☑ **پاسخ:** گزینه «۲» برای حل این تست باید با تحلیل ساده مدارهای RC زمان روشن و خاموش شدن دیودهای D_1 و D_2 را محاسبه کنیم. ابتدا با توجه به این که ولتاژ اولیه خازن‌های C_1 و C_3 برابر صفر بوده ولی ولتاژ اولیه خازن C_2 مثبت است، مشخص است که دیودهای D_1 و D_2 قطع هستند چرا که ولتاژ دو سرشان کوچکتر از صفر است. در این حالت مدار شامل دو زیرمدار RC در سمت چپ و راست است که می‌توان آنها را به راحتی تحلیل کرد:

$$V_{C_1}(t)=V_{C_1}(\infty)(1-e^{-\frac{t}{R_1C_1}})=5(1-e^{-\frac{t}{3}})$$

$$V_{C_3}(t)=V_{C_3}(\infty)(1-e^{-\frac{t}{R_3C_3}})=5(1-e^{-\frac{t}{4}})$$

با توجه به ثابت زمانی کوتاهتر مدار RC سمت چپ، مشخص است که خازن C_1 سریعتر از خازن C_3 به ولتاژ ۲ ولت (ولتاژ خازن C_2) می‌رسد:

$$V_{C_1}(t)=5(1-e^{-\frac{t}{3}})=2\Rightarrow e^{-\frac{t}{3}}=0/6\Rightarrow -\frac{t}{3}=Ln(0/6)=-0/5\Rightarrow t=1/5\ s$$

بعد از این که ولتاژ خازن C_1 به ۲ ولت رسید، دیود D_1 روشن شده و خازن‌های C_1 و C_2 تواماً توسط منبع V_{S_1} با ثابت زمانی $\tau=1\times(3+5)=8$ شارژ می‌شوند. با توجه به این که این ثابت زمانی بزرگتر از ثابت زمانی مدار RC سمت راست است، باید این احتمال را داد که ولتاژ خازن C_3 قبل از قطع منابع تغذیه مدار به ولتاژ مجموعه دو خازن C_1 و C_2 برسد، که در این صورت دیود D_2 نیز وصل خواهد شد. بنابراین رابطه ولتاژ خازن‌های C_1 و C_2 را بدست آورده و برابر رابطه‌ای که قبلاً برای ولتاژ خازن C_3 بدست آوردیم، قرار می‌دهیم:

$$V_{C_2}(t)=V_{C_2}(\infty)+[V_{C_2}(t=1/5)-V_{C_2}(\infty)]e^{-\frac{t-1/5}{8}}=5-3e^{-\frac{t-1/5}{8}}\quad,\quad V_{C_3}(t)=5(1-e^{-\frac{t}{4}})$$

$$V_{C_2}(t)=V_{C_3}(t)\Rightarrow 5-3e^{-\frac{t-1/5}{8}}=5-5e^{-\frac{t}{4}}\Rightarrow 0/6e^{-\frac{t-1/5}{8}}=e^{-\frac{t}{4}}$$

$$\xrightarrow{\text{از طرفین Ln می‌گیریم}} Ln(0/6)+Ln(e^{-\frac{t-1/5}{8}})=Ln(e^{-\frac{t}{4}})\Rightarrow -0/5-\frac{t-1/5}{8}=-\frac{t}{4}\xrightarrow{\times(-8)} 4+t-1/5=2t\Rightarrow t=2/5\ s$$

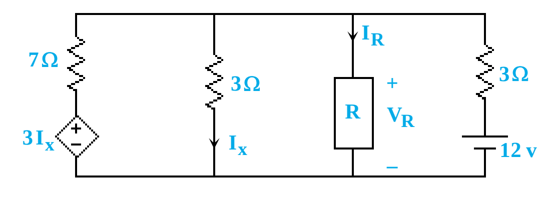
بنابراین در زمان $t=2/5$ ثانیه، هر دو دیود روشن بوده و هر سه خازن موجود در مدار تواماً توسط منابع V_{S_1} و V_{S_2} شارژ می‌شوند. زمانی که منبع V_{S_1} صفر می‌شود، خازن C_1 از طریق مقاومت ۱ اهمی شروع به دشارژ شدن کرده و ولتاژش افت می‌کند؛ در این حالت ولتاژ دو سر دیود D_1 منفی شده و این دیود خاموش می‌شود. دیود D_2 نیز تا صفر شدن منبع ولتاژ V_{S_2} روشن باقی خواهد ماند و بعد از آن صفر می‌شود.

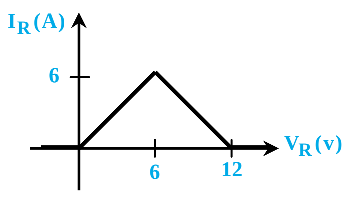
با توجه به توضیحات ارائه شده، دیود D_1 در بازه زمانی $1/5<t<5$ و دیود D_2 در بازه زمانی $2/5<t<6$ روشن بوده و لذا گزینه (۲) پاسخ این تست می‌باشد.

تحلیل مدارهای شامل مقاومت‌های غیرخطی

در این نوع مدارها ابتدا از دو سر المان غیرخطی، مدار معادل تونن را بدست می‌آوریم. سپس با جایگذاری مدار معادل تونن و با اعمال یک KVL یا KCL مناسب، رابطه $V-I$ المان غیرخطی را با توجه به مدار بدست می‌آوریم. حال رابطه بدست آمده را در روی منحنی $V-I$ داده شده در صورت مسأله ترسیم می‌کنیم. در ادامه از محل برخورد دو منحنی، نقطه کار مدار بدست می‌آید. در صورتی که چند المان غیرخطی به صورت سری یا موازی در مدار باشد، ابتدا آنها را ترکیب می‌کنیم. بدین صورت که اگر دو مقاومت غیرخطی با هم موازی باشند، با توجه به برابری ولتاژ آنها، نمودارهای مربوطه را به صورتی با هم ترکیب می‌کنیم که در ولتاژهای ثابت، جریان آنها با هم جمع شود. همچنین اگر دو مقاومت غیرخطی سری داشته باشیم، با توجه به برابری جریان آنها، نمودارهای آنها را طوری ترکیب می‌کنیم که ولتاژ آنها در جریان ثابت با هم جمع شود. پس از ترکیب آنها، مدار معادل تونن مدار را از دو سر المان غیرخطی بدست آورده و جایگزین می‌کنیم. حال مطابق با روش گفته شده در قبل از برخورد منحنی $V-I$ داده شده در صورت سؤال با منحنی $(V-I)$ بدست آمده از مدار، نقطه کار را بدست می‌آوریم.

مثال ۱۳: منحنی مشخصه یک مقاومت غیرخطی به صورت زیر ترسیم شده است. در این مدار مقدار جریان I_R کدام است؟



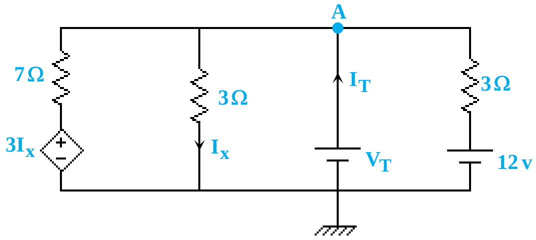


۱) ۲/۴A
۲) ۳/۴A
۳) ۴/۳A
۴) ۶/۲A

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» ابتدا از دو سر مقاومت غیرخطی، مدار معادل تونن دیده می‌شود. برای این منظور در دو نقطه مذکور به مدار، V_T اعمال شده و جریان I_T اندازه‌گیری می‌شود. با نوشتن KCL در گره A داریم:

$$I_T=I_x+\frac{V_T-12}{3}+\frac{V_T-3I_x}{7}\qquad(1)\qquad \text{و}\qquad I_x=\frac{V_T}{3}\qquad(2)$$

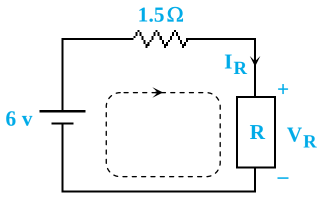
با ترکیب روابط (۱) و (۲) داریم:



$$I_T=\frac{V_T}{۳}+\frac{V_T-۱۲}{۳}+\frac{V_T-۳(\frac{V_T}{۳})}{۷}$$

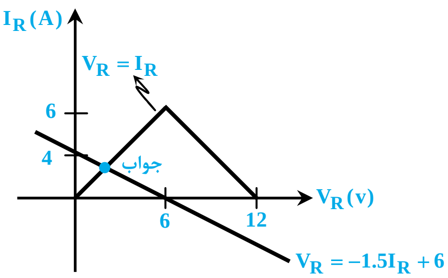
$$\Rightarrow\quad V_T=۱/۵I_T+۶\quad\Rightarrow\quad\begin{cases}R_{th}=۱/۵\Omega\\V_{th}=۶\,v\end{cases}$$

با معادل‌گذاری مدار معادل تونن از دو سر المان غیرخطی، در حلقه مدار، KVL می‌زنیم.



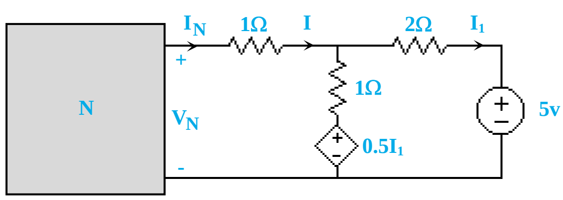
$$V_R=-۱/۵I_R+۶\qquad(۳)$$

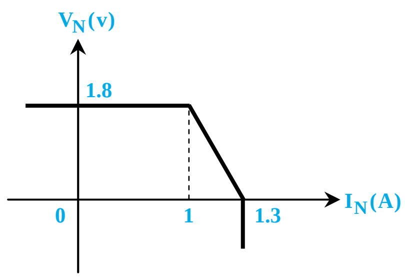
با ترسیم معادله (۳) در دستگاه مختصات (I_R-V_R) مربوط به المان غیرخطی داریم:



$$\begin{cases}V_R=I_R\\V_R=-۱/۵I_R+۶\end{cases}\Rightarrow\quad I_R=-۱/۵I_R+۶\quad\Rightarrow\quad \mathbf{I_R=\frac{۶}{۲/۵}=۲/۴A}$$

مثال ۱۴: **مشخصه یک‌قطبی N در مدار شکل زیر داده شده است. جریان I در این مدار کدام است؟**





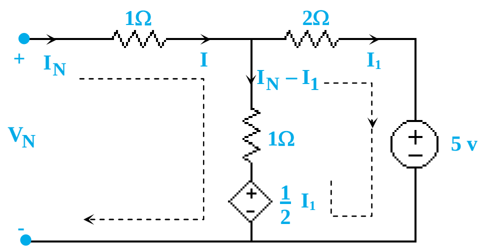
۱) $-\frac{۵}{۹}A$

۲) $-\frac{۴}{۹}A$

۳) $\frac{۵}{۹}A$

۴) $\frac{۴}{۹}A$

پاسخ : گزینه «۴» برای بدست آوردن جریان I یا به عبارتی نقطه کار مدار، باید مدار معادل از سمت راست مـدار را محاسـبه کـرده و سـپس معادلـه بدست آمده را با منحنی یک‌قطبی قطع بدهیم. حال ابتدا مدار معادل تونن را از سمت راست محاسبه می‌کنیم.



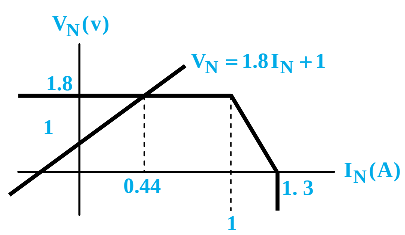
با نوشتن KVL در حلقه سمت راست مدار داریم:

$$۲I_۱+۵-\frac{۱}{۲}I_۱-۱\times(I_N-I_۱)=۰\quad\Rightarrow\quad I_N=۵+۲/۵I_۱\quad\Rightarrow\quad I_۱=\frac{I_N-۵}{۲/۵}\qquad(۱)$$

با نوشتن KVL در حلقه سمت چپ داریم:

$$V_N=I_N+(I_N-I_۱)+\frac{۱}{۲}I_۱\qquad(۲)$$

با جایگذاری رابطه (۱) در رابطه (۲) داریم:

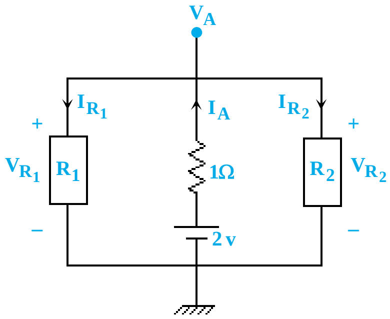


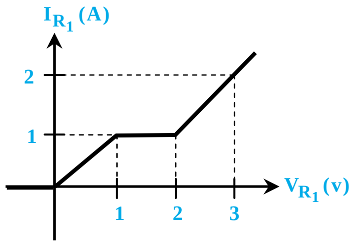
$$V_N=I_N+[I_N-\frac{I_N-۵}{۲/۵}]+\frac{۱}{۲}[\frac{I_N-۵}{۲/۵}]\quad\Rightarrow\quad V_N=۱/۸I_N+۱$$

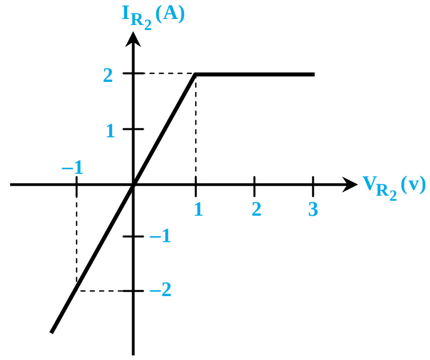
حال رابطه بدست آمده را در منحنی مشخصه (V_N-I_N) شبکه N رسم می‌کنیم.

با توجه به شکل، دیده می‌شود که منحنی‌ها یکدیگر را در نقطه‌ای با مشخصات $\mathbf{I_N=۰/۴۴A}$ و $\mathbf{V_N=۱/۸v}$ قطع می‌کنند.

مثال ۱۵: منحنی $(I-V)$ مربوط به هر المان غیرخطی موجود است. در این شبکه جریان I_A برحسب آمپر کدام است؟







۱) ۱/۵ ۲) ۲/۵ ۳) ۱ ۴) ۲

☑ **پاسخ :** گزینه «۱» با توجه به موازی بودن المان‌های غیرخطی، ولتاژ آنها برابر بوده و جریان آنها با هم جمع می‌شود. لـذا ابتـدا منحنـی $(I_A - V_A)$ برآیند دو المان غیرخطی را بدست می‌آوریم:

$$V_A = V_{R_۱} = V_{R_۲} \quad , \quad I_A = I_{R_۱} + I_{R_۲}$$

$$V_A < ۰ \Rightarrow \begin{cases} I_{R_۱} = ۰ \\ I_{R_۲} = ۲V_{R_۲} \end{cases} \Rightarrow I_A = ۲V_{R_۲} \Rightarrow \mathbf{I_A = ۲V_A}$$

$$۰ < V_A < ۱ \Rightarrow \begin{cases} I_{R_۱} = V_{R_۱} \\ I_{R_۲} = ۲V_{R_۲} \end{cases} \Rightarrow I_A = V_{R_۱} + ۲V_{R_۲} \Rightarrow \mathbf{I_A = ۳V_A}$$

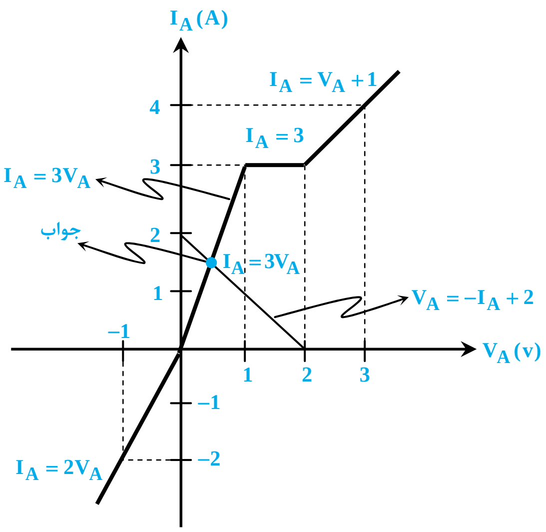
$$۱ < V_A < ۲ \Rightarrow \begin{cases} I_{R_۱} = ۱A \\ I_{R_۲} = ۲A \end{cases} \Rightarrow \mathbf{I_A = ۳A}$$

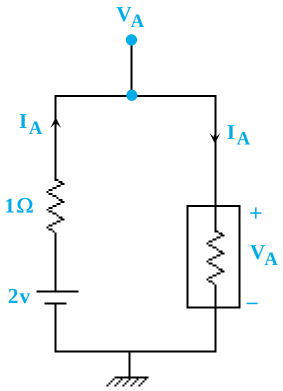
$$V_A > ۲ \Rightarrow \begin{cases} I_{R_۱} = V_{R_۱} - ۱ \\ I_{R_۲} = ۲A \end{cases} \Rightarrow I_A = V_{R_۱} - ۱ + ۲ \Rightarrow \mathbf{I_A = V_A + ۱}$$

در ادامه برای شاخه وسطی مدار داریم:

$$\mathbf{V_A = -I_A + ۲} \quad (*)$$

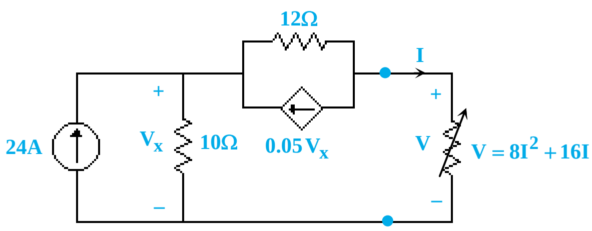
حال با توجه به ترکیب منحنی‌های المان‌های غیرخطی موازی، به جای آنها یک المان غیرخطی با منحنـی $(I_A - V_A)$ گذاشـته مـی‌شـود. در ادامـه حـل، منحنی جدید $(I_A - V_A)$ و رابطه $(*)$ را در یک دستگاه واحد ترسیم می‌کنیم. حال از محل برخورد دو منحنی پاسخ I_A را محاسبه می‌کنیم.





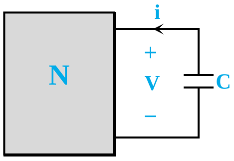
$$\begin{cases} V_A = -I_A + ۲ \\ I_A = ۳V_A \end{cases} \Rightarrow \mathbf{I_A = ۱/۵\ A}$$

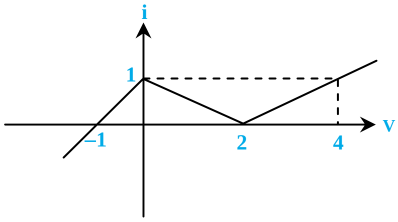
مثال ۱۶: در مدار مقابل جریان **I** برحسب آمپر کدام است؟



۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

مثال ۲۳: در مدار شکل زیر با توجه به نمودار $V-i$ داده شده، $V(t)$ در $t\to\infty$ چه مقداری دارد؟





۱) ۲

۲) ۱-

۳) اگر $V_C(0)>2$ باشد ۲، و اگر $V_C(0)\le 2$ باشد ۱-

۴) اگر $V_C(0)>0$ باشد ۲، و اگر $V_C(0)\le 0$ باشد ۱-

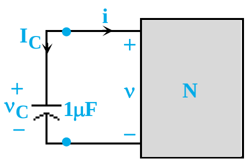
پاسخ: گزینه «۳» در پاسخ‌گویی به چنین سؤالاتی همواره باید دو نکته مهم را در نظر گرفت:

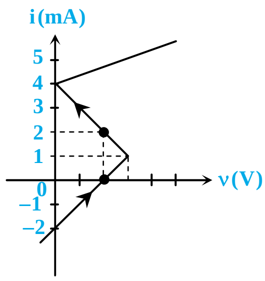
۱ـ زمانی تغییرات ولتاژ یک خازن متوقف می‌شود که جریانش صفر باشد.

۲ـ زمانی تغییرات جریان یک سلف متوقف می‌شود که ولتاژش صفر باشد.

بنابراین باید ببینیم در چه ولتاژهایی جریان خازن صفر می‌شود؛ طبق نمودار $V-i$ داده شده، در ولتاژهای ۲ و ۱- ولت، جریان خازن صفر می‌شود؛ اما این که در نهایت ولتاژ خازن کدامیک از این دو خواهد بود، متأثر از ولتاژ اولیه خازن است. طبق شکلِ مدار، مشخص است که جریان‌های مثبت i ، خازن را دشارژ و ولتاژ آن را کاهش می‌دهند؛ بالعکس جریان منفی خازن را شارژ کرده و ولتاژش را افزایش می‌دهد. اکنون فرض کنید $V_C(0)>2$ باشد؛ در این صورت جریان i مثبت بوده و این جریان خازن را تخلیه کرده و ولتاژ آن را کاهش می‌دهد. در این حالت بعلت کاهش خود جریان i بصورت خطی با ولتاژ انتظار داریم ولتاژ خازن به شکل یک تابع نمایی در زمان بی‌نهایت به مقدار ۲ برسد (این امر با حل معادلات دیفرانسیل مربوطه نیز قابل بررسی است). بنابراین در حالت $V_C(0)>2$ ولتاژ نهایی خازن برابر ۲ ولت است. اگر $-1\le V_C(0)\le 2$ باشد، باز جریان مثبت بوده و ولتاژ خازن کم می‌شود تا در نهایت به ۱- برسد؛ اما اگر $V_C(0)\le -1$ باشد، جریان i منفی باعث شارژ خازن و افزایش ولتاژ می‌گردد؛ بنابراین در عمل در صورتی که $V_C(0)\le 2$ باشد، انتظار داریم در نهایت ولتاژ خازن به ۱- ولت برسد.

مثال ۲۴: با توجه به مدار شکل زیر، در صورتی که داشته باشیم $i_C(0)=-2mA$ و $V(0)=2v$ مدت زمانی که طول می‌کشد تا ولتاژ دو سر خازن صفر شود، چند میکروثانیه است و آیا این نقطه یک نقطه‌ی کار پایدار می‌تواند باشد؟ (نمودار $i-v$ رسم شده مربوط به دو قطبی N می‌باشد.)





۱) Ln۲ ، خیر

۲) Ln۴ ، بله

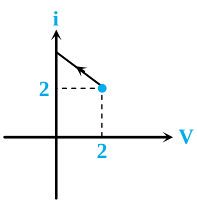
۳) Ln۲ ، بله

۴) Ln۴ ، خیر

پاسخ: گزینه «۱» با توجه به نمودار $i-v$ و شرایط اولیه داریم:

$$i(0)=-i_C(0)=2mA\ ,\ V(0)=2v$$

در این حالت جریان i مثبت است، یعنی خازن در حال تخلیه می‌باشد. بنابراین ولتاژ خازن رو به کاهش می‌رود؛ به این دلیل روی منحنی نشان داده شده از نقطه‌ی (۲,۲) به نقطه‌ی (۰,۴) خواهیم رفت. لذا داریم:



$$i=-V+4\ \text{(معادله‌ی مسیر)}$$

$$C\frac{dV_C}{dt}=i_C\ \Rightarrow 10^{-6}\frac{dV}{dt}=-i=V-4$$

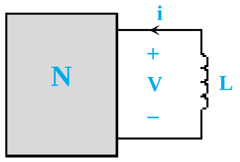
$$\Rightarrow \frac{dV}{dt}-10^6\,V=-4\times10^6\ \Rightarrow V(t)=-2e^{10^6\,t}+4$$

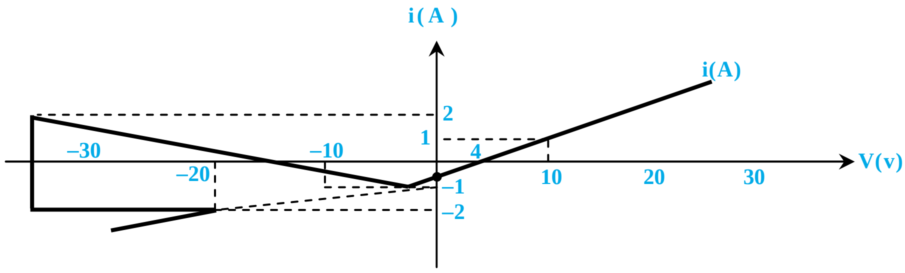
برای به‌دست آوردن زمان صفر شدن ولتاژ کافی است مقدار $V(t)$ را برابر با صفر قراردهیم:

$$V(t)=0\ \rightarrow\ -2e^{10^6\,t}+4=0\ \rightarrow\ e^{10^6\,t}=2\ \rightarrow\ t=\text{Ln}2\times10^{-6}=\text{Ln}2(\mu s)$$

این نقطه یک نقطه‌ی کار پایدار نیست، زیرا در این نقطه مقدار جریان i مثبت است، بنابراین ولتاژ باید کاهش داشته باشد؛ به همین دلیل در این نقطه یک پرش جریان خواهیم داشت.

مثال۲۵: با توجه به رابطه‌ی $V-i$ دو سر سلف، با شرط $i(0^-)=3A$ رابطه $V(t)$ برای $t>0^-$ کدام است؟





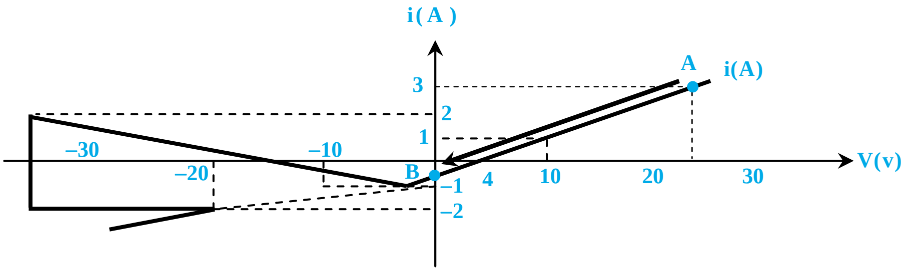
۱) $V(t)=22e^{-\frac{6}{L}t}$
۲) $V(t)=22e^{-\frac{6}{L}t}(1+1/5t)$
۳) $V(t)=22e^{\frac{6}{L}t}(1+1/5t)$
۴) $V(t)=22e^{\frac{6}{L}t}$

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» هیچ‌گاه گول نمودارهای عجیب و غریبی مثل نمودار این تست را نخورید. برای پاسخ به چنین سوالاتی کافیست ابتدا نقطه‌ی متناظر با شرایط اولیه مدار را روی منحنی مشخص نموده و سپس با تحلیل‌های فیزیکی مسیر حرکت متغیرهای مدار را روی منحنی موجود مشخص کنیم.

در وهله‌ی اول با توجه به وجود سلف L در سمت راست مدار می‌توان نوشت:

$$V=-L\frac{di}{dt}$$

علامت منفی در رابطه‌ی فوق به این دلیل است که یک V مثبت، سلف را در خلاف جهت i شارژ می‌کند؛ بنابراین با مثبت بودن V انتظار داریم جریان i کم شود. حال رابطه $V-i$ برای سیستم N را در نظر می‌گیریم:



ابتدا بر روی نقطه A قرار داریم. در این نقطه ولتاژ V مثبت بوده و این ولتاژ مثبت سعی دارد جریانی در خلاف جهت i به سلف تزریق کند؛ بنابراین i در این حالت کاهش پیدا می‌کند. با کاهش i، طبق منحنی V انتظار می‌رود که V نیز کاهش پیدا کند. این کاهش تا زمانی ادامه خواهد داشت که V به صفر برسد (نقطه B). در این حالت خواهیم داشت:

$$V=-L\frac{di}{dt}=0\Rightarrow\frac{di}{dt}=0$$

یعنی i، دیگر تغییری نداشته و ثابت خواهد ماند؛ به تبع آن V نیز ثابت خواهد بود.

اکنون می‌خواهیم رابطه دقیق $V(t)$ را محاسبه کنیم. طبق شکل ترسیم شده برای رابطه $V-i$ در فاصله نقاط A تا B داریم:

$$i=\frac{1}{6}V-\frac{2}{3}$$

طبق این رابطه مقدار $V(0)$ برابر ۲۲ ولت است.

حال مقدار بدست آمده برای i را در رابطه قبلی جایگزین می‌کنیم:

$$V=-L\frac{di}{dt}=-L\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{6}V-\frac{2}{3}\right)=-\frac{L}{6}\frac{dV}{dt}$$

در این جا یک معادله‌ی دیفرانسیل ساده با شرط اولیه مشخص داریم که باید آن را حل کنیم:

$$\begin{cases}\dfrac{dV}{dt}=-\dfrac{6}{L}V\\ V(0)=22v\end{cases}$$

جواب معادله دیفرانسیل $\dot{x}=ax$ با شرط اولیه x_0 بصورت $x(t)=x_0e^{at}$ می‌باشد؛ بنابراین V برابر است با:

$$V(t)=22e^{-\frac{6}{L}t}$$

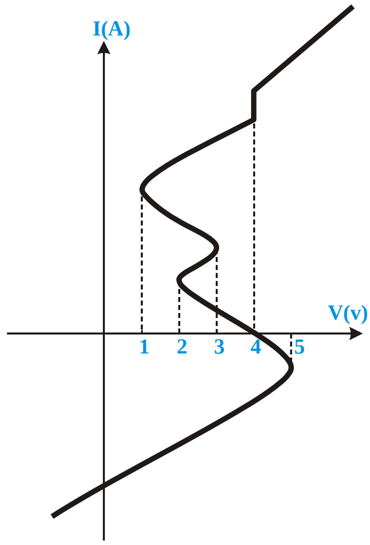
مثال ۲۷: مطابق شکل زیر، خازنی با ولتاژ اولیه ۲- ولت به عنصر غیرخطی N با مشخصه ولتاژ ـ جریان داده شده متصل است. دامنه نوسانات ولتاژ خازن در حالت دائمی چقدر است؟ (منظور از دامنه، دامنه قله تا قله یا **Peak to Peak** می‌باشد)

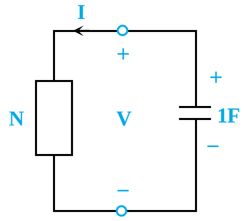
۱) ۱ ولت

۲) ۲ ولت

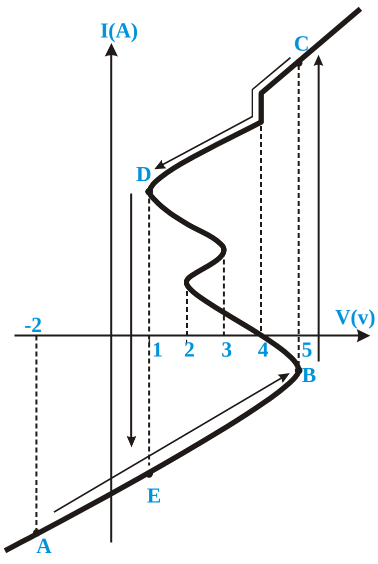
۳) ۳ ولت

۴) ۴ ولت





پاسخ: گزینه «۴» این گونه تست‌ها معمولاً با تحلیل‌های فیزیکی ساده قابل پاسخ‌گویی هستند. در این تحلیل‌ها رفتار خازن و شیب مشخصه ولتاژ ـ جریان دو عامل مهمی هستند که باید در تحلیل مدنظر قرار گیرند. ابتدا به این نکته توجه کنید که جریان‌های مثبت I منجر به دشارژ خازن و افت ولتاژ آن و جریان‌های منفی I منجر به شارژ خازن و افزایش ولتاژ آن می‌شوند. بنابراین هرگاه I مثبت است، ولتاژ V لزوماً باید روندی کاهشی و هرگاه I منفی است، ولتاژ V لزوماً باید روندی افزایشی داشته باشد. حال توجه خود را معطوف به مشخصه ولتاژ ـ جریان عنصر N کرده و نقطه متناظر با ولتاژ اولیه خازن را روی مشخصه در نظر می‌گیریم (نقطه A). با توجه به منفی بودن جریان I، ولتاژ خازن افزایش یافته تا زمانی که به نقطه B برسیم. در نقطه B روند تغییرات ولتاژ در مشخصه ولتاژ ـ جریان کاهشی می‌شود؛ بنابراین با توجه به منفی بودن I، ادامه مسیر ولتاژ ـ جریان در این نقطه امکان‌پذیر نیست. ناچاراً عنصر N بلافاصله باید جریان خود را تغییر دهد.

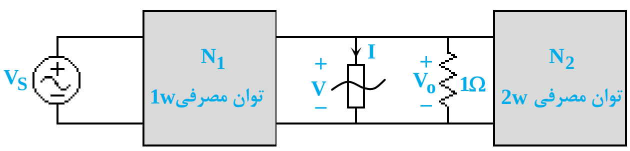


تنها نقطه‌ای که می‌تواند ادامه مسیر ولتاژ ـ جریان برای خازن باشد، نقطه C است زیرا خازن تغییرات یکباره ولتاژ را نمی‌پذیرد و ولتاژ V لزوماً باید ثابت بماند. در ادامه، ولتاژ V کاهش پیدا می‌کند تا زمانی که به نقطه D برسیم. در این نقطه نیز با توجه به افزایشی شدن روند تغییرات ولتاژ V و البته مثبت بودن I، امکان ادامه مسیر بدون پرش در مشخصه وجود ندارد؛ در این جا نیز ناچاراً عنصر N جریان خود را تغییر داده و نقطه کار به E می‌رود. با ادامه این روند ولتاژ خازن همواره بین نقاط E، B، C و D در نوسان خواهد بود. دامنه این نوسان برابر با اختلاف ولتاژ خازن در نقاط E و B می‌باشد:

$$\Delta V = V_B - V_E = ۵ - ۱ = ۴\,v$$

بنابراین پاسخ این تست گزینه (۴) می‌باشد.

مثال ۲۸: در مدار زیر شبکه‌های $N_۱$ و $N_۲$ شامل مقاومت‌های خطی و مثبت هستند. با فرض وجود رابطه $V_o = -\sin t$ و $V^۲ = I$ برای عنصر غیرخطی، توان تولیدی منبع V_S برحسب وات مطابق با کدام گزینه است؟



۱) ۳/۵

۲) ۲/۵

۳) ۰

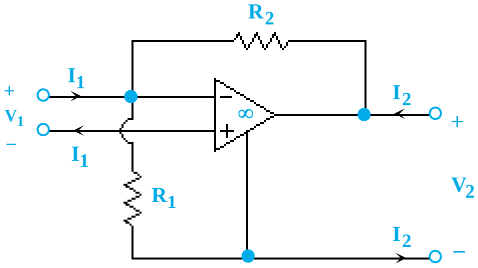
۴) ۱/۵

پاسخ: گزینه «۱» توان تولیدی منبع ولتاژ برابر با مجموع توان مصرفی المان‌های مدار است.

$$P_{1\Omega} = \frac{V_o(\text{rms})^۲}{۱} = \frac{\left(\frac{۱}{\sqrt{۲}}\right)^۲}{۱} = \frac{۱}{۲}w$$

$$P\,(\text{مقاومت غیرخطی}) = \frac{۱}{۲\pi}\int_۰^{۲\pi} V.I dt = \frac{۱}{۲\pi}\int_۰^{۲\pi} V^۳ dt = \frac{۱}{۲\pi}\int_۰^{۲\pi} (-\sin t)^۳ dt = ۰ \Rightarrow P(\text{منبع}) = ۱w + \frac{۱}{۲}w + ۲w = ۳/۵\,w$$

مثال۴۵: برای دوقطبی نشان داده شده در شکل زیر کدام ماتریس وجود دارد؟



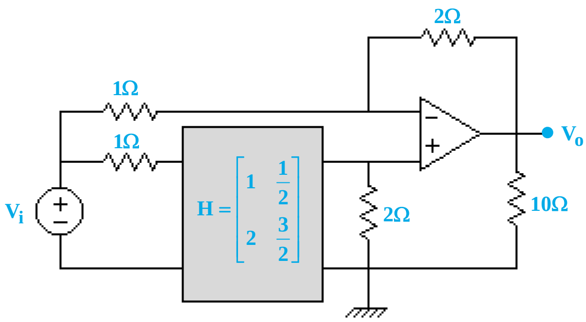
۱) Z
۲) Y
۳) H
۴) T

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» با توجه به این‌که جریان پایه‌های ورودی آپ‌امپ صفر است، $I_۱ = ۰$ بوده و لذا ماتریس‌های Z و H وجود ندارند، چون به عنوان مثال $\frac{V_۱}{I_۱}$ برای آن‌ها تعریف نشده است. از طرفی چون ولتاژ پایانه‌های ورودی آپ‌امپ یکسان است، لذا $V_۱ = ۰$ خواهد بود و ماتریس Y هم وجود ندارد.

بنابراین تنها ماتریس T وجود خواهد داشت:

$$\left.\begin{aligned} V_۱ &= ۰ = ۰V_۲ - ۰I_۲ \\ I_۱ &= ۰ = ۰V_۲ - ۰I_۲ \end{aligned}\right\} \Rightarrow T = \begin{bmatrix} ۰ & ۰ \\ ۰ & ۰ \end{bmatrix}$$

مثال۴۶: در مدار زیر بهره $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟



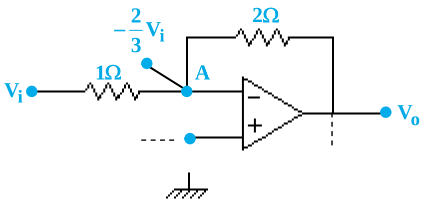
۱) صفر
۲) $-\frac{۴}{۳}$
۳) $-\frac{۸}{۳}$
۴) -۴

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» برای حل این تست ابتدا ولتاژ پایه ورودی مثبت آپ‌امپ (V_{in}^+) را محاسبه می‌کنیم. بدین منظور از روابطی که در فصل قبل ارائه شد، استفاده می‌کنیم.

$$V_{in}^+ = \frac{-h_{۲۱}}{(h_{۲۲}+Z_L^{-۱})(h_{۱۱}+Z_S) - h_{۱۲}h_{۲۱}} V_i = \frac{-۲}{(\frac{۳}{۲}+\frac{۱}{۲})(۱+۱) - \frac{۱}{۲}\times ۲} V_i = -\frac{۲}{۳} V_i$$

دقت کنید که با توجه به صفر بودن جریان پایه‌های ورودیش، آپ‌امپ هیچ‌گونه اثر بارگذاری در خروجی دوقطبی ندارد.

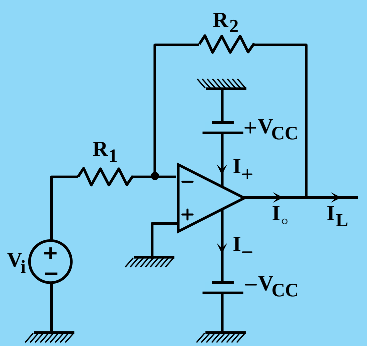
با توجه به وجود فیدبک منفی در مدار آپ‌امپ، ولتاژ پایه‌های ورودی مثبت و منفی برابر می‌باشد.
حال با نوشتن رابطه KCL در گره A می‌توان ولتاژ خروجی را بر حسب ولتاژ ورودی محاسبه کرده و بهره ولتاژ را به دست آورد:



$$\frac{V_i - (-\frac{۲}{۳}V_i)}{۱} = \frac{-\frac{۲}{۳}V_i - V_o}{۲} \Rightarrow V_o = -۴V_i \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -۴$$

نکته ۳: تقویت‌کننده‌های عملیاتی همواره نیازمند منابع ولتاژی به عنوان تغذیه‌های مثبت و منفی خود هستند. در تقویت‌کننده‌های عملیاتی ایده‌آل اندازه این منابع ولتاژ معمولاً نامحدود در نظر گرفته می‌شود، اما در عمل همواره اندازه این منابع محدود است. نکته مهم این است که اندازه ولتاژ خروجی تقویت‌کننده نمی‌تواند از مقدار ولتاژ تغذیه مثبت تقویت‌کننده، بزرگتر و از مقدار ولتاژ تغذیه منفی، کوچکتر شود. اصطلاحاً زمانی که ولتاژ خروجی تقویت‌کننده عملیاتی برابر ولتاژ تغذیه مثبت و یا منفی تقویت‌کننده می‌شود، می‌گویند تقویت‌کننده به اشباع رفته است. در این حالت ولتاژ خروجی آپ‌امپ ممکن است دیگر به تغییرات ولتاژ ورودی حساس نباشد.

لازم به ذکر است جریان پایه خروجی آپ امپ از طریق منابع تغذیه مثبت و منفی آن تأمین شده و برقرار می‌شود (شکل روبه‌رو).



$$I_o = I_+ - I_-$$