فصل اول:

مقدمه‌ای بر درایوهای الکتریکی

- مقدمه
- دینامیک سیستم موتور – بار و انواع بارها
- انواع مبدل‌های الکترونیک قدرت
- کنترل سرعت و عملکرد چند ربعی محرکه‌ها
- عناصر الکترونیک قدرت

❑ مقدمه

➢ تعاریف

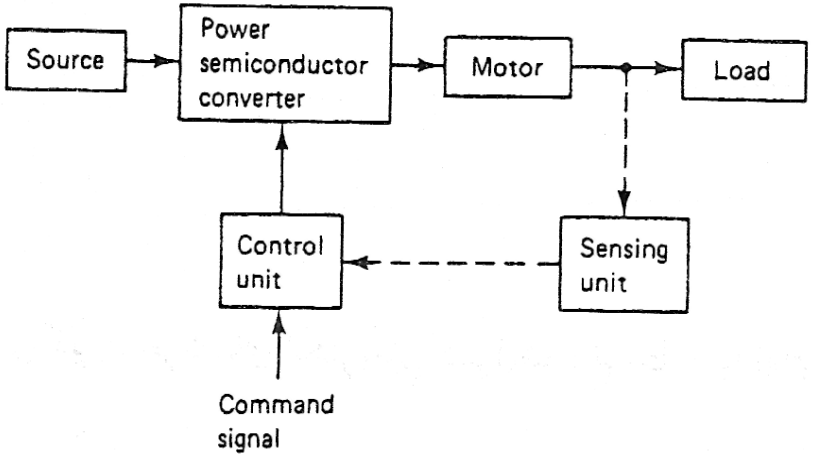
- **محرکه الکتریکی (یا درایو الکتریکی):** به یک سیستم کنترل اتوماتیک حلقه بسته مبتنی بر مبدلهای نیمه‌هادی (الکترونیک قدرت) گفته می شود که برای تنظیم یک پارامتر و یا پارامترهایی از بار بکار می‌رود.

- **علت استفاده از محرکه الکتریکی:** تنظیم سرعت یا گشتاور یا موقعیت یا ترکیبی از پارامترهای ذکر شده یک بار.

- **منظور از کنترل سرعت (یا گشتاور):** تغییرات عمدی و کنترل شده ولتاژ، جریان و فرکانس تغذیه که منجر به تغییر سرعت (گشتاور) مکانیکی موتور در بازه مشخص و دلخواهی می شود.

- **کاربردهای درایوهای الکتریکی:**
  - ✓ کاربردهای حمل و نقل، قطارها و خودرویی (Automotive).
  - ✓ خطوط تولید سرعت (گشتاور) متغیر نظیر صنایع فولاد، نورد، کاغذسازی، نساجی سیمان و امثالهم.
  - ✓ کاربردهای لوازم خانگی
  - ✓ رباتیک و ماشینهای ابزار
  - ✓ دیگر کاربردها

- **منبع انرژی الکتریکی (یا Source):** می توان برق DC، برق AC تکفاز یا سه فاز و یا باطری باشد.
- **مبدل نیمه‌هادی قدرت:** انتقال قدرت از منبع به موتور تنظیم تغذیه موتور به نحوی که مشخصه‌های موتور در مقادیر مطلوب قرار گیرند.
- **موتور:** مبدل انرژی الکترومکانیکی که توان الکتریکی را به توان مکانیکی (کار) تبدیل می کند.
- **واحد اندازه‌گیری:** تشخیص و شناسایی پارامترهای خاصی از موتور نظیر جریان، ولتاژ، گشتاور، سرعت و غیره را انجام می‌دهد.
- **واحد کنترل:** در این واحد، با توجه به فیدبکهای ارسال شده توسط واحد اندازه‌گیری، فرمانهای کنترلی مبدل ساخته می شوند.

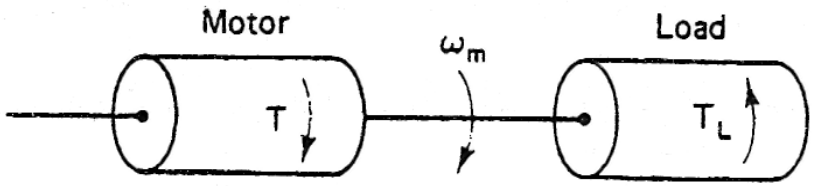


شکل ۱ ـ ۱ بلوک دیاگرام یک محرکهٔ الکتریکی

❑ دینامیک سیستم موتور – بار و انواع بارها

- انتخاب عناصر یک درایو الکتریکی باید با یکدیگر همخوانی داشته باشند.
- مهمترین همخوانی باید بین موتور و بار وجود داشته باشد. به عبارتی مشخصه‌های سرعت-گشتاور بار و موتور باید تطابق داشته باشند.
- برای این منظور ابتدا انواع بارها باید شناسایی شوند.

$$T = J\frac{d\omega}{dt} + T_l \qquad (۱)$$



شکل ۱ ـ ۲ سیستم معادل موتور ـ بار

$$T_l = T_W + T_F + T_M \qquad (۲)$$

مولفه‌های گشتاور بار:

$$T_W = C\omega_m^2 \qquad (۳)$$

۱- گشتاور باد T_W: گشتاور مقاوم هوای داخل موتور

۲- گشتاور اصطکاک T_F: اصطکاک بر روی محور و یا اجزای مختلف بار

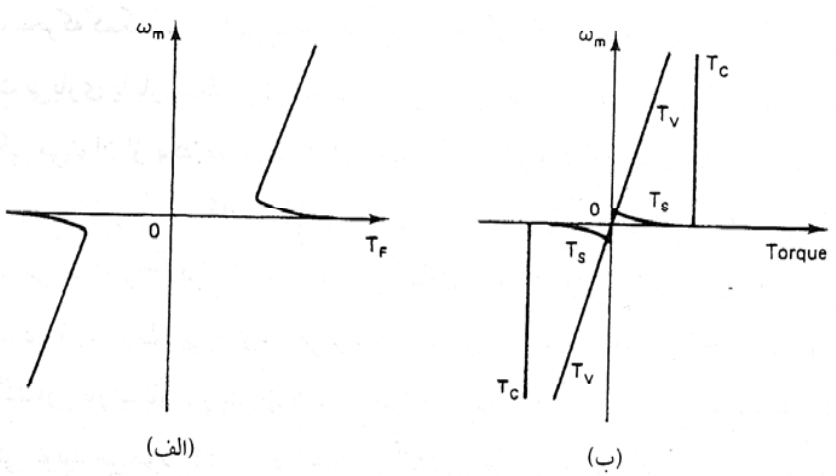
۳- گشتاور مورد نیاز جهت انجام کار مفید مکانیکی T_M: طبیعت و رفتار این گشتاور بسته به نوع بار دارد.

➢ مولفه‌های گشتاور اصطکاک:

۱- گشتاور چسبندگی T_v: متناسب با سرعت است. $T_v = B\omega_m$

۲- گشتاور T_c: گشتاور کولمبی که مستقل از سرعت است.

۳- گشتاور حالت سکون T_s: که با راه افتادن موتور از بین می رود.



شکل ۱ ـ ۳ گشتاور اصطکاک و مؤلفه‌های آن

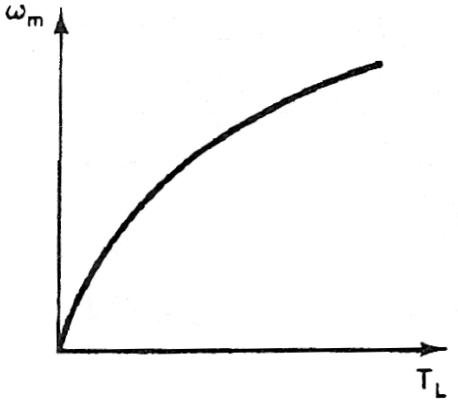
➢ در نهایت داریم:

$$T_l = B\omega_m + T_c + C\omega_m^2 + T_M \qquad (٤)$$

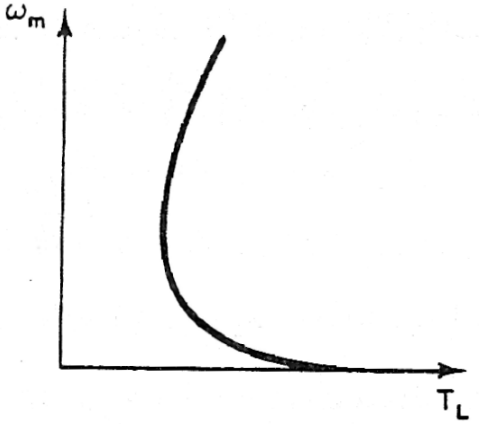
$$T = J\frac{d\omega_m}{dt} + T_M + B\omega_m \qquad (٥)$$

❑ دینامیک سیستم موتور – بار و انواع بارها

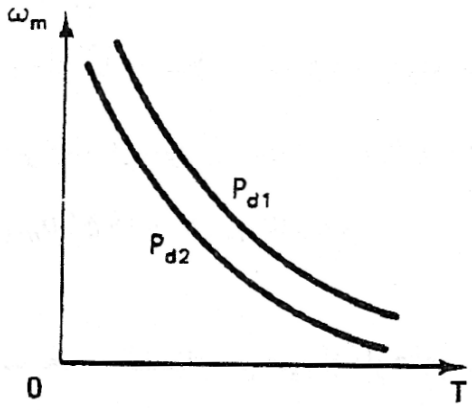
➢ مشخصه گشتاور - سرعت برخی بارهای متعارف:



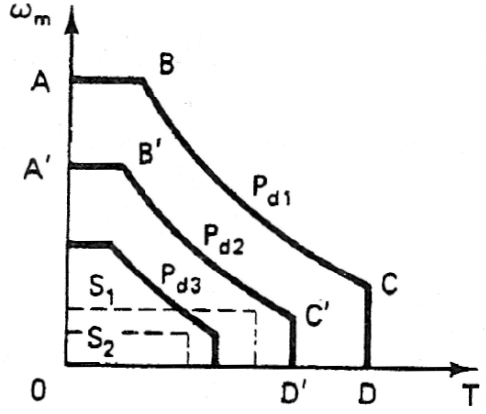
(الف) بارهای پنکه‌ای و پمپهای گریز از مرکز



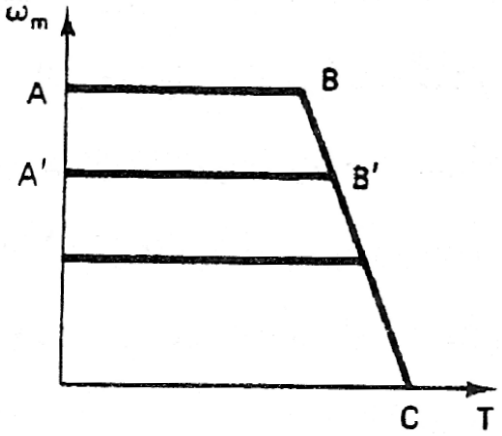
(ب) بارهای کششی



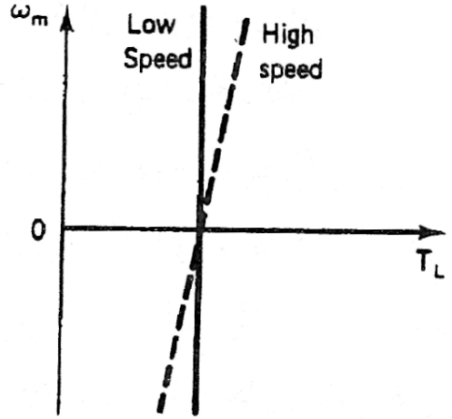
(ج) محرکه‌های پیچاننده‌ها



(د) لوکوموتیوهای دیزلی ـ الکتریکی



(هـ) ماشینهای حفاری



(و) جرثقیل و بالابرها

➢ **طبقه‌بندی انواع گشتاور بار:**

۱- گشتاور بار فعال (Active)

۲- گشتاور بار غیرفعال (Passive)

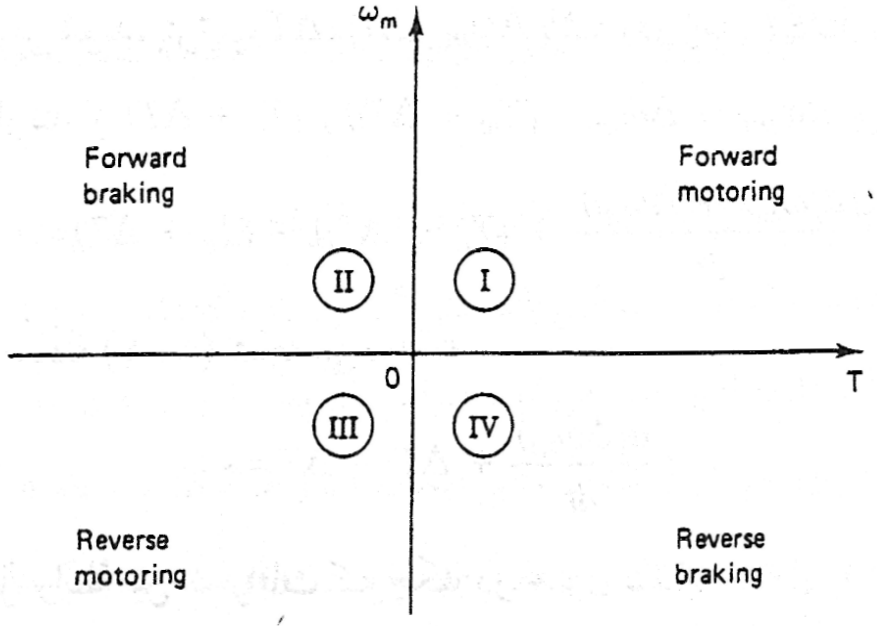
✓ **گشتاور بار فعال:** گشتاوری است که علامت آن علیرغم تغییر جهت چرخش محرکه ثابت می‌ماند. نظیر گشتاور ناشی از کشش، فشار و پیچش و گشتاور ناشی از نیروی جاذبه.

✓ **گشتاور بار غیرفعال:** گشتاوری است که علامت آن با تغییر جهت چرخش محرکه تغییر می‌کند. بعبارتی این نوع گشتاور همواره با حرکت مخالف است، نظیر گشتاور اصطکاک.

❑ دینامیک سیستم موتور – بار و انواع بارها

➢ عملکرد چند ربعی و قراردادهای سرعت-گشتاور:

- ✓ اگر یک ماشین الکتریکی بصورت موتوری و فقط در یک جهت بچرخد بطور قراردادی علامت سرعت و گشتاور آنرا مثبت فرض می‌کنیم.
- ✓ همچنین، در محرکه های الکتریکی، یک موتور (با داشتن گشتاور مثبت) می تواند در دو جهت راستگرد (مثبت) و چپگرد (منفی) بچرخد.
- ✓ در محرکه‌های پیشرفته ماشین الکتریکی بصورت ژنراتور نیز می‌تواند عمل کند که برای آن دو جهت مثبت و منفی در نظر می‌گیریم.



شکل ۱ ـ ۵ عملکرد چهارربعی محرکه‌های الکتریکی

- ✓ در عملکرد موتوری، علامت توان (حاصلضرب سرعت در گشتاور) همواره مثبت است، اما در عملکرد ژنراتوری این علامت منفی است.

➢ پایداری حالت دائمی:

- ✓ مطابق رابطه (۱) تعادل سرعت بین موتور-بار هنگامی حاصل می شود که گشتاور موتور با گشتاور بار برابر باشد.
- ✓ نقطه تعادل به شرطی پایدار است که در صورت بروز هر انحراف کوچک سرعت ناشی از هر اختلال، سرعت مجددا به مقدار اولیه باز گردد.

❖ به فرض در نقطه تعادل کاری، گشتاور موتور (T_e)با گشتاور بار (T_{le}) برابر بوده و تغییرات سرعت نیز ($d\omega_{me}$) صفر باشد یعنی:

$$T_e = T_{le} \ , \ \frac{d\omega_{me}}{dt} = 0 \qquad (٦)$$

اگر به دلیل یک اختلال در منبع یا بار انحراف سرعت $\Delta\omega_m$ ایجاد شود خواهیم داشت:

$$T_e + \Delta T = J\frac{d(\omega_{me} + \Delta\omega_m)}{dt} + T_{le} + \Delta T_l \qquad (٧)$$

$$\Delta T = \left(\frac{dT}{d\omega_{me}}\right)\Delta\omega_m \quad , \quad \Delta T_l = \left(\frac{dT_l}{d\omega_{me}}\right)\Delta\omega_m \qquad (٨)$$

انحرافات کوچک گشتاور را می‌توان به اینصورت خطی‌سازی نمود:

$$J\frac{d(\Delta\omega_m)}{dt} + \left(\frac{dT_l}{d\omega_m} - \frac{dT}{d\omega_m}\right)\Delta\omega_m = 0 \qquad (٩)$$

$$\Delta\omega_m(t) = (\Delta\omega_m)_o\, e^{-\frac{1}{J}\left[\frac{dT_l}{d\omega_m} - \frac{dT}{d\omega_m}\right]t} \qquad (١٠)$$

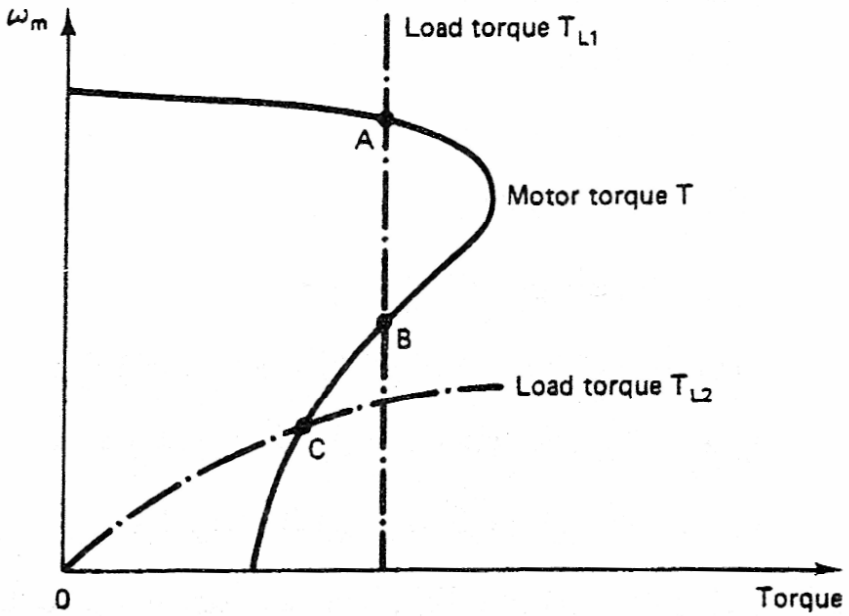
... پایداری حالت دائمی:

شرط پایداری نقطه تعادل: (۱۱)

$$\left(\frac{dT_l}{d\omega_m} - \frac{dT}{d\omega_m}\right) > 0$$

✓ مفهوم معادله فوق آنست که:

- برای هر افزایشی در سرعت، گشتاور بار باید از گشتاور موتور بیشتر شود تا شتاب منفی حاصل شده و نقطه کار به نقطه تعادل باز گردد.
- برای هر کاهشی در سرعت، گشتاور موتور از گشتاور بار بیشتر شود تا شتاب مثبت ایجاد شده و نقطه کار به نقطه تعادل باز گردد.



پایداری حالت دائمی نقاط تعادل

مثال: در شکل مقابل، نقطه A پایدار ولی B ناپایدارست.

نقطه C نیز یک نقطه پایدار است.

نتیجه: پایداری تنها به مشخصه گشتاور-سرعت موتور بستگی ندارد و به مشخصه بار نیز وابسته است.

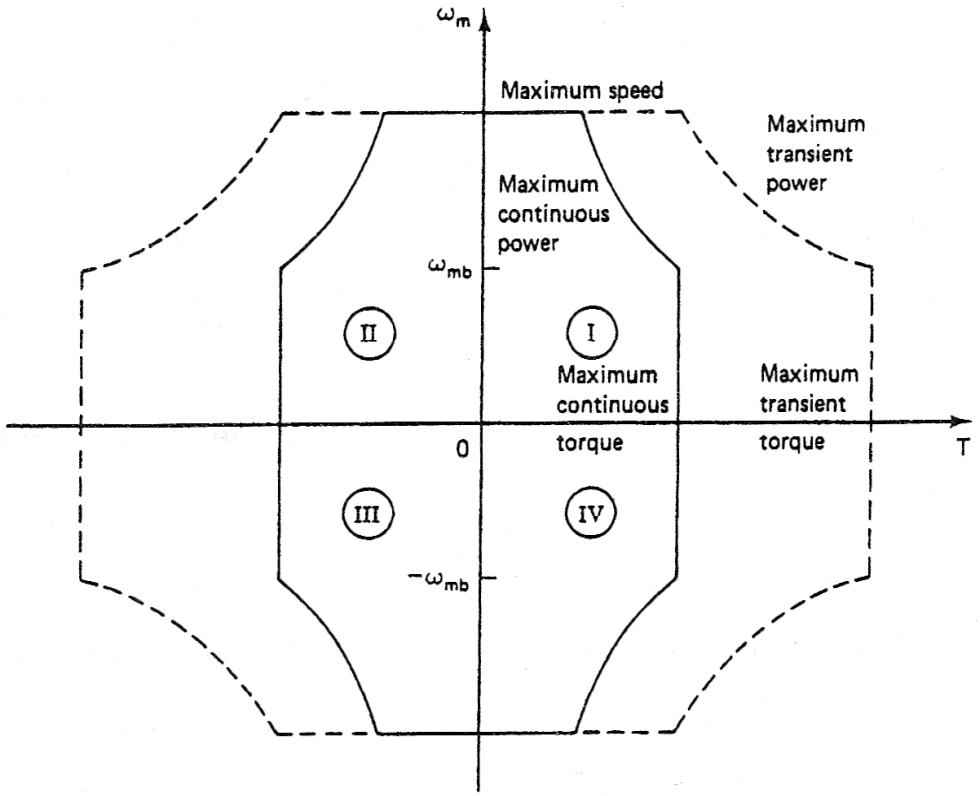
❑ انواع مبدل‌های الکترونیک قدرت

مبدلها، نحوهٔ تبدیل انرژی و کاربرد هر یک از آنها

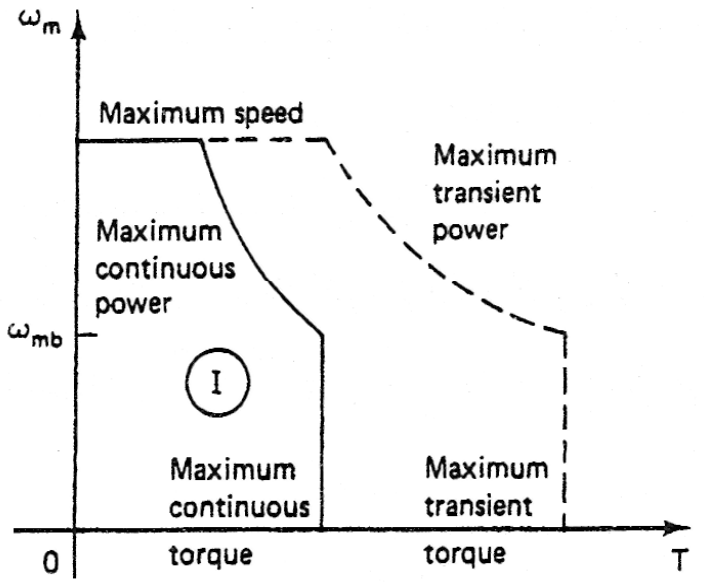
نوع مبدل	نحوهٔ تبدیل انرژی الکتریکی	کاربردها
۱ ـ یکسوکننده‌های قابل کنترل	تبدیل ac به dc	کنترل موتورهای dc، القایی و سنکرون
۲ ـ برشگرها	ولتاژ dc ثابت به ولتاژ dc متغیر	کنترل موتورهای dc و القایی
۳ ـ کنترل‌کننده‌های ولتاژ ac	ولتاژ ac ثابت به ولتاژ ac متغیر در فرکانس یکسان	کنترل موتورهای القایی
۴ ـ اینورترها (با منبع ولتاژ یا منبع جریان)	تبدیل منبع dc به منبع ac جریان یا ولتاژ با فرکانس ثابت یا متغیر	کنترل موتورهای القایی و موتورهای سنکرون
۵ ـ سیکلوکنورترها	تبدیل منبع ac با ولتاژ و فرکانس ثابت به ولتاژ ac با دامنه و فرکانس متغیر	کنترل موتورهای القایی و سنکرون

❑ کنترل سرعت و عملکرد چند ربعی محرکه‌ها

- ✓ خطوط توپر نشان دهنده ماکزیمم حدود سرعت، گشتاور و توان یک محرکه برای کار در حالت دائمی هستند.
- ✓ برای دستیابی به پاسخ گذاری سریع، محرکه اجازه دارد تا برای مدت زمان محدودی فراتر از حدود حداکثر دائمی خود کار کند.



محدوده‌های ماکزیمم گشتاور و قدرت محرکه‌ها در حالات کار مداوم و گذرا در چهار ربع



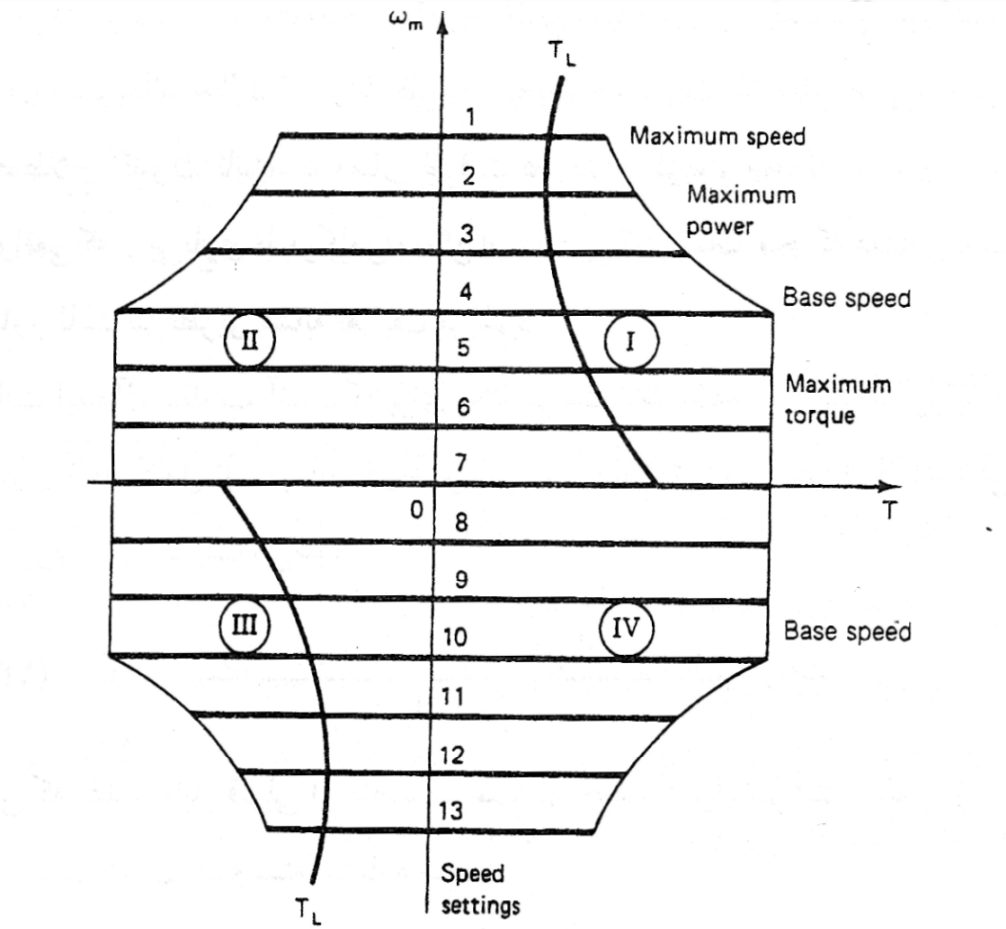
❑ کنترل سرعت و عملکرد چند ربعی محرکه‌ها

✓ **می‌خواهیم با استفاده از عملکرد چهار ربعی محرکه، تغییرات زیر را در سرعت بوجود آوریم:**

۱- کاهش سرعت در همان جهت چرخش

۲- معکوس شدن سرعت

۳- افزایش سرعت در همان جهت چرخش

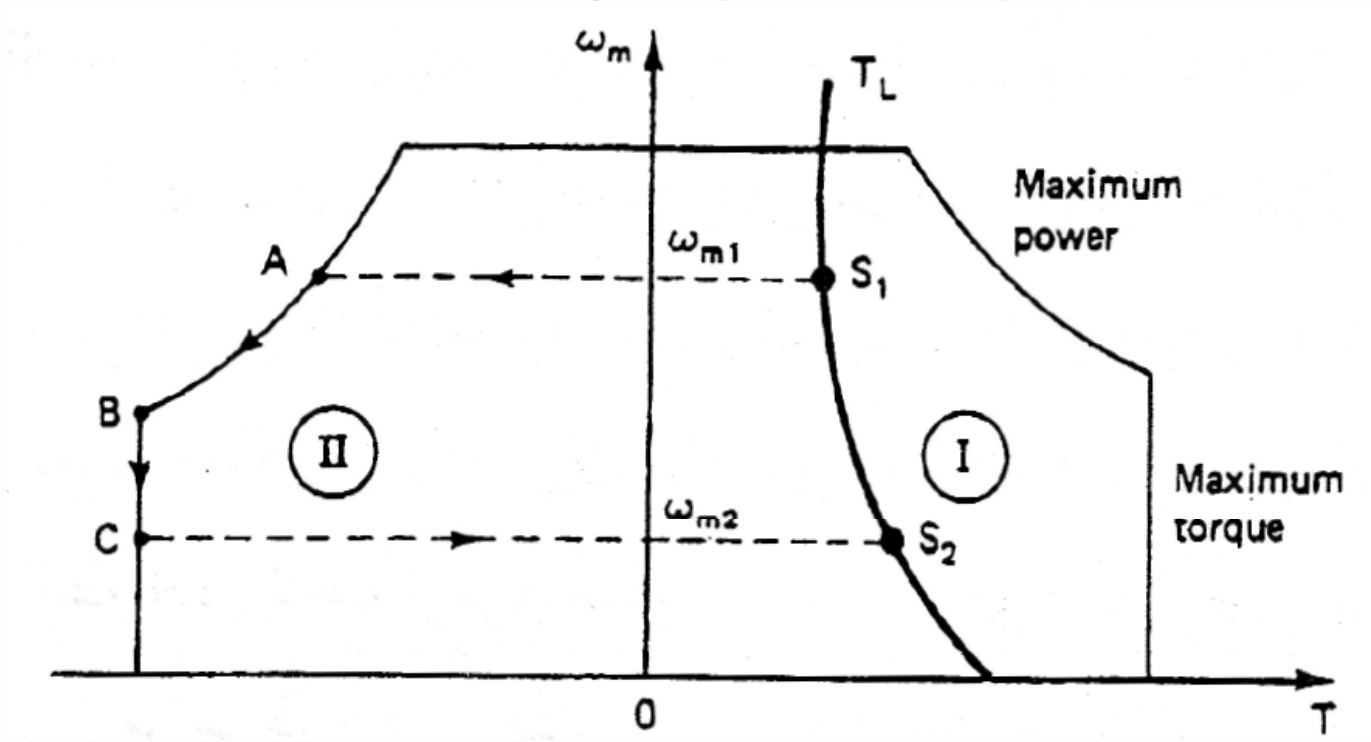


شکل ۱ ـ ۸ منحنی‌های سرعت ـ گشتاور موتور برای سرعتهای تنظیمی مختلف همراه با مشخصه بار

❑ کنترل سرعت و عملکرد چند ربعی محرکه‌ها

➢ کاهش سرعت:

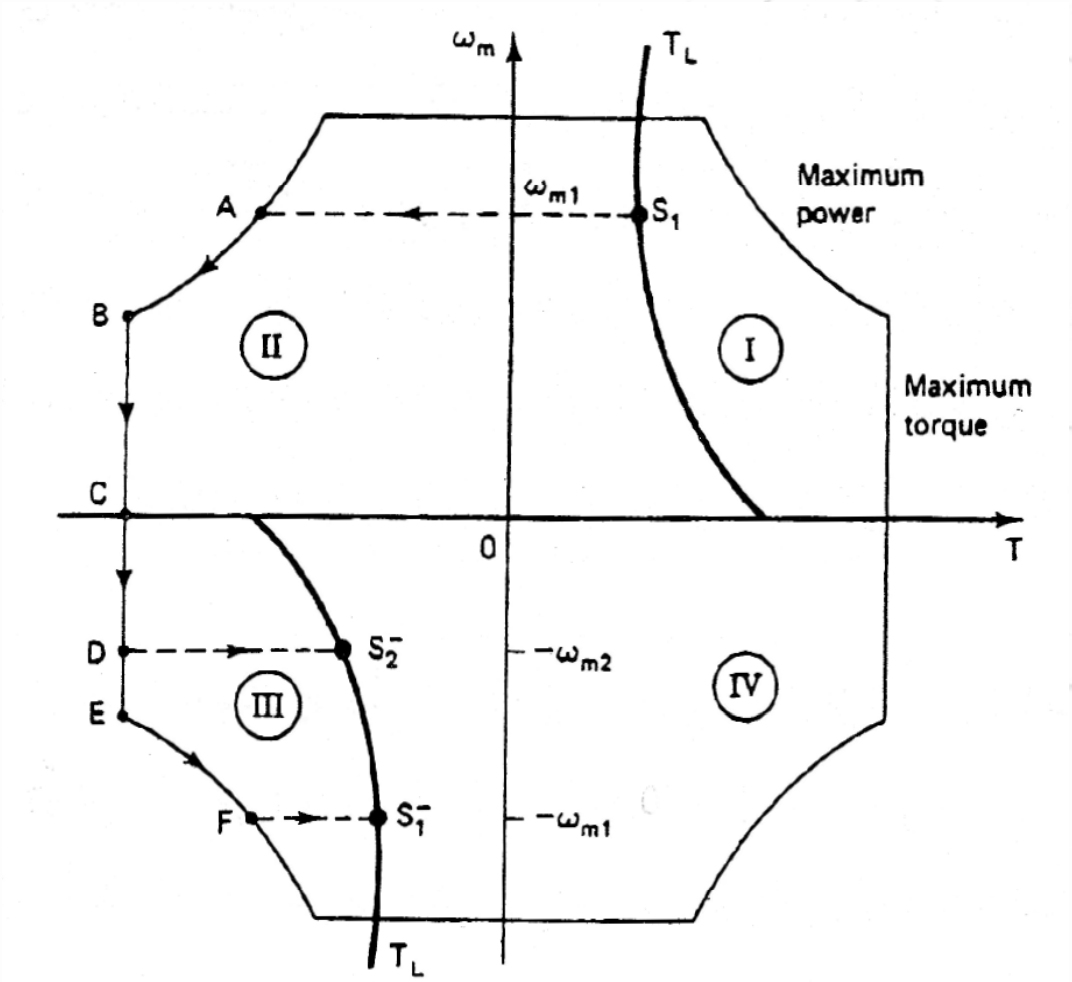
✓ برای کاهش سرعت از نقطه S_1، برای مدت کوتاهی، موتور با حداکثر توان و گشتاور در ناحیه ترمزی کار خواهد نمود و پس از رسیدن سرعت به مقدار دلخواه با تغییر عملکرد مبدل به موتوری، به نقطه کار جدید S_2 خواهیم رسید.



❑ کنترل سرعت و عملکرد چند ربعی محرکه‌ها

➢ معکوس نمودن سرعت:

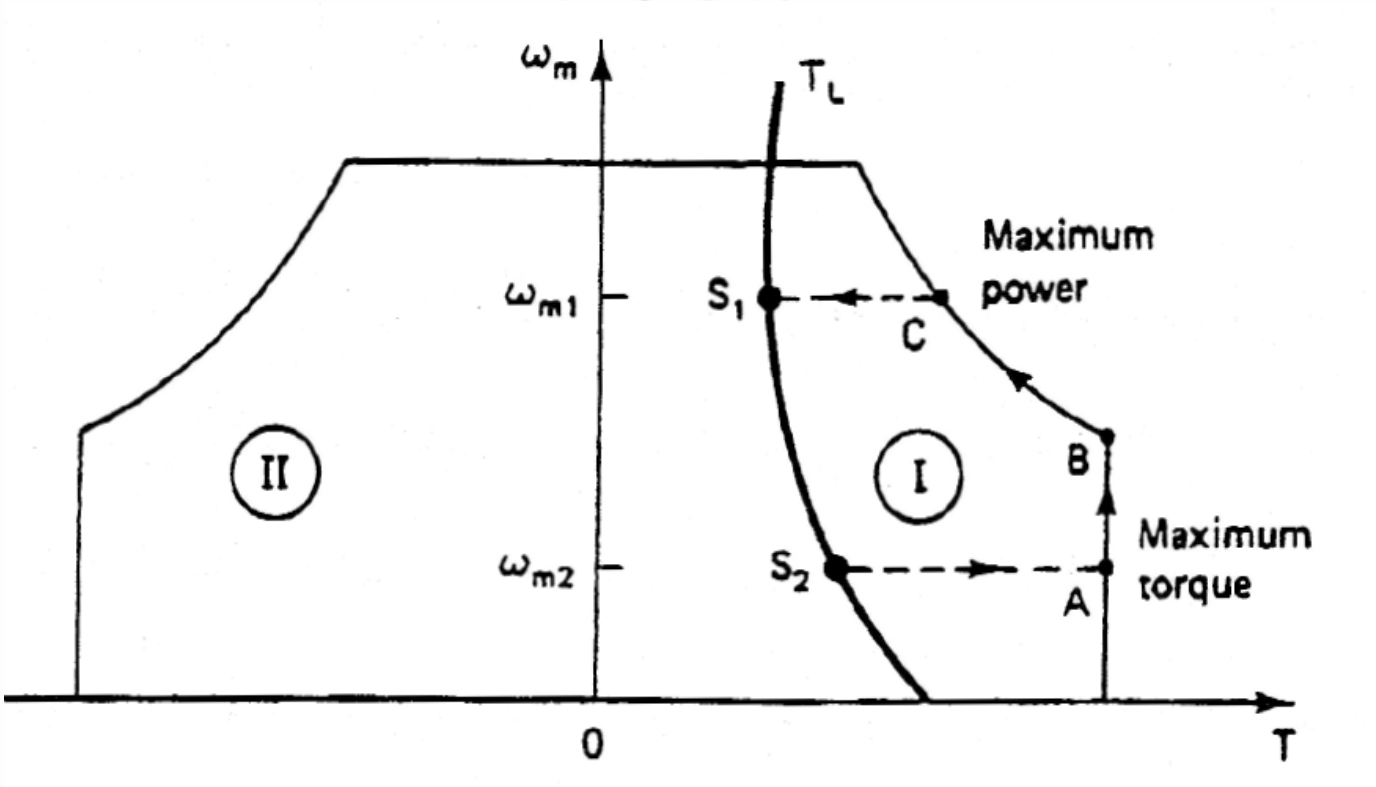
✓ برای معکوس نمودن سرعت، ابتدا با حداکثر توان و گشتاور در مود ترمزی (ناحیه دوم) کار کرده و پس از صفر شدن سرعت موتور (نقطه C) و به مود موتوری چپگرد (ناحیه سوم) وارد شده و با حداکثر توان و گشتاور در جهت منفی شتاب گرفته تا به سرعت مطلوب (نقطه S_1^-) برسیم.



❑ کنترل سرعت و عملکرد چند ربعی محرکه‌ها

➢ افزایش سرعت:

✓ برای افزایش سرعت، از نقطه S_2 به نقطه S_1، محرکه با حداکثر توان و گشتاور در ناحیه اول عمل خواهد نمود تا سرعت به مقدار مطلوب برسد.

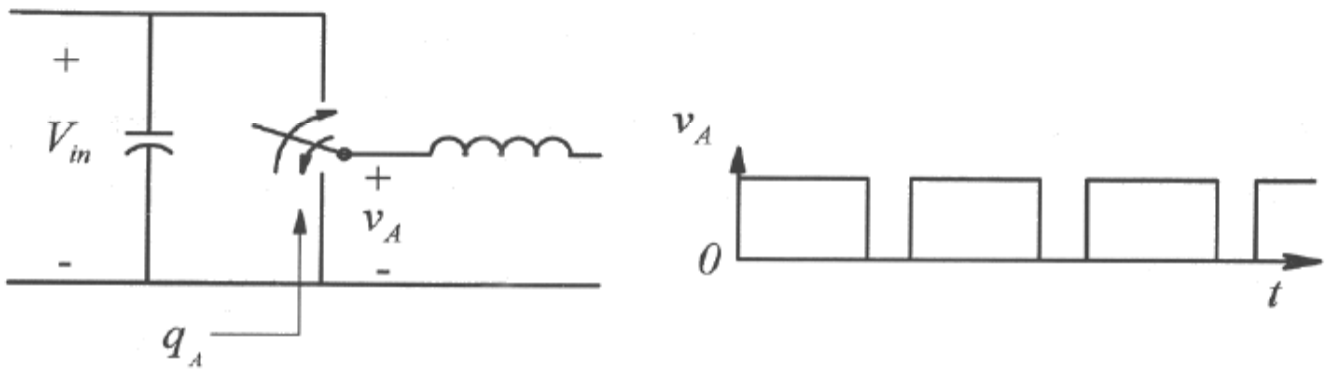


❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

- ✓ عناصر نیمه‌هادی قدرت مورد استفاده در محرکه‌های (درایوهای) الکتریکی به عنوان سوئیچ کنترل شده جهت قطع و وصل جریان به کار می روند.
- ✓ لذا ناحیه عملکردی عناصر نیمه‌هادی، ناحیه اشباع است و این عناصر هیچگاه در حالت هدایت قرار نمی گیرند. لذا ولتاژ این عناصر در حالت وصل برابر با ولتاژ اشباع آنهاست که بسته به نوع سوئیچ از ۱ ولت تا ۵ ولت می باشند.

❖ معیارهای انتخاب یک عنصر نیمه‌هادی برای یک مدار الکترونیک قدرت:

۱) توان مورد نیاز
۲) سرعت کلیدزنی (فرکانس سوئیچینگ)
۳) ضریب بهره بالاتر
۴) قیمت تمام شده
۵) تلفات کمتر

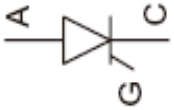


❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

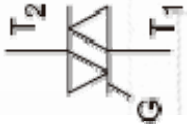
➢ روند تکاملی سوئیچ‌های قدرت:

- DIODE (1955)

- THYRISTOR (1958)

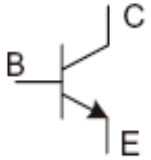


- **TRIAC (1958)**

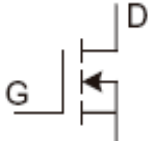


- GATE TURN-OFF THYRISTOR (GTO) (1980)

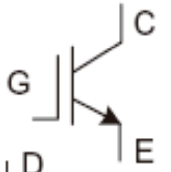
- BIPOLAR POWER TRANSISTOR (BPT or BJT) (1975)



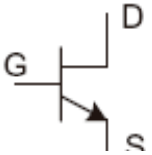
- POWER MOSFET (1975)



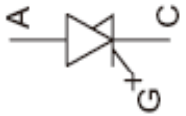
- INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR (IGBT) (1985)



- STATIC INDUCTION TRANSISTOR (SIT) (1985)



- INTEGRATED GATE-COMMUTATED THYRISTOR (IGCT) (1996)



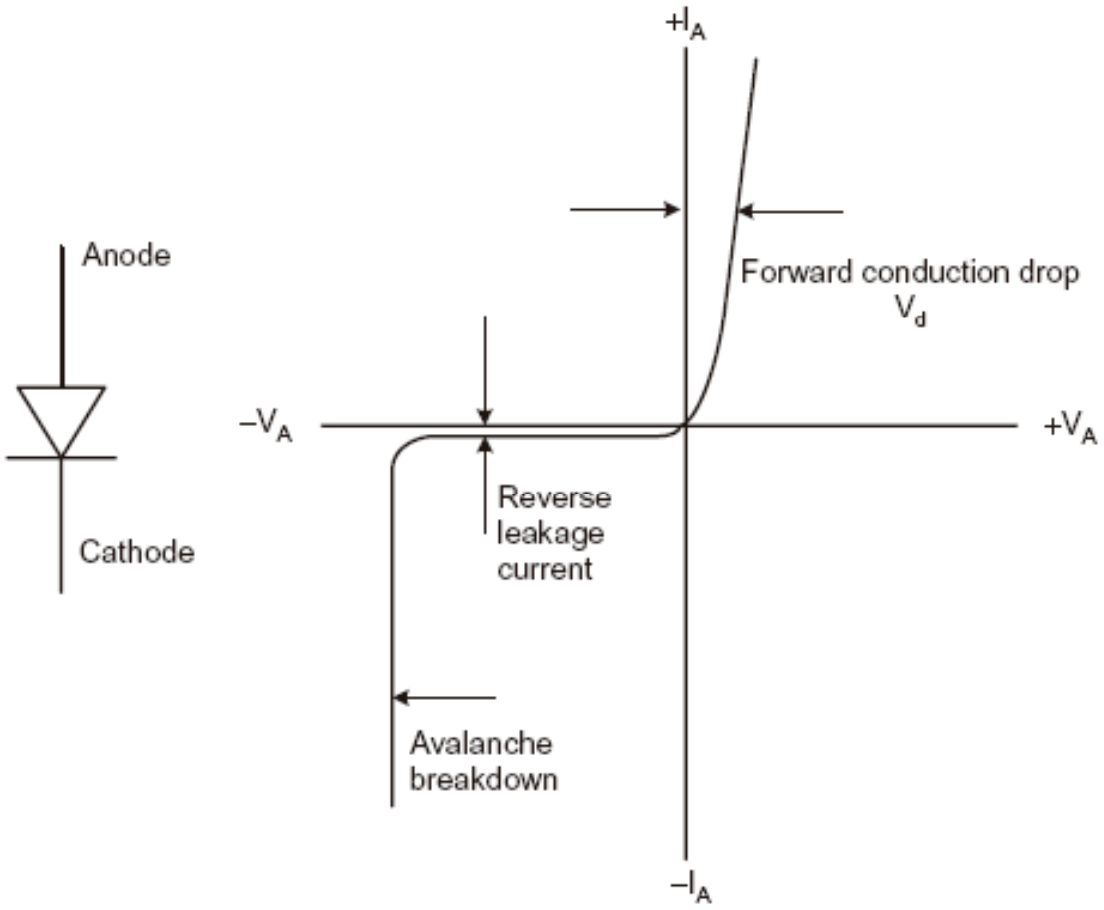
❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

➢ مهم‌ترین رخدادهای علم الکترونیک قدرت:

- 1891 – Ward-Leonard dc motor speed control is introduced
- 1897 – Development of three-phase diode bridge rectifier (Graetz circuit)
- 1901 – Peter Cooper Hewitt demonstrates glass-bulb mercury-arc rectifier
- 1906 – Kramer drive is introduced
- 1907 – Scherbius drive is introduced
- 1926 – Hot cathode thyratron is introduced
- 1930 – New York subway installs grid-controlled mercury-arc rectifier (3 MW) for dc drive
- 1931 – German railways introduce mercury-arc cycloconverters for universal motor traction drive
- 1933 – Slepian invents ignitron rectifier
- 1934 – Thyratron cycloconverter—synchronous motor(400 hp) was installed in Logan power station for ID fan drive (first variable-frequency ac drive)
- 1948 – Transistor is invented at Bell Labs
- 1956 – Silicon power diode is introduced
- 1958 – Commercial thyristor (or SCR) was introduced to the marketplace by GE
- 1971 – Vector or field-oriented control for ac motor is introduced
- 1975 – Giant power BJT is introduced in the market by Toshiba
- 1978 – Power MOSFET is introduced by IR
- 1980 – High-power GTOs are introduced in Japan
- 1981 – Multilevel inverter (diode clamped) is introduced
- 1983 – IGBT is introduced
- 1983 – Space vector PWM is introduced
- 1986 – DTC control is invented for induction motors
- 1987 – Fuzzy logic is first applied to power electronics
- 1991 – Artificial neural network is applied to dc motor drive
- 1996 – Forward blocking IGCT is introduced by ABB

❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

➢ دیود قدرت:

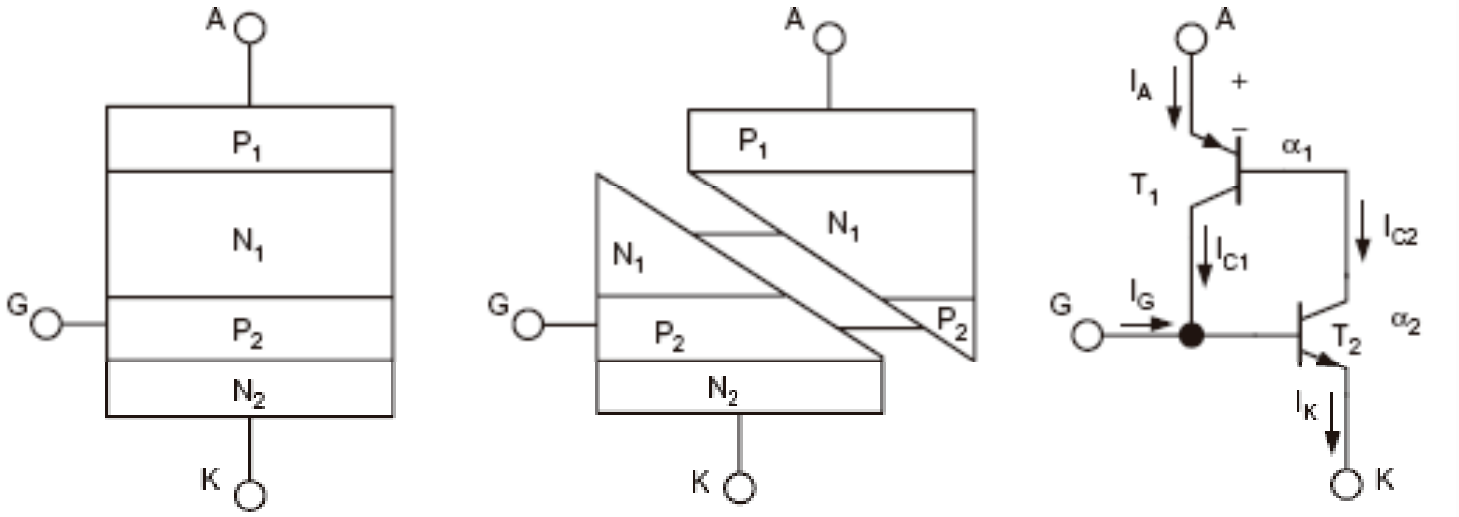


مشخصه ولت-آمپر (V-I) یک دیود قدرت

❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

➢ تریستور:

- ✓ تریستورها بالاترین قابلیت تحمل جریان عبوری و ولتاژ معکوس را دارند.
- ✓ تریستورهای تجارتی تا ٤٠٠٠ ولت و ٣٠٠٠ آمپر هم در دسترس هستند.
- ✓ برای رسیدن به مقادیر ولتاژ و جریان بالاتر آنها را سری – موازی می کنند.

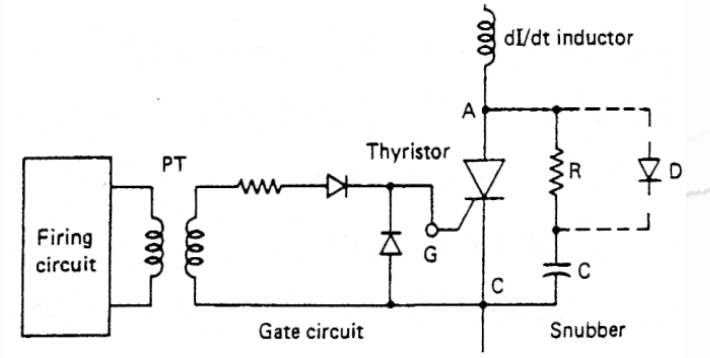


شماتیک ساختمان و مدار معادل یک تریستور

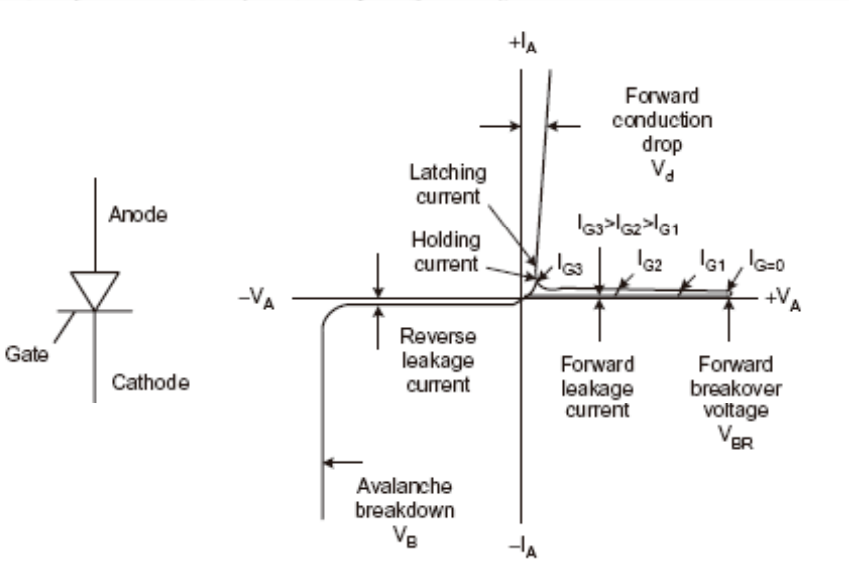
❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

... تریستور:

- ✓ در غیاب جریان گیت I_G، جریان عبوری از تریستور (I_A) در ولتاژ آند-کاتد (V_{AC}) کوچکتر از ولتاژ شکست مستقیم V_{BR} و بزرگتراز ولتاژ شکست معکوس V_B نزدیک به صفر است.
- ✓ ولتاژ شکست مستقیم با افزایش جریان گیت کاهش می یابد به نحویکه اگر ولتاژ آند-کاتد از ولتاژ شکسته کوچک شده بزرگتر شود، تریستور هدایت می کند.
- ✓ پس از وصل تریستور وقتی، جریان I_A از مقدار جریان قرار (یا Latch) بیشتر شد، حتی اگر I_G صفر شود باز هم وصل باقی می‌ماند.
- ✓ محدودیت اساسی تریستور در آن است که نمی‌توان آنرا بوسیله جریان گیت خاموش نمود. پدیده خاموش‌نمودن تریستور را کموتاسیون نامیده که با کاهش جریان I_A از مقدار جریان نگهدارنده (Hold) رخ می‌دهد. پس از کاهش جریان به زیر این جریان، یک ولتاژ معکوس برای مدت کافی در دو سر تریستور قرار داده می شود.



مدار راه‌انداز گیت تریستور بهمراه حفاظت های مربوطه



مشخصه ولت-آمپر (V-I) تریستور

❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

... تریستور:

❖ انواع روش‌های کموتاسیون تریستور:

✓ **کموتاسیون خط:** خاموشی توسط ولتاژ خط را کموتاسیون خط گویند.

مثلا در مدارهایی که با یک منبع AC تغذیه می شوند، شرایط خاموشی بحث شده برای خاموش کردن تریستور در مدت نیم سیکل منفی ولتاژ حاصل می شود.

مزیت: سادگی و قابلیت اطمینان، **عیب:** ضریب قدرت بد، مولفه‌های بزرگ هارمونیکی فرکانس پائین

✓ **کموتاسیون بار (طبیعی):** هنگامی بدست می‌آید که بار به حد کافی زیر میرا باشد یا آنکه بار شامل یک نیروی ضدمحرکه DC باشد.

✓ **کموتاسیون اجباری:** توسط مدارهای جانبی، تریستور مجبور به خاموش شدن می شود.

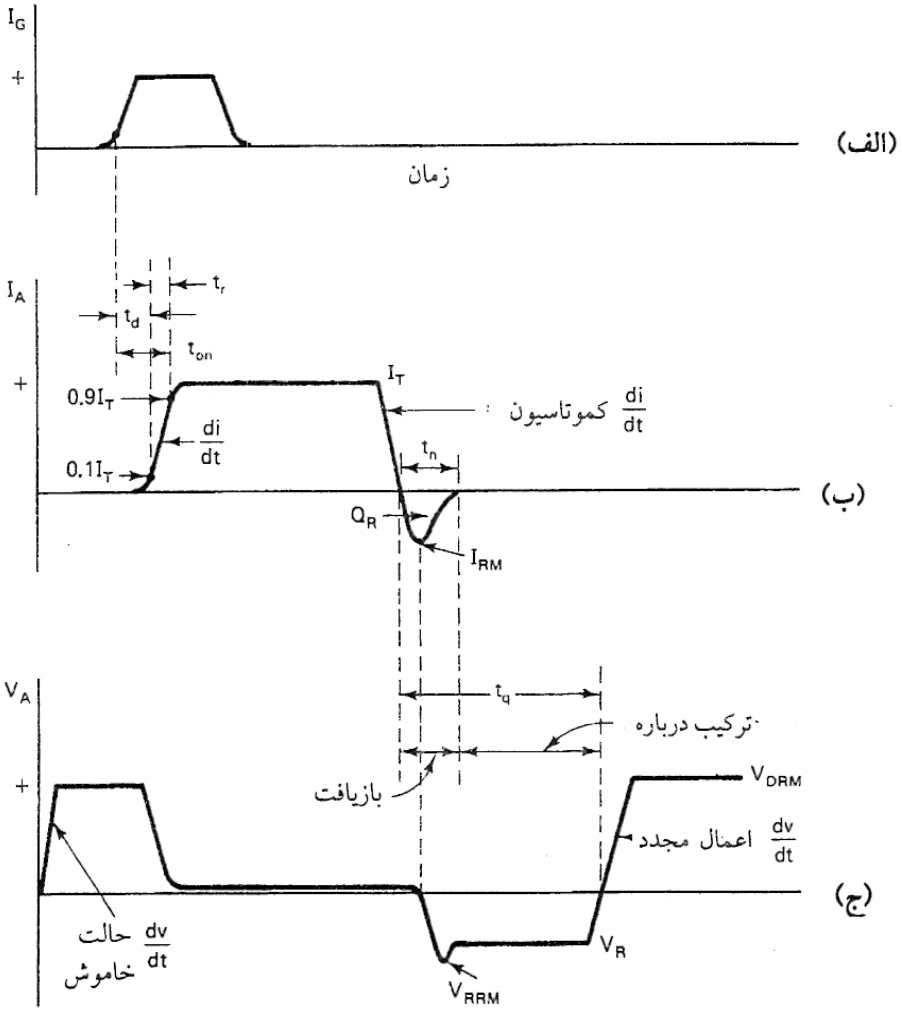
❖ مدت زمان مورد نیاز برای خاموش نمودن تریستورهای کم سرعت، ۵۰ تا ۱۰۰ میکروثانیه است.

❖ یک مشکل دیگر تریستورها، امکان روشن شدن با dv/dt بالاست که برای جوگیری از این پدیده از مدار اسنابر (ضربه‌گیر) استفاده می شود.

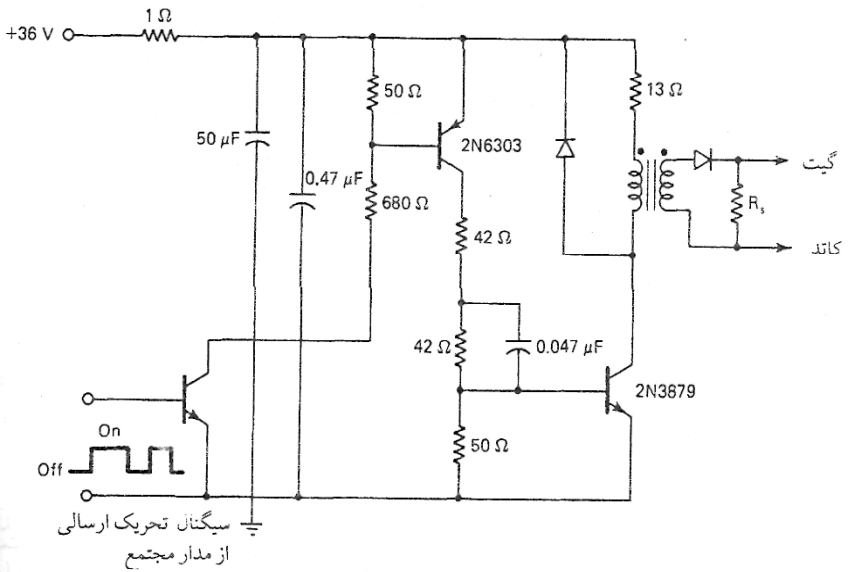
❖ همچنین تریستورها در اثر دمای زیاد، تابش نور و یا ولتاژ بالا ممکن است روشن شوند.

❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

... تریستور:



شکل ۱-۳ مشخصات کلیدزنی تایریستور الف) جریان گیت ب) جریان آند ج) ولتاژ آند

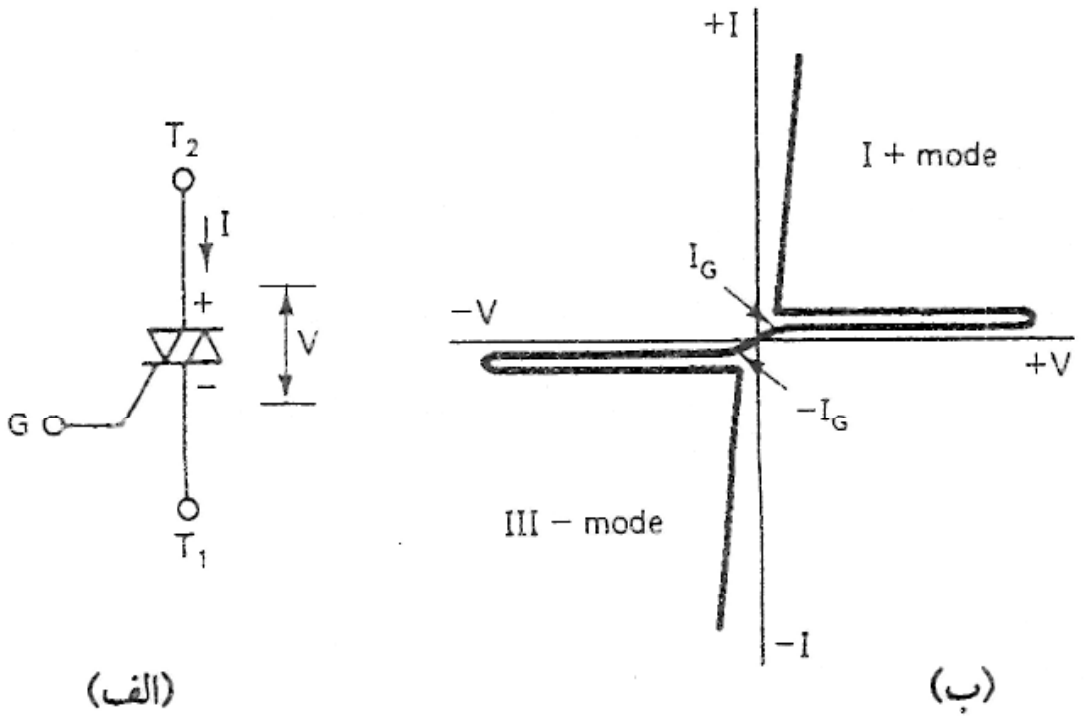


شکل ۱-۱۰ مدار عملی محرک گیت

❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

➢ تریاک:

- ✓ از دیدگاه کاربردی، تریاک می‌تواند به مثابه مجموعه یک جفت تریستور کنترل فاز که به شکل معکوس با یکدیگر موازیند، درنظر گرفته شود.
- ✓ تریاک با اعمل جریان گیت مثبت و منفی در دو جهت قابلیت عبور جریان از خود را دارد.
- ✓ مقادیر نامی ولتاژ و جریان تریاک نسبت به تریستور کمتر است. اما به زمان خاموشی کمتری نیاز دارد.

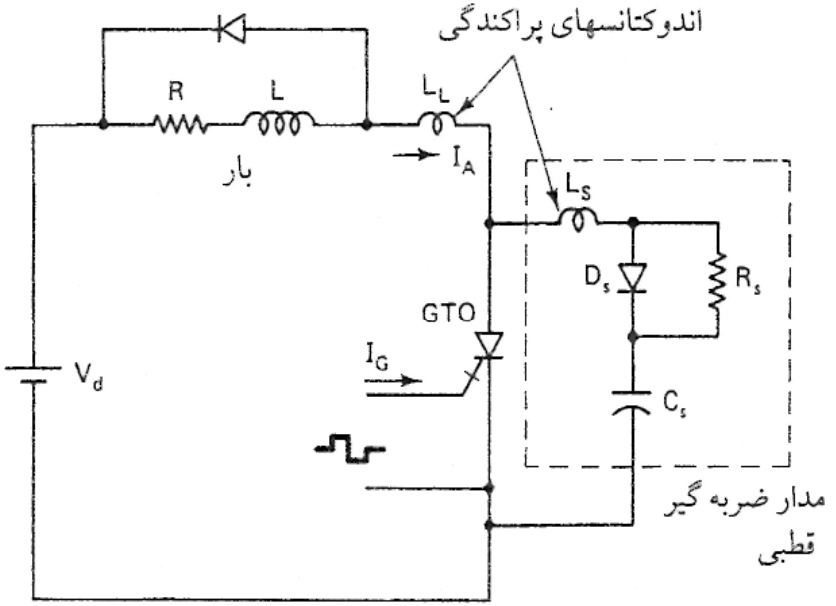


شکل ۱-۱۱ نمایش مداری تریاك و مشخصه ولت- آمپر آن

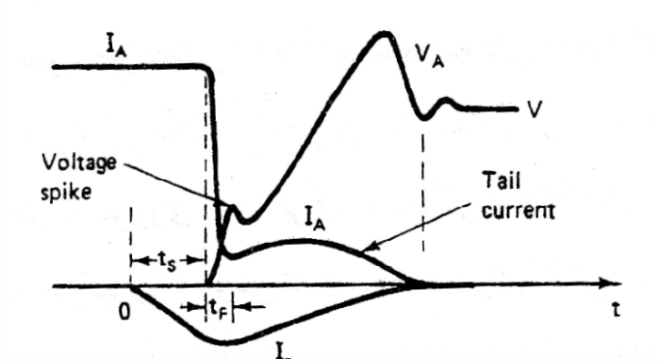
❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

➢ تریستور خاموش شونده از گیت (GTO):

- ✓ تریستوری است که با یک پالس جریان منفی می‌توان آنرا خاموش نمود.
- ✓ دامنه پالس جریان مثبت برای روشن شدن کم است اما دامنه پالس منفی جهت خاموش کردن خیلی بزرگ است.
- ✓ در مجموع سرعت کلیدزنی GTOنسبت به تریستور بیشتر بوده و تلفات آن نیز نسبت به تریستور و مدارهای جانبی‌اش کمتر است.
- ✓ GTO های تجاری با مقادیر نامی تا ۲۵۰۰ ولت و جریان ۲۰۰۰ آمپر موجود هستند.



شکل ۱-۱۲ مدار برشگر با GTO و ضربه گیر قطبی



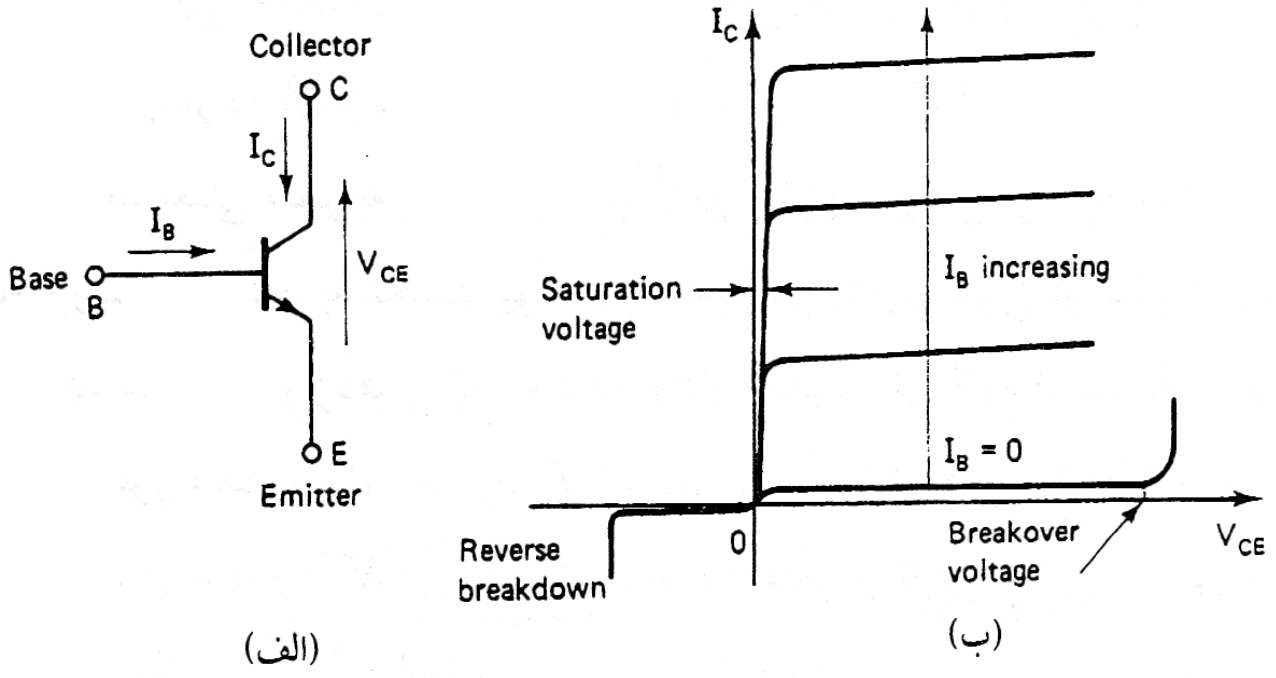
مشخصه قطع شدن GTO

❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

➢ ترانزیستور قدرت (BJT):

- ✓ ترانزیستورهای قدرت برای کاربرد در توان پائین تا متوسط عمومیت بیشتری دارند و با GTO و تریستور رقابت می کنند.
- ✓ ترانزیستور قدرت نیاز به جریان دائمی بیس دارند اما برای قطع شدن نیاز به مدار کموتاسیون ندارد.
- ✓ BJT نسبت به تریستور دارای مزایای: فرکانس کلیدزنی بسیار بزرگتر، مدار تحریک ساده‌تر و افت ولتاژ حالت وصل کوچکتر می‌باشد.

اما دارای معایب: جریان بیس دائمی و بزرگتر از گیت تریستور، تحمل ولتاژ معکوس پائین، و موازی کردن آنها به دلیل تغییرات مقاومت هدایت با افزایش دما مشکل‌تر است.

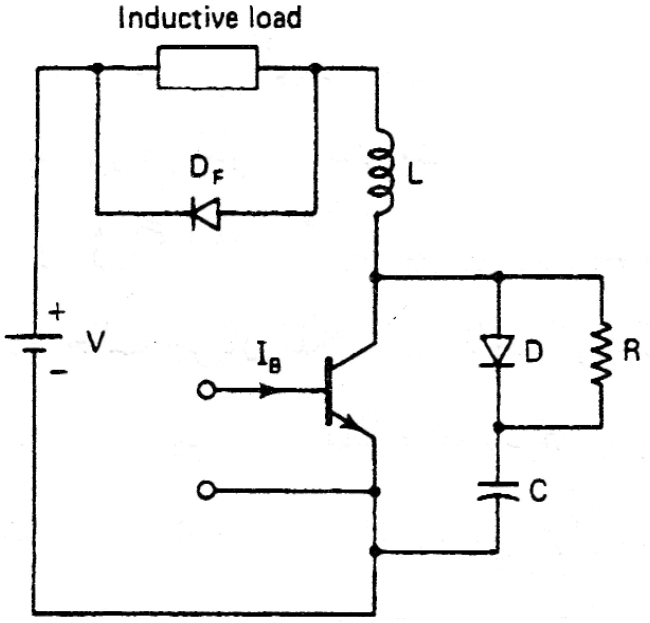


شکل ۱ ـ ۱۵ ترانزیستور NPN (الف) نماد مداری (ب) مشخصه‌های I_C - V_{CE}

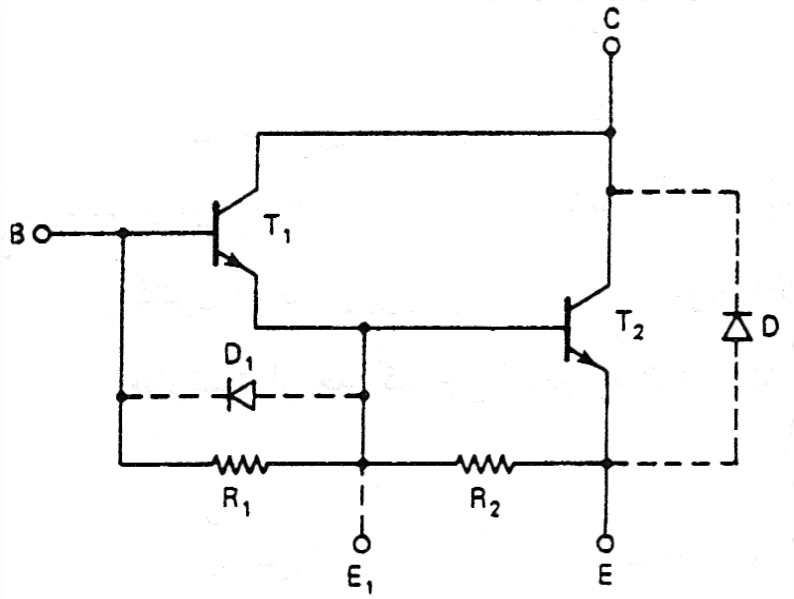
❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

... ترانزیستور قدرت (BJT):

- ✓ از مدار ضربه‌گیر (اسنابر) برای (۱) انتقال تلفات کلیدزنی ترانزیستور به مدار ضربه‌گیر (۲) کنترل dV/dt و (۳) جلوگیری از بروز پدیده شکست دوم که در اثر حرارت بوجود می‌آید استفاده می شود.
- ✓ با استفاده از اتصال دارلینگتون، جریان بیس مورد استفاده کاهش می‌یابد.



شکل ۱ ـ ۱۶ برشگر ترانزیستوری
همراه با مدار ضربه‌گیر قطبی‌شده

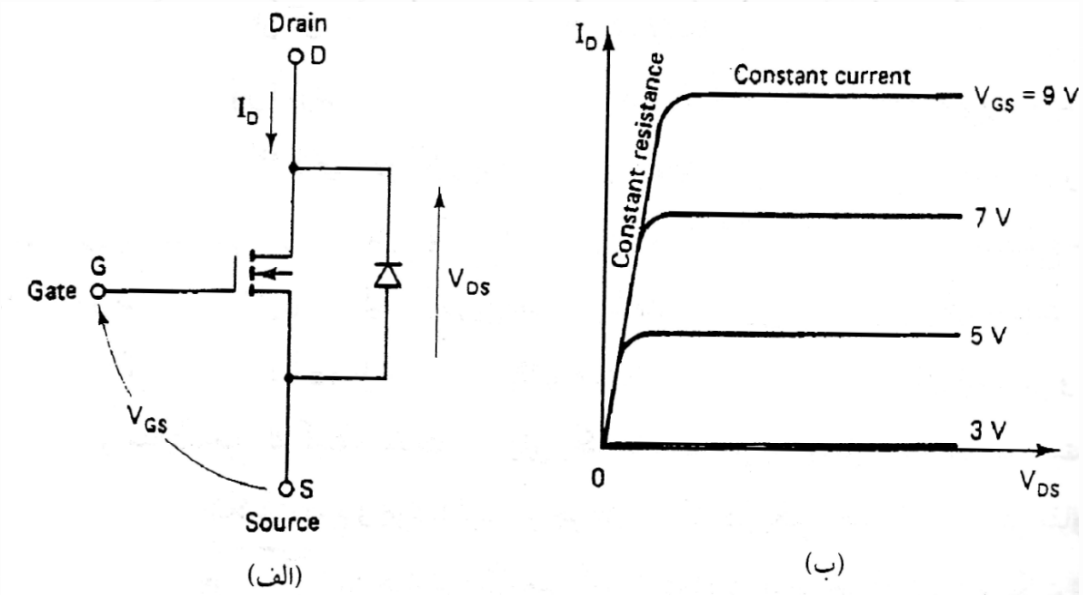


شکل ۱ ـ ۱۷ ترکیب دارلینگتون ترانزیستور قدرت

❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

➢ ماسفت قدرت (Power MOSFET):

- ✓ ماسفت یک ترانزیستور اثر میان از نوع اکسید فلزی است که در کاربردهای توان پائین (تا حداکثر چند کیلووات) و فرکانس‌های خیلی بالا، بسیار درخشان ظاهر شده است.
- ✓ برخلاف ترانزیستور که یک عنصر کنترل شده با جریان است، ماسفت یک قطعه کنترل شده با ولتاژ (V_{GS}) است.
- ✓ با اعمال یک ولتاژ گیت-سورس (V_{GS}) به حد کافی بزرگ در حدود ۱۰ ولت، ماسفت در حالت هدایت قرار گرفته و کار مطمئن در ناحیه مقاومت ثابت حاصل می شود. این ناحیه متناظر با ناحیه اشباع کار ترانزیستور است.
- ✓ برای قطع جریان ماسفت کافی است ولتاژ صفر ولت به گیت اعمال شود.



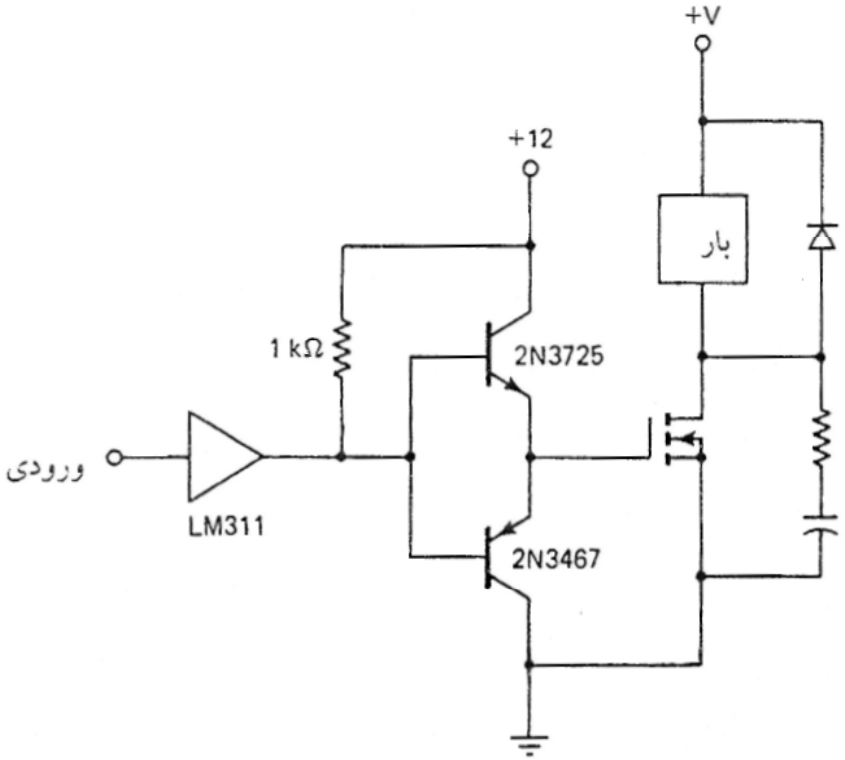
ماسفت قدرت (الف) نماد مداری (ب) مشخصه I_D - V_{DS}

❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

... ماسفت قدرت (Power MOSFET):

✓ **مزایا و معایب ماسفت قدرت نسبت به ترانزیستور قدرت:**

- **مزایا: تلفات کلیدزنی کوچک‌تر، نداشتن شکست نوع دوم، ضریب بهره بسیار بزرگتر، سادگی و ارزانتر بودن مدار گیت، سرعت کلیدزنی بالاتر، قابلیت اطمینان بهتر و پایداری حرارتی**
- **عیب: داشتن افت ولتاژ هدایتی بزرگتر (مثلا برای مدار ۴۰۰ ولت، افت ولتاژ ماسفت ۵/۴ولت اما برای ترانزیستور قدرت ۱ ولت است.)**

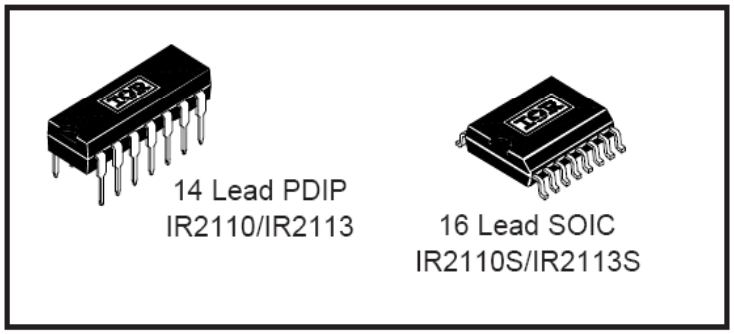


شکل ۱-۲۴ مدار محرك گیت ماسفت همراه با ضربه گیر

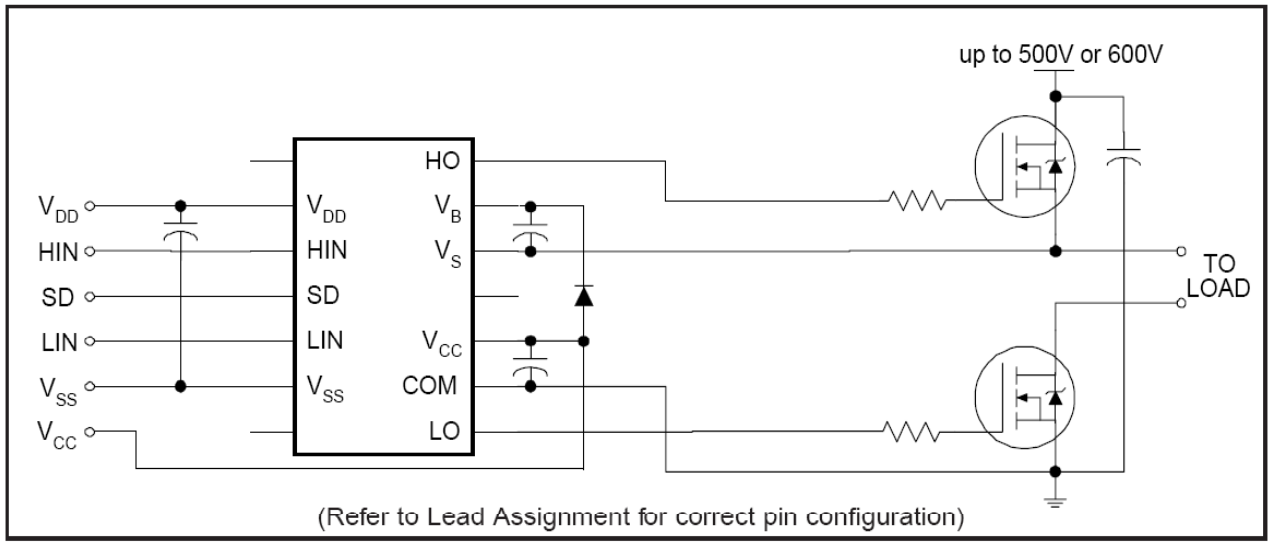
❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

... ماسفت قدرت (Power MOSFET):

❖ امروزه مدارهای تحریک گیت برخی سوئیچ‌های به صورت مدار مجتمع (IC) به بازار عرضه شده‌اند که به نام سوئیچ درایور شناخته می‌شوند.



دو نوع IC درایور ماسفت قدرت رایج در بازار

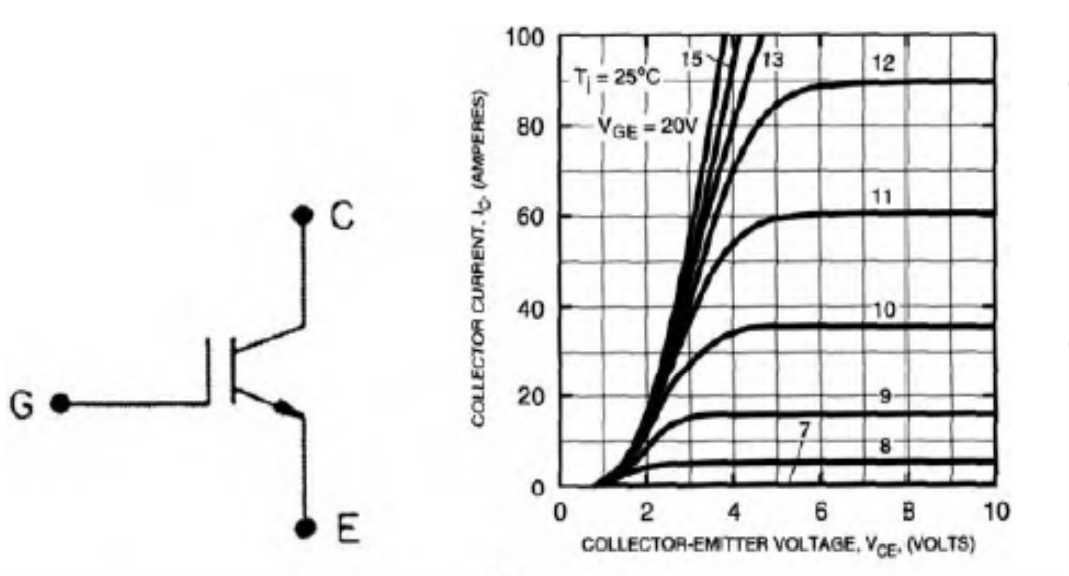


استفاده از درایور ماسفت در مدار قدرت

❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

➢ ترانزیستور دو قطبی قدرت با گیت عایق شده (IGBT):

- ❖ IGBT یک المان ترکیب است که از ترکیب یک ترانزیستور قدرت و یک ماسفت بدست می آید.
- ❖ این المان، در حقیقت یک ترانزیستور دوقطبی است که در مدار محرک آن (بیس آن) یک ماسفت قرار دارد.
- ❖ در نتیجه IGBT هم مزایای BJT و هم MOSFET را تا حدود قابل قبولی داراست.
- ❖ این المان با پالس ولتاژ ۱۰ تا ۱۵ ولت روشن شده و با اعمال پالس منفی ۵- ولت خاموش می‌گردد.
- ❖ IGBT برای کاربردهای توان متوسط، فرکانسهای تا حداکثر 50 kHz و راندمان بالا زیاد استفاده می شود.
- ❖ IGBT نیز نیاز به مدار تحریک گیت ولتاژی است.
- ❖ امروزه pack های ٦ تایی IGBT همراه با مدارات درایور بنام ماژول هوشمند قدرت IPM در کاربردهای سه‌فاز زیاد استفاده می شوند.



مدل مداری IGBT و مشخصه‌های V-I آن

❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

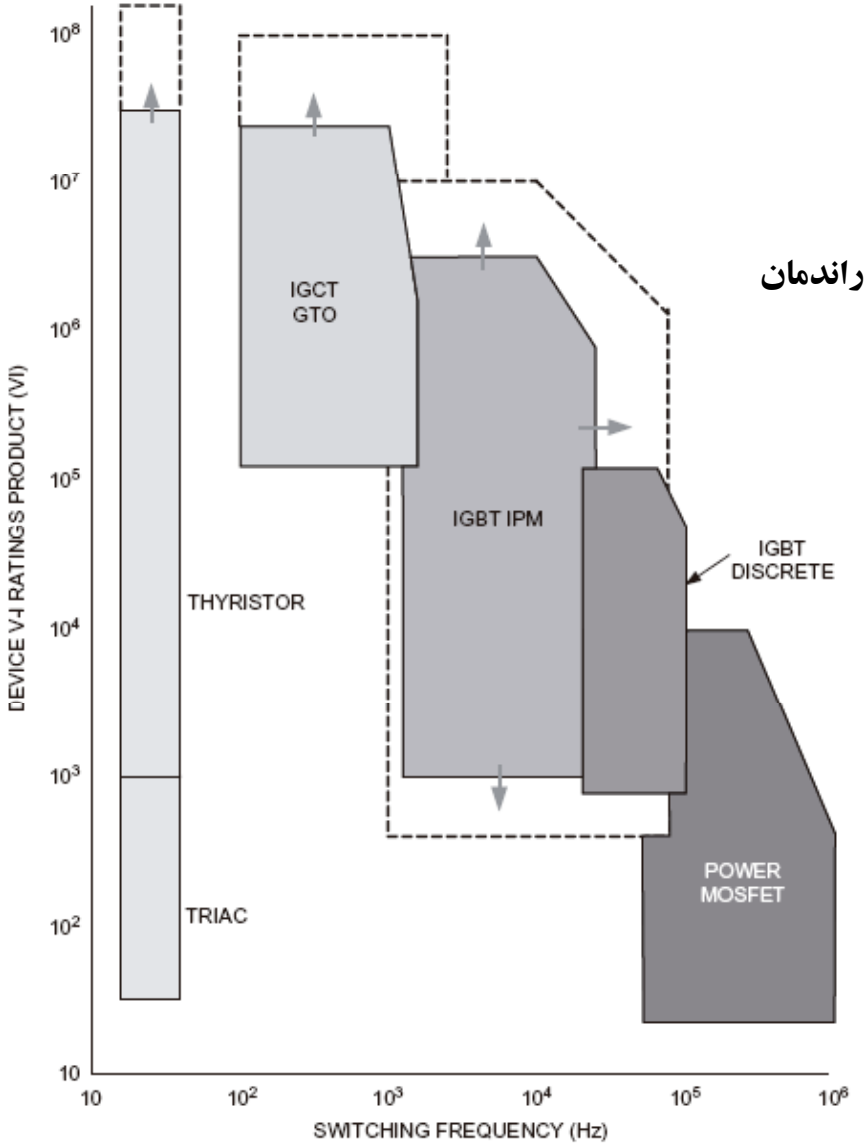
... روند تکاملی سوئیچ‌های قدرت:

۱) بالاترین توان: تریستورها (SCR)

۲) بالاترین فرکانس سوئیچینگ: ماسفت قدرت

۳) بالاترین راندمان: IGBT

IGBT یک سوئیچ میانه از لحاظ بزرگ بودن توان، سرعت زیاد و راندمان است.



❑ عناصر الکترونیک قدرت (نیمه‌هادی های قدرت)

➢ مقایسه پارامترهای انواع سوئیچ‌ها با یکدیگر:

	Power MOSFET	IGBT	GTO	IGCT
1. Voltage and current ratings (selected device for comparison)	100 V, 28 A* (dc)	1.2 kV, 50 A* (dc)	6 kV, 6000 A* (pk)	4.5 kV, 4000 A* (pK)
2. Present power capability	1.2 kV, 50 A	3.5 kV, 1200 A or higher	6 kV, 6000 A	6.5 kV, 3000 A
3. Voltage blocking	Asymmetric	Asymmetric*	Asymmetric/symmetric	Asymmetric/symmetric
4. Gating	Voltage	Voltage	Current	Current
5. Junc. Temp. range	–55 to 175	–20 to 50	–40 to 125	–40 to 125
6. Safe operating area (°C)	Square	Square	2nd breakdown	Square
7. Conduction drop (*V*) at rated current	2.24	2.65	3.5	2.7
8. Switching frequency	10^6 Hz	1 kHz - 20 kHz	400 Hz	1.0 kHz
9. Turn-off current gain	—	—	4 to 5	1
10. Turn-on *di/dt*	—	—	500 A/µs	3,000 A/µs
11. Turn-on time	43 ns	0.9 µs	5 µs	2 µs
12. Turn-off time	52 ns	2.4 µs	20a µs	2.5 µs
13. Snubber	Yes or No	Yes or No	Yes (heavy)	Yes or No
14. Protection	Gate control	Gate control	Gate control or very fast fuse	Gate control or very fast fuse
15. Applications	Switching power supply Low-power motor drive	Motor drive UPS, induction heating, etc.	Motor drives SVC, etc. *dv/dt* = 1000 V/µs	Motor drives HVDC, SVC etc. Built-in diode
16. Comments	Body diode can carry full current but sluggish (t_{rr} = 150 ns) I_{pk} = 56 A	Large power range Very important device currently * Reverse blocking available	High uncontrollable surge current	High uncontrollable surge current *dv/dt* = 4000 V/µs
	*Harris IRF140	*Powerex PM50RVA120 7-pack IPM	*Mitsubishi -FG6000AU-120D	*ABB 5SHY35L4512