

الکترونیک قدرت
Power Electronic

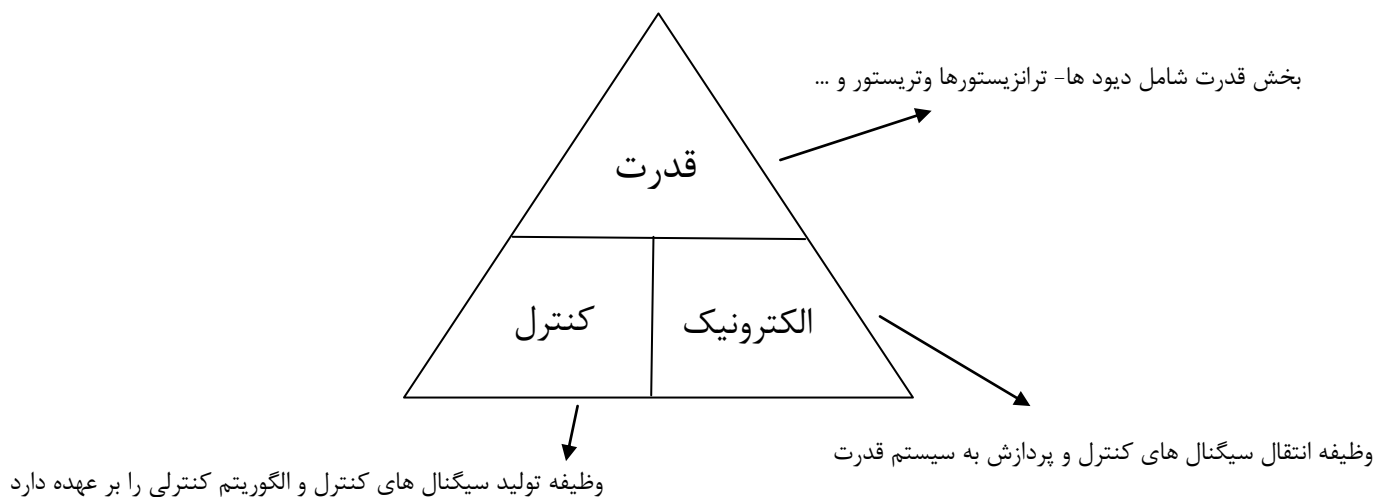
استاد نیل کار

تجه و تنظیم: سید محمد پور

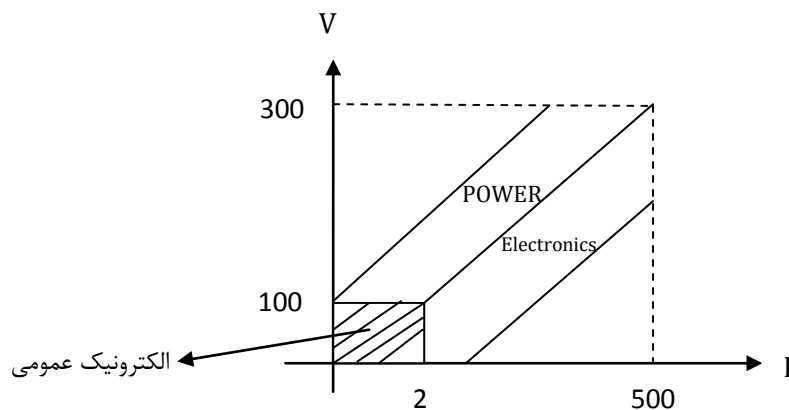
۲.....	تاریخچه الکترونیک قدرت
۲.....	خصوصیات المان های الکترونیک قدرت
۳.....	تقسیم بندی مبدل های الکترونیک قدرت
۳.....	المانهای الکترونیک قدرت
۴.....	منحنی مشخصه دیود
۵.....	انواع دیود های قدرت
۶.....	مقدمه ای بر معادلات دیفرانسیل
۷.....	مدار R-L سری با منبع ولتاژ DC
۷.....	دیود همراه با بار RL و منبع DC
۸.....	فرم کلی معادلات شارژ و دشارژ
۸.....	دیود همراه با بار RC و منبع DC
۹.....	دیود چرخش آزاد (Free Wheeling Diode)
۱۱.....	مقادیر متوسط و موثر شکل موج های متناوب
۱۱.....	یکسوساز نیم موج
۱۲.....	روابط یکسوساز نیم موج
۱۲.....	پارامترهای کارایی یکسوساز نیم موج تکفاز (performance parameters)
۱۳.....	شبیه سازی یکسو ساز نیم موج در نرم افزار ORCAD
۱۴.....	یکسوساز نیم موج با بار RL
۱۶.....	بررسی رفتار مدار یکسوساز نیم موج با بار R-L سری
۱۶.....	روش های حذف گسستگی ولتاژ (جهش ولتاژ)
۱۹.....	اثر افزودن پتانسیل ثابت (منبع ولتاژ DC) در خروجی مدار یکسوساز نیم موج
۲۰.....	یکسوساز تمام موج Full Wave Rectifier
۲۱.....	شبیه سازی مدار یکسوساز تمام موج در نرم افزار ORCAD
۲۱.....	مدار تمام موج پل Bridge Full wave Rectifier
۲۲.....	بدست آوردن پارامترهای کارایی یکسوساز تمام موج
۲۳.....	یکسوساز چندفازه
۲۳.....	یکسوساز نیم موج سه فاز
۲۴.....	حالات کاری یکسوساز نیم موج سه فاز
۲۵.....	یکسوساز تمام موج سه فاز
۲۵.....	حالات کاری یکسوساز تمام موج سه فاز
۲۶.....	تریستور
۲۸.....	مشخصه V-I تریستور
۲۸.....	روش های دیگر روشن کردن تریستور
۲۹.....	مدل دو ترانزیستوری، تریستور
۳۰.....	خاموش کردن تریستور
۳۰.....	حفاظت تریستور
۳۱.....	مبدل نیمه تک فاز
۳۲.....	مبدل کامل تک فاز
۳۲.....	مبدل دوتایی تک فاز
۳۳.....	روابط مبدل نیمه تک فاز
۳۶.....	مبدل نیمه تک فاز تمام موج
۳۷.....	حالات کاری مبدل نیمه تک فاز تمام موج
۳۷.....	تریاک

تاریخچه الکترونیک قدرت

تاریخچه الکترونیک قدرت با ابداع یکسوکننده قوس فلزی جیوه در ۱۹۰۰ شروع می‌شود. بدنبال آن به تدریج یکسو کننده های تانک فلزی و یکسوکننده خلاء کنترل شده با شبکه معرفی شدند. اولین انقلاب الکترونیک با اختراع ترانزیستور سیلیکونی در سال ۱۹۴۸ در آزمایشگاه تلفن بل توسط باردین، براتین و شاکلی آغاز شد. تحول بعدی نیز در آزمایشگاه بل در سال ۱۹۵۶ با اختراع ترانزیستور تریگر شونده PNP که تریتوریا یکسوکننده سیلیکونی کنترل شده (SCR) نامیده می‌شود.



شکل (۱) : جایگاه الکترونیک قدرت در یک سیستم الکترونیکی



شکل (۲) : مقایسه محدوده توان الکترونیک و الکترونیک قدرت

خصوصیات بارز المان های الکترونیک قدرت

- ۱- سرعت کلید زنی یا پاسخ فرکانس پایین.
- ۲- قدرت و توان قابل تحمل بالا.
- ۳- نیاز به سیستم های خنک کاری مناسب دارند.
- ۴- نیاز به طراحی سیستم های کنترل مناسب دارند.

تقسیم بندی مبدل های الکترونیک قدرت : هدف اصلی الکترونیک قدرت، تبدیل توان الکتریکی به صورت دیگر الکتریکی مانند جریان به ولتاژ - ولتاژ بالا به پایین و بالعکس می باشد.

Chopper	۱- مبدل DC-DC	مبدل های الکترونیک قدرت
Converter/Inverter	۲- مبدل DC-AC	
Rectifier (یکسوساز)	۳- مبدل AC-DC	
Cycloconverter	۴- مبدل AC-AC	

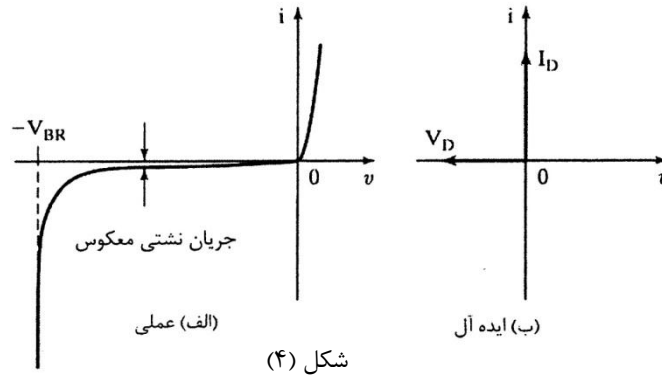
المانهای الکترونیک قدرت

قطعات	نمادها	مشخصه ها
دیود		
تریستورها		
SITH GTO		
MCT		
MTO		
ETO		
IGCT		
TRIAC		
LASCR		
NPN BJT		
IGBT		
موسفت کانال N		
SIT		

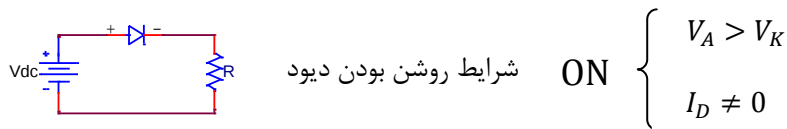
شکل (۳): المان های الکترونیک قدرت به همراه منحنی مشخصه آن ها

منحنی مشخصه دیود : (مشخصه V-I)

رابطه بین ولتاژ و جریان نسبت به هم در شکل زیر (شکل ۴) نمایش داده شده است.



شکل (۴)



شرایط روشن بودن دیود

معادله دیود شاگلی

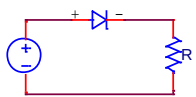
$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{n V_T}} - 1 \right)$$

جریان دیود ← I_D ← I_S ← ثابت تجربی $1 \leq n \leq 2$ ← I_S ← 1.6×10^{-19} بار الکترون

ولتاژ گرمایی $V_T = \frac{kT}{q}$ ← ثابت بولتزمن 1.38×10^{-23} دما بر حسب کلون $T = 273 + C^\circ$

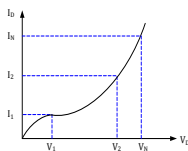
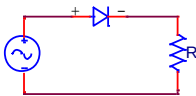
ولتاژ دوسر دیود ← V_D ← V_T ← ولتاژ گرمایی

ناحیه شکست : اگر در بایاس معکوس ولتاژ معکوس بزرگتر از V_{BR} گردد جریان به یکباره در جهت معکوس افزایش می یابد و گوییم تغییرات کوچکی در ولتاژ باعث تغییرات زیادی در جریان می گردد در این ناحیه بایستی توجه شود که توان تلف شده از محدوده ی توان نرمال فراتر نرود به این ناحیه ناحیه ی زرنی گفته می شود.



مقاومت استاتیکی : مقاومتی که دیود در یک نقطه مشخص که برای ولتاژ مشخص (DC) و جریان تابعه مشخص از خود نشان می دهد.

$$R_S = \frac{V_N}{I_N}$$



مقاومت دینامیکی : مقاومتی که دیود در مقابل یک منبع سیگنال متغییر از خود نشان می دهد (AC).

$$r_d = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \approx \frac{dV_D}{dI_D} = \frac{1}{\frac{dI_D}{dV_D}} = \frac{1}{\frac{d}{dV_D} \left(I_S \left(e^{\frac{V_D}{n V_T}} - 1 \right) \right)} = \frac{1}{\frac{d}{dV_D} \left(I_S e^{\frac{V_D}{n V_T}} \right) - \frac{d}{dV_D} I_S} = \frac{1}{I_S \frac{d}{dV_D} e^{\frac{V_D}{n V_T}}} = \frac{n V_T}{I_S e^{\frac{V_D}{n V_T}}} = \frac{n V_T}{I_D}$$

مقاومت دینامیکی ←

در بایاس مستقیم $I_D \gg I_S$ و I_S قابل صرف نظر کردن است.

دیودهای همه منظوره: زمان بازیابی زیاد، کاربردهای سرعت پایین تا فرکانس حدود یک کیلوهرتز و مبدل های خط با کموتاسیون خط جزو

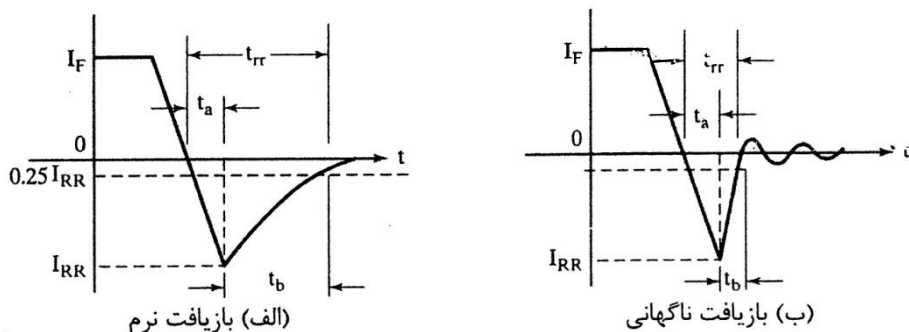
سیستم هایی هستند که این دیودها در آنها استفاده می شوند محدوده جریان تا چند هزار آمپر و ولتاژ تا چند کیلو ولت مثلاً ۵ کیلو ولت

دیودهای بازیابی سریع: زمان بازیابی کوچک (سریع کمتر از ۵ میکروثانیه)، محدوده جریان کمتر از آمپر تا ۱۰۰ آمپر و محدوده ی

ولتاژ تا حدود ۳ کیلو ولت، کاربرد در مبدل های DC-DC و DC-AC

دیودهای شاتکی: ذخیره بار در پیوند PN بعنوان مشکلی مطرح می باشد که در این دیود تا حد بسیار زیاد این مشکل بر طرف گردیده

است این دیودها ذخیره بار الکتریکی کمتری در پیوند PN داشته لذا تا حد زیادی مستقل از $\frac{di}{dt}$ می باشد و افت ولتاژ مستقیم نسبتاً کوچک دارند.



شکل (۵): مشخصه های بازیابی معکوس

هرچقدر t_{rr} کمتر باشد المان سرعت پاسخ بیشتری خواهد داشت α فرکانس بیشتر

$$t_{rr} = t_a + t_b$$

پیک جریان معکوس از رابطه زیر بدست می آید

$$I_{RR} = t_a \frac{di}{dt}$$

مقدمه ای بر معادلات دیفرانسیل

$$\begin{cases} y' + 2y = 10 & \longrightarrow \text{معادله دیفرانسیل خطی مرتبه اول} \\ y(0) = 0 & \longrightarrow \text{شرط اولیه} \end{cases}$$

$$y(t) = y_h + y_p$$

h

p

جواب خصوصی + جواب همگن (عمومی) = جواب معادله دیفرانسیل

تابع مورد نظر را برابر مقدار ثابت قرار می دهند و جواب متناسب با طرف ثانی معادله بدست می آید.

طرف دوم معادله دیفرانسیل را صفر قرار می دهند و تابع مورد نظر را بدست می آورند

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx} + 2y = 10 & \text{پاسخ همگن} \\ y(0) = 1 \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{dy}{dx} + 2y = 0 \rightarrow \frac{dy}{dx} = -2y \rightarrow \frac{dy}{y} = -2dx \\ y(0) = 1 \quad \text{Ln } y = -2x \rightarrow y_{h(x)} = c \cdot e^{-2x} \end{cases}$$

ضریب ثابت از روی شرط اولیه حساب خواهد شد.

جواب خصوصی

$$y_p(x) = ?$$

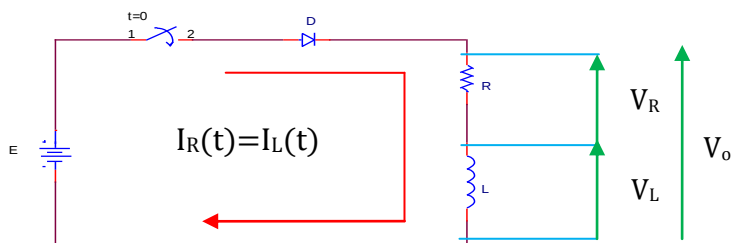
$$y_p(x) = k \xrightarrow{\text{در معادله جاگذاری}} \frac{dk}{dx} + 2k = 10 \rightarrow k = 5 = y_p(x)$$

$$y_{T(x)} = y_h(x) + y_p(x) = c \cdot e^{-2x} + 5 \xrightarrow[\text{با توجه به شرایط اولیه}]{y(0) = 1} 1 = c e^{-2 \times 0} + 5$$

$$1 = c + 5 \Rightarrow c = -4$$

جواب کامل معادله دیفرانسیل $y_{T(x)} = -4e^{-2x} + 5$

مدار R-L سری با منبع ولتاژ DC

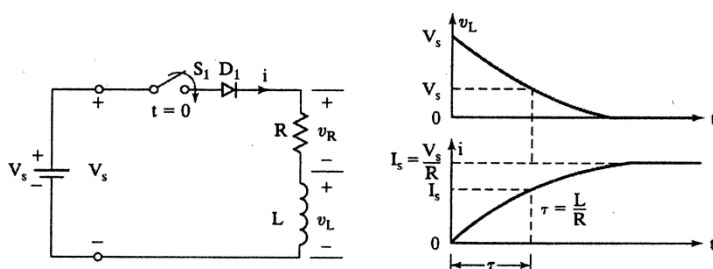


شکل (۶): مدار R-L سری با منبع ولتاژ

رابطه جریان و ولتاژ سلفی یک رابطه دیفرانسیلی است.

هدف اصلی از مطرح کردن این بحث پیدا کردن جریان حلقه در حضور سلف می باشد.

دیود همراه با بار RL و منبع DC



شکل (۷): دیود همراه با بار RL و منبع DC

$$t > 0 \quad kvl: > V_R(t) + V_L(t) = E \longrightarrow \begin{cases} L \frac{di_L(t)}{dt} + Ri_L(t) = E & \text{معادله دیفرانسیل مرتبه اول} \\ i_L(0) = 0 \end{cases}$$

$$i_{Lh}(t) \rightarrow L \frac{di_{Lh}(t)}{dt} + Ri_{Lh}(t) = 0 \quad \searrow \quad V_L = L \frac{di}{dt}$$

$$L \frac{di_{Lh}(t)}{dt} = -Ri_{Lh}(t) \rightarrow \frac{di_{Lh}(t)}{dt} = \frac{-R}{L} dt$$

$$\ln i_{Lh}(t) = \frac{-R}{L} \cdot t$$

$$\text{همگن } i_{Lh}(t) = c \cdot e^{\frac{-R}{L} \cdot t}$$

$$i_{Lp}(t) = A \rightarrow L \frac{dA}{dt} + R \cdot A = E$$

$$A = \frac{E}{R}$$

$$i_L(t) = i_{Lh}(t) + i_{Lp} = (t)c \cdot e^{\frac{-R}{L}t} + \frac{E}{R} \xrightarrow{\text{از شرط اولیه C}} 0 = c \cdot e^{\frac{-R}{L} \cdot 0} + \frac{E}{R} \rightarrow c = -\frac{E}{R}$$

$$i_{Lt}(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} e^{\frac{-R}{L}t} = \frac{E}{R} (1 - e^{\frac{-R}{L}t})$$

فرم کلی معادلات شارژ و دشارژ :

مقداری که می خواهد به آن برسد.

$$\text{معادله شارژ} \quad y_1(t) = A \left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}} \right)$$

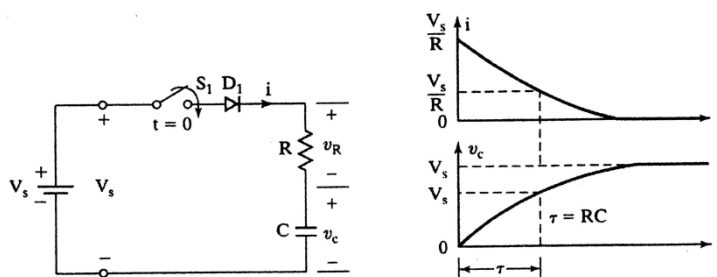
ثابت زمانی

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau = R \cdot C \text{ خازنی} \\ \tau = G \cdot L \text{ سلفی} \end{array} \right.$$

$$\text{معادله دشارژ} \quad y_2(t) = B e^{\frac{-t}{\tau}}$$

مقداری که می خواهد از آن شروع به کم شدن شود.

دیود همراه با بار RC و منبع DC



شکل (۸): دیود همراه با بار RC و منبع DC

$$\begin{cases} V_s = V_R + V_C = V_R + \frac{1}{C} \int i \cdot dt + V_C(0) \\ V_C(0) = 0 \text{ ولتاژ اولیه خازن} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_C = V_s(1 - e^{\frac{-t}{RC}}) \\ i_C(t) = \frac{V_s}{R} e^{\frac{-t}{RC}} \end{cases}$$

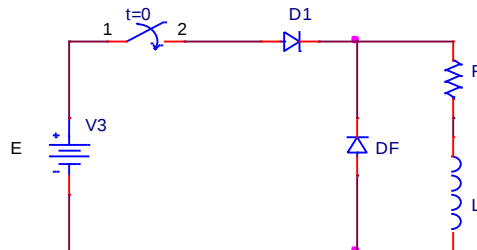
نسبت تغییرات ولتاژ خازن برابر است با $\frac{dvc}{dt} = \frac{V_s}{RC} e^{\frac{-t}{\tau}}$

نسبت تغییرات اولیه ولتاژ خازن در $t=0$ برابر است با $\frac{V_s}{RC}$

دیود چرخش آزاد (Free Wheeling diode)

بررسی مدار در دو حالت قبل و بعد از وصل کلید انجام می پذیرد. در لحظه $t=0$ کلید را می بندیم بعد از گذشت زمان t_1 کلید را باز می کنیم.

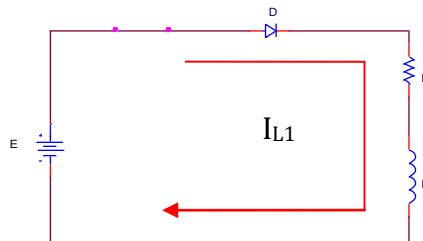
هدف تحلیل رفتار مدار در فاصله زمانی 0 تا t_2 ($t_2 < t_1$)



شکل (۹): دیود چرخشی آزاد

الف) $0 \leq \omega t \leq t_1$

در این حالت $D_1=ON$ و $D_F=OFF$ است چون D_F بایاس معکوس است. و معادلات از روی شکل (۱۰) نوشته می شود.

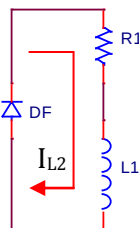


شکل (۱۰): حالت الف

$$\begin{cases} V_L(t) + V_R(t) = E \\ i_L(0) = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} L \frac{di}{dt}(t) + Ri_1 = E \\ i_L(0) = 0 \end{cases} \quad i_{L1}(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

ب) $t_1 \leq \omega t \leq t_2$

در حالت دوم در زمان t_1 کلید باز می شود. مسیر جریان در شکل (۱۱) مشخص شده و معادلات حاکم بر مدار بصورت زیر خواهند شد.



شکل (۱۱): حالت ب

$$\begin{cases} V_L(t) + V_R(t) = 0 \\ L \frac{di_{L2}}{dt} + Ri_{L2}(t) = 0 \end{cases}$$

$$i_L(0) = I_0 = \frac{E}{R} \left(1 - e^{\frac{-R t_1}{L}} \right) = i_{1L}(t_1)$$

جریان اولیه در لحظه بعد (حالت دوم)، همان جریان ماکزیمم حالت اول است.

$$L \frac{di_{L2}}{dt} + Ri_{L2}(t) = 0$$

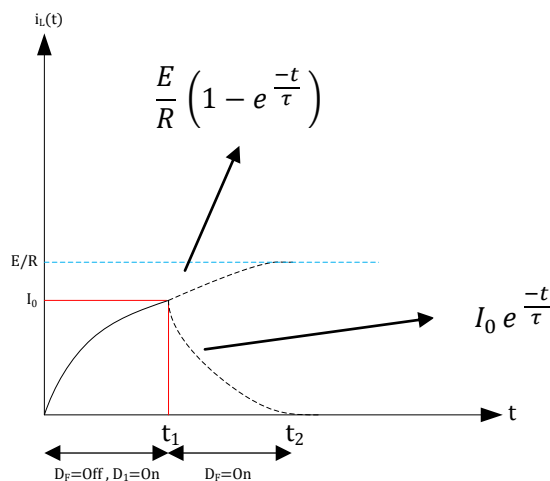
$$L \frac{di_{L2}(t)}{dt} = -Ri_{L2}(t)$$

$$\int \frac{di_{L2}(t)}{i_{L2}(t)} = \int \frac{-R dt}{L} \quad i_{L2}(t) = c \cdot e^{\frac{-R}{L}t}$$

$$i_{2L}(0) = I_0 \xrightarrow{\text{اعمال شرط اولیه}} I_0 = c \cdot e^{\frac{-R}{L} \times 0} \rightarrow c = I_0$$

نمودار جریان سلف در دو حالت

$$\begin{cases} i_{1L}(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{\frac{-R}{L}t}) \\ i_{2L}(t) = I_0 e^{\frac{-R}{L}t} \end{cases}$$



شکل (۱۲): نمودار جریان سلف در دو حالت

مقدار DC یا متوسط $y_{dc} = y_{ave} = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt$

مقدار موثر سیگنال متناوب $y_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} = y_{eff}$

اگر سیگنال دارای هارمونیک باشد بسط سری فوریه آن بصورت زیر است :

$$y(t) = \frac{a_0}{2} + (a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + \dots) + (b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + \dots)$$

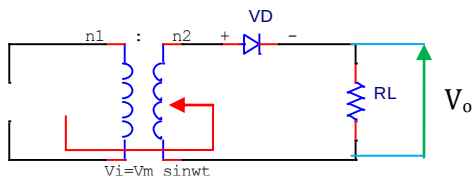
مقادیر موثر که از روی بسط فوریه بدست آمده است

$$y_{rms} = \sqrt{\frac{a_0^2}{4} + \left(\frac{a_1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{a_2}{\sqrt{2}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{b_1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{b_2}{\sqrt{2}}\right)^2 + \dots}$$

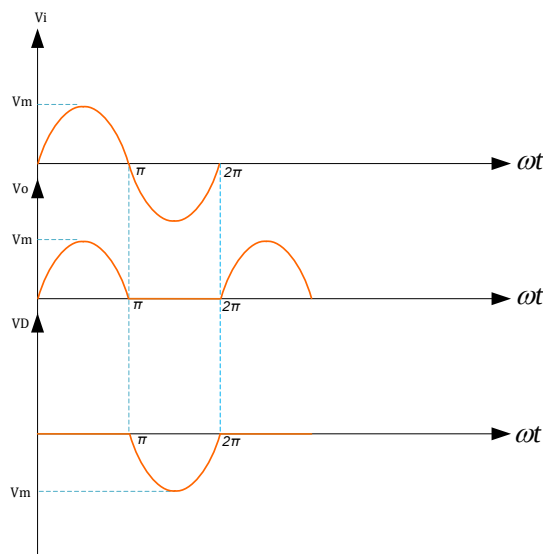
ضریب شکل (FF) Form Factor

$$FF = \frac{y_{rms}}{y_{dc}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt}}{\frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt}$$

یکسوساز نیم موج



شکل (۱۳): مدار یکسوساز نیم موج



شکل (۱۴): شکل موج یکسوساز

$$\omega = 2\pi f \quad T = 2\pi$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\text{If } \begin{cases} T=2\pi \\ \omega = 1 \end{cases} \quad V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_i dt \rightarrow \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t dt = \frac{-V_m}{2\pi\omega} \cos \omega t \Big|_0^\pi = \frac{-V_m}{2\pi\omega} [\cos \pi - \cos 0]$$

$$= \frac{V_m}{\pi\omega} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318 V_m$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_i^2 dt} \Rightarrow \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_0^\pi \frac{1 + \cos 2\omega t}{2} dt} = \frac{V_m}{2}$$

پارامترهای کارائی یکسوساز نیم موج تکفاز (performance parameters)

توان DC

$$P_{dc} = V_{dc} \times I_{dc}$$

$$= \frac{V_m}{\pi} \times \frac{\frac{V_m}{\pi}}{R_L} = \frac{V_m}{\pi} \times \frac{V_m}{R_L \pi} = \frac{V_m^2}{\pi^2 R_L}$$

توان AC

$$P_{ac} = V_{rms} \times I_{rms}$$

$$= \frac{V_m}{2} \times \frac{V_m}{2 \cdot R_L}$$

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{V_{dc} \times I_{dc}}{V_{rms} \times I_{rms}} = \frac{4}{\pi^2} = 40.5\% \quad \text{بازده (راندمان)}$$

ضریب شکل

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{0.5V_m}{0.318V_m} = 1.57\%$$

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2}}{V_{dc}} = \sqrt{\frac{V_{rms}^2}{V_{dc}^2} - 1} = \sqrt{FF^2 - 1} = \sqrt{(1.57)^2 - 1} = 1.21$$

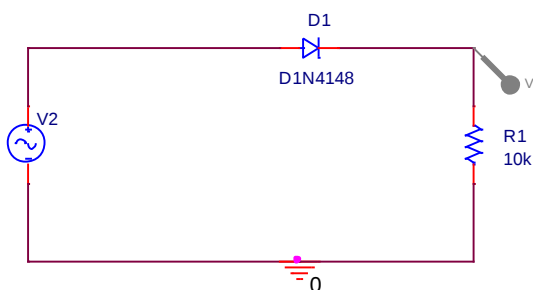
$$V_{ac} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2}$$

پارامتر یکسوساز	η	FF	RF
نیم موج	40.5	1.57	1.21
ایده آل	100	1	0

شبیه سازی یکسوساز نیم موج در نرم افزار ORCAD

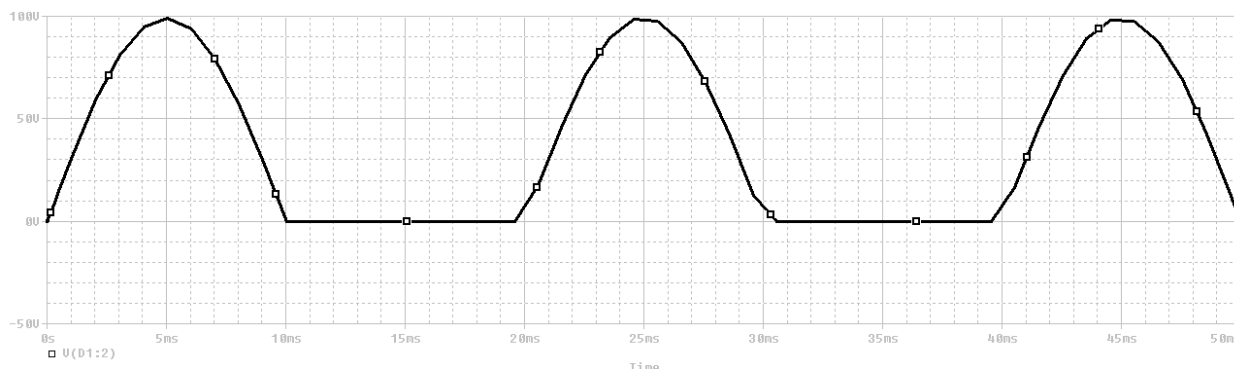
منبع سینوسی (برای استفاده از این
قطعه در قسمت Part کلمه VSIN را
تایپ کنید)

VOFF = 0
VAMPL = 100
FREQ = 50



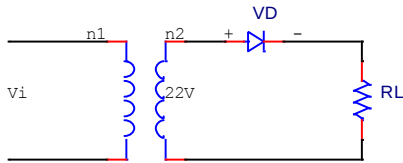
پروب (نشان دهنده شکل موج خروجی) v →

شکل (۱۵): مدار شبیه سازی یکسوساز نیم موج



شکل (۱۶): شکل موج بدست آمده از شبیه سازی یکسوساز نیم موج

تمرین : مطلوب است محاسبه پارامترهای کارایی برای یکسوساز با مشخصات زیر :



$$\begin{cases} V_i = 220\sin 10\pi t \\ \frac{n_1}{n_2} = 10, \quad R_L = 100\Omega \end{cases}$$

$$V_{dc} = 0.318 \times 22 = 6.99V$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} = \frac{22}{2} = 11$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R_L} = \frac{11}{100} = 0.11$$

$$P_{dc} = I_{dc} \times V_{dc} = 0.0699 \times 6.99 = 0.48$$

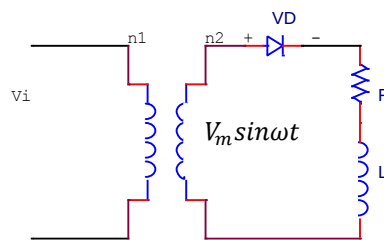
$$P_{ac} = I_{rms} \times V_{rms} = 0.11 \times 11 = 1.21$$

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{0.48}{1.21} = 39.66\%$$

$$FF = \frac{y_{rms}}{y_{dc}} = \frac{11}{6.99} = 1.57$$

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = \sqrt{(1.57)^2 - 1} = 1.21$$

یکسوساز نیم موج با بار RL



شکل (۱۷) : مدار یکسوساز نیم موج با بار RL

$$\begin{cases} V_R + V_L = V_m \sin \omega t \\ i_L(0) = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} R i_L(t) + L \frac{di_L(t)}{dt} = V_m \sin \omega t \\ i_L(0) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{جواب عمومی} \begin{cases} R i_{Lh} + L \frac{di_{Lh}}{dt} = 0 \\ i_L(0) = 0 \end{cases} \rightarrow i_{Lh}(t) = K e^{\frac{-R}{L}t}$$

(1) جاگذاری در (2) www.wikipower.ir

$$i_{Lp}(t) = I_m \sin(\omega t) \xrightarrow{\text{جاگذاری در}} R(I_m \sin \omega t) + L \frac{d}{dt}(I_m \sin \omega t) = V_m \sin(\omega t + \varphi)$$

در عوض فاز ولتاژ را مثبت در نظر می گیریم.

$$\xrightarrow{\text{از ۲}} L \frac{d}{dt}(I_m \sin \omega t) + R I_m \sin \omega t = V_m \sin(\omega t + \varphi) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow LI_m \cos \omega t + R I_m \sin \omega t = V_m \sin \omega t \cos \varphi + V_m \cos \omega t \sin \varphi$$

$$(3) LI_m \cdot \omega = V_m \sin \varphi$$

$$(4) R I_m = V_m \cos \varphi$$

$$\frac{(3)}{(4)} \Rightarrow \boxed{\frac{L\omega}{R} = \tan \varphi} \quad \boxed{\varphi = \tan^{-1} \frac{L\omega}{R}} \quad \boxed{L\omega = X_L}$$

$$\xrightarrow{\text{از ۳}} \sin \varphi = \frac{L\omega I_m}{V_m} \xrightarrow{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1} \cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} = \sqrt{1 - \frac{L^2 \omega^2 I_m^2}{V_m^2}}$$

$$\xrightarrow{\text{از ۴}} R^2 I_m^2 = V_m^2 \left(1 - \frac{L^2 \omega^2 I_m^2}{V_m^2}\right) = \cancel{V_m^2} \left(\frac{V_m^2 - L^2 \omega^2 I_m^2}{\cancel{V_m^2}}\right)$$

$$I_m \Rightarrow R^2 I_m^2 = V_m^2 - L^2 \omega^2 I_m^2 \rightarrow R^2 I_m^2 + L^2 \omega^2 I_m^2 = V_m^2$$

$$I_m^2 (R^2 + L^2 \omega^2) = V_m^2 \rightarrow \boxed{I_m = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}}}$$

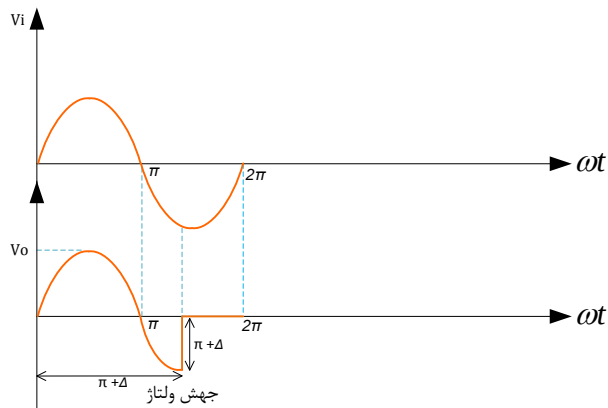
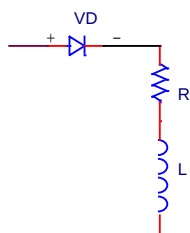
$$i_p(t) = I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

$$i_L(t) \text{ کامل} = i_{Lh}(t) + i_{Lp}(t) = k e^{\frac{-R}{L}t} + \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}} \sin(\omega t - \tan^{-1} \frac{L\omega}{R})$$

$$\text{بدست آوردن } K \quad 0 = k e^{\frac{-R}{L} \times 0} + \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}} \sin(0 - \tan^{-1} \frac{L\omega}{R}) \Rightarrow k = \frac{V_m \sin \varphi}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}}$$

$i_L(0) = 0 \rightarrow$

$$\text{جواب کامل } i_L(t) = \frac{V_m \sin \varphi}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}} e^{\frac{-R}{L}t} + \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}} \sin(\omega t - \tan^{-1} \frac{L\omega}{R})$$



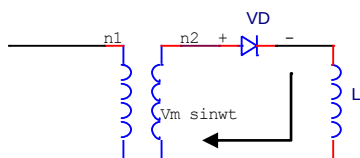
شکل (۱۸): شکل موج بررسی رفتار ذخیره انرژی سلفی

جریان مدار R-L سری با توجه به این نکته که سلف در جریانش نمی تواند تغییرات آنی داشته باشد، وقتی ولتاژ ورودی به نقطه $\omega t = \pi$ می رسد و می خواهد وارد نیم سیکل منفی گردد جریان حلقه به واسطه سلف موجود نمی تواند یکباره صفر شود و لذا بخشی از نیم سیکل منفی را نیز در خروجی ولتاژ خواهیم داشت، مقدار حضور در نیم سیکل منفی به مقدار سلف بستگی دارد.

روش های حذف گسستگی ولتاژ (جهش ولتاژ)

۱- $XL \gg R$ مقدار سلف بزرگ باشد.

۲- استفاده از دیود هرزگرد Free Wheeling Diode



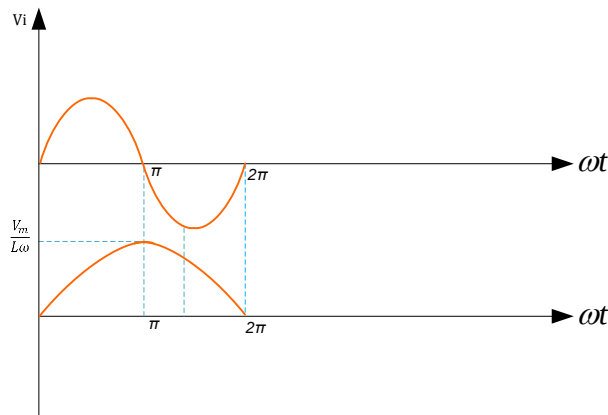
بررسی مدار R-L سری در حالت بحرانی ($XL \gg R$)

(یکسوساز نیم موج با بار سلفی خالص)

$$D=ON \rightarrow \begin{cases} L \frac{di_L(t)}{dt} = V_m \sin \omega t \\ i_L(0)=0 \end{cases}$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{V_m}{L} \sin \omega t \rightarrow i_L(t) = \frac{V_m}{L} \int_0^t \sin \omega t dt = \frac{V_m}{L\omega} [-\cos \omega t]_0^t$$

رابطه جریان دیود (خروجی) زمانی که بار سلف خالص است $i_L(t) = \frac{V_m}{L\omega}(1 - \cos\omega t)$



گفتیم زمان هدایت دیود در مدار R-L سری کمی بیشتر از π و به اندازه $\pi + \Delta$ می باشد، ولتاژ متوسط خروجی در این حالت برابر فرمول زیر خواهد بود :

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_o dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi+\Delta} V_m \sin\omega t dt = \frac{V_m}{2\pi\omega} [-\cos\omega t]_0^{\pi+\Delta} = \frac{V_m}{2\pi\omega} [-\cos(\pi+\Delta) - (-1)]$$

$$= \frac{V_m}{2\pi} [1 - \cos(\pi + \Delta)]$$

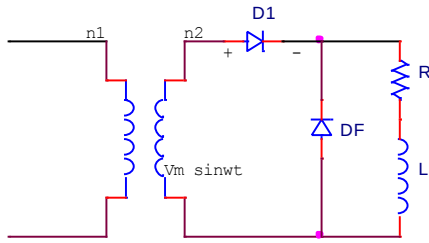
$$\omega = 1 \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi$$

$$if \Delta = 0 \rightarrow \frac{V_m}{2\pi} [1 - \cos\pi] = \frac{V_m}{\pi} (*)$$

رابطه (*) نشان می دهد اگر Δ مساوی صفر باشد مقدار ولتاژ متوسط خروجی

افزایش یافته و مانند نیم موج خواهد بود این کار توسط دیود هرزگرد امکان پذیر است.

برای تحلیل مدار یکسوساز حاوی دیود هرزگرد، دو حالت را در نظر می گیریم

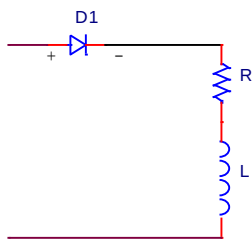


شکل (۱۹): مدار یکسوساز حاوی دیود هرزگرد

$$0 \leq \omega\tau \leq \pi \rightarrow \begin{cases} D_1 = \text{ON} \\ D_F = \text{OFF} \end{cases}$$

$$\pi \leq \omega\tau \leq 2\pi \rightarrow \begin{cases} D_1 = \text{OFF} \\ D_F = \text{ON} \end{cases}$$

(الف)

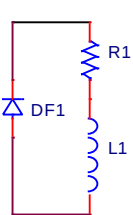


معادله جریان در حالت اول

$$i_{L1}(t) = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}} \left[\sin(\omega t - \phi) + \sin \phi e^{\frac{-R}{L}t} \right]$$

ب) نقطه بحرانی است در انتهای لحظه اول یعنی $\omega t = \pi$ هر جریانی که از سلف عبور می کند برای حالت دوم در حکم شرط اولیه است

یعنی:



$$\begin{cases} V_R + V_L = 0 \\ i_{L2}(0) = ? \end{cases}$$

$$\omega t = \pi \rightarrow t = \frac{\pi}{\omega}$$

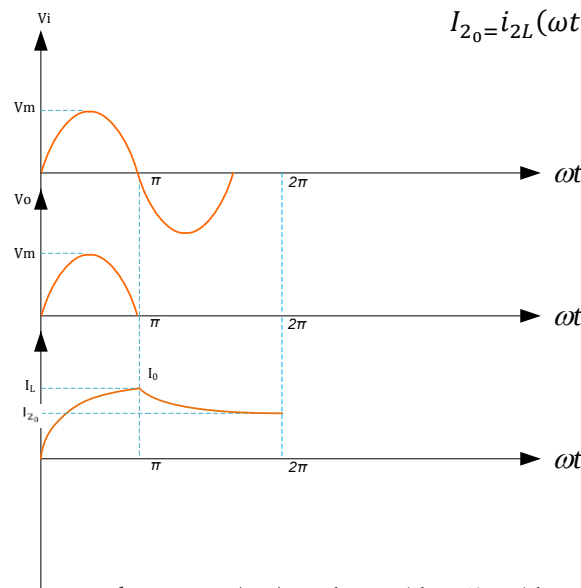
$$i_{L2}(0) = i_{L1}(\omega t = \pi)$$

$$i_{L2}(0) = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}} \left[\sin(\pi - \phi) - \sin \phi e^{\frac{-R\pi}{L\omega}} \right] = I_0$$

معادله جریان در حالت دوم:

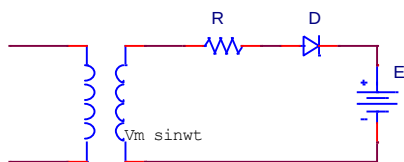
$$i_{L2}(t) = I_0 e^{\frac{-R}{L}t}$$

$$I_{20} = i_{2L}(\omega t = 2\pi) = I_0 e^{\frac{-R}{L}t \cdot \frac{2\pi}{\omega}}$$

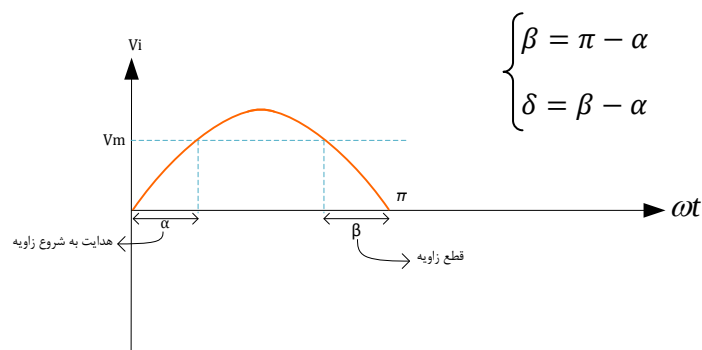


شکل (۲۰): شکل موج یکسوساز حاوی دیود هرزگرد

اثر افزودن پتانسیل ثابت (منبع ولتاژ DC) در خروجی مدار یکسوساز نیم موج



جریان در نیم سیکل مثبت $i_L = \frac{V_m \sin \omega t - E}{R}$



شرط روشن شدن دیود $V_m \sin \omega t > E$

از طرفین $\sin^{-1} \frac{E}{V_m}$ گرفتیم $\alpha = \omega t = \sin^{-1} \frac{E}{V_m}$

مثال: ولتاژ باتری ($E=12$)، جریان شارژ متوسط 5A و ولتاژ اولیه ترانس 120V (موثر)، فرکانس 60HZ و نسبت $n_1:n_2$ (2:1) می باشد، مطلوب است محاسبه زاویه ی هدایت دیود و مقاومت محدود کننده جریان.

ثانویه $V_m = 60\sqrt{2} = 84.85$

$\alpha = \sin^{-1} \frac{E}{V_m} = \sin^{-1} \frac{12}{84.85} = 8.21^\circ$

$\beta = \pi - \alpha = 180^\circ - 8.21^\circ = 171.79^\circ$

مدت روشن ماندن دیود $\delta = \beta - \alpha = 171.79^\circ - 8.21^\circ = 163.58^\circ$

جریان متوسط $I_{de} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{V_m \sin \omega t - E}{R} d\omega t$

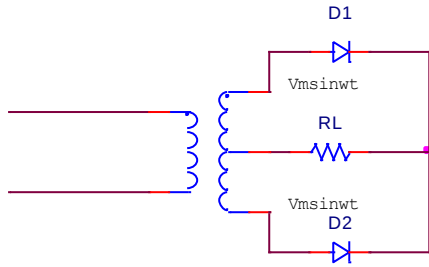
$5 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \left(\frac{V_m \sin \omega t}{R} \right) d\omega t - \frac{E}{R} d\omega t$

$5 = -\frac{1}{2\pi R\omega} V_m \cos \omega t \Big|_{\alpha}^{\beta} - \frac{E}{R} \omega t \Big|_{\alpha}^{\beta} = \frac{1}{2\pi R\omega} V_m [\cos \theta - \cos \alpha] - \frac{E}{R} (\beta - \alpha)$

$R = -\frac{1}{2\pi} \frac{60 \cdot 30}{5 \times 376.8} (-0.98 - 0.98) - \frac{12}{5} (163.68)$

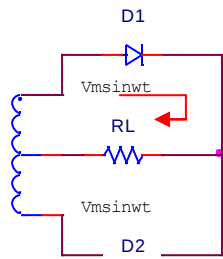
$= -\frac{6}{376.8 \pi} (-1.96) - \frac{12}{5} \times 2.85 = \frac{6 \times 1.96}{376.8}$

یکسوساز تمام موج Full Wave Rectifier



شکل (۲۱): مدار یکسوساز تمام موج

مدار در دو حالت بررسی می شود

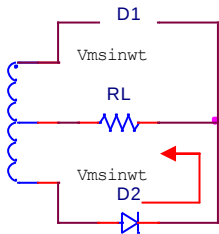


$$V_O = V_m$$

$$0 \leq \omega t \leq \pi$$

$$\begin{cases} D_1 = \text{ON} \\ D_2 = \text{OFF} \end{cases}$$

(الف)

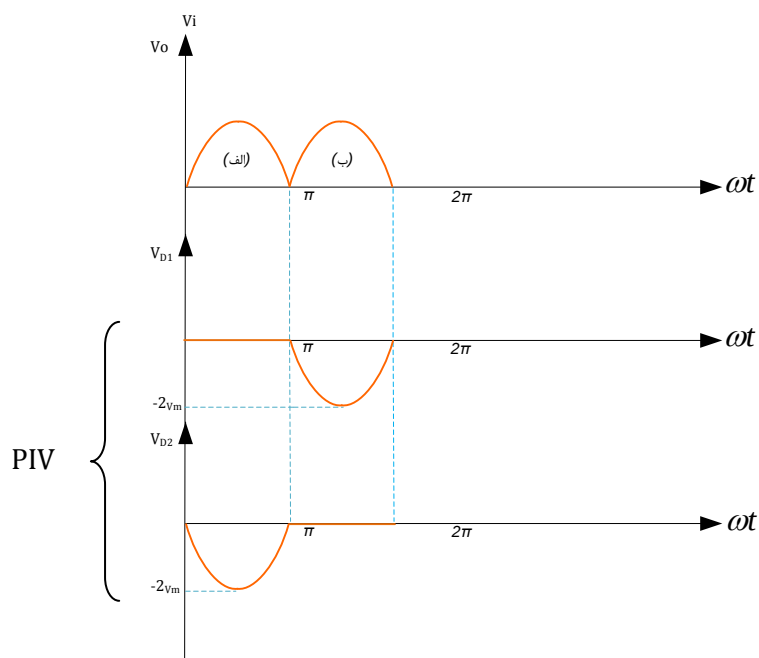


$$V_O = -V_m$$

$$\pi \leq \omega t \leq 2\pi$$

$$\begin{cases} D_1 = \text{OFF} \\ D_2 = \text{ON} \end{cases}$$

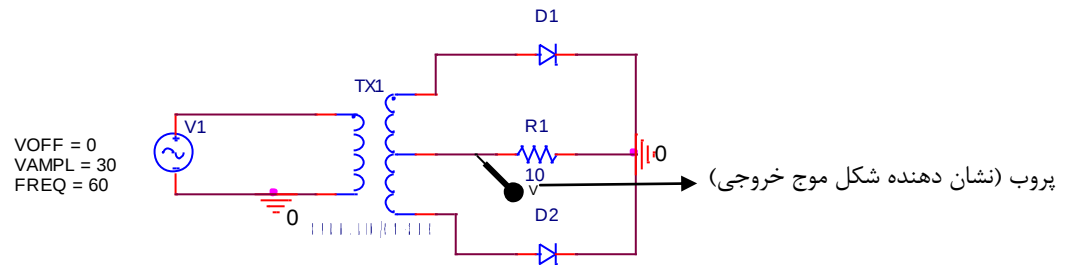
(ب)



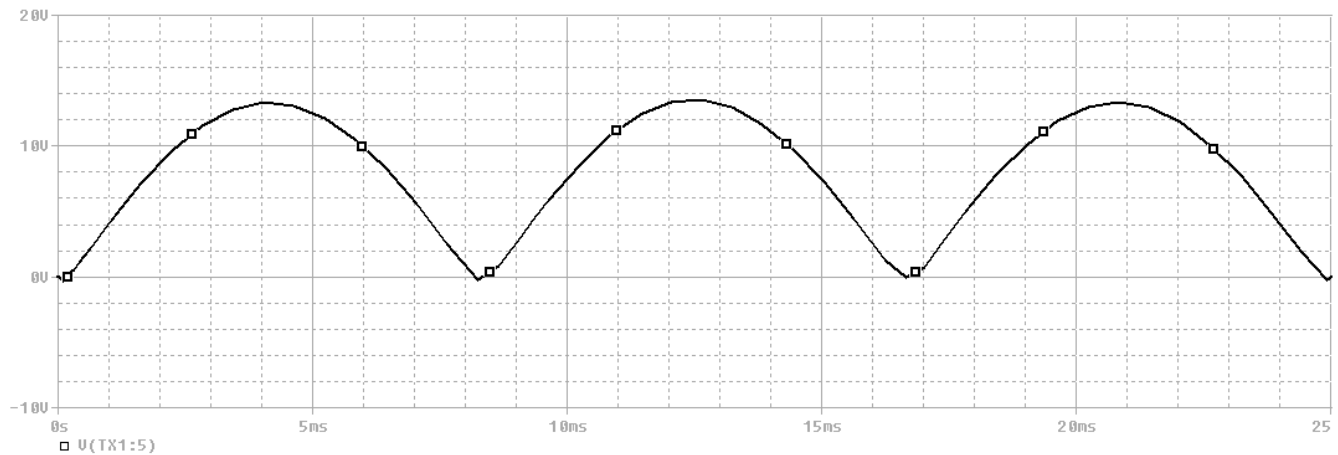
PIV=Peak Inverse Voltage

شکل (۲۲): شکل موج یکسوساز تمام موج

شبیه سازی مدار یکسوساز تمام موج در نرم افزار ORCAD

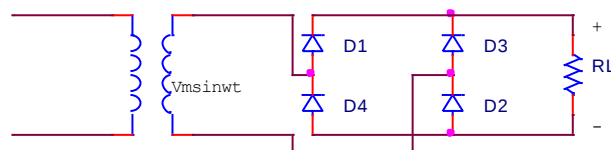


شکل (۲۳): مدار شبیه سازی یکسوساز تمام موج



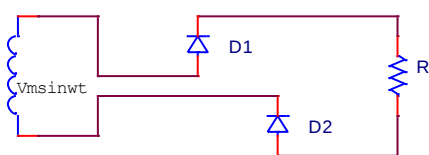
شکل (۲۴): شکل موج بدست آمده از شبیه سازی یکسوساز تمام موج

مدار تمام موج پل Bridge Full Wave Rectifire



شکل (۲۵): مدار تمام موج پل

مدار در دو حالت بررسی می گردد



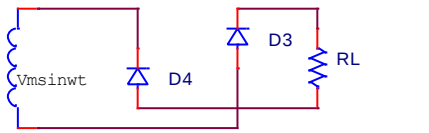
$$0 \leq \omega\tau \leq \pi$$

نیم سیکل مثبت

$$\begin{cases} D_1 \text{ و } D_2 = \text{ON} \\ D_3 \text{ و } D_4 = \text{OFF} \end{cases}$$

$$V_0 = V_m$$

(الف)



$$\pi \leq \omega\tau \leq 2\pi$$

نیم سیکل منفی

$$\begin{cases} D_1 \text{ و } D_2 = \text{OFF} \\ D_3 \text{ و } D_4 = \text{ON} \end{cases}$$

$$V_0 = -V_m$$

(ب)

$$V_{dc} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t \, dt \right] \times 2 \Rightarrow \frac{2 \cdot V_m}{\pi}$$

مقدار متوسط خروجی دو برابر نسبت به نیم موج است.

$$V_{rms} = \sqrt{2 \times \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sin^2 \omega t \, dt} \rightarrow V_{rms} = \sqrt{2 \times \frac{V_m^2}{4}} \rightarrow \sqrt{\frac{V_m^2}{2}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

بدست آوردن پارامترهای کارائی تمام موج

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{V_{dc} \cdot \frac{V_{dc}}{R}}{V_{rms} \times \frac{V_{rms}}{R}} = \frac{(V_{dc})^2}{(V_{rms})^2} = \frac{\left(\frac{2V_m}{\pi}\right)^2}{\left(\frac{V_m}{\sqrt{2}}\right)^2} = \frac{4 \frac{V_m^2}{\pi^2}}{\frac{V_m^2}{2}} = \frac{8 \frac{V_m^2}{\pi^2}}{V_m^2} = \frac{8}{\pi^2} = 0.81\%$$

$$P_{dc} = V_{dc} \times I_{dc}$$

$$P_{ac} = V_{rms} \times I_{rms} \quad I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R}$$

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{\frac{V_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2V_m}{\pi}} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{2}{\pi}} = 1.11$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi}$$

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = \sqrt{(1.11)(1.11) - 1} = 0.48$$

پارامتر یکسوساز	η	FF	RF
نیم موج	40.5	1.57	1.21
تمام موج	81	1.11	0.48
ایده آل	100	1	0

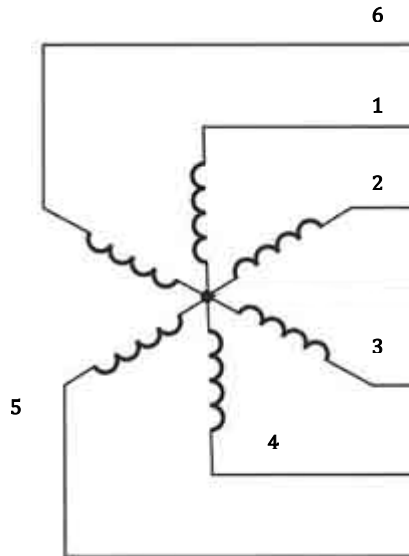
یکسوساز چندفازه

زاویه هر فاز نسبت به هم از رابطه $\frac{2\pi}{q}$ بدست می آید.

$$q=3 \quad \frac{2\pi}{3} = 120^\circ$$

$q = \text{تعداد فاز}$

مثال برای معادلات ولتاژ سیستم ۶ فازه



شکل (۲۶): سیستم ۶ فاز

$$V_1(t) = 220 V_m \cos \omega t$$

$$V_2(t) = 220 V_m \cos(\omega t - 60^\circ)$$

$$V_3(t) = 220 V_m \cos(\omega t - 120^\circ)$$

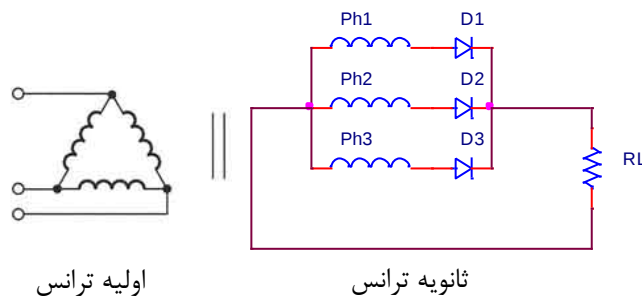
.

.

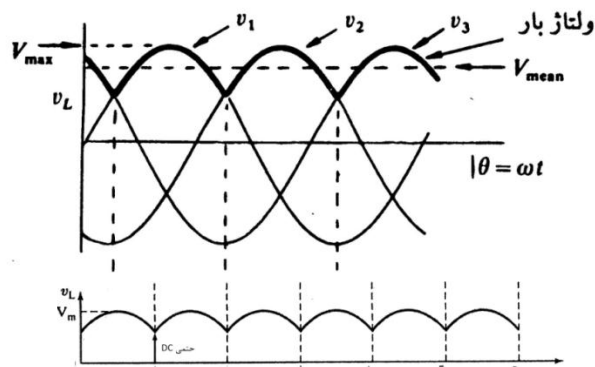
.

$$V_1(t) = V_7(t) = 220 V_m \cos(\omega t - 360^\circ)$$

یکسوساز نیم موج سه فاز

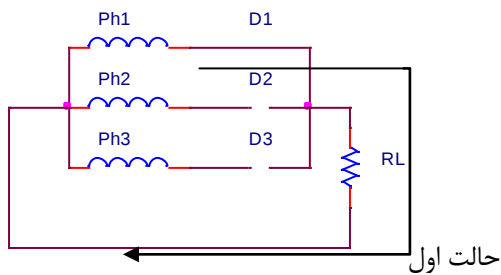


شکل (۲۷): مدار یکسوساز نیم موج سه فاز

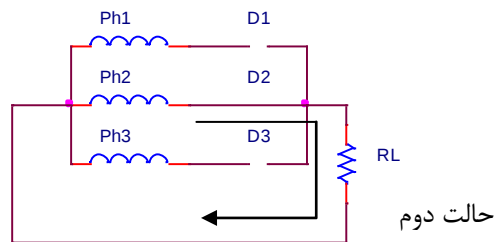


شکل (۲۸): شکل موج های یکسوساز نیم موج سه فاز

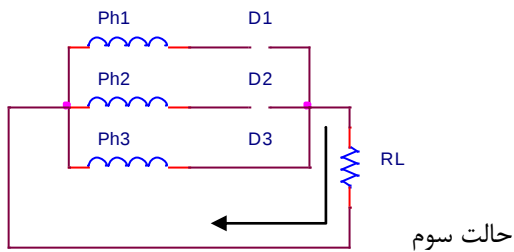
حالات کاری یکسوساز نیم موج سه فاز



حالت اول



حالت دوم



حالت سوم

بدست آوردن پارامترهای کارائی یکسوساز نیم موج سه فاز

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{q}} V_m \cos \omega t d\omega t = V_m \frac{q}{\pi} \sin \frac{\pi}{q} V_{dc} = V_m \frac{3}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} = 0.827 V_m$$

$$\text{ولتاژ dc سه فاز} \quad V_{dc} = V_m \frac{3}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} = 0.827 V_m$$

$$\text{rms برای } q \text{ فاز} \quad V_{rms} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{q}} V_m^2 \cos^2 \omega t d\omega t} = V_{rms} \sqrt{\frac{q}{2\pi} \left(\frac{q}{\pi} + \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi}{q} \right)}$$

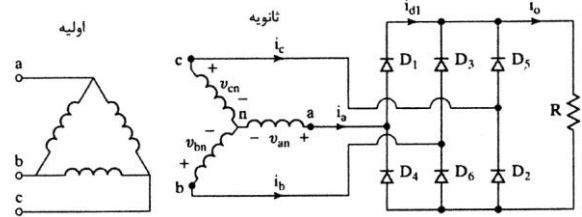
$$V_{rms} \sqrt{\frac{3}{2\pi} \left(\frac{3}{\pi} + \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi}{3} \right)} = 0.840 V_m$$

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{V_{dc}}{V_{rms}} = 96.77\%$$

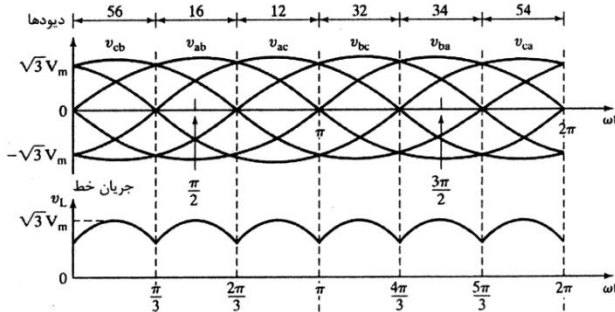
$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{0.840}{0.827} = 1.0165$$

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = \sqrt{(1.0165)^2 - 1} = 0.1824$$

یکسوساز تمام موج سه فاز

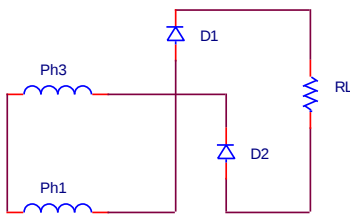


شکل (۲۹): مدار یکسوساز تمام موج سه فاز



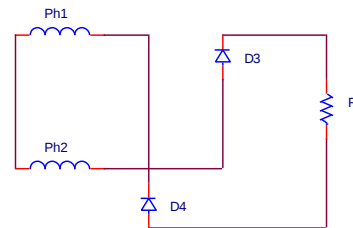
شکل (۳۰): شکل موج های یکسوساز تمام موج سه فاز

مراحل کاری یکسوساز تمام موج سه فاز



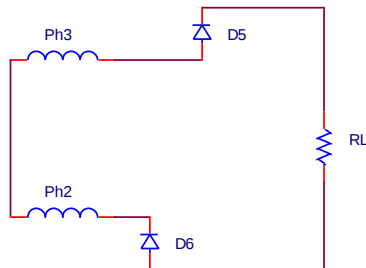
حالت اول

$$Ph1 > Ph3$$



حالت دوم

$$Ph2 > Ph1$$



حالت سوم

$$Ph3 > Ph2$$

بدست آوردن پارامترهای کارائی یکسوساز تمام موج سه فاز

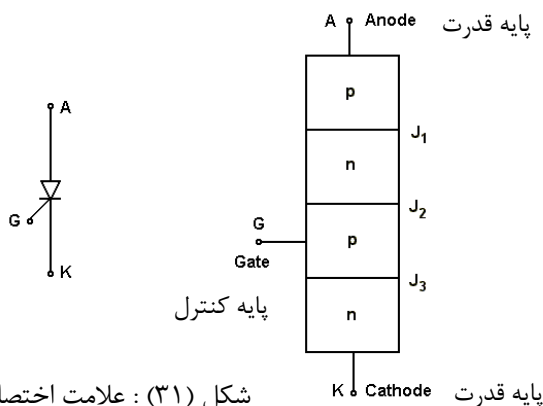
$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m = 1.654 V_m$$

$$V_{rms} = \left(\sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}} \right) \cdot V_m = 1.655 V_m$$

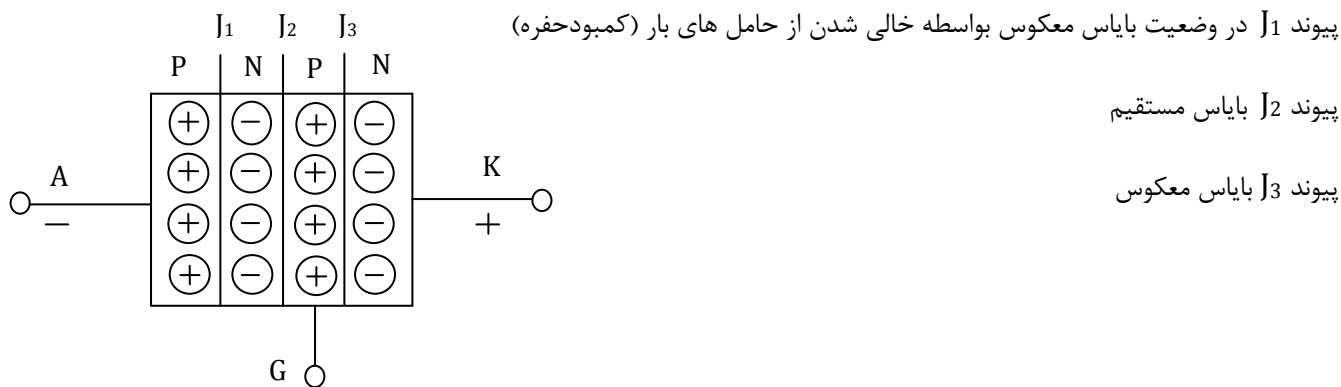
$$\eta = \frac{p_{dc}}{p_{ac}} = \frac{(1.654 V_m)}{(1.655 V_m)} = 99.93\%$$

تریستور : یک المان نیمه هادی چهار لایه NPNP می باشد واژه تریستور از کلمات Transistor و Tyatron تشکیل یافته است

$$\text{Tyratron} + \text{Transistor} = \text{Thyristor}$$



وقتی پتانسیلی به A و K اعمال نگردد، بار بطور یکنواخت در لایه های P و N توزیع می شوند و بواسطه وجود سد پتانسیل یا ناحیه تخلیه در محل پیوندها، حامل های بار نمی توانند از لایه هایی به لایه دیگر عبور نمایند. چنانچه تحت این شرایط آند تریستور به قطب منفی و کاتد به قطب مثبت باتری وصل شود، یعنی اینکه تریستور در بایاس معکوس قرار گیرد یک جابه جایی حامل پیش می آید، طوریکه حفره ها به طرف الکترون منفی کشیده می شود و در اطراف آند جمع می شود و برعکس الکترون ها از آند دور می شوند و در طرف مقابل آند جمع می شوند و بدین ترتیب سه پیوند PN تجمع بار به ترتیب زیر را خواهند داشت.



اگر آند تریستور به ولتاژ مثبت باتری وصل، کاتد آن به منفی وصل شود آند مثبت حفره ها را دفع و الکترون ها را جذب می کند و باعث تجمع حاملها در محل پیوند ها بصورت زیر می گردد :

پیوند J1 که از حاملهای بار پر شده است بایاس مستقیم گردیده و هادی جریان است.

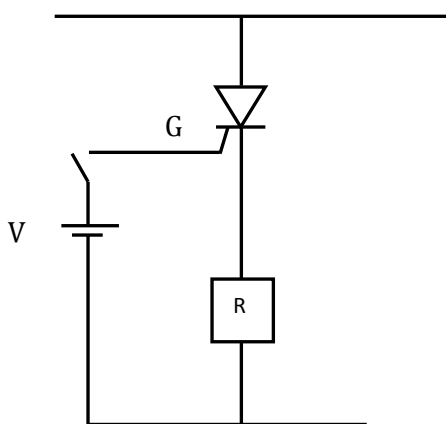
پیوند J2 که از حاملهای بار خالی است در بایاس معکوس قرار می گیرد، مانع عبور جریان می شود.

پیوند J3 همانند پیوند J1 در بایاس مستقیم قرار می گیرد.

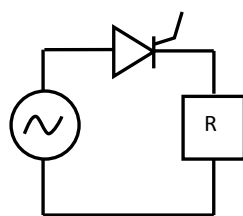
بنابراین در بایاس مستقیم پیوند J2 سد کننده بوده و از تریستور فقط جریان نشتی مستقیم عبور می کند در این حالت می گوییم تریستور در حالت مسدود قرار دارد.

حال بایستی تریستور را آتش کرد این کار با افزایش ولتاژ آند نسبت به کاتد به بیش از V_{BO} ممکن است ولی در کاربردهای عملی روشن کردن تریستور به این شیوه اتفاق نمی افتد (افزایش ولتاژ تا حد V_{BO}) و از پایه سومی به نام گیت برای صدور فرامین روشن، در ولتاژهای کمتر از V_{BO} استفاده می شود.

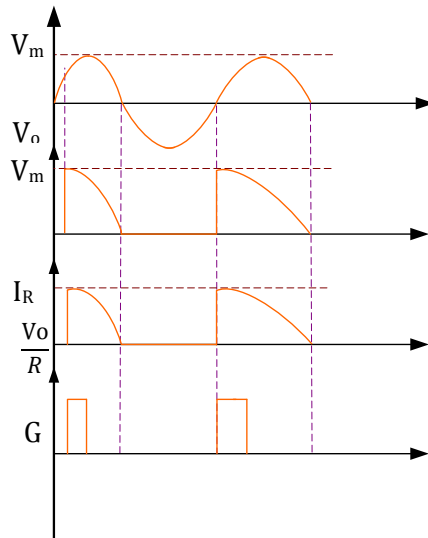
هرگاه A نسبت به K در پتانسیل مثبت قرار گیرد پیوندهای J_1 و J_3 در بایاس مستقیم و J_2 در بایاس معکوس قرار خواهد گرفت. این حالت را حالت سدکنندگی مستقیم گویند. تحت این حالت جریان نشستی مستقیم I_D از تریستور عبور می کند. حال اگر ولتاژ آند نسبت به کاتد خیلی خیلی بیشتر شود باعث شکسته شدن پیوند وسطی (J_2) خواهد شد و جریان در تریستور جاری می شود. وقتی به ولتاژ V_{BO} برسیم حالت شکست بهمنی رخ داده است.



شکل (۳۴): شکل مدار دارای تریستور

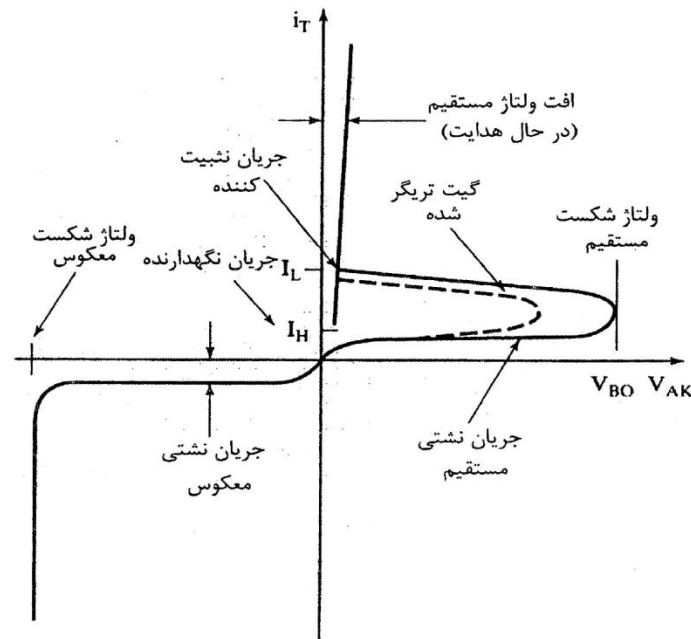


شکل (۳۳): شکل مداری تریستور



شکل (۳۵): شکل موج های ولتاژ ورودی و خروجی یک مدار دارای تریستور

در کاربردهای ولتاژ بالا امکان سری کردن تریستورها و در کاربردهای جریان بالا امکان موازی کردن تریستورها فراهم می باشد. در حالت وصل تریستور معمولاً بخاطر مقاومت J_2 که در بایاس معکوس می باشد ولتاژ ۱ الی ۲ ولت در دوسر تریستور افت خواهد کرد.



شکل (۳۶) : مشخصه V-I ترایستور

جریان تثبیت کننده (I_L) : حداقل جریان آند مورد نیاز است که بعد از آنکه ترایستور روشن شد و سیگنال گیت از روی آن برداشته شد، لازم است برقرار بماند تا ترایستور را در حالت روشن نگه دارد.

جریان نگهداری (I_H) : اگر جریان مستقیم آند به کمتر از I_H برسد به کاهش تعداد حاملها در اطراف پیوند J_2 یک ناحیه تخلیه ایجاد شده و ترایستور به حالت قطع می رود جریان نگهداری در حد خیلی آمپر بوده و از جریان تثبیت کننده I_L کوچکتر است. ($I_L > I_H$)

روش های دیگر روشن کردن ترایستور : هر فرآیندی که باعث افزایش جریان مستقیم ترایستور شود باعث روشن شدن ترایستور می شود

۱- گرما

۲- نور

۳- ولتاژ زیاد

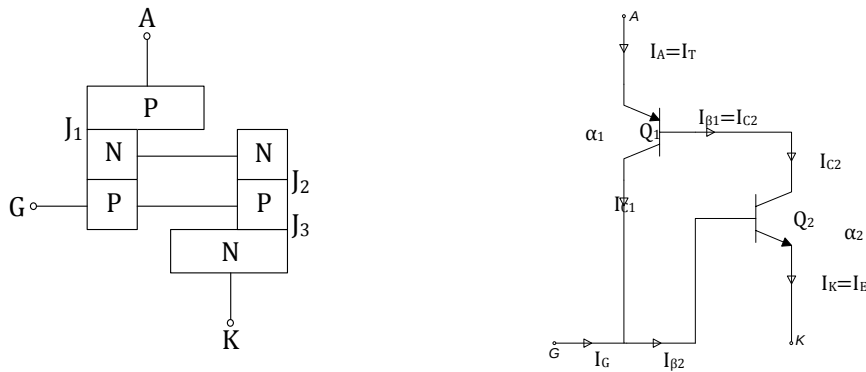
۴- تغییرات ولتاژ زیاد $\frac{dv}{dt}$

۵- تغییرات جریان زیاد $\frac{di}{dt}$

روشن کردن ترایستور به روش گرما : هر فرآیندی که منجر به افزایش جریان آند ترایستور گردد میتواند ترایستور را روشن نماید. اگر دمای ترایستور بالا رود تعداد زوج الکترون حفره افزایش خواهد یافت و در نتیجه جریان نشستی افزایش می یابد و این افزایش، مقادیر $\alpha_1 + \alpha_2$ را افزایش داده آن را به سمت ۱ می کشاند و با توجه به فرمول R مخرج کسر به سمت صفر میل می کند و خود کسر به سمت بی نهایت میل خواهد کرد.

روشن کردن ترایستور به روش نور : افزایش تعداد زوج الکترون حفره ناشی از تابش نور به پیوندها باعث روشن شدن ترایستور خواهد شد ساختار این نوع ترایستورها مخصوص بوده و دارای روزنه ای شیشه ای جهت تابش نور (اکثرا ماوراء بنفش) می باشد.

مدل دو ترانزیستوری، تریستور : حال می خواهیم بررسی کنیم که چگونه جریان کوچک گیت باعث روشن شدن تریستور می گردد.



شکل (۳۷) : مدار معادل دو ترانزیستوری، تریستور

رابطه جریان کلکتور ترانزیستور بر حسب جریان نشتی پیوند بیس کلکتور. $\alpha \approx \frac{I_C}{I_E}$

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$

$$I_{C2} = I_{B1}$$

$$\begin{cases} Q_1 \rightarrow I_E = I_A \\ I_{C1} = \alpha_1 \cdot I_A + I_{CB0_1} \\ I_{C2} = \alpha_2 \cdot I_A + I_{CB0_1} \end{cases}$$

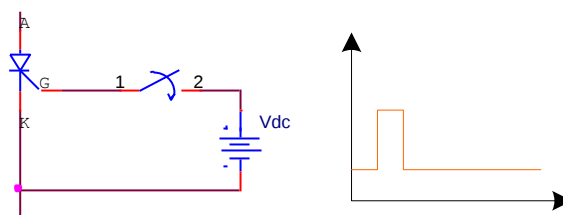
$$I_A = I_{C1} + I_{C2} = \alpha_1 \cdot I_A + I_{CB0_1} + \alpha_2 \cdot I_A + I_{CB0_1}$$

$$I_A = \frac{\alpha_2 I_G + I_{CB0_1} + I_{CB0_1}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

$$I_K = I_{C2} + I_{B2}$$

در طراحی مدارات راه انداز گیت بایستی موارد زیر را در نظر گرفت :

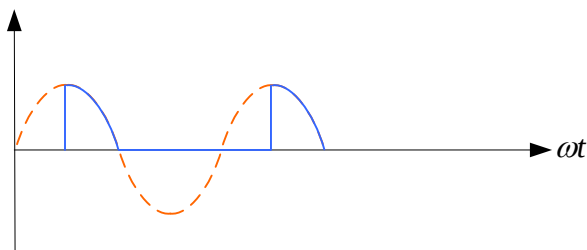
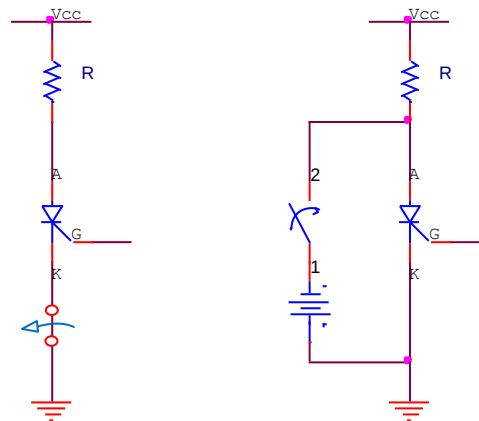
- ۱- پس از روشن شدن تریستور سیگنال گیت از روی آن برداشته شود. ادامه اعمال سیگنال باعث افزایش تلفات در تریستور و احتمال خرابی تریستور خواهد شد.



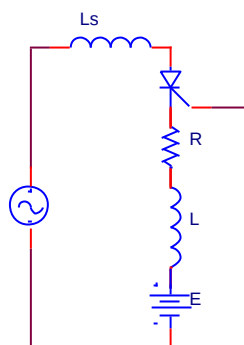
- ۲- زمانی که تریستور در حالت بایاس معکوس می باشد نبایستی سیگنال فرمان برای گیت ارسال کرد.

خاموش کردن ترایستور : برای خاموش کردن ترایستور بایستی جریان ترایستور را به زیر I_H برسانیم و هر روی کردی که بتواند جریان را به کمتر از I_H برساند باعث خاموش شدن ترایستور خواهد شد.

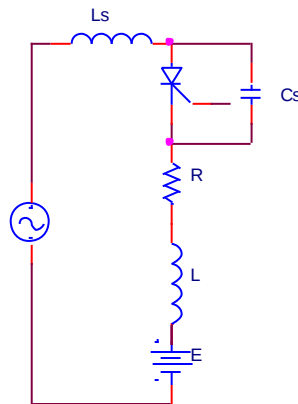
دو روش برای خاموش کردن ترایستور



حفاظت در برابر $\frac{di}{dt}$: اگر نرخ تغییرات جریان ترایستور نسبت به زمان در مقایسه با سرعت گسترش فرآیند روشن شدن خیلی سریع باشد به واسطه چگالی زیاد یک نقطه داخلی گرم ایجاد می گردد که ممکن است قطعه آسیب ببیند لذا بایستی ترایستور را در برابر تغییرات بسیار ناگهانی جریان حفاظت کرد این کار توسط سلف محافظ بنام L_s (snubber) انجام می گیرد.



حفاظت در برابر $\frac{dv}{dt}$: تغییرات سریع ولتاژ نسبت به زمان موجب روشن شدن تریتور به صورت خود سرآنه خواهد شد. برای جلوگیری از این اتفاق از خازن Cs (C snuber) بصورت موازی با تریتور استفاده می شود.

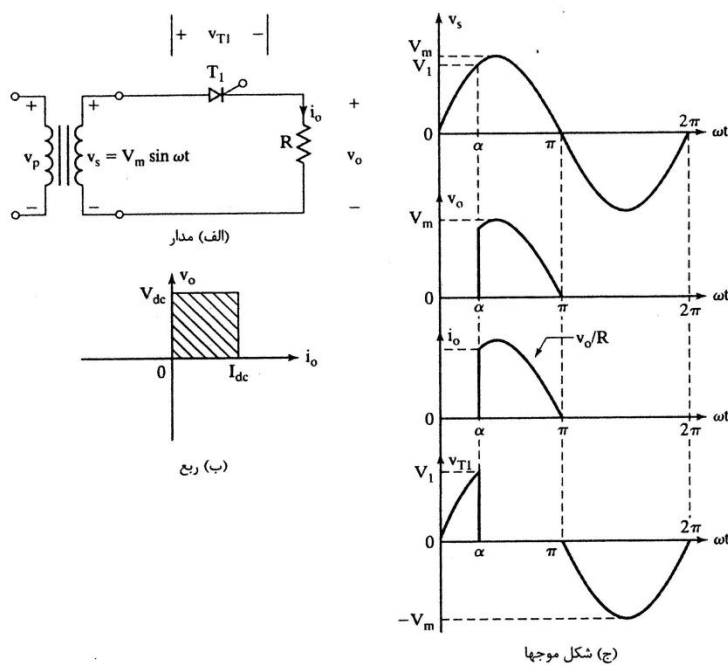


$$i_{c_j} = \frac{dq}{dt} = \frac{d(c_j \cdot v)}{dt} = c_j \frac{dv}{dt} + v \frac{dc_j}{dt}$$

$$q = c \cdot v$$

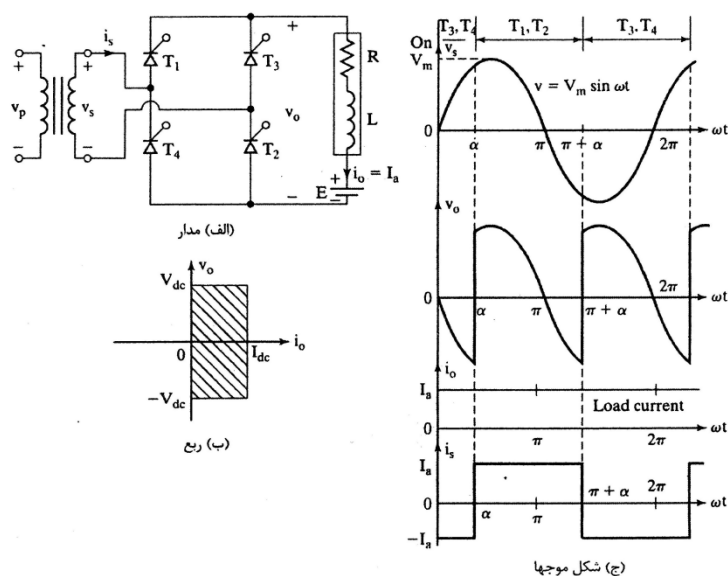
مبدل های کنترل فاز

مبدل نیمه تک فاز: مبدل نیمه یک مبدل یک ربعی است که ولتاژ و جریان خروجی آن در یک جهت است.



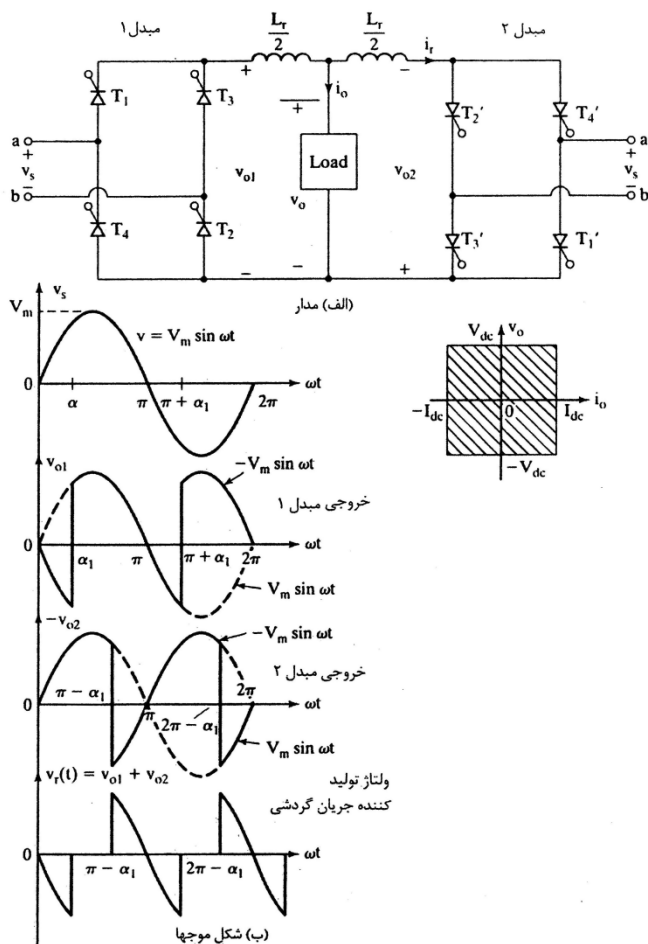
شکل (۳۸): مبدل تریستوری تک فاز با بار مقاومتی.

مبدل کامل تک فاز : مبدل کامل دو ربعی است که علامت ولتاژ خروجی آن می تواند مثبت یا منفی باشد. با وجود این جریان خروجی مبدل کامل فقط در یک جهت برقرار است.



شکل (۳۹) : مبدل کامل تک فاز

مبدل دوتایی تکفاز : مبدل دوتایی در چهار ربع کار می کند و ولتاژ و جریان آن هر دو می تواند مثبت یا منفی باشد.



شکل (۴۰) : مبدل دوتایی تک فاز

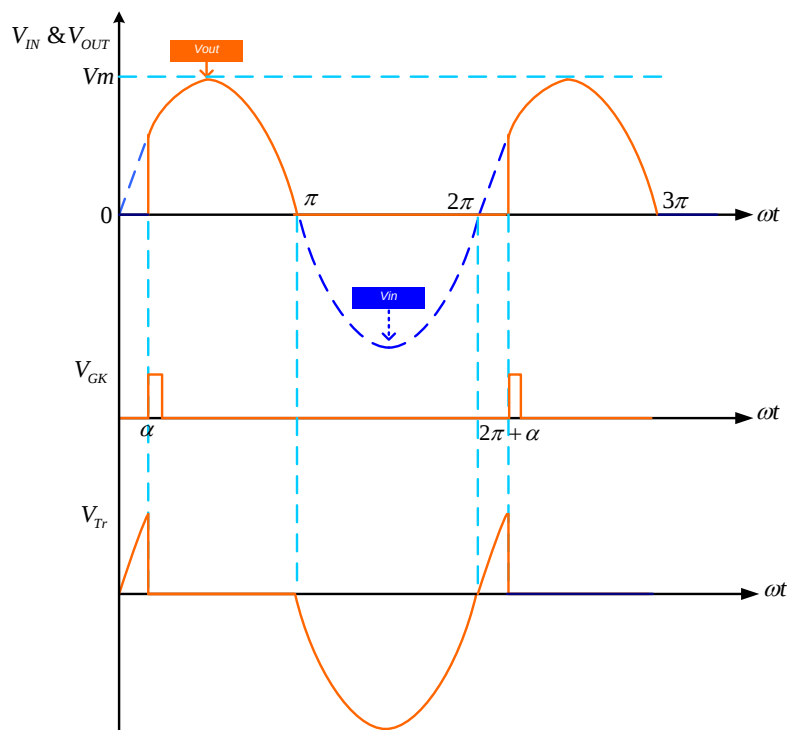
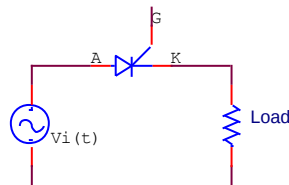
$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_T V_0 dt$$

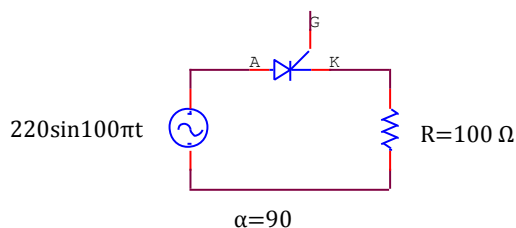
$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi} = \frac{V_m}{2\pi} [-\cos \pi + \cos \alpha] = \frac{V_m}{2\pi} [\cos \alpha + 1]$$

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

$$\text{if } \alpha = 0 \quad V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{V_m}{\pi}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - 0 + \frac{1}{2} \sin 0 \right)} = \frac{V_m}{2\pi}$$





$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos\alpha) = \frac{V_m}{2\pi} \rightarrow I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{V_m}{2R\pi}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2} \sin\pi \right)} = \frac{V_m}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} \right)} = \frac{V_m}{2\sqrt{2}}$$

$$\eta = \frac{\frac{V_m}{2\pi} \times \frac{V_m}{2\pi R}}{\frac{V_m}{2\sqrt{2}} \times \frac{V_m}{2\sqrt{2}R}} = \frac{2}{\pi^2} = 20.27\%$$

$$I_{rms} = \frac{V_m}{2\pi\sqrt{2}} = 24.77$$

$$FF = 2.221$$

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = 1.983$$

برای تغذیه یک مقاومت 10 اهمی از مبدل نیمه تک فاز استفاده می‌کنیم، ورودی به صورت $120\sin 120\pi t$ می‌باشد (مقدار موثر داده شده) جریان متوسط خروجی باید برابر 2.7 آمپر باشد. زاویه α مقدار V_{rms} و پارامترهای کارائی را بیابید.

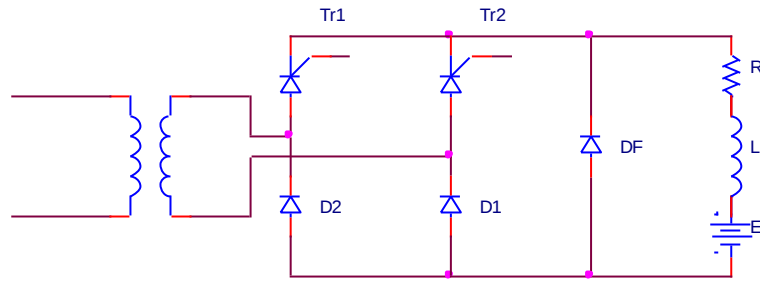
$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos\alpha) \rightarrow R \times I_{dc} = V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos\alpha)$$

$$10 \times 2.7 = \frac{120 \times \sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos\alpha)$$

$$V_{input} = 120\sin 120\pi t$$

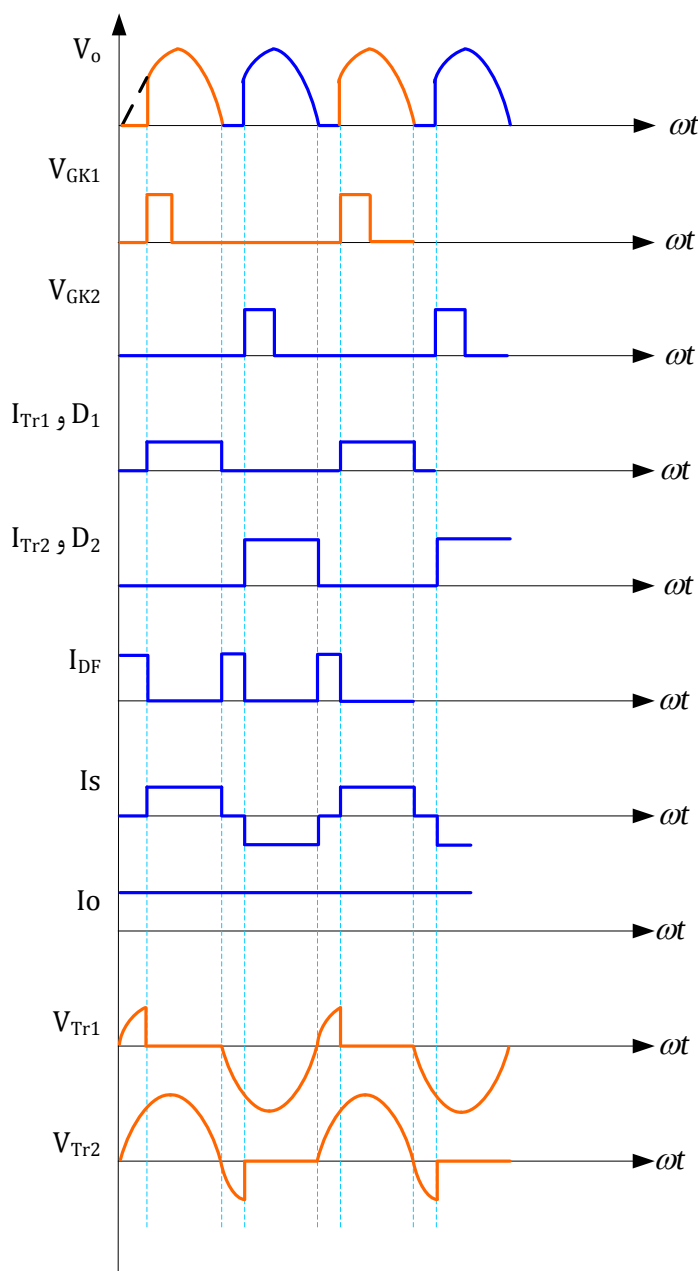
$$120\pi = \omega t \quad \alpha = \frac{\pi}{2} = 90$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2} \sin\pi \right)} \rightarrow \frac{V_m}{2\sqrt{2}} = 60$$



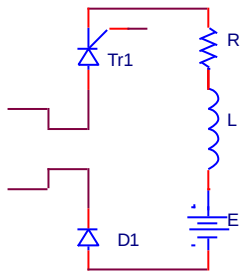
شکل (۴۱): مدار مبدل نیمه تک فاز تمام موج

نکته: بار دارای خاصیت اهمی - سلفی است لذا دیود هرزگرد در سیستم استفاده شده است.



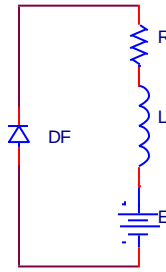
شکل (۴۲): شکل موج های مبدل نیمه تک فاز تمام موج

حالات کاری :



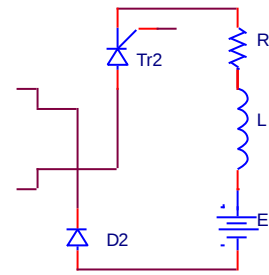
Mode I

$$\alpha \leq \omega t \leq \pi$$



Mode II

$$\pi \leq \omega t \leq \pi + \alpha$$



Mode III

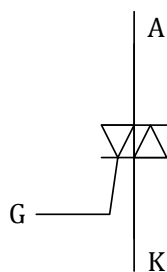
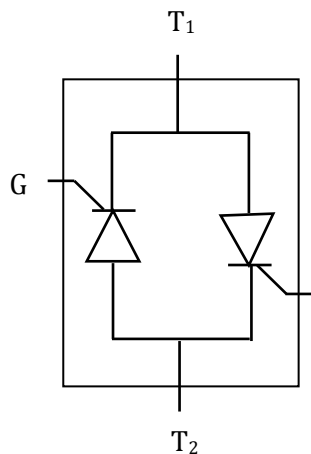
$$\pi + \alpha \leq \omega t \leq 2\pi$$

در نیم سیکل مثبت D_1 و Tr_1 روشن ($\omega t = \alpha$) و بار تغذیه می گردد. در طول $\pi \leq \omega t \leq \pi + \alpha$ دیود هرزگزد بایاس مستقیم می گردد و پیوستگی جریان بار را حفظ می کند. در نیم سیکل بعدی Tr_2 و D_2 روشن شده و بار تغذیه مثبت می گردد. در این حالت جهت جریان I_s معکوس و به سمت داخل ترانس خواهد بود. این مبدل ها در صنعت تا سطوح توان 15KW استفاده می گردد. پلاریته ولتاژ و جهت جریان خروجی در این مبدل همیشه مثبت می باشد.

$$V_{dc} = \frac{2 \times V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t}$$

$$\sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d\omega t} = \frac{V_m}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} (\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2})}$$



شکل (۴۳) : علامت اختصاری تریاک

تریاک مشابه دو ترستور موازی معکوس عمل می کند

که توان خروجی را به دو نیمه سیکل منفی و مثبت کنترل می کند

شکل (۴۴) : مدار معادل ترستوری برای تریاک

این فایل توسط **سعید توپچی پور** برای **ویکی پاور** ارسال شده است.

ایمیل نویسنده :

s_topchi@yahoo.com

ویکی پاور

سایت تخصصی رشته های مهندسی برق ، کامپیوتر و ...

www.WikiPower.ir

شما نیز مطالب خود را برای ما ارسال کنید تا با نام خودتان در سایت قرار گیرد.

info@wikipower.ir

به امید موفقیت روز افزون برای مهندس سعید توپچی و تمام دانشجویان ایران زمین