«جلسه ۱»

«۹۵،۱۱،۶»

* الکترونیک صنعتی (قدرت) (power electronics)

* نحوه نمره‌دهی نمرات ⇐
  - پایان ترم ۱۲ نمره
  - میان ترم ۶ نمره
  - فعالیت کلاسی (تمرین، کوییز، نظم کلاسی) ۲ نمره

* نمرات اضافی ⇐
  - سمینار ۲ نمره
  - جزوه ۰٫۵+ نمره
  - تلفن همراه ۰٫۵- نمره
  - حضور و غیاب

* منابع درسی:

1) power electronics circuit, Devices and application, Rashid. (4th aeddition, 2014 ترجمه دکتر فجای - انتشارات نیاز دانش) +۰٫۵

2) power electronics hand book. Rashid

3) power electronics - cyril - lander ترجمه انتشارات خراسان

4) الکترونیک قدرت، ترجمه ذوالقدری انتشارات دانشگاه شریف

5) کنترل موتورهای الکتریکی، ترجمه دکتر میلی منفرد، انتشارات دانشگاه امیرکبیر

6) ocw.mit.edu/courses

Scanned by CamScanner

فهرست عناوین

(۱) مبدل الکترونیک صنعتی (تاریخچه)

۲) معرفی ادوات الکترونیک صنعتی و کاربردهای ساختار

۱) معرفی ادوات الکترونیک صنعتی و کاربردهای ساختار

۲) مطالعه ساختار المان های قدرت
- Thyristor
- MOSFET
- IGBT

۳) مدارهای پایه یکسوساز دیودی
- تک فاز
- سه فاز
- چندفاز
- بررسی بارهای مختلف

۴) یکسوسازهای کنترل شده
- تک فاز
- سه فاز
- چندفاز
- بررسی بارهای مختلف
- بررسی مدارهای فرمان و کنترلی

۵) مبدل های AC به AC

۶) روشهای کموتاسیون

۷) مبدل های DC به DC

۸) مبدل AC به DC

۹) درایورهای موتورهای DC

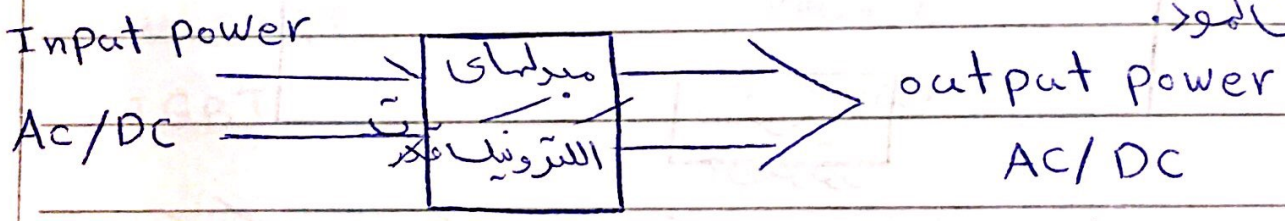
۱۰) درایورهای موتورهای AC

Scanned by CamScanner

* فصل ۱ *

- موضوع الکترونیک صنعتی، پردازش توان الکتریکی است.

- الکترونیک صنعتی یا الکترونیک قدرت مبحثی از مهندسی الکترونیک است که از پردازش انرژی الکتریکی صحبت می‌کند. به کمک این دانش درمی‌یابیم که چگونه با مبدل‌های الکترونیک قدرت می‌توان از منبع انرژی الکتریکی موجود، انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کننده را تأمین نمود.



AC → DC Rectifier ≡ یکسوساز

AC → AC (V و f) ⇒ AC موتور مثال: درایو نمودن (converter)

DC → AC ⇒ مثال: نیروگاه خورشیدی (Inverter)

DC → DC ⇒ (chopper) مثال: برق ماشین

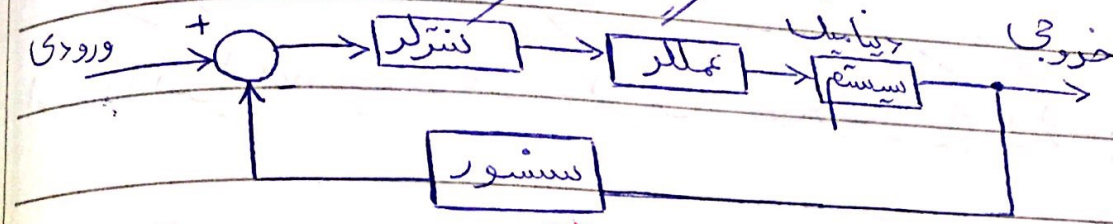
(۲۲-۳۲) V → { ۹ V ، ۱۵ V ، ۲۸ V }

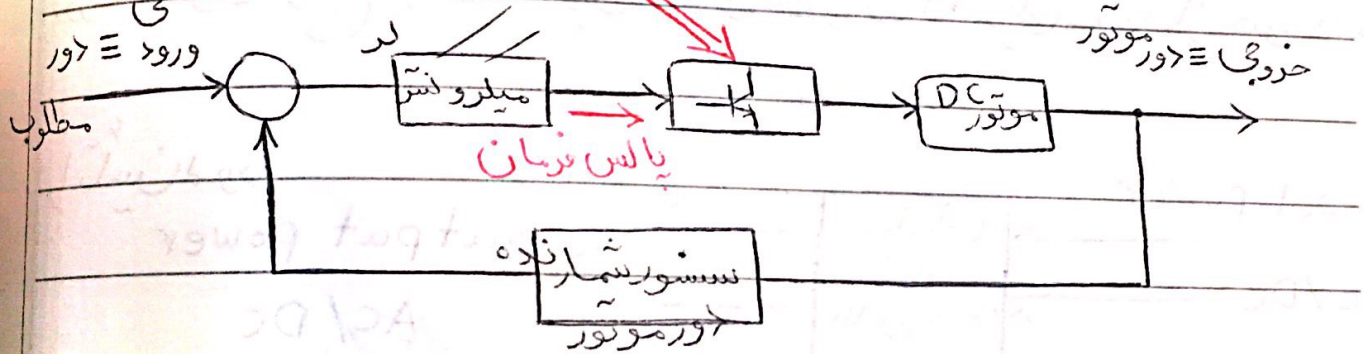
Scanned by CamScanner

ترتیب پالس‌های الکترونیکی، کنترل و قدرت

مثال: کنترل دور یک موتور DC

الف) بررسی بلوک کنترلی





- کاربرد الکترونیک صنعتی در کلیه مدارهایی که با پردازش توان مرتبط هستند می‌باشد

که به عنوان نمونه به موارد زیر می‌توان اشاره کرد

① کنترل دور موتورهای الکتریکی ② کنترل سانتریفیوژها و اتوها

③ پمپ‌ها ④ منابع تغذیه ⑤ مبدل‌های برقی ⑥ خودروهای برقی

⑦ دستگاه‌های جوش ⑧ دستگاه‌های آبکاری ⑨ منابع تغذیه لیزر

Scanned by CamScanner

۱۰- سنگاب دهنده ها ۱۱- دستگاه های تهویه ۱۲- ماشینهای اداری

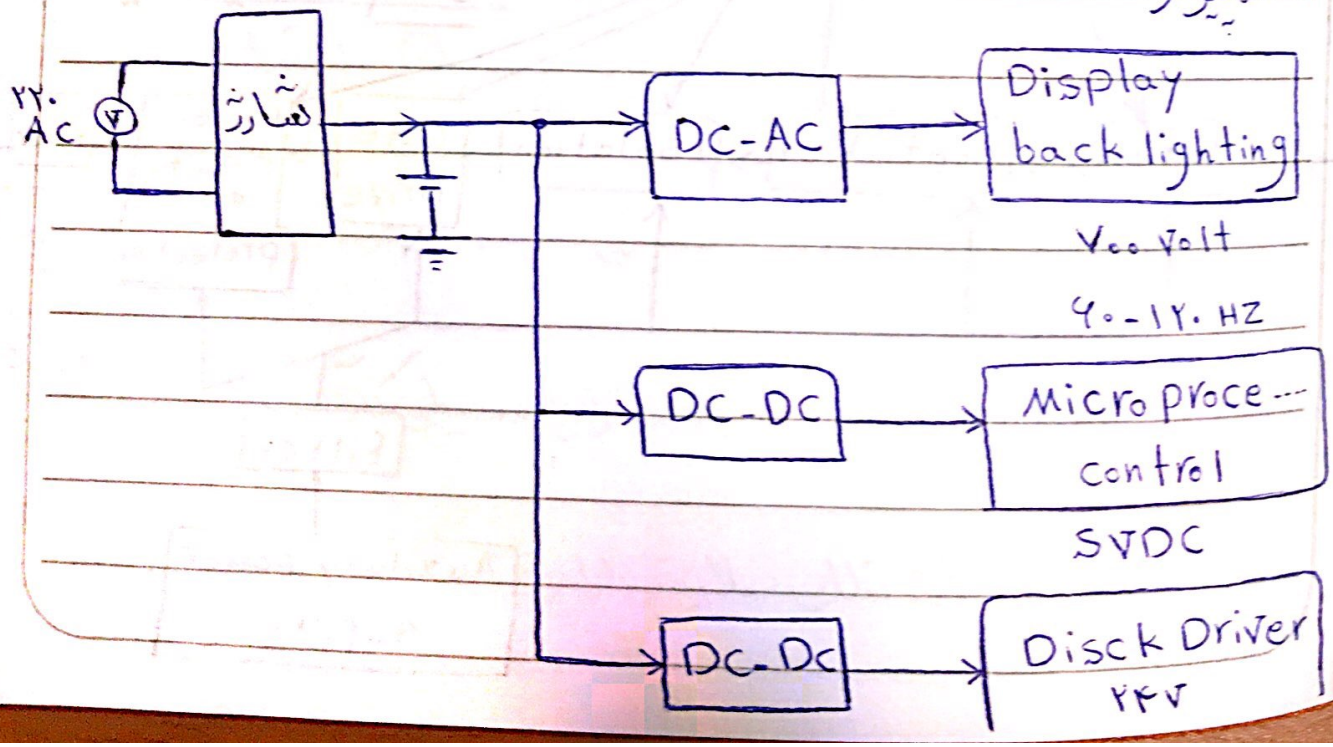
۱۳- جرثقیل و بالابر ۱۴- کوره های الکتریکی

* برخی از ادوات پرکاربرد در الکترونیک صنعتی:

- power diode
- power transistor
- Thyristor { SCR, Diac, Triac, GTO, SCS }
- MoS FET
- IGBT

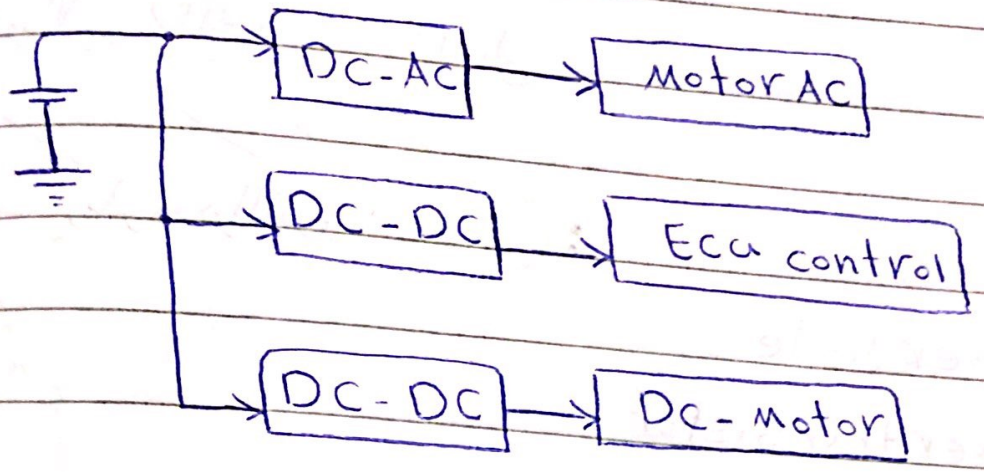
* بررسی چند نمونه بلوک دیاگرام توزیع توان الکتریکی =>

۱- کامپیوتر



Scanned by CamScanner

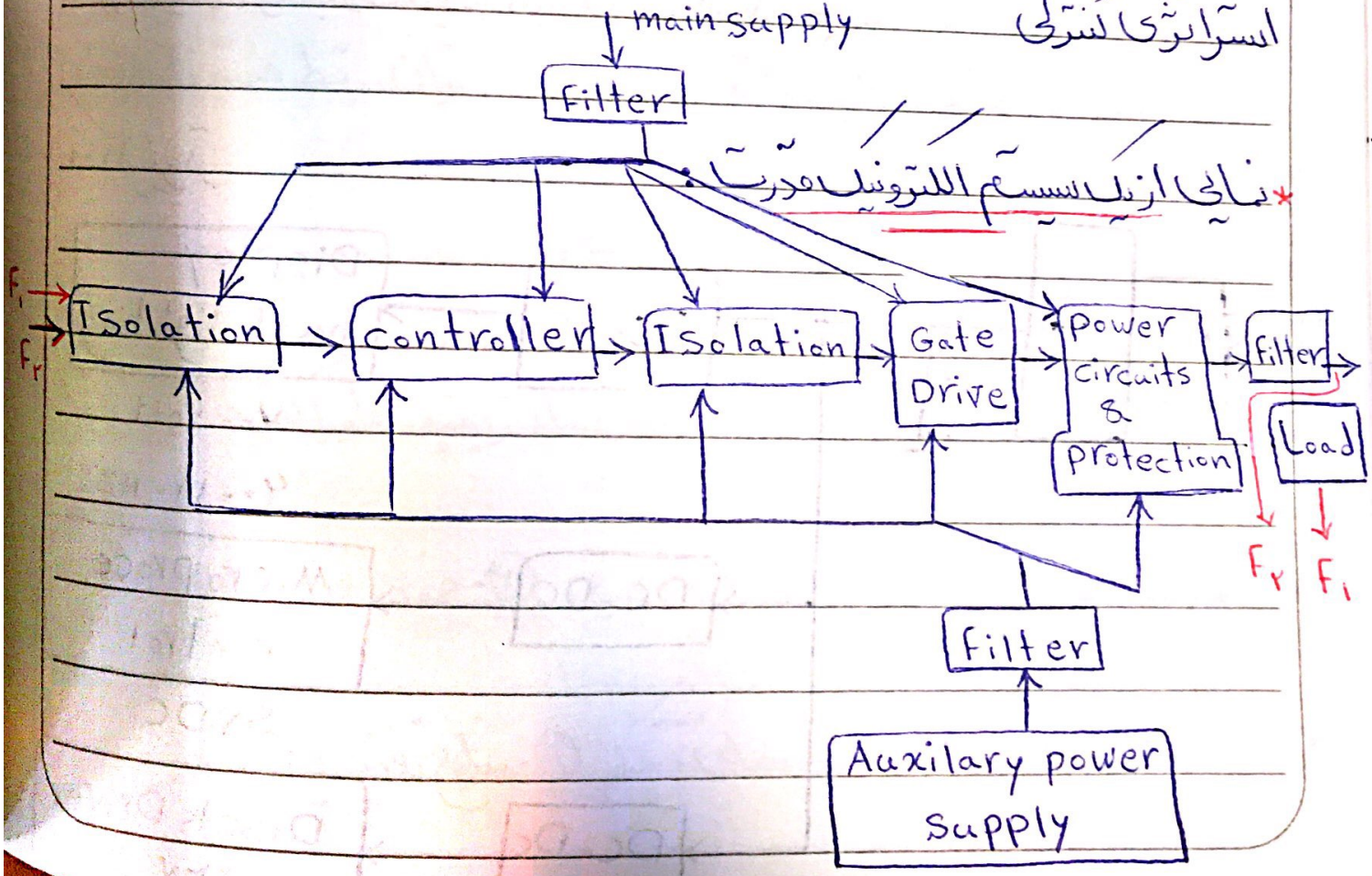
۲- توزیع انرژی الکتریکی در خودروی برقی



* طراحی سیستم الکترونیک قدرت ← ① طراحی مدارهای قدرت

② طراحی مدارهای کنترلی و فرمان و تحریک ③ حفاظت عناصر قدرت ④ تعیین

اسرآنژی کنترلی



* نمایی از یک سیستم الکترونیک قدرت

Scanned by CamScanner

* جنس نیمه هادی های قدرت: ① سیلیکون ② ژرمانیم: به دلیل آزادسازی خیلی سریع الکترون های لایه آخر، قابلیت تحمل ولتاژ و همچنین قابلیت کم عبور جریان در مدارهای الکترونیک صنعتی کاربرد ندارد.

③ سیلیکون کاربید (SiC): الکترون های لایه آخر SiC در مقایسه با سیلیکون، برای رسیدن به تراز هدایت به $\frac{1}{3}$ برابر انرژی بیشتری نیاز مندند، لذا قابلیت تحمل ولتاژ و تحمل جریان این عنصر بیشتر است. در یک ابعاد برابر، SiC ده برابر تحمل ولتاژ بیشتری دارد:

مثال: MOSFET 4A-SiC → 10 KV

IGBT 4A-SiC → 13 KV

* انواع دسته بندی قطعات: ① مدل آزمایشگاهی ② مدل تجاری

③ مدل صنعتی: قطعاتی که آزمون های محیطی شبیه دما، رطوبت، فشار، ضربه، نور آفتاب و غیره را پاس کرده اند و می توانند در شرایط محیطی کاربردی قرار گیرند.

④ مدل نظامی: قطعات نظامی، علاوه بر دارا بودن ویژگی های قطعات صنعتی

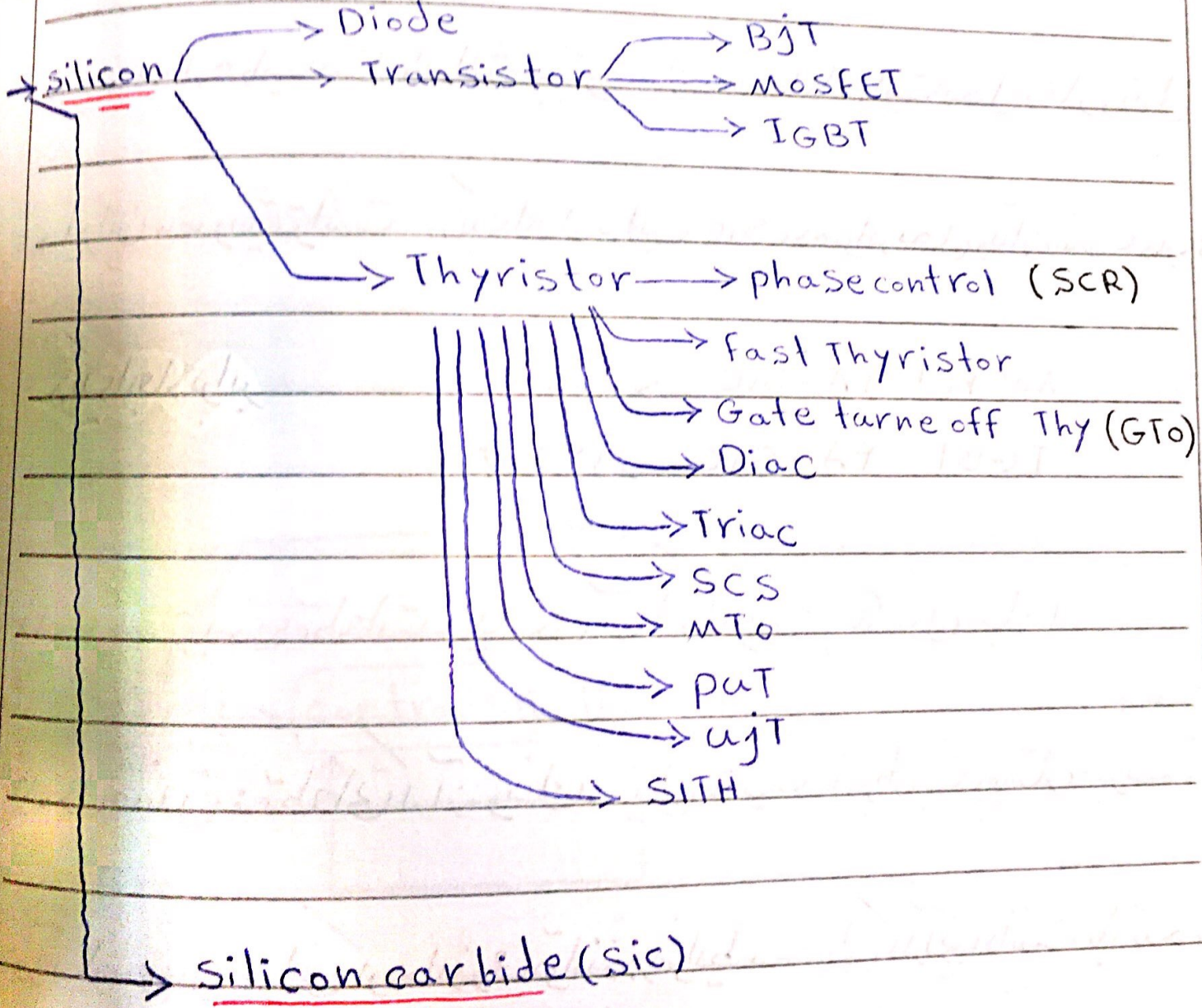
Scanned by CamScanner

در برابر مخاطرات مکانیکی مثل ضربه، شوک، ارتعاش و ... هم این پوشش

کارآیی خود را حفظ می کنند.

⑤ مدل فضایی: کارآیی در برابر تشعشعات کیهانی.

* دسته بندی المانهای نیمه هادی قدرت =>



silicon carbide (Sic)

Diode

MOSFET, IGBT

Scanned by CamScanner

* بررسی استفاده المانهای نیمه هادی قدرت در موارد زیر:

- منبع تغذیه سوئیچینگ: MOSFET ← توان پایین، IGBT ← توان بالا

- مقاربرقی: MOSFET ← توان کم، IGBT ← توان زیاد، فرکانس

- خطوط انتقال انرژی الکتریکی DC: Thyristor (ولتاژهای بالا)

- خودروی برقی: DC ← MOSFET، AC ← Triac (دوطرفه استفاده میکنیم).

- کوره آلیاژی: Triac (دوطرفه)

- دستگاه جوش: جریان ۲۰۰A، ۱،۵V، ۳۰۰W ← هم از MOSFET هم از IGBT

* دسته بندی براساس سیگنال فرمان ← ① روشن و خاموش شدن غیر کنترل شده (Diac ، Diode)

② روشن شدن کنترل شده و خاموش شدن غیر کنترل شده (SCR ، Triac ، PUT ...)

③ روشن و خاموش شدن کنترل شده (MosFet، BjT)

④ سیگنال فرمان به صورت پیوسته (IGBT ، MOSFET، IGBT ، GTO ، SCS ...)

BjT و ...)

Scanned by CamScanner

⑤ سیگنال فرمان لحظه‌ای (SCR، Triac، SCS، GTO و ....)

⑥ قابلیت جریان‌دهی دوطرفه (Triac، Diac، ....)

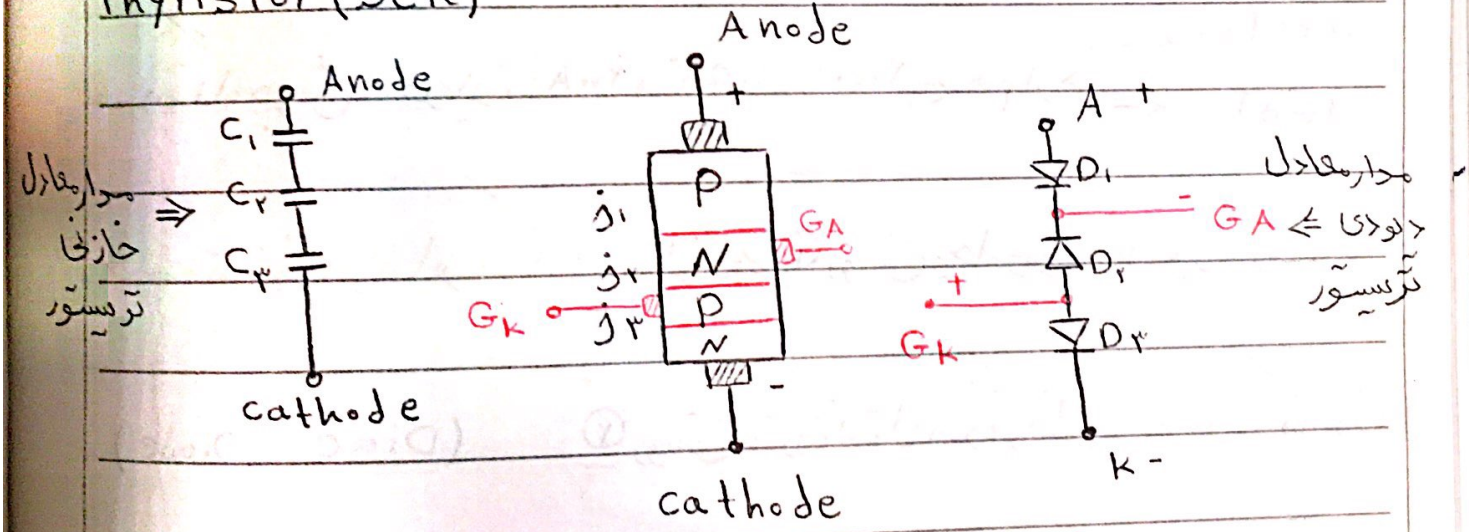
⑦ قابلیت جریان‌دهی یکطرفه (Diode، MOSFET، IGBT، UJT و ...)

⑧ قابلیت تحمل ولتاژ از دو قطب (خانواده Thyristor غیر از Diac)

فصل دوم:

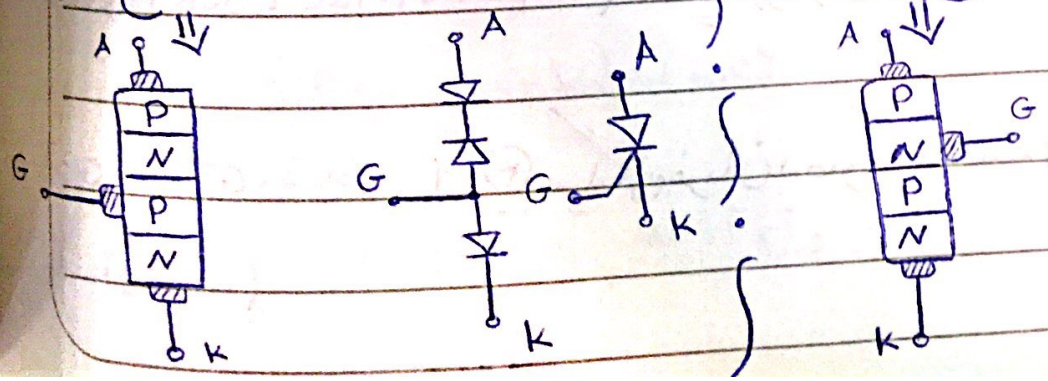
*قطعات و المان‌های نیمه‌هادی قدرت: ۱- قطعات چهارپیوندی ⇐

Thyristor (SCR)



(P-type نوع (SCR))

(N-type نوع (SCR))



Scanned by CamScanner

نیاز به حفاظت دارد.

* روش های روشن کردن SCR: ① - روشهای مستقل از بایاس است

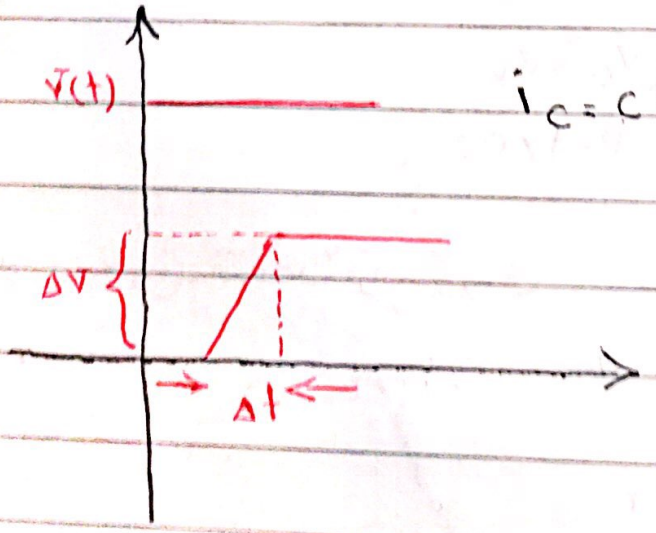
① روش اعمال تغییرات ولتاژ $i_c = c\frac{dv_c}{dt}$ ② روش اعمال ولتاژ بیش از ولتاژ شکست دیودها ③ اعمال نور، حرارت و ضربه

« جلسه سوم » « ۹۵/۱۲/۱۰ »

ادامه فصل دوم:

* روش های روشن کردن ترایستور ⇐ ① بدون اعمال فرمان بایاس ⇐

۱- $\frac{dv}{dt}$ ۲- ولتاژ بیشتر از شکست ۳- نور و حرارت و ضربه



$$i_c = c\frac{dv_c}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Scanned by CamScanner

مثال) در یک تریستور نوع p مقدار ظرفیت معادل پیوندها ۲۰pf و باشد حداقل مقدار جریان لازم برای روشن شدن تریستور ۱۶mA باشد مطلوبست حداکثر تغییرات ولتاژ دوسر تریستور.

$$\begin{cases} C = 20\,pF \\ i = 16\,mA \\ \frac{dV}{dt} = ? \end{cases} \qquad i_C = C\frac{dV_C(t)}{dt}$$

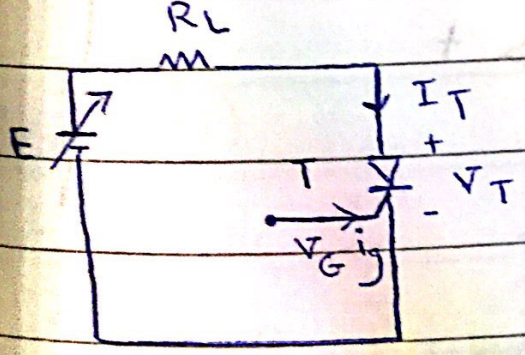
$$\Rightarrow \frac{dV_C}{dt} = \frac{i_C}{C} = \frac{16\times 10^{-3}}{20\times 10^{-12}} = 800\left(\frac{V}{\mu s}\right)$$

۲) روشن کردن تریستور با اعمال هزمان به پایه گیت ⇐

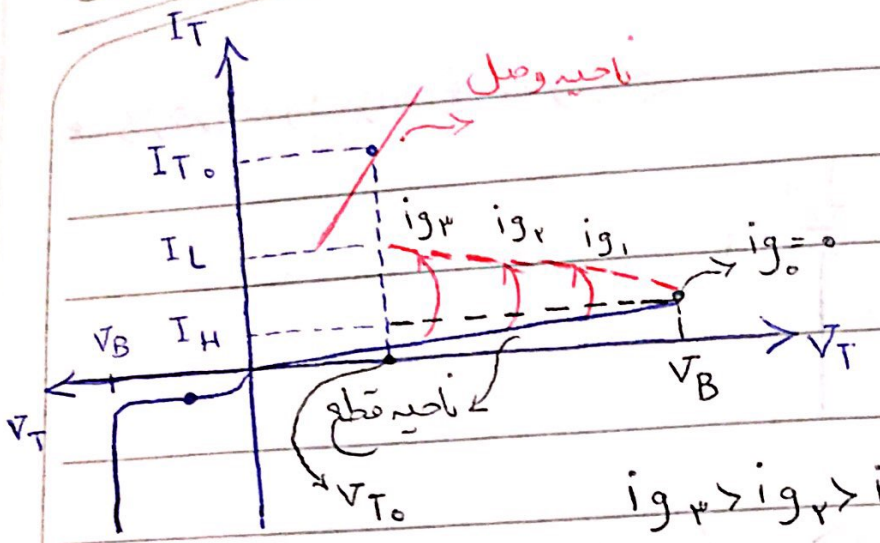
$$\begin{cases} V_A > V_K \\ \& \\ I_T > I_L \\ \& \\ V_G < V_A \end{cases}$$
N-Type

$$\begin{cases} V_A > V_K \\ \& \\ I_T > I_L \\ \& \\ V_G > V_K \end{cases}$$
P-type

* بررسی مدخلی مشخصه تریستور ⇐



Scanned by CamScanner



$i_{g_3} > i_{g_2} > i_{g_1} > i_{g_0}$

I_L (latch current) : حداقل مقدار جریان عبوری از تریستور در ناحیه وصل.

I_H (Holding current) : حداکثر مقدار جریان عبوری از تریستور در ناحیه قطع.

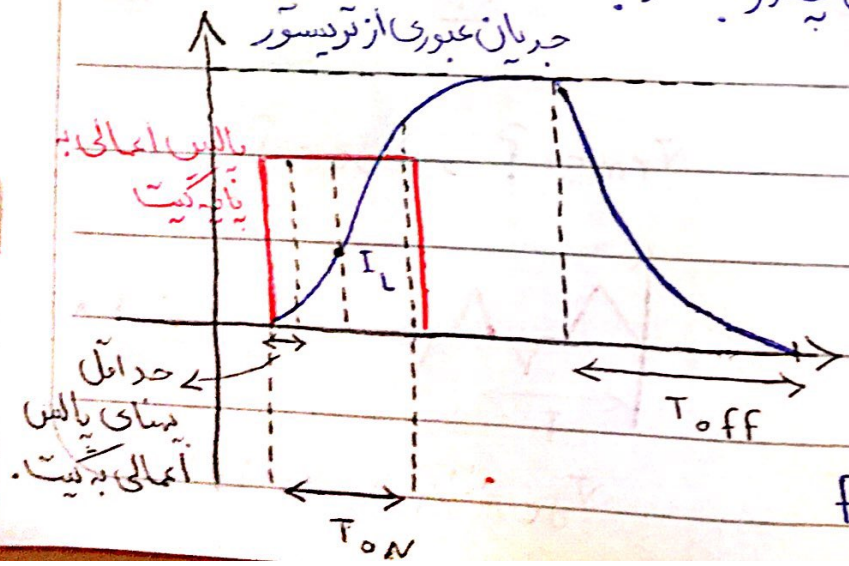
* خاموش کردن تریستور ⇐ ① کاهش جریان تریستور به مقدار کمتر از I_H.

② تغییر بایاس ولتاژ تریستور $V_A < V_K$

سؤال) ۱- حداقل عرض پالس چقدر باشد؟

۲- حداکثر عرض پالس چقدر باشد؟

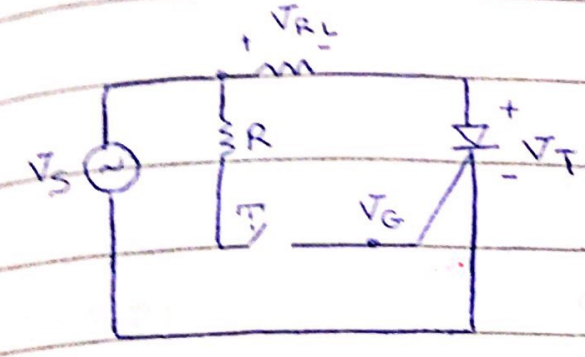
ج) ⇐

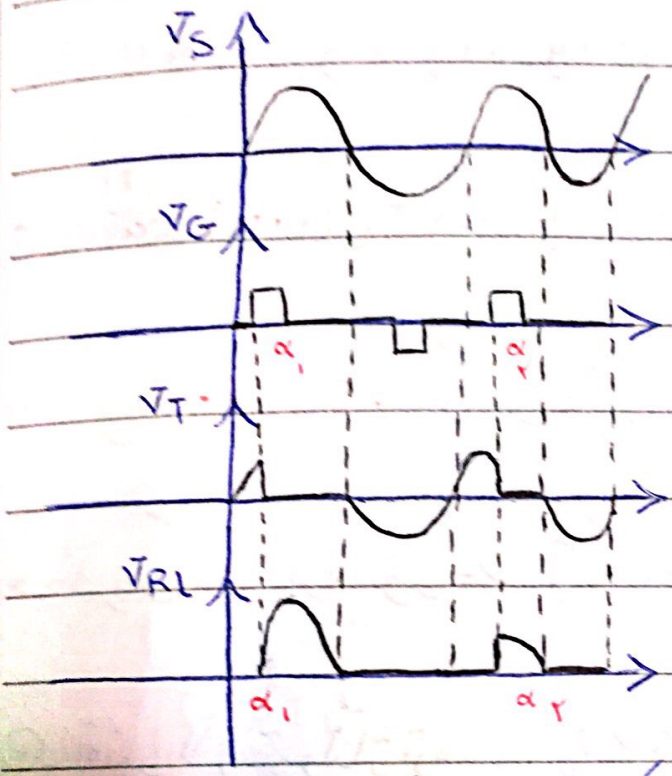


$$f = \frac{1}{T_{ON} + T_{off}}$$

Scanned by CamScanner

* مدارهای تحریک (آتش) تریستور





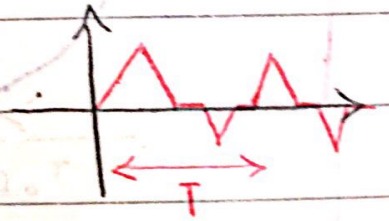
① * تمرین: محاسبه مقدار V_{dc} و V_{rms} (شکل مدار قبل) اگر:

الف) $\alpha = 30^\circ$ ب) $\alpha = 80^\circ$ ج) $\alpha = 120^\circ$

$$\begin{cases} V_m = 220\sqrt{2} \\ f = 50\,HZ \end{cases}$$

نتیجه ⇐ $V_{rms} = ?$ ، $V_{dc} = ?$

* نکته:



$$V_{dc} = V_{AVe}$$

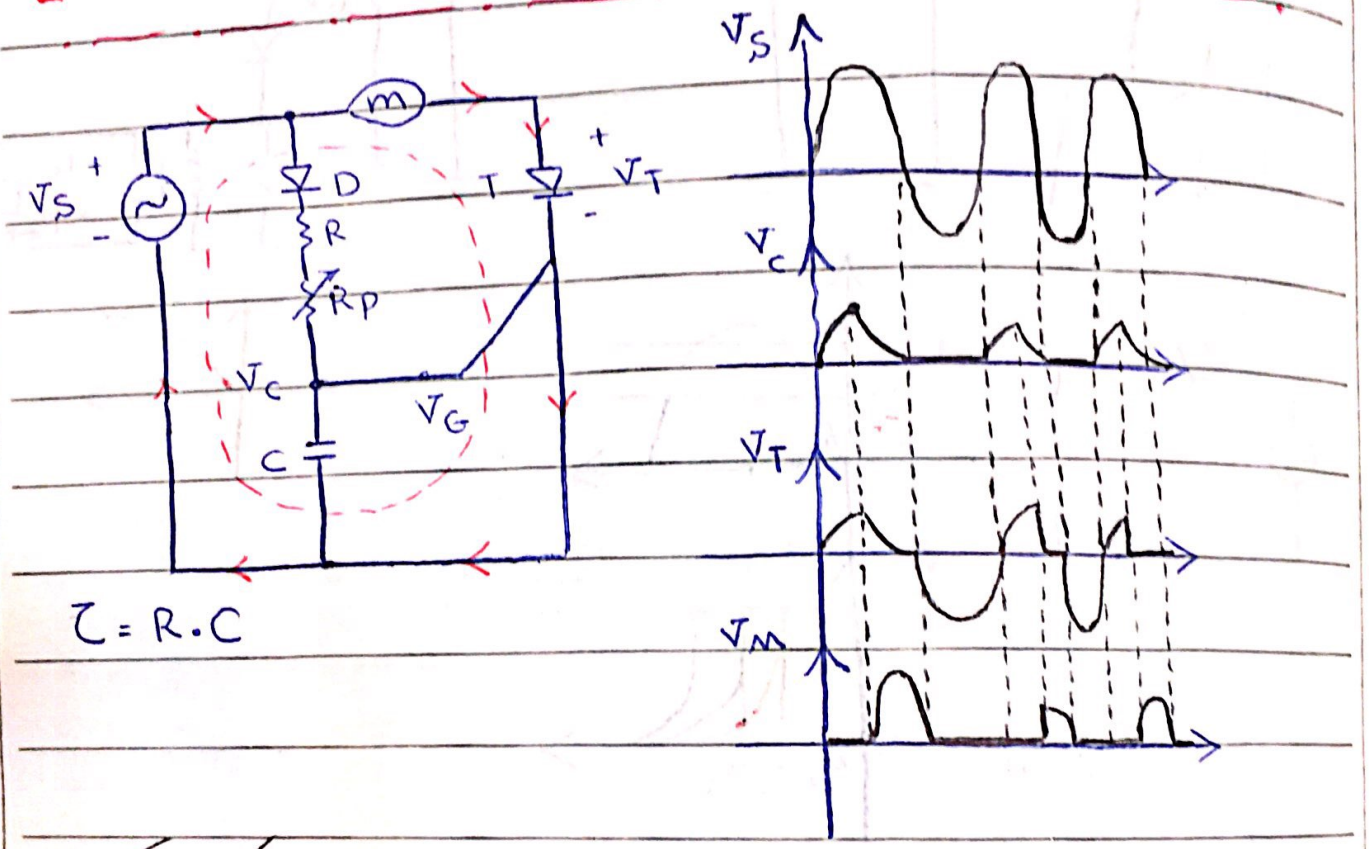
$$V_{dc} = \frac{1}{T}\int_T v(t)\,dt$$

هندسی $= V_{dc} = \frac{\text{ساعت}}{T}$

Scanned by CamScanner

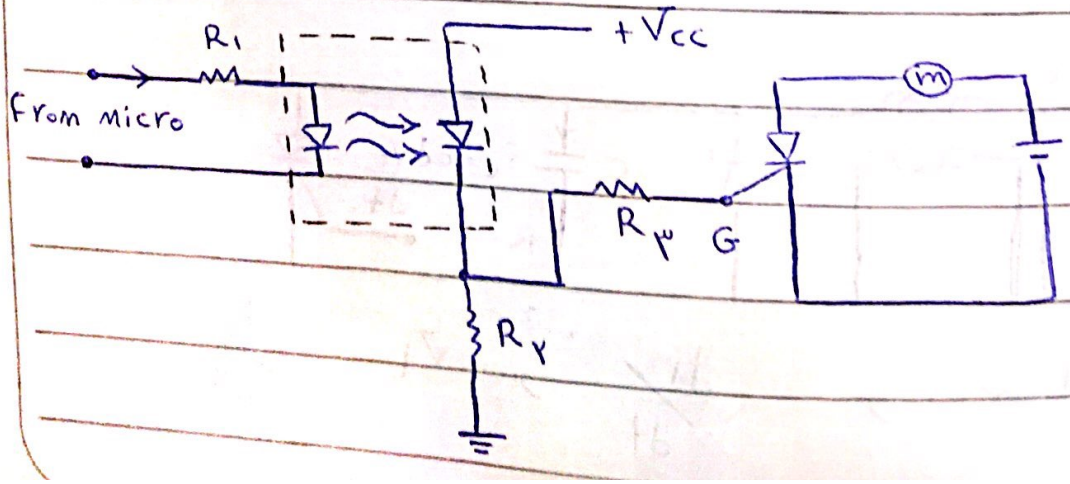
$$V_{rms} = V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_T V^2(t)\,dt}$$

الف ج) $\Rightarrow$ $$V_{dc} = \frac{1}{T}\int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin\omega t\, d\omega t$$



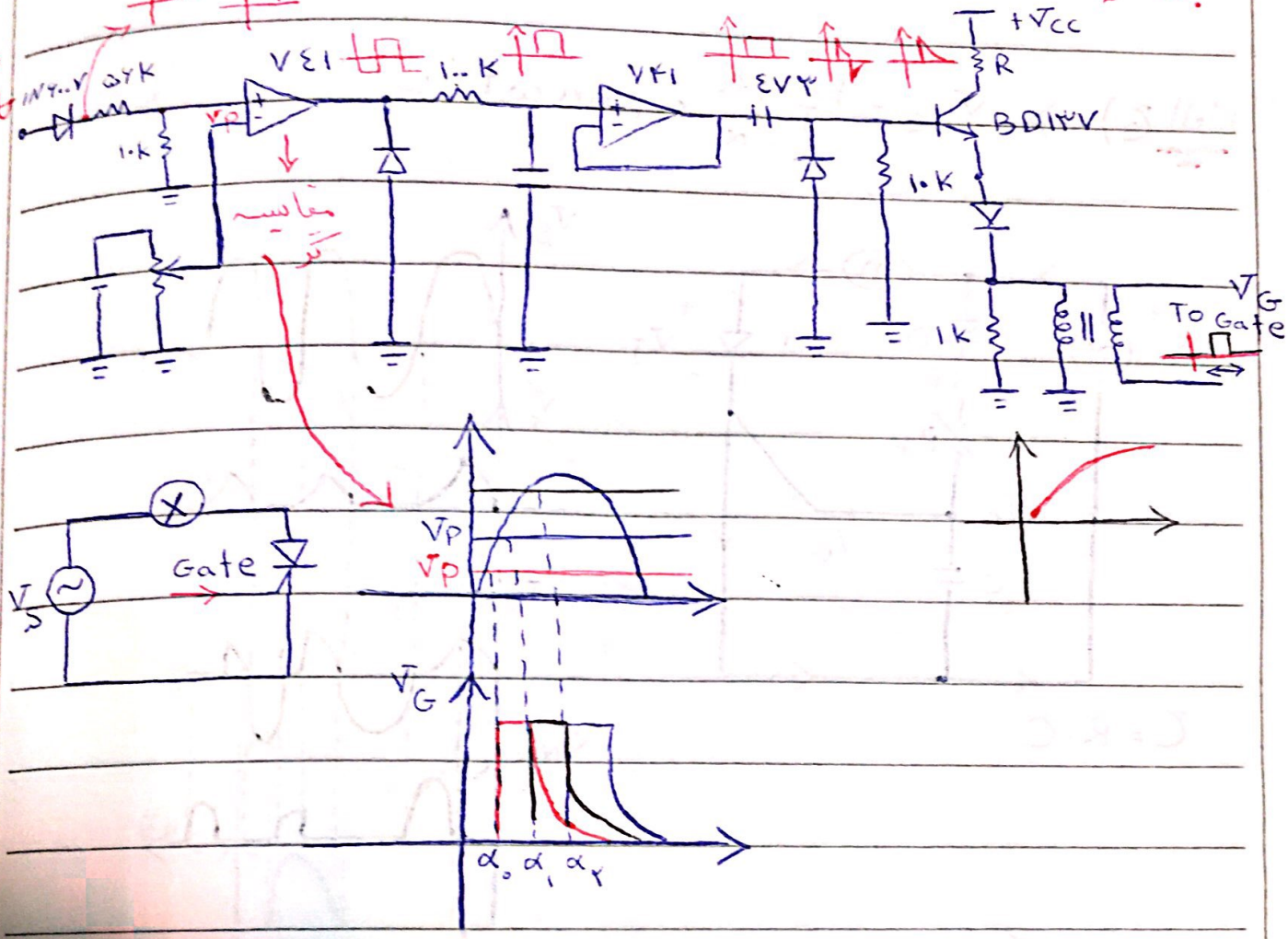
مدار بالا مدار دیمر است. که ولتاژ بار (لامپ) را از طریق آن کنترل می‌کنیم.

* مدار تحریک به صورت دیجیتال (با اسفاده از میکرو) $\Rightarrow$

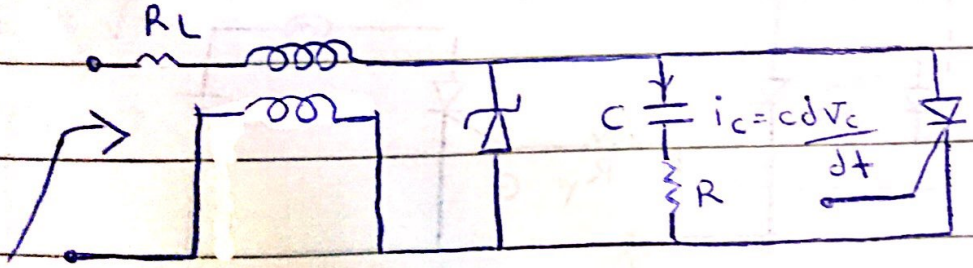


Scanned by CamScanner

* بررسی یک نمونه مدار آنالوگ تحریک ترایستور بصورت صنعتی ←



* حفاظت ترایستورها:
- dV/dt
- حرارت
- سری و موازی کردن ×



$x_L = L\omega$; di/dt ; $V_L = L\, di_L/dt$

Scanned by CamScanner

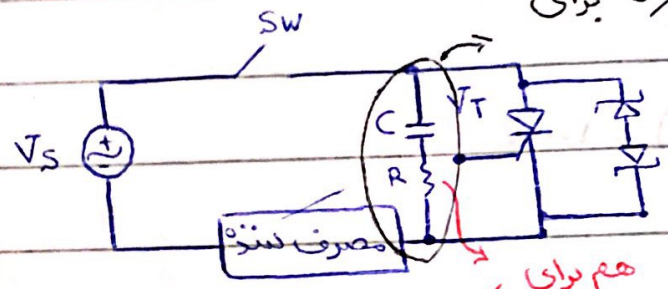
تریستور:

مدارهای کموتاسیون ⇐

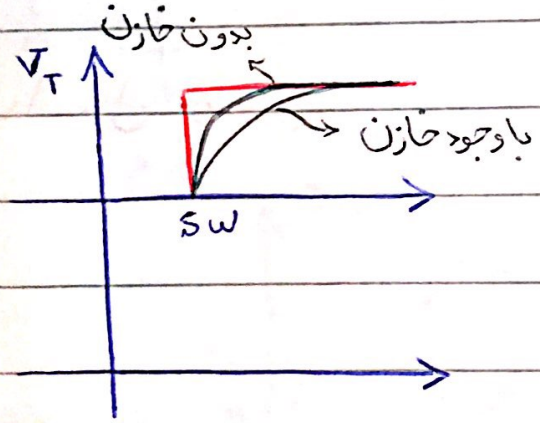
*حفاظت تریستورها ⇐
۱- ولتاژ بالا
۲- حرارت و ضربه
۳- $\frac{dV}{dt}$
۴- $\frac{di}{dt}$

① ولتاژ زیاد ⇐

برای $\frac{dV}{dt}$



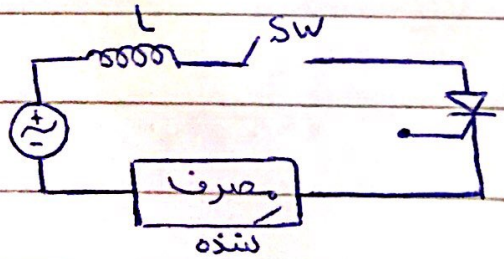
هم برای خازن و هم اینکه اتصال کوتاه اتفاق نیوفتد.



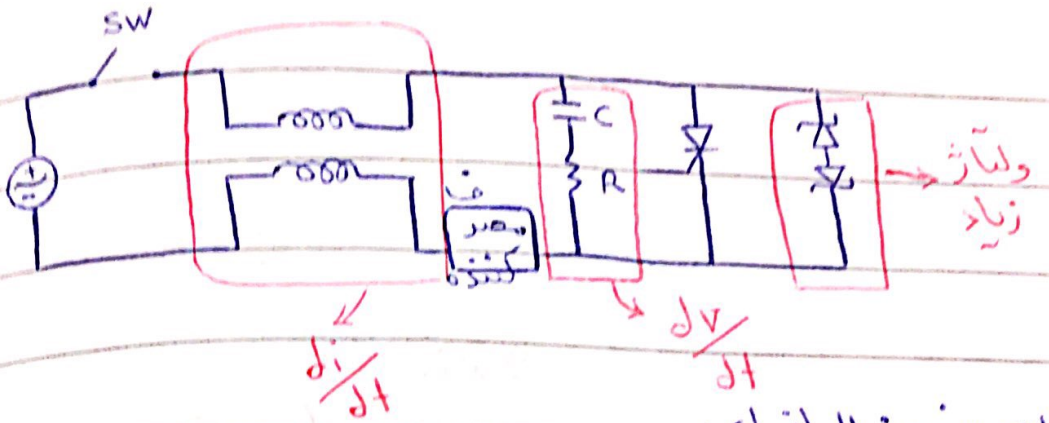
③ $\frac{dV}{dt}$ ⇐

$V_L = L \frac{di_L}{dt}$

④ $\frac{di}{dt}$ ⇐



Scanned by CamScanner

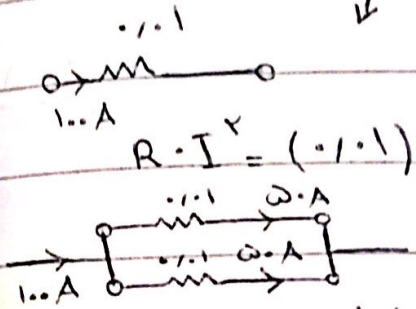


- سری و موازی نمودن المانهای

نیمه هادی: چرا؟ ① - رسیدن به رنج مطلوب ولتاژ و جریان

② - صرفه اقتصادی

③ - انتقال ساده تر حرارت



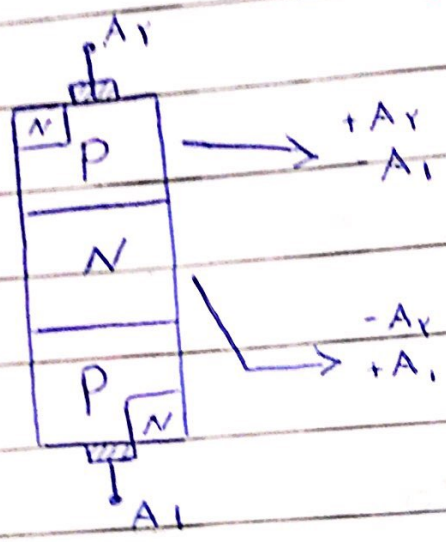
$R \cdot I^2 = (0/01)(100)^2 = 100W$

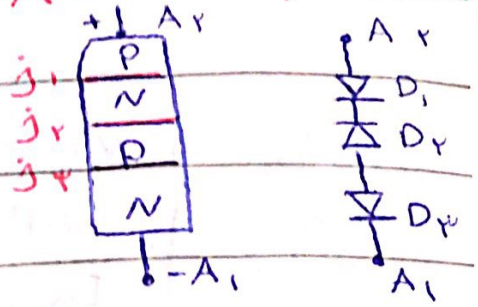
$(0/01)(50)^2 = 25W$

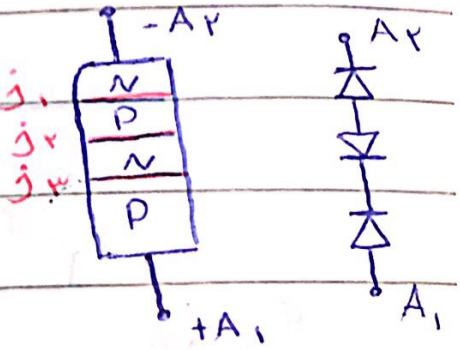
*حالت اتصال سری =>

جلسه ۲۹، ۱، ۹۶

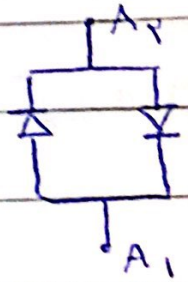
★ Diac (Diode+AC) دیود جریان متناوب



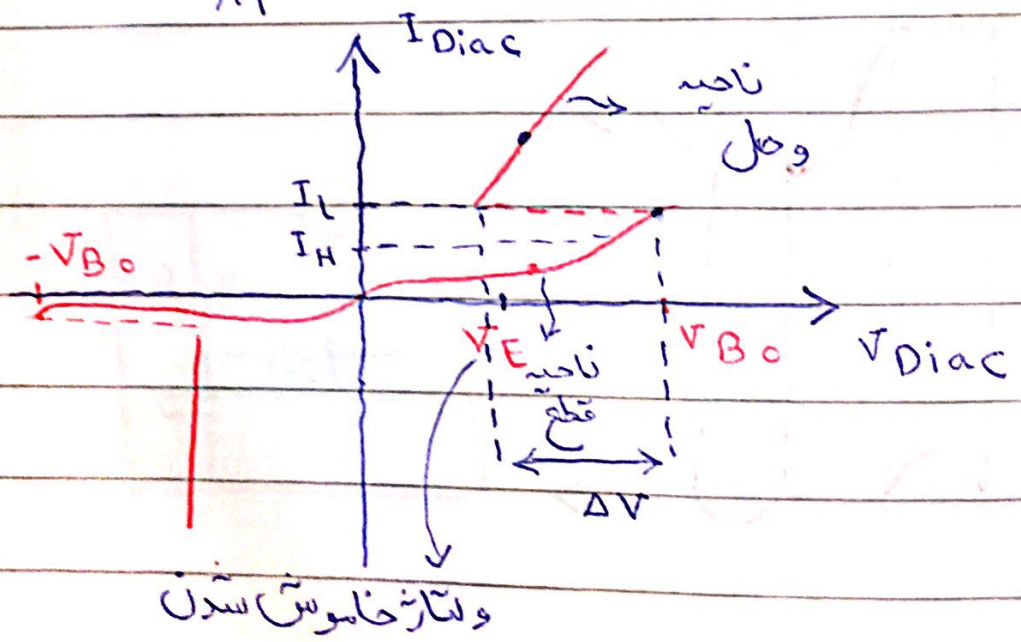




مدار معادل ⇓



سمبل مداری ⇓



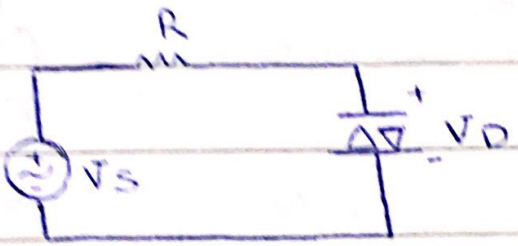
Scanned by CamScanner

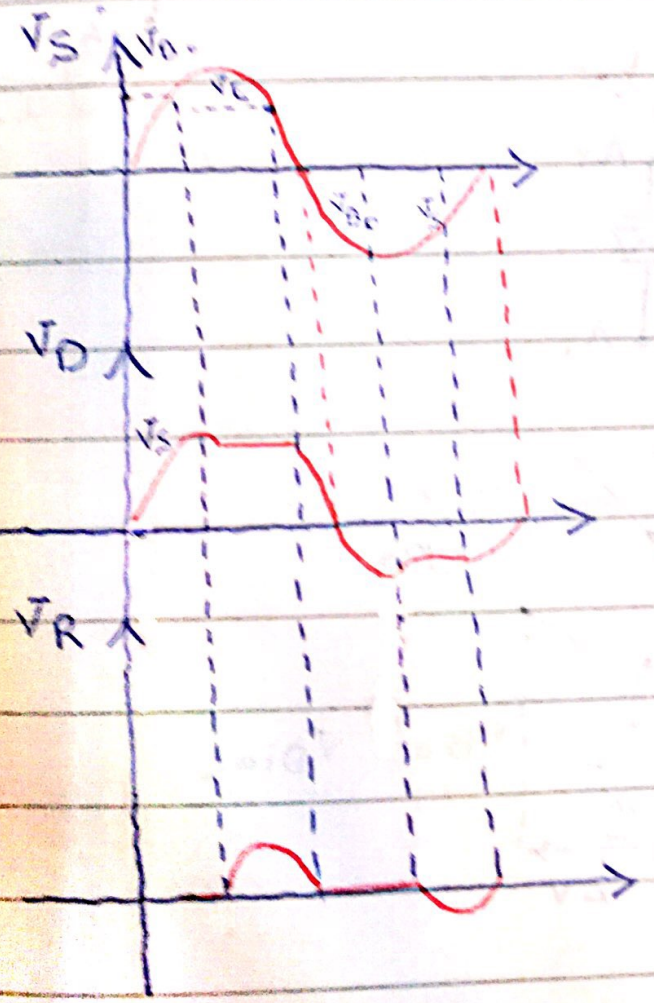
شرط وصل به باک

$$\begin{cases} V_D > V_{Bo} \\ \text{و} \\ I_D > I_L \end{cases}$$

شرط قطع به باک

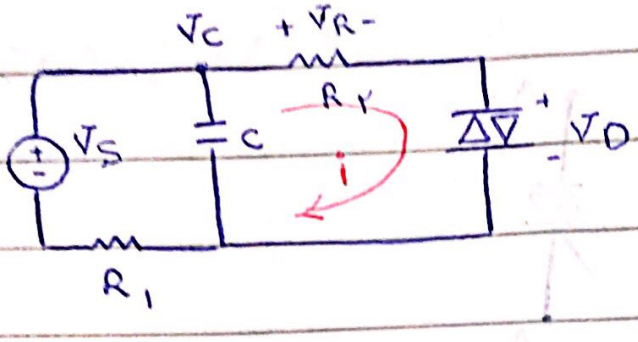
$$\begin{cases} V_D < V_E \\ \text{OR} \\ I_D < I_H \end{cases}$$

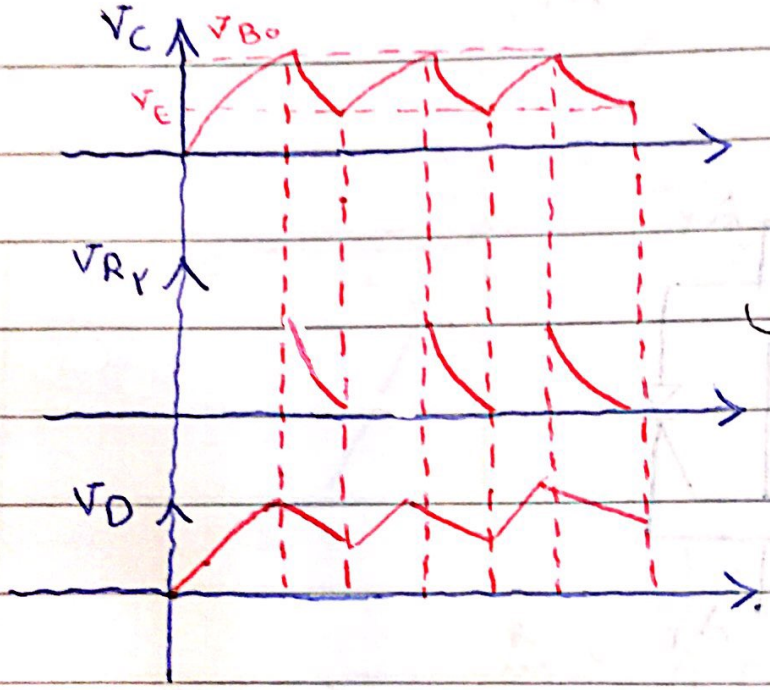




Scanned by CamScanner

* ساخت اسیلاتور با دیاک





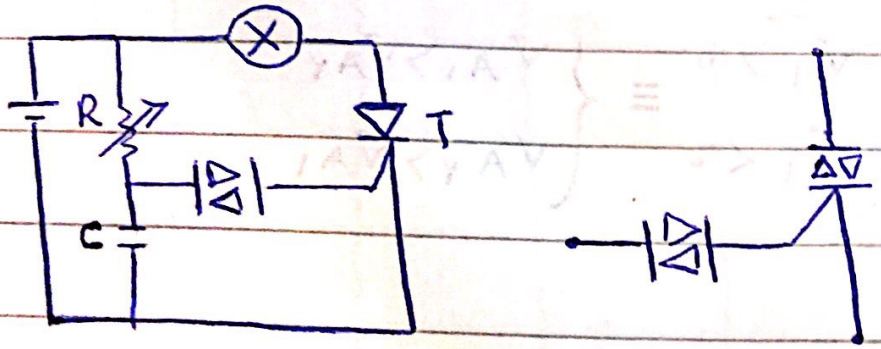
* ابتدا خازن شارژ نشده و به یک مدار RC ساده متوالی می‌شود و سپس پس از شارژ شدن خازن دوباره شروع به کار می‌کند. (خازن شارژ نمی‌شود به کلی).

* ثابت زمانی

$$T = R_1 C \ln \frac{V_S - V_E}{V_S - V_{BO}}$$

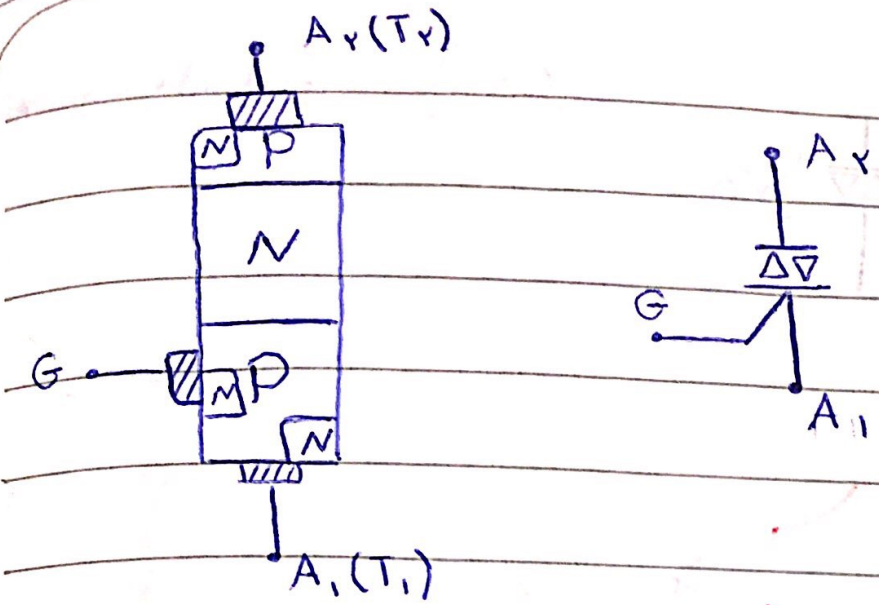
* کاربرد دیاک

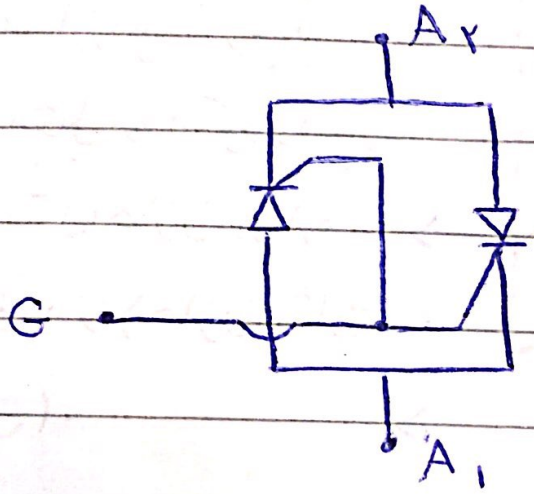
۱) لوسان سازها
۲) تحریک المانهای قدرت



Scanned by CamScanner

* Triac (تریاک) ⇐





شرط هدایت تریاک:

شرط روشن شدن تریاک

$$\begin{cases} \begin{cases} V_G > 0 \\ V_G < 0 \end{cases} \\ \& \\ I_T > I_L \\ \& \\ \begin{cases} V_T > 0 \\ V_T < 0 \end{cases} \equiv \begin{cases} V_{A_1} > V_{A_2} \\ V_{A_2} > V_{A_1} \end{cases} \end{cases}$$

Scanned by CamScanner

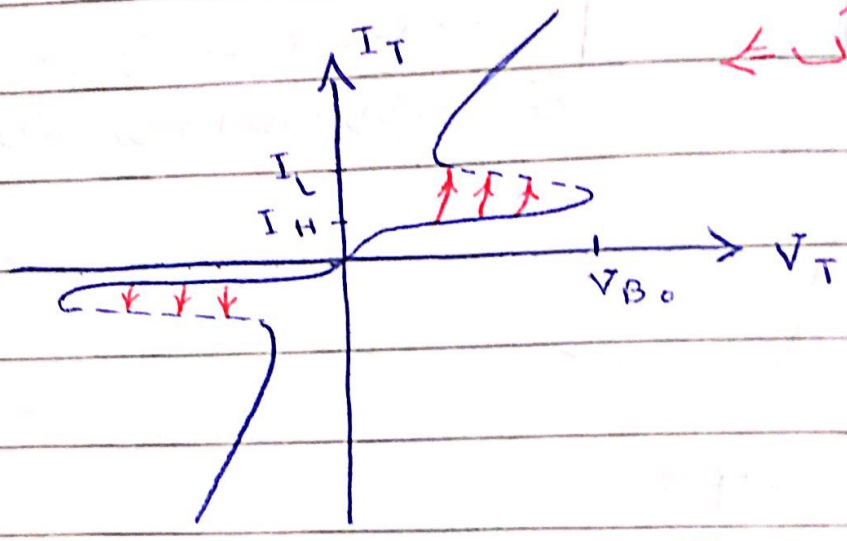
شرط خاموش شدن تریاک

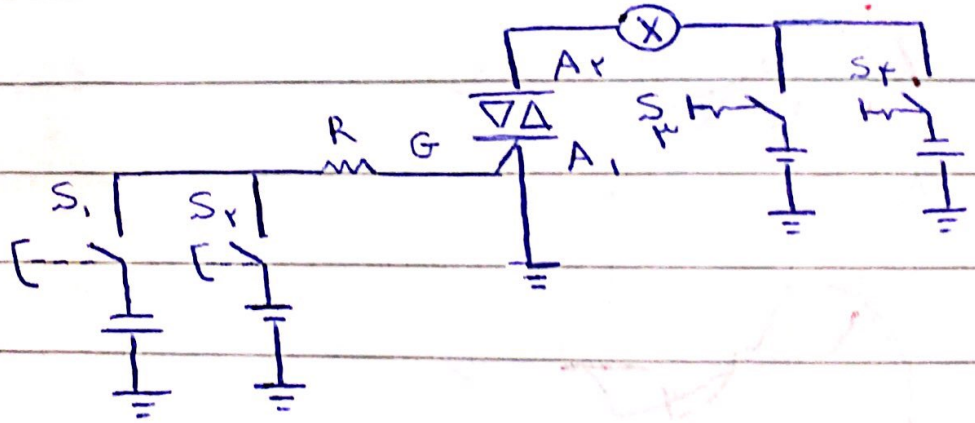
$I_T < I_H$

OR

تغییر پلاریته ولتاژ دوسر تریاک

* منحنی مشخصه تریاک ←

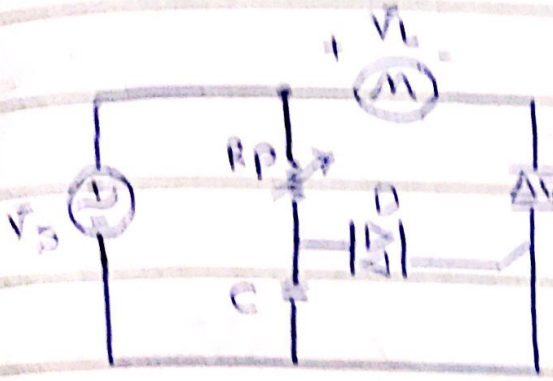




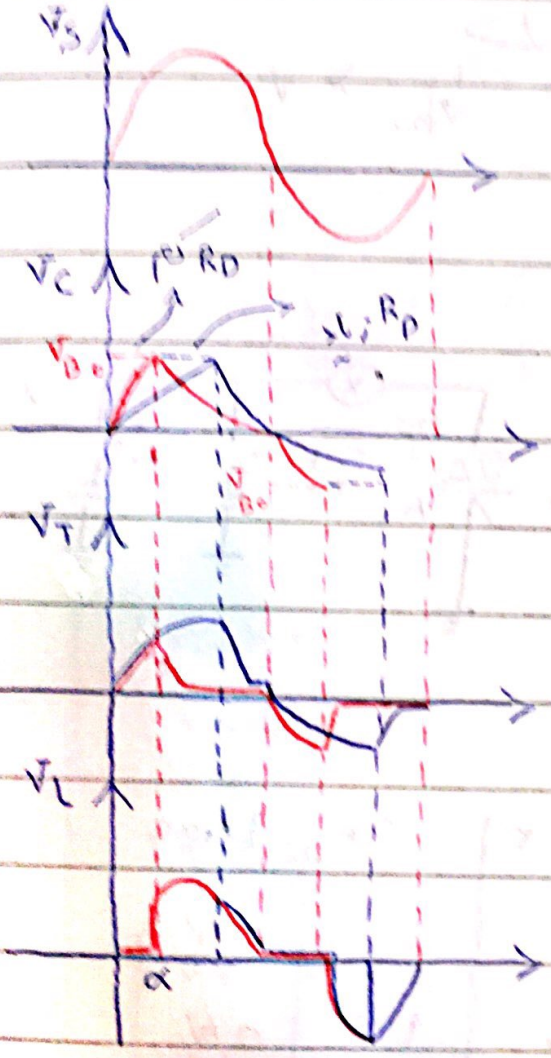
S_1	S_2	S_3	S_4	Triac
1	0	1	0	ON
0	1	0	1	ON
1	0	0	1	ON
0	1	1	0	ON

Scanned by CamScanner

* مدار کنترل ولتاژ متناوب با تریاک :

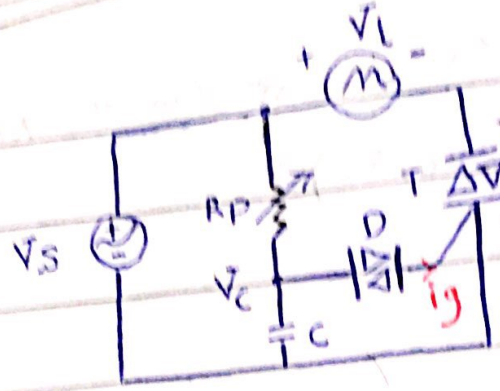


* با شارژ شدن خازن دیاک شارژ می شود با شارژ شدن دیاک یک جریانی به سمت گیت تریاک می رود و باعث روشن شدن تریاک می شود.



$$* V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{\alpha}^{\pi} (V_m \sin\omega t)^2 \, d\omega t}$$

Scanned by CamScanner



با توجه به شکل مقدار ولتاژ دو سر ترانزیستور را مشخص کنید.

$V_{Diac} = V_{BO} = 20V$

$C = 470\,nf$

$V_S = 240\,V$

$f = 50\,Hz$

$1k\Omega < R_P < 25\,k\Omega$

ج) $\Rightarrow V_C(t)$

$V_C(t) = X_C \cdot i(t)$

$X_C = \frac{1}{\omega C}$

$i(t) = \frac{V(t)}{Z}$ (جریان فازوری)

$X_C \rightarrow -jX_C \rightarrow X_C \angle -90$

$X_L \rightarrow jX_L \rightarrow X_L \angle 90$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 470 \times 10^{-9}} = 6773\,\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{25k^2 + 6773^2} = 25901\,\Omega$$

$$\phi = \tan^{-1}\frac{X_C}{R} \quad (\text{max}) = \tan^{-1}\left(\frac{6773}{25k}\right) = 15.15^\circ$$

$$V(t) = 240\sqrt{2}\sin(\omega t)$$

$$i(t) = \frac{V(t)}{2} = \frac{240\sqrt{2}\angle 0}{25901\angle -15.15^\circ} = 0.013\angle 15.15$$

Scanned by CamScanner

$V_c(1) = \frac{1}{C} \cdot I(1) = 2777 \angle -90 * 0.013 \angle 15,15 = 88,5 \angle -74,85$

$V_c(t) = 88,5 \sin(\omega t - 74,85)$

↓

$V_c = 40$ برابر ؟

$40 = 88,5 \sin(\omega t - 74,85)$

$\frac{40}{88,5} = \sin(\omega t - 74,85)$

$\Rightarrow \sin^{-1}\left(\frac{40}{88,5}\right) = \omega t - 74,85$

↓

$\omega t = 74,85 + \sin^{-1}\left(\frac{40}{88,5}\right) = 101,7^\circ$

*نکته: مقدار حداقل و حداکثر زاویه هدایت تا زمانی که خازن به ۴۰ ولت نرسد ثابت دوم حرف می‌شود.

*تمرین ①: زاویه α حداقل را در مدار قبل بدست آورید. $(15,14^\circ)$

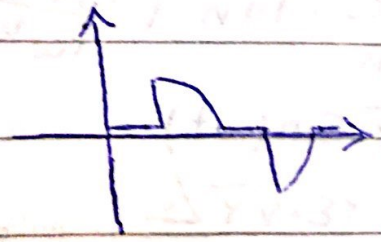
*تمرین ②: در صورتی که بخواهیم مقدار مؤثر ولتاژ مصرف‌کننده ۱۸۰ ولت باشد، مطلوبست بدست آوردن:

الف) زاویه α

ب) مقدار Rp

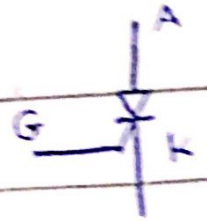
*راهنمایی:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{\alpha}^{\pi} v^2 dt}$$

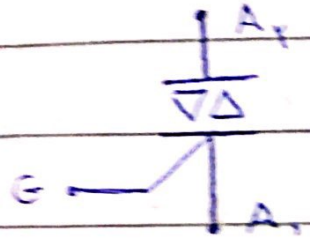


Scanned by CamScanner

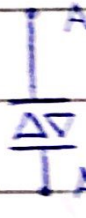
* ~~ترانزیستور~~ ترانزیستور =>



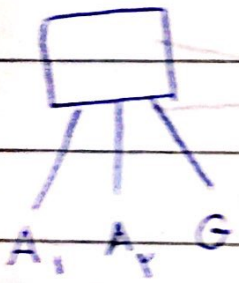
فقط از کاتد به آند راه می‌دهد.

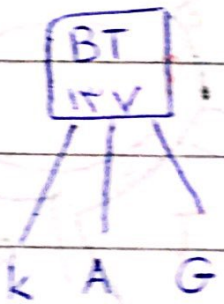


فقط از کاتد به A_1 یا به A_2 راه می‌دهد.



از دو طرف راه می‌دهد.

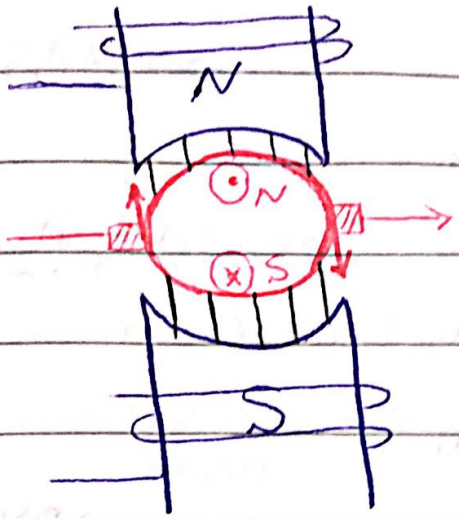




Scanned by CamScanner

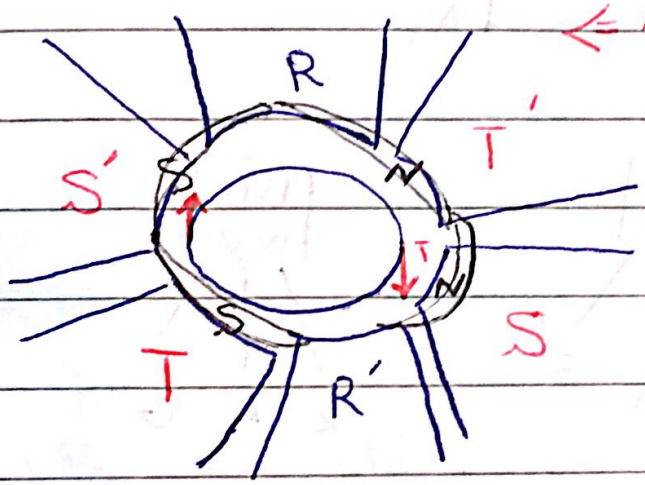
* جلسه ۱۲، ۲، ۹۶ *

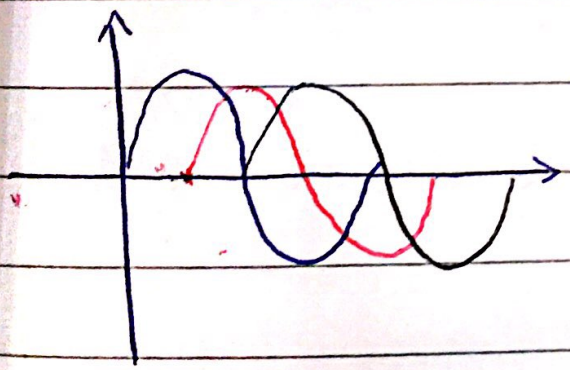
* اساس کار موتور DC ⇐

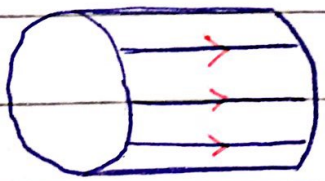


$$* \quad E = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

* اساس کار موتور AC ⇐







* اساس کار موتور AC : ① وجود میدان دوار در استاتور ② القا ولتاژ در رتور ③ ایجاد میدان مغناطیسی در رتور ④ ایجاد گشتاور از برهمکنش

Scanned by CamScanner

در میدان مغناطیسی.

*نکته ⇐ ① گشتاور موتور DC از موتور AC بیشتر است. ② کنترل دور موتور، موتور DC از موتور AC بیشتر است، ③ طول عمر موتور DC از AC بیشتر است.

*مزایای موتور DC ⇐ ① گشتاور راه اندازی بالا ② امکان کنترل دور در محدوده وسیع.

*مزایای موتور AC ⇐ ① سادگی و سهولت استفاده ② در دسترس بودن منبع تغذیه AC.

*موتورهای AC
- سه فاز
  - سنکرون
  - آسنکرون (موتورهای القایی)
    - موتور سیم پیچی
    - موتور روتور قفسی
    - موتور دالاندر
- تک فاز
  - خازنی
  - مقاومتی
  - فاز شکسته
  - قطب چاکدار
  - ⋮

Scanned by CamScanner

* رابطهٔ گشتاور در موتورهای القایی سه فاز ←

$$T = \frac{3 R'_r V_s^2}{S n_s \left[\left(R_s + \frac{R_r}{S}\right)^2 + (x_s + x'_r)^2 \right]}$$

R'_r → مقاومت اهمی سیم پیچ رتور

V_s → ولتاژ استاتور

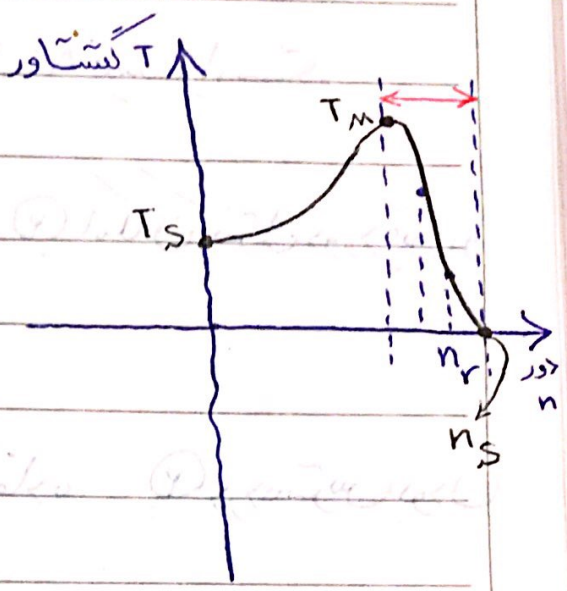
n_s → دور سنکرون یا دور استاتور

S → لغزش

R_s → مقاومت اهمی استاتور

x_s → مقاومت القایی استاتور

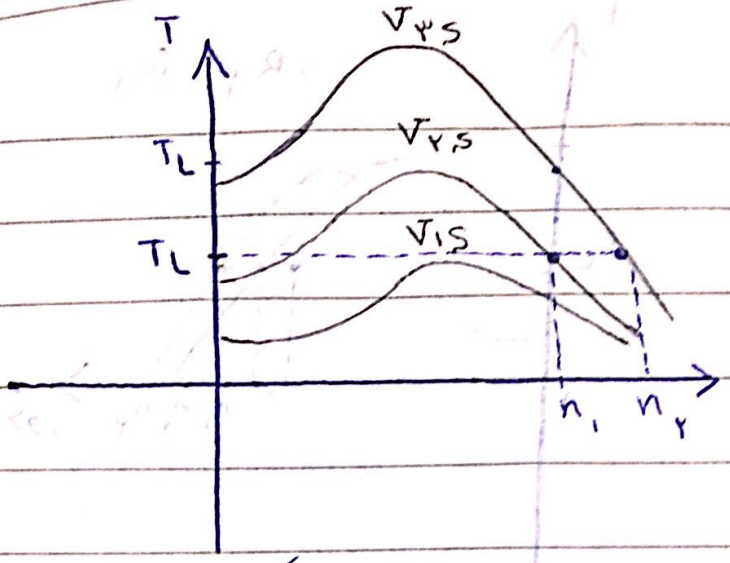
x_r → مقاومت القایی رتور



* عوامل تغییر گشتاور (دور) در موتور القایی ← ① فرکانس (x) ② ولتاژ اعمالی به استاتور (V_s) ③ مقاومت اهمی رتور (R_r) ④ تغییر تعداد قطب موتور. تغییر (n_s) ← موتور دالندر

۱- روش کنترل ولتاژ استاتور برای کنترل دور ←

Scanned by CamScanner

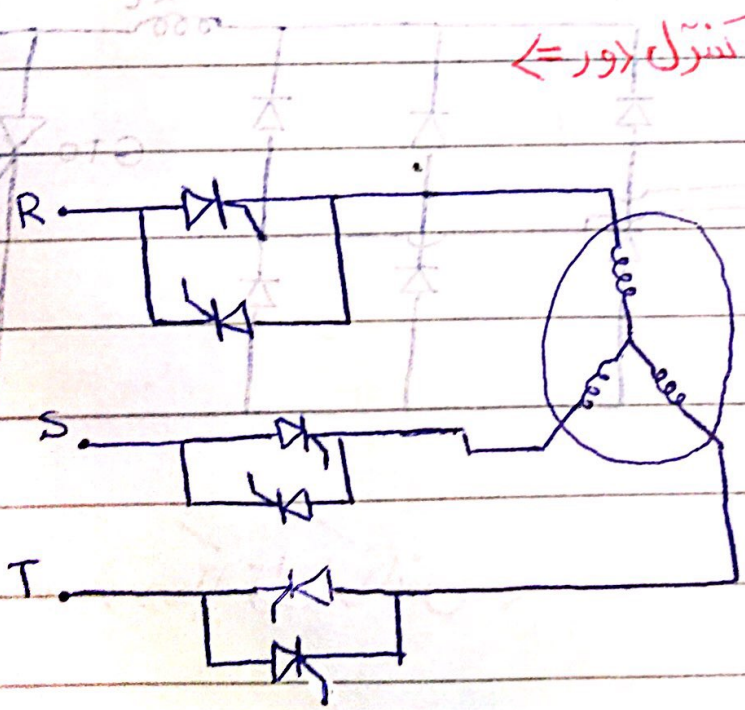


$T \propto (V_S^2)$

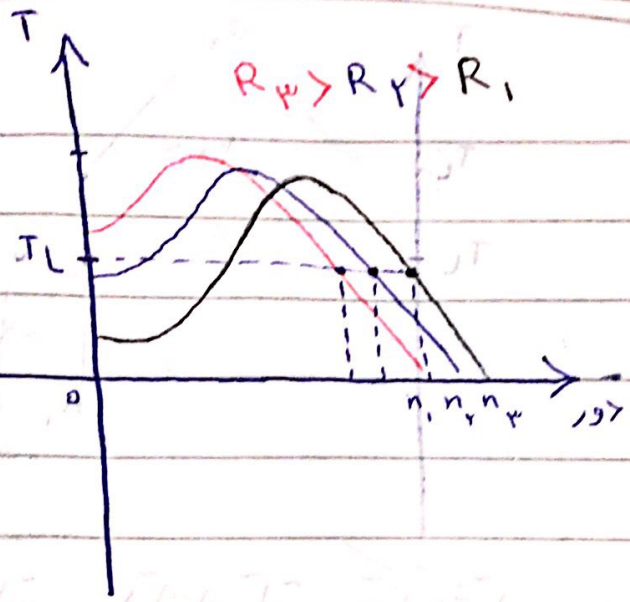
$V_{3S} > V_{2S} > V_{1S}$

* با توجه به رابطهٔ گشتاور با تغییر ولتاژ اسآتور، مدار گشتاور و دور موتور تغییر می‌یابد به طوری که در شکل بالا این مسئله دیده می‌شود، کنترل دور با کنترل ولتاژ اسآتور دو اشکال عمده دارد: ① دورهای پایین قابل دسترس نیست. ② گشتاور بار خیلی کمتر از گشتاور نامی باید باشد.

* مدار ساده برای کنترل دور =>



Scanned by CamScanner

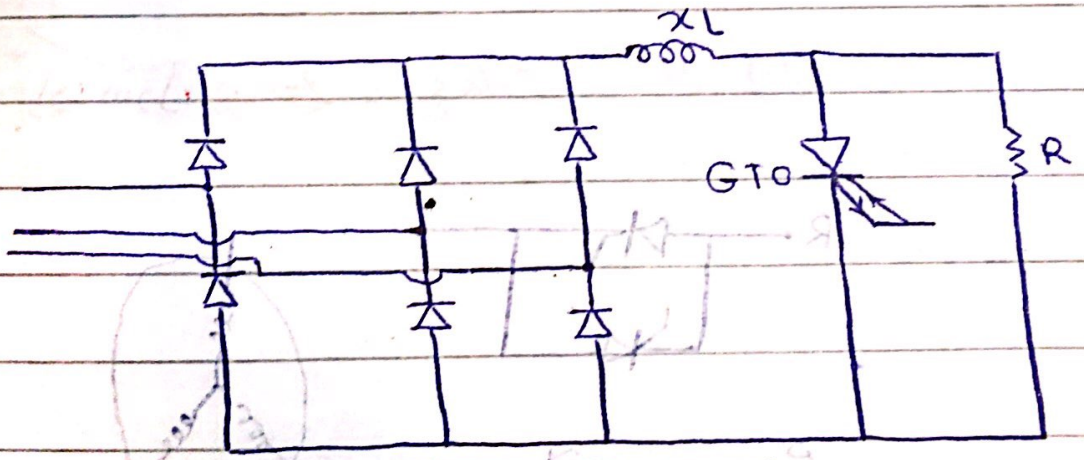


۲- روش کنترل دور موتور با اضافه کردن مقاومت اهمی به روتور ⇐

* با افزایش مقدار مقاومت اهمی مدار روتور می‌توانیم دور موتور را کنترل کنیم،

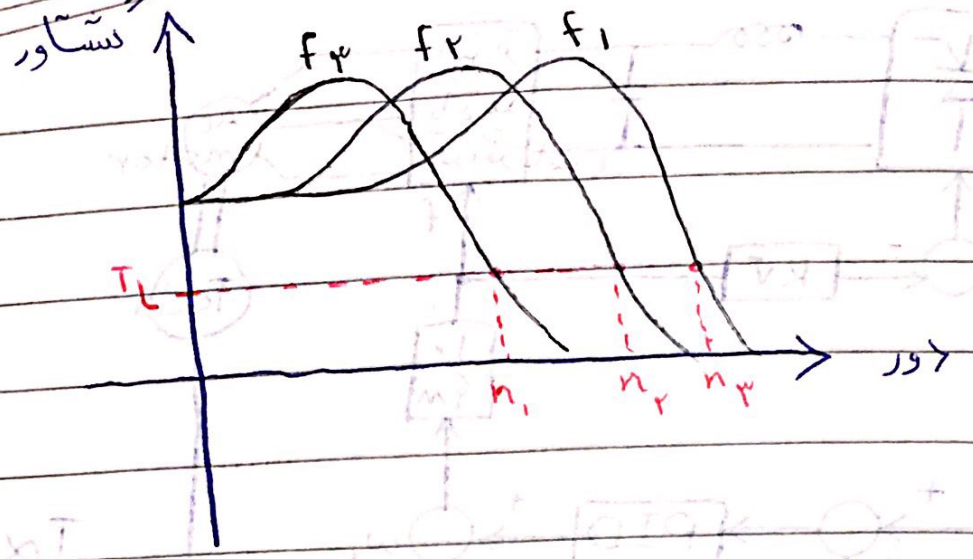
البته در این روش کنترلی تلفات توان به دلیل اضافه کردن مقاومت اهمی زیاد است

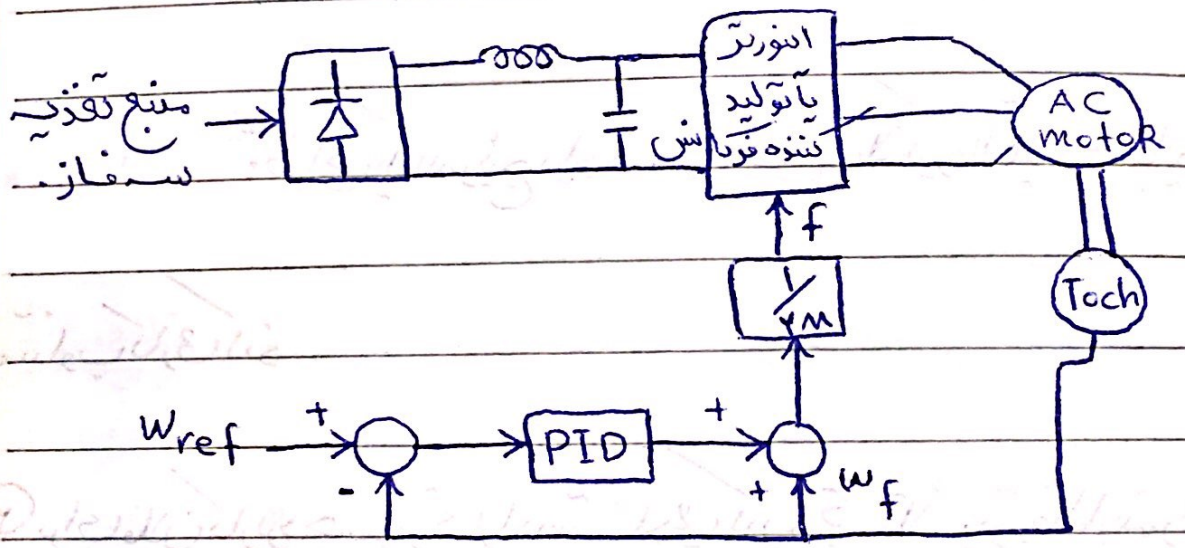
و معمولا از روش برای کنترل دور استفاده نمی‌شود.



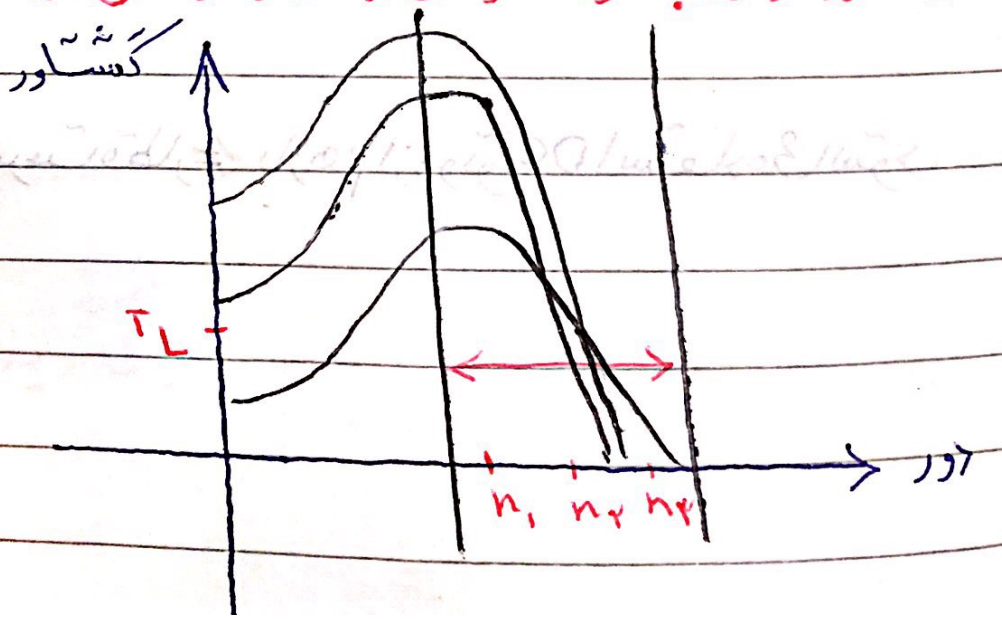
۳- روش کنترل دور موتور با کنترل فرکانس ⇐

Scanned by CamScanner

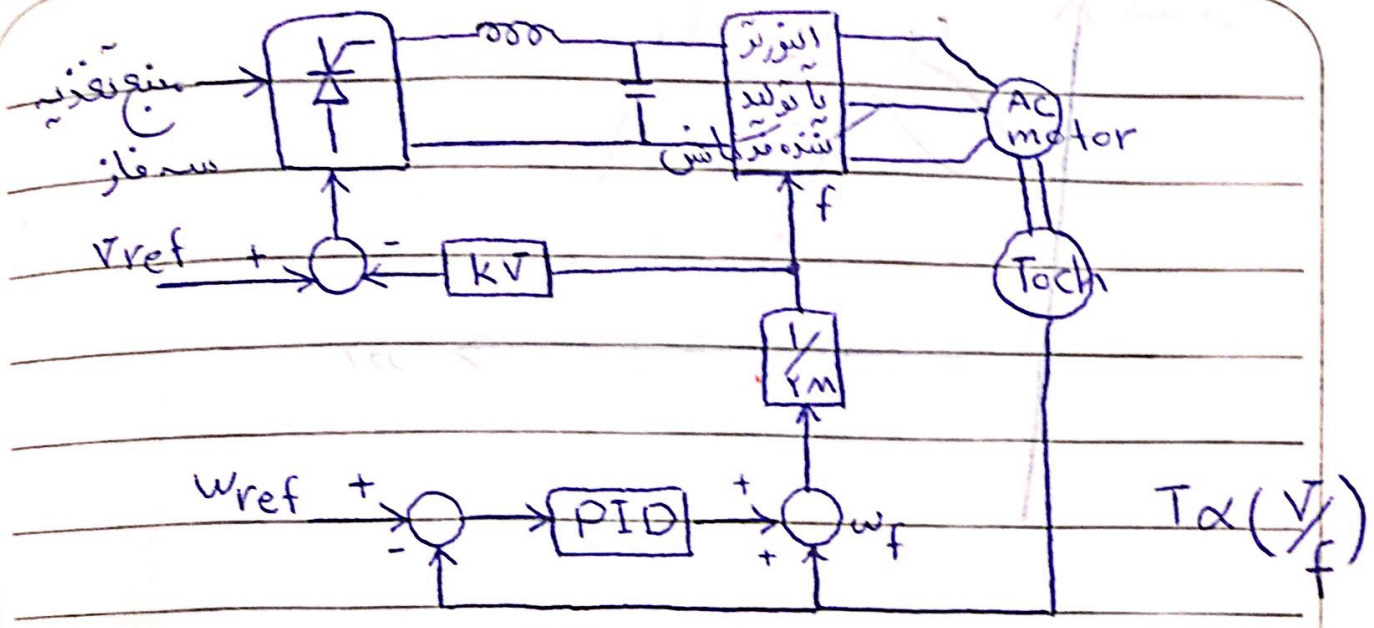




۴- روش کنترل دور موتور با کنترل همزمان ولتاژ و فرکانس



Scanned by CamScanner



* مثال امتحانی: ① طراحی یک سرویس برای مدار صنعتی مثلاً کوره القایی ← باید بدانیم که با برق متناوب کار می‌کند.

② برای فلان کاربرد چه موتوری را پیشنهاد می‌کنید؟ مثلاً موتور قطار شهری ← موتور DC چون گشتاور بالا دارد.

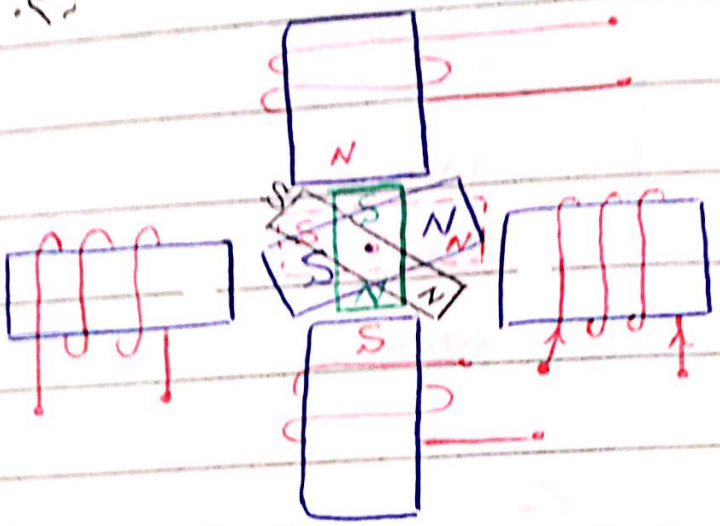
③ برای کنترل سرعت قطار ← باز هم از موتور DC استفاده می‌شود.

Scanned by CamScanner

* جلسه ۱۹، ۲، ۹۶

فقط بخاطر زاویه‌ی چرخش از آن استفاده می‌کنیم.

* موتور پله‌ای stepper Motor:



* یک استپر موتور یک محرک الکتریکی است که با اتصال به پالس‌های خارجی، پالس‌های مکانیکی در خروجی ایجاد می‌کند. استپر موتور در کاربردهای مثل کنترل موقعیت ( )، بازوهای ربات و دیسک‌ها استفاده می‌شود. موتور پله دارای استاتور سیم پیچی شده و روتور مغناطیس دائم می‌باشد (به مقدار حوامل حرکت روتور در موتور پله‌ای زاویه پله یا Stepping Angle می‌گویند، زاویه پله مناسب با ساختار قطب‌های روتور می‌باشد.)

Scanned by CamScanner

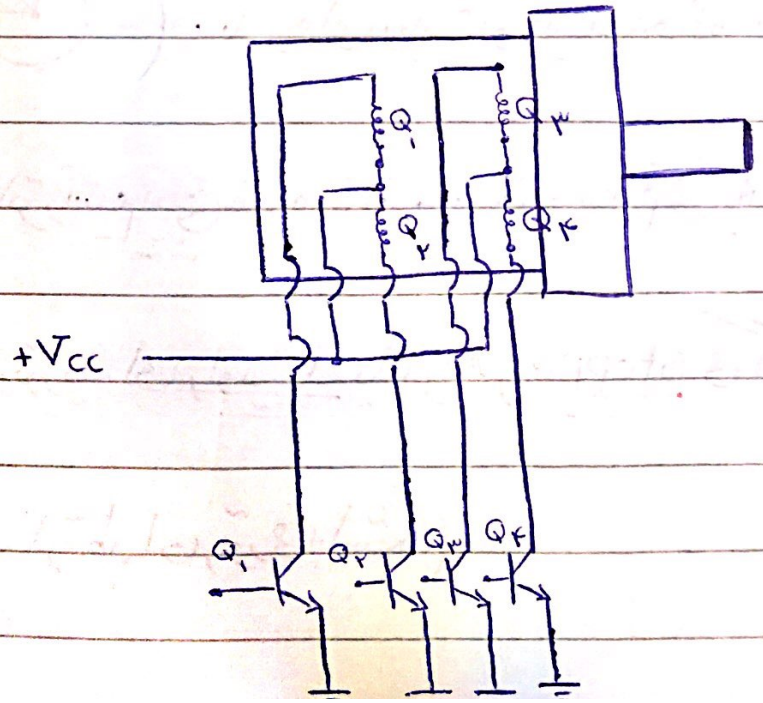
به عنوان مثال:

stepping Angle	steper Revalution
۱۵°	۲۴
۷,۵	۴۸
۵	۷۲
۲,۵	۱۴۴
۲	۱۸۰
۱,۸	۲۰۰
۰,۷۲	۵۰۰

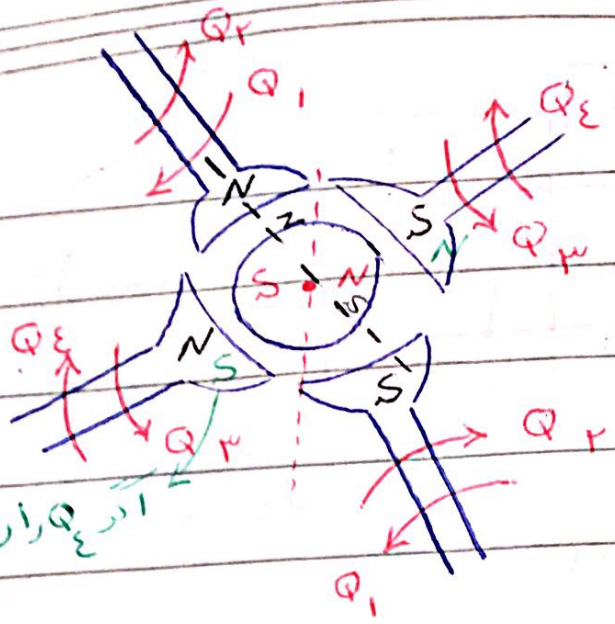
۳۶۰ / ۲۴ ⇐

* اغلب موتورپله ای دارای ۴ سیم پیچ هستند که به صورت دوزوج پیچیده می شوند

برای به چرخش درآوردن موتور باید به ترتیب روی ورودی سیم پیچ ها ولتاژ اعمال نمود.



Scanned by CamScanner



اگر Q_4 را روشن کنیم.

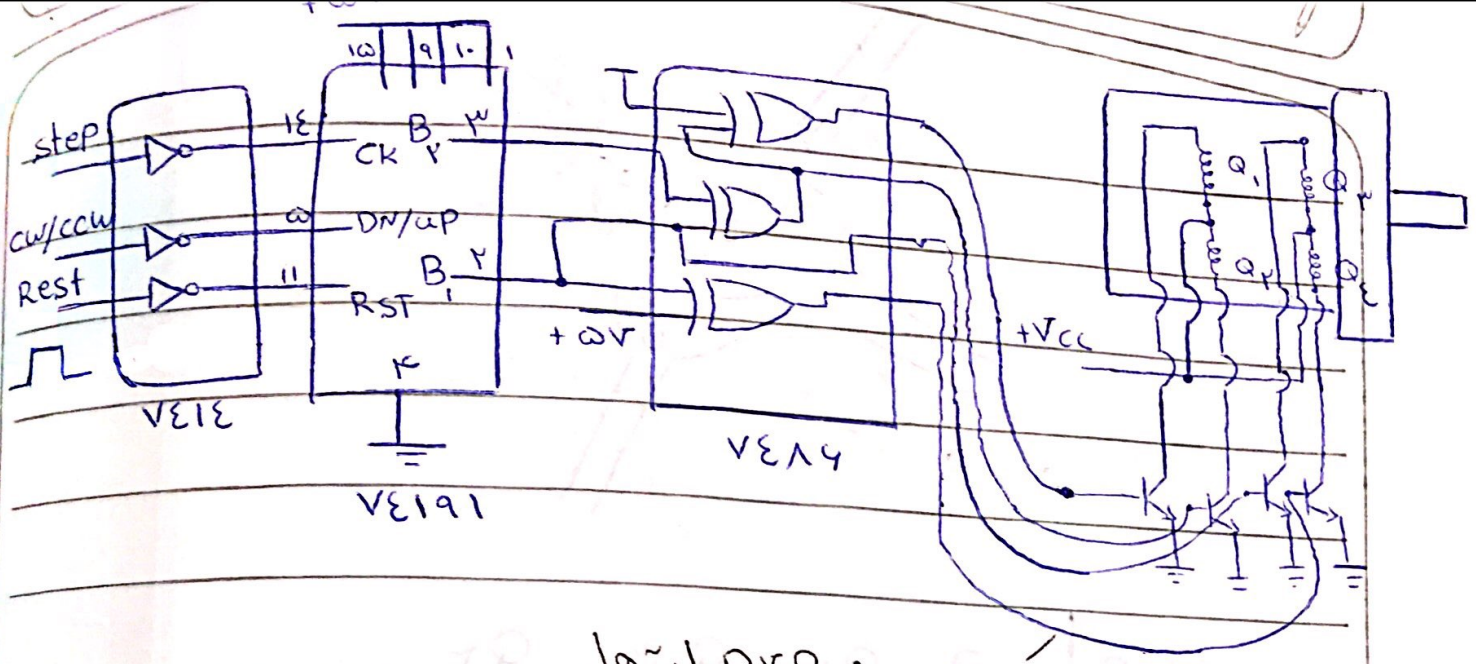
step	Q	Q_2	Q_3	Q_4
۱	ON	off	ON	off
۱,۵	ON	off	off	off
۲	ON	off	off	ON
۲,۵	off	off	off	ON
۳	off	ON	off	ON
۳,۵	off	ON	off	off
۴	off	ON	ON	off
۴,۵	off	off	ON	off

ساعتگرد CW

پادساعتگرد CCW

نیم پله ←

* مدار درایو آنالوگ موتور پله‌ای ←

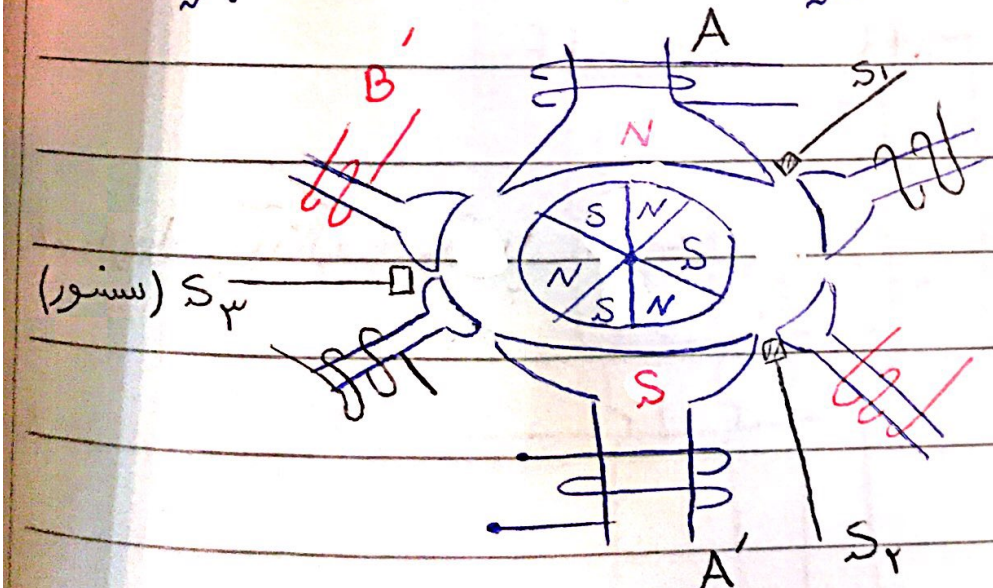


سیگنال‌های درون DVD را ببرها.

* موتور براشلس (Brashless) ← دو موتور براشلس داریم: ①

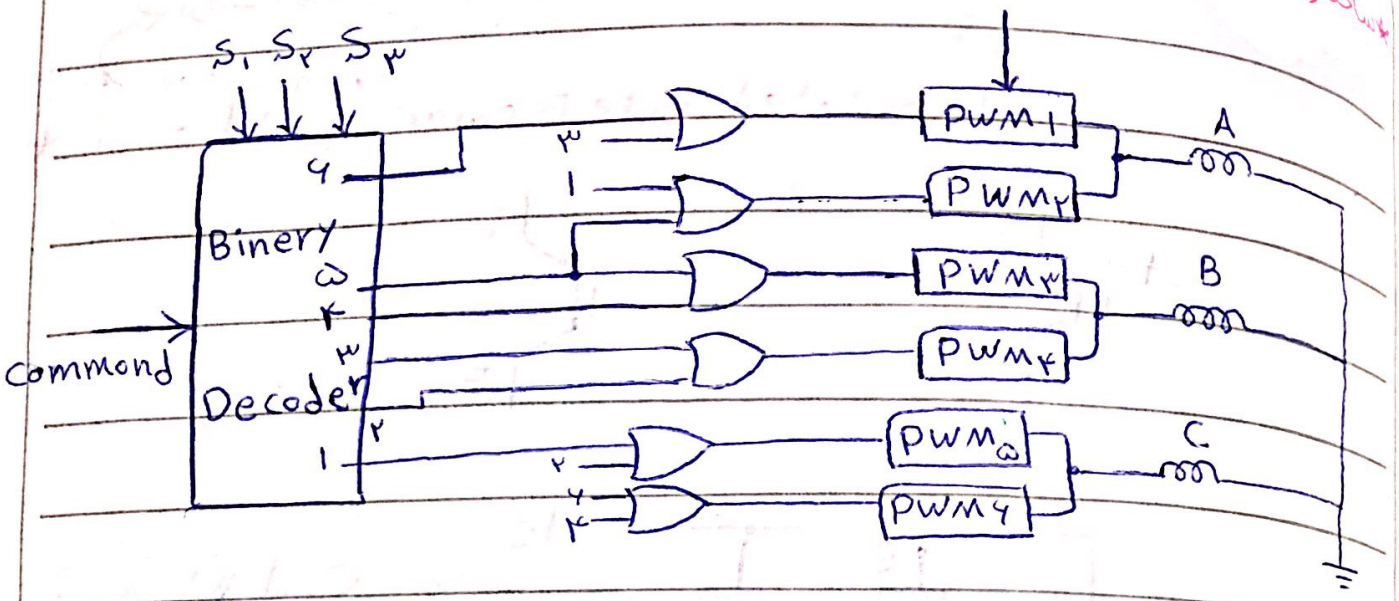
② روتور آهنربای دائم و متحرک. استاتور سیم پیچی شده، استاتور آهنربای دائم و متحرک، استاتور سیم پیچی

نکته ← موتورهای براشلس در عین قدرت بالا، کشش و سرعت بالایی دارند.



Scanned by CamScanner

* ساختار ساده راه اندازی موتورهای براشلس ⇐



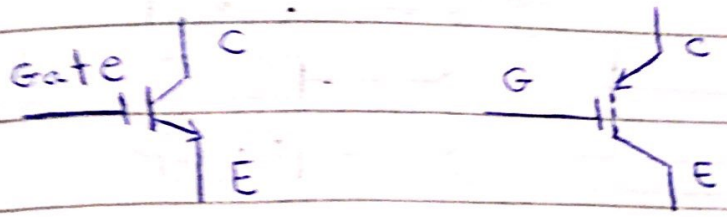
* مزایای موتورهای براشلس ⇐ ① قابلیت اطمینان بیشتر، ② راندمان بالاتر ③ ایجاد دورهای بیشتر.

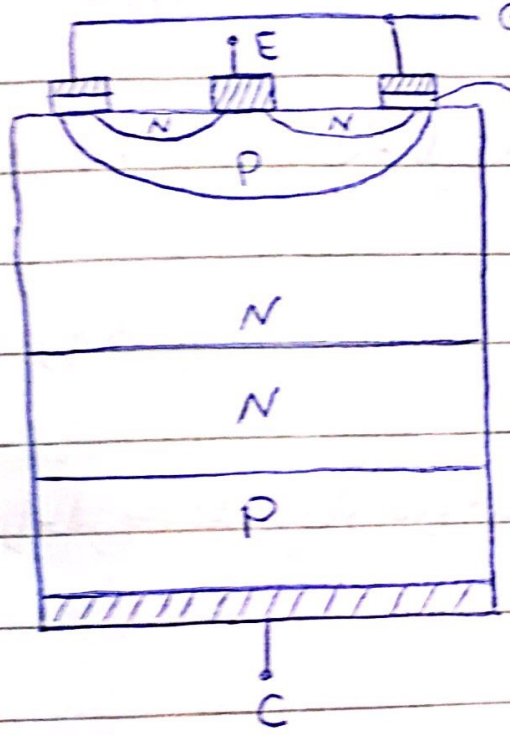
* معایب موتورهای براشلس ⇐ ① ایجاد سرو صدای زیاد ② نیازمند درایور و فیدبک گردان.

۱۴۰۲/۰۲/۲۴

ترکیب ماسفت و BjT است.

* IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) ←

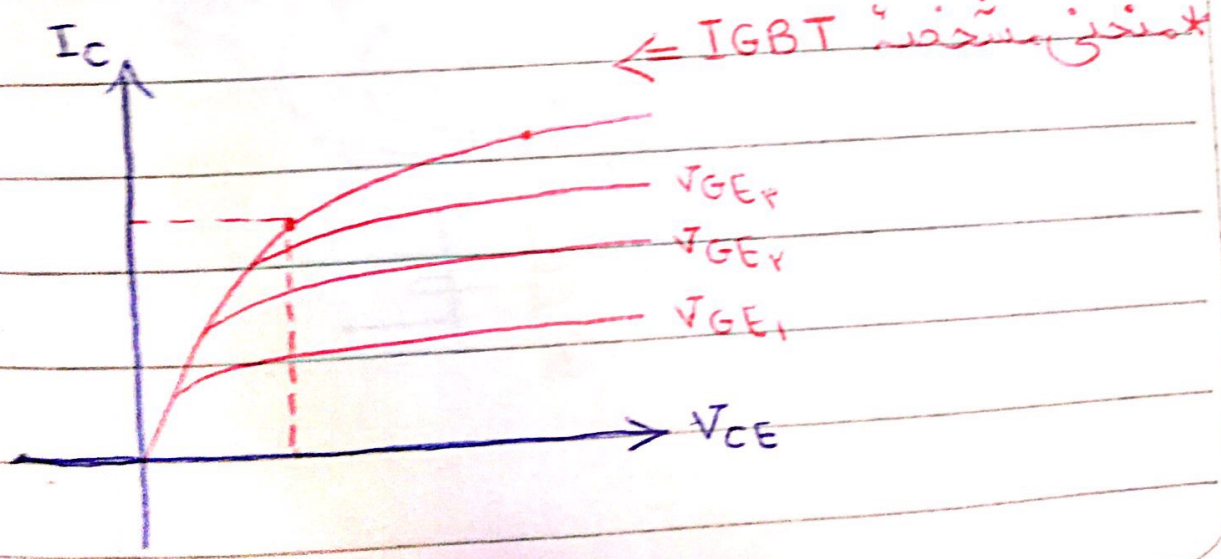




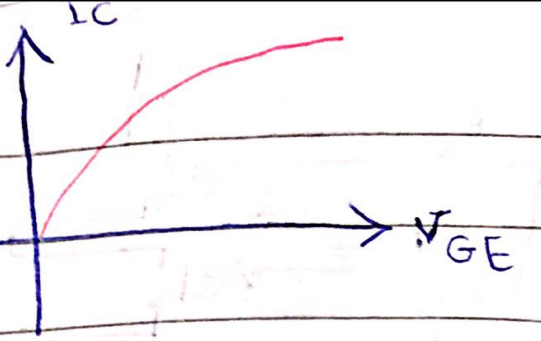
- نوع N کانال است.
- سه پایه است.

اکسید سیلیکون

* منحنی مشخصه IGBT ←



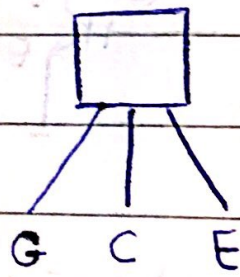
Scanned by CamScanner



* ویژگی های IGBT ← ① امپدانس ورودی زیاد ← شبیه MosFet

② امپدانس خروجی کم ← شبیه BjT ③ فرکانس کاری بالا ۵۰ kH ← (برتر از MosFet)

④ توان راه اندازی پایین ← (جریان کاری IGBT تقریباً صفر است اما در لحظه اولیه جریان شدید لحظه ای از آن می گذرد - رفتار خازنی)



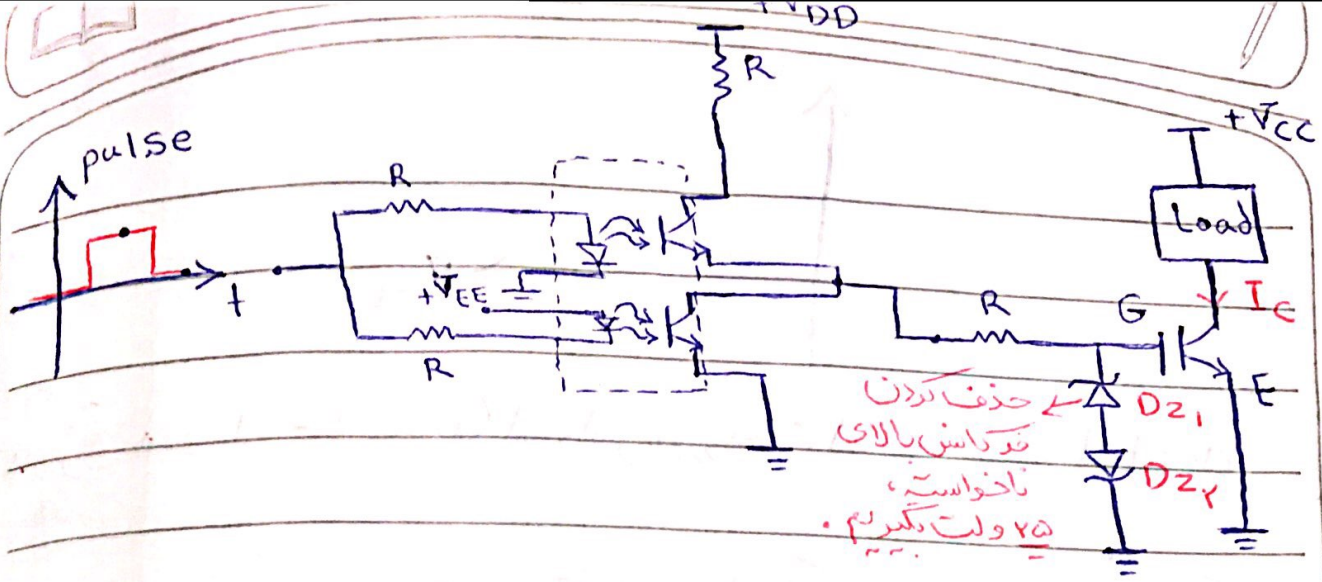
مدل ← FG A۲۰ N ۱۲۰ FTD

V_{CE}	۱,۲ KV
V_{GE}	± ۲۵ V
I_C	۴۰ A
T_{ON}	۱۰۰ nS
T_{off}	۳۰۰ nS

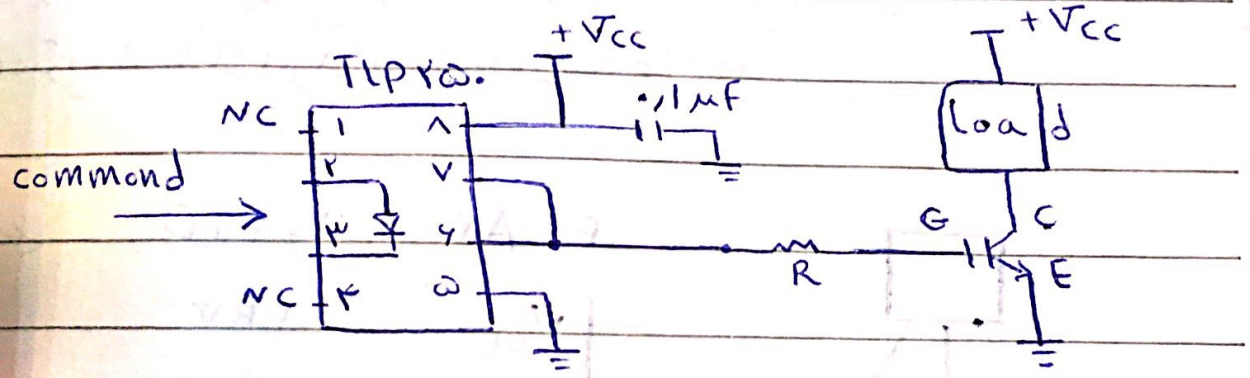
ولتاژ ۲ تا ۳ ← افت / رلت

* بررسی درایور IGBT :

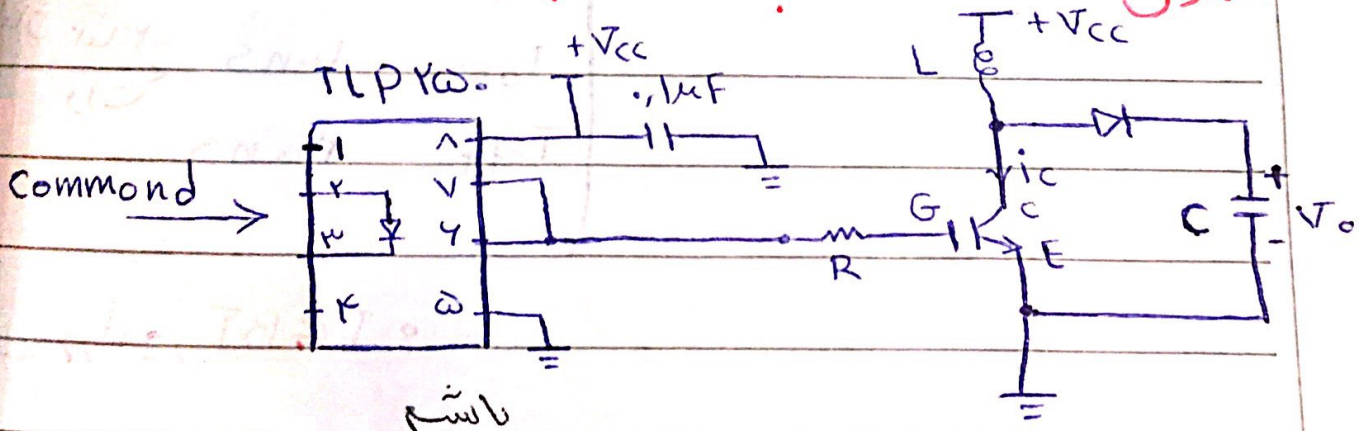
Scanned by CamScanner



*راه‌اندازی مدار IGBT:



*مدل IGBT یا Boost converter ←



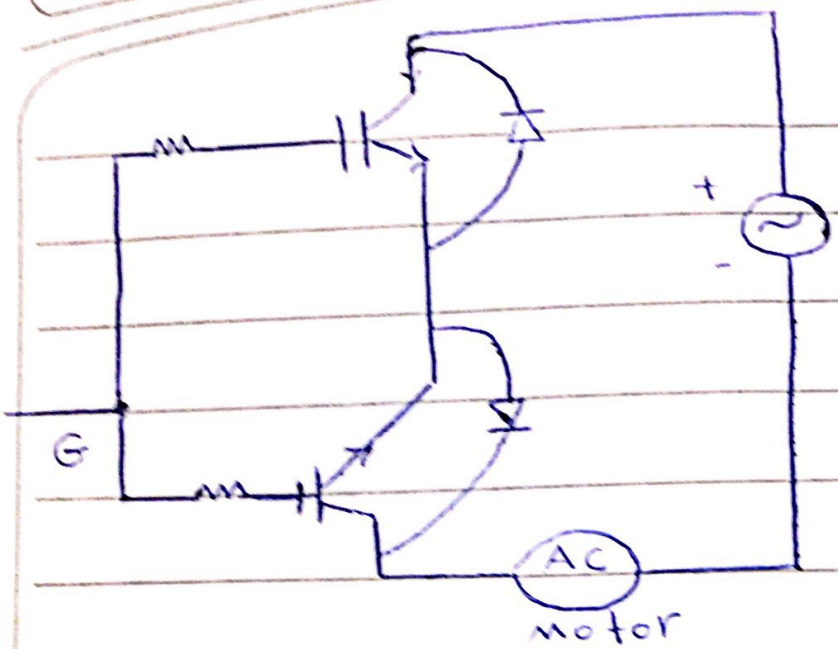
باشیم

منبع تغذیه AC داشته باشیم خواهیم سوئیچ مان IGBT باشد. ←

$V_o = \alpha V_{CC}$

*ساخت لیدر دو طرفه با IGBT ←

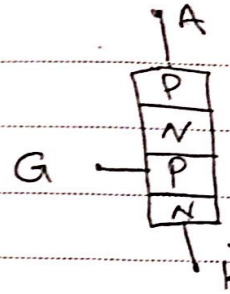
Scanned by CamScanner



Scanned by CamScanner

۹۶/۲/۵

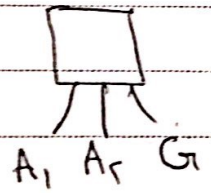
ست خانواده ترسیتورها:



۱- SCR : A و K از دو طرف راه می دهد.
گیت و کاتد فقط از یک طرف راه می دهد.

۲- دیاک : از هر دو طرف راه می دهد

۳- تریاک : از هر دو طرف راه می دهد،
گیت از هر دو طرف راه می دهد.



مثال
2N xxx → 2N5060
C xxx B → C106B
S xxx x L → S4015L

۹۶/۱/۳۱

الکترونیک صنعتی

- بسیاری از صنایع تکلی به حرکت هستند، به عنوان نمونه دستگاه CNC، نوار نقاله، دستگاه فرز، آسانسورها، ماشین های اداری، هواپیماها و موارد متعدد دیگری را می توان در این زمینه مثال زد. به عبارتی عامل اصلی وجود صنایع مختلف، حرکت است. حرکت در صنایع عموماً به دو دسته خطی و دورانی تقسیم می شود.

معمولاً حرکت های دورانی توسط الکتروموتورها انجام می گیرد و حرکت های خطی

Scanned by CamScanner

توسط محرک های نیوماتیکی، هیدرولیکی و مغناطیسی انجام می شود. توجه شود که به عامل حرکت دهنده در صنعت و به مفهوم در علم کنترل، محرک، عملگر یا Actuator می گویند.

حرکت
- خطی ← توسط محرک های نیوماتیکی، هیدرولیکی، مغناطیسی
- دورانی ← توسط الکتروموتورها

درایور: درایور یا همان راه انداز، سیستمی است که باعث راه اندازی را استفاده مناسب از محرک می شود.

درایور
- نیوماتیکی
- مکانیکی (مثل پدال و ...)
- الکتریکی
  - مغناطیسی
  - الکترونیکی ✓

ماشین الکتریکی
- موتورهای الکتریکی ✓
- ترانسفورماتور
- ژنراتور

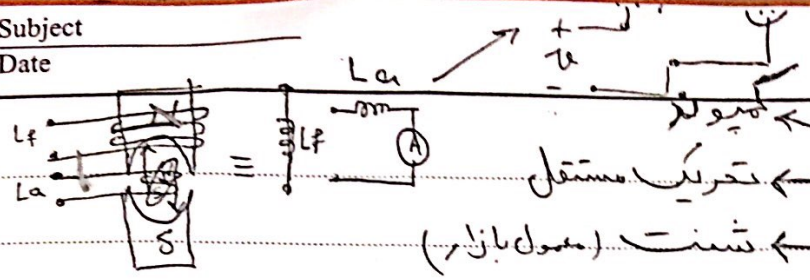
موتورهای الکتریکی
- AC
  - تکفاز
  - چندفاز
- مخصوص (مشترک AC و DC)
- DC
  - جاروبک دار
  - بدون جاروبک

سرو موتور: موتور DC + فیدبک (معمولاً انکودر)

براشلس: موتورهای بدون جاروبک ← روتور ثابت و استاتور می چرخد

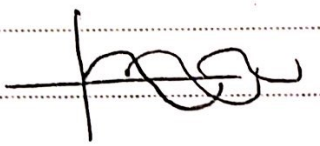
دالینر: موتورهای پرسرعت (AC)

Subject
Date



موتورهای الکتریکی DC :
- تحریک مستقل
- شنت (معمول بازار)
- سری
- کمپوند

موتورهای الکتریکی AC :
- سنکرون
- آسنکرون
  - تک فاز
    - فاز شن
    - مقاوم متی
    - خازن دار
    - دو فاز شن
  - چند فاز
    - روتور قفسی
    - روتور سیم پیچی
    - دالاندر



موتورهای الکتریکی مخصوص :
- موتورهای پله ای (استپ موتور)
- موتورهای هیسترزیس
- موتورهای رلوکتانسی
- موتورهای براشلس

راه اندازی و کنترل الکتروموتور :
- حفاظت (اضافه ولتاژ یا اضافه جریان)
- راه اندازی (کنترل شتاب)
- روشن - خاموش
- کنترل سرعت موتور
- چپ گرد - راست گرد
- ترمز کردن
- کنترل قدرت (گشتاور)

PqPCO

Scanned by CamScanner

چرا موتور DC ؟ ۱- گشتاور راه اندازی بالا
۲- کنترل دور دقیق و وسیع

کنترل سرعت (Speed control)
کنترل موقعیت

حالت های کاری موتور:
حالت موتوری ← راستگرد
چپگرد
حالت ترمزی ← معکوس
ژنراتوری

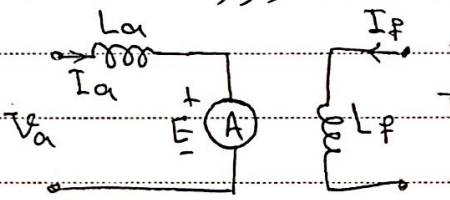
رابطه سرعت در موتور DC:

$E = K \cdot \varphi \cdot \omega$

E: نیروی محرکه
K: ضریب ثابت
φ: میدان مغناطیسی سیم پیچ تحریک
ω: سرعت موتور

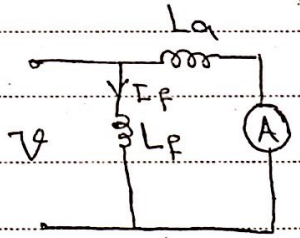
$T = K \cdot \varphi \cdot I_a$

T: گشتاور
I_a: جریان عبوری از سیم پیچ آرمیچر



$$\omega = \frac{E}{K\varphi} = \frac{V - R_a I_a}{K \cdot \varphi}$$

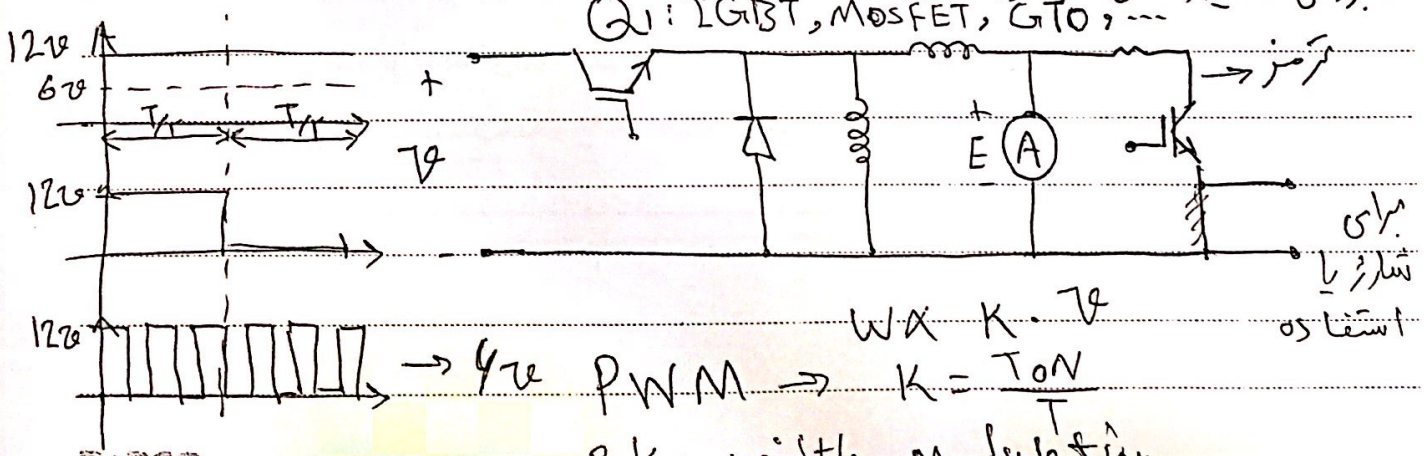
$\omega \propto (V, I_a, \frac{1}{\varphi})$ →



$I_f = \frac{V}{R_f}$

$\rightarrow \boxed{\omega \propto (V)}$

بررسی درایورهای موتورهای DC:



$\omega \propto K \cdot V$

→ 4V PWM → $K = \frac{T_{ON}}{T}$

Pulse width Modulation

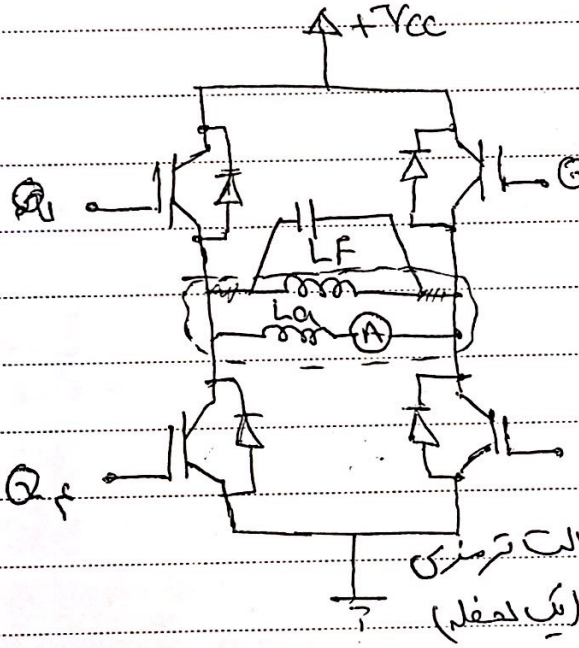
Scanned by CamScanner

Subject
Date

- یکی از روش ها برای ترمز کردن موتور DC ، تلف کردن مقدار انرژی موجود در سیم پیچ ترمز است.

حالت ترمزی برای چه؟ در این حالت، پس از خاموش شدن Q_2 جهت نگه داشتن دفیره انرژی دور موتور می توانیم از ترمز ژنراتوری استفاده بکنیم، یعنی با روشن کردن Q_4 مقدار انرژی ذخیره شده در سیم پیچ آرمیچر را به بیرون منتقل نماییم.

درایور با پل H:



وضعیت موتور	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
روشن راستگرد	ON	off	ON	off
روشن چپگرد	off	ON	off	ON
خاموش (FF)	off	off	off	off
	ON	ON	ON	ON
ترمز	ON ↓↑	off ↓↑	ON ↓↑	off ↓↑
	off	ON	off	ON
	off	off	ON	ON

- برای تغییر جهت در موتور DC باید جهت جریان در یکی از سیم پیچ ها عوض شود. اگر هردو با هم عوض بشوند ← موتور تغییر جهت نمی دهد.
* معمولاً پل را به تغذیه ثابت وصل می کنند.

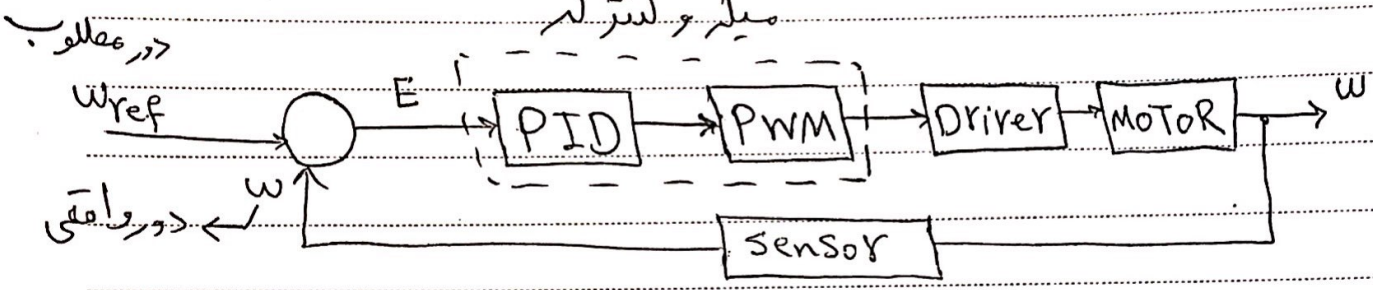
PqPCO

Scanned by CamScanner

Subject
Date

۱۴

بلوک دیاگرام کنترل دور موتور DC:



در واقع برای کنترل دور موتور DC با استفاده از یک سنسور شبیه انکودر یا تاکومتر تعداد دور شمرده شده و به کنترلر اعمال می شود. از طرفی کاربر یک سیگنال ورودی را به میکرو کنترلر اعمال می کند. میکرو کنترلر با مقایسه بین سیگنال ورودی و سیگنال فیدبک، مقدار عرض پالس را تغییر می دهد تا جایی که سیگنال فیدبک با سیگنال ورودی یکی شود.

Scanned by CamScanner