عنوان آزمایش:

یکسوسازهای نیم‌موج و تمام‌موج

اهداف آزمایش:

۱- آشنایی با کاکرد دیود در مدار؛

۲- ساخت مدار یکسوساز نیم‌موج و مطالعه عملکرد آن؛

۳- ساخت مدار یکسوساز تمام‌موج سروسط[1] و مطالعه عملکرد آن؛

۴- ساخت مدار یکسوساز تمام‌موج پل و مطالعه عملکرد آن؛

۵- محاسبه بازده یکسوسازی؛

وسایل موردنیاز آزمایش:

۱- برد بورد؛

۲- مقاومت ۱ KΩ؛

۳- ترانزیستور سیلیکونی 1N4007؛

۴- ترانسفورماتور ۶- ۰- ۶ ولت؛

۵- مولتی‌متر دیجیتال؛

۶- اسلوسکوپ دوکاناله؛

۷- کابل BNC/ ۴ mm؛

۸- سیم جامپر؛

۹- جفت کابل ۵۰ سانتی‌متری، آبی/ قرمز؛

تئوری آزمایش:

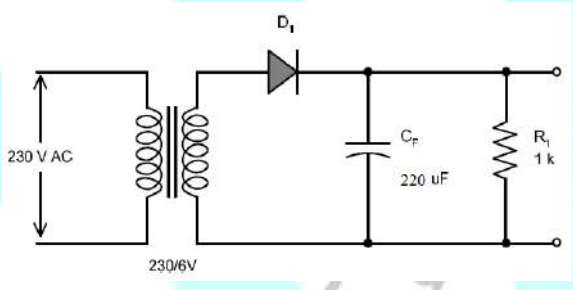
مولدهای توانی معمولاً ولتاژهای AC را تولید می‌کنند زیرا آن‌ها مناسب‌ترین وسیله برای انتقال توان هستند. از سوی دیگر، ولتاژهای DC برای اغلب کاربردهای الکترونیکی موردنیاز هستند. برای تولید ولتاژ DC از ولتاژ AC (که معمولاً هیچ مولفه DC ندارد)، ضروری است که شار جریان AC به‌گونه‌ای جهت‌دهی مجدد شود که یک مولفه DC تولید کند، سپس باقی‌مانده مولفه AC و تغییرات ناخواسته فیلتر شود.

1- Center Tapped

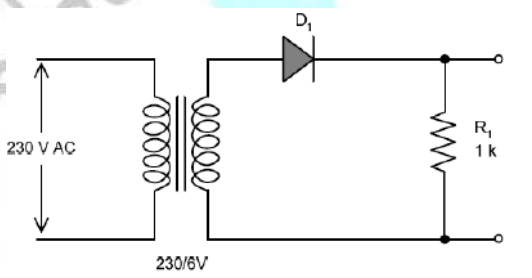
یکسوسازها به‌صورت گسترده در منابع توانی که ولتاژ DC را برای مدارات الکترونیکی تأمین می‌کنند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. خاصیت یگانه دیود، که شارش جریان در یکسو را مجاز می‌سازد، استفاده از آن را در یکسوسازها گسترش داده‌است. سه نوع پایه مدارات یکسوساز، مدارات یکسوساز نیم‌موج، یکسوساز تمام‌موج سروسط و یکسوساز پل تمام‌موج هستند. مهم‌ترین پارامترهای انتخاب دیودها برای این مدارات جریان مستقیم بیشینه و نرخ ولتاژ معکوس پیک (PIV)[۲] دیود است.

الف- یکسوساز نیم‌موج

شکل (۱ الف) طرحواره مدار یکسوساز نیم‌موج بدون فیلتر و شکل (۱ ب) طرحواره مدار یکسوساز نیم‌موج با فیلتر را نشان می‌دهد. یک منبع تغذیه اصلی به یک ترانسفورماتور کاهنده ولتاژ متصل می‌شود. همه نیم سیکل‌های مثبت منبع تغذیه AC از میان دیود می‌گذرد و همه نیم سیکل‌های منفی حذف می‌شود. مقدار پیک خروجی ولتاژ به میزان حدود ۰٫۶ ولت کمتر از ورودی است زیرا در دو سر دیود افت ولتاژ وجود دارد.



(ب)



(الف)

شکل (۱): الف) طرحواره مدار یکسوساز نیم‌موج بدون فیلتر، ب) طرحواره مدار یکسوساز نیم‌موج با فیلتر

شکل (۲) شکل موج مدار یکسوساز نیم‌موج با فیلتر و بدون فیلتر را نشان می‌دهد.

چنانچه رابطه ریاضی موج ورودی $V(t)=V_m \sin(\omega t)$ باشد، برای سیگنال نیم‌موج رابطه زیر برقرار است:

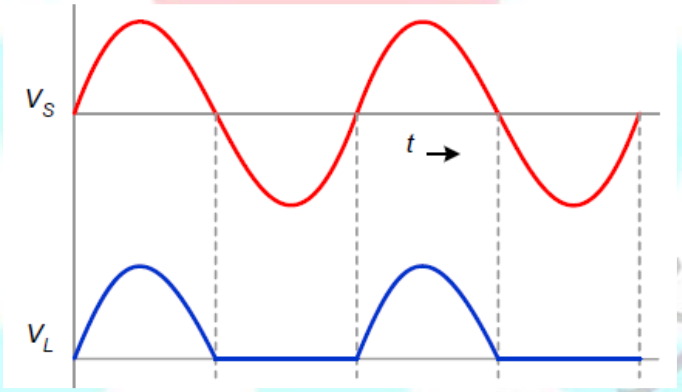
$$\begin{cases} V_m \sin(\omega t) & t \le \dfrac{T}{2} \\ 0 & \dfrac{T}{2} < t < T \end{cases} \qquad (۱)$$

بنابراین برای یکسوساز نیم‌موج $V_{rms}=\dfrac{V_m}{2}$ و $V_{DC}=\dfrac{V_m}{\pi}$ است که در آن V_{rms} مقدار rms ورودی و V_{DC} مقدار میانگین ورودی و V_m مقدار پیک خروجی است.

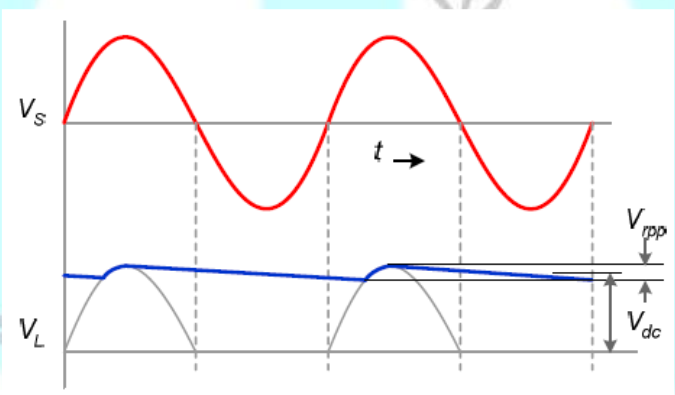
2 - Peak Inverse Voltage (PIV)

در یکسوسازها فاکتور ضربان[3] تعریف می‌شود. ضریب ضربان از رابطه (۲) پیروی می‌کند:

$$r = \frac{V_{r,rms}}{V_{DC}} \qquad (۲)$$



(الف)



شکل (۲): شکل موج مدار یکسوساز نیم‌موج، (الف) بدون فیلتر، (ب) با فیلتر.

که در آن $V_{r,rms}$ مقدار rms مولفه AC است. از آنجاکه $V_{rms}^2 = V_{r,rms}^2 + V_{DC}^2$است، فاکتور ضربان از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$r = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{DC}}\right)^2 - 1} \qquad (۳)$$

بازدهی یکسوسازی به‌صورت نسبت توان خروجی DC به توان ورودی AC تعریف می‌شود. حتی با یکسوسازهای ایده‌آل بدون تلفات، بازدهی کمتر از ٪ ۱۰۰ است زیرا بخشی از توان خروجی AC است نه DC و خود را به‌صورت موجک‌هایی برهم‌نهاده‌شده روی جبهه‌موج DC نشان می‌دهد. بازدهی یکسوسازی طبق رابطه (۴) به‌دست می‌آید:

3 - Ripple factor

$$\eta = \frac{V_{DC} I_{DC}}{V_{AC} I_{AC}} = \frac{V_{DC}^2 / R_L}{V_{R.M.S}^2 / (R_L + r_d)} = \frac{V_{Dc}^2}{V_{R.M.S}^2} \times \frac{(R_L + r_d)}{R_L} = \frac{V_{Dc}^2}{V_{R.M.S}^2} \times \left(\frac{r_d}{R_L} + 1 \right) \quad (۴)$$

که در آن r_d مقاومت مستقیم دیود است.

خروجی اغلب یکسوسازها حاوی مقداری ضربان، علاوه بر جزء DC است. به‌منظور جلوگیری از اجزای AC یک فیلتر در خروجی یکسوساز متصل می‌شود.

فیلتر ورودی خازن، فیلترهای RC، CRC، LC و CLC معمولاً به‌عنوان فیلتر مورداستفاده قرار می‌گیرند. فیلتر خازنی ارزان‌ترین و ساده‌ترین فیلتر است. در این فیلتر یک خازن ظرفیت بالا به‌صورت شنت به مقاومت بار R_L متصل می‌شود. خازن تا ولتاژ پیک V_m شارژ می‌شود تا زمانی‌که نیم‌سیکل به بیشینه برسد. هنگامی‌که از مقدار پیک عبور می‌کند، خازن در میان مقاومت بار به آرامی دشارژ می‌شود. پیش از آن‌که خازن به‌صورت کامل دشارژ شود. سیکل بعدی رسیده و خازن مجدداً شارژ خواهد شد.

مقدار $V_{r,R.M.S}$ خروجی فیلتر با فرض موج دندان‌اره‌ای (مثلثی) محاسبه می‌شود:

$$V_{r,R.M.S} = V_{r,P.P.} / 2\sqrt{3} \quad (۵)$$

که در آن، $V_{r,P.P.}$ مقدار پیک- پیک ولتاژ ضربان است. در این حالت مقدار ولتاژ مستقیم از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$V_{DC} = V_m - \left(V_{r,P.P.} / 2 \right) \quad (۶)$$

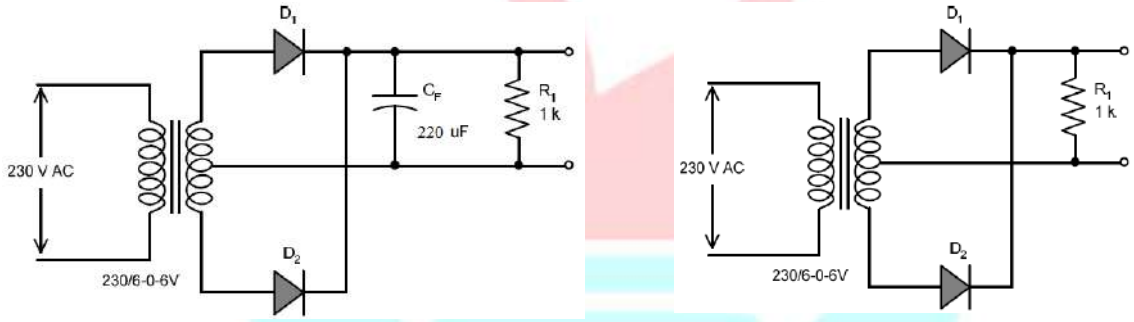
مقدار فاکتور ضربان از رابطه (۷) پیروی می‌کند:

$$r = V_{r,R.M.S} / V_{DC} \quad (۷)$$

که باید برابر $1 / 4\sqrt{3} f R_L C$ باشد. f برابر فرکانس منبع ولتاژ ورودی است.

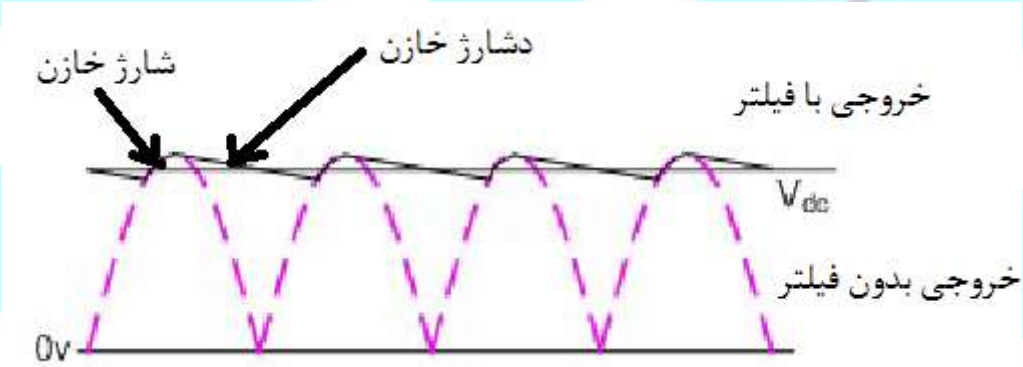
ب- یکسوساز تمام‌موج سروسط

شکل (۳) طرحواره مدار یکسوساز تمام موج سر وسط (بدون وجود فیلتر (الف) و با وجود فیلتر (ب)) را نشان می‌دهد.



شکل (۳) طرحواره مدار یکسوساز تمام موج سروسط (الف) بدون حضور فیلتر، (ب) با حضور فیلتر

در شکل (۴) شکل‌موج یکسوساز تمام موج سروسط با حضور فیلتر و بدون حضور فیلتر نشان داده شده‌است.



شکل (۴): شکل موج مدار یکسوساز تمام موج سروسط.

در مدار یکسوساز تمام‌موج سروسط، در حین نیم‌سیکل مثبت ولتاژ ترانسفورماتور ثانویه، دیود D_1 بایاس مستقیم بوده و دیود D_2 در بایاس معکوس است. بنابراین، جریان از میان دیود D_1، مقاومت بار و نیمه بالایی سیم‌پیچ ترانسفورماتور شارش می‌یابد. حین نیم‌سیکل منفی، دیود D_2 بایاس مستقیم و دیود D_1 بایاس معکوس می‌شود. پس، جریان از میان دیود D_2، مقاومت بار R_L و نیمه پایینی سیم‌پیچ ترانسفورماتور می‌گذرد. جریانی که از میان مقاومت بار شارش می‌یابد، در هر دو نیم سیکل جهت یکسانی دارد. مقدار پیک ولتاژ خروجی به مقدار حدود ۰٫۶ V کمتر از مقدار ولتاژ ورودی است، زیرا ولتاژ در دو سر دیود افت می‌کند. مقدار ولتاژ $V_{R.M.S}$ و V_{DC} یکسوساز تمام‌موج سروسط به‌ترتیب از روابط (۸ الف) و (۸ ب) پیروی می‌کند.

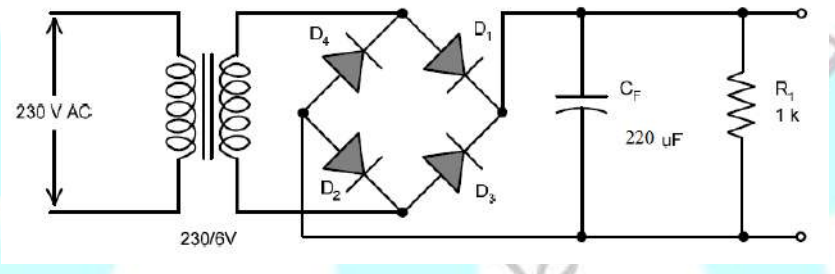
$$V_{R.M.S} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \qquad \text{(۸ الف)}$$

$$V_{DC} = \frac{2V_m}{\pi} \qquad \text{(۸ ب)}$$

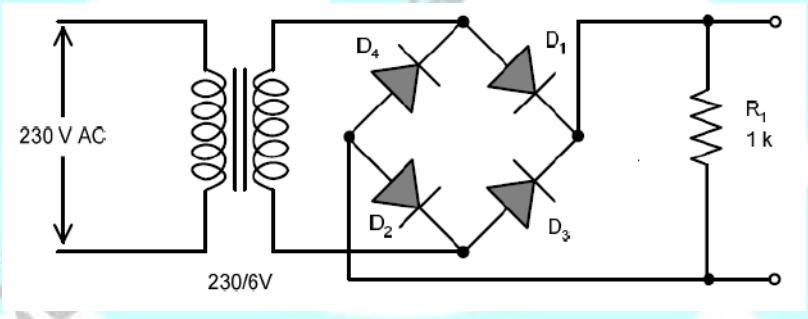
فاکتور ضربان از رابطه (۳) به‌دست می‌آید. در صورت استفاده از فیلتر خازنی فاکتور ضربان از رابطه (۷) پیروی می‌کند. برای یکسوساز تمام‌موج انتظار می‌رود این مقدار برابر برابر $1/2\sqrt{3}fR_LC$ باشد. f برابر فرکانس منبع ولتاژ ورودی است.

پ- یکسوساز تمام‌موج پل

نوع دیگری از مدار که خروجی یکسان مانند یکسوساز تمام‌موج سروسط تولید می‌کند، یکسوساز تمام‌موج پل است (شکل (۵)).



(الف)



(ب)

شکل (۵): طرحواره مدار یسکوساز تمام‌موج پل، (الف) با حضور فیلتر، (ب) بدون حضور فیلتر

این نوع یکسوساز تمام‌موج از چهار دیود یکسوساز مجزا در پیکربندی پل استفاده می‌کند تا خروجی مطلوب را تولید کند ولی نیاز به ترانسفورماتور سروسط ندارد. بنابراین با کاهش اندازه و هزینه همراه است. مطابق شکل (۵) یک ترانسفورماتور ثانویه تک به یک سمت شبکه پل دیودی متصل شده و در سوی دیگر مقاومت بار متصل می‌شود. چهار دیود با برچسب‌گذاری D_1 تا D_4 به‌صورت جفت‌های سری با فقط دو دیود، هدایت‌کننده جریان در هر نیم‌سیکل چیده شده‌اند. حین نیم‌سیکل مثبت منبع، دیودهای D_1 و D_2 به‌صورت سری جریان را هدایت می‌کنند درحالی‌که دیودهای D_3 و D_4 در بایاس معکوس هستند و جریان از میان مقاومت بار شارش می‌یابد. مانند آنچه در شکل (۴) نشان داده شده‌است. حین نیم‌سیکل منفی منبع، دیودهای D_3 و D_4 به‌صورت سری جریان را هدایت می‌کند ولی دیودهای D_1 و D_2 به‌صورت معکوس بایاس

مس‌شوند و جریان از میان مقاومت بار با جهت یکسان یا آن‌چه در نیم‌سیکل قبل بوده، شارش می‌یابد (شکل (۴)).

از آن‌جا که جریان شارش‌یافته از میان مقاومت بارتک جهت است، بنابرایت ولتاژ دو سر مقاومت نیز در هر دو نیم‌سیکل تک جهت خواهد بود. بنابراین ولتاژ خروجی DC میانگین در امتداد مقاومت بار دو برابر آن‌چیزی است که در مدار یکسوساز نیم‌موج به‌دست می‌آید، البته با فرض عدم وجود تلفات (رابطه (۸ ب)). رابطه ضربان مشابه رابطه (۳) است. اگر از فیلتر خازنی استفاده شود، ضربان از رابطه (۷) پیروی می‌کند که مشابه یکسوساز تمام‌موج سروسط است.

روش انجام آزمایش:

۱- مدار یکسوساز نیم‌موج را مطابق شکل (۱ الف) ببندید.

۲- ترانسفورماتور را به پریز متصل کرده و شکل موج ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور و شکل موج ولتاژ خروجی مقاومت بار را به‌طور همزمان روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید. مقدار V_m را اندازه‌گیری کنید. مقادیر $V_{R.M.S}$ و V_{DC} را محاسبه کنید.

نکته: می‌توانید پس از جدا کردن اسیلوسکوپ با استفاده از ولتمتر $V_{R.M.S}$ و V_{DC} را اندازه‌گیری کنید.

۳- فاکتور ضربان و بازدهی یکسوسازی را محاسبه و جدول (۱) را تکمیل کنید.

جدول (۱): یکسوساز بدون فیلتر

HWR	$\mathbf{V_m}$	$\mathbf{V_{RMS}=V_m/2}$	$\mathbf{V_{DC}=Vm/\pi}$	$\mathbf{r=\sqrt{(V_{R.M.S}/V_{DC})^2-1}}$ **(تجربی)**
FWR	$\mathbf{V_m}$	$\mathbf{V_{RMS}=V_m/\sqrt{2}}$	$\mathbf{V_{DC}=2Vm/\pi}$	$\mathbf{r=\sqrt{(V_{R.M.S}/V_{DC})^2-1}}$ **(تجربی)**
BR	$\mathbf{V_m}$	$\mathbf{V_{RMS}=V_m/\sqrt{2}}$	$\mathbf{V_{DC}=2Vm/\pi}$	$\mathbf{r=\sqrt{(V_{R.M.S}/V_{DC})^2-1}}$ **(تجربی)**

۴- مراحل فوق را به‌ترتیب مطابق شکل (۳ الف) و (۵ الف) برای یکسوساز تمام‌موج سروسط و پل تکرار کنید و جدول (۱) را تکمیل کنید.

۵- مدار شکل (ا ب) را ببندید و جدول (۲) را تکمیل کنید.

جدول (۲): یکسوساز با فیلتر خازنی

HWR	V_m	$V_{r,pp}$	$V_{r,RMS}=V_{PP}/2\sqrt{3}$	$V_{DC}=V_m-V_{r,PP}/2$	$r=V_{r,RMS}/V_{DC}$ (تجربی)
FWR	V_m	$V_{r,pp}$	$V_{r,RMS}=V_{PP}/2\sqrt{3}$	$V_{DC}=V_m-V_{r,PP}/2$	$r=V_{r,RMS}/V_{DC}$ (تجربی)
BR	V_m	$V_{r,pp}$	$V_{r,RMS}=V_{PP}/2\sqrt{3}$	$V_{DC}=V_m-V_{r,PP}/2$	$r=V_{r,RMS}/V_{DC}$ (تجربی)

۶- مدار شکل (۳ ب) و (۵ ب) را ببندید و جدول (۲) را تکمیل کنید.

دکتر فاطمه دباغ کاشانی
دانشگاه علم و صنعت ایران