

فصل هشتم

تنظیم‌کننده‌های ولتاژ

Voltage Regulators

زمان اجرا : ۱۲ ساعت آموزشی

هدف کلی: تحلیل مدارهای رگولاتور ساده، با فیدبک و مجتمع

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فرآگیرنده انتظار می‌رود که :

- ۸- مدار رگولاتور قابل تنظیم با مدار مجتمع را تحلیل کند.
- ۹- چگونگی افزایش جریان بار در تنظیم‌کننده‌های ثابت را تحلیل کند.
- ۱۰- مبدل dc به dc را تحلیل کند.
- ۱۱- مدار تنظیم‌کننده با استفاده از کلیدزنی (Switching) را تحلیل کند.
- ۱۲- مشخصات نمونه‌ای از آی‌اسی رگولاتور کلیدزنی را با استفاده از data sheet شرح دهد.
- ۱۳- به سوال‌های الگوی پرسش پاسخ دهد.

- ۱- رگولاتور ولتاژ را تعریف کند.
- ۲- مدار رگولاتور ولتاژ زنری را تحلیل کند.
- ۳- مدار رگولاتور ولتاژ با تقویت‌کننده جریان را تحلیل کند.
- ۴- بلوک دیاگرام و مدار رگولاتور با فیدبک را تحلیل کند.
- ۵- مدارهای محافظ رگولاتور را تحلیل کند.
- ۶- بلوک دیاگرام ثبت‌کننده ولتاژ مجتمع سه‌سررا تحلیل کند.
- ۷- مسائل مربوط به رگولاتور سه‌سر را حل کند.

صنعتی اثر می‌گذارد و سبب خطا در عملکرد آن می‌شود. برای جلوگیری از این‌گونه خطاهای باید ولتاژ خروجی منابع تغذیه را ثابت نگهداشیم. برای ثبیت ولتاژ خروجی منابع تغذیه از رگولاتورهای ولتاژ استفاده می‌کنیم. در این فصل ابتدا به تشریح مختصر رگولاتورهای ولتاژ زنری می‌پردازیم، سپس رگولاتورهای بدون فیدبک و با فیدبک را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ادامه رگولاتورهای سه‌پایه با ولتاژ خروجی مثبت، منفی، ثابت و متغیر را تحلیل می‌کنیم. در پایان بحث کوتاهی در مورد رگولاتورهای مدرن مانند رگولاتورهای سوئیچینگ خواهیم داشت و آن‌ها را با رگولاتورهای معمولی مقایسه خواهیم کرد.

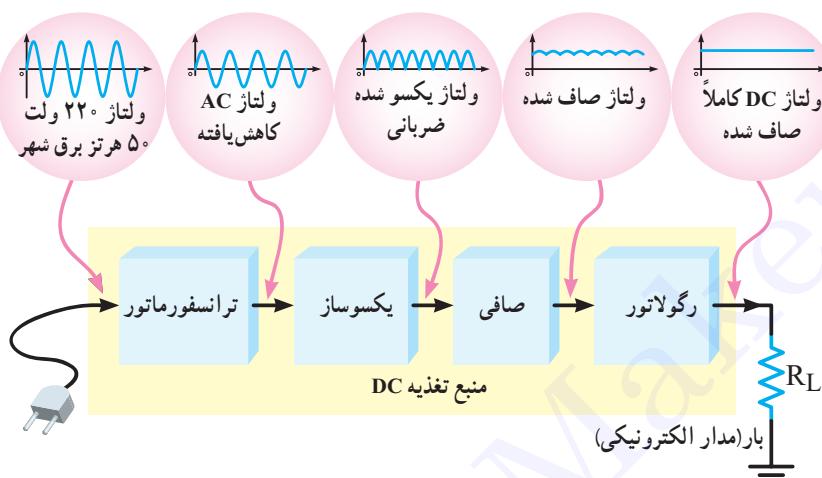
پیش‌گفتار

در اکثر مدارها و دستگاه‌های الکترونیکی، برای تأمین انرژی و توان مصرفی سیستم، نیاز به منابع تغذیه داریم. منابع تغذیه، ولتاژ DC موردنیاز خود را از طریق برق شهر تهیی می‌کنند. حال اگر به هر دلیلی جریان بار با ولتاژ برق شهر تغییر کند، آیا ولتاژ خروجی منبع تغذیه ثابت می‌ماند؟ جواب منفی است. این مطلب را به خاطر بسپارید که اگر جریان بار، ولتاژ ورودی منبع تغذیه یا درجه حرارت محیط تغییر کند، ولتاژ خروجی نیز تغییر خواهد کرد. این تغییر ولتاژ روی دستگاه‌های مرتبط با آن، نظیر وسایل آزمایشگاهی، مدارهای کامپیوتر و سیستم‌های

ترتیب تمامی تغییرات ولتاژ منبع تغذیه که به دوسر خازن صافی می‌رسد را حذف کند و ولتاژ ثابت شده‌ای به بار می‌رسد. در شکل ۱-۸ بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه با رگولاتور نشان داده شده است.

۱-۸- رگولاتور ولتاژ

رگولاتور ولتاژ مداری است که می‌تواند با تغییر ولتاژ ورودی یا تغییر جریان بار، ولتاژ دوسر بار را ثابت نگه دارد. در منابع تغذیه، مدار رگولاتور بین صافی و بار قرار می‌گیرد به این



شکل ۱-۸- بلوک دیاگرام منبع تغذیه با رگولاتور و بار و شکل موج قسمت‌های مختلف آن

پ) صافی : صافی عمل صاف کردن و یک‌نواخت کردن ولتاژ یکسو شده را به عهده دارد. ساده‌ترین صافی شامل یک خازن الکتروولیت با ظرفیت نسبتاً زیاد است. استفاده از فیلترهای پایین‌گذر در صافی‌ها نیز متداول است.

ت) رگولاتور ولتاژ : رگولاتور ولتاژ از تغییرات ولتاژ دوسر بار جلوگیری می‌کند و آن را ثابت نگه می‌دارد.

ث) بار : هر نوع مصرف‌کننده‌ای که به خروجی رگولاتور متصل می‌شود بار نام دارد. بار ممکن است یک کامپیوتر، قسمتی از مدار یک تلویزیون یا یک دستگاه الکترونیکی باشد. ولتاژ صاف شده و ثبت شده خروجی رگولاتور به بار داده می‌شود تا آن را فعال کند. در عمل، همه طراحی‌های منبع تغذیه براساس مشخصات بار انجام می‌گیرد.

ترانسفورماتور، یکسوساز، صافی و رگولاتور چهار بلوک اصلی منبع تغذیه DC هستند که در شکل ۱-۸ با تراجم مشخص شده‌اند.

با توجه به سیگنال‌های ورودی و خروجی نشان داده شده

در شکل ۱-۸ کار هر بلوک به شرح زیر است :

الف) ترانسفورماتور : ترانسفورماتور در ورودی مدار قرار می‌گیرد و برای کاهش یا افزایش ولتاژ برق شهر ۲۲۰ ولت و ۵۰ هرتز) به اندازه مورد نیاز به کار می‌رود. معمولاً در دستگاه‌های الکترونیکی که امروزه کاربرد بسیاری دارند، از ترانسفورماتورهای کاهنده استفاده می‌شود. توجه داشته باشید که ترانسفورماتور دامنه ولتاژ سیگنال را تغییر می‌دهد و روی فرکانس آن اثری ندارد. به عبارت دیگر در ترانسفورماتورها، فرکانس سیگنال‌های اولیه و ثانویه ثابت است.

ب) یکسوساز : عمل یک‌طرفه کردن جریان متناوب ثانویه ترانسفورماتور را انجام می‌دهد. این عمل بر عهده دیود یا دیودهای یکسوساز است. تعداد این دیودها متناسب با نوع مدار بین یک تا چهار عدد است. معمولاً یکسوسازها به سه صورت نیم موج، تمام موج یا پل بسته می‌شوند.

$$S_V = \frac{\Delta V_O}{\Delta V_{in}} \times 100\%$$

مثال ۸-۱ : در صورتی که ولتاژ ورودی رگولاتوری ۲ ولت تغییر کند، ولتاژ خروجی رگولاتور $\frac{1}{4}$ ولت تغییر خواهد کرد. مقدار S_V را محاسبه کنید. جریان بار و دما ثابت فرض شده‌اند.

پاسخ :

$$S_V = \frac{\Delta V_O}{\Delta V_{in}} \times 100\%$$

$$S_V = \frac{1/4}{2} \times 100\% = 50\%$$

$$S_V = 50\%$$

S_V به ما می‌گوید که ۵۰ درصد تغییرات ولتاژ ورودی رگولاتور به خروجی رگولاتور منتقل شده است. گاهی ضریب تثبیت ولتاژ را برای تغییرات یک ولت ورودی منبع تغذیه نیز محاسبه می‌کنند.

مثال ۸-۲ : اگر ولتاژ ورودی رگولاتوری از ۱۴ ولت به ۱۵ ولت برسد و ولتاژ خروجی رگولاتور از ۱۰ ولت به ۱۰.۵ ولت تغییر می‌کند. ضریب تثبیت ولتاژ را محاسبه کنید. (جریان بار و دما ثابت فرض شده‌اند).

پاسخ: ابتدا تغییرات ولتاژ خروجی رگولاتور را به دست می‌آوریم:

$$\Delta V_O = 10.5 - 10 = 0.5\text{V}$$

تغییرات ولتاژ ورودی رگولاتور برابر است با:

$$\Delta V_{in} = 15 - 14 = 1\text{V}$$

مقدار S_V را محاسبه می‌کنیم.

$$S_V = \frac{\Delta V_O}{\Delta V_{in}} \times 100\%$$

$$S_V = \frac{0.5}{1} \times 100\% = 50\%$$

عدد ۵۰ درصد به این مفهوم است که اگر ولتاژ ورودی رگولاتور ۱ ولت تغییر کند (کاهش یا افزایش یابد)، ۵۰ درصد تغییرات ولتاژ ورودی یک ولت به خروجی منتقل می‌شود. در شکل‌های ۸-۳ و ۸-۴ بلوك دیاگرام رگولاتورهایی را مشاهده

۸-۲-۲- ضرایب تثبیت رگولاتور ولتاژ:

در شکل ۸-۲ مداربلوکی رگولاتور ولتاژ نشان داده شده است. در ورودی این رگولاتور، ولتاژ رگوله شده V_i و در خروجی آن ولتاژ رگوله شده V_o وجود دارد.



شکل ۸-۲-۲- بلوك دیاگرام رگولاتور ولتاژ و شکل موج های ورودی و خروجی آن درجه تثبیت ولتاژ خروجی V_o یا میزان تغییرات آن به سه عامل اساسی زیر بستگی دارد.

الف - میزان تغییرات مقاومت بار یا جریان بار.

ب - تغییرات ولتاژ V_i (به دلیل تغییرات احتمالی ولتاژ ورودی به منع تعذیب).

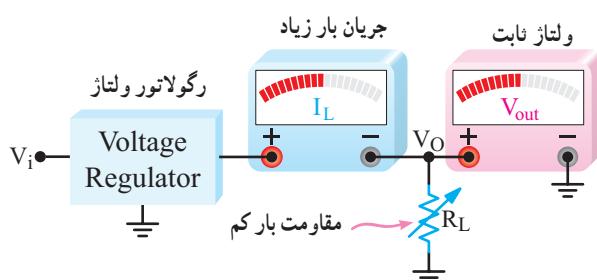
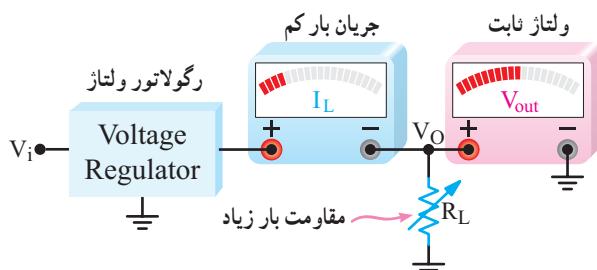
پ - تغییرات درجه حرارت.

با توجه به سه عامل ذکر شده، در بالا، برای رگولاتورها، سه نوع ضریب تثبیت تعریف می‌شود. هنگام تحلیل هر یک از ضرایب تثبیت، دو ضریب دیگر را ثابت فرض می‌کنند.

۸-۲-۳- ضریب تثبیت خطی یا ضریب تثبیت ولتاژ (Line Regulation) چنان‌چه ولتاژ ac ورودی منبع تغذیه به هر دلیلی تغییر کند، مدار الکتریکی رگولاتور باید بتواند ولتاژ خروجی نسبتاً ثابت و قابل قبولی را به بار بدهد. معمولاً در ولتاژ خروجی رگولاتور مقداری تغییر به وجود می‌آید که این تغییرات باید اندازه‌گیری و میزان آن تعیین شود. این اندازه‌گیری از طریق ضریب تثبیت انجام می‌شود. برای مثال ضریب تثبیت ولتاژ (S_V) به صورت زیر تعریف می‌شود.

نسبت تغییرات ولتاژ خروجی به تغییرات ولتاژ ورودی در صورت ثابت بودن جریان بار و دما را ضریب تثبیت ولتاژ می‌نامند و آن را با S_V نمایش می‌دهند.

ضریب تثبیت ولتاژ (S_V) معمولاً بر حسب درصد بیان می‌شود و مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:



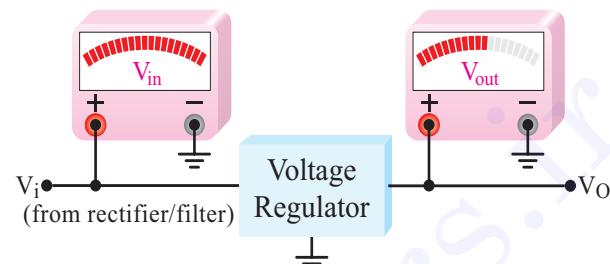
ضریب تثیت جریان عبارت است از نسبت درصد تغییرات ولتاژ خروجی رگولاتور به تغییرات جریان بار در صورتی که ولتاژ ورودی و دما ثابت نگه داشته شود.

$$S_I = \frac{\text{تغییرات ولتاژ خروجی}}{\text{تغییرات جریان بار}} = \frac{\Delta V_O}{\Delta I_L} \times 100\% = \frac{\Delta V_O}{\Delta I_L} \times 100\%$$

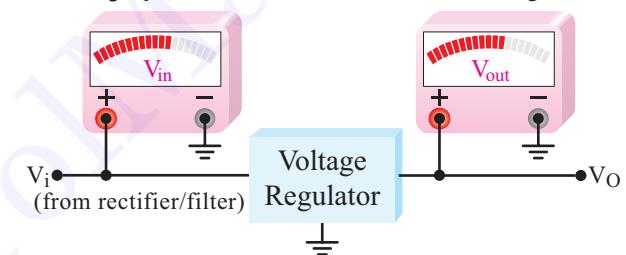
گاهی عدد ضریب تثیت جریان را به صورت نسبت درصد تغییرات ولتاژ خروجی به ازای تغییرات یک میلی آمپر جریان بار نیز بیان می کنند. مثلاً ضریب تثیت 1% درصد بر میلی آمپر به مفهوم این است که اگر جریان بار 1 mA تغییر یابد (افزایش یا کاهش یابد) ولتاژ خروجی 1% درصد تغییر می کند. هر قدر ضریب تثیت جریان کوچکتر باشد، رگولاتور از نظر تثیت جریان، مطلوب تر است.

۸-۲-۳ ضریب تثیت حرارت (Temperature Regulation) : حرارت نیز می تواند سبب تغییر ولتاژ خروجی رگولاتور شود. درصد نسبت تغییرات ولتاژ خروجی به تغییرات دما در شرایط ثابت بودن ولتاژ ورودی و جریان بار را ضریب تثیت دما می گویند. ضریب تثیت دمای S_T نشان می دهد و از رابطه زیر تعیین می شود.

می کنید. با وجود تغییرات در ولتاژ ورودی، ولتاژ خروجی تقریباً ثابت مانده است. این رگولاتور از ضریب تثیت ولتاژ خوبی برخوردار است.

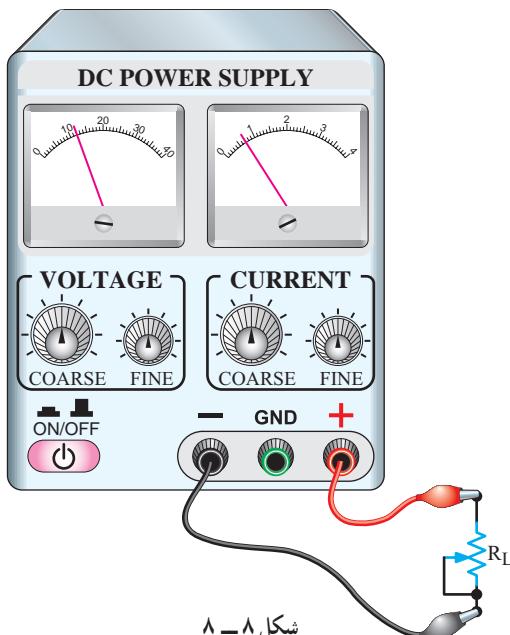


تغییر محسوسی در ولتاژ خروجی وجود ندارد
(یا افزایش)



هر قدر ضریب تثیت S_V کوچکتر باشد، رگولاتور از کیفیت مطلوب تری برخوردار است.

۸-۲-۴ ضریب تثیت بار یا جریان (Load Regulation) : با تغییرات بار (صرف کننده) جریان عبوری از آن تغییر می کند و سبب تغییر در افت ولتاژ مقاومت داخلی دستگاه می شود و در نهایت ولتاژ خروجی را تغییر می دهد. رگولاتورهای ولتاژ باید به گونه ای طراحی شوند که بتوانند ولتاژ خروجی را در صورت تغییر بار، ثابت نگه دارند. در شکل های ۸-۵ و ۸-۶ آمپرها نشان می دهند که در اثر تغییر بار مقدار جریان بار افزایش می یابد، ولی ولت متر همواره ولتاژ خروجی ثابتی را نشان می دهد. لذا تثیت این رگولاتور در مقابل تغییر جریان بار مطلوب و قابل قبول است.



شکل ۸-۸

در رابطه V_R عددگذاري می کنيم :

$$V_R = \frac{V_{ONL} - V_{OFL}}{V_{OFL}} \times 100\% = \frac{14 - 13/8}{13/8} \times 100\%$$

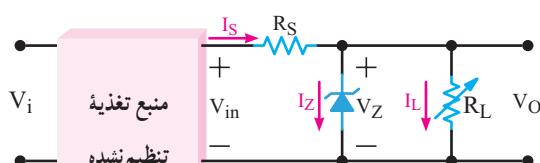
$$V_R = \frac{14 - 13/8}{13/8} \% = 1/44\%$$

در صد تنظيم ولتاژ اين منبع تغذيه، $1/44$ درصد است.

بررسی کنید: مقدار V_R باید چه قدر باشد تا بهترین در صد تنظيم ولتاژ را داشته باشیم. با تحلیل روابط S_V موضوع را تشریح کنید.

۳-۸- رگولاتور زنری

یک روش ساده برای ثبیت ولتاژ، استفاده از رگولاتور زنری است. در شکل ۸-۹ مدار یک رگولاتور زنری نشان داده شده است.



شکل ۸-۹- رگولاتور زنری

$$\frac{\Delta V_O}{\Delta T} \times 100\% = \frac{\Delta V_O}{\Delta T} \times 100\%$$

در طراحی رگولاتورها همیشه سعی می کنند S_T را به صفر تزدیک کنند. به عبارت دیگر اثر حرارت روی ولتاژ خروجی را از بین بیرند.

در صد تنظيم ولتاژ :

(Voltage Regulation Percent) در یک منبع تغذيه با

رگولاتور، در صد تنظيم ولتاژ از رابطه زیر به دست می آيد :

$$V_R = \frac{V_{ONL} - V_{OFL}}{V_{OFL}} \times 100\%$$

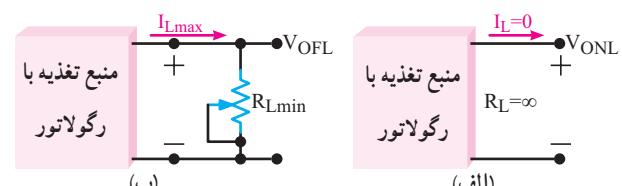
$$V_R = \frac{V_{ONL} - V_{OFL}}{V_{OFL}} \times 100\%$$

در اين رابطه V_{ONL} (No load output Voltage) ولتاژ

خروجی بدون بار است. یعنی در اين حالت جريان بار صفر و R_L مساوی بینهايت است.

(Full Load Output Voltage) V_{OFL} ولتاژ خروجی با

بار كامل است. یعنی جريان بار بيشترین و R_L كم ترين مقدار را دارد. شکل ۸-۷-۸-الف و ب بلوک دياگرام منبع تغذيه را بدون بار و در بار كامل نشان می دهد.

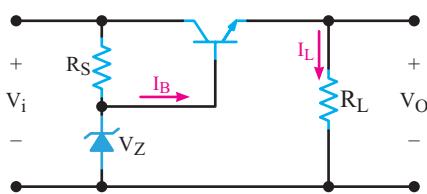


شکل ۸-۸- منبع تغذيه در حالت بدون بار و بار كامل

در يك رگولاتور خوب باید مقدار V_R همواره تزديک به صفر باشد.

مثال ۳-۸ : در صد تنظيم ولتاژ منبع تغذيه DC شکل ۸-۸ را حساب کنید. اين منبع تغذيه در حالت بی باری 14 ولت و در حالت بار كامل $13/8$ ولت را به مدار می دهد.

پاسخ: ولتاژ خروجی در حالت بی باری برابر با $14V$ و در بار كامل برابر با $13/8V$ است.

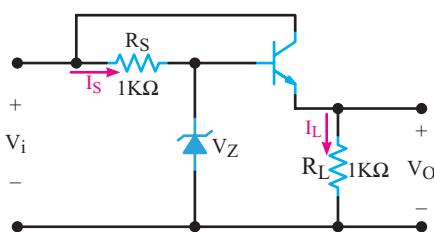


شکل ۱۰-۸- رگولاتور ولتاژ با تقویت کننده کلکتور مشترک (تقویت کننده جریان)

مثال ۴-۸ : در رگولاتور ولتاژ با تقویت کننده جریان

شکل ۱۱-۸، اگر $V_Z = 12V$ و $V_{in} = 30V$ و $V_{BE} = 0.7V$ باشد

مطلوب است محاسبه I_S (۳) I_L (۲) V_O (۱)



شکل ۱۱-۸- رگولاتور ولتاژ

پاسخ : چون $V_O = V_Z - V_{BE}$ است لذا :

$$V_O = 12 - 0.7 = 11.3$$

ولت می شود.

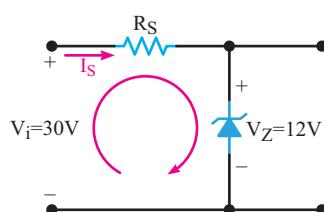
برای محاسبه I_L رابطه زیر را می نویسیم.

$$I_L = \frac{V_{RL}}{R_L} = \frac{V_O}{R_L}$$

سپس مقادیر را جایگزین می کنیم.

$$I_L = \frac{11.3}{1K\Omega} = 11.3mA$$

برای به دست آوردن I_S معادله KVL را در حلقه ورودی (مطابق شکل ۱۲-۸) می نویسیم.



شکل ۱۲-۸- حلقه ورودی

ولتاژ خروجی یک منبع تغذیه تنظیم نشده به عنوان ولتاژ ورودی (V_{in}) به مدار تنظیم کننده زنری وارد می شود. تا زمانی که V_{in} از V_Z بزرگتر است. جریان در مدار زنر برقرار می شود و دیود زنر در ناحیه شکست قرار می گیرد.

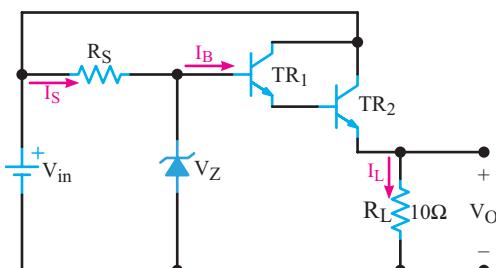
مقاومت محدود کننده R_S از افزایش جریان زنر به بیش از حد اکثر مجاز (I_{Zmax}) جلوگیری می کند. در شرایط ایده‌آل می توانیم بگوییم که دیود زنر مانند یک باتری عمل می کند، بنابراین، ولتاژ دوسر بار ثابت می ماند. توجه داشته باشید که وقتی ولتاژ خروجی یک منبع تغذیه تنظیم نشده تغییر کند، تا زمانی که این ولتاژ از ولتاژ شکست زنر بیشتر است، دیود زنر در ناحیه شکست کار می کند و ولتاژ در دوسر مقاومت بار ثابت باقی می ماند. ولی اگر دامنه ولتاژ خروجی منبع تغذیه از ولتاژ شکست زنر کمتر شود، دیود زنر از مدار خارج می گردد و ولتاژ ثبیت نشده منبع تغذیه مستقیماً به بار می رسد. هنگام استفاده از دیود زنر باید به مقدار توان مجاز دیود زنر و مقاومت سری با آن توجه داشت.

چون توان و جریان مازکریم دیود زنر در ناحیه شکست محدود است، لذا برای جریان بار زیاد نمی توانیم از دیود زنر به عنوان رگولاتور استفاده کنیم. در این گونه موارد ولتاژ شکست دیود زنر به عنوان ولتاژ مرجع مورد استفاده قرار می گیرد و جریان بار توسط یک تقویت کننده جریان تأمین می شود.

۴-۸- رگولاتور ولتاژ با تقویت کننده جریان

می دانیم ترانزیستور در حالت های امیتر مشترک و کلکتور مشترک می تواند جریان را تقویت کند. اگر به تقویت ولتاژ نیاز داشته باشیم، مدار کلکتور مشترک مناسب ترین مدار برای تقویت جریان است؛ زیرا ضریب تقویت جریان آن زیاد و مقاومت ورودی آن بالاست. در شکل ۱۰-۸ مدار یک رگولاتور ولتاژ با تقویت کننده کلکتور مشترک نشان داده شده است.

در این مدار، جریان عبوری از بار با جریان امیتر ترانزیستور مساوی و برابر با $I_B + \beta I_B = (1 + \beta) I_B$ است. لذا در این مدار جریان بار در مقایسه با رگولاتور ساده زنری افزایش می یابد. همچنین با توجه به قانون کیرشهف در حلقه دیود زنر و مقاومت بار، ولتاژ خروجی به اندازه $V_O = V_Z - V_{BE}$ از ولتاژ دوسر زنر کمتر می شود یعنی $V_O = V_Z - V_{BE}$ است.



شکل ۸-۱۴—رگولاتور ولتاژ با زوج دارلینگتون

$$-V_{in} + R_S I_S + V_Z = 0$$

$$-3V + (1K\Omega) I_S + 12V = 0$$

$$I_S = \frac{3V - 12V}{1K\Omega} = 1mA$$

تمرین کلاسی: در صورتی که مقاومت R_L را به ۵۰۰۰

اهم کاهش دهیم، مقادیر I_L و I_S را محاسبه کنید.

پاسخ: برای محاسبه V_O از رابطه

$$V_O = V_Z - (V_{BE1} + V_{BE2})$$

استفاده می کنیم.

$$V_O = 12V - (0.7V + 0.7V) = 12V - 1.4V$$

$$\text{ولت } V_O = 10.6V$$

با استفاده از رابطه: $I_L = \frac{V_{RL}}{R_L} = \frac{V_O}{R_L}$ مقدار I_L را به دست می آوریم:

$$I_L = \frac{10.6V}{10\Omega} = 1.06A$$

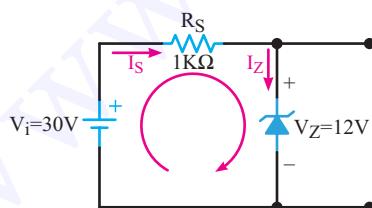
چون در مدار زوج دارلینگتون $I_E = \beta_1 \beta_2 I_B$ است با

استفاده از این رابطه می توانیم مقدار I_B را محاسبه کنیم:

$$I_B = \frac{I_E}{\beta_1 \beta_2} = \frac{I_L}{\beta_1 \beta_2}$$

$$I_B = \frac{1.06A}{50 \times 20} = \frac{1.06}{1000} = 1.06mA$$

در حلقة شکل ۸-۱۵ معادله KVL را می نویسیم و I_S را به دست می آوریم.



شکل ۸-۱۵—حلقه ورودی

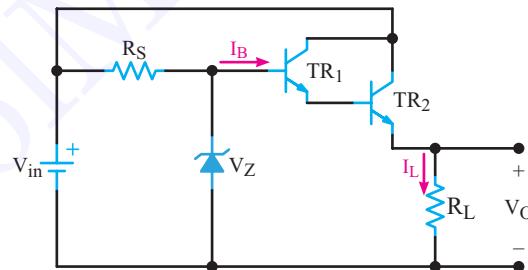
$$-V_{in} + R_S I_S + V_Z = 0$$

$$I_S = \frac{V_{in} - V_Z}{R_S} = \frac{3V - 12V}{1K\Omega} = 5mA$$

$$I_S = 1mA$$

۸-۵—رگولاتور ولتاژ با تقویت کننده جریان به صورت زوج دارلینگتون

برای دریافت جریان بیشتر از رگولاتور نشان داده شده در شکل ۸-۱۰، می توانیم طبق شکل ۸-۱۳ از زوج دارلینگتون استفاده کنیم.



شکل ۸-۱۳—رگولاتور ولتاژ با زوج دارلینگتون

در این مدار اگر هر یک از ترازیستورها به ترتیب دارای بهره جریان β_1 و β_2 باشند، جریان عبوری از بار از رابطه تقریبی زیر به دست می آید:

$$I_L = \beta_1 \beta_2 I_B$$

همچنین ولتاژ خروجی رگولاتور از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$V_O = V_Z - (V_{BE1} + V_{BE2})$$

مثال ۸-۵: در رگولاتور ولتاژ با زوج دارلینگتون

شکل ۸-۱۴ اگر $V_{in} = 3V$ و $V_Z = 12V$ و $R_S = 1K\Omega$ و

$\beta_1 = 50$ و $\beta_2 = 20$ باشد مطلوبست:

$$I_Z (4) \quad I_B (3) \quad I_L (2) \quad V_O (1)$$

ب) نمونه‌گیر : مداری است که قسمتی از ولتاژ خروجی را به مدار مقایسه‌کننده برمی‌گرداند. مدار نمونه‌گیر اغلب از چند مقاومت ثابت و متغیر تشکیل می‌شود.

پ) مقایسه‌کننده و تقویت‌کننده و ولتاژ خطا : این مدار، ولتاژ نمونه‌گیر را که جزئی از ولتاژ خروجی است، با ولتاژ مبنای مقایسه‌می‌کند. سپس ولتاژ خروجی خود را طوری تغییر می‌دهد که این دو ولتاژ با هم برابر شوند.

ت) عنصر کنترل‌کننده و عبور دهنده جریان : این مدار یک تقویت‌کننده کلکتور مشترک یا زوج دارلینگتون است و از مدار مقایسه‌کننده فرمان می‌گیرد. با تنظیم افت ولتاژ در دوسراین عنصر، ولتاژ خروجی ثابت می‌ماند. چون جریان مصرف کننده از این عنصر عبور می‌کند؛ قدرت زیادی در آن تلف می‌شود. بنابراین همیشه ولتاژ خروجی با یک ولتاژ ثابت که همان ولتاژ مبنای است مقایسه می‌شود و در صورت هرگونه تغییر در ولتاژ خروجی، فرآیند زیر به صورت مداوم اتفاق می‌افتد. برای مثال اگر در اثر افزایش جریان بار، ولتاژ خروجی کاهش یابد بالافاصله این کاهش و ولتاژ سبب تغییر ولتاژ خروجی مقایسه‌کننده می‌شود و فرمان لازم را به عنصر کنترل‌کننده و عبور دهنده جریان می‌دهد و کاهش ولتاژ خروجی را جبران می‌کند. به این ترتیب همیشه ولتاژ خروجی ثابت می‌ماند.

- ولتاژ خروجی به هر دلیلی تغییر کند.
- ولتاژ خروجی با ولتاژ مرجع مقایسه می‌شود.
(در مدار مقایسه‌کننده)
- ولتاژ اصلاح کننده تولید می‌شود.
- ولتاژ اصلاح کننده به عنصر کنترل‌کننده فرمان می‌دهد.
- ولتاژ خروجی اصلاح می‌شود.

در شکل ۸-۱۸ مدار یک منبع تغذیه با رگولاتور فیدبک نشان داده شده است. ورودی مدار رگولاتور، یک ولتاژ DC رگوله شده است که توسط ترانس تقدیم، پکسوکننده و خازن صافی از برق شهر تهیه می‌شود.

چون $I_S = I_Z + I_B$ است لذا

$$I_Z = I_S - I_B$$

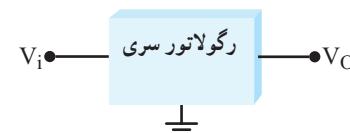
$$I_Z = 18 - 1.6 = 16.94 \text{ mA}$$

تمرين کلاسي: در صورتی که در مدار شکل ۸-۱۴

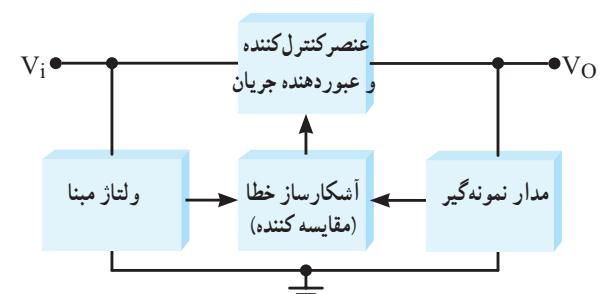
مقاومت R_L را به 20Ω افزایش دهیم، مقادیر I_L , I_S و I_Z را محاسبه کنید.

۶-۸- رگولاتور سری با مدار فیدبک (Basic Linear Series Regulator)

تاکنون رگولاتورهای بدون فیدبک را شرح دادیم. برای ثبت پیش‌تر ولتاژ می‌توانیم از رگولاتور با فیدبک استفاده کنیم. این رگولاتورها به دو نوع سری و موازی تقسیم‌بندی می‌شوند. بلوک دیاگرام کلی رگولاتور سری و بخش‌های مختلف آن در شکل ۸-۱۶ و ۸-۱۷ رسم شده است.



شکل ۸-۱۶- بلوک دیاگرام کلی رگولاتور سری



شکل ۸-۱۷- بلوک دیاگرام رگولاتور با فیدبک سری

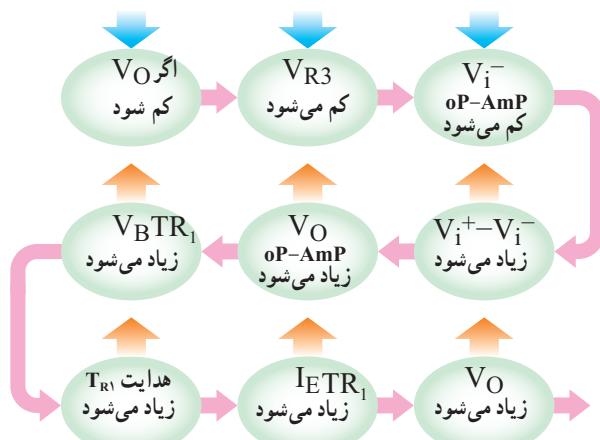
کار هر قسمت این بلوک دیاگرام به شرح زیر است :

الف) ولتاژ مبنای : ولتاژ مبنای یا مرجع یک ولتاژ ثابت است

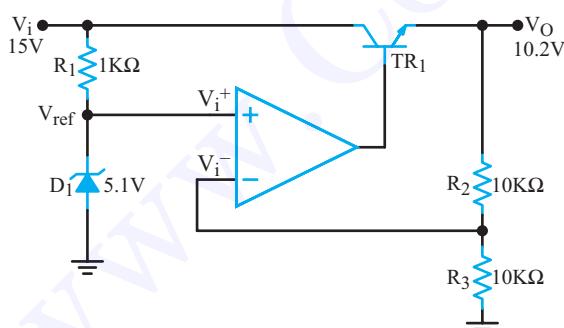
که معمولاً توسط دیود زنر تولید می‌شود.

ولتاژ مثبتی را در خروجی آن به وجود می‌آورد.

- ولتاژ خروجی op-Amp به بیس ترانزیستور، NPN (T_{R1}) داده شده و ولتاژ بیس T_{R1} را زیاد می‌کند و هدایت ترانزیستور T_{R1} را افزایش می‌دهد.
- با هادی‌تر شدن ترانزیستور T_{R1} ، جریان امیر آن افزایش یافته و V_O را زیاد می‌کند و سبب تثبیت V_O می‌شود. مراحل تغییر را می‌توان به صورت زیر نیز نشان داد.

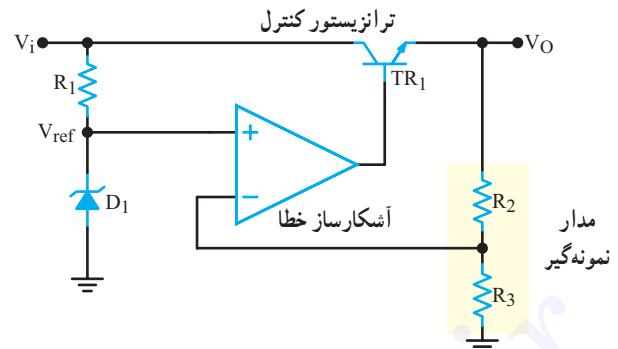


مثال زیر نحوه عمل کرد مدار را بهتر تشریح می‌کند. به شکل ۸-۱۹ توجه کنید. در این شکل که یک مدار رگولاتور با فیدبک سری است. مراحل زیر صدق می‌کند.



شکل ۸-۱۹—رگولاتور با فیدبک سری

- ولتاژ ورودی از طریق مقاومت R_1 ، دیود زنر را در بایاس مخالف قرار می‌دهد و ولتاژ دوسران را به عنوان ولتاژ مبنای ورودی مثبت op-Amp می‌رساند. به این ترتیب V_i^+ را در



شکل ۸-۸—مدار رگولاتور ولتاژ با فیدبک

در این مدار V_z ولتاژ مبنای op-Amp مدار مقایسه‌کننده و آشکارساز خط است. مقاومت‌های R_2 و R_3 مدار نمونه‌گیر را تشکیل می‌دهند. ترانزیستور TR_1 کنترل جریان را بر عهده دارد و از op-Amp فرمان می‌گیرد.

۸-۶-۱ مدار رگولاتور با فیدبک چگونه عمل می‌کند؟ چگونگی عملکرد رگولاتور با فیدبک را می‌توانیم در ۷ مرحله به شرح زیر خلاصه کنیم:

- چنان‌چه ولتاژ خروجی رگولاتور به هر دلیلی افزایش یابد، این تغییر ولتاژ توسط مدار تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی R_2 و R_3 احساس می‌شود، زیرا مقدار V_{R3} از رابطه زیر به دست می‌آید:

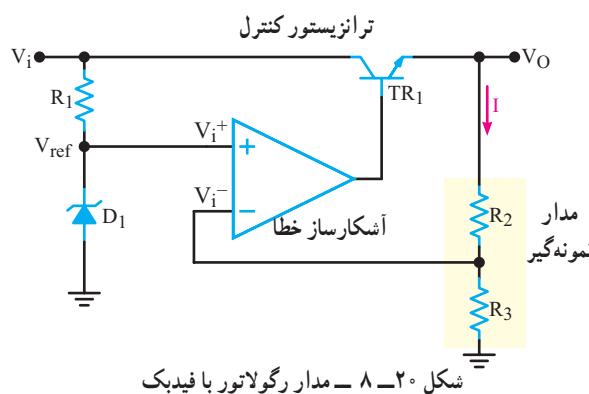
$$V_{R3} = \frac{V_O R_3}{R_2 + R_3}$$

- فرض کنیم ولتاژ خروجی مدار رگولاتور در اثر عواملی مانند، کاهش ولتاژ ورودی (V_{in}) و یا افزایش جریان بار (I_L) کاهش یابد، در این صورت ولتاژ دوسر مقاومت R_2 نیز کم می‌شود.

- چون ولتاژ دوسر R_2 همان ولتاژ ورودی معکوس‌کننده op-Amp است و ولتاژ مبنای (V_z) ولتاژ ورودی غیرمعکوس‌کننده op-Amp است، این دو ولتاژ در ورودی مثبت و منفی، با هم مقایسه می‌شوند.

- در حالت عادی باید $V_{R3} = V_z$ باشد، در این شرایط $V_i^+ = V_i^-$ است. لذا با کاهش V_{R3} ، مقدار V_i^- در op-Amp کم می‌شود و اختلاف ولتاژ بین ورودی مثبت و منفی op-Amp را زیاد می‌کند.

- این اختلاف ولتاژ توسط op-Amp تقویت می‌شود و



شکل ۸-۲۰ - مدار رگولاتور با فیدبک

$V_i^- = V_Z$ در op-Amp همواره $V_i^+ = V_i^-$ است. لذا $V_i^- = V_Z$ است. ولتاژ ورودی منفی همان افت ولتاژ دوسر مقاومت R_2 است که از تقسیم ولتاژ خروجی بین مقاومت‌های R_2 و R_3 به دست می‌آید یعنی :

$$V_i^- = V_{R_2} = \frac{V_O R_2}{R_2 + R_3}$$

به جای V_i^- ولتاژ دوسر زنر یعنی V_Z را قرار می‌دهیم :

$$V_Z = \frac{V_O R_2}{R_2 + R_3}$$

مقدار V_O را محاسبه می‌کنیم

$$V_O = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_3} \right) V_Z$$

رابطه را ساده می‌کنیم.

$$V_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right) V_Z$$

مثال ۸-۶ : در شکل ۸-۲۰ اگر $V_{in} = 15V$ و $R_2 = R_3 = 1\text{ k}\Omega$ و $V_Z = 5/1V$ باشد، V_O را محاسبه کنید.
پاسخ: با استفاده از رابطه V_O و اجزاء مدار، مقدار V_O را محاسبه می‌کنیم. ابتدا رابطه را می‌نویسیم.

$$V_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right) V_Z$$

مقادیر را جایگزین می‌کنیم و V_O را به دست می‌آوریم :

$$V_O = \left(1 + \frac{1}{1} \right) 5/1 = 2 \times 5/1$$

$$V_O = 10/2$$

ولت ثابت می‌کند.

- در شرایط عادی ولتاژ ورودی منفی op-Amp نیز برابر با ولتاژ ورودی مثبت آن یعنی $5/1V$ ولت است.
- با استفاده از ولتاژ خروجی و تقسیم آن بین مقاومت‌های R_2 و ولتاژ دوسر R_3 ، یعنی ولتاژ ورودی منفی op-Amp را نیز می‌توانیم محاسبه کنیم.

$$V_i^- = V_{R_3} = \frac{V_O R_2}{R_2 + R_3} = \frac{10/2 \times 1}{10 + 1} = 5/1V$$

فرض کنیم مقدار V_O کم شود و به $10/1V$ ولت برسد، در این صورت V_{R_3} نیز کم می‌شود و به 5 ولت می‌رسد زیرا :

$$V_{R_3} = \frac{V_O R_2}{R_2 + R_3} = \frac{10 \times 1}{10 + 1} = 5V$$

● کم شدن ولتاژ دوسر R_3 ، ولتاژ ورودی منفی op-Amp را کم می‌کند و اختلاف ولتاژ بین ورودی مثبت و منفی op-Amp را افزایش می‌دهد.

زیرا :

$$V_i^+ - V_i^- = 5/1 - 5 = 0/1V$$

● این اختلاف ولتاژ توسط op-Amp تقویت می‌شود و ولتاژ خروجی آن را افزایش می‌دهد.

● با افزایش ولتاژ خروجی op-Amp ولتاژ بیس T_{R1} زیاد می‌شود و جریان امیتر را زیاد می‌کند.

● با زیاد شدن جریان امیتر، مقدار V_O افزایش می‌یابد. به این ترتیب کاهش V_O به صورت خودکار جبران می‌شود.

توجه کنید : عیب‌یابی در یک دستگاه همواره یک فرآیند علمی است. زمانی می‌توانید عیب‌یابی کنید که فرآیند عملکرد دستگاه را بدانید. فرآگیری این فرآیند در همین آموزش‌ها شروع می‌شود.

۸-۶-۲ - رابطه ولتاژ خروجی و اجزای مدار :
توجه به شکل ۸-۲۰ ولتاژ زنر که به عنوان ولتاژ مبنای بر ورودی مثبت op-Amp اتصال دارد را ولتاژ مقایسه (V_{REF}) می‌نامیم.

مثال ۷-۸: در شکل ۷-۲ در صورتی که $V_{in} = 15$ ولت و $V_Z = 4$ ولت باشد نسبت $\frac{R_2}{R_3}$ را طوری انتخاب کنید تا $V_O = 8$ ولت شود.

تا زمانی که افت ولتاژ در دوسر مقاومت R_S به حدود ۷٪ ولت نرسد؛ ترانزیستور TR_2 هدایت نمی‌کند. پس از این که ولتاژ دوسر مقاومت R_S نیز از ۷٪ ولت بیشتر شد، چون ولتاژ بیس امپیر ترانزیستور TR_2 نیز از ۷٪ ولت بیشتر می‌شود، این ترانزیستور هدایت می‌کند. در این حالت، به دلیل عبور جریان از کلکتور TR_2 ، جریان بیس ترانزیستور TR_1 نیز کم می‌شود و جریان بار، دیگر نمی‌تواند افزایش یابد. به این ترتیب، جریان بار محدود می‌گردد و ترانزیستور TR_1 محافظت می‌شود. جریان بار ماکزیمم در حد $I_{Lmax} = \frac{V}{R_S}$ محدود می‌گردد.

مثال ۸-۸: چنان‌چه در شکل ۸-۲۱ ترانزیستور TR_2 با ولتاژ بیس امپیر ۷٪ ولت هادی شود و بخواهیم جریان بار را در حد ۲۰۰ میلی‌آمپر محدود کنیم، مقدار مقاومت R_S را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$I_{Lmax} = \frac{V}{R_S}$$

$$200mA = \frac{V}{R_S}$$

$$R_S = \frac{V}{200mA} = \frac{V}{0.2} = 3/5\Omega$$

مثال ۸-۹: اگر $R_S = 1\Omega$ انتخاب شود حداکثر جریان عبوری از بار چند آمپر است؟ ولتاژ بیس امپیر را برای هدایت ۷٪ ولت در نظر بگیرید.

پاسخ:

$$R_S I_L = V_{BETR2}$$

$$I_{Lmax} = \frac{V_{BETR2}}{R_S}$$

$$I_{Lmax} = \frac{V}{1\Omega} = 0.7A$$

۸-۷- رگولاتور با فیدبک موازی (Basic Linear Shunt Regulator)

در شکل ۸-۲۲ بلوک دیاگرام کلی رگولاتور ولتاژ موازی

مثال ۷-۸: در شکل ۷-۲ در صورتی که $V_{in} = 15$ ولت و $V_Z = 4$ ولت باشد نسبت $\frac{R_2}{R_3}$ را طوری انتخاب کنید تا $V_O = 8$ ولت شود.

پاسخ: ابتدا رابطه V_O را می‌نویسیم: $V_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_Z$ مقادیر V_O و V_Z را در رابطه V_O قرار می‌دهیم.

$$\lambda = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) (4/7)$$

طرفین تساوی را بر ۴/۷ تقسیم می‌کنیم.

$$\frac{\lambda}{4/7} = 1 + \frac{R_2}{R_3}$$

$$1/7 = 1 + \frac{R_2}{R_3}$$

مقدار نسبت $\frac{R_2}{R_3}$ را به دست می‌آوریم.

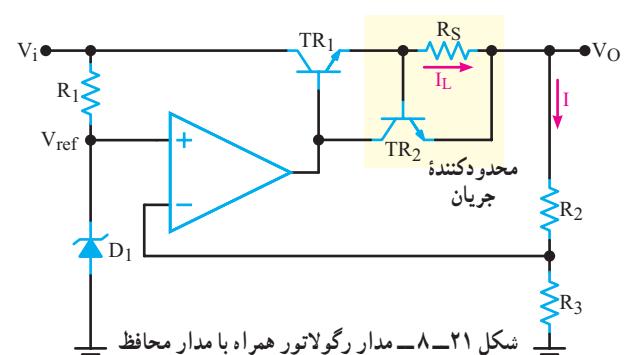
$$\frac{R_2}{R_3} = 1/7 - 1$$

$$\frac{R_2}{R_3} = 0.7$$

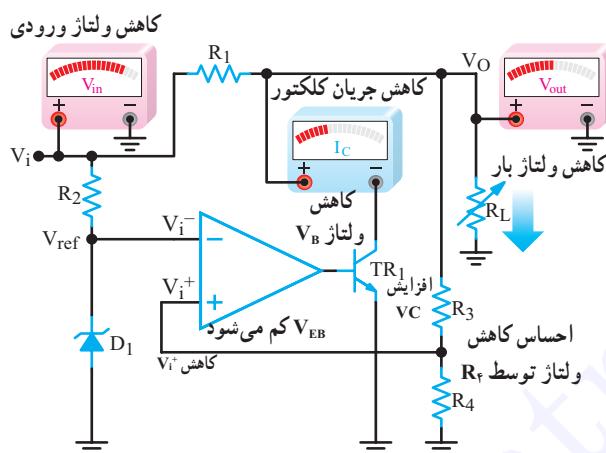
۸-۶-۳- مدار محافظ در مقابل اتصال کوتاه یا افزایش جریان بار

(Short Circuit or Over Load Protection)

اگر خروجی رگولاتور اتصال کوتاه شود جریان زیادی از ترانزیستور کنترل کننده جریان می‌گذرد و باعث خرابی آن می‌شود. به همین دلیل برای محافظت از ترانزیستور کنترل کننده جریان، معمولاً محافظ پیش‌بینی می‌کنند. ساده‌ترین نوع محافظ در شکل ۸-۲۱ نشان داده شده است. ترانزیستور TR_2 و مقاومت R_S ، مدار محافظ در مقابل اتصال کوتاه بار یا افزایش جریان بار هستند.

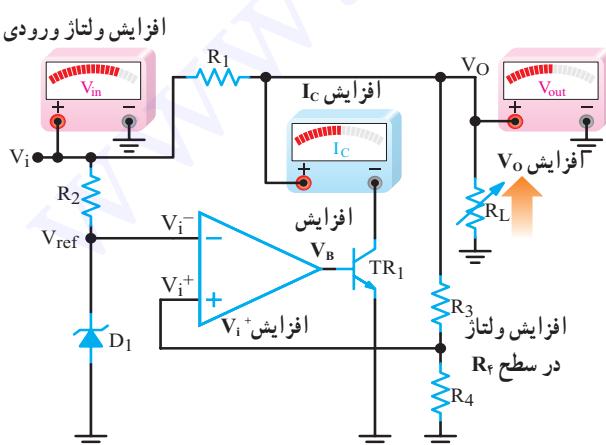


اگر به هر دلیلی ولتاژ ورودی کاهش یابد، ولتاژ خروجی نیز تمايل به کاهش پیدا می کند، این تمايل کاهش ولتاژ توسط مقاومت های (V_i^+) op-Amp و R_4 حس می شود و ولتاژ ورودی مثبت op-Amp را کاهش می دهد. با کاهش V_i^+ ، ولتاژ خروجی TR₁ را کاهش می دهد و جریان می شود و هدایت ترانزیستور₁ TR₁ را کاهش می دهد و جریان کلکتور TR₁ را کم می کند. با کم شدن $I_{C(TR1)}$ ولتاژ کلکتور امپیتر TR₁ افزایش می یابد. این ولتاژ همان ولتاژی است که به بار می رسد. به این ترتیب ولتاژ خروجی در حد تعیین شده ثابت می شود. شکل ۸-۲۵ کاهش ولتاژ ورودی و اثر آن در تعیین ولتاژ و جریان در نقاط مختلف مدار را نشان می دهد.



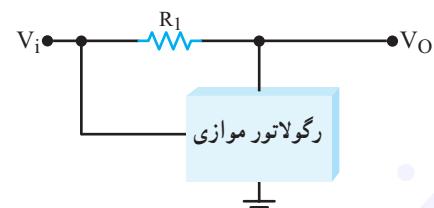
شکل ۸-۲۵- تغییرات در نقاط مختلف مدار در کاهش ولتاژ ورودی

چنان چه ولتاژ ورودی به هر دلیلی افزایش یابد، تغییرات در نقاط مختلف مدار بر عکس تغییرات مدار شکل ۸-۲۵ خواهد بود. در این حالت ولتاژ خروجی مطابق شکل ۸-۲۶ ثابت می شود.



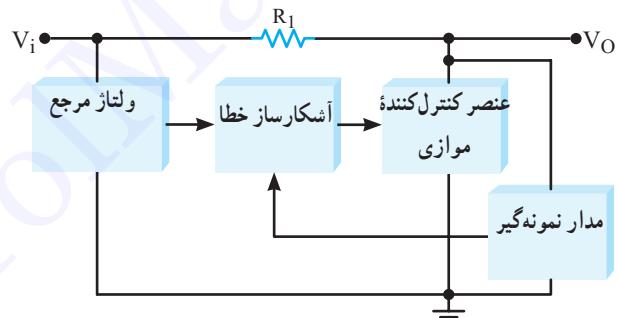
شکل ۸-۲۶- تغییرات در نقاط مختلف مدار در اثر افزایش ولتاژ ورودی

رسم شده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود، رگولاتور موازی هم وظیفه ثبت ولتاژ خروجی را به عنده دارد.



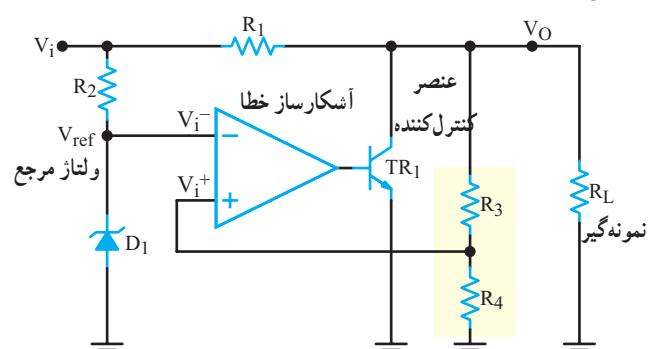
شکل ۸-۲۲- بلوك دیاگرام کلی رگولاتور موازی

در شکل ۸-۲۳ بخش های مختلف رگولاتور با فیدبک موازی را به صورت بلوک کی ملاحظه می کنید. اجزاء بلوك دیاگرام رگولاتور با فیدبک موازی کاملاً مشابه رگولاتور با فیدبک سری است. با این تفاوت که عنصر کنترل کننده جریان بار به صورت موازی با بار قرار می گیرد.



شکل ۸-۲۳- بلوك دیاگرام رگولاتور موازی

شکل ۸-۲۴ مدار رگولاتور با فیدبک موازی را نشان می دهد.

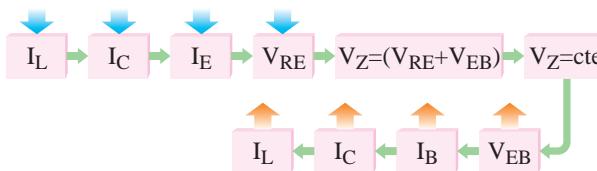


شکل ۸-۲۴- مدار رگولاتور ولتاژ موازی

در این مدار عنصر کنترل کننده و عبوردهنده جریان، ترانزیستور TR₁ است که با بار به صورت موازی قرار گرفته است.

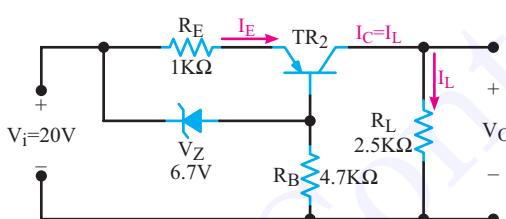
اگر $I_C = I_L$ به هر دلیلی کاهش باید، جریان $I_C \equiv I_L$ نیز کم می شود. کم شدن I_E افت ولتاژ دوسر R_E را کاهش می دهد. از سوی دیگر $V_Z = V_{RE} + V_{EB}$ است. می دانیم V_Z دارای مقداری ثابت است. بنابراین با توجه به رابطه $V_{EB} = V_Z - V_{RE}$ ، با کاهش مقدار V_{EB} زیاد می شود و هدایت ترانزیستور را بالا می برد و I_L را در سطح ثابت قرار می دهد.

مراحل ثبت جریان I_L را می توان به صورت زیر نیز نمایش داد:



مثال ۸-۲۹: در شکل ۸-۲۹ چنان‌چه V_{EB} برابر 7V است.

ولت باشد مطلوبست: (الف) محاسبه I_L ، (ب) محاسبه V_O



شکل ۸-۲۹- مدار رگولاتور جریان

پاسخ: می دانیم $R_E I_E + V_{EB} = V_Z$
با استفاده از رابطه فوق مقدار I_E را بر حسب سایر مقادیر

به دست می آوریم:

$$I_E = \frac{V_Z - V_{EB}}{R_E}$$

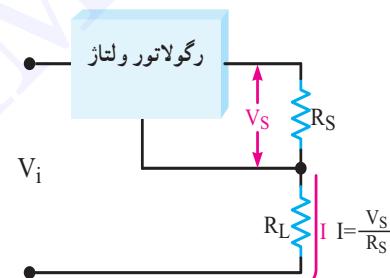
مقادیر را جایگزین می کنیم:

$$I_E = \frac{6 / 7 - 0 / 7}{1K\Omega} = 6\text{mA}$$

۸-۸- رگولاتور جریان

رگولاتور جریان مداری است که جهت ثابت نگهداشتن جریان بار جریان مصرف کننده به کار می رود. ثابت نگهداشتن جریان بار از طریق تغییر ولتاژ دوسر مقاومت بار صورت می گیرد. یعنی، در صورت افزایش مقاومت بار، ولتاژ بار نیز افزایش و با کاهش مقاومت بار، ولتاژ بار نیز کاهش می یابد. به این ترتیب در همه حالات جریان بار ثابت می ماند.

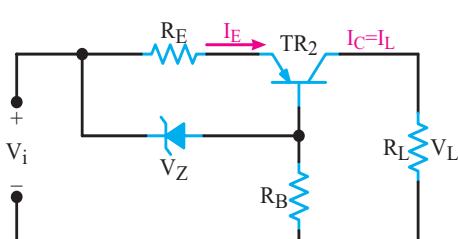
مدار رگولاتور جریان شامل یک رگولاتور ولتاژ است که ولتاژ دوسر یک مقاومت را ثابت نگه می دارد. در نتیجه، جریان عبوری از مقاومت ثابت است. در صورت سری کردن یک مقاومت با این مجموعه، جریان عبوری از مقاومت سری شده ثابت خواهد ماند. شکل ۸-۲۷ نقشه کلی رگولاتور جریان را نشان می دهد.



شکل ۸-۲۷- شماتیکی رگولاتور جریان

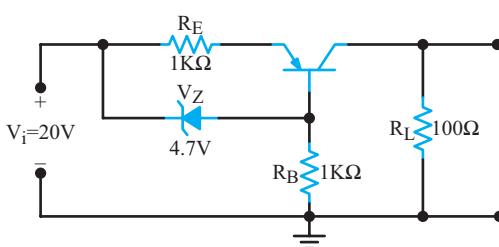
در این مدار مقاومت R_S در خروجی رگولاتور ولتاژ قرار دارد و مقاومت R_L با مجموعه رگولاتور ولتاژ و R_S سری شده است.

یک نمونه مدار رگولاتور جریان در شکل ۸-۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۸-۲۸- مدار رگولاتور جریان

۳) دو برابر می شود. ۴) چهار برابر می شود.



شکل ۸-۳۱

تشريحی و محاسباتی

۸-۹-۷ در صد تنظیم ولتاژ یک منبع dc را حساب کنید که ولتاژ ۱۰۰ ولت در حالت بی باری را به ۹۵ ولت در بار کامل می رساند.

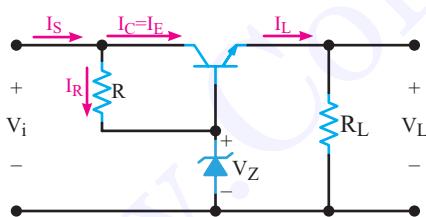
۸-۹-۸ در شکل ۸-۳۲ اگر $R_L = 1\text{ k}\Omega$ ، $R_s = 5\text{ k}\Omega$ باشد، مقادیر زیر را تعیین کنید.

(الف) V_L و I_L

(ب) جریان کلکتور ترازیستور؛

(پ) جریان عبوری از مقاومت R ؛

(ت) جریان منبع.



شکل ۸-۳۲

۸-۹-۹ در شکل ۸-۳۳ اگر $R_s = 2\text{ k}\Omega$ ، $R_L = 4\text{ k}\Omega$ ، $\beta = 50$ و $V_{BE} = 0.7\text{ V}$ باشد، مقادیر زیر را تعیین کنید.

(الف) ولتاژ V_L ؛ (ب) جریان I_L ؛
(پ) جریان منع که از R_s می گذرد؛
(ت) جریان زنر.

چون $I_E = I_C = I_L = 6\text{ mA}$ است بنابراین $I_L = 6\text{ mA}$ می شود.

مقدار ولتاژ خروجی از رابطه زیر به دست می آید :

$$V_o = R_L I_L = (2/5)(6)$$

$$V_o = 15$$

۸-۹-۹ - الگوی پرسش صحیح یا غلط

۸-۹-۱ تغییرات ولتاژ خروجی رگولاتور فقط در اثر تغییر بار یا تغییر ولتاژ ورودی ایجاد می شود.

صحیح □ غلط □

۸-۹-۲ رابطه در صد تنظیم ولتاژ به صورت

$$V_R = \frac{V_{ONL} - V_{OFL}}{V_{OFL}} \times 100\%$$

صحیح □ غلط □

کامل کردنی

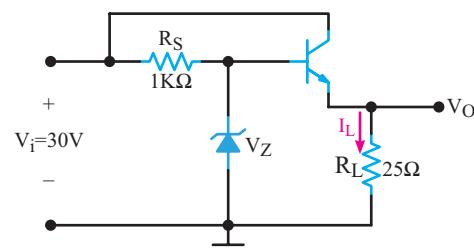
۸-۹-۳ در رگولاتور با فیدبک، نمونه کیر را به مدار برمی گرداند.

۸-۹-۴ مدار رگولاتور جریان شامل یک رگولاتور است که جریان مصرف کننده را

۸-۹-۵ در شکل ۸-۳۳ اگر $V_{BE} = 0.7\text{ V}$ ولت و $I_L = 0.5\text{ A}$ باشد ولتاژ زنر چند ولت است؟

۱) ۴/۳ ولت ۵) ۲ ولت

۲) ۶/۲ ولت ۳) ۵/۷ ولت



شکل ۸-۳۵

۸-۹-۶ در شکل ۸-۳۱ اگر R_L از 100Ω به 200Ω تغییر کند. جریان بار چه تغییری می کند؟ V_{EB} برابر 0.7 V ولت در نظر گرفته شود.

۱) نصف می شود. ۲) تغییر نمی کند.

۱۰-۸- تنظیم کننده‌های مجتمع سه سر

در اواخر سال‌های ۱۹۶۰ سازندگان مدارهای مجتمع (IC)، تولید تنظیم کننده ولتاژ را بر روی تراشه آغاز کردند. نسل اول این قطعات الکترونیکی آی‌اسی‌هایی مانند LM723 بودند که در آن‌ها یک دیود زنر، یک تقویت کننده با بهره بالا، یک محدود کننده جریان و چند مدار مفید دیگر تعییه شده بود. عیب تنظیم کننده‌های مجتمع اولیه این بود که به اجزای خارجی زیادی نیاز داشتند. باید ۸ پایه یا پیش‌تر برای بسته‌بندی آن‌ها پیش‌بینی می‌شد، زیرا با اتصال پایه‌های این قطعات به اجزای مختلف خارجی می‌توانستند به مشخصاتی مطلوب برسند.

جدیدترین نسل تنظیم کننده‌های ولتاژ مجتمع، فقط سه پایه برای اتصال به مدار دارند. یکی از این پایه‌ها برای اتصال به ولتاژ تنظیم نشده ورودی، اتصال دیگری برای ولتاژ تنظیم شده خروجی و سومی هم برای اتصال به زمین است.

تنظیم کننده‌های سه سر که به صورت قطعاتی با پوشش پلاستیکی یا فلزی به بازار آمده‌اند بسیار عمومیت دارند و بسیار ارزان عرضه می‌شوند و استفاده از این آی‌اسی‌ها به دلیل سه پایه بودن آسان است. مدار تنظیم کننده‌های ولتاژ سه‌سر تنها به وسیله حداکثر سه عدد خازن بای‌پاس خارجی کامل می‌شود. خازن‌ها در ورودی و خروجی رگولاتور نصب می‌شوند تا تغییرات ولتاژی را که در اثر نفوذ و دخالت فرکانس‌های ناخواسته به وجود می‌آید، از بین بینند.

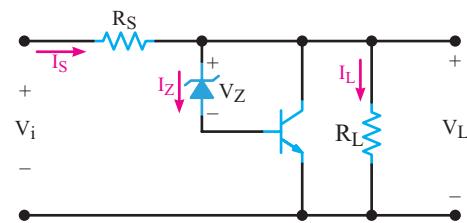
رگولاتورهای ولتاژ به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند :

- دسته‌ای از رگولاتورهایی که ولتاژ مثبت تهیه می‌کنند؛
- رگولاتورهای سری LM78XX در این دسته‌بندی قرار دارند.

نکته‌ مهم : معمولاً در ابتدا بعدها شماره XX

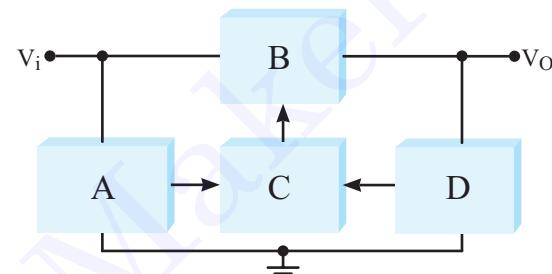
تعدادی حرف انگلیسی قرار می‌گیرد که این حروف مشخص کننده کارخانه سازنده است. مانند آی‌اسی ۵۷۸۰۵

در شکل ۸-۳۶ چگونگی قرار گرفتن رگولاتور در مدار به صورت بلوك دیاگرام نشان داده شده است.



شکل ۸-۳۳- منع تغذیه تشییت نشده

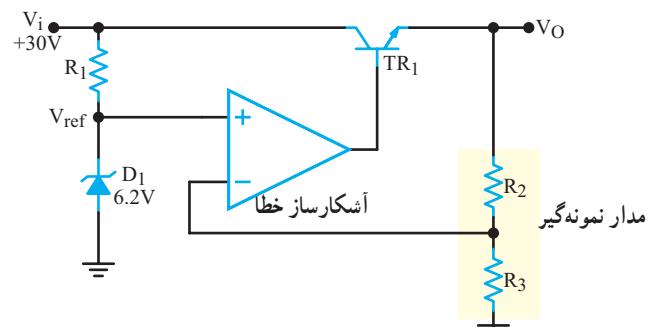
۸-۹-۱۰- نام بلوک‌های A، B، C و D را در رگولاتور ولتاژ سری شکل ۸-۳۴ بنویسید.



شکل ۸-۳۴

۸-۹-۱۱- مقدار مقاومت R_S را در رگولاتور شکل ۸-۲۱ طوری محاسبه کنید که جریان بار در ۲A محدود شود. ولتاژ بیس امیتر TR₂ در حال هدایت برابر با ۰/۶ ولت است.

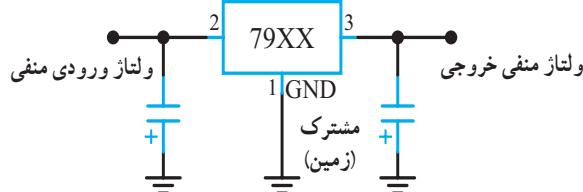
۸-۹-۱۲- در شکل ۸-۳۵ نسبت $\frac{R_2}{R_3}$ را طوری محاسبه کنید که ولتاژ خروجی رگولاتور روی ۱۲ ولت ثابت شود.



شکل ۸-۳۵- مدار نمونه گیر

در شکل ۸-۳۸ مدار این نوع آی‌سی‌ها به صورت بلوک

دیاگرام رسم شده است.



شکل ۸-۳۸—بلوک دیاگرام آی‌سی رگولاتور منفی

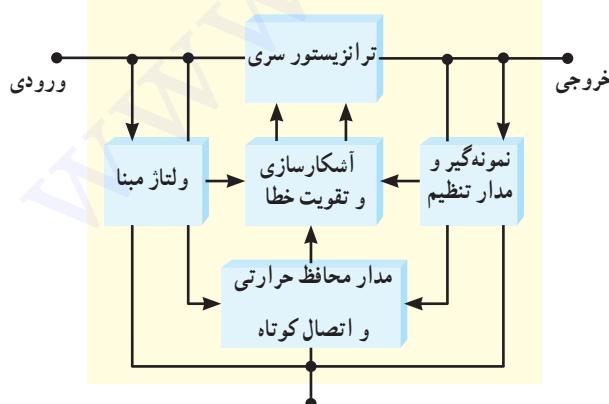
در جدول ۸-۲ سایر شماره‌های این نوع آی‌سی‌های رگولاتور و ولتاژ خروجی هر یک از آن‌ها مشخص شده است.

جدول ۸-۲

Type number	Output voltage
7905	-5.0 V
7905.2	-5.2 V
7906	-6.0 V
7908	-8.0 V
7912	-12.0 V
7915	-15.0 V
7918	-18.0 V
7924	-24.0 V

۸-۱۰—بلوک دیاگرام مدار داخلی آی‌سی

سری (۷۸XX) : در شکل ۸-۳۹ بلوک دیاگرام مدار داخلی سری ۷۸XX را مشاهده می‌کنید.



شکل ۸-۳۹—بلوک دیاگرام مدار داخلی آی‌سی

دور قم آخر در شماره آی‌سی ولتاژ خروجی آن را مشخص می‌کند. مثلاً آی‌سی رگولاتور ۷۸۰۵ ولتاژ خروجی رگوله شده $+5$ ولت را فراهم می‌کند. ولتاژ خروجی این سری آی‌سی‌ها عموماً $+4 \pm 5\%$ درصد خطأ دارند. برای مثال ولتاژ خروجی آی‌سی ۷۸۰۵ ممکن است $+4.8$ ولت تا $+5.2$ ولت باشد. یادآور می‌شود که مقدار ولتاژ در این محدوده کاملاً ثابت و تنظیم شده است. در جدول ۸-۱ سایر شماره‌های این نوع آی‌سی‌های رگولاتور و ولتاژ خروجی هر یک از آن‌ها مشخص شده است.

جدول ۸-۱

Type number	Output voltage
7805	+5.0 V
7806	+6.0 V
7808	+8.0 V
7809	+9.0 V
7812	+12.0 V
7815	+15.0 V
7818	+18.0 V
7824	+24.0 V

در شکل ۸-۳۷ دو نمونه بسته‌بندی این سری آی‌سی‌ها را مشاهده می‌کنید.



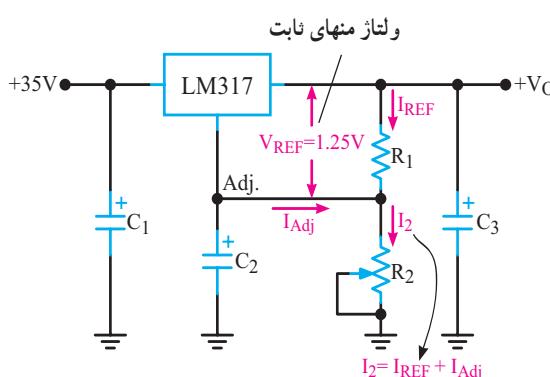
شکل ۸-۳۷—دو نمونه بسته‌بندی

• تنظیم کننده‌هایی که فقط ولتاژ منفی تهیه می‌کنند؛ رگولاتورهای

سری ۷۹XX در این بسته‌بندی قرار دارند.

این آی سی می تواند به بار بدده ۱/۵ آمپر است.

۸-۱۱-۱—نحوه عملکرد مدار : همان طوری که در شکل ۸-۴۱ مشاهده می شود، به وسیله آی سی رگولاتور، ولتاژ مبنای ثابتی برابر با ۱/۲۵ ولت بین پایه خروجی و پایه قابل تنظیم آی سی ایجاد می شود.



شکل ۸-۴۱—مقدار ولتاژ مقایسه (مرجع) در مدار آی سی رگولاتور متغیر

این ولتاژ را ولتاژ مرجع (V_{REF}) می نامیم.

$$V_{REF} = V_{REFERENCE} = 1/25 \text{ V}$$

مقدار ولتاژ مبنای ثابت (V_{REF}) جریان ثابتی را از مقاومت R_1 که آن را I_{REF} می نامیم، عبور می دهد. مقدار این جریان از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$I_{REF} = \frac{V_{REF}}{R_1} = \frac{1/25}{R_1}$$

در شرایط عادی جریان بسیار ناچیزی در حدود ۵۰ میکروآمپر از پایه قابل تنظیم آی سی رگولاتور و مقاومت R_2 عبور می کند. این جریان را I_{ADJ} می نامیم. با توجه به شکل مجموع جریان های I_{REF} و I_{ADJ} از مقاومت R_2 عبور می نماید.

$$I_{R2} = I_{REF} + I_{ADJ}$$

جریان I_{R2} در دو سر مقاومت R_2 افت ولتاژی را به وجود می آورد. مجموعه این افت ولتاژ و V_{REF} ولتاژ خروجی را تشکیل می دهد.

۸-۱۱-۲—رابطه ولتاژ خروجی و اجزای مدار :

با توجه به شکل می توانیم بنویسیم :

$$V_{out} = V_{REF} + V_{R2}$$

در این مدار جریان بار از ترازتیستور سری می گذرد.

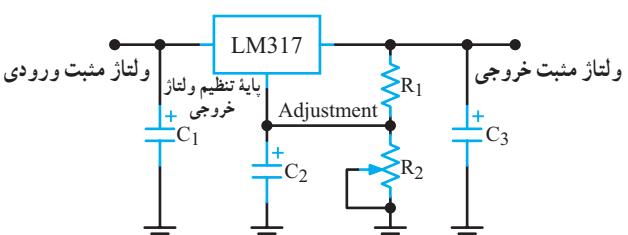
چنان‌چه دمای داخلی رگولاتور تا حد خطرناکی بالا رود، به دلیل وجود مدار محافظه حرارتی و اتصال کوتاه، مدار به طور خودکار به حالت خاموش می رود. این عمل یک اقدام احتیاطی برای جلوگیری از اتلاف بیش از حد توان مجاز و آسیب رسیدن به رگولاتور است. درجه حرارتی که مدار در آن عمل می کند بستگی به دمای محیط، ظرفیت گرمایگر و سایر متغیرها دارد. سایر قسمت‌ها مشابه رگولاتور سری با فیدبک است.

۸-۳۹—فعالیت خارج از کلاس :

بلوک دیاگرام شکل ۸-۳۹ را تحلیل کنید و نتایج به دست آمده را به کلاس ارائه دهید.

۸-۱۱-۳—رگولاتور ولتاژ خطی قابل تنظیم مثبت (Adjustable Positive Linear Voltage Regulator)

آی سی LM317 یک نمونه آی سی رگولاتور مثبت قابل تنظیم سه پایه است که ولتاژ خروجی آن می تواند بین ۱/۲۵ ولت تا ۳۷+ ولت تغییر کند. نقشه مدار استاندارد این آی سی در شکل ۸-۴۰ رسم شده است.



شکل ۸-۴۰—نقشه مداری رگولاتور قابل تنظیم

آی سی دارای سه پایه ورودی (Input)، خروجی (outPut) و پایه قابل تنظیم (Adjustment) است. مقاومت ثابت R_1 و مقاومت متغیر R_2 برای تنظیم سطح و تعیین مقدار بیشینه ولتاژ خروجی در مدار به کار می روند.

همان‌طور که اشاره شد ولتاژ خروجی آی سی LM ۳۱۷ می تواند بین ۱/۲ ولت تا ۳۷ ولت تغییر کند. حداکثر جریانی که

پاسخ:

اف و لتاژ دو سر مقاومت R_2 از رابطه زیر محاسبه

می شود.

$$V_{R2} = (I_{REF} + I_{ADJ})R_2$$

در رابطه بالا به جای I_{REF} معادل آن را قرار می دهیم:

$$I_{REF} = \frac{V_{REF}}{R_1}$$

رابطه نهایی به صورت زیر در می آید:

$$V_{R2} = \frac{V_{REF}}{R_1} \times R_2 + I_{ADJ}R_2$$

با جمع کردن مقادیر V_{REF} و V_{R2} می توان ولتاژ خروجی را از رابطه زیر محاسبه کرد:

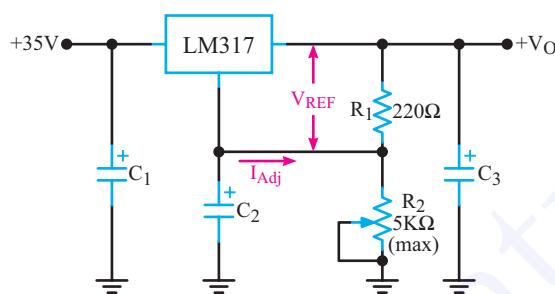
$$V_{out} = V_{REF} + \frac{V_{REF}}{R_1} \times R_2 + I_{ADJ}R_2$$

رابطه را ساده می کنیم:

$$V_{out} = V_{REF}(1 + \frac{R_2}{R_1}) + I_{ADJ}R_2$$

اگر از I_{ADJ} صرفنظر کنیم رابطه به صورت زیر در می آید:

$$V_{out} = V_{REF}(1 + \frac{R_2}{R_1})$$

چنانچه مقدار R_2 را تغییر دهیم می توانیم ولتاژ خروجی را بین $1/25$ و $1/25 + 1/25 = 2/25$ با فرض $I_{ADJ} = 5 \mu A$ تغییر دهیم.مثال ۸-۱۱: در شکل ۸-۴۲ با فرض $I_{ADJ} = 5 \mu A$ ، $R_1 = 240 \Omega$ ، $R_2 = 2/4 K\Omega$ و $V_{REF} = 1/25 V$ مقدار ولتاژ V_o را محاسبه کنید.

شکل ۸-۴۳-۱۷- مدار با آی سی رگولاتور LM317

پاسخ: ولتاژ دو سر مقاومت R_1 برابر است با:

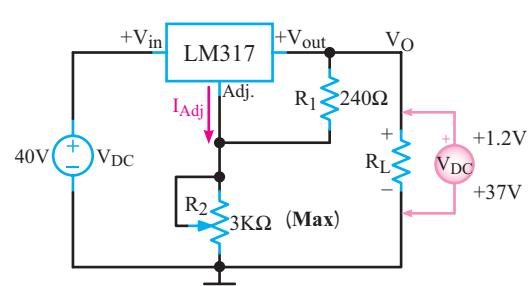
$$V_{R1} = V_{REF} = 1/25$$

وقتی R_2 در مقدار مینیمم خود یعنی $2/4 K\Omega$ تنظیم است ولتاژ خروجی مینیمم مقدار خود را دارد، زیرا:

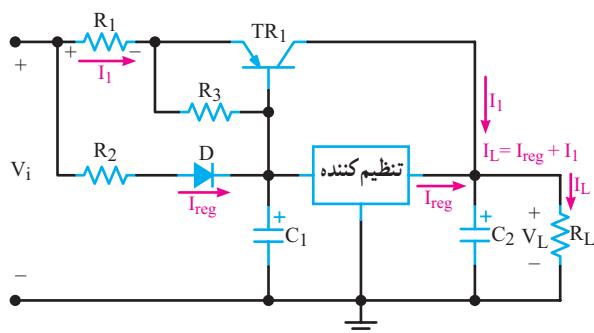
$$V_{out} = V_{REF}(1 + \frac{R_2}{R_1}) + I_{ADJ} \times R_2$$

$$V_{out} = V_{REF}(1 + \frac{2/4 K\Omega}{240 \Omega}) + I_{ADJ} \times 240 \Omega$$

$$V_{out} = V_{REF} = 1/25$$

چنانچه مقدار R_2 در ماکریم مقدار خود یعنی $5 K\Omega$ قرار گیرد، ولتاژ خروجی ماکریم می شود.

شکل ۸-۴۲



شکل ۸-۴۵- مدار تأمین جریان اضافی بار

اگر جریان حد تأمین شده توسط آی سی را I_{REG} بنامیم جریان بار (I_L) از دو جریان I_{REG} و I_1 به دست می‌آید. با اتصال ولتاژ V_{in} به ورودی مدار و برقراری جریان I_{REG} ، افت ولتاژی در دو سر مقاومت R_2 پدید می‌آید که این افت با ولتاژ دو سر دیود D، ولتاژ هدایت ترانزیستور TR₁ را فراهم می‌کند. مقدار جریانی که از امیتر₁ TR₁ عبور می‌کند توسط مقاومت R_1 و افت ولتاژ دو سر آن تعیین می‌شود. افت ولتاژ دو سر مقاومت R_1 توسط ولتاژ دو سر R_2 کنترل می‌گردد زیرا مجموعه مقاومت R_1 و امیتر بیس TR₁ با مجموعه مقاومت R_2 و دیود D موازی است. بنابراین می‌توانیم بنویسیم :

$$R_1 I_1 + V_{EB(TR_1)} = R_2 I_{REG} + V_D$$

چون جنس دیود بیس امیتر با جنس دیود D مشابه است لذا ولتاژ موافق دیود (V_D) با ولتاژ موافق (V_{EB}) برابر می‌شود :

$$V_{EB(TR_1)} = V_D$$

از طرفین معادله فوق اگر $V_{EB(TR_1)}$ و V_D را حذف کنیم رابطه به صورت زیر در می‌آید :

$$R_1 I_1 = R_2 I_{REG}$$

با انتخاب مقادیر R_1 و R_2 می‌توانیم I_1 و جریان مورد نیاز

بار را تنظیم کنیم زیرا

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1} \times I_{REG}$$

مثال ۸-۱۳ : در مدار شکل ۸-۴۵ R_1 را طوری انتخاب کنید که جریان بار مساوی ۲ آمپر باشد. $I_{REG} = ۰/۵$ A و $R_2 = ۱\Omega$ در نظر بگیرید.

$$V_{out(max)} = V_{REF}(1 + \frac{R_2}{R_1}) + I_{ADJ} \times R_2$$

$$V_{out(max)} = ۱/۲۵(1 + \frac{۵K\Omega}{۲۲\Omega}) + (۵\mu A) \times ۵K\Omega$$

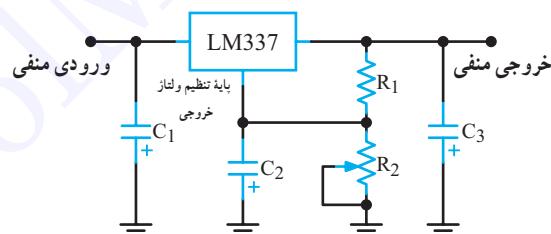
$$V_{out(max)} = ۲۹/۶۶V + ۰/۲۵V = ۲۹/۹V$$

بنابراین ولتاژ خروجی بین ۱/۲۵ ولت تا ۲۹/۹ ولت تغییر می‌کند.

۸-۱۱-۳- رگولاتور ولتاژ خطی قابل تنظیم منفی

(Adjustable Negative Linear Voltage Regulator) :

آی سی LM337، یک آی سی رگولاتور ولتاژ منفی است که ولتاژ خروجی آن می‌تواند بین ۱/۲ ولت تا ۳۷۷ ولت تغییر کند. پایه‌های این آی سی و یک نمونه نقشه مدار استاندارد آن در شکل ۸-۴۴ رسم شده است :



شکل ۸-۴۴- آی سی رگولاتور با ولتاژ خروجی منفی

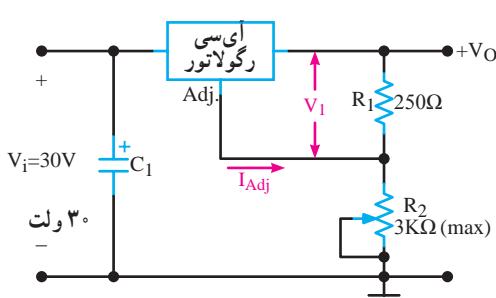
این آی سی نیز مانند آی سی LM317 برای تنظیم ولتاژ خروجی به دو مقاومت R_1 و R_2 نیاز دارد. محاسبات ولتاژ خروجی این مدار مشابه محاسبات آی سی رگولاتور LM317 است.

۸-۱۲- افزایش جریان بار به بیش از جریان حد آی سی رگولاتور

ماکریم جریان خروجی آی سی های رگولاتور ولتاژ محدود است و چنانچه بار به جریان بیشتری نیاز داشته باشد می‌توانیم از مدار شکل ۸-۴۵ استفاده کنیم. در این مدار ترانزیستور TR₁ جریان بیشتری را برای بار تأمین می‌کند.

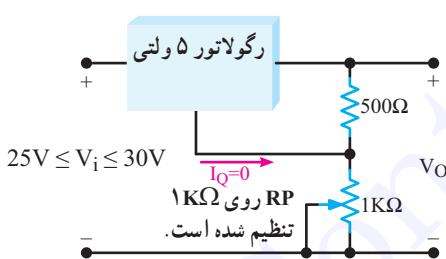
۱۳-۵ - در شکل ۸-۴۷ اگر $V_1 = ۱/۲۵$ ولت و $I_{ADJ} = ۱۰۰$ میکروآمپر باشد حداکثر V_O چند ولت است؟

16/25V-2 10V-1
3.V-4 16/50V-3



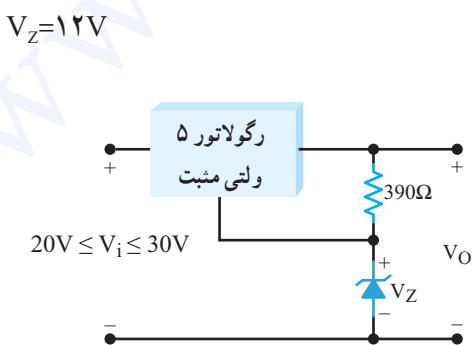
شکل ۴۷-۸

۱۳-۸-۴۸ در شکل ۸-۴۸ ولتاژ خروجی چند ولت است؟ آی سی از نوع رگولاتور ۵ ولتی مثبت است.



۴۸

۷-۱۳-۸-۴۹-۸- ولتاژ خروجی چند ولت در شکل



شکل ۴۹-۸

پاسخ: جریان عبوری از امیتر TR_1 که همان جریان عبوری از مقاومت R_1 است. باید برابر $I_{REG} = 1/5A = 200mA$ باشد. با داشتن I_{REG} و R_2 ، می‌توانیم مقدار R_1 را محاسبه کنیم:

$$R_1 = R_\gamma \times \frac{I_{REG}}{I_\gamma} = 1.0 \times \frac{^{\circ}/\textcircled{\$}}{1/\textcircled{\$}}$$

$$R_s = \gamma/\gamma \Omega$$

۱۳۔ الگوی پرسش

۱۳-۸- آی‌سی‌های سری ۷۸XX رگولاتورهای ولتاژ ثابت هستند.

□ غلط □ صحيح

۲-۱۳-۸- ولناز خروجی آئی سی رگولاتور ۷۹۱۵ برابر +۱۰ ولت است.

غلط **صحيح**

چهار گزینه‌ای

۱۳-۸- ولتاژ خروجی کدام آی سی رگولاتور بین ۱/۲-۳۷- ولت قابل تنظیم است؟

LM۳۱۷_۲

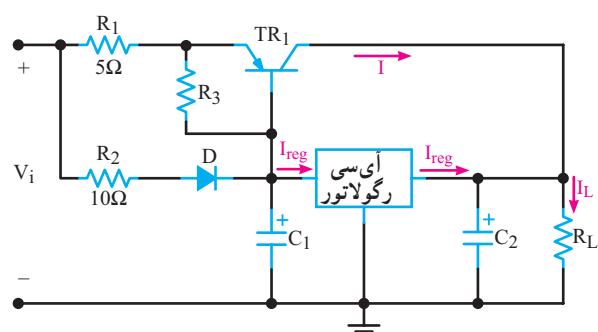
ANV910_4 ANV8.0_3

اگر در شکل I_L باشد $I_{reg} = ۴۶ - ۸ - ۱۳ - ۴$ °/۵A

چند آمپر است؟

◎/DA-1

۱۰۸-۲



٤٦-٨

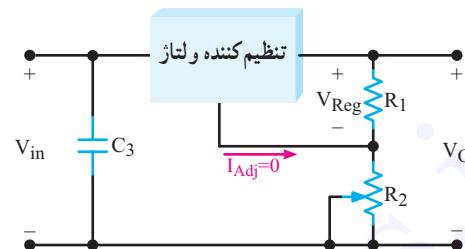
۸-۱۳-۹- مدار شکل ۸-۵۱ مربوط به منع تعذیه متغیر عملی با آی سی ۷۸۰۹ است:

(الف) ولتاژ ثبیت شده خروجی آی سی رگولاتور چند

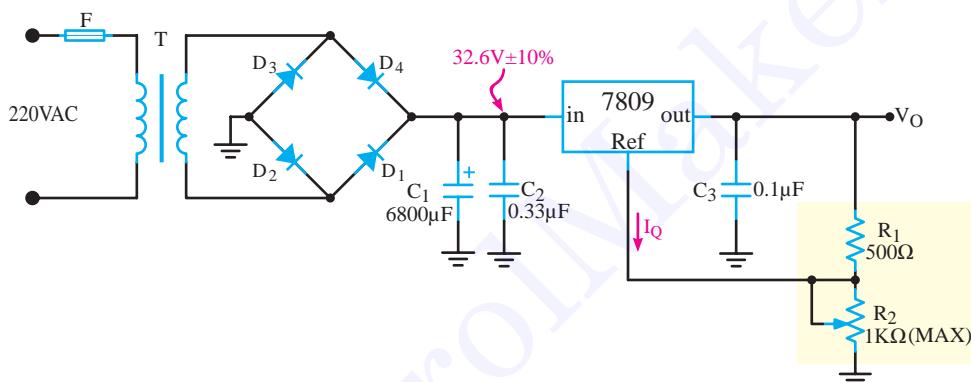
ولت است؟

(ب) حداقل و حداکثر ولتاژ خروجی مدار را محاسبه کنید. $I_Q = 0$ در نظر گرفته شود.

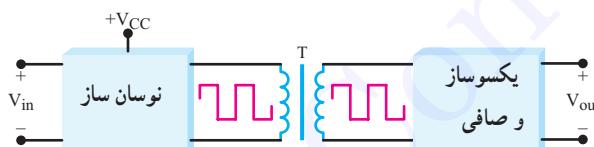
۸-۱۳-۸- اگر در شکل ۸-۵۰، $R_1 = 24\Omega$ و $R_2 = 3\Omega$ و $V_{Reg} = 12V$ باشد، با تغییر R_1 مقادیر حداقل و حداکثر V_O چند ولت است؟



شکل ۸-۵۰



شکل ۸-۵۱



شکل ۸-۵۲- بلوک دیاگرام مبدل DC به DC

معمولًاً مقدار فرکانس نوسان‌ساز بین ۱KHz تا ۱۰۰KHz است. هر چه فرکانس پیش‌تر باشد، ترانسفورماتور و اجزای صافی آن کوچک‌می‌شوند. از سوی دیگر، اگر فرکانس خیلی بالا باشد، تولید موجی مربعی کامل (لبه‌های بالا رونده یا پایین رونده با زاویه ۹۰° درجه) دشوار می‌شود. تجربه نشان داده است که فرکانس ۲۰KHz بهترین حالت برای تولید موج مربعی است. با انتخاب نسبت مناسب برای ترانسفورماتور، ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور می‌تواند کوچک‌تر یا بزرگ‌تر شود. برای بالا بردن کارآیی ترانسفورماتور، معمولًاً از

۸-۱۴- مبدل dc به dc

گاهی نیاز داریم که یک ولتاژ dc را به ولتاژ dc دیگری تبدیل کنیم. برای مثال اگر سیستمی با یک منبع تعذیه مثبت +5V داشته باشیم، به کمک یک مبدل dc به dc می‌توانیم ولتاژ خروجی +15VDC را تولید کنیم در این صورت می‌توانیم دو منبع تعذیه با ولتاژ‌های +5V و +15V را داشته باشیم. طرح‌های گوناگونی برای مبدل‌های dc به dc وجود دارد. این بخش، درباره یک طرح ویژه به طور اجمالی بحث می‌کنیم تا بتوانیم ایده‌ای از چگونگی کار مبدل‌های dc به dc کسب کنیم.

۸-۱۴-۱- ایده اولیه: در اکثر مبدل‌های dc به dc، ولتاژ dc ورودی به یک نوسان‌ساز موج مربعی داده می‌شود که خروجی آن سیم پیچ اولیه یک ترانسفورماتور را تحریک می‌کند. شکل ۸-۵۲ بلوک دیاگرام مبدل DC به DC را نشان می‌دهد.

TR_2 و TR_3 داده می‌شود. ترانزیستور TR_2 یک نیم پریوود و TR_3 در نیم پریوود دیگر هدایت می‌کنند. موجی که از سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور T خارج می‌شود، ابتدا به یکسو ساز پل و سپس به صافی خازنی می‌رسد. چون سیگنال خروجی ترانسفورماتور به شکل مربعی و فرکانس آن بر حسب کیلوهرتز است یکسو سازی و صاف کردن آن آسان صورت می‌گیرد.

به این ترتیب ولتاژ DC تنظیم نشده، برای ورود به یک تنظیم کننده سه سر آماده می‌شود. در این حالت ولتاژ خروجی نهایی ولتاژی DC است که مقدار آن با مقدار ورودی تفاوت دارد.

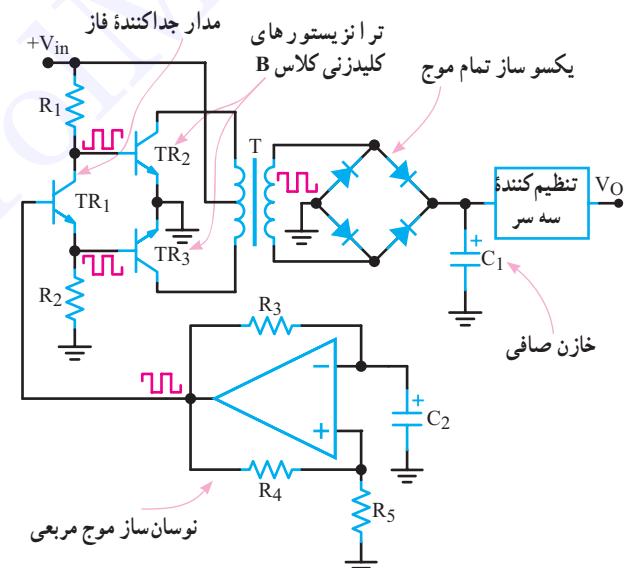
آیا می‌دانید: امروزه اکثر منابع تغذیه از نوع کلیدزنی (سوئیچینگ) است زیرا استفاده از این نوع منابع علاوه بر کم حجم شدن دستگاه، از میزان تلفات آن می‌کاهد و کارآیی آن را بالا می‌برد.

۱۵-۸-اساس کار رگولاتورهای کلیدزنی (سوئیچینگ) (Basic Switching Regulators)

در منابع تغذیه خطی، توان زیادی تلف می‌شود که در صد بالای از این تلفات به صورت حرارت است. تلفات زیاد توان سبب کاهش راندمان در حدی کمتر از 4° در صد می‌شود. در حالت کلی این منابع ثابت خوبی دارند، میزان نویز و ضربان ولتاژ خروجی آن‌ها کم است و اکثر آن‌زایهای ما را برآورده می‌کنند. راندمان پایین منابع تغذیه خطی موجب شده است که علاوه بر مصرف انرژی الکتریکی زیاد، در توان‌های نسبتاً بالا نیاز به وسایل خنک کننده مانند رادیاتور و بروانه (فن) داشته باشند. همچنین ابعاد و حجم ترانسفورماتور به کار رفته در این منابع تغذیه بزرگ است. بنابراین با توجه به کوچک و فشرده شدن دستگاه‌های مدرن الکتریکی در عصر حاضر، منابع تغذیه خطی نمی‌توانند مناسب باشند. جایگزین منابع تغذیه خطی، منابع تغذیه سوئیچینگ هستند که تا حدودی معایب منابع تغذیه خطی را برطرف می‌نمایند. در شکل ۱۵-۸-۱ بلوک دیاگرام ساده یک نوع منبع تغذیه سوئیچینگ را ملاحظه می‌کنید.

ترانسفورماتوری استفاده می‌شود که هسته چنبره‌ای دارد. با این روش ولتاژ ثانویه به شکل موجی مربعی کامل در می‌آید. در این حالت ولتاژ مربعی ثانویه را یکسو و صاف می‌کنند و آن را به ولتاژ dc تبدیل می‌نمایند. صاف کردن این سیگنال‌ها نسبتاً آسان است. یکی از متداول‌ترین انواع مبدل‌های DC به DC، مبدل $+5V$ به $+15V$ است. ولتاژ $+5V$ ولتاژ منبع تغذیه استاندارد برای اکثر مدارهای مجتمع و سامانه‌های دیجیتالی است. تعدادی از مدارهای مجتمع، مانند تقویت کننده‌های عملیاتی نیز وجود دارند که ولتاژ تغذیه آن‌ها $+15V$ است. برای این نوع مدارها، معمولاً از یک مبدل DC به DC توان کم و ولتاژهای خروجی $+15V$ و $-15V$ استفاده می‌کنیم.

برای این‌که از چگونگی کارکرد این نوع مبدل ایده‌ای به دست آورید به مدار شکل ۱۵-۸-۱ که طرح کلی مبدل DC به DC را نشان می‌دهد، توجه کنید.

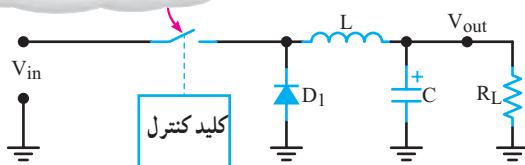


شکل ۱۵-۸-۱ طرح کلی مبدل DC به DC

حال ببینیم این مدار چگونه کار می‌کند؟ موج مربعی توسط یک نوسان‌ساز مربعی تولید می‌شود که فرکانس آن را مقادیر R_3 و C_2 تعیین می‌کنند. معمولاً این فرکانس بر حسب کیلوهرتز است. این موج مربعی به مدار جداکننده فاز TR_1 می‌رسد. خروجی‌های ترانزیستور TR_1 دو موج مربعی با دامنه مساوی و فاز مخالف هم است. این موج‌های مربعی به ترانزیستورهای کلیدزنی کلاس B

در شکل ۸-۵۶ مدار معادل ساده آن را مشاهده می کنید.

ترانزیستور معادل یک کلید عمل می کند.



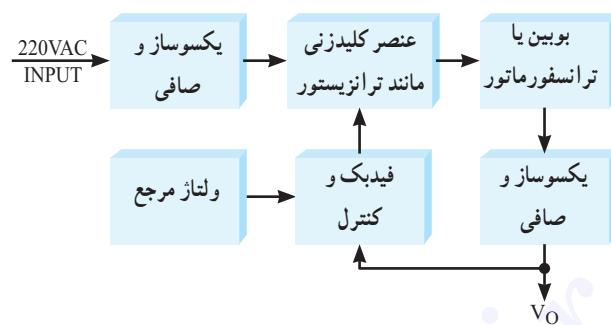
شکل ۸-۵۶— مدار ساده شده منبع تغذیه سوئیچینگ

در این شکل یک نوسان‌ساز با عرض پالس متغیر، قطع و وصل ترانزیستور کلیدی را کنترل می کند. به این ترتیب رشتته‌ای از پالس متغیر به بیس ترانزیستور وارد می شود. هرگاه دامنه پالس‌های ورودی، در تراز بالا باشد، ترانزیستور به اشباع می رود. همچنین هنگامی که ولتاژ پالس‌های ورودی به بیس، در تراز پایین قرار گیرد، ترانزیستور به حالت قطع می رود.

ایده اصلی این است که ترانزیستور مانند کلید عمل می کند. در شرایط ایده‌آل، هنگامی که کلیدی بسته یا باز (وصل یا قطع) باشد، هیچ‌گونه توانی تلف نمی شود. یادآور می شود که در عمل کلید ترانزیستوری نمی تواند به طور کامل عمل کند. بنابراین همیشه مقداری توان تلف می شود. اما توان تلف شده خیلی کم تراز توانی است که یک منبع تغذیه خطی تلف می کند. همان‌طور که ملاحظه می شود دیود D₁ بین امپیر و زمین قرار دارد. به علت ایجاد ولتاژ القایی معکوس توسط سیم پیچ L، اتصال این دیود ضروری است. بیوین L جریان مدار را ثابت نگه می دارد. هنگامی که ترانزیستور قطع می شود، دیود D₁ مسیری را برای عبور جریان القایی مخالف در بیوین، آماده می سازد. بدون دیود ولتاژ معکوس آن قدر بالا می رود که ترانزیستور را تخریب می کند.

۸-۱۵-۲ چرخه کار (Duty Cycle) : در یک پالس مطابق شکل ۸-۵۷ نسبت زمان وصل پالس (یا پهنهای پالس) (W) به زمان تنابوب (T) را چرخه کار یا Duty Cycle (دیوتی سایکل) می گویند و آن را با D نشان می دهند.

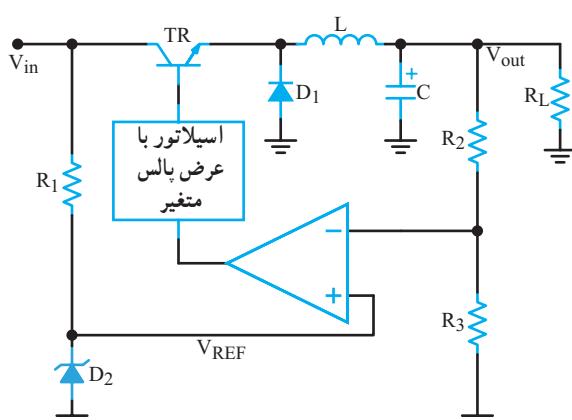
$$D = \frac{W}{T} = \frac{\text{پهنهای پالس}}{\text{زمان تنابوب}}$$



شکل ۸-۵۴— بلوك دياگرام ساده يك نوع منبع تغذيه سوئیچینگ

در این بلوك دياگرام، ابتدا ولتاژ متناوب ورودی یکسو و صاف می شود تا ولتاژ DC مورد نیاز را تولید کند. این ولتاژ به عنصر کلیدزنی (سوئیچینگ) داده می شود تا موج مربعی با فرکانس زیاد را به وجود آورد. موج مربعی از یک بیوین یا ترانسفورماتور کاهنده عبور می کند و پس از یکسو سازی و عبور از صافی ولتاژ DC مورد نیاز را تهیه می نماید. برای کنترل و تثبیت ولتاژ خروجی، بخشی از این ولتاژ نمونه برداری و با ولتاژ مرجع مقایسه می شود. پس از مقایسه، سیگنال خطای ایجاد شده، زمان قطع و وصل سوئیچ را کنترل می کند. با توجه به اینکه سوئیچ به طور دائم در حال قطع و وصل است تلفات مدار بسیار کم می شود و راندمان منبع تغذیه را افزایش می دهد و به حدود ۷۰° تا ۸۰° درصد می رساند. همچنین به سبب کار در فرکانس بالا (حدوداً ۲۰ KHz) حجم بیوین یا ترانسفورماتور بسیار کوچک می شود.

۸-۱۵-۱ ایده اصلی درباره چگونگی کار مدار منبع تغذیه سوئیچینگ : در شکل ۸-۵۵ بخش‌های اساسی یک منبع تغذیه سوئیچینگ رسم شده است.



شکل ۸-۵۵— یک نمونه مدار منبع تغذیه سوئیچینگ

ب و پ چند حالت پالس را با چرخه کار متفاوت و زمان شارژ و دشارژ خازن مشاهده می کنید.

خاموش روشن کنترل خاموش و روشن

TR_1 On/Off Control

(الف) ولتاژ خروجی به چرخه کار پالس بستگی دارد.

کنترل خاموش و روشن

TR_1 On/Off Control

(ب) افزایش چرخه کار پالس، ولتاژ خروجی را افزایش می دهد.

کنترل خاموش و روشن

TR_1 On/Off Control

(ب) کاهش چرخه کار پالس، ولتاژ خروجی را کاهش می دهد.

کنترل خاموش و روشن

TR_1 On/Off Control

(ب) کاهش چرخه کار پالس، ولتاژ خروجی را کاهش می دهد.

شکل ۸-۵۸-پالس های با چرخه کار متفاوت و میزان ولتاژ خروجی

در پالس های تسان داده شده در شکل ۸-۵۸-ب، در زمان

(T_{ON}) ترانزیستور TR_1 وصل و خازن C شارژ می شود. در

زمان (T_{off}) ترانزیستور TR_1 قطع و خازن C تخلیه می گردد.

مشاهده می شود زمان روشن بودن ترانزیستور (T_{on}) (ON Time = T_{on})

بیشتر از زمان خاموش بودن ترانزیستور (T_{off}) (Off Time = T_{off}) است.

یعنی در این حالت چرخه کار بیشتر است و خازن بیشتر شارژ

می شود و ولتاژ خروجی را افزایش می دهد.

در شکل ۸-۵۸-پ، زمان روشن بودن ترانزیستور

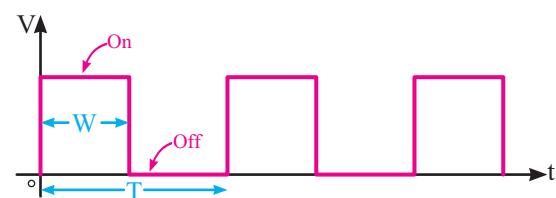
(T_{ON}) نسبت به زمان خاموش بودن (T_{off}) آن کمتر است (یعنی

چرخه کار کمتر). در این حالت خازن بیشتر تخلیه می شود و

ولتاژ خروجی را کاهش می دهد. با توجه به توضیحات بالا تغییر

چرخه کار، ولتاژ خروجی را کم و زیاد می کند و در نهایت ولتاژ

خروجی را ثابت نماید.



شکل ۸-۵۷-پالس و زمان قطع و وصل آن

با تغییر چرخه کار پالس، می توان ولتاژ را که به صافی LC وارد می شود و در نهایت ولتاژ DC خروجی را کنترل نمود. ولتاژ خروجی صافی LC که یک ولتاژ DC با ضربان بسیار کم است، از رابطه زیر به دست می آید.

$$V_{out} = DV_{in}$$

بنابراین با توجه به رابطه فوق، هر تغییری که در V_{in} به وجود می آید می خواهد سبب تغییر در V_{out} شود. به دلیل تغییر چرخه کار (D)، این تغییر به خروجی منتقل نمی شود و در نهایت V_{out} را ثابت می کند.

مثال ۸-۱۴: اگر ولتاژ ورودی DC برابر 20 V ولت و چرخه کار برابر 25% باشد ولتاژ DC خروجی چند ولت است؟ پاسخ:

$$V_{out} = DV_{in}$$

$$V_{out} = 20 \times 25\% = 5\text{ V}$$

مثال ۸-۱۵: اگر ولتاژ ورودی به 25 V ولت تغییر یابد و ولتاژ خروجی بخواهد روی 5 V ولت ثابت بماند، چرخه کار باید چه قدر انتخاب شود؟

پاسخ:

$$V_{out} = DV_{in}$$

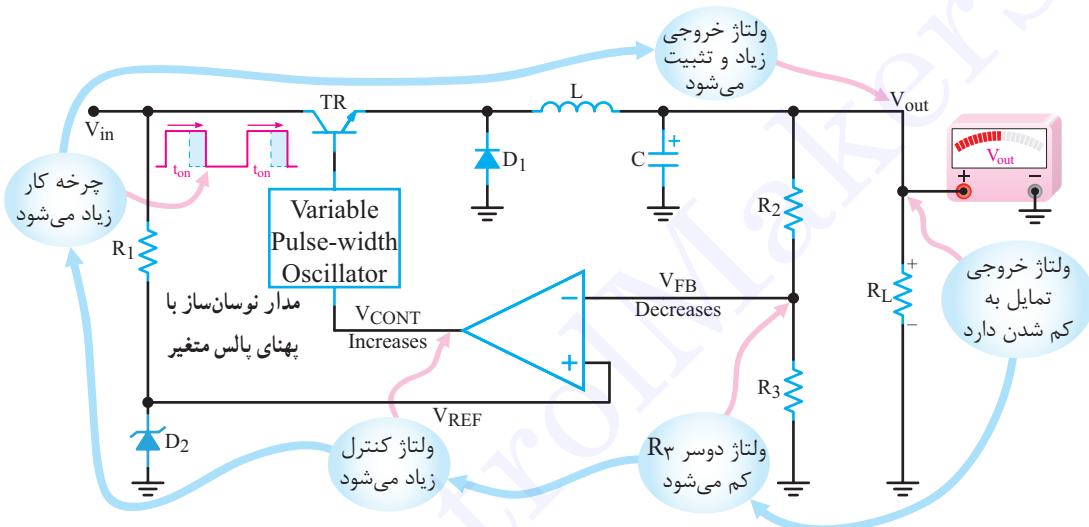
$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$D = \frac{5}{25} = 20\%$$

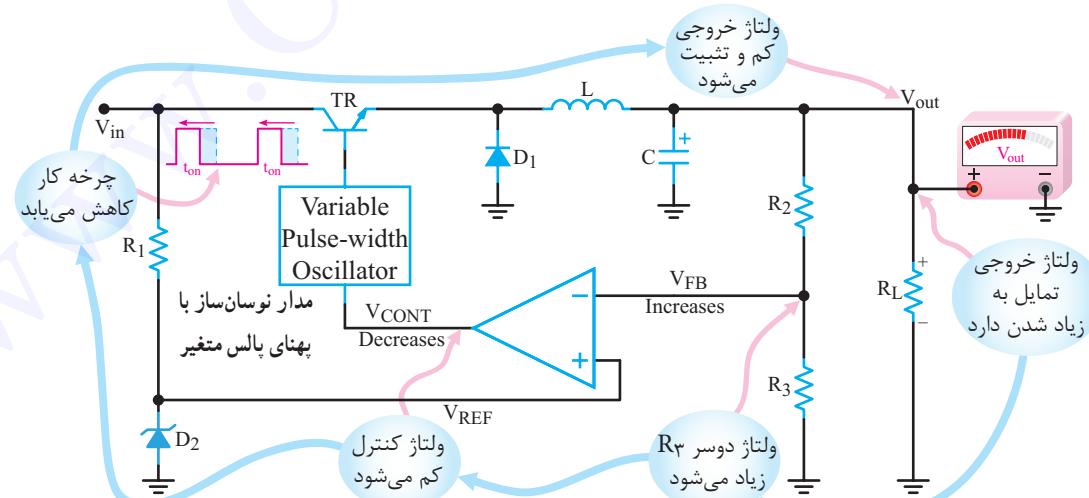
همان طور که مشاهده می شود، اگر ولتاژ ورودی زیاد شود مقدار چرخه کار به 20% کاهش می یابد تا ولتاژ خروجی روی 5 V ولت ثابت بماند. طبیعی است با کاهش ولتاژ ورودی، چرخه کار زیاد شده و V_{out} را ثابت نگه می دارد. در شکل ۸-۵۸-الف،

اگر ولتاژ خروجی به هر دلیلی تمايل به کم شدن پیدا کند، مقدار ولتاژ کنترل افزایش می‌يابد و چرخه کار پالس را زياد می‌کند. با زياد شدن چرخه کار پالس، ولتاژ خروجی زياد می‌شود. چنان‌چه ولتاژ خروجی تمايل به زياد شدن داشته باشد، ولتاژ کنترل کم می‌شود و چرخه کار پالس را کاهش می‌دهد و در نهايٰت ولتاژ خروجی را کم می‌کند. در شكل ۸-۵۹ و ۸-۶۰ نحوهٔ ثبيت ولتاژ خروجی در اثر تغيير چرخه کار نشان داده شده است.

۸-۱۵-۳ - نحوهٔ فرمان دادن به نوسان‌ساز برای تنظيم چرخه کار: در شكل ۸-۵۵ ولتاژ خروجی، توسيط مقاومت‌های تقسيم‌كنندهٔ ولتاژ R_4 و R_3 تقسيم می‌شود. مقايسهٔ كننده، ولتاژ دوسر R_2 را با ولتاژ مينا ($V_Z = V_{REF}$) مقايسه می‌کند. حاصل مقايسه اين دو ولتاژ به صورت ولتاژ کنترل در خروجي مقايسه‌كننده ظاهر می‌شود. ولتاژ کنترل به ورودي مدار موج مربعی که عرض پالس آن قابل تغيير است داده می‌شود. به اين ترتيب چرخه کار پالس خروجي نوسان‌ساز تغيير می‌كند، مثلاً

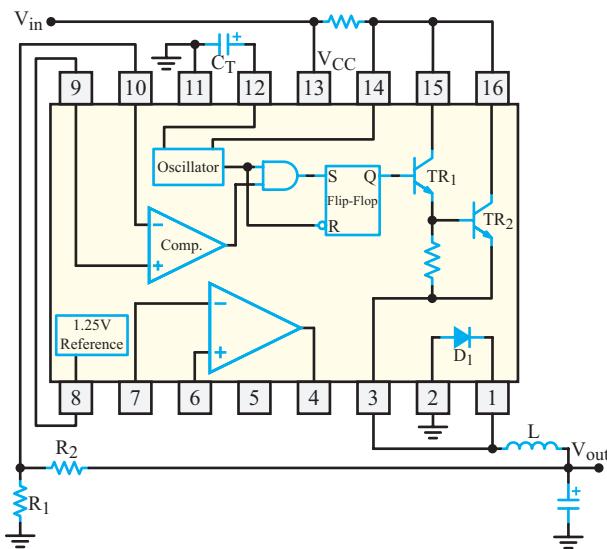


شكل ۸-۵۹ - نحوهٔ ثبيت ولتاژ خروجي در اثر تغيير چرخه کار



شكل ۸-۶۰ - نحوهٔ ثبيت ولتاژ خروجي در اثر تغيير چرخه کار

این تنظیم کننده می‌تواند ولتاژی کمتر و یا بیشتر از ولتاژ ورودی و با ولتاژی با پلاریتی مخالف با ولتاژ ورودی ایجاد نماید. در شکل ۸-۶۲ مدار این رگولاتور سوئیچینگ با اجزای خارجی متصل شده به پایه‌های آن برای ایجاد ولتاژی کمتر از ولتاژ ورودی، رسم شده است.



شکل ۸-۶۲- رگولاتور سوئیچینگ با آی سی ۷۸S۴۰

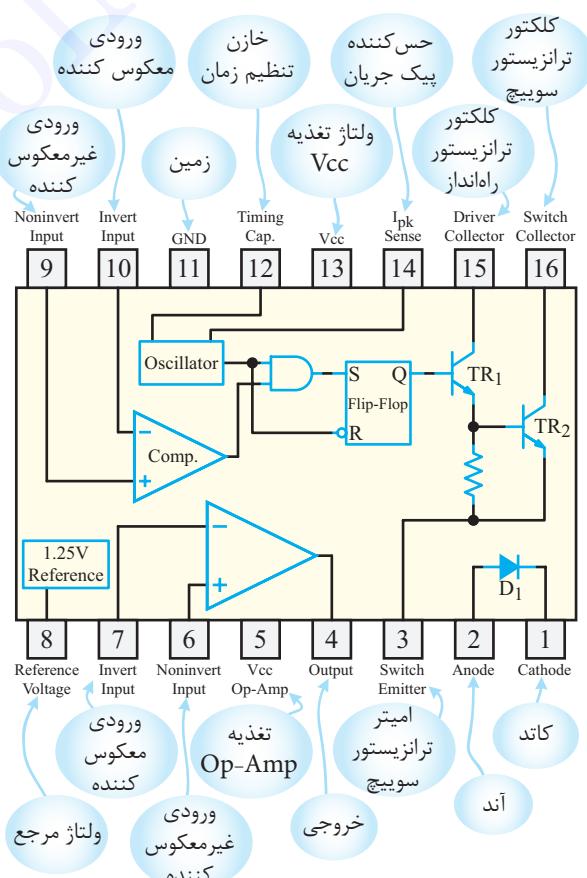
فعالیت فوق برنامه‌ریزی هنرجویان علاقه‌مند:

نحوه عملکرد آی سی فوق را جستجو و تحقیق کنید و نتایج را به کلاس ارائه دهید.

- نکته مهم:** در طرح سوال‌های امتحانی برای بلوک دیاگرام آی سی حتماً موارد زیر رعایت شود.
- (الف) نقشه بلوک دیاگرام آی سی داده شود.
 - (ب) پرسش‌ها در حد مطالب عنوان شده در کتاب باید.
 - (پ) در صورتی که عملکرد پایه‌ای را بخواهیم، حتماً کلمه انگلیسی و مخفف آن داده شود.

۸-۱۵-۴- تنظیم کننده‌های کلیدزنی مجتمع:

تنظیم کننده‌های سوئیچینگ کم توان را بر روی تراشه می‌سازند. نمونه خوبی از این تنظیم کننده، آی سی ۷۸S۴۰ است. این مدار مجتمع یک تنظیم کننده سوئیچینگ است که با کاربری عام شناخته می‌شود. در این آی سی مدار نوسان‌ساز، مدار مقایسه‌گر، یک ترانزیستور راهانداز، یک ترانزیستور سوئیچ یک ولتاژ مرجع، دو تقویت کننده عملیاتی و تعدادی مدار دیگر وجود دارد. برای آن که به طرز کار این تنظیم کننده پی ببرید باید تا اندازه‌ای با اصول کار مدارهای دیجیتال آشنا باشید، زیرا این تراشه شامل مدارهای منطقی از نوع دریچه AND و فلیپ فلاب RS است. در شکل ۸-۶۱ ساختمان داخلی این تنظیم کننده کلیدزنی و شماره پایه‌ها و کار هریک از پایه‌های آن نشان داده شده است. توجه داشته باشید که به تحلیل این مدار نیاز داشته‌ایم و فقط آی سی را معرفی کرده‌ایم.



شکل ۸-۶۱- ساختمان داخلی تنظیم کننده کلیدزنی ۷۸S۴۰

- ۱ - ۲ ۱ - ۱
 ۲ - ۴ ۱ - ۳

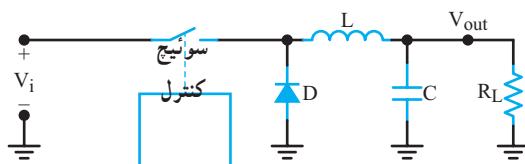
تشریحی

۸-۱۶-۶ - اسکال اساسی رگولاتورهای خطی را نام ببرید.

۸-۱۶-۷ - محدوده فرکانس نوسان‌سازهای رگولاتورهای سوئیچینگ چند کیلوهرتز است؟

۸-۱۶-۷ - شکل **۸-۶۴** اساس کار یک رگولاتور سوئیچینگ را نشان می‌دهد، طرز کار مدار را شرح دهید.

۸-۱۶-۸ - در شکل **۸-۶۴** کار دیود D را شرح دهید.



شکل ۸-۶۴

۸-۱۶-۱۶ - الگوی پرسش کامل کردنی

۸-۱۶-۱ - بهترین فرکانس کار نوسان‌ساز در مدار مبدل به DC برابر است.

صحیح یا غلط

۸-۱۶-۲ - اگر ولتاژ خروجی منبع تغذیه کلیدزنی تمايل به کم شدن داشته باشد چرخه کار پالس، کم می‌شود و ولتاژ خروجی را زياد می‌کند.

صحیح غلط

چهارگزینه‌اي

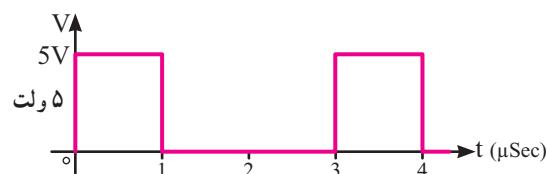
۸-۱۶-۳ - در مبدل DC به DC اغلب می‌خواهیم ولتاژ را به ولتاژ تبدیل کنیم.

- ۱ - بیشتر - کمتر ۲ - کمتر - بیشتر
 ۳ - کمتر - دو برابر ۴ - بیشتر - نصف

۸-۱۶-۴ - اگر چرخه کار در یک منبع تغذیه سوئیچینگ برابر 75° و ولتاژ ورودی برابر 20 ولت باشد ولتاژ خروجی چند ولت است

- ۱۵ - ۱ ۲۰ - ۲
 ۱۰ - ۳ ۵ - ۴

۸-۱۶-۵ - چرخه کار در پالس شکل **۸-۶۳** کدام است؟



شکل ۸-۶۳