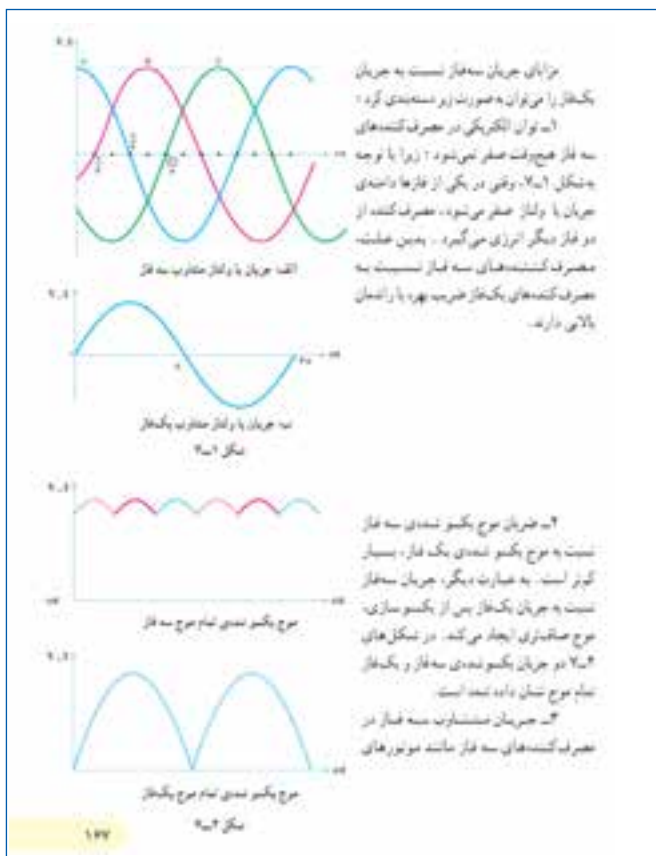
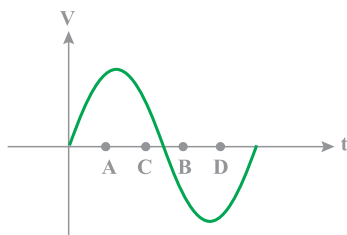


هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود:

- ۱- جریان سه‌فاز را تعریف و مشخصات آنها را با رسم دیاگرام بیان کند.
- ۲- مفاهیم ولتاژهای خطی و فازي و جریان‌های خطی و فازي را در اتصال ستاره و مثلث بیان کند.
- ۳- جریان‌ها و ولتاژها را در مصرف‌کننده‌های سه‌فاز متعادل با اتصال ستاره و مثلث محاسبه کند.
- ۴- توان‌های مؤثر و غیرمؤثر و ظاهری و هم‌چنین ضریب توان را در بارهای متعادل در اتصالات ستاره و مثلث متعادل محاسبه کند.
- ۵- اثر قطع یک فاز و تعویض جای دو فاز را بر روی مصرف‌کننده تشریح کند.
- ۶- اثر قطع نول در بارهای سه‌فاز نامتعادل سه‌سیمه را با اتصال ستاره شرح دهد.



هنرآموزان محترم در ابتدای فصل هفتم ترسیم شکل موج سه فاز از روی شکل موج یک فاز به هنجاریان آموزش داده شود، به این ترتیب که ابتدا شکل موجی شبیه شکل (۷-۱) ترسیم کنند.

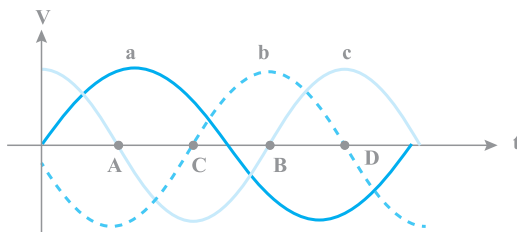


شکل ۷-۱

سپس هر نیم سیکل را به سه قسمت مساوی که معادل 60° درجه است تقسیم نمایند. در این مرحله به سادگی از روی شکل موج یک فاز می توانیم شکل موج سه فاز را ترسیم کنیم. نقطه A به نقطه B با نیم سیکل منفی و دامنه قبلی و لتاز C متصل و منحنی ادامه داده می شود.

سپس در مرحله بعد نقطه C به نقطه D با نیم سیکل مثبت و دامنه ولتاژ قبلی متصل و رسم منحنی ادامه داده می‌شود.

در رسم منحنی‌ها به زمان تناوب و پیک مقادیر توجه نمایید تا به شکل ۷-۲ برسید.



شکل ۷-۲

سپس مزایای نام برده شده در کتاب درسی را برای جریان متناوب سه فاز برشمارید.

۱- توان در جریان سه فاز هیچ‌گاه صفر نمی‌شود.

۲- ضربان یک‌سو شده شکل موج سه‌فاز نسبت به یک فاز کمتر است (رایبل کمتری دارد)

۳- جریان سه فاز قادر به تولید میزان دوّار (حوزه دوّار مغناطیسی) است.

برای توضیح بیشتر در مورد صفر نبودن توان در جریان‌های سه‌فاز می‌توانیم مطابق شکل ۷-۳ چند خط قائم در راستای محور ω ‌ها روی منحنی سه‌فاز رسم کنید (این خطوط با فواصل مختلف باشند) و بگویید هیچ‌گاه این سه منحنی با همدیگر صفر نیستند.

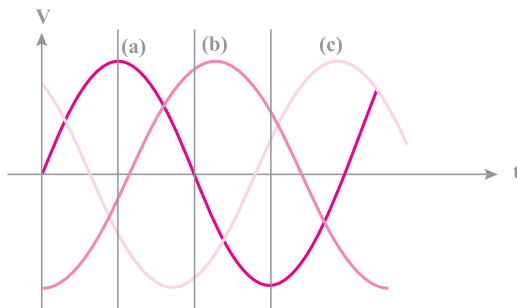
مثلاً در حالت ۲، منحنی فاز a صفر است ولی فاز b مثبت و فاز c منفی است یا در وضعیت ۳،

منحنی فاز c و b مقدار مثبت دارند در حالی که فاز a دارای مقدار منفی است.

$$e_a = E_a \sin \omega t$$

$$e_b = E_b \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_c = E_c \sin(\omega t + 120^\circ)$$



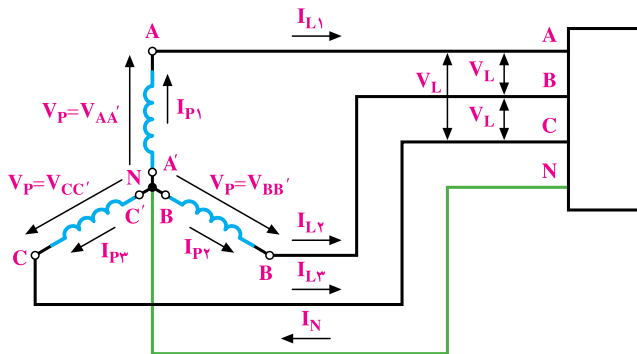
شکل ۷-۳

۷-۱- اتصال ستاره

این اتصال در دو حالت سه سیم و چهار سیم بررسی می‌شود. مرکز اتصال ستاره سیم نول نامیده می‌شود. گاهی مرکز اتصال ستاره به سیم نول متصل است (۴ سیمه) و گاهی سیم چهارم به مرکز اتصال ستاره متصل نیست (شکل ۷-۴) در اتصال ستاره داریم:

$$\begin{cases} V_L = \sqrt{3} V_{ph} \\ I_L = I_{ph} \end{cases}$$

I_{ph} : جریان فاز
 V_{ph} : ولتاژ فاز
 I_L : جریان خط
 V_L : ولتاژ خط



شکل ۷-۴

۷-۱-۱- بررسی مثال صفحه ۱۷۵ کتاب درسی:

این یک بار متعادل است زیرا:

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = 22 \Omega$$

$$\cos \phi_1 = \cos \phi_2 = \cos \phi_3 = 0.8$$

بار پس فاز و سلفی است.

در این مثال هنگام رسم دیاگرام ولتاژها و جریان، جریان‌ها به اندازه $\phi = \cos^{-1} 0.8 = 37^\circ$ از ولتاژ فازی عقب‌تر خواهند بود. مبنای گردش جهت مثلثاتی بوده، یعنی در خلاف جهت عقربه‌های ساعت است.

در رابطه ۷-۱۵ $I_p = I_1 = I_2 = I_3$ را جایگزین می‌کنیم و خواهیم داشت:

$$P_d = 3I_1 \times \frac{V_1}{\sqrt{3}} \sin \varphi = \sqrt{3} V_1 I_1 \sin \varphi \quad \text{V.A.R} \quad (7-19)$$

از روابط ۷-۱۶ و ۷-۱۷ می‌توان نوشت:

$$P_e = \sqrt{P_e^2 + P_d^2} = \sqrt{(\sqrt{3} V_1 I_1 \cos \varphi)^2 + (\sqrt{3} V_1 I_1 \sin \varphi)^2}$$

چون ترتیب توان ظاهری را بر خواهد بود:

$$P_e = \sqrt{3} V_1 I_1 \quad \text{V.A} \quad (7-21)$$

مثال ۱ یک بار متعادل سه‌فاز با اتصال ستاره به شبکه‌ی سه‌فاز با ولتاژ ۳۸۰ ولت مفاتی شکل ۷-۱۰ متصل است. مطلوب است: $(V_L = 380\text{V})$

الف - جریان هر فاز و هر خط.
 ب - از رابطه‌ی ۷-۱۰ داریم:

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220\text{V}$$

بار متعادل است؛ پس داریم:

$$I_L = I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} = I_L$$

$$I_p = I_{p1} = I_{p2} = I_{p3} = I_p$$

از رابطه‌ی ۷-۱۵ می‌توان نوشت:

۷-۲- اتصال ستاره و بار نامتعادل

در این حالت جریان سیم نول صفر نیست و به علت برابر نبودن برآیند جریان‌های فازها مقداری برای جریان نول به دست می‌آید. برای محاسبه‌ی توان‌ها نیز چنان‌که در کتاب درسی اشاره شده است باید برای هر فاز مجزا این توان‌ها را محاسبه نمود.

$$P_e = V_{p1} I_{p1} \cos \varphi_1 + V_{p2} I_{p2} \cos \varphi_2 + V_{p3} I_{p3} \cos \varphi_3$$

$$P_d = \pm V_{p1} I_{p1} \sin \varphi_1 \pm V_{p2} I_{p2} \sin \varphi_2 \pm V_{p3} I_{p3} \sin \varphi_3$$

$$P_S = \sqrt{P_e^2 + P_d^2}$$

در توان‌های اکتیو علامت + برای خاصیت سلفی و علامت - برای خاصیت خازنی مدار است. **تذکره:** به دلیل نامتعادل بودن بار و تفاوت ضرایب توان‌ها، ضریب توان در بار نامتعادل تعریف نمی‌شود.

۷-۳- اتصال مثلث

بدانسیل آن را با زمین یکی می‌کنند و آن را سیم نول می‌نامند و با MP نشان می‌دهند. سیم نول هرگاه با سه سیم A، B و C مطابق شکل ۷-۳-۱ از ترمک به مصرف‌کننده انتقال می‌دهند. سیم‌های A، B و C را به ترتیب R، S و T یا Y، R یا B یا E و سه فاز نامگذاری می‌کنند و به آن‌ها سیم‌های فاز A، فاز B و فاز C می‌گویند. این سیستم انتقال را انتقال چهار سیمه و نوع اتصال سیم‌بندی‌های مولد را **اتصال ستاره** گویند و آن را با نماد اسمبلی Y یا Y (یا Y) نشان می‌دهند. اگر در انتقال سیم نول حذف شود، انتقال را انتقال چهار سیمه سه سیمه گویند.

شکل ۷-۳-۱- اتصال ستاره - انتقال چهار سیمه

در روش دوم انتقال ترمک، انتهای سیم‌بندی AA' یعنی A' را به ابتدای سیم‌بندی BB' یعنی B، انتهای سیم‌بندی BB' را یعنی B' را به ابتدای سیم‌بندی CC' یعنی C و انتهای سیم‌بندی CC' یعنی C' را به ابتدای سیم‌بندی AA' یعنی A وصل می‌کنند و از این تولیدی ترمک را با سه سیم A، B و C یا S، R و T و به مصرف‌کننده مطابق شکل ۷-۳-۲ انتقال می‌دهند. این روش انتقال را **اتصال سه سیمه** و نوع اتصال سیم‌بندی‌های مولد را **اتصال مثلث** می‌گویند و با نماد AΔD (یا Δ) نشان می‌دهند.

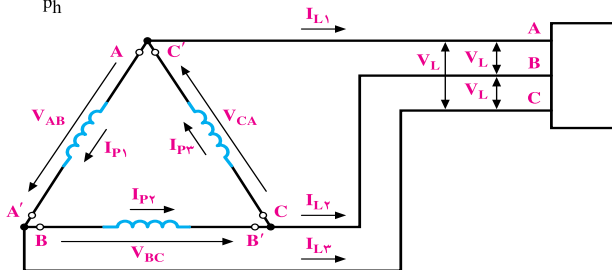
شکل ۷-۳-۲- اتصال سه سیمه - اتصال مثلث

در این اتصال ولتاژ خط با ولتاژ فاز برابر است ولی جریان‌ها به صورت برابر هستند (شکل ۷-۵).

جریان فازی جریانی است که از هر سیم بیچ عبور می‌کند. I_{P_1} و I_{P_2} و I_{P_3}

جریان خط: جریانی است که از فازهای T، R، S عبور می‌کند. I_{L_1} و I_{L_2} و I_{L_3}

$$\begin{cases} V_{ph} = V_L \\ I_L = \sqrt{3} I_{Ph} \end{cases}$$



شکل ۷-۵

۲-۴- بار متعادل و نامتعادل

اگر در اتصال ستاره یا مثلث سه بار Z_1 و Z_2 و Z_3 با همدیگر برابر باشند و مقادیر اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان φ با همدیگر برابر باشند بار متعادل خواهد بود.

به عبارت دیگر بار سه فازی متعادل است که: اگر یکی از مشخصه‌های بالا متفاوت باشد بار نامتعادل خواهد بود.

$$Z_1 = Z_2 = Z_3$$

$$\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2 = \cos\varphi_3$$

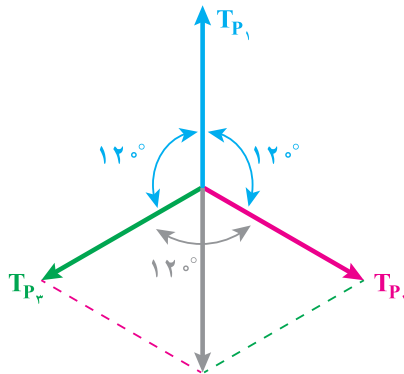
توجه: بار نامتعادل جزء برنامه درسی این کتاب نیست.

در اتصال ستاره با بار متعادل برآیند جریان‌ها در مرکز اتصال (نول) برابر صفر خواهد بود چنانکه در شکل ۷-۶ نیز دیده می‌شود برآیند سه بردار جریان برابر با زاویه 120° درجه برابر صفر خواهد بود.

$$\vec{I}_N = \vec{I}_{P_1} + \vec{I}_{P_2} + \vec{I}_{P_3}$$

برآیند این سه بردار در فصل دوم کتاب با دامنه‌های برابر معادل صفر خواهد بود و سپس جریان

سیم نول صفر خواهد بود.



شکل ۷-۶

۲-۵- مقایسه اتصال مثلث و ستاره متعادل

در اتصال مثلث توان اکتیو از رابطه $P_{e\Delta} = \frac{3V_L^2 R}{Z^2}$ و در اتصال ستاره همین توان از رابطه

به دست می‌آید اگر نسبت این دو رابطه را در نظر بگیریم به رابطه جدیدی خواهیم رسید.

$$P_{e\lambda} = \frac{3V_P^2 R}{Z^2}$$

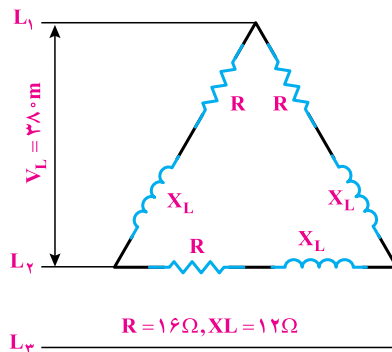
در حالت متعادل :
$$\begin{cases} P_{\Delta} = 3P_{\lambda} \\ P_{\lambda} = \frac{1}{3}P_{\Delta} \end{cases}$$
 :توان ظاهری و حقیقی و غیرحقیقی

$$\frac{P_{e_{\Delta}}}{P_{e_{\lambda}}} = 3$$

یعنی توان اکتیو در حالت مثلث ۳ برابر حالت ستاره است.

۱-۵-۷- حل تمرین شماره ۳ صفحه ۱۸۶ کتاب درسی (شکل ۷-۷)

هدف : محاسبه جریان خط و فاز در اتصال مثلث داده شده و به دست آوردن توان مصرفی



شکل ۷-۷

گام اول)

ابتدا مقدار امپدانس هر شاخه به دست آورده می شود.

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

هر شاخه یک R-L سری است.

$$Z = \sqrt{16^2 + 12^2} = 20 \Omega$$

مقدار امپدانس هر شاخه برابر $Z = 20 \Omega$ است.

گام دوم)

ولتاژ خط و فاز برابرند پس جریان هر فاز برابر است با :

$$V_{Ph} = V_L = 380 \rightarrow I_{Ph} = \frac{V_{Ph}}{Z} = \frac{380}{20} = 19 A$$

$$I_L = \sqrt{3} I_{Ph} = \sqrt{3} \times 19 = 32.9 \text{ A} \quad \text{از طرفی}$$

گام سوم)

اما برای محاسبه توان مصرفی داریم:

$$P_e = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{16}{20} = 0.8 \rightarrow P_e = \sqrt{3} \times 380 \times 32.9 \times 0.8 = 17323 \text{ (w)}$$

گام چهارم)

و توان راکتیو:

$$P_d = \sqrt{3} V_L I_L \sin \varphi$$

$$= \sqrt{3} \times 380 \times 32.9 \times 0.6 = 12980 \text{ VAR}$$

به دست خواهد آمد.

همکاران گرامی، همان طور که قبلاً نیز اشاره شد مهارت در حل مسائل تحلیل مدارهای الکتریکی نیاز به ممارست و تمرین مستمر از طرف هنرجویان دارد. به همین منظور و جهت تکمیل و تسلط بر مفاهیم کتاب درسی مدارهای الکتریکی پیشنهاد می شود هنرجویان را به استفاده از تمرین های آورده شده در کتاب کار مدارهای الکتریکی تشویق نمایید.

ضمائم

همکاران عزیز اطلاع دارید استفاده از ماشین حساب مهندسی معمولی در امتحانات نهایی دروسی نظیر مدارهای الکتریکی، ماشین‌های الکتریکی، الکترونیک عمومی و مبانی مخابرات مجاز است لیکن تعداد زیادی از هنرجویان به دلیل استفاده نکردن و خستگی در محاسبات و نداشتن مهارت لازم، در آزمون نهایی این درس نمره لازم را کسب نکرده و با مشکلاتی مواجه می‌شوند. از این رو شایسته است تا مقدمات استفاده از یک ماشین حساب ساده را آموزش ببینند و بتوانند از آن در سرعت عمل محاسبات استفاده کنند. لازم به ذکر است که در کلاس‌هایی که هنرجویان قابلیت محاسبات ذهنی در ریاضیات پایه را دارند بهتر است تا به طور ذهنی و با محاسبات نوشتاری جواب را پیدا کنند.

قسمت اول: معرفی کلیدهای مهم و کاربردی

قسمت دوم: کاربرد کلیدها در محاسبات

۱- قسمت اول:

الف - کلید X^2 : این کلید جهت محاسبه مجذور اعداد کاربرد دارد مثلاً:

$$5^2 = 25$$

$$5 \boxed{X^2} = 25$$

ب - کلید X^{-1} : این کلید جهت معکوس کردن اعداد و محاسبات به کار می‌رود. مثلاً:

$$5 \boxed{X^{-1}} = \frac{1}{5} = 0.2 \quad \text{یا} \quad (3 \times 6 \boxed{=} \boxed{X^{-1}} \boxed{=} \frac{1}{3 \times 6} = \frac{1}{18})$$

تذکر: گاهی این علامت‌ها روی کلید اصلی و گاهی در بالای آن قید شده است در صورتی که بالای کلید قید شده باشد ابتدا برای این عملکرد باید کلید SHIFT یا 2nd F را فشار دهیم و سپس دستورالعمل را انجام دهیم مثلاً:

$$\text{shift } \boxed{X^{-1}} \quad 10 = \frac{1}{10} = 0.1$$

ج - کلید $\cos \alpha$: برای پیدا کردن زاویه نظیر یک مقدار کمان و یا پیدا کردن مقدار کسینوس

یا سینوس و تانژانت یک زاویه از کلیدهای \cos ، \sin و \tan استفاده می‌کنیم اما چنانچه بخواهیم

زاویه α هریک از مقادیر مثلثاتی $\sin\alpha$ ، $\cos\alpha$ و $\tan\alpha$ را پیدا کنیم به صورت زیر عمل می‌کنیم:

مثال ۱: اگر $\sin\alpha = 0.5$ مقدار زاویه α چقدر بوده است؟

$$\text{shift } \boxed{\sin^{-1}} \text{ } 0.5 = 30^\circ$$

پس زاویه برابر 30° بوده است با این عمل، در واقع عملگر \sin^{-1} یا Arc sin (سینوس اینورس) فعال می‌شود که بالای کلید $\boxed{\sin}$ نوشته است.

مثال ۲: $\cos\alpha = 0.8$ مقدار زاویه α چقدر است؟

$$\text{shift } \boxed{\cos^{-1}} \text{ } 0.8 = 37^\circ$$

در بعضی از ماشین حساب‌ها ابتدا باید مقدار 0.8 وارد، سپس shift فشار داده شود تا مقدار 37° را نشان دهد.

تذکر: ماشین حساب‌ها برای محاسبه زاویه دارای سه مد (mode) هستند یکی رادیان \boxed{R} دیگری گرادیان \boxed{G} و دیگری درجه \boxed{D} است. توجه داشته باشیم که در محاسبات همیشه mode روی درجه قرار داشته باشد برای این کار کافی است به جدول راهنمای ماشین حساب نگاه کنیم و mode مناسب که با علامت \boxed{D} برای درجه در گوشه صفحه نمایش ظاهر می‌شود مشخص نماییم.

د - استفاده از مد درجه (Mode Degree)

چون در اکثر روابط کتاب درسی مدارهای الکتریکی محاسبات بر حسب درجه به کار می‌رود بهتر است از این حالت استفاده شود. اگر ماشین حساب در حالت درجه \boxed{D} باشد علامت \boxed{D} در بالای صفحه نمایش ظاهر می‌شود در غیر این صورت یا علامت \boxed{R} یا علامت \boxed{G} نمایش داده می‌شود در بیشتر ماشین حساب‌ها برای عوض کردن حالت زاویه به درجه کافیست کلید mode را فشار داده و سپس کلید \boxed{D} را استفاده کنیم در غیر این صورت راهنمای دستگاه و کدهایی که روی صفحه نمایش ظاهر می‌شوند ما را به تغییر دلخواه راهنمایی می‌کنند.

$$\frac{D}{9} = \frac{G}{10} = \frac{R}{\pi} \quad \text{ارتباط این مقادیر}$$

ه - کلید $\boxed{S \leftrightarrow D}$:

این کلید جهت تبدیل کسر متعارفی یا اعداد اصم (رادیکالی و...) و اعداد با نماد علمی به اعداد اعشاری و بالعکس کاربرد دارد به عنوان مثال:

$$20 \boxed{X^{-1}} \text{ } 20^{-1} \boxed{S \leftrightarrow D} \text{ } \frac{1}{20} \boxed{S \leftrightarrow D} \text{ } 0.05$$

و — کلید $\frac{\blacksquare}{\square}$:

این کلید جهت کسر متعارفی استفاده می‌شود و بالای آن علامت تبدیل کسر به اعداد مخلوط را نشان می‌دهد عدد مختلط مورد نظر ما نیست ولی از کسر آن می‌توانیم استفاده کنیم.

مثال ۱:

$$(45 \times 2) \frac{\blacksquare}{\square} (5 \times 2) = \frac{45 \times 2}{5 \times 2} = 9$$

ز — کلید $\boxed{\times 10^x}$ یا $\boxed{\text{Exp}}$:

این کلید جهت نشان دادن اعداد با نماد علمی بسیار پر کاربرد است. در بعضی از ماشین حساب‌ها از کلید $\boxed{\times 10^x}$ استفاده شده ولی در هر صورت هر دو می‌توانند اعداد با نماد علمی را نشان دهد.

مثال ۱:

$$4 \times 10^{-7} \times 252 = \dots$$

$$4 \boxed{\text{Exp}} \boxed{\pm} 7 \times 252 = 1.008 \times 10^{-4}$$

مثال ۲:

$$4\pi \times 10^{-7} \cdot 4 \boxed{\times} 3/14 \boxed{\times 10^x} \boxed{(-)} 7 = 12/56 \times 10^{-7}$$

ی — کلید پرانتزها $\boxed{()}$:

در توزیع ضرب نسبت به عمل جمع این کلیدها بسیار مهم هستند و گاهی هنرجویان این تقدم را رعایت نکرده و محاسبات آنها با مشکل مواجه می‌شود.

مثال ۱:

$$3 \times (4^2 + 3^2) = 75$$

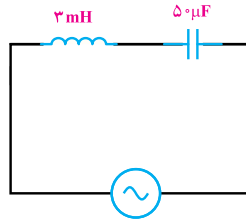
$$3 \times \boxed{(} \boxed{4} \boxed{^2} \boxed{+} \boxed{3} \boxed{^2} \boxed{)} \boxed{=} 75$$

۲ — قسمت دوم : کاربرد کلیدهای معرفی شده در محاسبات عمل در مدار الکتریکی

مثال ۱: مقدار فرکانس رزونانس در مدار زیر چقدر است؟ (شکل الف)

حل) $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{3 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-6}}} = 130 \text{ Hz}$$



$$W = 100 \frac{\text{Rad}}{\text{S}}$$

شکل الف

به کمک ماشین حساب داریم:

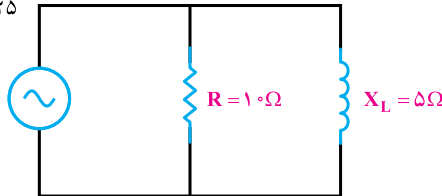
$$\sqrt{\underbrace{3 \times 10^{-3}}_{3 \times 10^{-3}} \times \underbrace{5 \times 10^{-6}}_{5 \times 10^{-6}}} \times 6/28 \equiv \boxed{X^{-1}} \text{ Ans}^{-1} \equiv 130 \text{ Hz}$$

* در بعضی از ماشین حساب‌ها به جای کلید Ans^{-1} کلید x^{-1} استفاده می‌شود.

مثال ۲: مقدار امپدانس را در مدار زیر به دست آورید. (شکل ب)

حل) $Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{1 \times 5}{\sqrt{1^2 + 5^2}} = 4/47 \Omega$

$$\sqrt{(1^2 + 5^2)} \equiv \boxed{X^{-1}} \times 1 \times 5 = 2\sqrt{5} \text{ [S} \leftrightarrow \text{D]} 4/47 \Omega$$



شکل ب

