

فصل چهارم

قوانین تونن و نورتن

هدف کلی: آشنایی با منبع ولتاژ و منبع جریان و قوانین تونن و نورتن و به کارگیری آنها در مدارها

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



- ۱- منبع جریان را تعریف کند.
- ۲- انواع منبع جریان را نام ببرد.
- ۳- منبع ولتاژ را تعریف کند.
- ۴- انواع منابع ولتاژ را نام ببرد.
- ۵- منابع ولتاژ و منابع جریان را به یکدیگر تبدیل کند.
- ۶- مدار معادل تونن مدارهای الکتریکی جریان مستقیم را به دست آورد.

ساعت آموزش			توانایی
جمع	عملی	نظری	
۸	۴	۴	شماره ۴

پیش آزمون فصل (۲)



۱- عناصر فعال به عناصری گفته می شود که انرژی مدار را می کنند.

الف) تامین مصرف

۲- منبع ولتاژ حقیقی را می توان منع ولتاژ ایدهآلی دانست که یک مقاومت اهمی.....، با آن شده باشد.

الف) کوچک- سری

ج) بزرگ- سری

۳- منابع جریان واقعی، منابع جریان ایدهآلی هستند که با یک مقاومت اهمی بزرگ به صورت موازی قرار گرفته اند.

غلط □

صحیح □

۴- کدامیک از جملات زیر صحیح نیست؟

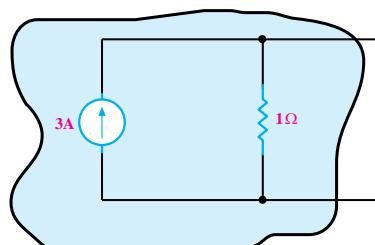
الف) منابع جریان ایدهآل، در بارهای مختلف، جریان ثابتی به مدار می دهند.

ب) منع ولتاژ حقیقی منعی است که با افزایش بار، ولتاژ خروجی آن کاهش می یابد.

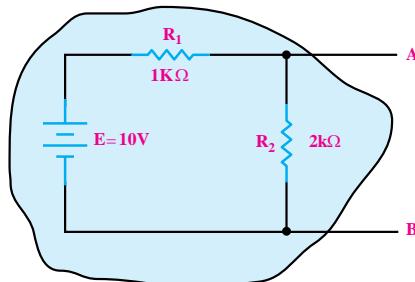
ج) منابع ایدهآل را می توان به یکدیگر تبدیل کرد و توان آن را افزایش داد.

د) برای تبدیل یک منبع ولتاژ به منبع جریان، مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

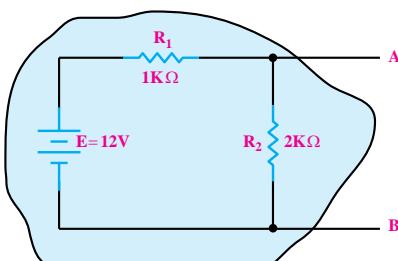
۵- منبع ولتاژ معادل منبع جریان شکل زیر را به دست آورید.



۶- مدار معادل نورتن شکل زیر را از دو نقطه‌ی A و B به دست آورید.



۷- مدار معادل تونن مدار زیر را از دو نقطه‌ی A و B به دست آورید.

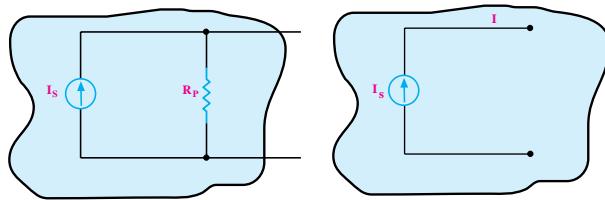


ثابت است. منابع جریان بیشتر در مدارهای الکترونیکی

دیده می‌شوند و به صورت ایده‌آل وجود ندارند. منابع جریان واقعی، منبع جریان ایده‌آلی هستند که با یک مقاومت بزرگ اهمی به صورت موازی قرار گرفته‌اند.

در این منابع به دلیل ثابت بودن جریان منبع، در صورت تغییر بار، جریان عبوری در مصرف کننده قدری تغییر می‌کند.

در شکل ۴-۲ دو نمونه منبع جریان ایده‌آل و واقعی را مشاهده می‌کنید.



منبع جریان واقعی

منبع جریان ایده‌آل

شکل ۴-۲ دو نمونه منبع جریان

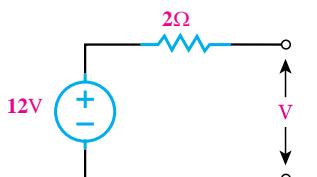
۴-۳ تبدیل منابع ولتاژ و جریان به یکدیگر

در تحلیل مدارهای الکترونیکی مواردی پیش می‌آید که اگر به جای منبع ولتاژ، یک منبع جریان در مدار قرار گیرد، تحلیل مدار ساده‌تر می‌شود.

برای تبدیل یک منبع ولتاژ به منبع جریان کافی است، ولتاژ منبع را بر مقاومت داخلی آن تقسیم کنیم تا مقدار جریان منبع جریان معادل به دست آید. مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

مثال ۱: منبع جریان معادل منبع ولتاژ شکل ۴-۳ را به دست

آورید.



شکل ۴-۳

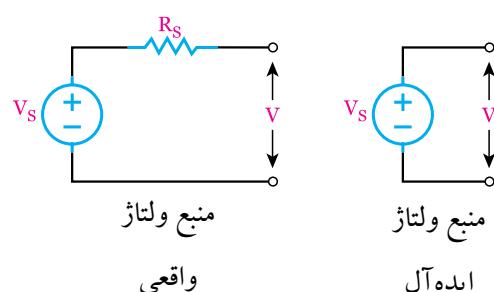
۱-۴ عناصر فعال مدارهای الکترونیکی

عناصر فعال به عناصری گفته می‌شود که انرژی مدار را تامین می‌کنند. این عناصر منابع ولتاژ و منبع جریان هستند. هر یک از این دو منبع به دو گروه منابع ایده‌آل و منابع حقیقی تقسیم می‌شوند.

۱-۱-۴ منابع ولتاژ

منبع ولتاژ ایده‌آل منبعی است که بتواند در بارهای مختلف، ولتاژ ثابتی را به مدار بدهد. منبع ولتاژ حقیقی، منبعی است که با افزایش بار (کاهش مقاومت مدار)، ولتاژ خروجی آن کاهش می‌یابد.

منبع ولتاژ حقیقی را می‌توان منبع ولتاژ ایده‌آلی دانست که یک مقاومت اهمی کوچک با آن سری شده است. منابع تغذیه در صنعت، منابع ولتاژ حقیقی هستند و منابع ولتاژ ایده‌آل وجود خارجی ندارند ولی با تقریب می‌توان منبع ولتاژ با انرژی بسیار بزرگ را ایده‌آل فرض کرد. شکل ۱-۴ یک نمونه منبع ولتاژ ایده‌آل و یک نمونه منبع ولتاژ واقعی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴ دو نمونه منبع ولتاژ

۱-۱-۴ منابع جریان

منابع جریان ایده‌آل منابعی هستند که در بارهای مختلف، جریان ثابتی به مدار می‌دهند. به عبارت دیگر، اگر مقاومت بار در مدار تغییر کند، ولتاژ آن تغییر می‌کند ولی جریان آن

حل:

مقدار ولتاژ معادل منبع ولتاژ از حاصل ضرب جریان کل

مقاومت داخلی منبع جریان و منبع ولتاژ با هم برابر است: در R_p به دست می آید:

$$V_s = 12 \times 3 = 36 \text{ (V)}$$

$$R_s = R_p = 3\Omega$$

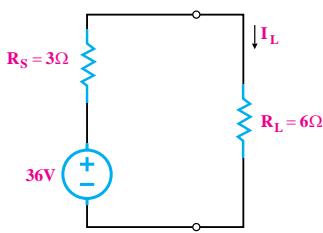
$$R_s = R_p = 2\Omega$$

مقدار جریان منبع جریان را از تقسیم ولتاژ منبع ولتاژ بر

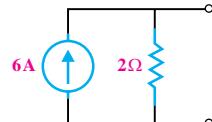
مقاومت سری با آن به دست می آوریم:

منبع ولتاژ معادل منبع جریان این مثال را در شکل ۴-۶ مشاهده می کنید.

$$I_s = \frac{V_s}{R_s} = \frac{12 \text{ (V)}}{2 \Omega} = 6 \text{ A}$$



پس منبع جریان معادل به صورت شکل ۴-۴ در می آید.



شکل ۴-۴ منبع جریان معادل

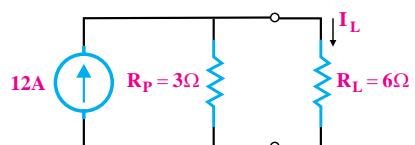
$$I_L = \frac{36 \text{ (V)}}{3 + 6} = 4 \text{ (A)}$$

شکل ۴-۶ مدار معادل منبع جریان

همان طور که ملاحظه می کنید جریان مصرف کننده در حالتی که منبع جریان در مدار است برابر با زمانی است که در مدار منبع ولتاژ معادل قرار دارد. بدیهی است که ولتاژ در مدار مقاومت بار و توان مصرفی آن نیز در هر دو حالت ثابت است.

تذکرہ: منابع ایدهآل را نمی توان به یکدیگر تبدیل کرد.

مثال ۲: در شکل ۴-۵ منبع ولتاژ معادل منبع جریان مدار را محاسبه کنید و شکل مدار را رسم کنید. جریان مصرف کننده I_L را در مدار منبع جریان و در مدار منبع ولتاژ محاسبه کنید.



شکل ۴-۵

حل:

از قانون تقسیم جریان بین دو مقاومت برای به دست

آوردن I_L استفاده می کنیم:

$$I_L = I_{\text{کل}} \times \frac{3\Omega}{3 + 6} = 12 \times \frac{3}{9} = 4 \text{ (A)}$$

به طور خلاصه برای تبدیل منبع جریان به منبع ولتاژ باید به طریق صفحه بعد عمل کنید:



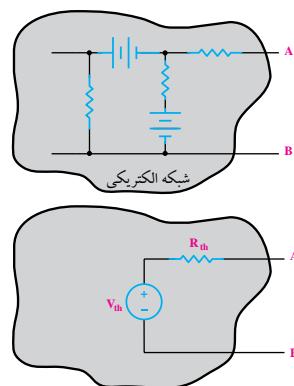
آیا می‌دانید:

یک لامپ کم مصرف ۲۰ وات با بازدهی انرژی A در طول عمر خود معادل یک بشکه نفت خام صرفه‌جویی می‌کند.

۴-۲ قضایای تونن و نورتن

۴-۲-۱ قضیه‌ی تونن

طبق قضیه‌ی تونن، هر شبکه‌ی الکتریکی از دو نقطه‌ی مشخص را می‌توان به صورت یک منبع ولتاژ و یک مقاومت سری شده با آن معادل نمود، شکل ۴-۸.



شکل ۴-۸ مدار معادل یک شبکه از دو نقطه‌ی A و B

ولتاژ مدار معادل شده از دو نقطه‌ی A و B با ولتاژ شبکه‌ی اصلی دقیقاً برابر است. همچنین مقاومت اهمی شبکه‌ی اصلی با شبکه‌ی معادل شده نیز یکی است.

برای به دست آوردن مقاومت معادل تونن می‌توانیم مقاومت معادل از دو نقطه‌ی A و B را به کمک روابط محاسبه کنیم یا به کمک اهم متر مستقیماً اندازه‌بگیریم، شکل ۴-۹.

- همیشه مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

$$R_S = R_P$$

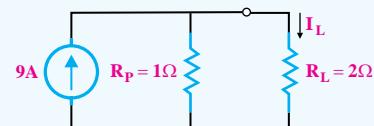
- ولتاژ منبع ولتاژ از حاصل ضرب جریان در مقاومت داخلی منبع جریان به دست می‌آید.

$$V_S = R_P \times I_S$$

تمرین کلاسی ۱: در مدار شکل ۴-۷، منبع



ولتاژ معادل منبع جریان مدار را محاسبه کنید و مدار جدید را رسم کنید. همچنین جریان مصرف کننده‌ی R_L را در مدار منبع جریان و در مدار منبع ولتاژ محاسبه کنید.



شکل ۴-۷



توجه

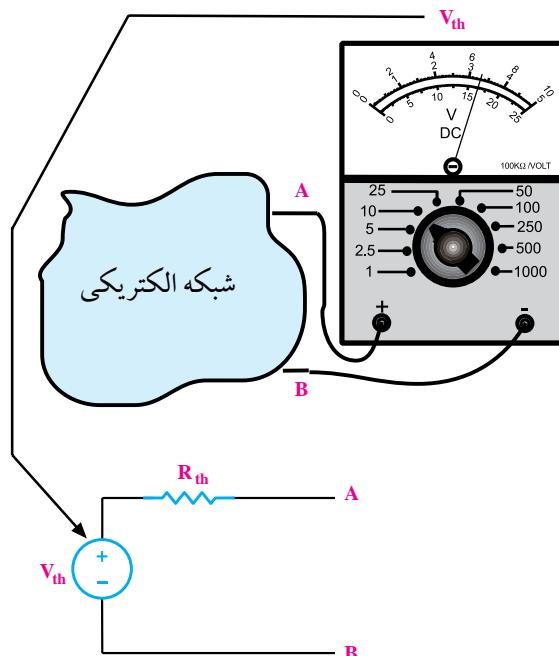
هنگام اندازه‌گیری مقاومت

معادل تونن با مولتی‌متر، باید منع ولتاژ را از مدار خارج کنیم و به جای آن مقاومت معادل داخلی آن را قرار دهیم.



برای اندازه‌گیری ولتاژ معادل تونن مدار، باید ابتدا ولتاژ

بین دو نقطه مشخص شده را محاسبه کنید یا با ولت‌متر مستقیماً ولتاژ را اندازه‌بگیرید، شکل ۴-۱۱.

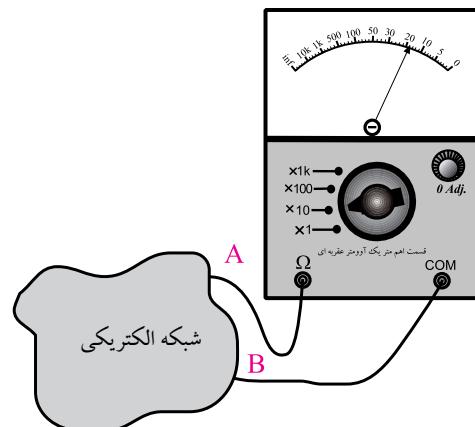


شکل ۴-۱۱- نحوه‌ی به‌دست آوردن ولتاژ معادل تونن

مثال ۳: مدار معادل تونن شکل ۴-۱۲ را از دو نقطه‌ی A و B به‌دست آورید.

حل:

ولتاژ معادل تونن یا ولتاژ بین نقاط A و B در مدار شکل ۴-۱۲، همان ولتاژ دو سر مقاومت R است.



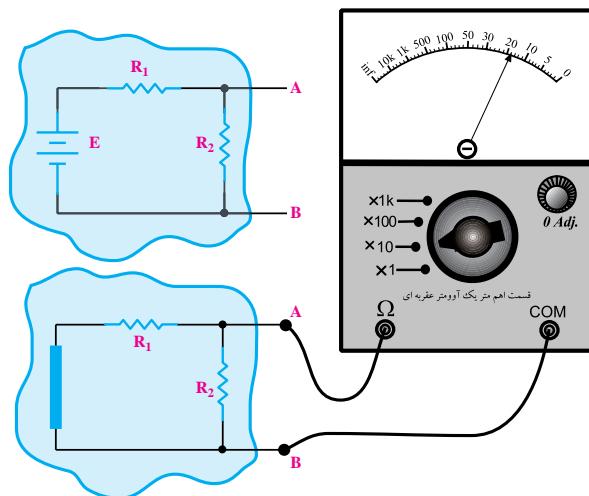
شکل ۴-۹- اهم‌متر مقاومت R_{th} را نشان می‌دهد.

برای به‌دست آوردن R_{th} به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

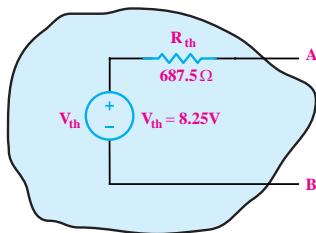
الف- بار را برابر می‌داریم.

ب- منابع ولتاژ را بی‌اثر می‌کنیم. برای این منظور منابع ولتاژ ایده‌آل را اتصال کوتاه می‌کنیم. در شکل ۴-۱۰ به جای منابع ولتاژ واقعی، مقاومت داخلی آن را در مدار قرار داده‌ایم.

پ- از دو نقطه‌ای که بار قرار می‌گیرد (A و B) مقاومت معادل مدار را به‌دست می‌آوریم.

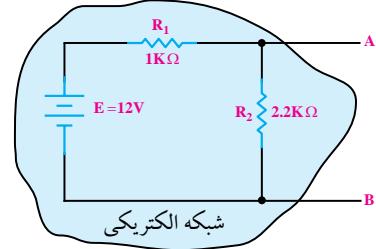


شکل ۴-۱۰- اندازه‌گیری مقاومت معادل تونن با مولتی‌متر



شکل ۴-۱۴ مدار معادل تونن

با داشتن آرامش می‌توانید از تمام توانایی‌های خود استفاده کنید. پس سعی کنید در هنگام بروز اضطراب از تکنیک‌های کسب آرامش استفاده کنید.



شکل ۴-۱۲

$$V_{AB} = V_{th} = R_v I$$

$$I = \frac{E}{R_1 + R_v} = \frac{12}{1000 + 2200} = \frac{12}{3200} = 0.00375A$$

$$V_{th} = 2200 \times 0.00375 = 8.25V$$

۴-۴-۲ قضیه نورتن

بر اساس قضیه نورتن، می‌توانیم هر شبکه‌ی الکتریکی را از دو نقطه‌ی مشخص به صورت یک منبع جریان و یک مقاومت موازی با آن معادل کنیم.

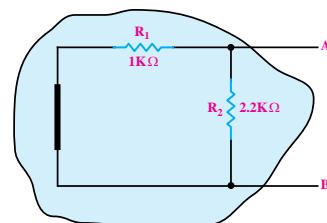
منبع جریان عنصری است که می‌تواند جریان ثابتی را به مدار تزریق کند. این جریان کاملاً ثابت بوده و به ولتاژ دو سر آن، یعنی به منبع بستگی ندارد. منبع جریان را با عناصر الکترونیکی و با استفاده از منبع ولتاژ می‌سازند و با علامت قراردادی شکل ۴-۱۵ نشان می‌دهند.



شکل ۴-۱۵ علامت قراردادی منبع جریان

شکل ۴-۱۶ مدار معادل نورتن یک شبکه‌ی الکتریکی را نشان می‌دهد.

برای به دست آوردن مقاومت معادل تونن ابتدا منبع ولتاژ (E) را از مدار جدا کنید، سپس به جای آن اتصال کوتاه بگذارید، سپس از دو نقطه‌ی A و B، مقاومت معادل مدار را محاسبه کنید، شکل ۴-۱۳.



شکل ۴-۱۳ محاسبه مقاومت معادل تونن

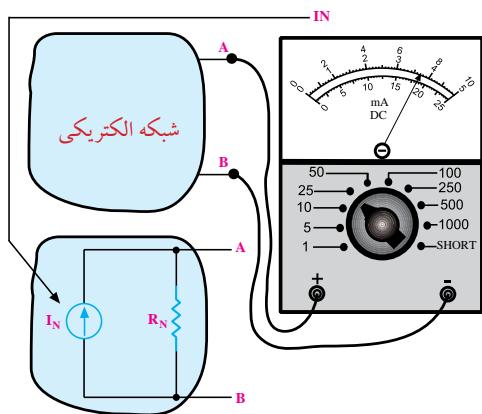
همان‌طور که مشاهده می‌شود از دو نقطه‌ی A و B مقاومت‌های R_1 و R_2 با یکدیگر موازی هستند لذا داریم:

$$R_{AB} = R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{th} = \frac{1000 \times 2200}{1000 + 2200} = 687.5\Omega$$

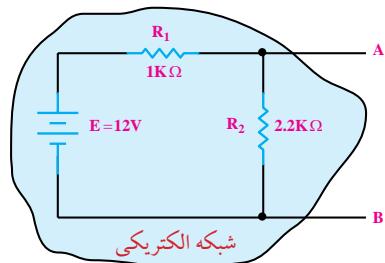
مدار معادل تونن مدار شکل ۱۱-۴ به صورت شکل ۴-۱۶ در می‌آید.

اتصال کوتاه می کند.



شکل ۴-۱۸ چگونگی به دست آوردن جریان معادل نورتن

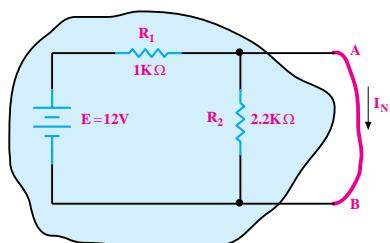
مثال ۴: مدار معادل نورتن شکل ۴-۱۹ را از دو نقطه A و B به دست آورید.



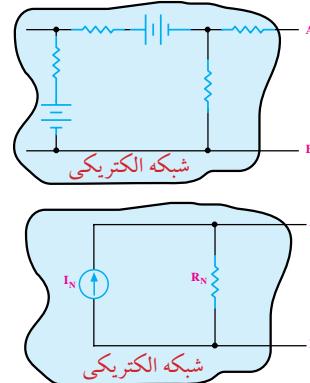
شکل ۴-۱۹

حل:

برای به دست آوردن جریان نورتن، نقاط A و B را اتصال کوتاه می کنیم و جریان گذرنده از آن را از طریق محاسبه به دست می آوریم. در شکل ۴-۲۰ بین نقاط A و B اتصال کوتاه شده است، لذا از مقاومت R_N جریانی عبور نمی کند.

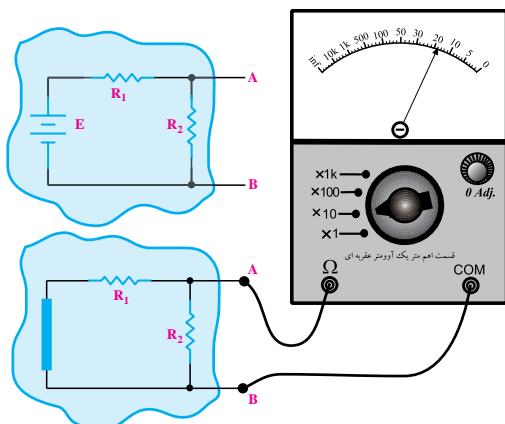


شکل ۴-۲۰ - محاسبه جریان معادل نورتن



شکل ۴-۱۶ مدار معادل نورتن یک شبکه الکتریکی

برای به دست آوردن مقاومت معادل نورتن می توانیم مقاومت معادل از دو نقطه A و B را به کمک روابط محاسبه کنیم یا به کمک اهم متر مستقیم اندازه بگیریم. در هر دو حالت، اگر در مدار منبع ولتاژ وجود داشته باشد باید منبع را از مدار جدا کنید و در محل اتصال منبع به مدار یک اتصال کوتاه قرار دهید، شکل ۴-۱۷.



شکل ۴-۱۷ - نحوه به دست آوردن مقاومت معادل نورتن

برای به دست آوردن جریان معادل نورتن مدار، باید بین دو نقطه A و B در شکل ۴-۱۸ اتصال کوتاه کنید. این جریان اتصال کوتاه، که همان جریان نورتن است را می توانیم به کمک روابط محاسبه کنیم یا با یک آمپر متر که بین دو نقطه A و B قرار می دهد، جریان را اندازه بگیرید، شکل ۴-۱۸. توجه داشته باشید که آمپر متر بین دو نقطه A و B را

محاسبه و یا اندازه‌گیری آن‌ها نیز مشابه است. در مدار معادل نورتن و تونن روابط زیر همیشه برقرار است:

$$V_{th} = I_N \cdot R_N$$

$$I_N = \frac{V_{th}}{R_{th}}$$

بنابراین مدار معادل تونن و نورتن می‌توانند به هم تبدیل شوند.

۴-۳ آزمایش شماره‌ی (۱) :

زمان اجرا : ۴ ساعت آموزشی مدار تونن

۴-۳-۱ هدف آزمایش:

به دست آوردن ولتاژ و مقاومت معادل تونن در یک مدار الکتریکی

۴-۳-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

تعداد / مقدار	ردیف نام و مشخصات دستگاه و قطعات
یک دستگاه	منبع تغذیه $-15V$ ۱
یک دستگاه	مولتی متر عقرهای یا دیجیتالی ۲
یک قطعه	بردبرد ۳
یک عدد	مقاومت $2/2K\Omega$ ۴
دو عدد	مقاومت $1K\Omega$ ۵
چهار رشته	سیم دو سر گیره دار ۶
چهار رشته	سیم یک سر گیره دار ۷
به مقدار کافی	سیم رابط ۸

۴-۳-۳ مراحل اجرای آزمایش:

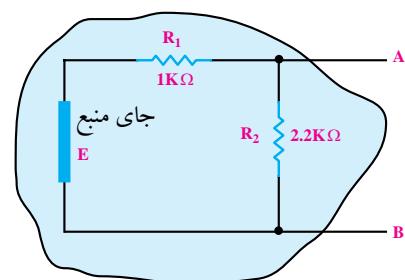
مدار شکل ۴-۲۳ را روی بردبرد بیندید.

از طرفی، چون دو سر مقاومت R اتصال کوتاه شده است، جریان I_N از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$I_N = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{12}{1K + 2.2K} = 0.012A = 12mA$$

یا:

برای به دست آوردن مقاومت معادل نورتن، منبع ولتاژ (E) را از مدار جدا می‌کنیم و به جای آن، اتصال کوتاه قرار می‌دهیم، شکل ۴-۲۱. سپس از دو نقطه‌ی A و B مقاومت معادل را محاسبه می‌کنیم.

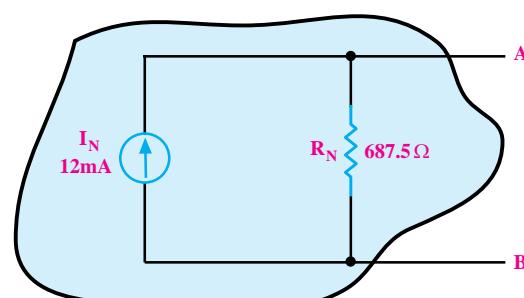


شکل ۴-۲۱ اتصال کوتاه منبع

بانگاه از دو نقطه‌ی A و B، مقاومت‌های R_1 و R_2 با هم موازی هستند لذا داریم:

$$R_N = R_{AB} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1000 \times 2200}{1000 + 2200} = 687.5\Omega$$

مدار معادل نورتن شکل ۴-۱۹ به صورت شکل ۴-۲۲ در می‌آید.

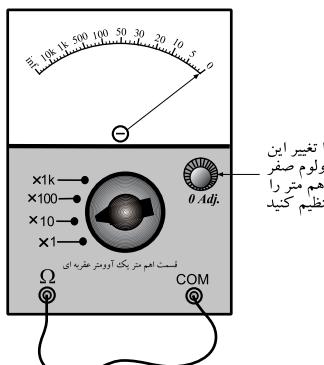


شکل ۴-۲۲ مدار معادل نورتن

توجه: همیشه R_N و R_{th} با یکدیگر برابرند و نحوه

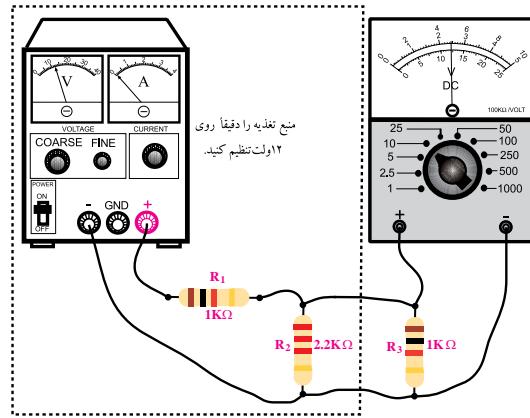
دهید.

■ اگر اهم متر شما عقربه‌ای است، حتماً صفر آن را تنظیم کنید. برای این کار دو ترمینال اهم متر که مقاومت به آن‌ها وصل می‌شود را اتصال کوتاه و با ولوم روی آن صفر را تنظیم کنید. اهم متر دیجیتالی نیاز به تنظیم صفر ندارد، شکل ۴-۲۴.

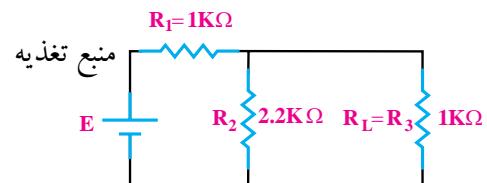


شکل ۴-۲۴- نحوه تنظیم صفر اهم متر عقربه‌ای

■ مدار شکل ۴-۲۵ را روی برد بندید.



الف) مدار عملی



ب) نقشه فنی مدار

شکل ۴-۲۳

■ ابتدا در حالی که مدار به صورت کامل روی برد بسته شده است، ولتاژ دو سر مقاومت بار را اندازه می‌گیریم.

■ ولت‌متر DC را به دو سر مقاومت بار $1\text{K}\Omega$ وصل کنید و ولتاژ دو سر مقاومت بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{O_1} = V_{R_1} = \dots \text{ (V)}$$

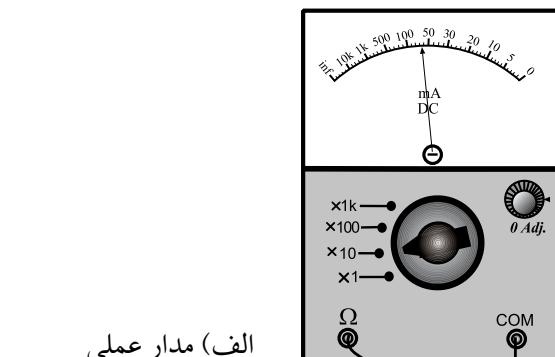
■ برای بدست آوردن مقاومت تونن مدار، ابتدا منبع تغذیه را از مدار جدا کنید.

■ به جای منبع ولتاژ، یک سیم اتصال کوتاه قرار دهید.

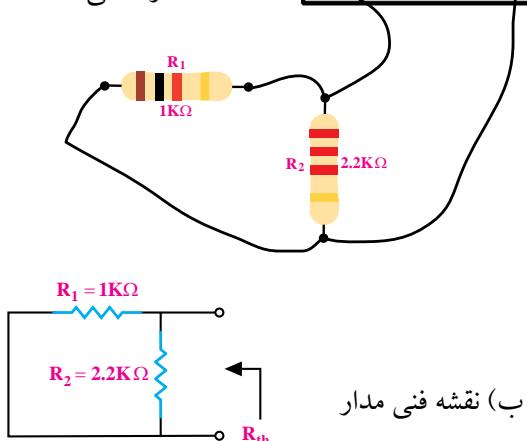
■ مقاومت بار R_1 را از مدار جدا کنید.

■ مولتی‌متر را روی رنج اهم متر تنظیم کنید.

■ ولت‌متر را از مدار جدا کنید و به جای آن اهم متر قرار



الف) مدار عملی



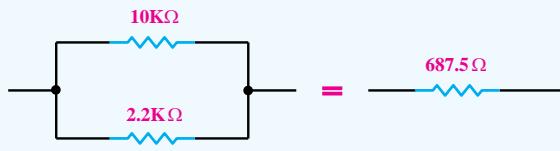
ب) نقشه فنی مدار

۴-۲۵

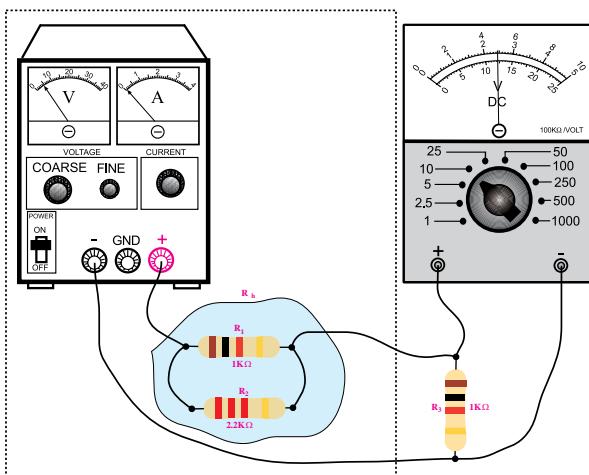
■ مقاومتی را که اهم متر اندازه می‌گیرد، مقاومت معادل

- رنج کلید ولت متر را روی ۱۰ ولت قرار دهید.
 - منع تغذیه را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.
 - مقدار ولتاژی را که ولت متر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید. این همان ولتاژ معادل تونن مدار مورد نظر است.
- $$V_{th} = \dots\dots\dots\dots\dots V$$
- منبع تغذیه را دقیقاً روی مقدار V_{th} که در مرحلهٔ قبل به دست آورده‌اید، تنظیم کنید.
 - به جای مقاومت‌های R_1 و R_2 مقاومت تونن (R_{th}) را در مدار شکل ۴-۲۶ قرار دهید.

■ به جای $2\text{K}\Omega$ $R_{th}=687.5\Omega$ می‌توانید از دو مقاومت $1\text{K}\Omega$ و $2/2\text{K}\Omega$ که با یکدیگر موازی شده‌اند استفاده کنید.



■ مدار شکل ۴-۲۸ را روی برد بیندید.

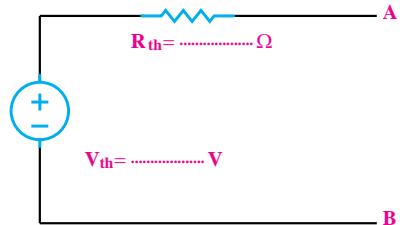


شکل ۴-۲۸

تونن مدار شکل ۴-۲۵ است. مقدار آن را بخوانید و یادداشت کنید.

$$R_{th} = \dots\dots\dots\dots\dots \Omega$$

■ معادل تونن مدار شکل ۴-۲۳ به صورت شکل ۴-۲۶ در می‌آید.



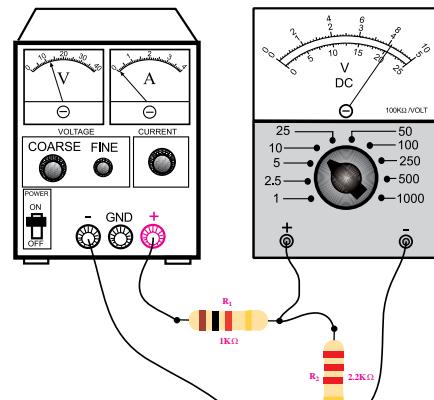
شکل ۴-۲۶ مدار معادل تونن شکل ۴-۲۳

■ برای به دست آوردن ولتاژ تونن، باید مجدداً منبع

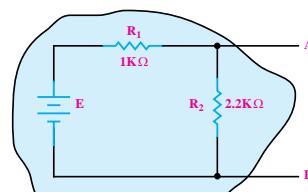
تغذیه را به دو سر مقاومت‌های R_1 و R_2 وصل کنید.

■ همچنان مقاومت بار R را در مدار قرار ندهید.

■ مدار شکل ۴-۲۷ را روی برد بیندید.



الف) مدار عملی

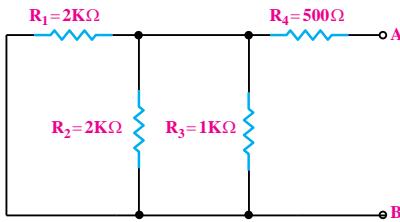


ب) نقشه فنی مدار

شکل ۴-۲۷

حل:

برای به دست آوردن مقاومت معادل تونن، ابتدا منبع ولتاژ (E) را از مدار جدا می کنیم و جای آن را اتصال کوتاه می گذاریم.



شکل ۴-۳۰

همان طور که در شکل ۴-۳۰ مشاهده می شود، از دو نقطه A و B، مقاومت های R_1 و R_2 و R_3 موازی هستند، لذا داریم:

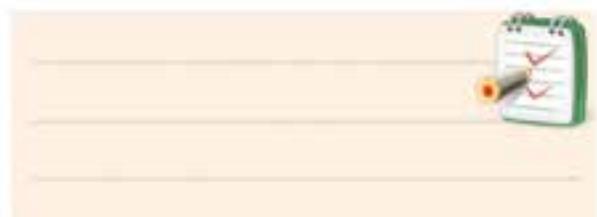
■ ولتاژ دو سر مقاومت $R_4 (1K\Omega)$ را اندازه بگیرید و

یادداشت کنید.

$$V_{O_2} = V_{R_4} = \dots \text{ (V)}$$

سوال ۱: آیا مقدار V_{O_2} (خروجی مدار واقعی) با

(خروجی معادل تونن) دقیقاً برابرند؟ چرا؟ توضیح دهید.



۴-۳-۴ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته اید به اختصار شرح دهید.

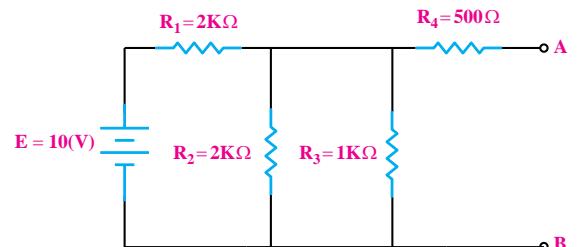
$$\begin{aligned} R_1 \parallel R_2 &= \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \\ R_1 \parallel R_2 &= \frac{2 \times 2}{2+2} = \frac{4}{4} = 1K\Omega \\ R_3 \parallel (R_1 \parallel R_2) &= \frac{R_3 \times (R_1 \parallel R_2)}{R_3 + (R_1 \parallel R_2)} = \frac{1 \times 1}{1+1} = \frac{1}{2} K\Omega \end{aligned}$$

مقاومت معادل تونن از دو نقطه A و B، از سری شدن

R_4 با معادل موازی R_1 و R_2 و R_3 به دست می آید:

$$\begin{aligned} R_{th} &= R_{123} + R_4 \\ R_{th} &= 0.5K\Omega + 500\Omega \\ R_{th} &= (0.5 \times 10^3)\Omega + 500\Omega \\ R_{th} &= 500\Omega + 500\Omega = 1000\Omega \\ R_{th} &= 1000\Omega = 1000 \times 10^{-3} = 1K\Omega \end{aligned}$$

مثال ۵: مقاومت معادل تونن در شکل ۴-۲۹ از دو نقطه A و B را به دست آورید.



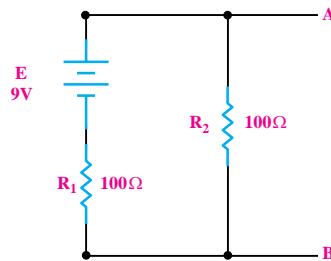
شکل ۴-۲۹

آزمون پایانی فصل (۳)



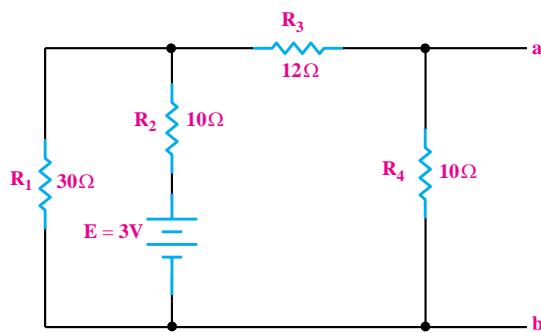
۱- مدار معادل تونن از دو نقطه‌ی A و B مدار شکل

۴-۳۱ را به دست آورید.



۲- مدار معادل نورتن از دو نقطه‌ی a و b مدار شکل

۴-۳۳ را به دست آورید.

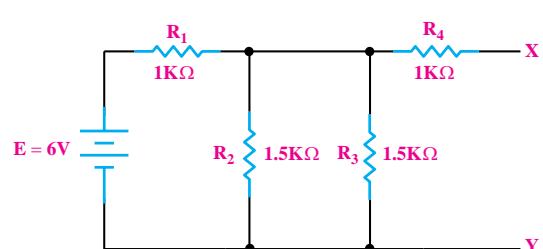


شکل ۴-۳۳

شکل ۴-۳۱



۳- مقاومت معادل تونن در شکل ۴-۳۲ از دو نقطه‌ی X و Y را به دست آورید.



شکل ۴-۳۲

۴- منبع جریان معادل منبع ولتاژ شکل ۴-۳۴ را به دست آورید.
۵- منبع ولتاژ ایده‌آل منبعی است که در بارهای مختلف ثابتی به مدار می‌دهد.

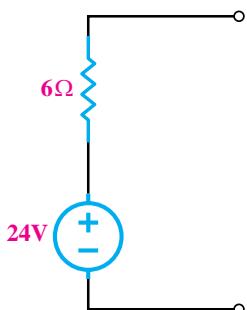
۶- برای تبدیل یک منبع ولتاژ به منبع جریان، مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

غلط صحیح

۷- منابع ولتاژ و منابع جریان ایده‌آل را می‌توان به یکدیگر تبدیل کرد.

غلط صحیح

۸- منابع جریان ایده‌آل با یک مقاومت اهمی به صورت قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۳۴

۹- طبق قضیه‌ی نورتن، هر شبکه‌ی الکتریکی را می‌توان به صورت یک منبع جریان و یک مقاومت موازی با آن معادل نمود.

غلط صحیح



این کتاب برای استاندارد الکترونیک کار صنعتی تنظیم شده است. برای آموزش سایر استانداردها نیز می‌توانید از این کتاب استفاده کنید. برای این منظور لازم است محتوای استاندارد مورد آموزش را دقیقاً مطالعه نمایید و موارد اضافی را آموزش ندهید. همچنین موارد اضافی مربوط به سایر استانداردها در این کتاب مشخص شده است.