

$$i = \frac{V_T}{R_T + R_L} \quad P = R_L i^2 \quad (۱-۳۳)$$

بنابراین توان برابر خواهد بود با:

$$P = \frac{R_L V_T^2}{(R_T + R_L)^2} \quad (۱-۳۴)$$

انتقال ماکزیمم توان به بار زمانی اتفاق می‌افتد که $R_T = R_L$ باشد.

$$P = \frac{R_L V_T^2}{(R_L + R_L)^2} = \frac{R_L V_T^2}{4 R_L^2} = \frac{V_T^2}{4 R_L} \quad (۱-۳۵)$$

برای هر مقدار مقاومت دیگری، نمی‌توان به مقدار ماکزیمم توان دست یافت.

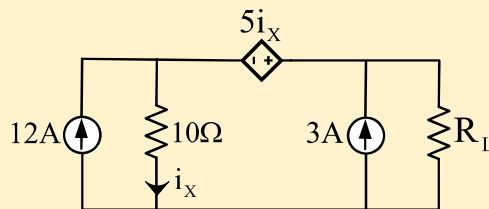
پرسش ۱-۱۲) در مدار زیر، R چقدر باشد تا حداکثر توان به آن انتقال یابد؟ (دل-۹۸ «۱۴»)

الف) ۵

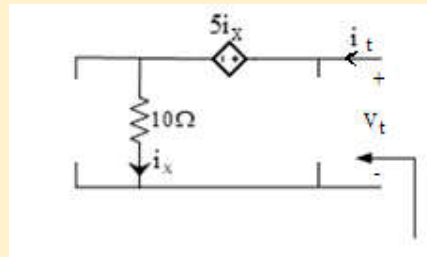
ب) ۱۰

ج) ۱۵

د) ۲۰



پاسخ) ابتدا منابع مستقل را صفر کرده و ولتاژ آزمون را به جای مقاومت بار قرار می‌دهیم. پس شکل زیر را در نظر می‌گیریم:



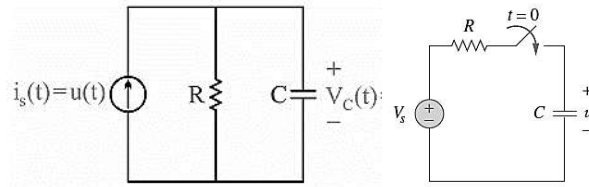
حال مقاومت دیده شده را بدست می‌آوریم. بنابراین در حلقه بدست آمده یک KVL می‌زنیم:

$$\begin{cases} -v_t + 5i_x + 10 \times i_x = 0 \Rightarrow v_t = 15i_x = 15(15 + i_{th}) \Rightarrow v_{th} = 15i_{th} + 225 \\ i_x = i_t \end{cases}$$

با توجه به رابطه بدست آمده، مقدار مقاومت تونن از دید مقاومت بار برابر ۱۵ اهم است که مطابق با قضیه انتقال حداکثر توان، مقدار مقاومت بار باید برابر ۱۵ اهم باشد تا بیشترین مقدار توان را دریافت کند. بنابراین، گزینه ج صحیح است.

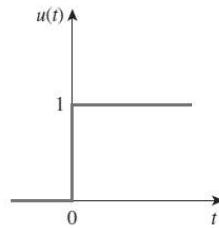
۱-۶ مدارهای مرتبه اول

به مدارهای شامل یک عنصر ذخیره کننده انرژی که معمولاً به صورت مدارهای شامل خازن-مقاومت یا سلف-مقاومت است، مدارهای مرتبه اول می‌گویند.



شکل (۱-۲۰) مدار مرتبه اول خازنی

در مدارهای مرتبه اول خطی، تغییرناپذیر با زمان و با ورودی DC (تابع پله) پاسخ کامل از رابطه زیر محاسبه می شود:



شکل (۱-۲۱) تابع پله

$$y(t) = y(\infty) - (y(\infty) - y(t_0^+))e^{-(t-t_0)/\tau} \quad (۱-۳۶)$$

در این رابطه، τ ثابت زمانی مدار است که برای محاسبه آن، ابتدا تمامی منابع مستقل را خاموش کرده و مقاومت دیده شده از دوسرخازن یا سلف را بدست می آوریم. سپس در رابطه زیر قرار می دهیم:

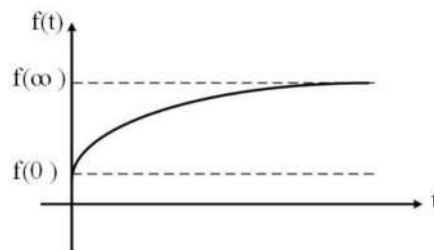
$$\tau = \begin{cases} RC & \text{برای خازن} \\ \frac{L}{R} & \text{برای سلف} \end{cases}$$

همچنین در این رابطه داریم:

$y(t_0^+)$ مقدار اولیه سیگنال: برای محاسبه $y(t_0^+)$ ، بدلیل اینکه ولتاژ دوسر خازن یا جریان گذرنده از سلف نمی توانند به طور ناگهانی تغییر کنند، در لحظه $t = t_0$ ، به جای خازن، منبع ولتاژ مستقل برابر با مقدار اولیه و به جای سلف، منبع جریان مستقل برابر مقدار اولیه قرار داده و $y(t_0^+)$ را بدست می آوریم.

$y(\infty)$ مقدار نهایی یا دائمی سیگنال: برای محاسبه $y(\infty)$ یا مقدار سیگنال در حالت دائمی باید به این نکته توجه کنیم که در حالت دائمی خازن به صورت مدار باز و سلف به صورت اتصال کوتاه در می آید. بنابراین با قرار دادن این دو مقدار $y(\infty)$ را محاسبه می کنیم.

شکل کلی خروجی که می تواند جریان عبوری از مقاومت یا ولتاژ دوسر مقاومت باشد به صورت نمایی زیر خواهد بود:



شکل (۱-۲۲) نمودار پاسخ مدار مرتبه اول به تابع پله

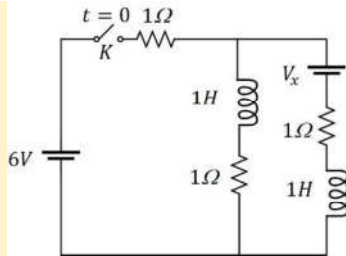
پرسش (۱-۱۳) در مدار زیر، کلید K برای مدت طولانی وصل بوده و در لحظه $t = 0$ قطع می شود. اگر بخواهیم در لحظه قطع شدن، جرقه ای در کلید زده نشود، مقدار ولتاژ منبع V_x چند ولت است؟ (دل-۹۸ «۵»)

۳ (د)

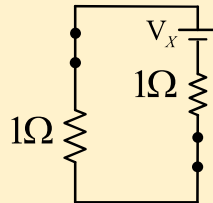
۶ (ج)

۱۲ (ب)

۲۴ (الف)

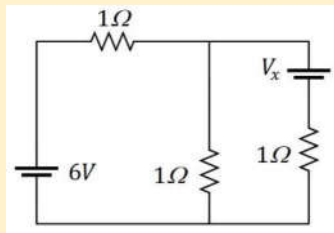


پاسخ) برای اینکه در زمان باز شدن کلید جرعه‌ای نداشته باشیم، باید ولتاژ دوسر کلید با هم برابر باشد. در نتیجه، نباید جریانی از مقاومت سری با منبع عبور کند. از طرفی چون جریان سلف‌ها در زمان قبل و بعد قطع کلید نباید تغییر ناگهانی داشته باشند بنابراین، در زمان $t = 0^-$ مدار در حالت پایدار بوده و سلف‌ها در حالت دائمی خود (اتصال کوتاه) قرار می‌گیرند. در نتیجه مدار در زمان قبل از قطع کلید به شکل زیر خواهد بود:



با اجرای KVL در حلقه شامل دو سلف، خواهیم داشت:

$$\begin{cases} -V_x + I_{L1} + I_{L2} = 0 \\ I_{L1} = I_{L2} \end{cases} \Rightarrow -V_x + 2I_{L1} = 0 \Rightarrow I_{L1} = \frac{V_x}{2}$$



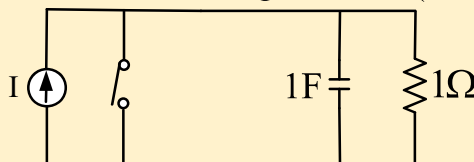
در لحظه صفر چون ولتاژ روی شاخه‌ها برابر ۶ ولت است، یعنی ولتاژ شاخه وسط هم ۶ ولت می‌باشد:

$$\begin{cases} 1 \times I_{L1} = 6 \\ I_{L1} = \frac{V_x}{2} \end{cases} \Rightarrow 1 \times \frac{V_x}{2} = 6 \Rightarrow V_x = 12V$$

گزینه ب صحیح است.

پرسش ۱۴-۱) در مدار زیر، ولتاژ دو سر خازن برای زمان‌های مثبت کدام است؟ (کلید در لحظه $t = 0$ باز شده است). (د-۹۸ «۶»)

الف) $I(1 - e^{-t})$ ب) $I(1 + e^{-t})$ ج) $1 - e^{-t}$ د) $-Ie^{-t}$



پاسخ) در این سوال، پاسخ کامل را برای ولتاژ دوسر خازن بدست می‌آوریم که به صورت زیر است:

$$V_C(t) = V_C(\infty) - (V_C(\infty) - V_C(t_0^+))e^{-(t-t_0)/\tau}$$



در این مدار $t_0 = 0$ است. برای محاسبه τ ابتدا منبع مستقل را صفر کرده (منبع جریان مدار باز می‌شود)، مقاومت دیده شده از دوسر خازن را بدست می‌آوریم که برابر است با:

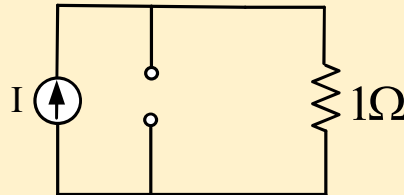
$$R = 1\Omega$$

بنابراین ثابت زمانی برابر خواهد بود با:

$$\tau = 1\Omega \times 1F = 1s$$

برای محاسبه مقدار اولیه ولتاژ، کلید قبل از زمان صفر بسته بوده، پس منبع جریان، اتصال کوتاه می‌شود و چون مدار به حالت دائمی خود رسیده پس خازن مدار باز می‌شود و $V_C(0^-) = 0$. از طرفی چون ولتاژ دوسر خازن نمی‌تواند تغییر ناگهانی داشته باشد، در نتیجه $V_C(0^+) = V_C(0^-) = 0$.

برای محاسبه مقدار $V_C(\infty)$ ، کلید باز بوده و مدار به حالت ماندگار می‌رسد. شکل زیر را خواهیم داشت:



بنابراین خازن مدار باز بوده و تمام جریان از مقاومت عبور می‌کند:

$$V_C(\infty) = I^{\Omega} \times I = I (v)$$

حال مقادیر محاسبه شده را در رابطه زیر جاگذاری کرده و پاسخ کامل مرتبه اول مدار را بدست می‌آوریم:

$$V_C(t) = V_C(\infty) - (V_C(\infty) - V_C(t_0^+))e^{-(t-t_0)/\tau} \Rightarrow V_C(t) = I - (I - 0)e^{-t} \Rightarrow V_C(t) = I(1 - e^{-t})$$

گزینه الف صحیح است.

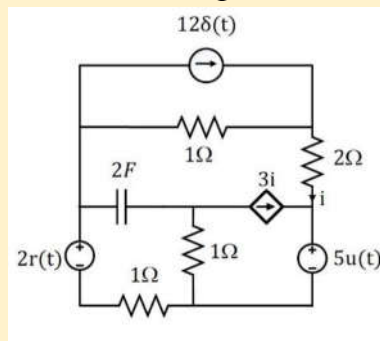
پرسش ۱۵-۱ (ثابت زمانی شکل زیر، چند ثانیه است؟ (دل-۹۸ «۱۳»))

(د) ۲

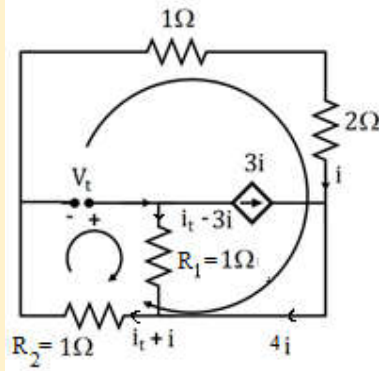
(ج) ۲/۵

(ب) ۵

(الف) ۱۰



پاسخ) ثابت زمانی مدار فوق چون شامل خازن و مقاومت می‌باشد به صورت $\tau = RC$ خواهد بود. با توجه به اینکه فقط یک خازن در مدار داریم فقط لازم است که مقاومت معادل از دید خازن را بدست آوریم. ابتدا منابع مستقل را صفر قرار داده و منبع ولتاژ تست (v_t) را در محل خازن به مدار وصل می‌کنیم.



حال باید رابطه بین v_t و i_t را محاسبه کنیم. ابتدا رابطه بین جریان‌ها را بدست می‌آوریم:

$$\begin{cases} i_r = i \\ i_t = i_1 - i_r \Rightarrow i_r = i_1 - i_t \\ 3i = i_r - i_r \Rightarrow 3i_r = i_r - i_r \Rightarrow i_r = 4i_r \Rightarrow i_r = 4i_1 - 4i_t \end{cases}$$

با اعمال KVL در حلقه بزرگ خواهیم داشت:

$$\begin{cases} i_r + 2i_r + i_1 = 0 \Rightarrow i_r = -\frac{1}{3}i_1 \Rightarrow i_1 - i_t = -\frac{1}{3}i_1 \Rightarrow i_1 = \frac{3}{4}i_t \\ i_r = i_1 - i_t \end{cases}$$

با استفاده از نتایج فوق داریم:

$$\begin{cases} i_r = 4i_1 - 4i_t \\ i_1 = \frac{3}{4}i_t \end{cases} \Rightarrow i_r = -i_t$$

با اعمال KVL در مش ۱ خواهیم داشت:

$$\begin{cases} -v_t + (i_1 - i_r) + i_1 = 0 \Rightarrow -v_t + 2i_1 - i_r \Rightarrow v_t = 2i_1 - i_r \\ i_1 = \frac{3}{4}i_t \\ i_r = -i_t \end{cases} \Rightarrow v_t = \frac{5}{2}i_t$$

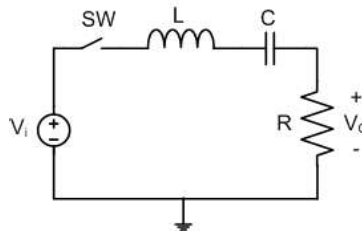
مقدار مقاومت دیده شده از دوسر خازن برابر مقاومت تونن می باشد. بنابراین ثابت زمانی برابر است با:

$$\tau = RC \Rightarrow \tau = \frac{5}{2}\Omega \times 2F = 5s$$

گزینه ب صحیح است.

۷-۱ مدارهای مرتبه دوم

مدارهای مرتبه دوم شامل دو المان ذخیره کننده انرژی هستند که می‌تواند دو سلف یا دو خازن یا یک سلف و خازن باشد. برای حل مدار مرتبه دوم مانند شکل زیر ابتدا یک KVL برای مدار می‌نویسیم: (بدر نظر گرفتن مقدار صفر برای مقادیر اولیه)



شکل (۱-۲۳) مدار مرتبه دوم سری

$$V_S = V_R + V_L + V_C \Rightarrow V_S = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt \quad (۳۷-۱)$$

با فرض ثابت بودن مقدار منبع از طرفین مشتق می‌گیریم:

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0 \Rightarrow \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{CL} = 0 \quad (۳۸-۱)$$

معادله مشخصه مدار به صورت زیر است:

$$r^2 + 2\alpha r + \omega_0^2 = 0 \quad (۳۹-۱)$$

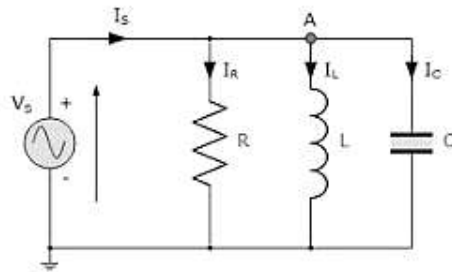
در این رابطه α ضریب میرایی و ω_0 فرکانس طبیعی، رزونانس یا تشدید بوده که برحسب رادیان بر ثانیه می‌باشد. در این فرکانس، خروجی دارای دامنه حداکثر است که با مقایسه دو رابطه بالا خواهیم داشت:

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (۴۰-۱)$$

ریشه‌های این معادله مشخصه نیز برابر است با:

$$s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \quad (۴۱-۱)$$

حال اگر همین کار را برای مدار موازی انجام دهیم:



شکل (۱-۲۴) مدار مرتبه دوم موازی

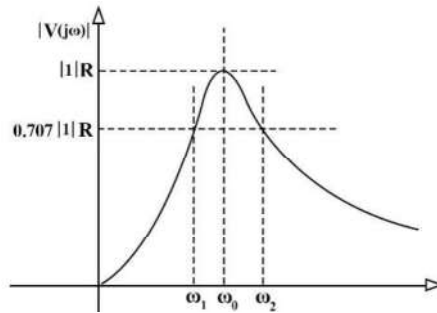
$$\alpha = \frac{1}{2RC}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (۴۲-۱)$$

۱-۷-۱ ضریب کیفیت و پهنای باند

این ضریب، نسبت ماکزیمم انرژی ذخیره شده مدار به انرژی تلف شده در هر تناوب را نشان می‌دهد که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q = \frac{\omega_0}{2\alpha} \quad (۴۳-۱)$$

اگر نمودار خروجی مدار مرتبه دوم را برحسب فرکانس زاویه‌ای با محور افقی لگاریتمی (نمودار بود) رسم کنیم، شکل زیر حاصل می‌شود:



شکل (۱-۲۵) نمودار خروجی مدار مرتبه دوم بر حسب فرکانس زاویه‌ای

ω_1 و ω_2 فرکانس های نصف توان بالا و پایین بوده و ریشه های معادله مشخصه می باشند. همانطور که در شکل دیده می شود این فرکانس ها در $\sqrt{2}$ برابر دامنه خروجی در فرکانس تشدید، اتفاق می افتند. فاصله این دو فرکانس، پهنای باند مدار نامیده می شود و از رابطه زیر بدست می آید:

$$BW = \omega_2 - \omega_1 \quad (۴۴-۱)$$

نکته ۱-۶) معمولاً مقدار پهنای باند را از رابطه زیر نیز بدست می آورند:

$$(۴۵-۱)$$

$$BW = 2\alpha$$

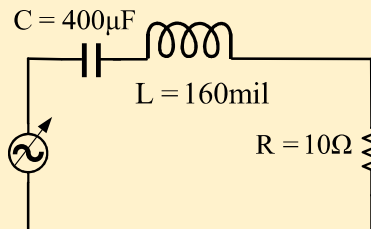
پرسش ۱-۱۶) ضریب کیفیت مدار شکل داده شده کدام است؟ (ق.ل-۸۴ «۱۹»)

۲ (د)

۰/۵ (ج)

۱/۵۷ (ب)

۶/۲۸ (الف)



پاسخ) ضریب کیفیت برابر است با:

$$Q = \frac{\omega_0}{2\alpha}$$

بنابراین لازم است مقدار α و ω_0 را محاسبه کنیم:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{160 \times 10^{-3} \times 400 \times 10^{-6}}} = \frac{1000}{8} \\ \alpha = \frac{R}{2L} \Rightarrow \alpha = \frac{10}{2 \times 160 \times 10^{-3}} = \frac{1000}{32} \end{array} \right. \Rightarrow Q = \frac{\omega_0}{2\alpha} = \frac{1000}{8} \times \frac{32}{2 \times 1000} = 2$$

گزینه د صحیح است.

پرسش ۱-۱۷) در یک مدار RLC سری که در حالت تشدید به سر می برد ضریب کیفیت چیست؟ (فرکانس تشدید ω_0

و BW پهنای باند است). (ق.ل-۸۳ «۱۴»)

$$Q = \frac{\omega_0}{\alpha} \quad (د)$$

$$Q = \omega_0 BW \quad (ج)$$

$$Q = \frac{BW}{\omega_0} \quad (ب)$$

$$Q = \frac{\omega_0}{BW} \quad (الف)$$

پاسخ) ضریب کیفیت برابر است با:

$$Q = \frac{\omega_0}{2\alpha} = \frac{\omega_0}{BW}$$



چون پهنای باند $BW = 2\alpha$ است، بنابراین گزینه الف صحیح می باشد.

نکته ۷-۱) زمان صعود مدت زمانی است که طول می کشد تا پاسخ سیستم از ۱۰٪ به ۹۰٪ مقدار حالت ماندگار (پاسخ پله) برسد.

نکته ۸-۱) در اسیلوسکوپ ها، حاصل ضرب پهنای باند (BW) در زمان صعود (t_r)، عدد ثابتی برابر با ۰/۳۵ می باشد. یعنی:

$$BW \times t_r = 0.35 \quad (۱-۴۶)$$

پرسش ۱۸-۱) زمان صعود (Rise Time) اسیلوسکوپ در کاتالوگ سازنده $t_r = 3/5 \text{ ns}$ داده شد. فرکانس قطع بالای این اسیلوسکوپ چند مگاهرتز است؟ (دل-۸۸ «۱۲»)

الف) ۱۰ (ب) ۳۵ (ج) ۵۰ (د) ۱۰۰

پاسخ) باتوجه به نکته فوق:

$$\begin{cases} BW \times t_r = 0.35 \\ t_r = 3/5 \times 10^{-9} \end{cases} \Rightarrow BW \times 3/5 \times 10^{-9} = 0.35 \Rightarrow BW = 100 \times 10^6 = 100 \text{ MHz}$$

گزینه د صحیح است.

۸-۱ حالت دائمی سینوسی و فازور

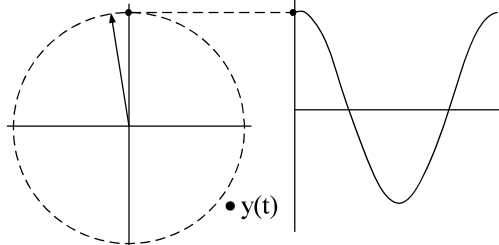
۸-۱-۱ فازور

یکی از راهکارها برای حل مدار، استفاده از فازور است که برای حل مدارهای شامل منابع سینوسی بسیار مفید است.

سیگنال سینوسی زیر را در نظر بگیرید:

$$A_m \cos(\omega t + \phi) \quad (۱-۴۷)$$

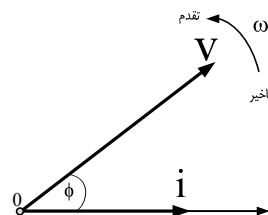
A_m دامنه سیگنال، ω فرکانس زاویه ای و ϕ فاز سیگنال می باشد. در شکل زیر فازور سیگنال سمت راست را در سمت چپ مشاهده می کنید. فازور به صورت برداری است که طول این بردار برابر دامنه سیگنال و زاویه آن برابر با فاز سیگنال می باشد. جهت چرخش این بردار در خلاف جهت عقربه های ساعت بوده و برابر با سرعت زاویه ای ω است که مطابق شکل زیر می باشد.



شکل (۱-۲۶) تغییر نقاط روی سیگنال و فازور متناظر آنها

از نظر ریاضی فازور، شکل موج های سینوسی و کسینوسی با فرکانس های یکسان را به حوزه اعداد مختلط، انتقال می دهد. بنابراین فازور یک سیگنال به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$A_m e^{j\phi} \quad (۱-۴۸)$$



شکل (۱-۲۷) فازور سیگنال

در این شکل طول بردار، برابر دامنه سیگنال و زاویه آن، برابر فاز سیگنال می باشد.

پرسش ۱۹-۱) در خصوص مفهوم فازور در یک مدار الکتریکی، کدام مورد صحیح نیست؟ (دل-۹۸ «۱»)



الف) تابع $\sin \omega t$ دارای فازور است.

ب) فازور، کمیتی است که حاوی اطلاعات اندازه و فاز است.

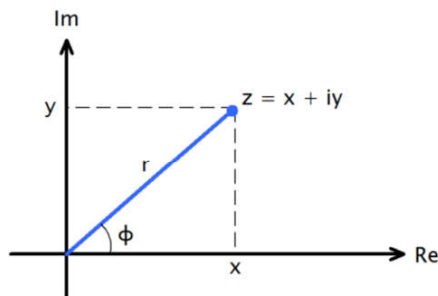
ج) عبارت $A = A_m e^{j\omega}$ ، فازور سیگنال $A_m \cos(\omega t + \phi)$ است.

د) روابط فازوری، تنها در حالت دائمی سینوسی مدار استفاده می‌شوند.

پاسخ) با توجه به توضیحات بالا، در گزینه (ج) مقدار فازور با دامنه و سرعت زاویه‌ای نمایش داده شده است که باید با دامنه و فاز نمایش داده شود. بنابراین، گزینه ج صحیح است.

۱-۸-۲ حالت دائمی سینوسی

برای درک بهتر حالت دائمی سینوسی موارد نمایش یک عدد مختلط آورده شده است:



شکل (۱-۲۸) نمایش یک عدد مختلط

جدول (۱-۱) روابط مربوط به مختصات ها

رابطه	نوع نمایش
$z = x + jy$	دکارتی
$z = r \angle \phi = r e^{j\phi}$	قطبی
$x = r \cos \phi, y = r \sin \phi$	قطبی به دکارتی
$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \phi = \tan^{-1} \frac{y}{x}$	دکارتی به قطبی

از طرفی در حالت دائمی سینوسی ما با سیگنال‌هایی مانند سیگنال زیر سرو کار داریم:

$$x(t) = A_m \cos(\omega t + \phi) \quad (۱-۴۹)$$

تمامی ولتاژها و جریان‌ها در مدارهایی که ورودی آنها سیگنال $x(t)$ باشد، دارای فرکانس مشابه خواهند بود. پس کافی است که با دوقمقدار دامنه و فاز کار کنیم که گزینه ما فازور خواهد بود:

$$X = A_m \angle \phi = A_m e^{j\phi} = A_m \cos \phi + j A_m \sin \phi \quad (۱-۵۰)$$

بنابراین برای تحلیل مدارهای سینوسی، ابتدا مدار را به حوزه فرکانس انتقال داده، سپس از یکی از روش‌های تحلیل مدار استفاده می‌کنیم. در جدول زیر، تعدادی از موارد پرکاربرد و فازور آنها آورده شده است:

جدول (۱-۲) فازور المان‌های مدار

حوزه فرکانس	حوزه زمان
$X = A_m \angle \phi$	$x(t) = A_m \cos(\omega t + \phi)$
R	R
$jL\omega$	L
$\frac{1}{jC\omega}$	C
$X = A_m \angle (\phi - 90^\circ)$	$x(t) = A_m \sin(\omega t + \phi)$



$$(j\omega)^n Y(j\omega)$$

$$\frac{d^n}{dt^n} y(t)$$

۱-۸-۳ امپدانس و ادمیتانس

در جریان متناوب سلف و خازن از خود مقاومت هایی به نام راکتانس سلفی (X_L) و راکتانس خازنی (X_C) از خود نشان می دهند. به همین منظور برای مقاومت یک مدار، امپدانس تعریف می شود که شامل راکتانس سلفی، خازنی و مقاومت R است. امپدانس را با Z نشان داده و واحد آن برحسب اهم می باشد. راکتانس خازنی در مدار از رابطه زیر بدست می آید:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \quad (۵۱-۱)$$

همچنین برای سلف داریم:

$$X_L = L\omega = 2\pi fL \quad (۵۲-۱)$$

برای راکتانس های سری هم به مانند مقاومت، راکتانس کل برابر مجموع راکتانس ها است.

$$X_{tot} = X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad (۵۳-۱)$$

برای راکتانس های موازی نیز، عکس راکتانس کل برابر مجموع عکس راکتانس ها می باشد:

$$\frac{1}{X_{tot}} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n} \quad (۵۴-۱)$$

نکته ۹-۱) ادمیتانس عکس امپدانس بوده و در مدارهای AC مانند رسانایی عمل می کند.

کلیه قوانین گفته شده تاکنون مانند قوانین کیرشهف و مدارهای معادل مانند مدار تونن و نورتن برای امپدانس و ادمیتانس هم برقرار می باشد.

پرسش ۲۰-۱) اگر یک خازن $4/7 \mu F$ به یک منبع تغذیه 1 KHZ متصل باشد، مقدار مقاومت خازنی چند اهم است؟ (دل-۹۵ «۷»)

الف) ۲۱۳

ب) ۳۴

ج) ۲۹/۵

د) ۴/۷

پاسخ) با توجه به توضیحات بالا

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3/14 \times 1000 \times 4/7 \times 10^{-6}} = 33/8799 \approx 34 \Omega$$

گزینه ب صحیح است.

نکته ۱۰-۱) تحلیل مدارهای با حالت دائمی سینوسی به کمک فازور، فقط حالت دائمی را بررسی می کند و پاسخ حالت گذرا را شامل نمی شود.

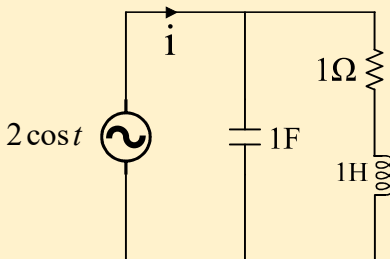
پرسش ۲۱-۱) در مدار زیر، در حالت دائمی سینوسی، جریان $i(t)$ کدام است؟ (دل-۹۸ «۷»)

الف) $2 \cos t$

ب) $2 \sin t$

ج) $\sqrt{2} \cos(t + 45^\circ)$

د) $\sqrt{2} \cos(t - 45^\circ)$



پاسخ) ابتدا مدار معادل را در حالت فازور و با $\omega = 1$ رسم می کنیم: