پودمان ۱

شبکه برق و مصرف کننده‌های سه‌فاز

واحد یادگیری ۱

شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه‌فاز

آیا می‌دانید:

- شبکه برق سه‌فاز از چه قسمت‌هایی تشکیل شده است؟
- مزایای برق سه فاز نسبت به یک‌فاز چیست؟
- توان الکتریکی در حالت ستاره و مثلث چه تفاوتی دارد؟
- تفاوت بار متعادل و نامتعادل سه‌فاز چیست؟

استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود ابتدا با شبکه برق سه‌فاز (تولید، انتقال و توزیع) آشنا شده و می‌توانند ولتاژ و جریان خط و فاز بار الکتریکی سه فاز را اندازه‌گیری کنند. آنها قادر به راه‌اندازی الکتروموتورهای سه فاز با انواع کلیدهای راه‌اندازی خواهند بود و شرایط بار متعادل و نامتعادل سه‌فاز را به کمک اتصال بار الکتریکی ستاره و مثلث لامپ تحلیل خواهند کرد.

❋ مقدمه

شبکه‌های الکتریکی که برای تأمین ولتاژ و جریان مورد نیاز مصرف‌کننده‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند به دو صورت: ۱ـ تکفاز، ۲ـ سه فاز هستند. از آنجایی که شبکهٔ تکفاز جزئی از شبکهٔ سه فاز است و از طرفی دیگر تولید ولتاژ و جریان AC به‌صورت سه فاز انجام می‌شود، به همین دلیل در ابتدا ساختار کلی شبکه‌های الکتریکی و سپس چگونگی تولید آن ارائه می‌شود.

آیا تابه‌حال فکر کرده‌اید تولید انرژی الکتریکی از نیروگاه تا محل مصرف چه مراحلی را طی می‌کند؟

۱ـ۱ ساختار شبکه‌های الکتریکی

در شکل کلی می‌توان ساختار شبکه‌های الکتریکی را در قالب سه گروه (شکل ۱) به‌صورت زیر معرفی کرد:

۱ـ تولید (Generation)

۲ـ انتقال (Transmission)

۳ـ توزیع (Distribution)

شکل ۱ـ تولید و انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

۱ـ۱ـ۱ تولید انرژی الکتریکی

در بخش تولید انرژی، نیروگاه‌ها قرار دارند که وظیفهٔ آنها تولید انرژی الکتریکی AC است که با بهره‌گیری از ژنراتورها صورت می‌گیرد. ولتاژ خروجی ژنراتورها در محدودهٔ ۱۰KV تا ۲۰KV است. میزان جریان‌دهی ژنراتورها به مقدار توان ظاهری (S) آنها بستگی دارد. مقدار توان ظاهری را از رابطهٔ زیر می‌توان محاسبه کرد.

$$S = \sqrt{۳}\, V_e\, I_e$$

V_eـ ولتاژ مؤثر برحسب ولت (V)

I_eـ جریان مؤثر برحسب آمپر (A)

S ـ توان برحسب ولت‌آمپر (V.A)

تمرین

رابطه توان ظاهری در مدار یک‌فاز و سه فاز را با یکدیگر مقایسه کنید.

چون مقدار جریان‌دهی ژنراتور زیاد است (در محدودهٔ کیلو آمپر KA) ت C ب از نوع سنکرون (هم‌زمان) هستند. از رابطهٔ مقابل می‌توان محاسبه کرد:
و سپس تولید ولتاژ و جریان :
۱ـ لذا توان ژنراتورها اغلب برحسب مگا ولت آمپر (MVA) بیان می‌شود:

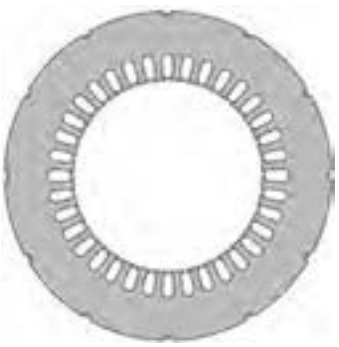
$$S = \sqrt{3}\, V_e . I_e$$

$$[MVA] = \sqrt{3}\,[KV].[KA]$$

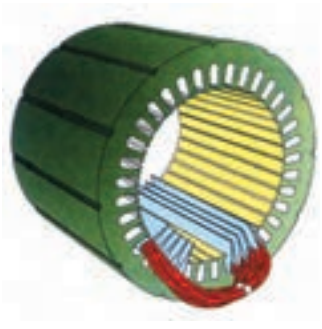
شکل ۲ـ ژنراتور سه فاز در نیروگاه

۱ـ۱ ـ ۱ـ ۱ چگونگی تولید جریان‌های سه‌فازه

ژنراتورهای تولیدکننده جریان الکتریکی سه فاز از دو بخش اصلی تشکیل شده‌اند.
۱ـ بخش ساکن (استاتور) ۲ـ بخش متحرک (روتور)
استاتور ژنراتورها مشابه موتورهای سه‌فاز دارای یک هسته از جنس آهن نرم است که ورق‌ورق بوده (شکل الف). و از کنار هم قرار گرفتن این ورق‌ها هسته‌ای به‌صورت استوانه‌ای شیاردار پدیدمی‌آید شکل (۳ـ ب).
در داخل شیارهای استاتور از سه گروه سیم‌پیچی که نسبت به هم ۱۲۰° اختلاف فاز مکانی دارند، استفاده می‌شود که نحوه اتصال سیم‌پیچی بر پایه اصول سیم‌پیچی است و درنهایت سه سیم به‌عنوان سرهای سیم‌پیچی از استاتور خارج می‌شود. برای حفاظت سیم‌پیچی و ورق‌های استاتور، کل مجموعه در داخل یک پوسته چدنی مطابق شکل (۴) قرار می‌گیرد.

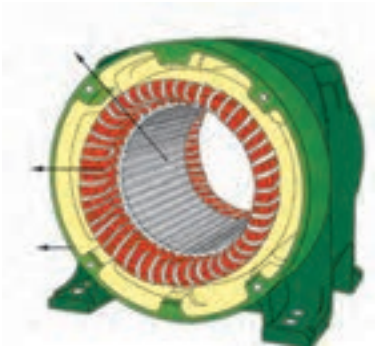


الف) ورق هسته



ب) استوانه هسته استاتور

شکل ۳ـ هسته استاتور



شکل ۴ـ استاتور سیم پیچی

تحقیق

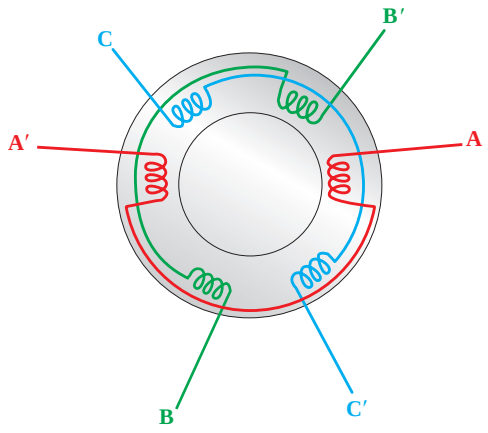
جریان‌های سه فاز را ازنظر دامنه و زمان تناوب و اختلاف‌فاز با یکدیگر مقایسه کنید و به کلاس ارائه کنید.

روتور ژنراتورهای سنکرون نیز مشابه استاتور شامل یک هسته است که روی آن از یک سیم‌پیچی که به‌صورت دوتکه است استفاده می‌شود. در ژنراتورهای سنکرون وظیفه تولید میدان مغناطیسی (تحریک) و بروز پدیده القاء نیروی محرکه به عهده روتور است. شکل (۵) تصویر روتوریک ژنراتور سنکرون را نشان می‌دهد.

شکل ۵ــ روتور ژنراتور سنکرون

برای آشنایی با چگونگی تولید ولتاژ سه فاز، تصویر ساده‌ای ازاستاتور ژنراتور سنکرون را مطابق شکل (۶) در نظر بگیرید.

در مولد سنکرون سیم‌پیچ روتور به جریان DC متصل می‌شود. با عبور جریان از داخل سیم‌پیچی روتور میدان مغناطیسی ثابتی در فضای اطراف هسته پدید می‌آید که سبب می‌شود تا هسته به‌صورت یک آهنربا دارای خاصیت مغناطیسی شود.

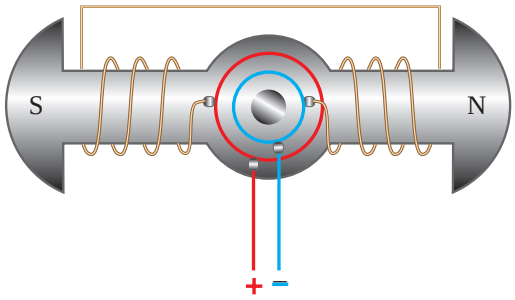


شکل۶ــ استاتور ژنراتور آسنکرون

تحقیق

منظور از ژنراتور سنکرون چیست ؟

روتور ژنراتورها ازطریق یک محور به توربین (محرک مکانیکی) متصل است که به‌واسطه وارد شدن نیروی مکانیکی به توربین (مانند: جاری شدن آب در نیروگاه‌های آبی، برخورد بخارآب پرفشار در نیروگاه‌های حرارتی، برخورد باد با پره‌های بزرگ در نیروگاه‌های بادی و...) شروع به چرخش کرده و درنتیجه روتورکه دارای خاصیت مغناطیسی است شروع به حرکت می‌کند. در اثر چرخش روتور میدان مغناطیسی اطراف آن در هرلحظه از زمان که در مقابل یک سیم‌پیچی استاتور قرار می‌گیرد طبق قانون فاراده نیروی محرکه القایی در آن پدید می‌آید. برای آشنایی با چگونگی تولید ولتاژ القایی در

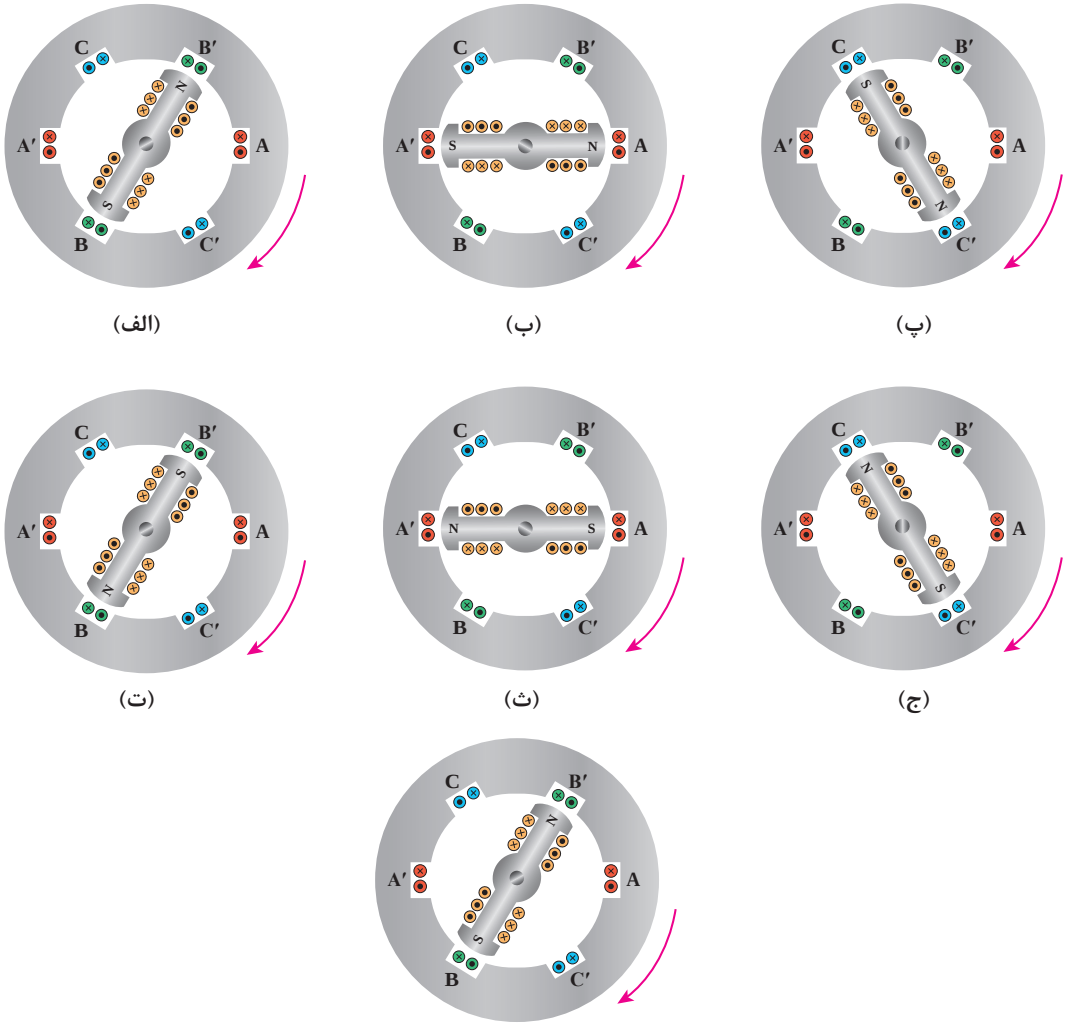


شکل ۷ــ سیم‌پیچ روتور

سیم‌پیچی‌های سه فاز ژنراتورها، تصاویر ساده‌ای از سیم‌پیچی‌های استاتور به همراه وضعیت قرار گرفتن روتور در چند لحظه نشان داده‌شده است.

تحقیق

چرا تولید انرژی الکتریکی به‌صورت ۳ فاز انجام می‌شود ؟



(الف) (ب) (پ)

(ت) (ث) (ج)

(چ)

شکل ۸

فیلم

تولید انرژی الکتریکی ۳ فاز از لحظه ۱:۱۰ تا ۳:۲۰

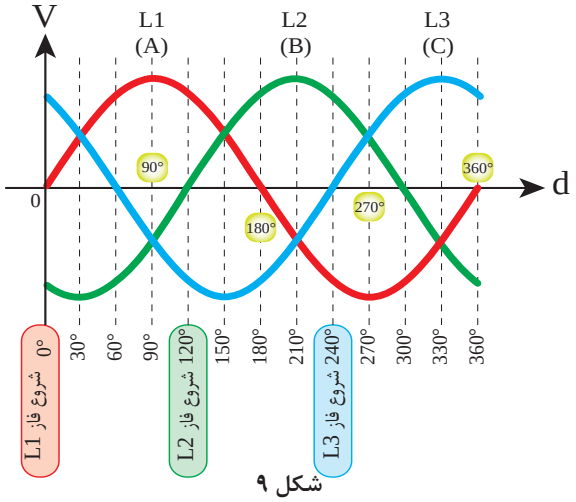
ولتاژ القایی در هرلحظه به سینوس زاویه میدان مغناطیسی روتور و سیم‌پیچی استاتور بستگی دارد و از طرف دیگر چون در استاتور سه گروه سیم‌پیچی با اختلاف‌فاز مکانی ۱۲۰ درجه در داخل شیارها استفاده‌شده لذا در اثر گردش یک دور روتور، ولتاژها و جریان‌های سه فاز با اختلاف‌فاز زمانی ۱۲۰ درجه‌ای طبق معادلات (۱) در سیم‌پیچی‌های استاتورتولید می‌شود.

$$V_{AA'}=Vm \sin(\omega t)$$
$$V_{BB'}=Vm \sin(\omega t - ۱۲۰) \qquad (۱)$$
$$V_{CC'}=Vm \sin(\omega t - ۲۴۰)$$

در مباحث عملی ولتاژهای القا شده در سه فاز ژنراتور سنکرون را به‌صورت زیر نشان می‌دهیم.

$V_{AA'} = V_A$ ------> فاز L1
$V_{BB'} = V_B$ ------> فاز L2
$V_{CC'} = V_C$ ------> فاز L3

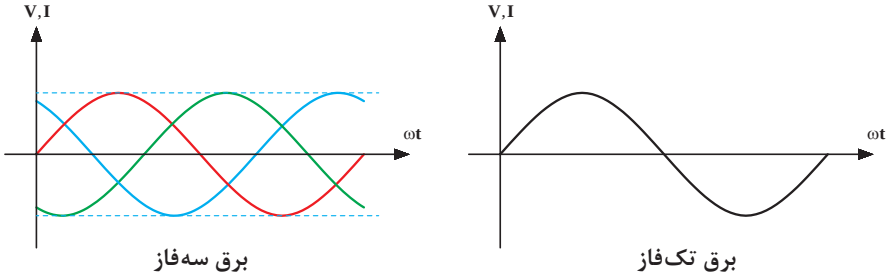
شکل موج ولتاژهای القایی یک شبکه سه فاز را در شکل (۹) مشاهده می‌کنید.



شکل ۹

۲ـ۱ـ۱ ـ۱ مزایای برق سه فاز نسبت به تکفاز

الف) توان الکتریکی در مصرف‌کننده‌های سه فاز، هیچ‌وقت به صفر نمی‌رسد. همان‌طوری که در شکل مشخص است هرگاه دریکی از لحظات دامنهٔ یکی از فازها به صفر برسد دامنه دو فاز دیگر صفر نبوده و به مصرف‌کننده انرژی می‌دهند. به همین دلیل بازده ماشین‌های سه فاز نسبت به تکفاز بیشتر است.



برق سه‌فاز برق تک‌فاز

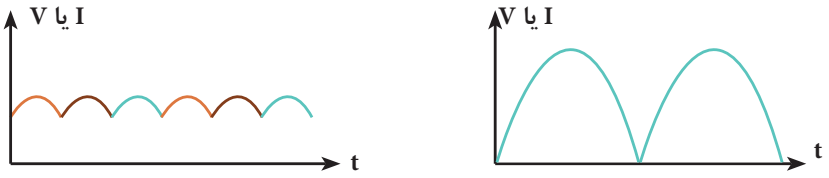
شکل ۱۰ـ منحنی برق سه فاز و تکفاز

بالا بودن توان در ماشین‌های سه فاز، باعث می‌شود تا بازده آنها به حدود ٪۹۹ هم برسد، در صورتی که در ماشین‌های تکفاز بازده در حدود ٪۶۵ یا پایین‌تر است. در منحنی‌های شکل ۱۰ منحنی تغییرات برق سه فاز با تکفاز (ولتاژ و جریان) مقایسه شده است.

تمرین

ترسیم منحنی سه فاز را روی یک کاغذ شطرنجی انجام دهید.

ب) در صورت یک‌سو کردن (تبدیل AC به DC) هر دو موج سه فاز و تکفاز (حذف نیم سیکل‌های منفی موج) ضربان موج یک‌سو شده سه فاز(ریپل) نسبت به موج یک‌سو شده تکفاز کمتراست. شکل (۱۱)



موج یکسو شده تکفاز با ضربان بالا

موج یکسو شده سه‌فاز با ضربان کم

شکل ۱۱ــ مقایسه یکسو شده برق سه فاز و تکفاز

ج) برای چرخش موتورهای سه فاز نیاز به ایجاد میدان مغناطیسی دواری است که در سطح استاتور پدید آید. در راه‌اندازی موتورهای سه فاز این کار بدون واسطه انجام می‌شود چراکه بااتصال موتور به برق سه فاز میدان دوار ایجادشده و موتور شروع به چرخش می‌کند. درصورتی‌که موتورهای تکفاز بدون وجود سیم‌پیچ استارت یا وسیله خارجی، قادر به راه‌اندازی نیستند. این موضوع باعث می‌شود، که موتورهای تکفاز نسبت به موتورهای سه فاز دارای قیمت بیشتر بوده در بحث تعمیر و نگهداری نیز به تخصص بالا نیاز داشته باشند. در خصوص میدان دوار در قسمت قبل به‌طور کامل شرح داده‌شده است.

فیلم

تفاوت ژنراتور سه فاز و یک‌فاز از لحظه ۳:۲۰ تا ۴: ۲۸

۲ــ۱ــ۱ انتقال انرژی الکتریکی

در شبکه برق‌رسانی سراسری، نزدیک بودن محل تولید انرژی با محل مصرف دیگر ضروری نبوده و مطرح نمی‌باشد چراکه احداث نیروگاه‌ها و تولید انرژی الکتریکی دارای محدودیت‌هایی است. لذا در اینجا است که اهمیت خطوط انتقال انرژی مشخص می‌شود. در شبکه برق‌رسانی برای انتقال انرژی الکتریکی در فاصله بین نیروگاه‌ها تا شهرها (محل مصرف) از خطوطی استفاده می‌شود که دارای سطح ولتاژ بالایی هستند و معمولاً از پایه‌های فلزی و یا تیرهای بتونی بزرگ استفاده می‌شود چراکه توان انتقالی زیاد بوده و به دلیل بالا بودن جریان انتقالی و بزرگ بودن سطح مقطع یا زیاد بودن تعداد رشته سیم‌ها و همچنین افزایش وزن سیمی که پایه سیم‌ها باید تحمل کنند از پایه‌های محکم فلزی به‌نام "دکل" استفاده می‌شود.
شکل (۱۲) تصویر چند نمونه پایه‌های خطوط انتقال را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲ـ پایه های خطوط انتقال انرژی الکتریکی

سـطح ولتاژ در خطوط انتقال انرژی الکتریکی شبکه ایران عبارت‌اند:

۶۳ KV ، ۱۳۲ KV ، ۲۳۰ KV ، ۴۰۰ KV

فیلم

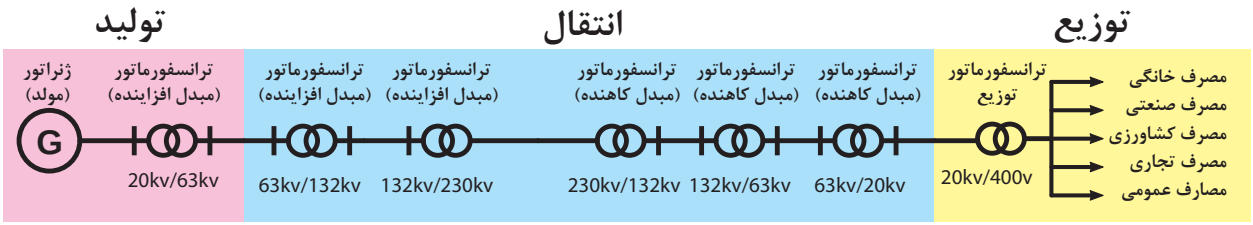
انتقال انرژی الکتریکی از ۴:۳۰ تا ۶:۱۲

فیلم

شناخت خطوط و دکل‌ها توزیع و فوق توزیع انتقال از لحظه ۱۲:۴۰ تا ۱۵:۴۰

۳ـ۱ـ۱ توزیع انرژی الکتریکی

در بخش توزیع انرژی الکتریکی اندازه ولتاژها نسبت به ولتاژهای بخش انتقال کمتر می‌باشد. مقادیر ولتاژهای بالای خطوط انتقال در قسمت توزیع توسط ترانسفورماتورها به ولتاژهای ۴۰۰V سه فاز و۲۳۰V تکفاز تبدیل می‌شوند تا در مصرف‌کننده‌های سه فاز و تکفاز مورد استفاده قرار گیرد. در بخش توزیع، مصرف‌کننده‌های مختلفی می‌توانند وجود داشته باشند که در اینجا، موتورهای القایی سه فاز را به‌عنوان مصرف‌کننده‌های سه‌فاز و مصارف خانگی، به‌عنوان مصرف‌کننده‌های تکفاز در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۱۳) ساختار کلی ارتباط بین سه قسمت اصلی اجزای شبکه به همراه اعداد واقعی ولتاژ ترانسفورماتورها مشاهده می‌شود.

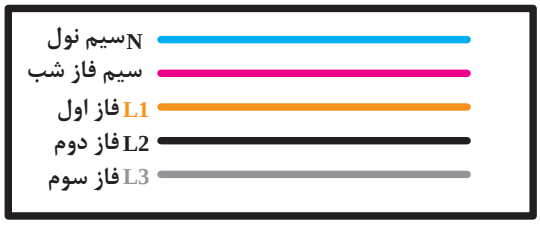


شکل ۱۳ـ نمودار تک خطی تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

شکل ۱۴ـ خطوط توزیع

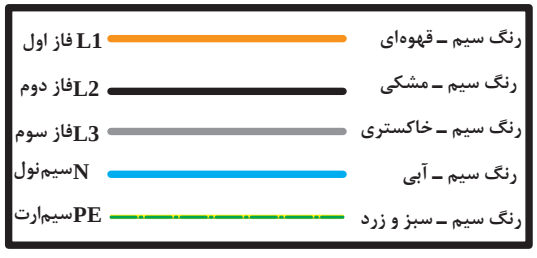
۱ـ۳ـ۱ـ۱ خطوط برق در شبکه‌های توزیع

برق مصرف‌کنندگان سه فاز و تکفاز با خطوط ولتاژ پایین (خطوط فشار ضعیف ـ LV) تأمین می‌شود. برای تأمین ولتاژ شبکه فشار ضعیف از ترانسفورماتور سه فاز توزیع ۲۰ KV /۴۰۰V استفاده می‌شود.



شکل ۱۵ـ ترتیب فازها در خطوط

همانطور که در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود شبکه توزیع از پنج سیم تشکیل‌شده و ترتیب قرار گرفتن سیم‌ها و حروف اختصاری طبق استاندارد IEC مطابق شکل (۱۵) است.



شکل ۱۶ـ رنگ سیم فازها در نقشه‌کشی

در ترسیم نقشه مدارهای الکتریکی ترتیب خطوط و رنگ سیم‌ها در شبکه توزیع سه فاز الکتریکی مطابق شکل ۱۶ در نظر گرفته می‌شود.

فیلم

خطوط مختلف انرژی الکتریکی ۶:۲۲ تا ۱۱:۲۱

سؤال: چرا ارتفاع خطوط هوایی ۲۰ KV از سطح زمین نسبت به خطوط هوایی ۴۰۰ V بیشتر است ؟

۲ـ۳ـ۱ـ۱ ولتاژها و جریان‌ها در شبکه‌های سه فاز توزیع:

در شبکه سه فاز توزیع، ولتاژها و جریان‌ها با عناوینی به شرح زیر معرفی‌شده و به کار می‌روند:

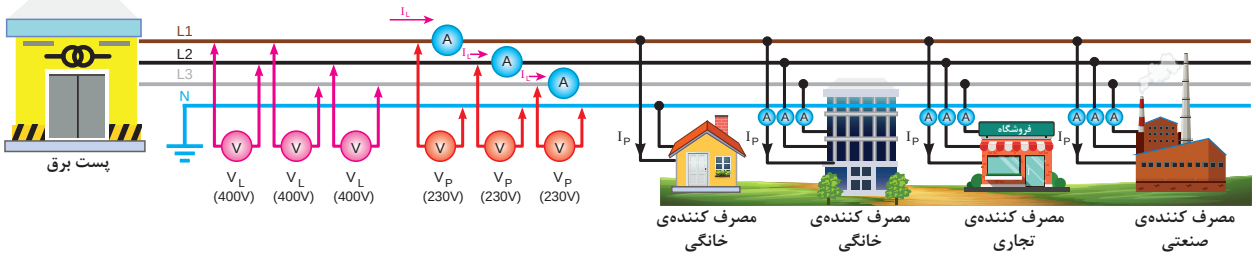
الف) ولتاژ خطی(V_L): به مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) بین دو فاز یک شبکه سه فاز "ولتاژ خطی" گویند که در شبکه توزیع ایران مقدار آن ۴۰۰V است.

ب) ولتاژ فازی(V_P): به مقدار ولتاژ (اختلاف‌پتانسیل) دو سر هر یک از کلاف‌های (مسیرهای عبور جریان) یک مصرف‌کننده سه فاز، "ولتاژ فازی" گویند. به بیانی دیگر و در شرایطی خاص به اختلاف‌پتانسیل بین هرفازو سیم نول نیز "ولتاژ فازی" گفته می‌شود. مقدار این ولتاژ در شبکه‌ی توزیع ایران ۲۳۰V است.

ج) جریان خطی(I_L): به مقدار جریانی که از هر خط سیم فاز شبکه توزیع عبور می‌کند "جریان خطی" گویند.

د) جریان فازی(I_P): به مقدار جریانی که از سیم‌پیچ هر فاز مصرف‌کننده سه‌فاز عبور می‌کند "جریان فازی" گویند.

شکل(۱۷) ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی را به‌ازای مصرف‌کننده‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۱۷ـ ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی

تذکر

از **هنرآموزان عزیز** تقاضا می‌شود که در ابتدای هر کار عملی، موارد زیر را به هنرجویان یادآور شوند.

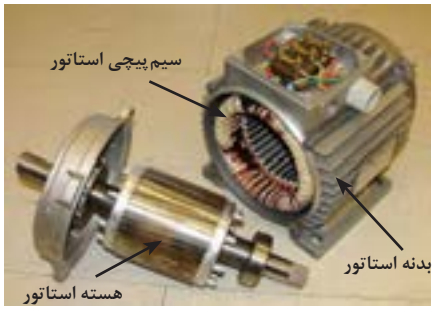
۱ـ چون ولتاژ کار مدار زیاد است و احتمال برق‌گرفتگی شدید وجود دارد همیشه در ضمن توضیح هر کار عملی تذکرات لازم را در خصوص رعایت نکات ایمنی بیان شود.

۲ـ فاصله‌های مناسب برای نصب (مونتاژ) قطعات روی تابلو برق را با توجه به امکانات موجود تعیین کنید. سعی شود فاصله‌های بین قطعات در کارهای مشابه مساوی باشد تا کارآموزان بتوانند از سیم‌ها و کابل‌های بریده شده در کارهای مختلف استفاده کنند.

۳ـ به هنرجویان تذکرهای لازم پیرامون حفظ و نگهداری قطعات، ابزار کار و همچنین بریدن وباز کردن سیم‌ها و کابل‌ها داده شود تا ضایعات و تلفات کمتری در سیم و کابل داشته باشند.

۲ـ۱ موتورهای الکتریکی سه فاز

موتورهای القایی سه فاز نیز مشابه مولدها از دو بخش استاتور و روتور تشکیل‌شده است. استاتور از سه گروه سیم‌پیچی (کلاف) تشکیل‌شده که در داخل شیارهای موتور قرار می‌گیرند. هسته روتور موتورهای سه فاز از جنس آهن نرم بوده که در داخل شیارهای آن از میله‌های آلومینیومی به‌عنوان هادی استفاده‌شده است.



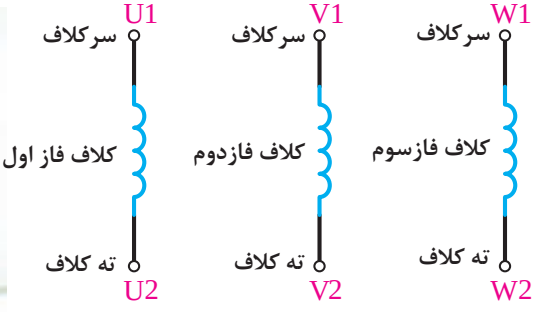
شکل ۱۸ـ موتور الکتریکی

برای اتصال سیم‌پیچ‌های موتور سه فاز سروته کلاف‌های موتور از داخل پوستهٔ موتور به یک محفظه یا ترمینال هدایت می‌شوند که اصطلاحاً به آن "تخته کلم" موتور گویند. (شکل ۱۹)

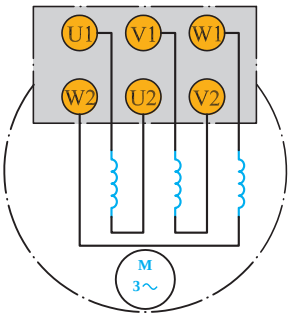
نحوه نام‌گذاری سروته کلاف‌های استاتور و موتور سه‌فاز طبق استاندارد IEC مطابق شکل (۲۰) است.

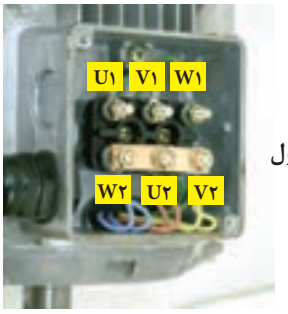
وضعیت قرار گرفتن سروته کلاف‌ها در زیر پیچ‌های تخته کلم موتور طبق استاندارد مطابق شکل (۲۱) است.

شکل ۱۹ـ تخته کلم



شکل ۲۰ـ نام گذاری کلاف‌های استاتور





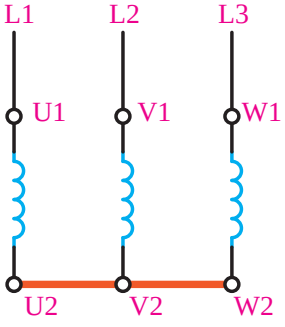
شکل ۲۱ـ اتصال کلاف‌ها

۳ـ۱ اتصال ستاره سیم‌پیچی موتور سه فاز

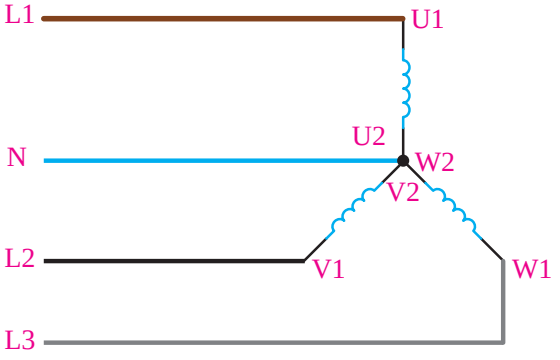
۱ـ۳ـ۱ تعریف اتصال ستاره

تعریف: هرگاه انتهای سیم‌پیچ‌های(U2, V2, W2) را به یکدیگر وصل کرده و به ابتدای سیم‌پیچ‌ها (U1, V1, W1) به ترتیب شبکه سه فاز (L1, L2, L3) وصل کنیم، این اتصال را "اتصال ستاره" گویند (شکل ۲۲).

در اغلب متون فنی از شکل (۲۳) که تصویری دیگر از اتصال ستاره است برای تحلیل این اتصال استفاده می‌شود.



شکل ۲۲ـ اتصال ستاره

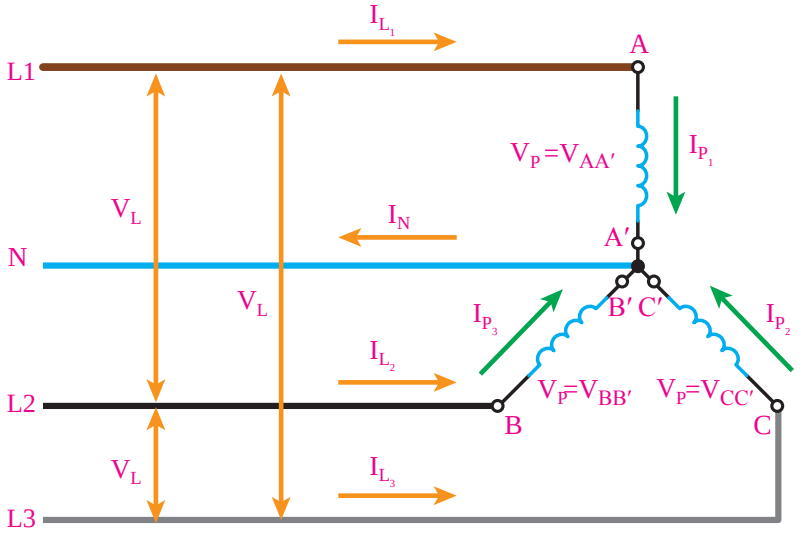


شکل ۲۳ـ اتصال ستاره با سیم نول

گفتنی است بر روی پلاک موتورها یا در مواردی که نیاز به خلاصه‌نویسی است از علامت (Δ) برای نشان دادن اتصال ستاره استفاده می‌شود.

۱ـ۱ـ۳ـ ۱ ولتاژها و جریان‌ها در اتصال ستاره

با توجه به تعاریف ارائه شده برای ولتاژها و جریان‌ها در شبکه‌های سه فاز و بررسی آنها برای اتصال ستاره می‌توان به خصوصیات این اتصال پی برد.



شکل ۲۴ـ ولتاژ و جریان در اتصال ستاره

همان‌طور که در شکل (۲۴) مشاهده می‌شود در اتصال ستاره ولتاژی که در دو سر هر کلاف موتور افت می‌کند برابر ولتاژ شبکه نبوده و به نسبت $\sqrt{۳}$ برابر کمتر است. اما چون مسیر عبور جریان جاری در شبکه (جریان خطی) با مسیر جریان جاری در هر کلاف (جریان فازی) یکی است لذا اندازهٔ آنها با یکدیگر برابر بوده و به‌اختصار روابط مربوط به اتصالات ستاره را چنین می‌توان نوشت:

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{۳}}$$

$$I_P = I_L$$

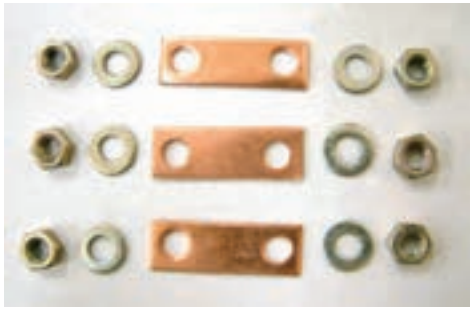
با در نظر گرفتن روابط فوق می‌توان نتیجه گرفت که ولتاژ دو سر هر کلاف در اتصال ستاره یک موتور سه فازه برابر خواهد شد با:

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{۳}} = \frac{۴۰۰}{۱/۷۳} = ۲۳۱/۲ \cong ۲۳۰V$$

$I_P = I_L = I_n$ (جریان نامی موتور)

در صورتی که قرار باشد به‌طور مستقیم سیم‌پیچ‌های یک موتور را به‌صورت ستاره اتصال داده و به شبکه متصل شود باید با استفاده از تسمه‌های مسی شکل (۲۵) اتصال ستاره را مطابق شکل (۲۶) ایجاد نمود.

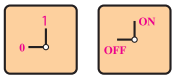
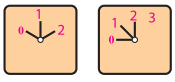
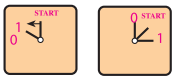
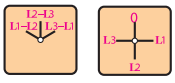
شکل ۲۵ـ تسمه مسی



شکل ۲۶ـ اتصال تسمه مسی

۴ـ۱ راه‌اندازی موتورهای الکتریکی با کلیدهای سه فاز

در مدارهای سه فازه از کلیدهای مختلفی استفاده می‌شود که در شکل (۲۷) تصویری از مشخصه‌های کلیدها که معمولاً روی بدنه آنها یا در کاتالوگ‌ها به‌کار می‌روند را مشاهده می‌کنید.

نام کلید	تصویر
قطع و وصل ساده (۱ـ۰)	
معکوس‌کنندهٔ جهت گردش موتور (چپ گرد، راست گرد) (۲ـ۰ـ۱)	
ستاره ـ مثلث (Δ ـ ⅄ ـ۰)	
ستاره ـ مثلث، چپ‌گرد، راست گرد	
چند سرعته (۲ـ۱ـ۰) و (۳ـ۲ـ۱ـ۰)	
راه‌اندازی موتورهای تکفاز	
انتخاب‌کنندهٔ فاز (برای دستگاه‌های اندازه‌گیری) (مانند کلید ولت‌متر)	

شکل ۲۷ـ تصاویر کلیدهای متداول راه‌اندازی الکتروموتورها

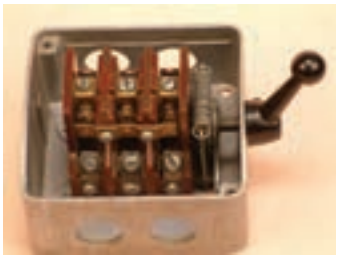
برای راه‌اندازی مصرف‌کننده‌های سه فاز در حالات مختلف از کلیدهای سه فازه با ظاهر و همچنین زمینه‌های کاربردی متفاوت استفاده می‌شود که در این فصل با سه نوع آن آشنا می‌شوید.

۱ـ۴ـ۱ کلید قطع و وصل (۱ ـ ۰، صفر و یک)

امروزه به دلیل ساختمان ساده، قیمت مناسب، عمر طولانی و تنوع در عملکرد، کلیدهای زبانه‌ای در سطح وسیعی تولید و به‌کار گرفته می‌شوند.

شکل (۲۸) تصویر کلید قطع و وصل (۰ ـ ۱) را در دو نوع گردان تابلویی (شکل الف) و اهرمی بدنه چدنی (شکل ب) نشان می‌دهد.

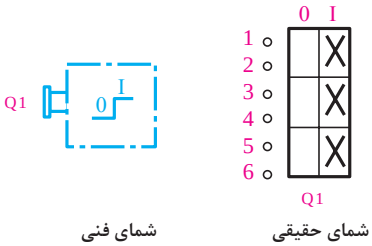
شکل الف) کلید گردان



شکل ب) کلید اهرمی

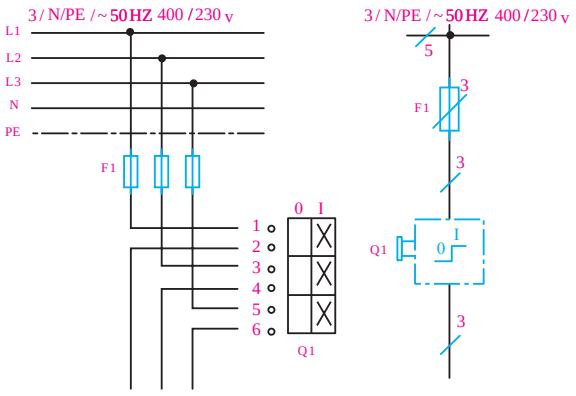
شکل ۲۸

در این کلید با چرخش ۹۰ درجه‌ای کلید گردان تابلویی یا چرخاندن اهرم کلید بدنه چدنی سه کنتاکت بازهم محور، به‌صورت همزمان بسته‌شده و مدار وصل می‌شود. با کلید قطع و وصل امکان راه‌اندازی موتور سه فاز در یک حالت (ستاره یا مثلث) امکان‌پذیر است به همین دلیل ضروری است روی تخته کلم موتور اتصال موتور به‌صورت ثابت ایجاد شود. در شکل (۲۹) شمای حقیقی و فنی کلید قطع و وصل (۰ ـ ۱) را نشان داده‌شده است.



شکل ۲۹ـ شمای حقیقی و فنی کلید قطع زمین

نقشه مدار حقیقی و فنی (تک‌خطی) کلیدهای قطع و وصل (۰ ـ ۱) در شکل (۳۰) نشان داده‌شده است. براساس این نقشه‌ها می‌توان کلید را به هر مصرف‌کنندهٔ سه فاز در مدار اتصال داد.

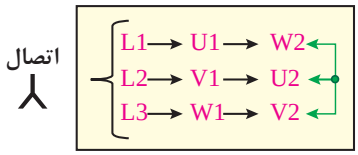


شکل ۳۰ـ نقشه حقیقی و فنی مدار قطع و وصل موتور سه‌فاز با کلید (۱ـ۰)

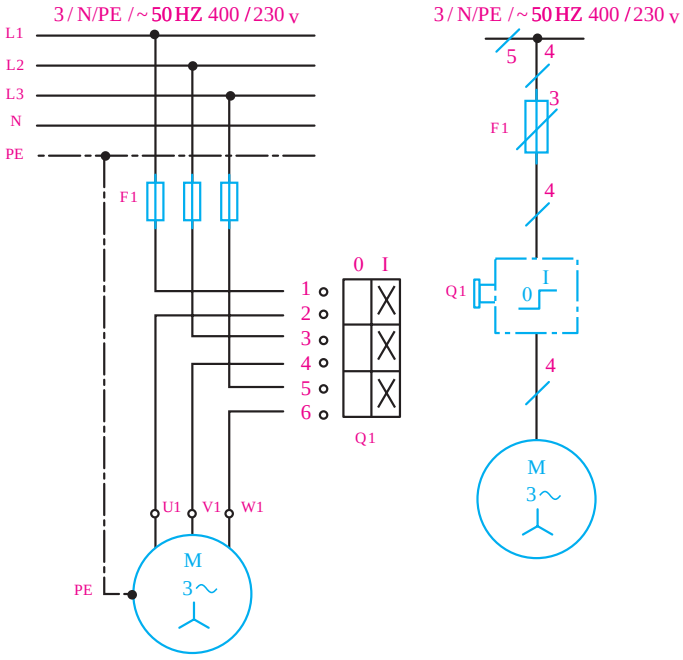
۲ـ۴ـ۱ راه‌اندازی موتور سه فاز در اتصال ستاره با کلید قطع و وصل (۱ – ۰)

درعمل و به جهت اختصار نوشتن عملکرد کلید ۱-۰ می‌توان آن را به‌صورت شکل (۳۱) نشان داد.

همان‌طوری که در شکل (۳۲) مشخص است با وصل کلید و بردن به حالت ۱ پیچ‌های شماره ۱، ۳، ۵ که به فازهای ورودی متصل هستند به ترتیب به پیچ‌های ۲، ۴، ۶ که به سرهای مصرف‌کننده (مانند ـ موتور الکتریکی) اتصال یافته و سه فاز به سرهای U1 و V1 و W1 اتصال می‌یابند.



شکل ۳۱ـ اتصال موتور به شبکه با کلید (۱ـ۰)



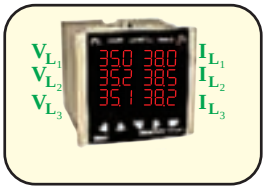
شکل ۳۲ـ شمای حقیقی و فنی

فیلم

اتصال ستاره کلاف‌های تخته کلم از لحظه ۱۵:۵۰ تا ۱۷:۵۰

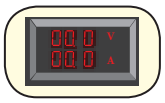
تذکر

تذکر ۱ـ توصیه می‌شود برای اندازه‌گیری ولتاژها و جریان‌های خطی مدار از وسایل اندازه‌گیری دیجیتالی که به‌صورت یک مجموعه هستند استفاده شود شکل (۳۳). چرا که علاوه‌بر بالا بودن درجه دقت در این وسایل، فضای کمتری را اشغال کرده و در صنعت نیز کاربرد بیشتری دارند.



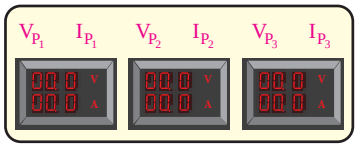
شکل ۳۳

تذکر ۲ـ توصیه می‌شود برای اندازه‌گیری ولتاژها و جریان‌های فازی مدار از وسایل اندازه‌گیری دیجیتالی تکی مطابق شکل (۳۴) استفاده نمایید.



شکل ۳۴

در شکل (۳۵) تصویری از مجموعه پیشنهادی برای پیش‌بینی ولت‌مترها و آمپرمترهای فازی نشان داده شده است.



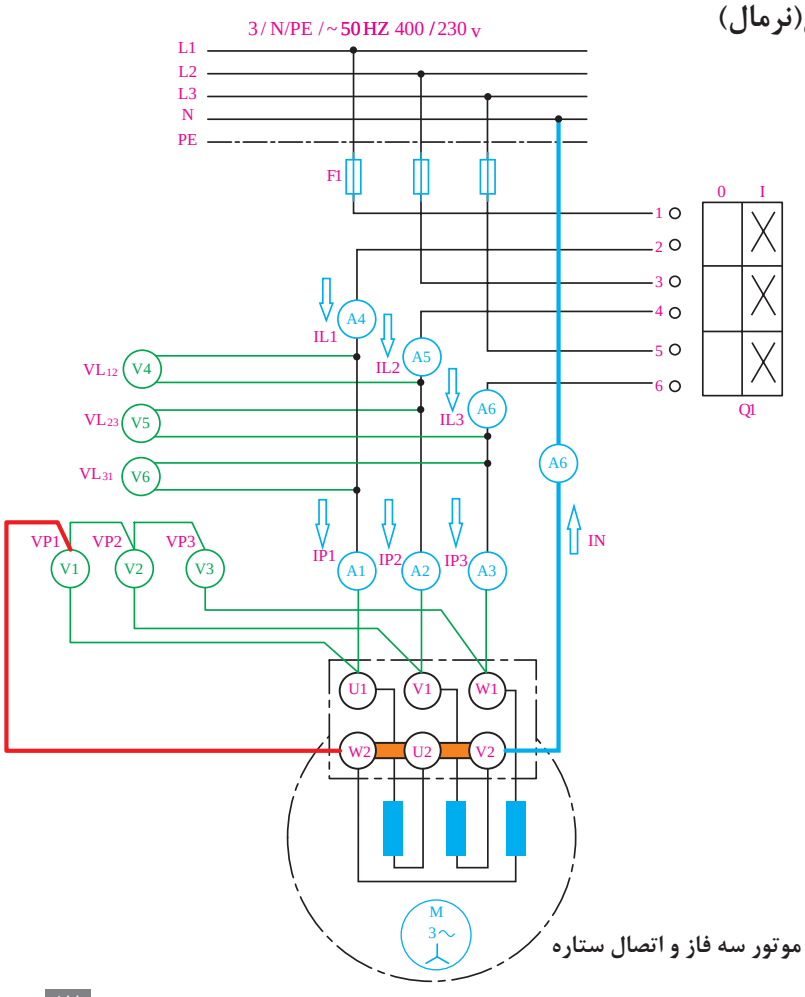
شکل ۳۵

کار عملی۱

هدف: راه‌اندازی موتور سه فاز در اتصال ستاره با کلید قطع و وصل(۱ - ۰)

I ـ مداردرشرایط کار طبیعی(نرمال)

۱ـ مدار راه‌اندازی موتور سه فاز اتصال ستاره ثابت را با استفاده از وسایل اندازه‌گیری مطابق نقشه نشان داده‌شده در شکل (۳۶) روی تابلو اتصال دهید.



شکل ۳۶ـ راه اندازی موتور سه فاز و اتصال ستاره

تذکر

برای بالا بردن ایمنی مدار و جلوگیری از برق‌گرفتگی ضروری است برای ایجاد اتصالات نشان داده‌شده در نقشه از ترمینال استفاده شود و از اتصال گیره و یا نوارچسب خودداری شود.

۲ـ پس از سیم‌کشی و کابل‌کشی بین قطعات، با حضور مربی فیوز را وصل و کلید را در حالت ۱ قرار دهید.
۳ـ مقادیر ولتاژها و جریان‌های خطی و فازی که توسط وسایل اندازه‌گیری نشان داده می‌شود را قرائت نموده و در جدول شماره (۱) ثبت کنید.

جدول شماره (۱)ـ اتصال ستاره موتور سه فاز در شرایط کار طبیعی

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P1}	I_{P2}	I_{P3}	V_{P1}	V_{P2}	V_{P3}	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}	V_{L1}	V_{L2}	V_{L3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۴ـ اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه‌گیری نموده و یادداشت نمایید.

I_N = ... جریان سیم نول

۵ـ از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ولت‌مترها و آمپرمترها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ آیا با مطالب تئوری که در متن درس با آن آشنا شده‌اید مطابقت دارد؟ مختصراً توضیح دهید.
۶ـ آیا شرایط بار نامتعادل را در این مدار می‌توان انجام داد؟ چرا؟

II ـ مداردرشرایط قطع یک‌فاز شبکه

۷ـ با حضور مربی خود، فیوز یکی از فازهای مدار را برای چند ثانیه در شرایط قطع یکفاز قرار داده و مقادیر ولتاژها و جریان‌های فازی را مشاهده کرده و در جدول (۲) ثبت کنید.

جدول شماره (۲)ـ اتصال ستاره موتور سه فازدرشرایط قطع یکفاز

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P1}	I_{P2}	I_{P3}	V_{P1}	V_{P2}	V_{P3}	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}	V_{L1}	V_{L2}	V_{L3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

فیلم

راه‌اندازی الکتروموتورهای سه فاز با اتصال ستاره از لحظه ۳۸:۲۲ تا ۴۰:۴۲

تحقیق

پیرامون ادامه کار موتور سه‌فاز با اتصال ستاره در شرایط قطع یکفاز در کتب فنی را بررسی نموده و در قالب یک تحقیق برای دوستان خود در کلاس ارائه دهید.

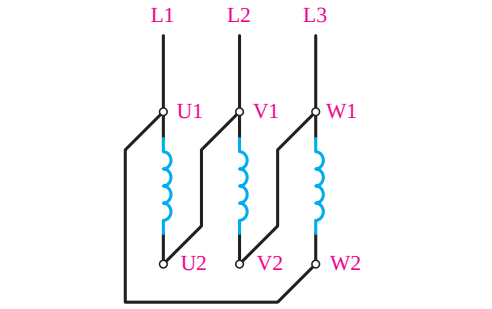
۵ـ۱ـ اتصال مثلث سیم‌پیچی موتور سه‌فاز

۱ـ۵ـ۱ اتصال مثلث

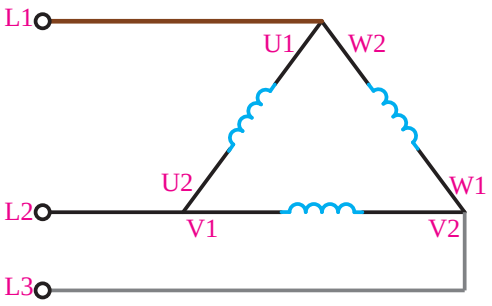
تعریف: هرگاه انتهای سیم‌پیچی اول (U2) به ابتدای سیم‌پیچی دوم (V1) ؛ انتهای سیم‌پیچی دوم (V2) به ابتدای سیم‌پیچی سوم (W1) و انتهای سیم‌پیچی سوم (W2) به ابتدای سیم‌پیچی اول (U1) متصل کرده و به ترتیب شبکه سه فاز L1, L2, L3 را به ابتدای هر سیم‌پیچی وصل کنیم این اتصال را "اتصال مثلث" گویند.

در اغلب متون فنی از شکل (۳۸) که تصویر دیگری از اتصال مثلث است برای نشان دادن و تحلیل مدار این اتصال استفاده می‌شود.

مشابه اتصال ستاره بر روی پلاک موتورها یا در مواردی که نیاز به خلاصه‌نویسی است از علامت (Δ) برای نشان دادن اتصال مثلث استفاده می‌شود.



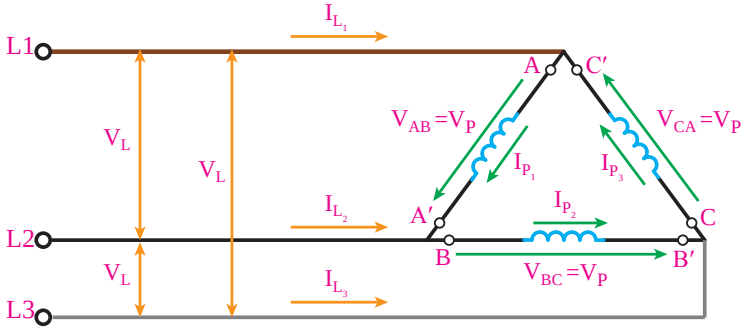
شکل ۳۷ـ اتصال مثث



شکل ۳۸ـ اتصال مثلث

۲ـ۵ـ۱ ولتاژها و جریان‌ها در اتصال مثلث

با توجه به تعاریف ارائه‌شده برای ولتاژها و جریان‌ها در شبکه‌های سه‌فاز و بررسی آنها برای اتصال مثلث می‌توان به خصوصیات این اتصال پی برد.



شکل ۳۹ـ اتصال مثلث

همان‌طور که در شکل (۳۹) مشاهده می‌شود در اتصال مثلث ولتاژی که در دو سر هر کلاف موتور افت می‌کند برابر ولتاژ شبکه است. جریان جاری در هر کلاف (جریان فازی) با جریان جاری در شبکه (جریان خطی) متفاوت و به نسبت $\sqrt{۳}$ برابر از آن کمتر است. لذا به‌اختصار روابط مربوط به اتصالات مثلث را چنین می‌توان نوشت:

$$V_P = V_L$$

$$I_P = \frac{I_L}{\sqrt{۳}}$$

با در نظر گرفتن روابط فوق می‌توان نتیجه گرفت که ولتاژ دو سر هر کلاف در اتصال مثلث یک موتور سه فاز برابر خواهد شد با:

$$V_P = V_L = ۴۰۰ \quad V$$

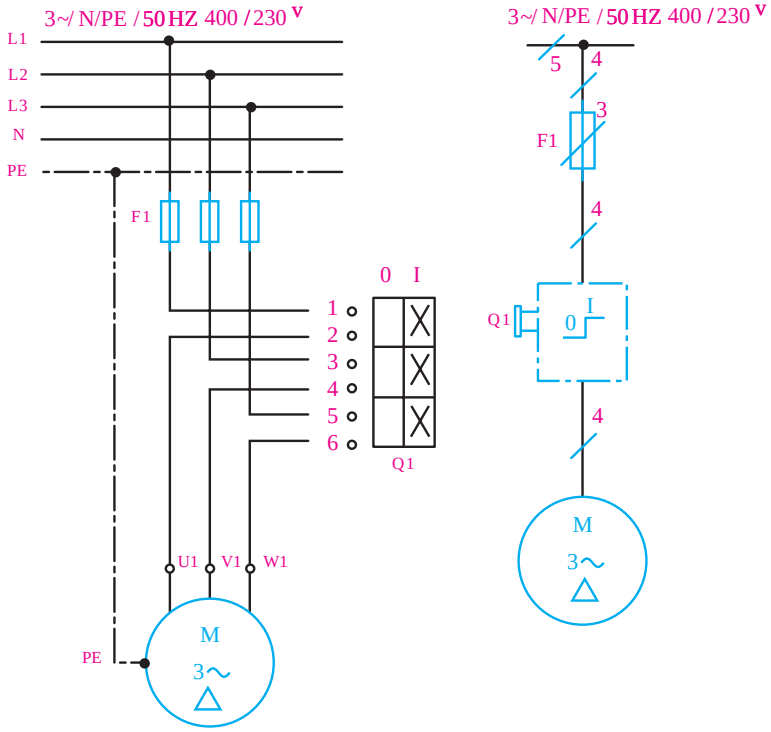
$$I_P = \frac{I_L}{\sqrt{۳}} = \frac{I_n \text{ (جریان نامی موتور)}}{\sqrt{۳}}$$

در صورتی که بخواهیم به‌طور مستقیم سیم‌پیچ‌های یک موتور را به‌صورت مثلث اتصال داده و به شبکه متصل نماییم باید با استفاده از تسمه‌های مسی، اتصال مثلث را مطابق شکل (۴۰) ایجاد نمود.

شکل ۴۰ـ اتصال مثلث موتور

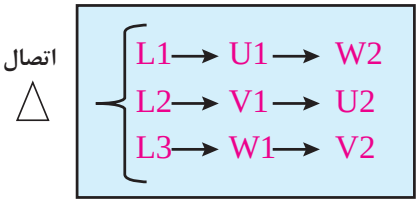
۲ـ۵ـ۱ راه‌اندازی موتور سه فاز در اتصال مثلث با کلید قطع و وصل (۰ ـ ۱)

با کلید قطع و وصل امکان راه‌اندازی موتور سه فاز در یک حالت (ستاره یا مثلث) امکان‌پذیر است به همین دلیل ضروری است روی تخته کلم موتور اتصال موتور به‌صورت ثابت ایجاد شود.



شکل ۴۱ـ شمای حقیقی و فنی کلید (۰ـ۱)

همان‌طوری که در شکل (۴۱) مشخص است با وصل کلید و بردن به حالت ۱ پیچ‌های شماره ۱، ۳، ۵ که به فازهای ورودی متصل هستند به ترتیب به پیچ‌های ۲، ۴، ۶ که به سرهای مصرف‌کننده (مانند ـ موتور الکتریکی) اتصال یافته و سه فاز به سرهای U1 و V1 و W1 اتصال می‌یابند. به‌اختصار عملکرد کلید ۱ـ۰ را به‌صورت روبرو می‌توان نوشت.



شکل ۴۲ـ اتصال ترمینال‌ها به‌صورت مثلث

فیلم

اتصال مثلث الکتروموتور در تخته کلم از لحظه ۱۷:۵۱ تا ۱۸:۴۰

فیلم

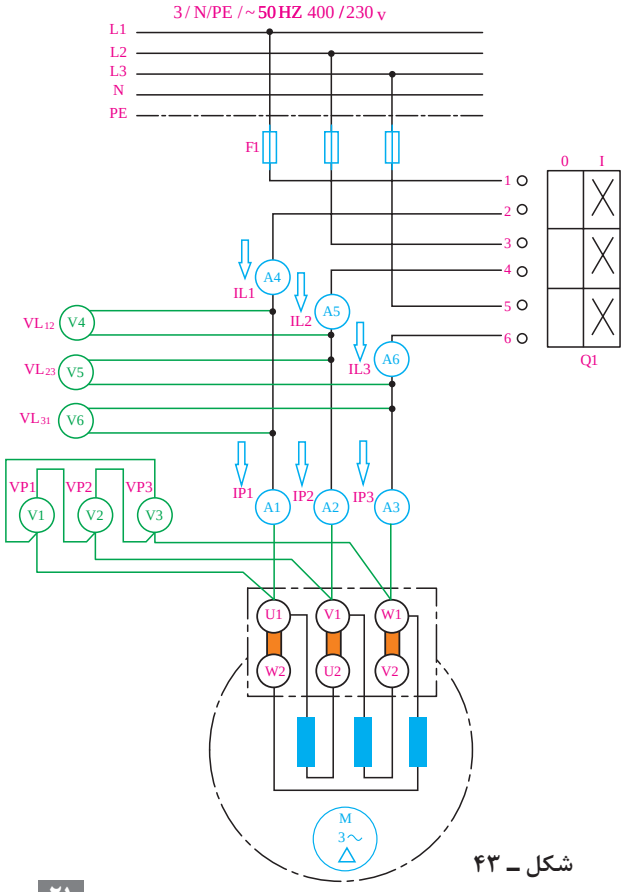
راه‌اندازی الکتروموتورها با کلید از لحظه ۳۵:۴۲ تا ۴۰:۴۰

کار عملی ۲

هدف: راه‌اندازی موتور سه فاز در اتصال مثلث با کلید قطع و وصل (۰ـ۱)

I ـ مداردرشرایط کار طبیعی (نرمال)

۱ـ مدار راه‌اندازی موتور سه فاز اتصال مثلث ثابت را با استفاده از وسایل اندازه‌گیری مطابق نقشه نشان داده‌شده در شکل (۴۳) روی تابلو اتصال دهید.



شکل ـ ۴۳

تذکر

برای بالا بردن ایمنی مدار و جلوگیری از برق‌گرفتگی ضروری است برای ایجاد اتصالات نشان داده‌شده در نقشه از ترمینال استفاده شود و از اتصال گیره و یا نوارچسب خودداری شود.

۲ـ پس از سیم‌کشی و کابل‌کشی بین قطعات، با حضور مربی فیوز را وصل و کلید را در حالت ۱ قرار دهید.
۳ـ مقادیر ولتاژها و جریان‌های خطی و فازی که توسط وسایل اندازه‌گیری نشان داده می‌شود را قرائت نموده و در جدول شماره (۳) ثبت کنید.

جدول شماره (۳)ـ اتصال مثلث موتور سه فازدرشرایط کار طبیعی

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P1}	I_{P2}	I_{P3}	V_{P1}	V_{P2}	V_{P3}	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}	V_{L1}	V_{L2}	V_{L3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۴ـ از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ولت‌مترها و آمپرمترها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ آیا با مطالب تئوری که در متن درس با آن آشنا شده‌اید مطابقت دارد؟ مختصراً توضیح دهید.
۵ـ آیا شرایط بار نامتعادل را در این مدار می‌توان انجام داد؟ چرا؟

II ـ مدار در شرایط قطع یکفاز شبکه

۶ـ با حضور مربی خود، فیوز یکی از فازهای مدار را برای چند ثانیه در شرایط قطع یکفاز قرار داده و مقادیر ولتاژها و جریان‌های فازی را مشاهده کرده و در جدول (۴) ثبت کنید.

جدول شماره (۴)ـ اتصال مثلث موتور سه فاز در شرایط قطع یکفاز

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P1}	I_{P2}	I_{P3}	V_{P1}	V_{P2}	V_{P3}	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}	V_{L1}	V_{L2}	V_{L3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

تحقیق

پیرامون ادامه کار موتور سه‌فاز با اتصال ستاره در شرایط قطع یکفاز در کتب فنی را بررسی نموده و در قالب یک تحقیق برای دوستان خود در کلاس ارائه دهید.

۶ـ۱ توان الکتریکی در مدارهای سه فاز

به‌طورکلی می‌توان در مدارهای سه‌فاز بر پایه مقادیر خطی از روابط زیر توان کل مدار را محاسبه کرد:

توان ظاهری $S = \sqrt{۳}\, V_L\, I_L$

توان مفید (حقیقی) $P = \sqrt{۳}\, V_L\, I_L \cos\varphi$

توان غیرمفید(غیرحقیقی) $Q = \sqrt{۳}\, V_L\, I_L \sin\varphi$

V_Lـ ولتاژ خط
I_Lـ جریان خط
$\cos\varphi$ـ ضریب قدرت واته (اکتیو ـ مؤثر ـ حقیقی)
$\sin\varphi$ـ ضریب قدرت دواته (راکتیو ـ غیرمؤثر ـ غیرحقیقی)
φـ زاویه اختلاف‌فاز بین ولتاژ و جریان

بر پایه روابط کلی توان و همچنین بهره‌گیری از ارتباط بین ولتاژها و جریان‌های خطی و فازی، توان‌های هر فاز را طبق روابط زیر می‌توان از روی مقادیر فازی نیز به‌دست آورد.

$$S_\varphi = V_P . I_P = Z . I_P^{۲} = \frac{V_P^{۲}}{Z}$$

$$P_\varphi = V_P . I_P . \cos\varphi = R . I_P^{۲} = \frac{V_P^{۲}}{R}$$

$$Q_\varphi = V_P . I_P . \sin\varphi = X . I_P^{۲} = \frac{V_P^{۲}}{X}$$

V_Pـ ولتاژ فازی
I_Pـ جریان فازی
φـ زاویه اختلاف‌فاز بین ولتاژ و جریان
Rـ خاصیت اهمی هر فاز
Xـ خاصیت راکتانسی هر فاز
Zـ خاصیت امپدانسی هر فاز

بر پایه توان‌های فازی روابط توان‌های ظاهری، مصرفی و غیرمصرفی کل مدار را از روابط زیر می‌توان محاسبه کرد.

بار متعادل و نامتعادل

$P_۱$ & $Q_۱$ ـ توان اکتیو و راکتیو فاز اول
$P_۲$ & $Q_۲$ ـ توان اکتیو و راکتیو فاز دوم
$P_۳$ & $Q_۳$ ـ توان اکتیو و راکتیو فاز سوم

$$P_T = P_۱ + P_۲ + P_۳$$
$$Q_T = Q_۱ + Q_۲ + Q_۳$$
$$S = \sqrt{P_T^{۲} + Q_T^{۲}}$$

بار متعادل

P_Tـ توان اکتیو کل مدار
Q_Tـ توان راکتیو کل مدار

$$P_T = ۳\, P_۱$$
$$Q_T = ۳\, Q_۱$$
$$S = \sqrt{P_T^{۲} + Q_T^{۲}}$$

۷ـ۱ بررسی توان مصرفی در اتصالات ستاره و مثلث

توانی که روی پلاک موتورهای الکتریکی نوشته می‌شود، توان خروجی یا توان مفید است.
از رابطهٔ (۱) برای محاسبهٔ توان هر فاز استفاده می‌شود.

$P_P=V_P.I_P.\cos\varphi$ (۱)

چون مشخصات سیم‌پیچی‌های هر سه فاز موتور یکسان است، برهمین‌اساس برای محاسبهٔ توان کل سه‌فاز به صورت مقابل می‌توان عمل کرد.

$P=3P_P$ توان سه‌فاز (۲)

۱ـ۷ـ۱ توان مصرفی در اتصال ستاره

برای محاسبه توان مصرفی در اتصال ستاره از روابط زیر می‌توان استفاده کرد.

در اتصال ستاره داریم:

$V_L=\sqrt{3}V_P$

$I_L=I_P$

طبق قانون اهم می‌توان نوشت:

$$I_L=I_P=\frac{V_P}{Z}=\frac{\frac{V_L}{\sqrt{3}}}{Z}$$

با جایگذاری مقادیر فوق در رابطه توان مصرفی کل مدار خواهیم داشت:

$P_\lambda=3P_P=3(V_P)(I_P)\cos\varphi$

$$P_\lambda=3(\frac{V_L}{\sqrt{3}})(\frac{V_L}{\sqrt{3}Z})\cos\varphi$$

$$P_\lambda=\frac{V_L^2}{Z}\cos\varphi \qquad (۴)$$

۱ـ۷ـ۲ توان مصرفی در اتصال مثلث

برای محاسبه توان مصرفی در اتصال مثلث نیز می‌بایست مشابه اتصال ستاره روابط اصلی توان را در نظر گرفته و با جایگذاری روابط خاص ولتاژ و جریان فازی در آنها می‌توان رابطه نهایی را به‌دست آورد.

در اتصال مثلث داریم:

$V_L=V_P$

$I_L=\sqrt{3}I_P$

طبق قانون اهم می‌توان نوشت:

$$I_L=\sqrt{3}(\frac{V_L}{Z})$$

با جایگذاری مقادیر فوق در رابطه توان مصرفی کل مدار خواهیم داشت:

$P_\Delta=3P_P=3(V_P)(I_P)\cos\varphi$

$$P_\Delta=3(V_L)(\frac{V_L}{Z})\cos\varphi$$

$$P_\Delta=3\frac{V_L^2}{Z}\cos\varphi \qquad (۵)$$

۸ـ۱ مقایسه توان مصرفی اتصال‌های ستاره و مثلث

از مقایسه روابط نهایی توان در اتصالات ستاره ـ مثلث می‌توان به ارتباط بین آنها پی برد.

$$\frac{P_\lambda}{P_\Delta}=\frac{\frac{V_L^2}{Z}.\cos\varphi}{\frac{3V_L^2}{Z}.\cos\varphi}=\frac{V_L^2.\cos\varphi.Z}{3V_L^2.\cos\varphi.Z}\Rightarrow\frac{P_\lambda}{P_\Delta}=\frac{1}{3}\qquad(۶)$$

از مقایسهٔ توان موتور در حالت ستاره با توان موتور در حالت مثلث و محاسبهٔ مقدار نسبت این توان‌ها می‌توان به نتیجه‌ای مطابق رابطهٔ (۶) دست یافت.

$$P_\lambda=\frac{1}{3}P_\Delta\qquad(۶)$$

تذکر

۱ـ در اتصال مثلث چون ولتاژ دو سر هر کلاف برابر ولتاژ نامی است لذا جریان عبوری و توان مصرفی هر فاز مقدار نامی موتور است و درنتیجه داریم : $P_\Delta=P_n$

اما زمانی‌که موتور در اتصال ستاره (λ)کار می‌کند موتور دارای توان کمتری است، به همین دلیل نباید در اتصال ستاره (λ) روی محور موتور فشار زیاد آورده شود چون قدرت موتور به‌اندازه‌ی کافی برای غلبه بر فشار وارده نیست.در چنین شرایطی موتور برای ایجاد میدان مغناطیسی قوی‌تر و غلبه بر نیروی مکانیکی وارده از طرف بار، جریان بیشتری را از شبکه دریافت می‌کند. این درخواست افزایش جریان باعث می‌شود تا سیم‌پیچی‌های موتور کم‌کم گرم شده و درنهایت موجب سوختن سیم‌پیچی‌های موتور خواهد شد.

یادآوری: همان‌گونه که در کتب سال گذشته آشنا شدید برای اندازه‌گیری توان از وسیله اندازه‌گیری وات‌متر می‌توان استفاده کرد. در شکل (۴۴) علامت اختصاری و شکل واقعی دو نمونه آنالوگ و دیجیتال آن را مشاهده می‌کنید. نحوه اتصال وات‌متر در مدار باید به‌صورت سری ـ موازی باشد. یعنی سیم‌پیچ جریان آن به‌صورت سری و سیم‌پیچ ولتاژ به‌صورت موازی در مداربسته می‌شود.

شکل ۴۴ـ علامت اختصاری و شکل ظاهری وات‌متر آنالوگ و دیجیتالی

فیلم

آشنایی با پلاک الکتروموتور سه فاز و اتصال الکتروموتور از لحظه ۱۸:۴۰ تا ۲۱:۲۰

برای اینکه یک موتور از حالت سکون به دور نامی برسد، آن را با وسایلی که "راه‌انداز" نامیده می‌شود به کار می‌اندازند. اگر موتورهای الکتریکی با قدرت بالا را مستقیماً به شبکه وصل کنیم، جریان راه‌اندازی حدود ۴ تا ۷ برابر جریان نامی از شبکه دریافت می‌کنند؛ در نتیجه احتمال دارد سیم‌های رابط و وسایل حفاظتی صدمه ببینند.

به همین دلیل است که موتورهای با قدرت پایین را مستقیماً به شبکه وصل می‌کنند اما موتورهای دارای جریان بالا و قدرت زیاد را توسط روش‌هایی راه‌اندازی می‌کنند تا بتوان جریان راه‌اندازی آنها را کنترل و محدود کرد. یکی از این روش‌های راه‌اندازی موتورهای سه فاز اتصال ستاره مثلث است. این روش را در موتورهایی می‌توان استفاده کرد که امکان وصل اتصال مثلث در شبکه را داشته باشند. جدول زیر روش‌های راه‌اندازی موتورهای سه فاز با قدرت‌های نامی مختلف به شبکه را نشان می‌دهد.

جدول شمارهٔ ۵ ـ طرز اتصال موتورهای سه‌فاز با قدرت‌های نامی

روش‌های راه‌اندازی	قدرت نامی	
	در شبکه ۲۳۰V	در شبکه ۴۰۰V
راه‌اندازی به‌صورت مستقیم	۱/۵kw تا ۳kw	۲/۲kw تا ۴kw
راه‌اندازی به‌صورت ستاره مثلث	۳kw تا ۵/۵kw	۴kw تا ۱۱kw

در واقع اتصال ستاره ـ مثلث روش کنترلی برای جریان دریافتی موتورهای سه فاز در لحظه راه‌اندازی است.

حالت ستاره $I_{L_\lambda} = \frac{V_P}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$

حالت مثلث $I_{L_\Delta} = \sqrt{3}I_P = \sqrt{3}(\frac{V_L}{Z})$

$$\frac{I_{L_\lambda}}{I_{L_\Delta}} = \frac{\frac{V_L}{\sqrt{3}Z}}{\sqrt{3}\frac{V_L}{Z}} = \frac{1}{3}$$

$$I_{L_\lambda} = \frac{1}{3}I_{L_\Delta}$$

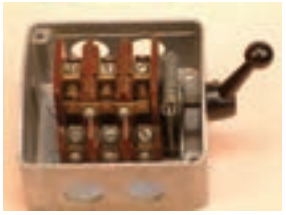
نتیجه: جریان در حالت ستاره، $\frac{1}{3}$ جریان در حالت مثلث است.

۹ـ۱ کلید ستاره ـ مثلث (Δ — ⅄ — O)

با توجه به مطالبی که در خصوص راه‌اندازی موتورهای سه فاز ستاره و مثلث بیان شد می‌دانیم که برای ایجاد تغییر قدرت در موتورهای سه‌فاز لازم است ابتدا موتورها را با اتصال ستاره راه‌اندازی نمود و پس از گذشت

مدت‌زمانی به حالت مثلث تغییر وضعیت داد تا موتور با قدرت نامی خود، کار کند.
شکل (۴۵) تصویر دو نمونه کلید ستاره ـ مثلث (گردان تابلویی و اهرمی) را نشان می‌دهد.

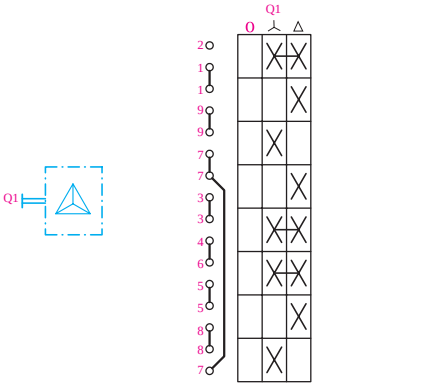
الف) کلید ستاره ـ مثلث زبانه‌ای



ب) کلید ستاره ـ مثلث اهرمی

شکل ۴۵

در شکل (۴۶) علامت اختصاری شمای حقیقی و شمای فنی کلید ستاره ـ مثلث را مشاهده می‌کنید.

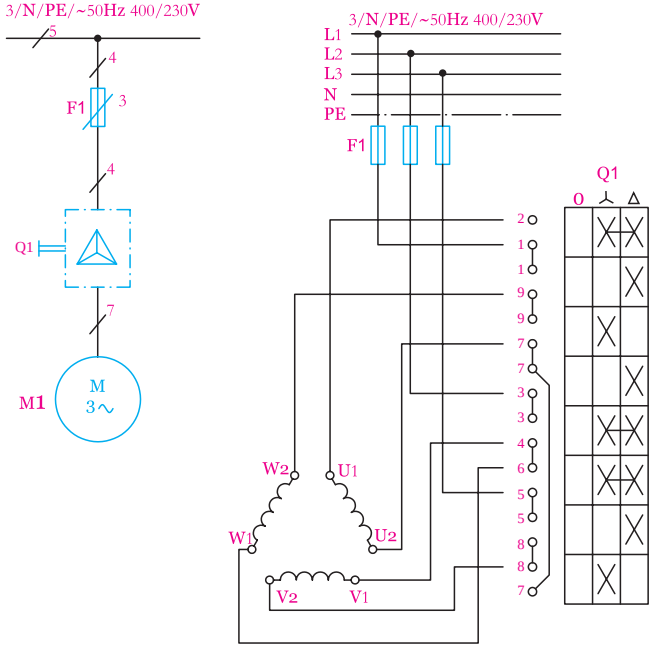


الف ـ شمای حقیقی ب ـ شمای فنی

شکل ۴۶ـ شمای حقیقی و فنی کلید ستاره ـ مثلث

۱ـ۹ـ۱ـ راه‌اندازی موتور سه فاز با کلید ستاره ـ مثلث (۰ ـ ۸ ـ Δ)

برای راه‌اندازی موتور سه فاز به‌صورت ستاره ـ مثلث از نقشه شکل (۴۷) می‌توان استفاده کرد.

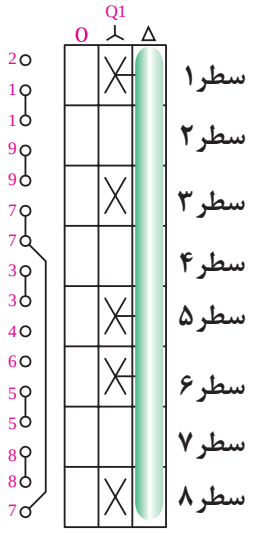


شکل ۴۷ـ شمای حقیقی و فنی اتصال ستاره ـ مثلث

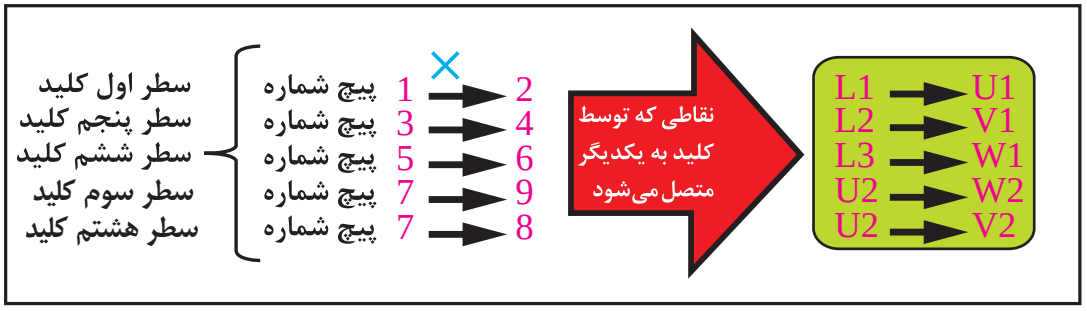
همان‌طور که در شکل (۴۷) مشاهده می‌شود پیچ‌های ۱، ۳، ۵ ورودی فازهای شبکه است و پیچ‌های ۲، ۴، ۶ به سرهای موتور یعنی W1، V1، U1 متصل شده و پیچ‌های ۷، ۸، ۹ به ترتیب به انتهای کلاف‌های موتور یعنی W2، V2، U2 متصل می‌شوند. برای آشنایی با طرز کار کلید و چگونگی عملکرد آن به بررسی و نقشه‌خوانی حالات کاری Y و Δ می‌پردازیم.

☑ حالت Y کلید

در سطرهای اول، سوم، پنجم، ششم و هشتم علامت **X** کلید در ستون حالت Y قرار دارد. برای اینکه نقشه‌خوانی کلید موردنظر به‌صورت خلاصه‌نویسی باشد از روشی که در شکل (۴۸) مشاهده می‌کنید استفاده‌شده است.



شکل۴۸ـ اتصالات کلید در حالت ستاره



X ـ نشان‌دهنده اتصال بین دو پیچ است (نقش کنتاکت داخل کلید را دارد)

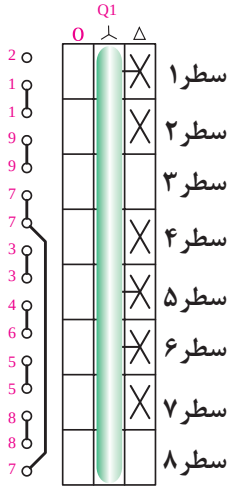
شکل ۴۹

همان‌گونه که می‌دانید برای ایجاد اتصال ستاره، لازم است تا به ابتدای کلاف‌های موتور شبکه را وصل نموده و انتهای کلاف‌ها را به یکدیگر متصل کنیم. با کمی دقت در شکل (۴۹) به‌خوبی مشخص است.

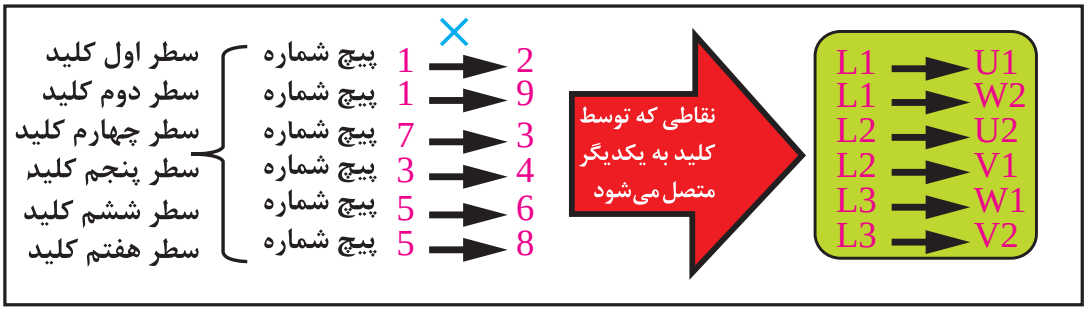
حالت Δ کلید

وقتی کلید در حالت Δ قرار می‌گیرد چون در سطرهای اول، دوم، چهارم، پنجم، ششم و هفتم علامت **X** قرار دارد، لازم است تا مسیر آنها را دنبال کرده و نقشه‌خوانی کنیم (شکل ۵۰).

برای حالت مثلث نیز به‌اختصار در شکل (۵۱) وضعیت اتصال پیچ‌های کلید نشان داده شده است.



شکل ۵۰ ـ اتصالات کلید در حالت مثلث



X ـ نشان‌دهنده اتصال بین دو پیچ است (نقش کنتاکت داخل کلید را دارد)

شکل ۵۱

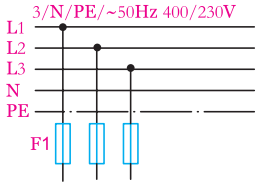
فیلم

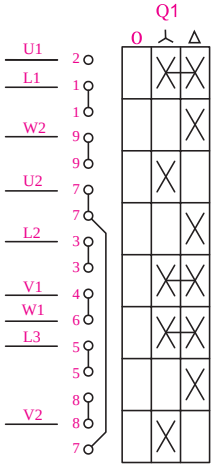
راه‌اندازی الکتروموتورهای سه فاز به‌صورت ستاره ـ مثلث از لحظه ۴۲:۴۵ تا ۴۷

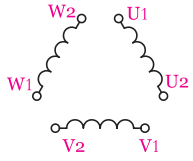
کار عملی ۳

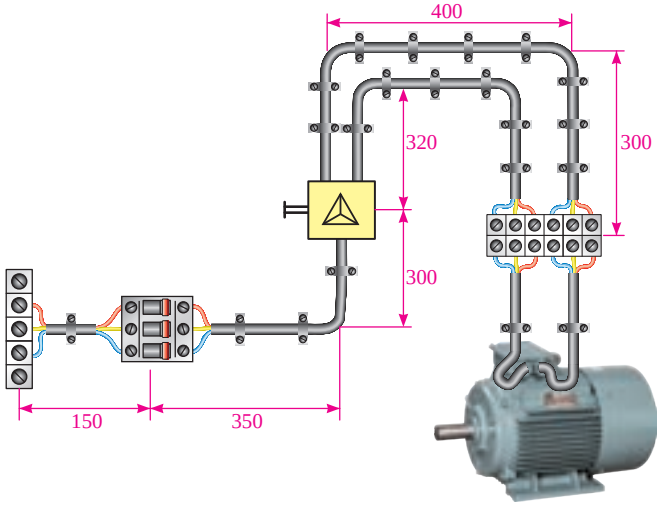
هدف: راه‌اندازی موتور سه فاز با کلید ستاره ـ مثلث (Δ ـ ⅄ ـ ۰)

۱ـ با بهره‌گیری از نقشه شکل ۴۷، ابتدا نقشه داده شده زیر را تکمیل کرده و سپس موتور سه فاز را مطابق مدار نشان داده‌شده در شکل (۵۲) با استفاده از وسایل اندازه‌گیری روی تابلو اتصال دهید.









شکل ۵۲ ـ نقشه راه‌اندازی الکتروموتور با کلید ستاره ـ مثلث

تذکر

برای بالا بردن ایمنی مدار و جلوگیری از برق‌گرفتگی ضروری است برای ایجاد اتصالات نشان داده شده در نقشه از ترمینال استفاده شود و از اتصال گیره و یا نوار چسب خودداری شود.

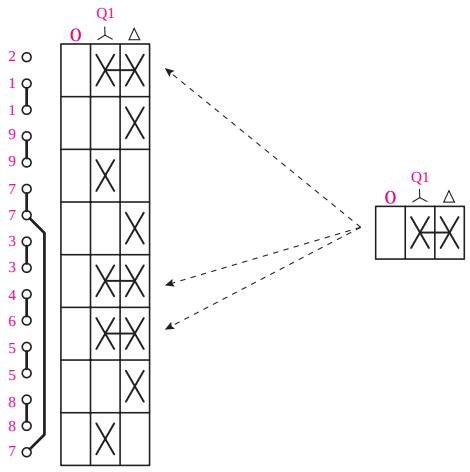
۲ـ مدار کلید ستاره ـ مثلث را با استفاده از شکل (Δ) توسط کابل یا داکت روی تابلو اتصال دهید.

۳ـ در حضور مربی خود کلید را در حالت ستاره (Y) قرار داده و طرز کار موتور را بررسی کنید.

۴ـ کلید مدار را در حالت مثلث (Δ) قرار دهید و طرز کار موتور را بررسی کنید.
۵ـ از مقایسه حالات کارکرد موتور در حالت ستاره با حالت مثلث چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
۶ـ آیا با مطالب تئوری که در متن درس با آن آشنا شده‌اید مطابقت دارد؟ مختصراً توضیح دهید.

سؤال:

چرا در برخی از سطرهای کلید ستاره ـ مثلث وضعیت رسم کلید به‌صورت شکل (۵۳) است؟ علت را بررسی نموده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

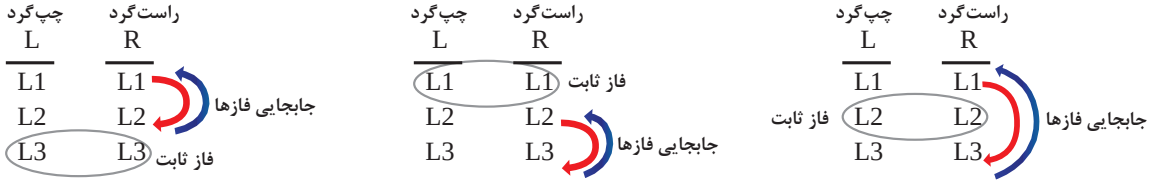


شکل ۵۳ـ اتصالات مختلف کلید

۱۰ـ۱ـ تغییر جهت گردش در موتورهای الکتریکی سه فاز

به‌طورکلی در تجهیزات صنعتی مختلف مواردی وجود دارد که لازم است تا جهت گردش موتور سه فاز نصب شده روی آن عوض شود. از جمله این موارد ماشین‌های تراش، نوار نقاله‌ها و جرثقیل‌های سقفی کارخانجات را می‌توان نام برد. در صنعت به این تغییر جهت گردش موتور "چپ‌گرد ـ راست‌گرد" شدن موتور گفته می‌شود. برای ایجاد تغییر جهت گردش در موتورهای سه فاز لازم است تا جهت گردش میدان مغناطیسی در فضای داخلی اطراف موتور عوض شود، به همین خاطر ضروری است در یکی از حالات (چپ‌گرد یا راست‌گرد) تا جای دو فاز را با هم عوض کنیم.

بر پایه این مطلب پس این کار را به سه صورت می‌توان انجام داد که در شکل (۵۴) مشاهده می‌کنید.

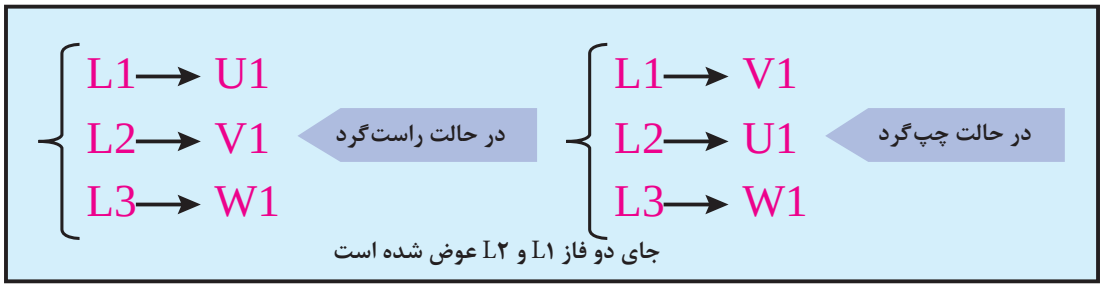


شکل ۵۴ـ تغییر جهت چرخش در موتورهای سه فاز

فیلم

تغییر جهت گردش الکتروموتور از لحظه ۴۰:۴۴ تا ۴۲:۴۰

در برخی کتب به جهت خلاصه‌نویسی، عوض شدن جای دو فاز را به‌صورت شکل (۵۵) نیز نشان می‌دهند.



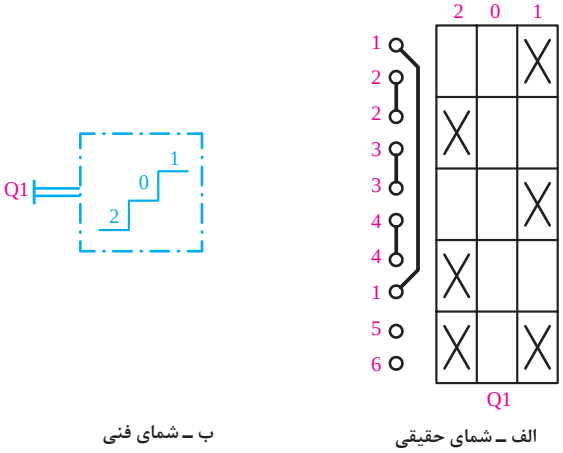
شکل ۵۵ـ جابجایی فازها

۱۱ـ۱ـ کلید چپ‌گرد ـ راست‌گرد (۱ ـ ۰ ـ ۲) یا (R ـ 0 ـ L)

برای تغییر جهت موتور لازم است تا موتور سه فاز روی تخته کلم موتور دارای اتصال ثابت ستاره یا مثلث باشد. شکل (۵۶) تصویر دو نمونه کلید چپ‌گرد ـ راست‌گرد (گردان تابلویی و اهرمی) را نشان می‌دهد.

شکل ۵۶ـ کلید چپ‌گرد ـ راست‌گرد

در شکل (۵۷) علامت اختصاری شمای حقیقی و شمای فنی کلید چپ‌گرد ـ راست‌گرد را مشاهده می‌کنید.



الف ـ شمای حقیقی ب ـ شمای فنی

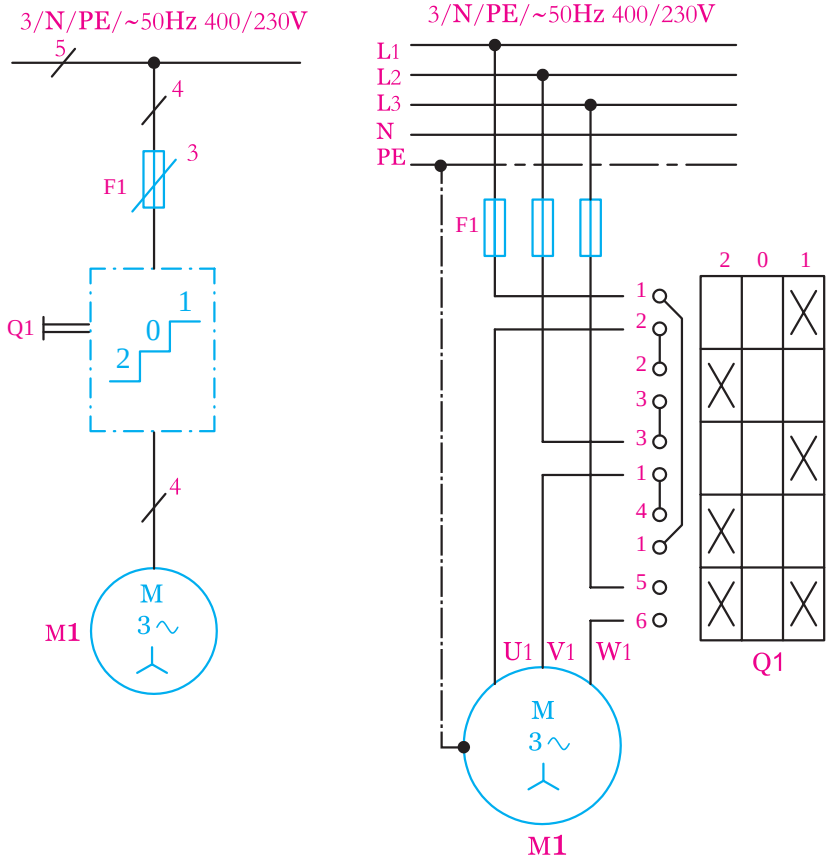
شکل ۵۷ـ کلید چپ‌گرد ـ راست‌گرد

نکته

در استاندارد IEC از (۱ـ۰ـ۲) به جای (L ـ ۰ـ R) استفاده می‌کند که ما نیز در ترسیم نقشه‌ها موظف به رعایت آن هستیم.

۱ـ۱۱ـ۱ـ راه‌اندازی موتور سه فاز با کلید چپ‌گرد ـ راست‌گرد (۱ ـ ۰ ـ ۲)

برای راه‌اندازی موتور سه فاز به‌صورت چپ‌گرد ـ راست‌گرد از نقشه شکل (۵۸) می‌توان استفاده کرد.



ب ـ شمای فنی

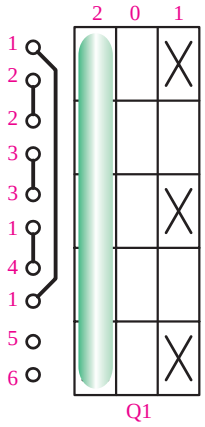
الف ـ شمای حقیقی

شکل ۵۸ـ شمای حقیقی و فنی مدار راست‌گرد و چپ‌گرد

همان‌طوری که در شکل (۵۸) مشاهده می‌شود پیچ‌های ۱، ۳، ۵ ورودی فازهای شبکه است و پیچ‌های ۲، ۴، ۶ به سرهای موتور متصل می‌شود.

حالت ۱ کلید

وقتی کلید در حالت یک قرار می‌گیرد چون در سطرهای اول، سوم و پنجم علامت X قرار دارد پیچ ۱ به ۲ـ ۳ به ۴ و ۵ به ۶ اتصال می‌یابد و درنتیجه فاز L1 به U1، فاز L2 به V1 و فاز L3 به W1 متصل شده و موتور به‌صورت راست‌گرد شروع به کار می‌کند. (شکل ۵۹)

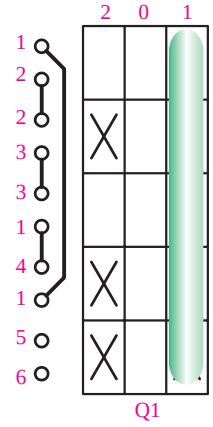


شکل ۵۹ـ اتصالات داخل کلید در حالت راست‌گرد

حالت ۲ کلید

مطابق شکل (۶۰) وقتی کلید در حالت دو قرار می‌گیرد چون در سطرهای دوم، چهارم و پنجم علامت X قرار دارد پیچ ۲ به ۳ـ۴ به ۱ و ۵ به ۶ اتصال می‌یابد و درنتیجه فاز L1 به V1، فاز L2 به U1 و فاز L3 به W1 متصل می‌شود و موتور به‌صورت چپ‌گرد کار خواهد کرد.

از مقایسه علامت‌های X که در سطرهای مختلف کلید قرارگرفته می‌توان دریافت که چون در سطر پنجم دو حالت ۱ و ۲ کلید که فاز سوم اتصال داده‌شده علامت X ثابت بوده و جای X در سطرهای اول تا چهارم تغییر کرده است. به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت که در این کلید برای تغییر جهت گردش موتور جای دو فاز اول (L1) و دوم (L2) عوض‌شده و فاز سوم (L3) ثابت بوده است.



شکل ۶۰ـ اتصالات داخل کلید در حالت چپ‌گرد

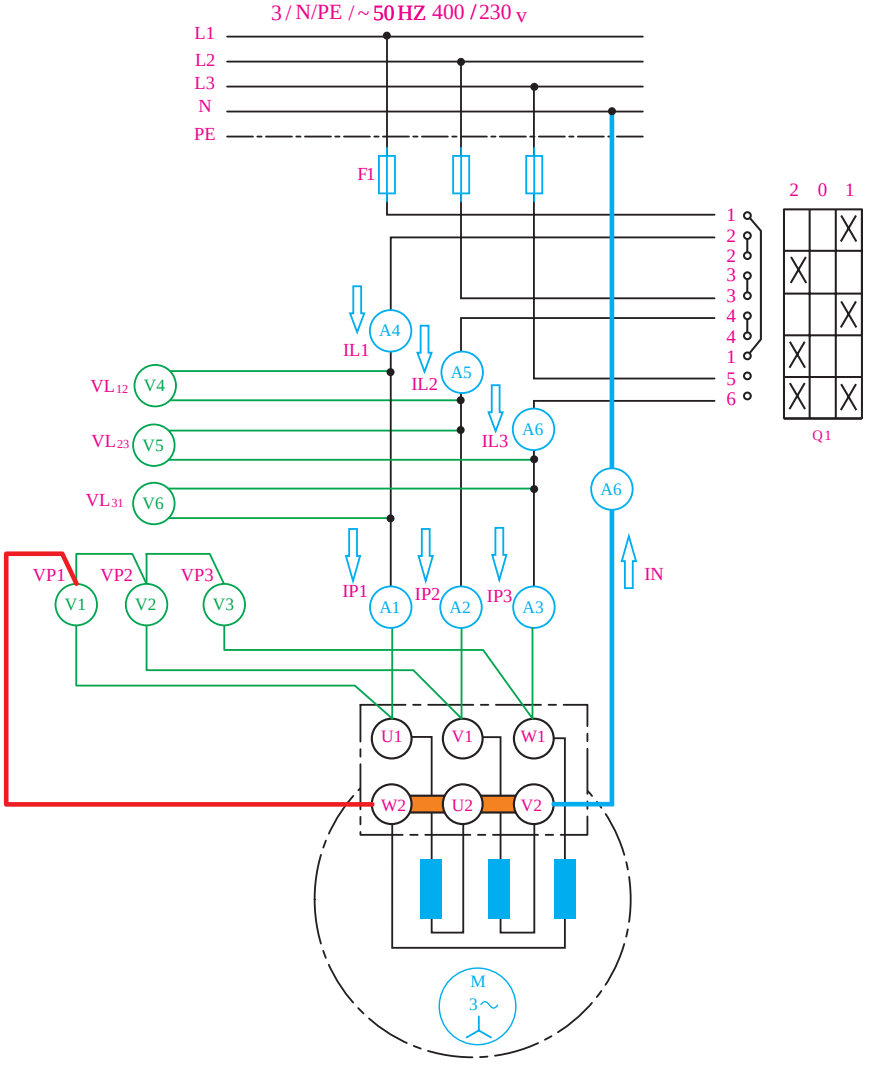
نکته

در هیچ‌یک از سطرهای حالت (۰)کلید علامت X وجود ندارد، لذا جریانی از شبکه به سرهای موتور نمی‌رسد و موتور در حالت خاموش خواهد بود.

کار عملی ۴

هدف: تغییر جهت گردش موتور سه فاز با کلید چپ‌گرد ـ راست‌گرد (۲ ـ ۰ ـ ۱)

۱ـ مدار راه‌اندازی موتور سه فاز با اتصال ستاره ثابت به‌صورت چپ‌گرد ـ راست‌گرد را با استفاده از وسایل اندازه‌گیری مطابق نقشه نشان داده شده در شکل (۶۱) روی تابلو اتصال دهید.



شکل ۶۱ ـ تغییر جهت گردش با کلید چپ‌گرد ـ راست‌گرد

تذکر

برای بالا بردن ایمنی مدار و جلوگیری از برق‌گرفتگی ضروری است برای ایجاد اتصالات نشان داده شده در نقشه از ترمینال استفاده شود و از اتصال گیره و یا نوار چسب خودداری شود.

۲ـ پس از سیم‌کشی و کابل‌کشی بین قطعات، با حضور مربی فیوز را وصل و کلید را در حالت ۱ قرار دهید.

جدول شماره ۶ـ اتصال ستاره موتور سه فاز در حالت راست‌گرد(حالت ۱ کلید)

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۳ـ مقادیر ولتاژها و جریان‌های خطی و فازی که توسط وسایل اندازه‌گیری نشان داده می‌شود را قرائت نموده و در جدول شماره ۶ ثبت کنید.

۴ـ اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه‌گیری نموده و یادداشت نمایید.

I_N=..... جریان سیم نول

۵ـ کلید مدار را به حالت خاموش (۰) بازگردانده و سپس کلید مدار را در حالت (۲) قرار دهید.

۶ـ مقادیر ولتاژها و جریان‌های خطی و فازی که توسط وسایل اندازه‌گیری نشان داده می‌شود را قرائت نموده و در جدول شماره (۷) ثبت کنید.

جدول شماره ۷ـ اتصال ستاره موتور سه فاز در حالت چپ‌گرد (حالت ۲ کلید)

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۷ـ اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه‌گیری نموده و یادداشت نمایید.

I_N=..... جریان سیم نول

۸ـ از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و ثبت شده در جداول حالت راست‌گرد با حالت چپ‌گرد چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

آیا با مطالب تئوری که در متن درس با آن آشنا شده‌اید مطابقت دارد؟ مختصراً توضیح دهید.

۱۲ـ۱ـ بررسی مفاهیم بارهای متعادل و نامتعادل در مصرف‌کننده‌های سه فاز

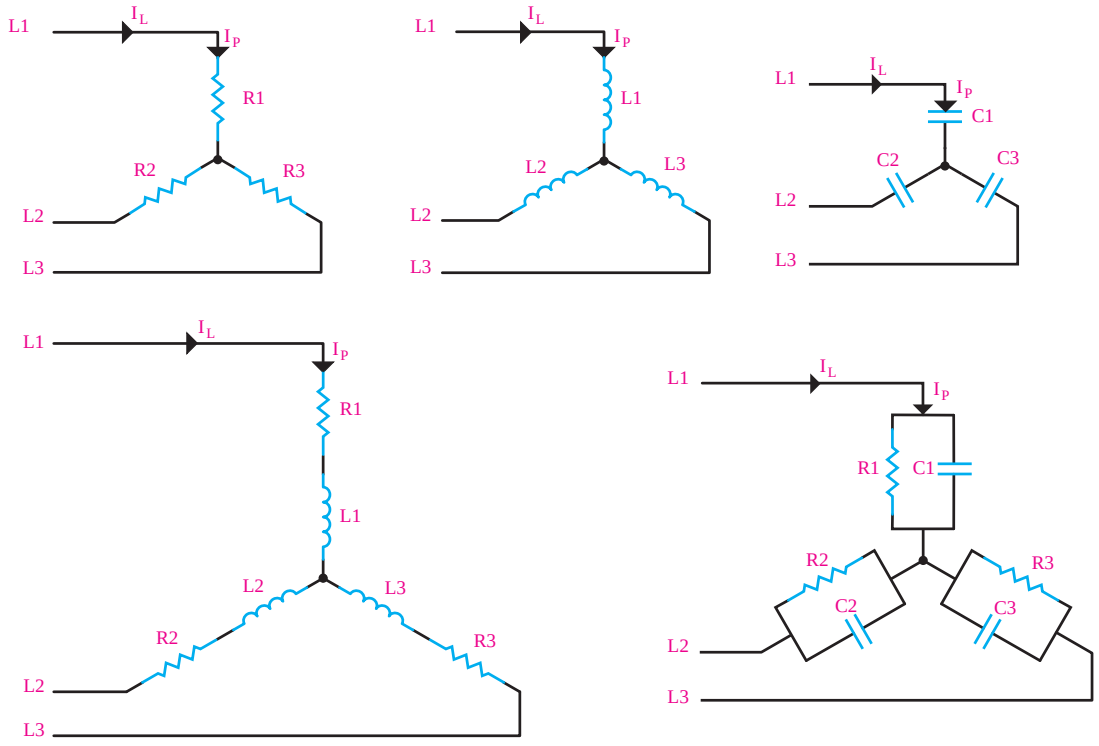
در یک مصرف‌کننده سه فاز هرگاه مشخصات هر سه شاخه که در مسیر سه فاز قرار می‌گیرد با یکدیگر ازنظر نوع، مقدار (اندازه) و زاویه اختلاف‌فاز مساوی باشند آن اتصال را "اتصال متعادل" گویند.

درصورتی‌که مقادیر اندازه، زاویه اختلاف‌فاز و نوع (حتی یک مورد) با یکدیگر برابر نباشند آن اتصال را "اتصال نامتعادل" گویند.

در توضیحات زیر به بررسی وضعیت مدارهای سه فاز با اتصالات ستاره و مثلث در شرایط متعادل و نامتعادل پرداخته می‌شود.

۱ـ۱۲ـ۱ اتـصال ســـتاره

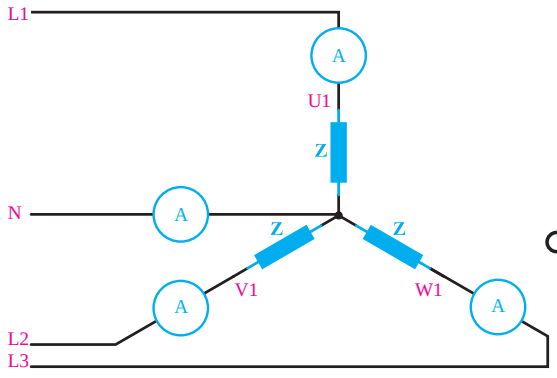
الف) بار متعادل: در این حالت چون مقدار مقاومت (R) یا راکتانس (X) هر سه فاز یکسان است لذا جریان عبوری از هر فاز (I_P) و جریان عبوری از خطوط شبکه سه فاز (I_L) برابر است. شکل (۶۲) تصویر چند نمونه بار با اتصال ستاره متعادل را نشان می‌دهد.



شکل ۶۲ـ ستاره متعادل

توضیح ۱ـ اصطلاحاً به مقاومت معادل، عناصر اهمی خالص (R) و عناصر مقاومت القایی و خازنی (X) "مقاومت ظاهری" یا "امپدانس ـ Z " گفته می‌شود.

توضیح ۲ـ در اتصال ستاره می‌توان محل اتصال انتهای سیم‌پیچ‌ها (نقطه N) را به سیم نول شبکه اتصال داد.



Z_1 ـ بار اهمی خالص

Z_2 ـ بار اهمی خالص

Z_3 ـ بار اهمی خالص

$Z_1 = Z_2 = Z_3$

شکل ۶۳ ـ اتصال ستاره با نول

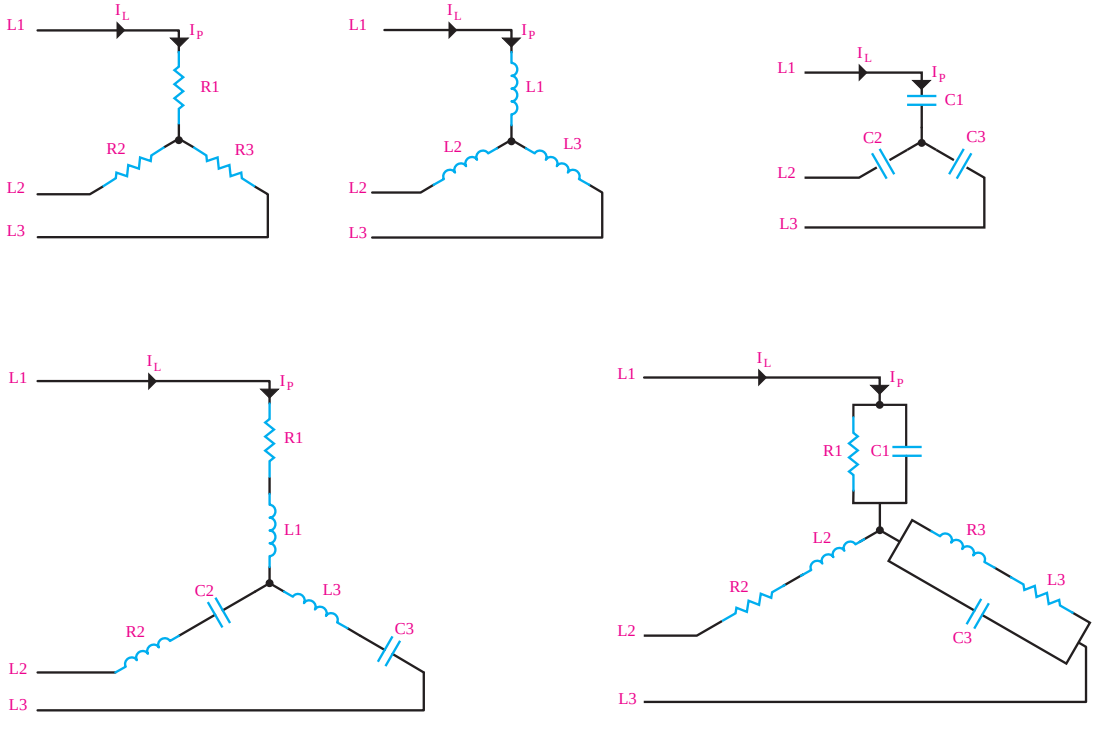
در شرایط ستاره متعادل چون جریان‌های فازی و خطی هر سه فاز برابر است لذا جمع برداری جریان جاری سیم نول (مسیر برگشت جریان فازها) برابر صفر خواهد شد.

$I_{P_1} = I_{P_2} = I_{P_3} \quad \Rightarrow \quad I_{L_1} = I_{L_2} = I_{L_3}$

$I_N = I_{P_1} + I_{P_2} + I_{P_3}$

$I_N = 0$ در شرایط بار متعادل

ب) بار نامتعادل: در این حالت مشخصات هر شاخه اتصال ستاره که در مسیر سه فاز قرار می‌گیرند از نظر نوع، اندازه یا زاویه اختلاف فاز با یکدیگر مساوی نیستند به همین خاطر این اتصال را «اتصال ستاره نامتعادل» گویند. شکل (۶۴) تصاویری از اتصالات ستاره نامتعادل را نشان می‌دهد.

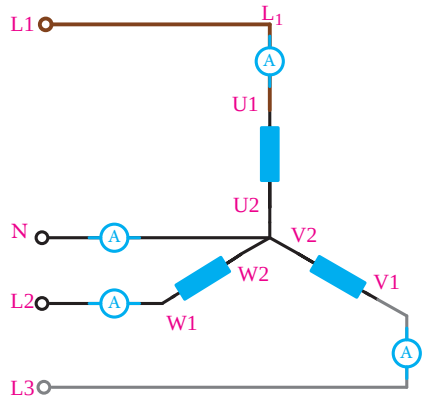


R1≠R2≠R3 L1≠L2≠L3 C1≠C2≠C3

شکل ۶۴ ـ ستاره نامتعادل

در اتصال ستاره نامتعادل چون مشخصات مقاومتی (امپدانسی) فازها با یکدیگر یکسان نیست. لذا جریان‌هایی که از هر فاز عبور می‌کند با یکدیگر مساوی نخواهد شد. شکل (۶۵) تصویر یک اتصال ستاره نامتعادل را نشان می‌دهد.

از آنجایی که جریان‌های فازی در اتصال ستاره نامتعادل یکسان نیستند در نتیجه جمع برداری جریان جاری در سیم نول (مسیر برگشت جریان فازها) برابر صفر نیست.



شکل ۶۵ ـ ستاره نامتعادل

Z_1 ـ بار اهمی خالص
Z_2 ـ بار سلفی خالص
Z_3 ـ بار خازنی خالص

$Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3$

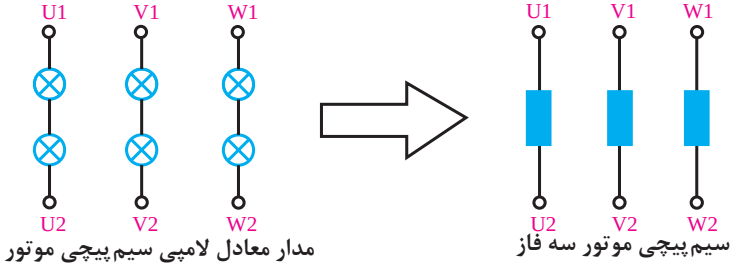
$I_{P_1} \neq I_{P_2} \neq I_{P_3} \quad \Rightarrow \quad I_{L_1} \neq I_{L_2} \neq I_{L_3}$

$I_N = I_{P_1} + I_{P_2} + I_{P_3} \neq 0$

در شرایط بار نامتعادل $I_N \neq 0$

تذکر

چون برای ایجاد حالت متعادل و نامتعادل در مصرف‌کننده سه فاز لازم است تا مشخصات مقاومتی (توانی) هر فاز را تغییر دهیم. به همین دلیل برای اجرای کارهای عملی این قسمت به‌جای استفاده از موتور سه فاز، از شش لامپ ۲۲۰ ولتی که به‌صورت دوبه‌دو سری بسته‌شده‌اند به‌عنوان مدار معادل هر یک از سیم‌پیچی‌های موتور سه فاز استفاده شده است. شکل (۶۶)



شکل ۶۶ ـ اتصال مدار لامپ برای حالت مثلث

تحقیق

چرا از دو لامپ ۲۲۰ ولت به‌صورت سری به‌عنوان مدار معادل لامپی برای هر فاز سیم‌پیچی موتور استفاده می‌شود؟

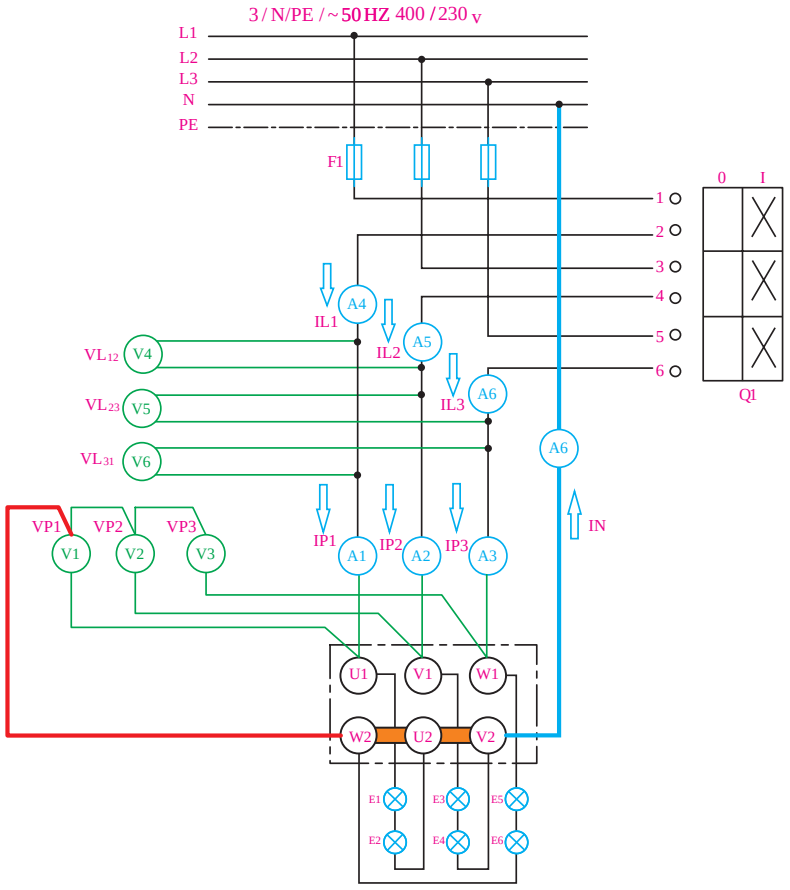
کار عملی ۵

هدف: اتصال مدار ستاره لامپی متعادل و نامتعادل در حالات کاری مختلف

الف) اتصال ستاره متعادل

I ـ مداردرشرایط کار طبیعی (نرمال)

۱ـ با توجه به شکل (۶۷) مدار الکتریکی را با استفاده از فیوز مینیاتوری سه فاز، کلید قطع و وصل سه‌فاز، آمپرمترها و ولت‌مترها و ۶ لامپ ۱۰۰W روی تابلو اتصال دهید.



شکل ۶۷ ــ اتصال مدار ستاره لامپی

۲ـ مقادیر جریان و ولتاژی که آمپرمترها و ولت‌مترهای خطی و فازی نشان می‌دهند را مشاهده کرده و در جدول شماره (۸) یادداشت کنید.

جدول شماره ۸ ــ ستاره متعادل در شرایط کار طبیعی

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۳ـ اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه‌گیری نموده و یادداشت نمایید.

I_N = جریان سیم نول .....

۴ـ از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ولت‌مترها و آمپرمترها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ آیا با مطالب تئوری که در متن درس با آن آشنا شده‌اید مطابقت دارد؟ توضیح دهید.

II ــ مدار در شرایط قطع یک‌فاز شبکه

۵ـ فیوز یکی از فازها را قطع نموده و مقادیر ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی را مشاهده کرده و در جدول شماره (۹) یادداشت نمایید.

جدول شماره ۹ـ ستاره متعادل در شرایط قطع یک‌فاز

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۶ـ اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه‌گیری نموده و یادداشت نمایید.

جریان سیم نول I_N=.....

۷ـ مقادیر اندازه‌گیری شده جدول شماره ۹ را با جدول شماره ۸ مقایسه کرده و در صورت وجود اختلاف علت را توضیح دهید.

III ـ مدار در شرایط قطع یک‌فاز سیم‌پیچی موتور (قطع یک لامپ)

۸ـ یکی از لامپ‌های موجود در مسیر یک‌فاز را قطع نموده و مقادیر ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی را مشاهده کرده و در جدول شماره (۱۰) یادداشت نمایید.

جدول شماره ۱۰ـ ستاره متعادل در شرایط قطع یک لامپ

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۹ـ اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه‌گیری نموده و یادداشت نمایید.

جریان سیم نول I_N=.....

۱۰ـ مقادیر اندازه‌گیری شده جدول شماره ۱۰ را با جدول شماره ۸ مقایسه کرده و درصورت وجود اختلاف علت را توضیح دهید.

ب) اتصال ستاره نامتعادل

I ـ در شرایط کار طبیعی (نرمال)

۱۱ـ در مدار شکل (۶۷) لامپ‌های موجود در مدار را به‌صورت ۲ لامپ ۶۰ وات سری در مسیر فاز اول، ۲ لامپ ۱۰۰ وات سری در مسیر فاز دوم و ۲ لامپ ۱۵۰ وات سری در مسیر فاز سوم تغییر دهید.

۱۲ـ مقادیر جریان و ولتاژی که آمپرمترها و ولت‌مترهای خطی و فازی نشان می‌دهند را مشاهده کرده و در جدول شماره ۱۱ یادداشت کنید.

جدول شماره ۱۱ـ ستاره نامتعادل

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۱۳ـ اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه‌گیری نموده و یادداشت نمایید.

جریان سیم نول I_N=.....

۱۴ـ مقادیر اندازه‌گیری شده جدول شماره ۱۱ را با جدول شماره ۸ مقایسه کرده و درصورتی‌که وجود اختلاف علت را توضیح دهید.

۱۵ـ از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ولت‌مترها آمپرمترها در شرایط مختلف چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ آیا با مطالب تئوری که در متن درس با آن آشنا شده‌اید مطابقت دارد؟ توضیح دهید.

II ـ در شرایط قطع یک‌فاز شبکه

۱۶ـ فیوز یکی از فازها را قطع نموده و مقادیر ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی را مشاهده کرده و درجدول شماره (۱۲) یادداشت نمایید

جدول شماره ۱۲ـ ستاره نامتعادل در شرایط قطع یک‌فاز

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۱۷ـ اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه‌گیری نموده و یادداشت نمایید.

جریان سیم نول I_N=.....

۱۸ـ مقادیر اندازه‌گیری شده جدول شماره ۱۲ را با جدول شماره ۱۱ مقایسه کرده و درصورت‌وجود اختلاف، علت را توضیح دهید.

III ـ در شرایط قطع یک‌فاز سیم‌پیچی موتور (قطع یک لامپ)

۱۹ـ یکی از لامپ‌های موجود در مسیر یک‌فاز را قطع نموده و مقادیر ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی را مشاهده کرده و در جدول شماره ۱۳ یادداشت نمایید.

جدول شماره ۱۳ـ ستاره نامتعادل در شرایط قطع یک لامپ

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۲۰ـ اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه‌گیری نموده و یادداشت نمایید.

جریان سیم نول I_N=.....

۲۱ـ مقادیر اندازه‌گیری شده جدول شماره ۱۳ را با جدول شماره ۱۱ مقایسه کرده و در صورت وجود اختلاف علت را توضیح دهید.

تمرین

توان مصرفی هرفاز وتوان مصرفی کل مدار های سه‌فازه با اتصال ستاره را با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشات و به ازای ۰/۹۹ =COSφ (ضریب قدرت تقریبی لامپ های رشته‌ای) به‌دست آورید؟

الف) اتصال ستاره متعادل در شرایط وصل سه فاز (بر اساس مقادیر جدول ۹)

ب) اتصال ستاره متعادل در شرایط قطع یک‌فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۰)

ج) اتصال ستاره متعادل در شرایط قطع لامپ (بر اساس مقادیر جدول ۱۱)

د) اتصال ستاره نا متعادل در شرایط وصل سه فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۲)

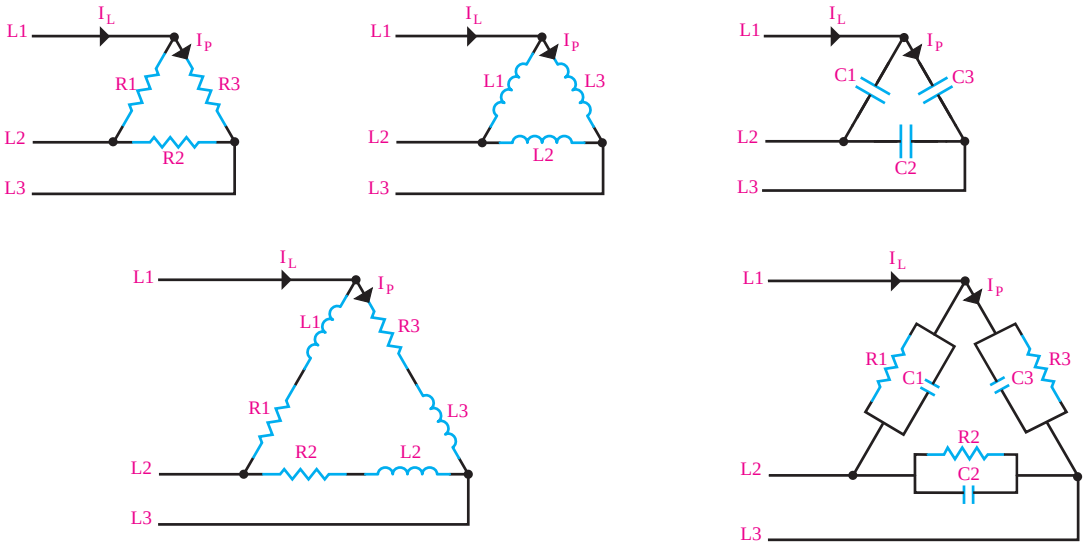
هـ) اتصال ستاره نا متعادل در شرایط قطع یک‌فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۳)

و) اتصال ستاره نا متعادل در شرایط قطع لامپ (بر اساس مقادیر جدول ۱۴)

۲ـ۱۲ـ ۱ اتصال مثلث

الف) بار متعادل: در اتصال مثلث هم مشابه اتصال ستاره هرگاه هر سه شاخه مثلث که در مسیر سه‌فاز قرار می‌گیرد با یکدیگر از نظر نوع، مقدار (اندازه) و زاویه اختلاف فاز مساوی باشند اتصال "اتصال مثلث متعادل" گفته می شود. در اتصال مثلث متعادل جریان‌های فازی (I_P) سه فاز با هم و جریان‌های خطی (I_L) نیز با یکدیگر برابر هستند.

شکل (۶۸) تصویر چند نمونه بار با اتصال مثلث متعادل را نشان می‌دهد.



شکل ۶۸ـ مثلث متعادل

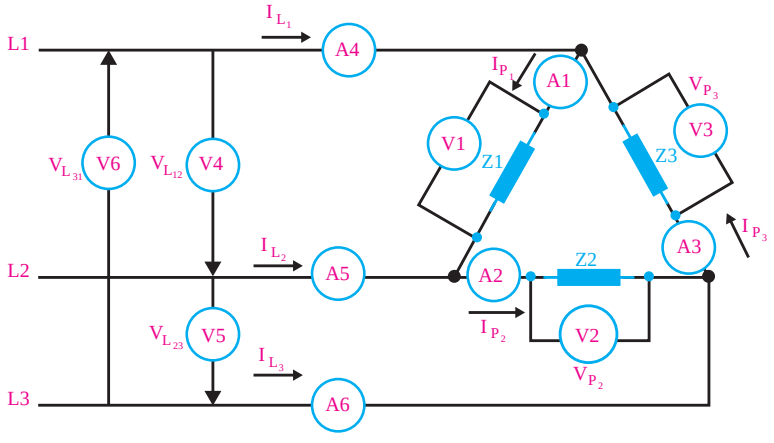
همان‌گونه که در شکل مشخص است در اتصال مثلث از سیم نول استفاده نشده و رابطه $I_N = I_{P_1} + I_{P_2} + I_{P_3}$ در این اتصال به کار نمی رود.

Z_1 ـ بار اهمی خالص

Z_2 ـ بار اهمی خالص

Z_3 ـ بار اهمی خالص

$Z_1 = Z_2 = Z_3$



شکل ۶۹ ـ اتصال مدار مثلث متعادل

در شرایط مثلث متعادل چون مقاومت های ظاهری (امپدانس ها) هر سه فاز مساوی است پس جریان‌های فازی و خطی هر سه فاز برابر است.

$$I_{P_1} = I_{P_2} = I_{P_3} \Rightarrow I_{L_1} = I_{L_2} = I_{L_3}$$

در اتصال مثلث با نوشتن KCL برای گره های A، B و C می‌توان به صحت مقادیر جریانی که آمپرمترهای خط نشان می‌دهند پی برد.

نکته

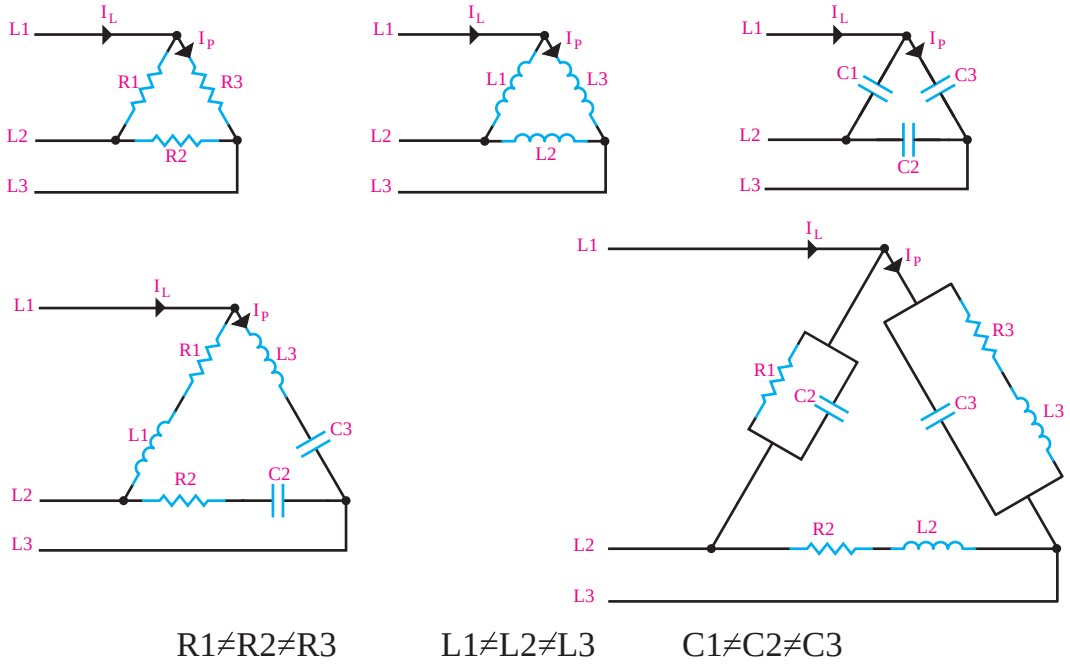
چون جریان‌های هر فاز دارای اندازه و زاویه اختلاف فاز هستند لذا برای جمع یا تفریق جریان‌ها باید به‌صورت جمع و تفریق برداری آنها را محاسبه کرد.

$$-I_{L_1} - I_{P_3} + I_{P_1} = 0 \Rightarrow I_{L_1} = I_{P_1} - I_{P_3}$$

$$-I_{L_2} - I_{P_1} + I_{P_2} = 0 \Rightarrow I_{L_2} = I_{P_2} - I_{P_1}$$

$$-I_{L_3} - I_{P_2} + I_{P_3} = 0 \Rightarrow I_{L_3} = I_{P_3} - I_{P_2}$$

ب) بار نا متعادل: درصورتی‌که مشخصات هر شاخه اتصال مثلث که در مسیر سه‌فاز قرار می‌گیرند از نظر نوع، اندازه یا زاویه اختلاف فاز با یکدیگر مساوی نباشند این اتصال را «اتصال مثلث نامتعادل» گویند. شکل (۷۰) تصاویری از اتصالات مثلث نامتعادل را نشان می‌دهد.



$R1 \neq R2 \neq R3$ $L1 \neq L2 \neq L3$ $C1 \neq C2 \neq C3$

شکل ۷۰ـ مثلث نامتعادل

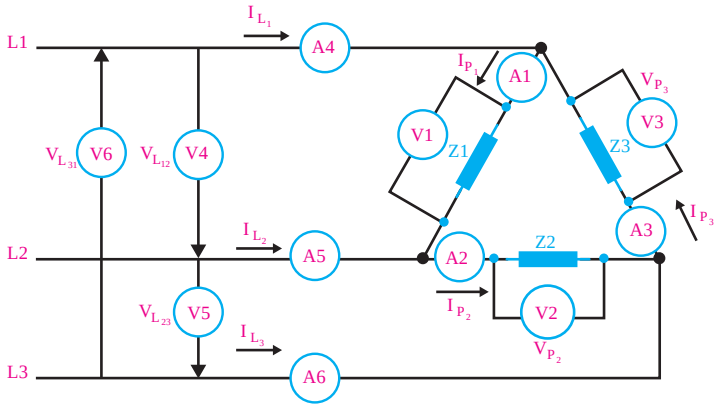
در اتصال مثلث نامتعادل نیز مشابه اتصال ستاره نامتعادل چون مشخصات امپدانسی (مقاومتی) یکسان نیست لذا جریان‌های فازی مساوی نبوده و در نتیجه جریان‌های خطی که از جمع جبری جریان‌های فازی در نقاط

گره A، B و C حاصل می‌شوند نیز دارای مقادیر برابر نخواهند بود. شکل (۷۱) تصویر یک اتصال مثلث نامتعادل را نشان می‌دهد.

Z_1 ـ بار اهمی خالص

Z_2 ـ بار سلفی خالص

Z_3 ـ بار خازنی خالص



شکل ـ ۷۱

$$Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3$$

$$I_{P_1} \neq I_{P_2} \neq I_{P_3}$$

$$I_{L_1} \neq I_{L_2} \neq I_{L_3}$$

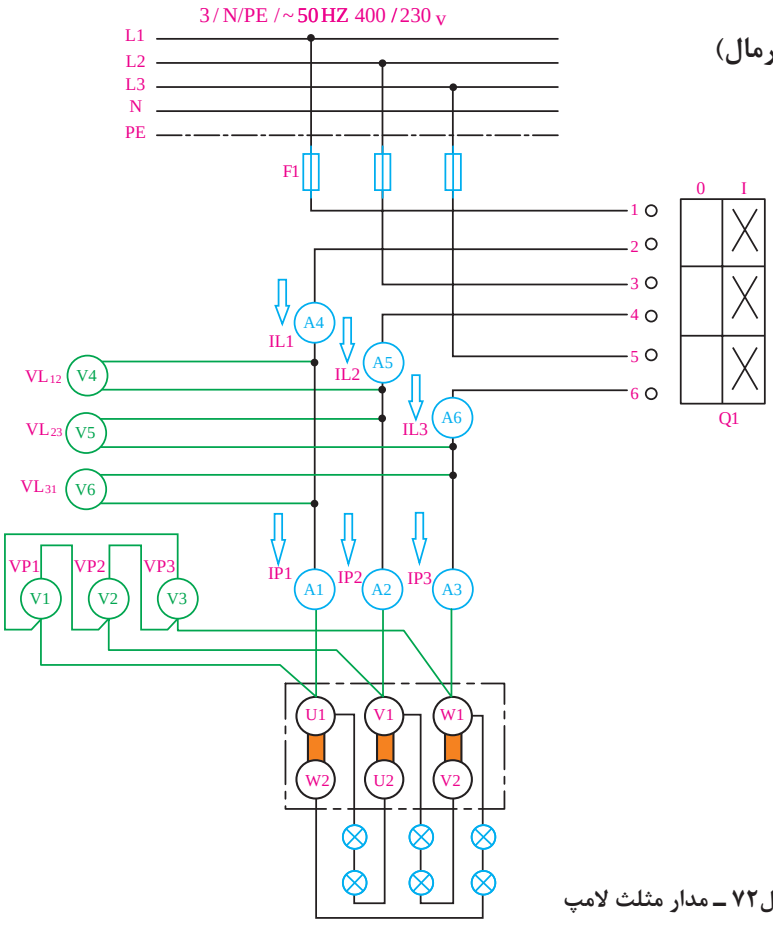
کار عملی۱

هدف: اتصال مدار مثلث لامپی متعادل و نا متعادل درحالات کاری مختلف

الف) اتصال مثلث متعادل

I ـ مدار در شرایط کار طبیعی (نرمال)

۱ـ با توجه به شکل (۷۲) مدارالکتریکی را با استفاده از فیوز مینیاتوری سه فاز، کلید قطع و وصل سه‌فاز، آمپرمترها و ولت‌مترها و ۶ لامپ ۱۰۰W روی تابلو اتصال دهید.



شکل ۷۲ ـ مدار مثلث لامپ

۲ـ مقادیر جریان و ولتاژی که آمپرمترها و ولت‌مترهای خطی و فازی نشان می دهند را مشاهده کرده و در جدول شماره ۱۴ یادداشت کنید.

جدول شماره ۱۴ـ مثلث متعادل در شرایط کار طبیعی

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۳ـ ازمقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ولت‌مترها و آمپرمترها چه نتیجه‌ای می گیرید؟ آیا با مطالب تئوری که در متن درس با آن آشنا شده اید مطابقت دارد؟ توضیح دهید.

II ـ مدار در شرایط قطع یک‌فاز شبکه

۴ـ فیوز یکی از فازها را قطع نموده و مقادیر ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی را مشاهده کرده و در جدول شماره ۱۵ یادداشت نمایید.

جدول شماره ۱۵ـ مثلث متعادل درشرایط قطع یک‌فاز

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۵ـ مقادیر اندازه‌گیری شده جدول شماره ۱۵ را با جدول شماره ۱۴ مقایسه کرده و درصورت بروز اختلاف علت را توضیح دهید.

III ـ مدار درشرایط قطع یک‌فاز سیم‌پیچی موتور (قطع یک لامپ)

۶ـ یکی از لامپ های موجود در مسیر یک‌فاز را قطع نموده و مقادیر ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی را مشاهده کرده و درجدول شماره (۱۶) یادداشت نمایید.

جدول شماره ۱۶ـ مثلث متعادل درشرایط قطع یک لامپ

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۷ـ مقادیر اندازه‌گیری شده جدول شماره ۱۶ را با جدول شماره ۱۴ مقایسه کرده و در صورت بروز اختلاف علت را توضیح دهید.

ب) اتصال مثلث نامتعادل

I ـ در شرایط کار طبیعی (نرمال)

۸ـ در مدار شکل (۷۲) لامپ‌های موجود در مدار را به‌صورت ۲ لامپ ۶۰ وات سری در مسیر فاز اول، ۲ لامپ ۱۰۰ وات سری در مسیر فاز دوم و ۲ لامپ ۱۵۰ وات سری در مسیر فاز سوم تغییر دهید.

۹ـ مقادیر جریان و ولتاژی که آمپرمترها و ولت‌مترهای خطی و فازی نشان می‌دهند را مشاهده کرده و در جدول شماره ۱۷ یادداشت کنید.

جدول شماره ۱۷ـ مثلث نا متعادل در شرایط کار طبیعی

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۱۰ـ ازمقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ولت‌مترها و آمپرمترها چه نتیجه‌ای می گیرید؟ آیا با مطالب تئوری که در متن درس با آن آشنا شده‌اید مطابقت دارد؟ توضیح دهید.

II ـ درشرایط قطع یک‌فاز شبکه

۱۱ـ فیوز یکی از فازها را قطع نموده و مقادیر ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی را مشاهده کرده و درجدول شماره (۱۸) یادداشت نمایید.

جدول شماره ۱۸ـ مثلث نامتعادل درشرایط قطع یک‌فاز

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۱۲ـ مقادیر اندازه‌گیری شده جدول شماره ۱۸ را با جدول شماره ۱۷ مقایسه کرده و در صورت بروز اختلاف علت را توضیح دهید.

III ـ در شرایط قطع یک‌فاز سیم‌پیچی موتور (قطع یک لامپ)

۱۳ـ یکی از لامپ های موجود در مسیر یک‌فاز را قطع نموده و مقادیر ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی را مشاهده کرده و درجدول شماره (۱۹) یادداشت نمایید.

جدول شماره ۱۹ـ مثلث نامتعادل درشرایط قطع یک لامپ

	مقادیر فازی						مقادیر خطی					
ولتاژها و جریان‌ها	I_{P_1}	I_{P_2}	I_{P_3}	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{P_3}	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	V_{L_1}	V_{L_2}	V_{L_3}
وسایل اندازه‌گیری	A_1	A_2	A_3	V_1	V_2	V_3	A_4	A_5	A_6	V_4	V_5	V_6
مقادیر اندازه‌گیری												

۱۴ـ مقادیر اندازه‌گیری شده جدول شماره ۱۹ را با جدول شماره ۱۷ مقایسه کرده و درصورت بروز اختلاف علت را توضیح دهید.

تمرین

توان مصرفی هرفاز و توان مصرفی کل در مدار های سه فازه با اتصال مثلث را با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشات و به ازای $COS\varphi = ۰/۹۹$ (ضریب قدرت تقریبی لامپ های رشته‌ای) به‌دست آورید؟

الف) اتصال مثلث متعادل در شرایط وصل سه فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۵)

ب) اتصال مثلث متعادل در شرایط قطع یک‌فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۶)

ج) اتصال مثلث متعادل در شرایط قطع لامپ (بر اساس مقادیر جدول ۱۷)

د) اتصال مثلث نامتعادل در شرایط وصل سه فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۸)

هـ) اتصال مثلث نامتعادل در شرایط قطع یک‌فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۹)

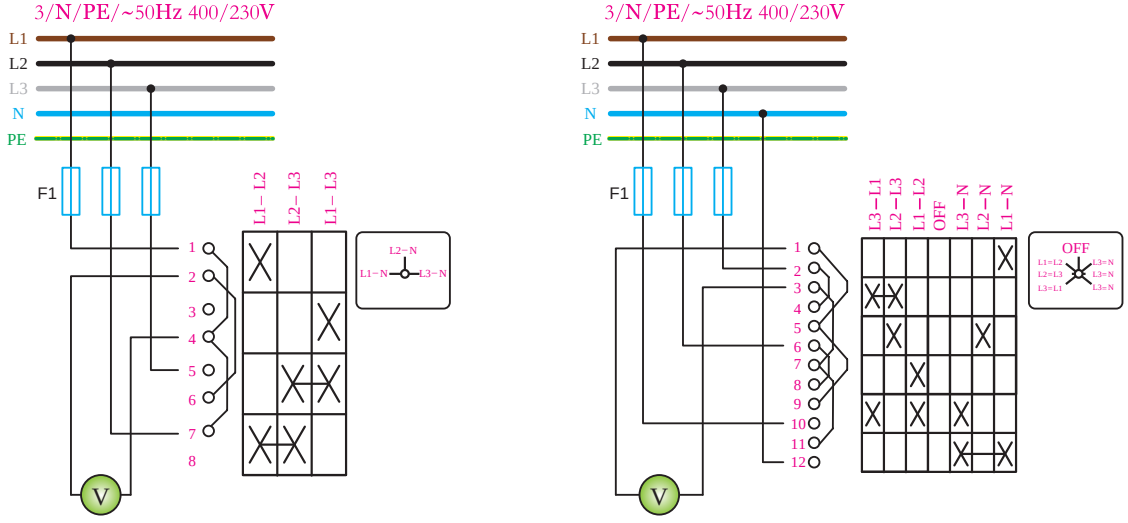
و) اتصال مثلث نامتعادل در شرایط قطع لامپ (بر اساس مقادیر جدول ۲۰)

۱۳ـ۱ـ کلید ولت‌متری و لامپ سیگنال

در مدارهای سه فاز یا تک‌فاز و تابلوهای برق کلید ولت‌متری و لامپ‌های سیگنال کاربرد زیادی دارند. شکل (۷۳) تصویر تابلو برقی را نشان می‌دهد که کلید ولت‌متری و لامپ‌های سیگنال در آن به‌کار رفته است.

شکل ۷۳

از کلید ولت‌متری برای اندازه‌گیری ولتاژهای خطی، فازی و یا هر دو در تابلوهای برق استفاده می‌شود که به کمک آن می‌توان از وجود یا عدم وجود و همچنین مناسب بودن سطح ولتاژ موجود در مولد اطلاع حاصل کرد. شکل (۷۴) نقشهٔ اتصال دو نوع کلید ولت‌متری را نشان می‌دهد.



شکل ۷۴ــ مدار کلید ولت‌متری

شکل (۷۵) تصویر چند نمونه از کلیدهای ولت‌متر را نشان می‌دهد.

شکل ۷۵ــ کلید ولت‌متری

از لامپ‌های سیگنال در تابلوهای برق به‌عنوان نشان‌دهنده (هشداردهنده)، وصل و یا قطع بودن برق تابلوها استفاده می‌شود. لامپ‌های سیگنال از نوع لامپ‌های گازی بوده و از ابعاد و توان مصرفی کمی برخوردار هستند. لامپ‌های سیگنال تک‌رنگ (رنگ سفید) هستند. پس از قرار دادن لامپ در پایه خود، با انتخاب طلق‌های رنگی مختلفی که وجود دارند (سبز ـ زرد ـ نارنجی ـ قرمز) می‌توان لامپ‌های سیگنال با رنگ‌های مختلف را ایجاد کرده و در تابلوهای برق به‌کار برد.

شکل ۷۶ ــ انواع لامپ سیگنال

درشکل (۷۶) تصویر چند نمونه از لامپ‌های سیگنال در رنگ‌ها و ابعاد مختلف مشاهده می‌کنید.

۱۴ـ۱ـ نقشه خوانی و بررسی عملکرد کلیدهای ولت‌متری

همان‌طوری که در شکل (۷۷) مشخص است این کلید دارای سه پیچ به‌عنوان ورودی‌های برق سه فاز (پیچ‌های ۱، ۵، ۷) است. دو پیچ شماره ۲ و ۴ نیز به دوسر ولت‌متر بسته می‌شوند.

در داخل کلید ارتباطاتی بین پیچ‌ها پدید می‌آید تا بتواند مقدار ولتاژ بین هر دو فاز را اندازه‌گیری نماید.

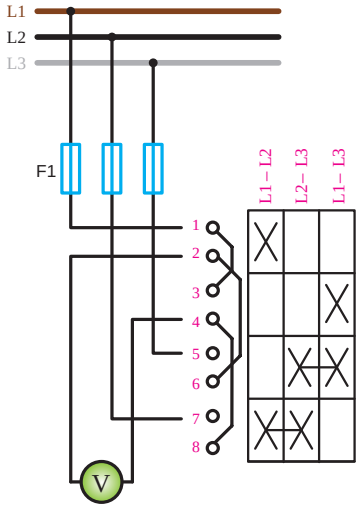
طبق استاندارد IEC در نقشه کلیدها تعداد ستون‌ها نشان‌دهنده تعداد حالات کاری آنها است.

بر همین اساس پس نتیجه می‌گیریم که این کلید دارای ۳ حالت کاری است. با کمی دقت می‌توان مشاهده کرد که در بالای هر حالت ستون نام دو فاز نوشته شده که ولت‌متر ولتاژ بین آن دو را اندازه‌گیری می‌کند.

حالت ۱ـ ولتاژ بین L1 , L2

حالت ۲ـ ولتاژ بین L2 , L3

حالت ۳ـ ولتاژ بین L1 , L3

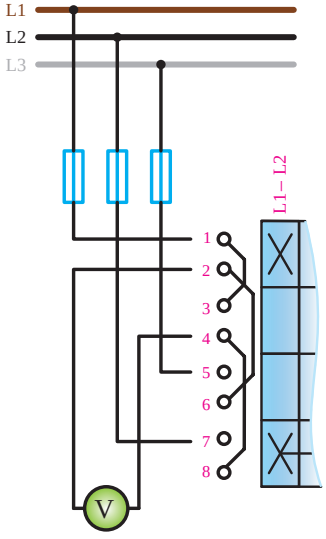


شکل ۷۷ـ اندازه‌گیری ولتاژ بین دو فاز

برای برقراری ارتباط بین سرهای ولت‌متر با فازها که از طریق اتصال پیچ‌های کلید صورت می‌گیرد از علامت **X** استفاده می‌شود. در هرحالت کلید (ستون مستقل) به‌صورت جداگانه علامت **X** قرار می‌گیرد.

حالت ۱ـ اندازه‌گیری ولتاژ بین L1 , L2

درشکل (۷۸) مشاهده می‌شود که در سطرهای اول و چهارم کلید علامت **X** دارد. در سطر اول فاز L1 به پیچ ۱ کلید وارد شده و از طریق ارتباطی که **X** با پیچ ۲ برقرار می‌کند فاز اول به یک سمت ولت‌متر اتصال داده می‌شود و در سطر چهارم کلید که علامت **X** وجود دارد، اولا فاز L2 به پیچ ۷ کلید وارد شده و با ارتباطی که علامت **X** با پیچ ۸ ایجاد می‌کند از طریق ارتباط داخلی کلید (پیچ ۸ به پیچ ۴) فاز دوم به سر دیگر ولت‌متر اتصال داده می‌شود و ولت‌متر ولتاژ V_{12} را اندازه‌گیری می‌کند.



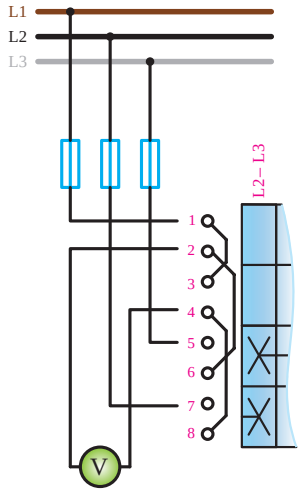
شکل ۷۸ـ اندازه‌گیری ولتاژ بین L_1 و L_2

حالت ۲ ـ اندازه‌گیری ولتاژ بین L2 , L3

در ستون دوم که برای سطرهای سوم و چهارم کلید علامت **X** دارد گذاشته شده را چنین می‌توان بررسی نمود (شکل ۷۹).

در سطر سوم که علامت **X** وجود دارد اولاً فاز L3 به پیچ ۵ وارد شده و از طریق ارتباطی که علامت **X** با پیچ ۶ ایجاد می‌کند ازطریق سیم رابط داخلی کلید پیچ ۶ به پیچ ۲ متصل شده و در نهایت فاز سوم به یک سمت ولت‌متر متصل می‌شود.

به همین ترتیب در سطر چهارم کلید که علامت **X** دارد فاز L2 به پیچ ۷ وارد شده و با ارتباطی که علامت **X** با پیچ ۸ ایجاد می‌کند و از طریق سیم رابط داخل کلید پیچ ۸ با پیچ ۴ متصل شده و فاز دوم به سر دیگر ولت‌متر اتصال داده می‌شود و ولت‌متر ولتاژ $V_{۲۳}$ را اندازه‌گیری می‌کند.

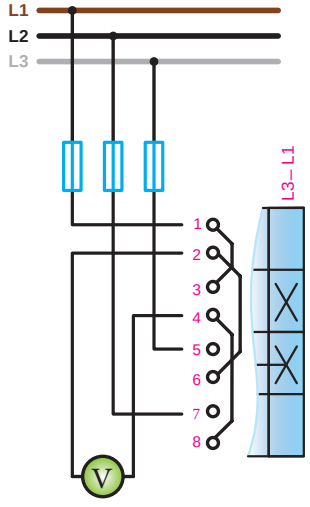


شکل ۷۹ـ اندازه گیری ولتاژ بین $L_۲$ و $L_۳$

حالت ۳ ـ اندازه گیری ولتاژ بین L3 , L1

درستون سوم که برای سطرهای دوم و سوم کلید علامت **X** دارد گذاشته شده را چنین می‌توان بررسی نمود. همان‌گونه که در شکل (۸۰) مشاهده می‌شود در سطر دوم که علامت **X** وجود دارد اولاً فاز L1 به پیچ ۱ وارد شده و از طـریق سیم رابط داخلی کلید پیچ ۱ به پیچ ۳ متصل می‌شود علامت **X** بین پیچ‌های ۳ و ۴ ارتباط برقرار می‌کند در نتیجه فاز اول به یک سمت ولت‌متر متصل می‌شود.

به همین ترتیب درسطر سوم کلیدکه علامت **X** دارد فاز L3 به پیچ ۵ وارد شده و با ارتباطی که علامت **X** با پیچ ۶ ایجاد می‌کند و همچنین ازطریق سیم رابط داخلی کلید، پیچ ۶ با پیچ ۲ متصل شده و فاز سوم به سر دیگر ولت‌متر اتصال داده می‌شود و ولت‌متر ولتاژ $V_{۱۳}$ را اندازه‌گیری می‌کند.



شکل ۸۰ـ اندازه‌گیری ولتاژ بین $L_۳$ و $L_۱$

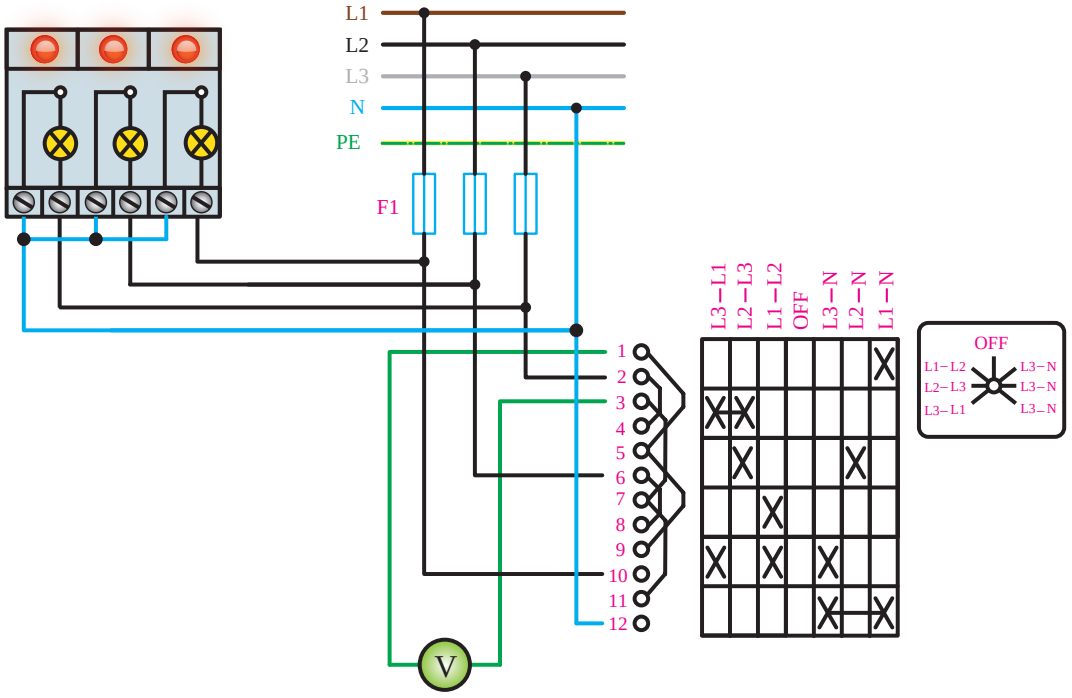
تمرین

تعداد حالات کاری کلید نشان داده شده در شکل (الف ـ ۷۴) را تشخیص داده و طرز کار آن را بررسی کنید.

کار عملی ۷

هدف: اتصال کلید ولت‌متری تابلویی و چراغ سیگنال

۱ـ با توجه به نقشه داده شده در شکل (۸۱) مدار را با استفاده از یک کلید ولت‌متری، ولت‌متر AC (جریان متناوب) با حداقل رنج ۵۰۰ ولت و سه چراغ سیگنال را روی تابلو کارگاه اتصال دهید.



شکل ۸۱ ـ اتصال کلید ولت‌متری

۲ـ پس از اتمام کار سیم‌کشی با حضور مربی خود مدار را مورد آزمایش قرار و مقادیر قرائت شده را در جدول زیر یادداشت نمایید.

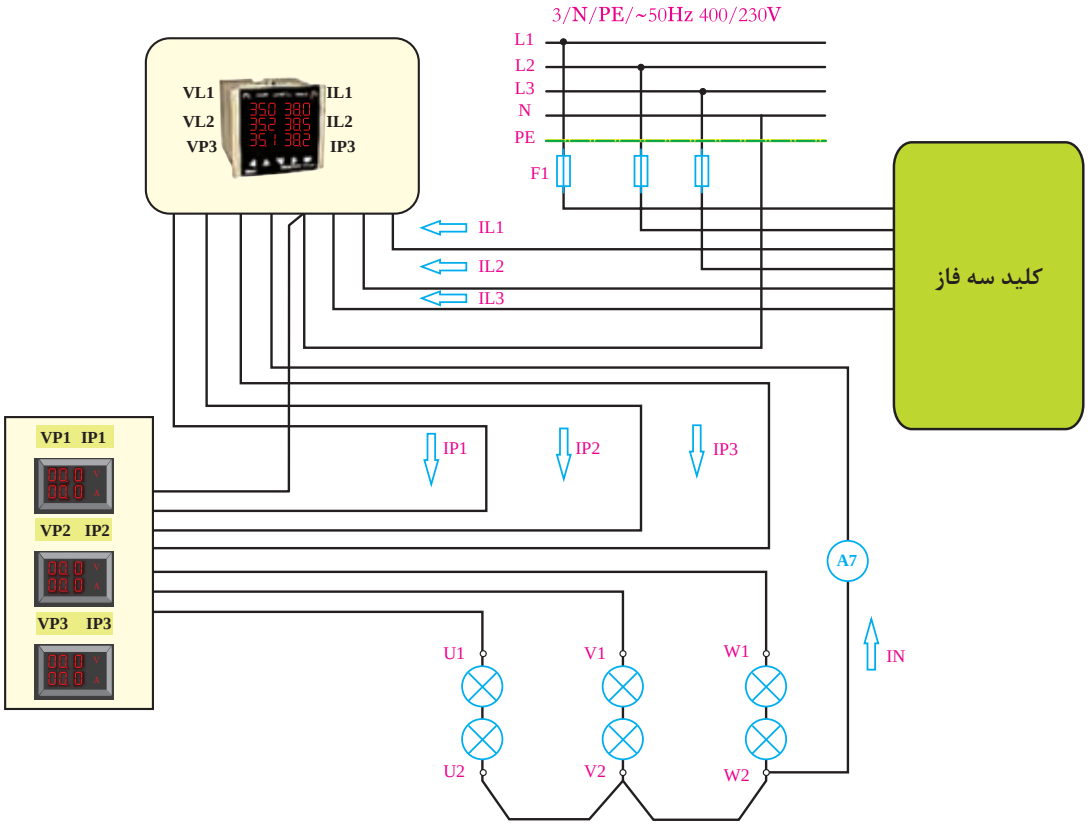
مقادیر اندازه گیری شده توسط ولت‌متر	
$V_{۱۲}=$	$V_{۱N}=$
$V_{۲۳}=$	$V_{۲N}=$
$V_{۳۱}=$	$V_{۳N}=$

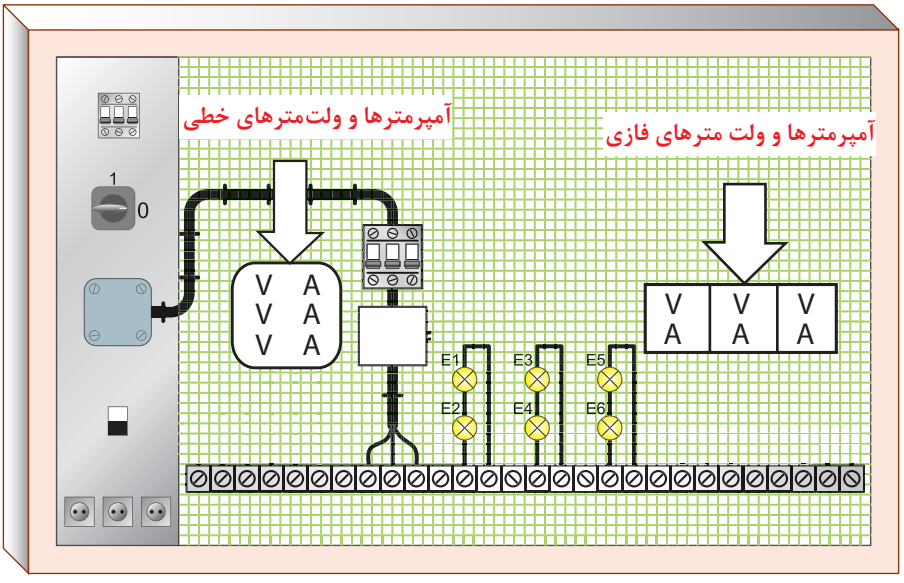
تحقیق

درصورت وجود اختلاف بین مقادیر ولتاژهای اندازه‌گیری شده توسط ولت‌متر علت را بررسی کرده و در قالب یک تحقیق یک صفحه‌ای به کلاس ارائه کنید.

ضمیمه:

در شکل‌های زیر تصاویر پیشنهادی نحوه قرار دادن و سیم‌کشی وسایل اندازه‌گیری روی تابلوی مشبک کارگاهی نشان داده شده است.





چیدمان پیشنهادی وسایل روی تابلوی مشبک

ارزشیابی شایستگی شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه‌فاز

شرح کار:
شبکه سه فاز
راه‌اندازی الکتروموتور سه‌فاز با انواع کلیدها
بار متعادل و نامتعادل
کلید ولت‌متر

استاندارد عملکرد: انجام کار روی برد کارگاهی با رعایت موارد ایمنی در کار و استفاده از ابزار

شاخص‌ها:

- تسلط بر مدارات الکتریکی سه‌فاز ستاره و مثلث
- بارهای متعادل و نامتعادل لامپی
- اتصالات انواع کلیدهای راه‌اندازی سه‌فاز
- استفاده صحیح از ابزار برای اتصالات و رعایت ایمنی

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: فضای مناسب ـ ابزار مناسب ـ مدت زمان متناسب با حجم کار
ابزار و تجهیزات: ابزار عمومی سیم‌کشی برق ـ انواع کلیدهای راه‌اندازی سه‌فاز ـ الکتروموتور سه‌فاز ـ لامپ های رشته‌ای ـ لباس کار

معیار شایستگی:

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می‌باشد.

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	راه‌اندازی الکتروموتورهای سه‌فاز با کلیدهای راه‌اندازی	۲	
۲	تحلیل بار متعادل و نامتعادل	۲	
۳	شبکه سه‌فاز	۱	
۴	ولتاژ و جریان خط و فاز	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: کسب اطلاعات کار تیمی مستندسازی ویژگی شخصیتی	۲	
	میانگین نمرات		*