آزمایش ۲

یکسوسازها

هدف

آشنایی با کاربرد دیود به عنوان یکسوساز.

وسایل آزمایش

اسیلوسکوپ – منبع تغذیهٔ ac – مبدل سروسط (۱۲، ۱۲→۲۲۰)– مولتی‌متر – بردبورد–دیود (1N٤٠٠١)، ٤ عدد – مقاومت ٤٧٠Ω – خازن ۱۰۰μf – سیمهای رابط.

تئوری آزمایش

هر دستگاه الکترونیکی برای تبدیل ولتاژ متناوب، ac ، برق شهر به ولتاژ مستقیم، dc، به مداری به نام منبع تغذیه یا آداپتور، شکل ۲–۱، نیاز دارد. قسمتهای مختلف یک منبع تغذیه عبارتند از:

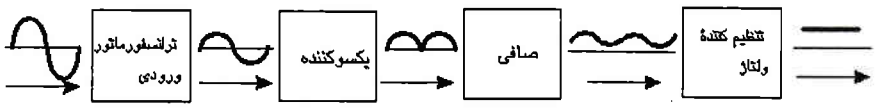
الف) ترانسفورماتور کاهنده؛ برای تبدیل ولتاژ متناوب ۲۲۰ ولت برق شهر به ولتاژ متناوب کمتر از ۲۰ ولت.

ب) مدار یکسوکننده؛ برای تبدیل ولتاژac به ولتاژ dc، که معمولاً ناصاف است.

ج) مدار صافی؛ که ولتاژdc ناصاف را به ولتاژ dc صاف تبدیل می‌کنند.

د.) مدار رگولاتور ولتاژ؛ که ولتاژ dc تقریباً صافی ولی غیر ثابت را به ولتاژ ثابت

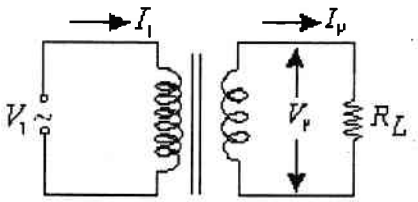
و یکنواخت تبدیل می‌کنند.



شکل ۱ – ۲. قسمتهای مختلف یک منبع تغذیه

برای ولتاژ ورودی، V_1، مدار یکسوساز معمولاً از یک ترانسفورماتور کاهنده استفاده می‌شود، یک دیود یکسوساز در بایاس مستقیم به صورت یک کلید بسته و در بایاس معکوس به صورت یک کلید باز عمل می‌کند و چون معمولاً در بایاس مستقیم افت ولتاژ کمی دارد و با فرض بینهایت بودن، مقاومت معکوس دیود، در بایاس معکوس نیز جریان ناچیزی از خود عبور می‌دهد، در عمل دیود را ایده‌آل در نظر می‌گیریم و از افت ولتاژ در دیود و مقاومت داخلی ترانسفورماتور صرفنظر می‌کنیم.

رابطهٔ بین ولتاژها و تعداد دور سیمها در اولیه و ثانویهٔ یک ترانسفورماتور به صورت $V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$، است که V_1 و V_2 به ترتیب ولتاژهای اولیه و ثانویه و N_1 و N_2 به ترتیب تعداد دورهای اولیه و ثانویهٔ ترانسفورماتور هستند، (شکل ۲ – ۲).



شکل ۲ – ۲. شکل سادهٔ یک ترانسفورماتور با مقاومت بار R_L در ثانویه

اگر $N_2 < N_1$ باشد ترانس کاهنده و اگر $N_2 > N_1$ باشد ترانس افزاینده است و اگر ضریب کوپلاژ، k، نزدیک به یک باشد به این معنی که تمام خطوط مغناطیسی ایجاد شده در سیم‌پیچ اولیه از ثانویه عبور کند، ترانس ایده‌آل بوده و تلفاتی در سیم‌پیچها و

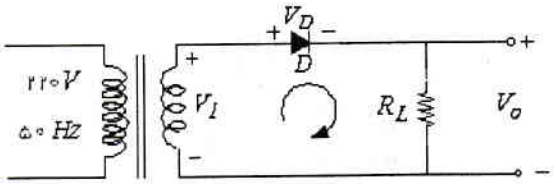
هسته نداشته توان خروجی و ورودی مساوی خواهند بود و داریم:

$$P_۲ = P_۱ \rightarrow V_۲I_۲ = V_۱I_۱ \text{ یا } \frac{I_۱}{I_۲} = \frac{V_۲}{V_۱}$$

چون: $\frac{V_۲}{V_۱} = \frac{N_۲}{N_۱}$ است، در نتیجه داریم: $I_۲ = \frac{N_۱}{N_۲} I_۱$ بنابراین در یک ترانس افزاینده، ولتاژ افزایش ولی جریان کاهش می‌یابد و در یک ترانس کاهنده، ولتاژ کاهش ولی جریان افزایش می‌یابد.

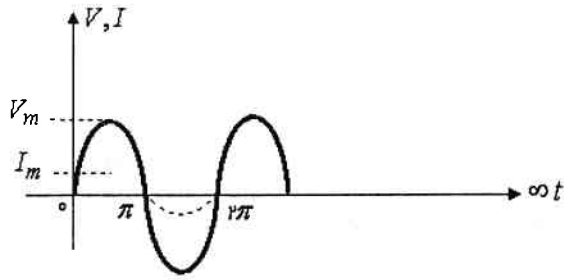
یکسوساز نیم موج

در این یکسوساز تنها یک دیود در مدار وجود دارد و در نیم سیکلهای مثبت ولتاژ ورودی، دیود هدایت می‌کند و می‌توان آن را به صورت یک مقاومت کوچک R_f در نظر گرفت، بنابر این با توجه به شکل ۲ – ۳، داریم، $I = \frac{V_I}{R_f + R_L}$ که اگر ولتاژ ورودی با ماکزیمم V_m به صورت $V_I(t) = V_m \sin\omega t$ باشد، ماکزیمم جریان یعنی I_m برابر است با: $I_m = \frac{V_m}{R_f + R_L}$



شکل ۲ – ۳. یکسوساز نیم موج

در نیم سیکلهای منفی ولتاژ ورودی، دیود ایده‌آل در حالت قطع است بنابر این در این نیم سیکلها جریان مدار و در نتیجه ولتاژ خروجی صفراست، (شکل ۲ – ٤).



شکل۲ - ٤ نمودار تغییرات ولتاژ ورودی و جریان خروجی در یکسوکنندهٔ نیم موج

هرگاه در مدار شکل ۲ - ۳، یک آمپرمتر dc قرار دهیم، مقدار متوسط جریان یعنی $I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} = ۰/۳۱۸ I_m$ را نشان می‌دهد[۱]. همچنین ولت‌متر dc، ولتاژ دوسر مقاومت R_L را برابر $V_{dc} = R_L I_{dc} = \frac{R_L I_m}{\pi}$ نشان خواهد داد. بنابراین در یک مدار یکسوساز نیم موج مؤلفهٔ dc جریان تقریباً ۳۰ درصد مقدار جریان ماکزیمم، I_m، است.

به همین ترتیب یک آمپرمتر ac، جریان مدار یکسوساز نیم موج را برابر $\frac{I_m}{\sqrt{۲}}$

---

۱. چون ولتاژ ورودی به صورت $V = V_m \sin\omega t$ است، جریان عبوری از R_L در هر نیم سیکل عبارت است:

$$\begin{cases} 0 \le t < \frac{\pi}{2} \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{V_m \sin\omega t}{R} = I_m \sin\omega t \\ \frac{\pi}{2} < t \le T \Rightarrow I = 0 \end{cases}$$

و با توجه به تعریف مقدار متوسط یک تابع متناوب، مقدار متوسط جریان در یک دورهٔ تناوب برابر است با:

$$I_{dc} = \frac{1}{T}\int_0^T I\,dt \rightarrow I_{dc} = \frac{1}{T}\int_0^{\frac{\pi}{2}} I_m \sin\omega t\,dt$$

$$\Rightarrow I_{dc} = \frac{I_m}{T}\left[-\frac{1}{\omega}\cos\omega t\right]_0^{\frac{T}{2}} = \frac{-I_m}{T\omega}\left[\cos\frac{\omega T}{2} - 1\right] = \frac{I_m}{\pi} \quad \text{یا} \quad I_{dc} = ۰/۳۱۸ I_m$$

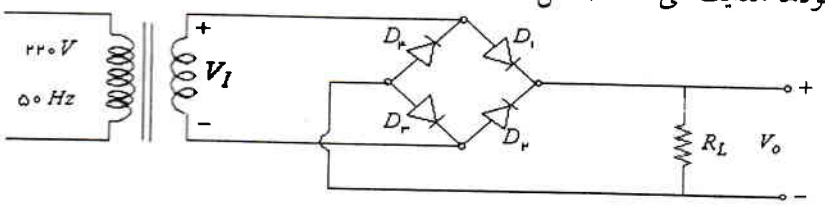
نشان می‌دهد[1] و مقدار مؤثر جریان خروجی برابر است با:

$$V_{rms} = R_L I_{rms} = \frac{R_L I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{V_m \ R_L}{\sqrt{۲}(R_L + R_f)}$$

با توجه به این که $R_f << R_L$ است، داریم: $V_{rms} \simeq \frac{V_m}{\sqrt{۲}}$

یکسوساز تمام موج (پل)

این یکسوساز از چهار دیود تشکیل شده است که در هر نیم سیکل ولتاژ ورودی، دو تا از دیودها هدایت می‌کنند، (شکل ۲–۵).



شکل ۲ – ۵. یکسوساز تمام موج (پل)

در نیم سیکلهای مثبت، شکل ۲ – ٦الف، دیودهای $D_۱$ و $D_۳$ هدایت می‌کنند و در نیم سیکلهای منفی، شکل ۲ – ٦ب، دیودهای $D_۲$ و $D_۴$ هدایت می‌کنند، در هر حال

---

۱. مقدار مؤثر یک کمیت متناوب مثل جریان عبارت است از:

$$I_{rms} = \left[\frac{۱}{T}\int_0^{\pi} I^2 dt\right]^{\frac{۱}{۲}}$$

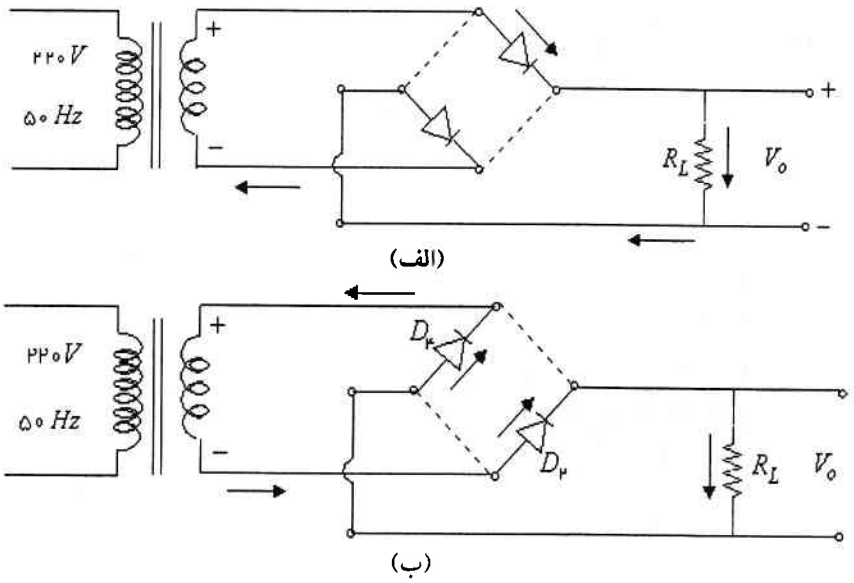
$$\Rightarrow I_{rms} = \left[\frac{۱}{T}\int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t \ dt\right]^{\frac{۱}{۲}} \quad , \quad \sin^2 \omega t = \frac{۱ - \cos ۲ \omega t}{۲}$$

$$\Rightarrow I_{rms} = \sqrt{\frac{I_m^2}{۲T}(T - \int_0^T \cos ۲ \omega t \, dt)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{۲T}\left[T - \left(\frac{۱}{۲\omega} \sin ۲ \omega t \Big|_0^T\right)\right]}$$

$$= \sqrt{\frac{I_m^2}{۲T}\left[T - \frac{۱}{۲\omega}(\sin ۲ \omega T - ۰\right]}$$

$$\Rightarrow I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}}$$

عبور جریان از مقاومت بار R_L در یک جهت صورت می‌گیرد و بنابراین ولتاژ دو سر آن یکسو شدهٔ ولتاژ ورودی خواهد بود.



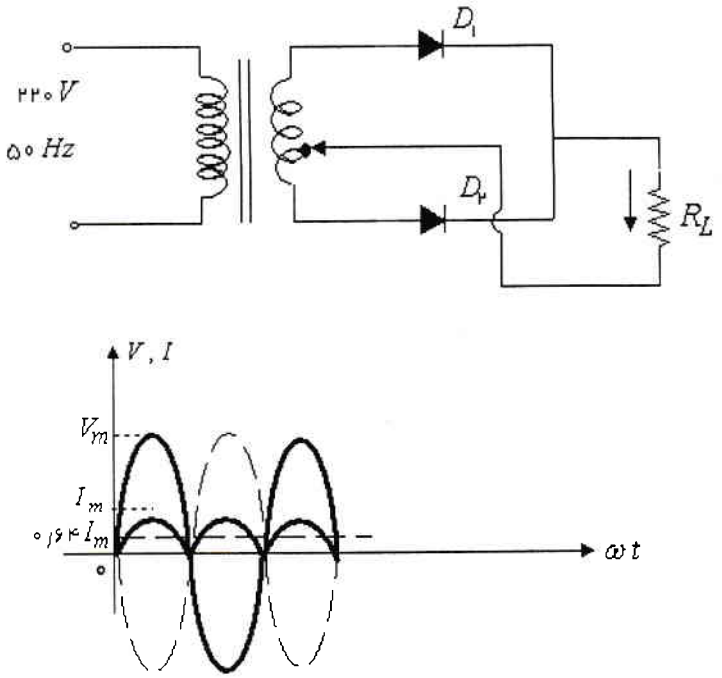
شکل ۲ – ۶. چگونگی هدایت دیودها در هر نیم سیکل، در یکسوساز تمام موج (پل)

بنابراین مؤلفهٔ dc جریان در یکسوساز تمام موج دو برابر جریان dc در یکسوساز نیم‌موج است و داریم:

$$I_{dc} = \frac{۲I_m}{\pi} \text{ یا } I_{dc} = \frac{۲}{\pi}[\frac{V_m}{R_L}] \simeq ٪۶۴ I_m$$

یکسوساز تمام موج با مبدل سر وسط

این یکسوساز با وجود سروسط در ثانویهٔ ترانسفورماتور، معادل دو یکسوساز نیم موج است، مطابق شکل ۲ – ۷، در نیم‌سیکلهای مثبت دیود $D_۱$ و در نیم‌سیکلهای منفی دیود $D_۲$ هدایت می‌کند و در نتیجه جریان یکسو شده‌ای در هر دو نیم‌سیکل درخروجی داریم، که جهت جریان در مقاومت بار R_L در هر دو نیم‌سیکل یکی است.



شکل ۲ – ۷. یکسوساز تمام موج با مبدل سروسط و نمودارهای ولتاژ ورودی و جریان خروجی

هر چند عملکرد دو یکسوساز تمام موج پل و یکسوساز تمام موج با مبدل سروسط مشابهٔ یکدیگر است، ولی وجود چهار دیود در مدار یکسوساز تمام موج (پل) باعث می‌شود افت ولتاژهایی که در هر نیم‌سیکل در دیودها به وجود می‌آید با مقاومت بار به طور سری قرار گرفته و باعث تأخیر در یکسوسازی شود، در عین حال در یکسوساز تمام موج پل به مبدل سر وسط نیاز نیست و ارزانتر تمام می‌شود. همچنین عدم وجود سروسط در ثانویهٔ مبدل در یکسوساز تمام موج پل باعث می‌شود ولتاژ یکسوشدهٔ خروجی دو برابر مقدار آن در یکسوساز با مبدل سروسط باشد، بنابر این یکسوساز تمام موج پل برای مواقعی که ولتاژ بالاتری لازم باشد، مناسبتر است.

ضریب ضربان یا ضریب ریپل

شکل موج ولتاژ خروجی در مدارهای یکسو ساز شامل یک ولتاژ dc توأم با ریپل یا ضربان بوده و به عبارتی ناصاف است. برای تشخیص این که یکسوسازی تا چه حد خوب انجام شده است پارامتری به نام ضریب ضربان یا ضریب ریپل مدار به صورت زیر تعریف می‌شود:

ضریب ضربان نسبت مقدار rms مؤلفهٔ ac به مقدار مؤلفهٔdc است، یعنی:

$$r = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \frac{I_{ac}}{I_{dc}} \qquad (۱-۱)$$

چون اتلاف توان در مقاومت بار، $R_L I_{rms}^2$، همان توان کل و برابر اتلاف توان توسط مؤلفه های مستقیم و متناوب است؛

$$R_L I_{rms}^2 = R_L \left(I_{dc}^2 + I_{ac}^2\right) \qquad (۲-۱)$$

از روابط (۱-۱) و (۱-۲) نتیجه می شود:

ضریب ضربان:

$$r = \sqrt{\left[\frac{I_{rms}}{I_{dc}}\right]^2 - ۱}$$

بنابراین چون در مدار یکسوساز نیم موج، داریم: $I_{dc} = \frac{I_m}{\pi}$, $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}}$، در نتیجه

$$r = \sqrt{\left[\frac{\frac{I_m}{\sqrt{۲}}}{\frac{I_m}{\pi}}\right]^2 - 1} = \sqrt{\left[\frac{\pi}{\sqrt{۲}}\right]^2 - ۱} = ۱/۹۸$$

و در مدار یکسوساز تمام موج داریم: $I_{dc} = \frac{۲I_m}{\pi}$, $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}}$، در نتیجه

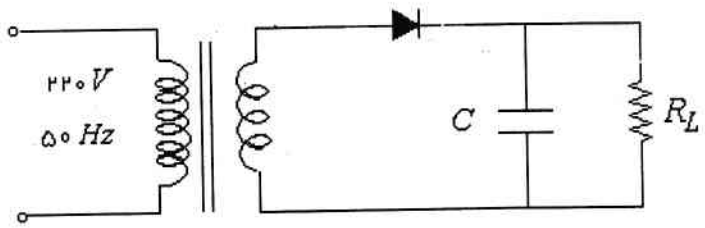
$$r = \sqrt{\left[\frac{\frac{I_m}{\sqrt{۲}}}{\frac{۲I_m}{\pi}}\right]^2 - 1} = \sqrt{\left[\frac{\pi}{۲\sqrt{۲}}\right]^2 - ۱} = ۰/۴۸$$

بنابراین یکسوساز تمام موج نسبت به یکسوساز نیم موج، جریان متناوب را بهتر

به جریان مستقیم تبدیل می کند. همچنین در ریپل نیم موج، بسامد ۵۰Hz ودر ریپل تمام موج، بسامد ۱۰۰Hz، است.

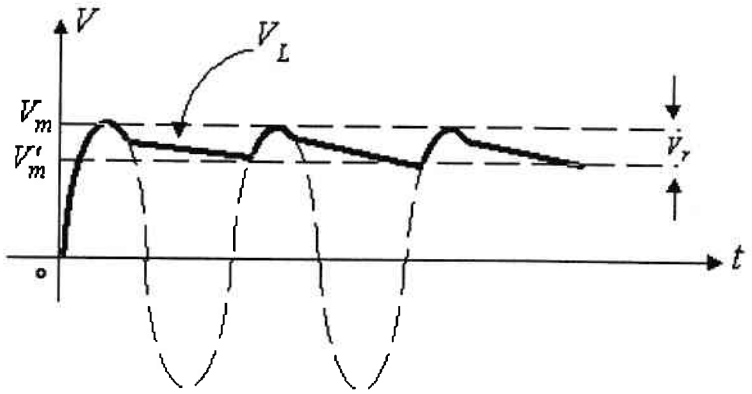
صافی خازنی

یکی از راهها برای حذف مؤلفه های سینوسی در خروجی مدارهای یکسوساز استفاده از صافی خازنی است که مطابق شکل ۲ – ۸، خازنی با مقاومت بار به طور موازی قرار می‌گیرد.



شکل ۲ – ۸. صافی خازنی در یکسوساز نیم موج

در نیم سیکلی که دیود در حال هدایت است، خازن شارژ می‌شود و در نیم سیکل بعد یعنی در زمان قطع دیود، خازن در مقاومت بار دشارژ می شود. در صورتی که ثابت زمانی مدار $R_LC>>T$ باشد، در ابتدا که خازن شروع به شارژ می کند، ولتاژ خروجی، V_L، حداکثر است ($V_m \cong V_L$). پس از زمان $\frac{T}{4}$ که ولتاژ ورودی V_I شروع به کاهش می کند، ولتاژ V_C دو سر خازن هم با دشارژ در مقاومت بار R_L کاهش می‌یابد ولی اگر ثابت زمانی خازن زیاد باشد، افت ولتاژ خازن کندتر از افت ولتاژ V_I شده تا وقتی که دیود در حالت قطع قرار گیرد در این موقع V_C در مقاومت R_L برقرار می‌شود تا در نیم سیکل بعد ولتاژ ورودی V_I با V_C برابر شود و از این لحظه دوباره دیود هدایت می‌کنند $V_L=V'_m$ بوده و زیاد می شود تا به V_m برسد. پس از آن دیود قطع و دشارژ خازن در R_L شروع می‌شود و این کار دوباره تکرار می‌شود. بنابراین ولتاژ dc خروجی بین دو مقدار V_m و V'_m تغییر می‌کند و متوسط آن کمی از V_m کمتر خواهد بود، (شکل ۲–۹).



شکل ۲ – ۹ . اثر خازن صافی در ولتاژ خروجی مدار یکسوساز

$V_r=V_m-V'_m$ ولتاژ موجک نامیده می شود, هرچه ثابت زمانی بیشتر باشد، یعنی کاهش V_C کندتر باشد، V_{dc} به V_m نزدیکتر و ولتاژ موجک کوچکتر می‌شود. البته برای بهتر شدن کیفیت جریان dc، معمولاً از صافیهای دیگری مثل صافی π یا L استفاده می‌شود.

روش آزمایش

مدارهای شکل ۲–۱۰ را ببندید و در هر مورد با اتصال دو سر مقاومت R_L به اسیلوسکوپ شکل موج خروجی را مشاهده و در گزارش کار خود رسم کنید، سپس آزمایشهای زیر را انجام دهید:

الف. حالتهای بدون صافی

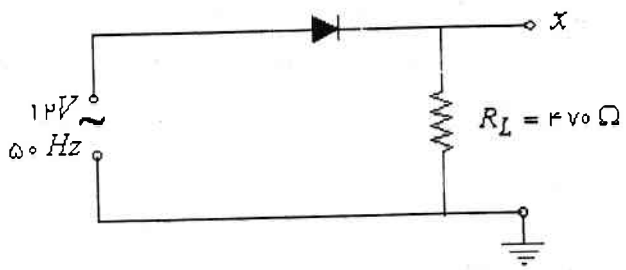
با قرار دادن مولتی‌متر بر روی ac-V و V_{rms} را به دست آورده و از روابط $V_m = V_{rms}.\sqrt{2}$ و $I_m = \frac{V_m}{R_L}$ مقادیر V_m و I_m را به دست آورید سپس برای نیم موج از روابط $I_{dc} = \frac{I_m}{\pi}$ و $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ و برای تمام موج از روابط $I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$.

$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ و I_{dc} و I_{rms} را به دست آورید.

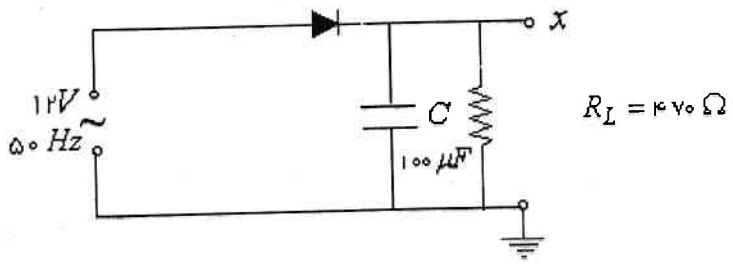
ب. حالتهای با صافی

با قراردادن مولتی‌متر بر روی dc-V مقدار V_{dc} را اندازه بگیرید. سپس برای نیم موج از رابط $V_{dc} = \frac{R_L I_m}{\pi}$ مقدار I_m و از روابط $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}}$ و $I_{dc} = \frac{I_m}{\pi}$ مقادیر I_{rms} و I_{dc} را به دست آورید و در مورد تمام موج در رابط $V_{dc} = \frac{۲R_L I_m}{\pi}$ مقدار I_m و از روابط $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}}$ و $\frac{۲Im}{\pi}$ مقادیر I_{rms} و I_{dc} را تعیین کنید. در هر مورد ضریب ضربان (ریپل) مدار را به دست آورید و آنگاه تمام نتایج را در جدولهای ۲-۱ و ۲-۲ درج کنید.

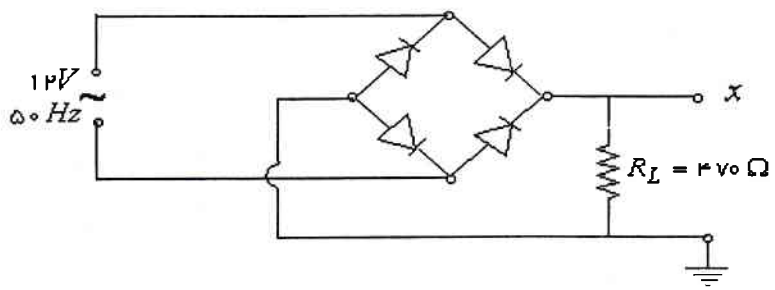
۱.یکسوساز نیم موج:



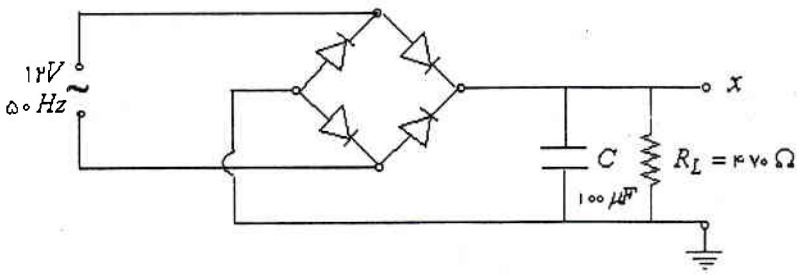
۲. یکسوساز نیم موج با صافی



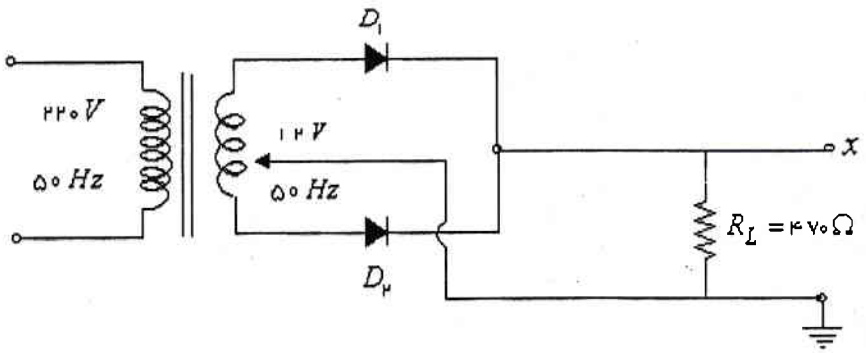
۳. یکسوساز تمام موج (پل)



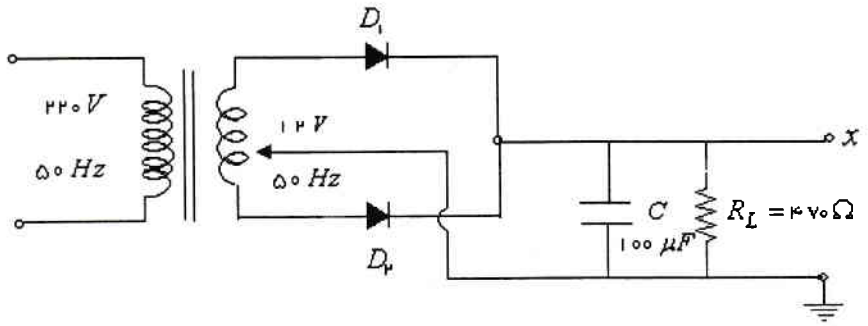
٤. یکسوساز تمام موج (پل) با صافی



۵. یکسوساز تمام موج با مبدل سروسط:



٦. یکسوساز تمام موج با مبدل سروسط با صافی



شکل۲ – ۱۰. مدارهای یکسوسازی نیم موج و تمام موج

جدول ۲ – ۱.

شماره	نوع یکسوساز	V_{rms}	$V_m = V_{rms}\sqrt{2}$	$I_m = \frac{V_m}{R_L}$	$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi}$	$I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$	$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	ضریب ضربان (٪)	شکل موج
۱	نیم موج								
۲	تمام‌موج (پل)								
۳	تمام موج با مبدل سروسط								

جدول ۲ – ۲

شماره	نوع یکسوساز	V_{dc}	$(V_{dc} = \frac{I_m}{\frac{R_L I_m}{\pi}})$	$(V_{dc} = \frac{I_m}{\frac{2R_L I_m}{\pi}})$	$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi}$	$I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$	$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	ضریب ضربان (٪)	شکل موج
۱	نیم موج با صافی								
۲	تمام موج (پل) با صافی								
۳	تمام موج با مبدل سروسط با صافی								

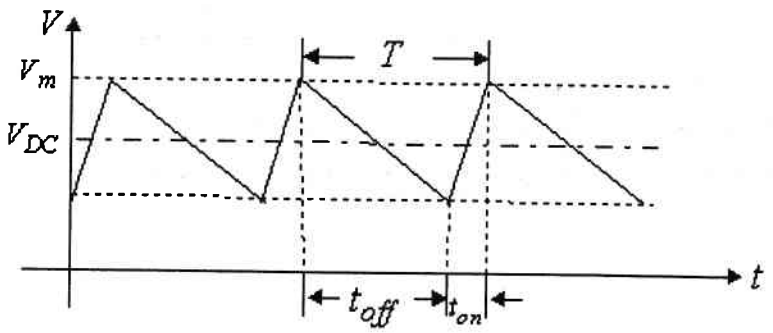
پرسش

۱. یکسوسازهای نیم موج و تمام موج را با یکدیگر مقایسه کنید.

۲. نقش خازن را به عنوان صافی در مدارهای یکسوساز توضیح دهید.

۳. تأثیر کم یا زیاد بودن ثابت زمانی در مدار یکسوکنندهٔ نیم موج با صافی، در ولتاژ موجک چیست؟

٤. با توجه به شکل زیر یکی از روابطی که برای ولتاژ ریپل در مدارهای یکسوساز ارائه می‌شود، عبارت است از: $V_r = \frac{I}{Cf}$ که در آن V_r ولتاژ پیک تو پیک ضربان و I جریان DC بار و f بسامد ضربان یا ریپل و C ظرفیت خازن صافی است.

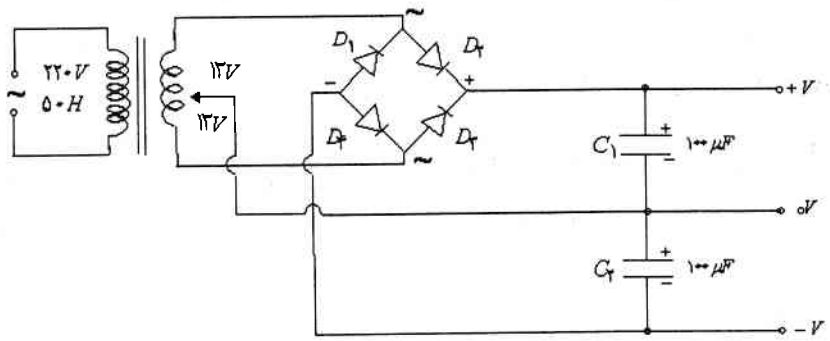


در نمودار فوق T زمان تناوب موج و t_{off} زمان قطع بودن دیود است که در این مدت خازن در حال تخلیه شدن است و t_{on} زمان روشن بودن دیود است که در این مدت خازن در حال شارژ است. البته رابطهٔ فوق وقتی به کار می‌رود که زمان روشن بودن دیود نسبت به زمان تناوب کوچک باشد, یعنی $t_{off} \simeq T$ و این وقتی است که مقدار نوک به نوک ولتاژ ریپل نسبت به ولتاژ dc بار کم باشد. در عمل اگر مقدار ولتاژ نوک به نوک ریپل ۲۰ درصد ولتاژ dc بار باشد، رابطهٔ فوق صحیح است.

با توجه به رابطه فوق, در یک مدار یکسوساز پل، جریان DC بار، ۲۰mA و ظرفیت خازن صافی ٦٨٠μf است. ولتاژ نوک به نوک ریپل خروجی را محاسبه کنید.

تمرین مدار

مدار زیر را بر روی بردبورد ببندید و ولتاژهای خروجی حاصل از دوسر هر یک از خازنهای C_1 و C_2 را مقایسه کنید.



این مدار که دو یکسوساز تمام موج دو دیودی با ترانس سروسط است در خروجی دو ولتاژ مثبت و منفی با مقادیر مساوی به دست می‌دهد و منبع تغذیهٔ متقارن نامیده می‌شود.