آزمایش ۵

تنظیم کنندهٔ ولتاژ

هدف

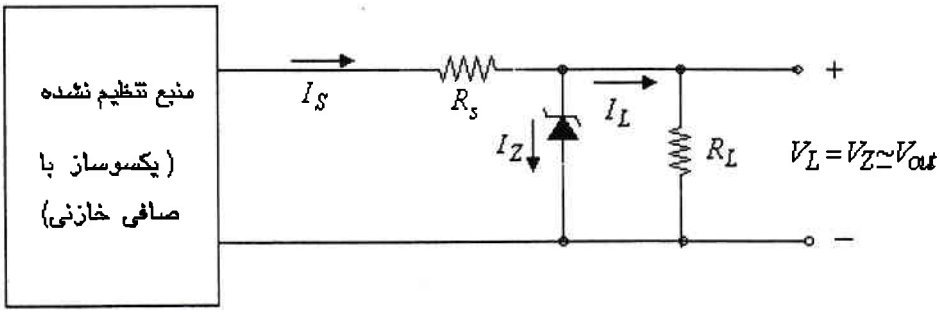
طراحی مدار تنظیم کننده با دیود زنر

وسایل آزمایش

مبدل سر وسط (۱۲، ۱۲→۲۲۰) - مولتی‌متر (۳عدد) – خازن $1000\mu f$ - دیود ۱N۴۰۰۱(۲عدد) – دیود زنر (۶/۲ V) - پتانسیومتر - مقاومتهای ۱۰۰Ω ، ۲۲۰Ω ، ۳۳۰Ω، ۴۷۰Ω و ۰/۵kΩ، ۱kΩ، ۲/۲kΩ، ۴/۷kΩ، ۵kΩ، ۱۰kΩ، ۱۰۰kΩ- بردبورد- سیمهای رابط.

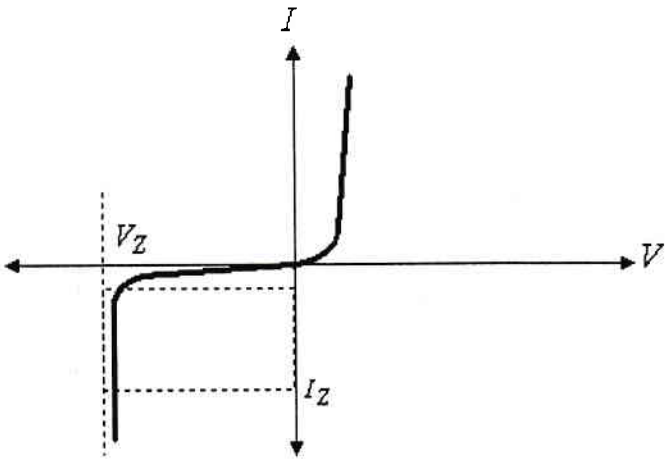
تئوری آزمایش

هرگاه مطابق شکل ۵ – ۱، یک منبع تغذیهٔ dc تنظیم نشده‌ای داشته باشیم، که می‌تواند خروجی یک مدار یکسوساز با صافی خازنی ساده‌ای باشد؛ با استفاده از دیود زنری که در ناحیهٔ شکست کار می‌کند، در یک مدار تنظیم کنندهٔ ولتاژ، می‌توانیم ولتاژ دو سر مقاومت بار خروجی را ثابت نگهداریم.



شکل ۵ –۱. مدار تنظیم کننده ولتاژ با دیود زنر

در این مدار چه ولتاژ منبع ورودی (V_{in}) تغییر کند و چه مقاومت بار، ولتاژ بار ثابت و برابر ولتاژ زنر خواهد بود، زیرا در حالت ایده‌آل که مقاومت زنر را نادیده می‌گیریم باتوجه به این که دیود در ناحیهٔ شکست کار می‌کند، حالتی که ولتاژ منبع ورودی از ولتاژ دو سر دیود زنر بیشتر است، تغییر ولتاژ ورودی در این ناحیه باعث تغییر در ولتاژ بار نمی‌شود. همچنین با توجه به مشخصهٔ دیود زنر، (شکل ۵–۲)، چون تغییرات جریان زنری در ناحیهٔ شکست تأثیر چندانی بر ولتاژ شکست زنر ندارد، برای دیود زنر ایده‌آل با تغییر مقاومت بار نیز ولتاژ بار تغییر نمی‌کند.



شکل ۵ – ۲. با تغییر جریان در ناحیهٔ شکست، تغییرات V_z اندک است.

مطابق شکل ۵ – ۱، همیشه یک مقاومت سری R_s به نام مقاومت محدودکننده برای محدود کردن جریان عبوری از دیود زنر لازم است تا هیچگاه جریان زنر به مقدار مجاز آن نرسد، در غیراینصورت دیود به علت اتلاف حرارتی بیش از حد خواهد سوخت. جریانی که از مقاومت R_s میگذرد عبارت است از؛

$$I_s = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_s}$$

که در آن $I_s=I_Z+I_L$ است. بنابراین مقاومت R_s از رابطهٔ زیر به دست می‌آید :

$$R_s = \frac{V_{in} - V_{out}}{I_Z + I_L}$$

با فرض ایده‌آل بودن دیود زنر و چشم‌پوشی از امپدانس[1] ناچیز آن ، $V_z \simeq V_{out}$ ، $\left(I_L = \frac{V_{out}}{R_L} \text{ یا } I_L = \frac{V_Z}{R_L}\right)$. بنابراین مقاومت R_s به صفر است زیر نوشته می‌شود:

$$R_s = \frac{V_{in} - V_Z}{I_Z + I_L}$$

برای این که تنظیم کنندهٔ زنری ولتاژ خروجی را ثابت نگهدارد بایستی دیود زنر در تمام شرایط در ناحیهٔ شکست باقی بماند یعنی به ازای هر مقدار از ولتاژ منبع (V_{in}) و جریان در مقاومت بار (I_L)، جریان دیود زنر از حد معینی پایینتر نیاید، بنابراین حداکثر مقدار مقاومت محدودکننده، $R_s(max)$ در بدترین حالت وقتی است که ولتاژ منبع ورودی (V_{in}) حداقل و جریان بار، (I_L) ، حداکثر باشد. در این شرایط با توجه به روابط زیر ؛

$$I_S = I_Z + I_L \Rightarrow \begin{cases} I_S = I_Z(min) + I_L(max) \\ I_S = I_Z(max) + I_L(min) \end{cases}$$

مقاومت R_s از رابطهٔ زیر به دست می‌آید؛

$$R_s = \frac{V_{in}(min) - V_Z}{I_L(max) + I_Z(min)}$$

---

۱. برای دقت بیشتر تحلیل مدارهای دیود زنر، در ولتاژ خروجی امپدانس زنر را به صورت زیر در نظر می‌گیرند؛

$(V_{out}=V_z + Z_Z.I_Z)$

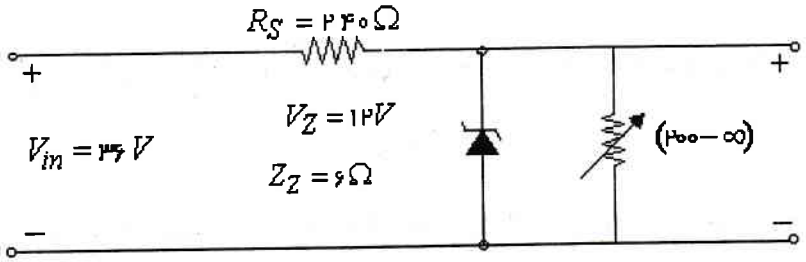
وجود امپدانس ناچیز (Z_Z) ، نشان می‌دهد که شیب ناحیهٔ شکست در دیود زنر کاملاً عمودی نیست.

همچنین حداکثر توان در مقاومت R_s و دو سر دیود زنر از روابط زیر به دست می‌آید:

$$P_Z(max) = V_Z I_Z(max)\ ,\ P_s(max) = R_s I_s^2(max)$$

که اگر $R_L \to \infty$ میل کند ؛ $I_s(max)=I_Z(max)$ ، خواهد بود.

مثال ۵ – ۱: در شکل ۵ – ۳، مدار تنظیم کنندهٔ ولتاژ زنری در نظرمی‌گیریم که در آن $V_{in}=۳۶v$ و مقاومت $R_S=۲۴۰\Omega$ و $V_Z=۱۲v$ و $Z_Z=۶\Omega$ است. حداقل مقاومت بار نیز $R_L=۲۰۰\Omega$ فرض می‌شود. جریان عبوری از مقاومت محدودکنندهٔ R_S و حداقل و حداقل جریان بار و حداقل و حداکثر جریان بار و زنر را به دست آورید.



حل:

$$I_S \frac{V_{in} - V_Z}{R_S} = \frac{۳۶-۱۲}{۲۴۰} = \frac{۲۴}{۲۴۰} \Rightarrow I_S = ۱۰۰mA$$

$$R_L(max) = \infty \Rightarrow I_L(min) = ۰$$

$$R_L(min) = ۲۰۰ \Rightarrow I_L(max) = \frac{V_{out}}{R_L(min)} = \frac{۱۲}{۲۰۰} \Rightarrow I_L(max) = ۶۰mA$$

$$I_Z(max) = I_S - I_L(min) = ۱۰۰ - ۰ = ۱۰۰mA$$

$$I_Z(min) = I_S - I_L(max) = ۱۰۰ - ۶۰ = ۴۰mA$$

بنابراین جریان در مقاومت محدود کننده مقدار ثابت و برابر ۱۰۰mA ، است. وقتی جریان بار از صفر تا ۶۰mA تغییر می‌کند، جریان زنر از ۱۰۰mA به ۴۰mA تغییر می‌کند تا در نتیجه جریان کل ثابت بماند. به ازای این تغییرات جریان زنری ، تغییرات ولتاژ خروجی بسیار کم و به صورت زیر تعیین می‌شود.

$V_{out} = V_Z + I_Z(min)Z_z = ۱۲ + \%٤ = ۱۲/۲٤$ ولت

$V_{out} = V_Z + I_Z(max)Z_z = ۱۲ + ۰/۱(٦) = ۱۲/٦$ ولت

که با این تغییرات کوچک I_z، میزان تغییر ولتاژ خروجی کوچک است.

مدارهای یکسوساز با صافی (منبع تغذیهٔ تنظیم نشده) معمولاً طوری طراحی می‌شوند که مقدار نوک به نوک ریپل خروجی با مقدار جریان DC بار نسبت مستقیم و با ظرفیت خازن و بسامد ریپل نسبت عکس داشته باشد یعنی رابطهٔ $V_r = \frac{I}{c.f}$[1] برای ولتاژ ریپل برقرار باشد. بنابراین مقادیر مینیمم و ماکزیمم ولتاژ ورودی از روابط زیر به دست می‌آیند:

$V_{in}(min)=V_{in} - \%۱۰\ V_{in}$

$V_{in}(max)=V_{in} + \%۱۰\ V_{in}$

باتوجه به آنچه گفته شده در طراحی یک مدار تنظیم‌کنندهٔ ولتاژ زنری معمولاً از روابط زیر به عنوان روابط بنیادی استفاده می‌شود:

$$R_s(max) = \frac{V_{in}(min) - V_z}{I_L(max) + I_z(min)} \quad (۱)$$

$$V_{in}(min) = V_{in} - \%۱۰V_{in} \quad (۲)$$

$$V_{in}(max) = V_{in} + \%۱۰V_{in} \quad (۳)$$

$$I_L(min) = \frac{V_{out}}{R_L(max)} \quad (٤)$$

که به ازای $R_L \to \infty$، مقدار $I_L(min)=۰$ است.

$$I_L(max) = \frac{V_{out}}{R_L(min)} \quad (۵)$$

$$P_s(max) = R_s I_s^۲(max) \quad (٦)$$

$$P_z(max) = V_z I_z(max) \quad (۷)$$

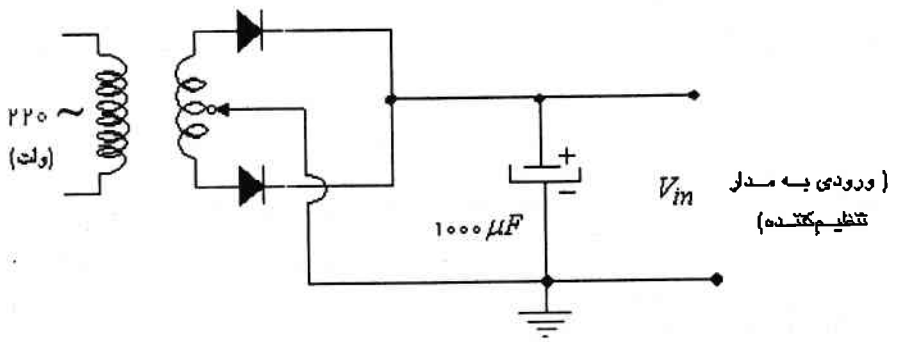
که اگر $R_L \to \infty$، $I_L(min)=۰$ و $I_s(max)=I_z(max)$ خواهد بود.

---

۱. در آزمایش یکسوسازها این رابطه معرفی شده است.

روش آزمایش

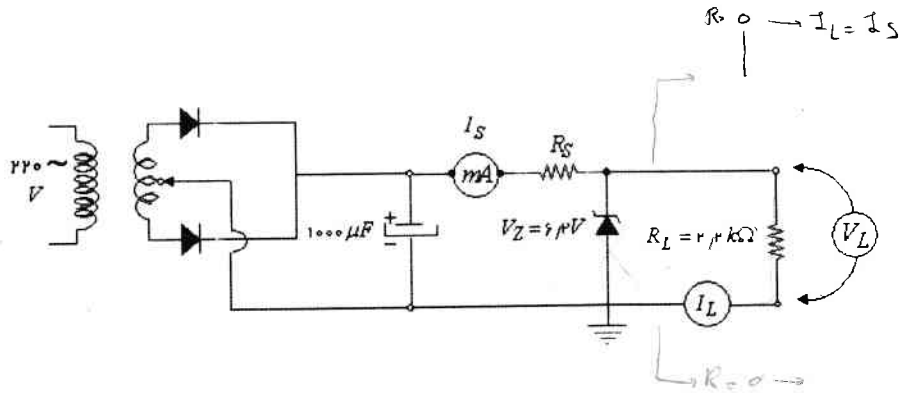
مدار شکل ۵ – ٤، راکه یک مدار یکسو ساز تمام موج با مبدل سر وسط و صافی است ببندید و با مولتی‌متر dc ولتاژ دو سر خازن را که همان V_{in} است، اندازه بگیرید. از روابط (۲) و (۳) مقادیر $V_{in}(min)$ و $V_{in}(max)$ را به دست آورید و سپس از رابطهٔ (۱) با داشتن دو حد بالا و پایین برای I_Z و $1mA \leqslant I_Z \leqslant 50mA$، با قراردادن $V_{in}(min)$، مقدار R_S را تعیین کنید. در صورتی که $V_Z=6V$ و $I_L(max)=50mA$ فرض شود. آنگاه بیشترین مقدار مجاز R_S یا نزدیکترین مقاومت به آن را که موجود است برای دو آزمایش زیر مورد استفاده قراردهید.



شکل ۵ – ٤. مدار یکسوساز تمام موج با مبدل سروسط و صافی

الف) بررسی اثر تغییر مقاومت بار در ولتاژ خروجی

بیشترین مقدار مجاز R_S را در مدار شکل ۵ – ۵ قراردهید و آنگاه مطابق جدول، مقاومتهای مختلفی را که در دسترس دارید تک‌تک به جای R_L در مدار قرار دهید و ولتاژ دو سر مقاومت بار (V_L) و جریان بار (I_L) را در هر حالت اندازه بگیرید و با تکمیل جدول، اثر تثبیت کنندگی دیود زنر را بر روی ولتاژ خروجی (V_L) تحقیق کنید.

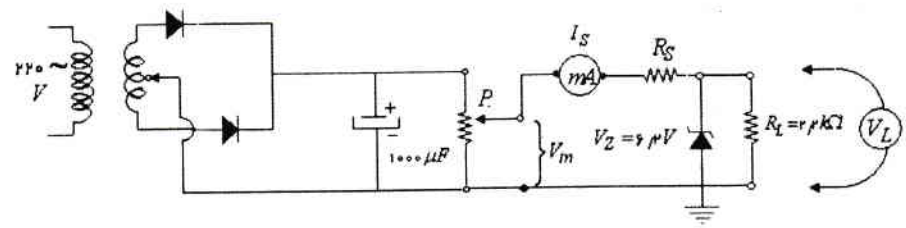


شکل ۵ – ۵. مدار بررسی اثر تغییر مقاومت بار در ولتاژ خروجی

R_L	0	۱۰۰Ω	۲۲۰KΩ	٤۷۰KΩ	۱KΩ	۲/۲KΩ	٤/۷KΩ	۱۰KΩ	۱۰۰KΩ	∞
I_L										
V_L										

ب) بررسی اثر تغییر ولتاژ ورودی در ولتاژ خروجی

مدار شکل۵ – ٦ را ببندید و با استفاده از پتانسیومتر P، و باتغییر ولتاژ ورودی از ۱ تا ۱۰ ولت، تغییرات ولتاژ خروجی را در حالتی که مقاومت بار را ثابت و برابر R_L=٤/۷KΩ نگه داشته‌اید بررسی و جدول مربوطه را کامل کنید.



شکل۵ – ٦. بررسی اثر تغییر ولتاژ ورودی در ولتاژ خروجی

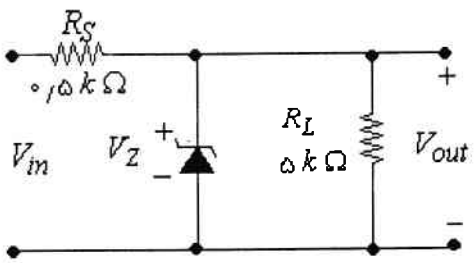
V_{in}	۱V	۲V	۳V	٤V	۵V	٦V	۷V	۸V	۹V	۱۰V
V_L										

مشاهده می‌شود که در ولتاژهای کمتر از ولتاژ شکست دیود زنر (٦/٢ V) چون از دیود جریان نمی‌گذرد، ولتاژ خروجی افزایش می‌یابد و در ولتاژهای بیش از این ولتاژ، ولتاژ خروجی تقریباً ثابت می‌ماند.

پرسش

١- شکل زیر مدار یک تنظیم کنندهٔ ولتاژ را نشان می‌دهد که در آن $I_Z(max)$=١٠mA و $I_Z(min)$=٠/٢mA و V_Z=٥V است. با فرض ایده‌آل بودن دیود زنر (Z_Z=٠)، حداقل و حداکثر مجاز V_{in} را تعیین کنید.

جواب : (٥/٦ V < V_{in} <١٠/٥V)



راهنمایی

$$V_L(min) = R_L I_L(min)$$
$$V_L(max) = R_L I_L(max)$$
$$I_L(max) = I_L(min)$$
$$I_s = I_z + I_L$$
$$I_s(min) = I_z(min) + I_L(min)$$
$$I_s(max) = I_z(max) + I_L(max)$$
$$V_s(max) = R_s . I_s(max)$$
$$V_s(min) = R_s . I_s(min)$$
$$V_{in} = V_s + V_z \Rightarrow \begin{cases} V_{in}(max) = V_s(max) + V_z \\ V_{in}(min) = V_s(min) + V_z \end{cases}$$

تمرین مدار

مدار شکل زیر را ببندید و شکل موج خروجی را یکبار وقتی پتانسیومتر روی صفر قراردارد و یکبار وقتی که روی حداکثر مقدار خود قراردارد توسط اسیلوسکوپ مشاهده و نتیجه را یادداشت کنید.