

# تدریسی پودمان چهارم

## محاسبه مقادیر DC در مدارهای الکترونیکی

### به کارگیری قوانین کیرشهف در تحلیل و محاسبات مدارهای الکترونیکی

واحد  
یادگیری ۷

#### استاندارد عملکرد

تحلیل مدارهای مقاومتی، دیودی و ترانزیستوری دو حلقه‌ای به کمک قوانین کیرشهف، تونن و نورتن

#### نکات مهم درباره کاربرد قوانین کیرشهف

#### ■ استفاده از منابع جریان و ولتاژ در فرایند آموزش

در فرایند آموزش تحلیل مدارهای مقاومتی، دیودی و ترانزیستوری دو حلقه‌ای با کمک قوانین کیرشهف در کتاب درسی دانش فنی تخصصی، تحلیلی از مدار دو حلقه‌ای با منبع جریان انجام نشده است، چنانچه سؤالی از سوی هنرجویان در رابطه با تحلیل مدارهای دارای منبع جریان مطرح شد، می‌توانید مدار ساده دو حلقه‌ای با منبع جریان را برای هنرجویان تشریح نمایید.

✓ مثال: در شکل ۹۷ توان منبع

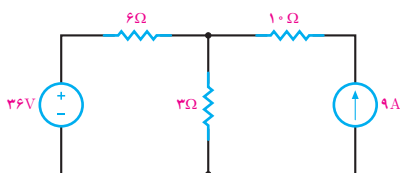
۳۶ ولتی را به دست آورید.

□ برای محاسبه توان منبع ۳۶

ولتی نیاز به تعیین جریان آن داریم.

لذا جریان منبع ۳۶ ولتی را با  $I_x$

مشخص می‌کنیم.



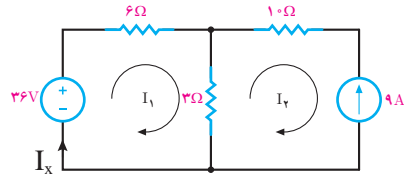
شکل ۹۷

✓ طبق شکل ۹۸ جریان در حلقه‌های مدار در جهت حرکت عقربه‌های ساعت تعیین می‌شود.

نکته



هرگاه از منبع جریان فقط یک حلقه عبور نماید مقدار جریان حلقه با مقدار جریان منبع جریان برابر است.



شکل ۹۸

✓ از حلقه  $I_2$  جریان مربوط به منبع جریان ۹ آمپری می‌گذرد، پس مقدار آن برابر ۹ آمپر است. از طرفی چون جهت جریان در حلقه بر خلاف جهت منبع جریان است، باید برای آن علامت منفی در نظر بگیریم، بنابراین:

$$I_2 = -9A$$

✓ KVL را در حلقه  $I_1$  اعمال می‌کنیم:  $KVL_1 \Rightarrow -36 + 6I_1 + 3(I_1 - I_2) = 0$

✓ معادله  $KVL_1$  را ساده می‌کنیم:  $KVL_1 \Rightarrow -36 + 9I_1 - 3I_2 = 0$

✓ مقدار  $I_2 = -9A$  را در معادله جایگزین می‌کنیم:  $-36 + 9I_1 - 3(-9) = 0$

✓ معادله را ساده می‌کنیم تا مقدار  $I_1$  به دست آید:  $9I_1 = 9 \Rightarrow I_1 = \frac{9}{9} = 1A$

✓ از محل  $I_x$  حلقه  $I_1$  می‌گذرد لذا:  $I_x = I_1 = 1A$

✓ توان منبع ولتاژ برابر است با:  $\text{جریان منبع} \times \text{ولتاژ} = \text{توان منبع}$

برای محاسبه توان یک قطعه، باید جریانی که به پلاریته (قطب) مثبت آن وارد می‌شود را در نظر بگیریم. چون جریان  $I_x$  به پلاریته منفی منبع ولتاژ وارد می‌شود، لذا علامت منفی برای آن در نظر گرفته می‌شود:  $P_{36V} = 36 \times (-1) = -36W$

علامت منفی مربوط به توان منبع، نشان‌دهنده این است که این منبع توان تولید می‌کند و توان مورد نیاز مدار را تأمین می‌نماید.

نکته مهم



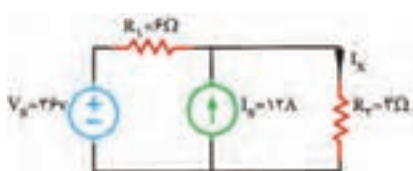
هرگاه علامت توان منبع منفی باشد یعنی منبع به مدار توان تحویل می‌دهد. همچنین هرگاه علامت توان منبع مثبت شد، یعنی منبع از مدار توان تحویل می‌گیرد و مصرف‌کننده است.

## ■ تحلیل مدارهای الکتریکی به روش جمع آثار

✓ روش جمع آثار در تحلیل مدارهای الکتریکی که بیش از یک منبع دارند به کار می‌رود. بر اساس این روش، جریان هر عنصر مدار از جمع جبری جریان‌هایی که هر یک از منابع در آن عنصر ایجاد می‌کنند، به دست می‌آید. برای تعیین اثر هر منبع بر جریان عنصر مورد نظر، باید بقیه منابع مدار را بی‌اثر یا غیرفعال کرد. سپس

مدار را برای هر یک از منابع به‌طور جداگانه تحلیل کرد و در نهایت، جریان ناشی از منابع مختلف را با یکدیگر جمع جبری نمود. پس از تعیین جریان عبوری از هر قطعه، می‌توان کمیت‌هایی مانند ولتاژ یا توان را نیز محاسبه کرد. روش جمع آثار در مورد محاسبه ولتاژ دو سر هر عنصر نیز صادق است ولی برای محاسبه توان که یک کمیت غیرخطی است و با مجذور جریان یا توان رابطه دارد، نمی‌توان از روش جمع آثار استفاده کرد. یعنی توان یک مقاومت اهمی را نمی‌توان از مجموع توان‌هایی به‌دست آورد که هر منبع به تنهایی در آن عنصر ایجاد می‌کند. همچنین برای تحلیل مدارهایی که در آنها عناصر غیرخطی مانند دیود وجود دارد، نمی‌توان از روش جمع آثار استفاده کرد.

□ **مثال:** در مدار شکل ۹۹ با استفاده از روش جمع آثار، جریان  $I_x$  را به‌دست آورید.

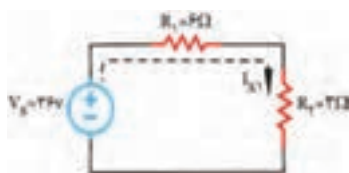


شکل ۹۹

یادآور می‌شود که برای از بین بردن اثر منابع ولتاژ، آنها را اتصال کوتاه و برای از بین بردن اثر منابع جریان آنها را اتصال باز در نظر می‌گیریم.

**پاسخ:**

✓ ابتدا منبع جریان را باز می‌کنیم تا بی‌اثر شود. با باز شدن منبع جریان، طبق شکل ۱۰۰ می‌توانیم اثر منبع ولتاژ روی جریان  $I_x$  را به‌دست آوریم، این اثر را  $I_{x1}$  می‌نامیم.



شکل ۱۰۰

✓ با توجه به پلاریته منبع ولتاژ، جهت جریان مربوط به منبع ولتاژ ۳۶ ولتی در مقاومت  $R_2$  تعیین می‌شود.  
✓ به کمک قانون اهم مقدار  $I_{x1}$  به‌دست می‌آید.

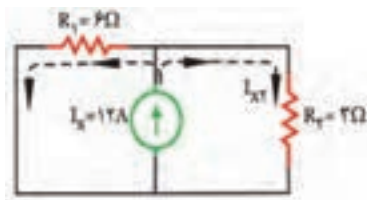
$$I_{x1} = \frac{V_s}{R_1 + R_2} \Rightarrow I_{x1} = \frac{36}{6 + 3} = 4 \text{ A}$$

✓ اکنون طبق شکل ۱۰۱ منبع ولتاژ را اتصال کوتاه می‌کنیم تا بی‌اثر شود. حال تأثیر منبع جریان بر  $I_x$  را به‌دست می‌آوریم.

✓ با توجه به جهت منبع جریان، جهت جریان مربوط به این منبع را در مقاومت  $R_2$  تعیین می‌کنیم. این جریان را  $I_{x2}$  می‌نامیم.

به کمک رابطه تقسیم جریان میان دو مقاومت موازی مقدار  $I_{x2}$  به دست می‌آید.

$$I_{x2} = I_s \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \Rightarrow I_{x2} = 12 \times \frac{6}{6 + 3} = 8 \text{ A}$$



شکل ۱۰۱

$I_{x1}$  اثر منبع ولتاژ و  $I_{x2}$  اثر منبع جریان بر جریان مقاومت  $R_2$  است که جمع جبری آنها مقدار  $I_x$  را تشکیل می‌دهد.

✓ جریان  $I_{x1}$  و  $I_{x2}$  هم جهت با  $I_x$  هستند، لذا در جمع آثار برای آنها علامت مثبت در نظر می‌گیریم.

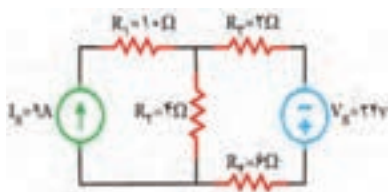
$$I_x = +I_{x1} + I_{x2}$$

$$I_x = +4 + 8 = 12 \text{ A}$$

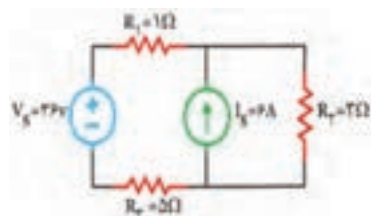
✓ برای تفهیم بحث روش جمع آثار، دو مدار پیشنهادی شکل‌های ۱۰۲ و ۱۰۳ را به عنوان تمرین به هنرجویان بدهید و از آنها بخواهید در ساعات غیردرسی حل کنند و ارائه دهند. پس از دریافت تمرین‌های حل شده، رفع اشکال نمایید.

**تمرین:**

الف) در مدار شکل ۱۰۲، توان مقاومت  $R_1$  را با روش جمع آثار به دست آورید.  
ب) در مدار شکل ۱۰۳، با استفاده از روش جمع آثار ولتاژ دو سر مقاومت  $R_2$  را محاسبه کنید. ولتاژ دوسر مقاومت  $R_2$  را محاسبه کنید.



شکل ۱۰۳

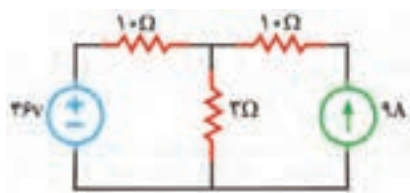


شکل ۱۰۲

## ■ تحلیل نرم‌افزاری مدارهای دو حلقه‌ای به روش جمع آثار (Superposition)

✓ تحلیل عملی روش جمع آثار به کمک نرم‌افزار سبب می‌شود که مفهوم بی‌اثر کردن منابع ولتاژ و جریان در مدار برای هنجریان بهتر قابل درک باشد.

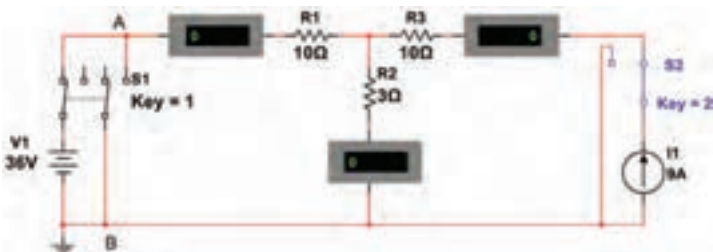
□ مثال: با استفاده از نرم‌افزار، مدار شکل ۱۰۴ را ببندید و جریان مقاومت ۳ اهمی را به دست آورید.



شکل ۱۰۴

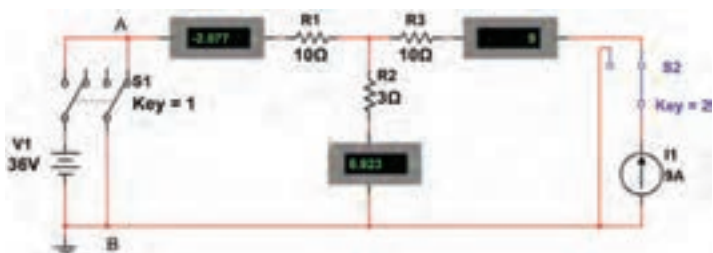
✓ همان‌طور که در شکل ۱۰۵ مشاهده می‌شود، در مسیر منبع ولتاژ  $V_1$  کلید تبدیل دویل  $Key_1$  قرار دارد که با تغییر حالت آن، مسیر اعمال ولتاژ به مدار قطع می‌شود و دو سر باتری در مدار اتصال کوتاه می‌شود.

✓ در مسیر منبع جریان  $I_1$  کلید  $Key_2$  به‌طور سری قرار دارد، که به‌وسیله آن می‌توان منبع جریان را از مدار جدا کرد.



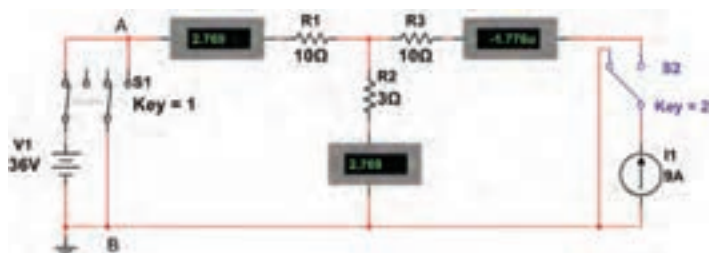
شکل ۱۰۵

✓ مطابق شکل ۱۰۶ اثر منبع ولتاژ با تغییر حالت کلید  $Key_1$  از بین می‌رود و دو سر مدار یعنی بین نقاط AB را اتصال کوتاه می‌کند. در این حالت، جریان عبوری از مقاومت ۳ اهمی برابر با  $I'_{R2} = 6/923A$  است.



شکل ۱۰۶

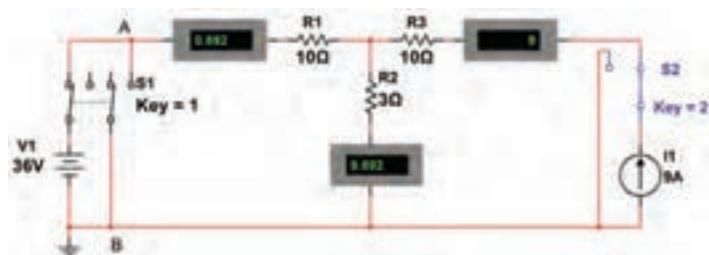
✓ با تغییر کلید Key<sub>۱</sub> و قطع کلید Key<sub>۲</sub>، آمپر متر جریان عبوری از مقاومت  $R_T = 3\Omega$  را برابر با  $I''_{R_T} = 2/796A$  نشان می‌دهد، شکل ۱۰۷.



شکل ۱۰۷

بنابراین جریان عبوری از مقاومت  $R_T$  از جمع جبری اثر دو منبع و برابر با  $9/692$  آمپر به دست می‌آید، شکل ۱۰۸.

$$I_T = I'_T + I''_T = 6/923 + 2/796 = 9/692 A$$



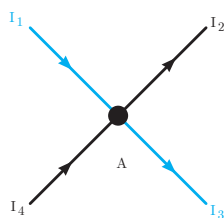
شکل ۱۰۸

### ■ تحلیل مدارهای الکتریکی به روش پتانسیل گره (Nodal Analysis)

✓ تحلیل مدارهای الکتریکی با روش پتانسیل گره بر مبنای قانون جریان‌های کیرشهف (KCL) است.

قانون جریان کیرشهف (KCL): جمع جبری جریان‌ها در یک گره برابر صفر است.

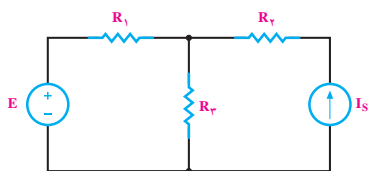
□ گره A با چهار شاخه حامل جریان در شکل ۱۰۹ نشان داده شده است. با اعمال



شکل ۱۰۹

قانون جریان کیرشهف در گره A، رابطه KCL را می‌نویسیم. در این رابطه، جریان‌هایی که به گره وارد می‌شوند، منفی و جریان‌های خارج شده از گره را مثبت در نظر می‌گیریم.

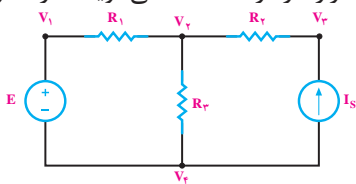
$$KCLA \Rightarrow -I_1 + I_2 - I_3 + I_4 = 0$$



شکل ۱۱۰

□ در هر شبکه الکتریکی، محل اتصال دو شاخه از مدار را «گره ساده» و محل اتصال بیش از دو شاخه به گره را «گره اصلی» می‌نامند. در مدار شکل ۱۱۰ گره‌های ساده و اصلی نشان داده شده است.

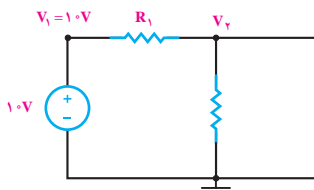
فاصله بین دو گره که عناصر فعال یا غیرفعال قرار دارد را «شاخه» می‌گویند. در مدار شکل ۱۱۱ شاخه‌های مدار مشخص شده است. از بین گره‌های مدار یک گره به‌عنوان گره مبنا انتخاب می‌شود. با زمین کردن گره مبنا پتانسیل آن را صفر در نظر می‌گیریم.



شکل ۱۱۱

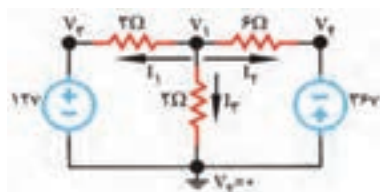
✓ مراحل حل مدار به روش پتانسیل گره عبارت است از:

- مدار را تا حد ممکن ساده کنید، مشروط بر اینکه مجهول مدار حذف نشود.
- گره‌های اصلی و ساده را مشخص کنید و آنها را نام‌گذاری نمایید.
- یکی از گره‌های اصلی را به‌عنوان گره مبنا انتخاب کنید و با زمین کردن آن، پتانسیل گره مبنا را صفر فرض نمایید.
- برای شاخه‌های متصل به هر گره اصلی، جهت جریان انتخاب کنید و آنها را نام‌گذاری نمایید.
- پتانسیل گره‌هایی که نسبت به گره مبنا معلوم است را در کنار آنها بنویسید، شکل ۱۱۲.

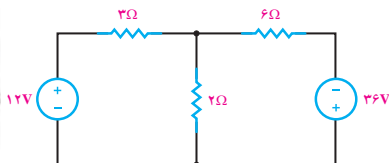


شکل ۱۱۲

- برای گره‌هایی با پتانسیل مجهول، رابطه KCL بنویسید.
- برای مدار با n گره اصلی، n-۱ رابطه KCL شکل می‌گیرد.
- روابط KCL را در یک دستگاه قرار دهید و با حل آنها پتانسیل گره‌ها را به‌دست آورید.
- با معلوم بودن پتانسیل گره‌ها، جریان هر شاخه را به کمک قانون اهم محاسبه نمایید.
- مثال: با روش پتانسیل گره، جریان مقاومت ۲ اهمی را در شکل ۱۱۳ به‌دست آورید.



شکل ۱۱۴



شکل ۱۱۳

پاسخ:

- ✓ در مدار مقاومت سری یا موازی وجود ندارد، لذا مدار تا حد ممکن ساده است.
- ✓ گره‌های اصلی مدار با  $V_1$ ،  $V_2$  و گره‌های ساده با  $V_3$  و  $V_4$  نشان داده شده است، شکل ۱۱۴.
- ✓ گره  $V_3$  به پلاریته مثبت منبع ۱۲ ولتی متصل است لذا پتانسیل آن نسبت به گره مبنا برابر با  $V_3 = +12V$  می‌شود.
- ✓ گره  $V_4$  به پلاریته منفی منبع ۳۶ ولتی متصل است. لذا پتانسیل آن نسبت به گره مبنا برابر با  $V_4 = -36V$  می‌شود.
- ✓ پتانسیل گره  $V_1$  مجهول است. فرض می‌کنیم جریان شاخه‌های متصل به گره  $V_1$  از آنها خارج می‌شود.
- ✓ برای گره  $V_1$  رابطه KCL نوشته می‌شود. در رابطه KCL جریان‌هایی که از گره  $V_1$  خارج می‌شوند با علامت مثبت در نظر گرفته می‌شود.
- ✓ جریان‌های  $I_1$ ،  $I_2$  و  $I_3$  با قانون اهم به‌دست می‌آید:  $KCL \Rightarrow +I_1 + I_2 + I_3 = 0$

✓ جریان  $I_1$  از گره  $V_1$  به گره  $V_3$  می‌رود، لذا داریم:

$$I_1 = \frac{V_1 - V_3}{3}$$

✓ جریان  $I_2$  از گره  $V_1$  به گره  $V_4$  می‌رود، بنابراین داریم:

$$I_2 = \frac{V_1 - V_4}{6}$$

✓ جریان  $I_3$  از گره  $V_1$  به گره  $V_2$  می‌رود و رابطه آن برابر است با:

$$I_3 = \frac{V_1 - V_2}{2}$$

مقادیر جریان‌های  $I_1$ ،  $I_2$  و  $I_3$  را در رابطه KCL قرار می‌دهیم:

$$KCL \Rightarrow +\frac{V_1 - V_3}{3} + \frac{V_1 - V_4}{6} + \frac{V_1 - V_2}{2} = 0$$

✓ مقادیر  $V_3$ ،  $V_4$  و  $V_2$  را جایگزین می‌کنیم:

$$KCL \Rightarrow +\frac{V_1 - 12}{3} + \frac{V_1 - (-36)}{6} + \frac{V_1 - 0}{2} = 0$$



✓ معادله را ساده و سپس حل می‌کنیم:

$$KCL \Rightarrow \frac{-2V_1 + 24 - 36 - V_1 - 3V_1}{6} = 0$$

$$-2V_1 + 24 - 36 - V_1 - 3V_1 = 0$$

✓ با استفاده از معادله ساده شده مقدار  $V_1$  را محاسبه می‌کنیم:

$$-6V_1 - 12 = 0$$

$$-6V_1 = 12 \Rightarrow V_1 = \frac{12}{-6} = -2V$$

✓ جریان مقاومت  $2\Omega$  را با  $I_3$  نشان داده‌ایم. با معلوم شدن پتانسیل دو سر آن یعنی  $V_1$  و  $V_2$ ، با کمک قانون اهم  $I_3$  را به دست می‌آوریم.

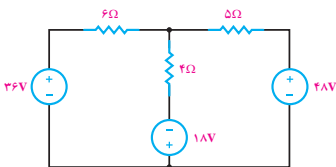
✓ علامت منفی جریان بیانگر این است که جهت جریان در مقاومت  $2\Omega$  برخلاف جهت  $I_3$  است.

☑ برای تفهیم و درک بیشتر مبحث روش پتانسیل گره، دو مدار پیشنهادی شکل‌های ۱۱۵ و ۱۱۶ را به عنوان تکلیف در ساعات غیر درسی به هنرجویان ارائه دهید و پس از دریافت حل تمرین‌ها، رفع اشکال نمایید.

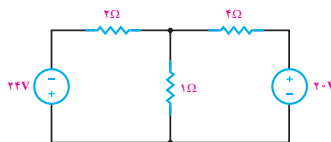
**تمرین:**

(الف) با استفاده از روش پتانسیل گره، مقدار توان مقاومت را در مقاومت چهار اهمی مدار شکل ۱۱۵ حساب کنید.

(ب) در مدار شکل ۱۱۶، با استفاده از روش پتانسیل گره مقدار توان مقاومت  $5\Omega$  را به دست آورید.



شکل ۱۱۶



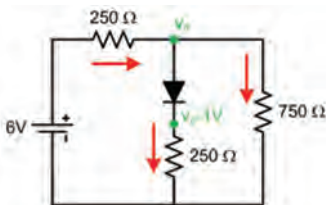
شکل ۱۱۵

☑ کاربرد روش پتانسیل گره در حل مسائل مدارهای الکترونیکی:

✓ مثال: با استفاده از روش پتانسیل گره، ولتاژ  $V_o$  را در مدار دیودی شکل ۱۱۷ محاسبه کنید.

(ولتاژ دو سر دیود  $V_D = 1V$  فرض شود)

پاسخ:  $V_o = 3V$



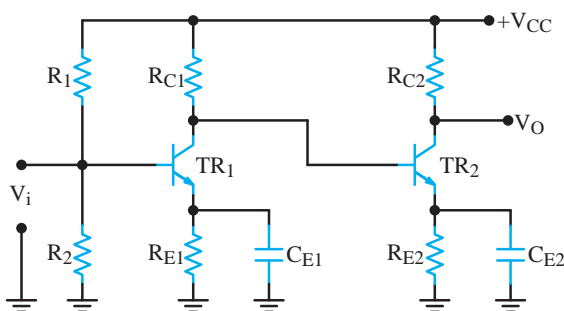
شکل ۱۱۷

$$\frac{V_o - 6}{250} + \frac{(V_o - 1)}{250} + \frac{V_o}{750} = 0 \Rightarrow 7V_o = 21 \Rightarrow V_o = 3V$$

## روش‌های تحلیل و محاسبات مدارهای ترانزیستوری

✓ در ادامه بحث تحلیل و محاسبات مدارهای ترانزیستوری می‌توانید تحلیل مدارهای با کوپلاژ مستقیم را به‌عنوان کاربرد دیگر تحلیل مدارهای الکترونیکی با روش حلقه برای هنرجویان ارائه دهید.

✓ در کوپلاژ مستقیم، دو طبقه تقویت‌کننده به‌صورت مستقیم به یکدیگر وصل می‌شوند. در شکل ۱۱۸ مدار یک تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم نشان داده شده است. در این مدار  $R_1$  و  $R_2$  برای بایاس بیس  $TR_1$  است. و  $R_{C1}$  ضمن تغذیه کلکتور  $TR_1$  بایاس بیس ترانزیستور  $TR_2$  را نیز تأمین می‌کند.

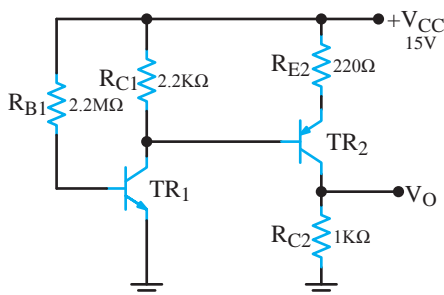


شکل ۱۱۸

✓ در این مدار هر دو طبقه تقویت‌کننده از نوع امیتر مشترک است.

✓ با توجه به اینکه طبقات تقویت‌کننده از نظر ولتاژ و جریان مستقل از یکدیگر نیستند، تغییرات نقطه کار DC یک طبقه، روی نقطه کار طبقه دیگر تقویت‌کننده اثر می‌گذارد، لذا باید محاسبات DC مدار برای کلیه طبقات به‌طور هم‌زمان انجام شود.

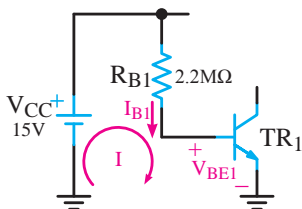
✓ وابستگی نقطه کار طبقات به یکدیگر، مدار را به شدت در مقابل افزایش حرارت حساس می‌کند. برای آنکه ناپایداری حرارتی مدار کاهش یابد، اولاً باید نقطه



شکل ۱۱۹

کار ترانزیستور با دقت بیشتری محاسبه شود. ثانیاً با پیش‌بینی مدارهایی، پایداری حرارتی مدار تضمین گردد.

□ مثال: در شکل ۱۱۹ با فرض  $\beta_1 = \beta_2 = 200$  و  $V_{BE} = 0.6V$  مقدار ولتاژ DC خروجی ( $V_o$ ) را محاسبه کنید.



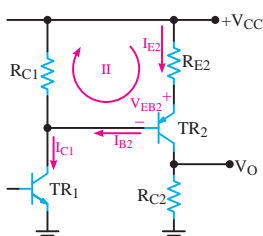
شکل ۱۲۰

□ پاسخ:

✓ ابتدا معادله KVL را در حلقه I در شکل ۱۲۰ می‌نویسیم و مقدار  $I_{B1}$  را محاسبه می‌کنیم:

$$-V_{CC} + R_{B1}I_{B1} + V_{BE1} = 0$$

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{B1}} = \frac{15V - 0.6V}{2.2M\Omega} = 6.54\mu A$$



شکل ۱۲۱

✓ با استفاده از رابطه  $I_C = \beta I_B$  مقدار  $I_{C1}$  را به‌دست می‌آوریم:

$$I_{C1} = \beta_1 I_B = 200 \times 6.54\mu A = 1.308mA$$

✓ در حلقه II در شکل ۱۲۱ مقادیر DC ترانزیستور دوم  $T_{R2}$  را محاسبه می‌کنیم:

با صرف نظر کردن از مقدار  $I_{B2}$  در مقایسه با  $I_{C1}$  مقدار جریان عبوری از مقاومت  $R_{C1}$  برابر  $I_{C1}$  می‌شود.

همچنین  $I_{E2}$  و  $I_{C2}$  تقریباً با هم برابر در نظر گرفته می‌شود. چون  $I_B$  در مقایسه با  $I_{C1}$  و  $I_{C2}$  خیلی کمتر است. معادله KVL را در حلقه II می‌نویسیم.

$$R_{E2}I_{E2} + V_{BE2} - R_{C1}I_{C1} = 0$$

✓ مقادیر عددی را جایگزین می‌کنیم و  $I_{E2}$  را به‌دست می‌آوریم:

$$0.22I_{E2} + 0.6 - (2/2 \times 1.3) = 0$$

$$0.22I_{E2} = 2/26$$

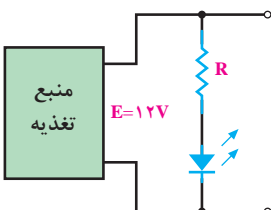
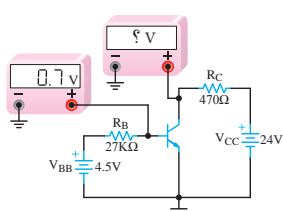
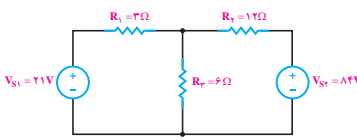
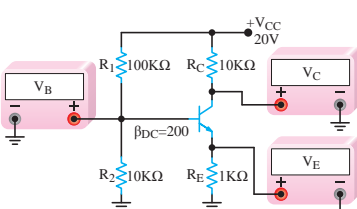
$$I_{E2} = \frac{2/26}{0.22} = 1.0/27mA$$

$$I_{C2} = I_{E2} = 1.0/27mA$$

✓ مقدار  $V_O$  از حاصل ضرب  $R_{C2}$  در  $I_{C2}$  به‌دست می‌آید.

$$V_O = R_{C2}I_{C2} = (1K\Omega)(1.0/27mA) = 1.0/27V$$

## کاربرگ ارزشیابی واحد یادگیری ۷

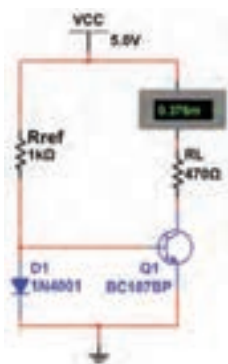
نام و نام خانوادگی هنرجو:	کد کار:	تاریخ:
<p>مرحله کار: به کارگیری قوانین کیرشهف در تحلیل و محاسبات مدارهای الکترونیکی</p>		
<p>آزمون نظری: سؤال بر اساس الگوی پرسش</p>		
<p>۱ اگر ولتاژ دو سر LED برابر با ۲ ولت باشد، مقدار مقاومت R را محاسبه کنید.</p>		
		
<p>۲ در مدار تقویت کننده ترانزیستوری مقابل، ولتاژ کلکتور را به دست آورید.</p>		
		
<p>۳ در مدار شکل مقابل، مقدار جریان عبوری از مقاومت های <math>R_1</math> و <math>R_2</math> را با روش حلقه به دست آورید.</p>		
		
<p>۴ در مدار تقویت کننده بایاس سرخود مقابل، ولتاژ پایه های بیس، امیتر و کلکتور را محاسبه کنید.</p>		
		
<p>۵ ...</p>		
<p>آزمون نرم افزاری: سؤال بر اساس الگوی پرسش</p>		
<p>آزمون سخت افزاری</p>		
<p>شایستگی های غیر فنی: مشابه مرحله کار ۱ پودمان اول</p>		
<p>کلید آزمون ها بر اساس استاندارد عملکرد نمون برگ ۸-۱ انجام می شود.</p>		

## به کارگیری قوانین تونن و نورتن و تبدیلات مربوطه و تطابق در مدارهای الکترونیکی ساده

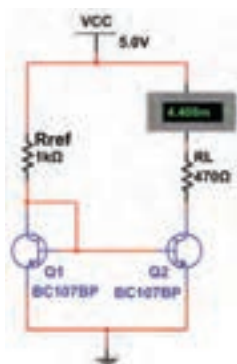
### استاندارد عملکرد

- تحلیل و حل مدارهای مقاومتی و ترانزیستوری با کمک قوانین تونن و نورتن
- **کاربرد منابع جریان: (این محتوا صرفاً برای دانش‌افزایی است)**
  - استفاده از منابع ولتاژ به عنوان منبع تغذیه در طراحی مدارهای الکتریکی و الکترونیکی، ممکن است باعث ایجاد این ذهنیت در هنرجویان شود که منابع جریان کاربردی ندارند. لذا لازم است هنرآموزان گرمی، در صورت داشتن وقت اضافی در ساعات درسی، نمونه‌هایی از کاربرد منابع جریان را برای هنرجویان شرح دهند.
  - ✓ منبع جریان مداری است که در آن جریان خروجی تحت شرایط معین و با در نظر گرفتن محدودیت‌ها ثابت است و بستگی به مقدار مقاومت بار ندارد.
  - ✓ در تقویت‌کننده‌های عملیاتی از منابع جریان به دلایل زیر استفاده می‌شود:
  - ✓ منابع جریان به عنوان عناصر بایاس‌کننده طبقات مختلف در IC استفاده می‌شوند.
  - ✓ منابع جریان نسبت به تغییرات ولتاژ منبع تغذیه، دما و رطوبت هوا حساسیت کمتری نسبت به منابع ولتاژ دارند.
  - ✓ از منابع جریان در تقویت‌کننده‌های عملیاتی به عنوان بار (LOAD) در طبقات مختلف یک تقویت‌کننده عملیاتی استفاده می‌شود، زیرا مقاومت داخلی آن خیلی بزرگ است. بنابراین می‌توان با قرار دادن آنها در خروجی تقویت‌کننده‌ها، ولتاژ تقویت شده زیادی دریافت کرد.
  - ✓ یکی از ساده‌ترین منابع جریان، منبع جریان تصویری یا آینه‌ای است که مدار آن را در شکل ۸-۱ می‌بینید. در این منبع جریان از دو ترانزیستور  $Q_1$  و  $Q_2$  که کاملاً مشابه هم هستند استفاده شده است.
  - ✓ در شکل ۱۲۲ ترانزیستور  $Q_1$  به صورت یک دیود برای بایاس دیود بیس - امیتر ترانزیستور  $Q_2$  عمل می‌کند. هنگامی که کلکتور و بیس ترانزیستور اتصال کوتاه شوند، ترانزیستور عملاً مشابه یک دیود خواهد شد. لذا برای افزایش جریان خروجی در منبع جریان آینه، به جای دیود از ترانزیستور استفاده شده است، شکل ۱۲۳.
  - ✓ در مدار شکل ۱۲۳ جریان خروجی منبع جریان با تقریب قابل قبول از رابطه زیر محاسبه می‌شود با:

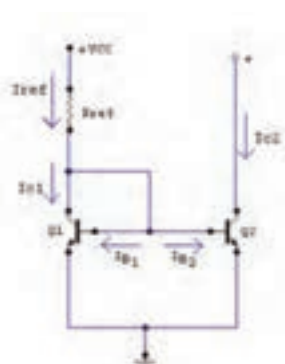
$$I_{C2} = I_O = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{ref}}$$



شکل ۱۲۳



شکل ۱۲۲



نکته



مانند هر پدیده دیگر، منبع جریان هم محدودیت دارد، عناصر مدار و مقدار ولتاژ ورودی، شرایط مدار را تعیین می‌کند. مثلاً جریان خروجی یک منبع جریان می‌تواند ۱۰ میلی‌آمپر باشد، در صورتی که مقدار مقاومت بار آن در محدوده  $100\Omega$  تا  $1k\Omega$  تغییر کند.

فعالیت

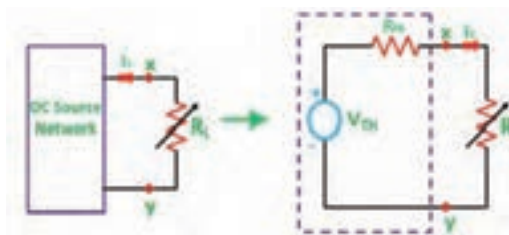


همان‌طور که در کتاب درسی دانش فنی تخصصی از هنرجویان خواسته شده است که درباره مدارهای مختلف منبع جریان تحقیق کنند، در ساعات غیردرسی مدار منبع جریان آینه مشابه مدار شکل ۱۲۳ را برای هنرجویان طرح کنید. و از هنرجویان بخواهید که به کمک نرم‌افزار مدار را ببندند و مقدار جریان بار را با مقادیر مختلف مقاومت بار اندازه‌گیری کنند. سپس نتایج را به‌عنوان گزارش کار ارائه دهند و این فرایند را در ارزشیابی دخالت دهید.

## قضیه انتقال توان ماکزیمم (Maximum Power Transfer Theorem)

### و تطابق در مدارهای تقویت‌کننده

✓ میزان حداکثر توان انتقالی به بار، یکی از ابزارهای مفید تحلیل مدار به‌شمار



شکل ۱۲۴

می‌آید، این امر تضمین می‌کند تا حداکثر مقدار توان به بار اهمی انتقال یابد، شکل ۱۲۴. رابطه بین مقاومت بار و مقاومت درونی منبع انرژی، مقدار توان منتقل شده به بار را تعیین می‌کند.

□ اگر در یک مدار، اندازه مقاومت بار برابر با اندازه مقاومت داخلی منبع (مدار معادل تونن یا نورتن) باشد، حداکثر مقدار توان به بار انتقال می‌یابد که از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$I_L = \frac{V_{th}}{R_{th} + R_L} \quad V_L = \frac{V_{th} \times R_L}{R_{th} + R_L}$$

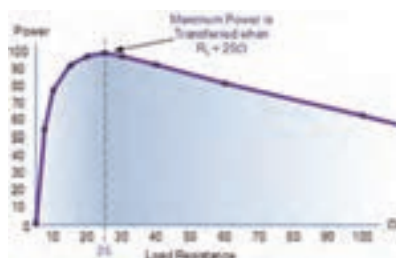
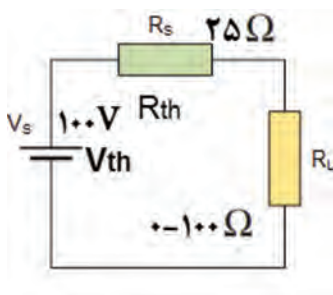
$$P_L = V_L \times I_L = \frac{V_{th}}{R_{th} + R_L} \times \frac{V_{th} \times R_L}{R_{th} + R_L} \Rightarrow P_L = \frac{V_{th}^2 \times R_L}{(R_{th} + R_L)^2}$$

برای محاسبه حداکثر توان انتقالی، مقدار  $R_L$  را برابر با  $R_{th}$  قرار می‌دهیم. در این حالت رابطه حداکثر توان منتقل شده به بار برابر است با:

$$P_{Lmax} = \frac{V_{th}^2 \times R_L}{(R_L + R_L)^2} = \frac{V_{th}^2 \times R_L}{(2R_L)^2} \Rightarrow P_{Lmax} = \frac{V_{th}^2}{4R_L}$$

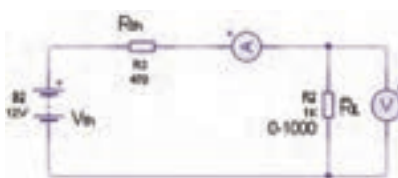
✓ در شکل ۱۲۵ منحنی تغییرات توان به ازای تغییرات مقاومت بار  $P_L = f(R_L)$  برای مدار شکل ۱۲۵ نشان داده شده است. مقادیر توان بار را در حالت‌های مختلف در جدول ۳۲ مشاهده می‌کنید.

جدول ۳۲											
$R_L (\Omega)$	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰
$I_L (A)$	۴	۳/۳	۲/۸	۲/۵	۲/۲	۲	۱/۸	۱/۵	۱/۲	۰/۹۵	۰/۸
$P_L (W)$	۰	۵۵	۷۸	۹۳	۹۷	۱۰۰	۹۷	۹۴	۸۳	۷۲/۲	۶۴



شکل ۱۲۵

✓ به عنوان تکلیف منزل در ساعات غیر درسی، مداری مشابه مدار شکل ۱۲۶ را برای هنجریان طرح کنید و از هنجریان بخواهید که به کمک نرم افزار مدار را ببندند و مقدار توان بار را با استفاده از آمپر متر و ولت متر به ازای مقاومتهای مختلف بار داده شده در جدول ۳۳ را اندازه گیری کنند. سپس منحنی تغییرات توان بر حسب مقاومت بار  $P_L=f(R_L)$  را ترسیم کنند.



شکل ۱۲۶

در نهایت روی منحنی، مقدار  $R_L$  را برای بیشترین توان انتقالی مشخص کنند و نتایج را به صورت گزارش کار ارائه دهند تا مورد ارزشیابی قرار گیرند.

جدول ۳۳

$R_L (\Omega)$	۱۰۰	۱۵۰	۲۲۰	۲۷۰	۳۳۰	۴۷۰	۵۶۰	۸۲۰	۱K
$I_L (A)$									
$V_{th} (V)$									
$P_L (W)$									

### ✓ کاربرد انتقال توان در تطبیق امپدانس

تشریح کاربرد تطبیق امپدانس برای هنجریان سبب درک بیشتر آنان و اهمیت کاربرد این موضوع در مدارهای الکترونیکی و مخابراتی می شود.

### □ تطبیق امپدانس در تقویت کننده ها

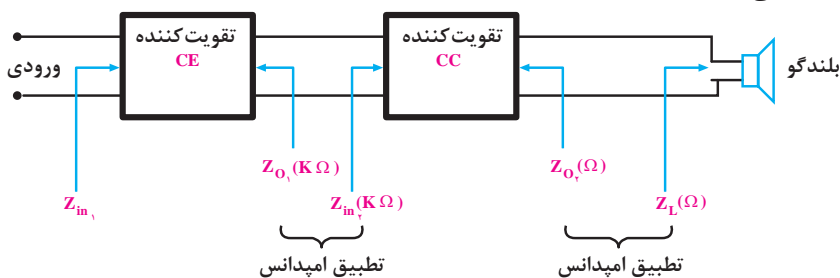
برای اتصال تقویت کننده های چند طبقه دو نکته را باید در نظر گرفت، یکی تطبیق امپدانس و دیگری طریقه ایجاد ارتباط بین دو تقویت کننده، که به آن کوپلاژ تقویت کننده می گویند.

✓ اگر بخواهیم موج تقویت شده به وسیله یک تقویت کننده CE را به یک بلندگو بدهیم، چون مقاومت بلندگو کم و امپدانس خروجی تقویت کننده CE زیاد است، بین بلندگو و تقویت کننده تطبیق امپدانس وجود ندارد و ماکزیمم توان به بلندگو نخواهد رسید.

✓ برای حل این مشکل، می توان موج خروجی تقویت کننده CE را به ورودی یک تقویت کننده CC اعمال کرد. سپس از خروجی تقویت کننده CC برای اتصال به بلندگو استفاده کرد.



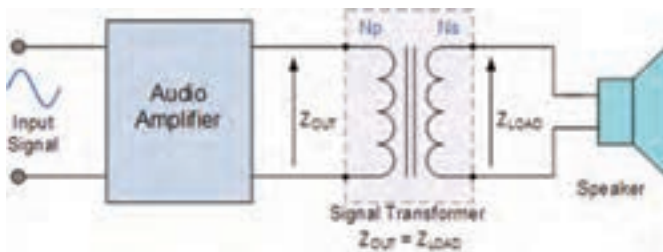
✓ در این صورت یک تقویت کننده دو طبقه شامل تقویت کننده های CE و CC به دست می آید. در این حالت، چون امپدانس ورودی تقویت کننده CC زیاد است، می تواند با امپدانس خروجی تقویت کننده CE که مقدار آن هم زیاد است تطبیق کند. به این ترتیب بیشترین توان به تقویت کننده CC اعمال می شود. ✓ از طرفی چون امپدانس خروجی تقویت کننده CC کم است می تواند با بلندگو که آن هم مقاومت کمی دارد تطبیق امپدانس برقرار کند و ماکزیمم توان را بلندگو برساند، در شکل ۱۲۷ بلوک دیاگرام این نوع تقویت کننده دو طبقه را مشاهده می کنید.



شکل ۱۲۷

#### □ تطبیق امپدانس در خروجی تقویت کننده های صوتی

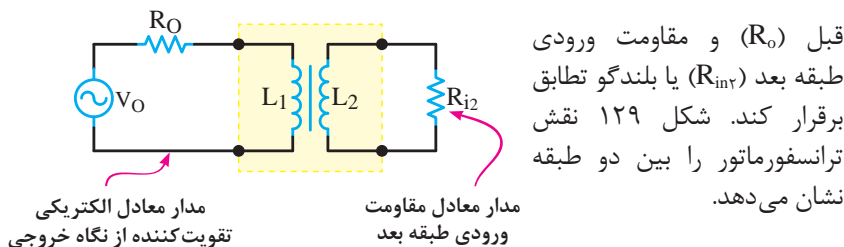
✓ تطبیق امپدانس در تقویت کننده هایی که بلندگوهای مختلف و با امپدانس متفاوت دارند، به وسیله ترانسفورماتورهای تطبیق امپدانس انجام می شود، شکل ۱۲۸. به این ترانسفورماتورها می توان امپدانس های ۴، ۸ یا ۱۶ اهم را متصل کرد. از این ترانسفورماتورها در سیستم های صوتی عمومی (PA) استفاده می شود.



شکل ۱۲۸

✓ معمولاً تقویت کننده ها یک خروجی با ولتاژ بالا (۱۰۰ ولت) دارند که این خروجی از طریق ترانسفورماتور تطبیق که در داخل بلندگو قرار داده می شود می تواند به طور هم زمان چندین بلندگو را تغذیه کند.

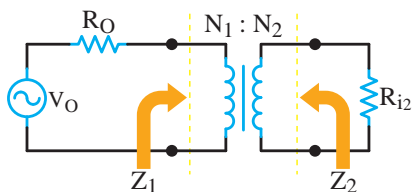
مدار معادل تونن یک تقویت کننده را از درگاه خروجی می توانیم به صورت شکل ۱۲۹ در نظر بگیریم. ترانسفورماتور می تواند به راحتی بین مقاومت خروجی طبقه



شکل ۱۲۹

### □ محاسبه امپدانس اولیه و ثانویه ترانسفورماتور تطبیق:

✓ در شکل ۱۳۰ اگر امپدانس اولیه ترانسفورماتور  $Z_1$ ، امپدانس ثانویه آن را  $Z_2$ ، تعداد دور اولیه را  $N_1$  و تعداد دور ثانویه را  $N_2$  در نظر بگیریم، می توانیم با توجه به مقادیر  $Z_1$ ،  $Z_2$ ،  $N_1$  و  $N_2$  یا نسبت  $\frac{N_1}{N_2}$ ، در صورتی که یکی از مقادیر مجهول باشد آن را محاسبه کنیم.



شکل ۱۳۰- ترانسفورماتور جهت تطبیق امپدانس

✓ رابطه زیر ارتباط بین امپدانس ها و تعداد دورهای اولیه و ثانویه ترانسفورماتور را نشان می دهد:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

برای برقراری تطابق لازم است  $Z_1 = R_O$  و  $Z_2 = R_{i2}$  در نظر گرفته شود.

□ مثال: در شکل ۱۳۰ اگر  $\frac{N_1}{N_2} = 10$  و  $R_{i2} = R_L = 8\Omega$  باشد، مقدار  $R_O$  چه قدر انتخاب شود تا حداکثر توان از منبع  $V_O$  به بار انتقال یابد؟

پاسخ:

$$Z_2 = R_L = 8\Omega$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 = 10^2 = 100$$

$$\frac{Z_1}{8} = 100 \Rightarrow Z_1 = 800\Omega$$

برای آنکه حداکثر توان از منبع  $V_S$  به بار انتقال یابد، باید  $R_O$  با  $Z_1$  برابر باشد:

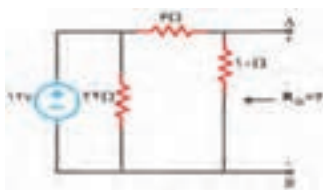
$$R_O = Z_1 = 800\Omega$$

## کاربرگ ارزشیابی واحد یادگیری ۸

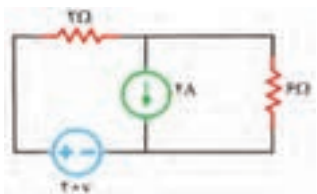
کار: به کارگیری قوانین تونن و نورتن و تبدیلات مربوطه و تطابق در مدارهای الکترونیکی ساده  
نام و نام خانوادگی هنرجو: کد کار: تاریخ:

بارم آزمون: ۲۰ نمره

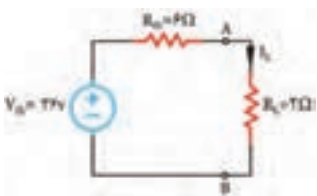
آزمون نظری: سؤال بر اساس الگوی پرسش  
(۱) مقدار  $R_{th}$  را در مدار شکل روبرو محاسبه کنید.



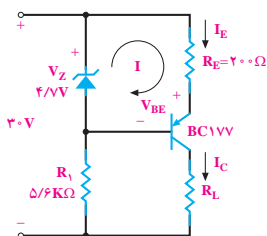
(۲) در مدار شکل مقابل جریان مقاومت ۶ اهمی  
چند آمپر است؟



(۳) حداکثر توان انتقالی به بار در مدار شکل مقابل  
را به دست آورید.



(۴) در مدار منبع جریان ترانزیستوری مقابل، جریان  
بار ( $I_L$ ) را محاسبه کنید.



... (۵)

بارم آزمون:

آزمون نرم افزاری: سؤال بر اساس الگوی پرسش -

آزمون سخت افزاری -

شایستگی های غیر فنی: مشابه مرحله کار ۱ پودمان اول

کلیه آزمون ها بر اساس استاندارد عملکرد نمون برگ ۸-۱ انجام می شود.