فصل اوّل

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۴	۲۰	۲۴

معرفی اجزای شبکه‌های الکتریکی سه‌فاز

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

۱ــ چگونگی تولید انرژی الکتریکی را شرح دهد.

۲ــ ساختمان یک آلترناتور را به‌صورت خلاصه توضیح دهد.

۳ــ دلیل استفاده از برق سه‌فاز را بیان کند.

۴ــ مفاهیم انتقال و توزیع انرژی الکتریکی را شرح دهد.

۵ــ مصرف کننده‌های سه‌فاز ستاره و مثلث را شرح دهد.

۶ــ مقدار جریان و ولتاژ الکتریکی را در مصرف کننده‌های سه‌فاز ستاره و مثلث اندازه‌گیری کند.

۷ــ تفاوت ولتاژ و جریان فازی و خطی را توضیح دهد.

۸ــ آزمایش‌های مربوط به این بخش را اجرا کند.

۹ــ روابط بین جریان‌های خطی و فازی و ولتاژهای خطی و فازی را در مصرف‌کننده‌ها با اتصال ستاره و مثلث شرح دهد.

۱۰ــ بارهای متعادل و نامتعادل را تعریف کند.

۱۱ــ اطلاعات را از پلاک مشخصات موتورهای الکتریکی استخراج کند.

مقدمه

در سال ۱۸۸۲ میلادی ادیسون نخستین مؤسسه‌ی برق تجاری خود را برای تأمین روشنایی یکی از خیابان‌های شهر نیویورک افتتاح کرد.

سه سال بعد ناصرالدین‌شاه برای روشنایی کاخ سلطنتی خود اوّلین مولد با قدرت حدود ۳ کیلووات را به ایران وارد نمود.

رشد شهرنشینی و توسعه‌ی صنعت و استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات گوناگون برقی موجب افزایش روزافزون نیروگاه‌های مختلف و تولید انرژی الکتریکی در همه‌ی کشورهای جهان، از جمله ایران شده است. امروز صنعت برق به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم توسعه‌ی اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشورها به‌شمار می‌آید. رشد نیروگاه‌های مختلف در طول ۱۱۰ سال گذشته باعث شده که تولید انرژی الکتریکی در حال‌حاضر به حدود ۲۵۰۰۰ مگاوات برسد.

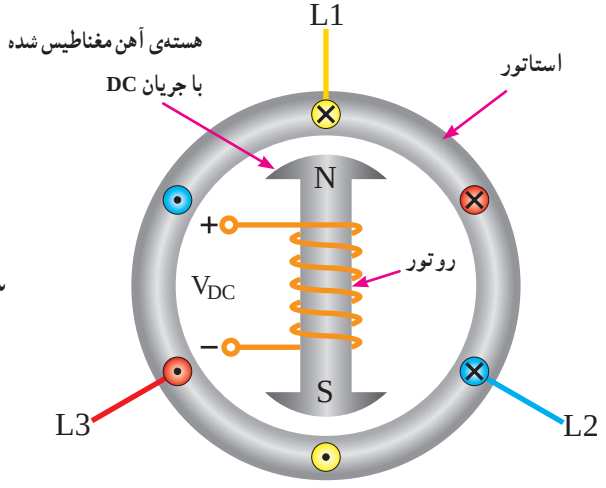
۱ــ تولید انرژی الکتریکی سه‌فاز (ژنراتور)

انرژی الکتریکی در نیروگاه‌ها به‌وسیله‌ی مولدهای (ژنراتور) سه‌فاز تولید می‌شود. این مولدها مطابق شکل ۱ــ۱ از دو قسمت اصلی زیر تشکیل شده‌اند.

الف ــ استاتور

از یک هسته‌ی آهنی شیاردار به‌صورت ثابت ساخته می‌شود. داخل شیارها سه‌گروه کلاف به‌صورتی قرار می‌گیرند که با هم ۱۲۰ درجه‌ی الکتریکی اختلاف فاز داشته باشند.

انرژی الکتریکی تولیدی به‌صورت سه‌فاز از طریق استاتور به مدارهای خارج منتقل می‌گردد (شکل ۱ــ۱).

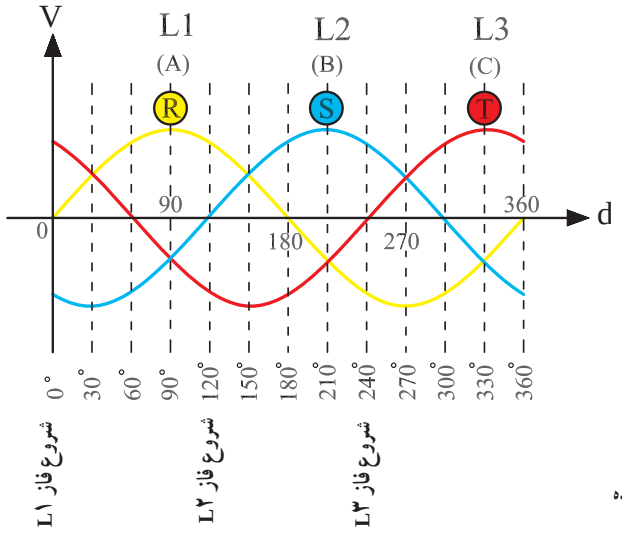


شکل ۱ــ۱ــ مولد انرژی الکتریکی

ب ــ روتور

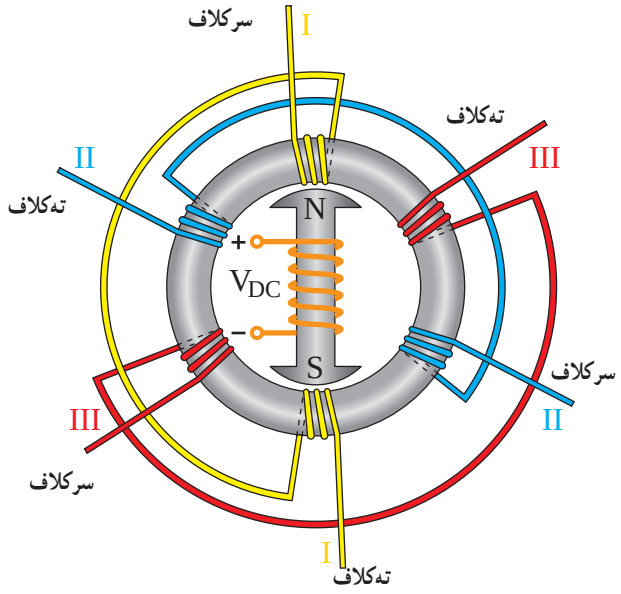
قسمت گردنده‌ی مولد از هسته‌ی آهنی شیاردار ساخته می‌شود و داخل این شیارها سیم‌های مسی برای تولید فوران مغناطیسی قرار می‌گیرد. این فوران با اعمال ولتاژ (DC) تولید می‌شود.

نیروی محرکه‌ی الکتریکی (ولتاژ) تولید شده در مولدهای سه‌فاز (مطابق شکل ۲ــ۱) با شکل سینوسی و با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه‌ی الکتریکی است.



شکل ۲ــ۱

به‌طور ساده طرز قرارگیری سیم‌پیچ‌های استاتور در شکل ۳ــ۱ نشان داده شده است.



شکل۳ــ۱

در مولدهای بزرگ انرژی الکتریکی در قسمت ثابت (استاتور) ماشین تولید می‌شود. ولی در مولدهای کوچک معمولاً انرژی الکتریکی در قسمت گردنده (روتور) ایجاد می‌شود. به قسمتی که در آن انرژی الکتریکی تولید می‌شود آرمیچر می‌گویند. شکل ۴ــ۱، دو نمونه مولد انرژی الکتریکی را نشان می‌دهد.

الف

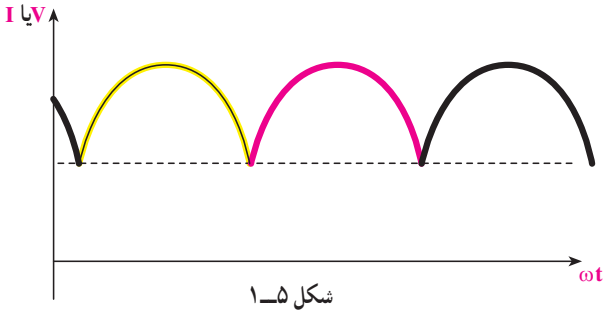
ب

شکل ۴ــ۱

در نیروگاه‌ها انرژی الکتریکی همواره به‌صورت سه‌فاز تولید می‌شود؛ زیرا :

الف ــ اقتصادی‌تر است، به‌دلیل این که آلترناتورهای سه‌فاز، با توان مشابه حجم کم‌تری نسبت به آلترناتورهای تک‌فاز دارد.

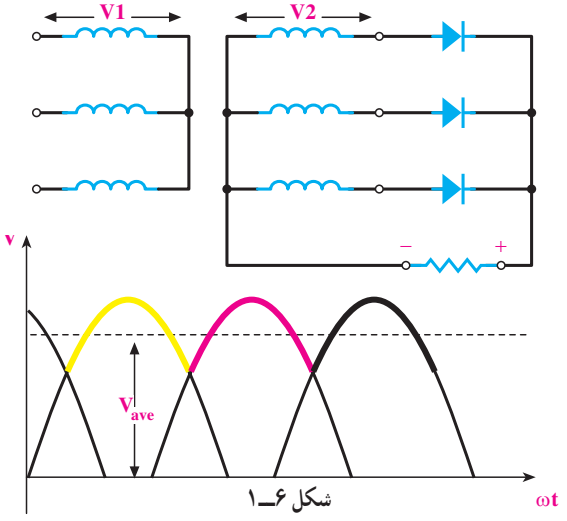
ب ــ توان لحظه‌ای سه فاز در مصرف‌کننده هیچ‌گاه به صفر نمی‌رسد، بنابراین، توان شبکه سه‌فاز تغییرات کم‌تری نسبت به توان در شبکه تک‌فاز دارد (شکل ۵ــ۱).



شکل ۵ــ۱

ج ــ در راه‌اندازی موتورهای سه فازه نیاز به سیم‌پیچ راه‌انداز نداریم و به‌همین دلیل حجم موتورها کاهش می‌یابد.

د ــ در رکتیفایرهای[1] سه‌فاز، ولتاژ دی‌سی (DC) شده ریپل (ضربان) کم‌تری دارد یعنی ولتاژ خروجی جریان مستقیم در رکتیفایرهای سه‌فاز، نسبت به‌ولتاژ یک‌سو شده در رکتیفایرهای تک‌فاز، صاف‌تر است (شکل ۶ــ۱).



شکل ۶ــ۱

از آن‌جا که مقدار ولتاژ تولید شده در مولدها نمی‌تواند بیش از حد مجاز باشد و انتقال این ولتاژ با جریان‌های بالا موجب افزایش اتلاف انرژی در سیم‌ها و افت ولتاژ انتهای خط می‌شود بنابراین، در ابتدای خط مقدار ولتاژ تولید شده (توسط ترانسفورماتورها) افزایش و در انتهای خط در چند مرحله (جهت استفاده‌ی مصرف کنندگان صنعتی و خانگی) در حد ولتاژ مجاز (۳۸۰/۲۲۰) کاهش می‌یابد. برای این منظور به خطوط انتقال انرژی و هم‌چنین مراکز توزیع انرژی الکتریکی نیاز است. در ادامه به شبکه‌های انتقال و توزیع اشاره می‌کنیم.

۱ــ رکتیفایر : مبدل موج (AC) به (DC) به معنی یکسوکننده

۲ــ انتقال نیرو

شکل ۷ــ۱

انرژی تولید شده در نیروگاه‌های مختلف (آبی، دیزلی، گازی، چرخه‌ی ترکیبی، بخاری، اتمی و بادی) پس از افزایش به‌مقدار ولتاژهای (۴۰۰، ۲۳۰، ۱۳۲ و ۶۳) کیلو ولت به مناطق مصرف انتقال می‌یابد.

جابه‌جایی انرژی الکتریکی با ولتاژهای ۴۰۰ یا ۲۳۰ کیلوولتی را در اصطلاح انتقال نیرو می‌خوانند و هدف آن تبادل انرژی و توان بین مناطق و نواحی اصلی است که معمولاً در فاصله‌های دور از هم قرار گرفته‌اند. شکل ۷ــ۱، یک نمونه دکل فشار قوی را نشان می‌دهد.

۳ــ شبکه‌های فوق توزیع

شکل ۸ــ۱

رساندن انرژی و توان به مراکز مصرف بیش‌تر با خط‌های ۶۳ (یا ۶۶) یا ۱۳۲ کیلو ولتی صورت می‌گیرد. این بخش از فعالیت نیرو رسانی را در اصطلاح شبکه‌های فوق توزیع می‌نامند. شکل ۸ــ۱، یک خط فوق توزیع ۶۳ کیلو ولتی را نشان می‌دهد.

۴ــ توزیع نیرو

در صنعت برق، توزیع انرژی برق اساساً در دو سطح فشار متوسط و فشار ضعیف صورت می‌گیرد.

۱ــ۴ــ خط‌های فشار متوسط

بیش‌تر شبکه‌های فشار متوسط در ایران از نوع ۲۰ کیلو ولتی‌اند؛ اما ولتاژهای ۳۳ و ۱۱ کیلوولتی نیز پهنه‌های محدودی از کاربرد را دارند. در شکل ۹ــ۱، تصویری از یک شبکه‌ی توزیع فشار متوسط نمایش داده شده است.

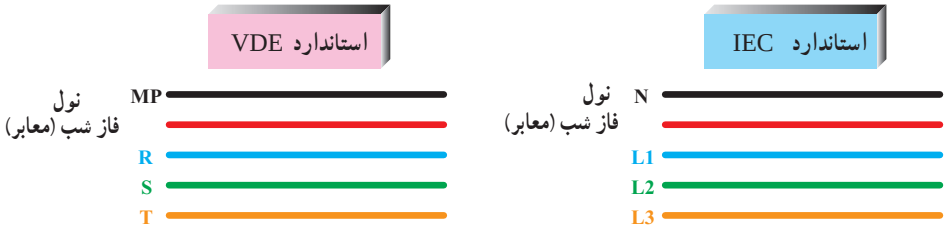
شکل ۹ــ۱

۲ــ۴ــ خط‌های فشار ضعیف

برق مصرف کنندگان عادی با خط‌های فشار ضعیف تأمین می‌شود. این خط‌ها آخرین قسمت از شبکه‌ی عظیم و گسترده‌ی برق‌رسانی را پیش از تحویل انرژی به مصرف کننده تشکیل می‌دهند. خط‌های فشار ضعیف رایج در سراسر کشور از نوع ۳۸۰/۲۲۰ ولتی و معمولاً به‌صورت ۵ سیمه‌اند. درشکل ۱۰ــ۱، خط توزیع فشار متوسط و ضعیف نمایش داده شده است.

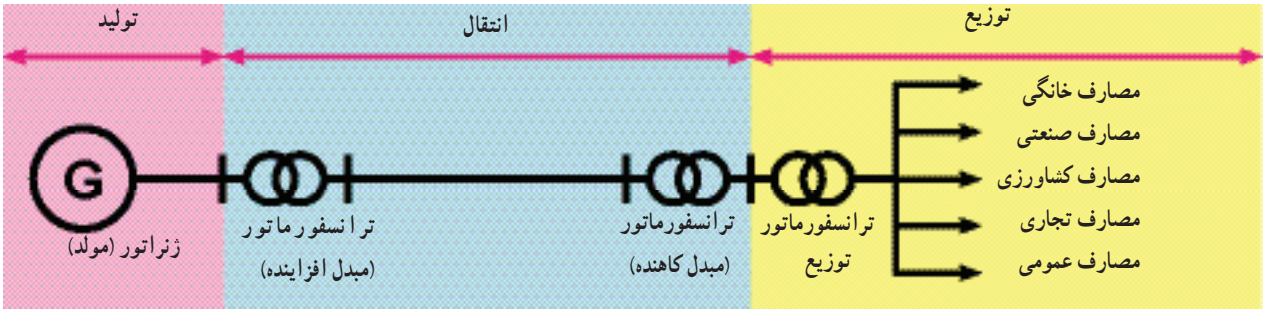
شکل ۱۰ــ۱

همان‌طورکه درشکل ۱۰ــ۱ مشاهده می‌کنید، این شبکه از پنج سیم تشکیل شده و ترتیب قرار گرفتن سیم‌ها و حروف اختصاری هریک از آن‌ها مطابق شکل ۱۱ــ۱ است.



شکل ۱۱ــ۱

شکل ۱۲ــ۱، تصویر شماتیک یا ساده یک سیستم قدرت را از تولید تا مصرف نشان می‌دهد.



شکل ۱۲ــ۱

۵ــ معرفی ولتاژها و جریان‌های شبکه‌ی سه‌فاز

درشکل کلی، ولتاژها و جریان‌های شبکه‌ی سه‌فاز با عناوینی به‌شرح زیر معرفی شده و به‌کار می‌روند.

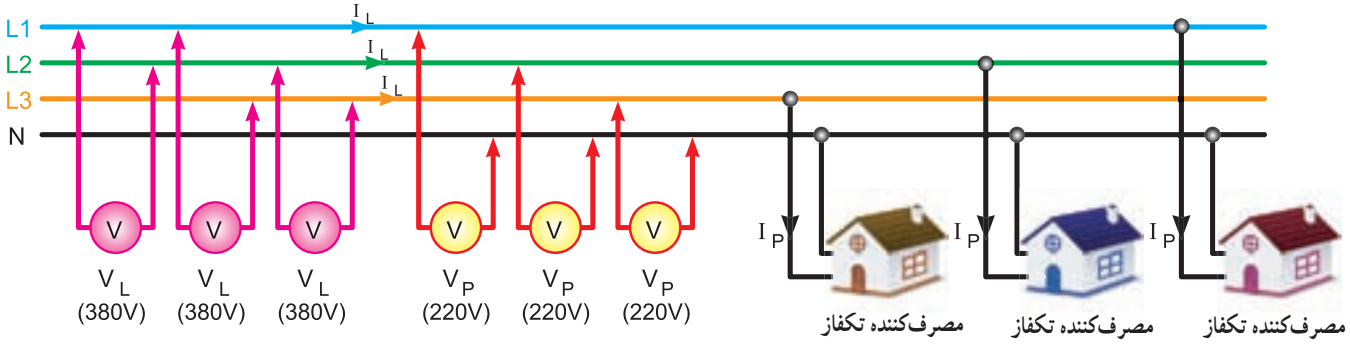
ــ ولتاژ خطی (V_L) : به مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) بین دو فاز یک شبکه‌ی سه‌فاز ولتاژ خطی می‌گویند، که در شبکه‌ی فشار ضعیف ایران مقدار آن برابر ۳۸۰ ولت است.

ــ ولتاژ فازی (V_P)[1] : مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) دو سر هر مصرف‌کننده‌ی سه فاز را ولتاژ فازی می‌گویند. مقدار آن در شبکه‌ی فشار ضعیف ایران ۲۲۰ ولت است.

جریان خطی (I_L) : به جریانی که از هر خط سیم فاز شبکه عبور می‌کند جریان خطی می‌گویند.

جریان فازی (I_P) : به جریانی که از هر مسیر فازی داخل یک مصرف‌کننده عبور می‌کند جریان فازی می‌گویند.

درشکل ۱۳ــ۱، ولتاژها و جریان‌های خط و فاز نشان داده شده است.



شکل ۱۳ــ۱

۱ــ در برخی موارد به اختلاف پتانسیل بین هر فاز و نول نیز ولتاژ فازی می‌گویند.

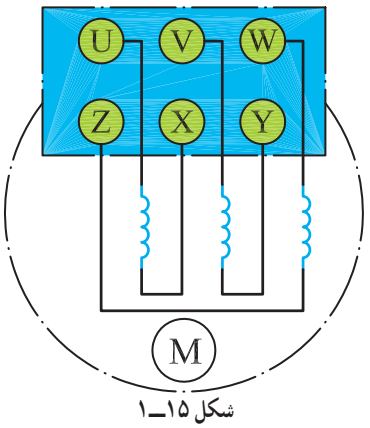
۶ــ پلاک اتصالات موتور (تخته‌کلم)

برای اتصال سیم‌پیچ‌های موتور سه‌فاز، سر سیم‌ها از داخل پوسته به یک محفظه یا ترمینال موتور هدایت می‌شوند که اصطلاحاً به آن «تخته‌کلم» می‌گویند (شکل ۱۴ــ۱).

به‌طور کلی سر و ته کلاف‌های یک موتور سه‌فاز، با دو حرف مشخص می‌شوند.

شکل ۱۴ــ۱

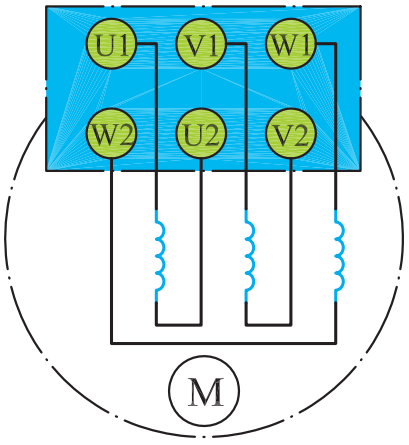
در استاندارد VDE قدیم نشان دادن سر کلاف‌ها به‌ترتیب برای کلاف اول تا سوم از حروف U، V و W و برای نمایش ته کلاف‌ها به‌ترتیب از حروف X، Y و Z استفاده می‌شود. نحوه‌ی قرار گرفتن سرسیم‌ها در زیر پیچ‌های تخته‌کلم مطابق شکل ۱۵ــ ۱ است. دلیل این‌که ته کلاف‌ها، مشابه سر کلاف‌ها، به‌ترتیب از کلاف اول تا سوم نوشته نمی‌شود این است که در صورت نیاز به ایجاد اتصالات ستاره یا مثلث بتوان بدون استفاده از کلید مربوطه و با قرار دادن چند تسمه‌ی مسی در زیر پیچ‌ها، موتور را به‌صورت ستاره یا مثلث اتصال داد.



شکل ۱۵ــ۱

در استاندارد [1] (IEC) برای نشان دادن سر کلاف‌ها به‌ترتیب از کلاف اول تا سوم از حروف (U۱، V۱ و W۱) و برای مشخص کردن ته کلاف‌ها به‌ترتیب از حروف (U۲، V۲ و W۲) استفاده می‌شود. شکل ۱۶ــ۱، وضعیت قرار گرفتن سیم‌پیچ‌ها و پیچ‌های تخته‌کلم را نشان می‌دهد.

از این پس در این کتاب سرهای موتور، براساس استاندارد (IEC) (در نقشه‌ها) نام‌گذاری می‌شوند.



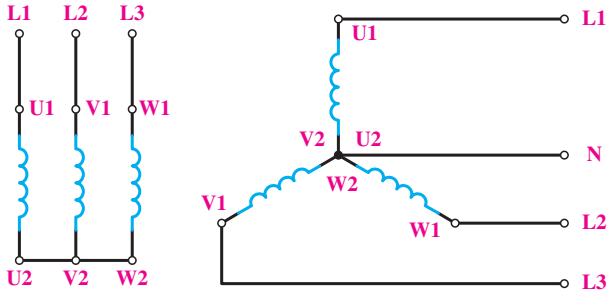
شکل ۱۶ــ۱

اتصال ستاره

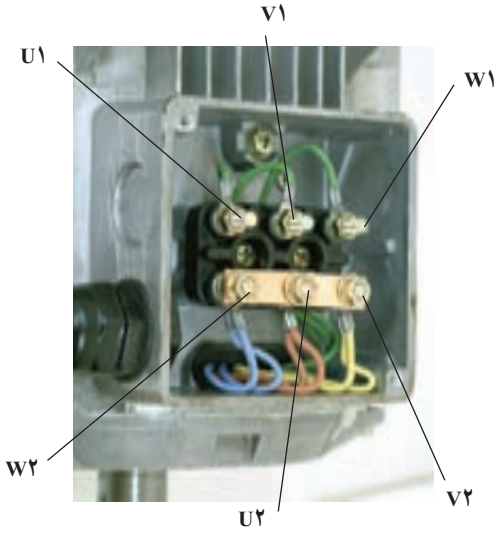
هرگاه به ابتدای سیم‌پیچ‌های (سرکلاف‌های U۱ و V۱ و W۱) موتور به‌ترتیب شبکه سه‌فاز L۱، L۲ و L۳ را وصل کرده و انتهای سیم‌پیچ‌ها (ته کلاف‌ها W۲، V۲ و U۲) را به یکدیگر وصل کنیم این اتصال را «اتصال ستاره» گویند. شکل‌های ۱۷ــ۱ و ۱۸ــ۱، نحوه‌ی اتصال ستاره را به‌صورت مداری و روی تخته‌کلم موتور نشان می‌دهند. گفتنی است به جهت خلاصه‌نویسی، برای بیان حالت ستاره در متون فنی از علامت $\curlyvee$ استفاده می‌شود.

1 ــ IEC - International Electrotechnical Commission

کمیته‌ی بین المللی الکتروتکنیک



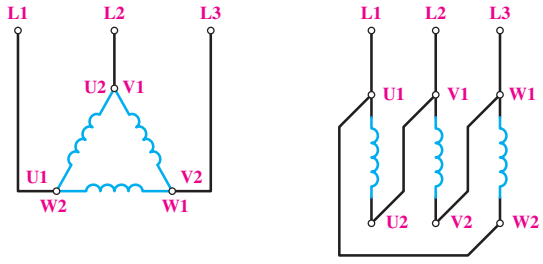
شکل ۱۷ــ۱ــ شکل مداری اتصال ستاره



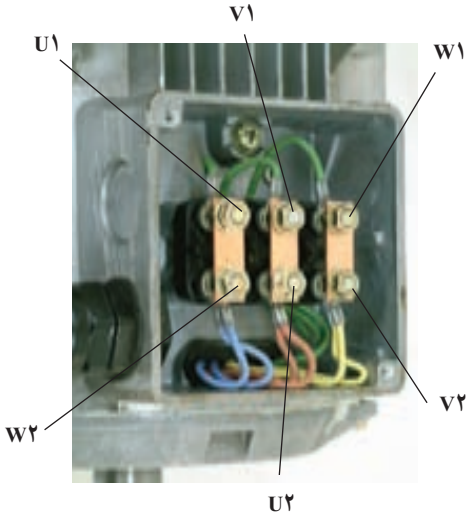
شکل ۱۸ــ۱ــ اتصال ستاره روی تخته کلم موتور

اتصال مثلث

هرگاه انتهای کلاف اول (U۲) به ابتدای کلاف دوم (V۱) و انتهای کلاف دوم (V۲) به ابتدای کلاف سوم (W۱) و به همین ترتیب انتهای کلاف سوم (W۲) به ابتدای کلاف اول (U۱) وصل شود، به این اتصال «اتصال مثلث» گویند. شکل‌های ۱۹ــ۱ و۲۰ــ۱، نحوه‌ی اتصال مثلث را به‌صورت مداری و روی تخته کلم موتور نشان می‌دهد. جهت خلاصه‌نویسی، برای بیان حالت مثلث در متون فنی از علامت Δ استفاده می‌شود.

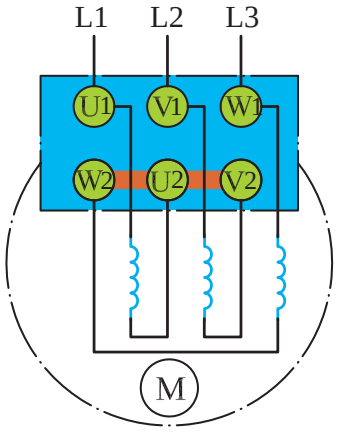


شکل ۱۹ــ۱ــ شکل مداری اتصال ستاره

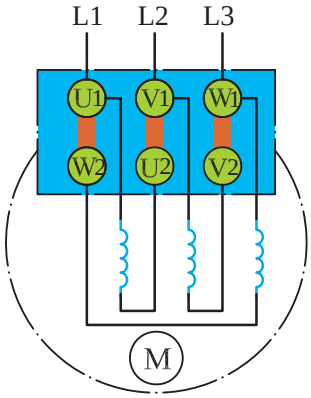


شکل ۲۰ــ۱ــ اتصال مثلث روی تخته کلم موتور

تصاویر شکل ۲۱ــ۱ چگونگی ایجاد اتصال ستاره و مثلث را به روش ترسیمی بر روی تخته کلم موتور سه‌فاز نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ــ۱

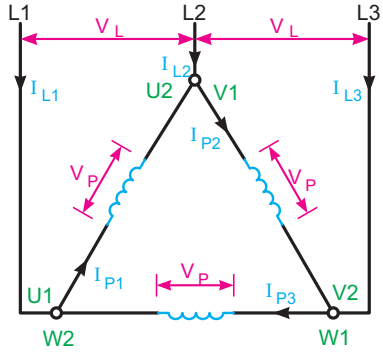


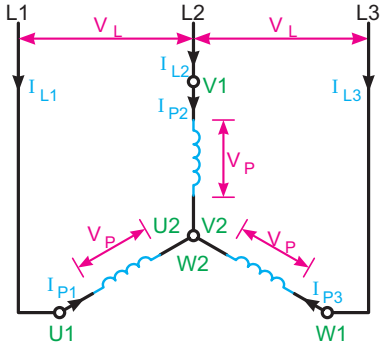
ادامه شکل ۱ــ۲۱

ــ اگر از وسایل و تجهیزات کارگاه به‌خوبی مراقبت کنید این وسایل می‌توانند سال‌های متوالی در اختیار هنرجویان قرار گیرند.

جریان و ولتاژ فازی و خطی

تصاویر شکل ۱ــ۲۲ پارامترهای ولتاژ و جریان خطی و فازی را روی شکل اتصالات ستاره و مثلث موتور سه‌فاز نشان می‌دهد.





شکل ۱ــ۲۲

کار عملی ۱

هدف : تشخیص سالم بودن کلاف‌های موتور

مراحل اجرای کار

۱ــ۱ ــ تخته‌کلم موتور سه‌فازی را مطابق شکل ۲۳ــ۱ باز کنید و محل اتصال سر و ته کلاف‌ها را به همراه حروف مشخصه یادداشت کنید.

شکل ۲۳ــ۱

۲ــ۱ــ آوومتر موجود در کارگاه را درحالت اهم‌متری قرار دهید.

۳ــ۱ــ دو سر سیم اهم‌متر را، مطابق شکل ۲۴ــ۱، به پیچ‌های مربوط به کلاف اول در تخته‌کلم وصل کنید. در این‌صورت لازم است عقربه‌ی اهم‌متر تا انتهای صفحه منحرف شود.

شکل ۲۴ــ۱

۴ــ۱ــ محل سر سیم‌های اهم‌متر را، مطابق شکل ۲۵ــ۱، تغییر دهید (دو سر کلاف دوم). در این حالت نیز لازم است عقربه‌ی اهم‌متر تا انتهای صفحه منحرف شود.

شکل ۲۵ــ۱

۵ــ۱ــ در مرحله‌ی سوم نیز، مانند شکل ۲۶ــ۱، محل قرار گرفتن سر سیم‌های اهم‌متر را دو سر کلاف سوم قرار دهید.

در این شرایط نیز لازم است عقربه تا انتهای صفحه منحرف شود.

شکل ۲۶ــ۱

تذکر : درصورتی که سیم پیچ‌های نشان داده شده در تصاویر با یکدیگر یا بدنه‌ی موتور ارتباط داشته باشند موتور سالم نیست و نباید آن را در مدار قرار داد.

۶ــ۱ــ شکل ۲۷ــ۱، تسمه‌های مسی مربوط به اتصالات تخته‌کلم، را به همراه مهره و واشر نشان می‌دهد. برای ایجاد اتصالات، آن‌ها را از انبار تحویل بگیرید.

شکل ۲۷ــ۱

۷ــ۱ــ با به‌کارگیری آچار مخصوص، تسمه‌های مسی و مهره‌ی مربوط به اتصالات تخته‌کلم، انتهای کلاف‌ها را به یکدیگر وصل کنید (شکل ۲۸ــ۱).

شکل ۲۸ــ۱

۸ــ۱ــ در شکل ۲۹ــ۱ تخته‌کلم یک موتور را، که به‌حالت ستاره وصل شده است، مشاهده می‌کنید. با استفاده از اهم‌متر، مقدار مقاومت سر و ته کلاف‌های هر فاز موتور را اندازه‌گیری کنید.

شکل ۲۹ــ۱

$R_۱ = R_{(U۱ - U۲)} = \ldots\ldots\Omega$

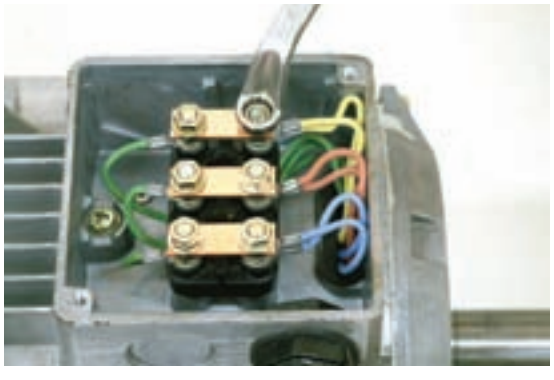
$R_۲ = R_{(V۱ - V۲)} = \ldots\ldots\Omega$

$R_۳ = R_{(W۱ - W۲)} = \ldots\ldots\Omega$

۹ــ۱ــ در این شرایط و در صورت سالم بودن موتور هرگاه یک سیم اهم‌متر به بدنه و سر سیم دیگر به هریک از سیم‌پیچ‌های تخته‌کلم وصل شود، عقربه نباید منحرف شود. به‌عبارت دیگر نباید هیچ ارتباط الکتریکی بین کلاف‌های موتور با بدنه وجود داشته باشد. برای اطمینان می‌توان از میگر، لامپ تست یا اهم‌متر در رنج‌های بالا، نداشتن اتصال بدنه را آزمایش کرد.

۱۰ــ۱ــ با کمک آچار اتصال ستاره را باز کنید.

۱۱ــ۱ــ با به‌کارگیری آچار مخصوص، تسمه‌های مسی و مهره‌ی مربوط به اتصالات تخته‌کلم کلاف‌ها را به یکدیگر وصل کنید (شکل ۳۰ــ۱).



شکل ۳۰ــ۱

۱۲ــ۱ــ در شکل ۳۱ــ۱ تخته‌کلم یک موتور را، که به‌حالت مثلث وصل شده است، مشاهده می‌کنید. با استفاده از اهم‌متر، مقدار مقاومت بین ترمینال‌های موتور را اندازه‌گیری کنید.

$R_۱ = R_{(U۱ - V۱)} = \ldots\ldots\Omega$

$R_۲ = R_{(V۱ - W۱)} = \ldots\ldots\Omega$

$R_۳ = R_{(W۱ - U۱)} = \ldots\ldots\Omega$

شکل ۳۱ــ۱

۱۳ــ۱ــ در این شرایط و در صورت سالم بودن موتور نباید هیچ ارتباط الکتریکی بین کلاف‌های موتور با بدنه وجود داشته باشد. برای اطمینان می‌توان از میگر یا اهم‌متر در رنج‌های [kΩ]، اتصال نداشتن سیم‌ها به بدنه را آزمایش کرد.

۱۴ــ۱ــ با کمک آچار اتصال مثلث را باز کنید.

سؤال : آیا نتایج به‌دست آمده با مطالب نظری مطابقت دارد؟

۷ــ اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی در مصرف‌کننده‌ها

برای اندازه‌گیری مقدار جریان، ولتاژ، توان، فرکانس و اختلاف فاز، دستگاه‌های اندازه‌گیری مناسب موردنیاز است. با اصول کار، ساختمان و طرز کار دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی در سال دوم آشنا شده‌اید. در کتاب حاضر به‌صورت عملی با طرز کار برخی از آن‌ها در مدار آشنا خواهید شد. در ابتدا به یادآوری مفاهیم قبلی می‌پردازیم.

۱ــ۷ــ اندازه‌گیری مقدار جریان و ولتاژ متناوب

آمپرمتر و ولت‌متر دو دستگاه اندازه‌گیری هستند که به‌وسیله‌ی آن‌ها مقدار جریان مصرفی و ولتاژ مصرف‌کننده‌ها را می‌توان اندازه گرفت. این دستگاه‌ها براساس اهداف مورد نیاز به‌صورت‌های مختلف ساخته می‌شوند.

۱ــ۱ــ۷ــ دستگاه‌های اندازه‌گیری تابلویی : این دستگاه‌ها معمولاً یک رِنج دارند و کاربرد آن‌ها (در روی تابلوها) به منظور نشان دادن مقدار کمیت موردنظر است (نه آزمایش و اندازه‌گیری دقیق کمیت الکتریکی). در شکل ۳۲ــ۱، چند نمونه از آن‌ها نشان داده شده است.

شکل ۳۲ــ۱

۲ــ۱ــ۷ــ دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتابل (قابل حمل) : دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتابل در صنعت برق کاربردی وسیع دارند. این دستگاه‌ها به دو صورت آنالوگ و دیجیتال درکارخانجات ساخته می‌شوند. از آن‌جا که این دستگاه‌ها کمیت‌های مختلف (جریان، ولتاژ، مقاومت و...) را اندازه‌گیری می‌کنند، اصطلاحاً آوومتر (A V Ω) و یا مالتی‌متر نامیده می‌شوند.

کمیت‌های الکتریکی مورد سنجش در این دستگاه‌ها در محدوده‌ی بسیار وسیع و با دقت قابل قبولی اندازه‌گیری می‌شوند. مالتی‌مترهای دیجیتال، نسبت به مالتی‌مترهای آنالوگ دارای تنوع، انعطاف و قیمت ارزان‌تری هستند. در شکل ۳۳ــ۱، نمونه‌ای از این دستگاه‌های اندازه‌گیری نشان داده شده‌اند.

شکل ۳۳ــ۱

۳ــ۱ــ۷ــ دستگاه‌های اندازه‌گیری آزمایشگاهی :

به‌منظور اجرای برخی تحقیقات علمی در آزمایشگاه و کنترل دقیق فرآیند تولید صنایع پیشرفته‌ی نظامی، اتمی و فضایی به‌دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی‌ای نیاز است که از دقت و کیفیت مرغوب‌تری (نسبت به دستگاه‌های اندازه‌گیری معمولی) برخوردار باشند. این دستگاه‌ها برای کالیبره (تنظیم) کردن دستگاه‌های اندازه‌گیری در مؤسسات استاندارد نیز به‌کار می‌روند. این وسایل اندازه‌گیری دارای ساختمانی پیچیده‌اند و نسبت به دستگاه‌های معمولی قیمت بالاتری دارند.

در شکل ۳۴ــ۱، نمونه‌ای از دستگاه‌های اندازه‌گیری آزمایشگاهی نشان داده شده است.

شکل ۳۴ــ۱

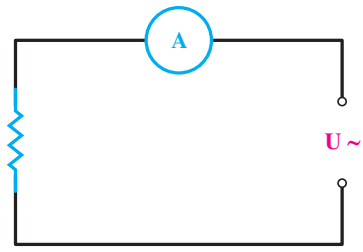
۲ــ۷ــ اندازه‌گیری جریان متناوب

آمپرمتر : مقدار جریان الکتریکی عبوری از یک مصرف‌کننده‌ی یک فاز یا سه‌فاز به‌وسیله‌ی آمپرمتر اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری به سه روش صورت می‌گیرد :

۱ــ آمپرمترهایی که، مطابق شکل ۳۵ــ۱، به‌طور مستقیم در مسیر جریان قرار می‌گیرند و مقدار کمیت موردسنجش را اندازه‌گیری می‌کنند و آن را نمایش می‌دهند. در اندازه‌گیری به روش مستقیم باید به نکات زیر توجه شود :

ــ دستگاه قادر به اندازه‌گیری جریان متناوب باشد.

ــ جریان موردسنجش از جریان مجاز آمپرمتر بیش‌تر نباشد.



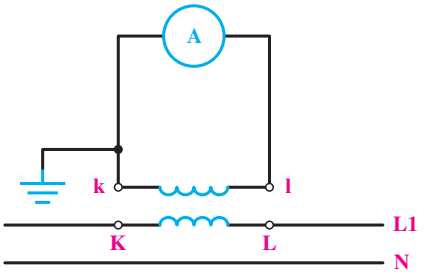
شکل ۳۵ــ۱

ــ درصورتی که از مالتی‌متر استفاده می‌شود، در انتخاب رنج دقت شود (شکل ۳۶ــ۱).

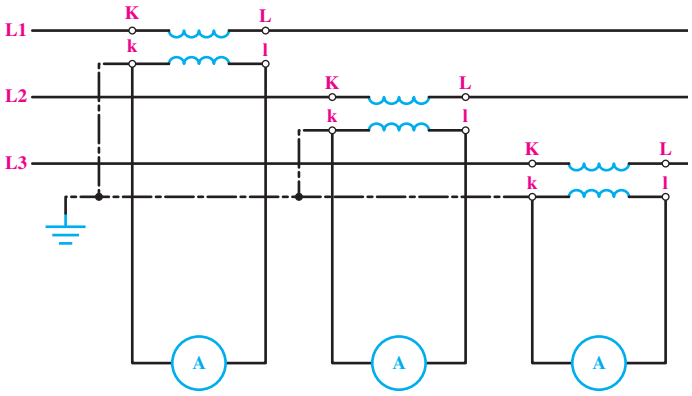
شکل ۳۶ــ۱

۲ــ آمپرمترهایی که مطابق شکل ۳۷ــ۱، به‌صورت غیرمستقیم و به‌وسیله‌ی ترانسفورماتور (مبدل) مقدار جریان‌های بسیار زیاد عبوری از هر سیم برق دار را اندازه‌گیری می‌کنند. از این ترانسفورماتورها معمولاً در تابلوهای توزیع انرژی جریان زیاد استفاده می‌شود که به آن‌ها ترانس جریان یا C.T می‌گویند.

الف ــ ترانسفورماتور (مبدل) جریان



اندازه‌گیری جریان زیاد در مدار یک‌فاز



ب ــ اندازه‌گیری جریان زیاد در مدارهای سه‌فاز

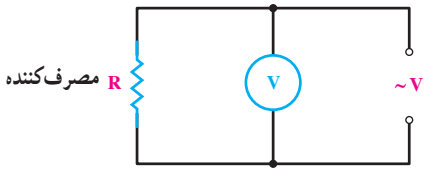
شکل ۳۷ــ۱

۳ــ آمپرمترهای القایی (انبری) که، مطابق شکل ۳۸ــ۱، به ساده‌ترین روش با قرار دادن سیم بین دو فک آمپرمتر مقدار جریان عبوری از سیم را اندازه‌گیری می‌کنند. این آمپرها براساس القای الکترومغناطیس کار می‌کنند.

شکل ۳۸ــ۱

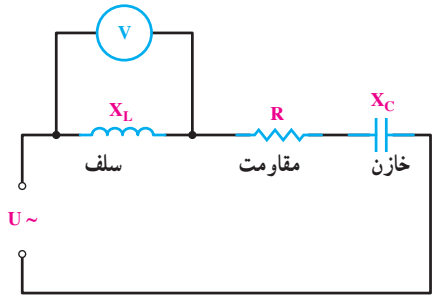
۳ــ۷ــ اندازه‌گیری اختلاف سطح الکتریکی (ولتاژ)

مقدار ولتاژ دو سر یک مولد یا مصرف کننده همواره به‌وسیله‌ی ولت‌متر اندازه‌گیری می‌شود. چون ولت‌متر اختلاف پتانسیل بین دو نقطه را اندازه‌گیری می‌کند، باید با دو سر مصرف‌کننده یا مولد (مطابق شکل ۳۹ــ۱) به‌صورت موازی قرار گیرد. با ولت‌متر به دو روش مستقیم و غیرمستقیم می‌توان اختلاف سطح الکتریکی را اندازه‌گیری نمود.



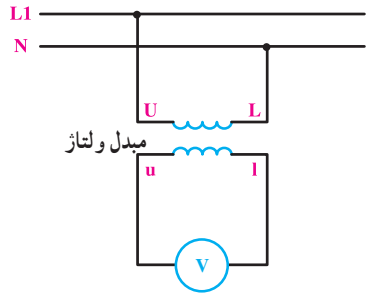
شکل ۳۹ــ۱

در روش مستقیم ولت‌متر (مطابق شکل ۴۰ــ۱) به دو سر مصرف کننده متصل می‌شود و مقدار ولتاژ را اندازه‌گیری می‌کند.



شکل ۴۰ــ۱

در روش غیرمستقیم ولت‌متر به‌وسیله‌ی یک مبدل ولتاژ یا ترانس ولتاژ (P.T) (مطابق شکل ۴۱ــ۱) به دو سر مصرف‌کننده یا مولد متصل می‌شود. این روش در مواردی به‌کار می‌رود که ولتاژ کار مصرف‌کننده‌ها یا شبکه بیش از حد مجاز دستگاه اندازه‌گیری باشد و یا این که از نظر حفاظتی نتوان ولتاژ مورد اندازه‌گیری را مورد سنجش قرار داد.

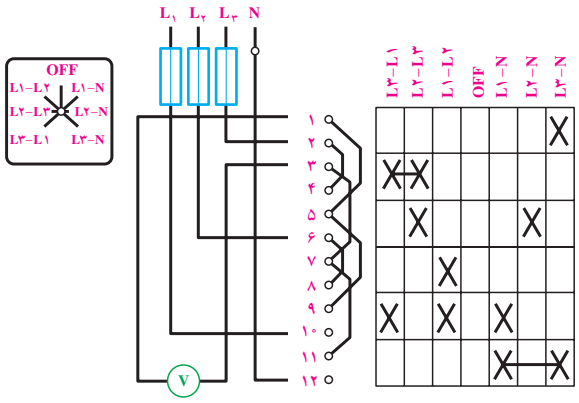


شکل ۴۱ــ۱

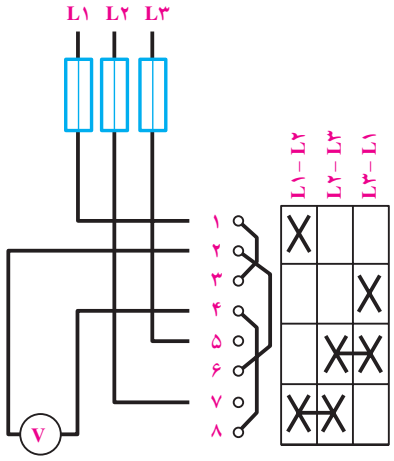
۴ــ۷ــ کلید ولت‌متر

برای اندازه‌گیری مقدار ولتاژهای خطی و فازی در شبکه‌های سه فازه از یک ولت‌متر، به همراه کلید ولت‌متری (مطابق شکل ۴۲ــ۱ــالف) استفاده می‌کنند. این کلید در حالت‌های مختلف، ولتاژهای بین خطوط (L۱,L۲) و (L۲,L۳) و(L۱,L۳) و L۱N و L۲N و L۳N را اندازه‌گیری می‌کند. توجه داشته باشید که در مسیر سه‌فاز L۱، L۲ و L۳ فیوز قرار می‌گیرد. در برخی از کلیدهای ولت‌متری فقط می‌توان ولتاژ بین دو فاز را اندازه‌گیری کرد (شکل ۴۲ــ۱ــ ب).

شکل ۴۲ــ۱ــ ج ــ شکل ظاهری یک نمونه کلید ولت‌متری را نشان می‌دهد.



الف ــ اندازه‌گیری ولتاژ بین دو فاز و فاز و نول



ب ــ اندازه‌گیری ولتاژ بین دو فاز

ج ــ شکل ظاهری

شکل ۴۲ــ۱

۵ــ۷ــ اندازه‌گیری جریان‌ها و ولتاژها در مصرف‌کننده‌های سه‌فاز ستاره

کار عملی ۲

هدف : بررسی اتصال ستاره متعادل و نامتعادل

وسایل و ابزارهای موردنیاز

برای اجرای کارهای عملی از وسایل معرفی شده در جدول ۱ــ۱ استفاده کنید.

جدول ۱ــ۱

نام وسایل و ابزار		حرف مشخصه	تعداد
سرپیچ لامپ		ــ	۶ عدد
لامپ رشته‌ای ۱۰۰W		E	۶ عدد
لامپ رشته‌ای ۱۵۰W ۶۰W		E	از هرکدام ۲ عدد
فیوز مینیاتوری سه‌فاز		F۱	۱ عدد
کلید سه‌فاز قطع و وصل زبانه‌ای		Q۱	۱ عدد
آمپرمتر با حداکثر رنج 5A		A	۳ عدد
ولت‌متر با حداکثر رنج ۵۰۰V		V	۳ عدد

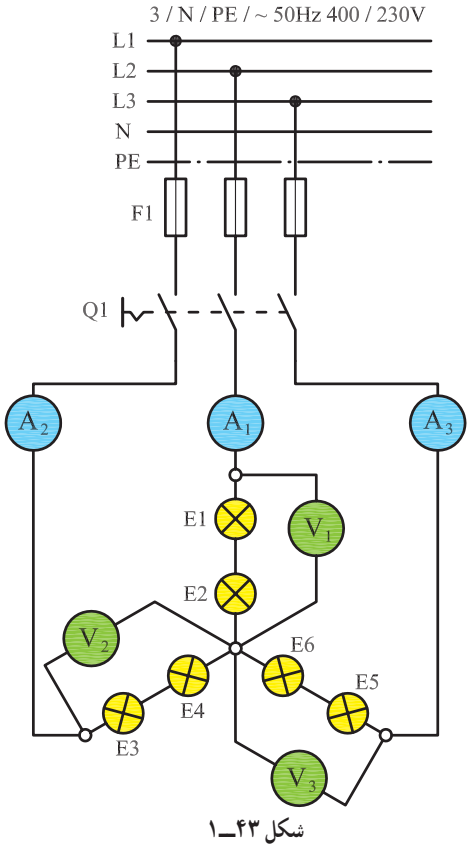
توجه : لازم است اتصالات ستاره (⅄) و مثلث (△) و وسایل اندازه‌گیری در زیر پیچ‌های ترمینال اجرا و روی تابلو نصب شود.

ــ وسایل کارگاه را مانند وسایل شخصی خود بدانید. هزینه‌ی این وسایل را به‌طور غیرمستقیم خودتان تأمین کرده‌اید.

الف ــ مراحل اجرای اتصال ستاره متعادل

مرحله ۱

۱ــ۱ــ مدار شکل ۴۳ــ۱ را با کمک شش لامپ ۱۰۰W (مطابق شکل ۴۴ــ۱) روی تابلو برق ببندید. اتصال بین قطعات مدار را توسط سیم و با استفاده از پیچ پایینی ترمینال‌ها برقرار کنید.



شکل ۴۳ــ۱

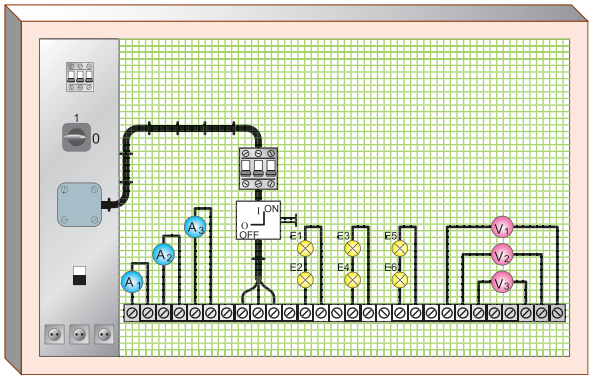
۲ــ۱ــ فیوز مینیاتوری سه فاز را وصل کنید و سپس کلید Q۱ را در حالت ON قرار دهید و ولتاژ و جریان هریک از ولت‌مترها و آمپرمترها را بخوانید.

I_{A_1} = ☐ A V_1 = ☐ V

I_{A_2} = ☐ A V_2 = ☐ V

I_{A_3} = ☐ A V_3 = ☐ V

۳ــ۱ــ کلید را در حالت OFF قرار دهید و مدار را خاموش کنید.



شکل ۴۴ــ۱ــ تصویری از مدار لامپی با کلید قطع و وصل (۱ــ۰) نصب شده روی تابلو

پرسش :

۱ــ مقادیر اندازه‌گیری شده معرف کدام‌یک از پارامترهای ولتاژی و جریانی اتصال ستاره است؟

۲ــ آیا بین جریان‌های عبوری از هریک از لامپ‌ها تفاوتی وجود دارد؟

مرحله ۲

۱ــ۲ــ یکی از فیوزها را قطع کنید و دو فیوز دیگر را در حالت وصل بگذارید.

۲ــ۲ــ کلید Q۱ را وصل کنید و مقادیر ولت‌مترها و آمپرمترها را بخوانید و یادداشت کنید.

I_{A_1} = ☐ A V_1 = ☐ V

I_{A_2} = ☐ A V_2 = ☐ V

I_{A_3} = ☐ A V_3 = ☐ V

پرسش :

۳ــ نتایج این مرحله را با مرحله‌ی (۱) مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۴ــ قطع یک فاز چه اثری روی کمیت‌های دیگر می‌گذارد؟

مرحله ۳

۱ــ۳ــ فیوز F۱ و کلید Q۱ را قطع کنید.

۲ــ۳ــ لامپ‌های E۱ و E۲ را از روی سرپیچ باز کنید.

۳ــ۳ــ فیوز F۱ وکلید Q۱ را وصل کنید و مقادیر ولت‌مترها و آمپرمترها را بخوانید و یادداشت کنید.

۴ــ۳ــ فیوز مینیاتوری سه‌فاز F۱ و کلید Q۱ را قطع کنید.

I_{A_1} = ☐ A V_1 = ☐ V

I_{A_2} = ☐ A V_2 = ☐ V

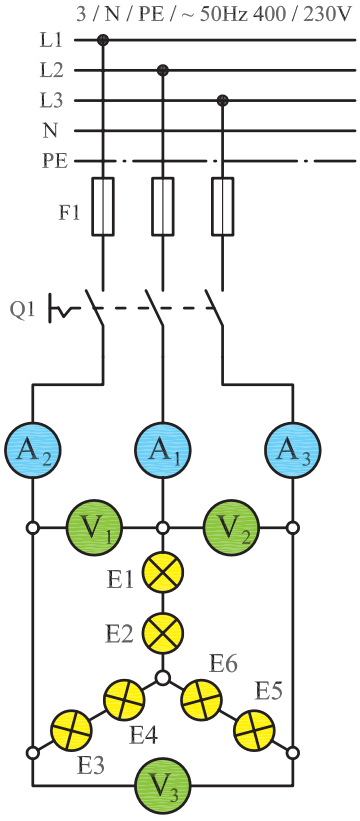
I_{A_3} = ☐ A V_3 = ☐ V

پرسش :

۵ــ نتایج این مرحله را با مراحل (۱) و (۲) مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

مرحله ۴

۱ـ۴ـ محل قرار گرفتن ولت‌مترها را مطابق مدار شکل ۱ـ۴۵ تغییر دهید.



شکل ۱ـ۴۵

۲ـ۴ـ ابتدا فیوز F۱ و سپس کلید Q۱ را در حالت وصل قرار دهید.

۳ـ۴ـ مقادیر ولتاژ و جریان هریک از ولت‌مترها و آمپرمترها را بخوانید و یادداشت کنید.

I_{A_1} = ☐ A	V_1 = ☐ V
I_{A_2} = ☐ A	V_2 = ☐ V
I_{A_3} = ☐ A	V_3 = ☐ V

۴ـ۴ـ کلید Q۱ را در حالت OFF قرار داده و مدار را خاموش کنید.

پرسش :

۶ـ مقادیر اندازه‌گیری شده معرف کدام‌یک از پارامترهای ولتاژی و جریانی اتصال ستاره است؟

۷ـ از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده در دو مرحله‌ی ۱ و ۴ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۸ ـ بین جریان عبوری از خط و جریان فاز چه رابطه‌ای برقرار است؟

۹ـ بین ولتاژ خط و ولتاژ فاز چه رابطه‌ای وجود دارد؟

۱۰ـ آیا نتایج به‌دست آمده با مطالب نظری مطابقت دارد؟

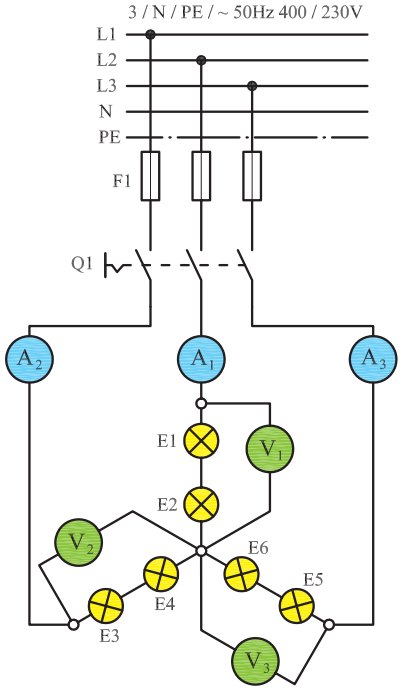
ویژه‌ی هنرجویان علاقه‌مند

در مورد نیاز و یا عدم‌نیاز به سیم نول در اتصال ستاره متعادل تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس ارائه کنید.

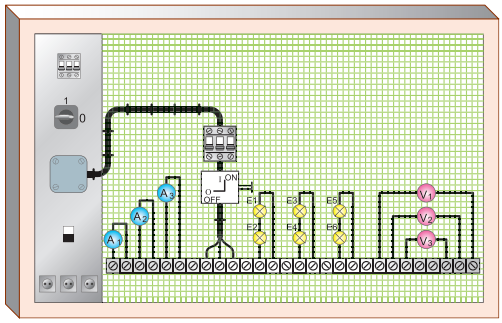
ب ـ مراحل اجرای اتصال ستاره نامتعادل

مرحله ۵

۱ـ۵ ـ اتصال ولتمترهای مدار را مجدداً مطابق شکل ۱ـ۴۶ به وضعیت قبلی شکل ۱ـ۴۳ بازگردانید.



شکل ۱ـ۴۶



شکل ۴۷ــ۱

۲ــ۵ــ توان لامپ‌های موجود در مدار را، به‌صورت زیر، روی سرپیچ‌ها قرار دهید.

E۱ = ۱۰۰W	E۳ = ۶۰W	E۵ = ۱۵۰W
E۲ = ۱۰۰W	E۴ = ۶۰W	E۶ = ۱۵۰W

۳ــ۵ــ فیوز مینیاتوری F۱ را وصل کنید و سپس با وصل کلید Q۱، ولتاژ و جریان هریک از ولت‌مترها و آمپرمترها را بخوانید.

I_{A_1} = ☐ A	V_1 = ☐ V
I_{A_2} = ☐ A	V_2 = ☐ V
I_{A_3} = ☐ A	V_3 = ☐ V

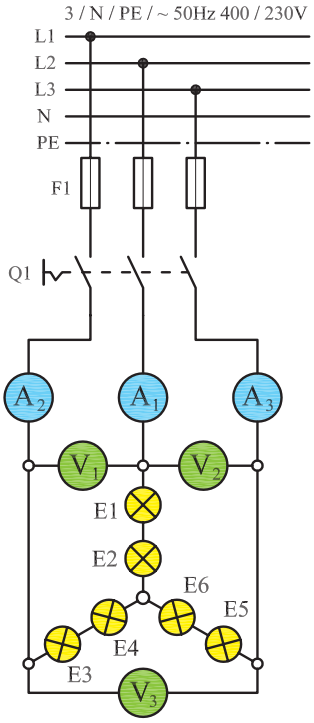
۴ــ۵ــ فیوز مینیاتوری F۱ و کلید Q۱ را در حالت خاموش قرار دهید.

پرسش :

۱ــ مقادیر اندازه‌گیری شده معرف کدام‌یک از پارامترهای ولتاژی و جریانی اتصال ستاره است؟

مرحله ۶

۱ــ۶ــ محل قرار گرفتن ولت‌مترها را مطابق شکل ۴۸ــ۱ تغییر دهید.



شکل ۴۸ــ۱

۲ــ۶ــ مقادیر ولتاژ و جریان هریک از ولت‌مترها و آمپرمترها را بخوانید.

I_{A_1} = ☐ A	V_1 = ☐ V
I_{A_2} = ☐ A	V_2 = ☐ V
I_{A_3} = ☐ A	V_3 = ☐ V

پرسش :

۲ــ مقادیر اندازه‌گیری شده معرف کدام یک از پارامترهای ولتاژی و جریانی اتصال ستاره است؟

۳ــ از مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده در دو مرحله‌ی ۵ و ۶ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۴ــ قطع یکی از فازها چه اثری روی کمیت‌های الکتریکی دیگر دارد؟

۵ــ آیا نتایج به‌دست‌آمده با مطالب تئوری مطابقت دارد؟

ویژه‌ی هنرجویان علاقه‌مند

در مورد نیاز داشتن یا نداشتن اتصال ستاره‌ی نامتعادل به سیم نول، تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس ارائه کنید.

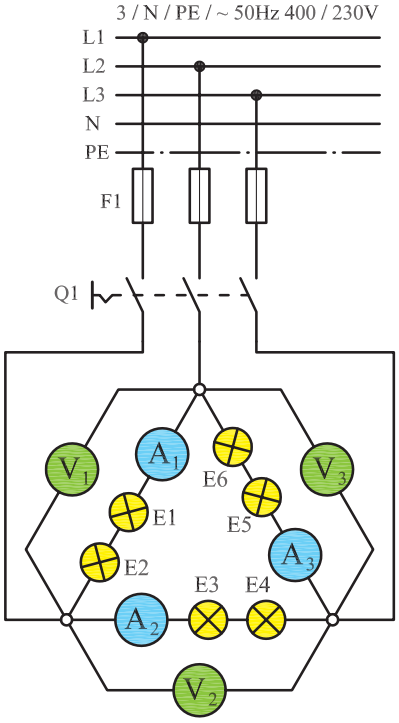
۶ــ۷ــ اندازه‌گیری جریان‌ها و ولتاژها در مصرف‌کننده‌های سه‌فاز مثلث

کار عملی ۳

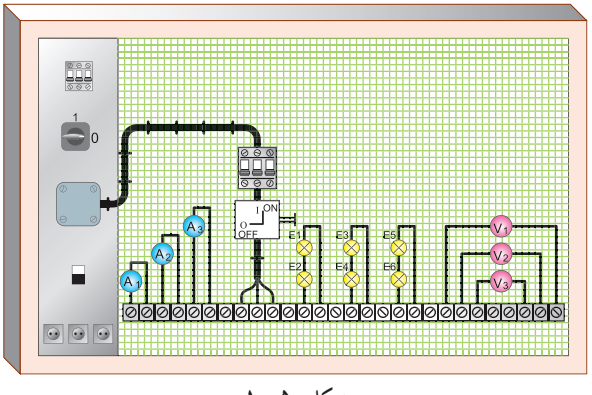
هدف : بررسی اتصال مثلث متعادل

مرحله ۱

۱ــ۱ــ مدار شکل ۴۹ــ۱ را با کمک شش لامپ ۱۰۰W (مطابق شکل ۵۰ــ۱) روی تابلوی برق ببندید. اتصال بین قطعات مدار را توسط سیم و با استفاده از پیچ پایینی ترمینال‌ها برقرار کنید.



شکل ۴۹ــ۱



شکل ۵۰ــ۱

۱ــ۲ــ فیوز مینیاتوری سه فاز را وصل کنید و سپس کلید Q۱ را در حالت ON قرار دهید و ولتاژ و جریان هریک از ولت‌مترها و آمپرمترها را بخوانید.

$I_{A_1} =$ ☐ A $V_1 =$ ☐ V

$I_{A_2} =$ ☐ A $V_2 =$ ☐ V

$I_{A_3} =$ ☐ A $V_3 =$ ☐ V

۱ــ۳ــ کلید را در حالت OFF قرار دهید و مدار را خاموش کنید.

پرسش :

۱ــ مقادیراندازه‌گیری شده معرف کدام‌یک از پارامترهای ولتاژی و جریانی اتصال مثلث است؟

۲ــ بین ولتاژ دو سر مصرف‌کننده و ولتاژ بین دو خط چه رابطه‌ای وجود دارد؟

مرحله ۲

۲ــ۱ــ یکی از فیوزها را قطع کنید و دو فیوز دیگر را در حالت وصل بگذارید.

۲ــ۲ــ کلید Q۱ را وصل کنید و مقادیر ولت‌مترها و آمپرمترها را بخوانید و یادداشت کنید.

۲ــ۳ــ کلید Q۱ را در حالت OFF قرار داده و مدار را خاموش کنید.

$I_{A_1} =$ ☐ A $V_1 =$ ☐ V

$I_{A_2} =$ ☐ A $V_2 =$ ☐ V

$I_{A_3} =$ ☐ A $V_3 =$ ☐ V

۳ــ نتایج این مرحله را با مرحله‌ی (۱) مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

مرحله ۳

۱ــ۳ــ لامپ‌های E۱ و E۲ را از روی سرپیچ باز کنید.

۲ــ۳ــ کلید Q۱ را وصل کنید و مقادیر ولت‌مترها و آمپرمترها را بخوانید و یادداشت کنید.

۳ــ۳ــ فیوز مینیاتوری سه‌فاز F۱ و کلید Q۱ را قطع کنید.

$I_{A_1} =$ ☐ A $V_1 =$ ☐ V

$I_{A_2} =$ ☐ A $V_2 =$ ☐ V

$I_{A_3} =$ ☐ A $V_3 =$ ☐ V

پرسش :

۴ــ نتایج این مرحله را با مراحل۱ و ۲ مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۵ــ اثر قطع یک فاز روی مدار را شرح دهید.

مرحله ۴

۱ــ۴ــ محل قرار گرفتن آمپرمترها را مطابق مدار شکل ۱ــ۵۱ تغییر دهید.

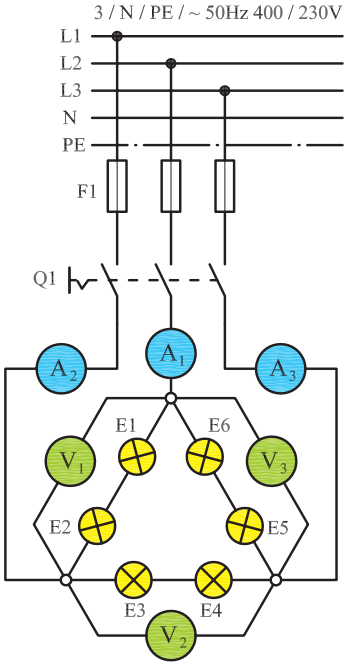
۲ــ۴ــ ابتدا فیوز F۱ و سپس کلید Q۱ را در حالت وصل قرار دهید.

۳ــ۴ــ مقادیر ولتاژ و جریان هریک از ولت‌مترها و آمپرمترها را بخوانید و یادداشت کنید.

$I_{A_1} =$ ☐ A $V_1 =$ ☐ V

$I_{A_2} =$ ☐ A $V_2 =$ ☐ V

$I_{A_3} =$ ☐ A $V_3 =$ ☐ V



شکل ۱ــ۵۱

۴ــ۴ــ کلید Q۱ را در حالت OFF قرار داده و مدار را خاموش کنید.

پرسش :

۶ــ مقادیر اندازه‌گیری شده، معرف کدام‌یک از پارامترهای ولتاژی و جریانی اتصال مثلث است؟

۷ــ از مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده توسط آمپرمترها در دو مرحله‌ی ۱ و ۴ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۸ــ بین جریان خط و جریان فاز چه رابطه‌ای وجود دارد؟

۹ــ آیا نتایج به‌دست آمده با مطالب تئوری مطابقت دارد؟

توجه : در مصرف‌کننده‌های واقعی سه‌فازه، معمولاً بار هر مصرف‌کننده اهمی (مقاومت) خالص نیست؛ مانند موتورها که همواره یک‌بار اهمی ــ سلفی (R – L) هستند. به این ترتیب مدار همواره دارای ضریب قدرت ($\cos\varphi$) است.

توجه : در اتصال مصرف‌کننده‌های سه‌فاز (موتورها) به شبکه‌ی برق، باید دقت کنیم که ولتاژ کار هریک از سیم‌پیچ‌ها (ولتاژ فازی) برابر ولتاژی باشد که از طریق شبکه‌ی برق به آن‌ها می‌رسد. از آن‌جا که در اتصال مثلث ولتاژ هر فاز $\sqrt{۳}$ برابر ولتاژ فازی در حالت اتصال ستاره است، باید در اتصال موتور به‌صورت ستاره و مثلث دقت کافی نمود. برای مثال، اگر برروی پلاک یک موتور الکتریکی سه‌فاز نوشته شده باشد (Δ۲۲۰V)، به این معنی است که این موتور را در برق ایران نمی‌توان به‌صورت مثلث به شبکه متصل کرد؛ زیرا به هر سیم‌پیچ یک فاز ۳۸۰ ولت ولتاژ می‌رسد و آن را می‌سوزاند. در ایران موتوری را می‌توان به‌صورت مثلث اتصال داد که روی پلاک مشخصات آن نوشته شده باشد (Δ۳۸۰V) و یا ۳۸۰/۶۶۰V. از جدول ۲ــ۱، برای تشخیص نوع اتصال موتور در شبکه‌ی برق ایران، می‌توان استفاده کرد.

جدول ۲ــ۱ــ تشخیص نوع اتصال موتور به شبکه‌ی برق ایران

نحوه‌ی اتصال موتور به شبکه‌ی برق ایران	مشخصات پلاک موتور
نمی‌تواند با شبکه سه فاز ایران راه‌اندازی شود	۲۳۰λ
فقط به صورت ستاره	۲۳۰Δ
فقط به صورت ستاره	۴۰۰λ
به صورت ستاره مثلث می‌توان راه‌اندازی کرد و در نهایت باید اتصال مثلث باشد	۴۰۰Δ
فقط به صورت ستاره	۴۰۰/۲۳۰λ/Δ
به صورت ستاره مثلث راه‌اندازی می‌شود و در نهایت باید مثلث بسته شود	۴۰۰/۶۸۰λ/Δ

در اتصال هر مصرف کننده سه‌فاز به شبکه، ولتاژی که به دو سر هر سیم‌پیچ فازی می‌رسد نباید از ولتاژ مجاز بیش‌تر باشد. ولتاژ مجاز هر سیم‌پیچی بر روی پلاک موتور نوشته می‌شود.

سؤال : اگر روی پلاک یک موتور عبارت ۲۲۰/۳۸۰V وصل کرد؟ توضیح دهید.
نوشته شده باشد، با چه اتصالی می‌توان آن را به شبکه‌ی برق ایران