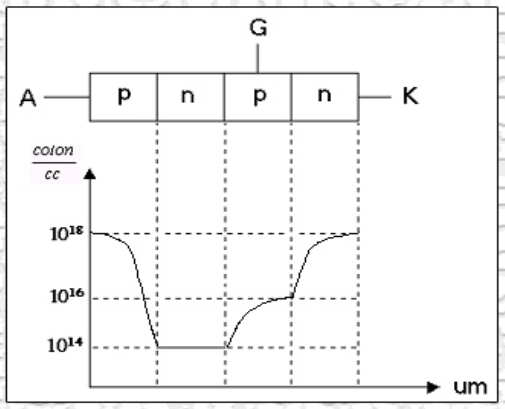
دانشکده فنی و حرفه ای شهید رجایی قوچان

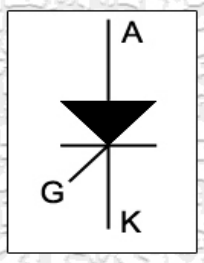
جزوه آموزشی الکترونیک صنعتی

استاد حمیدی

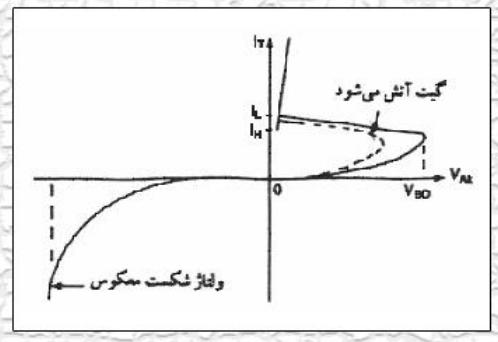
بهار ۹۹

ساختمان داخلی تریستور :

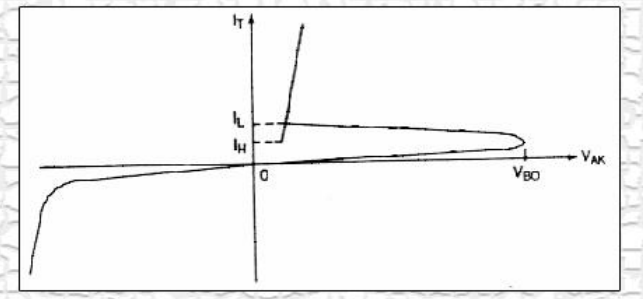




منحنی مشخصه تریستور



منحنی I , V تریستور

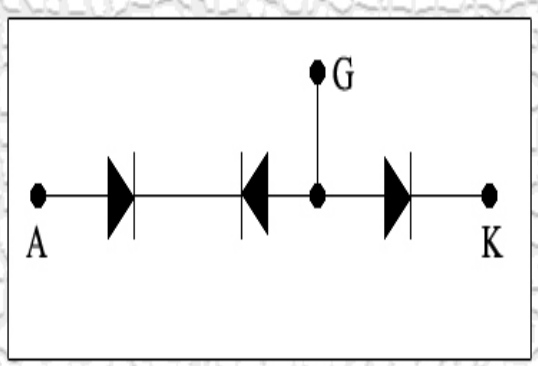


IL(latch) : جریان لچ یا جریان تثبیت کننده حداقل جریانی است که باعث روشن شدن تریستور میشود.

Ih(hold) : جریان هولد یا نگهدارنده حداقل جریانی است که بعد از روشن شدن تریستور میتواند از آن عبور کند و تریستور خاموش نشود . و بطور معمول حداقل $Ih \approx \frac{1}{2} IL$ میباشد.

مقدار جریان IL بستگی به بار و مقاومت داخلی بار دارد.

مدل دیودی تریستور :



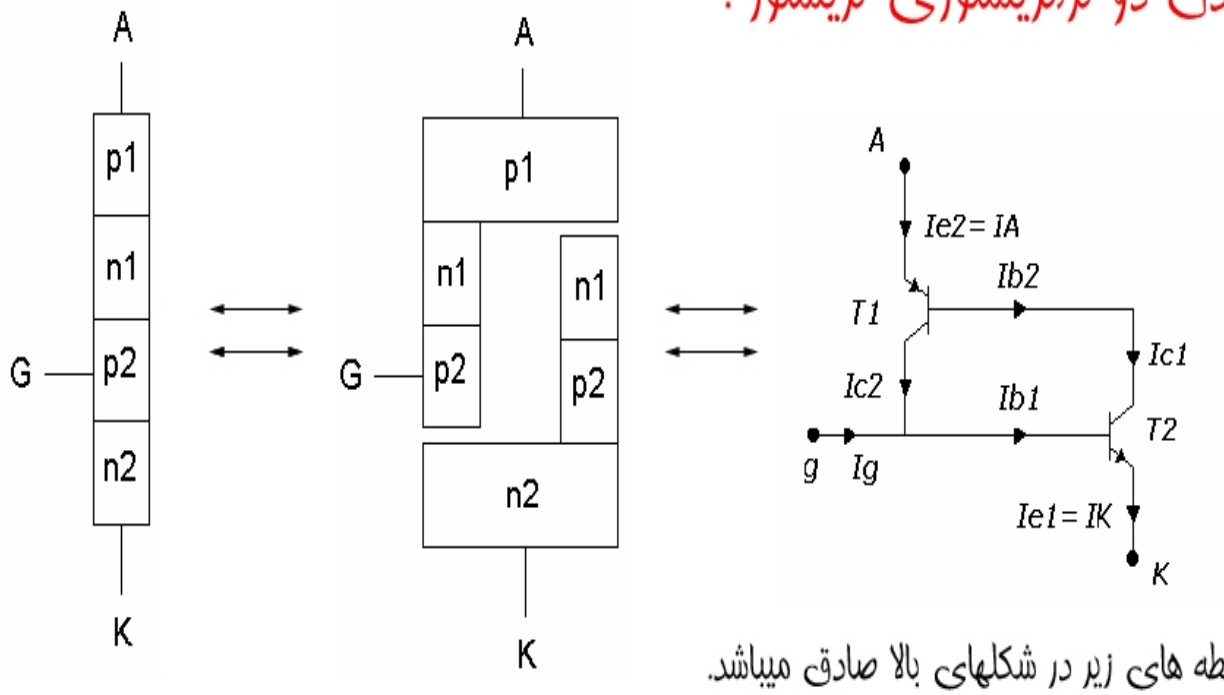
$$if \quad VK > VA \Rightarrow \begin{cases} D1, D3 = Off \\ D2 = On \end{cases}$$

در این حالت به هیچ عنوان امکان ندارد تریستور از خود جریان عبور دهد.
(تریستور هدایت نمیکند)

$$if \quad VK < VA \Rightarrow \begin{cases} D1, D3 = On \\ D2 = Off \end{cases}$$

در این حالت چون یک دیود خاموش است امکان هدایت تریستور بیشتر میشود.

مدل دو ترانزیستوری تریستور :



رابطه های زیر در شکلهای بالا صادق میباشد.

$$\begin{cases} Ic_2 = \alpha_2 IA + Ico_2 \\ Ic_1 = \alpha_1 IK + Ico_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Ic_2 = \alpha_2 IE_2 + Ico_2 \\ Ic_1 = \alpha_1 IE_1 + Ico_1 \end{cases} \Rightarrow Ic = \alpha IE + Ico$$

$$IE_2 = Ic_2 + Ib_2 \quad 9 \quad IA = Ic_2 + Ic_1$$

$IA = \alpha_2 IA + Ico_2 + \alpha_1 IK + Ico_1$ ← از دو رابطه سطر بالا نتیجه میشود

$Ig + IA = IK$ ← اگر مدل دو ترانزیستوری تریستور را یک شبکه بسته در نظر بگیریم طبق قانون kcl جریان ورودی با جریان خروجی برابر میشود پس

$IA = \alpha_2 IA + Ico_2 + \alpha_1 Ig + \alpha_1 IA + Ico_1$ ← مقادیر را جایگذاری کرده

$\left[1 - (\alpha_2 + \alpha_1)\right] IA = \alpha_1 Ig + Ico_1 + Ico_2$ ← پس از فاکتورگیری

$$\boxed{IA = \frac{\alpha_1 Ig + Ico_1 + Ico_2}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}}$$ ← رابطه (۱-۱)

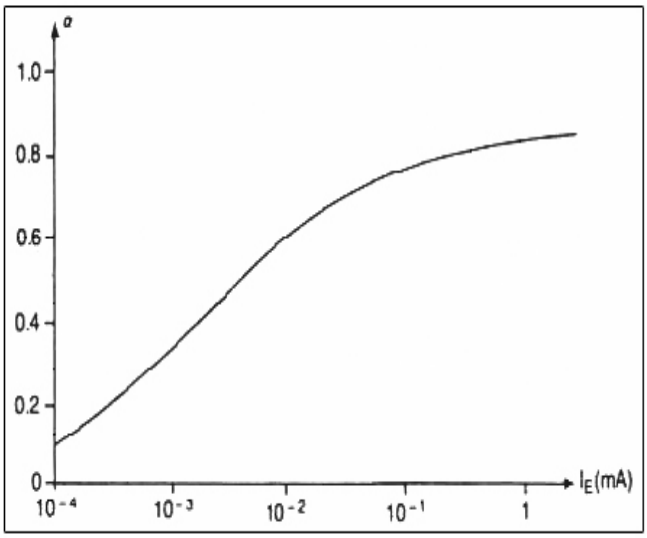
همانطور که در رابطه (۱-۱) ملاحظه میشود I_{CO1} و I_{CO2} دارای مقادیر کمی میباشند و همچنین I_g مقدار جریان کمی دارد تنها راه بالا بردن IA کوچك کردن مخرج کسر در رابطه (۱-۱) میباشد و آن هم ممکن نیست مگر با تغییراتی در α_1 و α_2

چگونگی ایجاد تغییر در α_1 و α_2

در شکل زیر هنگامی که IE کم میباشد α حدود 0.2 است با جایگذاری 0.2 در رابطه (۱-۱) داریم

$$IA = \frac{\alpha 1 Ig + Ico1 + Ico2}{0.6}$$

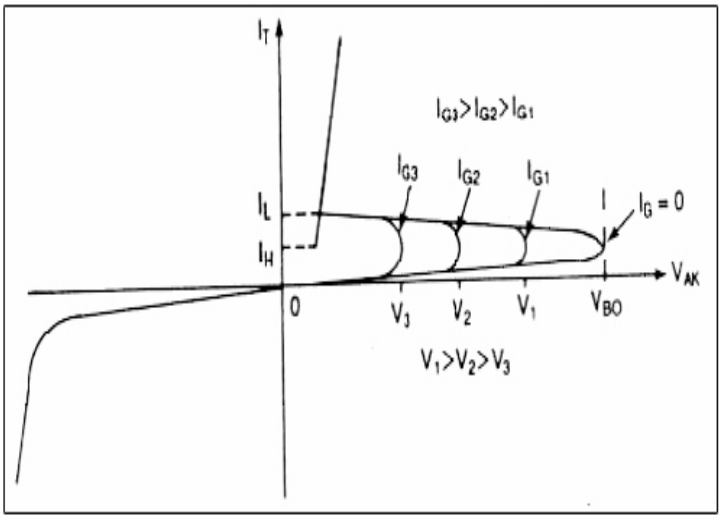
مخرج برابر 0.6 خواهد شد که IA به اندازه کافی بزرگ نخواهد شد. برای این کار در شکل زیر باید IE را زیاد کرد در این هنگام $\alpha = 0.8$ میشود و اگرمقدار 0.8 را در رابطه (۱-۱) جایگذاری کنیم مخرج کسر صفر شده پس IA بسمت بینهایت میل میکند.



$$IA = \frac{\alpha_1 Ig + Ico_1 + Ico_2}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

رابطه (۱-۱)

شرایط روشن شدن تریستور :



طبق شکل فوق تریستور در بایاس معکوس مثل دیود عمل میکند (قطع) است در بایاس مستقیم هم جریانی از تریستور عبور نمیکند و تریستور خاموش است مگر در دو حالت . اول اینکه ولتاژ تریستور آنقدر زیاد شود که به VBO (ولتاژ شکست مستقیم Break Over) برسیم. در این حالت ممکن است تریستور بسوزد. این روش روشن کردن درست نیست و هیچ وقت از آن استفاده نمی کنیم. راه دیگر روشن کردن تریستور اعمال جریانی به گیت تریستور است تا با ولتاژ مثبت کوچکی روشن شود.

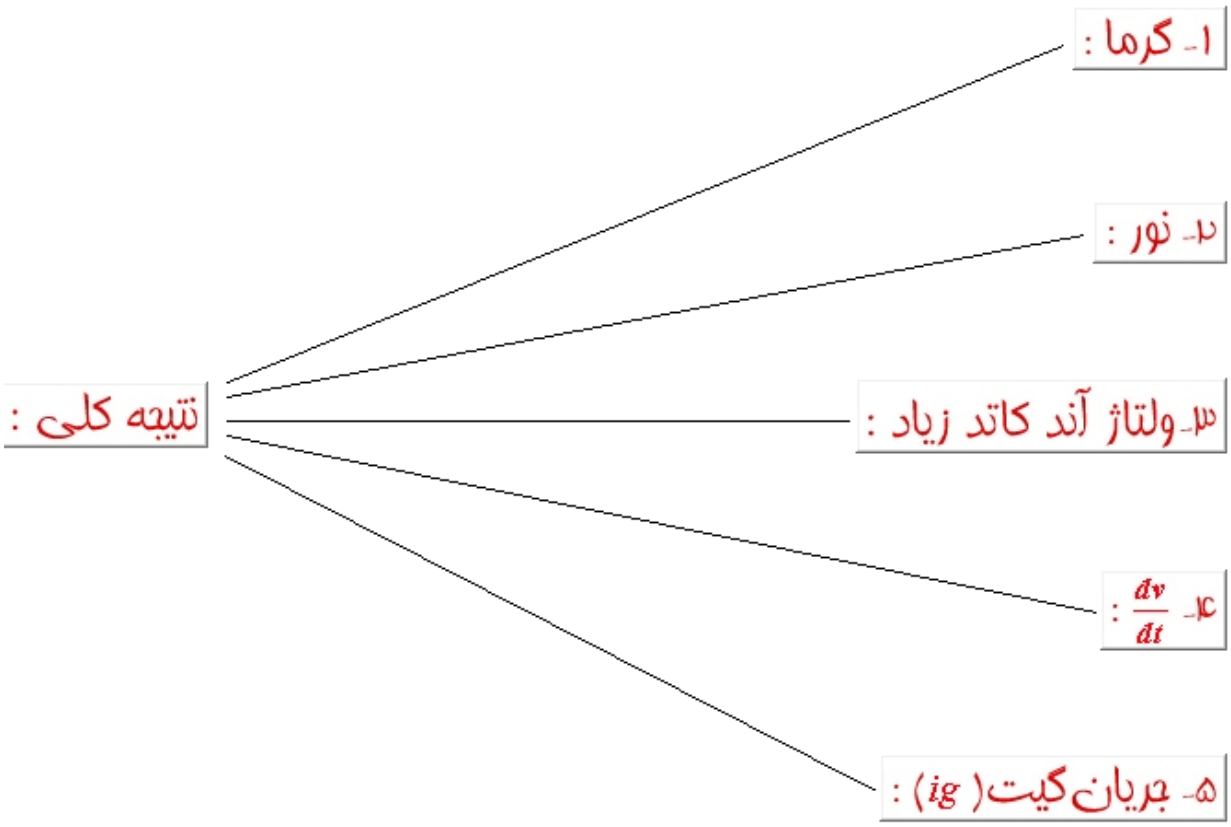
بنابر این شرایط روشن شدن تریستور عبارتند از:

۱-تریستور در بایاس مستقیم قرار گیرد $VK > VA$

۲-جریانی وارد گیت شود (فرمان گیت)

۳-جریان عبوری از مدار (تریستور) از IL بزرگتر باشد.

روشهای روشن کردن تریستور :



نتیجه کلی :

هر عامل خارجی که میزان حاملهای اقلیت و اکثریت (الکترون . حفره) را بتواند در بایاس مستقیم آند به کاتد در محل اتصال (جانکشن) j2 افزایش دهد موجب روشن شدن تریستور میگردد .

(بطور کلی افزایش حاملها باعث افزایش جریان نشتی میگردد).

گرما :

افزایش گرما موجب ازدیاد زوجهای الکترون . حفره میشود که به تبع آن جریان نشتی پیوند j2 زیاد خواهد شد. این افزایش جریان مقدار α_1 و α_2 را زیاد کرده و بسمت ۱ میل خواهد داد. این شیوه روشن شدن تریستور ممکن است باعث ناپایداری حرارتی گردد و باید از آن اجتناب کرد.

نور :

اگر پیوندهای یك تریستور در معرض تابش نور قرار گیرند تعداد الکترون.حفره افزایش یافته و ممکن است تریستور روشن شود. یکی از موارد استفاده از این تریستورها در Opto coupler میباشد.

ولتاژ آند کاتد زیاد :

اگر ولتاژ آند به کاتد از ولتاژ شکست مستقیم بزرگتر شود جریان نشتی کافی برای فرایند روشن شدن فراهم خواهد شد . از این روش روشن شدن باید اجتناب کرد.

$\frac{dv}{dt}$:

اگر نرخ افزایش ولتاژ آند کاتد زیاد باشد ممکن‌است شارژ پیوندهای الکترون‌حفره به اندازه کافی بزرگ شده و منجر به روشن شدن تریستور شود که این جریان به تریستور آسیب می رساند و موجب روشن شدن ناخواسته آن میشود و باید از آن جلوگیری به عمل آورد. سازندگان حداکثر مقدار $\frac{dv}{dt}$ قابل تحمل هر تریستور را مشخص میکنند.

جریان گیت (ig) :

اگر تریستور در بایاس مستقیم قرار داشته باشد اعمال جریان به گیت منجر به روشن شدن آن می‌گردد . میگردد. این عمل با اعمال ولتاژ مثبت بین پایه های گیت و کاتد صورت میگردد.

پارامترهای مهم تریستور :

۱- ig (جریان گیت)

۲- ih (جریان نگه دارنده)

۳- iL (جریان تثبیت کننده)

۴- VBO (VF) (ولتاژ شکست مستقیم تریستور)

۵- $\frac{dv}{dt}$ (موجب روشن شدن ناخواسته تریستور میشود)

۶- $\frac{di}{dt}$ (موجب خراب شدن تریستور میشود)

نکات مهم :

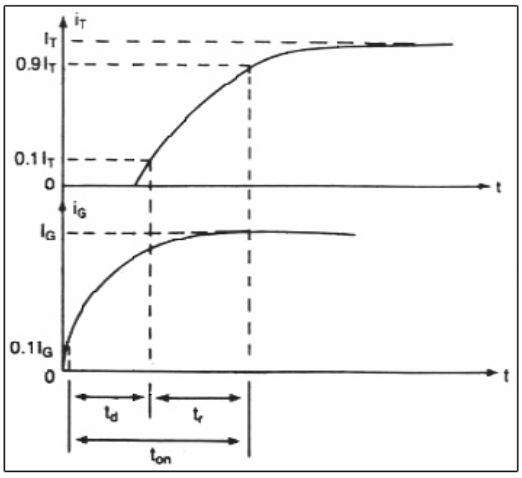
۱- جریان گیت در عمل هیچگاه بصورت تابع پله نخواهد بود.

۲- به محض اعمال جریان گیت تریستور روشن نمیشود بلکه برای شروع به هدایت یك مدت زمان لازم است

۳- پس از روشن شدن تریستور باید سیگنال را از روی گیت برداریم ادامه اعمال سیگنال به گیت تلفات توان را در پیوند گیت افزایش میدهد.

۴- در حالتی که تریستور بایاس معکوس است نباید به گیت سیگنالی اعمال کنیم در غیر اینصورت ممکن است بخاطر افزایش جریان نشتی تریستور از کار بیافتد.

۵- پهنای پالس Tg باید طولانی تر از زمان رسیدن جریان آند به جریان نگهدارنده i hold باشد. در عمل پهنای



td (time deley) : فاصله زمانی بین لحظاتی که جریان گیت ۱۰٪ مقدار نهایی خود می رسد

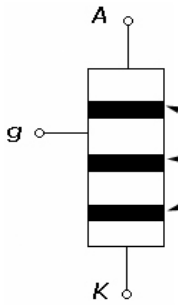
tr (rise time) : فاصله زمانی که نیاز است جریان آند از ۱۰٪ جریان حالت روشن شدن به ۹۰٪ جریان حالت روشن شدن برسد

(Ton) : تاخیر زمانی بین لحظه اعمال سیگنال به گیت و لحظه هدایت تریستور را (Ton) گویند.

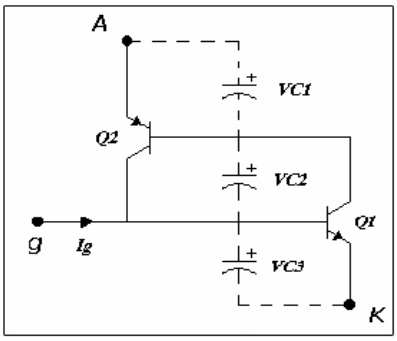
پدیده $\frac{dv}{dt}$

بین لایه های تریستور خاصیت خازنی وجود دارد که این خاصیت بدلیل کم بودن مقدار آن معمولا صرفه‌نظر میشو این خاصیت معمولا در مدل ترانزیستوری تریستور مورد بحث قرار میگیرد.

خاصیت خازنی



مدل ترانزیستوری



اگر در مدل ترانزیستوری تریستور kvl زده شود

$$KVL: VAK = Vc_1 + Vc_2 + Vc_3$$

$$Vc_1 = Vbe_2 \qquad Vc_3 = Vbe_1$$

با فرض اینکه $Vbe_1 = Cte$ مقداری ثابت است

با فرض اینکه $Vbe_2 = Cte$ مقداری ثابت است

$$\boxed{VAK = Vbe_1 + Vbe_2 + Vc_2}$$

رابطه فوق نتیجه میدهد که چون ولتاژ بیس - امیتر دو ترانزیستور Q_1 و Q_2 برابر است فقط با تغییر ولتاژ خازن $C2$ میتوان ولتاژ آند - کاتد تریستور را تغییر داد.

طبق تعریف جریان خازن برابر است با :

$$ic = c\frac{dvc}{dt} \quad \Rightarrow \quad ic_2 = c_2\frac{dvc_2}{dt} \quad \Rightarrow \quad ic_2 = c_2\frac{d}{dt}(VAK - Vbe_1 - Vbe_2)$$

با مشتق گیری از رابطه فوق نتیجه میشود : ← رابطه(۲) ← $\boxed{ic_2 = \frac{dVAK}{dt}}$

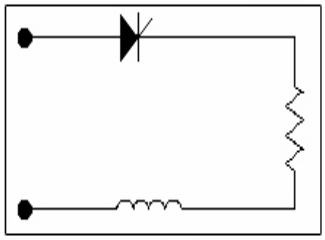
رابطه (۲) نشان میدهد که بدون اینکه به تریستور جریان گیت اعمال شود خاصیت خازنی باعث روشن شدن تریستور خواهد شد (تریستور خودش ، خودش را روشن میکند) بعبارتی دیگر ، این تغییرات ولتاژ آند - کاتد ($dVAK$) است که منجر به روشن شدن تریستور میشود نه Ig پس Ic_2 دقیقاً نقش Ig را بازی میکند.

نتیجه :

تغییرات ولتاژ VAK بین پیوندهای تریستور باعث جریانی میشود که این جریان همانند جریان گیت موجب روشن شدن تریستور می گردد.

چگونگی سوختن تریستور :

تغییر ناگهانی جریان باعث گرم شدن سریع نقطه عبور جریان در سطح اتصال و کاهش مقاومت آن نقطه و افزایش بیشتر جریان در آن نقطه و بالاخره سوختن آن نقطه و خراب شدن تریستور خواهد شد. این نقطه را (Hot spot) گویند بنحوی باید این تغییر ناگهانی جریان را کنترل نمود. برای این امر یك سلف در مدار قرار میدهند.



اگر در مدار **KVL** زده شود $KVL: \; Ein = VL + VRL$

جاگذاری مقادیر (رابطه ۱) $Ein = L\frac{di}{dt} + i.R$

تذکر : بدترین حالت برای مدار رویرو هنگامی است که تغییرات زیاد باشد(تابع پله) که آن همان زمان اولیه (زمان شروع) میباشد.

چون مدار RL سری میباشد روابط مدار RL در آن صدق میکند.(طبق رابطه ۱) $i.R + L\frac{di}{dt} = Vm$

$$i = i(\infty) + [i(0) - i(\infty)]\, e^{\frac{-t}{\tau}} \qquad i(\infty) = \frac{Vm}{R} \qquad i(0) = 0 \qquad \tau = \frac{L}{R}$$

با جایگذاری مقادیر بالا $i = \frac{Vm}{R}(1 - e^{\frac{-t}{\tau}})$

مشتق میگیریم $e^{at} = a.e^{at}$

$$\frac{di}{dt} = \frac{-Vm}{R} \times \frac{1}{\tau} \times e^{\frac{-t}{\tau}} \quad \Rightarrow \quad \frac{di}{dt} = \frac{Vm}{R\tau} \times e^{\frac{-t}{\tau}}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{Vm}{L}.e^{\frac{-t}{\tau}}$$

روابط بالا نشان میدهد که $\frac{Vm}{R}$ بیشترین مقدار $\frac{di}{dt}\Big| SCR$ است.

و $\frac{Vm}{p = \frac{di}{dt}\Big| SCR}$ بیشترین مقدار در لحظه t=۰ است .

$$\frac{di}{dt}\Big|_{max} = \frac{di}{dt}\Big|_{t=0} = \frac{Vm}{L}$$

$$\frac{di}{dt}\Big| SCR > \frac{Vm}{L} \qquad \frac{di}{dt}\Big| SCR > \frac{di}{dt}\Big|$$

$$L \geq \frac{Vm}{p = \frac{di}{dt}\Big| SCR}$$

BACK

روابط مهم در تریستور :

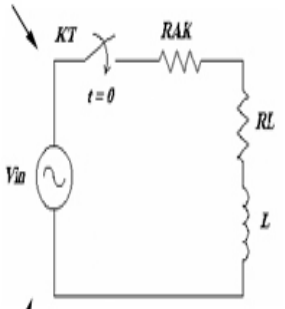
$$\left.\frac{di}{dt}\right|_{SCR} > \frac{Vm}{L}$$

$$L \geq \frac{Vm}{p = \left.\frac{di}{dt}\right|_{SCR}}$$

$$\left.\frac{dVAK}{dt}\right|_{\text{مدار}} = \frac{(RAK \parallel RL).Vm}{L}$$

$$\left.\frac{dVAK}{dt}\right|_{SCR} = Q$$

$$\left.\frac{dVAK}{dt}\right|_{SCR} > \left.\frac{dVAK}{dt}\right|_{\text{مدار}}$$



مقاومت شبکه اسنابر $R \leq \frac{L.Q}{Vm}$

خازن شبکه اسنابر $C = \frac{4\Im^2.Vm}{R.Q}$

عددی ثابت $\Im = 0.6 = 0.65$

جریان شبکه اسنابر $I_{max} = \frac{Vm}{R} \times \frac{2\Im}{\sqrt{1-\Im^2}}$

توان تلفاتی در شبکه اسنابر $P = C.Vm^2.f$

شبکه اسنابر :

مدار اسنابر برای جلوگیری از نقطه سوز شدن تریستور و همچنین جلوگیری از روشن شدن‌های ناخواسته تریستور بکار می‌رود.

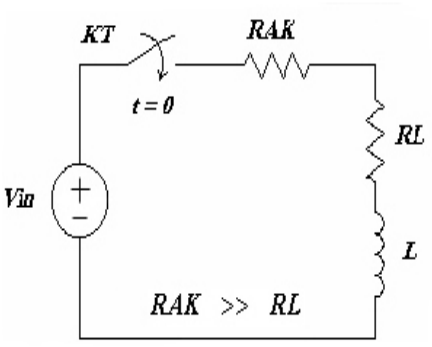
با توجه به توضیح فوق شبکه اسنابر یک مدار حفاظت است .

علت استفاده از شبکه اسنابر

از آنجایی که $\frac{dVAK}{dt}$ نشان دهنده میزان تغییرات ولتاژ آند- کاتد است و از طرفی مشتق ***VAK*** شیب منحنی ولتاژ میباشد ، بنابر این اگر شیب ولتاژ آند – کاتد بسیار زیاد باشد بطوریکه حتی مقدار ولتاژ آند -کاتد به ***VBo (VF)*** نرسیده باشد یا آنکه فرمان گیتی به تریستور اعمال نشده باشد ، تریستور بصورت خود به خود و ناخواسته روشن شده که این روش روشن شدن صحیح نبوده و باید از آن جلوگیری کرد.

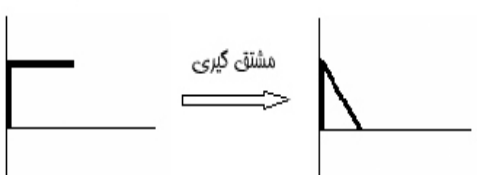
راه حل :

از آنجا که شیب تابع پله یک ضربه است ، بنابراین برای این منظور بدترین حالت را فرض میکنیم که ولتاژ اعمالی به آند – کاتد ولتاژ ***dc*** است که توسط یک کلید قطع و وصل به دو سر تریستور اعمال شده است ، چون در لحظه $t = 0$ تریستور خاموش است آن را با مقاومت بسیار بزرگ نظیر ***RAK*** مدل میکنیم ،که معرف مقاومت بالای حالت قطع تریستور میباشد.



تعریف تابع پله

پالسی که از آن مشتق گرفته شود تولید ضربه میکند.



از آنجایی که مدار شکل (۱-۱) مدار RL سری است پس تمام روابط مدار RL در اینجا صدق میکند.

$$i = i(\infty) + [i(0) - i(\infty)]\, e^{\frac{-t}{\tau}} \qquad Req = RAK + RL$$

$$i(\infty) = \frac{Vm}{RL + RAK} \qquad i(0) = 0 \qquad \tau = \frac{L}{Req} \longrightarrow \boxed{i = \frac{Vm}{RL + RAK}\left(1 - e^{\frac{-t\,.\,(RAK + RL)}{L}}\right)}$$

رابطه (۱-۲)

اگر بخواهیم تغییرات ولتاژ آند- کاتد را در لحظه $t = 0$ و در لحظه ای که دامنه به اندازه مطلوبی رسید (لحظه max) بررسی کنیم چنین میشود.

$$VAK = RAK\,.\,i \quad \Rightarrow \quad VAK = \frac{(RAK).Vm}{RL + RAK}\left(1 - e^{\frac{-(RL + RAK)\,t}{L}}\right)$$

مشتق گیری

$$\frac{dVAK}{dt}\Big| = \frac{-(RAK).Vm}{RL + RAK}\left(\frac{-(RL + RAK)}{L} \times e^{\frac{-(RL + RAK)\,t}{L}}\right)$$

$$\frac{dVAK}{dt}\Big| = \frac{RAK}{L} \times Vm\,.\,e^{\frac{-(RL + RAK)\,t}{L}}$$

$$\boxed{\frac{dVAK}{dt}\Big|max = \frac{dVAK}{dt}\Big|t = 0 = \frac{RAK}{L} \times Vm}$$

رابطه (۱-۳)

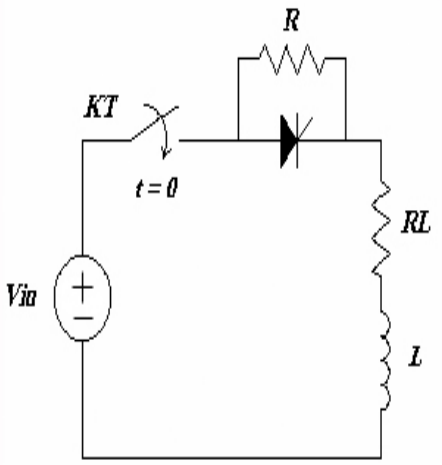
رابطه فوق نشان میدهد که حداکثر مقدار **RAK** هنگام شروع (لحظه $t = 0$) میباشد.

متأسفانه در رابطه (۱-۳) هیچ کمیتی در دست ما نیست (L ، **RAK** ، **Vm**)

راه حل : ☑ قدم اول ☑ قدم دوم ☑ قدم سوم

راه حل : قدم اول

برای این کار یك مقاومت با مقدار کم با تریستور موازی میکنیم تا در لحظه $t=0$ مقدار RAK را کم کند.



$$RL \parallel RAK \cong R \qquad R \ll RAK$$

$$\left.\frac{dVAK}{dt}\right|_{\text{مدار}} = \frac{(RAK \parallel RL).Vm}{L} \qquad \left.\frac{dVAK}{dt}\right|_{\text{مدار}} = \frac{R.Vm}{L}$$

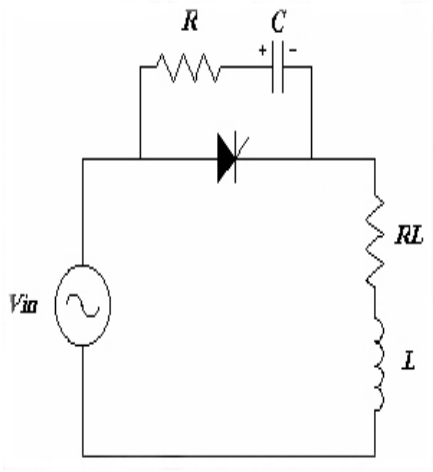
$$\left.\frac{dVAK}{dt}\right|_{SCR} > \left.\frac{dVAK}{dt}\right|_{\text{مدار}}$$

$$\left.\frac{dVAK}{dt}\right|_{SCR} = Q \qquad \frac{R.Vm}{L} \le Q \Longrightarrow \boxed{R \le \frac{L.Q}{Vm}}$$

مقاومت موازی شده با تریستور

قدم دوم :

اگر تنها مقاومت R با تریستور موازی قرار گیرد باعث میشود که در تمامی زمانها حتی در موقع روشن بودن مقاومت R بر روی دو سر تریستور دیده شود و این توان تلفاتی را به مقدار زیاد بالا میبرد ، و در عملکرد تریستور اخلال ایجاد میکند. مقاومت R فقط باید در لحظه $t = 0$ در مدار باشد یعنی در لحظه $t = \infty$ باید از مدار خارج شود. برای انجام این امر خازنی را با مقاومت R سری میکنند تا در لحظه اول $t = 0$ فاقد شارژ باشد و نظیر اتصال کوتاه عمل کند و پس از گذشت زمان شارژ کامل شده و نظیر اتصال باز عمل کرده و خودبخود R را از مدار خارج سازد.



بعد از زمان $t = 0$ که شبکه اسنابر (مقاومت – خازن) از روشن شدن تریستور جلوگیری کرد تا زمان فرمان به گیت تریستور (یعنی زاویه α) خازن C از طریق مقاومت R و بار به حداکثر مقدار ولتاژ ورودی (Vm) شارژ میکند . لذا با رسیدن فرمان گیت در لحظه α دو سر شبکه اسنابر اتصال کوتاه شده و تمامی بار خازن از طریق مقاومت شبکه اسنابر بر روی تریستور دشارژ مینماید.

باید توجه داشت که در لحظه α دو جریان از تریستور عبور میکند که یکی جریان مدار ناشی از منبع Vm بوده و دیگری جریان دشارژ خازن است تریستور باید بتواند این دو جریان ، در لحظه اولیه روشن شدن را تحمل کند.

$$C = \frac{4\zeta^2 . Vm}{R . Q}$$

$$\zeta = 0.6 = 0.65$$

$$I_{max} = \frac{Vm}{R} \times \frac{2\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

$$P = C . Vm^2 . f$$

قدم سوم :

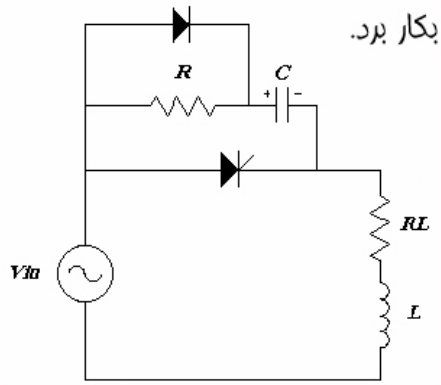
حضور خازن تأثیری دو سویه بر روی عملکرد شبکه اسنابر دارد.

۱– در لحظه $t = 0$ اتصال کوتاه بوده و سبب میشود که مقاومت R با تریستور موازی شود . در فاصله میان $t = 0$ و $t = \alpha$ که به تریستور فرمان داده میشود خازن شارژ میگردد.

۲– در لحظه $t = \alpha$ که تریستور روشن میشود ولتاژ خازن از طریق مقاومت R بر روی تریستور دشارژ میگردد.

باید بنحوی جریان دشارژ را محدود کرد که این امر با افزایش مقدار R همراه است . اما از طرفی دیگر زیاد شدن مقدار R سبب از بین رفتن اثر شبکه اسنابر میگردد ($R \leq \frac{L \cdot Q}{Vm}$)

لذا باید بنحوی مقدار R را در لحظه اول ($t = 0$) کاهش داد (برای شبکه اسنابر) واز طرفی دیگر مقدار R را در لحظه $t = \alpha$ زیاد کرد تا جریان دشارژ خازن کاهش یابد این امر با موازی کردن یك دیود با مقاومت R صورت میگیرد در این حالت میتوان مقاومت های بسیار بزرگ را نیز بعنوان شبکه اسنابر بکار برد.

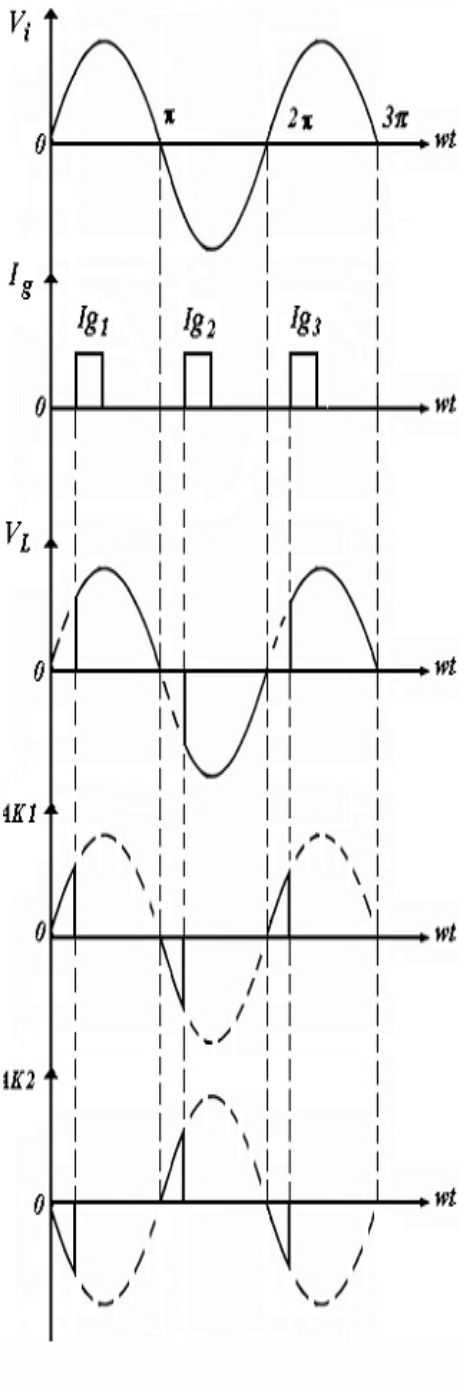


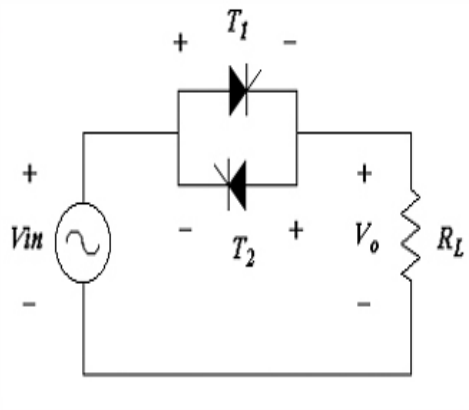
در این مدار دیود در لحظه $t = 0$ اتصال کوتاه شده ومقاومت R را از مدار خارج می کند لذا امپدانس شبکه اسنابر کوچك می شود .

از طرفی دیگر پس از شارژ خازن در لحظه $t = \alpha$ که تریستور فرمان میگرد دیود خاموش شده و خازن از طریق مقاومت R که میتواند بزرگتر از حالت عدم حضور دیود باشد شارژ میشود.

آنتی پارالل :

Anti pralle





نیم پریود اول : $T_1 = On$ ⟵

نیم پریود دوم : $T_2 = On$ ⟵

ترکیب آنتی پارالل هم نیم پریود مثبت و هم نیم پریود منفی را عبور میدهد ، از این لحاظ آنتی پارالل نظیر ترایاک عمل می کند .

نیم پریود اول

نیم پریود دوم

نیم پریود اول

$wt < \alpha \rightarrow T_1 \text{ ، } T_2 = Off$

$T_1 = Off$ هنوز فرمان گیت نرسیده است

$T_2 = Off$ چون ولتاژ آند-کاتد منفی است

نیم پریود اول

$wt > \alpha \rightarrow T_1 = On$

$V_{AK} > 0$ فرمان گیت آمده

$T_2 = Off$ چون $V_{AK} < 0$

نیم پریود دوم

$wt < \alpha \rightarrow T_1 \text{ ، } T_2 = off$

$T_1 = Off$ چون $V_{AK} < 0$

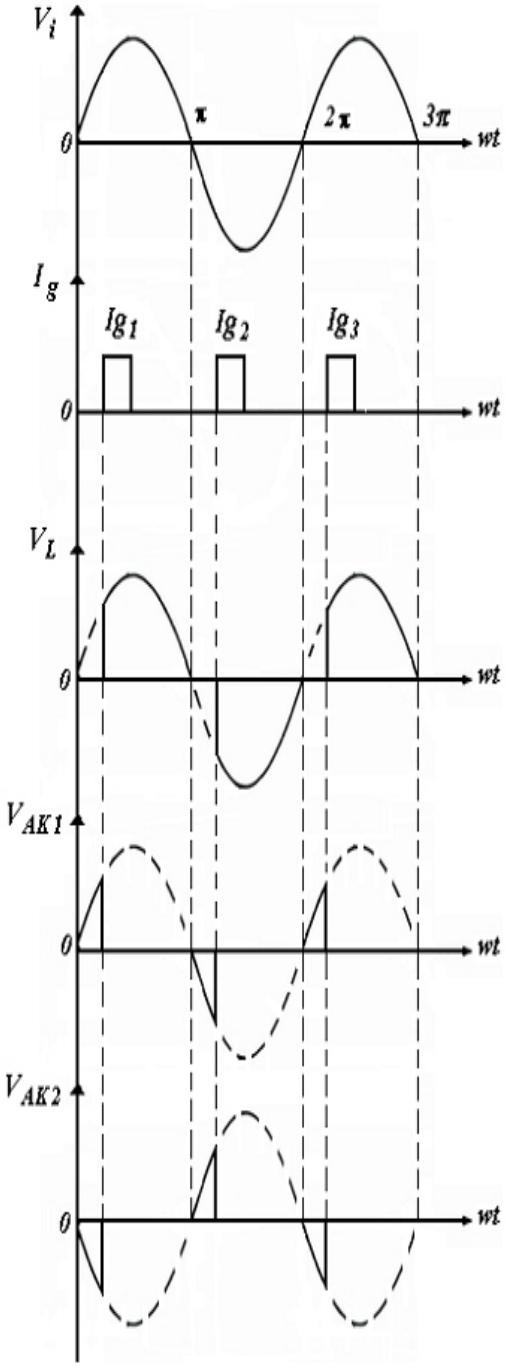
$T_2 = Off$ چون فرمان گیت نرسیده است

نیم پریود دوم

$wt > \alpha \rightarrow T_1 = Off$

$T_1 = Off$ چون $V_{AK} < 0$

$T_2 = On$ فرمان گیت (ig) رسیده است



BACK

نیم پریود اول

$wt < \alpha \rightarrow T_1 \text{ ، } T_2 = Off$

$T_1 = Off$ هنوز فرمان گیت نرسیده است

$T_2 = Off$ چون ولتاژ آند-کاتد منفی است

نیم پریود اول

$wt > \alpha \rightarrow T_1 = On$

$V_{AK} > 0$ فرمان گیت آمده

$T_2 = Off$ چون $V_{AK} < 0$

نیم پریود دوم

$wt < \alpha \rightarrow T_1 \text{ ، } T_2 = off$

$T_1 = Off$ چون $V_{AK} < 0$

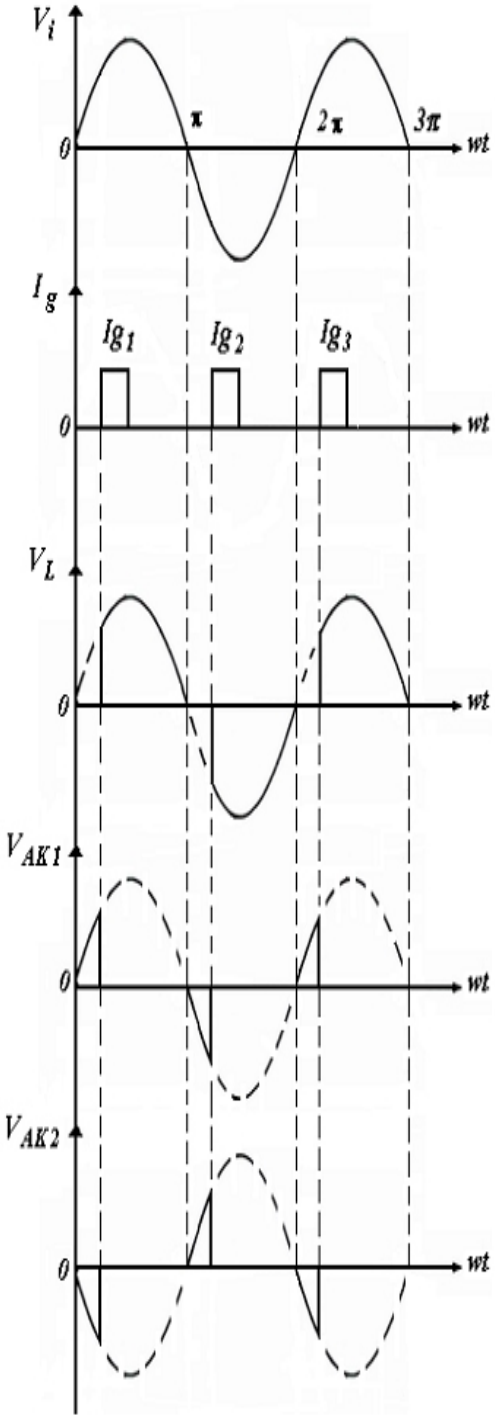
$T_2 = Off$ چون فرمان گیت نرسیده است

نیم پریود دوم

$wt > \alpha \rightarrow T_1 = Off$

$T_1 = Off$ چون $V_{AK} < 0$

$T_2 = On$ فرمان گیت (ig_3) رسیده است



Example 1

مثال ۱ :

فرض کنید تریستوری با $\frac{di}{dt} \mid SCR = 100 \frac{A}{us}$ موجود باشد. اگر مشخصات مدار عبارت باشد از $e = 310 \sin 100 \pi t$ آنگاه مقدار L چقدر باشد تا تریستور نقطه سوز نشود ؟

پاسخ ...

$$p = \frac{di}{dt} \mid SCR = 100 \frac{A}{us}$$

$$p > \frac{Vm}{L} \quad \Rightarrow \quad 100 \frac{A}{us} > \frac{310}{L}$$

$$L > \frac{310}{100} \quad \Rightarrow \quad \boxed{L > 3.1uH}$$

Example 2

مثال ۲ :

در یک مدار مقدار ماکزیمم شکل موج ورودی $Vm = 310v$ ، اندوکتانس مدار $L = 4 \times 10^{-6} \ (H)$ میباشد . اگر مقاومت حالت خاموش تریستور $RAK = 30k\Omega$ باشد برای آنکه تریستور بصورت ناخواسته روشن نشود ، مقدار $\frac{dv}{dt}$ تریستور چقدر باید باشد ؟

پاسخ ...

$$\frac{dv}{dt} \mid_{\text{مدار}} = \frac{RAK \cdot Vm}{L} = \frac{30 \times 10^{-3} \times 310}{4 \times 10^{-6}} = 2.5 \times 10^{5} \ \frac{V}{us}$$

SCR با $\frac{dv}{dt}$ بالاتر از $1000 \ \frac{V}{us}$ مشکل پیدا میکند . بنابراین سوئیچینگ فوق **SCR** را بدون فرمان گیت به ناحیه فعال می برد برای این مدار حتماً باید شبکه اسنابر طراحی شود.

Example 3

مثال ۳ :

SCR ای با $\frac{dv}{dt}$ برابر $200 \ \frac{V}{us}$ ، $R_{AK} = 30K\Omega$ در دسترس است اگر V_m ورودی برابر $310v$ باشد مقدار L مورد نیاز چقدر باشد تا تریستور بدون فرمان گیت روشن نشود ؟

پاسخ ...

$$\frac{dt}{dv} \mid_{SCR} > \frac{dv}{dt} \mid_{\text{مدار}} \quad \Rightarrow \quad 200 \ \frac{V}{us} > \frac{R_{AK} \cdot V_m}{L}$$

$$L > \frac{30 \times 10^{3} \times 310}{200 \ \frac{V}{us}} \quad \Rightarrow \quad L > \frac{30 \times 10^{3} \times 310 \times 10^{-6}}{200} \quad \Rightarrow \quad L > 46.5 \ mH$$

Example 4

مثال ۴ :

ولتاژ ماکزیمم منبع $200v$ و فرکانس کار $f = 1khz$ ، $Q = \frac{dv}{dt}|_{SCR}$ برابر $200\ \frac{V}{us}$ و سلف های موجود در مدار حدود $L = 10\,uH$ است . شبکه اسنابر را به گونه ای طراحی کنید تا تریستور بطور ناخواسته روشن نشود.

$$\frac{dv}{dt}|_{SCR} \geq \frac{V_m \cdot R_{AK}}{L} \quad \Rightarrow \quad R \leq \frac{Q \cdot L}{V_m}$$

$$R \leq \frac{200\ \frac{V}{us} \times 10\,uH}{200} \quad \Rightarrow \quad R \leq 10\,\Omega$$

پاسخ ...

$$C = \frac{4\,\zeta^2 \cdot V_m}{R \cdot Q} = \frac{4 \times 0.65^2 \times 200}{10 \times 200\ \frac{V}{us}} \approx 170nf$$

$$\frac{V_m}{R} \times \frac{2\,\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad \Rightarrow \quad \frac{200}{10} \times \frac{2 \times 0.65}{\sqrt{1-0.65^2}} \approx 34A$$

$$P = C \cdot V_m^{\,2} \cdot f \quad \Rightarrow \quad 170 \times 10^{-9} \times 200^2 \times 1 \times 10^3 \approx 6.8\,W$$ ← توان تلفاتی

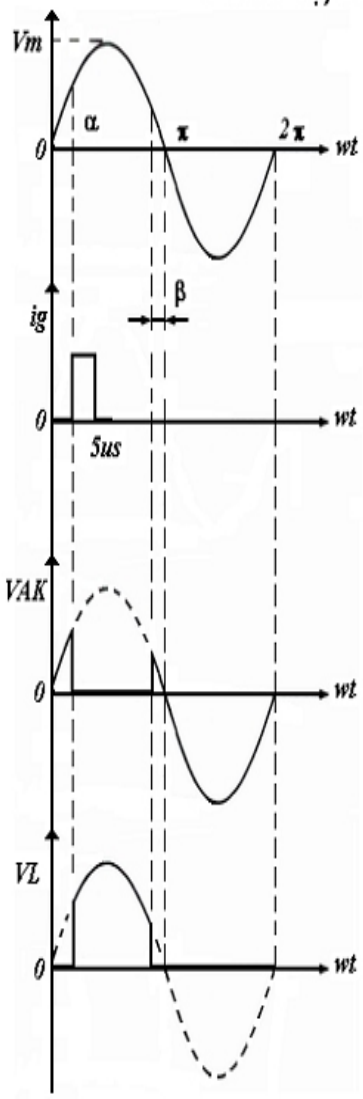
Example 5

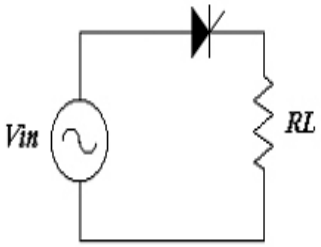
مثال ۵ :

در مدار زیر بار اهمی خالص میباشد موج ورودی سینوسی و با دامنه حداکثر $310v$ ولت و مشخصات مدار بشرح زیر است : $I_L = 100mA$ ، $V_{BO} = 400v$ ، $R_L = 1k\Omega$ ، $I_h = 50mA$ ، $T_g = 5us$

(الف) : به تریستور فرمان گیت مناسب داده میشود ، حداقل زاویه فرمان گیت چند درجه است .

(ب) : زاویه خاموشی تریستور را پس از روشن شدن تعیین کنید .





پاسخ ... (الف)

پاسخ ... (ب)

Example 5

$$I_{AK} = \frac{V_m \sin wt}{R_L} = \frac{310 \sin wt}{1k} = 0.31 \sin wt$$

$$IAK = \frac{V_m \sin \alpha_{min}}{R_L} = I_L$$

$$Sin\,\alpha_{min} = \frac{R\,.\,IL}{Vm} \quad \Rightarrow \quad \alpha_{min} = \sin^{-1}\left(\frac{R\,.\,IL}{Vm}\right)$$

$$if \;\rightarrow\; wt = \alpha_{min} \quad \Rightarrow I_{AK} = I_L$$

$$0.31\ Sin\,\alpha_{min} = 0.1 \quad \Rightarrow \quad Sin\,\alpha_{min} = \frac{1}{3.1} \quad \Rightarrow \quad \alpha_{min} = \sin^{-1} 0.322$$

$$\boxed{\alpha_{min} = 18^{o}}$$

شرط اول : $V_{AK} > 0$ در نیم پریود اول برقرار است .

شرطدوم : Ig بعد از α صادق است .

شرطسوم : $IAK > I_L$

با توجه به شکل با رسیدن به زاویه α و اعمال فرمان گیت تریستور میتواند وارد ناحیه هدایت شود در این حالت معادله ولتاژ بار $V_m \sin wt$ و معادله جریان بار با جریان آند – کاتد برابر و $\frac{V_m \sin wt}{R_L}$ خواهد بود . برای اینکه تریستور پس از اعمال فرمان گیت و مثبت بودن آند نسبت به کاتد به ناحیه هدایت رود ، باید جریان آند – کاتد از I_{Latch} بیشتر شود .

$$I_{AK} = \frac{V_m \sin wt}{R_L} \qquad if \;\rightarrow\; wt = \alpha_{min} \quad \Rightarrow \quad I_{AK} = I_L$$

$$\boxed{\alpha_{min} = \sin^{-1} \frac{R_L\,.\,I_L}{V_m}} \qquad \frac{V_m \sin \alpha_{min}}{R_L} = I_L$$

پس از اعمال فرمان گیت که باید از α_{min} بزرگتر باشد تریستور روشن شده و ولتاژ ورودی بر روی بار قرار میگیرد با افزایش فرکانس wt ابتدا ولتاژ بار و جریان آند – کاتد تا $90°$ افزایش و سپس شروع به کاهش مینماید . این کاهش جریان و ولتاژ تا $180°$ میتواند ادامه یابد (که حالت ایده آل محسوب میشود) چرا که با رسیدن جریان آند– کاتد به I_h تریستور خاموش میگردد در نتیجه یک زاویه خاموشی بنام β برای تریستور تعریف میشود که در آن جریان آند – کاتد به I_h رسیده و پس از آن تریستور خاموش میشود.

$$if \rightarrow wt = \beta \quad \Rightarrow I_{AK} = I_h$$

$$\frac{V_m \sin\beta}{R_L} = I_h \qquad \Rightarrow \qquad \beta = \sin^{-1}\frac{R_L \cdot I_h}{V_m}$$

در حالت ایده آل β را $180°$ در نظر میگیریم .

$$if \rightarrow wt = \beta \quad \Rightarrow I_{AK} = I_h$$

$$0.31 \sin\beta = 0.05\ A \quad \Rightarrow \quad \sin\beta = \frac{0.05}{0.31} \quad \Rightarrow \quad \beta = \sin^{-1} 0.161$$

$$\beta = 180 - 9 = 171$$

در معادله فوق β دارای دو جواب میباشد که جواب بزرگتر قابل قبول است

$$\boxed{\beta = 171}$$

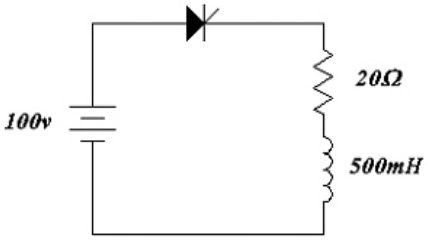
Example 6

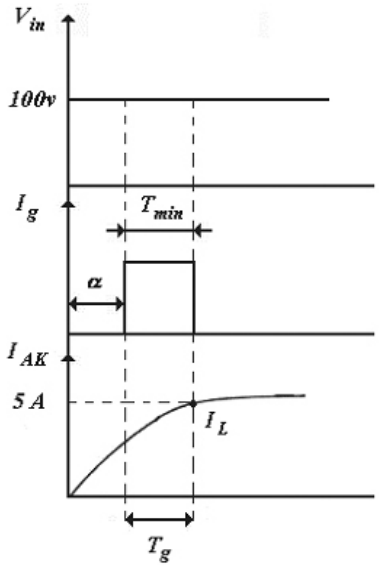
مثال ۶ :

در مدار زیر $I_L = 50mA$ و جریان و ولتاژ گیت مناسب می باشد.

(الف) : حداقل پهنای پالس گیت برای روشن شدن تریستور را حساب کنید .

(ب) : برای راه اندازی فرمان گیت $100\mu s$ در دسترس است برای روشن شدن تریستور چه عملی میتوان انجام داد .





پاسخ ... (الف)

پاسخ ... (ب)

Example 6

هدف :

علاوه بر اندازه جریان و ولتاژ گیت و نیز زاویه مناسب برای این جریان (α) فرمان گیت باید مدت زمان قابل قبولی بر روی گیت باقی بماند . این زمان به $ILatch$ و مقادیر ولتاژ ورودی و مقاومت بار وابسته است . بنابراین باید زمانی را که در آن جریان آند – کاتد به I_L میرسد بدست آورد . بدین منظور ابتدا باید جریان سلف را که همان I_{AK} است تعیین نمود سپس زمانی را که این جریان برابر I_L است بدست آورد .

$$\left.\begin{array}{l} I_{AK} = I(\infty) + \left[I(0) - I(\infty) \right] e^{\frac{-t}{\tau}} \\ I(0) = 0 \;\;،\;\; I(\infty) = \dfrac{E}{R} = 5A \;\;،\;\; \tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{500}{20} = \dfrac{1}{40} \end{array}\right\} \quad I_{AK} = 5\left(1 - e^{-40t}\right)$$

$$if \quad t = T_{min} \quad \Rightarrow \quad I_{Ak} = I_{Latch}$$

$$50 = 5\left(1 - e^{-40t}\right) \qquad \Rightarrow \qquad T_{min} = 250\ us$$

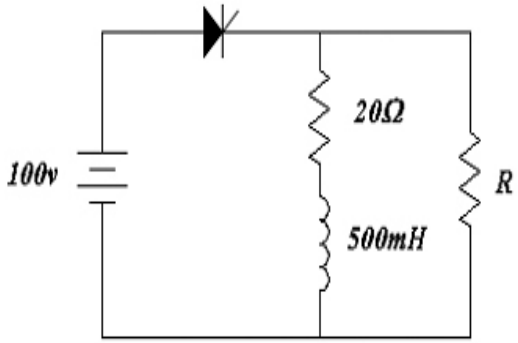
$$\frac{0.05}{5} = 1 - e^{-40T_{min}} \qquad \Rightarrow \qquad e^{-40\,T_{min}} = 1 - \frac{0.05}{5}$$

$$e^{-40\,T_{min}} = \frac{4.95}{5} \qquad \Rightarrow \qquad e^{40\,T_{min}} = \frac{5}{4.95}$$

$$40\,T_{min} = Ln\left(\frac{5}{4.95}\right) \qquad \Rightarrow \qquad T_{min} = \frac{1}{40} \times Ln\left(\frac{5}{4.95}\right)$$

$$\boxed{T_{min} = 250\ us}$$

Example 6



$$I_L = 5\left(1 - e^{-40t}\right)$$

$$if \qquad t = 100us \quad \Rightarrow \quad I_L = 5\left(1 - e^{-40 \times 100 \times 10^{-6}}\right)$$

$$I_L = 5\left(1 - e^{-4 \times 10^{-3}}\right) \qquad \Rightarrow \qquad I_L = 20\,mA$$

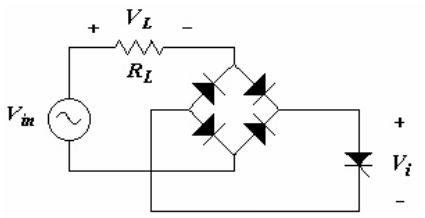
کمبود جریان $= I_{Latch} - 20 = 50 - 20 = 30mA$

$$R = \frac{E}{30mA} = \frac{100}{30} = 3.3k\Omega$$

Example 7

مثال ۷ :

در مدار زیر اگر شکل موج ورودی یك موج سینوسی با دامنه حداکثر V_m باشد و زوایای آتش در نقاط α ، $\pi+\alpha$ داده شود و فرض کنیم که زوایای خاموشی β نیز بر روی ضرایبی از 180 قرار دارد . شکل موجهای V_L ، I_L ، V_{AK} ، T_g را رسم نمائید .



Example 7

$$\begin{cases} \theta < wt < \alpha \quad \rightarrow \quad T = Off \\ V_{AK} < \theta \\ T = Off \\ V_L = \theta \quad , \quad V_{AK} = V_i \end{cases}$$

$$\begin{cases} \alpha < wt < \pi \quad \rightarrow \quad T = On \\ V_{AK} > \theta \\ T = On \\ V_L = V_{in} \quad , \quad V_{AK} = \theta \end{cases}$$

$$\begin{cases} \pi < wt < \pi + \alpha \quad \rightarrow \quad T = Off \\ V_{AK} < \theta \\ T = Off \\ V_L = \theta \quad , \quad V_{AK} = V_i \end{cases}$$

$$\begin{cases} \pi + \alpha < wt < 2\pi \quad \rightarrow \quad T = On \\ V_{AK} > \theta \\ T = On \\ V_L = V_{in} \quad , \quad V_{AK} = \theta \end{cases}$$

شكل موج Vin

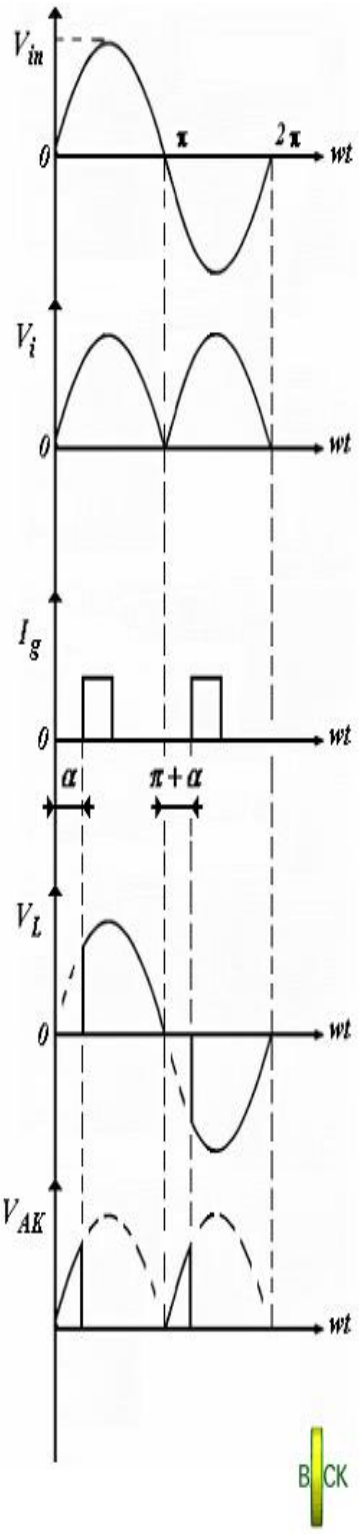
شكل موج Vi

شكل موج ig

شكل موج VL

شكل موج VAK

مخفى (Hide)

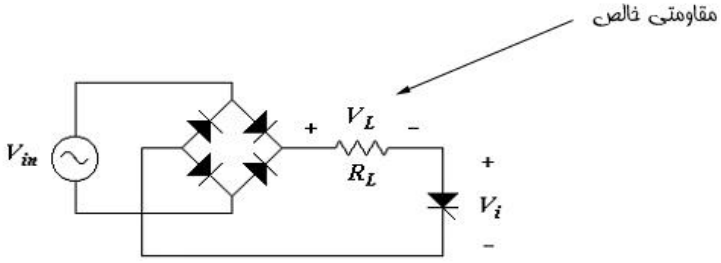


BACK

Example 8

مثال ۸ :

در مدار زیر اگر شکل موج ورودی یك موج سینوسی با دامنه حداکثر V_m باشد و زوایای آتش در نقاط α ، $\pi+\alpha$ داده شود و فرض کنیم که زوایای خاموشی β نیز بر روی ضرایبی از 180 قرار دارد . شکل موجهای V_L ، I_L ، V_{AK} ، T_g ، را رسم نمائید .



Example 8

$$\begin{cases} 0 < wt < \alpha \rightarrow T = Off \\ V_{AK} < 0 \quad \text{فرمان گیت نرسیده است} \\ T = Off \\ V_L = 0 \quad ، \quad V_{AK} = V_i \end{cases}$$

$$\begin{cases} \alpha < wt < \pi \rightarrow T = On \\ V_{AK} > 0 \quad \text{فرمان گیت رسیده است} \\ T = On \\ V_L = V_{in} \quad ، \quad V_{AK} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \pi < wt < \pi+\alpha \rightarrow T = Off \\ V_{AK} < 0 \quad \text{فرمان گیت نرسیده است} \\ T = Off \\ V_L = 0 \quad ، \quad V_{AK} = V_i \end{cases}$$

$$\begin{cases} \pi+\alpha < wt < 2\pi \rightarrow T = On \\ V_{AK} > 0 \quad \text{فرمان گیت رسیده است} \\ T = On \\ V_L = V_{in} \quad ، \quad V_{AK} = 0 \end{cases}$$

شکل موج Vin

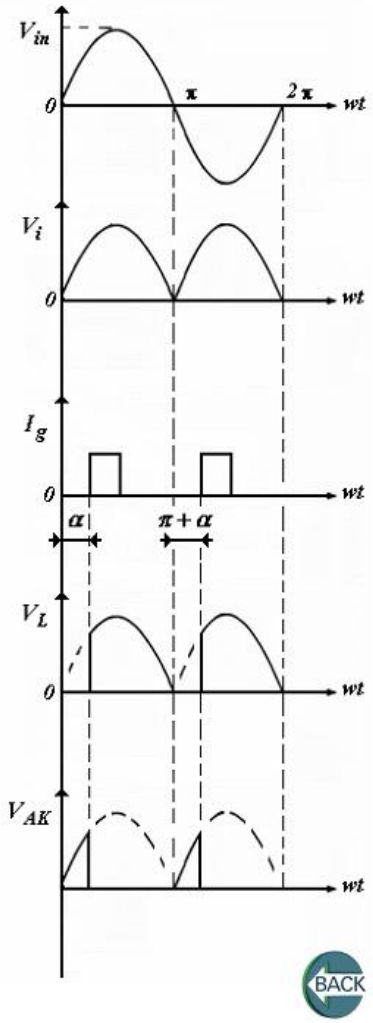
شکل موج Vi

شکل موج ig

شکل موج VL

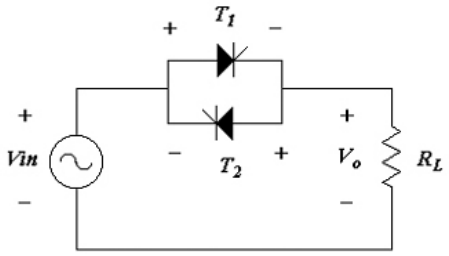
شکل موج VAK

مخفی (Hide)



تمرین :

در مدار زیر اگر شکل موج ورودی یک موج سینوسی با دامنه حداکثر V_m باشد و زوایای آتش در نقاط α ، $\pi+\alpha$ $2\pi+\alpha$ داده شود و فرض کنیم که زوایای خاموشی β نیز بر روی ضرایبی از 180 قرار دارد . شکل موجهای V_L ، I_L ، V_{AK} ، T_g ، را رسم نمائید .



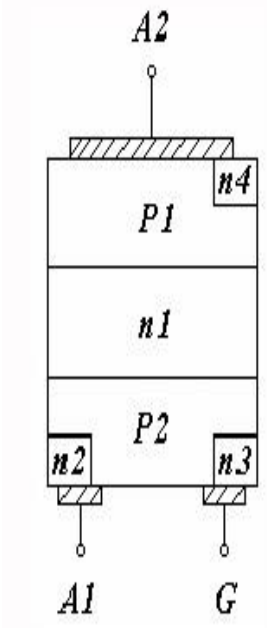
تریاک :

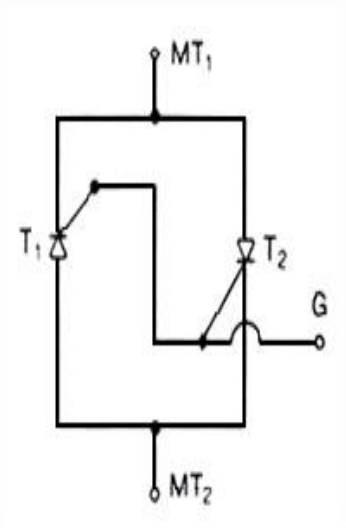
مقدمه :

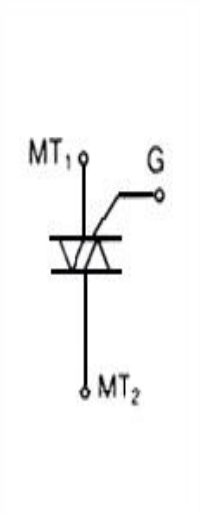
تریاک یك عنصر ۶ لایه و یکی از انواع تریستورها می‌باشد . این المان ۳ پایه توانایی انتقال جریان از دو جهت را دارا می‌باشد ، یعنی هم در بایاس مستقیم و هم در معکوس توانایی گذر دادن جریان را دارد .

(منحنی مشخصه ترایاک مشاهده گردد)

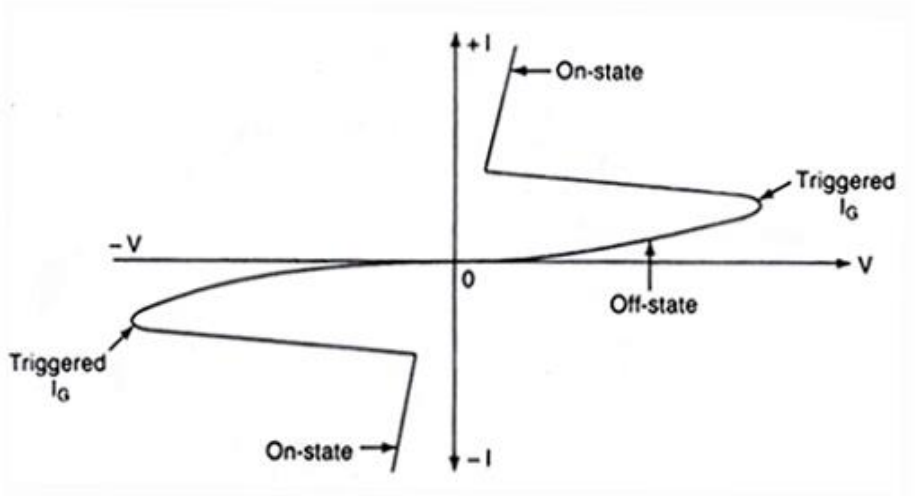
شکل و ساختمان داخلی ترایاک :







منحنی مشخصه ترایاک :



روابط ترایاک :

تمامی روابط ترایاک همانند روابط تریستور می‌باشد .

(روابط تریستور ملاحظه شود)

ترایاک همواره از مسیر pnpn عمل هدایت را صورت می‌دهد بعبارت دیگر اگر ولتاژ T_2 بزرگتر از ولتاژ T_1 باشد مسیر هدایت $p_1-n_1-p_2-n_2$ خواهد بود . و اگر T_2 کوچکتر از T_1 باشد آنگاه مسیر هدایت $p_2-n_1-p_1-n_4$ میباشد .
اگر ولتاژ T_2 نسبت به T_1 بیشتر باشد ترایاک هم با فرمان گیت مثبت و هم با فرمان گیت منفی روشن خواهد شد ، ولی باید توجه داشت که در این حالت ترایاک با فرمان گیت مثبت راحت‌تر و بهتر روشن می‌شود .
حال اگر ولتاژ T_2 نسبت به T_1 کمتر باشد باز هم ترایاک هم با فرمان گیت مثبت و هم با فرمان گیت منفی روشن می‌شود ، اما در این حالت فرمان گیت منفی بهتر بوده و ترایاک با فرمان گیت منفی بهتر روشن میشود.

بنابراین بهترین حالت آن است که پلاریته گیت با وضعیت T_2 هماهنگ باشد
بطوریکه اگر ولتاژ T_2 بزرگتر از T_1 باشد پلاریته گیت مثبت و اگر ولتاژ T_2 منفی‌تر از T_1 گردد پلاریته گیت منفی شود .

از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است که فقط یك نوع فرمان گیت داشته باشیم ، یا مثبت یا منفی ، و چون حساسیت ترایاک به فرمان گیت منفی در سیکلهای مثبت و منفی تقریباً یکسان است ، بنابراین ترجیح داده میشود که ترایاک را با فرمان گیت منفی روشن نمائیم .

GTO :

یکی دیگر از المان‌های قدرت GTO میباشد .
GTO قطعه‌ای است که علاوه بر روشن شدن ، خاموش شدن آن نیز قابل کنترل است . یعنی دارای دو پایه گیت میباشد . این قطعه بوسیله فرمان گیت مثبت نظیر تریستورها روشن شده و همچنین برخلاف تریستورها با اعمال فرمان گیت منفی خاموش می‌گردد .

در تریستور جریان منفی گیت نمی‌تواند مقداری بالا باشد ولی در GTO در هر لحظه از زمان که بخواهیم ، با جریان منفی حدود $\frac{1}{6}$ مقدار جریان گیت مثبت می‌توانیم GTO را خاموش کنیم .

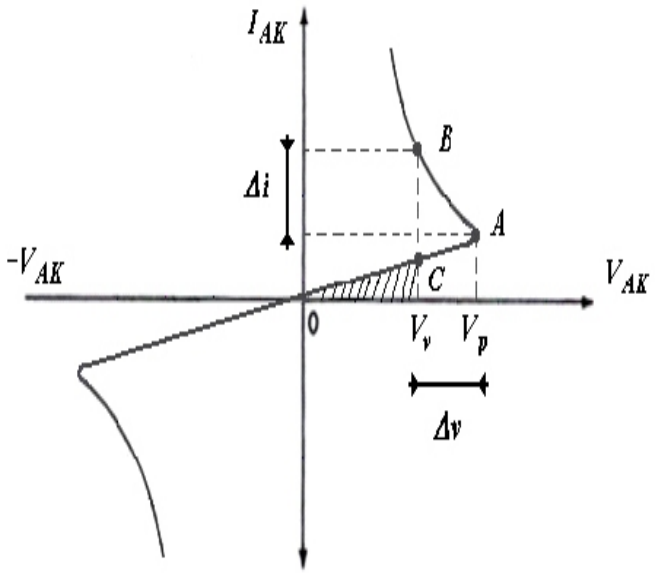
باید توجه داشت که GTO ها با جریان بالا در حدود ***200(A)*** آمپر کار می‌کنند .

دیاک :

دیاک یك المان دو پایه دو طرفه (متقارن) است . که در حالت عادی از هر دو طرف مسدود می‌باشد دیاک از این جهت که از هر دو طرف می‌تواند روشن شود شبیه ترایاک است اما پایه گیت ندارد . برخلاف تریستور یك قطعه قدرت نمی‌باشد بلکه المانی الکترونیکی است .

از دیاک جهت ساخت مدارات نوسانساز (Oscilator) و همچنین مدارات فرمان تریستور و ترایاک استفاده میشود. مهمترین کاربرد دیاک در مدار دیمر می‌باشد .

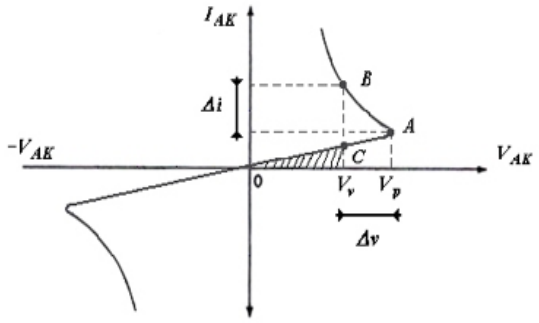
شکل و منحنی مشخصه دیاک :



بر خلاف تریستورها که دارای محدوده مقاومت منفی کوچکی هستند دیاک دارای محدوده مقاومت منفی بزرگتری می‌باشد . (فاصله A تا B)

مقاومت منفی : عناصری که در آنها با کاهش ولتاژ جریان افزایش می‌یابد .

وقتی به دیاک ولتاژ مناسب برسد جریان آن کم کم زیاد میشود ، با افزایش جریان ولتاژ دو سر آن کاهش می‌یابد (بنا بر تعریف مقاومت منفی) ، وقتی جریان به نقطه B رسید اگر دیگر تأمین نشود ناگهان به نقطه C رسیده و مراحل قبل دوباره تکرار می‌شود .

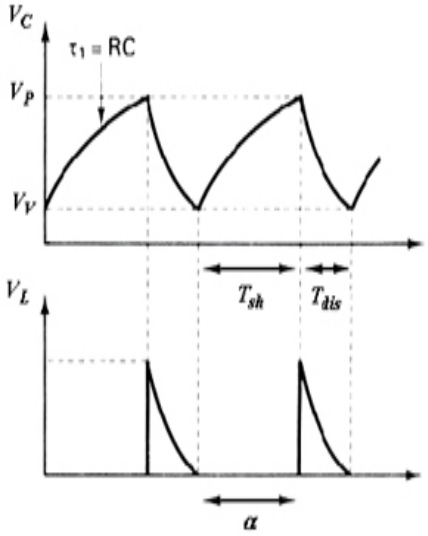


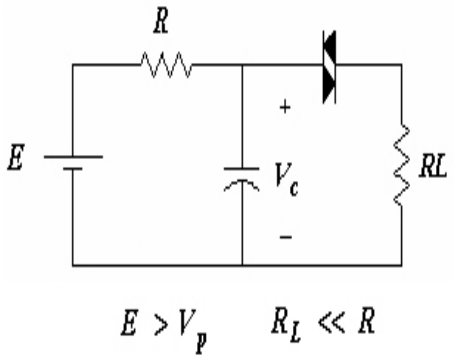
تعریفی دیگر

مطابق شکل دیاک به مانند کلیدی عمل میکند که با رسیدن ولتاژ دو سر آن به مقدار Vp کلید وصل شده و اجازه عبور جریان را از خود میدهد ، کلید مورد نظر رفته رفته در برابر عبور جریان مقاومت کمتر نشان داده و جریان بیشتری را از خود عبور میدهد بطوریکه با افزایش جریان عبوری مقدار افت ولتاژ بر روی کلید نیز کاهش پیدا میکند .
با رسیدن دیاک به نقطه B اگر جریان مورد نیاز توسط منبع خارجی تأمین شود ، دیاک به ناحیه هدایت می‌رود ولی اگر جریان تأمین نشود به نقطه C منتقل میشود که منجر به قطع شدن دیاک خواهد شد .

از دیاک در ناحیه مقاومت منفی استفاده میشود بطوریکه در میان سه نقطه A و B و C جا به جا می‌گردد .

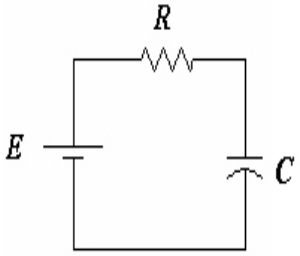
مدار زیر را در نظر بگیرید





خازن از طریق منبع E شروع به شارژ میکند از آنجا که ولتاژ دیاک همان ولتاژ خازن است لذا ولتاژ دیاک نیز زیاد میشود تا آنکه ولتاژ خازن و دیاک به V_P برسد در این لحظه دیاک روشن شده و مقاومت R_L به دو سر خازن وصل میشود چون مقدار $R_L \ll R$ است پس خازن سریعتر از آنکه روی مقاومت R دشارژ کند بر روی مقاومت بار R_L دشارژ مینماید . در مرحله دشارژ ولتاژ خازن و لزوماً ولتاژ دیاک در حال کم شدن بوده و جریان دیاک از طریق خازن تأمین میشود . با رسیدن ولتاژ دیاک به V_v خازن که در حال دشارژ است دیگر نمیتواند جریان مورد نیاز برای روشن دیاک به ناحیه هدایت را تأمین کند بنابراین دیاک از نقطه B به C منتقل میشود که همان ولتاژ V_v را با جریان پائین‌تر دارا است .

معادله شارژ خازن :



$$\begin{cases} V_C(\theta) = V_v \\ V_C(\infty) = E \\ \tau = R.C \end{cases}$$

$$\boxed{V_{sh} = E + [V_v - E]\, e^{\frac{-t}{RC}}}$$

با تغییر مقاومت R (افزایش) ثابت زمانی شارژ خازن افزایش یافته و مدت زمانی که طول می‌کشد تا ولتاژ خازن و دیاک به مقدار V_P برسد افزایش می‌یابد در نتیجه اگر از ولتاژ روی R_L بخواهیم برای فرمان گیت استفاده کنیم ، زیاد شدن زمان شارژ منجر به افزایش زاویه آتش α می‌گردد .

بعبارت دیگر با زیاد شدن R ثابت زمانی شارژ زیاد شده و زاویه آتش تریستور افزایش پیدا می‌کند و بالعکس .

معادله دشارژ خازن :

$$\begin{cases} V_C(\theta) = V_P \\ V_C(\infty) = \theta \\ \tau = R.C \end{cases} \qquad V_{dis} = \theta + [V_P - \theta]\, e^{\frac{-t}{RL.c}} \qquad \boxed{V_{dis} = V_P \,.\, e^{\frac{-t}{RL.C}}}$$

محاسبه T_{sh} یا مدت زمانی که طول می‌کشد تا ولتاژ خازن از مقدار V_v به V_P برسد :

$$V_C = E + [V_v - E]\, e^{\frac{-t}{RC}} \qquad if \quad t = T_{sh} \quad \Rightarrow \quad V_C = V_P \qquad V_P = E + [V_v - E]\, e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$e^{\frac{-t}{RC}} = \frac{V_P - E}{V_v - E} \qquad e^{\frac{t}{RC}} = \frac{E - V_v}{E - V_P} \qquad e^{\frac{-t}{RC}} = \frac{E - V_P}{E - V_v}$$

$$\frac{T_{sh}}{R_C} = Ln\left(\frac{E - V_v}{E - V_P}\right) \qquad \boxed{T_{sh} = R \,.\, C \,.\, Ln\left(\frac{E - V_v}{E - V_P}\right)}$$

روابط دیاک :

ولتاژ شارژ خازن

$$V_{sh} = E + \left[V_v - E \right] e^{\frac{-t}{RC}} \longleftrightarrow V_P$$

ولتاژ دشارژ خازن

$$V_{dis} = V_P \cdot e^{\frac{-t}{RL.C}} \longleftrightarrow V_v$$

زمان شارژ

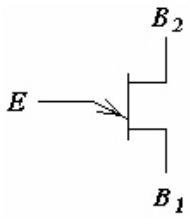
$$T_{sh} = R \cdot C \cdot Ln\left(\frac{E - V_v}{E - V_P}\right)$$

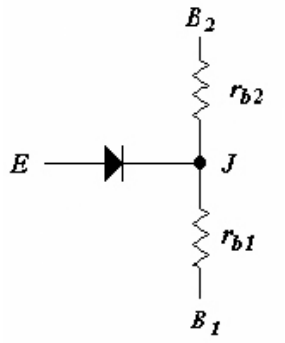
UJT :

یکی دیگر از المان‌های قدرت UJT می‌باشد . UJT دارای ۳ پایه است و شکل ظاهری آن بسیار شبیه ترانزیستور دو قطبی میباشد .

UJT در مدارات نوسانساز (اسیلاتور) بکار میرود .

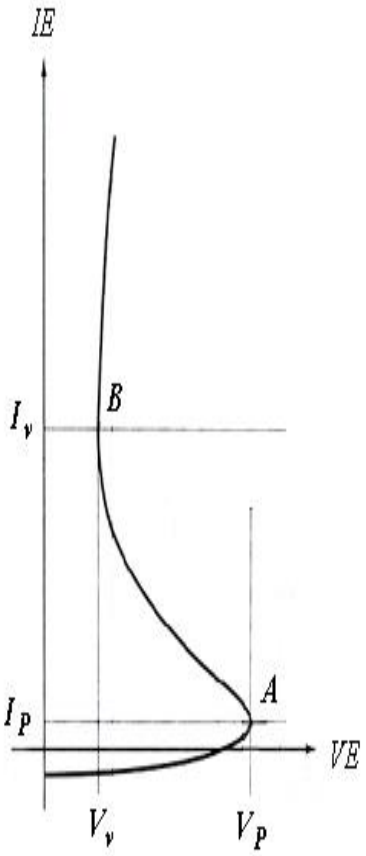
شکل و ساختمان داخلی UJT :

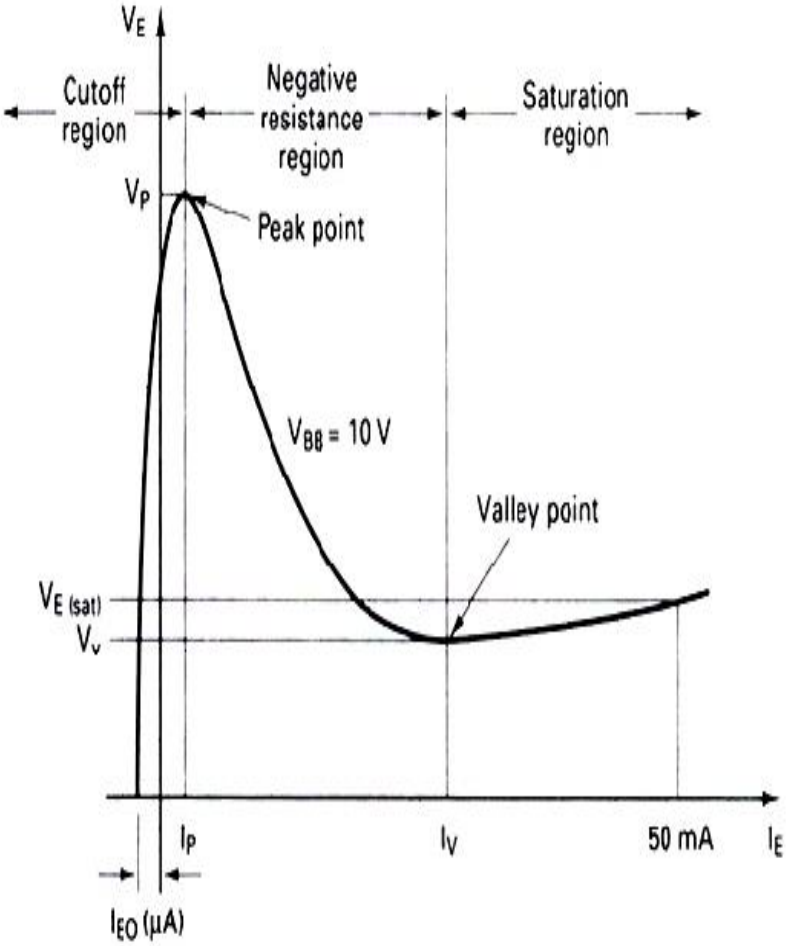




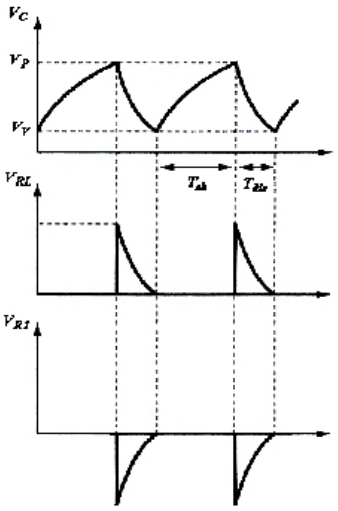
r_{b1} و r_{b2} جزء مشخصات داخلی UJT هستند

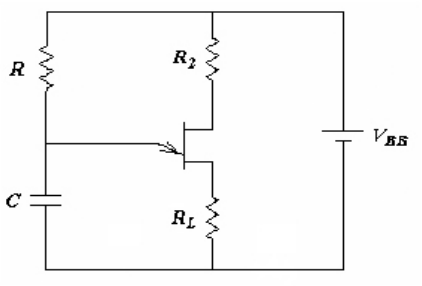
منحنی مشخصه UJT :





UJT برای ایجاد پالس :





R_L هم بعنوان یک بار ثانویه و هم برای پایداری UJT در مدار قرار میگیرد .
مقدار R_L در حدود $0.5k\Omega$ تا $1k\Omega$ می‌باشد .

عملکرد مدار :

خازن C از طریق مقاومت R و منبع V_{BB} شروع به شارژ می‌کند هنگامی که ولتاژ خازن که ولتاژ $V_{UJT}(V_E)$ است به مقدار V_P یا τV_{BB} برسد UJT فعال شده و خازن بر روی مقاومت R_L دشارژ مینماید . عمل دشارژ تا زمانیکه ولتاژ خازن به V_v برسد ادامه خواهد یافت با رسیدن ولتاژ خازن به V_v ، UJT خاموش میگردد و مجدداً خازن از طریق مقاومت R شروع به شارژ مینماید .

مقاومت R ثابت زمانی شارژ خازن را کنترل کرده و با افزایش این مقاومت زاویه آتش α زیاد می‌گردد .

معادله شارژ

$$\left.\begin{array}{l} V(\theta)=V_v \\ V(\infty)=V_{BB} \\ Req=R \end{array}\right\} \quad V_{sh}=V_{BB}+\left[V_v-V_{BB}\right]e^{\frac{-t}{Rc}}$$

$$if \quad T=T_{sh} \quad \Rightarrow \quad V_{sh}=V_p=\tau V_{BB}$$

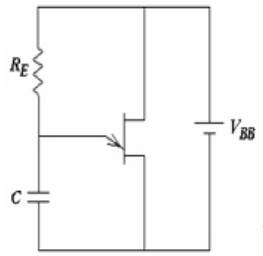
$$V_P=V_{BB}+\left[V_v-V_{BB}\right]e^{\frac{-T_{sh}}{Rc}} \quad \Rightarrow \quad V_P-V_{BB}=\left[V_v-V_{BB}\right]e^{\frac{-T_{sh}}{Rc}}$$

$$e^{\frac{-T_{sh}}{Rc}}=\frac{V_P-V_{BB}}{V_v-V_{BB}} \quad \Rightarrow \quad e^{\frac{T_{sh}}{Rc}}=\frac{V_v-V_{BB}}{V_P-V_{BB}} \quad T_{sh}=R_C\,.\,Ln\left(\frac{V_v-V_{BB}}{V_P-V_{BB}}\right)$$

$$if \quad V_v \ll V_{BB} \quad \rightarrow \quad T_{sh}=R_C\,.\,Ln\left(\frac{V_{BB}}{V_{BB}-V_P}\right)$$

$$V_P=\tau V_{BB} \quad \rightarrow \quad T_{sh}=R_C\,.\,Ln\left(\frac{V_{BB}}{V_{BB}-\tau V_{BB}}\right) \quad \boxed{T_{sh}=R_C\,.\,Ln\frac{1}{1-\tau}}$$

بدست آوردن حدود RE



$$\left.\begin{array}{l} if \quad \tau=0.63 \\ T_{sh}=R_C \end{array}\right\} \quad R_E=\frac{V_{BB}-V_E}{I_E}$$

$$if \quad V_{BB} >> V_v \quad \Rightarrow \quad R_{E\,(min)}=\frac{V_{BB}-V_v}{I_v} \quad \boxed{R_{E\,(min)}=\frac{V_{BB}}{I_v}}$$

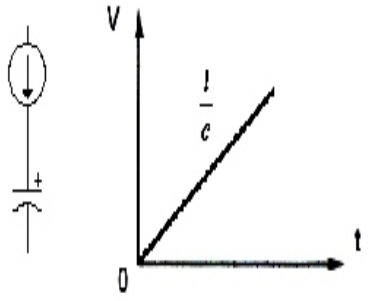
$$R_{E\,(max)}=\frac{V_{BB}-V_P}{I_P} \quad \Rightarrow \quad R_{E\,(max)}=\frac{V_{BB}-\tau V_{BB}}{I_P} \quad \boxed{R_{E\,(max)}=\frac{(1-\tau)V_{BB}}{I_P}}$$

استفاده از منبع جریان برای تولید پالس توسط UJT :

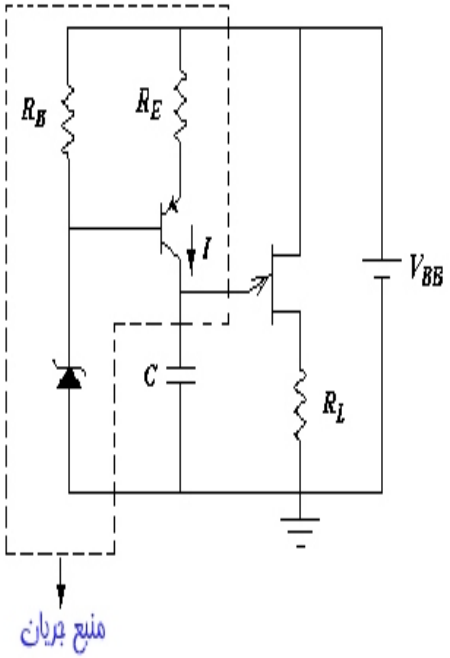
$$i = C \cdot \frac{dv}{dt} \qquad \Rightarrow \qquad q = C \cdot V$$

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \Rightarrow \quad i = \frac{q}{t} \quad \Rightarrow \quad q = it$$

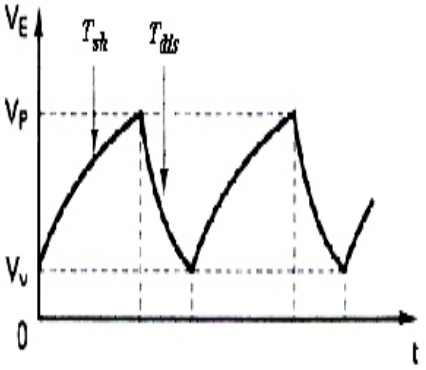
$$i \cdot t = C \cdot V \qquad \Rightarrow \qquad V = \frac{i \cdot t}{C} \qquad \Rightarrow \quad V = \frac{i}{C} \cdot t$$



طبق روابط فوق شارژ خازن توسط منبع جریان بصورت خطی میباشد . از این خاصیت در مدار اسیلاتور UJT استفاده میشود .



اگر منبع جریان بین I_P ، I_v تغییر کند مدار شروع به کار میکند بطوریکه ابتدا خازن C شارژ شده و تا V_P شارژ میشود سپس روی R_L دشارژ میشود .

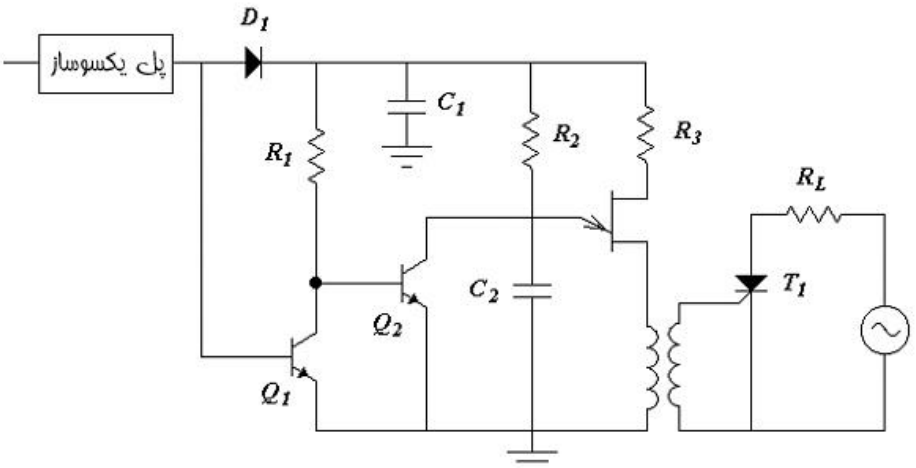


(منحنی شارژ و دشارژ)

شرط کارکردن مدار آن است که جریان تولیدی توسط منبع جریان در محدوده I_P و I_v قرار داشته باشد .

مدار ujt با ورودی سینوسی

مدار UJT با ورودی سینوسی :



یک UJT با مشخصات $I_P = 5uA$ ، $I_v = 5mA$ ، $V_{BB} = 15v$ ، $C = 1uf$ موجود است .

حداکثر و حداقل فرکانس تولیدی اسیلاتور چقدر می‌باشد ($\tau = 0.6$)

$$R_{E\,(max)} = \frac{(1-\tau)V_{BB}}{I_P} = \frac{(1-0.6)\times 15}{5uA} = \frac{0.4\times 15}{5\times 10^{-6}} = 1.2M\Omega$$

$$R_{E\,(min)} = \frac{V_{BB}}{I_v} = \frac{15}{5mA} = 3k\Omega$$

$$T_{max} = R_{max} \,.\, C = 1.2\ M\Omega \times 1uf = 1.2s$$

$$T_{min} = R_{min} \,.\, C = 3k\Omega \times 1uf = 3ms$$

$$f_{min} = \frac{1}{T_{max}} = \frac{1}{1.2} = 0.83hz$$

$$f_{max} = \frac{1}{T_{min}} = \frac{1}{3ms} = 333.33hz$$

: PUT

یکی دیگر از المان‌های کنترل ***PUT*** می‌باشد که مخفف کلمه « ترانزیستور تک پیوندی قابل برنامه‌ریزی » است و از آن می‌توان بعنوان نوسانساز استفاده کرد .

تنها فرق ***PUT*** با ***UJT*** این است که در ***PUT*** می‌توان τ (اتا) را از بیرون توسط دو مقاومت کنترل کرد در حالی که ***UJT*** دارای τ ثابتی می‌باشد .

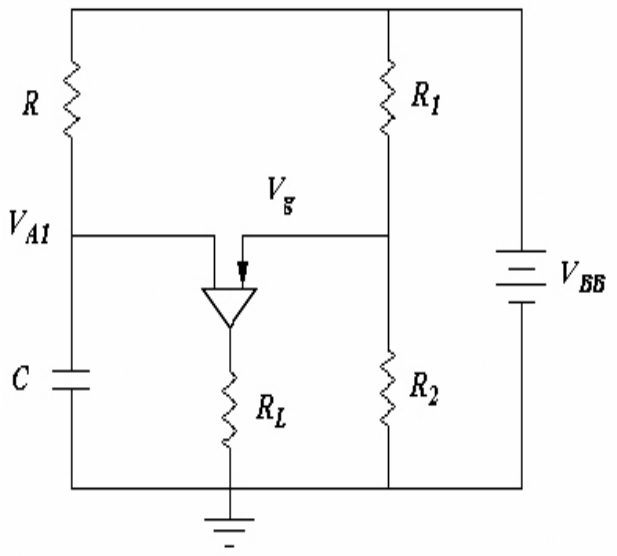
این المان قطعه قدرت نبوده و تحمل ولتاژ و جریان بالا را ندارد .

مدار پیشنهادی

مدار پیشنهادی برای تغییر τ :

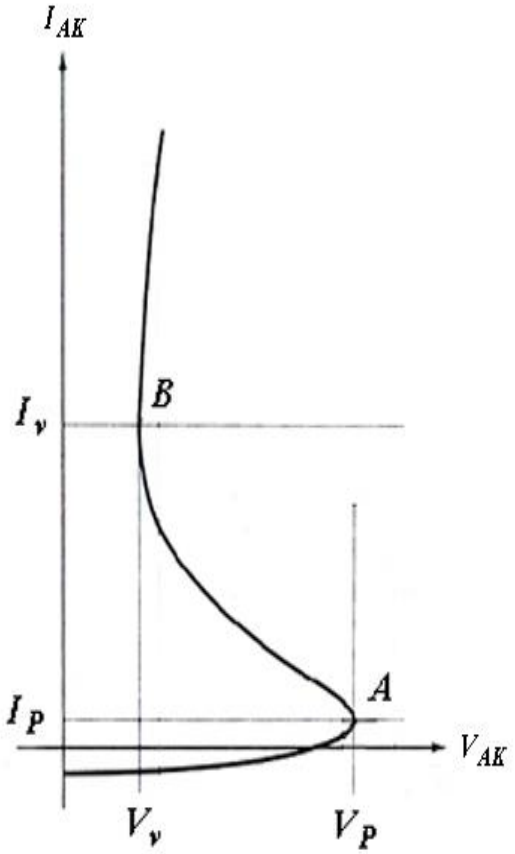
$$\tau = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

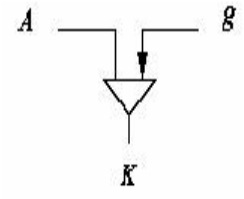
$$V_g = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{BB}$$



ولتاژ گیت توسط مقسم ولتاژ R_1 و R_2 که با آنها τ را نیز میتوان تغییر داد ، تأمین می‌شود .

شکل و منحنی مشخصه PUT :

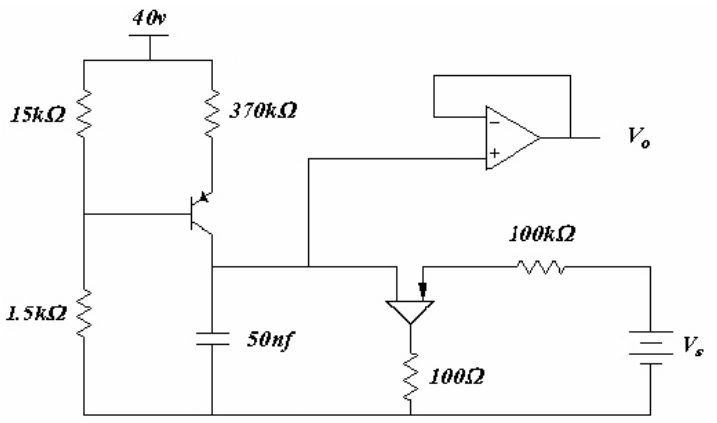




روابط در PUT :

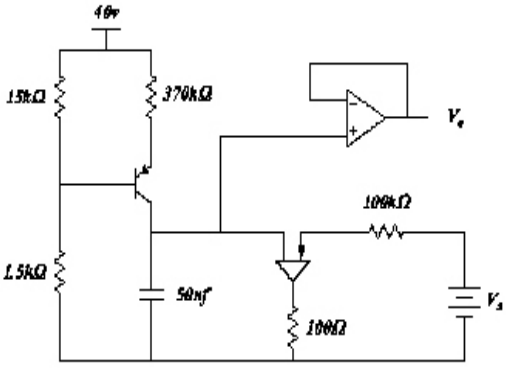
تمامی روابط PUT مانند UJT می‌باشد .

در مدار شکل زیر اگر $I_v = 50\,mA$ و $I_P = 2uA$ باشد ، مدار را تحلیل **dc** کرده و زمان شارژ خازن را در ولتاژهای **5v** **10v** ، **15v** بدست آورید . ($PUT = 2N6028$)



(vco : اسیلاتوری که با ولتاژ کنترل می‌شود)

$$V_B = \frac{1.5}{1.5 \times 15} \times 40 = \frac{3}{53} \times 40 = \frac{120}{53} = 2.3v$$



$$V_E = 2.3 + 0.7 = 3v$$

$$I_E = \frac{40 - 3}{370} = \frac{37v}{370k\Omega} = 100uA$$

$$q = C \,.\, V \quad \Rightarrow \quad q = i \,.\, t \quad \Rightarrow \quad i \,.\, t = C \,.\, V$$

$$if \quad \rightarrow \quad t = T_{sh} \quad \Rightarrow \quad V = V_s \quad \Rightarrow \quad T_{sh} = \frac{C}{i} \,.\, V$$

$$if \quad \rightarrow \quad V_s = 5v \quad \Rightarrow \quad T = 2.5ms$$

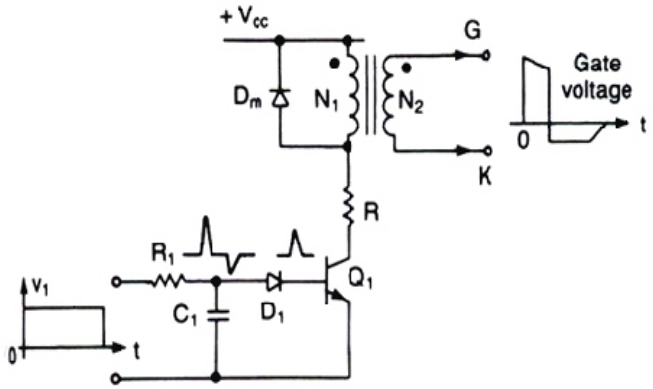
$$if \quad \rightarrow \quad V_s = 10v \quad \Rightarrow \quad T = 5ms$$

$$if \quad \rightarrow \quad V_s = 15v \quad \Rightarrow \quad T = 12.5ms$$

مدارهای آتش تریستوری :

در مبدل‌های تریستوری ولتاژهای متفاوتی در پایانه‌های مختلف وجود دارد ، حداقل مقدار ولتاژ در یک مدار قدرت $100v$ بوده و مدار گیت عموماً در ولتاژهای پایین $12v$ تا $30v$ نگهداشته می‌شوند .
برای آنکه ارتباطی میان مدار قدرت ولتاژ بالا و مدار فرمان ولتاژ پایین از لحاظ الکتریکی وجود نداشته باشد ، یک مدار جداسازی بین مدار پالس گیت و مدار قدرت تریستوری قرار می‌دهند .

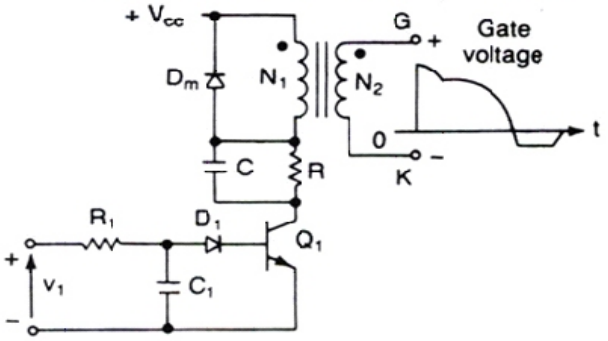
آرایش جداسازی با استفاده از ترانسفورماتور پالس (پالس کوتاه) :



عملکرد مدار :

مدار RC از سیگنال ورودی مشتق میگیرد و پالس‌هایی را در لبه بالا و پایین‌رونده ایجاد می‌کند که دیود D_1 تنها اجازه عبور پالس بالارونده را میدهد که با اعمال این پالس به بیس ترانزیستور Q_1 ، ترانزیستور روشن شده و جریانی از کلکتور عبور میکند این جریان در N_1 تولید ولتاژ می‌نماید . چون N_1 سلف میباشد مقداری انرژی در خود ذخیره مینماید که درهنگامی که Q_1 خاموش است (ورودی صفر است) این انرژی باید بنحوی کاهش یابد که این کار توسط دیود هرز گرد D_m صورت می‌پذیرد . بدین صورت تکرار مراتب باعث تولید پالس ضربه برای تریستور میشود.
همانطور که ملاحظه میشود پالس تولیدی دارای ناحیه منفی میباشد که مطلوب نبوده و باید آنرا کاهش داد .

آرایش جداسازی با استفاده از ترانسفورماتور پالس (پالس بلند) :



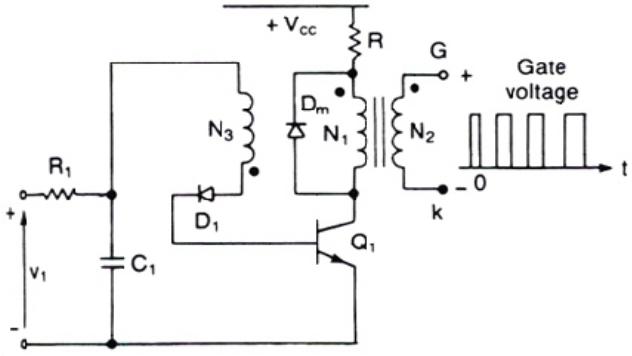
یکی از معایب مدار اول ، کم بودن پهنای پالس گیت (خروجی) بود که ممکن است این پهنای پالس نتواند یك تریستور را روشن کند .

عملکرد مدار :

با رسیدن پالس ورودی و روشن شدن ترانزیستور به خاطر وجود خازن مدت زمان عبور جریان از اولیه ترانس بیشتر شده و پهنای پالس مثبت در ثانویه افزایش می‌یابد . جریان یك جهته عبوری از ترانس ، هسته را اشباع میکند و در نتیجه پهنای پالس محدود می‌شود .

این روش برای جداسازی برای پالس‌هایی با پهنای $50us$ تا $100us$ مناسب است

مولد رشته پالس :

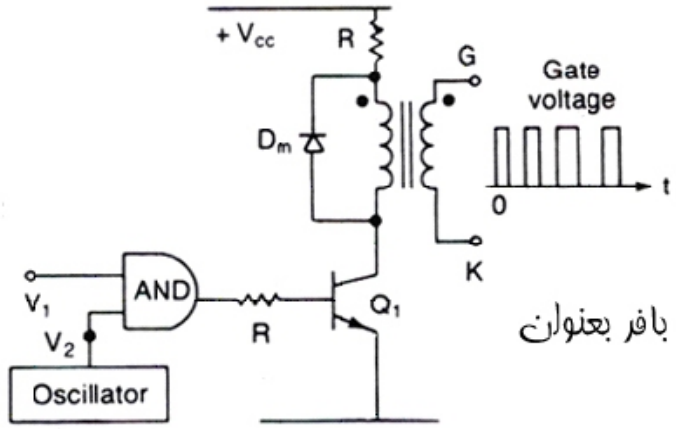


از آنجایی که توان تلفاتی تریستور با دادن پالس با پهنای زیاد ، بیشتر می‌شود از مدار فوق (رشته پالس) استفاده می‌شود .

عملکرد مدار :

هنگامی که پالس ورودی داده میشود تا زمانی که خازن شارژ نشده در سیم‌پیچ کمکی N_3 ولتاژی تولید میشود ، چون قطب منفی N_3 به دیود D_1 متصل است پس دیود D_1 خاموش و Q_1 نیز خاموش میباشد . هنگامیکه خازن شارژ شد Q_1 روشن میشود . با روشن شدن ترانزیستور از ترانس جریان عبور کرده وباعث القای ولتاژ در N_3 میگردد که این ولتاژ مجدداً باعث خاموش شدن ترانزیستور میشود . سیکل فوق تکرار شده و موجب تولید پالس پشت سر هم (قطاری) در خروجی میگردد .

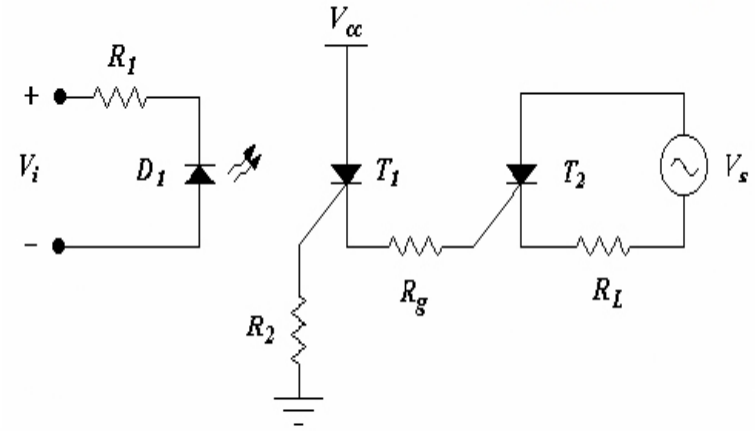
مولد رشته پالس با تایمر مدار منطقی AND :



بجای سیم‌پیچ کمکی بعنوان سد کننده می‌توان از یك گیت منطقی *AND* به همراه یك نوسانساز استفاده نمود .

در عمل خروجی گیت *AND* را نمیتوان مستقیماً برای راه‌اندازی تریستور استفاده نمود و باید از یك بافر بعنوان ایزوله کننده استفاده کرد .

عایق کننده ترکیب‌شده با SCR نوری :

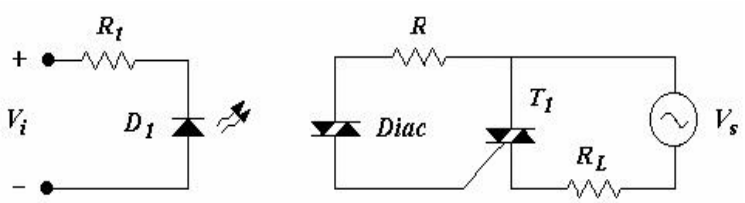


SCR های نوری نوعی تریستور میباشند که با تاباندن نور به آنها در واقع برخورد نور با لایه سیلیکونی آنها تریستور روشن میشود . از این روش برای تولید پالس استفاده میشود .

اگر پالس کوچکی به *LED* داده شود ، روشن شده و نور *LED* باعث روشن شدن *SCR* نوری میشود . در نتیجه به گیت تریستور T_2 فرمان داده میشود و T_2 روشن می‌گردد .

این نوع جداسازی به یك منبع تغذیه جداگانه نیاز دارد که این امر قیمت و وزن مدار آتش تریستوری را افزایش می‌دهد .

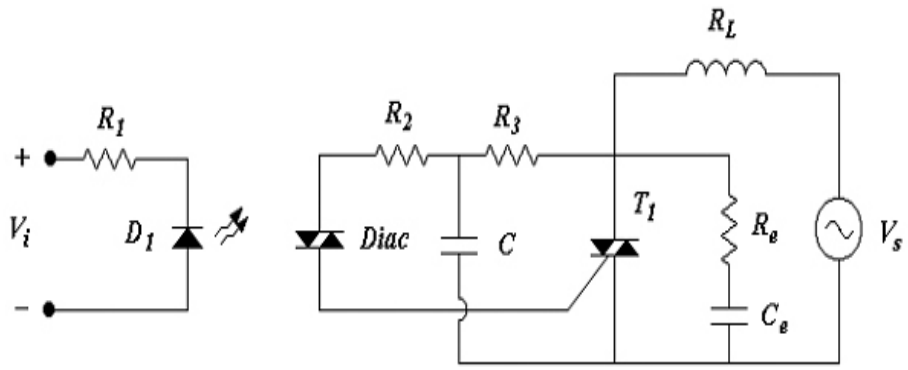
عایق کننده ترکیب‌شده با SCR نوری :



مدار فوق تا حدودی بهتر از مدار قبل می‌باشد . چون مشکل تغذیه V_{cc} را ندارد .

تنها عیب مدار این است که فقط برای بارهای خطی مانند : مقاومت ، لامپ ، ... می‌تواند پاسخگو باشد برای بارهای سلفی ، مدار شکل صفحه بعد پیشنهاد میشود

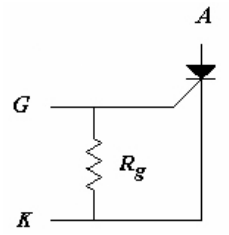
عایق کننده ترکیب‌شده با SCR نوری :



مدار شکل فوق برای راه‌اندازی بارهای سلفی نظیر موتور استفاده می‌شود .

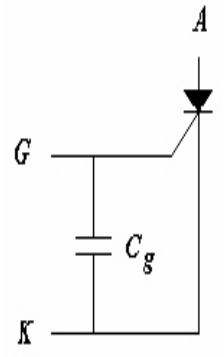
در این مدار شبکه اسنابر ، R_3 ، C ، R_2 چند درجه اختلاف فاز در سیگنال گیت ایجاد میکنند تا عمل تحریک گیت بصورت صحیح انجام شود .

مقاومت Rg :



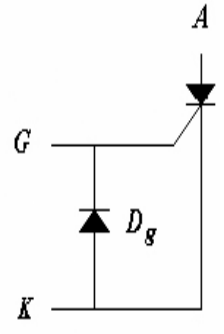
R_g توانایی $\frac{dv}{dt}$ تریستور را افزایش می‌دهد همچنین باعث زیاد شدن جریان نگهدارنده و تثبیت‌کننده می‌شود .

خازن Cg :



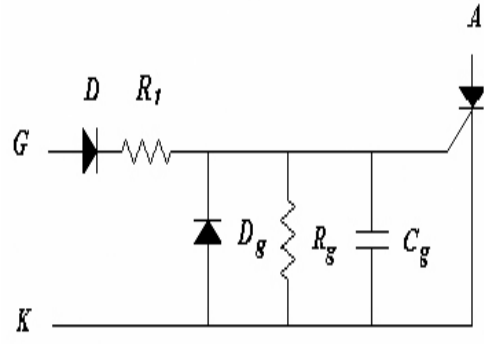
C_g مولفه‌های نویز فرکانس بالا را از بین می‌برد و توانایی $\frac{dv}{dt}$ تریستور را افزایش داده و زمان تأخیر گیت را زیاد می‌کند .

دیود Dg :



Dg گیت را در برابر ولتاژ منفی محافظت می‌کند .البته در تریستور های نا متقارن به منظور بهبود بخشیدن به توانایی‌های $\frac{dv}{dt}$ و کاهش زمان قطع بهتر است که ولتاژ منفی کمی روی گیت اعمال شود .

مدار محافظ پیشنهادی :



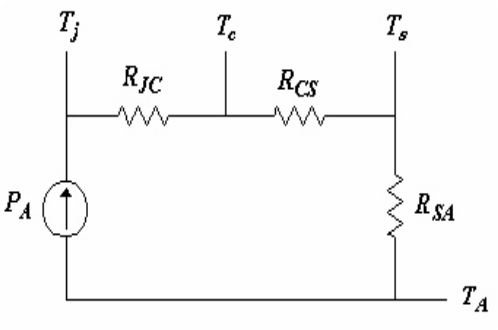
D_1 به تمام پالس‌های مثبت اجازه عبور می‌دهد R_1 نوسانهای گذرا را از بین می‌برد و جریان گیت را محدود میسازد .

خنک سازی و گرماگیر در مدارات قدرت :

بخاطر تلفات و وضعیت روشن و کلیدزنی در قطعات قدرت گرما تولید می‌شود که این گرما باید از قطعه با یک واسطهٔ خنک شونده منتقل شود تا دمای پیوند در داخل محدوده تعیین شده باقی بماند . گرما باید از قطعه به بدنه و از بدنه به گرماگیر منتقل شود .

روابط :

از مدل الکتریکی برای نمایش معادل گرماگیرها استفاده میشود . با فرض اینکه PA توان متوسط تلف شده درون قطعه باشدمدار معادل الکتریکی انتقال گرمای یک قطعه که روی گرماگیر وصل شده در زیر نمایش داده میشود .



T_j $(^\circ c)$ دمای پیوند (جانکشن)

T_c $(^\circ c)$ دمای بدنه

T_s $(^\circ c)$ دمای گرماگیر (Heat sink)

T_A $(^\circ c)$ دمای محیط

R_{jc} $(^\circ c/_w)$ مقاومت حرارتی از پیوند تا بدنه

R_{cs} $(^\circ c/_w)$ مقاومت حرارتی از بدنه تا گرماگیر

R_{SA} $(^\circ c/_w)$ مقاومت حرارتی از گرماگیر تا محیط

P_A (w) توان متوسط تلف شده درون قطعه

$$T_j - T_A = P_A\left(R_{jc} + R_{cs} + R_{sA}\right)$$

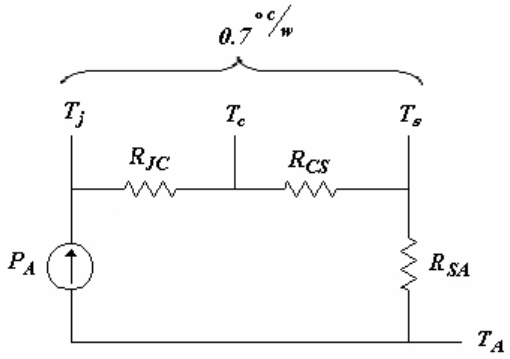
$$T_c - T_A = P_A\left(R_{cs} + R_{sA}\right)$$

$$T_s - T_A = P_A\left(R_{sA}\right)$$

$$T_j - T_s = P_A\left(R_{jc} + R_{cs}\right)$$

Rjc و Rcs عموماً توسط سازندگان قطعات قدرت مشخص میشوند .

تریستوری با تلفات توان حالت پایدار برابر $30w$ دارای مقاومت دمای پیوند به گرمابر $0.7^{\circ c}/_{w}$ و دمای پیوند $125^{\circ c}$ می‌باشد ، اگر دمای محیط $40^{\circ c}$ باشد ، مقدار حداکثر مقاومت دمایی را که گرماگیر میتواند داشته باشد را تعیین کنید. در این حالت دمای پایه را بدست آورید .



$$T_j - T_A = P_A\left(R_{jc} + R_{cs} + R_{sA}\right)$$

$$125 - 40 = 30\left(0.7 + R_{sA}\right) \quad \Rightarrow \quad 0.7 + R_{sA} = \frac{85}{30} \quad \Rightarrow \quad R_{sA} = 2.13\left(^{\circ}c/_{w}\right)$$

$$T_s - T_A = P_A\left(R_{sA}\right) \quad \Rightarrow \quad T_s = 40 + 30 \times 2.13 \quad \Rightarrow \quad T_s = 104\left(^{\circ}c\right)$$

تریستوری با مقاومت دمایی $1.8\ ^{\circ c}/_{w}$ بر روی گرمابری با مقاومت دمایی $2\ ^{\circ c}/_{w}$ نصب گردیده است . اگر دمای پیوند نتواند از $125\ ^{\circ c}/_{w}$ تجاوز کند و دمای محیط 40^{oc} باشد ، حداکثر توان تلفاتی تریستور را حساب کنید .

$$R_{jc} + R_{cs} = 1.8\ ^{\circ c}/_{w}$$

$$R_{sA} = 2\ ^{\circ c}/_{w}$$

$$T_j - T_A = P_A \left(R_{jc} + R_{cs} + R_{sA} \right)$$

$$P_A = \frac{125 - 40}{1.8 + 2} = 22.4\,w$$

منابع توان تلفاتی :

عوامل ایجاد کننده تلفات :

۱– تلفات در طی هدایت مستقیم که تابعی از افت ولتاژ مستقیم و جریان هدایت می‌باشد . ومنبع اصلی تلفات در فرکانس برق شهر و فرکانس‌های کمتر است .

۲– تلفات ناشی از جریان نشتی در طی حالت انسداد .

۳– تلفاتی که در مدار گیت در اثر ورود انرژی از طریق سیگنال گیت رخ می‌دهد .

۴– تلفات کلیدزنی ، یعنی پراکنده شدن انرژی در قطعه در طی روشن و خاموش شدن . وقتی که کلیدزنی با فرکانس نسبتاً بالایی مثلاً $1khz$ انجام شود امکان بیشتر شدن این تلفات نیز وجود دارد .

بطور کلی کارایی یک یکسوکننده از روی پارامترهای زیر تعیین می‌شود .

۱- مقدار متوسط ولتاژ خروجی بار Vdc یا Vav $\longleftarrow$ $Vav=Vdc=\frac{1}{T}\int Vdt$

۲- مقدار متوسط جریان خروجی بار Idc $\longleftarrow$ $Idc=\frac{Vdc}{Rl}$

۳- توان dc خروجی $\longleftarrow$ $Pdc=Vdc\times Idc$

۴- مقدار موثر ولتاژ خروجی $Vrms$ $\longleftarrow$ $Vrms=\sqrt{\frac{1}{T}\int V^2 dt}$

۵- جریان موثر خروجی $Irms$ $\longleftarrow$ $Irms=\frac{Vrms}{Rl}$

۶- توان AC خروجی Pac $\longleftarrow$ $Pac=Vrms\times Irms$

۷- بازده η $\longleftarrow$ $\eta=\frac{Pdc}{Pac}$

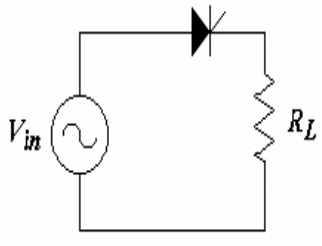
۸- مقدار موثر مولفه AC ولتاژ خروجی Vac $\longleftarrow$ $Vac=\sqrt{Vrms^2-Vdc^2}$

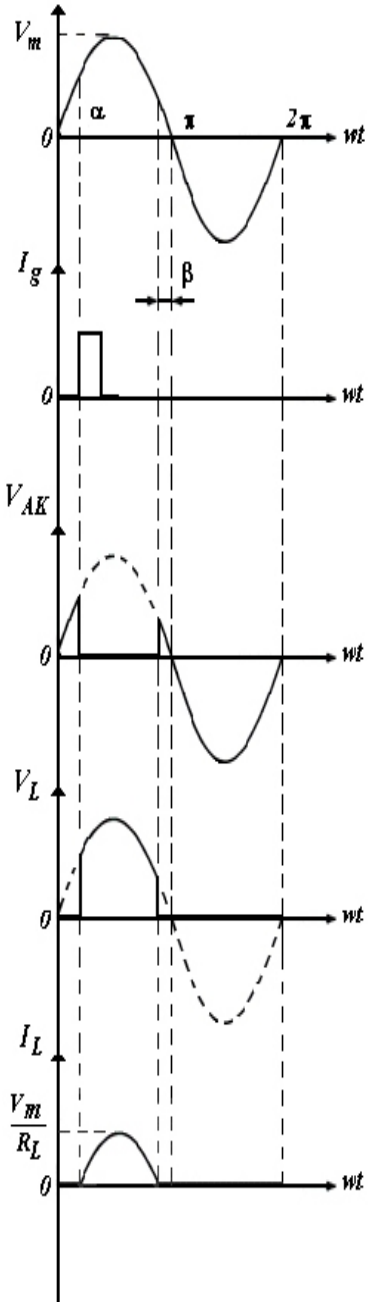
۹-ضریب شکل (که نمایانگر شکل ولتاژ خروجی است) $\longleftarrow$ $FF=\frac{Vrms}{Vdc}$

۱۰- ضریب ریپل (که نمایانگر مقدار ریپل است) $RF=\frac{Vac}{Vdc}=\frac{\sqrt{Vrms^2-Vdc^2}}{Vdc}=\sqrt{\left(\frac{Vrms}{Vdc}\right)^2-1}=\sqrt{FF^2-1}$

یکسوساز تکفاز نیم موج کنترل شده

بار مقاومتی خالص :





عملکرد :

نیم پریود اول :

$if \quad V_{in} > 0 \quad \rightarrow \quad V_A > V_k$

$\Rightarrow \quad T = On$

با آمدن فرمان گیت و با فرض تأمین جریان IL تریستور روشن میشود.

$0 < W_t < \alpha \quad \rightarrow \quad T = Off \quad V_L = 0$

$W_t > \alpha \quad \rightarrow \quad T = On \quad V_L = V_{in}$

$if \quad W_t = \beta \quad \rightarrow \quad I_{AK} < I_h$

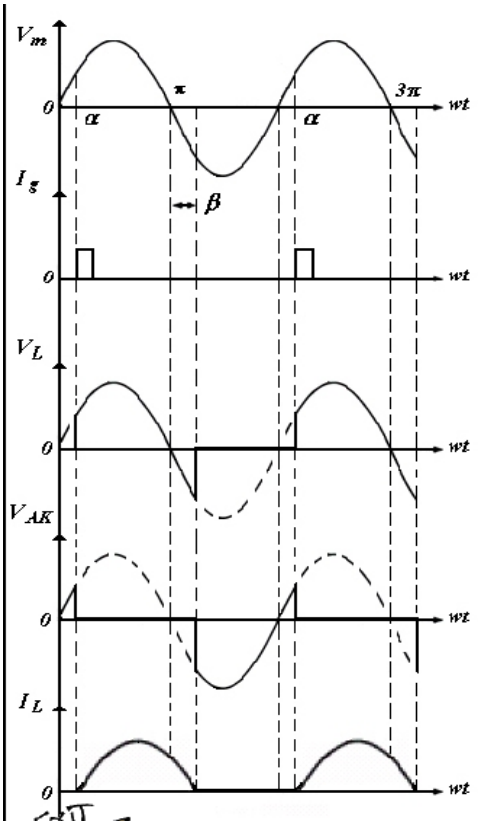
$\Rightarrow \quad T = Off$

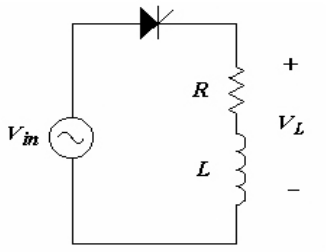
نیم پریود دوم :

$\pi < W_t < 2\pi \quad \rightarrow \quad T = Off$

$\Rightarrow \quad V_L = 0$

بار سلفی (موتور) :





نیم پریود اول :

$$if \quad W_t < \alpha \quad \rightarrow \quad T = Off \quad \Rightarrow \quad V_L = 0$$

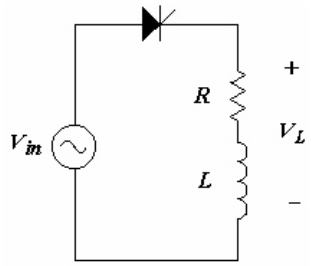
نیم پریود دوم :

$$if \quad \alpha < W_t < \beta \quad \rightarrow \quad T = On \quad \Rightarrow \quad V_L = V_{in}$$

$$if \quad \beta < W_t < 2\pi + \alpha \quad \rightarrow \quad T = Off \quad \Rightarrow \quad V_L = 0$$

اگر بار سلفی در مدار قرار گیرد در زمانی که V_{in} صفر میشود (به π یا 2π و ...) نزدیک میشود ، سلف دشارژ شده و انرژی ذخیره شده در آن مجدداً به مدار باز می‌گردد . پس در مدار جریان برقرار میشود و تریستور روشن می‌ماند. هرچقدر مقدار α کوچکتر باشد در نتیجه انرژی بیشتری در سلف ذخیره میشود لذا مدت بیشتری میتواند تریستور را روشن نگه دارد . مقدار α از رابطه‌های ذیل بدست می‌آید .

$$KVL: V_R + V_L = V_m \sin wt \qquad \Rightarrow \qquad i \cdot R + L\frac{di}{dt} = V_m \sin wt$$



$$i(t) = \frac{V_m}{Z}\left[\sin(wt-\varphi) - \sin(\alpha-\varphi)e^{\frac{R}{L}(\alpha-wt)}\right]$$

حالت دائمی حالت گذرا

$$\varphi = tg^{-1}\frac{Lw}{R}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2 \cdot w^2}$$

اگر $wt = \alpha$ باشد

$$i(t) = \frac{V_m}{Z}\left[\sin(wt-\varphi) - \sin(\alpha-\varphi)e^{\frac{R}{L}(\alpha-wt)}\right] \qquad \Rightarrow \qquad i(t) = 0$$

پس هرگاه $wt = \alpha$ شود جریان برابر صفر خواهد شد

اگر $wt = \beta$ باشد

$$i(t) = \frac{V_m}{Z}\left[\sin(\beta-\varphi) - \sin(\beta-\varphi)e^{\frac{R}{L}(\alpha-\beta)}\right]$$

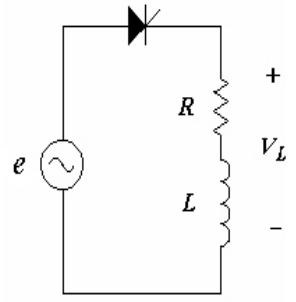
نتیجه : با معلوم بودن مقدار ورودی $Vm \sin \omega t$ ، مقادیر L, R و زاویه آتش α می‌توان مقادیر φ, z را با توجه به رابطه بدست آورد و سپس با حل معادله غیر خطی فوق مقدار β را محاسبه کرد . باید توجه داشت که معادله فوق غیر خطی بوده و با عددگذاری قابل حل می‌باشد .

توجه : هر چه α کوچکتر باشد زاویه خاموشی β بزرگتر خواهد بود .

در مدار مقابل اگر $e = 310 \, Sin \, \omega t$ ، $L = 100 \; mH, R = 10\Omega$ ، $\alpha = 90^\circ$ ، $f = 50 \, Hz$ باشد

الف) : مقدار زاویه خاموشی (β) را بدست آورید .

ب) : در حضور دیود Fly weel اگر حداقل جریان بار را $100 \, mA$ فرض کنیم ، آنگاه حداکثر زاویه α را که می‌توان اعمال کرد تا جریان بار پیوسته باشد چقدر است



$$Sin(\beta-\alpha)=Sin(\alpha-\varphi)\cdot e^{\frac{R}{L\omega}(\alpha-\beta)}$$

$$\varphi=\tan^{-1}\frac{L\omega}{R}=\tan^{-1}\frac{2\pi\times50\times100\times10^{-3}}{10}\rightarrow\varphi=72^{\circ}$$

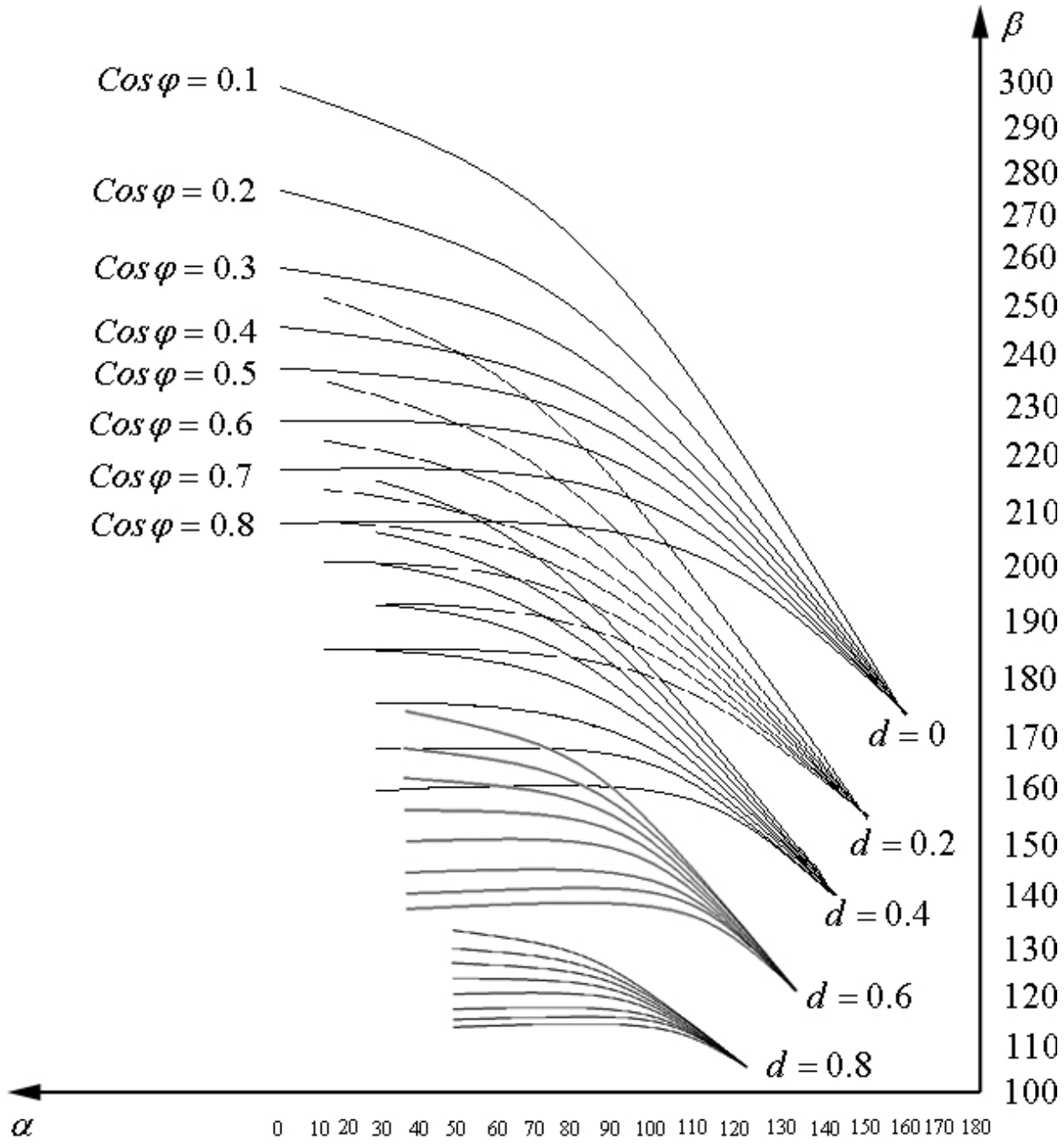
$$Sin(\beta-90)=Sin(90-72)\cdot e^{\frac{10}{100\times10^{-3}\times2\pi\times50}\times(90-\beta)}$$

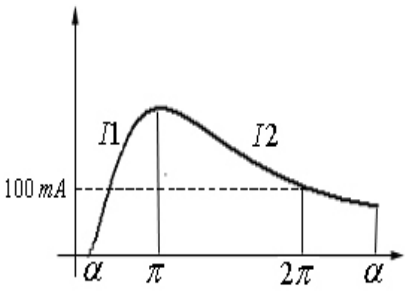
از حل این معادله β بدست می‌آید (معادله تك مجهولی غیر خطی قابل حل)

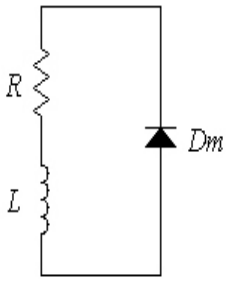
و یا از روی جدول مقدار β را بدست می‌آوریم .

$$Cos\varphi=Cos72^{\circ}=0.3\longrightarrow\beta=240$$

$$\begin{cases} d=0 \\ Cos\varphi=0.3 \\ \alpha=90 \end{cases}$$


β
$Cos\varphi = 0.1$
$Cos\varphi = 0.2$
$Cos\varphi = 0.3$
$Cos\varphi = 0.4$
$Cos\varphi = 0.5$
$Cos\varphi = 0.6$
$Cos\varphi = 0.7$
$Cos\varphi = 0.8$
$d = 0$
$d = 0.2$
$d = 0.4$
$d = 0.6$
$d = 0.8$
300
290
280
270
260
250
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
α
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180





$$\begin{cases} IL(0^+) = IL(\pi) \\ IL(\infty) = 0 \\ \tau = \dfrac{L}{R} \end{cases}$$

$$I1 = (\pi^-) = I2(0^-) = I2(0^+)$$

$$I2(0^+) + \left[I(\infty) - I(0^+)\right] e^{\frac{-t}{\tau}}$$

$$I2 = IL(0^+)\left[1 - e^{-100t}\right]$$

$$if \longrightarrow t = \pi + \alpha \longrightarrow I2 = 100mA$$

$$i1(t) = \frac{Vm}{Z}\left[Sin(\omega t - \varphi) - Sin(\alpha - \varphi)\, e^{\frac{R}{L\omega}(\alpha - \omega t)}\right]$$

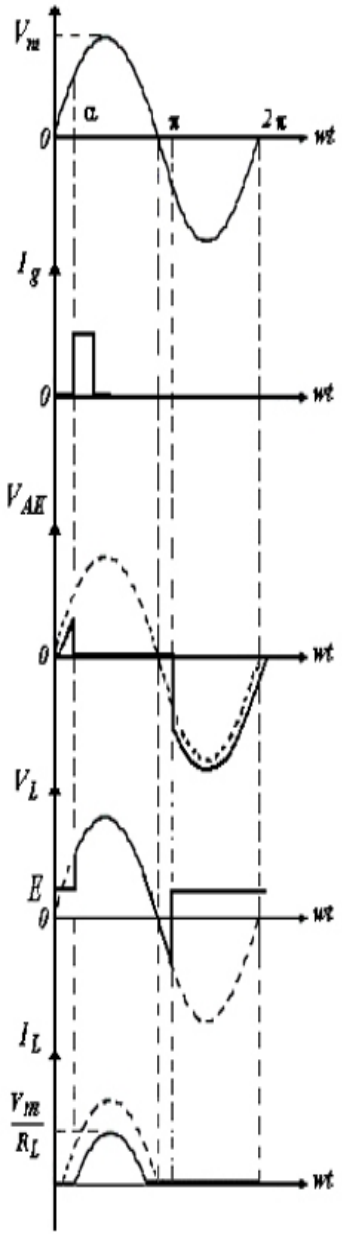
$$if \longrightarrow \omega t = \pi \longrightarrow i1(t) = i1(\pi^-) = i2(0^-) = i2(0^+)$$

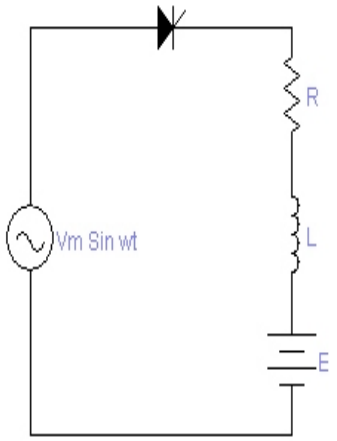
$$i2(0^+) = \frac{310}{\sqrt{L^2\omega^2 + R^2}}\left[Sin(\pi - 72) - Sin(\alpha - 72)\, e^{\frac{R}{L\omega}(\alpha - \varphi)}\right]$$

$$100mA = \frac{310}{\sqrt{L^2\omega^2 + R^2}}\left[Sin(\pi - 72) - Sin(\alpha - 72)\, e^{\frac{R}{L\omega}(\alpha - \varphi)}\right] \times \left[1 - e^{-100(\pi + \alpha)}\right]$$

$$100mA = i(\pi) \cdot e^{-\frac{R}{L\omega}(\pi + \alpha)}$$

تأثیر نیروی ضد محرکه :





$E \langle Vm$

$$kvl : VR + VL + E = Vm\,Sin\,\omega t$$

$$VR + VL + E = e$$

$$Ri + l\frac{di}{dt} + E = Vm\,Sin\,\omega t$$

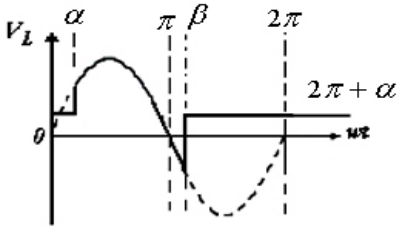
$$d = \frac{E}{Vm}$$

در حالتی که بار سلفی در مدار وجود دارد نیروی ضد محرکه در مدار بوجود می‌آید که در تمام روابط و شکل موجها تأثیر می‌گذارد

محاسبه ولتاژ متوسط

محاسبه ولتاژ مؤثر

محاسبه ولتاژ متوسط (نیروی محرکه)



$$\alpha \min = Sin^{-1}\ \frac{E}{Vm}$$

$$Vav = \frac{1}{T}\int V\,dt$$

$$T = (2\pi + \alpha) - \alpha = 2\pi$$

$$if \longrightarrow \alpha < \omega t < \beta \longrightarrow Vl = Vm\,Sin\,\omega t$$

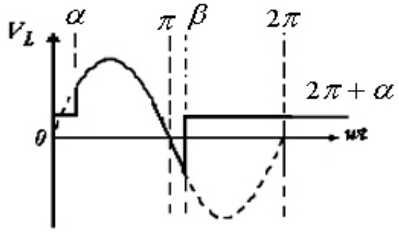
$$if \longrightarrow \beta < \omega t < 2\pi + \alpha \longrightarrow Vl = E$$

$$Vav = \frac{1}{2\pi}\left[\int_{\pi}^{2\pi+\alpha} E \cdot d\,\omega t + \int_{\alpha}^{\beta} Vm\ Sin\,\omega t\ d\omega t\right]$$

$$Vav = \frac{1}{2\pi}\left[E \cdot \omega t\Big|_{\beta}^{2\pi+\alpha} - Vm\ Cos\,\omega t\Big|_{\alpha}^{\beta}\right]$$

$$Vav = \frac{1}{2\pi}\left[E(2\pi + \alpha - \beta) + Vm(Cos\,\alpha - Cos\,\beta)\right]$$

محاسبه ولتاژ موثر (نیروی محرکه)



$$Vrms = \sqrt{\frac{1}{T}\int V^2\,dt}$$

$$T = (2\pi + \alpha) - \alpha$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2\pi}\left[\int_{\beta}^{2\pi+\alpha} E^2\ d\omega t + \int_{\alpha}^{\beta} Vm^2\ Sin^2\,\omega t\,d\omega t\right]}$$

$$Vrms = \left(\frac{E^2(2\pi + \alpha - \beta)}{2\pi} + \frac{Vm^2}{2\pi}\left[\frac{\omega t}{2} - \frac{1}{2}\ Sin\,2\omega t\right]_{\beta}^{\alpha}\right)^{\frac{1}{2}}$$

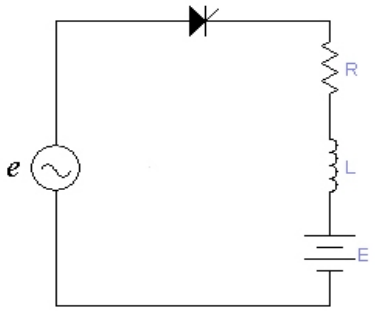
$$Vrms = \left[\frac{1}{2\pi}\left(E^2(2\pi + \alpha - \beta) + Vm^2\right)\frac{1}{2}\beta - \frac{1}{2}\alpha + \frac{1}{2}\ Sin\,2\alpha - \frac{1}{2}\ Sin\,2\beta\right]^{\frac{1}{2}}$$

در مدار زیر $L=100mH$ ، $R=10\Omega$ ، $E=120v$ ، $e=300\ Sin\ \omega t$ میباشد .

الف : مقدار α_{min} چقدر است ؟

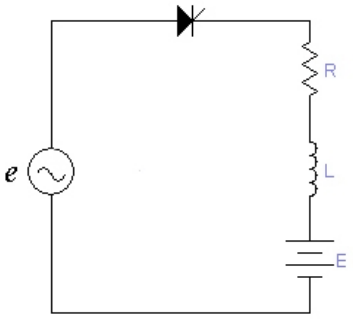
ب : به ازای α_{min} مقدار β چقدر خواهد بود ؟

ج : به ازای چه مقدار α ولتاژ متوسط صفر میشود ؟



یک موتور dc با مشخصات زیر تحت زاویه $\alpha=60$ آتش میشود اگر در همین حالت نیروی روی موتور (بار) را کم کنیم چه اتفاقی می‌افتد ؟

$$\begin{cases} R=10\Omega \\ L=100mH \\ E=120v \\ e=300\ Sin\ \omega t \end{cases}$$



پاسخ ...

$$\alpha\ \min = Sin^{-1}\frac{E}{Vm}$$

$$\alpha\ \min = Sin^{-1}\frac{120}{300} \longrightarrow \alpha\ \min = 23^{\circ}$$

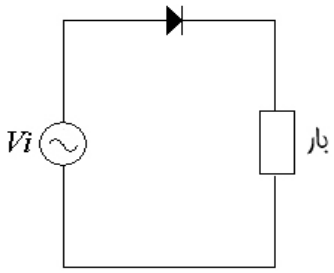
$$if \longrightarrow \alpha\ \min = 60 \longrightarrow 60 = Sin^{-1}\frac{E'}{Vm} \longrightarrow E' = 260v$$

نتیجه : نیروی ضد محرکه ارتباط مستقیم با سرعت موتور دارد .

در مدار زیر ولتاژ ورودی 240 ولت ، فرکانس $50Hz$ می‌باشد . از افت ولتاژ دیود صرفنظر میشود .

الف : بار مقاومت 10Ω می‌باشد .

ب : مقاومت بار با یک سلف $0.1H$ سری می‌باشد .

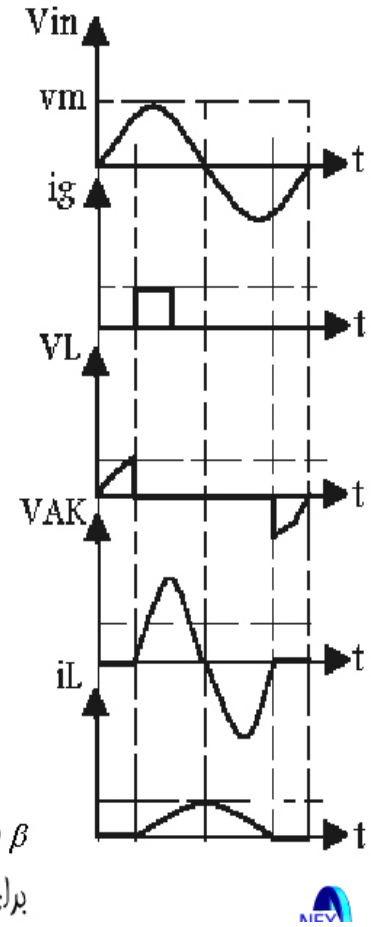


۱– شکل موج ولتاژ و جریان بار را رسم نمائید .

۲– حد متوسط ولتاژ بار و حد متوسط شدت جریان را بدست آورید .

مقدار ولتاژ متوسط :

$$Vav = \frac{1}{T}\int_T Vdt \qquad \begin{cases} T = 2\pi \quad or \quad (2\pi+\alpha)-\alpha \\ \alpha < wt < \beta \rightarrow V = Vm \sin \omega t \\ \beta < wt < 2\pi+\alpha \rightarrow r = 0 \end{cases}$$



$$Vav = \frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\beta Vm Sin\omega t\, d\omega t + \int_\beta^{2\pi+\alpha} 0 \quad d\omega t$$

$$= \frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\beta Vm\ Sin\ \omega t\ d\omega t$$

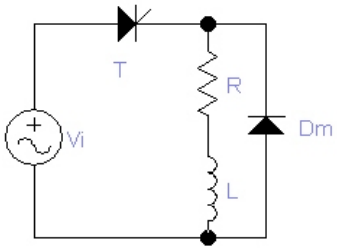
$$= \frac{1}{2\pi} vm \int_\alpha^\beta Sin\ \omega t\ d\omega t$$

$$\frac{vm}{2\pi}\left[-Cost\right]_\alpha^\beta$$

$$\frac{vm}{2\pi}(-Cos\beta-(-Cos\alpha)) \Rightarrow Vav = \frac{Vm}{2\pi}(Cos\alpha - Cos\beta)$$

یکی از معایب مدار اینست که در حالتی که امپدانس بار سلفی باشد زیاد بودن β سبب کاهش پریود منفی می‌کردد و این باعث کاهش مقدار متوسط (Vav) میشود

برای رفع این عیب از یک دیود موازی با بار استفاده میشود (دیود کموتاسیون)



در این حالت دشارژ سلف از طریق دیود کموتاسیون (Dm) صورت می‌گیرد .
در فاصله π تا β که ولتاژ بار منفی میباشد و منجر به کاهش ولتاژ متوسط می‌گردد دیود کموتاسیون به خاطر جریان دشارژ سلف روشن میشود و جریان مدار بجای آنکه از طریق تریستور بسته شود به دیود منتقل میشود که این امر موجب اتصال کوتاه شدن بار و صفر شدن ولتاژ خروجی در فاصله π تا β میشود .

بعبارت دیگر نقش دیود کموتاسیون جلوگیری از معکوس شدن ولتاژ بار (با صرفنظر از ولتاژ ناچیز دیود) و یا انتقال جریان بار به بیرون یکسوکننده اصلی و در نتیجه امکان برگشت تریستور به حالت انسداد است .

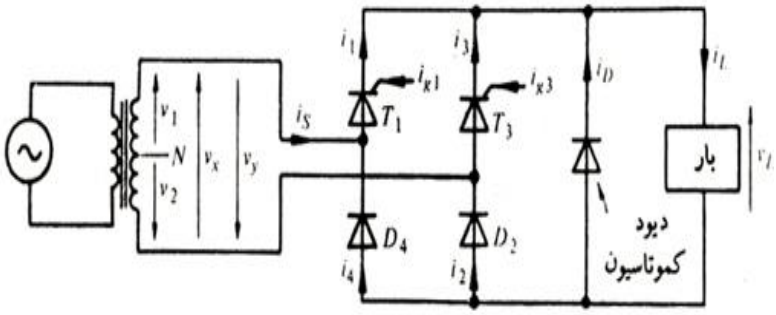
باید توجه داشت که دیود کموتاسیون اگر چه ولتاژ بار را در فاصله π تا β صفر میکند ولی همچنان حضور جریان بار را تا β امکان‌پذیر میکند .

در حضور دیود هرزگرد (کموتاسیون) زاویه خاموشی β به π منتقل میشود لذا ولتاژ متوسط بار به مقدار زیر افزایش می‌یابد .

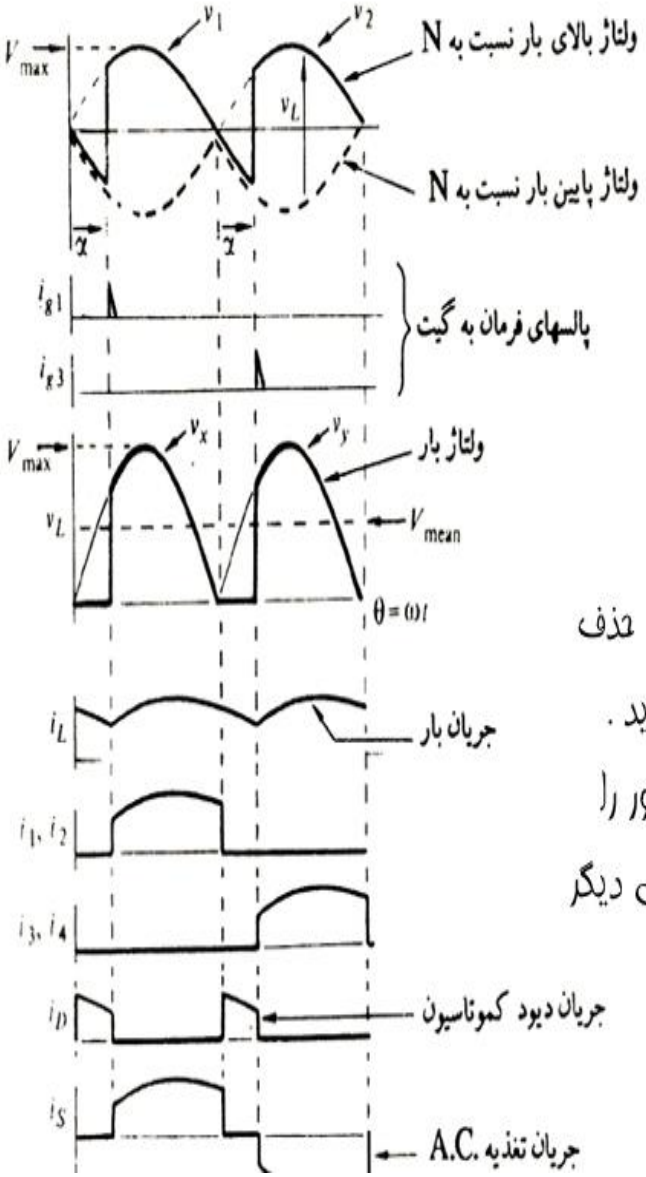
$$Vav = \frac{Vm}{2\pi}(1+Cos\alpha)$$

یکسو ساز تک فاز تمام موج نیمه کنترل شده

پل تکفاز نیمه کنترل شده :



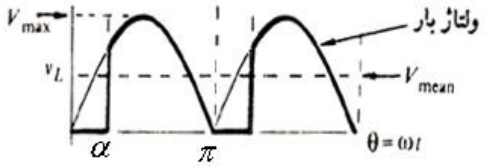
بار مقاومتی و سلفی



دیود کموتاسیون باعث میشود که قسمت منفی ولتاژ خروجی حذف گردد و شکل موج خروجی نظیر حالت بار مقاومتی خالص در آید .

در این مدار دیود Fly wheel مقداری از جریان عبوری تریستور را کاهش میدهد بطوریکه توان تلفاتی آن کم میشود و از طرفی دیگر با حذف قسمت منفی ولتاژ بار ، مقدار متوسط ولتاژ خروجی را افزایش میدهد .

محاسبه ولتاژ متوسط :



$$Vav = \frac{1}{T}\int V\,dt$$

$$T = \pi + \alpha - \alpha = \pi$$

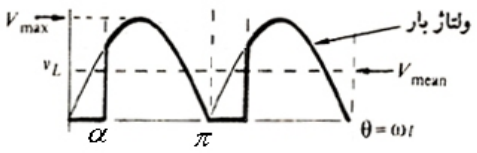
$$Vav = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} Vm\,Sin\,\omega t\;d\omega t$$

$$Vav = \frac{Vm}{\pi}\left[Cos\alpha - Cos\pi\right]$$

$$Vav = \frac{Vm}{\pi}\left[1 + Cos\alpha\right]$$

تنها فرق پل تریستوری با پل دیودی فقط وجود α (زاویه آتش) می‌باشد .

محاسبه ولتاژ موثر :



$$Vrms = \sqrt{\frac{1}{T}\int V^2\,dt}$$

$$T = \pi + \alpha - \alpha = \pi$$

در مدارهای نیمه کنترل شده حتماً باید از دیود کموتاسیون استفاده کرد .

$$Vrms = \left[\frac{1}{T}\int_{\alpha}^{\pi} Vm^2\,Sin^2\,\omega t\;d\omega t\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\left[\frac{Vm^2}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} Sin^2\,\omega t\;d\omega t\right]^{\frac{1}{2}}$$

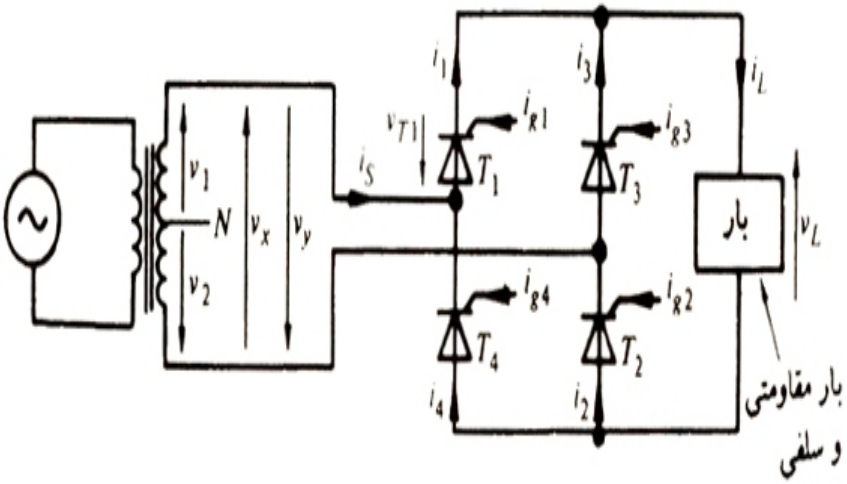
$$\int_{\alpha}^{\pi} Sin^2\,\omega t\,d\omega t \longrightarrow \frac{1}{2}\omega t - \frac{1}{4}\,Sin\,2\omega t$$

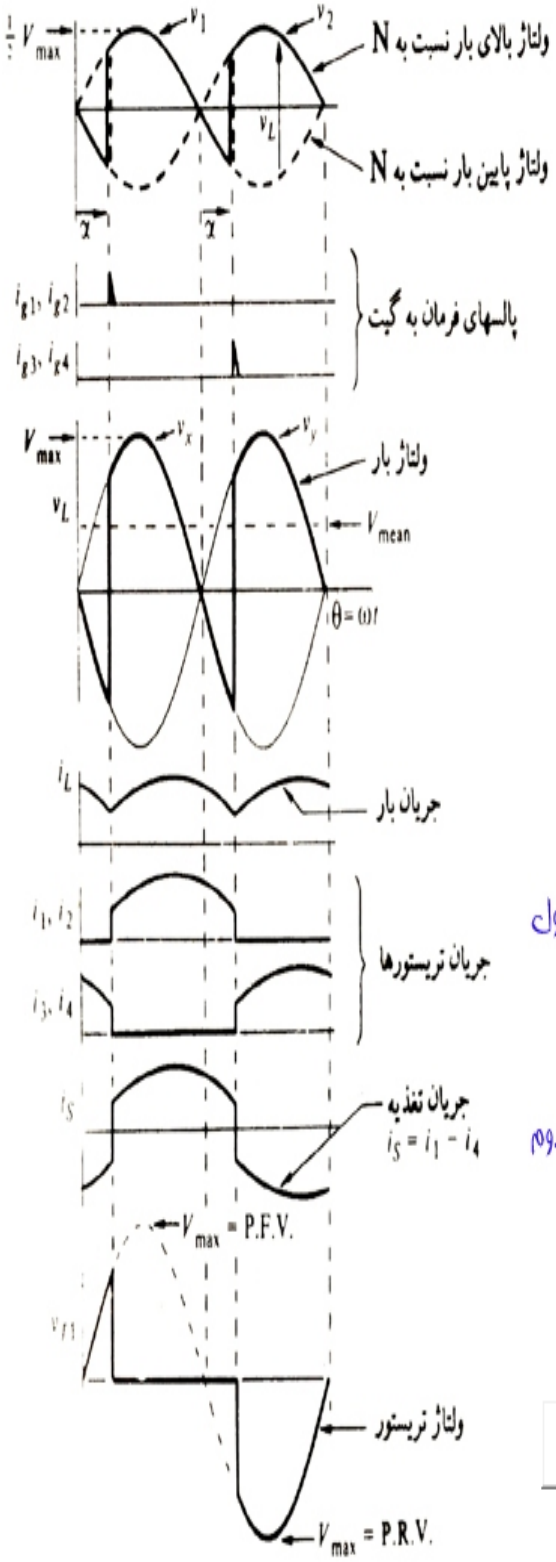
$$= \left[\frac{\alpha}{2} - \frac{\pi}{2}\right] - \left[\frac{1}{4}Sin\,2\alpha - \frac{1}{4}\,Sin\,2\pi\right]$$

$$Vrms = \frac{Vm}{\sqrt{2}}\left[\frac{1}{\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{1}{2}\,Sin\,2\alpha\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

یکسو ساز تک فاز تمام موج تمام کنترل شده

پل تکفاز تمام کنترل شده :





نیم پریود اول : $0 < \omega t < \pi \longrightarrow \{T1, T2$ شوند on میتوانند $VL = Vi$

با آمدن فرمان گیت در زاویه α تریستورها روشن میشوند

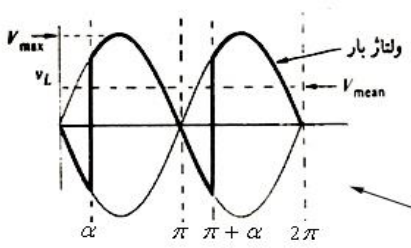
نیم پریود دوم : $\pi < \omega t < 2\pi \longrightarrow \{T3, T4$ میتوانند هدایت کنند

با آمدن فرمان گیت در زاویه $\pi + \alpha$ تریستورها روشن میشوند

محاسبه ولتاژ متوسط

محاسبه ولتاژ مؤثر

محاسبه ولتاژ متوسط :



اگر β از $\pi+\alpha$ بزرگتر باشد $\beta=\pi+\alpha$

اگر β از $\pi+\alpha$ کوچکتر باشد $\beta=\beta$

$$Vav=\frac{1}{T}\int V\ dt$$

$$T=(\pi+\alpha)-\alpha=\pi$$

$$Vav=\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\beta} Vm\,Sin\,\omega t\ d\omega t$$

$$Vav=\frac{Vm}{\pi}\left[-Cos\,\omega t\right]_{\alpha}^{\beta}$$

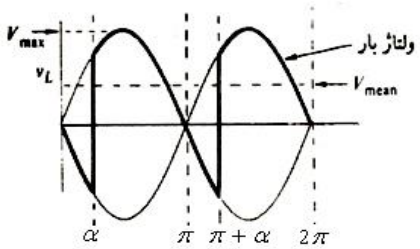
$$Vav=\frac{Vm}{\pi}\left(Cos\alpha-Cos\beta\right)$$

اگر $\beta\geq\pi+\alpha$ باشد بعبارت دیگر بار سلفی شدید بوده و باعث میشود که یك جفت تریستور تا زمان فرمان دادن به جفت بعدی روشن بماند در این حالت جریان بار پیوسته است

$$Vav=\frac{Vm}{\pi}\left[Cos\alpha-Cos(\pi+\alpha)\right]$$

$$Vav=\frac{2Vm}{\pi}Cos\alpha$$

محاسبه ولتاژ موُثر :



$$Vrms=\sqrt{\frac{1}{T}\int V^2\,dt}$$

$$=\left(\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} Vm^2\,Sin^2\,\omega t\ d\omega t\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$T=(\pi+\alpha)-\alpha=\pi$$

$$=\left[\frac{Vm^2}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha}(1-Cos2\omega t)\ d\omega t\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Vrms=\frac{Vm}{\sqrt{2}}$$

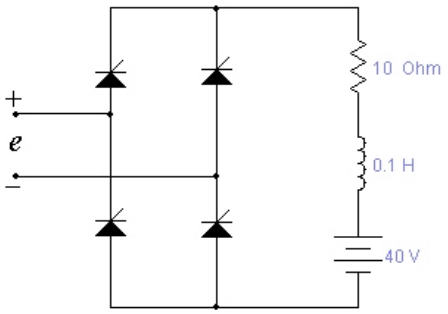
در مدار زیر :

الف : در چه زاویه‌ای از ωt برای زاویه فرمان ، جریان بار پیوسته است .

ب : در چه زاویه‌ای از ωt برای زاویه فرمان ، جریان بار ناپیوسته است .

ج : ولتاژ متوسط بار را در زاویه $\alpha = 60^\circ$ بدست آورید .

د : ولتاژ متوسط بار را در زاویه $\alpha = 30^\circ$ بدست آورید .



مزایای مدار تمام کنترل به نیمه کنترل :

۱- عمل inverter در نیمه کنترل بخاطر وجود دیود هرزگرد غیر ممکن است .

۲- شدت جریان AC در مدار نیمه کنترل دارای اعوجاج بیشتری می‌باشد .

مزایای مدار نیمه کنترل به تمام کنترل :

۱- حد متوسط ولتاژ خروجی در مدار نیمه کنترل شده بیشتر از مدار تمام کنترل شده است .

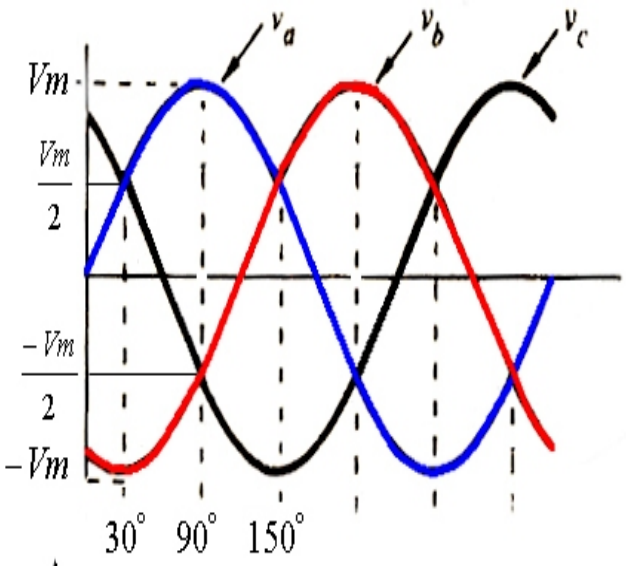
۲- کنترل ولتاژ در رنج α بیشتر امکان‌پذیر است .

۳- پیوسته بودن شدت جریان در رنج بیشتری α از امکان‌پذیر است .

۴- شدت جریان بار برای مدتی از دیود کموتاسیون عبور کرده و تریستور استراحت می‌کند .

۵- مدار ارزانتر تمام میشود .

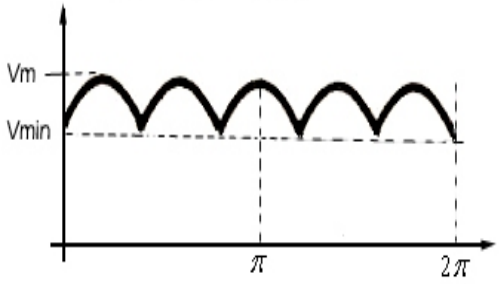
نکات مهم یکسوکننده‌های سه‌فاز :



$$Va = Vm\,Sin\,\omega t$$

$$Vb = Vm\,Sin(\omega t - 120)$$

$$Vc = Vm\,Sin(\omega t - 240)$$
$$(\omega t + 120)$$



$$V\min = Vm\,Cos\frac{\pi}{k}$$

تعداد ریپل

۱- بالا بردن مقدار k ریپل خروجی را کاهش میدهد بطوریکه برای صاف کردن نیازی به خازن بزرگ نمی‌باشد .

۲- هر چه مقدار k زیادتر شود عمل عمل یکسوسازی بهبود پیدا میکند .

۳- اگر بار سلفی باشد با کوچکترین سلف جریان بار صاف خواهد شد .

۴- نقاطی که بر روی $\frac{Vm}{2}$ قرار می‌گیرد بعنوان نقاط صفر یا نقاط کموتاسیون طبیعی معرفی میشوند .

۵– در هر نقطه از ωt اگر خطی عمود بر محور ωt رسم کنیم مجموع ولتاژ آن نقاط (در سه فاز) صفر خواهد بود (به ازای بارهای مساوی کشیده شده از شبکه) بنابراین نقطه N را در عمل به زمین وصل میکنند .

۶– در مورد تریستور مسئله مهم آن است که هدایت تریستور تا زمانیکه به گیت تریستور دیگری فرمان نداده ایم مشروط به اینکه جریان به صفر نرسیده باشد ، ادامه دارد .

۷– پس از روشن شدن تریستور ، تریستور خاموش میشود اگر :

الف : به تریستور دیگری فرمان دهیم .

ب : جریان عبوری از تریستور صفر شود .

$$Vl = Va - Vb = Vm\,Sin\,\omega t - Vm\,Sin\,(\omega t - 120)$$

$$Vl = 2Vm\,Sin\,\frac{\omega t - \omega t + 120}{2} \cdot Cos\,\frac{\omega t + \omega t - 120}{2}$$

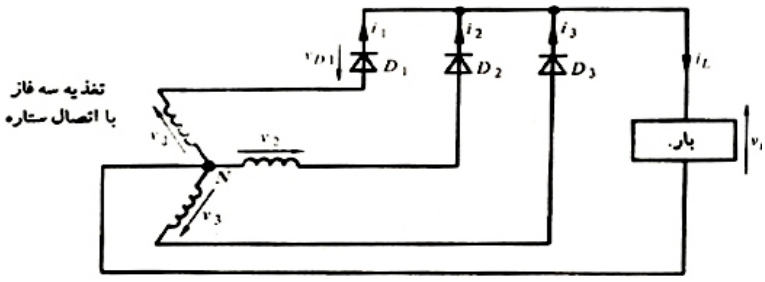
$$Vl = 2Vm\ Sin\ 60\ Cos\,(\omega t - 60)$$

$$Vl = 2Vm \times \frac{\sqrt{3}}{2}\ Cos\,(\omega t - 90 + 30)$$

$$Vl = \sqrt{3}\ Vm \cdot Cos\,(90 - (\omega t + 30))$$

$$Vl = \sqrt{3}\,Vm\ Sin\,(\omega t + 30)$$

یکسوساز سه‌فاز نیم‌موج دیودی :

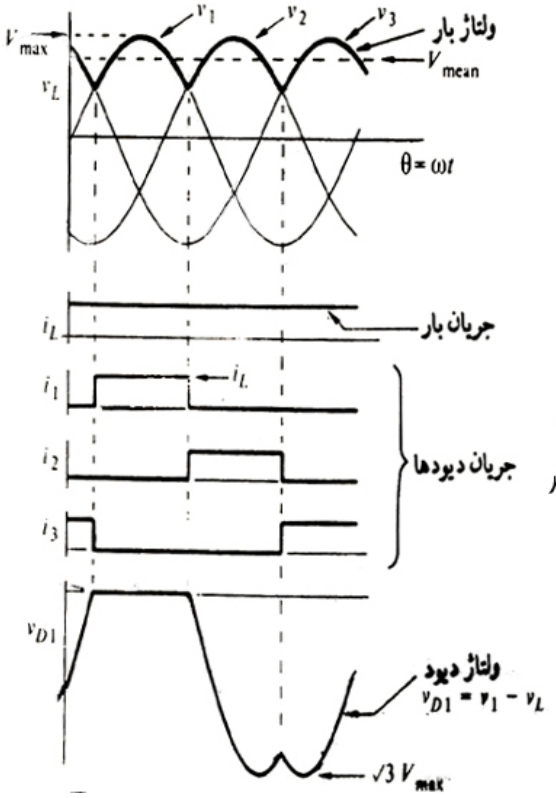


در هر لحظه زمانی تنها یکی از دیودها که ولتاژ آندش بیشترین مقدار را دارد میتواند روشن شود . با روشن شدن این دیود دیودهای دیگر خاموش خواهند بود چرا که کاتدشان به ولتاژ بالاتر متصل میشود .
خاموش خواهند بود چرا که کاتدشان به ولتاژ بالاتر متصل میشود .

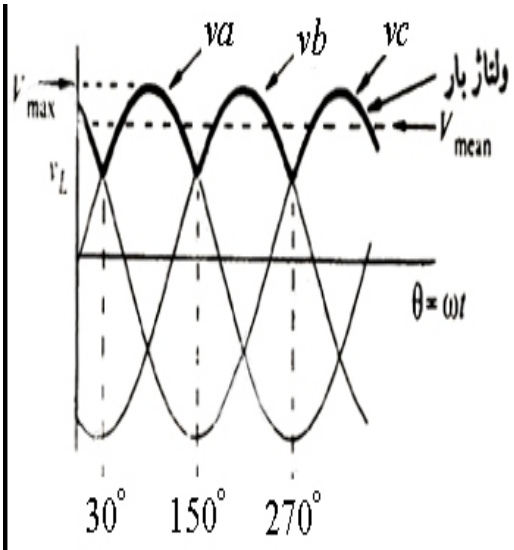
$30 < \omega t < 150$ ← بیشترین ولتاژ $v1$

$150 < \omega t < 270$ ← بیشترین ولتاژ $v2$

$270 < \omega t < 390$ ← بیشترین ولتاژ $v3$



محاسبه ولتاژ متوسط و موثر :



$$Va = Vm\,Sin\,\omega t$$

$$Vb = Vm\,Sin(\omega t - 120)$$

$$Vc = Vm\,Sin(\omega t - 240)$$
$$(\omega t + 120)$$

$$Vrms = \sqrt{\frac{1}{T}\int V^2\,dt}$$

$$Vrms = \sqrt{\frac{1}{\frac{2\pi}{3}}\int_{30}^{150} Vm^2\,Sin^2\,\omega t\,d\omega t}$$

$$Vav = \frac{1}{T}\int V\,dt$$

$$T = 150^\circ - 30^\circ = 120^\circ = \frac{2\pi}{3}$$

$$Vav = \frac{1}{\frac{2\pi}{3}}\int_{30}^{150} Vm\,Sin\,\omega t$$

$$Vav = \frac{3Vm}{2\pi}\left[-Cos\,\omega t\right]_{30}^{150}$$

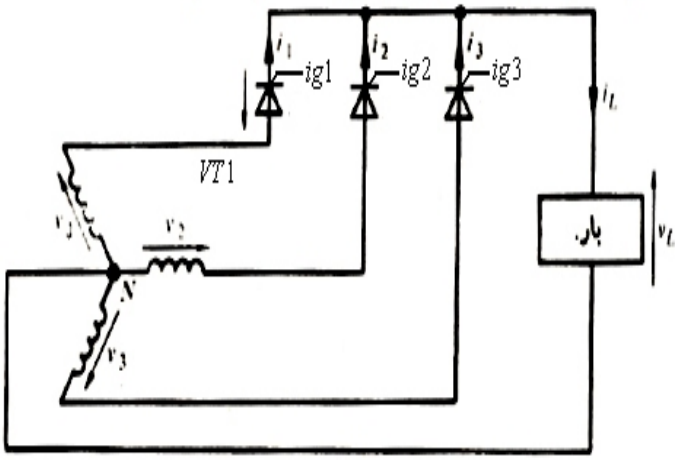
$$= \frac{3Vm}{2\pi}\left[Cos30 - Cos150\right]$$

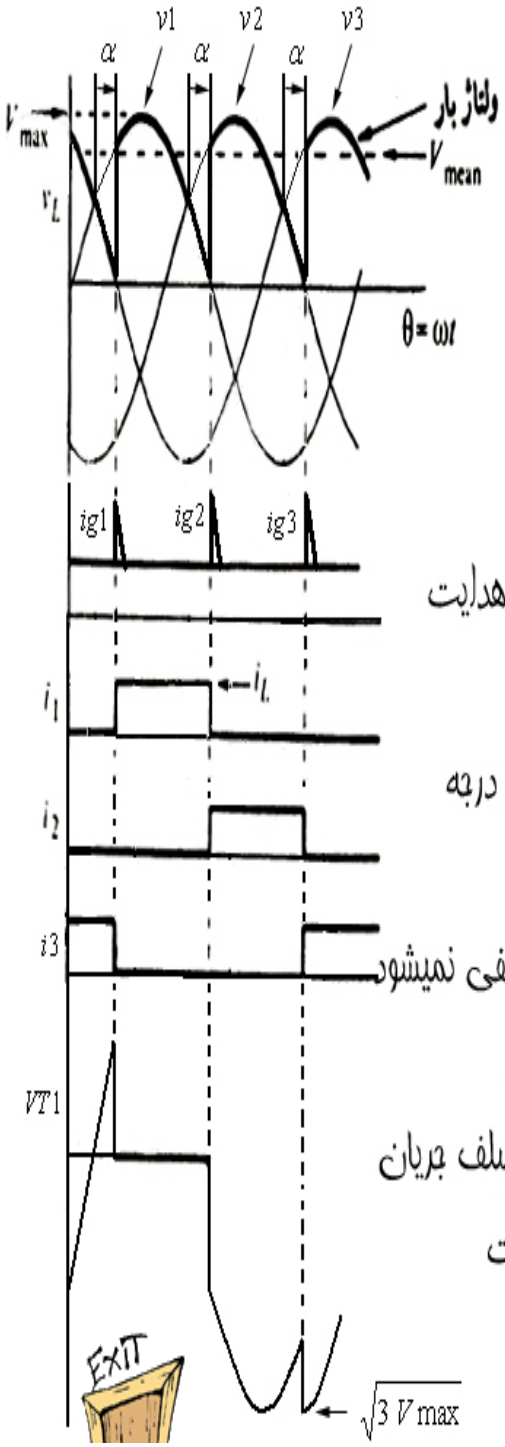
$$Vav = \frac{3Vm}{2\pi}\left[\frac{\sqrt{3}}{2} - \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right]$$

$$Vav = \frac{3\sqrt{3}Vm}{2\pi}$$

BACK

یکسوساز سه‌فاز نیم‌موج تمام کنترل شده :





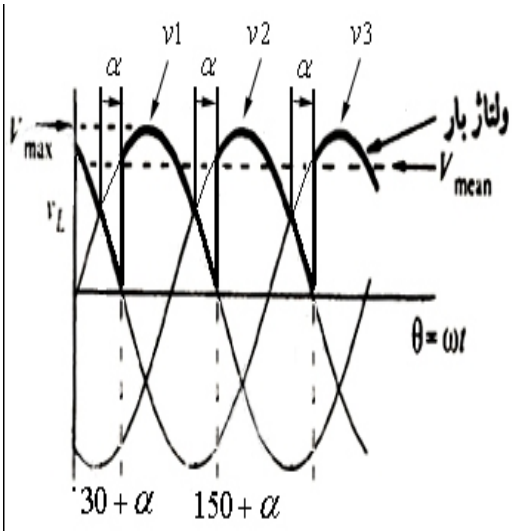
اگر بار سلفی باشد هر تریستور پس از روشن شدن به تنهایی ۱۲۰ درجه هدایت میکند و این حالت برای $\alpha\langle 30^{\circ}$ و $\alpha\langle 30^{\circ}$ صادق است .

اگر بار مقاومتی خالص باشد هر تریستور فقط به ازای $\alpha\leq 30^{\circ}$ میتواند ۱۲۰ درجه هدایت کند .

در حالتی که بار خاصیت سلفی داشته باشد ، برای $\alpha\langle 30^{\circ}$ ولتاژ خروجی منفی نمیشود و تریستور روشن تا زمان فرمان دادن به تریستور بعدی روشن میماند .

با بار سلفی به ازای $\alpha\geq 30^{\circ}$ ولتاژ بار میتواند منفی شود ، چراکه بخاطر اثر سلف جریان جریان تریستور حتی در ولتاژهای منفی نیز تأمین میشود لذا در این حالت نیز تریستور تا فرمان بعدی به تریستور دیگر روشن باقی خواهد ماند .

محاسبه ولتاژ متوسط و موثر :



$$T = (150+\alpha) - (30+\alpha) = 120^{\circ} = \frac{2\pi}{3}$$

$$Vav = \frac{1}{t}\int V\,dt$$

$$Vav = \frac{1}{\frac{2\pi}{3}}\int_{30+\alpha}^{150+\alpha} Vm\,Sin\,\omega t$$

$$Vav = \frac{3Vm}{2\pi}\left[-Cos\ \omega t\right]_{30+\alpha}^{150+\alpha}$$

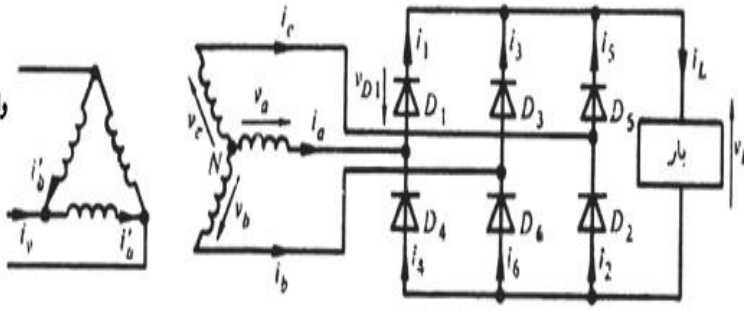
$$Vav = \frac{3Vm}{2\pi}\left[Cos(30+\alpha) - Cos(150+\alpha)\right]$$

$$Vav = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}Vm\,Cos\,\alpha$$

$$Vrms = \sqrt{\frac{1}{T}\int Vm^2\,\omega t\,d\,\omega t}$$

$$Vrms = \sqrt{\frac{1}{\frac{2\pi}{3}}\int_{30+\alpha}^{150+\alpha} Vm^2\,Sin^2\,\omega t\,d\,\omega t}$$

یکسوساز سه‌فاز تمام‌موج دیودی :



فرض‌ها :

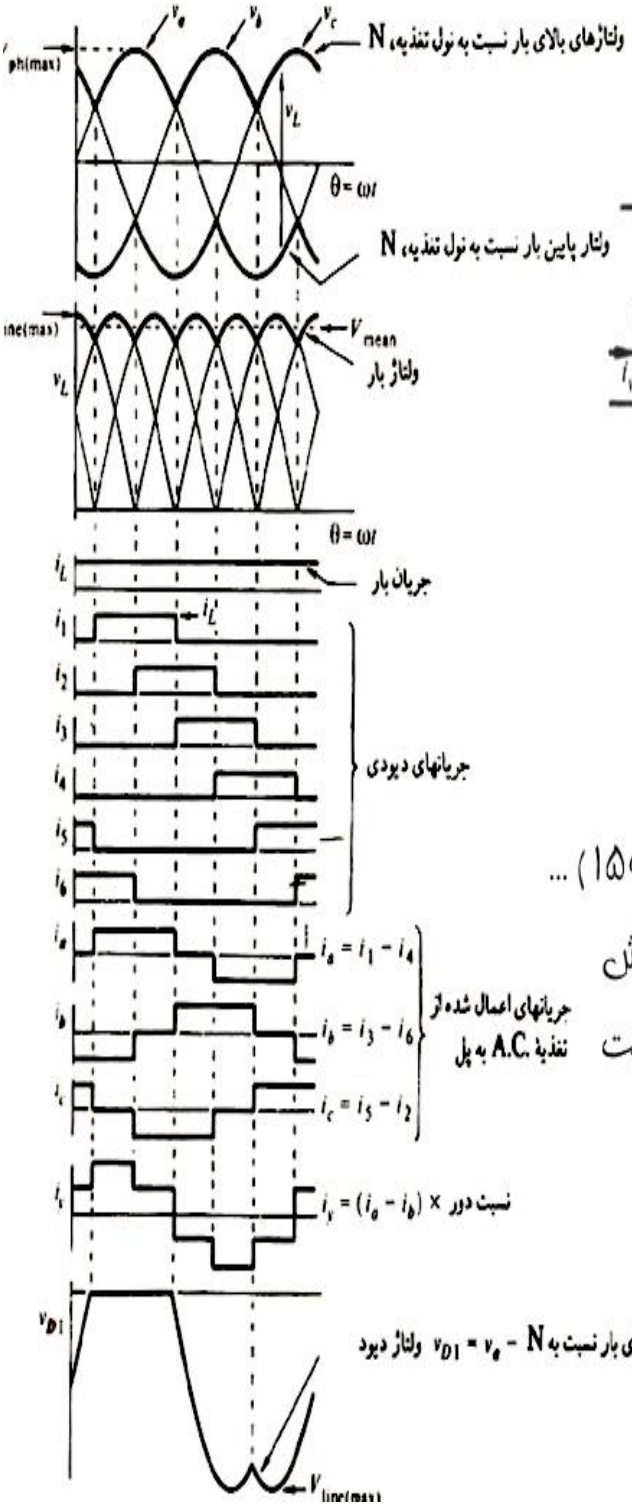
۱- هر دیود به تنهایی ۱۲۰ درجه هدایت میکند .

۲- هر جفت دیود ۶۰ درجه هدایت میکنند .

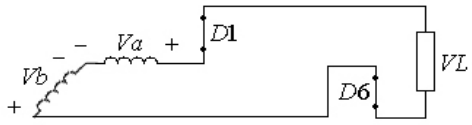
۳- برای تحلیل باید محدوده‌های ۶۰ درجه در نظر بگیریم .

اولین محدوده از ۳۰ درجه شروع میشود (۳۰ تا ۹۰) و (۹۰ تا ۱۵۰) ...

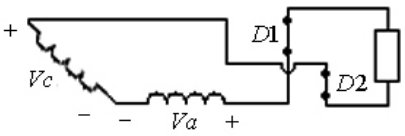
۴- در هر یک از محدوده‌های ۶۰ درجه دیودی که ولتاژ آندش بیشترین مقدار و دیودی که کاتدش کمترین ولتاژ باشد هدایت میکند و دیودهای دیگر خاموش میباشند .



$$30 < \omega t < 90 \begin{cases} D1 = on & \text{بیشترین ولتاژ } Va \\ D6 = on & \text{کمترین ولتاژ } Vb \end{cases} \qquad VL = Va - Vb$$



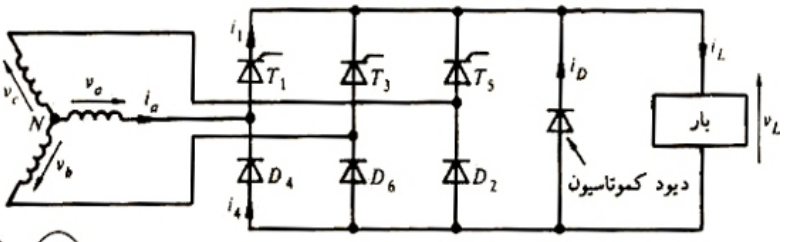
$$90 < \omega t < 150 \begin{cases} D1 = on & \text{بیشترین ولتاژ } Va \\ D2 = on & \text{کمترین ولتاژ } Vc \end{cases} \qquad VL = Va - Vc$$

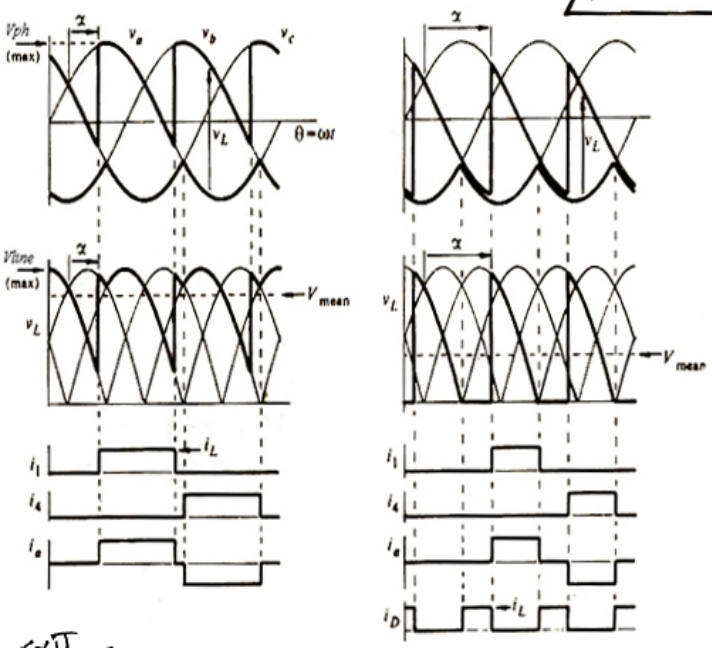


$$150 < \omega t < 210 \begin{cases} D3 = on & \text{بیشترین ولتاژ } Vb \\ D2 = on & \text{کمترین ولتاژ } Vc \end{cases} \qquad VL = Vb - Vc$$

در هر محدودهٔ ۶۰ درجه ولتاژ بار ، برابر با ولتاژ فازی که بیشترین مقدار را دارد منهای ولتاژ فازی که کمترین مقدار را داراست .

یکسوساز سه‌فاز تمام‌موج نیمه کنترل شده :

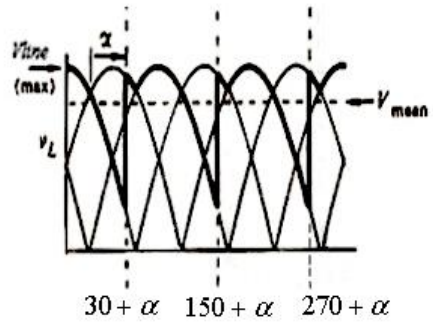




این مدار دارای سه دیود و سه تریستور می‌باشد که وجود دیودها باعث میشود که زوایای آتش آنها صفر گردد . علاوه بر این دیود Fly wheel باعث میگردد تا روی بار ولتاژ منفی وجود نداشته باشد و همچنین باعث میشود تا مقدار ولتاژ متوسط زیادتر گردد .

هنگامی که یکی از ولتاژهای V۱ ، V۲ ، V۳ بیشترین مقدار را داشته باشد دیود وتریستور مربوطه هدایت را انجام میدهد .هر تریستور ۱۲۰ درجه هدایت میکند و یك دیود و تریستور با هم ۶۰ درجه هدایت می‌کنند.

محاسبه ولتاژ متوسط :



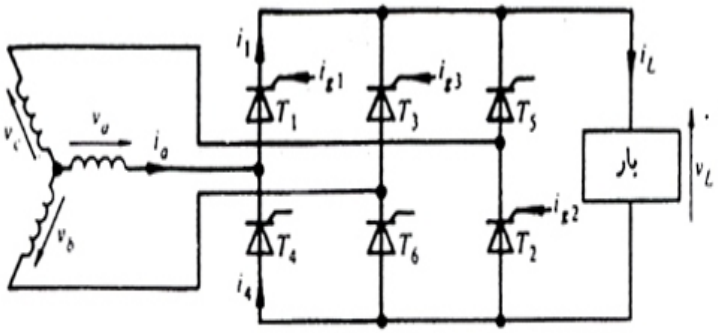
$$T=(150+\alpha-30-\alpha)=120=\frac{2\pi}{3}$$

$$Vav=\frac{1}{T}\int V\,dt$$

$$Vav=\frac{1}{\frac{2\pi}{3}}\left[\int_{30+\alpha}^{90}(Va-Vb)\,d\omega t+\int_{90}^{150+\alpha}(Va-Vc)\,d\omega t\right]$$

$$Vav=\frac{3\sqrt{3}}{2\pi}Vm(1+Cos\alpha)$$

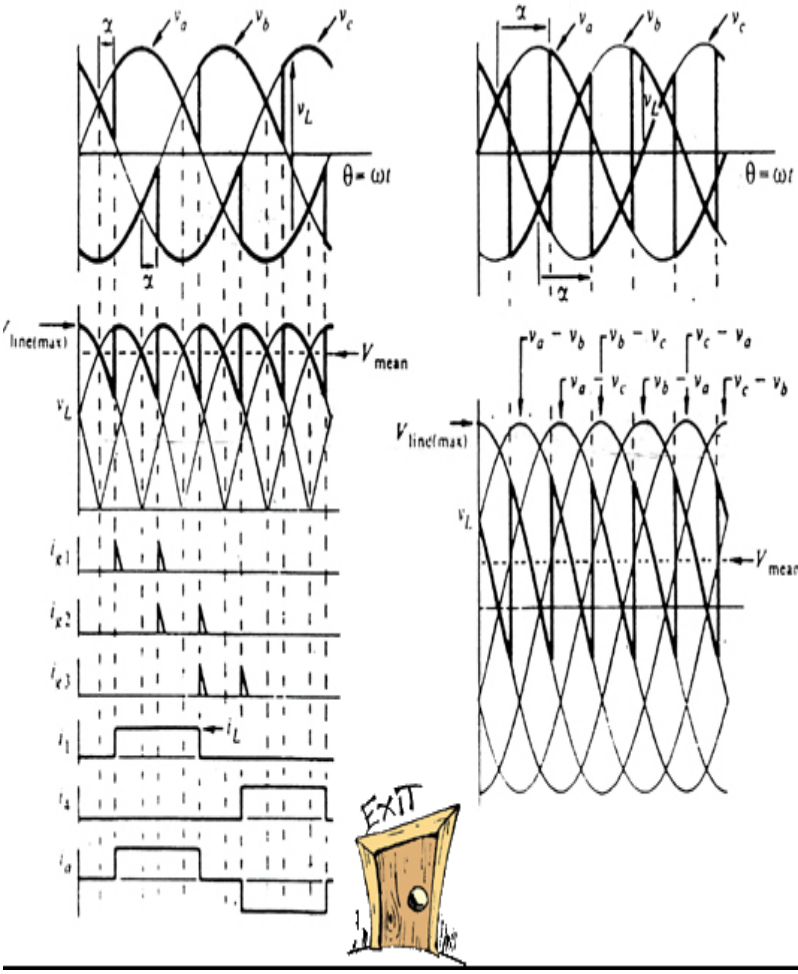
پل تکفاز تمام کنترل شده :



۱- هر تریستور به تنهایی ۱۲۰ درجه هدایت میکند .

۲- هر جفت تریستور ۶۰ درجه هدایت میکند .

۳- زاویه آتش α نسبت به محلهای تقاطع و ولتاژهای فاز در نظر گرفته میشود .یعنی 30° ، 90° ، 150° ، 210° ، 270° ، ... نقطه کموتاسیون طبیعی می‌باشند .



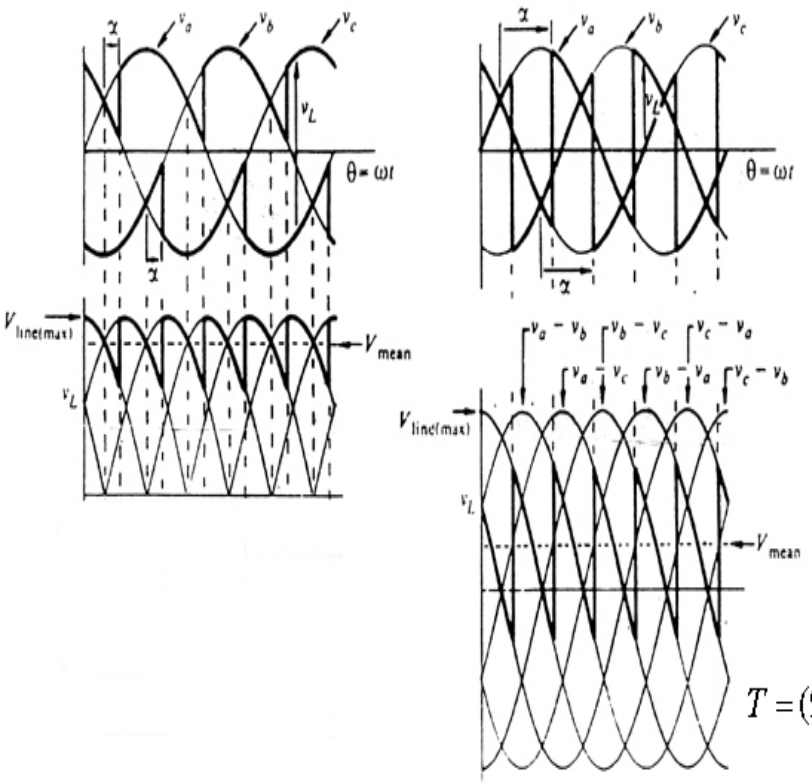
۴- انتقال از یک ولتاژ خط $(Va-Vb)$ به ولتاژ خط دیگر $(Va-Vc)$ زمانی صورت میگیرد که یکی از تریستورها آتش شوند .

عملکرد :

هنگامی که یکی از ولتاژهای Vc,Vb,Va دارای بیشترین مقدار باشد و فرمان آتش به تریستوری که آندش بیشترین ولتاژ را دارد ، داده‌شود آن تریستور عمل هدایت را انجام می‌دهد .

محاسبه ولتاژ متوسط

محاسبه ولتاژ متوسط :



$$T = (90+\alpha) - (30+\alpha) = 60 = \frac{\pi}{3}$$

$$Vav = \frac{1}{T}\int V\,dt = \frac{1}{\frac{\pi}{3}}\int_{30+\alpha}^{90+\alpha}(Va - Vb)\,d\omega t$$

$$Vav = \frac{3}{\pi}\int_{30+\alpha}^{90+\alpha}\left((Vm\,Sin\,\omega t - Vm\,Sin(\omega t - 120)\right)d\omega t$$

$$Vav = \frac{3Vm}{\pi}\left[\int_{30+\alpha}^{90+\alpha} Sin\,\omega t\;dt - \int_{30+\alpha}^{90+\alpha} Sin(\omega t - 120)\right]$$

$$Vav = \frac{3\sqrt{3}}{\pi}Vm\cdot Cos\,\alpha$$

در یك پل سه‌فاز تمام كنترل شده (۶ تریستور) اگر $e = 310\,Sin\,\omega t$ و بار دارای مشخصات $R = 10\Omega$ و $L = 0.1H$ در زاویه $\alpha = 60^\circ$ از نقطه كموتاسیون طبیعی باشد

الف : ولتاژ dc دو سر بار رابدست آورید .

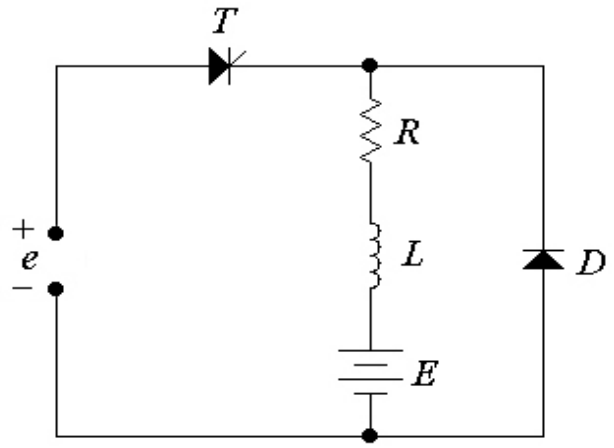
ب : مقدار ولتاژ متوسط و جریان بار را بدست آورید .

در مدار زیر :

الف : در چه زاویه‌ای از فرمان گیت (α) دیود D شروع به هدایت می‌کند .

ب : شکل موج‌های دو سر بار و دو سر تریستور را در $\alpha=10^\circ$ و $\alpha=160^\circ$ رسم کنید .

ج : جریان بار را در $\alpha=40^\circ$ در حالی که دیود از مدار خارج است ، محاسبه کنید .



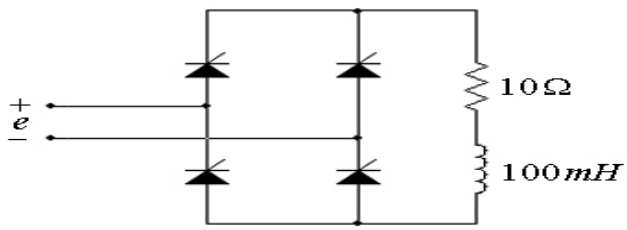
$$e = 100 Sin\,\omega t$$
$$f = 50\,Hz$$
$$R = 10\,\Omega$$
$$L = 100\,mH$$
$$E = 20\,v$$

در مدار زیر :

الف : حداکثر زاویه α برای پیوستگی جریان بار چقدر است .

ب : در زاویه $\alpha = 30^\circ$ شکل موج ولتاژ بار ، جریان بار ، ولتاژ دو سر تریستور را رسم نمائید .

ج : مقدار ولتاژ متوسط بار و جریان متوسط در زاویه $\alpha = 30^\circ$ چقدر است .



$$f = 50\,Hz$$
$$e = 300 Sin\,\omega t$$

چاپر ها:

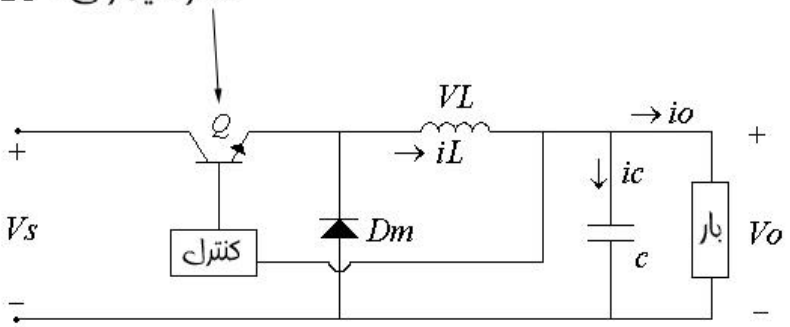
مقدمه :

برشگر ولتاژ dc را به ولتاژ متغیر dc تبدیل میکند و برای کنترل سرعت موتورهای dc بکار می‌رود .
چاپرها در رگولاتورهای تغییر دهنده حالت جهت تبدیل یك ولتاژ dc (معمولاً تثبیت نشده) به یك ولتاژ خروجی تثبیت شده بکار می‌روند .

رگولاتورهای تغییر دهنده حالت بصورت مدارهای مجتمع نیز ساخته می‌شوند .
مانند : $HIP\,5020$ متعلق به کمپانی هریس

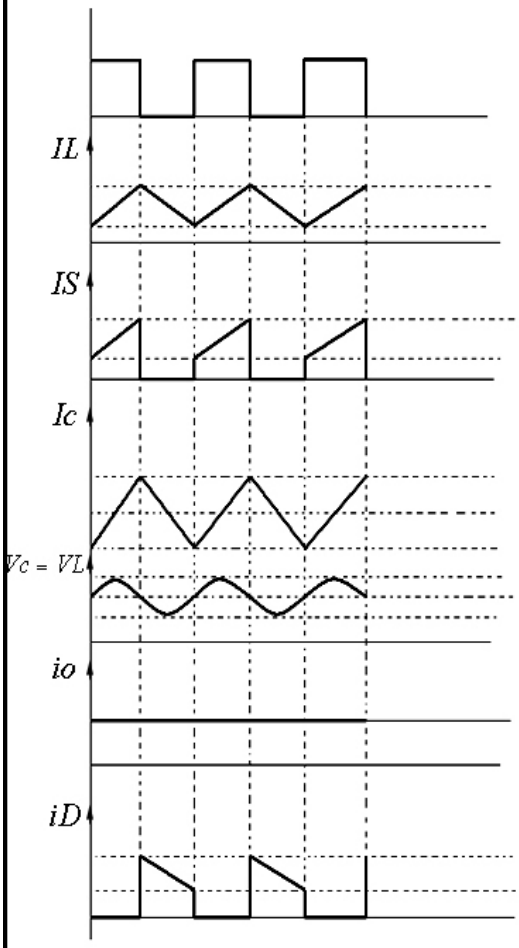
رگولاتور باک (Buck)

عنصر کلید زنی : $BJT = MosFET = IGBT$



در رگولاتور باک مقدار متوسط ولتاژ خروجی از ولتاژ ورودی کمتر است . (چاپر کاهشی پله‌ای)

روابط مهم در رگولاتور باک :



جریان ریپل پیک تا پیک اندوکتانس فیلتر $\Delta I=\frac{\alpha(1-\alpha)\cdot Vs}{f\cdot L}$

مقدار متوسط ولتاژ خروجی $Va=\alpha\cdot Vs$

ولتاژ ریپل خروجی (ولتاژ خازن یا بار) $\Delta Vc=\frac{\Delta I}{8f\cdot C}$

فرکانس کلید زنی $f=\frac{Va\ (Vs-Va)}{L\cdot Vs\cdot \Delta I}$

دوره کاری (سیکل کاری) α

مزایای رگولاتور باک :

۱- رگولاتور باک ساده و بازده آن بالا می‌باشد ، بیشتر از ٪۹۰

۲- فقط به یک ترانزیستور نیاز دارد .

۳- $\frac{di}{dt}$ جریان بار توسط سلف محدود می‌شود .

۴- در شرایط عادی توانایی تحویل ۱۰۰۰W توان به بار را دارد .

معایب رگولاتور باک :

۱– به منظور تثبیت خروجی لازم است ولتاژ ورودی حداقل ۱ تا ۲ ولت از ولتاژ خروجی بیشتر باشد .

۲– جریان ورودی ناپیوسته است و معمولاً به یک فیلتر ورودی هموارکننده نیاز دارد .

۳– ولتاژ خروجی تنها یک قطبیت دارد و جریان بار یک سویه است .

۴– هنگامی که کلید (ترانزیستور) روشن می‌شود ، هنوز دیود روشن است که به آسیب دیدگی کلید و دیود منجر می‌شود . لذا باید از یک دیود سریع استفاده کرد و یا برای دیود مدار محافظ بکار برد .

۵– سوئیچ‌های قدرت در هنگام سوختن اتصال کوتاه می‌شوند که در این حالت خروجی به ورودی متصل میشود

راه حل : حس کردن تغییرات سریع جریان بار و انتقال آن به یک *SCR* موازی

مثال:

در یک رگولاتور باک ولتاژ ورودی برابر $12v$ است . مقدار متوسط ولتاژ خروجی مورد نیاز $5v$ و ولتاژ ریپل خروجی پیک تا پیک $20mv$ است . فرکانس کلیدزنی برابر $25kHz$ می‌باشد . اگر جریان ریپل پیک تا پیک سلف به $0.8A$ محدود شود ، تعیین کنید :

الف : دوره کاری

ب : اندوکتانس فیلتر (L)

ج : خازن فیلتر (C)

داده‌های مسئله

$$\begin{cases} Vs = 12v \\ \Delta Vc = 20mv \\ \Delta I = 0.8A \\ Va = 5v \\ f = 25kHz \end{cases}$$

$$Va = \alpha Vs \longrightarrow \alpha = \frac{Va}{Vs} = \frac{5}{12} = 0.4167 \Rightarrow \%41.67$$

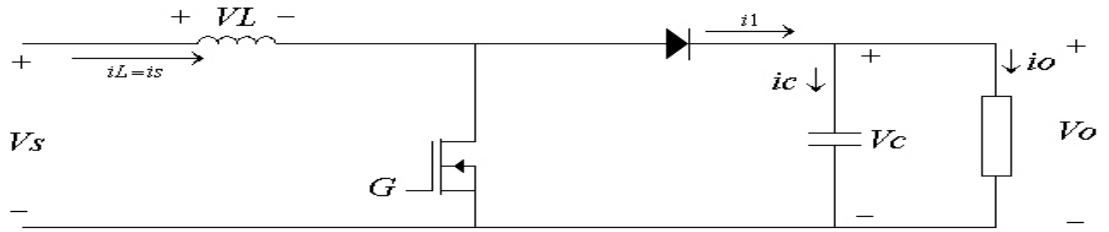
$$\Delta I = \frac{\alpha(1-\alpha)}{f \cdot L} \Rightarrow L = \frac{\alpha(1-\alpha)}{f \cdot \Delta I} = \frac{0.4167(1-0.4167)\times 12}{25\times 10^3 \times 0.8}$$

$$L = 145.83\,\mu H$$

$$\Delta Vc = \frac{\Delta I}{\Delta f C} \Rightarrow C = \frac{\Delta I}{\Delta f \cdot \Delta Vc} = \frac{0.8}{8\times 20\times 10^3 \times 20\times 10^{-3}}$$

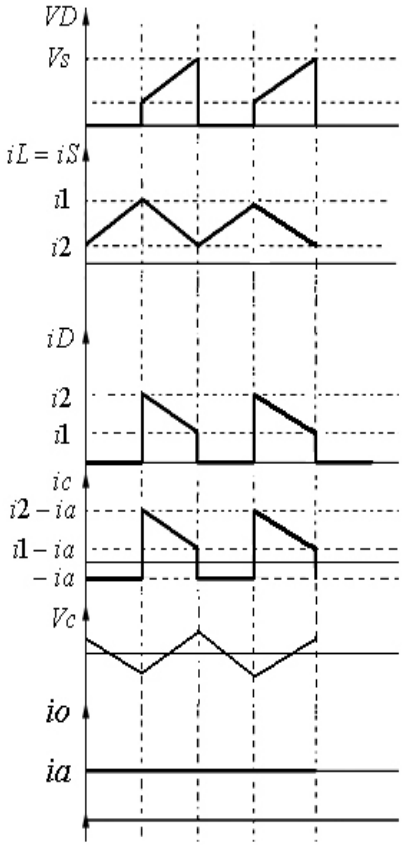
$$c = 200\,\mu H$$

رگولاتور بوست (Boost)



در رگولاتور بوست ولتاژ خروجی بیشتر از ولتاژ ورودی است . (چاپر افزاینده)

روابط مهم در رگولاتور بوست :



مقدار متوسط ولتاژ خروجی

$$Va = \frac{T}{T\,off} Vs \;=\; Va = \frac{1}{1-\alpha} Vs$$

فرکانس کلیدزنی

$$f = \frac{Vs(Va - Vs)}{L \cdot Va \cdot \Delta I}$$

جریان ریپل سلف

$$\Delta I = \frac{\alpha \cdot Vs}{f \cdot L}$$

ولتاژ ریپل خازن فیلتر

$$\Delta Vc = \frac{\alpha \cdot Ia}{f \cdot C}$$

مقدار متوسط جریان خروجی

$$Ia = (1-\alpha) Is$$

مزایای رگولاتور بوست :

۱– رگولاتور بوست بدون استفاده از ترانسفورماتور ولتاژ خروجی را افزایش می‌دهد .

۲– بخاطر داشتن فقط یک ماسفت (MosFET) بازده خوبی دارد .

۳–جریان ورودی پیوسته است اگرچه جریانی با پیک بالا بالاجبار از ماسفت قدرت عبور خواهد کرد .

معایب رگولاتور بوست :

۱– ولتاژ خروجی در برابر تغییرات α خیلی حساس است و پایدار کردن رگولاتور ممکن است مشکل باشد .

۲– مقدار متوسط جریان خروجی $(1-\alpha)$ برابر ، از مقدار متوسط جریان سلف (ورودی) کوچکتر است .

۳– جریان موثر خیلی بزرگی از خازن فیلتر عبور می‌کند که باعث می‌شود مجبور شویم از خازن فیلتر بزرگتر و سلف بزرگتری نسبت به رگولاتور باک استفاده کنیم .

مثال:

در یک رگولاتور بوست ولتاژ ورودی $Vs=5v$ است . ولتاژ خروجی متوسط $Va=15v$ و جریان متوسط بار برابر $0.5A$ میباشد فرکانس کلیدزنی $25kHz$ میباشد . اگر $L=150\mu H$ و $C=220\mu F$ باشد ، تعیین کنید :

الف : سیکل کاری α

ب : جریان ریپل سلف (ΔI)

ج : مقادیر حداقل و حداکثر جریان سلف

د : ولتاژ ریپل خازن فیلتر (ΔVc)

$$Vo=\frac{Vs}{1-\alpha}\Rightarrow 1-\alpha=\frac{Vs}{Vo}\longrightarrow \alpha=1-\frac{Vs}{Vo}$$

$$\Rightarrow \alpha=1-\frac{5}{15}=1-\frac{1}{3}=\frac{2}{3}=0.6667$$

$$\Delta I=\frac{Vs(Va-Vs)}{f\cdot L\cdot Va}=\frac{5\times(15-5)}{25000\times150\times10^{-6}\times15}=0.89A$$

$$Is=\frac{Ia}{1-\alpha}\Rightarrow Is=\frac{0.5}{1-\frac{2}{3}}\Rightarrow Is=1.5A$$

$$i2=Is+\frac{\Delta I}{2}=1.5+\frac{0.89}{2}=1.945A$$

$$i1=Is-\frac{\Delta I}{2}=1.5-\frac{0.89}{2}=1.055A$$

$$\Delta Vc=\frac{\alpha\cdot Ia}{f\cdot c}=\frac{0.6667\times0.5}{25\times10^{3}\times220\times10^{-6}}=60.61mv$$

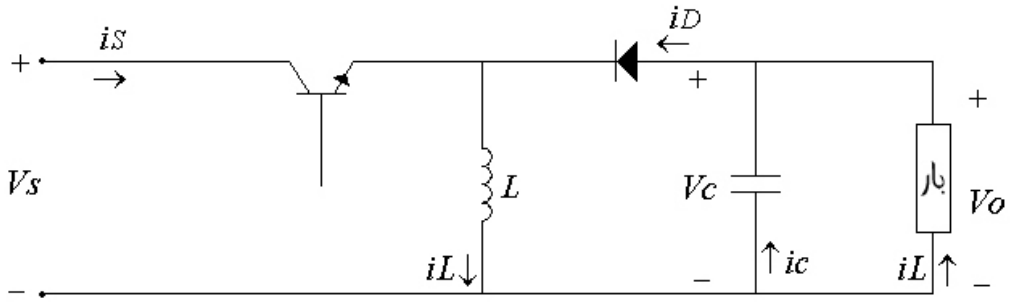
مشخصات رگولاتور باک . بوست :

۱– ولتاژ خروجی رگولاتور باک . بوست می‌تواند از ولتاژ ورودی کمتر یا بیشتر باشد .

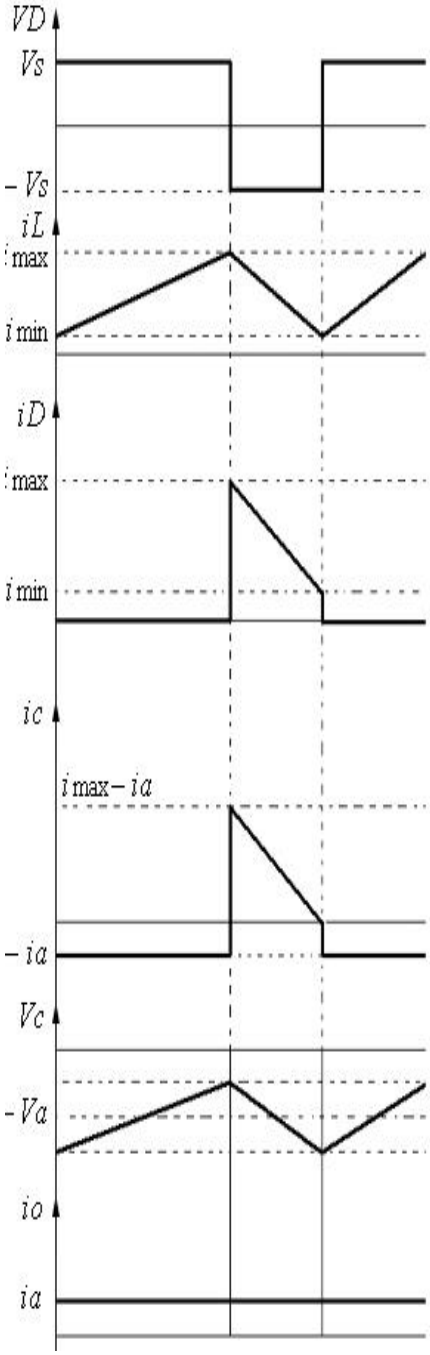
۲– قطبیت ولتاژ خروجی مخالف ولتاژ ورودی است .

۳– این رگولاتور با نام رگولاتور معکوس‌کننده نیز شناخته می‌شود .

رگولاتور باک . بوست (Buck . Boost)



روابط مهم در رگولاتور باک . بوست :



مقدار متوسط ولتاژ خروجی

$$Va = \frac{-\alpha}{1-\alpha}$$

مقدار متوسط جریان خروجی

$$Ia = \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot Is$$

جریان ریپل پیک تا پیک سلف

$$\Delta I = \frac{\alpha \cdot Vs}{f \cdot L}$$

ولتاژ ریپل پیک تا پیک خروجی

$$\Delta Vc = \frac{Ia \cdot \alpha}{f \cdot C}$$

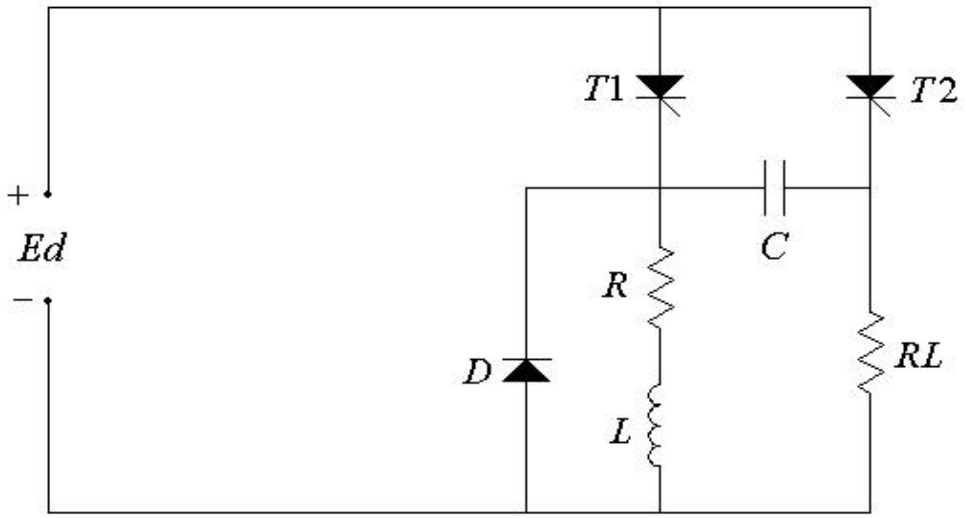
مزایای رگولاتور باک . بوست :

۱– بدون استفاده از ترانسفورماتور عمل معکوس کردن قطبیت ولتاژ خروجی را انجام می‌دهد .
۲– بازده بالایی دارد .
۳– تحت وضعیت خطای ترانزیستور ، $\frac{di}{dt}$ جریان خطا توسط سلف L محدود شده و برابر با $\frac{Vs}{L}$ میشود .
۴– پیاده‌سازی محافظت در برابر اتصال کوتاه خروجی ساده می‌باشد . گر چه جریان ورودی ناپیوسته است و جریان با پیك بالایی از ترانزیستور می‌گذرد .

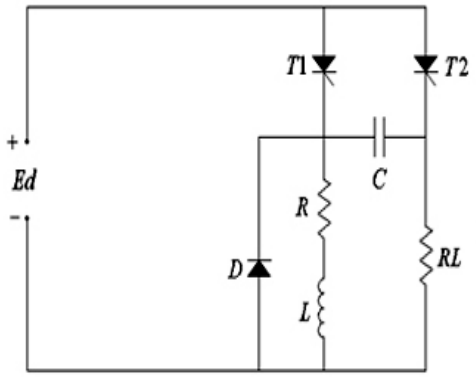
معایب رگولاتور باک . بوست :

۱– α این رگولاتور به ویژه وقتی که نیاز به تغلیه انرژی هسته است به ۵۰٪ محدود می‌شود .
۲– این آرایش تنها قابلیت تحویل توان در حدود ۱۰۰W را دارد .

(Basic Chapper)



(Basic Chapper)

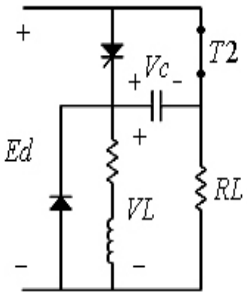


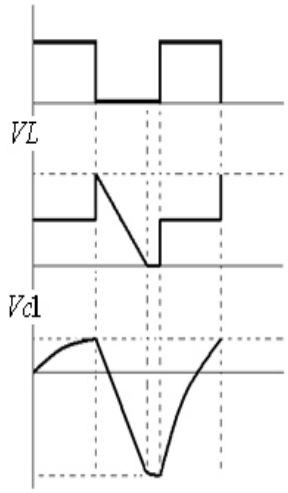
اگر در زمان $\alpha 1$ به تریستور $T1$ فرمان دهیم ، با روشن شدن $T1$ ولتاژ بر روی بار می‌افتد و خازن C از طریق RL شروع به شارژ میکند . در این حالت ولتاژ سمت چپ خازن بیشتر از ولتاژ سمت راست آن خواهد بود .

$$VL = Ed$$

و خازن با رابطه مقابل شارژ میشود $$Vc(t) = Ed(1 - e^{\frac{-t}{Rl \cdot C}})$$

قبل از آنکه ولتاژ خازن به Ed برسد مثلاً در ولتاژ $Vc1 \langle Ed$ تریستور $T2$ را فعال میکنیم با فعال شدن $T2$ مدار به شکل زیر در آمده و پلاریته منفی خازن بر روی آند $T1$ افتاده و آنرا خاموش میکند .





با توجه به شکل وبا فرض اینکه ولتاژ اولیه خازن در زمان فعال شدن $T2$ برابر $Vc1$ است خواهیم داشت :

$$kvl : -Vc1 + VL - Ed = 0$$

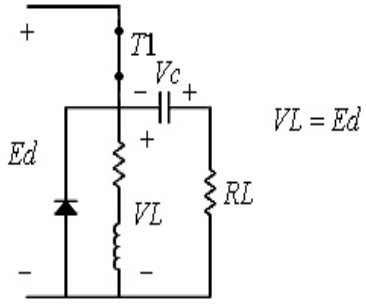
$$VL - Ed + Vc1$$

همچنین خازن C با توجه به پلاریته ورودی Ed از طریق بار سریعاً به مقدار Ed شارژ خواهد شد . باید توجه داشت که ولتاژ خازن پس از شارژ به گونه‌ای است که ولتاژ سمت راست آن مثبت‌تر از ولتاژ سمت چپش می‌باشد . (بخاطر پلاریته ورودی)

پس از رسیدن ولتاژ خازن به مقدار Ed ولتاژ بار به صفر می‌رسد $\longleftarrow$ $VL = Ed + (-Ed) = 0$

و بعلت وجود داشتن دیود کموتاسیون این ولتاژ نمیتواند منفی شود در نتیجه ولتاژ خروجی بر روی صفر قرار گرفته و جریان در این حالت ولتاژ خازن بر روی مقدار Ed – ثابت میماند .

حال اگر دوباره تریستور $T1$ فعال شود نظیر حالت قبل پلاریته منفی خازن بر روی آند $T2$ افتاده و آنرا قطع میکند و مدار به حالت اول خود باز می‌گردد . در این حالت خواهیم داشت :



$$\begin{cases} Vc(0^-) - Vc(0^+) = -Ed \\ Vc(\infty) = Ed \end{cases} \Rightarrow Vc = Ed + (-Ed - Ed)\cdot e^{\frac{-t}{RL\cdot C}}$$

$$Vc = Ed(1 - 2\,e^{\frac{-t}{RL\cdot C}})$$

محاسبه ولتاژ متوسط بار :

$$Vav = \frac{1}{T}\int V\,dt$$

$$Vav = \frac{1}{T}(t1 \times Ed + \frac{1}{2}\,t2 \times (Ed + Vc1)$$

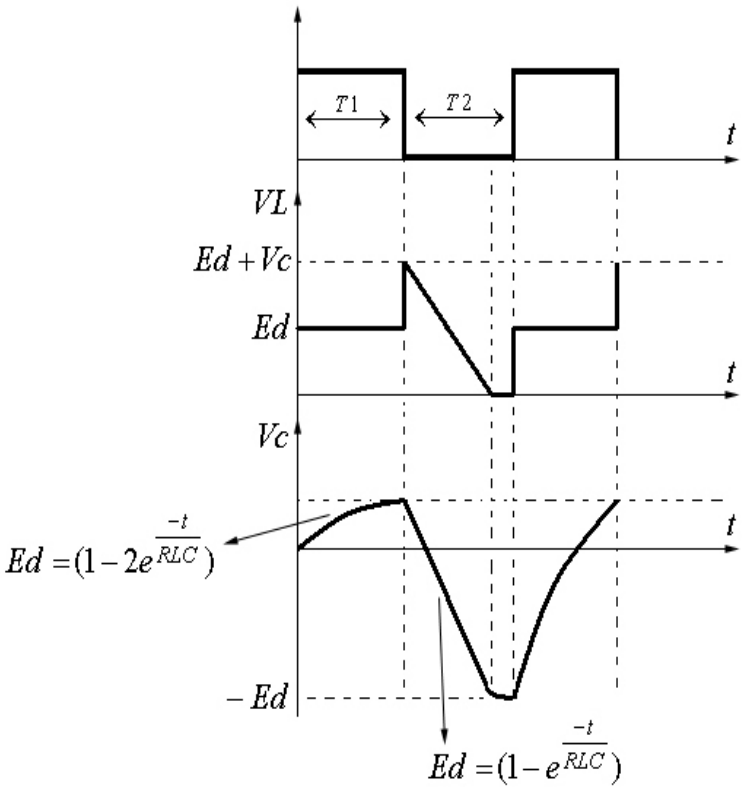
$$if \rightarrow Vc1 \approx Ed \longrightarrow Vav = \frac{t1+t2}{T} \times Ed$$

$$t1+t2 = t\ on$$

$$b = t\ off$$

$$T = t\ on + t\ off$$

$$\boxed{Vav = \frac{t\ on}{T} \cdot Ed}$$



با تغییر $t1$ و $t2$ میتوان مقدار VL را تغییر داد

مزایا و معایب Basic Chapper :

۱– مدار بسیار ساده است .

۲– خازن کموتاسیون بطور اتوماتیك با آتش کردن $T1$ شارژ می‌شود .

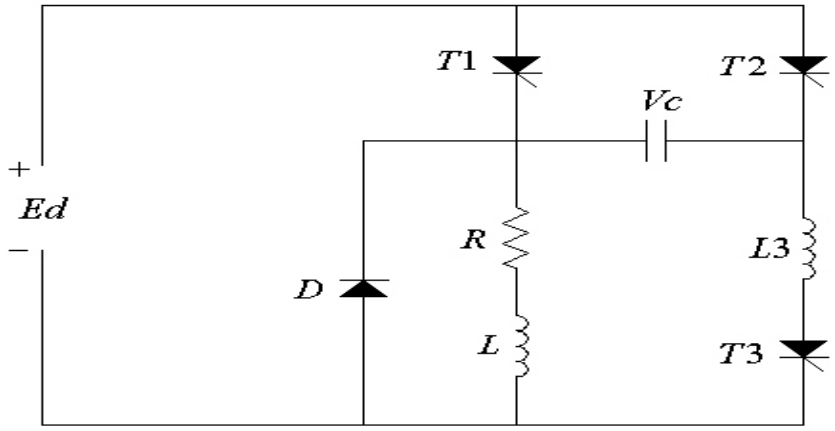
۳– اگر RL بزرگ باشد ثابت زمانی RLC مربوط به شارژ خازن C افزایش می‌یابد و ولتاژ خازن دیرتر به مقدار مورد نیاز Vc خواهد رسید و زمان $t1$ و $t\ on$ افزایش می‌یابد . این امر موجب زیاد شدن ولتاژ متوسط خروجی می‌شود .

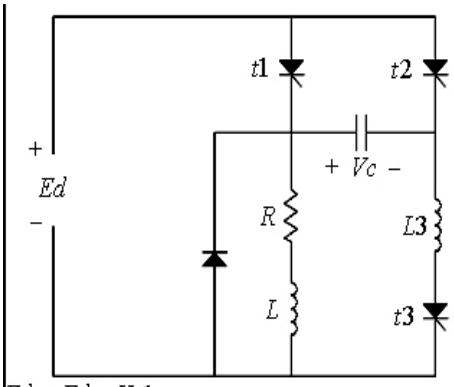
۴– بخاطر بالا بودن مقدار R این مدار فقط در فرکانسهای پایین کاربرد دارد .

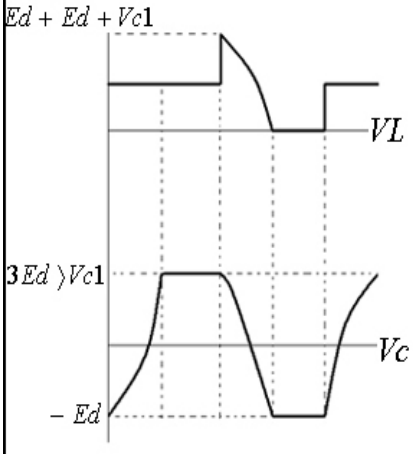
۵– بخاطر بالا بودن مقدار R مدار بازده خوبی نداشته و برای مدارات توان بالا مصرفی ندارد .

۶– ولتاژ ناگهانی $2Ed$ بر روی بار حس میشود .

3 Thyristor Chapper







3 Thyristor Chapper

در زمان روشن بودن همزمان $T1$, $T3$ خازن C از طریق L بصورت نوسانی شارژ میشود این امر سبب می‌گردد که جریان عبوری در زمان روشن بودن $L3$ بصورت تقریباً سینوسی درآید .

$$V_{AK3} - Ed + Vc = 0$$

$$V_{AK} = Ed - Vc$$

در نقطه α تریستور $T3$ خاموش میشود درنتیجه ولتاژ خازن همچنان بر روی $Vc1$ حفظ می‌گردد از این لحظه به بعد میتوان $T2$را برای خاموش کردن $T1$ روشن نمود . با روشن شدن $T2$ ولتاژ خازن که نزدیک $3Ed$ است بر روی $T1$ افتاده و آن را خاموش میکند در این حالت شدت جریان ثابت بار از طریق $T2$ و C تأمین میشود .

نظیر حالت قبل خازن از طریق مقاومت بار شروع به شارژ و دشارژ میکند تا ولتاژ آن به مقدار Ed – برسد (پایه سمت راست ولتاژش مثبت‌تر شود) با رسیدن ولتاژ خازن به Ed – ، دیود $Flyweel$ فعال شده و نمیگذارد ولتاژ بار منفی شده و ولتاژ خازن از مقدار Ed افزایش یابد . تریستور $T2$ به خاطر کاهش جریان از Ih خاموش شده و سیکل ادامه می‌یابد .

مزایا و معایب 3 Thyristor Chapper

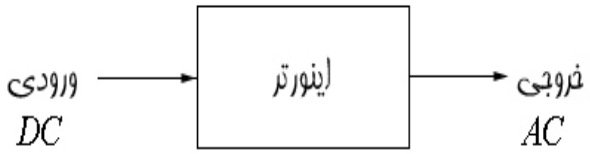
۱– از مدار قبل بازده بیشتری دارد ولی سه تریستور در آن قرار گرفته است .
۲– خازن C بصورت خودکار با روشن شدن $T1$ و $T3$ شارژ میشود .
۳– شارژ خازن C سریعتر از مدار قبل (Basic chapper) اتفاق می‌افتد .
۴– پیک شدت جریانی که از $T1$ عبور می‌کند میتواند خیلی زیاد باشد بخصوص اگر $L3$ کوچک باشد .
۵– ولتاژ ناگهانی حدود $4Ed$ بر روی بار احساس میشود .

اینورتر ها:

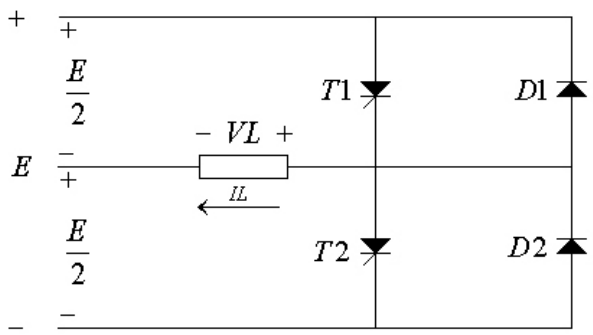
مقدمه :

می‌دانیم یکسوسازی به معنی تبدیل یک موج جریان متناوب به جریان مستقیم است .گاهی اوقات ما عکس این عمل را انجام می‌دهیم . یعنی جریان مستقیم باتری را به موج جریان متناوب تبدیل میکنیم تا آنرا در مصرف‌کننده‌های AC بکار ببریم .
به این عمل که عکس عمل یکسوسازی است Inverting یا Converting گفته می‌شود .

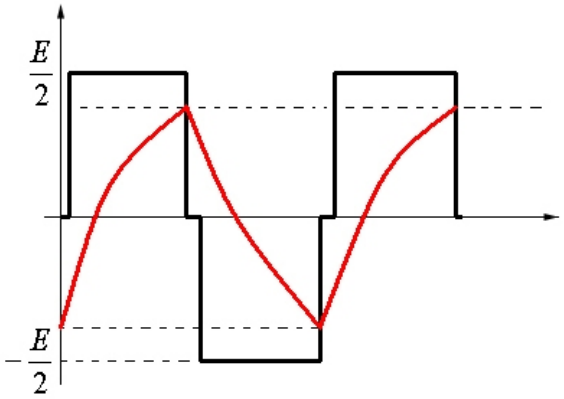
عمده‌ترین کاربرد این مدارات در دستگاههای برق اضطراری موسوم به UPS می‌باشد .



اینورتر :



دیودهای فیدبک $\Rightarrow$ $D1, D2$



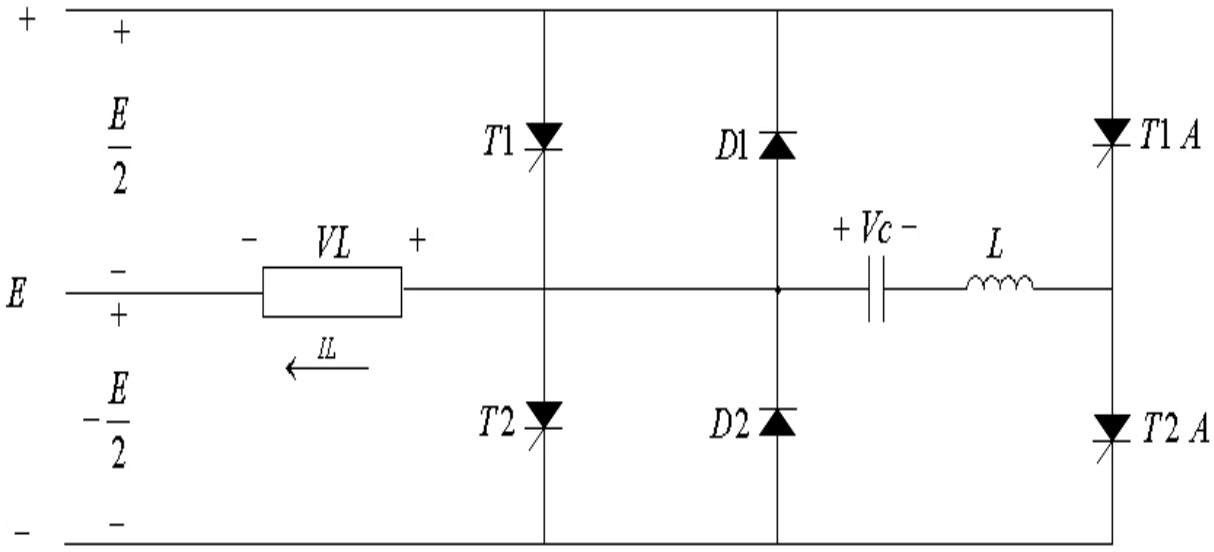
معایب اینورتر :

عیب عمده مدار این است که در صورت روشن شدن هر دو تریستور کنترل مدار از دست ما خارج می‌شود . چون منبع ورودی دارای ولتاژ مستقیم میباشد در صورت روشن شدن تریستور به آسانی نمیتوان آنرا خاموش کرد . برای اینکه کنترل مطمئن‌تری روی مدار داشته باشیم دو راه وجود دارد :

۱– استفاده از مدارات تریستوری پیچیده‌تر با قابلیت اطمینان بالا

۲– حذف تریستور و استفاده از ترانزیستورهای قدرت

مدار اصلاح شده ۱

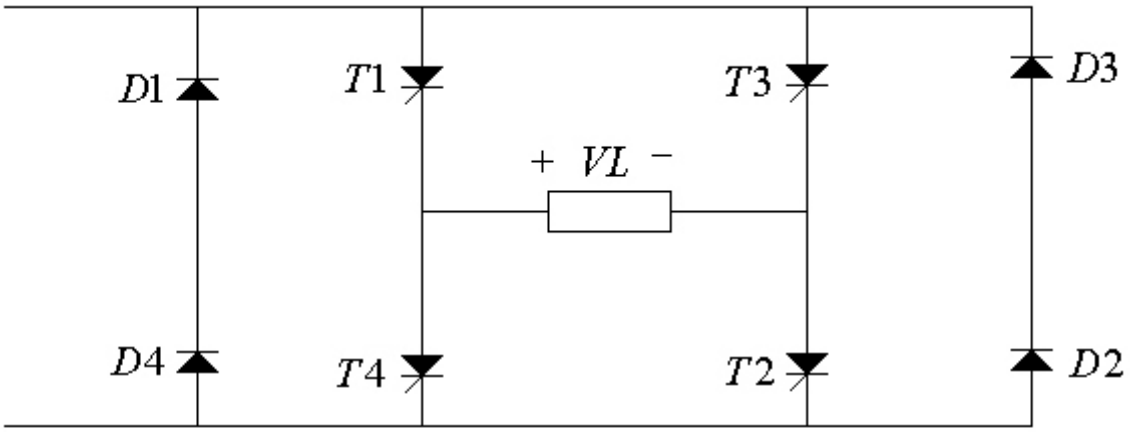


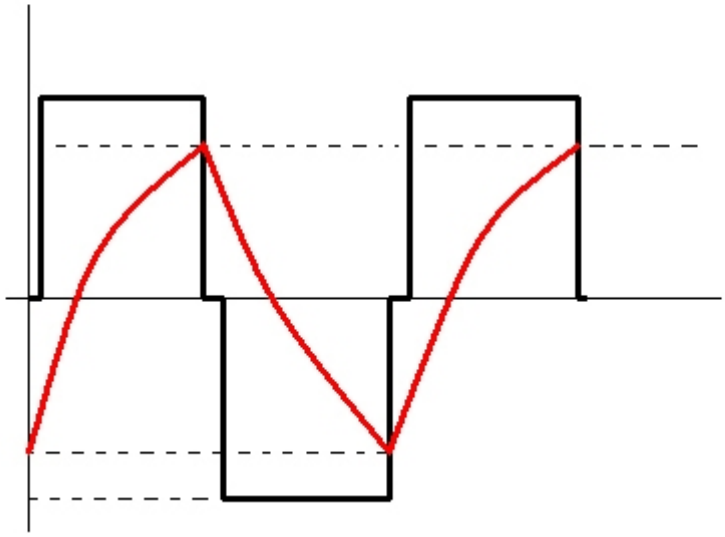
در مرحله اول به $T1$ فرمان می‌دهیم با این عمل خازن شارژ میشود . زمانی که به $T1\ A$ فرمان دهیم ولتاژ منفی خازن بر روی آند $T1$ افتاده و باعث خاموشی آن میشود .

در مرحله دوم به $T2$ فرمان می‌دهیم در این حالت پلاریته ولتاژ خازن عوض شده و اگر به $T2\ A$ فرمان دهیم ولتاژ منفی خازن که در سمت چپ خازن وجود دارد بر روی آند تریستور $T2$ افتاده و باعث خاموش شدن $T2$ می‌شود .

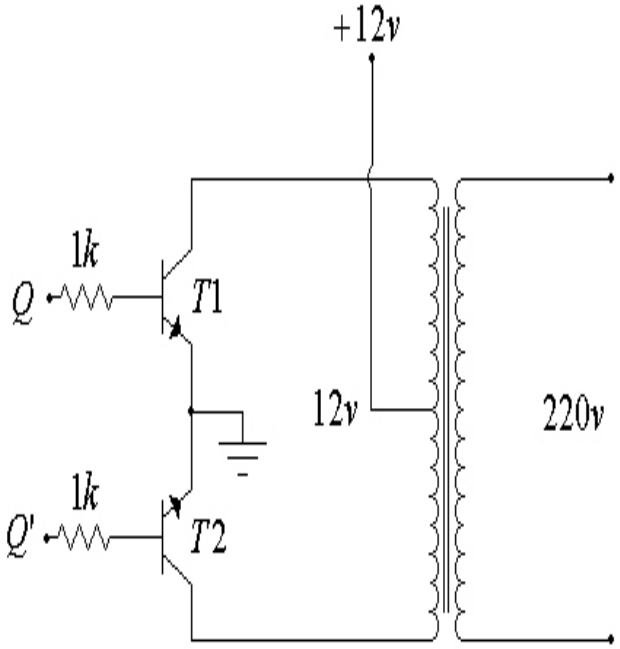
وجود L در مدار باعث میشود که مدار بصورت مدار درجه دوم درآمده و سرعت پاسخ‌دهی آن افزایش یابد .

مدار اصلاح شده ۲





مدار پیش نهاد شده عملی :



Q و Q' خروجی یك مولتی‌ویبراتور آستابل (مولد موج مربعی= آی‌سی 4047) که روی فرکانس ۵۰ هرتز تنظیم شده است .