بسم الله الرحمن الرحیم

عنوان درس : الکترونیک ۱

مدرس : دکتر مهرداد طهماسبی

شیوه ارزیابی :

۱. امتحان پایان ترم ۱۵ نمره

۲. حل تمرین ۵ نمره

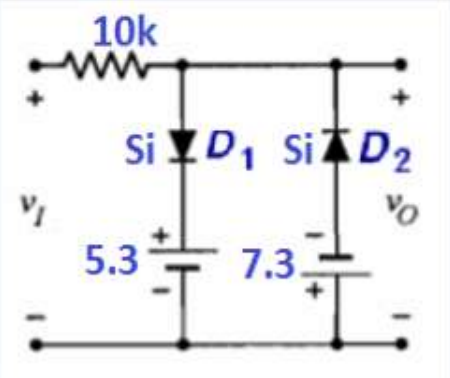
ارتباط با مدرس : IAU.TAHMASEBI@GMAIL.COM

کاربرد دیودها

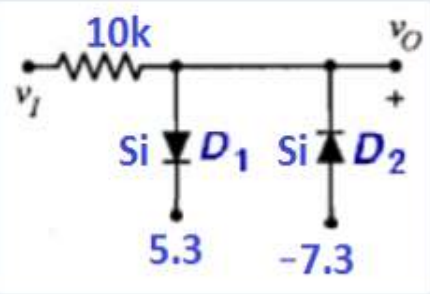
(یکسو ساز، چند برابر کننده و تغییر دهنده‌ی شکل موج)

حل تمرینات جلسه قبل

- V_o را در مدار زیر به ازای $V_i=15\sin 10t$ رسم کنید.

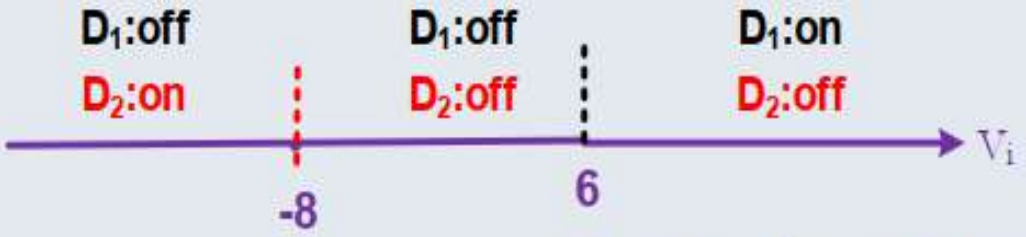


Large Signal



- D_1 زمانی روشن است که $V_i>5.3+0.7=6$ باشد.
- D_2 زمانی روشن است که $Vi<-7.3-0.7=-8$ باشد.

در نتیجه وضعیت دیودها روی محور V_I به صورت زیر است:

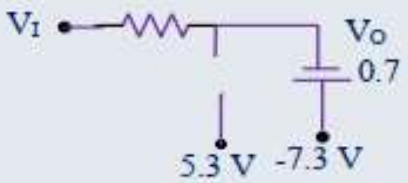


- به ازای V_Iهای گوناگون مدار سه وضعیت پیدا می کند.

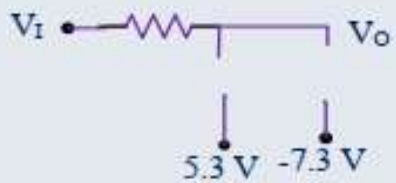
حل تمرینات جلسه قبل

مدار را در هر ۳ وضعیت، تحلیل می کنیم:

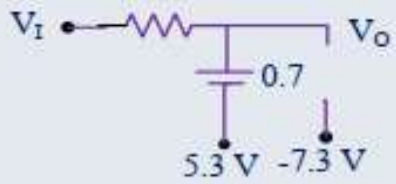
$$\begin{cases} V_i < -8 \rightarrow \begin{pmatrix} D1: off \\ D2: on \end{pmatrix} \rightarrow \\ -8 < V_i < 6 \rightarrow \begin{pmatrix} D1: off \\ D2: off \end{pmatrix} \rightarrow \\ V_i > 6 \rightarrow \begin{pmatrix} D1: on \\ D2: off \end{pmatrix} \rightarrow \end{cases}$$



$\rightarrow V_O = -8\,V$



$\rightarrow V_O = V_i$



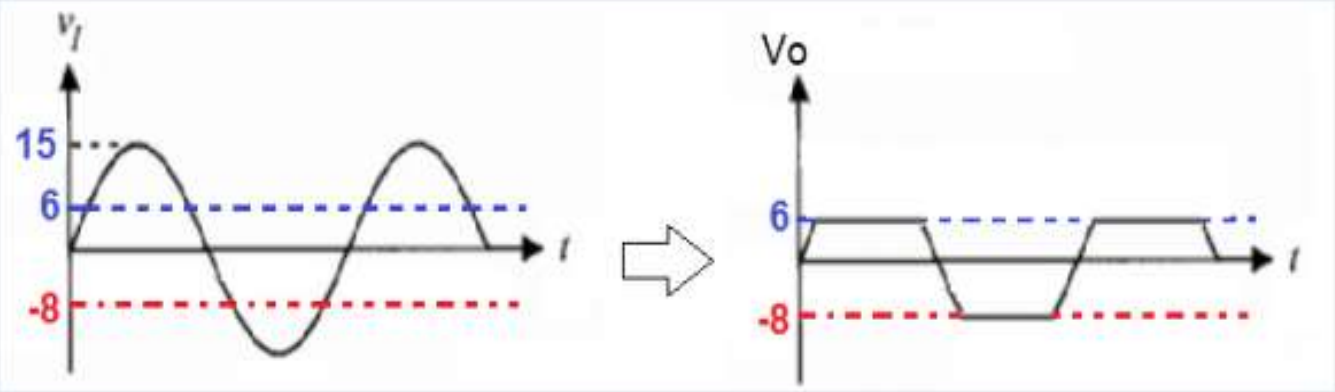
$\rightarrow V_O = 6\,V$

حل تمرینات جلسه قبل

رابطه خروجی با ورودی :

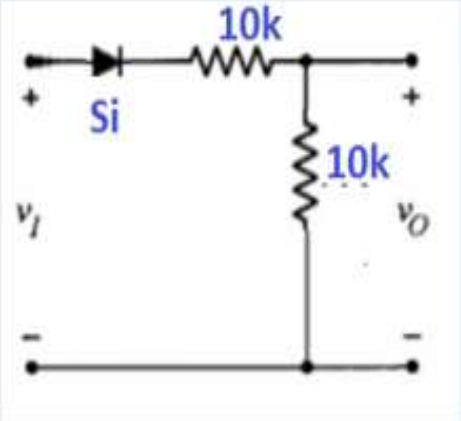
$$\begin{cases} V_i < -8 \rightarrow V_o = -8\,V \\ -8 < V_i < 6 \rightarrow V_o = V_i \\ 6 < V_i \rightarrow V_o = 6\,V \end{cases}$$

خروجی متناظر با ورودی :



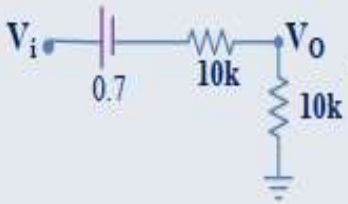
حل تمرینات جلسه قبل

- V_o را در مدارهای زیر به ازای $V_i=15\sin 10t$ رسم کنید.



Large Signal

برای اینکه دیود **D** روشن شود، باید $V_i>0.7$ گردد. در نتیجه داریم:

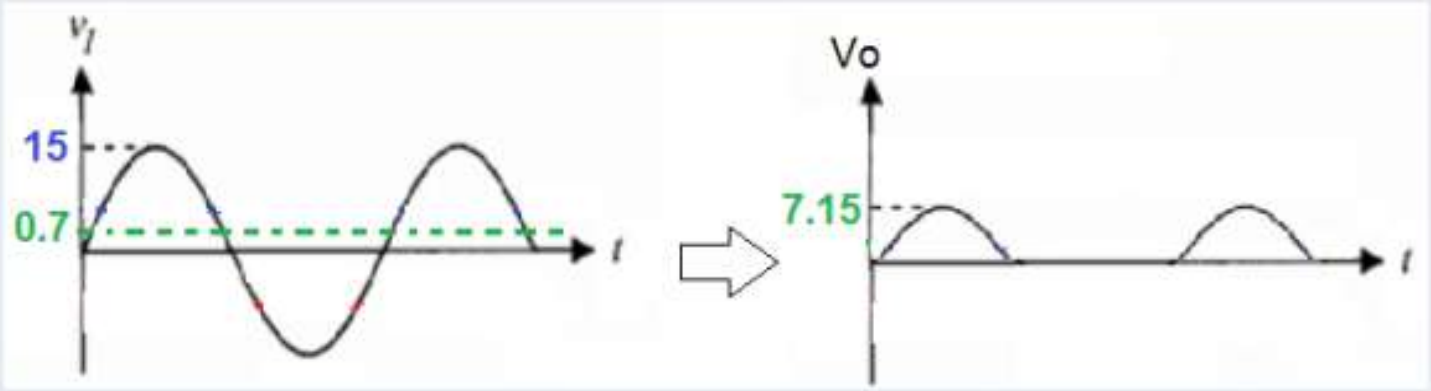
$$\begin{cases} V_i > 0.7 \rightarrow D: on \rightarrow \text{  } \rightarrow V_O = (V_i - 0.7)/2 \\ V_i < 0.7 \rightarrow D: off \rightarrow \text{ } \rightarrow V_O = 0 \end{cases}$$

رابطه خروجی با ورودی:

$$\begin{cases} V_i > 0.7 \rightarrow V_O = (V_i - 0.7)/2 \\ V_i < 0.7 \rightarrow V_o = 0 \end{cases}$$

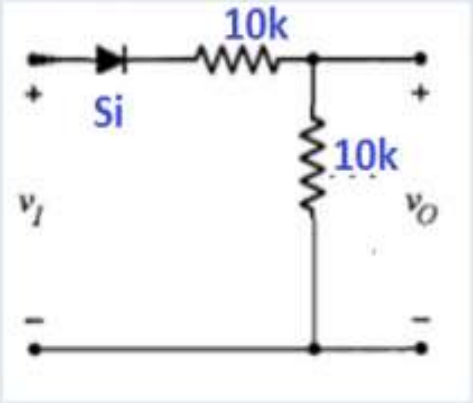
حل تمرینات جلسه قبل

خروجی متناظر با ورودی:



حل تمرینات جلسه قبل

- V_o را نیز برای مدار زیر به ازای $V_i=0.015\sin 10t+2.7$ رسم کنید.

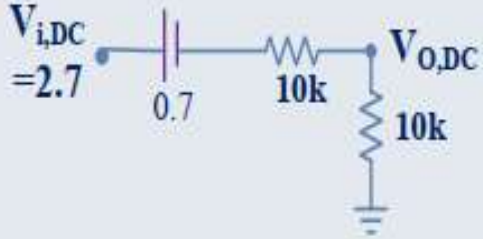


Small Signal

$$V_O = V_{O,DC} + V_{O,ac}$$

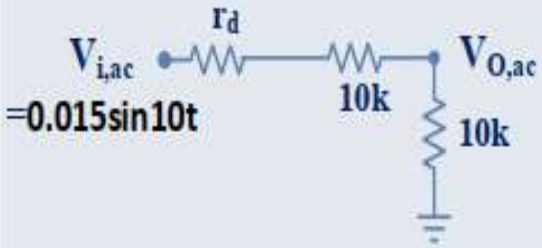
تحلیل **DC**:

$$V_D = V_{i,DC} - 0 = 2.7 > 0.7 \quad \rightarrow D: on$$



$$\rightarrow \begin{cases} V_{O,DC} = (2.7-0.7)/2 = \mathbf{1\ V} \\ I_D = \dfrac{2.7-0.7}{10k+10k} = 0.1\ mA \end{cases} \rightarrow \quad Q: \begin{vmatrix} V_D = 0.7\ \mathrm{V} \\ I_D = 0.1\ mA \end{vmatrix}$$

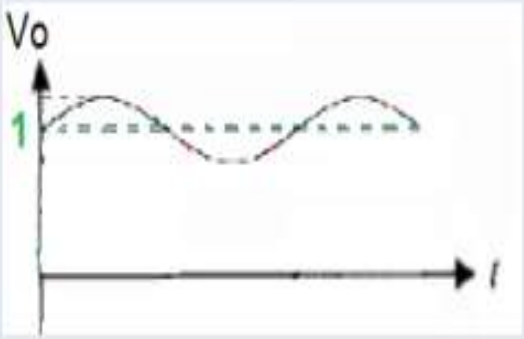
تحلیل **ac**:



$$\rightarrow \begin{cases} r_d = \dfrac{\eta V_T}{I_D} = \dfrac{25m}{0.1m} = 0.25\ K \\ V_{O,ac} = V_{i,ac}\dfrac{10K}{10k+10K+0.25k} = \mathbf{0.007\sin 10t} \end{cases}$$

حل تمرینات جلسه قبل

$\rightarrow \quad V_O = V_{O,DC} + V_{O,ac}$=1+0.007sin10t



۴-۱ پیش گفتار

در فصول گذشته به شرح ساختمان، مشخصّات و معرّفی انواع دیودهای نیمه هادی پرداختیم. در این فصل با کاربرد دیود در مدارهای مختلف، از جمله یک سو کننده‌های دیودی، چند برابر کننده‌ها و تغییردهنده‌های شکل موج آشنا خواهید شد. هر چند محدوده‌ی کاربرد دیود زیاد است ولی اصول کار آن در زمینه‌های مختلف یکسان است.

۴-۲ مدارهای یک سوکننده‌ی دیودی

مدارهای یک سو کننده‌ی دیودی، مداراتی هستند که ولتاژ متناوب را به ولتاژ مستقیم (یک طرفه) تبدیل می‌نمایند. عنصر اصلی این مدارها دیود است. زیرا همان طور که دیدیم، دیود در یک جهت جریان را هدایت می‌کند، در حالی که در جهت دیگر قطع است.مدارات یک سو کننده، علاوه بر ولتاژ یک فازه، ولتاژهای چند فازه (سه یا شش فازه) را نیز، به ولتاژ مستقیم تبدیل می‌نمایند.

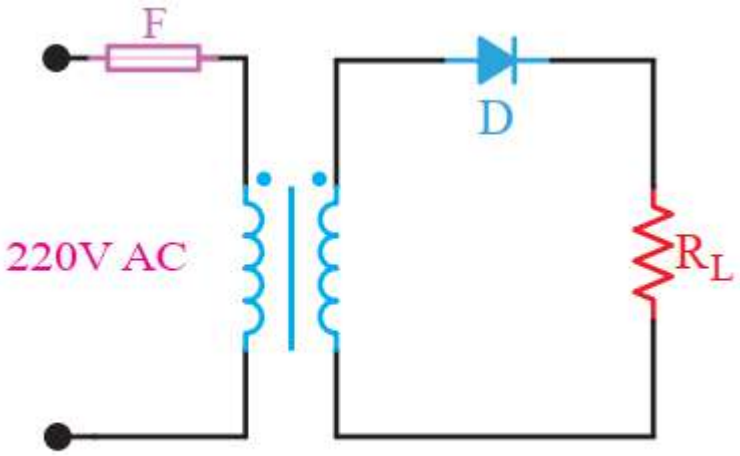
به طور کلی سه نوع مدار یک سوکننده‌ی یک فازه وجود دارد.

۱- مدار یک سو کننده‌ی نیم موج

۲- مدار یک‌سو کننده‌ی تمام‌موج با ترانس سر وسط

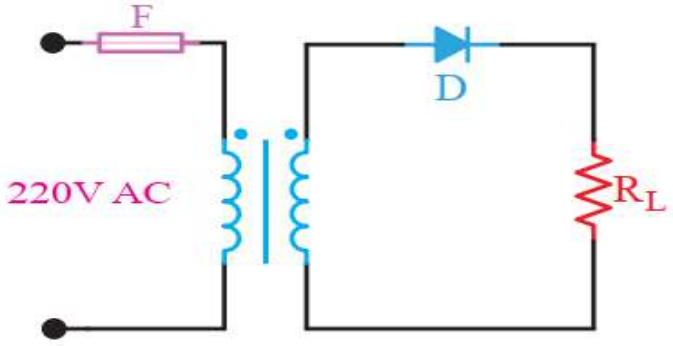
۳- مدار یک سو کننده‌ی تمام موج پل (Bridge)

اینک به توضیح هر یک می‌پردازیم.



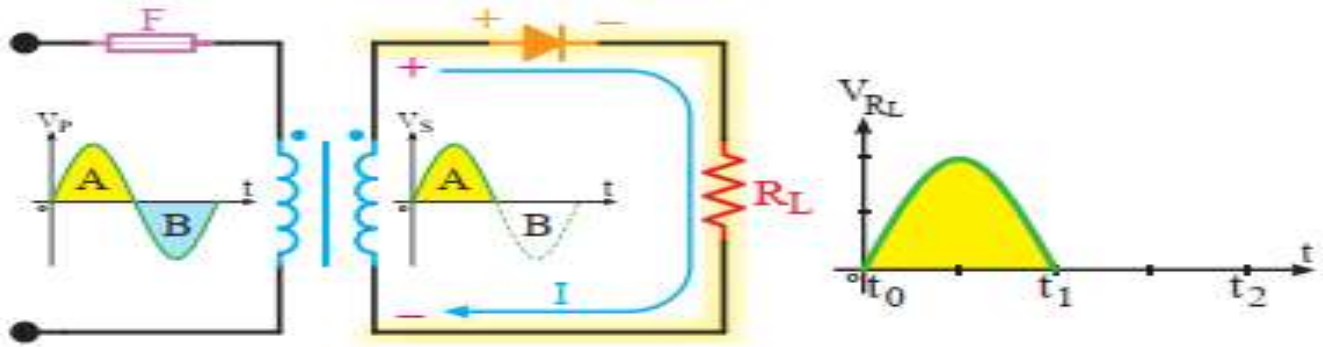
شکل ۱-۴ یک‌سو ساز نیم موج (دیود ایده‌آل)

۱-۲-۴ مدار یک سو کننده‌ی نیم موج: شکل ۱-۴ مدار یک سو کننده نیم موج را نشان می‌دهد. در این مدار یک سو کننده و مدارات دیگر، فرض می‌شود که دیودهای به کار برده شده ایده‌آل هستند؛ یعنی، هیچ گونه افت ولتاژی در دو سر آن‌ها به وجود نخواهد آمد، ولی در عمل حدود ۰/۷ تا ۱/۵ ولت (بسته به جریان عبوری از دیود) دو سر دیود افت می کند.

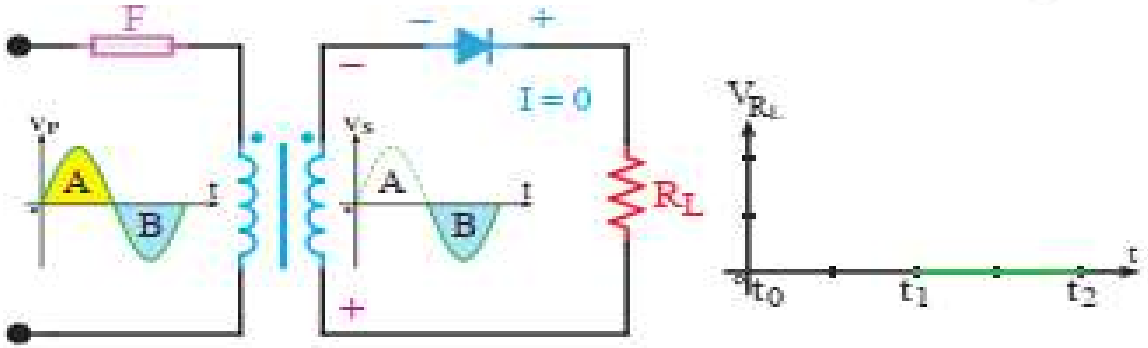


شکل ۱-۴ یک‌سو ساز نیم موج (دیود ایده‌آل)

طرز کار مدار فوق، به این صورت است که، در مدت نیم سیکل مثبت، دیود در بایاس مستقیم قرار می گیرد و هادی است. لذا، جریان در نیم سیکل مثبت از دیود و بار عبور می کند و مسیر خود را می‌بندد. بنابراین، تمام ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور در نیم سیکل مثبت دو سر بار، ظاهر خواهد شد.(شکل ۲-۴)

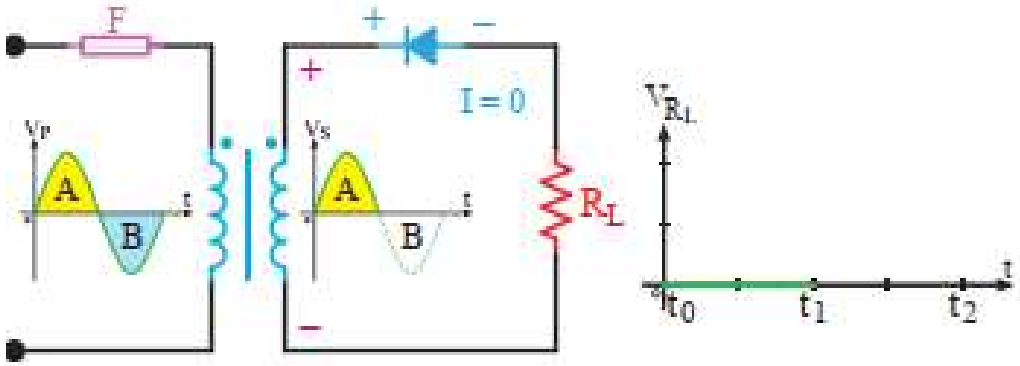


شکل ۲-۴ در نیم سیکل مثبت دیود وصل است

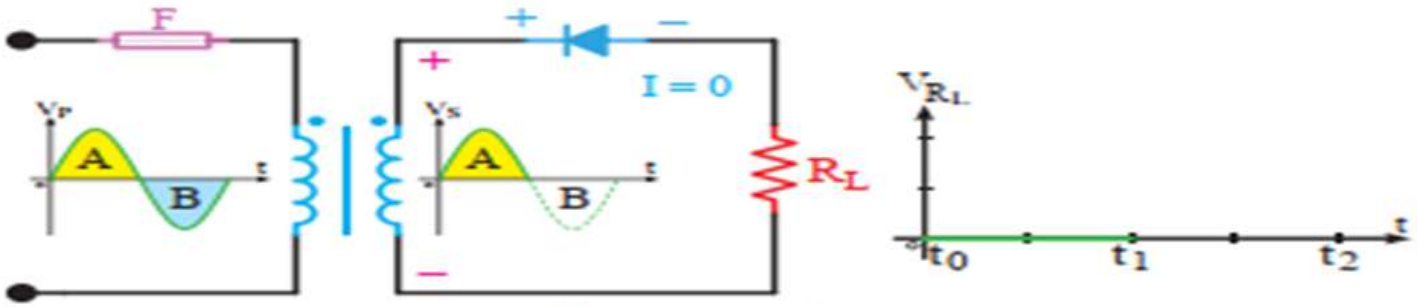


شکل ۳-۴ در این حالت دیود قطع است

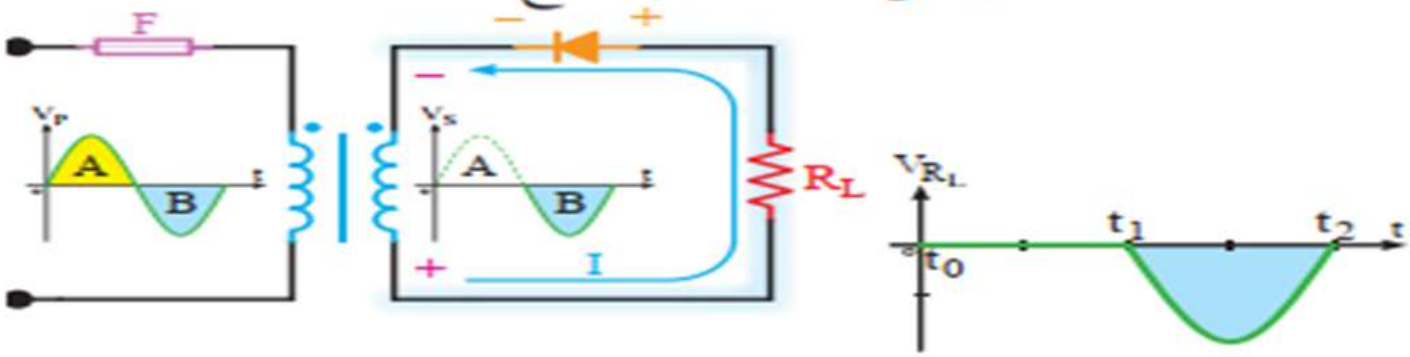
اگر دیود به طور معکوس بسته شود (نسبت به شکل ۲-۴) در مدت نیم سیکل مثبت قطع بوده، ولی در مدّت نیم سیکل منفی هادی است. لذا فقط در مدت نیم سیکل منفی دو سر بار ولتاژ خواهیم داشت. شکل ۵-۴ این مطلب را نشان می‌دهد.



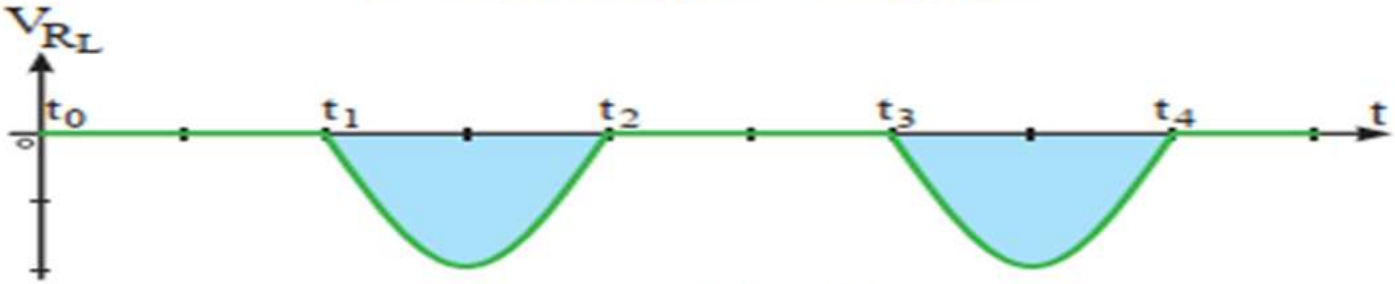
در این حالت دیود قطع است



در این حالت دیود قطع است



در این حالت دیود هادی است



شکل ولتاژ خروجی

شکل ۵-۴ یک‌سو ساز نیم‌موج و شکل موج ورودی و خروجی آن

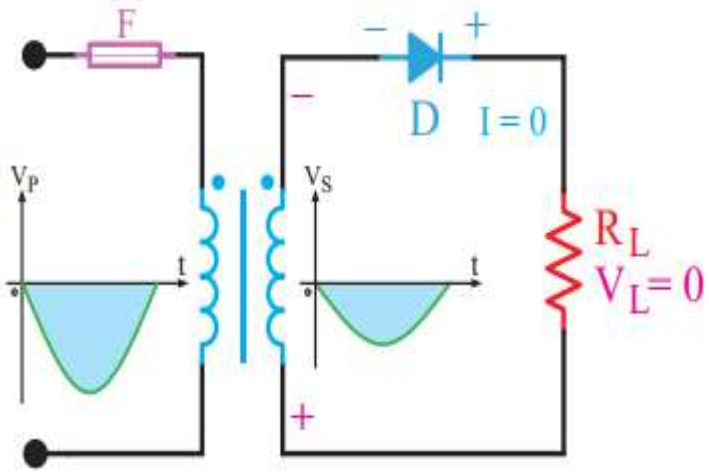
۳-۲-۴ حداکثر ولتاژ معکوس دو سر دیود:

همان طور که می‌دانیم، یکی از پارامترهای مهم مشخصات الکتریکی دیود، تحمّل حدّاکثر ولتاژی است که در بایاس معکوس دو سر دیود قرار می گیرد. باید دید در یک سوکننده‌ی نیم موج، حداکثر ولتاژی که دو سر دیود در بایاس معکوس قرار می گیرد تا دیود نسوزد، چه قدر است؟

با توجه به شکل ۸-۴، هنگامی که دیود در بایاس معکوس قرار دارد (در مدت نیم سیکل منفی) جریان در مدار صفر و افت ولتاژ دو سر بار نیز صفر است. لذا، تمام ولتاژ نیم سیکل منفی در دو سر دیود قرار می گیرد. حداکثر این ولتاژ برابر حداکثر دامنه(Vm) است. ولتاژ معکوسی که دو سر دیود قرار می گیرد با حروف PIV و به صورت رابطه‌ی زیر برای یک سوساز نیم موج نشان داده شده است.

$$PIV = V_{max}$$

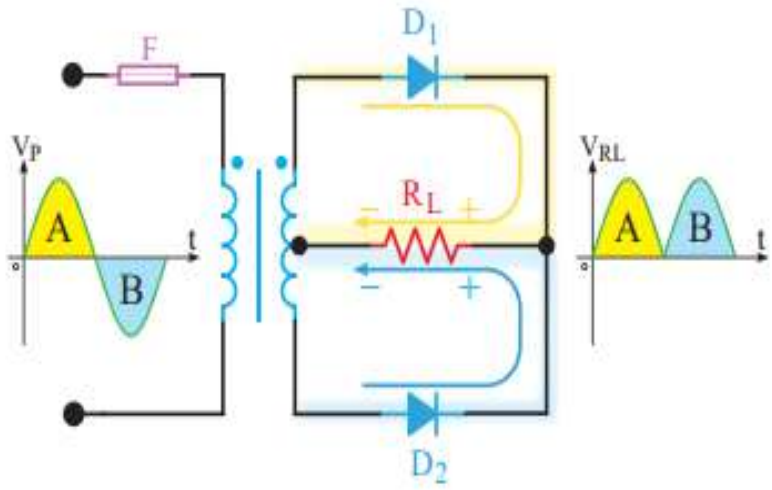
PIV=Peak Inverse Voltage



شکل ۸-۴ ولتاژ دیود در بایاس معکوس

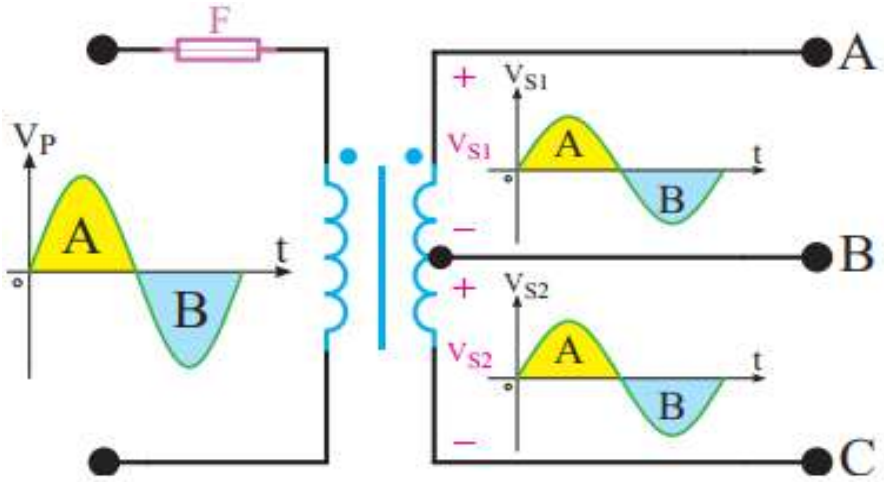
۴-۲-۴ مدار یک سو کننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط

عیب یک سو کننده‌ی نیم موج، در کم بودن مقدار ولتاژ متوسّط است و مقدار آن از $۰/۳۱۸V_M$ بیش‌تر نمی‌شود. ضمناً، در این یک سو کننده از ولتاژ نیم سیکل منفی نیز استفاده‌ای نمی‌شود. گر چه در تعدادی از کاربردها از یک سو کننده‌ی نیم موج استفاده می‌شود. در یک سو کننده‌ی تمام موج، از دو دیود استفاده می‌شود و در ضمن در این مدار به یک ترانسفورماتور با دو سیم پیچ ثانویه با ولتاژهای مساوی نیاز است. شکل ۹-۴ یک سو کننده‌ی تمام موج را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۴ یک‌سو ساز تمام‌موج

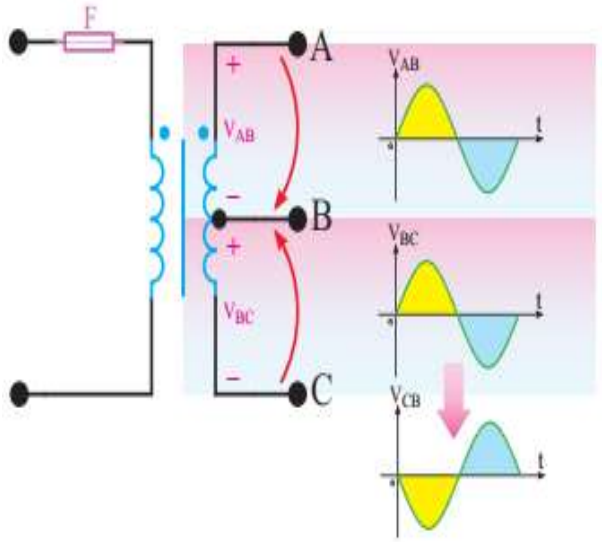
برای این که دریابیم چگونه ولتاژ خروجی این مدار مانند شکل ۹-۴ می‌شود، باید ببینیم ولتاژهای ثانویه‌ی ترانسفورماتور، به چه صورت است؟ همان طوری که در شکل ۹-۴ پیداست، در این نوع یک سو کننده، از یک ترانسفورماتور با دو ولتاژ ثانویه‌ی کاملاً مساوی استفاده شده است. ترانسفورماتور شکل ۱۰-۴ را در نظر می گیریم.



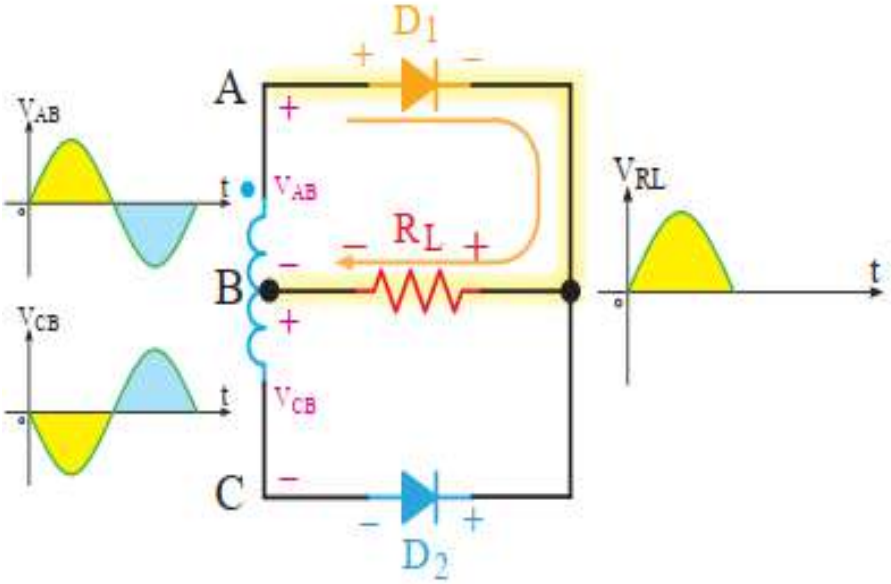
شکل ۱۰-۴ ترانسفورماتور با ثانویه‌ی سر وسط

ولتاژ دو نقطه‌ی A و C دو برابر ولتاژ نقاط AB و یا BC است، زیرا دو ولتاژ با هم سری شده‌اند، یعنی $V_{AC} = V_{AB} + B_{BC}$. در نیم سیکل مثبت، نقطه‌ی A مثبت‌تر از نقطه B و C و نقطه‌ی B مثبت‌تر از نقطه‌ی C است. اگر نقطه‌ی B (سر وسط ترانسفورماتور) را مبنا بگیریم، نقطه‌ی A نسبت به مبنا (نقطه‌ی B) مثبت‌تر و نقطه‌ی C نسبت به مبنا (نقطه‌ی B) منفی‌تر است. این مطلب در شکل ۱۱-۴ نشان داده شده است.

اینک که با طرز کار ترانسفورماتور با سر وسط آشنا شدیم، به بیان طرز کار یک سو کننده‌ی تمام موج می‌پردازیم. در مدت نیم سیکل مثبت، دیود D_1 در بایاس مستقیم است و 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 دو سربار، ظاهر می گردد. (شکل ۱۲-۴)

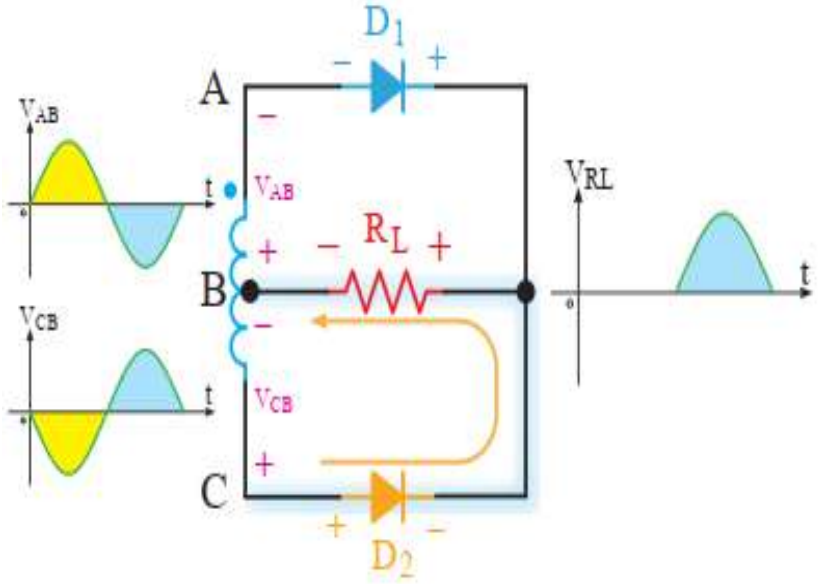


شکل ۱۱-۴ ولتاژهای ثانویه ترانس با سر وسط



شکل ۱۲-۴ نمایش عملکرد D۱ و D۲ در مقابل سیگنال‌های ورودی و ولتاژ دو سر بار

در مدت نیم سیکل منفی، همان طوری که از شکل ۴-۱۳ مشاهده می‌شود، 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 سربار، ظاهر می گردد.

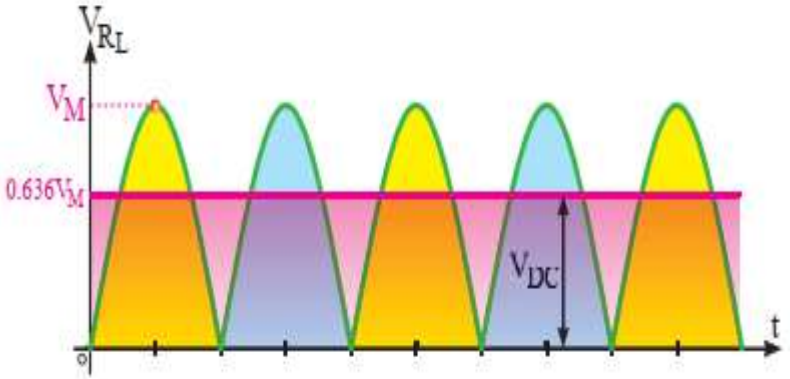


شکل ۴-۱۳ عملکرد D۱ و D۲ در مقابل سیگنال ورودی و ولتاژ دو سر بار

۴-۲-۵ معدل ولتاژ دو سر بار: مقدار ولتاژ متوسط خروجی، در یک سو کننده‌ی تمام موج، دو برابر ولتاژ یک سو شده‌ی نیم موج است، یعنی:

$$V_{dc} = ۲\frac{V_m}{\pi} = ۲(۰/۳۱۸V_m) = ۰/۶۳۶V_m$$

شکل ۴-۱۴ معدل ولتاژ دو سر بار را در یک سو ساز تمام موج نشان می‌دهد.

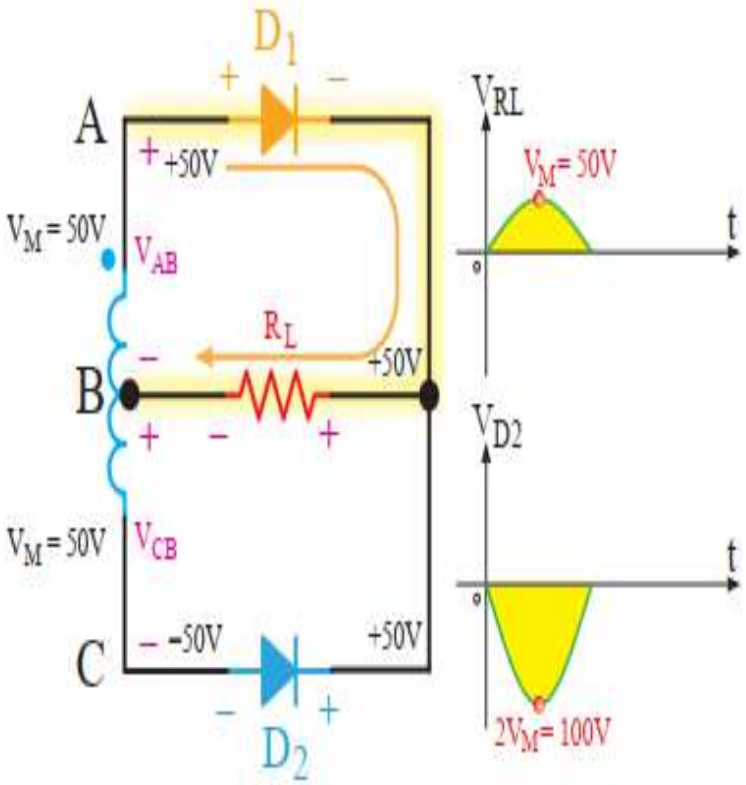


شکل ۴-۱۴ معدل ولتاژ دو سر بار

۶-۲-۴ حداکثر ولتاژ معکوس دو سر دیود:

حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس، در دو سر هر یک از دیودها قرار می گیرد، برابر $۲V_M$ است. با توجه به شکل ۴-۱۵، فرض می کنیم ولتاژ ماکزیمم V_{AB} ترانسفورماتور برابر ۵۰ ولت باشد، زمانی که دیود $D_۲$ در بایاس معکوس قرار دارد، به اندازه ۵۰- ولت ولتاژ در آندِ آن ۵۰+ ولت ولتاژ در کاتدِ آن قرار می گیرد و اختلاف ولتاژ دو سر آن برابر $۵۰-(-۵۰)=۱۰۰V$ است. رابطه‌ی ماکزیمم ولتاژ معکوس در یک سو کننده‌ی تمام موج به صورت زیر نوشته می‌شود:

$PIV=۲V_M$ یک‌سو کننده تمام موج



شکل ۴-۱۵ ولتاژ معکوس دوسر دیود در یک‌سو ساز تمام موج

مثال ۲-۴: در یک سو کننده‌ی تمام موج، اگر ولتاژ ثانویه‌ی یک ترانسفورماتور (سر وسط و یکی از سرهای دیگر) برابر ۳۰ ولت باشد، مقدار ولتاژ متوسط و حدّاکثر ولتاژی را، که دو سر هر یک از دیودها قرار می گیرد، حساب کنید.

حل:

$$V_{dc} = ۰/۶۳۶ V_M$$

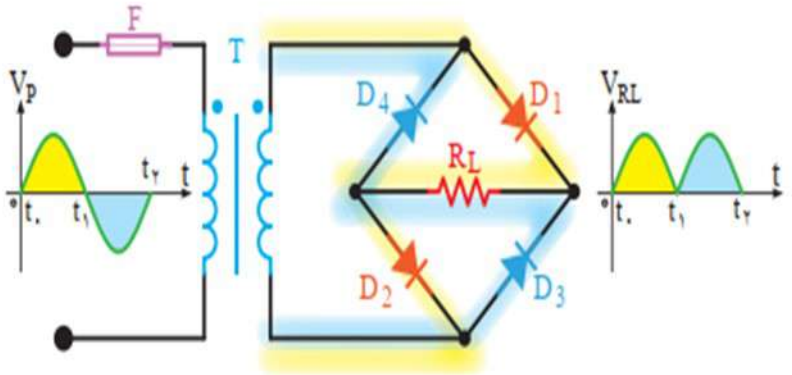
$$V_M = V_e \times \sqrt{۲} = ۳۰ \times ۱/۴۱ = ۴۲/۳ \quad \text{ولت}$$

$$V_{dc} = ۰/۶۳۶ \times ۴۲/۳ = ۲۶/۹ \quad \text{ولت}$$

$$PIV = ۲V_M = ۲ \times ۴۲/۳ = ۸۴/۶ \quad \text{ولت}$$

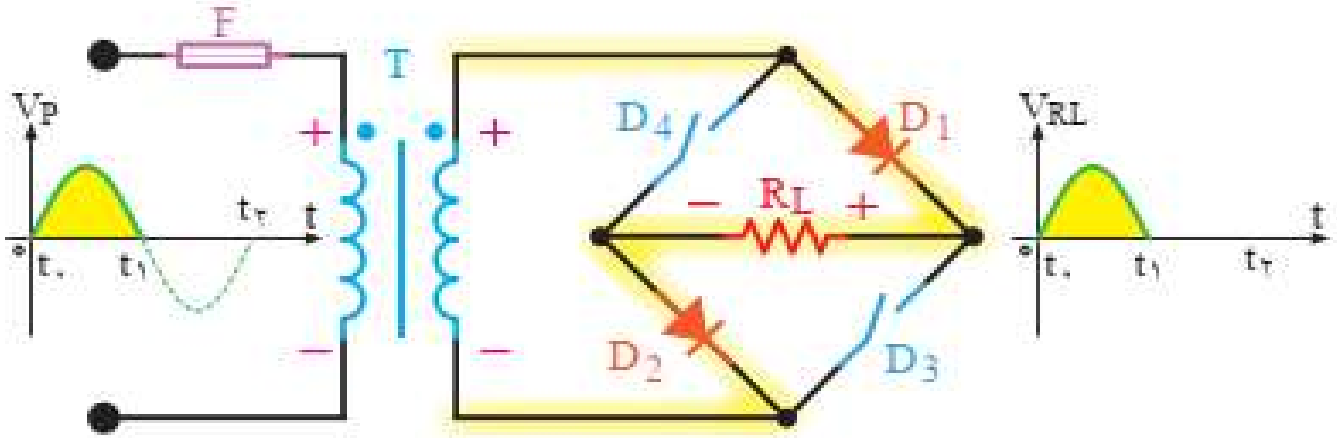
۴-۲-۷ مدار یک سو کننده‌ی تمام موج پل: نوع

دیگری از یک سو کننده‌ی تمام موج، یک‌سو کننده‌ی پل است. شکل ۱۶-۴- الف یک مدار یکسو کننده‌ی پل را، همراه با شکل موج یکسو شده، نشان می‌دهد. تصویر نرم‌افزاری این مدار را، که توسط مولتی سیم بسته شده است در شکل ۱۶-۴- ب مشاهده می کنید.



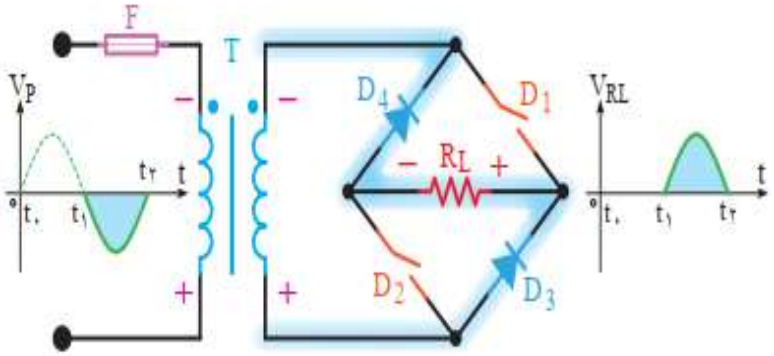
الف

همان طوری که از شکل ۱۶-۴ پیداست، در این مدار یکسو کننده، از چهار دیود و یک سیم پیچ برای ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور استفاده شده است. طرز کار مدار با توجه به شکل ۱۷-۴ به این صورت است که در مدت نیم سیکل مثبت، دیودهای D_1 و D_2 در بایاس مستقیم و دیودهای D_3 و D_4 در بایاس معکوس قرار دارند. بنابراین ،جریان از دیود D_1 و بار R_L و دیود D_2 مسیر خود را می‌بندد. با توجه به این که دیودها ایده‌آل فرض شده‌اند، لذا تمام ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور دو سر بار ظاهر می گردد.



شکل ۱۷-۴ نحوه‌ی عملکرد یک‌سو ساز پُل دیود در نیم سیکل مثبت

در مدت نیم سیکل منفی، با توجه به شکل ۱۸-۴، دیودهای D_3 و D_4 در بایاس موافق و دیودهای D_1 و D_2 در بایاس معکوس قرار دارند. لذا، جریان از طریق دیودهای D_3 و D_4 و بار R_L مسیر خود را می‌بندد. در این حالت نیز تمام ولتاژ در دو سر بار ظاهر می گردد.



شکل ۱۸-۴ نحوه‌ی عملکرد یک‌سو ساز پل دیود در نیم سیکل منفی

مقدار ولتاژ متوسط یک سوساز پل نیز برابر با یک سو کننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط است. یعنی:

$$V_{dc} = ۰/۶۳۶V_M$$

در مدار یک سو کننده‌ی پل، حدّاکثر ولتاژی که در بایاس معکوس دو سر هر دیود قرار می گیرد برابر با V_M است، زیرا با توجه به شکل ۱۸-۴ در مدت نیم سیکل منفی، دیود D_3 و D_4 هادی و دیودهای D_1 و D_2 در بایاس معکوس قرار دارند. پس ولتاژی که در بایاس معکوس دو سر هر دیود اعمال می‌شود برابر V_M

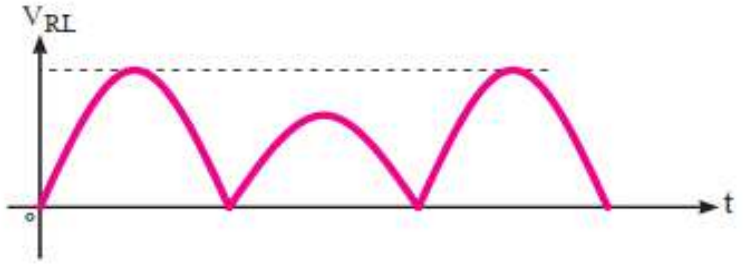
۴-۳ مقایسه‌ی مدار یکسو کننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط و پل

همان طور که دیدیم شکل موج و مقدار ولتاژ متوسط خروجی (دو سربار) در هر دو مدار یک سو کننده، کاملاً یک‌سان است ولی هر یک از مدارهای تمام موج و پل، از نظر المان‌های به کار برده شده خصوصیاتی دارند. تفاوت آن‌ها در جدول ۱-۴ آمده است.

جدول ۱-۴ تفاوت‌های یک‌سوکننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط و تمام موج پل

یک‌سو کننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط	یک‌سو کننده‌ی تمام موج پل
۱- نیاز داشتن به یک ترانسفورماتور با دو سیم پیچ ثانویه‌ی مساوی	نیاز داشتن فقط به یک سیم پیچ ثانویه
۲- احتیاج داشتن به دو دیود	احتیاج داشتن به چهار دیود
۳- برابر بودن حداکثر ولتاژ معکوس هر دیود با $۲V_M$	برابر بودن حداکثر ولتاژ معکوس هر دیود با V_M
۴- عدم امکان وصل کردن به شبکه، بدون ترانسفورماتور	امکان وصل کردن به شبکه، بدون ترانسفورماتور

علاوه بر مـوارد فوق، اگر در یک‌سـو کننده‌ی تمام موج، دو ولتاژ ثانویه‌ی ترانسـفورماتور با هم برابر نباشند، شکل موج خروجی به صورت شکل ۲۰-۴ خواهد شد.

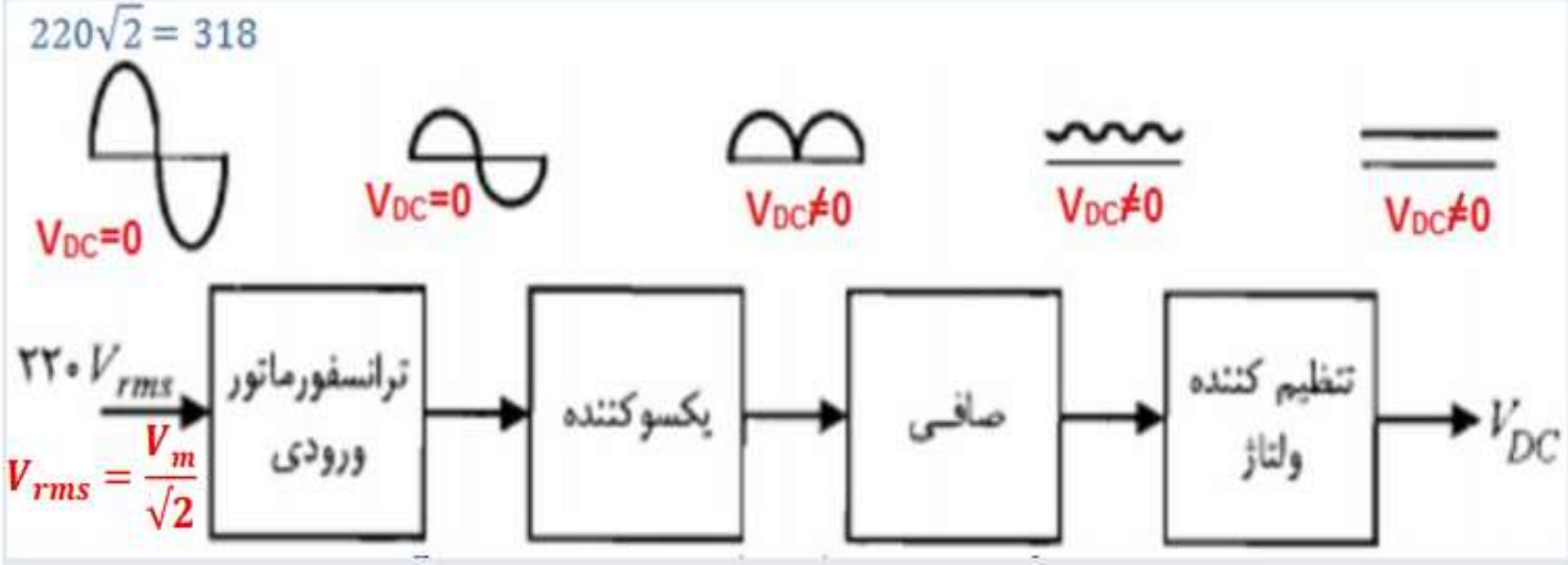


شکل ۲۰-۴ شکل موج خروجی در صورتی که ولتاژهای ثانویه‌های ترانسفورماتور با هم برابر نیستند

ولـی در جریان‌هـای زیـاد، از آن جایـی که قیمت دیودهای با آمپر زیاد، گران است، یک سو کننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط ترجیح داده می‌شود، زیرا فقط دو دیود در مدار آن به کار رفته است.

منبع تغذیه

- در تمام دستگاه های الکترونیکی که با برق شهر کار می کنند، بخشی به نام **منبع تغذیه** در داخل یا بیرون دستگاه قرار دارد.
- منبع تغذیه ولتاژ ۲۲۰ ولت متناوب برق شهر را به یک یا چند ولتاژ **DC** مورد نیاز دستگاه الکترونیکی تبدیل می کند.



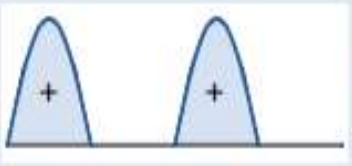
یکسوسازها

$$f_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [f(t)]^2\,dt}$$

$$f_{DC} = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)\,dt$$

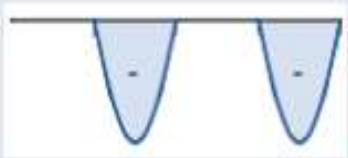
یکسوساز

یکسوساز نیم موج



$$\begin{cases} V_{DC} = \frac{V_m}{\pi} \\ V_{rms} = \frac{V_m}{2} \end{cases}$$

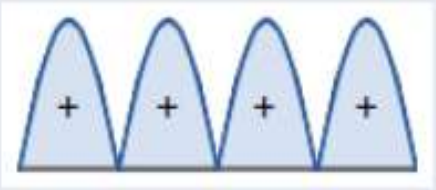
یا



$$\begin{cases} V_{DC} = -\frac{V_m}{\pi} \\ V_{rms} = \frac{V_m}{2} \end{cases}$$

یکسوساز تمام موج

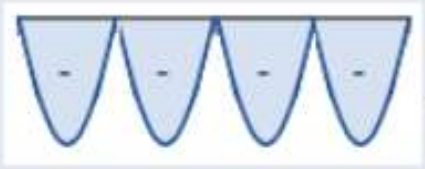
یکسوساز با پل دیودی



$$\begin{cases} V_{DC} = \frac{2V_m}{\pi} \\ V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \end{cases}$$

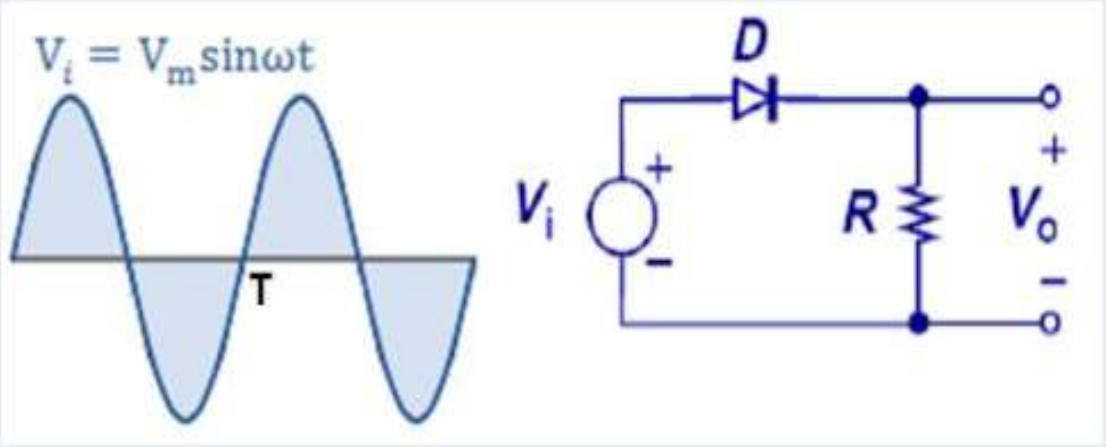
یا

یکسوساز با ترانس 3 سر



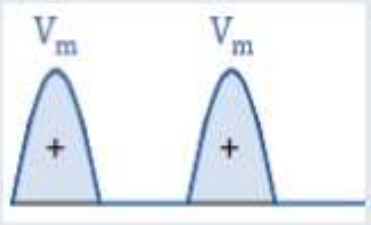
$$\begin{cases} V_{DC} = -\frac{2V_m}{\pi} \\ V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \end{cases}$$

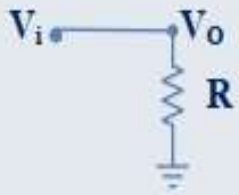
یکسوساز نیم موج

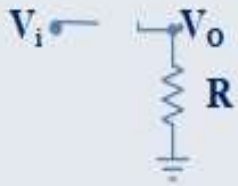


- دیود ایده آل

- خروجی:

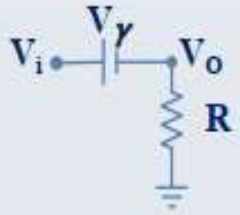


$V_i > 0 \rightarrow D: on \rightarrow$  $\rightarrow V_o = V_i$

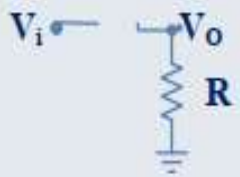
$V_i < 0 \rightarrow D: off \rightarrow$  $\rightarrow V_o = 0$

یکسوساز نیم موج

- دیود غیرایده آل

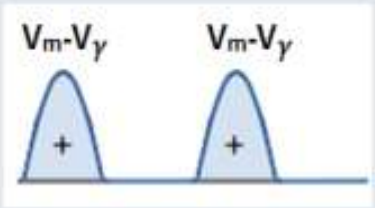
$V_i > V_\gamma \rightarrow D: on \rightarrow$ 

$\rightarrow V_O = V_i - V_\gamma$

$V_i < V_\gamma \rightarrow D: off \rightarrow$ 

$\rightarrow V_O = 0$

- خروجی:



- محاسبه PIV:

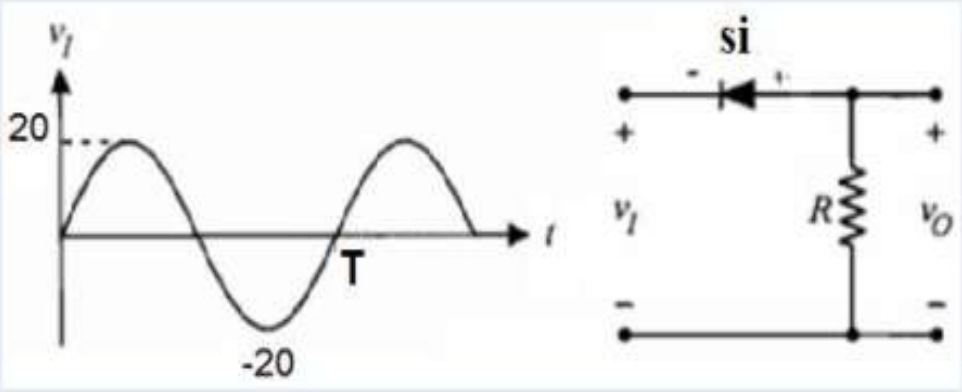
PIV: حداکثر ولتاژی است که در حالت بایاس معکوس دو سر دیود قرار می گیرد. $PIV = max|V_{D,r}|$

$$\begin{cases} PIV = max|V_{D,r}| \\ V_{D,r} = V_i \end{cases} \Rightarrow PIV = max|V_i| = V_m$$

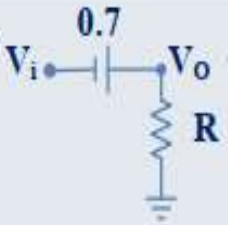
PIVتعیین می کند که دیودی که انتخاب می کنیم، در حالت بایاس معکوس تا چه ولتاژی را باید تحمل کند. $PIV < V_{BD}$

یکسوساز نیم موج

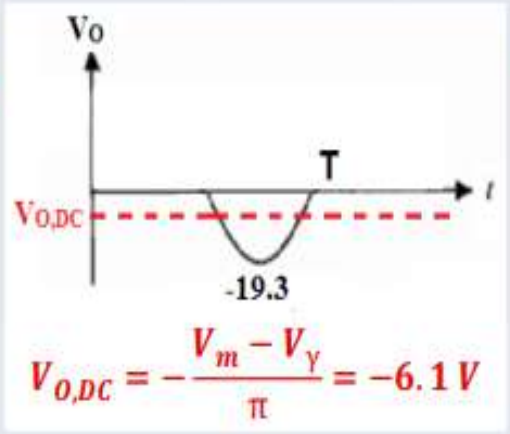
- مثال۱: شکل موج خروجی مدار زیر و نیز سطح DC خروجی را رسم کنید.



- خروجی:

$V_i < -0.7 \rightarrow D: on \rightarrow$  $\rightarrow V_O = V_i + 0.7$

$V_i > -0.7 \rightarrow D: off \rightarrow$ $\rightarrow V_O = 0$

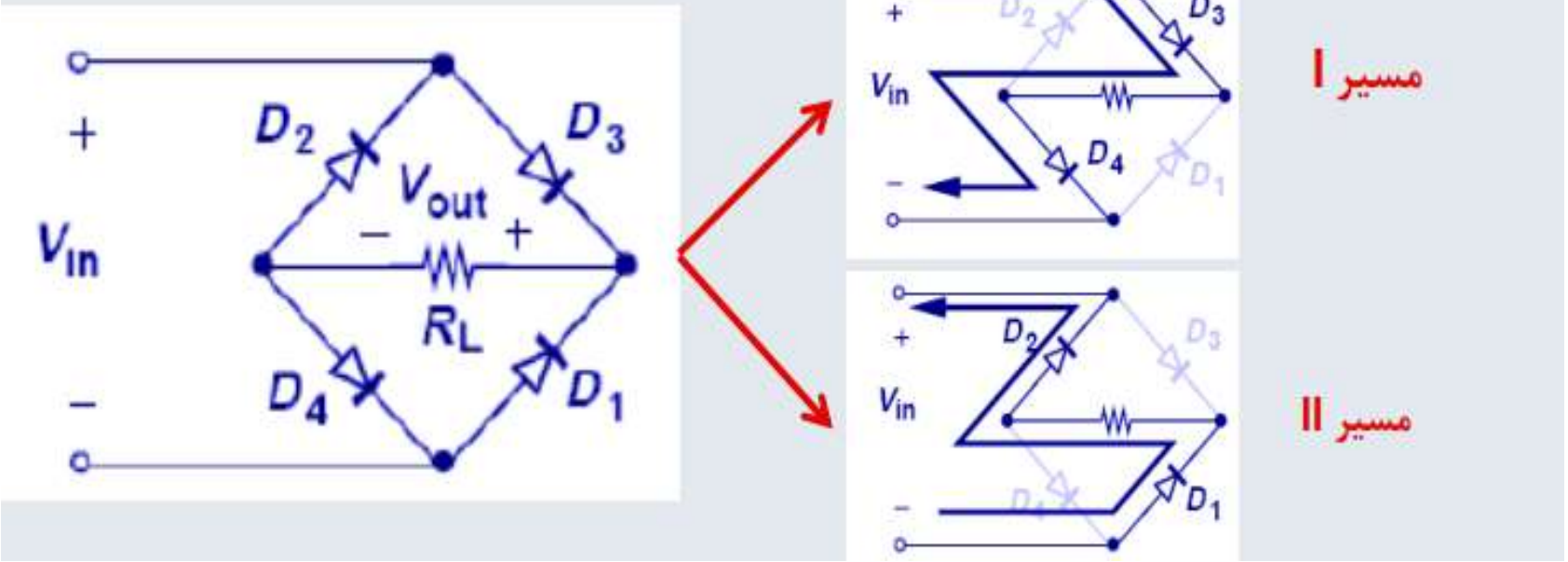


$$V_{O,DC} = -\frac{V_m - V_\gamma}{\pi} = -6.1\,V$$

یکسوساز تمام موج

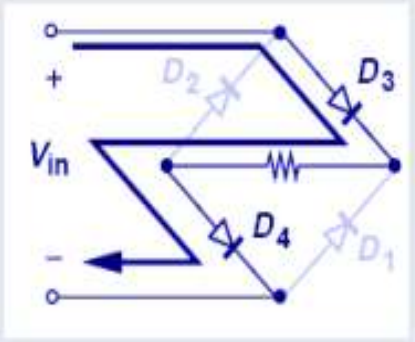
- در یکسوساز نیم موج تنها یک مسیر برای عبور جریان وجود دارد.
- در یکسوساز تمام موج همیشه دو مسیر برای عبور جریان وجود دارد.

۱. یکسوساز تمام موج با پل دیودی



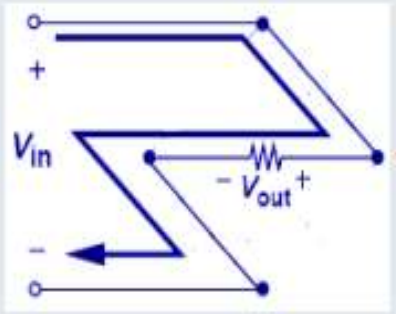
یکسوساز تمام موج با پل دیودی

- مدار را جداگانه برای هر مسیر تحلیل می کنیم.



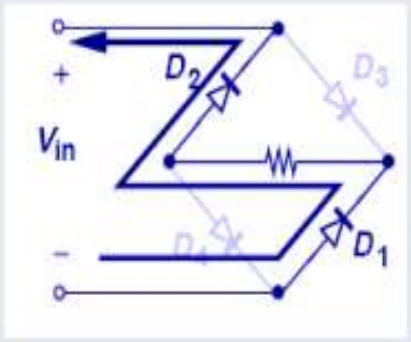
مسیر I

$$\rightarrow \begin{pmatrix} D1, D2: off \\ D3, D4: on \end{pmatrix}$$



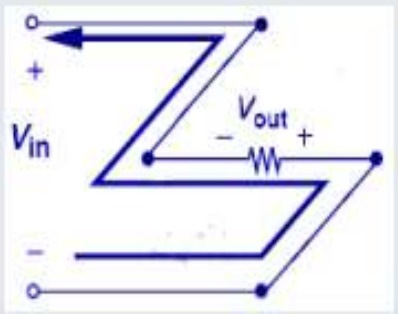
$\rightarrow$ KVL: $V_{out}=V_{in}$

برای اینکه مسیر I برقرار باشد، باید دیودهای موجود در مسیر روشن باشند. برای روشن بودن دیود ها لازم است: $0<V_{in}$



مسیر II

$$\rightarrow \begin{pmatrix} D1, D2: on \\ D3, D4: off \end{pmatrix}$$



$\rightarrow$ KVL: $V_{out}=-V_{in}$

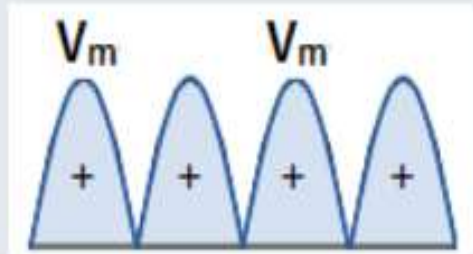
برای اینکه مسیر II برقرار باشد، باید دیودهای موجود در مسیر روشن باشند. برای روشن بودن دیود ها لازم است: $0>V_{in}$

یکسوساز تمام موج با پل دیودی

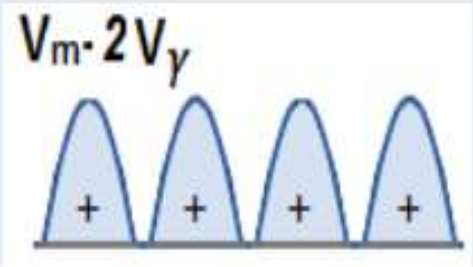
رابطه خروجی با ورودی:

$$\begin{cases} V_{in} > 0 \rightarrow V_{out} = V_{in} \\ V_{in} < 0 \rightarrow V_{out} = -V_{in} \end{cases}$$

خروجی با در نظرگرفتن $V_{in}=V_m \sin\omega t$:



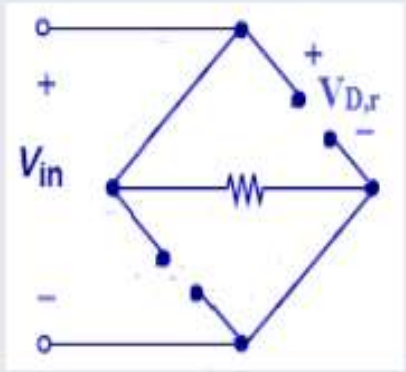
خروجی با در نظرگرفتن دیودهای ایده آل



خروجی با در نظرگرفتن دیودهای واقعی

- محاسبه PIV:

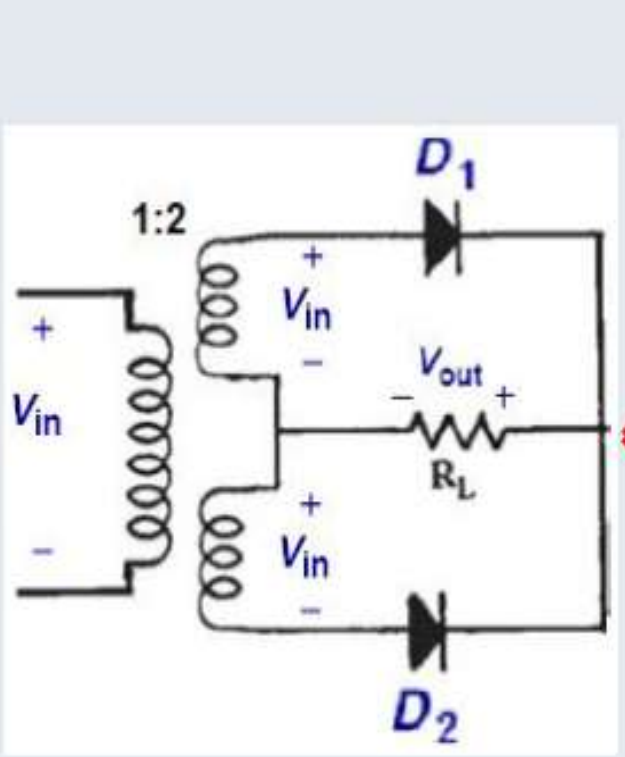
برای محاسبه **PIV**، به دلخواه یکی از مسیرهای **I** یا **II** را درنظر می گیریم.

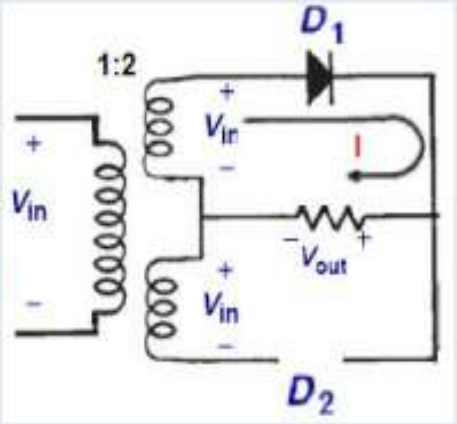


$$\begin{cases} PIV = max|V_{D,r}| \\ \\ KVL: V_{D,r} = V_{in} \end{cases} \Rightarrow PIV = max|V_{in}| = V_m \Rightarrow V_m < V_{BD}$$

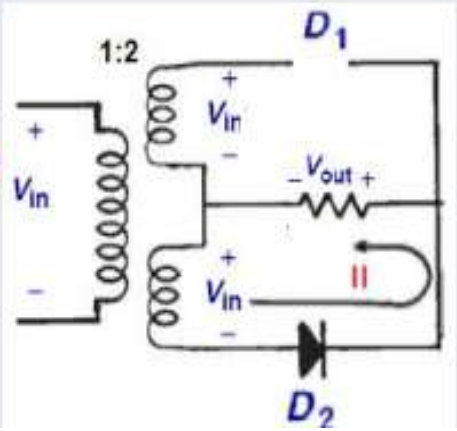
یکسوساز تمام موج با ترانس 3 سر

۱. یکسوساز تمام موج با ترانس ۳ سر





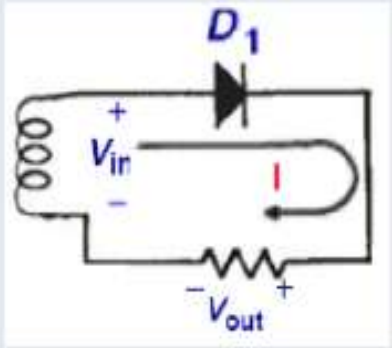
مسیر I



مسیر II

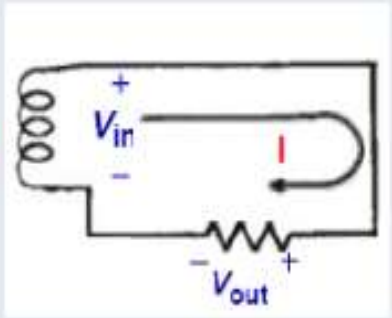
یکسوساز تمام موج با ترانس 3 سر

- مدار را جداگانه برای هر مسیر تحلیل می کنیم.



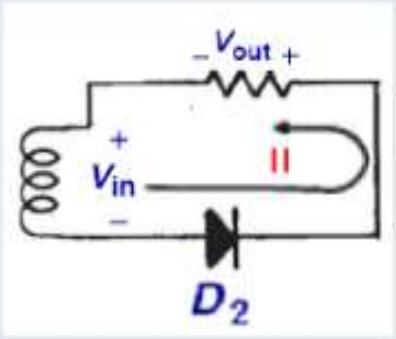
مسیر I

$$\rightarrow \begin{pmatrix} D_1: on \\ D_2: off \end{pmatrix}$$



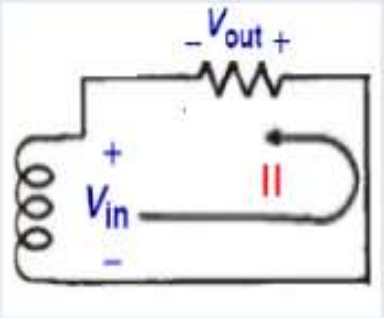
→ KVL: $V_{out}=V_{in}$

برای اینکه مسیر I برقرار باشد، باید دیودهای موجود در مسیر روشن باشند. برای روشن بودن دیود ها لازم است: $0<V_{in}$



مسیر II

$$\rightarrow \begin{pmatrix} D_1: off \\ D_2: on \end{pmatrix}$$



→ KVL: $V_{out}=-V_{in}$

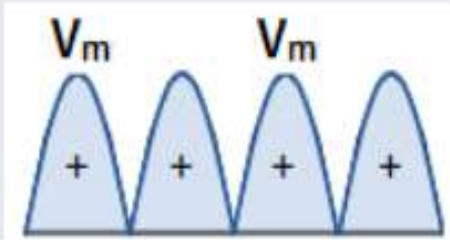
برای اینکه مسیر II برقرار باشد، باید دیودهای موجود در مسیر روشن باشند. برای روشن بودن دیود ها لازم است: $0>V_{in}$

یکسوساز تمام موج با ترانس 3 سر

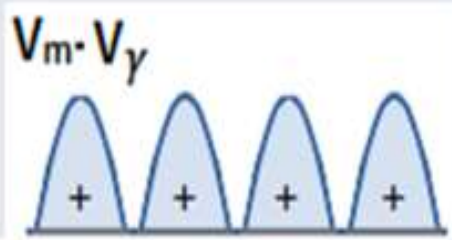
رابطه خروجی با ورودی:

$$\begin{cases} V_{in} > 0 \rightarrow V_{out} = V_{in} \\ V_{in} < 0 \rightarrow V_{out} = -V_{in} \end{cases}$$

خروجی با در نظرگرفتن $V_{in}=V_m \sin\omega t$:



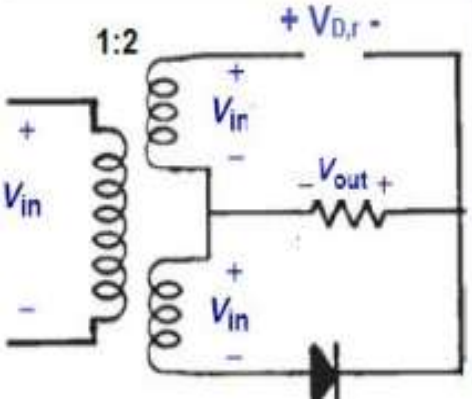
خروجی با در نظرگرفتن دیودهای ایده آل



خروجی با در نظرگرفتن دیودهای واقعی

- محاسبه PIV:

برای محاسبه **PIV** ، به دلخواه یکی از مسیرهای **I** یا **II** را درنظر می گیریم.



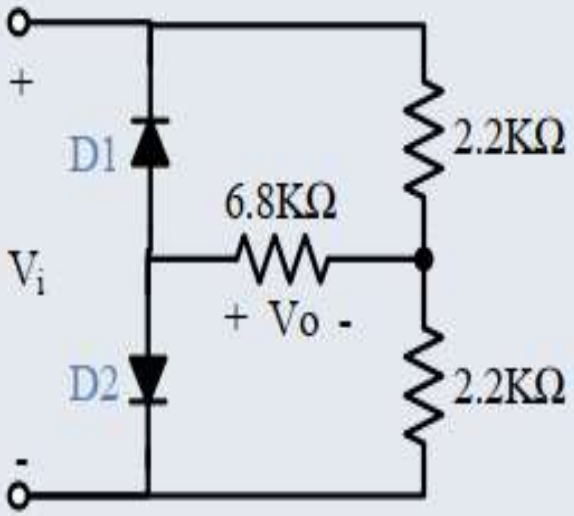
$$\begin{cases} PIV = max|V_{D,r}| \\ KVL:\ V_{D,r} = V_{in} - V_{out} \\ \text{مسیر } II:\ V_{out} = -V_{in} \end{cases}$$

$$\Rightarrow PIV = max|2V_{in}| = 2V_m$$

$$\Rightarrow 2V_m < V_{BD}$$

تمرین

- در مدار شکل زیر، ورودی یک سینوسی با دامنه‌ی ۱۰ ولت است. V_o را به ازای یک تناوب ورودی رسم کنید. دیودها باید بتوانند چه ولتاژ معکوسی را تحمل کنند؟

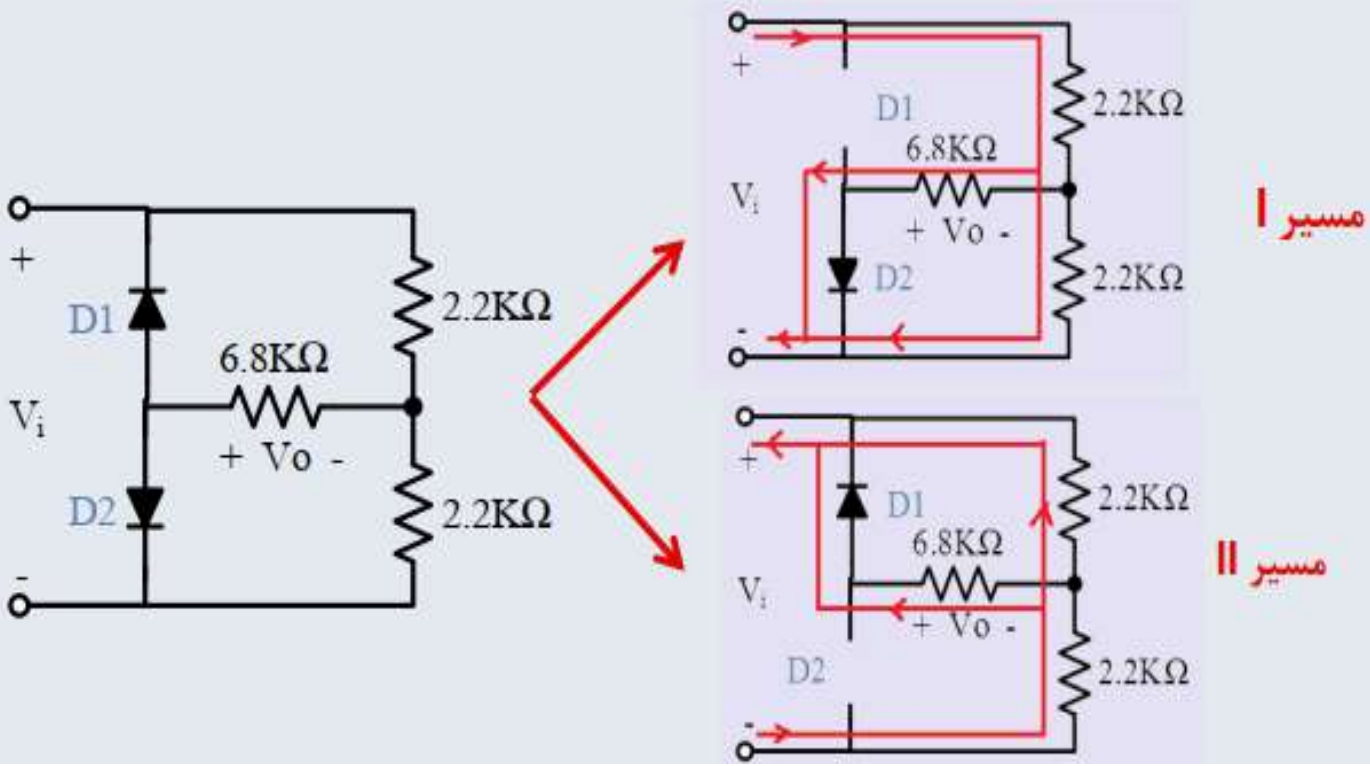


پایان جلسه ششم

حل تمرین جلسه قبل

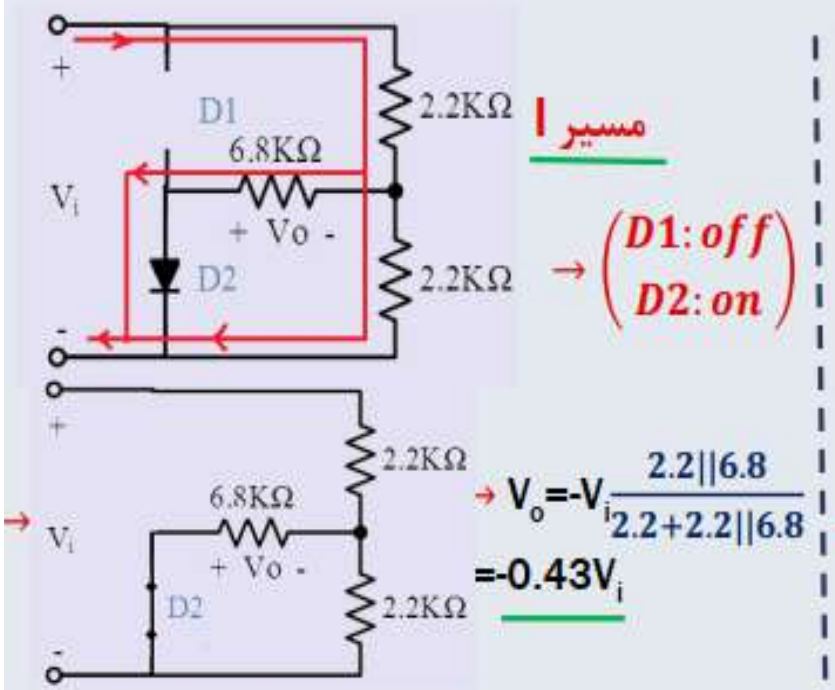
- در مدار شکل زیر، ورودی یک سینوسی با دامنه‌ی ۱۰ ولت است. V_o را به ازای یک تناوب ورودی رسم کنید. دیودها باید بتوانند چه ولتاژ معکوسی را تحمل کنند؟

یکسوساز پل دیودی



حل تمرین جلسه قبل

- مدار را جداگانه برای هر مسیر تحلیل می کنیم.



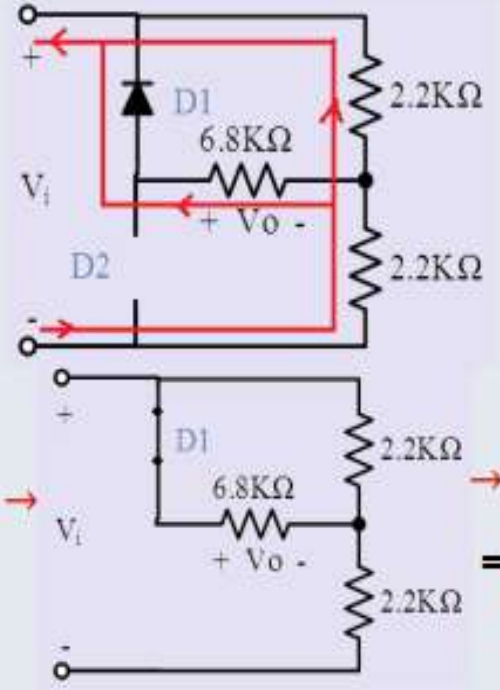
مسیر I

$\rightarrow \begin{pmatrix} D1: off \\ D2: on \end{pmatrix}$

$\rightarrow V_o = -V_i \frac{2.2||6.8}{2.2+2.2||6.8}$

$= -0.43V_i$

برای اینکه مسیر I برقرار باشد، باید دیود موجود در مسیر روشن باشند. برای روشن بودن دیود لازم است: $0 < V_i$



مسیر II

$\rightarrow \begin{pmatrix} D1: on \\ D2: off \end{pmatrix}$

$\rightarrow V_o = V_i \frac{2.2||6.8}{2.2+2.2||6.8}$

$= 0.43V_i$

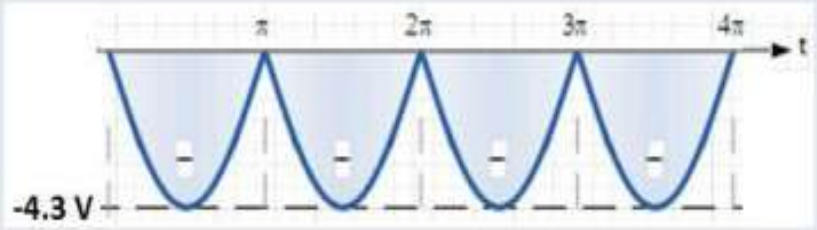
برای اینکه مسیر II برقرار باشد، باید دیود موجود در مسیر روشن باشند. برای روشن بودن دیود لازم است: $0 > V_i$

حل تمرین جلسه قبل

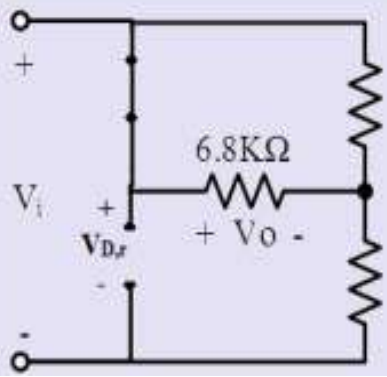
رابطه خروجی با ورودی:

$$\begin{cases} V_i > 0 \rightarrow V_o = -0.43V_i \\ V_i < 0 \rightarrow V_o = 0.43V_i \end{cases}$$

خروجی :



- محاسبه PIV:



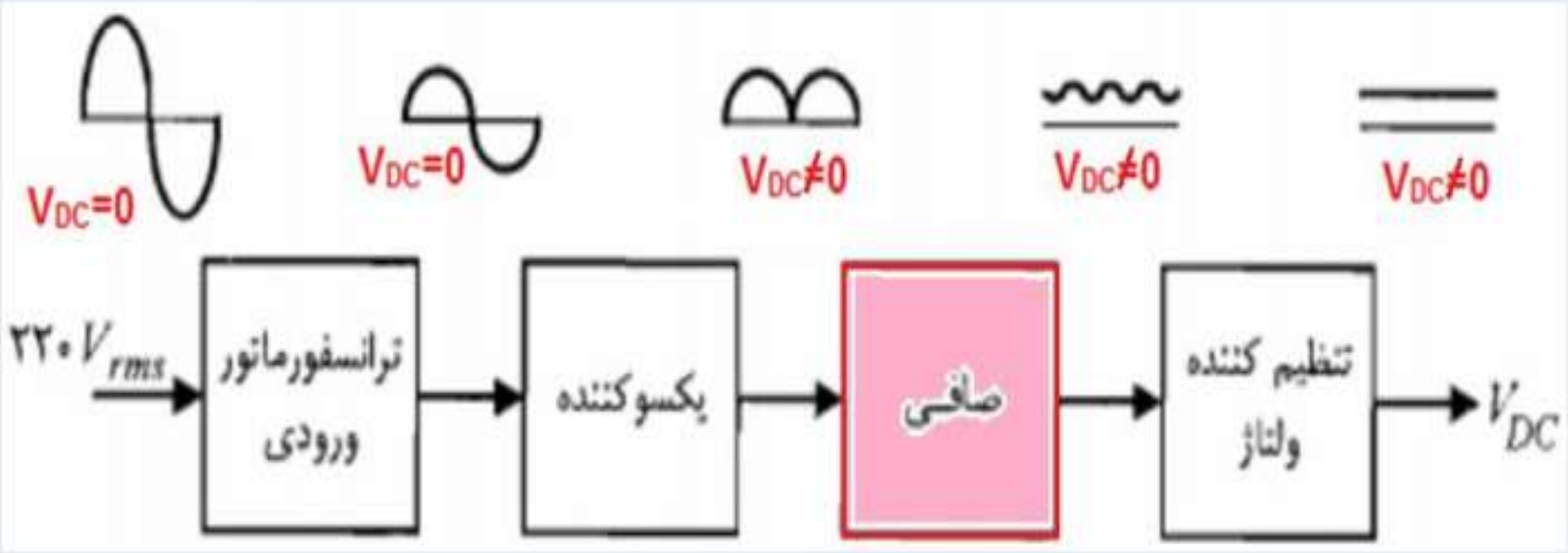
برای محاسبه **PIV** ، به دلخواه یکی از مسیرهای **I** یا **II** را درنظر می گیریم.

$$\begin{cases} PIV = max|V_{D,r}| \\ \\ KVL: V_{D,r} = V_i \end{cases}$$

$$\Rightarrow PIV = max|V_i| = V_m = 10 \Rightarrow 10 < V_{BD}$$

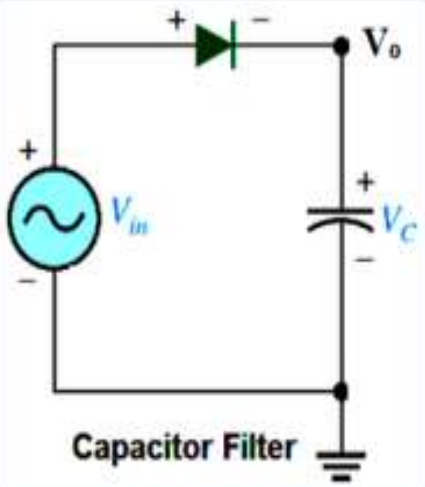
فیلتر خازنی

- فیلتر خازنی (صافی) میزان تغییرات خروجی (ریپل خروجی) را کاهش می دهد.

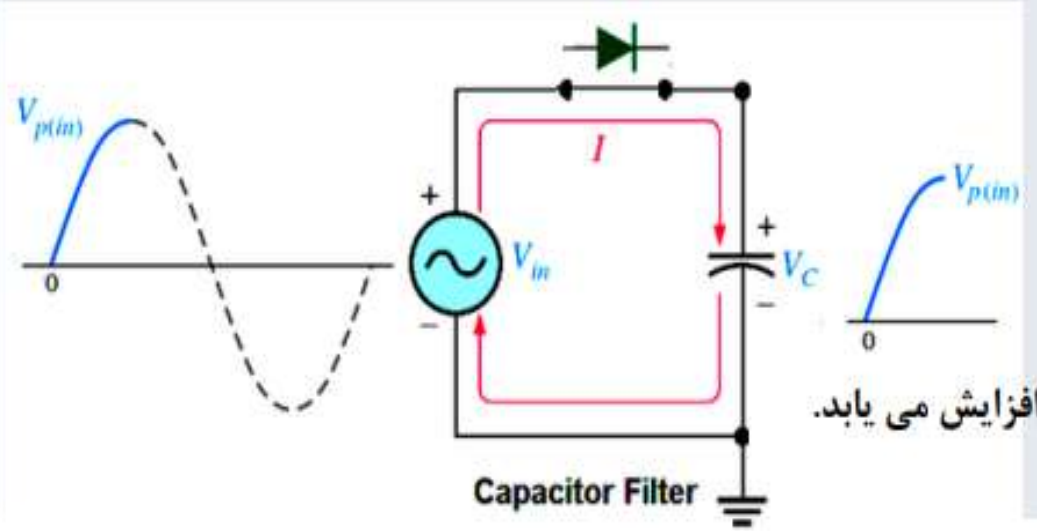


- عنصر اصلی مدار صافی، **خازن** است.
- وجود خازن در مدار باعث می شود که خروجی یک حالت گذرا و یک حالت دائم داشته باشد.

فیلتر خازنی بدون مقاومت بار



- خازن در لحظه **t=0** خالی است. **Vo=Vc=0**



در ربع سیکل اول:

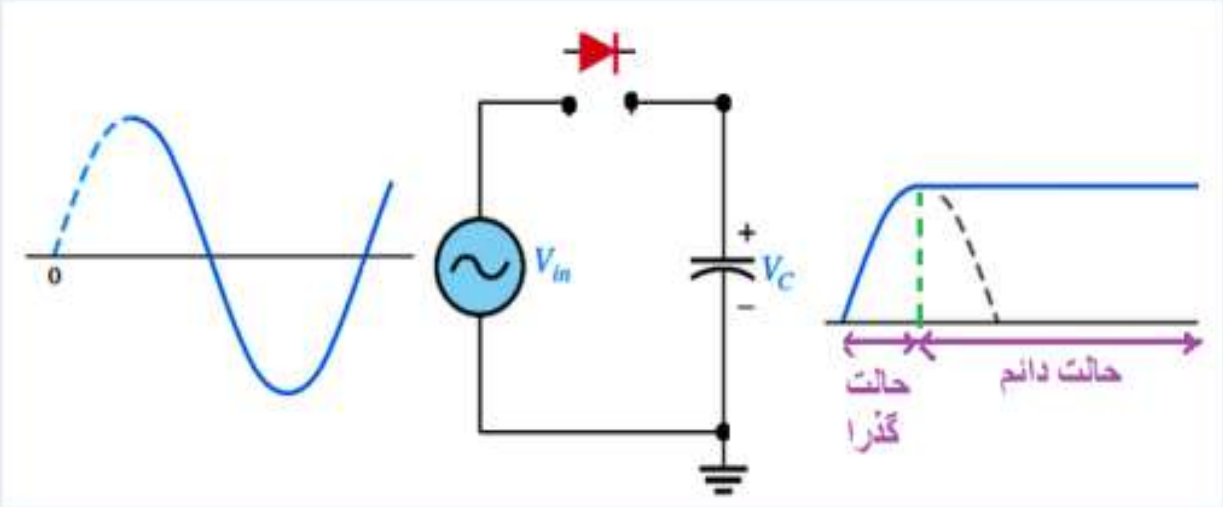
- دیود روشن است.
- خازن شارژ می شود.
- ولتاژ خازن تا V_p (ماکسیمم ورودی) افزایش می یابد.

6

فیلتر خازنی بدون مقاومت بار

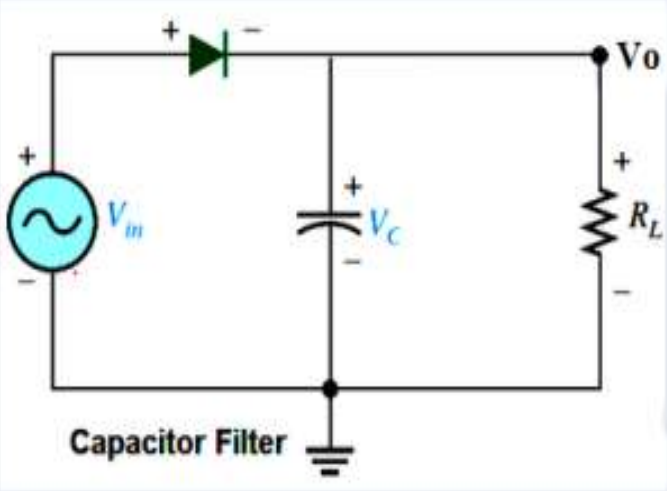
بعد از ربع سیکل اول:

- خازن مسیری برای تخلیه ندارد و ولتاژ آن ثابت باقی می ماند.
- دیود خاموش می شود (ولتاژ ورودی کم می شود ولی ولتاژ خازن ثابت است).

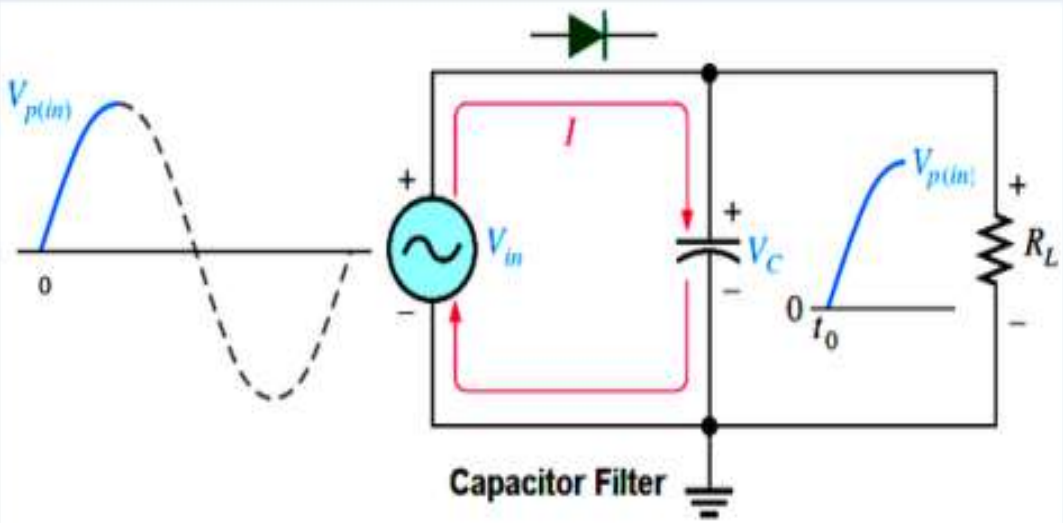


- در حالت دائم ولتاژ خروجی ثابت و برابر با V_P است (با فرض دیود ایده آل).
- با در نظر گرفتن دیود واقعی، ولتاژ خروجی در حالت دائم برابر با V_P-V_γ است .

یکسوساز نیم موج با صافی خازنی (فیلتر خازنی با مقاومت بار)



- خازن در لحظه **t=0** خالی است. **Vo=Vc=0**



در ربع سیکل اول:

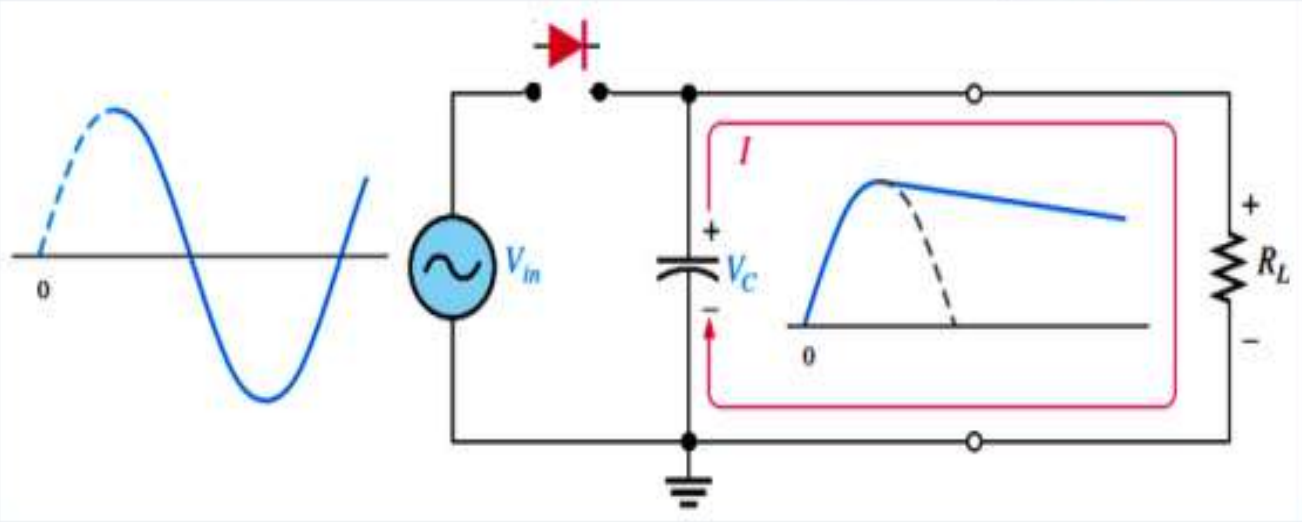
- دیود روشن است.
- خازن شارژ می شود.
- ولتاژ خازن تا V_p (ماکسیمم ورودی) افزایش می یابد.

8

یکسوساز نیم موج با صافی خازنی (فیلتر خازنی با مقاومت بار)

بعد از ربع سیکل اول:

- دیود خاموش می شود (ولتاژ ورودی کم می شود).
- خازن از طریق مقاومت با ثابت زمانی $\zeta=R_LC$ تخلیه می شود.

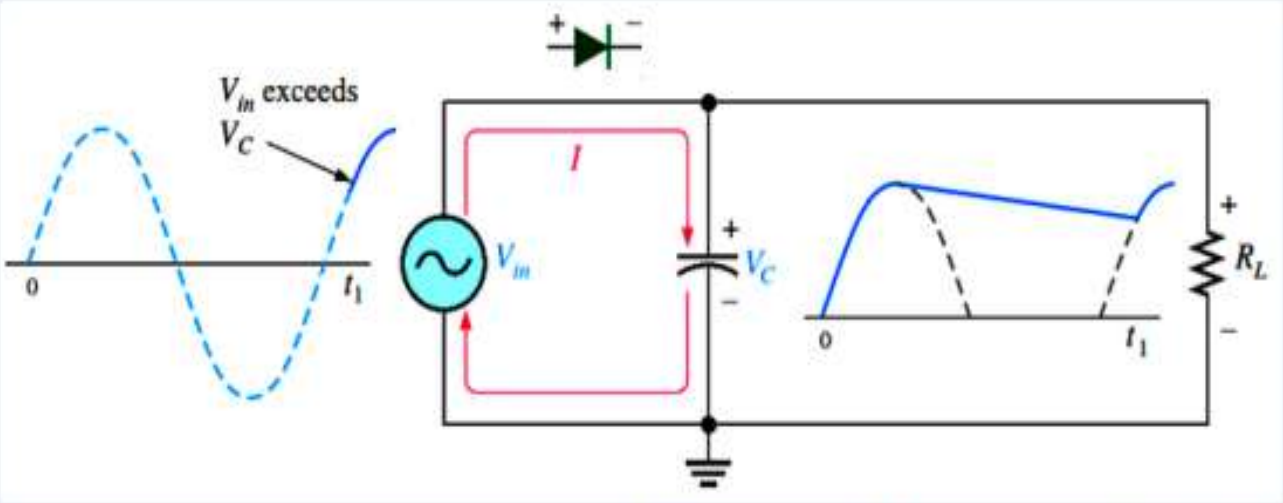


- این وضعیت تا زمانی که ولتاژ خازن بیش تر از ولتاژ ورودی است، ادامه دارد.
- زمانی که ولتاژ خازن با ولتاژ ورودی تقاطع پیدا می کند با **t1** نشان داده شده است.

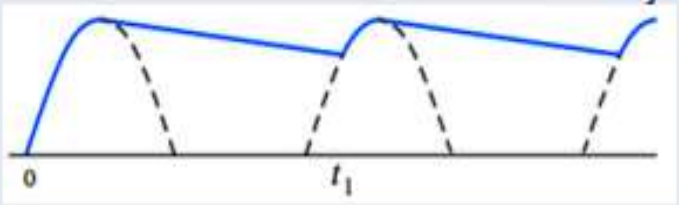
یکسوساز نیم موج با صافی خازنی (فیلتر خازنی با مقاومت بار)

بعد از زمان t1:

- دیود روشن می شود.
- خازن دوباره تا **Vp**شارژمی شود.



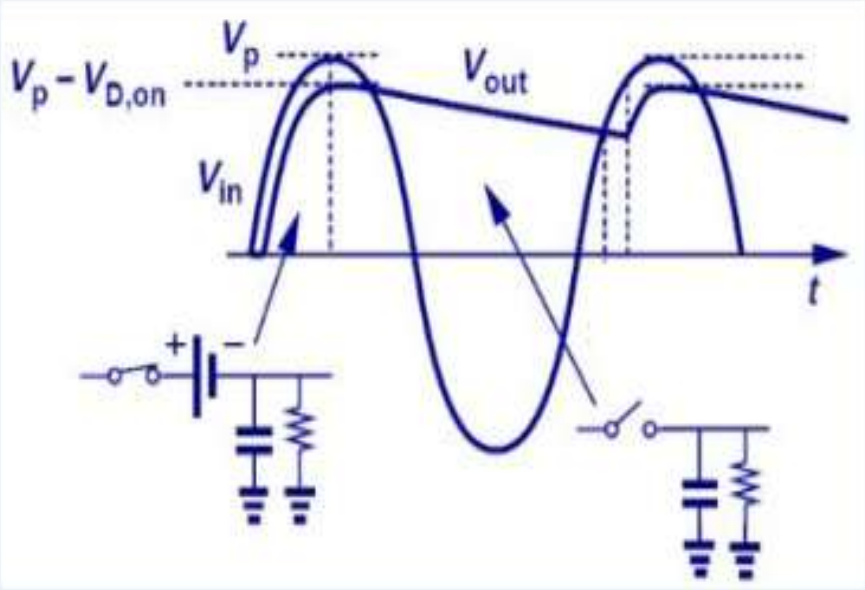
- روند شارژ و دشارژ خازن در تمام سیکل های بعدی تکرار می شود.



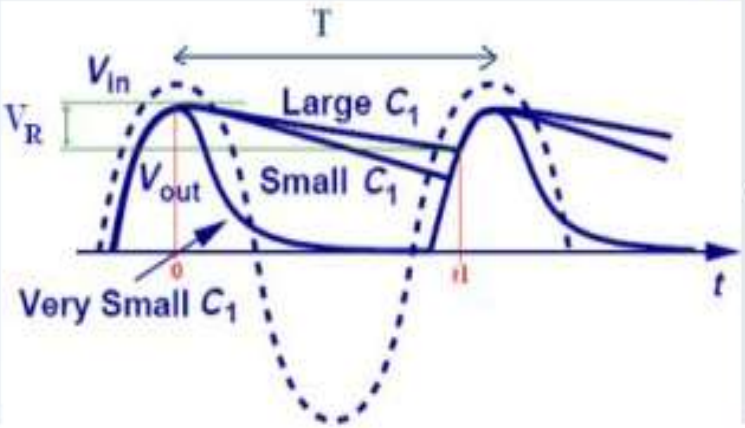
10

یکسوساز نیم موج با صافی خازنی (فیلتر خازنی با مقاومت بار)

صافی خازنی با در نظرگزفتن دیود واقعی:



اثر مقدار خازن روی خروجی:

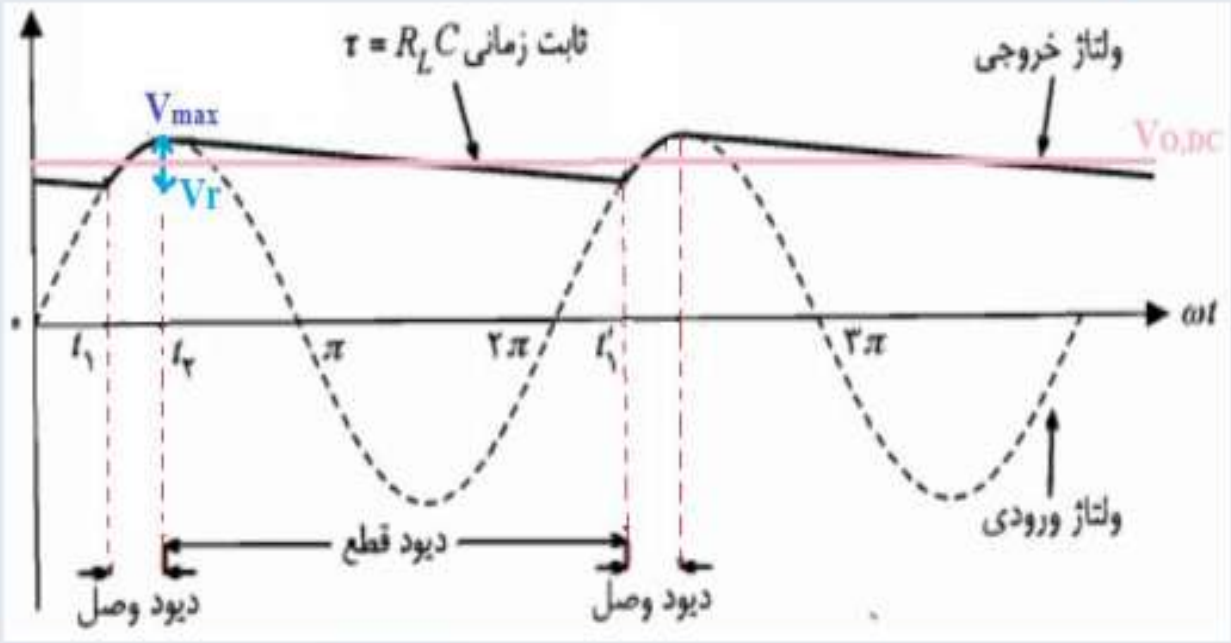


- با افزایش **C** خروجی دارای ریپل (**Vr**) کمتری خواهد بود.
- شکل موج ریپل، نمایی است.

11

یکسوساز نیم موج با صافی خازنی (فیلتر خازنی با مقاومت بار)

برای آنالیز خروجی، فقط حالت دائم خروجی را درنظر می گیریم.



$$V_{O,DC}=V_{max}-V_r/2$$

از زمان t_2 تا t_1':

$$V_o = Vma_x e^{-t/\zeta} \xrightarrow{e^x \sim 1+x} V_o = Vma_x\left(1-\frac{t}{\zeta}\right)$$

$$V_{max} - V_r = V_{max}\left(1-\frac{t}{\zeta}\right) \rightarrow Vr = \frac{V_{max}t}{\zeta} \xrightarrow{t\sim T} V_r = \frac{V_{max}}{fR_LC}$$

یکسوساز نیم موج با صافی خازنی (فیلتر خازنی با مقاومت بار)

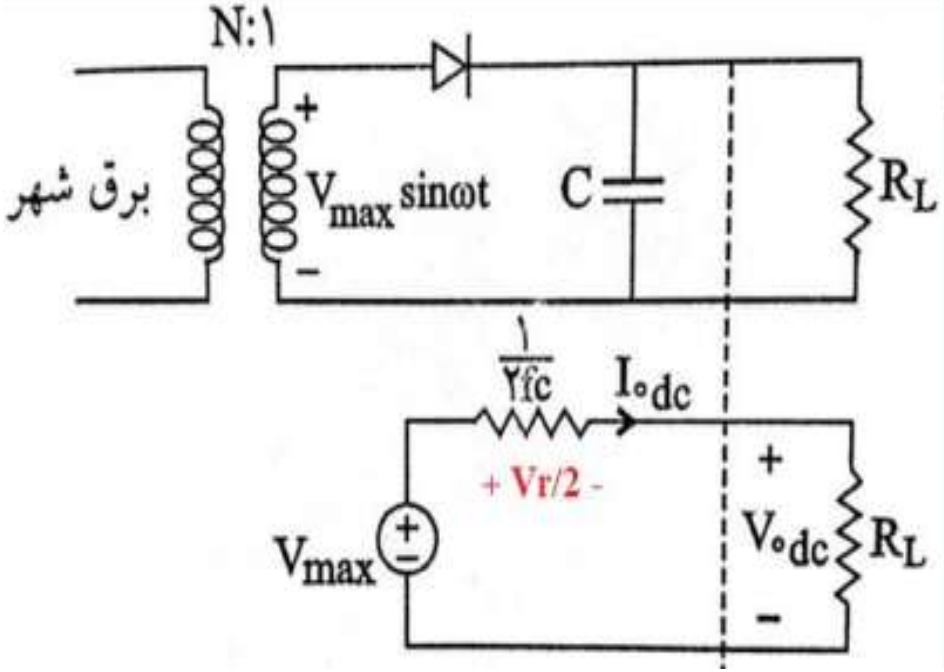
- ولتاژ **DC** خروجی:

$$V_{O,DC}=V_{max}-V_r/2= V_{max}-\frac{V_{max}}{2fR_LC}$$

- جریان **DC** خروجی:

$$\begin{cases} Q = CV \longrightarrow CV = It \rightarrow C\Delta V = I\Delta t \\ Q = It \end{cases}$$

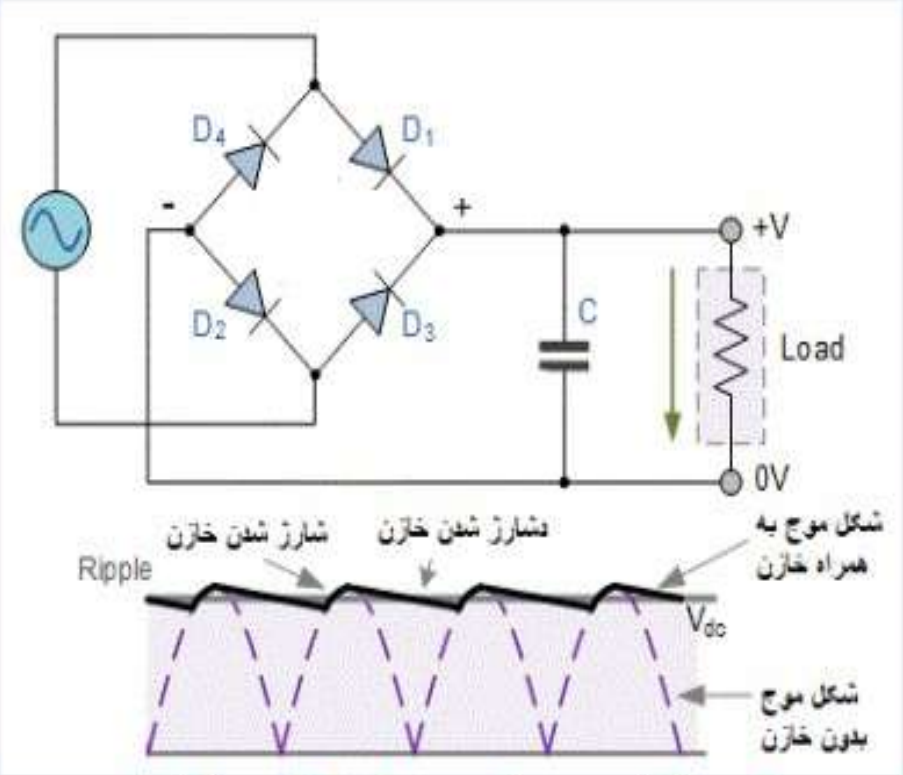
$$\rightarrow CV_r = IO_{,DC}T \rightarrow V_r = \frac{I_{O'DC}T}{C} = \frac{I_{O'DC}}{fC}$$



- مدار معادل تونن یکسوساز نیم موج با صافی خازنی:

13

یکسوساز تمام موج با صافی خازنی



- ولتاژ **DC** خروجی:

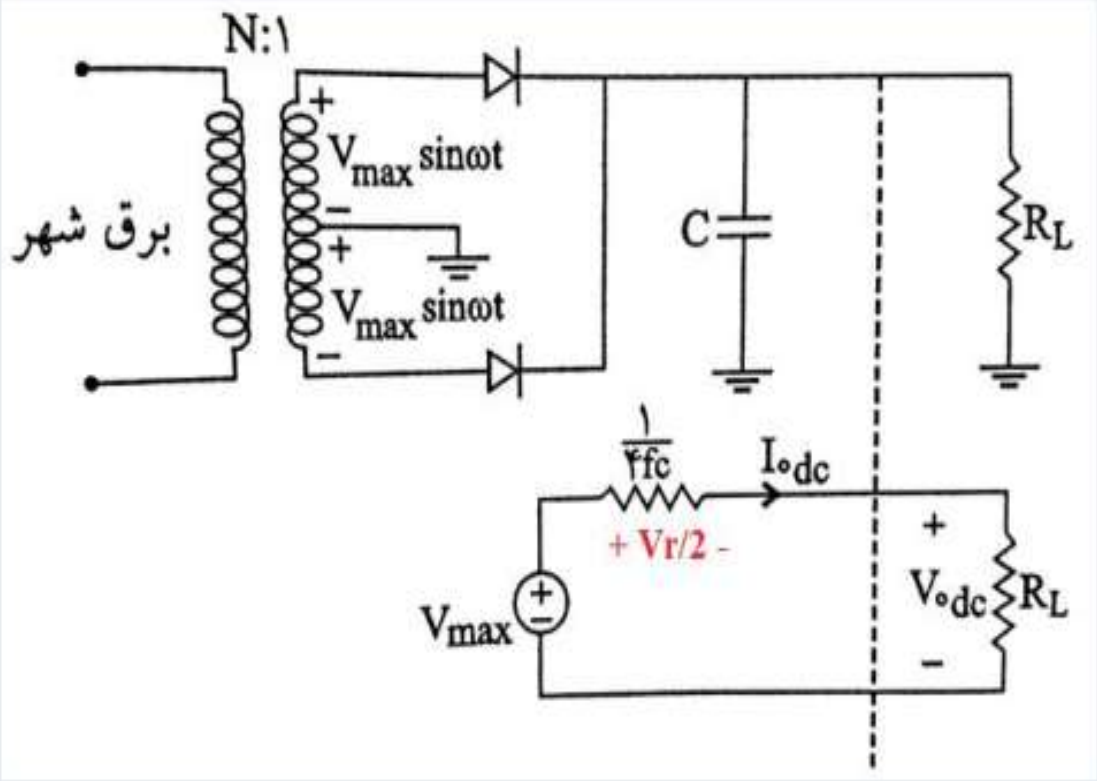
- ریپل خروجی یکسوساز تمام موج نصف ریپل خروجی یکسوساز نیم موج است، زیرا در یکسوساز تمام موج زمان دشارژ خازن نصف می شود

$$V_r = \frac{V_{max}}{2fRLC} \quad , V_r = \frac{I_{DC}}{2fC}$$

14

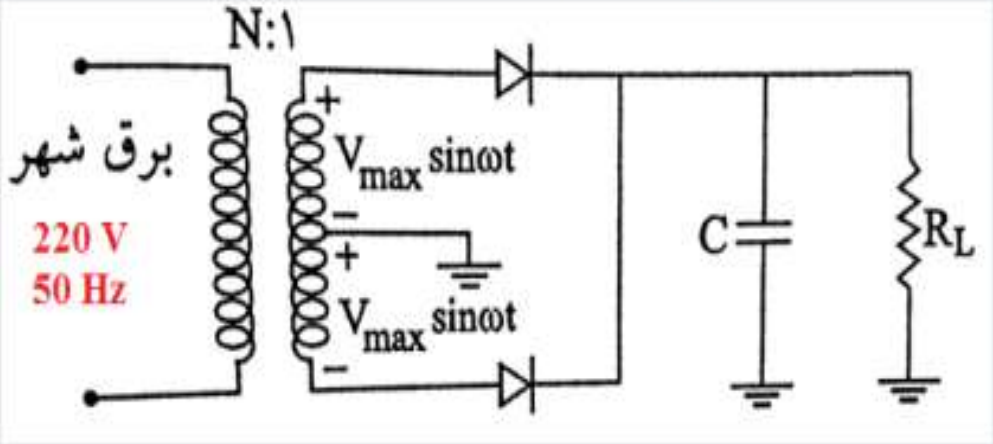
یکسوساز تمام موج با صافی خازنی

- مدار معادل یکسوساز نیم موج با صافی خازنی:



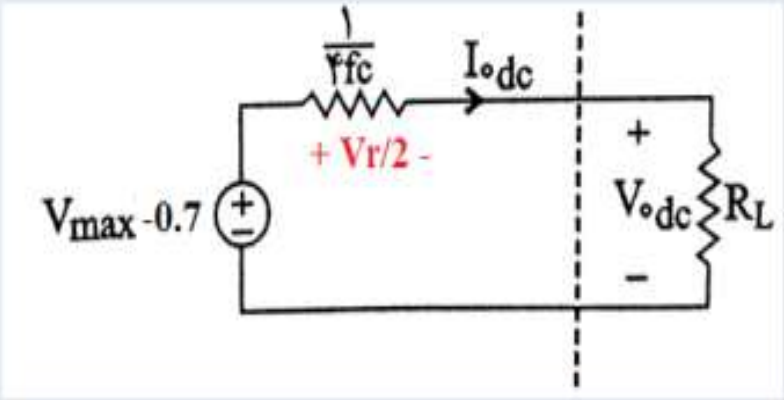
یکسوساز تمام موج با صافی خازنی

- مثال (طراحی): مصرف کننده ای با مقاومت R_L، با ولتاژ ثابت ۳۰ ولت و جریان مستقیم ۳۰۰ میلی آمپر کار می کند. مقدار قابل تحمل برای ولتاژ ریپل برابر ۳.۵ ولت در نظر گرفته می شود. منبع تغذیه را با استفاده از یک ترانس سر وسط دار و دیود از جنس **Si** به صورت مدار زیر طراحی کنید.



هدف
- تعیین مقدار C
- تعیین نسبت دور ترانسفورماتور
- تعیین نوع دیود (محدودیتهای دیود یعنی جریان ماکزیمم و V_{BD})

یکسوساز تمام موج با صافی خازنی



- ادامه حل مثال :

$$V_{max} - V_{\gamma} = V_{odc} + \frac{V_r}{2}$$

$$\rightarrow Vma_x - 0.7 = 30 + \frac{3.5}{2} \longrightarrow V_{max} = 32.45\ V$$

تعیین مقدار C:

با توجه به مدار معادل $\frac{V_r}{2} = I_{odc}\frac{1}{4fC} \rightarrow \frac{3.5}{2} = 0.3\frac{1}{4*50*C} \rightarrow C = 857\ \mu F$

تعیین نسبت دور ترانسفورماتور:

ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور $V_2 = 2V_{max}sin\omega t = 64.9sin\omega t \rightarrow V_{2,rms} = \frac{64.9}{\sqrt{2}}$

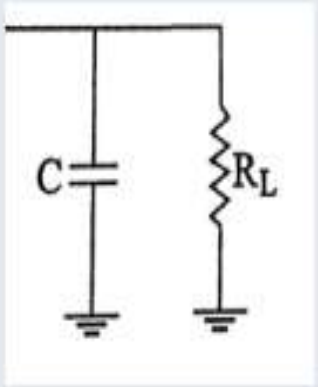
$$\rightarrow N = \frac{V_{1rms}}{V_{2rms}} = \frac{220}{45.9} = 5$$

یکسوساز تمام موج با صافی خازنی

- ادامه حل مثال :

تعیین نوع دیود (محدودیتهای دیود یعنی جریان ماکزیمم و V_{BD}):

$$PIV = 2Vmax = 64.9 \longrightarrow PIV < VBD \longrightarrow 65 < VBD$$

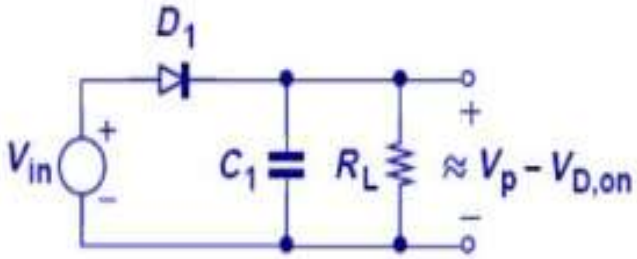


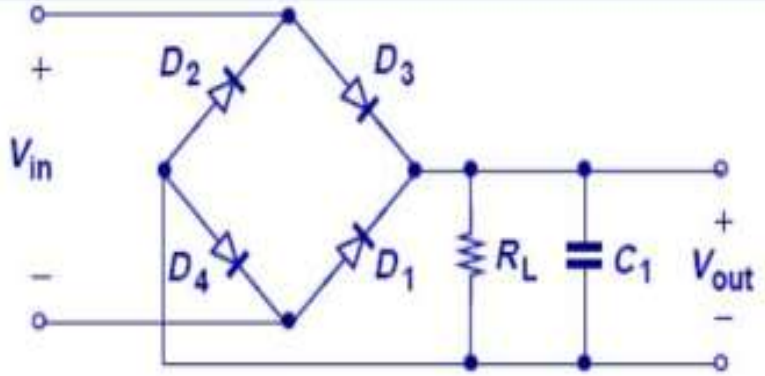
$$\rightarrow I_{max} = V_{max}|Y| = V_{max}\left(\left(\frac{1}{R_L}\right)^2 + (C\omega)^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

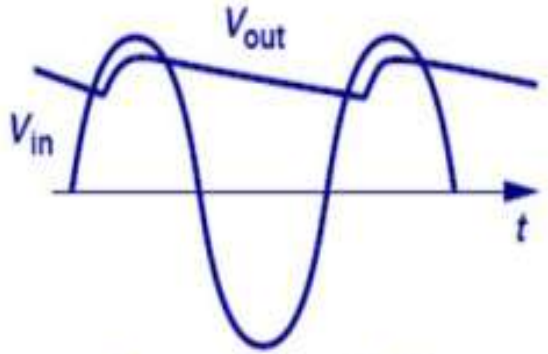
=8.84 A

جریان فوق در لحظات بسیار کوتاهی از دیود عبور می کند.

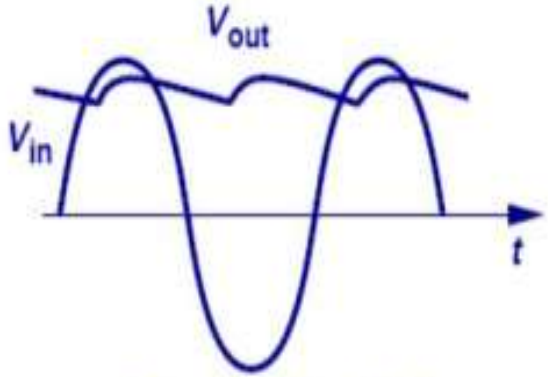
جمع بندی







Reverse Bias $\approx 2V_p$

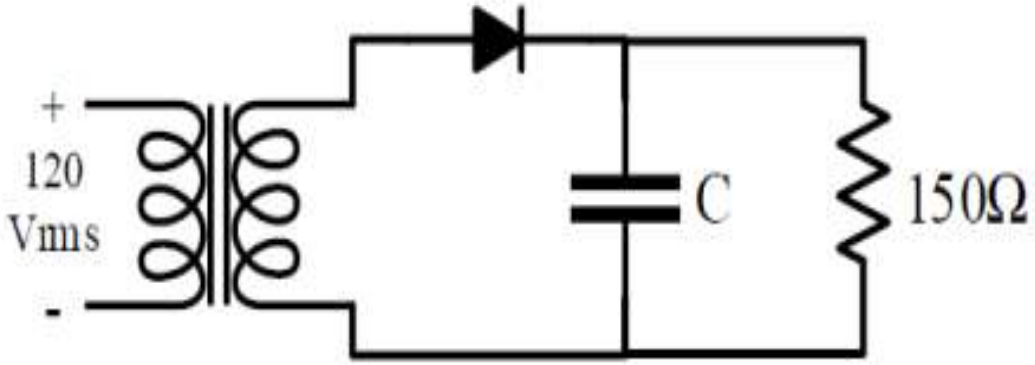


Reverse Bias $\approx V_p$

- یکسو کننده تمام موج به عنوان گزینه مناسب تری جهت استفاده در آداپتورها و مدارات شارژر مطرح است.

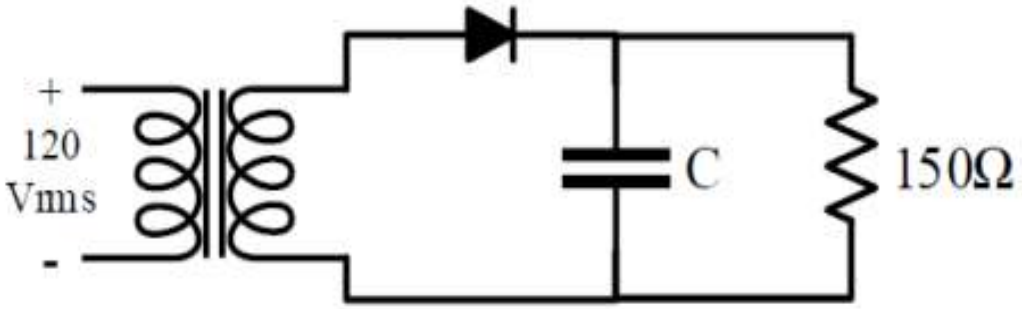
تمرین

می‌خواهیم یک منبع تغذیه به صورت شکل زیر بسازیم. مقدار dc ولتاژ خروجی باید 15 V و حداکثر ریپل آن 2 ولت باشد. مقاومت بار 150 اهم و منبع قابل دسترس برق 120 Vrms، 60Hz است.ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور، اندازه خازن و PIV دیود را تعیین کنید.

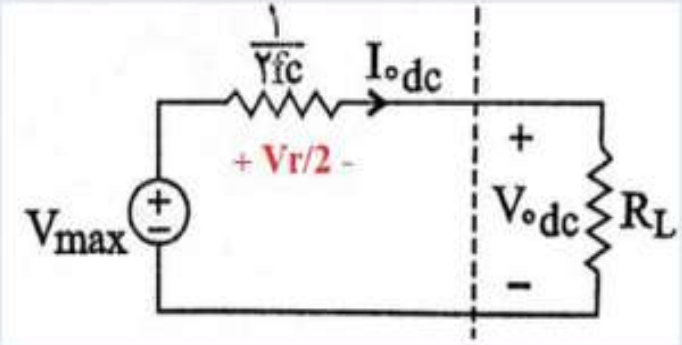


حل تمرین جلسه قبل

می‌خواهیم یک منبع تغذیه به صورت شکل زیر بسازیم. مقدار dc ولتاژ خروجی باید 15 V و حداکثر ریپل آن 2 ولت باشد. مقاومت بار 150 اهم و منبع قابل دسترس برق 120 Vrms، 60Hz است.ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور، اندازه خازن و PIV دیود را تعیین کنید.



- مدار معادل تونن یکسوساز نیم موج با صافی خازنی:



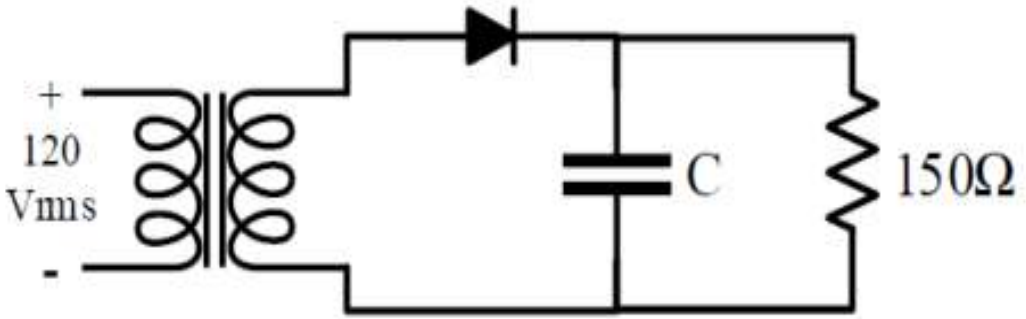
$$V_{max} = V_{odc} + \frac{V_r}{2}$$

$$\rightarrow V_{max} = 15 + \frac{2}{2} \longrightarrow V_{max} = 16\ V$$

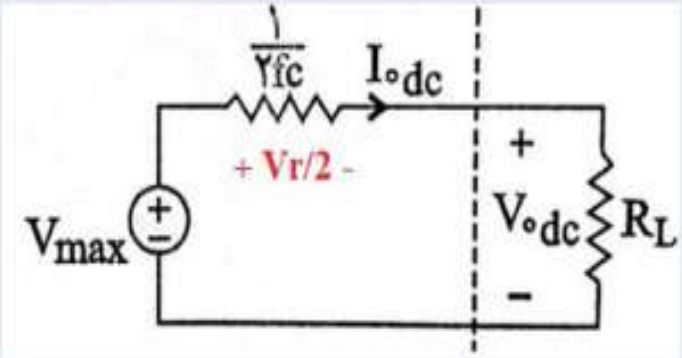
2

حل تمرین جلسه قبل

می‌خواهیم یک منبع تغذیه به صورت شکل زیر بسازیم. مقدار dc ولتاژ خروجی باید 15 V و حداکثر ریپل آن 2 ولت باشد. مقاومت بار 150 اهم و منبع قابل دسترس برق 120 Vrms، 60Hz است.ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور، اندازه خازن و PIV دیود را تعیین کنید.



- مدار معادل تونن یکسوساز نیم موج با صافی خازنی:



$$V_{max} = V_{odc} + \frac{V_r}{2}$$

$$\rightarrow V_{max} = 15 + \frac{2}{2} \longrightarrow V_{max} = 16\,V$$

2

حل تمرین جلسه قبل

تعیین نسبت دور ترانسفورماتور:

ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور $V_2 = V_{max} sin\omega t = 16 sin\omega t \rightarrow V_{2,rms} = \frac{16}{\sqrt{2}} = 11.5$

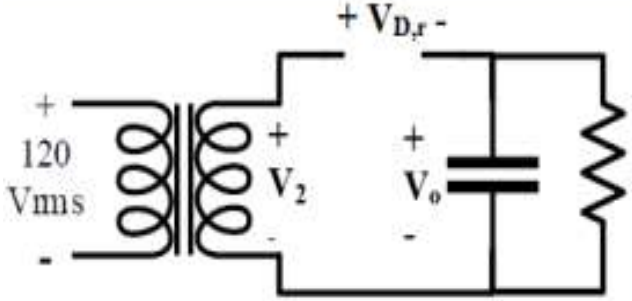
$\rightarrow N = \frac{V_{1,rms}}{V_{2,rms}} = \frac{120}{11.3} \sim 10$

تعیین مقدار C:

با توجه به مدار معادل $V_r = \frac{V_{max}}{f R_L C} \rightarrow C = \frac{V_{max}}{f R_L V_r} = \frac{16}{60*150*2} = 889\ \mu F$

محاسبه PIV:

برای محاسبه **PIV**، به دلخواه یکی از مسیرهای **I** یا **II** را درنظر می گیریم.

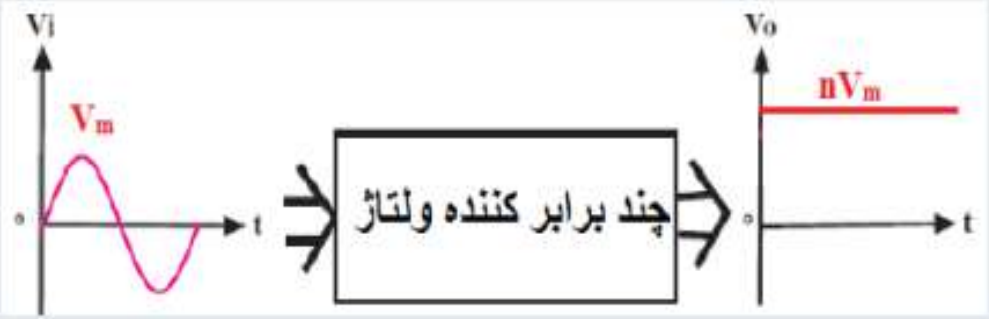


$$\begin{cases} PIV = max|V_{D,r}| \\ KVL: V_{D,r} = V_2 - V_o \Rightarrow PIV = max|V_2 - Vo_{,DC}| = 31 \\ V_o \sim V_{o,DC} \end{cases}$$

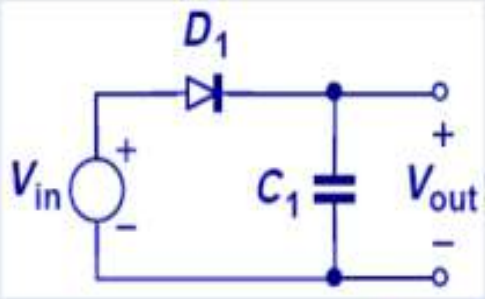
3

مدار چند برابر کننده ولتاژ

- خروجی مدار چند برابر کننده ولتاژ، در حالت دائم، یک مقدار **DC** است.
- خروجی مدار چند برابر کننده ولتاژ، **n** برابر دامنه سیگنال ورودی است که **n** عددی طبیعی است.



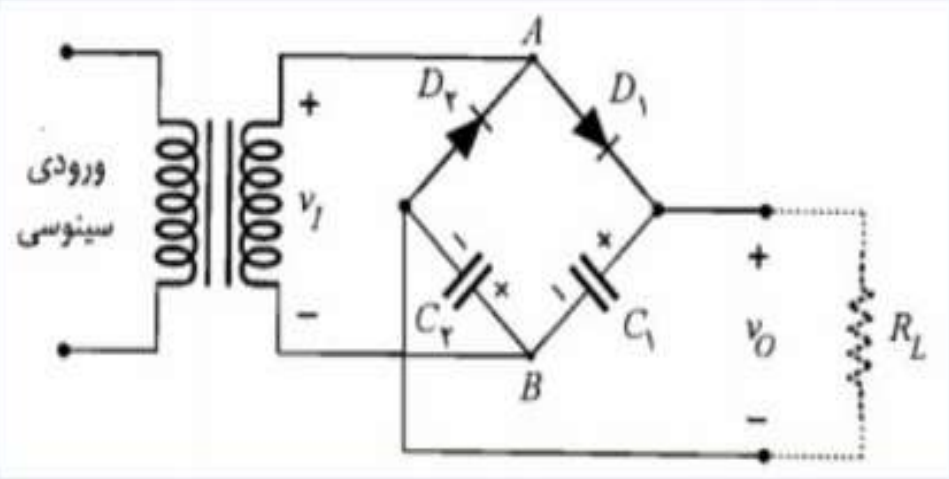
مدار یک برابر کننده ولتاژ



- همان مدار صافی خازنی بدون مقاومت بار است.
- دیود در ربع سیکل اول روشن است و خازن به اندازه دامنه ولتاژ ورودی شارژ می شود.
- در بقیه زمان ها دیود خاموش است و ولتاژ خروجی ثابت باقی می ماند. $V_{out} = V_m$

مدار دو برابر کننده ولتاژ

نوع ۱:

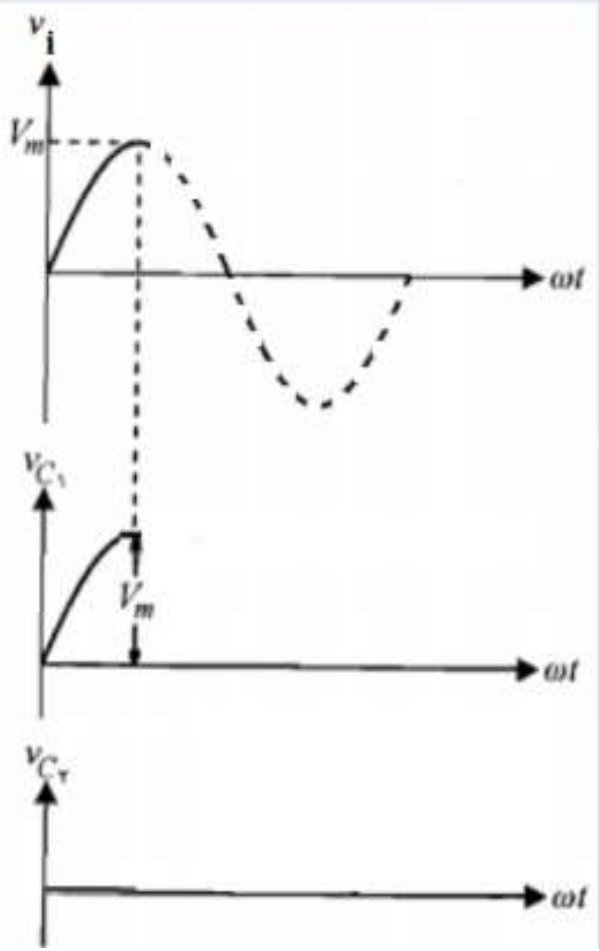


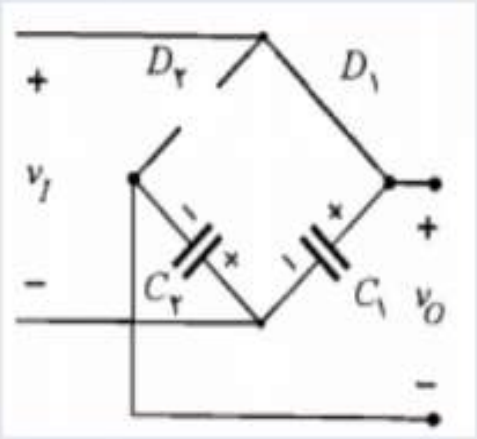
$$V_o = V_{C1} + V_{C2}$$

- از دو مدار یک برابر کننده ولتاژ تشکیل شده است.
- در لحظه اولیه خازن خالی است.

مدار دو برابر کننده ولتاژ (نوع 1)

عملکرد مدار در ربع سیکل اول:



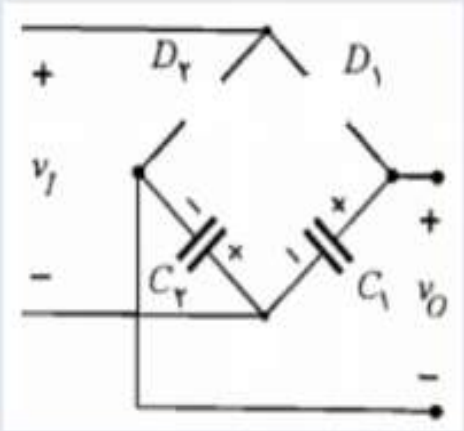


$$V_i > 0 \rightarrow \begin{pmatrix} D1: on \\ D2: off \end{pmatrix}$$

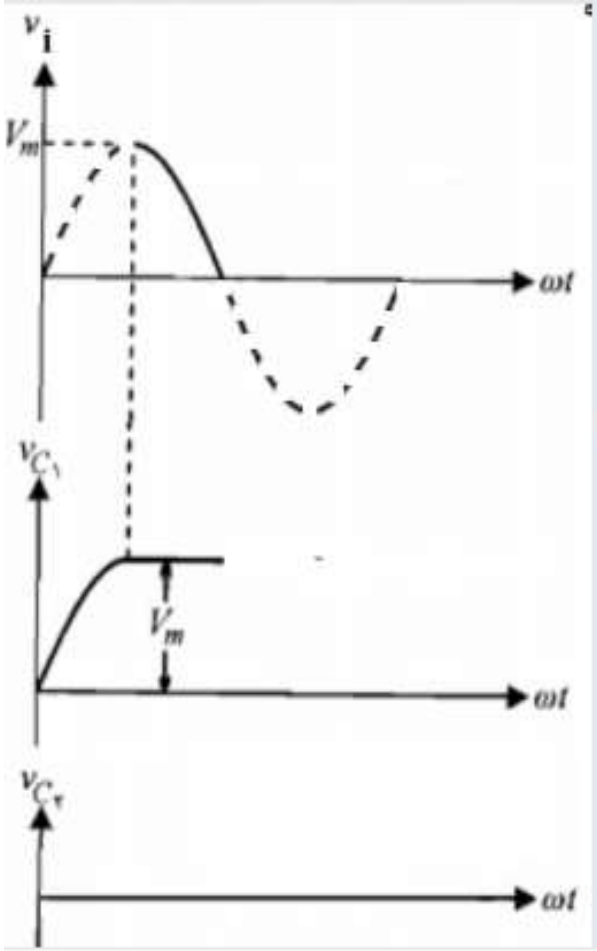
- خازن C_1 شارژ می شود.
- ولتاژ خازن C_2 صفر باقی می ماند.

مدار دو برابر کننده ولتاژ(نوع 1)

عملکرد مدار در ربع سیکل دوم:



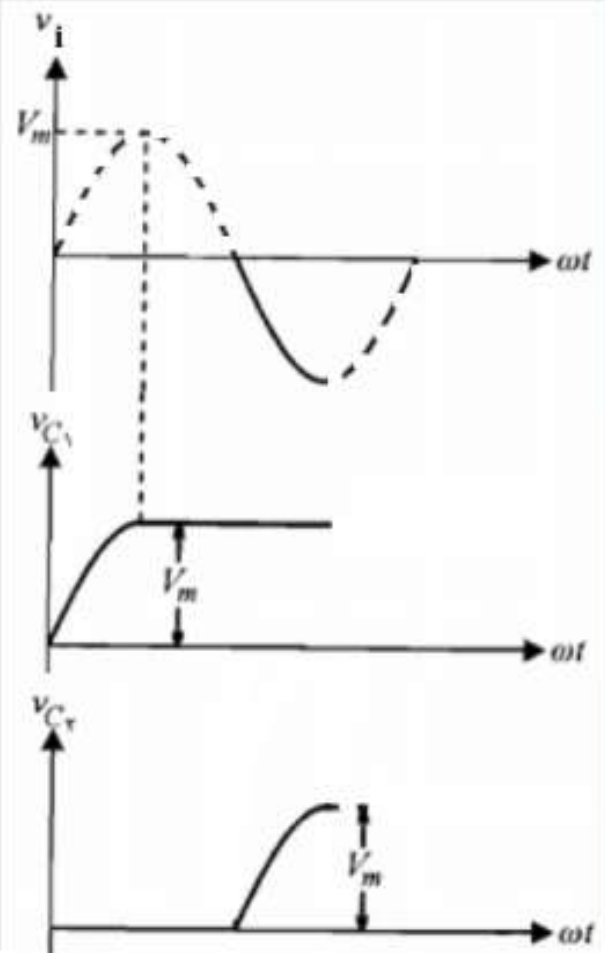
$$\begin{pmatrix} D1: off \\ D2: off \end{pmatrix}$$

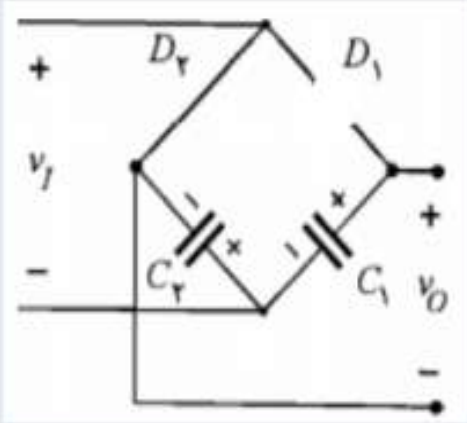


- خازن C_1 راهی برای دشارژ ندارد و ولتاژ آن ثابت باقی می ماند.
- با کاهش ولتاژ ورودی D_1 خاموش می شود.
- D_2 همچنان خاموش است.

مدار دو برابر کننده ولتاژ(نوع 1)

عملکرد مدار در ربع سیکل سوم:



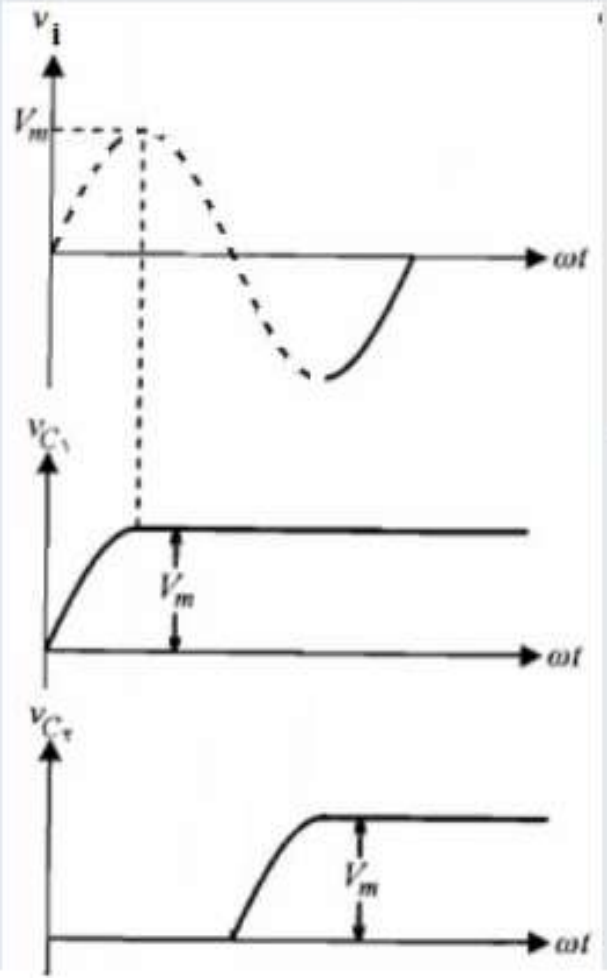


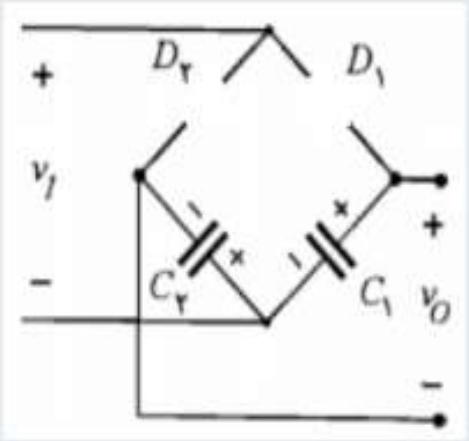
$$V_i < 0 \rightarrow \begin{pmatrix} D1: off \\ D2: on \end{pmatrix}$$

- خازن C_2 شارژ می شود.
- ولتاژ خازن C_1 ثابت باقی می ماند.

مدار دو برابر کننده ولتاژ(نوع 1)

عملکرد مدار در ربع سیکل چهارم و بعد از آن:





$$\begin{pmatrix} D1: off \\ D2: off \end{pmatrix}$$

- خازن C_2 راهی برای دشارژ ندارد و ولتاژ آن ثابت باقی می ماند.
- با کاهش اندازه ولتاژ ورودی D_2 خاموش می شود.

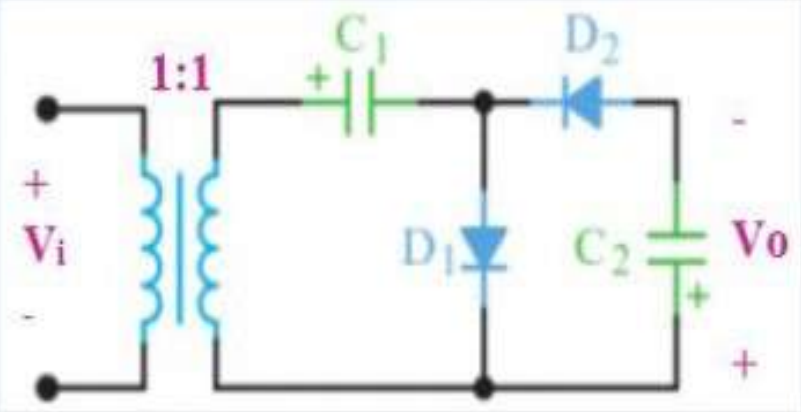
$$V_o = V_{C1} + V_{C2} = 2V_m$$

- با در نظر گرفتن دیود واقعی داریم:

$$V_o = V_{C1} + V_{C2} = 2(V_m - V_\gamma)$$

مدار دو برابر کننده ولتاژ (نوع 2)

نوع ۲:

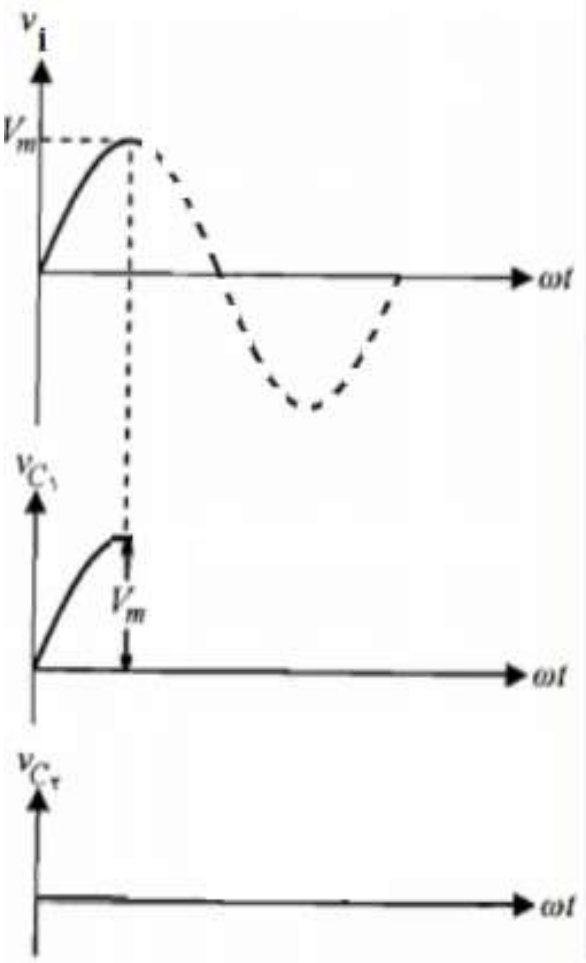


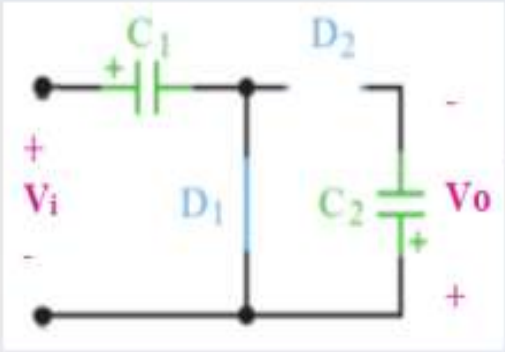
$$V_o = V_{C2}$$

- در لحظه اولیه خازن ها خالی هستند.

مدار دو برابر کننده ولتاژ (نوع 2)

عملکرد مدار در ربع سیکل اول:



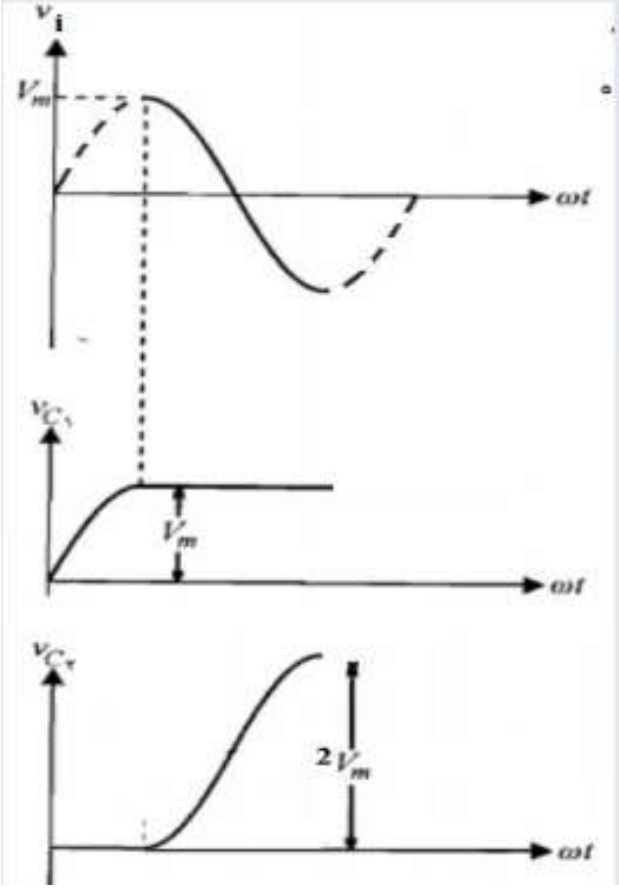


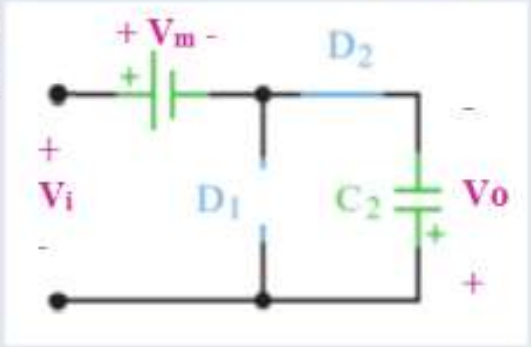
$$V_i > 0 \rightarrow \begin{pmatrix} D1: on \\ D2: off \end{pmatrix}$$

- خازن C_1 شارژ می شود.
- ولتاژ خازن C_2 صفر باقی می ماند.

مدار دو برابر کننده ولتاژ (نوع 2)

عملکرد مدار در ربع سیکل دوم و سوم:





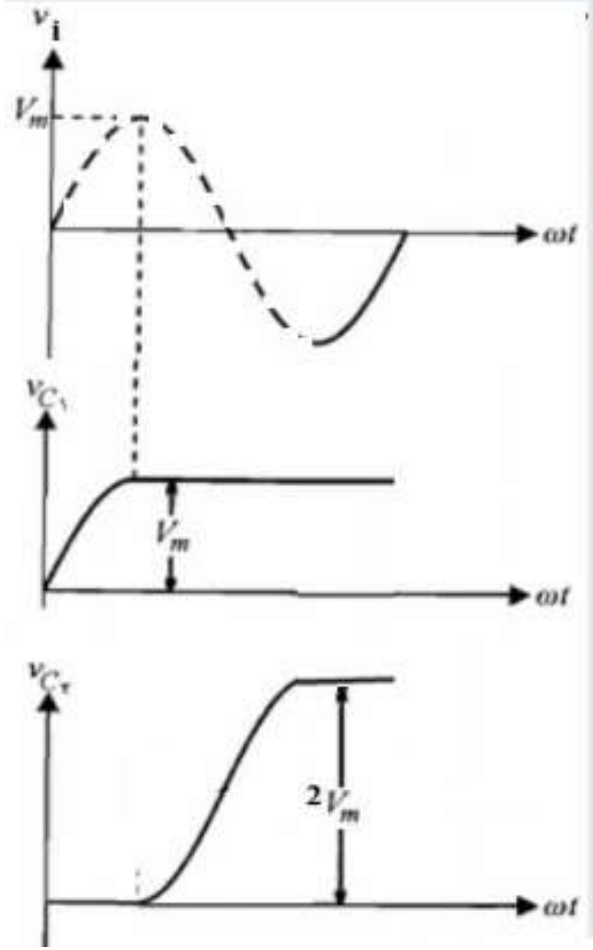
$$\begin{pmatrix} D1: off \\ D2: on \end{pmatrix}$$

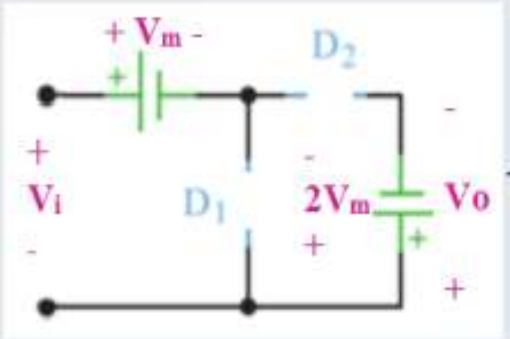
$$V_{C2} = -(V_i - V_{C1}) = -(V_i - V_m)$$

- خازن C_1 راهی برای دشارژ ندارد و ولتاژ آن ثابت باقی می ماند.
- با کاهش ولتاژ ورودی D_1 خاموش می شود.
- D_2 روشن می گردد و خازن C_2 تا $2V_m$ شارژ می شود.

مدار دو برابر کننده ولتاژ(نوع 2)

عملکرد مدار در ربع سیکل چهارم و بعد از آن:





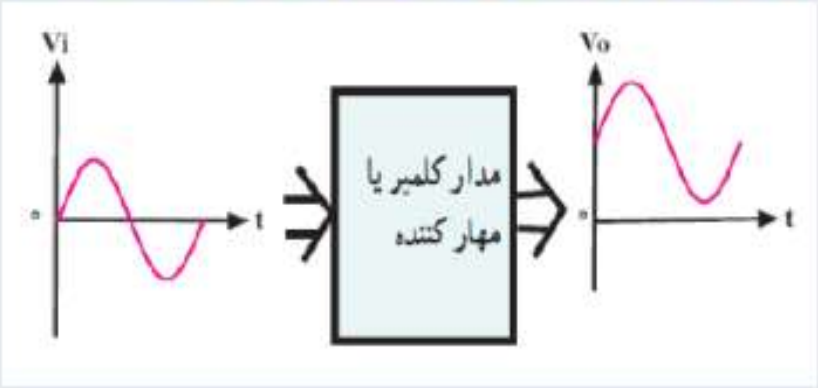
$\rightarrow \begin{pmatrix} D1: off \\ D2: off \end{pmatrix}$

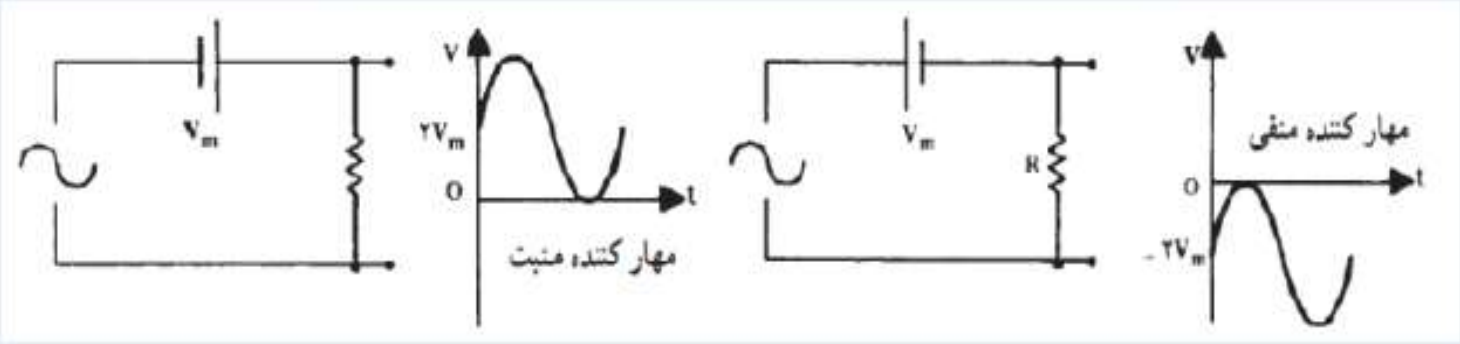
- خازن ها راهی برای دشارژ ندارند و ولتاژ آن ها ثابت باقی می ماند.

$$V_o = V_{C2} = 2V_m$$

مدار کلمپ

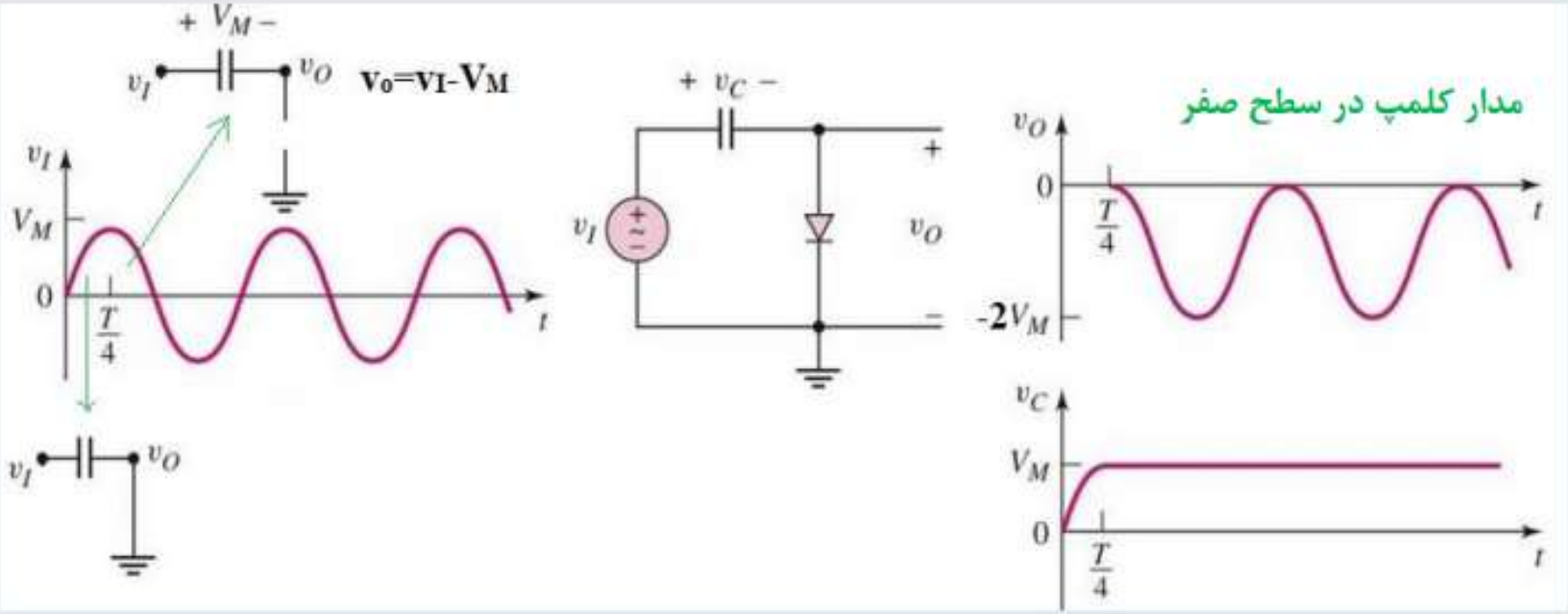
- مدار کلمپ، یک مقدار **DC** به ولتاژ ورودی اضافه می کند و خروجی شیفت یافته ورودی است.





- برای اضافه کردن یک ولتاژ **DC** به ورودی از یک خازن شارژ شده، استفاده می گردد.
- در مدار کلمپ، برعکس صافی خازنی و چند برابر کننده ولتاژ، خروجی از دو سر دیود گرفته می شود.

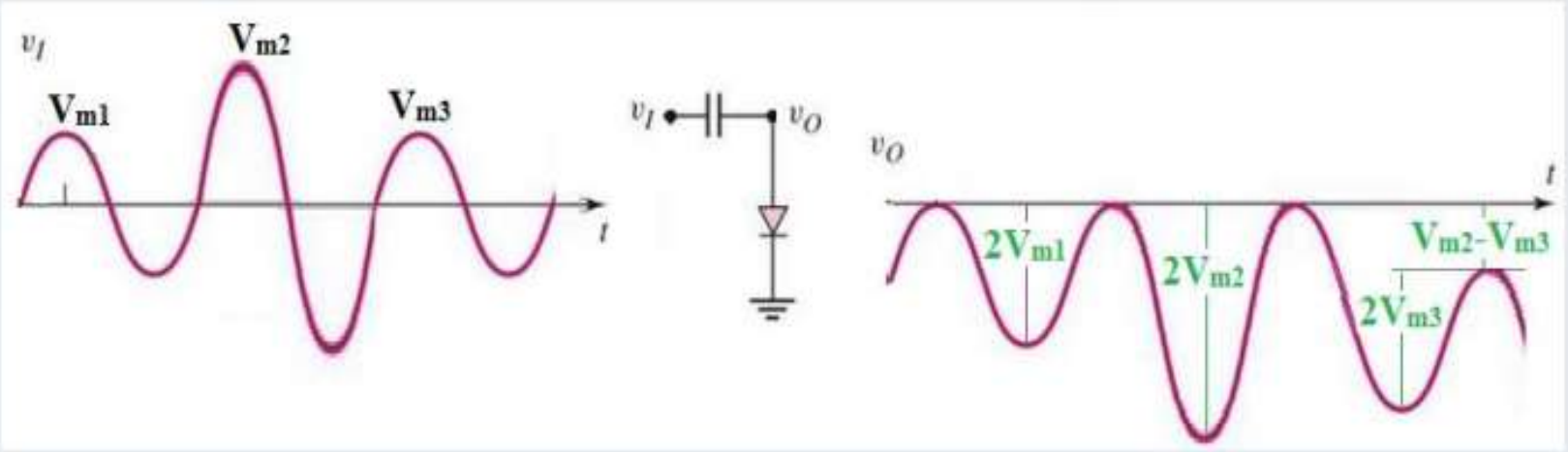
مدار کلمپ



- در لحظه اولیه، خازن خالی است.
- در ربع سیکل اول، **D** روشن است و خازن شارژ می شود.
- در ربع سیکل دوم و بعد از آن، **D** خاموش است و ولتاژ خازن ثابت باقی می ماند.
- در حالت دائم، خروجی شیفت یافته ورودی است.

مدار کلمپ در سطح صفر

خروجی مدار کلمپ سطح صفر، در صورت تغییر دامنه ورودی:

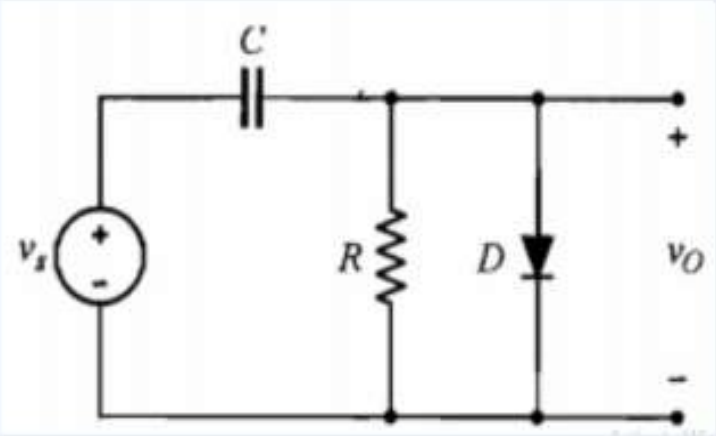


- با افزایش دامنه ورودی، مقدار شارژ خازن افزایش می یابد.
- با کاهش دامنه ورودی، خازن راهی برای دشارژ ندارد و ولتاژ آن ثابت باقی می ماند. در نتیجه سطح خروجی تغییر می کند.←عیب مدار

مدار کلمپ تکمیل شده

رفع عیب مدار کلمپ:

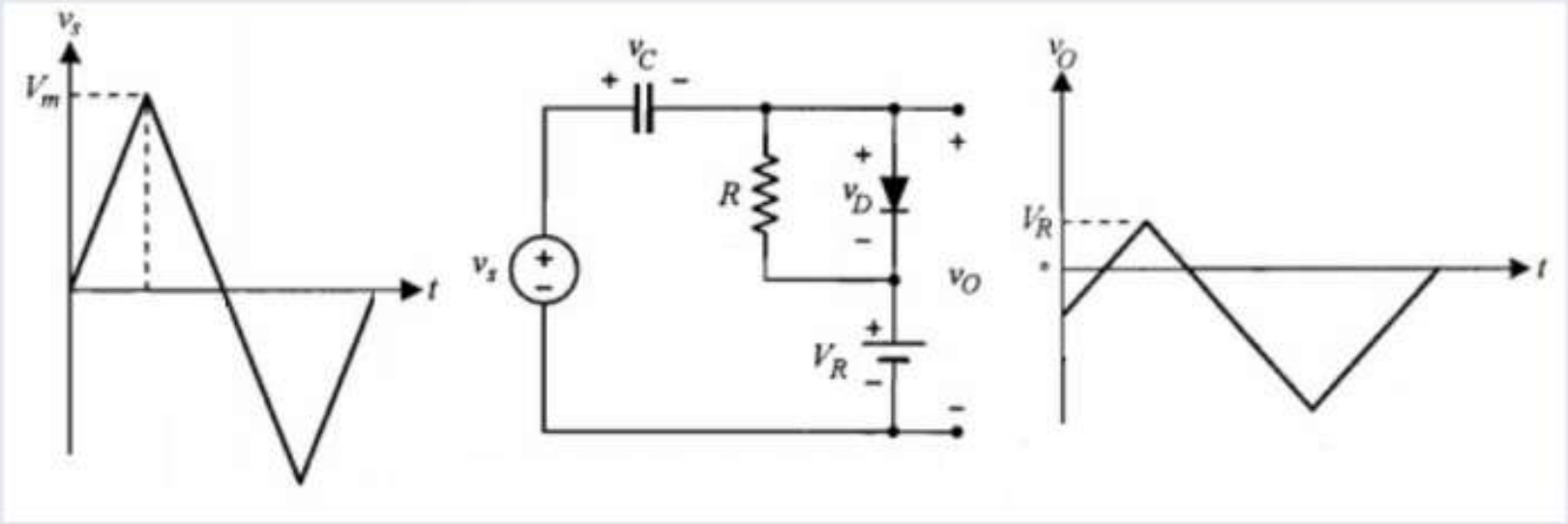
- یک مقاومت بزرگ به صورت موازی در خروجی قرار می گیرد تا مسیری برای دشارژ خازن فراهم شود.



- چون مقدار مقاومت موجود در مدار کلمپ بزرگ است، در تحلیل مدار کلمپ می توان آن را نادیده گرفت.

مدار کلمپ در سطح غیر صفر

- خازن به اندازه V_m-V_R شارژ می شود.



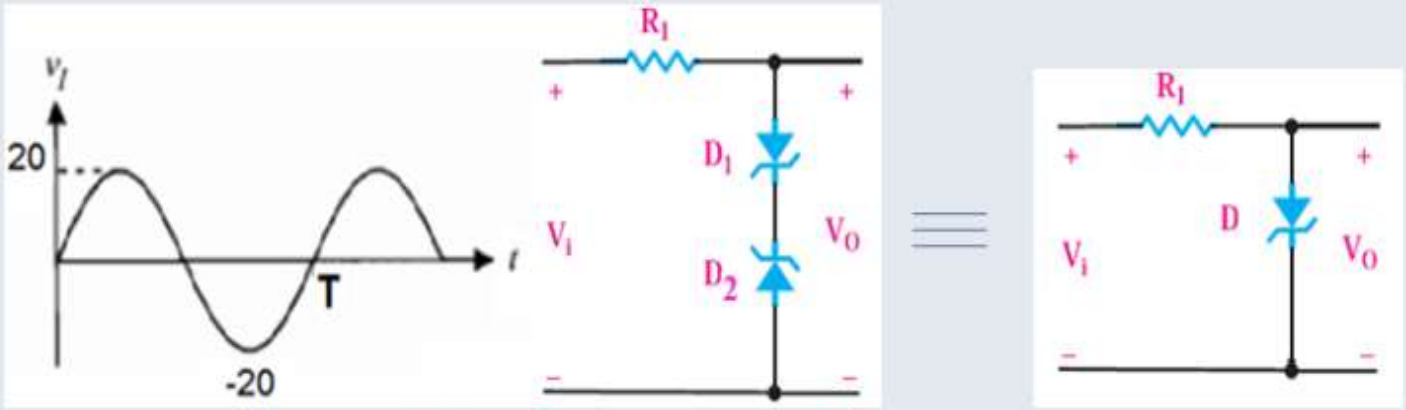
$$V_o = V_S - V_C = V_S - (V_m - V_R)$$

تمرین

مدار زیر را تحلیل کرده و خروجی آن را رسم کنید.

$V\gamma_1=0.7, V_{Z1}=2.3$

$V\gamma_2=0.7, V_{Z2}=8.3$



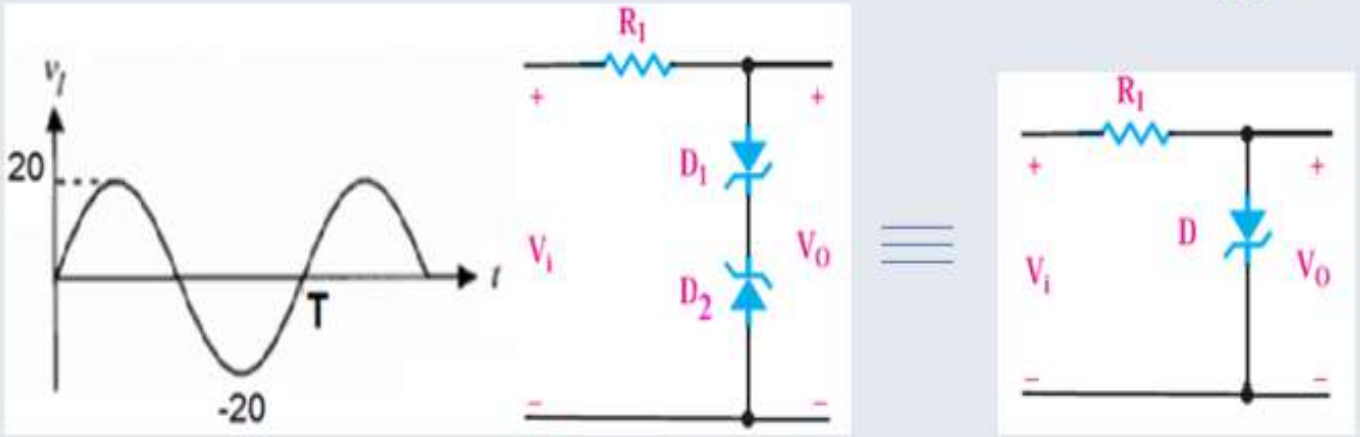
$$V_D = VD_1 - VD_2$$

حل تمرین جلسه قبل

مدار زیر را تحلیل کرده و خروجی آن را رسم کنید.

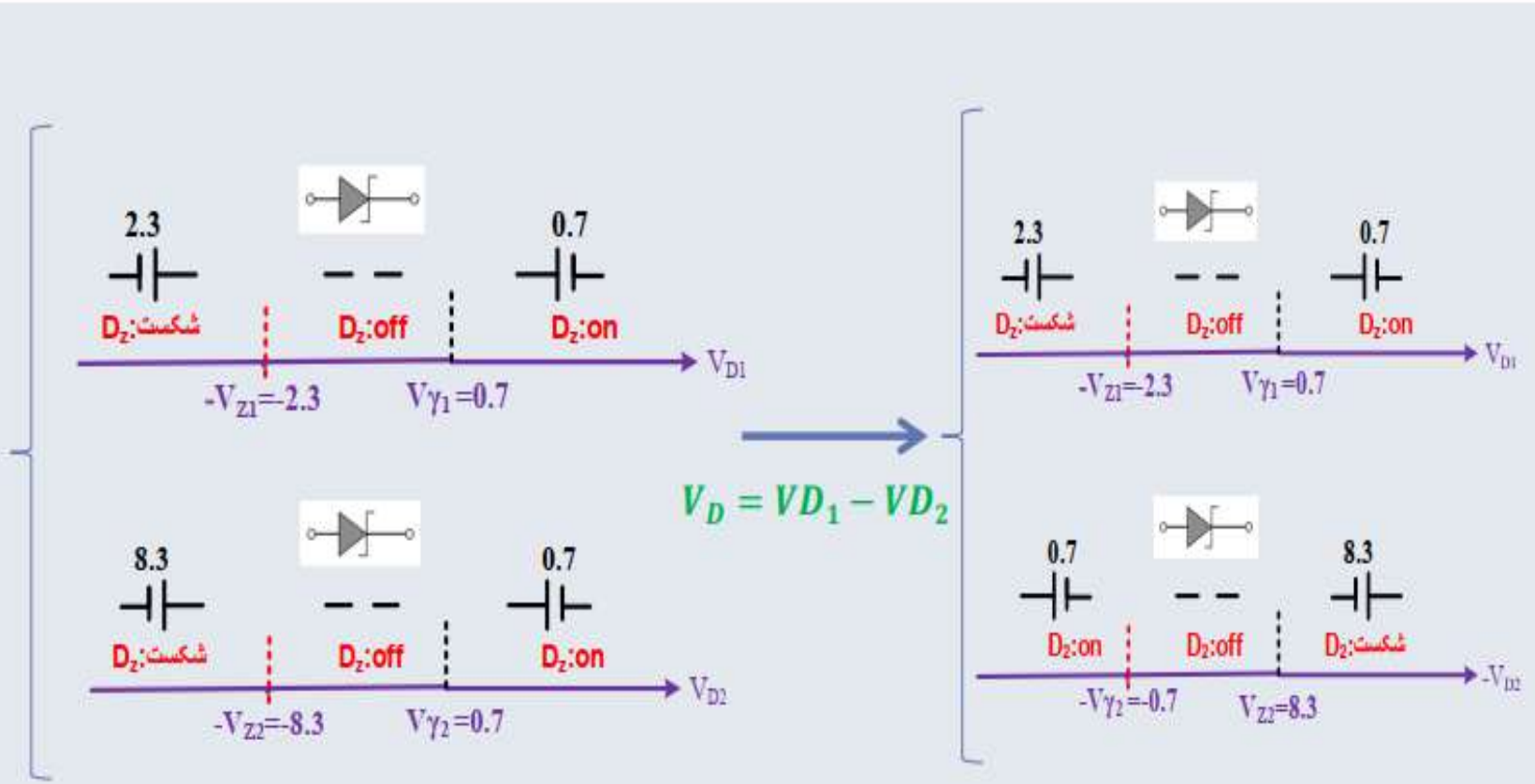
$V\gamma_1=0.7, V_{Z1}=2.3$

$V\gamma_2=0.7, V_{Z2}=8.3$



$$V_D = VD_1 - VD_2$$

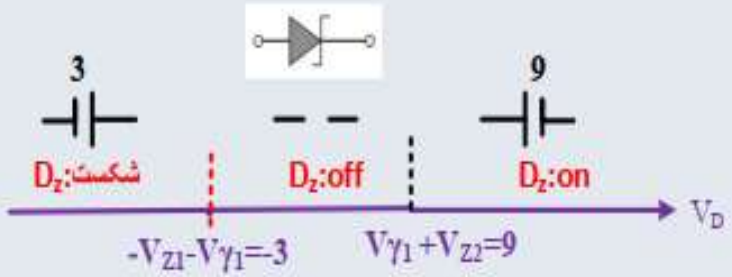
حل تمرین جلسه قبل



چون دیود D_2 در جهت عکس دیود D_1 بسته شده است، محور $-V_{D2}$ را با محور V_{D1} جمع می کنیم.

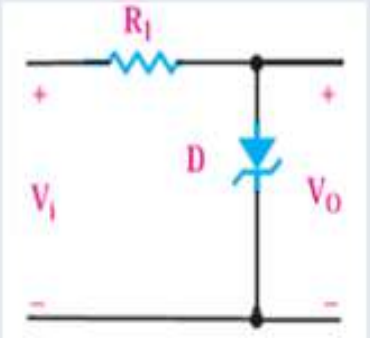
حل تمرین جلسه قبل

محور دیود زنر معادل(محور V_D) به صورت زیر است:



یعنی دیود زنر معادل(محور V_D) دارای مشخصات زیر است:

$$V\gamma=9,\ V_Z=3$$



مدار معادل را برای هر ۳ قسمت محور V_D تحلیل می کنیم.

$$V_D = V_i$$

حل تمرین جلسه قبل

$V_D > 9 \rightarrow D: on \rightarrow$

$\rightarrow V_O = V_\gamma = 9V$

$-3 < V_D < 9 \rightarrow D: off \rightarrow$

$\rightarrow V_O = V_i$

$V_D < -3 \rightarrow D:$ شکست $\rightarrow$

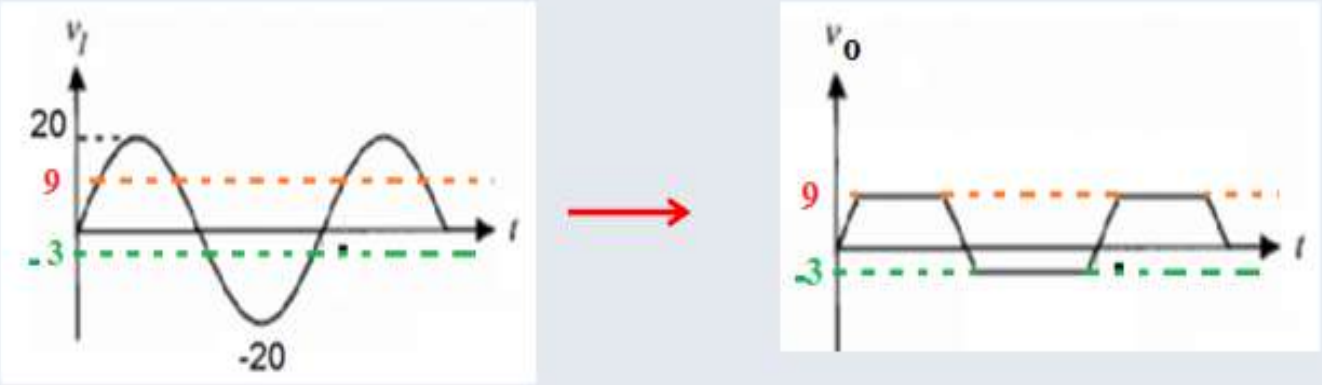
$\rightarrow V_O = -V_Z = -3$

- در روابط قبل، V_D را جای گذاری می کنیم $(V_D = V_i)$

$$\begin{cases} V_i > 9 \rightarrow V_O = 9\,V \\ -3 < V_i < 9 \rightarrow V_O = V_i \\ V_i < -3 \rightarrow V_O = -3 \end{cases}$$

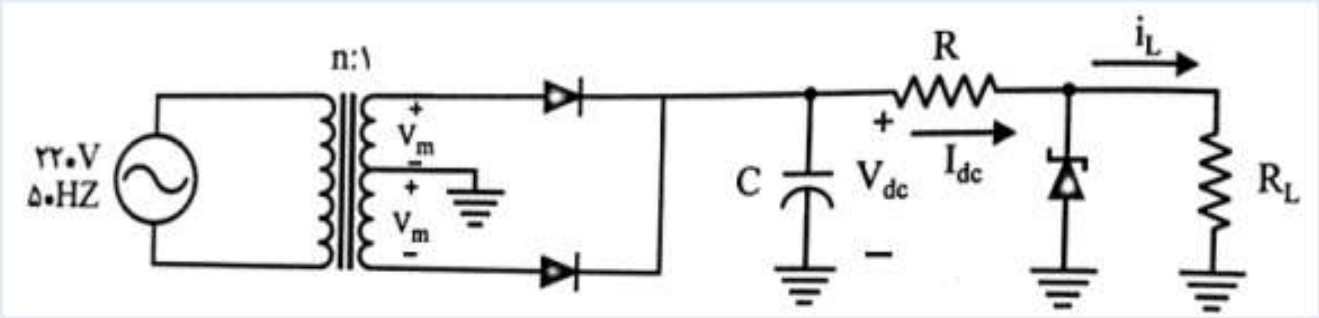
حل تمرین جلسه قبل

رسم خروجی:

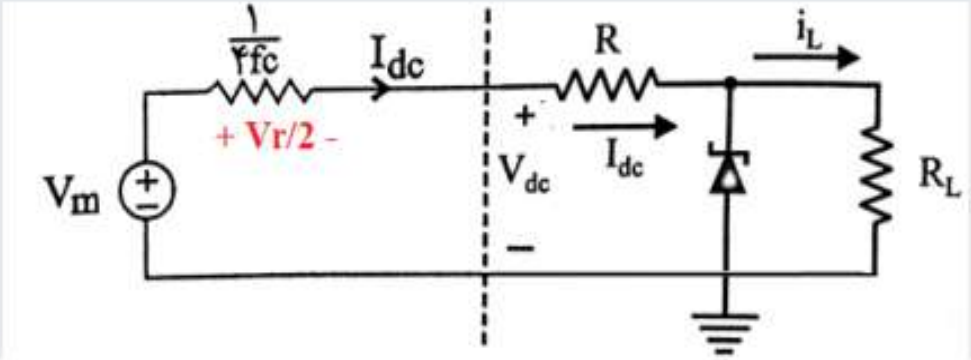


تحلیل منبع تغذیه

مثال: در مدار شکل زیر $R=100\Omega$، $C=100\mu F$ و $V_m=36\ V$ بوده و دیود زنر دارای $V_Z=10\ V$ و $R_z=5\Omega$ است. جریان بار بین صفر و 200mA متغیر است. دیودها را ایده آل فرض کنید. حداقل و حداکثر جریان دیود زنر را به دست آورید.



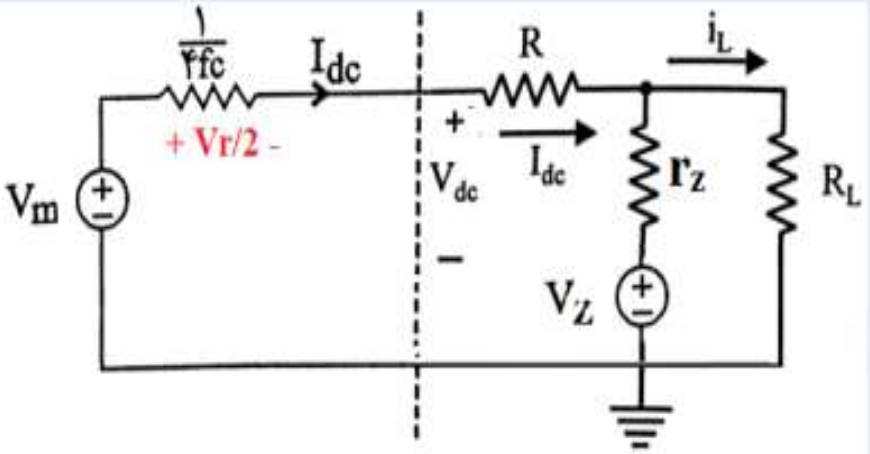
با جای گذاری مدار معادل تونن یکسو ساز تمام موج، مدار به صورت زیر ساده می شود:



تحلیل منبع تغذیه

با توجه به مدار معادل $V_{dc} = Vm - \frac{V_r}{2} = V_m - \frac{I_{dc}}{4fC}, I_{dc} = I_Z + I_L$

با فرض گرفتن اینکه دیود زنر، در وضعیت شکست است:



$$V_{dc} = RI_{dc} + VZ + rZI_Z$$

با مساوی قرار دادن دو عبارت قبل داریم:

$$V_m - \frac{I_Z + I_L}{4fC} = R(I_Z + I_L) + VZ + rZIZ \rightarrow 26 = 110IL + 115I_Z$$

تحلیل منبع تغذیه

از صورت سوال:

$$26 = 110IL + 115I_Z$$

$$\rightarrow 35\,mA < IZ < 226\,mA$$

$$0 < IL < 200\,mA$$

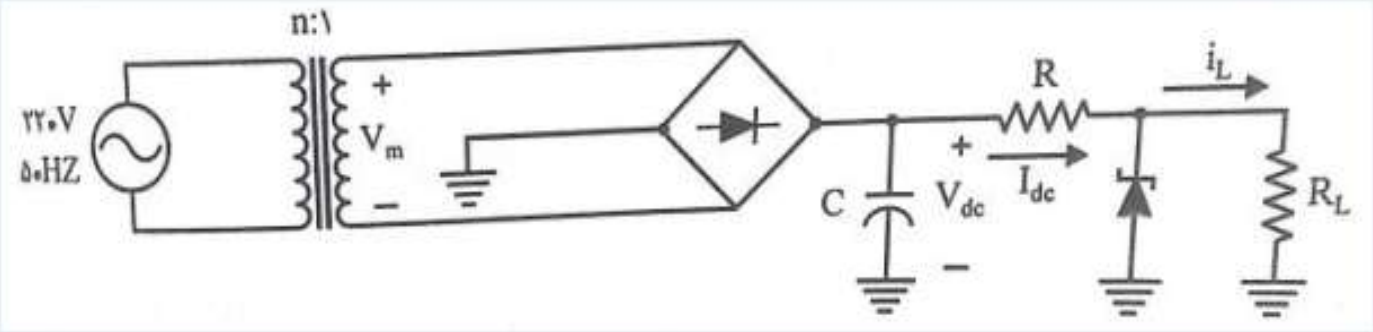
در نتیجه دیود رنر انتخابی، باید مشخصات زیر را داشته باشد:

$$I_{Z,\,min} = 35\ \text{mA}$$

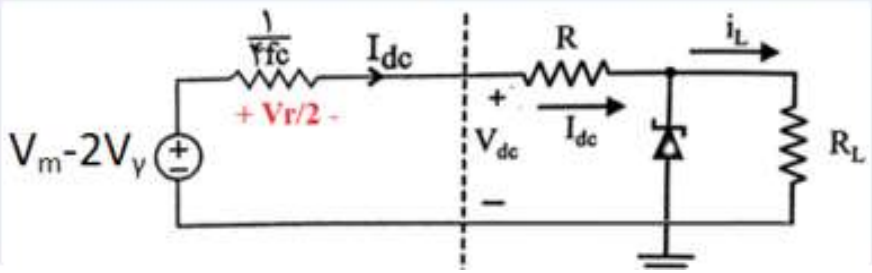
$$I_{Z,\,max} = 226\ \text{mA}$$

تحلیل منبع تغذیه

مثال: در مدار شکل زیر n=10، C=500μF و جریان بار 100 mA است برای تثبیت ولتاژ خروجی از یک دیود زنرا V_Z=12 V و R_Z=5Ω استفاده شده است. جریان لازم برای روشن شدن دیود زنر برابر با 10mA و حداکثر جریان مجاز آن 200mA می باشد. محدوده مقاومت R را طوری تعیین کنید که به ازای تغییرات ولتاژ برق شهر از 180 تا 240 ولت، خروجی ثابت باشد. دیود ها SI هستند.



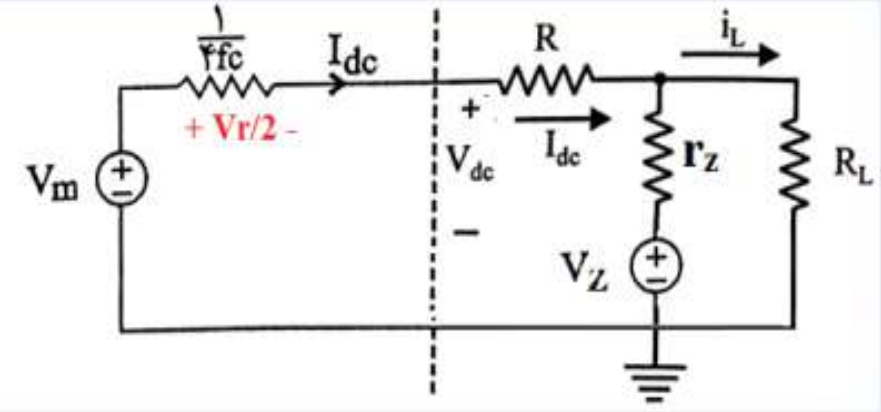
با جای گذاری مدار معادل تونن یکسو ساز تمام موج، مدار به صورت زیر ساده می شود:



تحلیل منبع تغذیه

با توجه به مدار معادل $V_{dc} = Vm - 2V_\gamma - \frac{V_r}{2} = V_m - 2V_\gamma - \frac{I_{dc}}{4fC}, I_{dc} = I_Z + I_L$

با فرض گرفتن اینکه دیود زنر، در وضعیت شکست است:



$$V_{dc} = RI_{dc} + VZ + rZI_Z$$

با مساوی قرار دادن دو عبارت قبل داریم:

$$V_m - 2V_\gamma - \frac{I_Z + I_L}{4fC} = R(I_Z + I_L) + VZ + rZIZ \rightarrow$$

$$V_m - 14.4 = R(I_Z + 0.1) + 15I_Z$$

پایان جلسه ششم