محمد اعرابیان

جزوه درس الکترونیک کاربردی

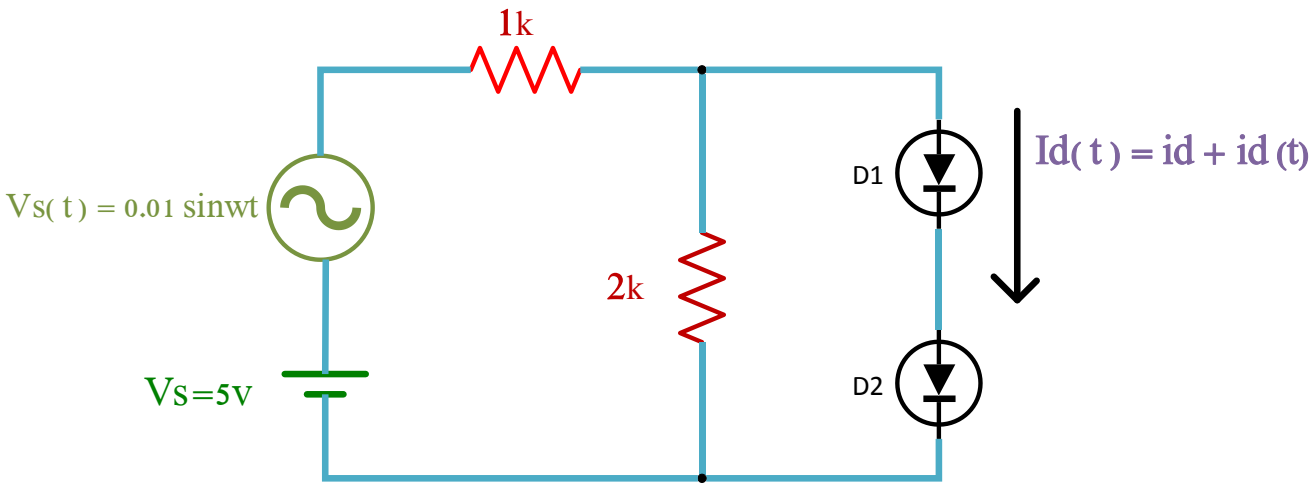
جلسه ششم

برای جزئیات بیشتر **اسکن کنید**

نسخه ۱.۱ | تهیه شده در بهمن ۱۴۰۰

تمامی حقوق این جزوه برای **محمد اعرابیان** محفوظ است.

مثال: در مدار دیودی زیر جریان دیود را محاسبه کنید.

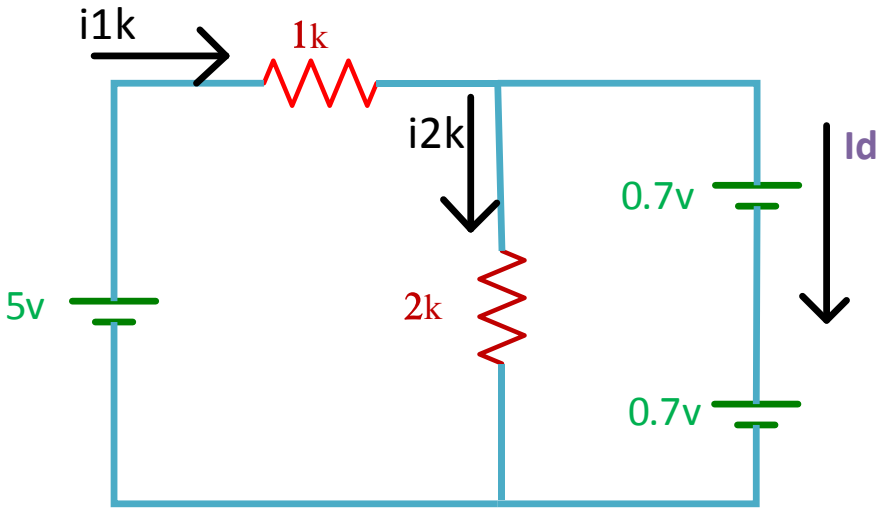


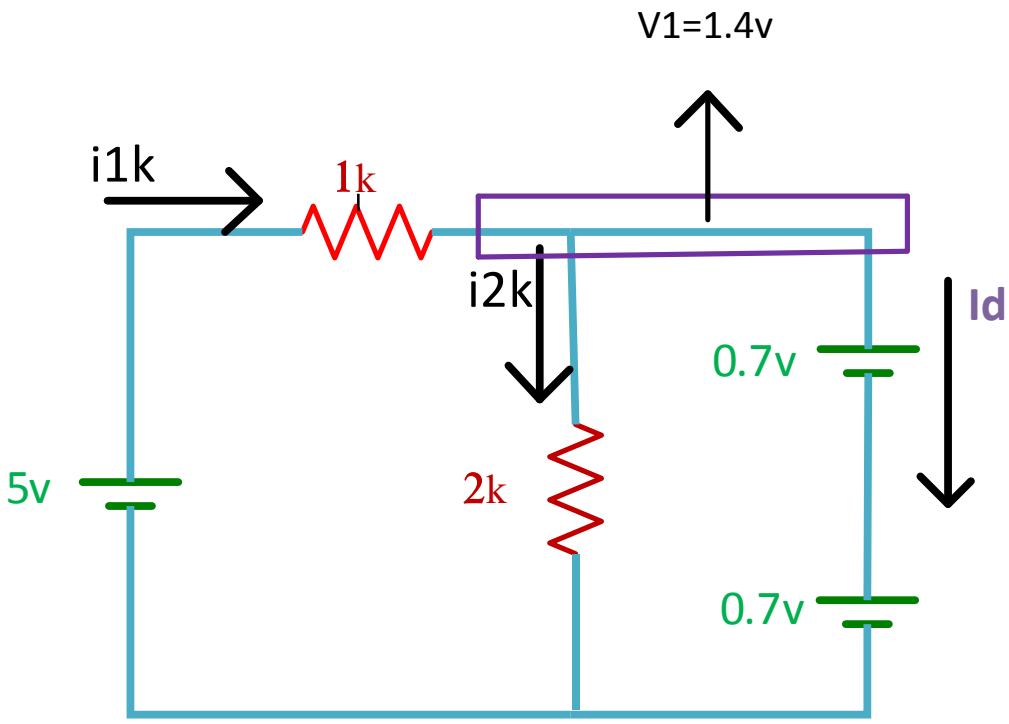
به ولتاژ dc سیگنال بزرگ می‌گویند.

به ولتاژ ac سیگنال کوچک می‌گویند.

* در قسمت اول حل مدار را در حالت سیگنال بزرگ تحلیل می‌کنیم:

در سیگنال بزرگ به جای دیود باتری با ولتاژ شکست دیود (0.7) قرار می‌دهیم،





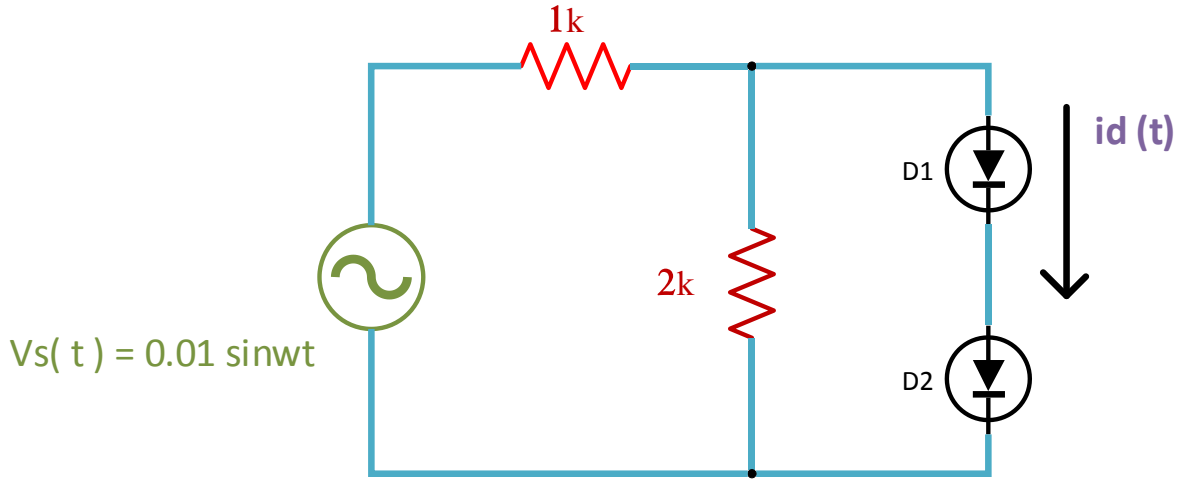
$$i_{2k} = \frac{V_{2k}}{R_{2k}} = \frac{1.4v}{2k} = 0.7mA$$

$$i_{1k} = \frac{\text{ولتاژ انتها مقاومت} - \text{ولتاژ ابتدا مقاومت}}{R_{1k}} = \frac{5v - 1.4v}{1k} = 3.6mA$$

$$i_d = i_{1k} - i_{2k}$$

$$i_d = 3.6mA - 0.7mA = 2.9mA$$

حل مدار در سیگنال کوچک:



به جای دیود در مدار سیگنال کوچک (ac) از مقاومت دینامیکی دیود استفاده می‌کنیم.

$$r_d = \frac{\eta V_T}{I_D}$$

جریان کم (قبل از ولتاژ شکست لایه سد) در دیتاشیت دیود داده می‌شود.

$$\eta(\text{Si}) = 2 \quad , \quad \eta(\text{Ge}) = 1$$

جریان زیاد (بعد از ولتاژ شکست لایه سد)

$$\eta(\text{Si}) = 1 \quad , \quad \eta(\text{Ge}) = 1$$

چون دیود (سیلیسیم) در بعد از ولتاژ شکست است،

$$\eta = 1$$

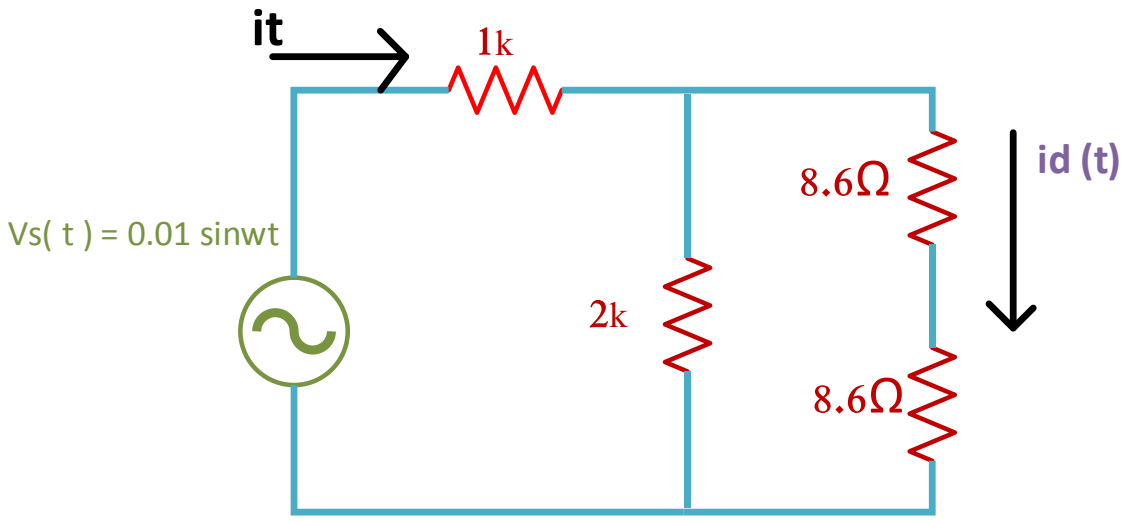
V_T ولتاژ حرارتی است.

$V_T = 26mv$ که برای راحتی از $V_T = 25mv$ استفاده می‌کنیم.

پس مقاومت دینامیکی دیود:

$$r_d = \frac{\eta V_T}{I_D} = \frac{1 \times 25mv}{2.9mA} = 8.6\Omega$$

در نتیجه:

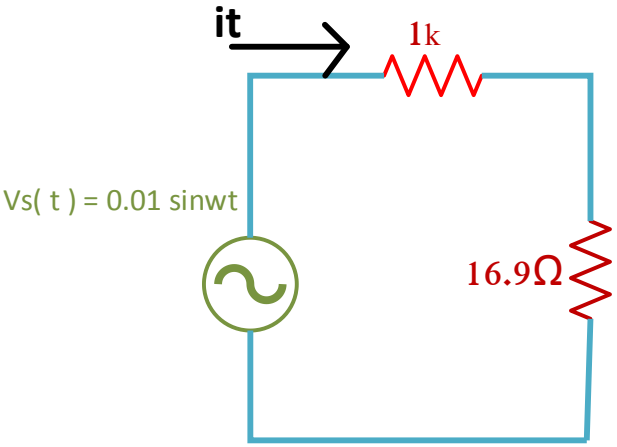


برای محاسبه‌ی i_t

مقاومت های 8.6Ω با مقاومت $2k\Omega$ موازی است، پس

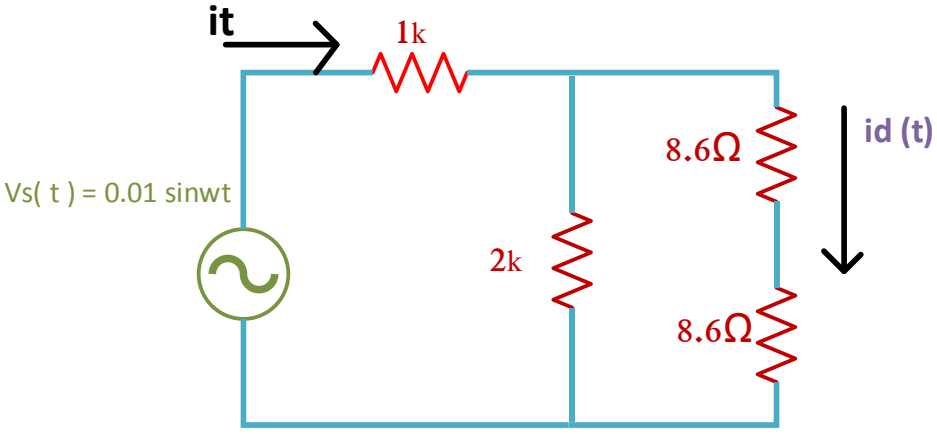
$$\frac{2k\Omega \times 17.2\Omega}{2k\Omega + 17.2\Omega} = 16.9\Omega$$

پس:



$$i_t = \frac{v_i}{1k\Omega + 16.9\Omega} = \frac{10mv}{1k\Omega + 16.9\Omega} = 9.83\mu A\ sin\omega t$$

در نتیجه:

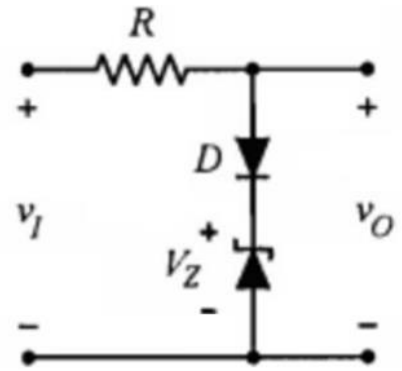


$$i_d(t) = \frac{i_t \times R_{2k\Omega}}{2k\Omega + 17.2\Omega} = \frac{9.83\mu A\ sin\omega t \times 2k\Omega}{2k\Omega + 17.2\Omega} = 9.75\mu A\ sin\omega t$$

$$i_{2k} = \frac{i_t \times R_D}{2k\Omega + 17.2\Omega} = \frac{9.83\mu A\ sin\omega t \times 17.2\Omega}{2k\Omega + 17.2\Omega} = 8\mu A\ sin\omega t$$

$$I_D(t) = i_d + i_d(t) = 2.9mA + 9.75\mu A\ sin\omega t$$

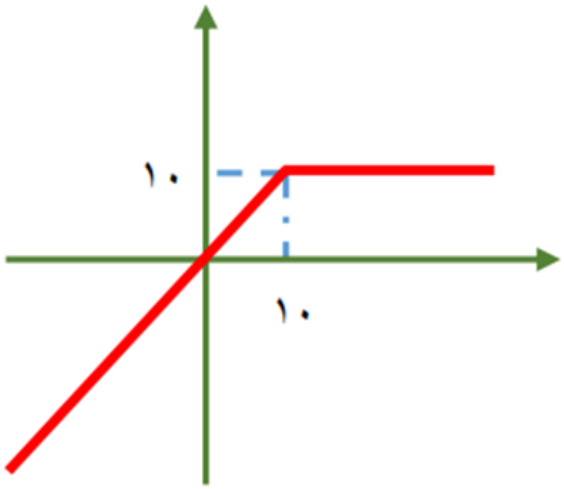
مثال: منحنی خروجی مدار زیر را نسبت به ولتاژ وردی محاسبه نمایید. (دیود ها ایده آل، ولتاژ شکست زنری ۱۰ ولت و مقاومت ۱ کیلو اهم)



تا زمانی که پایه مثبت دیود زنر ۱۰ ولت نشود، دیود زنر مدار باز است

و خروجی دقیقا همان ورودی می‌باشد.

$$V_i < 10 \rightarrow I_D = I_{D_Z} = 0 \quad , \quad V_O = V_i$$



زمانی که ورودی ۱۰ ولت شود، دیود و دیود زنر وصل شده

(شکست زخ می‌دهد)

و خروجی دقیقا ولتاژ دو سر دیود زنر می‌شود.

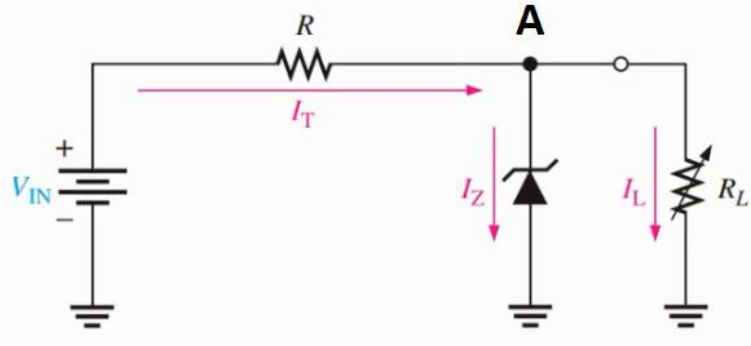
$$V_i \geq 10 \rightarrow V_O = V_Z = 10v$$

تثبیت کننده‌ی ولتاژ: وظیفه‌ی این دست از مدارات ارائه‌ی یک ولتاژ ثابت در خروجی است (توجه کنید که همواره ولتاژ خروجی کمتر از ولتاژ ورودی است.) در این مدار باید به دو محدودیت جریان خروجی و دیود زنر دقت نمود.

افزایش بیش از حد جریان خروجی ≫ افت ولتاژ خروجی، افزایش جریان دیود زنر ≫ سوختن این دیود.

بدست آوردن مقدار مقاومت R و جریان خروجی می تواند سوال باشد.

مثال: با در نظر گرفتن $R = 1k\Omega$ ، $V_Z = 10v$ ، $I_{Dz_{max}} = 10mA$ و $V_i = 25$ مقدار حداکثر و حداقل R_L برای مدار تثبیت کننده زیر محاسبه کنید.



اگر یک kcl در A بنویسیم $I_T = I_Z + I_L$

اگر یک kcl در A بنویسیم $I_T = I_Z + I_L$

در قسمت اول می‌خواهیم بیشترین مقدار R_L را محاسبه کنیم. پس

بیشترین جریان I_Z ⟹ کمترین جریان I_L ⟹ بیشترین مقدار R_L

$I_{Dz_{max}} = 10mA$

$$kcl: -V_i + RI_T + V_Z = 0 \Longrightarrow -25 + 1k(I_T) + 10 = 0$$

$$\Longrightarrow 1k(I_T) = 25 - 10 \Longrightarrow I_T = \frac{15}{1k} = 15mA$$

$$I_T = I_{Z_{max}} + I_{L_{min}} \Longrightarrow 15mA = 10\text{mA} + I_{L_{min}} \Longrightarrow I_{L_{min}} = 5mA$$

$$\Longrightarrow R_{L_{max}} = \frac{V_O}{I_{L_{min}}} = \frac{V_Z}{I_{L_{min}}} = \frac{10v}{5mA} = 2k\Omega$$

در قسمت دوم می‌خواهیم کمترین مقدار R_L را محاسبه کنیم. پس

کمترین جریان I_Z ⟹ بیشترین جریان I_L ⟹ کمترین مقدار R_L

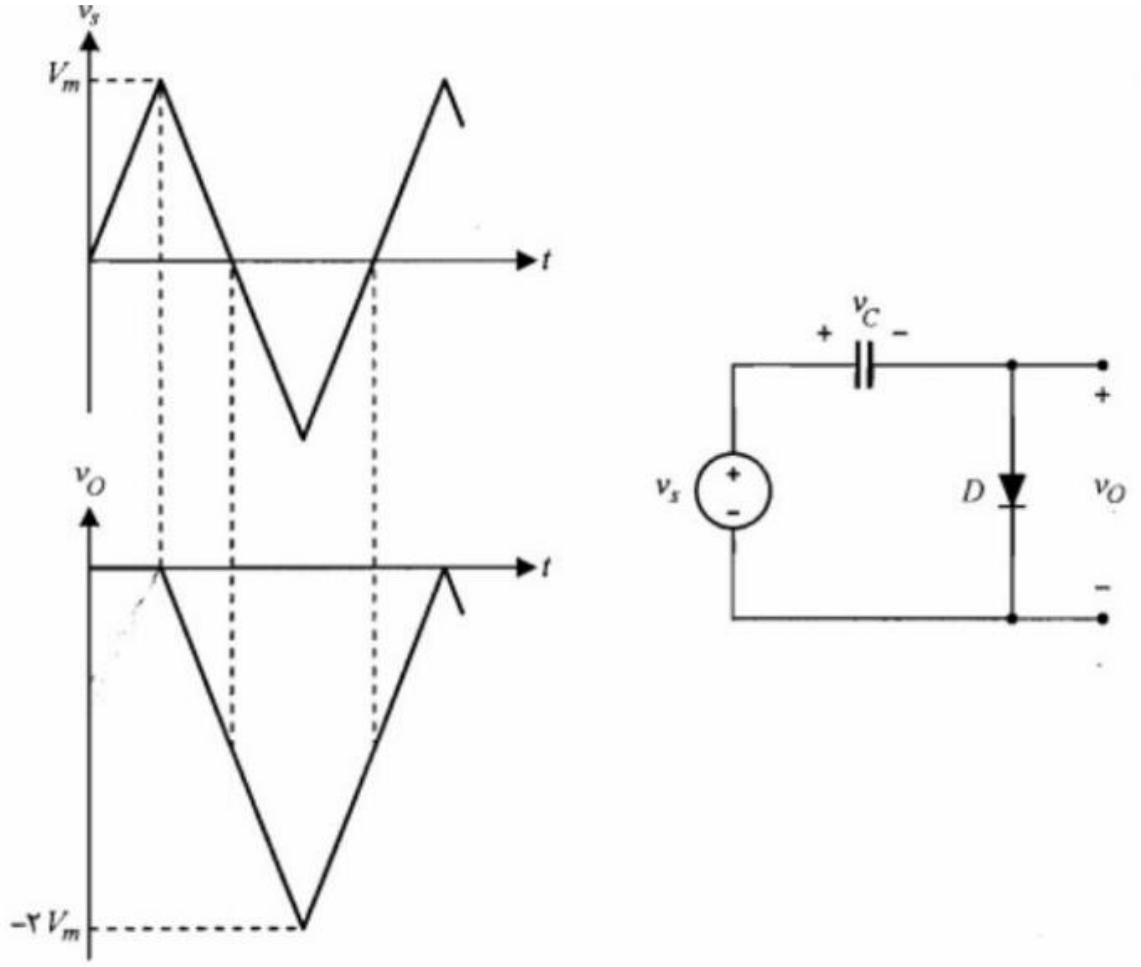
$I_{Dz_{min}} = 0mA \quad \Longrightarrow I_T = I_{L_{max}}$

$$kcl: -V_i + RI_{L_{max}} + V_O = 0 \Longrightarrow -25 + 1k\left(I_{L_{max}}\right) + 10 = 0$$

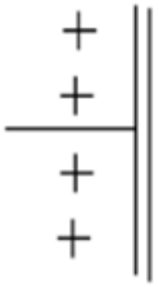
$$\Longrightarrow 1k\left(I_{L_{max}}\right) = 25 - 10 \Longrightarrow I_{L_{max}} = \frac{15}{1k} = 15mA$$

$$\Longrightarrow R_{L_{min}} = \frac{V_O}{I_{L_{max}}} = \frac{V_Z}{I_{L_{max}}} = \frac{10v}{15mA} = 666\Omega$$

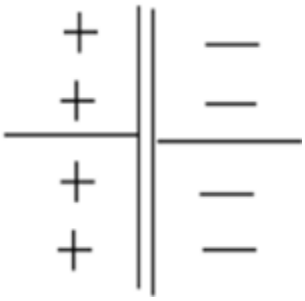
مدارات کلمپ: این دست از مدارات امکان قرار دادن حداکثر دامنه ی ورودی را روي یک مقدار معین فراهم می نماید. به عبارت دیگر این مدارات امکان شیفت ولتاژ DC سیگنال خروجی را فراهم می کنند.



در $\frac{1}{4}$ دوره تناوب اول، ورودحفرها به سر مثبت خازن

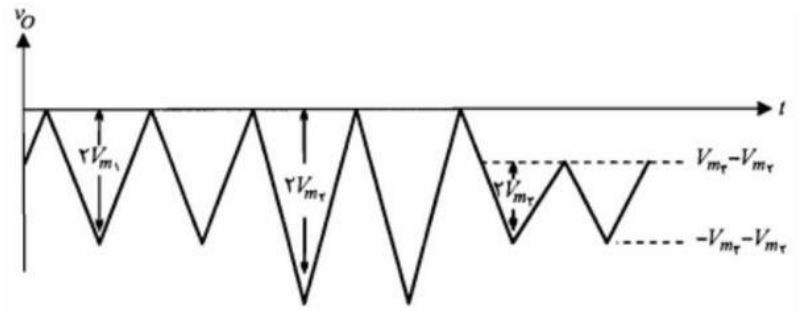


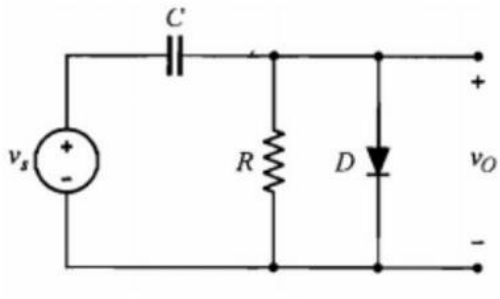
جذب الکترون در سمت دیگر (با در نظر گرفتن جهت دیود اجازه‌ی عبور الکترون داده می‌شود)



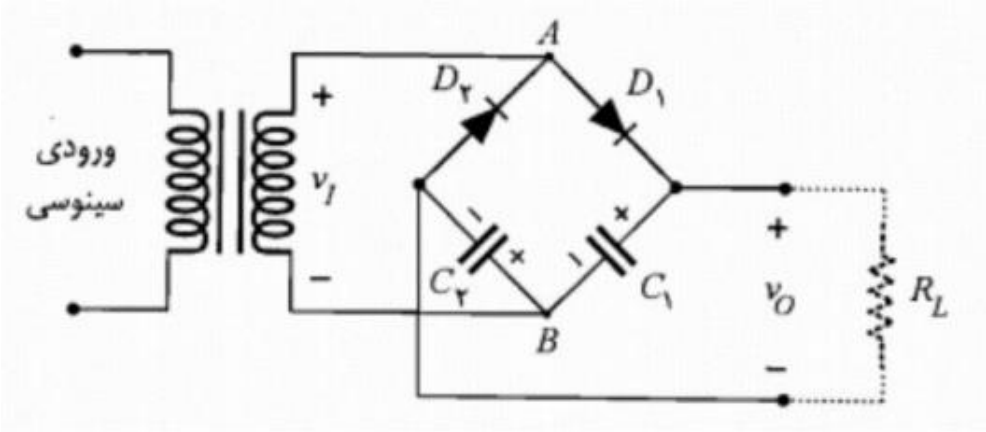
با کاهش ولتاژ در ابتدا $\frac{1}{4}$ دوم، بار مثبت و در نتیجه منفی می‌خواهند از دو طرف خازن دور شوند. حرکت الکترون‌ها توسط دیود سد می‌شود. بنابراین خازن راهی برای تخلیه ندارد و در ادامه مانند یک منبع ولتاژ خواهد بود. $V_O = V_S - V_C$

با افزایش دامنه مقدار ولتاژ DC روی خازن افزایش یافته و مشکلی پیش نمی آید. با کاهش دامنه‌ی ورودی مقدار ولتاژ DC روی خازن کاهش نمی یابد. به منظور حل این مشکل: مدل اصلاح شده برای حل مشکل عدم کاهش مقدار DC روی خازن:





مدار دو برابر کننده ی ولتاژ



$\frac{1}{4}$ دوره تناوب اول:

جمع شدن حفرها روی پلاریته + C_1 و الکترون‌ها روی پلاریته - C_1

⟸ شارژ خازن: ایجاد اختلاف پتانسیل V_m روی C_1

$\frac{1}{4}$ دوم:

با کاهش ولتاژ حفرها و الکترون‌ها می‌خواهند از خازن خارج شوند اما D_1 مانع می‌شود.

⟸در ادامه C_1 شارژ می‌شود

$\frac{1}{4}$ سوم:

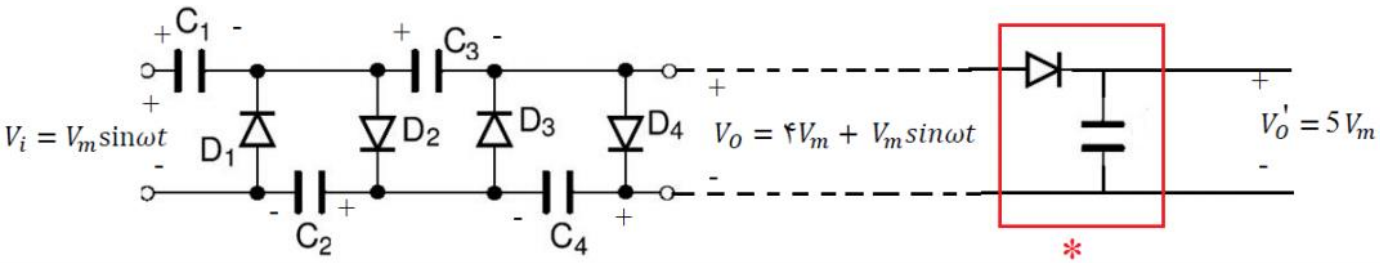
در این حالت الکترون‌ها از پایه مثبت ترانس (ورودی منفی می‌شود) به C_2 – و حفره‌ها به C_2 + و

⟸ شارژ خازن: ایجاد اختلاف پتانسیل V_m روی C_2

$\frac{1}{4}$ چهارم:

دیود D_2 مانند D_1 اجازه‌ی تخلیه شدن خازن C_2 را نمی‌دهد.در ادامه C_2 شارژ می‌ماند.

چند برابر کننده‌ی ولتاژ:



انتقال حفره‌ها روی $C_3^+, C_1^+, C_4^+, C_2^+$

انتقال الکترون‌ها روی $C_4^-, C_3^-, C_2^-, C_1^-$

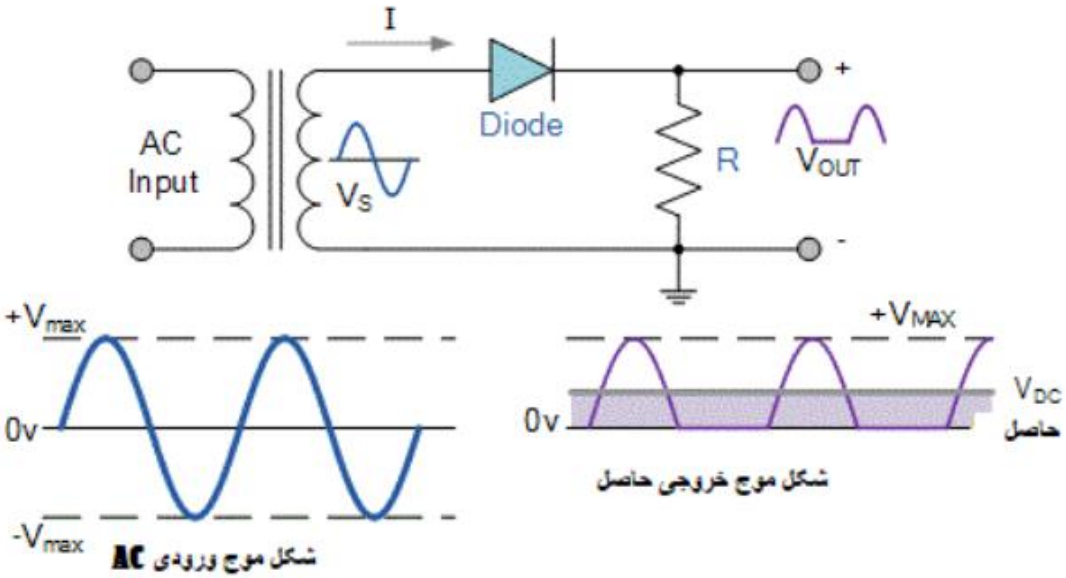
هر یک از خازن‌ها به اندازه‌ی V_m شارژ می‌شوند.

یکسوسازها

از این مدارات در طبقه‌ی اول تمام مبدل های ولتاژ که با برق متناوب کار می کنند استفاده می شود. از آنجا که مقدار DC یک موج سینوسی متناوب، صفر است به منظور داشتن یک مقدار غیر صفر برای ولتاژ DC لازم است که از مدارات یکسو ساز استفاده شود.

یک سو ساز نیم موج تکفاز

این یکسو ساز ساده ترین نوع یکسوساز است که با استفاده از تنها یک دیود ساخته می شود و به دلیل آنکه تنها در یک نیم سیکل توان ورودی را به خروجی انتقال می دهد در مدارات با توان خروجی بالا(جریان بالا) کاربرد ندارد.



با فرض ایده‌آل بودن دیود:

دامنه جریان ورودی

$$I_m = \frac{V_m}{R_L} \quad , \quad V_{pk} = V_m$$

مقدار جریان متوسط

$$I_{Ave} = I_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i(a)da = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} I_m \sin a \, da = \frac{I_m}{\pi}$$

بجای متغیر ωt از متغیر a استفاده شده است.

مقدار ولتاژ متوسط خروجی:

$$V_{Ave} = V_{dc} = R_L \, I_{dc} = \frac{R_L \, I_m}{\pi}$$

مقدار موثر جریان و ولتاژ:

$$I_{rms} = \left(\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \left(i(a)\right)^2 da\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} {I_m}^2 \sin^2 a \, da\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{I_m}{2}$$

$$V_{rms} = R_L \, I_{rms} = \frac{1}{2} R_L \, I_{rms} = \frac{V_m R_L}{2(R_L)} = \frac{V_m}{2}$$

اول به توان ۲ (Square)

دوم میانه اون شکل بالا رفته رو حساب کردم (Mean)

سوم جذر گرفتن (Root)

بازده یکسوکننده نیم موج: نسبت توان DC تحویلی به مقاومت بار به توان متوسط ورودی را می‌توان به عنوان بازده یکسوکننده تعریف نمود.

$$\eta = \frac{(P_{out})_{dc}}{(P_{in})_{av}}$$

توان متوسط ورودی یعنی توانی که یک واتمتر متصل شده به دو سر ورودی نشان می‌دهد. برای یکسوکننده نیم موج این توان به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$(P_{in})_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_I(a)i(a)da = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} (V_m \sin a)\left(\frac{V_m}{R_L}\sin a\right)da$$

و توان خروجی نیز به صورت زیر است:

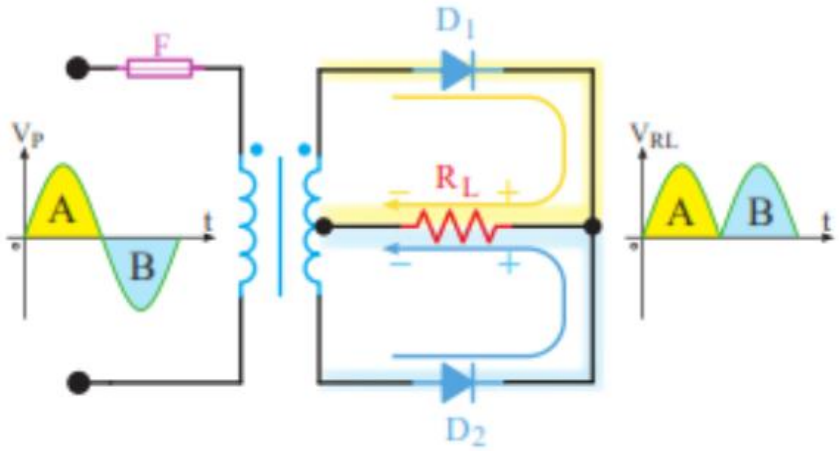
$$(P_{out})_{dc} = (I_{dc})^2 R_L = \left(\frac{I_m}{\pi}\right)^2 R_L = \frac{V_m^2 R_L}{\pi^2 (R_L)^2}$$

در نتیجه بازده یکسوکننده نیم موج برابر است با

$$\eta = \frac{4R_L}{\pi^2 (R_L)^2} \approx \frac{4}{\pi^2} \approx \%40.5$$

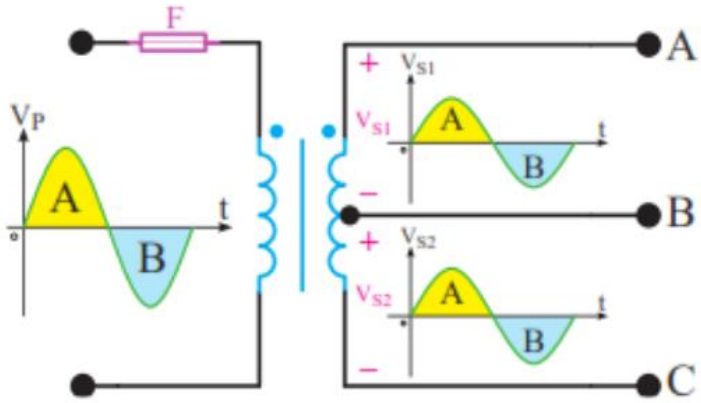
یکسوساز تمام موج با ترانس سر وسط (تکفاز):

در این یکسو ساز اگرچه مشکل انتقال توان تنها در یک نیم سیکل حل شده است و در هر دو نیم سیکل توان از ورودی به خروجی انتقال می یابد اما این مدار نیاز به ترانسفورماتور ۳ خروجی است. بنابراین کمتر از این مدار استفاده می شود.

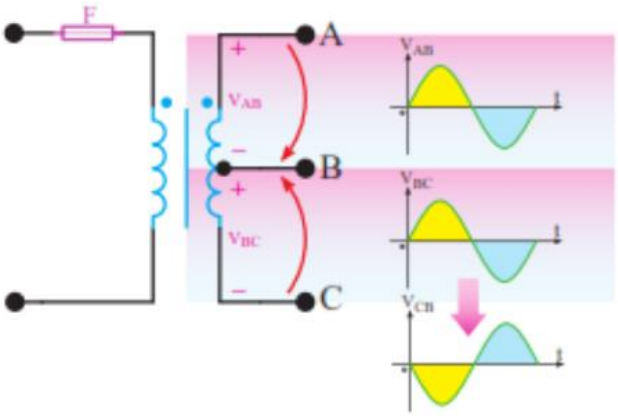


$$V_{Ave} = \frac{2V_{pk}}{\pi}$$

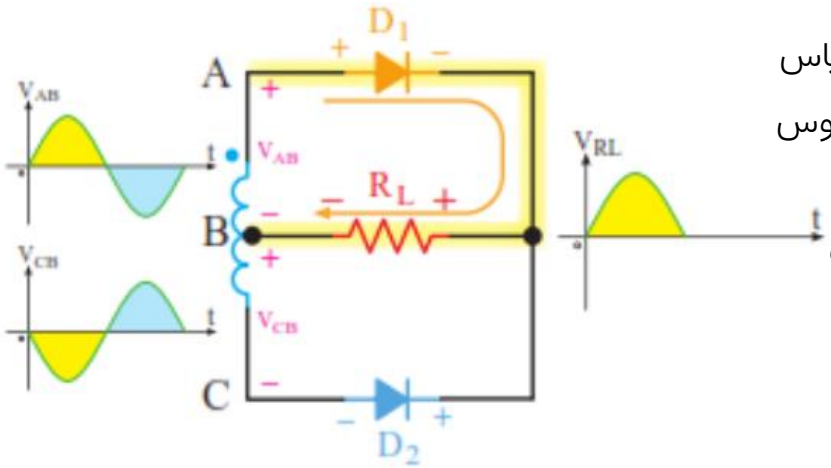
ترانسفورماتور با دو ولتاژ ثانویه یکسان و یک سر زمین استفاده شده است.



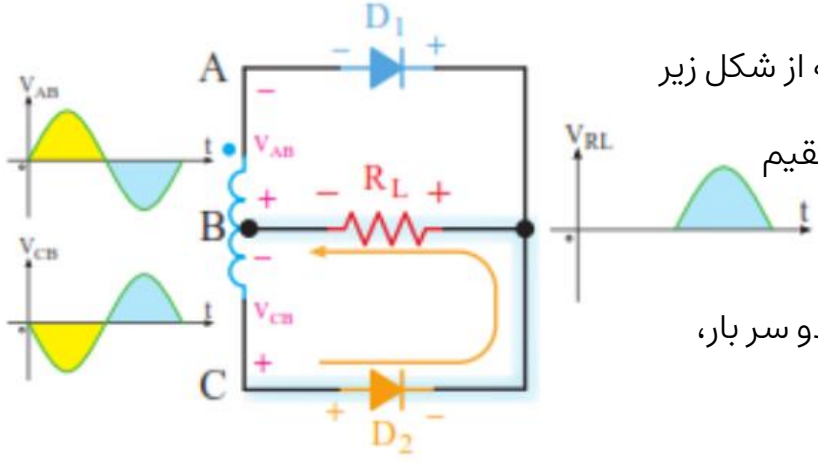
ولتاژ دو نقطه ی A و C برابر ولتاژ نقاط AB و BC می باشد زیرا دو ولتاژ با هم سری شده اند ، یعنی $V_{Ac} = V_{AB} + V_{BC}$



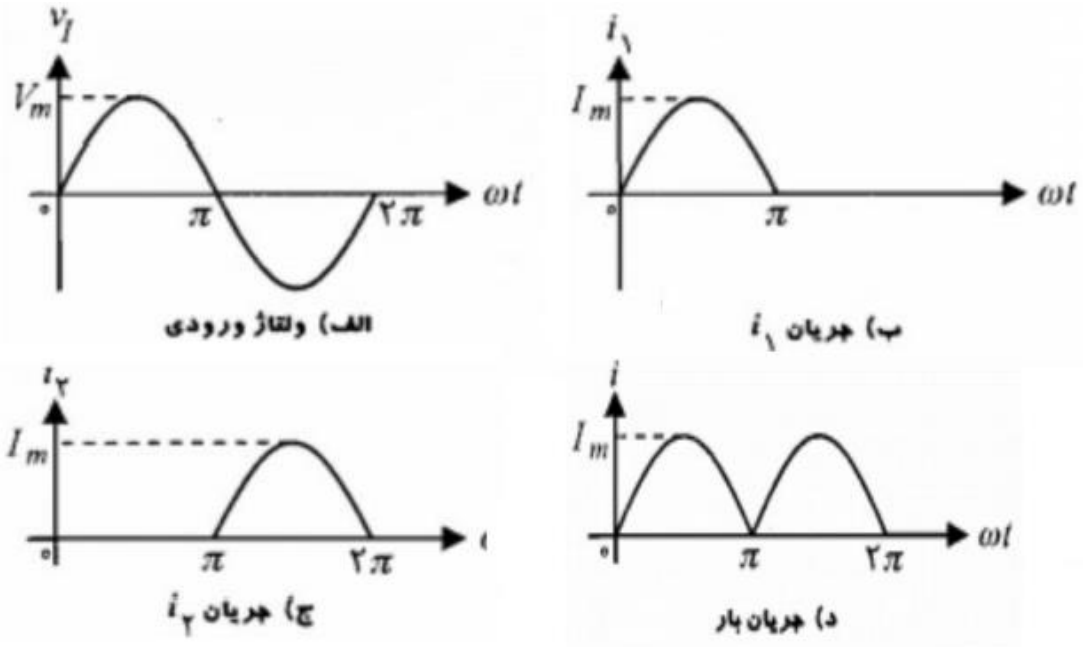
در نیم سیکل مثبت ، نقطه ی A مثبت تر از نقطه ی C و B و نقطه ی B مثبت تر از نقطه ی C است. اگر نقطه ی B (سر وسط ترانسفورماتور) را مبنا بگیریم ، نقطه ی A نسبت به مبنا (نقطه ی B) مثبت تر و نقطه ی C نسبت به مبنا (نقطه ی B) منفی تر است.



در مدت نیم سیکل مثبت ، دیود D_1 در بایاس مستقیم قرار دارد دیود D_2 در بایاس معکوس قرار دارد. بنابراین ، فقط دیود D_1 هدایت می کند. لذا ، تمام ولتاژ نیم سیکل مثبت V_{AB} در دوسر بار ، ظاهر می گردد.



در مدت نیم سیکل منفی ، همان طوری که از شکل زیر مشاهده می شود ،دیود D_2 در بایاس مستقیم و هادی و دیود D_1 در بایاس معکوس قرار گرفته است. در این حالت تمام ولتاژ V_{CB} دو سر بار، ظاهر می گردد.



مقدار جریان متوسط

$$I_m = \frac{2V_m}{R_L}$$

مقدار جریان متوسط

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} I_m \sin a \, da = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} I_m \sin a \, da = \frac{2I_m}{\pi} = \frac{\frac{2V_m}{\pi}}{R_L} = \frac{2V_m}{R_L\pi}$$

مقدار ولتاژ متوسط خروجی:

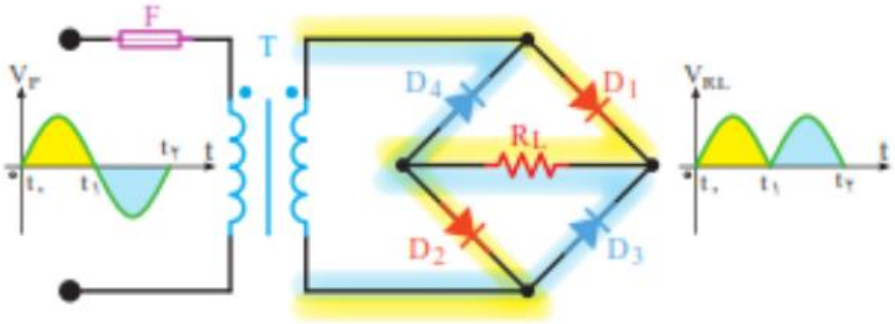
$$V_{dc} = R_L\, I_{dc} = \frac{2V_m\, R_L}{\pi\, R_L} = \frac{2V_m}{\pi}$$

روابط فوق برای حالتی است که اثر R_f یا مقاومت دیود لحاظ شود یا به عبارتی $R_L \gg R_f$ باشد و یا همچنین دیود را ایده‌آل فرض کنیم.

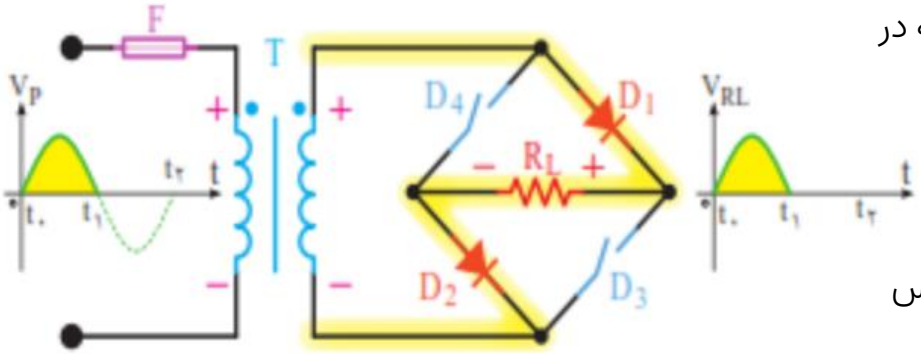
حداکثر ولتاژ معکوس دیود: در یک سو کننده نیم موج وقتی دیود D_1 در حالت قطع قرار می‌گرفت کل ولتاژ V_m دو سر آن می‌افتاد، بنابراین حداکثر ولتاژ معکوس دیود باید برابر با V_m باشد تا ولتاژ شکست در بایاس معکوس اتفاق نیوفتد. اما در یک سوکننده تمام موج ترانس سر وسط (تکفاز) وقتی دیود D_1 قطع است، D_2 در حالت هدایت بوده وتقریبا اتصال کوتاه است و ولتاژ دو سر دیود D_1 برابر با $2V_m$ می‌شود.پس در این مدار باید دیودهایی انتخاب شوند که ولتاژ شکست معکوس $2V_m$ داشته باشند.

پل دیودی

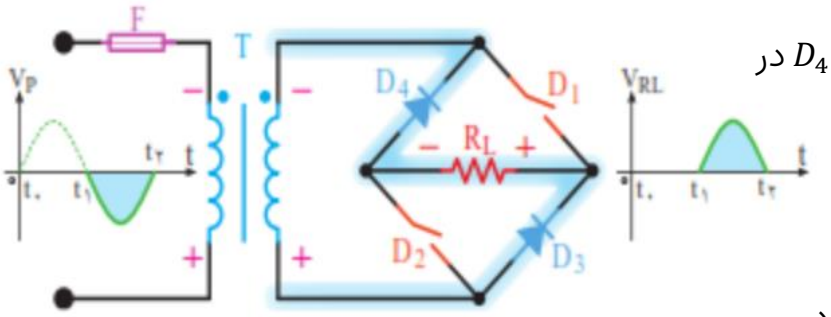
این مدار کاربردی ترین مدار یکسو ساز است و برتری آن این است که، ترانسفورماتور مورد نیاز معمولی می‌باشد و احتیاج به ثانویه سه سر نیست. حداکثر ولتاژ معکوس هر دیود برابر V_m خواهد بود



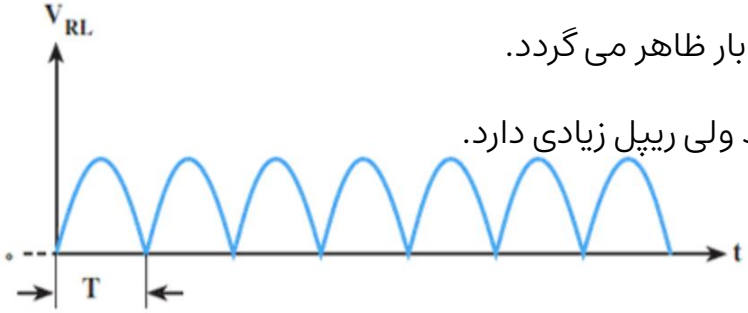
$$V_{Ave} = \frac{2V_{pk}}{\pi}$$



طرز کار مدار به این صورت است که در مدت نیم سیکل مثبت، دیود های D_1 و D_2 در بایاس مستقیم و دیود های D_3 و D_4 در بایاس معکوس قرار دارند.بنابراین ، جریان از دیود های D_1 و R_L و D_2 مسیر خود را می بندند. با توجه به این که دیود ها ایده آل فرض شده اند ، لذا تمام ولتاژ ثانویه ی ترانسفورماتور دو سر با ظاهر می گردد.



در مدت نیم سیکل منفی ، دیود های D_3 و D_4 در بایاس موافق و دیود های D_1 و D_2 در بایاس معکوس قرار دارند . لذا ، جریان از طریق دیود های D_3 و D_4 و بار R_L مسیر خود را می بنند . در این حالت نیز تمام ولتاژ در دوسر بار ظاهر می گردد.

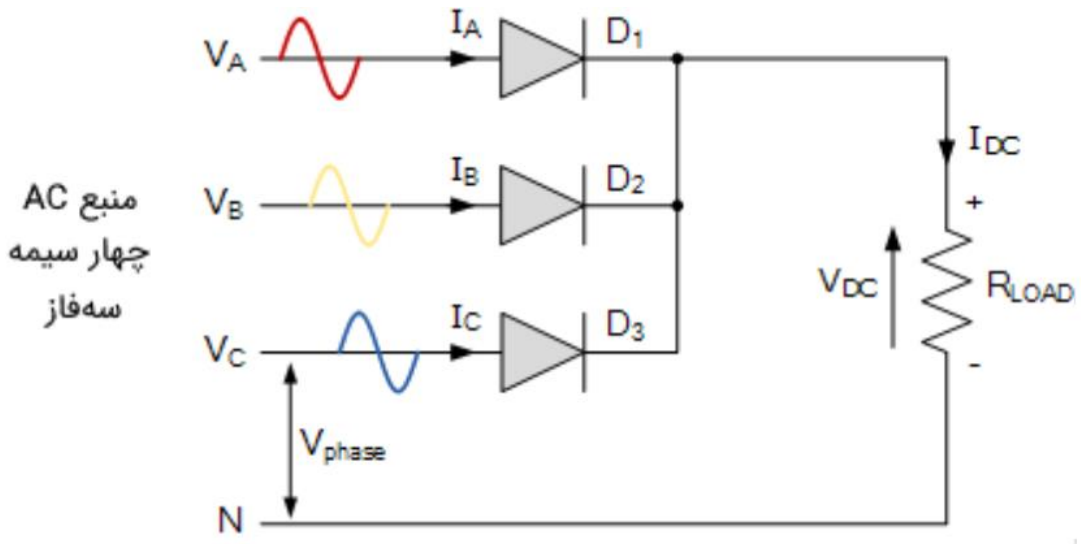


یکسوسازی میانگین ولتاژ DC را افزایش می‌دهد ولی ریپل زیادی دارد.

یکسوساز سه فاز نیم موج

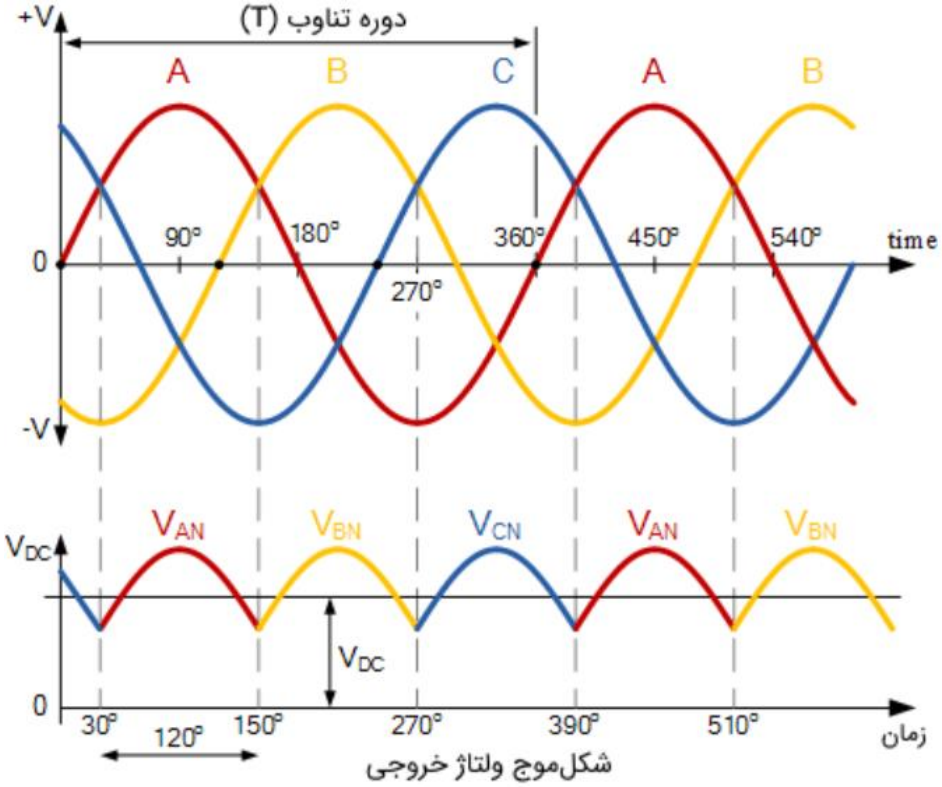
یک منبع سه فاز، ترکیبی از سه منبع تکفاز است و با استفاده از این ویژگی می‌توانیم مدارهای یکسوساز سه فاز را بسازیم. مشابه یکسوسازی تکفاز، در یکسوسازی سه فاز نیز از دیود، تریستور یا مبدل برای برای ساخت مدارهای یکسوکننده نیم موج، تمام موج، کنترل نشده و کاملاً کنترل شده استفاده می‌شود. در اغلب کاربردها، یکسوساز سه فاز مستقیماً از شبکه اصلی یا یک ترانسفورماتور سه فاز (در صورت نیاز به سطح ولتاژ متفاوت) تغذیه می‌شود.

مشابه یکسوسازهای تکفاز، پایه‌ای‌ترین مدار یکسوساز سه فاز، یک مدار یکسوساز نیم موج کنترل نشده است که از سه دیود نیمه‌هادی (یک دیود برای هر فاز) بهره می‌گیرد. شکل زیر، این مدار را نشان می‌دهد.



فرض می‌کنیم ترتیب فازها به صورت قرمز-زرد-آبی (VA-VB-VC) بوده و فاز قرمز (VA) از 0° آغاز می‌شود. دیودی که قبل از همه هدایت می‌کند، دیود ۱ (D1) است، زیرا در آند، ولتاژ مثبت بزرگتری نسبت به دو دیود دیگر D۲ یا D۳ دارد. بنابراین، دیود D1 در نیم دوره‌های مثبت VA هدایت می‌کند؛ در حالی که D۲ و D۳ بایاس معکوس هستند. سیم نول، یک مسیر برای بازگشت جریان بار به منبع ایجاد می‌کند.

بعد از ۱۲۰درجه الکتریکی، دیود ۲ (D۲) برای نیم سیکل مثبت VB (فاز زرد) شروع به هدایت می‌کند. در این حالت، آند دیود D۲، نسبت به آند دیودهای D1 و D۳ مثبت‌تر است و به دلیل بایاس معکوس، این دو دیود خاموش هستند. به طور مشابه، 120° بعد، VC (فاز آبی) دیود ۳ (D۳) را روشن می‌کند. در این حالت D1 و D۲ خاموش هستند.



شکل‌موج ولتاژ خروجی

برای یک یکسوساز نیم موج سه فاز، منابع ولتاژ V_A ، V_B ، V_Cبا اختلاف فاز $120°$ متعادل هستند:

$$V_A = V_P \sin(\omega t - 0°)$$

$$V_B = V_P \sin(\omega t - 120°)$$

$$V_C = V_P \sin(\omega t - 240°)$$

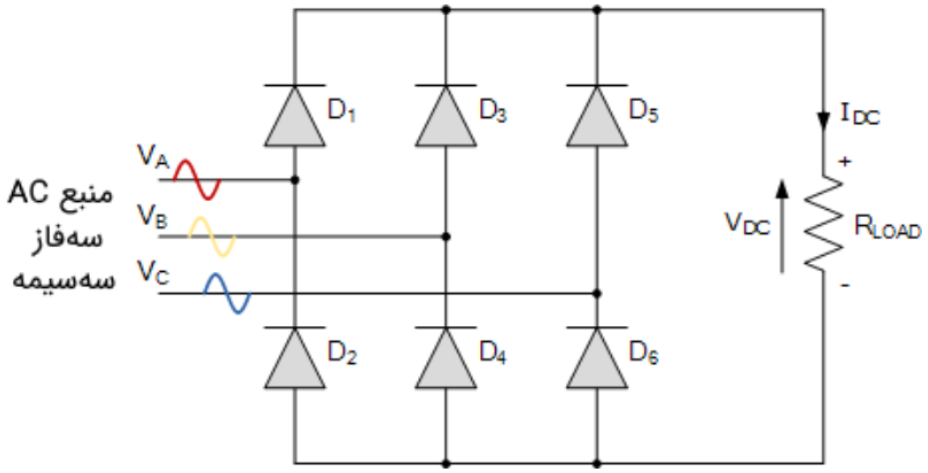
بنابراین، مقدار DC میانگین شکل موج ولتاژ خروجی یک یکسوساز نیم موج سه فاز برابر است با:

$$V_{DC} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_P$$

یکسوساز سه فاز تمام موج

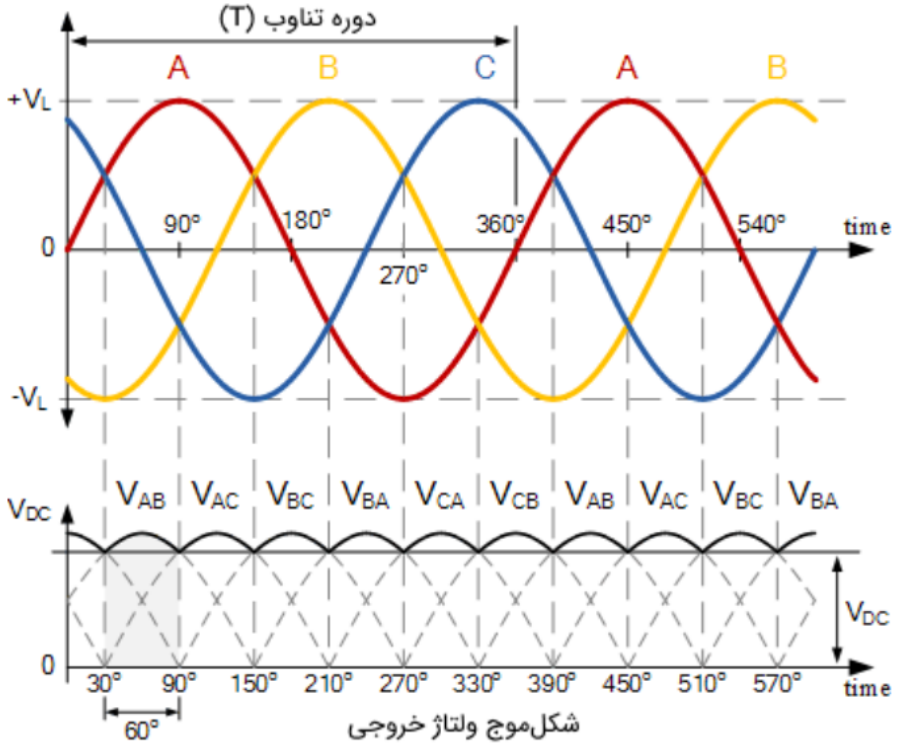
مدار یکسوساز پل کنترل نشده تمام موج، از شش دیود تشکیل شده است. در این مدار، مشابه یکسوساز پل تکفاز، دو دیود برای هر فاز وجود دارد. یکسوکننده سه فاز تمام موج را می‌توان با استفاده از دو یکسوساز نیم موج ساخت. مزیت این مدار یکسوساز، ریپل خروجی کمتر نسبت به یکسوکننده سه فاز نیم موج است. دلیل این ریپل کم، شش برابر بودن فرکانس خروجی نسبت شکل موج AC ورودی است.

همچنین، یکسوکننده تمام موج می‌تواند از یک منبع سه فاز سه سیمه با اتصال مثلث نیز تغذیه شود که نیازی به سیم نول ندارد. شکل زیر، مدار یکسوکننده سه فاز تمام موج را نشان می‌دهد.



مانند قبل، فرض می‌کنیم توالی به صورت قرمز-زرد-آبی (VA–Vb–VC) باشد و فاز قرمز (VA) در 0° آغاز شود. همان‌طور که در شکل بالا مشخص است، هر فاز بین دو دیود وصل می‌شود. یکی از دو دیود، بخش مثبت بار و دیگری، بخش منفی آن را تغذیه می‌کند. دیودهای D۱، D۳، D۲ و D٤ یک شبکه یکسوکننده پل را بین فازهای A و B تشکیل می‌دهند. به طور مشابه، دیودهای D۳ ، D۵ ، D٤ و D٦ بین فازهای B. و C، و دیودهای D۵ ، D۱ ، D٦ و D۲ بین فازهای C و A قرار دارند.

بنابراین،دیودهای D۱ ،D۳ وD۵، بسته به اینکه ولتاژ کدام یک در سر آند بیشتر است، بخش مثبت را تغذیه می‌کنند. از سوی دیگر، کاتد دیودهای D۲ ، D٤ و D٦ ، بسته به اینکه کدام‌یک منفی‌تر است، هدایت می‌کند.



شکل‌موج ولتاژ خروجی

بنابراین، مقدار DC میانگین شکل موج ولتاژ خروجی یک یکسوساز نیم موج سه فاز برابر است با:

$$V_{DC} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_P$$

پایان جلسه ششم

روزگار خوشی را برای شما آرزومندم.

محمد اعرابیان