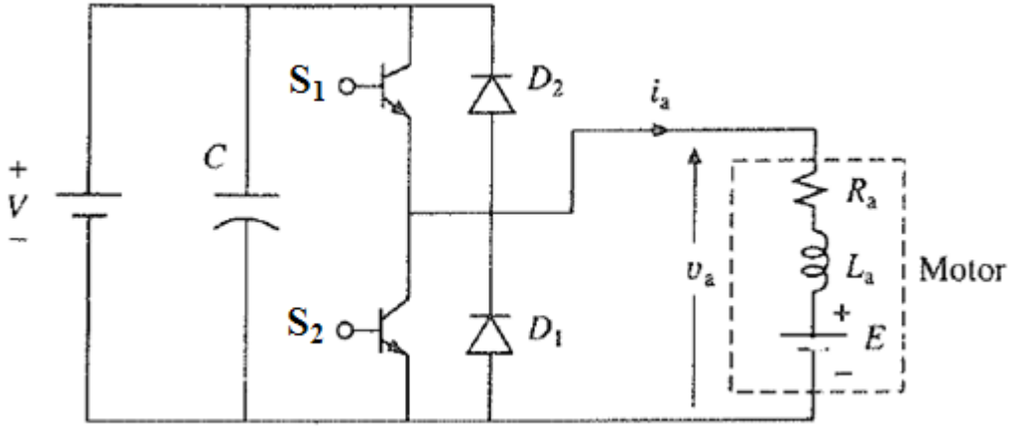
(ب) مشخصه گشتاور-سرعت موتور تحریک مستقل کنترل شده با برشگر

دانشگاه کاشان / دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر / گروه قدرت / درس درایوهای الکتریکی (دوره کارشناسی) / دکتر حلوایی

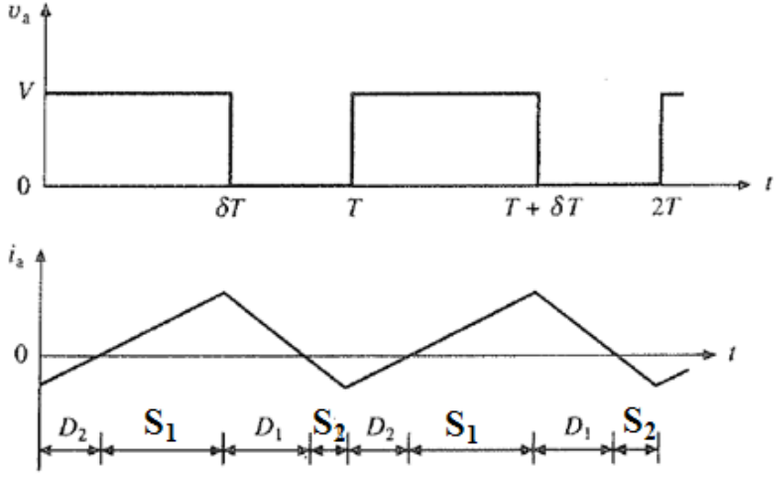
❑ کنترل موتورهای DC با استفاده از برشگرهای DC

➢ عملکرد دو ربعی موتور تحریک مستقل بوسیله برشگر کلاس C

- ✓ برای داشتن عملکرد دو ربعی محرکه در دو ربع ۱ و ۲ (موتوری مستقیم و ترمز ژنراتوری مستقیم)، نیاز به برشگری داریم که با ولتاژ آرمیچر مثبت، قابلیت عبور جریان در هر دو جهت را داشته باشد.
- ✓ مدارهای باک و بوست ارائه شده در بخشهای قبل می توانند با یکدیگر ترکیب شوند و مبدل باک-بوست یا برشگر کلاس C را بسازند تا محرکه قابلیت کار در دو ربع کاری ۱ و ۲ را داشته باشد.
  - سوئیچ S_1 و دیود D_1 تشکیل یک برشگر داده و سوئیچ S_2 و دیود D_2 یک برشگر دیگر تشکیل می دهند.
  - هر دو برشگر برای هر دو حالت موتوری و ترمزی بطور همزمان کنترل می شوند.
  - مطابق شکل (ب) هر دو کلید متناوبا باز و بسته می شوند. S_1 در مدت زمان δT و S_2 در بازه زمانی δT تا T روشن هستند.
  - در این طرح ولتاژ آرمیچر مثبت است اما جریان می تواند مثبت یا منفی باشد (نواحی ۱ و ۲).



(الف) برشگر کلاس C برای عملکرد دو ربعی (۱ و ۲) محرکه DC تحریک مستقل



(ب) تغییرات ولتاژ و جریان آرمیچر موتور تحریک مستقل با برشگر کلاس C

❖ بررسی عملکرد مبدل کلاس C:

✓ ولتاژ و جریان آرمیچر عبارتند از:

$$V_a = \delta V \qquad (۳۹)$$

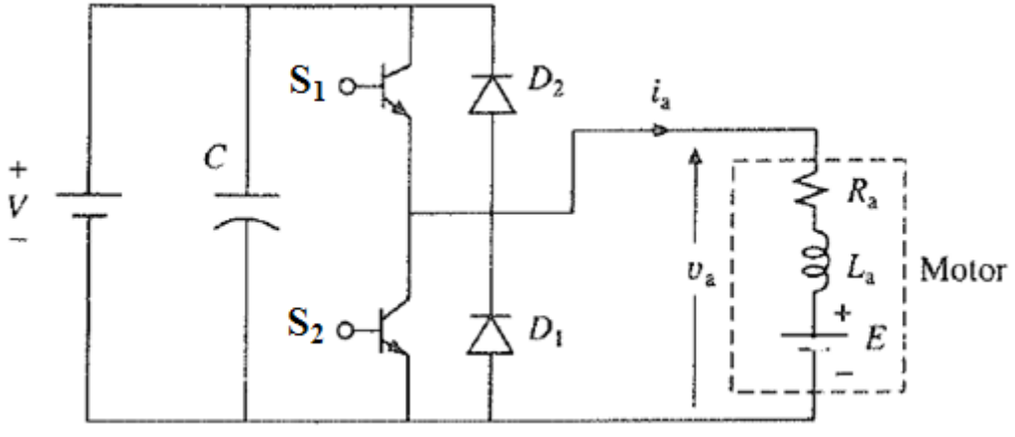
$$I_a = \frac{\delta V - E}{R_a} \qquad (۴۰)$$

✓ با هرچه بزرگ تر انتخاب کردن δ مقدار جریان بیشتر می شود.

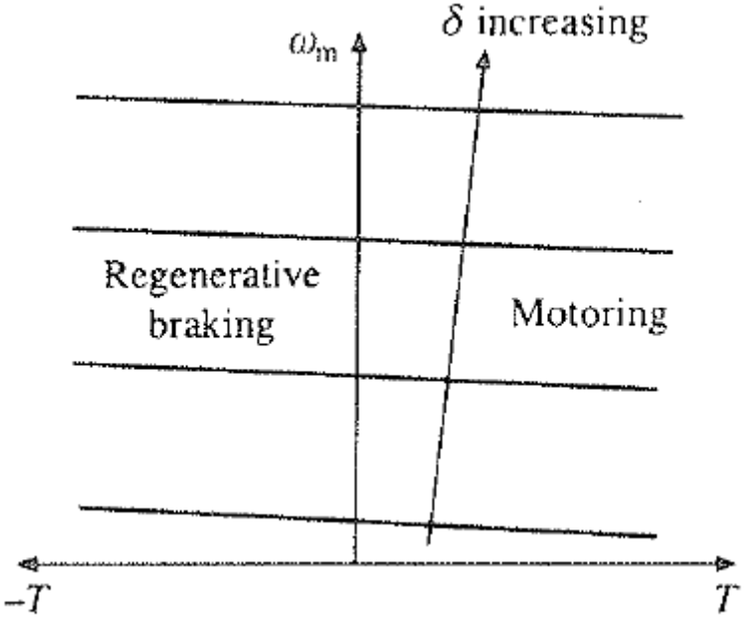
✓ مطابق رابطه جریان، برای منفی کردن جریان آرمیچر و ایجاد عملکرد ترمز ژنراتوری (ربع ۲)، باید داشته باشیم:

$$\delta < \frac{E}{V} \qquad (۴۱)$$

✓ شکل (ب) مشخصه T-ω محرکه دو ربعی با برشگر کلاس C را نمایش می دهد:



(الف) برشگر کلاس C برای عملکرد دو ربعی (۱ و ۲) محرکه DC تحریک مستقل



(ب)) مشخصه گشتاور-سرعت موتور تحریک مستقل کنترل شده با برشگر کلاس C

➢ عملکرد چهار ربعی موتور تحریک مستقل بوسیله برشگر کلاس E

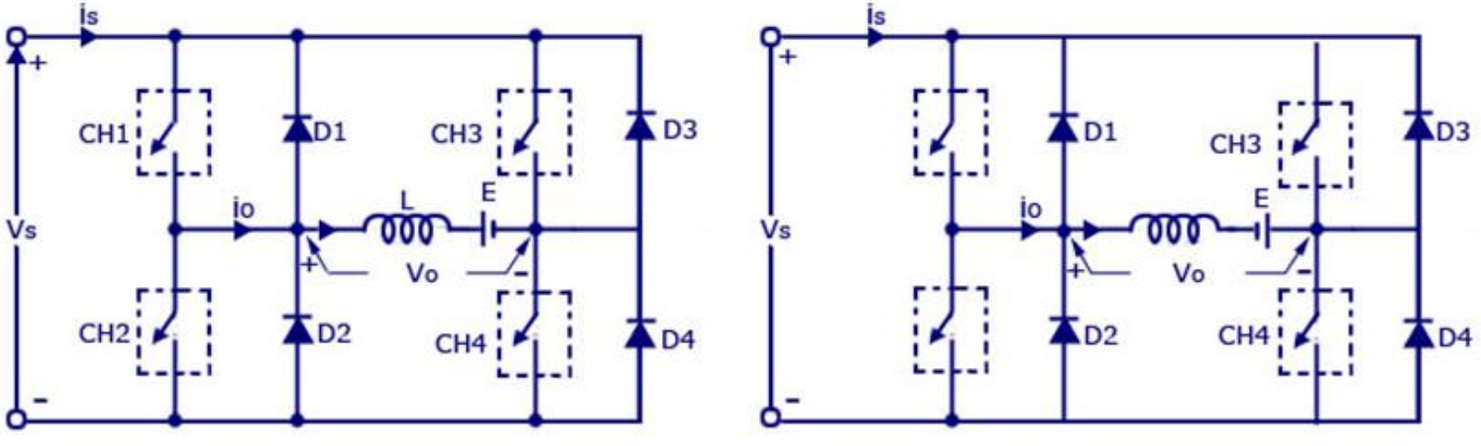
✓ برای داشتن عملکرد چهار ربعی محرکه نیاز به برشگری داریم که قابلیت ایجاد جریان و ولتاژ آرمیچر مثبت و منفی را داشته باشد. برشگر کلاس E چنین ویژگی دارد.

❖ طریق عملکرد:

- ربع ۱: CH4 روشن، CH1 تحت کنترل (مبدل کاهنده)
- ربع ۲: CH2 تحت کنترل (مبدل افزاینده)
- ربع ۳: CH2 روشن، CH3 تحت کنترل (مبدل کاهنده)
- ربع ٤: CH4 تحت کنترل (مبدل افزاینده)

✓ نکته مهم آنکه برای کار در ربعهای ۳ و ٤، ولتاژ ضدمحرکه E باید معکوس شود.

E-type Chopper Circuit Diagram With Load emf E and E Reversed



➢ ترمز دینامیکی موتور تحریک مستقل بوسیله برشگر

- ✓ ترمز دینامیکی، درکاربردهایی که بازیابی انرژی اهمیت چندانی ندارد و یا کاهش هزینه مطرح نیست بکار می رود.
- ✓ تفاوت این مدار با مدار ترمز دینامیکی معمولی در آن است که مقدار موثر مقاومت دیده شده از مدار آرمیچر با تغییر دوره عملکرد سوئیچ قابل تغییر است.

○ انرژی مصرف شده توسط مقاومت R_B در یک سیکل کار برشگر:

$$E_B = I_a^2 R_B (1-\delta) T \qquad (۴۲)$$

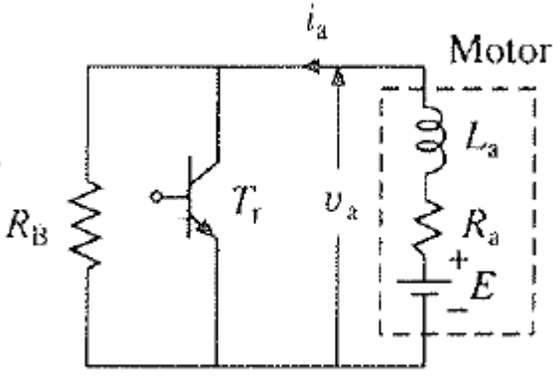
○ توان تلفاتی:

$$P_a = \frac{E_B}{T} = I_a^2 R_B (1-\delta) \qquad (۴۳)$$

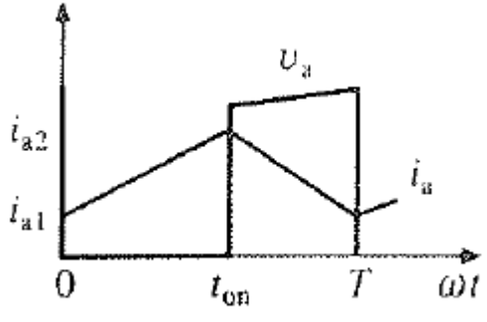
○ لذا مقدار موثر مقاومت دیده شده از مدار آرمیچر برابرست با:

$$R_e = R_B (1-\delta) \qquad (۴۴)$$

✓ با تغییر مناسب مقدار δ و لذا R_B می توان جریان و درنتیجه گشتاور ترمزی را همواره در مقدار حداکثر مجاز موتور قرار داد.



(الف) ترمز دینامیکی موتور تحریک مستقل با برشگر

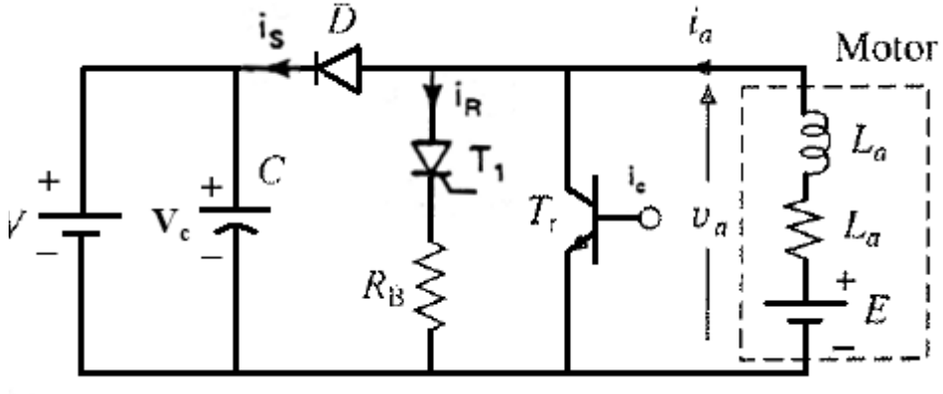


(ب) تغییرات ولتاژ و جریان آرمیچر

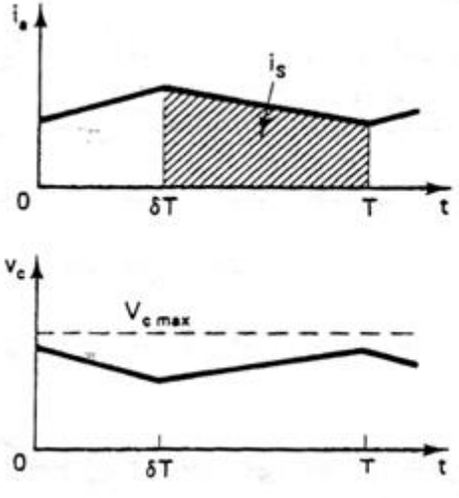
❑ کنترل موتورهای DC با استفاده از برشگرهای DC

➢ ترمز مختلط موتور تحریک مستقل بوسیله برشگر

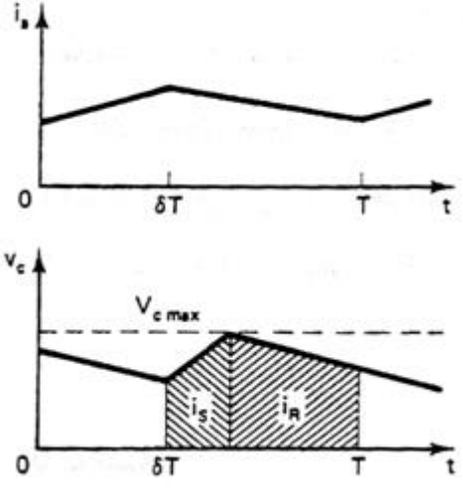
- ✓ اگر انرژی بازیاب شده از ترمز ژنراتوری فراتر از توان ذخیره سازی باطریها باشد، انرژی اضافه باید در مقاومت تلف شود و به عبارتی ترمز دینامیکی انجام شود.
- ✓ در مدار شکل (الف)، مادامیکه ولتاژ خازن V_c زیر حد ماکزیمم (V_{max}) باشد، به تریستور T_1 فرمان داده نمی شود.
- ✓ در شکل (ب) مشاهده می گردد که ولتاژ خازن زیر مقدار ماکزیمم است و جریان از موتور به منبع می رود.
- ✓ اما مطابق شکل (ج)، به محض رسیدن ولتاژ به مقدار حداکثر آن، مقاومت R_B وارد مدار شده و انرژی جنبشی موتور تا دوره تناوب بعدی در مقاومت تخلیه می شود.
- ✓ می توان از ساختار کنترلی شکل (الف) در مدار برشگر کلاس C (داشتن عملکرد دو ربعی) نیز استفاده نمود.



(الف) ترمز مختلط موتور تحریک مستقل با برشگر



(ب) شکل موجها در ترمز ژنراتوری



(ج) شکل موجها در ترمز مختلط

➢ انواع حلقه های کنترلی

- ✓ زمانیکه آرایشهای حلقه باز نمی توانند دقت و سرعت مطلوب را در کنترل سرعت محرکه برآورده سازند، محرکه بصورت یک سیستم حلقه بسته بایستی بکار گرفته شود.
- ✓ محرکه های حلقه بسته شامل یکسوکننده ها بیش از برشگرها استفاده می شوند. لذا در این بخش فقط محرکه های شامل یکسو کننده های بررسی می شوند.
- ✓ حلقه های فیدبک اضافی جهت بهبود عملکرد دینامیکی سیستم و محدود کردن پارامترها بکار می روند.

❖ **انواع حلقه های کنترلی در محرکه های DC:**

- ✓ در اغلب محرکه های کنترل سرعت حلقه بسته صنعتی، معمولا دو حلقه **کنترل سرعت** و **کنترل جریان** وجود دارند.

❖ **هدف از کنترل جریان:** نگهداشتن عمدی جریان در حد مجاز ماکزیمم آن در طی شرایط گذرا است.

❖ **هدف از کنترل سرعت:** تنظیم مناسب سرعت حول مقدار دلخواه در حضور اغتشاشاتی نظیر ولتاژ منبع و یا گشتاور بار

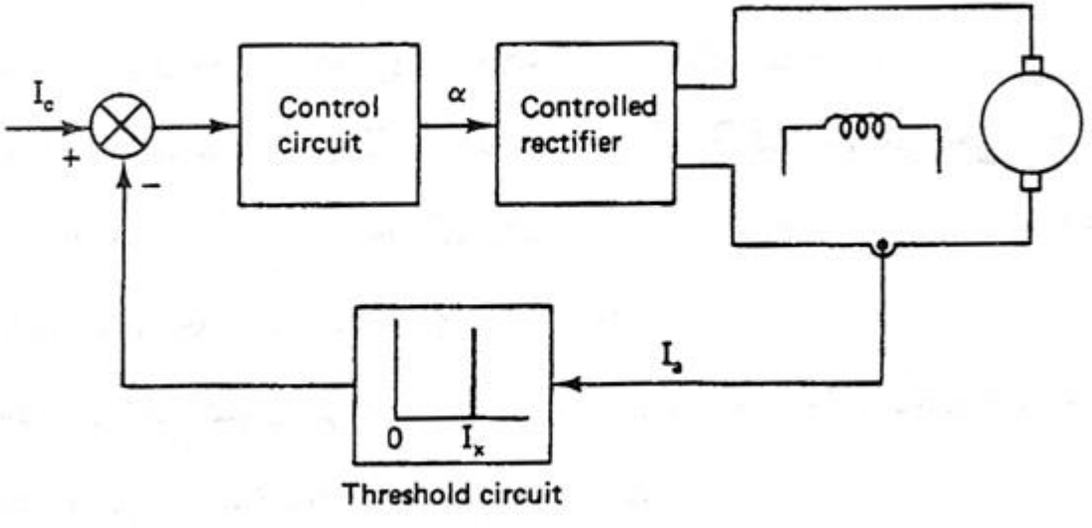
❖ **انواع روش های کنترل جریان:**

1) کنترل حد جریان
2) حلقه داخلی کنترل جریان

❑ کنترل حلقه بسته درایوهای DC

➢ کنترل حد جریان

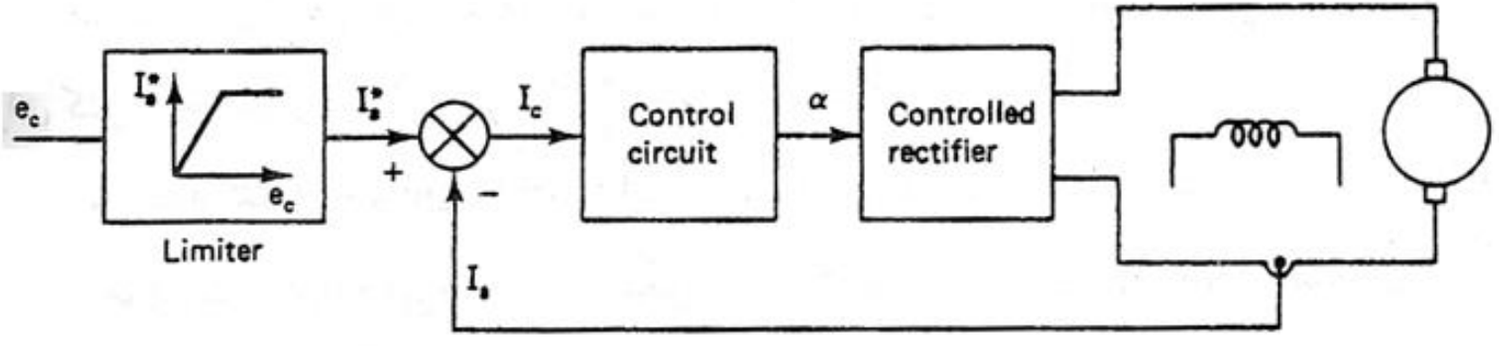
- ✓ این روش کنترلی فقط برای جلوگیری از اضافه جریان موتور در تمام شرایط کاری است و روی پاسخ دینامیکی سیستم تاثیر خاصی ندارد.
- ✓ قبل از اینکه به هر دلیلی موتور اضافه جریان پیدا کند و سیستم حفاظتی نظیر بریکر یا فیوز سبب قطع عملکرد محرکه گردد، حلقه کنترل حد جریان مانع از افزایش مقدار جریان می شود.
- ✓ اگر I_a کمتر از مقدار حداکثر جریان مجاز I_x باشد، خروجی مدار Threshold صفر باقی می ماند. در اینحالت موتور مستقل از مدار آستانه و با زاویه آتش مورد نیاز تعیین شده توسط سیستم کنترل کار می کند.
- ✓ اما اگر I_a از I_x (جریان آستانه که معمولا برابر جریان حداکثر موتور است)، فراتر رود، حتی با یک مدار بسیار کوچک، سیگنال بزرگی توسط مدار Threshold ایجاد می شود و زاویه آتش یکسوساز به مقدار زیادی افزایش می یابد بنحوی که جریان را مجبور به کاهش تا زیر مقدار I_x نماید.



کنترل حد جریان

➢ حلقه داخلی کنترل جریان

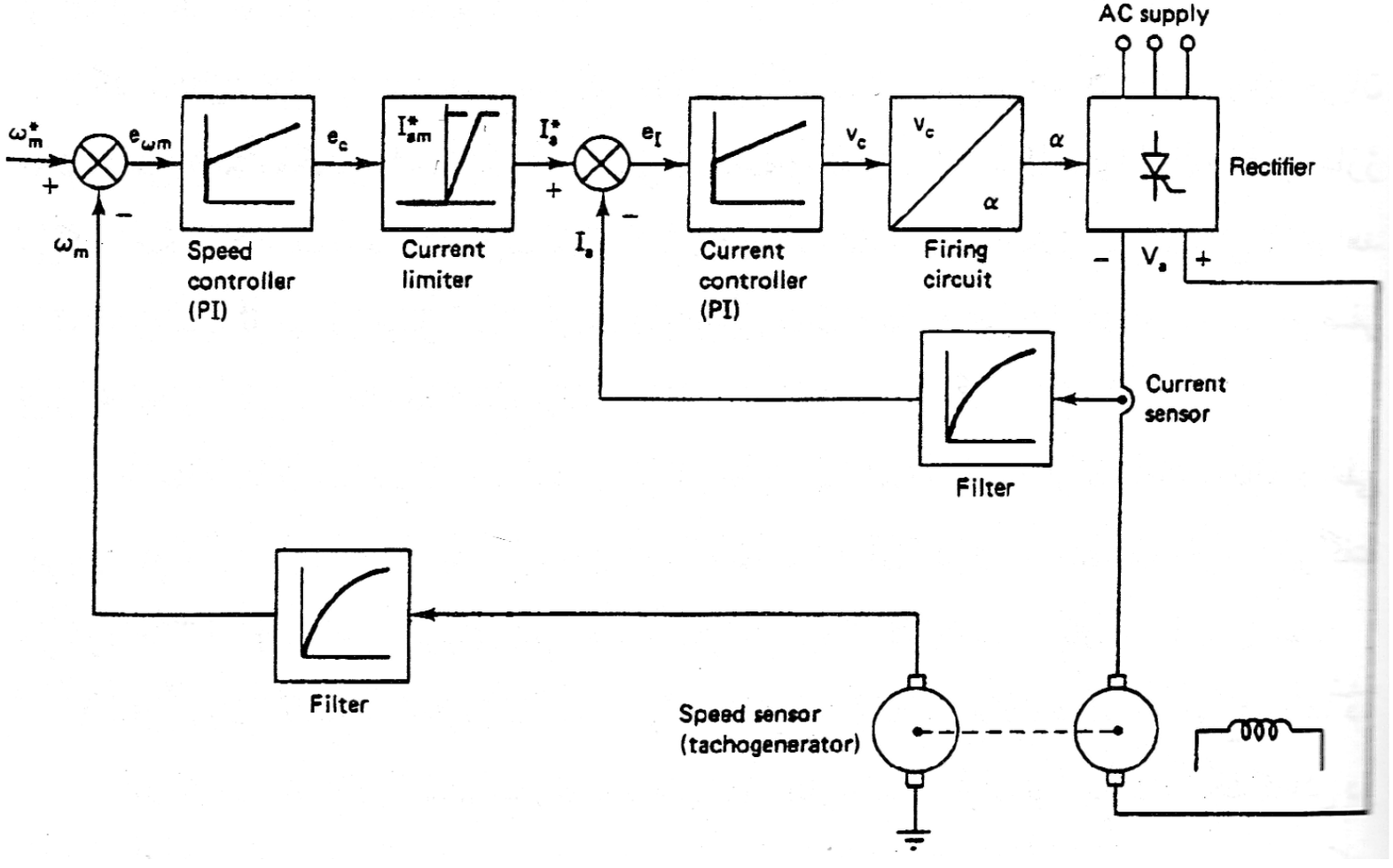
- ✓ کنترل کننده جریان سبب می شود تا جریان آرمیچر، مقدار مرجع خود یعنی I^*_a را سریعا دنبال کند.
- ✓ مرجع جریان I^*_a بر اساس خطای سرعت e_c ساخته می شود که در خطاهای زیاد، مقدار جریان مرجع نیز زیاد می شود اما از حد ماکزیمم خود فراتر نمی رود.
- ✓ حلقه داخلی جریان هم حفاظت لحظه ای موتور در برابر اضافه جریان را برعهده دارد و هم پاسخ دینامیکی را بهبود می بخشد.



کنترل با حلقه داخلی جریان

➢ سیستم کنترل حلقه بسته سرعت با حلقه داخلی کنترل جریان

✓ در محرکه های پیشرفته کنترل حلقه بسته سرعت موتور DC، بجای کنترل حدی، اغلب از حلقه داخلی جریان استفاده می شود.



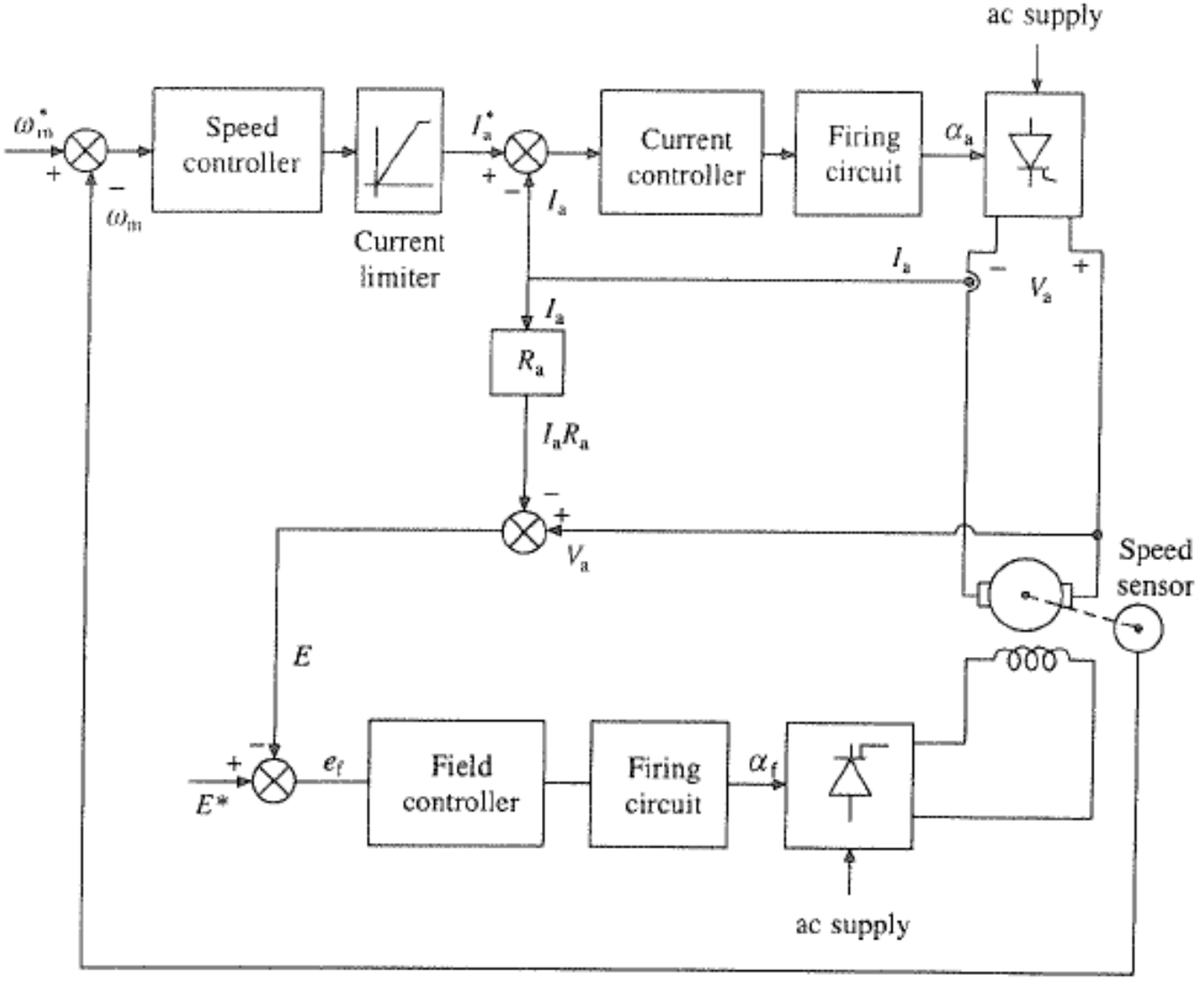
سیستم محرکه تک ربعی حلقه بسته سرعت موتور DC تحریک مستقل به روش کنترل ولتاژ آرمیچر و حلقه داخلی کنترل جریان

➢ کنترل حلقه بسته سرعت موتور DC با کاهش شار تحریک

- ✓ همانطور که قبلا هم اشاره گردید، در سرعتهای زیر سرعت نامی (سرعت مبنای موتور)، از کنترل ولتاژ آرمیچر (با استفاده از یکسوساز و یا برشگر) برای تنظیم سرعت استفاده می شود. در سرعت نامی، ولتاژ آرمیچر به مقدار نامی اش می رسد.
- ✓ اما در سرعت های بالاتر از سرعت نامی، ولتاژ آرمیچر از مقدار نامی اش مجاز نیست فراتر رود و برای کار در این ناحیه، بمنظور جلوگیری از افزایش توان موتور از مقدار نامی اش، شار بایدکاهش یابد.
- ✓ این روش کنترل بنام کنترل با کاهش میدان (یا کاهش شار) و یا کنترل Field weakening نیز معروف است.
- ✓ برای کاهش شار ، روش مستقیم آن است که از سنسور شار در تحریک موتور استفاده نموده و سیستم کنترل حلقه بسته شار اجرا شود. اما استفاده از سنسور شار به دلایلی که قبلا اشاره گردید در بخش تحریک موتورهای DC هم رایج نیست.
- ✓ بجای کنترل مستقیم شار، ولتاژ ضدمحرکه E را کنترل می کنند. به عبارتی برای ثابت ماندن توان، حاصلضرب $E \times I_a$ موتور باید ثابت بماند و با توجه به آنکه جریان I_a در نهایت تا مقدار نامی اش می تواند افزایش یابد، مقدار مجاز دامنه ولتاژ ضدمحرکه موتور بدست می آید.
- ✓ لذا بجای داشتن حلقه کنترل شار، از حلقه کنترل ولتاژ ضدمحرکه E استفاده می کنند.
- ✓ مقدار واقعی ولتاژ ضدمحرکه E (مورد استفاده در حلقه کنترل مربوطه) قابل اندازه گیری نیست و باید محاسبه گردد. برای محاسبه آن از رابطه $E=V_a - R_aI_a$ استفاده می گردد. در محاسبه E باید نوسانات ناشی از سوئیچینگ ولتاژ و جریان با بکارگرفتن فیلترهای مناسب حذف گردند.

❑ کنترل حلقه بسته درایوهای DC

➢ کنترل حلقه بسته سرعت موتور DC با کاهش شار تحریک



سیستم محرکه تک ربعی حلقه بسته سرعت موتور DC تحریک مستقل به روش کنترل توامان ولتاژ آرمیچر و کاهش شار و حلقه داخلی کنترل جریان (با قابلیت تضعیف شار)