فصل هفتم

جریان‌های سه‌فازه

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می رود :

۱ ـ جریان سه‌فاز را تعریف و مشخصات آنها را با رسم دیاگرام بیان کند.

۲ـ مفاهیم ولتاژهای خطی و فازی و جریان‌های خطی و فازی را در اتصال ستاره و مثلث بیان کند.

۳ـ جریان‌ها و ولتاژها را در مصرف کننده‌های سه‌فاز متعادل با اتصال ستاره و مثلث محاسبه کند.

۴ـ توان‌های مؤثر و غیرمؤثر و ظاهری و هم‌چنین ضریب توان را در بارهای متعادل در اتصالات ستاره و مثلث متعادل محاسبه کند.

۵ـ اثر قطع یک فاز و تعویض جای دو فاز را بر روی مصرف کننده تشریح کند.

۶ـ اثر قطع نول در بارهای سه‌فاز نامتعادل سه‌سیمه را با اتصال ستاره شرح دهد.

مزایای جریان سه‌فاز نسبت به جریان یک‌فاز را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:
۱ــ توان الکتریکی در مصرف‌کننده‌های سه فاز هیچ‌وقت صفر نمی‌شود؛ زیرا با توجه به شکل ۱ــ۷، وقتی در یکی از فازها دامنه‌ی جریان یا ولتاژ صفر می‌شود، مصرف‌کننده از دو فاز دیگر انرژی می‌گیرد. بدین علت مصرف‌کننده‌های سه فاز نسبت به مصرف‌کننده‌های یک‌فاز ضریب بهره یا راندمان بالایی دارند.

الف: جریان یا ولتاژ متناوب سه فاز

ب: جریان یا ولتاژ متناوب یک‌فاز

شکل ۱ــ۷

۲ــ ضربان موج یکسو شده‌ی سه فاز نسبت به موج یکسو شده‌ی یک فاز، بسیار کمتر است. به عبارت دیگر، جریان سه‌فاز نسبت به جریان یک‌فاز پس از یکسوسازی، موج صاف‌تری ایجاد می‌کند. در شکل‌های ۲ــ۷ در جریان یکسو شده‌ی سه فاز و یک‌فاز تمام موج نشان داده شده است.
۳ــ جریان متناوب سه فاز در مصرف‌کننده‌های سه فاز مانند موتورهای

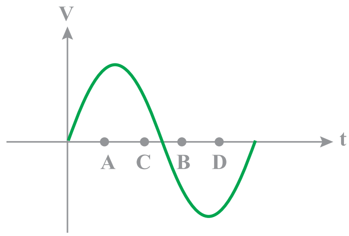
موج یکسو شده‌ی تمام موج سه فاز

موج یکسو شده‌ی تمام موج یک‌فاز

شکل ۲ــ۷

۱۶۷

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



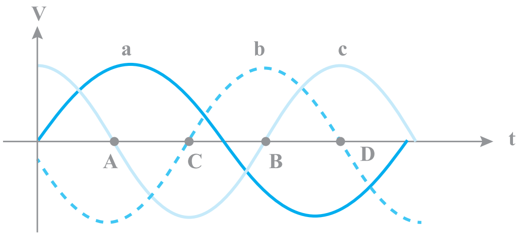
شکل ۱ــ۷

سپس هر نیم سیکل را به سه قسمت مساوی که معادل ۶۰ درجه است تقسیم نمایند. در این مرحله به سادگی از روی شکل موج یک فاز می‌توانیم شکل موج سه‌فاز را ترسیم کنیم.

نقطه A به نقطه B با نیم سیکل منفی و دامنه قبلی ولتاژ C متصل و منحنی ادامه داده می‌شود.

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 ۲ــ۷ برسید.



شکل ۲ــ۷

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

۱ــ توان در جریان سه‌فاز هیچ‌گاه صفر نمی‌شود.

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

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

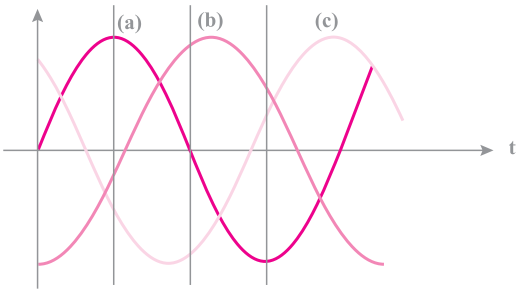
برای توضیح بیشتر در مورد صفر نبودن توان در جریان‌های سه‌فاز می‌توانیم مطابق شکل ۳ــ۷ چند خط قائم در راستای محور yها روی منحنی سه‌فاز رسم کنید (این خطوط با فواصل مختلف باشد.) و بگویید هیچ‌گاه این سه منحنی با همدیگر صفر نیستند.

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 حالی‌که فاز a دارای مقدار منفی است.

$e_a=E_a\sin\omega t$

$e_b=E_b\sin(\omega t-۱۲۰)$

$e_c=E_c\sin(\omega t+۱۲۰)$



شکل ۳ــ۷

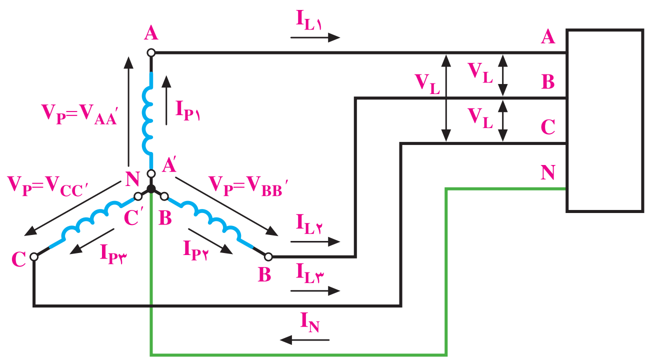
۱ـ۷ـ اتصال ستاره

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 ۴ـ۷) در اتصال ستاره داریم :

$$\begin{cases} V_L = \sqrt{۳}V_{ph} \\ I_L = I_{ph} \end{cases}$$

I_{ph} : جریان فاز　　　　V_{ph} : ولتاژ فاز

I_L : جریان خط　　　　V_L : ولتاژ خط



شکل ۴ـ۷

۱ـ۱ـ۷ـ بررسی مثال صفحه ۱۷۵ کتاب درسی:

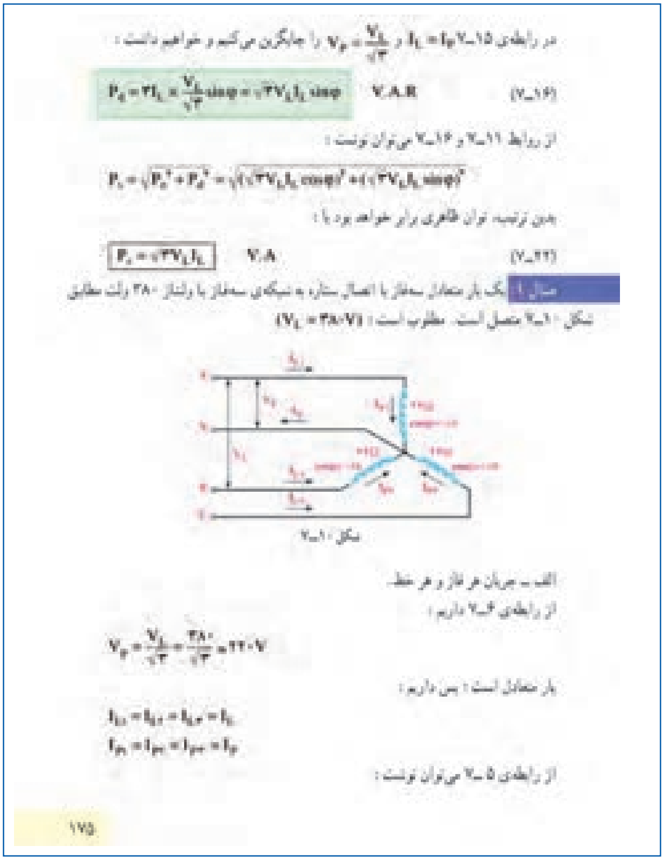
این یک بار متعادل است زیرا :

$$Z_۱ = Z_۲ = Z_۳ = ۲۲\ \Omega$$

$$\cos\varphi_۱ = \cos\varphi_۲ = \cos\varphi_۳ = ۰/۸$$

بار پس‌فاز و سلفی است.

در این مثال هنگام رسم دیاگرام ولتاژها و جریان، جریان‌ها به اندازهٔ $\varphi=\cos^{-۱}۰/۸=۳۷^\circ$ از ولتاژ فازی عقب‌تر خواهند بود. مبنای گردش جهت مثلثاتی بوده، یعنی در خلاف جهت عقربه‌های ساعت است.



در رابطهٔ ۷ـ۱۵، $I_L = I_P$ و $V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ را جایگزین می‌کنیم و خواهیم داشت:

$$\boxed{P_d = 3 I_L \times \frac{V_L}{\sqrt{3}} \sin\varphi = \sqrt{3} V_L I_L \sin\varphi} \quad \text{V.A.R} \qquad (۷ـ۱۶)$$

از روابط ۷ـ۱۱ و ۷ـ۱۶ می‌توان نوشت:

$$P_s = \sqrt{P_e^2 + P_d^2} = \sqrt{(\sqrt{3} V_L I_L \cos\varphi)^2 + (\sqrt{3} V_L I_L \sin\varphi)^2}$$

بدین ترتیب توان ظاهری برابر خواهد بود با:

$$\boxed{P_s = \sqrt{3} V_L I_L} \quad \text{V.A} \qquad (۷ـ۲۲)$$

مثال ۱: یک بار متعادل سه‌فاز با اتصال ستاره به شبکهٔ سه‌فاز با ولتاژ ۳۸۰ ولت مطابق شکل ۷ـ۱۰ متصل است. مطلوب است: $(V_L = 380V)$

شکل ۷ـ۱۰

الف ـ جریان هر فاز و هر خط.

از رابطهٔ ۷ـ۶ داریم:

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

بار متعادل است؛ پس داریم:

$$I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} = I_L$$
$$I_{P1} = I_{P2} = I_{P3} = I_P$$

از رابطهٔ ۷ـ۵ می‌توان نوشت:

۱۷۵

۲ـ۷ـ اتصال ستاره و بار نامتعادل

در این حالت جریان سیم نول صفر نیست و به‌علت برابر نبودن برآیند جریان‌های فازها مقداری برای جریان نول به‌دست می‌آید.

برای محاسبهٔ توان‌ها نیز چنان‌که در کتاب درسی اشاره شده است باید برای هرفاز مجزا این توان‌ها را محاسبه نمود.

$$P_e = V_{P_1} I_{P_1} \cos\varphi_1 + V_{P_2} I_{P_2} \cos\varphi_2 + V_{P_3} I_{P_3} \cos\varphi_3$$

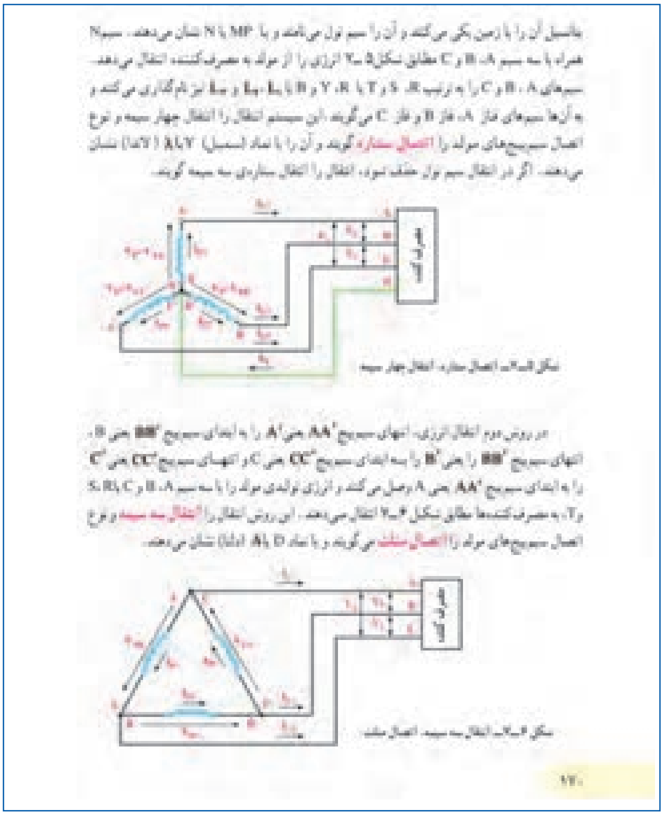
$$P_d = \pm V_{P_1} I_{P_1} \sin\varphi_1 \pm V_{P_2} I_{P_2} \sin\varphi_2 \pm V_{P_3} I_{P_3} \sin\varphi_3$$

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

در توان‌های اکتیو علامت + برای خاصیت سلفی و علامت − برای خاصیت خازنی مدار است.

تذکر: به‌دلیل نامتعادل بودن بار و تفاوت ضرایب توان‌ها، ضریب توان در بار نامتعادل تعریف نمی‌شود.

۳-۷- اتصال مثلث

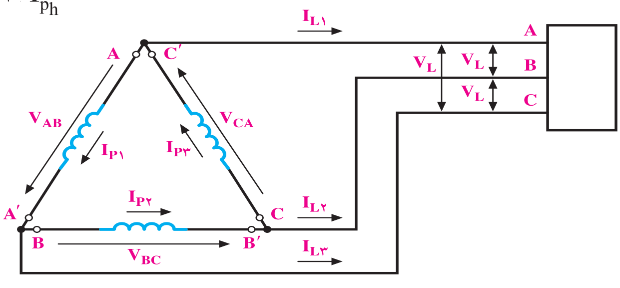


در این اتصال ولتاژ خط با ولتاژ فاز برابر است ولی جریان‌ها به‌صورت برابر هستند (شکل ۵ــ۷).

جریان فازی جریانی است که از هر سیم پیچ عبور می کند. $I_{P_۱}$ و $I_{P_۲}$ و $I_{P_۳}$

جریان خط : جریانی است که از فازهای R،S و T عبور می کند. $I_{L_۱}$ و $I_{L_۲}$ و $I_{L_۳}$

$$\begin{cases} V_{ph} = V_L \\ I_L = \sqrt{۳}\, I_{ph} \end{cases}$$



شکل ۵ــ۷

۴-۷- بار متعادل و نامتعادل

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

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

$$Z_1 = Z_2 = Z_3$$

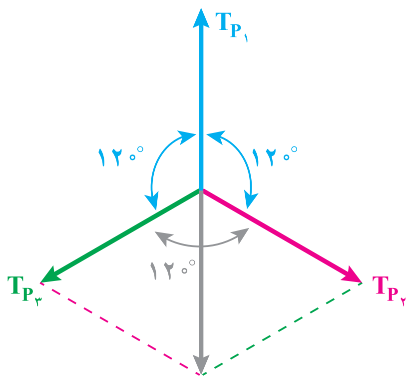
$$\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2 = \cos\varphi_3$$

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 ۶ــ۷ نیز دیده می‌شود برآیند سه بردار جریان برابر با زاویه ۱۲۰ 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 ۶ــ۷

۵-۷- 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 $P_{e_\lambda} = \frac{3V_P^2 R}{Z^2}$ به‌دست می‌آید اگر نسبت این دو رابطه را در نظر بگیریم به رابطه جدیدی خواهیم رسید.

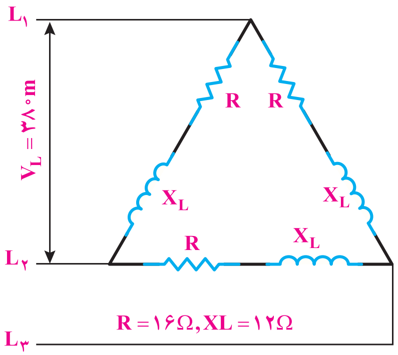
در حالت متعادل : $\begin{cases} P_{\Delta} = ۳P_{\lambda} \\ P_{\lambda} = \frac{۱}{۳}P_{\Delta} \end{cases}$:توان ظاهری و حقیقی و غیرحقیقی

$$\frac{P_{e_{\Delta}}}{P_{e_{\lambda}}} = ۳$$

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

۱ـ۵ـ۷ـ حل تمرین شماره ۳ صفحه ۱۸۶ کتاب درسی (شکل ۷ـ۷)

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



شکل ۷ـ۷

گام اول

ابتدا مقدار امپدانس هر شاخه به‌دست آورده می‌شود.

$$Z_{۱} = Z_{۲} = Z_{۳} = \sqrt{R^{۲} + X_L^{۲}}$$

هر شاخه یک R–L سری است.

$$Z = \sqrt{۱۶^{۲} + ۱۲^{۲}} = ۲۰\ \Omega$$

مقدار امپدانس هر شاخه برابر $Z=۲۰\Omega$ است.

گام دوم

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

$$V_{Ph} = V_L = ۳۸۰ \rightarrow I_{Ph} = \frac{V_{Ph}}{Z} = \frac{۳۸۰}{۲۰} = ۱۹\ A$$

$I_L = \sqrt{۳} I_{Ph} = \sqrt{۳} \times ۱۹ = ۳۲/۹ \, A$ از طرفی

گام سوم)

اما برای محاسبه توان مصرفی داریم :

$$P_e = \sqrt{۳} V_L I_L \cos\varphi$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{۱۶}{۲۰} = ۰/۸ \rightarrow P_e = \sqrt{۳} \times ۳۸۰ \times ۳۲/۹ \times ۰/۸ = ۱۷۳۲۳ \ (w)$$

گام چهارم)

و توان راکتیو :

$$P_d = \sqrt{۳} V_L I_L \sin\varphi$$

$$= \sqrt{۳} \times ۳۸۰ \times ۳۲/۹ \times ۰/۶ = ۱۲۹۸۰ \ VAR$$

به‌دست خواهد آمد.

همکاران گرامی، همان‌طور 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 می‌شود هنرجویان را به استفاده از تمرین‌های 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 این‌رو شایسته است تا مقدمات استفاده از یک ماشین حساب ساده را آموزش ببینند و بتوانند از آن در سرعت عمل محاسبات استفاده کنند. لازم به‌ذکر است که در کلاس‌هایی که هنرجویان قابلیت محاسبات ذهنی در ریاضیات پایه را دارند بهتر است تا به‌طور ذهنی و با محاسبات نوشتاری جواب را پیدا کنند.

قسمت اول : معرفی کلیدهای مهم و کاربردی

قسمت دوم : کاربرد کلیدها در محاسبات

۱ــ قسمت اول :

الف ــ کلید $\boxed{X^{۲}}$: این کلید جهت محاسبهٔ مجذور اعداد کاربرد دارد مثلاً :

$۵^{۲}=۲۵$

$۵\boxed{X^{۲}}=۲۵$

ب ــ کلید $\boxed{X^{-۱}}$: این کلید جهت معکوس کردن اعداد و محاسبات به‌کار می‌رود. مثلاً :

$۵\boxed{X^{-۱}}=\frac{۱}{۵}=۰/۲$ یا $(۳\times۶\boxed{=}\boxed{X^{-۱}}\boxed{=}\frac{۱}{۳\times۶}=\frac{۱}{۱۸})$

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

$\text{shift}\ \boxed{X^{-۱}}\ ۱۰=\frac{۱}{۱۰}=۰/۱$

ج ــ کلید $\boxed{\cos\alpha}$: برای پیدا کردن زاویه نظیر یک مقدار کمان و یا پیدا کردن مقدار کسینوس یا سینوس و تانژانت یک زاویه از کلیدهای ، $\boxed{\cos}$ ، $\boxed{\sin}$ و $\boxed{\tan}$ استفاده می کنیم اما چنانچه بخواهیم

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

مثال۱: اگر $\sin\alpha=۰/۵$ مقدار زاویه α چقدر بوده است؟

$$\text{shift}\ \boxed{\sin^{-۱}}\ ۰/۵ = ۳۰^\circ$$

پس زاویه برابر ۳۰° بوده‌است با این عمل، در واقع عملگر $\sin^{-۱}\alpha$ یا $\text{Arc}\sin\alpha$ (سینوس اینورس) فعال می‌شود که بالای کلید $\boxed{\sin}$ نوشته است.

مثال۲ : $\cos\alpha=۰/۸$ مقدار زاویه α چقدر است؟

$$\text{shift}\ \boxed{\cos^{-۱}}\ ۰/۸=۳۷^\circ$$

در بعضی از ماشین‌حساب‌ها ابتدا باید مقدار ۰/۸ وارد، سپس shift فشار داده شود تا مقدار ۳۷° را نشان دهد.

تذکر: ماشین‌حساب‌ها 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 کافی‌است به جدول راهنمای ماشین‌حساب نگاه کنیم و mode مناسب که با علامت $\boxed{D}$ برای درجه در گوشه صفحه نمایش ظاهر می‌شود مشخص نماییم.

د ــ استفاده از مد درجه (Mode Degree)

چون در اکثر روابط کتاب درسی مدارهای الکتریکی محاسبات بر حسب درجه به‌کار می‌رود بهتر است از این حالت استفاده شود. اگر ماشین‌حساب در حالت درجه $\boxed{D}$ باشد علامت $\boxed{D}$ در بالای صفحه نمایش ظاهر می‌شود در غیر این‌صورت با علامت $\boxed{R}$ یا علامت $\boxed{G}$ نمایش داده می‌شود در بیشتر ماشین‌حساب‌ها برای عوض کردن حالت زاویه به درجه کافیست کلید mode را فشار داده و سپس کلید $\boxed{۱}$ را استفاده کنیم در غیر این‌صورت راهنمای دستگاه و کدهایی که روی صفحه نمایش ظاهر می‌شوند ما را به تغییر دلخواه راهنمایی می کنند.

ارتباط این مقادیر $\boxed{\dfrac{D}{۹}=\dfrac{G}{۱۰}=\dfrac{R}{\pi}}$

هـ ــ 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 :

$$۲۰\ \boxed{X^{-۱}}\ ۲۰^{-۱}\ \boxed{S\Leftrightarrow D}\ \frac{۱}{۲۰}\ \boxed{S\Leftrightarrow D}\ ۰/۰۵$$

و ــ کلید $\boxed{\blacksquare/\square}$:

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:

$$(۴۵\times۲)\boxed{\frac{\blacksquare}{\square}}(۵\times۲)=\frac{۴۵\times۲}{۵\times۲}=۹$$

ز ــ کلید $\boxed{\text{Exp}}$ **یا** $\boxed{\times۱۰^{x}}$:

این کلید جهت نشان دادن اعداد با نماد علمی بسیار پرکاربرد است. در بعضی از ماشین‌حساب‌ها از کلید $\boxed{\times۱۰^{x}}$ استفاده شده ولی در هر صورت هر دو می‌توانند اعداد با نماد علمی را نشان دهد.

مثال ۱:

$۴\times۱۰^{-۷}\times۲۵۲=....$

$۴\ \boxed{\text{Exp}}\ \boxed{\pm}\ ۷\times۲۵۲=۱/۰۰۸\times۱۰^{-۴}$

مثال ۲:

$۴\pi\times۱۰^{-۷}$ ، $۴\ \boxed{\times}\ ۳/۱۴\ \boxed{\times۱۰^{x}}\ \boxed{(-)}\ ۷=۱۲/۵۶\times۱۰^{-۷}$

ی ــ کلید پرانتزها $\boxed{(}\boxed{)}$:

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:

$۳\times(۴^{۲}+۳^{۲})=۷۵$

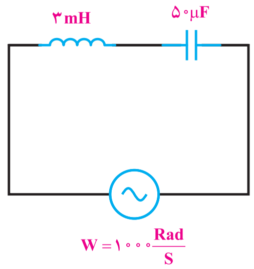
$۳\times\boxed{(}\ ۴\ \boxed{X^{۲}}\ +۳\ \boxed{X^{۲}}\ \boxed{)}\ \boxed{=}\ ۷۵$

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

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

حل) $f_r = \dfrac{۱}{۲\pi\sqrt{LC}}$

$$f_r = \frac{۱}{۶/۲۸\sqrt{۳\times۱۰^{-۳}\times۵\times۱۰^{-۶}}} = ۱۳۰۰\,HZ$$



شکل الف

به کمک ماشین‌حساب داریم :

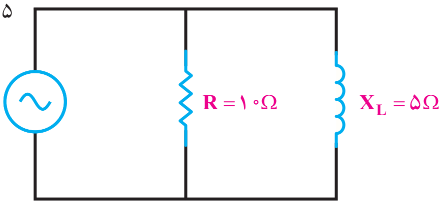
$$\boxed{\sqrt{\ }}\ \overbrace{\underbrace{۳\boxed{Exp}\boxed{+/-}۳}_{۳\times۱۰^{-۳}}\times\underbrace{۵\boxed{Exp}\boxed{+/-}۶}_{۵\times۱۰^{-۶}}}^{\sqrt{۳\times۱۰^{-۳}\times۵\times۱۰^{-۶}}}\times ۶/۲۸\ \boxed{=}\ \boxed{X^{-۱}}\ Ans^{-۱}\ \boxed{=}\ ۱۳۰۰\ HZ$$

* در بعضی از ماشین‌حساب‌ها به جای کلید $Ans^{-۱}$ کلید $x^{-۱}$ استفاده می‌شود.

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

حل) $Z = \dfrac{R.X_L}{\sqrt{R^۲ + X_L^۲}} = \dfrac{۱۰\times۵}{\sqrt{۱۰^۲+۵^۲}} = ۴/۴۷\ \Omega$

$$\underbrace{\underbrace{\boxed{\sqrt{\ }}(۱۰\boxed{X^۲}+۵\boxed{X^۲})}_{۵\sqrt{۵}}\boxed{=}\boxed{X^{-۱}}}_{\frac{\sqrt{۵}}{۲۵}}\times۱۰\times۵ = ۲\sqrt{۵}\boxed{S\Leftrightarrow D}۴/۴۷\Omega$$



شکل ب