



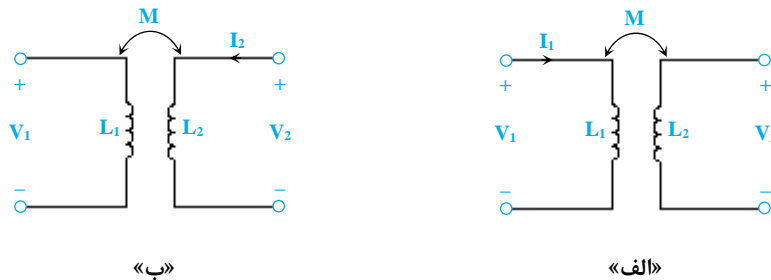
مدرسای شریف

فصل پنجم

«الفاکنایی متقابل»

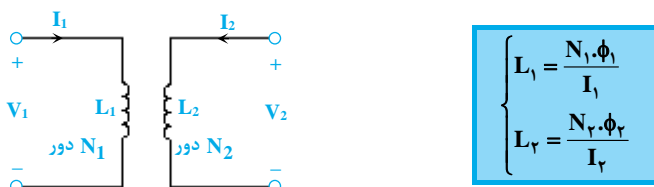
تعریف ضریب خودالقایی و الفاکنایی متقابل

جریانی که از یک سیم پیچ عبور می کند، میدانی مغناطیسی در اطراف سیم پیچ ایجاد می کند. حال اگر سیم پیچ دیگری در کنار این سیم پیچ باشد، شار مغناطیسی ایجاد شده از آن سیم پیچ هم می گذرد. شار مغناطیسی زمانی که از سیم پیچ دوم می گذرد، روی پایانه های سیم پیچ دوم، ولتاژی القا می کند که این ولتاژ با آهنگ تغییرات جریانی که از سیم پیچ اول می گذرد، متناسب است.



مطابق شکل «الف» ملاحظه می گردد که جریان I_1 که از سیم پیچ L_1 عبور می کند، ولتاژ V_2 را روی L_2 ایجاد می کند و مطابق شکل «ب» جریان I_2 که از سیم پیچ L_2 می گذرد، ولتاژ V_1 را روی L_1 ایجاد می کند که این ولتاژها با الفاکنایی متقابل بین دو سیم پیچ و جریان سیم پیچ مقابل ارتباط دارند. الفاکنایی متقابل آنها را با M نمایش می دهند و واحد الفاکنایی متقابل هانری (H) می باشد.

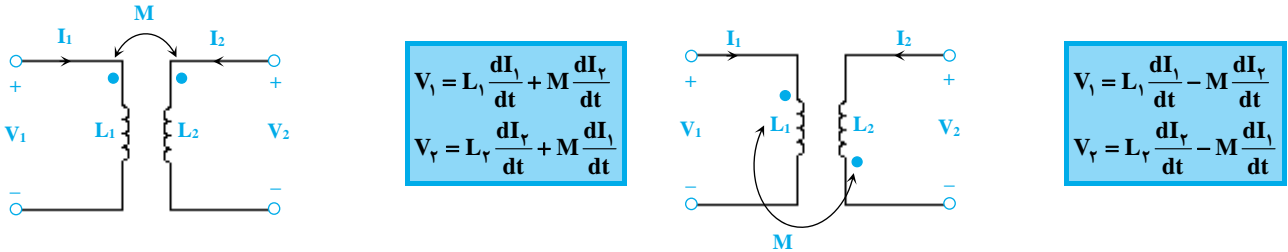
M برای دو سیم پیچ L_1 و L_2 به صورت $M = \frac{N_2 \phi_{12}}{I_1}$ یا $M = \frac{N_1 \phi_{21}}{I_2}$ تعریف می شود. می دانیم ضریب خودالقایی L بر حسب جریان و شار عبوری و تعداد دورهای سیم پیچ به صورت $L = \frac{N\phi}{I}$ است. برای دو سلف، روابط زیر را داریم:



ϕ_1 در واقع شاری است که در اثر جریان I_1 ایجاد می شود و ولتاژی برابر $L_1 \frac{dI_1}{dt}$ روی سلف L_1 القاء می کند و بخشی از این شار که سیم پیچ دوم را قطع می کند، ϕ_{12} نامیده می شود و ولتاژی برابر $M \frac{dI_1}{dt}$ روی سلف L_2 ایجاد می کند. به همین ترتیب در اثر جریان I_2 ، شار ϕ_2 ایجاد می شود که ولتاژ $L_2 \frac{dI_2}{dt}$ را روی سلف L_2 ایجاد می کند و بخشی از این شار که سیم پیچ اول را قطع می کند، ϕ_{21} است که از سیم پیچ L_1 عبور می کند و باعث ایجاد ولتاژ $M \frac{dI_2}{dt}$ روی سلف L_1 می شود.

نوشتن معادله ولتاژ برای دو سلف تزویج شده

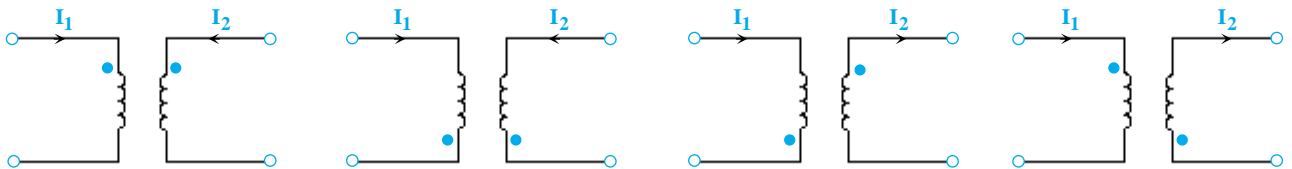
به طور کلی ولتاژ روی هر سلف تزویج شده شامل دو بخش است؛ قسمت اول ولتاژ ناشی از خودالقاکنایی است. می‌دانیم که هر سلف با توجه به جریانی که از آن عبور می‌کند، ولتاژی به صورت $V_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt}$ در دو سرش ایجاد می‌شود. قسمت دوم ولتاژ ناشی از القاکنایی متقابل می‌باشد و مقدار آن برابر $\pm M \frac{dI_2}{dt}$ می‌باشد که علامت پشت M به صورتی که گفته می‌شود، تعیین خواهد شد.



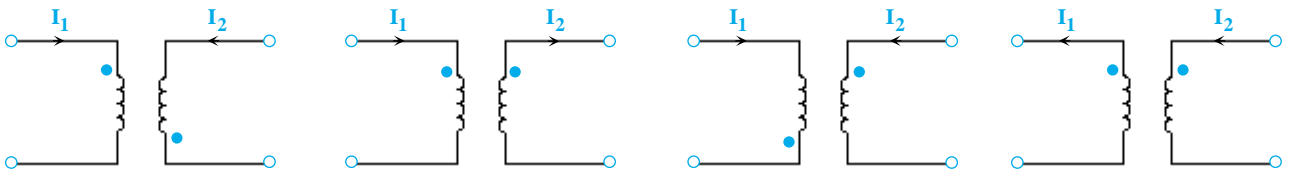
تعیین علامت پشت M

برای تعیین علامت پشت M به جهت جریان‌ها و محل نقطه‌ها در مدار خوب دقت کنید:

(۱) اگر جریان در هر دو سیم‌پیچ، ابتدا به نقطه، بعد به سیم‌پیچ و یا در هر دو سیم‌پیچ، ابتدا به سیم‌پیچ، بعد به نقطه وارد شود، علامت پشت M مثبت است. به شکل‌های زیر برای درک بیشتر دقت کنید:



(۲) اگر جریان یکی از سیم‌پیچ‌ها، ابتدا به نقطه، بعد به سلف ولی در سیم‌پیچ دیگر ابتدا به سلف، بعد به نقطه وارد شود، آنگاه علامت پشت M منفی در نظر گرفته می‌شود. به شکل‌های زیر برای درک بیشتر دقت کنید:



تذکره ۱: همان‌طور که می‌بینید، جهت جریان‌ها و محل قرار گرفتن نقطه‌ها باید هر دو با هم مورد توجه قرار گیرند.

نکته مثال ۱: معادله ولتاژ $V_1(t)$ برای سلف‌های تزویج شده زیر کدام است؟

$$V_1(t) = L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \frac{dI_2}{dt} \quad (۲)$$

$$V_1(t) = -L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \frac{dI_2}{dt} \quad (۱)$$

$$V_1(t) = -L_1 \frac{dI_1}{dt} - M \frac{dI_2}{dt} \quad (۴)$$

$$V_1(t) = L_1 \frac{dI_1}{dt} - M \frac{dI_2}{dt} \quad (۳)$$

پاسخ: گزینه «۴»

روش اول: اولاً با توجه به جهت جریان‌ها علامت پشت M حتماً مثبت است. اما با توجه به جهت جریان و پلاریته ولتاژ در سمت چپ که جریان از سر مثبت خارج نشده باید پلاریته را تغییر داده و ولتاژ را در یک عدد منفی ضرب کنیم. حالا معادله ولتاژ را برای $-V_1$ می‌نویسیم:

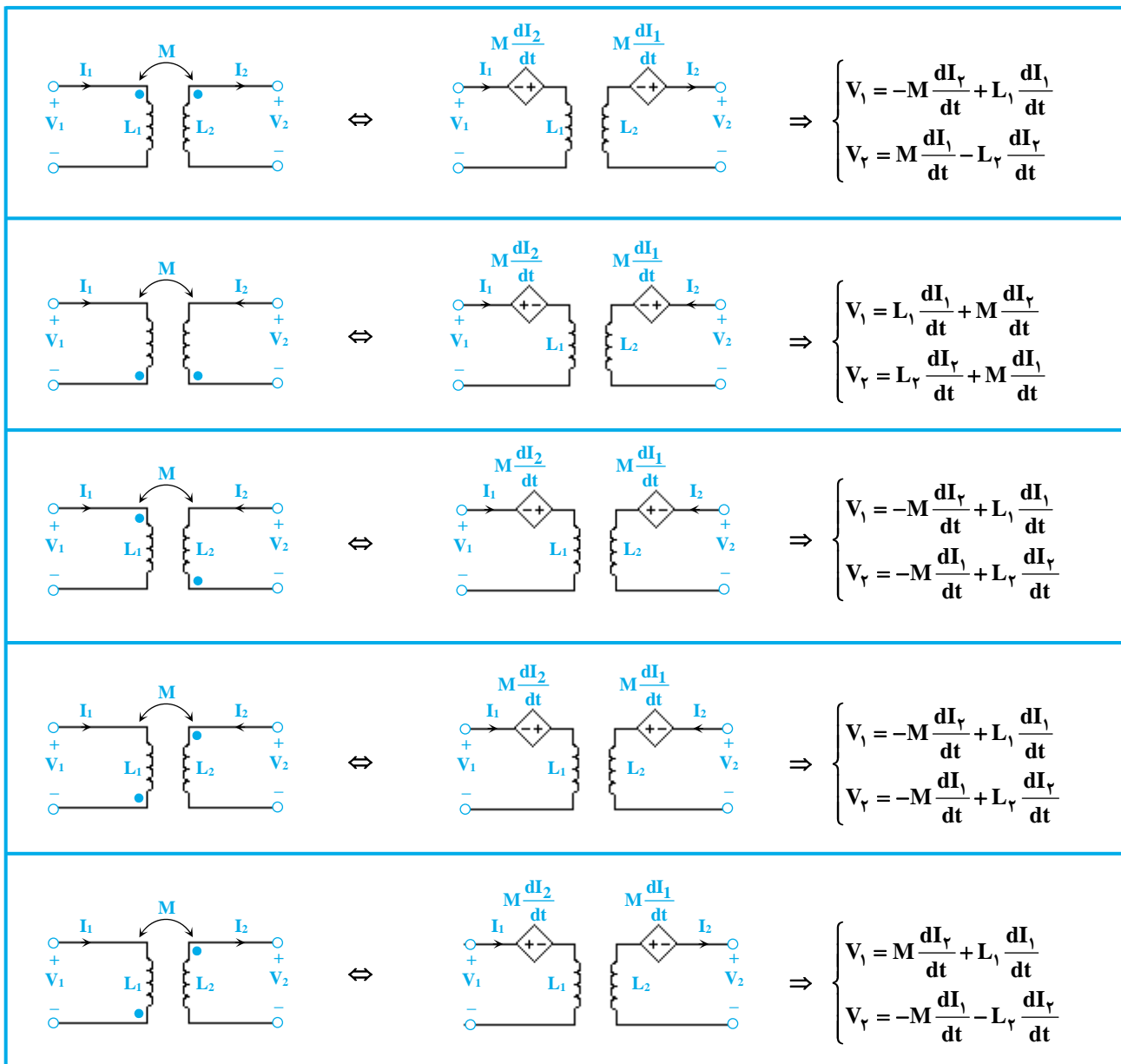
$$-V_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \frac{dI_2}{dt} \Rightarrow V_1 = -L_1 \frac{dI_1}{dt} - M \frac{dI_2}{dt}$$

روش دوم: می‌توانیم فرض کنیم که جریان $-I_1$ از سر مثبت V_1 وارد می‌شود:

$$\Rightarrow V_1 = L_1 \frac{d(-I_1)}{dt} - M \frac{dI_2}{dt} = -L_1 \frac{dI_1}{dt} - M \frac{dI_2}{dt}$$

لازم به ذکر است که همیشه M را مثبت فرض کرده و علامت پشت M را مطابق با روش ذکر شده در بالا تعیین می‌کنیم.

برای بهتر مشخص شدن موارد فوق چند مثال در جدول زیر آورده شده است. در این جدول دیده می‌شود که می‌توان به جای دو سلف با القای متقابل، از مدارهای معادل آنها که شامل دو سلف بدون القای متقابل و دو منبع وابسته است، استفاده نمود.



نوشتن روابط فازوری برای سلف‌های تزویج شده

اگر در روابط گفته شده در قبل، به جای L عبارت $j\omega L$ و به جای $M \frac{dI}{dt}$ عبارت $j\omega MI$ را قرار دهیم، معادلات فازوری ولتاژ به شکل زیر بدست می‌آید: ($\frac{d}{dt} \rightarrow j\omega$)

$$\begin{cases} V_1(t) = L_1 \frac{dI_1(t)}{dt} \pm M \frac{dI_2(t)}{dt} \\ V_2(t) = L_2 \frac{dI_2(t)}{dt} \pm M \frac{dI_1(t)}{dt} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_1 = j\omega L_1 I_1 \pm j\omega M I_2 \\ V_2 = j\omega L_2 I_2 \pm j\omega M I_1 \end{cases}$$

نوشتن روابط سلف‌های تزویج شده در حوزه فرکانس

اگر در روابط گفته شده در بالا به جای $L \frac{dI}{dt}$ عبارت LSI و به جای $M \frac{dI}{dt}$ عبارت MSI را قرار دهیم، معادلات ولتاژ به صورت زیر خواهد بود: ($\frac{d}{dt} \rightarrow S$)

$$\begin{cases} V_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt} \pm M \frac{dI_2}{dt} \\ V_2 = L_2 \frac{dI_2}{dt} \pm M \frac{dI_1}{dt} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_1 = L_1 S I_1 \pm M S I_2 \\ V_2 = L_2 S I_2 \pm M S I_1 \end{cases}$$

لازم به ذکر است که کاربرد فرمول‌های بالا در فصل لاپلاس و فرکانس طبیعی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش دوم: می‌توان ابتدا مقدار L_{eq} را در مدار محاسبه نموده و سپس مقدار انرژی ذخیره شده در L_{eq} را محاسبه کرد.

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 + 2M = 4 + 5 + 6 + 2 \times 3 = 21 \text{ H}$$

$$W = \frac{1}{2} L_{eq} I_1^2 = \frac{1}{2} \times 21 \times (2 \cos 50^\circ t)^2 = 42 \cos^2 50^\circ t \Rightarrow W_{(Max)} = 42 \text{ J}$$

روش سوم: از همان اول می‌توانستیم بگوییم با توجه به سری بودن سلف‌ها زمانی انرژی آن‌ها ماکزیمم می‌شود که جریان عبوری از آن‌ها ماکزیمم باشد،

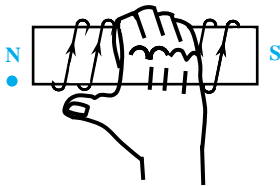
$$I_1 = 2 \text{ A} \Rightarrow W = \frac{1}{2} L_{eq} I_1^2 = \frac{1}{2} \times 21 \times 2^2 = 42 \text{ J}$$

یعنی در لحظه‌ی $t = 0$.

رسم مدار معادل نقطه‌دار

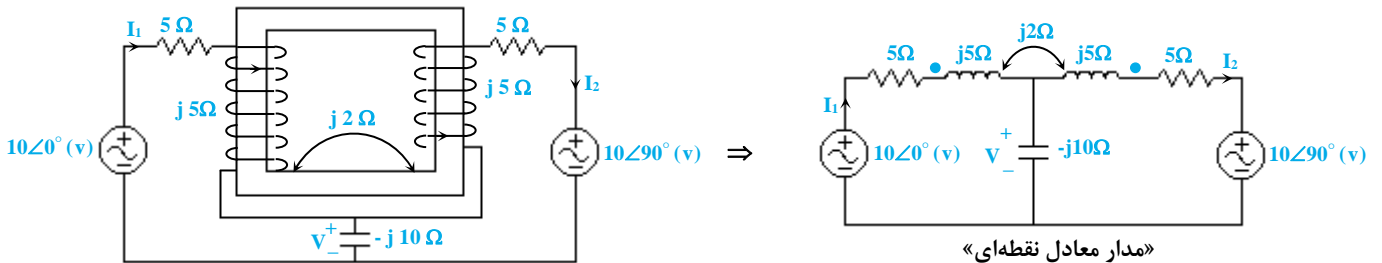
در بعضی مسائل جای نقطه روی شکل‌ها مشخص نیست و ما باید مکان این نقاط را تعیین کنیم. روش تعیین مکان نقاط با استفاده از تعیین قطب N در سیم‌پیچ مشخص می‌شود.

تعیین قطب‌های N و S و سوی میدان در یک سیم‌لوله

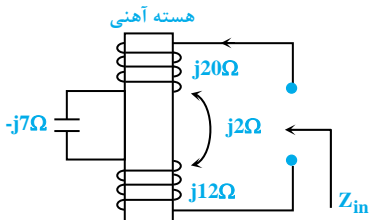


اگر مطابق شکل، چهار انگشت دست راست را در سوی جریان به دور تیغه (یا استوانه) قرار دهیم، انگشت شست جهت میدان را نشان خواهد داد و چون می‌دانیم میدان مغناطیسی از قطب N خارج و به قطب S وارد می‌شود، لذا سوی میدان را می‌توان قطب N دانست و دقیقاً نقطه را باید در جایی که N قرار دارد، گذاشت.

مثال ۳۷: مدار معادل نقطه‌ای شکل‌های زیر را به دست آورید.



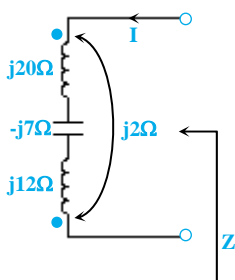
مثال ۳۸: امیدانس ورودی شکل داده شده بر حسب اهم کدام است؟



- (۱) $j29$
- (۲) $j27$
- (۳) $j23$
- (۴) $j21$

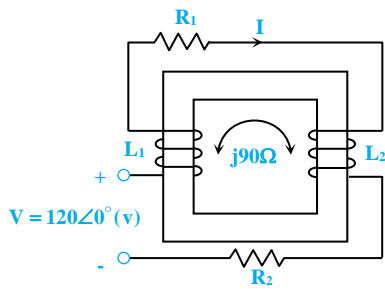
پاسخ: گزینه «۴»

ابتدا باید مدار معادل نقطه‌دار شکل را رسم کنیم. برای این منظور چهار انگشت دست راست را جهت جریان روی هسته آهنی قرار می‌دهیم. جهت انگشت شست، همان جایی است که باید نقطه را قرار دهیم.



$$Z = jX_{L1} + jX_{L2} - 2jX_M - jX_C = j20 + j12 - 2(j2) - j7 = j21 \Omega$$

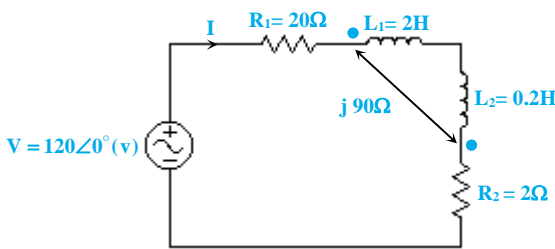
مثال ۳۹: جریان I در مدار شکل مقابل تقریباً چند آمپر است؟



$$\begin{cases} R_1 = 20\Omega, L_1 = 2H \\ R_2 = 2\Omega, L_2 = 0.2H \\ \omega = 400 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \end{cases}$$

- (۱) ۱۱/۰
- (۲) ۱۷/۰
- (۳) ۷/۱
- (۴) ۱۱

پاسخ: گزینه «۲» ابتدا باید مدار معادل نقطه‌دار شکل را رسم کنیم. برای این منظور، چهار انگشت دست راست را در جهت جریان روی هسته آهنی قرار می‌دهیم. جهت انگشت شست، همان جایی است که باید نقطه را قرار دهیم.

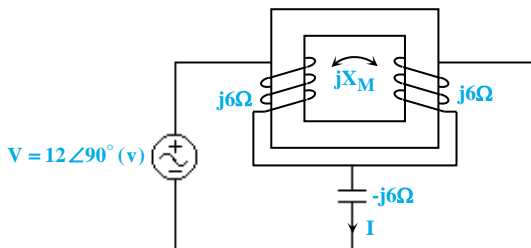


$$\begin{cases} Z_{L_1} = j\omega L_1 = j \times 400 \times 2 = j800\Omega \\ Z_{L_2} = j\omega L_2 = j \times 400 \times 0.2 = j80\Omega \end{cases}$$

$$\Rightarrow Z_{eq} = j800 + j80 - 2 \times j90 + 22 = 22 + j700$$

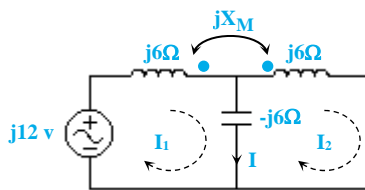
$$\Rightarrow I = \frac{120 \angle 0^\circ}{22 + j700} \Rightarrow |I| = \frac{120}{\sqrt{(700)^2 + (22)^2}} \cong \frac{120}{700} = 0.17A$$

مثال ۴۰: در مدار مقابل جریان I = ۴A است. اندازه XM چقدر است؟



- (۱) ۶
- (۲) ۹
- (۳) ۳

(۴) جریان I نمی‌تواند برابر با ۴A در مدار باشد.



پاسخ: گزینه «۴» ابتدا جریان‌های I1 و I2 را با جهت دلخواه در شکل در نظر می‌گیریم. در ادامه با توجه به جهت سیم‌پیچی‌ها می‌توانیم مدار معادل نقطه‌گذاری شده را به صورت شکل مقابل ترسیم کنیم:

با نوشتن KVL در حلقه سمت چپ داریم:

با نوشتن KVL در حلقه سمت راست داریم:

$$j6I_1 - jX_M I_2 - j6(I_1 - I_2) = j12 \Rightarrow (-jX_M + j6)I_2 = j12 \Rightarrow I_2 = \frac{j12}{-jX_M + j6} \Rightarrow I_2 = \frac{12}{6 - X_M} \quad (1)$$

با نوشتن KVL در حلقه سمت راست داریم:

$$-j6(I_2 - I_1) + j6(I_2) - jX_M I_1 = 0 \Rightarrow (j6 - jX_M)I_1 = 0 \Rightarrow I_1 = 0 \text{ یا } X_M = 6$$

$X_M = 6$ با توجه به رابطه (۱) درست نمی‌باشد (متعلق به دامنه نیست) پس $I_1 = 0$ از طرفی داریم:

$$I = I_1 - I_2 \Rightarrow 4 = 0 - I_2 \Rightarrow I_2 = -4(A) \Rightarrow \frac{12}{6 - X_M} = -4 \Rightarrow 12 = -24 + 4X_M \Rightarrow 36 = 4X_M \Rightarrow X_M = 9\Omega$$

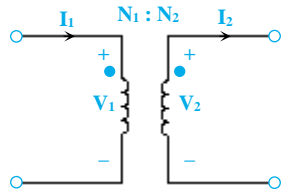
در ادامه با توجه به این که $X_M = K\sqrt{X_{L1}X_{L2}}$ و $X_M \leq 1$ است، مقدار $X_M = 9\Omega$ در رابطه صادق نمی‌باشد؛ بنابراین هیچ مقداری برای X_M بدست

نمی‌آید و جریان I نمی‌تواند ۴A باشد.

ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یا ترانسفورمر برای تغییر سطح ولتاژ و جریان در مدارهای جریان متناوب به کار می‌رود. ساختمان ترانسفورماتور متشکل از یک هسته آهنی و دو سیم‌پیچ با تعداد دورهای عمدتاً متفاوت که روی هسته آهنی پیچیده شده‌اند، می‌باشد. هسته آهنی از ورقه‌های نازکی که روی هم قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است و دلیل ورقه ورقه بودن هسته، کاهش جریان گردابی در هسته ترانس می‌باشد.

اگر سیم‌پیچ اولیه N_1 دور و سیم‌پیچ ثانویه N_2 دور داشته باشد، بین ولتاژ و جریان‌های ثانویه و اولیه یک ترانس ایده‌آل (بدون تلفات) روابط زیر برقرار است:



$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

ملاحظه می‌شود که با انتخاب تعداد دور مناسب سیم‌پیچ‌ها و تعیین عدد $\frac{N_2}{N_1}$ به اندازه دلخواه می‌توانیم به ازای ولتاژ معین اولیه، ولتاژ دلخواه در ثانویه را

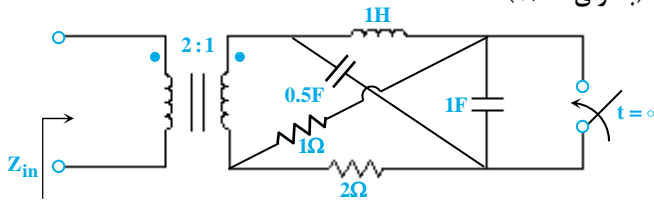
بدست آوریم. برطبق رابطه $V_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)V_1$ اگر $\frac{N_2}{N_1} < 1$ باشد، آنگاه ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور کمتر از ولتاژ اولیه آن خواهد بود و ترانسفورماتور را **کاهنده**

و اگر $\frac{N_2}{N_1} > 1$ باشد، آنگاه ولتاژ ثانویه بیشتر از ولتاژ اولیه خواهد بود و ترانسفورماتور را **افزاینده** می‌نامند.

تذکره ۳: اگر جهت هر کدام از جریان‌ها عوض شود و یا جای یکی از نقطه‌ها به تنهایی عوض شود، روابط به صورت زیر بیان خواهد شد:

	$\begin{cases} \frac{V_2}{V_1} = -\frac{N_2}{N_1} \\ \frac{I_2}{I_1} = -\frac{N_1}{N_2} \end{cases}$
	$\begin{cases} \frac{V_2}{V_1} = -\frac{N_2}{N_1} \\ \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \end{cases}$
	$\begin{cases} \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \\ \frac{I_2}{I_1} = -\frac{N_1}{N_2} \end{cases}$

مثال ۵۰: امپدانس ورودی مدار شکل زیر در فرکانس $\omega = 1$ ، چند اهم است؟ (به ازای $t > 0$)



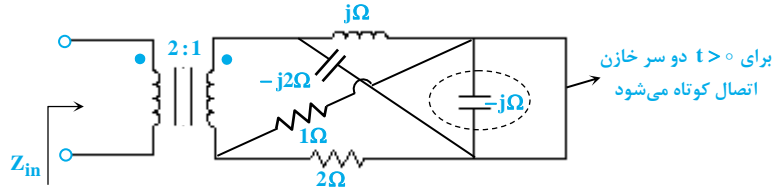
$$\frac{1}{3} - 8j \quad (2)$$

$$\frac{1}{3} + 8j \quad (1)$$

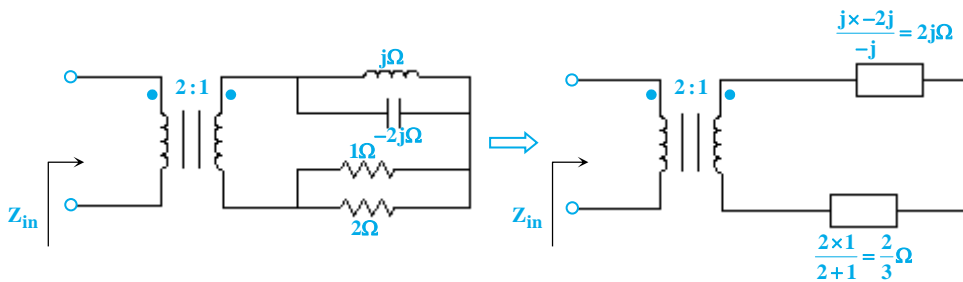
$$\frac{1}{3} - 4j \quad (4)$$

$$\frac{4}{3} + 4j \quad (3)$$

پاسخ: گزینه «۱» با توجه به این که $\omega = 1$ می باشد، مدار در حالت دائمی سینوسی به شکل زیر است:

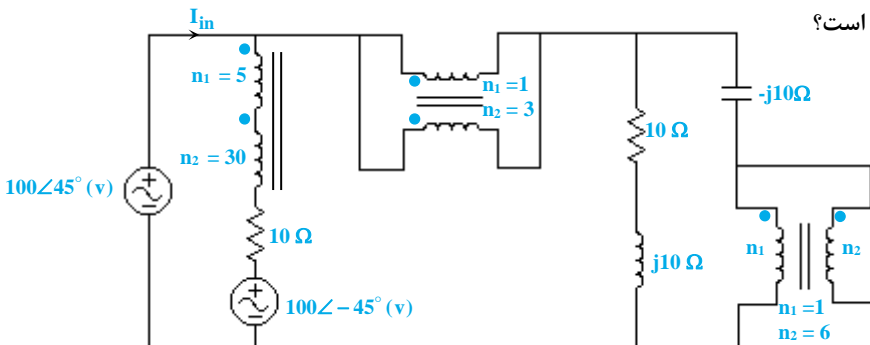


حال با ساده سازی مدار داریم:



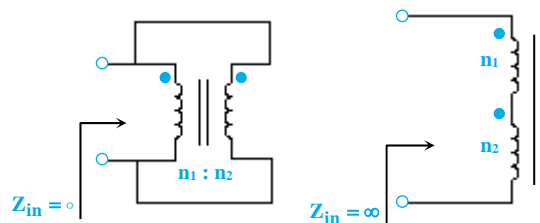
$$\Rightarrow Z_{in} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times \left(2j + \frac{1}{\frac{1}{2} + j}\right) = \frac{1}{3} + 8j\Omega$$

مثال ۵۱: در مدار زیر مقدار جریان ورودی مدار کدام است؟

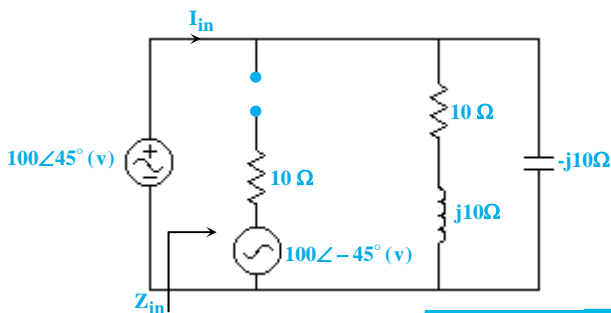


- (۱) $\sqrt{2} A$
- (۲) $j\sqrt{2} A$
- (۳) $5\sqrt{2} A$
- (۴) $5j\sqrt{2} A$

پاسخ: گزینه «۴» با توجه به نکته زیر که در جداول قبل هم ذکر شده بود، داریم:



با جایگذاری معادله های ذکر شده در مدار داریم:



$$Z_{in} = (10 + j10) \parallel (-j10) = (10 - j10)\Omega$$

$$I_{in} = \frac{100 \angle 45^\circ}{10 - j10} = \frac{100 \angle 45^\circ}{10\sqrt{2} \angle -45^\circ} = 5\sqrt{2} \angle 90^\circ = 5j\sqrt{2} A$$



امپدانس معادل شبکه N_1 برابر است با $Z_1 = R + jX_T$ که $X_T = X - \lambda$. از آن جایی که می‌خواهیم ضریب توان شبکه N_1 ، $\frac{\sqrt{2}}{2}$ شود، باید R برابر X_T باشد. حال برای آن که در حالت زاویه فاز ثابت بار، حداکثر توان به بار یا همان شبکه N_1 برسد، باید داشته باشیم:

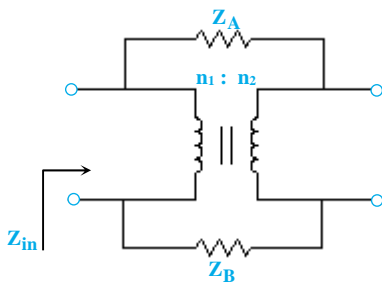
$$|Z_1| = |Z_N|$$

$$|Z_N| = |R + jX_T| = |R + jR| = R\sqrt{2} \quad , \quad |Z_1| = |1 - j2| = \sqrt{5} \Rightarrow R\sqrt{2} = \sqrt{5} \Rightarrow R = \sqrt{\frac{5}{2}} \Omega$$

$$X_T = X - \lambda = 2L - \lambda = \sqrt{\frac{5}{2}} \Rightarrow L = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{5}{2}} + 4H$$

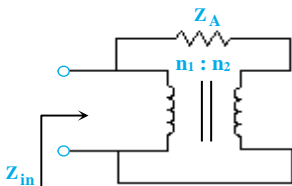
قانون انعکاس امپدانس در چند مورد خاص

در صورتی که امپدانس‌هایی در بالا و پایین یک ترانسفورمر قرار گیرد، قانون انعکاس امپدانس برای امپدانس دیده شده از ورودی ترانسفورمر به صورت زیر است:

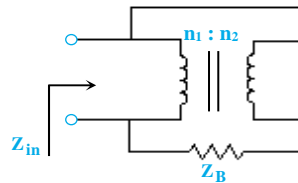


$$Z_{in} = \frac{Z_A + Z_B}{\left(1 \pm \frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$

لازم به ذکر است که در رابطه Z_{in} در صفحه قبل، در صورتی که نقاط مربوط به القای متقابل در سیم‌پیچ‌های ترانس همانند هم باشند (هر دو در بالا و یا هر دو در پایین)، از علامت منفی و در صورتی که یک نقطه در بالا و یک نقطه در پایین باشد، از علامت مثبت استفاده می‌کنیم. همچنین در صورتی که یکی از المان‌های Z_A و Z_B اتصال کوتاه شود، به جای آن در رابطه Z_{in} مقدار صفر را لحاظ می‌کنیم. به بیان دیگر داریم:

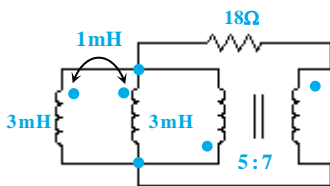


$$Z_{in} = \frac{Z_A}{\left(1 \pm \frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$



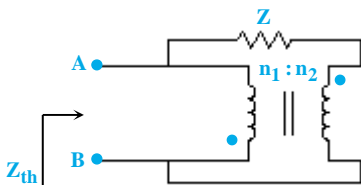
$$Z_{in} = \frac{Z_B}{\left(1 \pm \frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$

مثال ۵۶: ثابت زمانی مدار زیر بر حسب میلی‌ثانیه کدام است؟



- /۶۴ (۱)
- /۳۲ (۲)
- /۰۱۸ (۳)
- /۰۰۹ (۴)

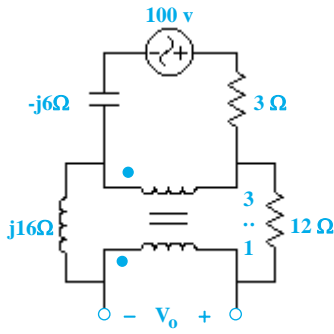
پاسخ: گزینه «۱» برای بدست آوردن ثابت زمانی در این مدار، باید از دو سر سلف‌ها مقاومت تونن دیده شود. لذا داریم:



$$Z_{th} = \frac{Z}{\left(1 + \frac{n_2}{n_1}\right)^2} \Rightarrow Z_{th} = \frac{18}{\left(1 + \frac{7}{5}\right)^2} = \frac{25}{8} \Omega$$

برای بدست آوردن مقدار L_{eq} ، دو سلف ۳ mH را با توجه به تزویج بین آن‌ها موازی می‌کنیم.

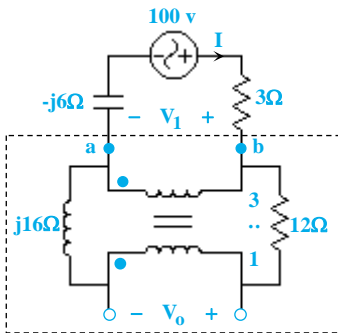
$$L_{eq} = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M} = \frac{3 \times 3 - 1^2}{3 + 3 - 2} = 2 \text{ mH} \Rightarrow \tau = \frac{L_{eq}}{Z_{th}} = \frac{2 \text{ mH}}{\frac{25}{8} \Omega} = 0/64 \text{ m sec}$$



مثال ۵۷: در مدار زیر مقدار V_o بر حسب ولت کدام است؟

- (۱) $25 \angle 8^\circ$
- (۲) $25 \angle -8^\circ$
- (۳) $35 \angle 8^\circ$
- (۴) $35 \angle -8^\circ$

پاسخ: گزینه «۳» با توجه به نکات ذکر شده در جدول موجود در صفحات قبل، برای امپدانس دیده شده از a و b داریم:



$$Z(a, b) = \frac{12 + j16}{\left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)^2}, \quad n_2 = 1, \quad n_1 = 3$$

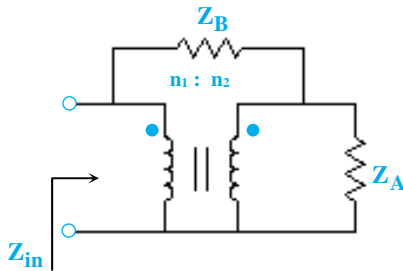
$$\Rightarrow Z(a, b) = \frac{12 + j16}{\left(1 - \frac{1}{3}\right)^2} = \frac{9}{4} \times (12 + j16) = (27 + j36) \Omega$$

$$\Rightarrow I = \frac{100}{27 + j36 + 3 - j6} = \frac{100}{30 + j30} \text{ (A)}$$

$$\Rightarrow V_1 = I \times Z_{ab} = \frac{100}{30 + j30} \times (27 + j36) = \frac{10(9 + j12)}{1 + j} \text{ (V)}$$

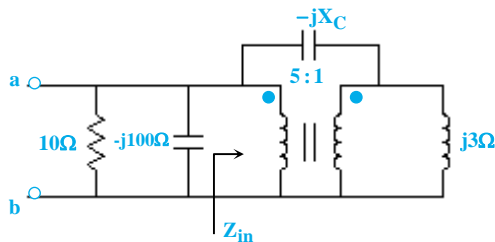
$$V_o = \frac{V_1}{3} = \frac{10(3 + j4)}{1 + j} = \frac{10 \times 5 \angle 53^\circ}{\sqrt{2} \angle 45^\circ} = \frac{50}{\sqrt{2}} \angle 8^\circ = 35 \angle 8^\circ \text{ (V)}$$

نکته ۵: در صورتی که امپدانس‌های Z_A و Z_B در بالا و خروجی یک ترانسفورمر قرار گیرد، رابطه Z_{in} یا همان امپدانس دیده شده از اولیه ترانسفورمر به صورت زیر است:



$$Z_{in} = \frac{1}{\frac{a^2}{Z_A} + \frac{(a-1)^2}{Z_B}}, \quad a = \frac{n_2}{n_1}$$

مثال ۵۸: در صورتی که مدار زیر در حالت تشدید باشد، مقدار X_C بر حسب اهم کدام است؟



- (۱) ۱۹۲
- (۲) ۱/۹۲
- (۳) ۴۶۸
- (۴) ۴/۶۸

پاسخ: گزینه «۱» مقدار Z_{in} باید برابر $j100$ شود تا مدار در حالت رزونانس باشد؛ لذا داریم:

$$Z_{in} = \frac{1}{\frac{n^2}{j3} + \frac{(n-1)^2}{-jX_C}}, \quad n = \frac{1}{5}, \quad Z_{in} = j100 \Rightarrow j100 = \frac{1}{\frac{(-1)^2}{j3} + \frac{(-1-1)^2}{-jX_C}} \Rightarrow j100 \left[\frac{1}{j3} - \frac{16}{25jX_C} \right] = 1 \Rightarrow X_C = 192 \Omega$$