

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى مُحَمَّدٍ وَآلِ مُحَمَّدٍ وَعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



# کابل کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی

رشته‌الکتروتکنیک

گروه برق و رایانه

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایه یازدهم دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



نام کتاب: کابل کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی - ۲۱۱۲۶۴

پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: علی‌اکبر مطیع‌بیرجندی، شهرام خدادادی، مجتبی انصاری‌پور، محمدحسن اسلامی، علیرضا حجرگشت،

امیرحسین ترکمانی و نقی اصغری‌آقباقر (اعضای شورای برنامه‌ریزی)

علی عراقی، شهرام خدادادی، حمید چراغیان (اعضای گروه تألیف)

شهرام خدادادی، مجتبی انصاری‌پور (ویراستار فنی)

مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی: جواد صفری (مدیر هنری) - نیما صابر (صفحه‌آرا) - فاطمه رئیسیان فیروزآباد (رسام)

نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهرشمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)

تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب‌گاه: [www.irtextbook.ir](http://www.irtextbook.ir) و [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارو پخش)

تلفن: ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹-۳۷۵۱۵

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ هشتم ۱۴۰۳

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



اگر یک ملتی نخواهد آسیب ببیند باید این ملت اولاً با هم متحد باشد و ثانیاً در هر کاری که اشتغال دارد آن را خوب انجام بدهد. امروز کشور محتاج به کار است. باید کار کنیم تا خودکفا باشیم، بلکه ان شاء الله صادرات هم داشته باشیم. شما برادرها الآن عبادتتان این است که کار بکنید. این عبادت است.  
امام خمینی (قَدِّسَ سِرُّهُ)





پودمان اول : ..... ۱

- واحد یادگیری ۱: شبکه برق و مصرف کننده‌های سه فاز ..... ۲
- ارزشیابی شایستگی شبکه برق و مصرف کننده‌های سه فاز ..... ۵۵

پودمان دوم : ..... ۵۷

- واحد یادگیری ۲: کابل کشی ..... ۵۸
- ارزشیابی شایستگی کابل کشی ..... ۹۲

پودمان سوم : ..... ۹۳

- واحد یادگیری ۳: سیم پیچی ترانسفورماتور ..... ۹۴
- ارزشیابی شایستگی سیم پیچی ترانسفورماتور ..... ۱۳۸

پودمان چهارم : ..... ۱۳۹

- واحد یادگیری ۴: سیم پیچی الکتروموتورهای سه فاز ..... ۱۴۰
- ارزشیابی شایستگی سیم پیچی الکتروموتورهای سه فاز ..... ۱۹۴

پودمان پنجم : ..... ۱۹۵

- واحد یادگیری ۵: سیم پیچی الکتروموتور تک فاز ..... ۱۹۶
- ارزشیابی شایستگی سیم پیچی الکتروموتور تک فاز ..... ۲۳۱

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار واقعی بطور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی - حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است.

۱. شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی نصب برق اضطراری و پشتیبان و سیم‌کشی خانه هوشمند

۲. شایستگی‌های غیر فنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه و مدیریت انرژی

۳. شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها

۴. شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.

این درس، سومین درس شایستگی‌های فنی و کارگاهی است که ویژه رشته الکتروتکنیک در پایه ۱۱ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت آینده شغلی و حرفه‌ای شما بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای یک یا چند واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحله کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب نمایید. هنرآموز محترم شما برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌نماید و نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی مجدد تا آخر سال تحصیلی وجود دارد. کارنامه شما در این درس شامل ۵ پودمان و از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی برای هر پودمان خواهد بود و اگر در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید، تنها در همان پودمان لازم است مورد ارزشیابی قرار گیرید و پودمان‌هایی قبول شده در مرحله اول ارزشیابی مورد تأیید و لازم به ارزشیابی مجدد نمی‌باشد. همچنین این درس دارای ضریب ۸ است و در معدل کل شما بسیار تأثیرگذار است.

همچنین علاوه بر کتاب درسی شما امکان استفاده از سایر اجزاء بسته آموزشی که برای شما طراحی و تألیف شده است، وجود دارد. یکی از این اجزای بسته آموزشی کتاب هنرجو می‌باشد که برای انجام فعالیت‌های موجود در کتاب درسی باید استفاده نمایید. کتاب همراه خود را می‌توانید هنگام آزمون و فرایند ارزشیابی نیز همراه داشته باشید. سایر اجزای بسته آموزشی دیگری نیز برای شما در نظر گرفته شده است که با مراجعه به وبگاه رشته خود با نشانی [www.tvoccd.medu.ir](http://www.tvoccd.medu.ir) می‌توانید از عناوین آن مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی طراحی و در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به کار گیرید. رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است لذا توصیه‌های هنرآموز محترمتان در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است، در انجام کارها جدی بگیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت مؤثر و شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته الکتروتکنیک طراحی و براساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی می‌باشد که برای پایه یازدهم تدوین و تألیف گردیده است این کتاب دارای ۵ پودمان است که هر پودمان از یک یا چند واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب می‌باشد که در پایان هر پودمان شیوه ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی می‌بایست برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد و نمره هر پودمان از دو بخش تشکیل می‌گردد که شامل ارزشیابی پایانی در هر پودمان و ارزشیابی مستمر برای هر یک از پودمان‌ها است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت‌یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیر فنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزاء بسته آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیر فنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. لازم به یادآوری است، کارنامه صادر شده در سال تحصیلی قبل بر اساس نمره ۵ پودمان بوده است و در هنگام آموزش و سنجش و ارزشیابی پودمان‌ها و شایستگی‌ها، می‌بایست به استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی منتشر شده توسط سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی مراجعه گردد. رعایت ایمنی و بهداشت، شایستگی‌های غیر فنی و مراحل کلیدی بر اساس استاندارد از ملزومات کسب شایستگی می‌باشند. همچنین برای هنرجویان تبیین شود که این درس با ضریب ۸ در معدل کل محاسبه می‌شود و دارای تأثیر زیادی است.

پودمان اول: شبکه برق سه‌فاز و ارتباط آن با مصرف‌کننده‌های سه‌فاز با توجه به نوع بارهای متعادل و نامتعادل در این پودمان آموزش داده می‌شود و پارامترهای الکتریکی تحلیل می‌شود.

پودمان دوم: کابل کشی شامل نصب کابل روی دیوار، سینی کابل، نردبان کابل، مفصل‌بندی کابل و کابل‌درفنی از مهم‌ترین شایستگی‌های این پودمان است.

پودمان سوم: محاسبات و سیم‌پیچی ترانسفورماتور تک‌فاز و تحلیل آرایش‌های بی‌باری و اتصال کوتاه از مهم‌ترین عناوین شایستگی در این پودمان است.

پودمان چهارم: آشنایی با انواع سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز، جدول و ترسیم دیاگرام، عایق‌کاری، سربندی و آزمایش‌های صحت سیم‌پیچی الکتروموتور و راه‌اندازی آن در این پودمان دنبال می‌شود.

پودمان پنجم: سیم‌پیچی الکتروموتورهای یک‌فاز (راه‌انداز موقت و دائم) جدول و ترسیم دیاگرام و الکتروموتورهای تک‌فاز دو سرعته (کولری) از شایستگی‌های مهم این پودمان است.

**دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**







# پودمان ۱

شبکه برق و مصرف کننده‌های سه فاز

## واحد یادگیری ۱

### شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز

#### آیامی دانید:

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

#### استاندارد عملکرد

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

## \* مقدمه

شبکه های الکتریکی که برای تأمین ولتاژ و جریان مورد نیاز مصرف کننده ها مورد استفاده قرار می گیرند به دو صورت: ۱- تکفاز، ۲- سه فاز هستند. از آنجایی که شبکه تکفاز جزئی از شبکه سه فاز است و از طرفی دیگر تولید ولتاژ و جریان AC به صورت سه فاز انجام می شود، به همین دلیل در ابتدا ساختار کلی شبکه های الکتریکی و سپس چگونگی تولید آن ارائه می شود. آیا تابه حال فکر کرده اید تولید انرژی الکتریکی از نیروگاه تا محل مصرف چه مراحل را طی می کند؟

## ساختار شبکه های الکتریکی

در شکل کلی می توان ساختار شبکه های الکتریکی را در قالب سه گروه (شکل ۱) به صورت زیر معرفی کرد:

۱- تولید (Generation)

۲- انتقال (Transmission)

۳- توزیع (Distribution)



شکل ۱- تولید و انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

## تولید انرژی الکتریکی

در بخش تولید انرژی، نیروگاه ها قرار دارند که وظیفه آنها تولید انرژی الکتریکی AC است که با بهره گیری از ژنراتورها صورت می گیرد. ولتاژ خروجی ژنراتورها در محدوده ۱۰ KV تا ۲۰ KV است. میزان جریان دهی ژنراتورها به مقدار توان ظاهری (S) آنها بستگی دارد. مقدار توان ظاهری را از رابطه زیر می توان محاسبه کرد.

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

$V_e$  - ولتاژ مؤثر برحسب ولت (V)

$I_e$  - جریان مؤثر برحسب آمپر (A)

S - توان برحسب ولت آمپر (V.A)

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

تمرین



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



شکل ۲- ژنراتور سه فاز در نیروگاه

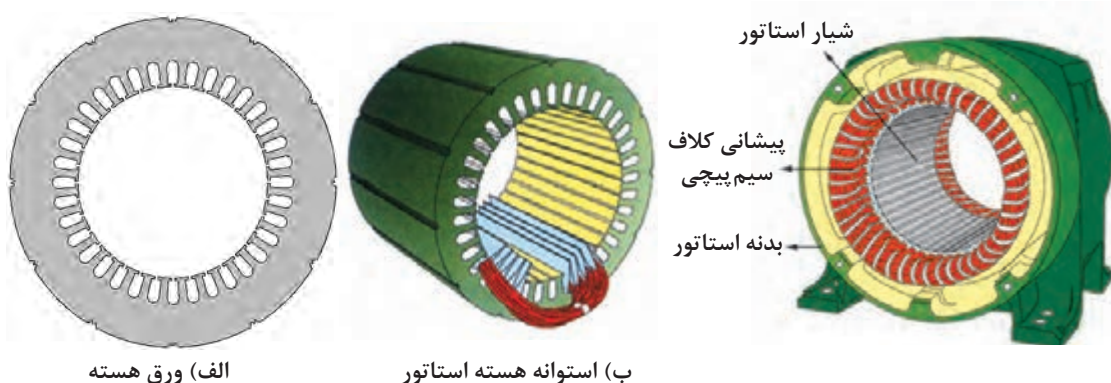
$$S = \sqrt{3} V_e \cdot I_e$$

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

**چگونگی تولید جریان‌های سه‌فازه:** ژنراتورهای تولیدکننده جریان الکتریکی سه فاز از دو بخش اصلی تشکیل شده‌اند.

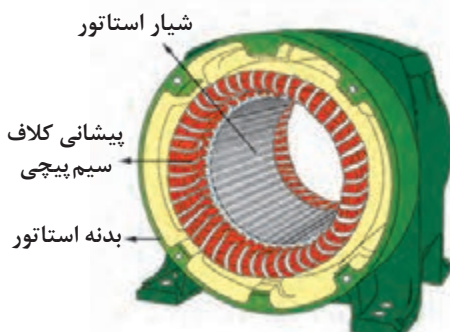
- ۱- بخش ساکن (استاتور)
- ۲- بخش متحرک (روتور)

استاتور ژنراتورها مشابه موتورهای سه‌فاز دارای یک هسته از جنس آهن نرم است که ورق ورق بوده (شکل الف). و از کنار هم قرار گرفتن این ورق‌ها هسته‌ای به صورت استوانه‌ای شیاردار پدیدمی‌آید (شکل ۳- ب). در داخل شیارهای استاتور از سه گروه سیم پیچی که نسبت به هم  $120^\circ$  اختلاف فاز مکانی دارند، استفاده می‌شود که نحوه اتصال سیم پیچی بر پایه اصول سیم پیچی است و در نهایت سه سیم به‌عنوان سرهای سیم پیچی از استاتور خارج می‌شود. برای حفاظت سیم پیچی و ورق‌های استاتور، کل مجموعه در داخل یک پوسته چدنی مطابق شکل (۴) قرار می‌گیرد.



الف) ورق هسته

ب) استوانه هسته استاتور



شکل ۴- استاتور سیم پیچی

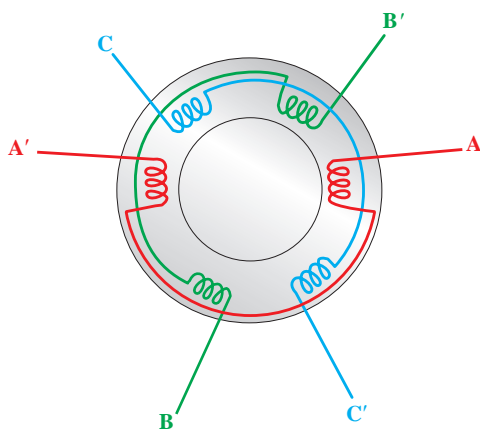
شکل ۳- هسته استاتور



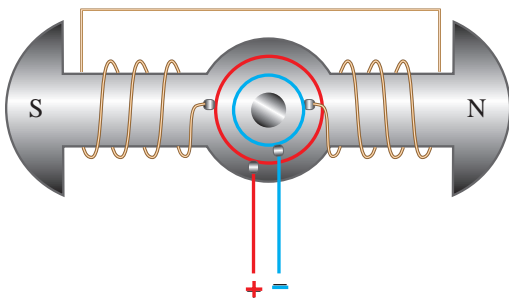
جریان های سه فاز را از نظر دامنه و زمان تناوب و اختلاف فاز با یکدیگر مقایسه کنید و به کلاس ارائه کنید.



شکل ۵- روتور ژنراتور سنکرون



شکل ۶- استاتور ژنراتور آسنکرون



شکل ۷- سیم پیچ روتور

روتور ژنراتورهای سنکرون نیز مشابه استاتور شامل یک هسته است که روی آن از یک سیم پیچی که به صورت دوتکه است استفاده می شود. 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 می دهد.

برای آشنایی با چگونگی تولید ولتاژ سه فاز، تصویر ساده ای از استاتور ژنراتور سنکرون را مطابق شکل (۶) در نظر بگیرید.

در مولد سنکرون سیم پیچ روتور به جریان DC متصل می شود. با عبور جریان از داخل سیم پیچی روتور میدان مغناطیسی ثابتی در فضای اطراف هسته پدید می آید که سبب می شود تا هسته به صورت یک آهنربا دارای خاصیت مغناطیسی شود.

منظور از ژنراتور سنکرون چیست ؟



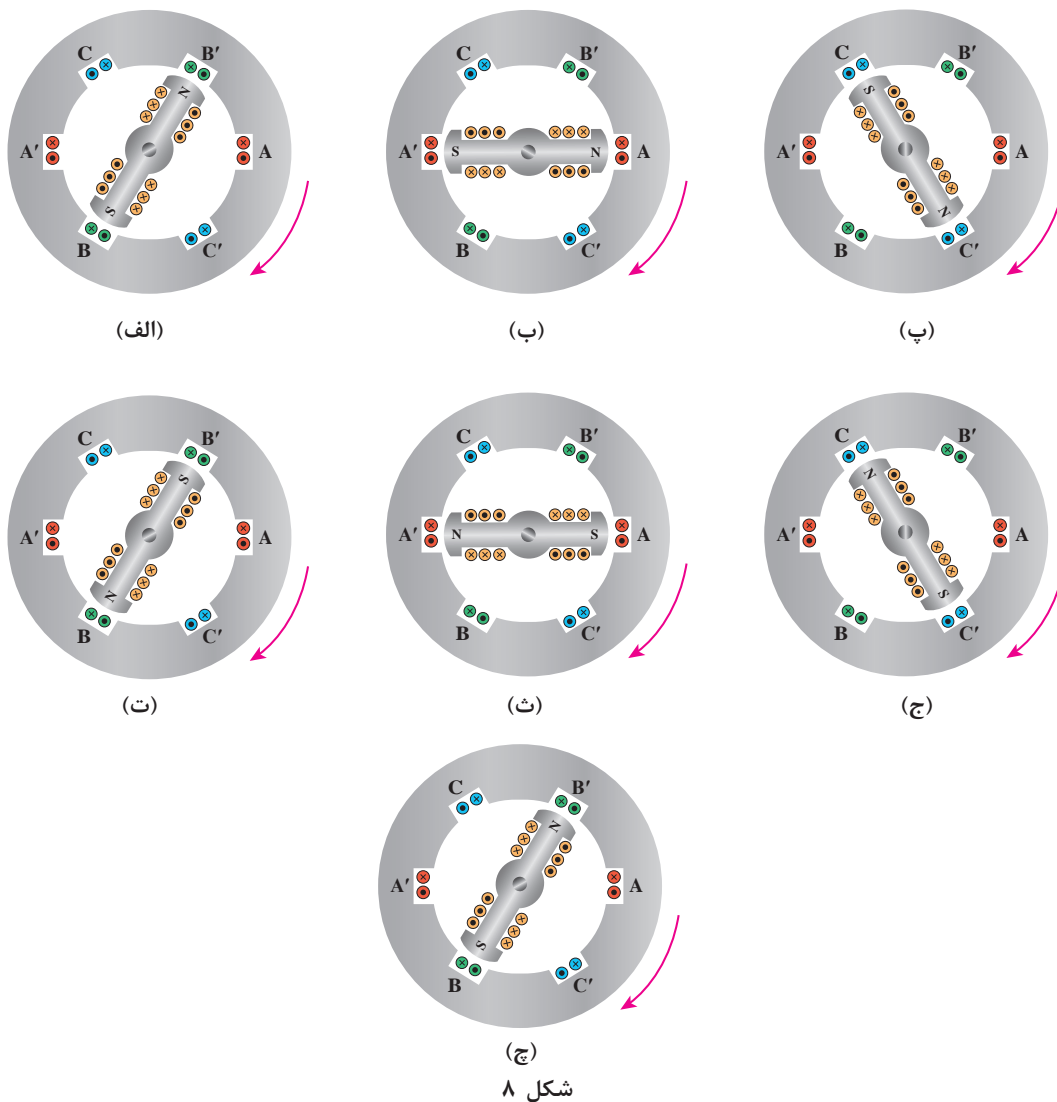
روتور ژنراتورها از طریق یک محور به توربین (محرک مکانیکی) متصل است که به واسطه وارد شدن نیروی مکانیکی به توربین (مانند: جاری شدن آب در نیروگاه های آبی، برخورد بخار آب پرفشار در نیروگاه های حرارتی، برخورد باد با پره های بزرگ در نیروگاه های بادی و...) شروع به چرخش کرده و در نتیجه روتور که دارای خاصیت مغناطیسی است شروع به حرکت می کند. در اثر چرخش روتور میدان مغناطیسی اطراف آن در هر لحظه از زمان که در مقابل یک سیم پیچی استاتور قرار می گیرد طبق قانون فاراده نیروی محرکه القایی در آن پدید می آید. برای آشنایی با چگونگی تولید ولتاژ القایی در

سیم پیچی های سه فاز ژنراتورها، تصاویر ساده ای از سیم پیچی های استاتور به همراه وضعیت قرار گرفتن روتور در چند لحظه نشان داده شده است.

تحقیق



چرا تولید انرژی الکتریکی به صورت ۳ فاز انجام می شود؟



تولید انرژی الکتریکی ۳ فاز از لحظه ۱۰:۰ تا ۲۰:۰

فیلم



## بودمان اول: شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز

ولتاژ القایی در هر لحظه به سینوس زاویه میدان مغناطیسی روتور و سیم پیچی استاتور بستگی دارد و از طرف دیگر چون در استاتور سه گروه سیم پیچی با اختلاف فاز مکانی  $120^\circ$  درجه در داخل شیارها استفاده شده لذا در اثر گردش یک دور روتور، ولتاژها و جریان های سه فاز با اختلاف فاز زمانی  $120^\circ$  درجه ای طبق معادلات (۱) در سیم پیچی های استاتور تولید می شود.

$$V_{AA'} = V_m \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$V_{BB'} = V_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$V_{CC'} = V_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

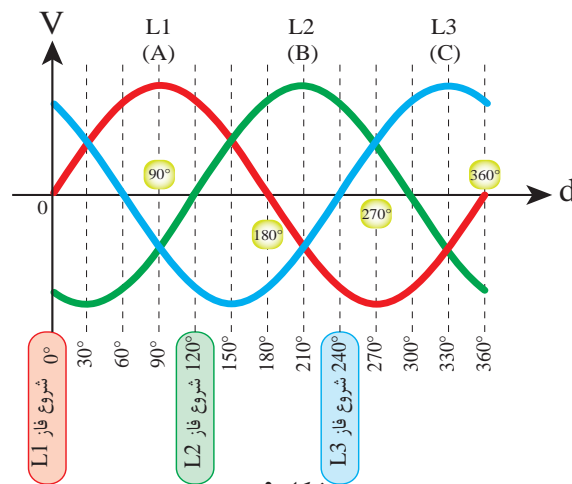
در مباحث عملی ولتاژهای القا شده در سه فاز ژنراتور سنکرون را به صورت زیر نشان می دهیم.

$$V_{AA'} = V_A \text{ -----> فاز L1}$$

$$V_{BB'} = V_B \text{ -----> فاز L2}$$

$$V_{CC'} = V_C \text{ -----> فاز L3}$$

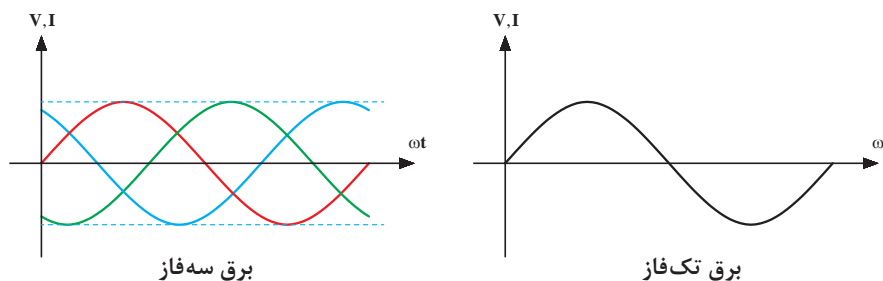
شکل موج ولتاژهای القایی یک شبکه سه فاز را در شکل (۹) مشاهده می کنید.



شکل ۹

## مزایای برق سه فاز نسبت به تکفاز

الف) توان الکتریکی در مصرف کننده های سه فاز، هیچ وقت به صفر نمی رسد. همان طوری که در شکل مشخص است هرگاه در یکی از لحظات دامنه یکی از فازها به صفر برسد دامنه دو فاز دیگر صفر نبوده و به مصرف کننده انرژی می دهند. به همین دلیل بازده ماشین های سه فاز نسبت به تکفاز بیشتر است.



شکل ۱۰- منحنی برق سه فاز و تکفاز

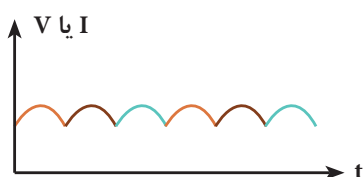
بالا بودن توان در ماشین‌های سه فاز، باعث می‌شود تا بازده آنها به حدود ۹۹٪ هم برسد، در صورتی که در ماشین‌های تکفاز بازده در حدود ۶۵٪ یا پایین‌تر است. در منحنی‌های شکل ۱۰ منحنی تغییرات برق سه فاز با تکفاز (ولتاژ و جریان) مقایسه شده است.

تمرین

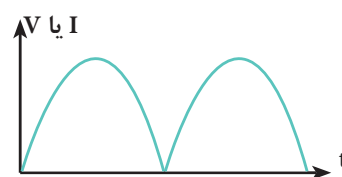


ترسیم منحنی سه فاز را روی یک کاغذ شطرنجی انجام دهید.

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 کمتر است. شکل (۱۱)



موج یک‌سو شده سه فاز با ضربان کم



موج یک‌سو شده تکفاز با ضربان بالا

شکل ۱۱- مقایسه یک‌سو شده برق سه فاز و تکفاز

ج) برای چرخش موتورهای سه فاز نیاز به ایجاد میدان مغناطیسی دوار است که در سطح استاتور پدید آید. در راه‌اندازی موتورهای سه فاز این کار بدون واسطه انجام می‌شود چراکه با اتصال موتور به برق سه فاز میدان دوار ایجاد شده و موتور شروع به چرخش می‌کند. در صورتی که موتورهای تکفاز بدون وجود سیم پیچ 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 داده شده است.

فیلم



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

### 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 به نام "دکل" استفاده می‌شود.

شکل (۱۲) تصویر چند نمونه پایه‌های خطوط انتقال را نشان می‌دهد.



بودمان اول: شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز



شکل ۱۲- پایه های خطوط انتقال انرژی الکتریکی

سطح ولتاژ در خطوط انتقال انرژی الکتریکی شبکه ایران عبارت‌اند:

۶۳ KV , ۱۳۲ KV , ۲۳۰ KV , ۴۰۰ KV

انتقال انرژی الکتریکی از ۴:۳۰ تا ۶:۱۲

فیلم



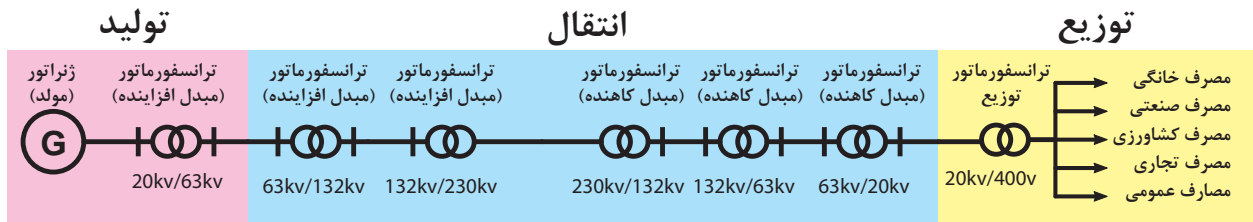
شناخت خطوط و دکل‌های توزیع و فوق توزیع انتقال از لحظه ۱۲:۴۰ تا ۱۵:۴۰

فیلم



### 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 ۴۰۰ V سه فاز و ۲۳۰ V تکفاز تبدیل می‌شوند تا در مصرف کننده‌های سه فاز و تکفاز مورد استفاده قرار گیرد. در بخش توزیع، مصرف کننده‌های مختلفی می‌توانند وجود داشته باشند که در اینجا، موتورهای القایی سه فاز را به عنوان مصرف کننده‌های سه فاز و مصارف خانگی، به عنوان مصرف کننده‌های 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.



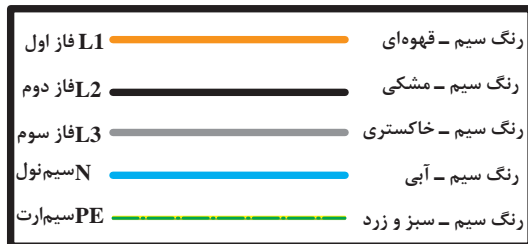
شکل ۱۳- نمودار تک خطی تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی



شکل ۱۴- خطوط توزیع



شکل ۱۵- ترتیب فازها در خطوط



شکل ۱۶- رنگ سیم فازها در نقشه کشی

### خطوط برق در شبکه‌های توزیع:

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

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

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

خطوط مختلف انرژی الکتریکی ۶:۲۲ تا ۱۱:۲۱

فیلم



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

## بودمان اول: شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز

### ولتاژها و جریان ها در شبکه های سه فاز توزیع:

شرح زیر معرفی شده و به کار می روند:

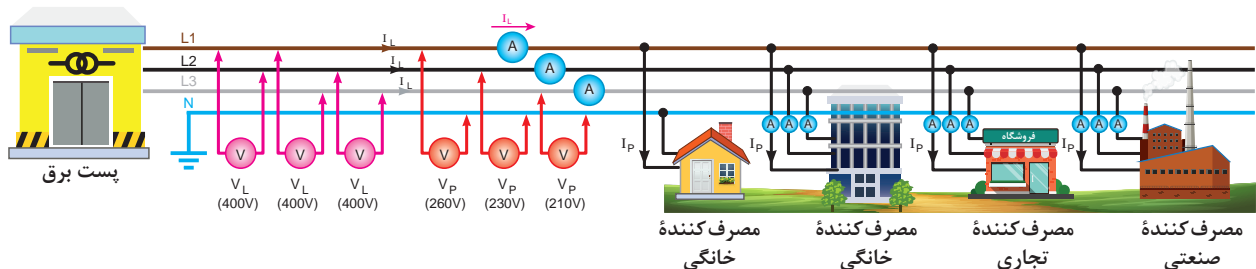
(الف) ولتاژ خطی ( $V_L$ ): به مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) بین دو فاز یک شبکه سه فاز "ولتاژ خطی" گویند که در شبکه توزیع ایران مقدار آن  $400V$  است.

(ب) ولتاژ فازی ( $V_P$ ): به مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) دو سر هر یک از کلاف های (مسیرهای عبور جریان) یک مصرف کننده سه فاز، "ولتاژ فازی" گویند. به بیانی دیگر و در شرایطی خاص به اختلاف پتانسیل بین هر فاز و سیم نول نیز "ولتاژ فازی" گفته می شود. مقدار این ولتاژ در شبکه توزیع ایران  $230V$  است.

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

(د) جریان فازی ( $I_P$ ): به مقدار جریانی که از سیم پیچ هر فاز مصرف کننده سه فاز عبور می کند "جریان فازی" گویند.

شکل (۱۷) ولتاژ و ولتاژ و جریان های خطی و فازی را به ازای مصرف کننده های مختلف نشان می دهد.



شکل ۱۷- ولتاژ و جریان های خطی و فازی

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

- چون ولتاژ کار مدار زیاد است و احتمال برق گرفتگی شدید وجود دارد همیشه در ضمن توضیح هر کار عملی تذکرات لازم را در خصوص رعایت نکات ایمنی بیان شود.
- فاصله های مناسب برای نصب (مونتاژ) قطعات روی تابلو برق را با توجه به امکانات موجود تعیین کنید. سعی شود فاصله های بین قطعات در کارهای مشابه مساوی باشد تا کارآموزان بتوانند از سیم ها و کابل های بریده شده در کارهای مختلف استفاده کنند.
- به هنرجویان تذکرات لازم پیرامون حفظ و نگهداری قطعات، ابزار کار و همچنین بریدن و باز کردن سیم ها و کابل ها داده شود تا ضایعات و تلفات کمتری در سیم و کابل داشته باشند.

تذکر



## موتورهای الکتریکی سه فاز



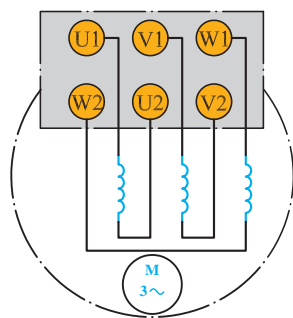
شکل ۱۸- موتور الکتریکی

موتورهای القایی سه فاز نیز مشابه مولدها از دو بخش استاتور و روتور تشکیل شده است. استاتور از سه گروه سیم پیچی (کلاف) تشکیل شده که در داخل شیارهای موتور قرار می گیرند. هسته روتور موتورهای سه فاز از جنس آهن نرم بوده که در داخل شیارهای آن از میله های آلومینیومی به عنوان هادی استفاده شده است.

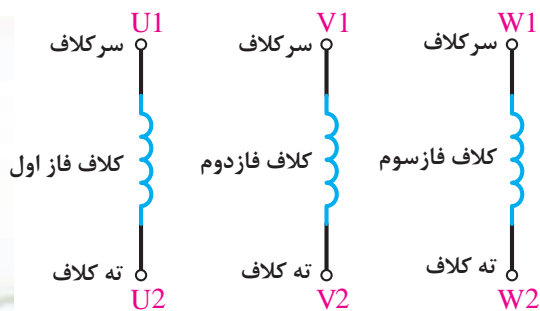
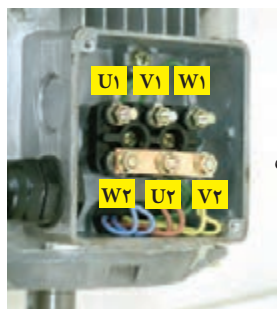


شکل ۱۹- تخته کلم

برای اتصال سیم‌پیچ‌های موتور سه فاز سرورته 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 سرورته کلاف‌های استاتور و موتور سه‌فاز طبق استاندارد IEC مطابق شکل (۲۰) است. وضعیت قرار گرفتن سرورته کلاف‌ها در زیر پیچ‌های تخته کلم موتور طبق استاندارد مطابق شکل (۲۱) است.



شکل ۲۱- اتصال کلاف‌ها

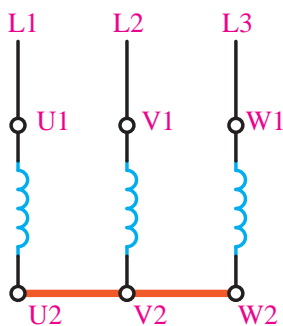


شکل ۲۰- نام گذاری کلاف‌های استاتور

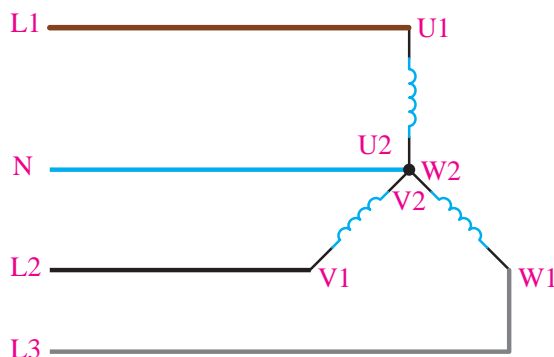
## اتصال ستاره سیم‌پیچی موتور سه فاز

### تعریف اتصال ستاره

**تعریف:** هرگاه انتهای سیم‌پیچ‌های ( $U_2, V_2, W_2$ ) را به یکدیگر وصل کرده و به ابتدای سیم‌پیچ‌ها ( $U_1, V_1, W_1$ ) به ترتیب شبکه سه فاز ( $L_1, L_2, L_3$ ) 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 ۲۲- اتصال ستاره



شکل ۲۳- اتصال ستاره با سیم نول

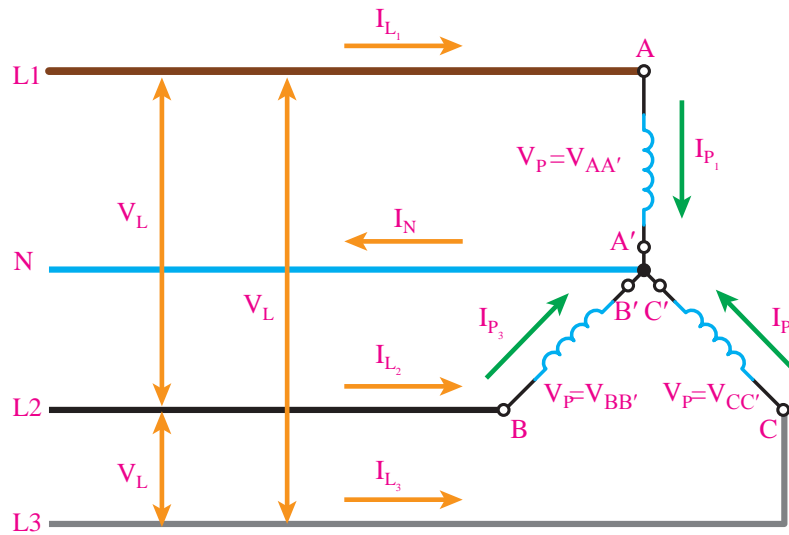


بودمان اول: شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز

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

### ولتاژها و جریان ها در اتصال ستاره

با توجه به تعاریف ارائه شده برای ولتاژها و جریان ها در شبکه های سه فاز و بررسی آنها برای اتصال ستاره می توان به خصوصیات این اتصال پی برد.



شکل ۲۴- ولتاژ و جریان در اتصال ستاره

همان طور که در شکل (۲۴) مشاهده می شود در اتصال ستاره ولتاژی که در دو سر هر کلاف موتور افت می کند برابر ولتاژ شبکه نبوده و به نسبت  $\sqrt{3}$  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 اندازه آنها با یکدیگر برابر بوده و به اختصار روابط مربوط به اتصالات ستاره را چنین می توان نوشت:

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_P = I_L$$

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

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{400}{1/\sqrt{3}} = 231/\sqrt{3} \approx 230V$$

$$I_P = I_L = I_n \quad (\text{جریان نامی موتور})$$

در صورتی که قرار باشد به طور مستقیم سیم‌پیچ‌های یک موتور را به صورت 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 ۲۶- اتصال تسمه مسی



شکل ۲۵- تسمه مسی

## راه‌اندازی موتورهای الکتریکی با کلیدهای سه فاز

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

تصویر	نام کلید
	قطع و وصل ساده (۰-۱)
	معکوس‌کننده جهت گردش موتور (چپ گرد، راست گرد) (۰-۱-۲)
	ستاره - مثلث (Δ - Y - ۰)
	ستاره - مثلث، چپ گرد، راست گرد
	چند سرعتی (۰-۱-۲-۳) و (۰-۱-۲)
	راه‌اندازی موتورهای تکفاز
	انتخاب‌کننده فاز (برای دستگاه‌های اندازه‌گیری) (مانند کلید ولت متر)

شکل ۲۷- تصاویر کلیدهای متداول راه‌اندازی الکتروموتورها

بودمان اول: شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز

برای راه اندازی مصرف کننده های سه فاز در حالات مختلف از کلیدهای سه فاز با ظاهر و همچنین زمینه های کاربردی متفاوت استفاده می شود که در این فصل با سه نوع آن آشنا می شوید.

**کلید قطع و وصل (۱ - ۰، صفر و یک)**

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

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

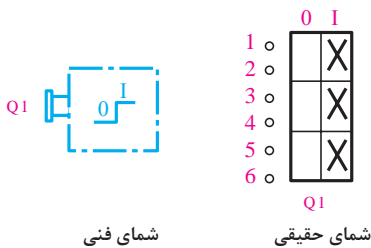


شکل ب) کلید اهرمی



شکل الف) کلید گردان

شکل ۲۸

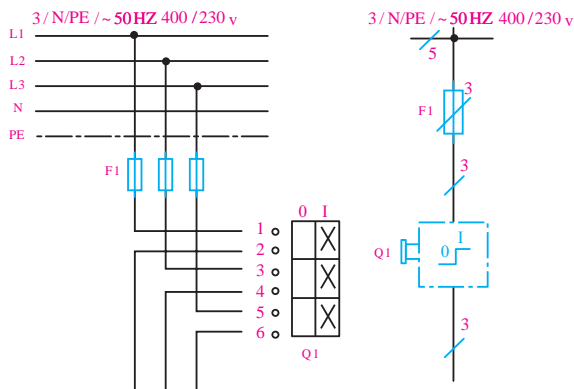


شمای فنی

شمای حقیقی

شکل ۲۹- شمای حقیقی و فنی کلید قطع زمین

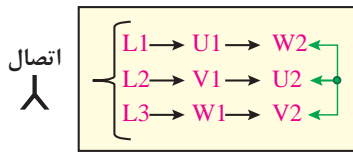
در این کلید با چرخش ۹۰ درجه ای کلید گردان تابلویی یا چرخاندن اهرم کلید بدنه چدنی سه کنتاکت بازهم محور، به صورت هم زمان بسته شده و مدار وصل می شود. با کلید قطع و وصل امکان راه اندازی موتور سه فاز در یک حالت (ستاره یا مثلث) امکان پذیر است به همین دلیل ضروری است روی تخته کلم موتور اتصال موتور به صورت ثابت ایجاد شود. در شکل (۲۹) شمای حقیقی و فنی کلید قطع و وصل (۱- ۰) نشان داده شده است.



شکل ۳۰- نقشه حقیقی و فنی مدار قطع و وصل موتور سه فاز

با کلید (۱-۰)

نقشه مدار حقیقی و فنی (تک خطی) کلیدهای قطع و وصل (۱- ۰) در شکل (۳۰) نشان داده شده است. براساس این نقشه ها می توان کلید را به هر مصرف کننده سه فاز در مدار اتصال داد.



شکل ۳۱- اتصال موتور به شبکه با کلید (۰-۱)

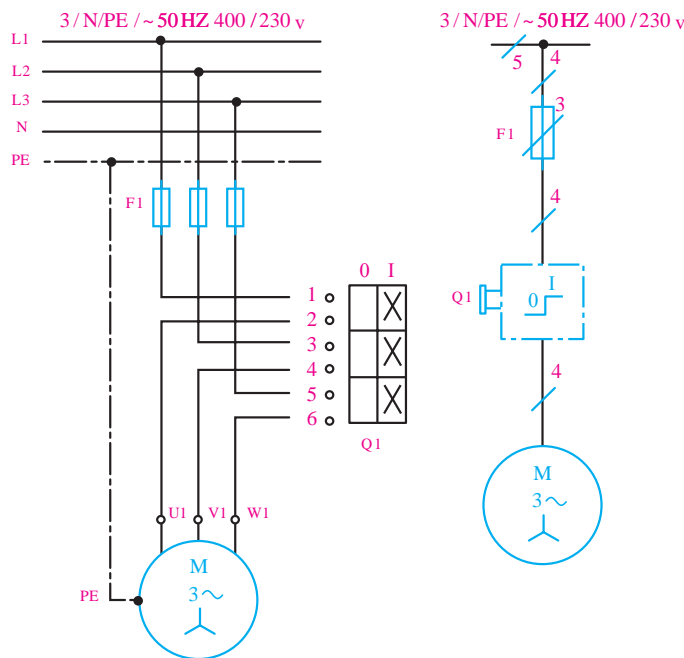
### راه اندازی موتور سه فاز در اتصال ستاره با کلید

#### قطع و وصل (۰ - ۱)

در عمل و به جهت اختصار نوشتن عملکرد کلید ۰-۱ می توان آن را به صورت شکل (۳۱) نشان داد.

همان طوری که در شکل (۳۲) مشخص است با وصل کلید و بردن به حالت ۱ پیچ های شماره ۱، ۳، ۵ که

به فازهای ورودی متصل هستند به ترتیب به پیچ های ۲، ۴، ۶ که به سرهای مصرف کننده (مانند - موتور الکتریکی) اتصال یافته و سه فاز به سرهای U1 و V1 و W1 اتصال می یابند.



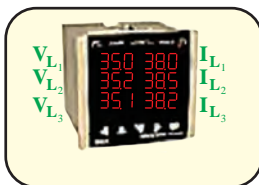
شکل ۳۲- شمای حقیقی و فنی

اتصال ستاره کلاف های تخته کلم از لحظه ۱۵:۵۰ تا ۱۷:۵۰

فیلم

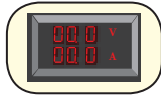


تذکر



شکل ۳۳

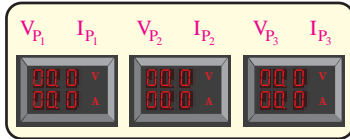
**تذکر ۱-** توصیه می شود برای اندازه گیری ولتاژها و جریان های خطی مدار از وسایل اندازه گیری دیجیتالی که به صورت یک مجموعه هستند استفاده شود شکل (۳۳). چرا که علاوه بر بالا بودن دقت در این وسایل، فضای کمتری را اشغال کرده و در صنعت نیز کاربرد بیشتری دارند.



تذکر ۲- توصیه می شود برای اندازه گیری ولتاژها و جریان های فازی مدار از وسایل اندازه گیری دیجیتالی تکی مطابق شکل (۳۴) استفاده نمایید.

شکل ۳۴

در شکل (۳۵) تصویری از مجموعه پیشنهادی برای پیش بینی ولت مترها و آمپر مترهای فازی نشان داده شده است.



شکل ۳۵

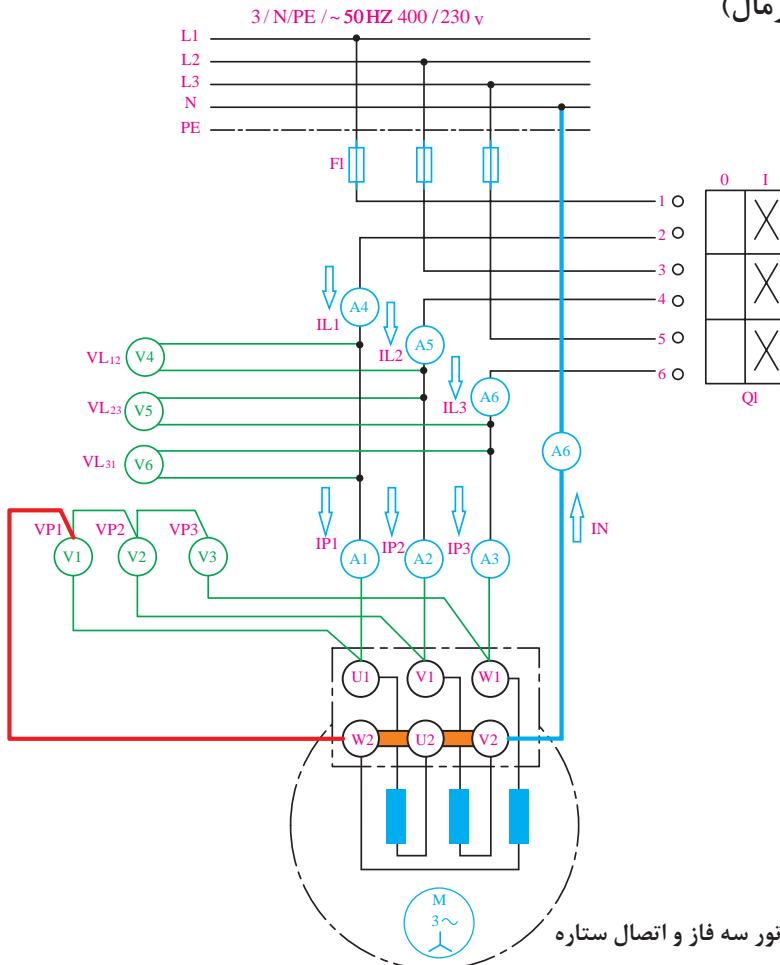
هدف: راه اندازی موتور سه فاز در اتصال ستاره با کلید قطع و وصل (۱ - ۰)

کار عملی ۱



### I - مدار در شرایط کار طبیعی (نرمال)

۱- مدار راه اندازی موتور سه فاز اتصال ستاره ثابت را با استفاده از وسایل اندازه گیری مطابق نقشه نشان داده شده در شکل (۳۶) روی تابلو اتصال دهید.



شکل ۳۶- راه اندازی موتور سه فاز و اتصال ستاره



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 نوارچسب خودداری شود.

۲- پس از سیم‌کشی و کابل‌کشی بین قطعات، با حضور مربی فیوز را وصل و کلید را در حالت ۱ قرار دهید.  
 ۳- 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) - اتصال ستاره موتور سه فاز در شرایط کار طبیعی

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L3}$	$V_{L2}$	$V_{L1}$	$I_{L3}$	$I_{L2}$	$I_{L1}$	$V_{P3}$	$V_{P2}$	$V_{P1}$	$I_{P3}$	$I_{P2}$	$I_{P1}$	ولتاژها و جریان‌ها
$V_{\phi}$	$V_{\Delta}$	$V_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\Delta}$	$A_{\phi}$	$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	وسایل اندازه‌گیری
												مقادیر اندازه‌گیری

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

.....  $I_N =$  جریان سیم نول

۵- 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.

۶- آیا شرایط بار نامتعادل را در این مدار می‌توان انجام داد؟ چرا؟

## II - مدار در شرایط قطع یک فاز شبکه

۷- 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) - اتصال ستاره موتور سه فاز در شرایط قطع یکفاز

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L3}$	$V_{L2}$	$V_{L1}$	$I_{L3}$	$I_{L2}$	$I_{L1}$	$V_{P3}$	$V_{P2}$	$V_{P1}$	$I_{P3}$	$I_{P2}$	$I_{P1}$	ولتاژها و جریان‌ها
$V_{\phi}$	$V_{\Delta}$	$V_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\Delta}$	$A_{\phi}$	$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	وسایل اندازه‌گیری
												مقادیر اندازه‌گیری

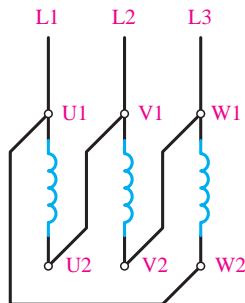
راه‌اندازی الکتروموتورهای سه فاز با اتصال ستاره از لحظه ۳۸:۲۲ تا ۴۰:۴۲



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.

## اتصال مثلث سیم پیچی موتور سه فاز

### اتصال مثلث

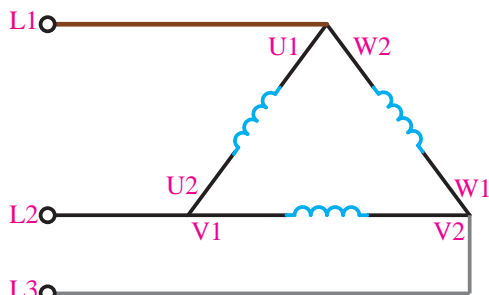


شکل ۳۷- اتصال مثلث

**تعریف:** هرگاه انتهای سیم پیچی اول ( $U2$ ) را به ابتدای سیم پیچی دوم ( $V1$ )؛ انتهای سیم پیچی دوم ( $V2$ ) را به ابتدای سیم پیچی سوم ( $W1$ ) و انتهای سیم پیچی سوم ( $W2$ ) را به ابتدای سیم پیچی اول ( $U1$ ) متصل کرده و به ترتیب شبکه سه فاز  $L1, L2, L3$  را به ابتدای هر سیم پیچی 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 می شود.

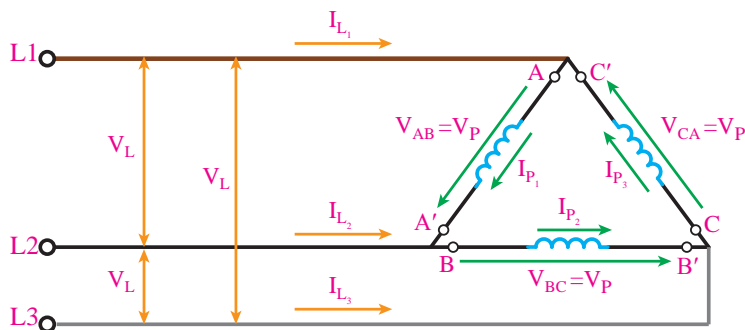
مشابه اتصال ستاره بر روی پلاک موتورها یا در مواردی که نیاز به خلاصه نویسی است از علامت ( $\Delta$ ) برای نشان دادن اتصال مثلث استفاده می شود.



شکل ۳۸- اتصال مثلث

### ولتاژها و جریان ها در اتصال مثلث

با توجه به تعاریف ارائه شده برای ولتاژها و جریان ها در شبکه های سه فاز و بررسی آنها برای اتصال مثلث می توان به خصوصیات این اتصال پی برد.



شکل ۳۹- اتصال مثلث

همان طور که در شکل (۳۹) مشاهده می شود در اتصال مثلث ولتاژی که در دو سر هر کلاف موتور افت می کند برابر ولتاژ شبکه است. جریان جاری در هر کلاف (جریان فازی) با جریان جاری در شبکه (جریان خطی) متفاوت و به نسبت  $\sqrt{3}$  برابر از آن کمتر است. لذا به اختصار روابط مربوط به اتصالات مثلث را چنین می توان نوشت:

$$V_p = V_L$$

$$I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$



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:

$$V_p = V_L = 400 \text{ V}$$

$$I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{I_n \text{ (جریان نامی موتور)}}{\sqrt{3}}$$

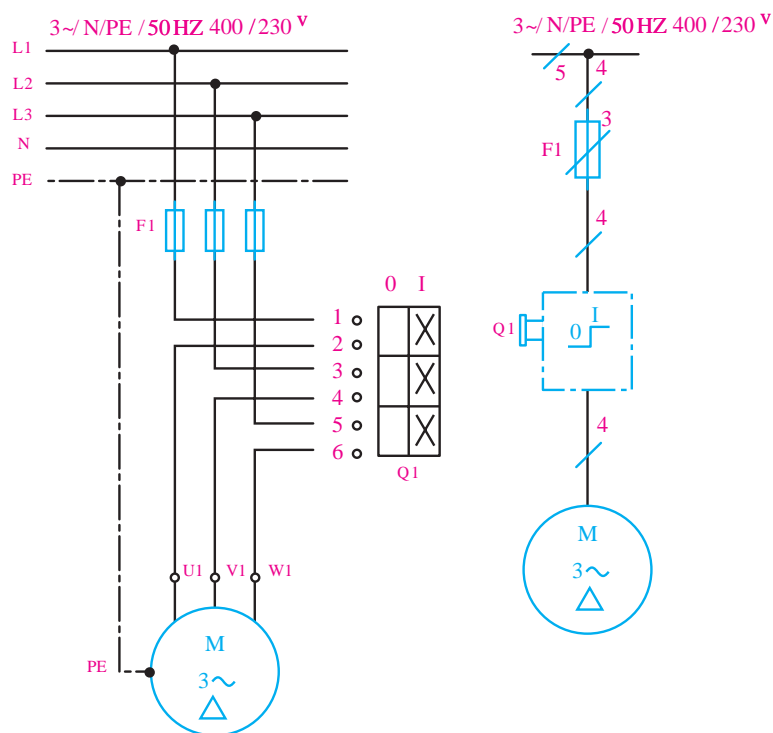
در صورتی که بخواهیم به‌طور مستقیم سیم‌پیچ‌های یک موتور را به‌صورت مثلث اتصال داده و به شبکه متصل نماییم باید با استفاده از تسمه‌های مسی، اتصال مثلث را مطابق شکل (۴۰) ایجاد نمود.



شکل ۴۰- اتصال مثلث موتور

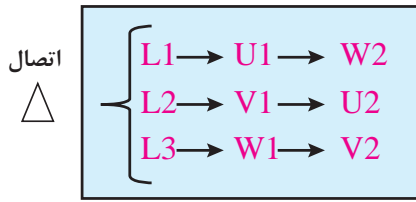
### راه‌اندازی موتور سه فاز در اتصال مثلث با کلید قطع و وصل (۱-۰)

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 ۴۱- شمای حقیقی و فنی کلید (۱-۰)

بودمان اول: شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز



شکل ۴۲- اتصال ترمینال ها به صورت مثلث

همان طوری که در شکل (۴۱) مشخص است با وصل کلید و بردن به حالت ۱ پیچ های شماره ۱، ۳، ۵ که به فازهای ورودی متصل هستند به ترتیب به پیچ های ۲، ۴، ۶ که به سرهای مصرف کننده (مانند - موتور الکتریکی) اتصال یافته و سه فاز به سرهای  $U1$  و  $V1$  و  $W1$  اتصال می یابند. به اختصار عملکرد کلید ۱-۰ را به صورت روبرو می توان نوشت.

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

فیلم



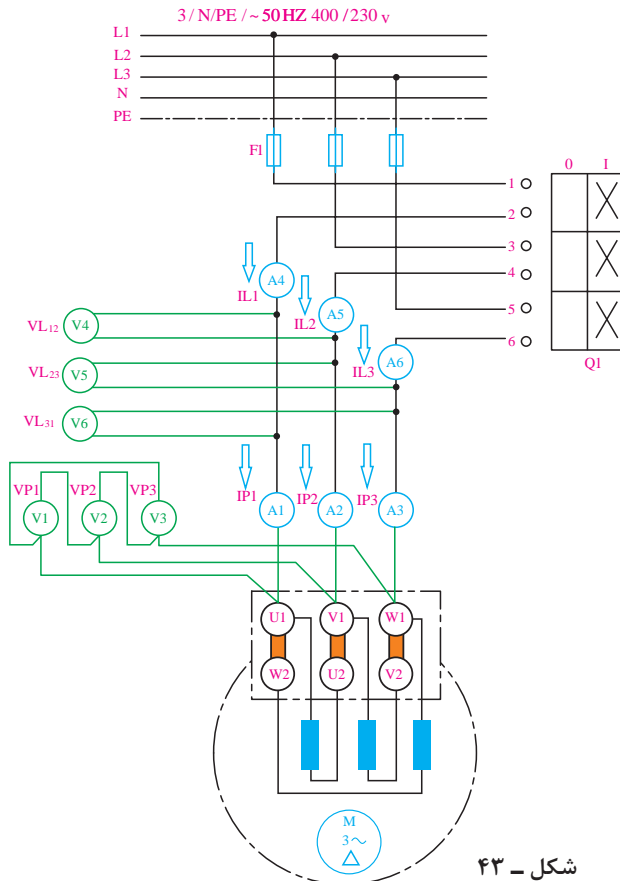
راه اندازی الکتروموتورها با کلید از لحظه ۳۵:۴۲ تا ۴۰:۴۰

فیلم



هدف: راه اندازی موتور سه فاز در اتصال مثلث با کلید قطع و وصل (۱-۰)

کار عملی ۲



I - مدار در شرایط کار طبیعی (نرمال)

۱- مدار راه اندازی موتور سه فاز اتصال مثلث ثابت را با استفاده از وسایل اندازه گیری مطابق نقشه نشان داده شده در شکل (۴۳) روی تابلو اتصال دهید.

شکل - ۴۳

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 نوارچسب خودداری شود.



- ۲- پس از سیم‌کشی و کابل‌کشی بین قطعات، با حضور مربی فیوز را وصل و کلید را در حالت ۱ قرار دهید.
- ۳- 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) - اتصال مثلث موتور سه فاز در شرایط کار طبیعی

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L3}$	$V_{L2}$	$V_{L1}$	$I_{L3}$	$I_{L2}$	$I_{L1}$	$V_{P3}$	$V_{P2}$	$V_{P1}$	$I_{P3}$	$I_{P2}$	$I_{P1}$	ولتاژها و جریان‌ها
$V_{\phi}$	$V_{\Delta}$	$V_{\gamma}$	$A_{\phi}$	$A_{\Delta}$	$A_{\gamma}$	$V_{\gamma}$	$V_{\beta}$	$V_{\alpha}$	$A_{\gamma}$	$A_{\beta}$	$A_{\alpha}$	وسایل اندازه‌گیری
												مقادیر اندازه‌گیری

- ۴- 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.
- ۵- آیا شرایط بار نامتعادل را در این مدار می‌توان انجام داد؟ چرا؟

## II - مدار در شرایط قطع یکفاز شبکه

- ۶- 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) - اتصال مثلث موتور سه فاز در شرایط قطع یکفاز

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L3}$	$V_{L2}$	$V_{L1}$	$I_{L3}$	$I_{L2}$	$I_{L1}$	$V_{P3}$	$V_{P2}$	$V_{P1}$	$I_{P3}$	$I_{P2}$	$I_{P1}$	ولتاژها و جریان‌ها
$V_{\phi}$	$V_{\Delta}$	$V_{\gamma}$	$A_{\phi}$	$A_{\Delta}$	$A_{\gamma}$	$V_{\gamma}$	$V_{\beta}$	$V_{\alpha}$	$A_{\gamma}$	$A_{\beta}$	$A_{\alpha}$	وسایل اندازه‌گیری
												مقادیر اندازه‌گیری

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.



## توان الکتریکی در مدارهای سه فاز

به طور کلی می توان در مدارهای سه فاز بر پایه مقادیر خطی از روابط زیر توان کل مدار را محاسبه کرد:

$$S = \sqrt{3} V_L I_L \quad \text{توان ظاهری}$$

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \quad \text{توان مفید (حقیقی)}$$

$$Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \phi \quad \text{توان غیر مفید (غیر حقیقی)}$$

$V_L$  - ولتاژ خط

$I_L$  - جریان خط

$\cos \phi$  - ضریب قدرت واته (اکتیو - مؤثر - حقیقی)

$\sin \phi$  - ضریب قدرت دواته (راکتیو - غیر مؤثر - غیر حقیقی)

$\phi$  - زاویه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان

بر پایه روابط کلی توان و همچنین بهره گیری از ارتباط بین ولتاژها و جریان های خطی و فازی، توان های هر فاز را طبق روابط زیر می توان از روی مقادیر فازی نیز به دست آورد.

$$S_\phi = V_P \cdot I_P = Z \cdot I_P^2 = \frac{V_P^2}{Z}$$

$$P_\phi = V_P \cdot I_P \cdot \cos \phi = R \cdot I_P^2 = \frac{V_P^2}{R}$$

$$Q_\phi = V_P \cdot I_P \cdot \sin \phi = X \cdot I_P^2 = \frac{V_P^2}{X}$$

$V_P$  - ولتاژ فازی

$I_P$  - جریان فازی

$\phi$  - زاویه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان

$R$  - خاصیت اهمی هر فاز

$X$  - خاصیت راکتانسی هر فاز

$Z$  - خاصیت امپدانسی هر فاز

بر پایه توان های فازی روابط توان های ظاهری، مصرفی و غیر مصرفی کل مدار را از روابط زیر می توان محاسبه کرد.

### بار متعادل و نامتعادل

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$S = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$$

$P_1$  &  $Q_1$  - توان اکتیو و راکتیو فاز اول

$P_2$  &  $Q_2$  - توان اکتیو و راکتیو فاز دوم

$P_3$  &  $Q_3$  - توان اکتیو و راکتیو فاز سوم

### بار متعادل

$$P_T = 3 P_1$$

$$Q_T = 3 Q_1$$

$$S = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$$

$P_T$  - توان اکتیو کل مدار

$Q_T$  - توان راکتیو کل مدار

## بررسی توان مصرفی در اتصالات ستاره و مثلث

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

$$P_p = V_p \cdot I_p \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

چون مشخصات سیم‌پیچی‌های هر سه فاز موتور یکسان است، بر همین اساس برای محاسبه توان کل سه فاز به صورت مقابل می‌توان عمل کرد.

$$P = 3P_p \quad (2)$$

### 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:

$$I_L = I_p = \frac{V_p}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

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

$$P_\lambda = 3P_p = 3(V_p)(I_p) \cos \varphi$$

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

$$P_\lambda = \frac{V_L^2}{Z} \cos \varphi \quad (4)$$

### 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 به دست آورد.

در اتصال مثلث داریم:

$$V_L = V_p$$

$$I_L = \sqrt{3} I_p$$

طبق قانون اهم می‌توان نوشت:

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

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

$$P_\Delta = 3P_p = 3(V_p)(I_p) \cos \varphi$$

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

$$P_\Delta = 3 \frac{V_L^2}{Z} \cos \varphi \quad (5)$$

## مقایسه توان مصرفی اتصال های ستاره و مثلث

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

$$\frac{P_{\lambda}}{P_{\Delta}} = \frac{\frac{V_L^Y}{Z} \cdot \cos \varphi}{\frac{3V_L^Y}{Z} \cdot \cos \varphi} = \frac{X_L^Y \cdot \cos \varphi \cdot Z}{3X_L^Y \cdot \cos \varphi \cdot Z} \Rightarrow \frac{P_{\lambda}}{P_{\Delta}} = \frac{1}{3} \quad (6)$$

از مقایسه توان موتور در حالت ستاره با توان موتور در حالت مثلث و محاسبه مقدار نسبت این توان ها می توان به نتیجه ای مطابق رابطه (6) دست یافت.

$$P_{\lambda} = \frac{1}{3} P_{\Delta} \quad (6)$$

تذکر

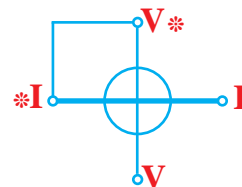


۱- در اتصال مثلث چون ولتاژ دو سر هر کلاف برابر ولتاژ نامی است لذا جریان عبوری و توان مصرفی هر فاز مقدار نامی موتور است و در نتیجه داریم:

$$P_{\Delta} = P_n$$

اما زمانی که موتور در اتصال ستاره (A) کار می کند موتور دارای توان کمتری است، به همین دلیل نباید در اتصال ستاره (A) روی محور موتور فشار زیاد آورده شود چون قدرت موتور به اندازه کافی برای غلبه بر فشار وارده نیست. در چنین شرایطی موتور برای ایجاد میدان مغناطیسی قوی تر و غلبه بر نیروی مکانیکی وارده از طرف بار، جریان بیشتری را از شبکه دریافت می کند. این درخواست افزایش جریان باعث می شود تا سیم پیچی های موتور کم کم گرم شده و در نهایت موجب سوختن سیم پیچی های موتور خواهد شد.

**یادآوری:** همان گونه که در کتب سال گذشته آشنا شدید برای اندازه گیری توان از وسیله اندازه گیری وات متر می توان استفاده کرد. در شکل (۴۴) علامت اختصاری و شکل واقعی دو نمونه آنالوگ و دیجیتال آن را مشاهده می کنید. نحوه اتصال وات متر در مدار باید به صورت سری - موازی باشد. یعنی سیم پیچ جریان آن به صورت سری و سیم پیچ ولتاژ به صورت موازی در مدار بسته می شود.



شکل ۴۴- علامت اختصاری و شکل ظاهری وات متر آنالوگ و دیجیتالی



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 "راه انداز" نامیده می شود به کار می اندازند. اگر موتورهای الکتریکی با قدرت بالا را مستقیماً به شبکه وصل کنیم، جریان راه اندازی حدود ۴ تا ۷ برابر جریان نامی از شبکه دریافت می کنند؛ در نتیجه احتمال دارد سیم های رابط و وسایل حفاظتی صدمه ببینند.

به همین دلیل است که موتورهای با قدرت پایین را مستقیماً به شبکه وصل می کنند اما موتورهای دارای جریان بالا و قدرت زیاد را توسط روش هایی راه اندازی می کنند تا بتوان جریان راه اندازی آنها را کنترل و محدود کرد. یکی از این روش های راه اندازی موتورهای سه فاز اتصال ستاره مثلث است. این روش را در موتورهایی می توان استفاده کرد که امکان وصل اتصال مثلث در شبکه را داشته باشند. جدول زیر روش های راه اندازی موتورهای سه فاز با قدرت های نامی مختلف به شبکه را نشان می دهد.

#### جدول شماره ۵ - طرز اتصال موتورهای سه فاز با قدرت های نامی

روش های راه اندازی	قدرت نامی	
	در شبکه ۲۳۰V	در شبکه ۴۰۰V
راه اندازی به صورت مستقیم	۱/۵kw تا ۳kw	۲/۲kw تا ۴kw
راه اندازی به صورت ستاره مثلث	۵/۵kw تا ۳kw	۱۱kw تا ۴kw

در واقع اتصال ستاره - مثلث روش کنترلی برای جریان دریافتی موتورهای سه فاز در لحظه راه اندازی است.

$$I_{L\lambda} = \frac{V_P}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z} \quad \text{حالت ستاره}$$

$$I_{L\Delta} = \sqrt{3}I_P = \sqrt{3}\left(\frac{V_L}{Z}\right) \quad \text{حالت مثلث}$$

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

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

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

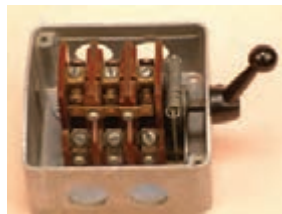
#### کلید ستاره-مثلث ( 0 - Δ - Δ )

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



بودمان اول: شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز

مدت زمانی به حالت مثلث تغییر وضعیت داد تا موتور با قدرت نامی خود، کار کند. شکل (۴۵) تصویر دو نمونه کلید ستاره - مثلث (گردان تابلویی و اهرمی) را نشان می دهد.

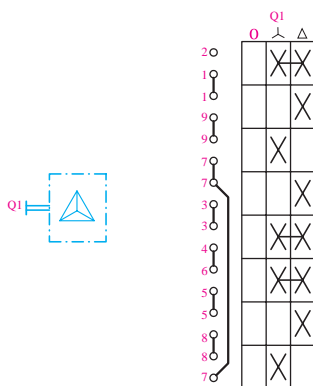


ب) کلید ستاره - مثلث اهرمی



الف) کلید ستاره - مثلث زبانه ای

شکل ۴۵

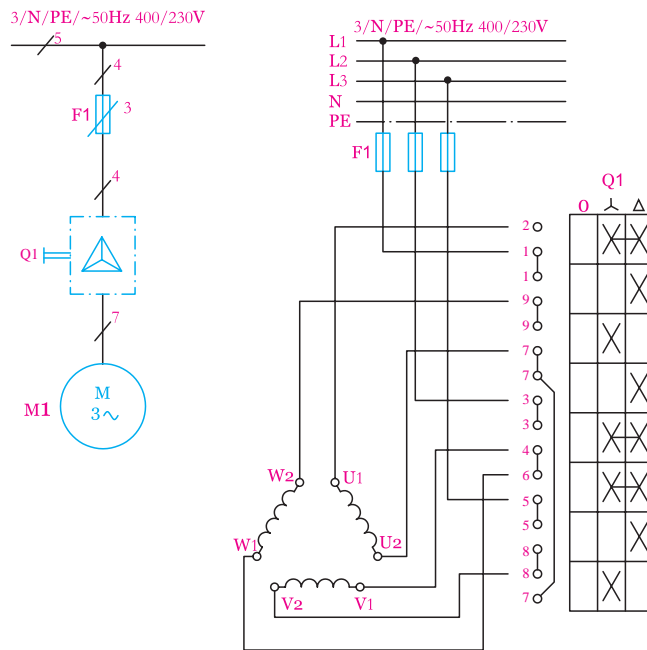


در شکل (۴۶) علامت اختصاری شمای حقیقی و شمای فنی کلید ستاره - مثلث را مشاهده می کنید.

الف - شمای حقیقی      ب - شمای فنی  
شکل ۴۶ - شمای حقیقی و فنی کلید ستاره - مثلث

راه اندازی موتور سه فاز با کلید ستاره - مثلث (Δ - ۸ - ۰)

برای راه اندازی موتور سه فاز به صورت ستاره - مثلث از نقشه شکل (۴۷) می توان استفاده کرد.

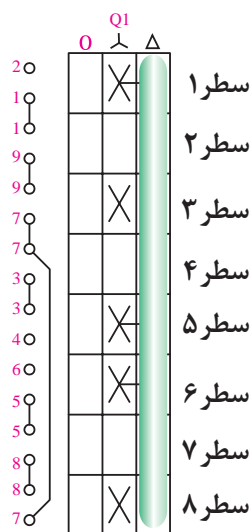


شکل ۴۷ - شمای حقیقی و فنی اتصال ستاره - مثلث

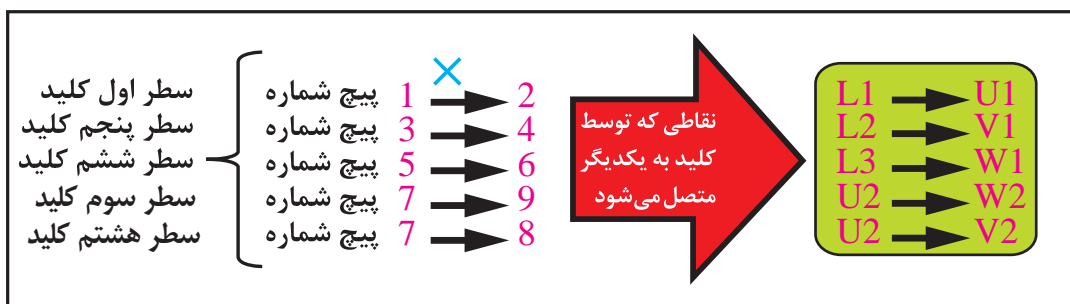
همان‌طور که در شکل (۴۷) مشاهده می‌شود پیچ‌های ۱، ۳، ۵ ورودی فازهای شبکه است و پیچ‌های ۲، ۴، ۶ به سرهای موتور یعنی U1، V1، W1 متصل شده و پیچ‌های ۷، ۸، ۹ به ترتیب به انتهای کلاف‌های موتور یعنی U2، V2، W2 متصل می‌شوند. برای آشنایی با طرز کار کلید و چگونگی عملکرد آن به بررسی و نقشه‌خوانی حالات کاری  $\Delta$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

### حالت $\Lambda$ کلید

در سطرهای اول، سوم، پنجم، ششم و هشتم علامت X کلید در ستون حالت  $\Lambda$  قرار دارد. برای اینکه نقشه‌خوانی کلید موردنظر به صورت خلاصه‌نویسی باشد از روشی که در شکل (۴۸) مشاهده می‌کنید استفاده شده است.



شکل ۴۸- اتصالات کلید در حالت ستاره



X- نشان دهنده اتصال بین دو پیچ است (نقش کنتاکت داخل کلید را دارد)

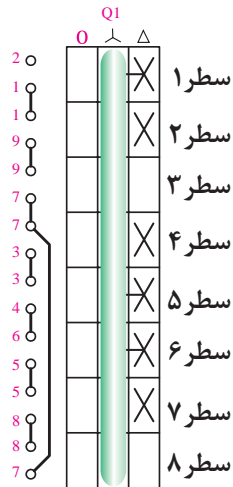
شکل ۴۹

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) به خوبی مشخص است.

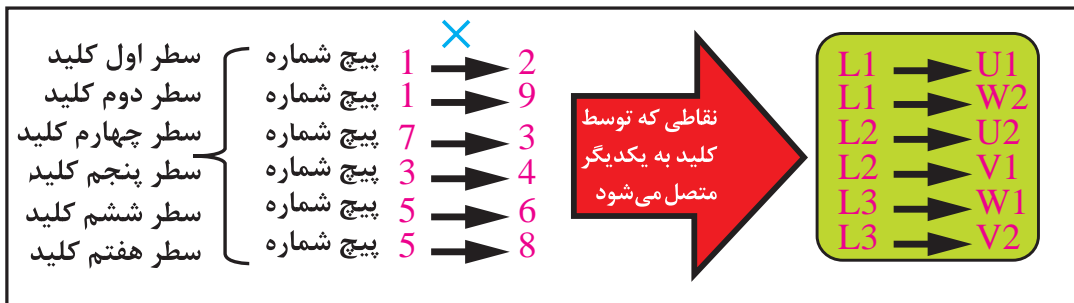
بودمان اول: شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز

### حالت $\Delta$ کلید

وقتی کلید در حالت  $\Delta$  قرار می گیرد چون در سطرهاى اول، دوم، چهارم، پنجم، ششم و هفتم علامت X قرار دارد، لازم است تا مسیر آنها را دنبال کرده و نقشه خوانی کنیم (شکل ۵۰).  
برای حالت مثلث نیز به اختصار در شکل (۵۱) وضعیت اتصال پیچ های کلید نشان داده شده است.



شکل ۵۰- اتصالات کلید در حالت مثلث



X - نشان دهنده اتصال بین دو پیچ است (نقش کنتاکت داخل کلید را دارد)

شکل ۵۱

راه اندازی الکتروموتورهای سه فاز به صورت ستاره - مثلث از لحظه ۴۲:۴۵ تا ۴۷

فیلم

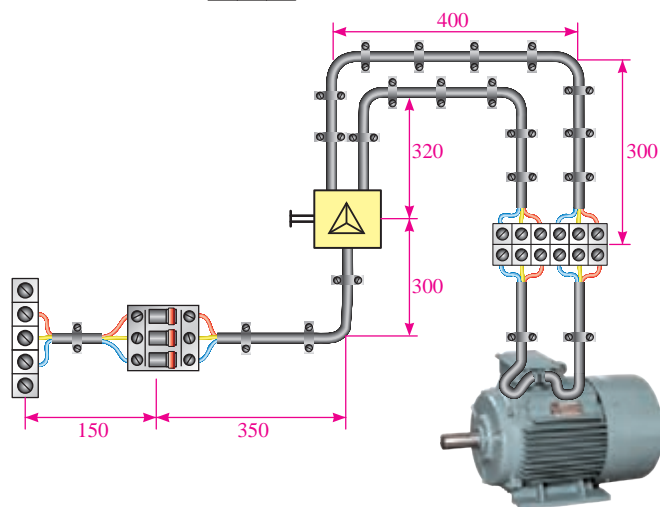
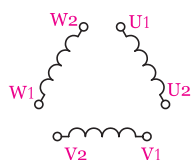
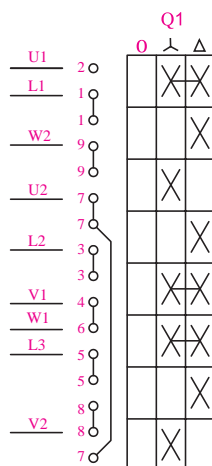
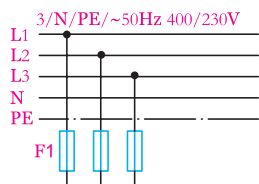


کار عملی ۳



هدف: راه اندازی موتور سه فاز با کلید ستاره - مثلث ( $\Delta$  -  $\star$  -  $\circ$ )

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



شکل ۵۲ - نقشه راه‌اندازی الکتروموتور با کلید ستاره - مثلث

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.

تذکر



۲- مدار کلید ستاره - مثلث را با استفاده از شکل (Δ) توسط کابل یا داکت روی تابلو اتصال دهید.  
 ۳- در حضور مربی خود کلید را در حالت ستاره (A) قرار داده و طرز کار موتور را بررسی کنید.

- ۴- کلید مدار را در حالت مثلث ( $\Delta$ ) قرار دهید و طرز کار موتور را بررسی کنید.  
 ۵- از مقایسه حالات کارکرد موتور در حالت ستاره با حالت مثلث چه نتیجه ای می گیرید؟  
 ۶- آیا با مطالب تئوری که در متن درس با آن آشنا شده اید مطابقت دارد؟ مختصراً توضیح دهید.

**سؤال:**

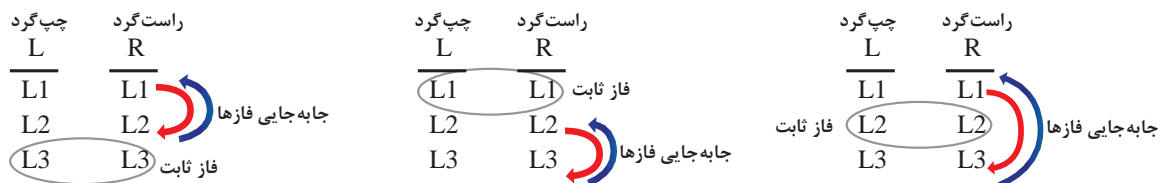
چرا در برخی از سطرهای کلید ستاره - مثلث وضعیت رسم کلید به صورت شکل (۵۳) است؟ علت را بررسی نموده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

شکل ۵۳- اتصالات مختلف کلید

### تغییر جهت گردش در موتورهای الکتریکی سه فاز

به طور کلی 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 ماشین های تراش، نوار نقاله ها و جرثقیل های سقفی کارخانجات را می توان نام برد. در صنعت به این تغییر جهت گردش موتور "چپ گرد - راست گرد" شدن موتور گفته می شود. 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 (چپ گرد یا راست گرد) تا جای دو فاز را با هم عوض کنیم.

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



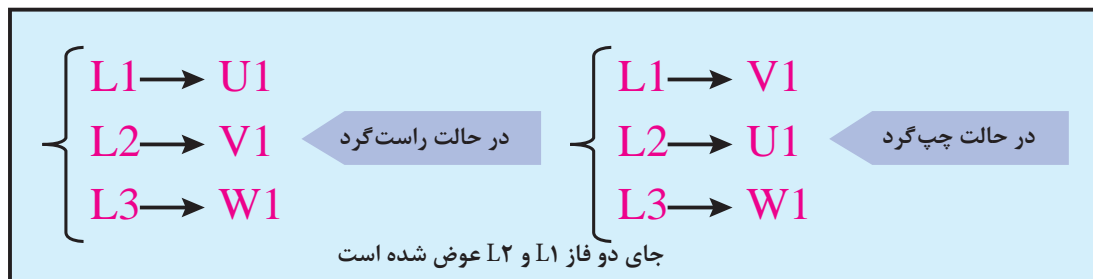
شکل ۵۴- تغییر جهت چرخش در موتورهای سه فاز

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

فیلم



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



شکل ۵۵- جابه‌جایی فازها

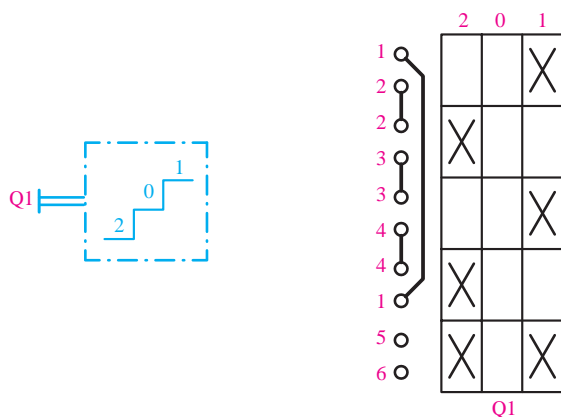
### کلید چپ‌گرد-راست‌گرد (۱-۰-۲) یا (L-0-R)

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 - راست‌گرد (گردان تابلویی و اهرمی) را نشان می‌دهد.



شکل ۵۶- کلید چپ‌گرد - راست‌گرد

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



ب - شمای فنی

الف - شمای حقیقی

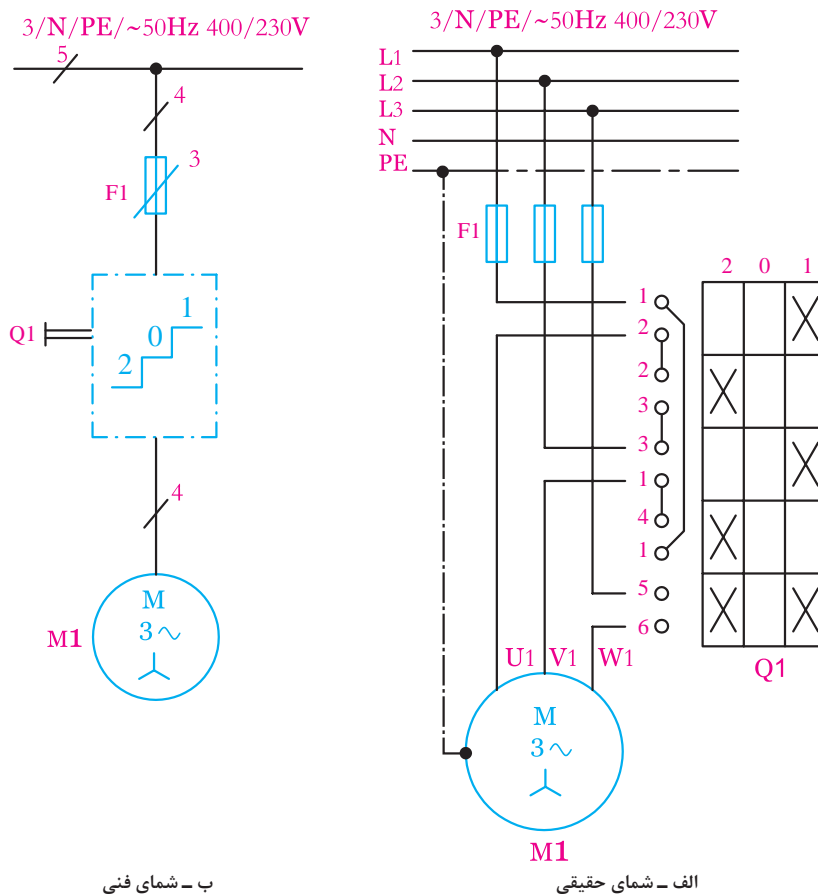
شکل ۵۷- کلید چپ‌گرد - راست‌گرد

در استاندارد IEC از (۱-۰-۲) به جای (L - ۰ - R) استفاده می کند که ما نیز در ترسیم نقشه ها موظف به رعایت آن هستیم.



**راه اندازی موتور سه فاز با کلید چپ گرد - راست گرد (۱ - ۰ - ۲)**

برای راه اندازی موتور سه فاز به صورت چپ گرد - راست گرد از نقشه شکل (۵۸) می توان استفاده کرد.

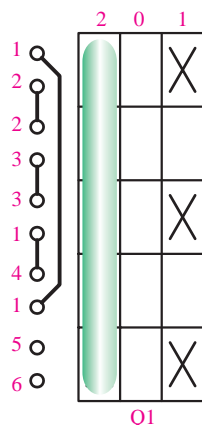


شکل ۵۸- شمای حقیقی و فنی مدار راست گرد و چپ گرد

همان طوری که در شکل (۵۸) مشاهده می شود پیچ های ۱، ۳، ۵ ورودی فازهای شبکه است و پیچ های ۲، ۴، ۶ به سرهای موتور متصل می شود.



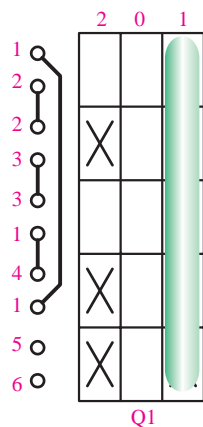
### ✓ حالت ۱ کلید



شکل ۵۹- اتصالات داخل کلید در حالت راست گرد

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

### ✓ حالت ۲ کلید



شکل ۶۰- اتصالات داخل کلید در حالت چپ گرد

مطابق شکل (۶۰) وقتی کلید در حالت دو قرار می‌گیرد چون در سطرهای دوم، چهارم و پنجم علامت X قرار دارد پیچ ۲ به ۳-۴ به ۵ و ۱ به ۶ اتصال می‌یابد و در نتیجه فاز L1 به V1، فاز L2 به U1 و فاز L3 به W1 متصل می‌شود و موتور به صورت چپ گرد کار خواهد کرد.

از مقایسه علامت‌های X که در سطرهای مختلف کلید قرار گرفته می‌توان دریافت که چون در سطر پنجم دو حالت ۱ و ۲ کلید که فاز سوم اتصال داده شده 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) عوض شده و فاز سوم (L3) ثابت بوده است.

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

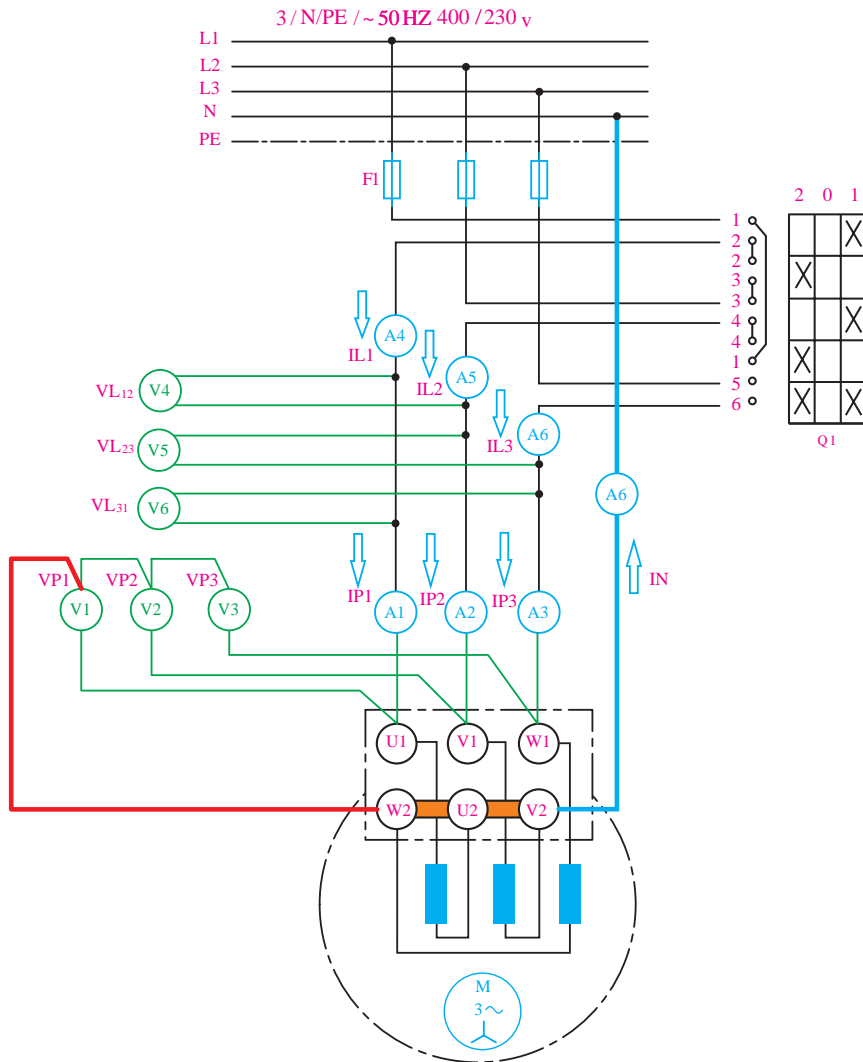
نکته





هدف: تغییر جهت گردش موتور سه فاز با کلید چپ گرد- راست گرد (۲ - ۰ - ۱)

۱- مدار راه اندازی موتور سه فاز با اتصال ستاره ثابت به صورت چپ گرد - راست گرد را با استفاده از وسایل اندازه گیری مطابق نقشه نشان داده شده در شکل (۶۱) روی تابلو اتصال دهید.



شکل ۶۱ - تغییر جهت گردش با کلید چپ گرد - راست گرد

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

۲- پس از سیم کشی و کابل کشی بین قطعات، با حضور مربی فیوز را وصل و کلید را در حالت ۱ قرار دهید.

تذکر



جدول شماره ۶- اتصال ستاره موتور سه فاز در حالت راست گرد (حالت ۱ کلید)

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{Lr}$	$V_{Lr}$	$V_{L1}$	$I_{Lr}$	$I_{Lr}$	$I_{L1}$	$V_{Pr}$	$V_{Pr}$	$V_{P1}$	$I_{Pr}$	$I_{Pr}$	$I_{P1}$	ولتاژها و جریان‌ها
$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه‌گیری
												مقادیر اندازه‌گیری

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

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

جریان سیم نول  $I_N = \dots\dots\dots$

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

۶- 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 ۷- اتصال ستاره موتور سه فاز در حالت چپ گرد (حالت ۲ کلید)

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{Lr}$	$V_{Lr}$	$V_{L1}$	$I_{Lr}$	$I_{Lr}$	$I_{L1}$	$V_{Pr}$	$V_{Pr}$	$V_{P1}$	$I_{Pr}$	$I_{Pr}$	$I_{P1}$	ولتاژها و جریان‌ها
$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه‌گیری
												مقادیر اندازه‌گیری

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

جریان سیم نول  $I_N = \dots\dots\dots$

۸- از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و ثبت شده در جداول حالت راست گرد با حالت چپ گرد چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

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

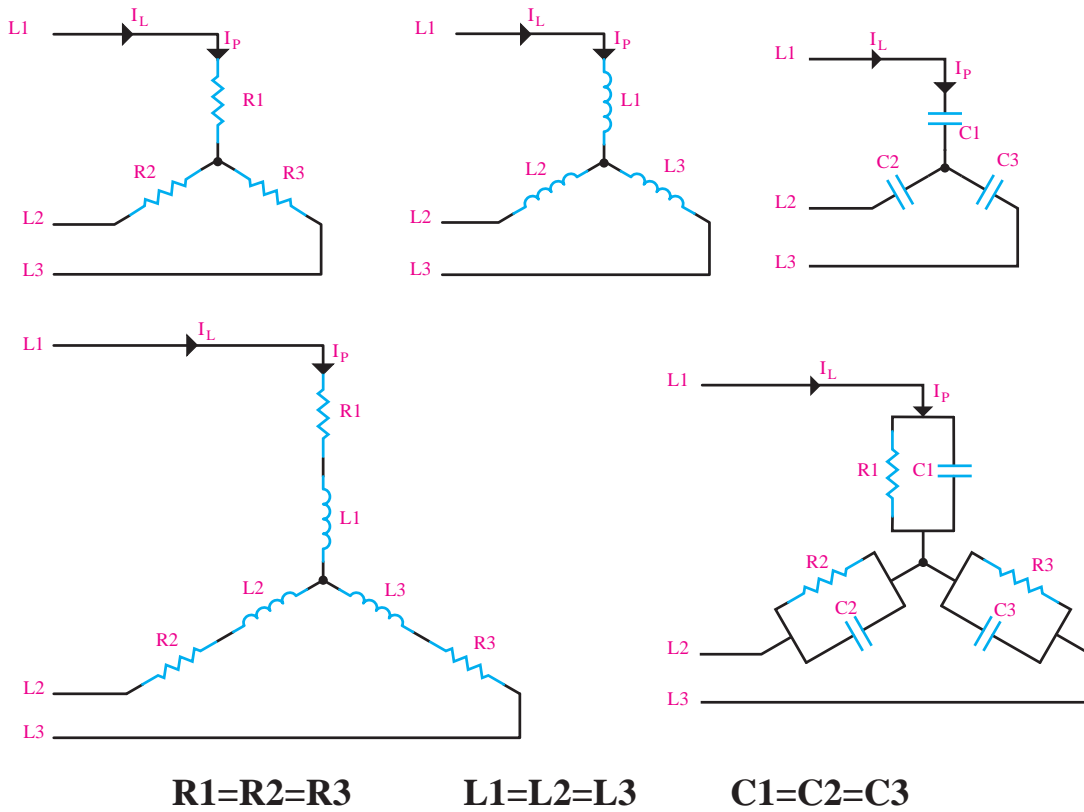
### بررسی مفاهیم بارهای متعادل و نامتعادل در مصرف‌کننده‌های سه فاز

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

### اتصال ستاره

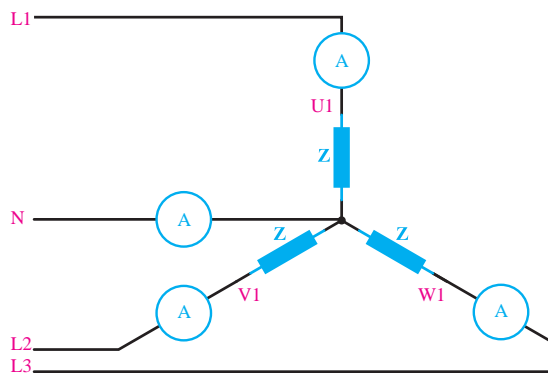
**الف) بار متعادل:** در این حالت چون مقدار مقاومت (R) یا راکتانس (X) هر سه فاز یکسان است لذا جریان عبوری از هر فاز ( $I_P$ ) و جریان عبوری از خطوط شبکه سه فاز ( $I_L$ ) برابر است. شکل (۶۲) تصویر چند نمونه بار با اتصال ستاره متعادل را نشان می دهد.



شکل ۶۲- ستاره متعادل

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

**توضیح ۲-** در اتصال ستاره می توان محل اتصال انتهای سیم پیچ ها (نقطه N) را به سیم نول شبکه اتصال داد.



شکل ۶۳- اتصال ستاره با نول

- $Z_1$  - بار اهمی خالص
- $Z_2$  - بار اهمی خالص
- $Z_3$  - بار اهمی خالص
- $Z_1 = Z_2 = Z_3$

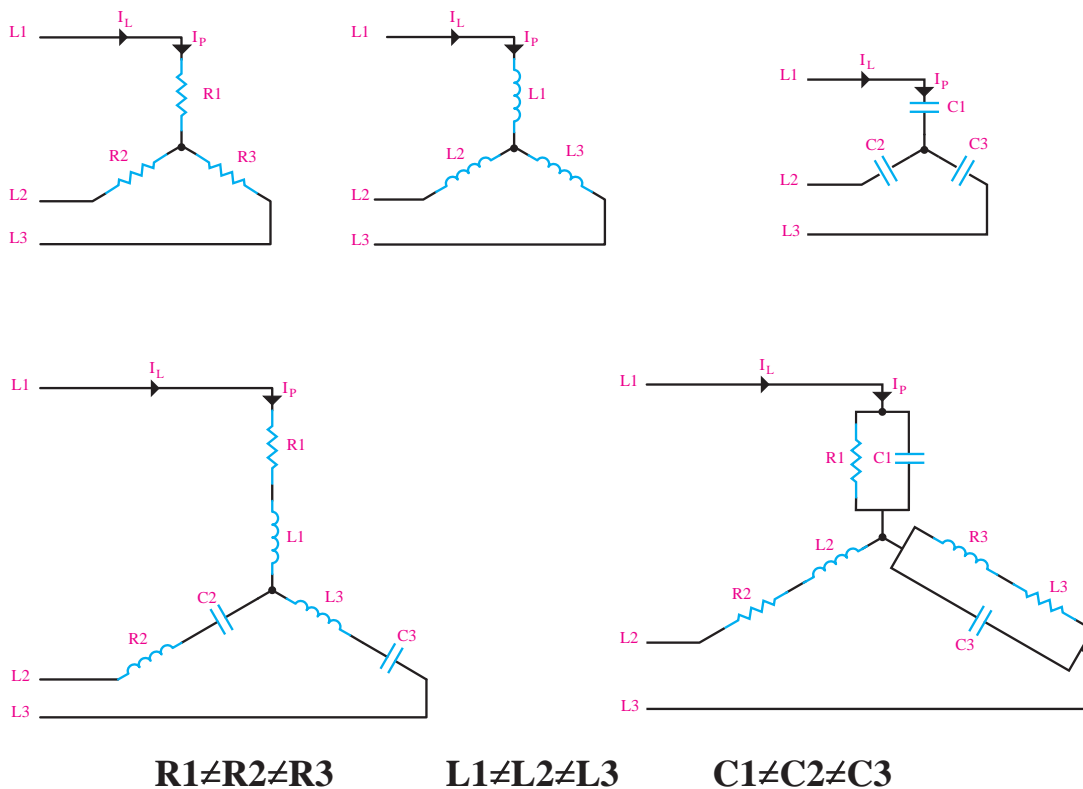
در شرایط ستاره متعادل چون جریان‌های فازی و خطی هر سه فاز برابر است لذا جمع برداری جریان جاری سیم نول (مسیر برگشت جریان فازها) برابر صفر خواهد شد.

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

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

$$I_N = 0 \quad \text{در شرایط بار متعادل}$$

**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.

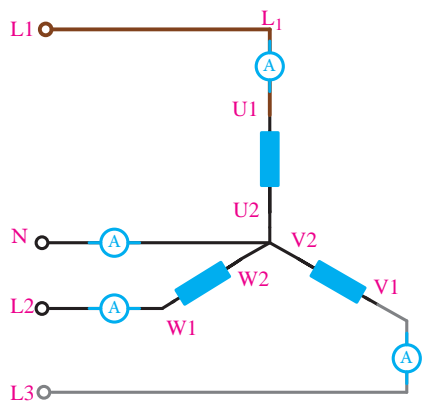


شکل ۶۴ - ستاره نامتعادل

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.

بودمان اول: شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز



$Z_1$  - بار اهمی خالص  
 $Z_2$  - بار سلفی خالص  
 $Z_3$  - بار خازنی خالص

$$Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3$$

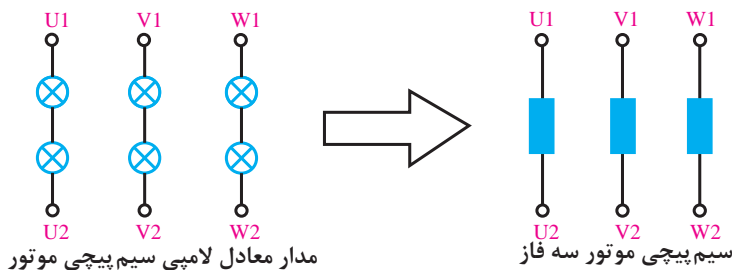
$$I_{P1} \neq I_{P2} \neq I_{P3} \Rightarrow I_{L1} \neq I_{L2} \neq I_{L3}$$

$$I_N = I_{P1} + I_{P2} + I_{P3} \neq 0$$

در شرایط بار نامتعادل  $I_N \neq 0$

شکل ۶۵ - ستاره نامتعادل

چون برای ایجاد حالت متعادل و نامتعادل در مصرف کننده سه فاز لازم است تا مشخصات مقاومتی (توانی) هر فاز را تغییر دهیم. به همین دلیل برای اجرای کارهای عملی این قسمت به جای استفاده از موتور سه فاز، از شش لامپ ۲۲۰ ولتی که به صورت دوه دو سری بسته شده اند به عنوان مدار معادل هر یک از سیم پیچی های موتور سه فاز استفاده شده است. شکل (۶۶)



شکل ۶۶ - اتصال مدار لامپ برای حالت مثلث

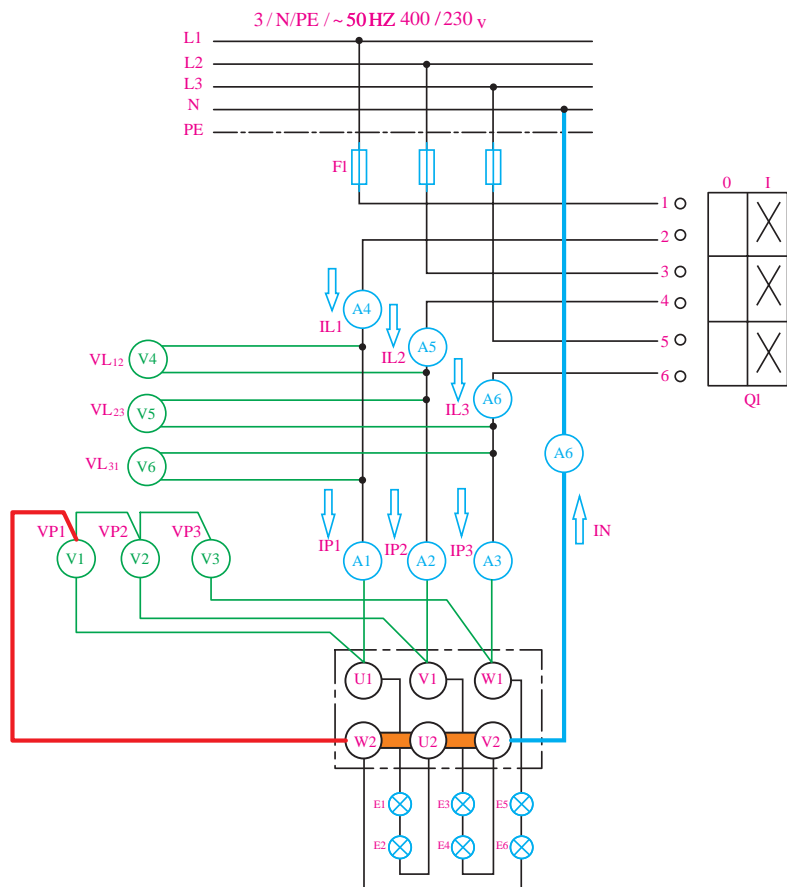
چرا از دو لامپ ۲۲۰ ولت به صورت سری به عنوان مدار معادل لامپی برای هر فاز سیم پیچی موتور استفاده می شود؟

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

### الف) اتصال ستاره متعادل

I - مدار در شرایط کار طبیعی (نرمال)

۱- با توجه به شکل (۶۷) مدار الکتریکی را با استفاده از فیوز مینیاتوری سه فاز، کلید قطع و وصل سه فاز، آمپر مترها و ولت مترها و ۶ لامپ ۱۰۰ W روی تابلو اتصال دهید.



شکل ۶۷- اتصال مدار ستاره لامپی

۲- 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 - ستاره متعادل در شرایط کار طبیعی

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L_r}$	$V_{L_p}$	$V_{L_1}$	$I_{L_r}$	$I_{L_p}$	$I_{L_1}$	$V_{P_r}$	$V_{P_p}$	$V_{P_1}$	$I_{P_r}$	$I_{P_p}$	$I_{P_1}$	ولتاژها و جریان‌ها
$V_6$	$V_5$	$V_4$	$A_6$	$A_5$	$A_4$	$V_r$	$V_p$	$V_1$	$A_r$	$A_p$	$A_1$	وسایل اندازه‌گیری
												مقادیر اندازه‌گیری

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

$I_N =$  جریان سیم نول

۴- 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 - مدار در شرایط قطع یک فاز شبکه

۵- 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 ۹- ستاره متعادل در شرایط قطع یک فاز

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{Lr}$	$V_{Lr}$	$V_{L1}$	$I_{Lr}$	$I_{Lr}$	$I_{L1}$	$V_{Pr}$	$V_{Pr}$	$V_{P1}$	$I_{Pr}$	$I_{Pr}$	$I_{P1}$	ولتاژها و جریان ها
$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه گیری
												مقادیر اندازه گیری

۶- اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه گیری نموده و یادداشت نمایید.

جریان سیم نول  $I_N = \dots\dots\dots$

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

### III - مدار در شرایط قطع یک فاز سیم پیچی موتور (قطع یک لامپ)

۸- یکی از لامپ های موجود در مسیر یک فاز را قطع نموده و مقادیر ولتاژ و جریان های خطی و فازی را مشاهده کرده و در جدول شماره (۱۰) یادداشت نمایید.

جدول شماره ۱۰- ستاره متعادل در شرایط قطع یک لامپ

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{Lr}$	$V_{Lr}$	$V_{L1}$	$I_{Lr}$	$I_{Lr}$	$I_{L1}$	$V_{Pr}$	$V_{Pr}$	$V_{P1}$	$I_{Pr}$	$I_{Pr}$	$I_{P1}$	ولتاژها و جریان ها
$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه گیری
												مقادیر اندازه گیری

۹- اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه گیری نموده و یادداشت نمایید.

جریان سیم نول  $I_N = \dots\dots\dots$

۱۰- مقادیر اندازه گیری شده جدول شماره ۱۰ را با جدول شماره ۸ مقایسه کرده و در صورت وجود اختلاف علت را توضیح دهید.

### ب) اتصال ستاره نامتعادل

#### I - در شرایط کار طبیعی (نرمال)

۱۱- در مدار شکل (۶۷) لامپ های موجود در مدار را به صورت 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.

۱۲- مقادیر جریان و ولتاژی که آمپر مترها و ولت مترهای خطی و فازی نشان می دهند را مشاهده کرده و در جدول شماره ۱۱ یادداشت کنید.

جدول شماره ۱۱- ستاره نامتعادل

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L_r}$	$V_{L_r}$	$V_{L_1}$	$I_{L_r}$	$I_{L_r}$	$I_{L_1}$	$V_{P_r}$	$V_{P_r}$	$V_{P_1}$	$I_{P_r}$	$I_{P_r}$	$I_{P_1}$	ولتاژها و جریان‌ها
$V_\epsilon$	$V_\delta$	$V_\zeta$	$A_\epsilon$	$A_\delta$	$A_\zeta$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه‌گیری
												مقادیر اندازه‌گیری

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

جریان سیم نول  $I_N = \dots\dots\dots$

۱۴- مقادیر اندازه‌گیری شده جدول شماره ۱۱ را با جدول شماره ۸ مقایسه کرده و در صورتی که وجود اختلاف علت را توضیح دهید.

۱۵- 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 - در شرایط قطع یک فاز شبکه

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

جدول شماره ۱۲- ستاره نامتعادل در شرایط قطع یک فاز

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L_r}$	$V_{L_r}$	$V_{L_1}$	$I_{L_r}$	$I_{L_r}$	$I_{L_1}$	$V_{P_r}$	$V_{P_r}$	$V_{P_1}$	$I_{P_r}$	$I_{P_r}$	$I_{P_1}$	ولتاژها و جریان‌ها
$V_\epsilon$	$V_\delta$	$V_\zeta$	$A_\epsilon$	$A_\delta$	$A_\zeta$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه‌گیری
												مقادیر اندازه‌گیری

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

جریان سیم نول  $I_N = \dots\dots\dots$

۱۸- مقادیر اندازه‌گیری شده جدول شماره ۱۲ را با جدول شماره ۱۱ مقایسه کرده و در صورت وجود اختلاف، علت را توضیح دهید.

### III - در شرایط قطع یک فاز سیم پیچی موتور (قطع یک لامپ)

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

جدول شماره ۱۳- ستاره نامتعادل در شرایط قطع یک لامپ

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{Lr}$	$V_{Lr}$	$V_{L1}$	$I_{Lr}$	$I_{Lr}$	$I_{L1}$	$V_{Pr}$	$V_{Pr}$	$V_{P1}$	$I_{Pr}$	$I_{Pr}$	$I_{P1}$	ولتاژها و جریان ها
$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$V_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$A_{\phi}$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه گیری
												مقادیر اندازه گیری

۲۰- اندازه جریان عبوری از سیم نول را اندازه گیری نموده و یادداشت نمایید.

جریان سیم نول  $I_N = \dots\dots\dots$

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

تمرین



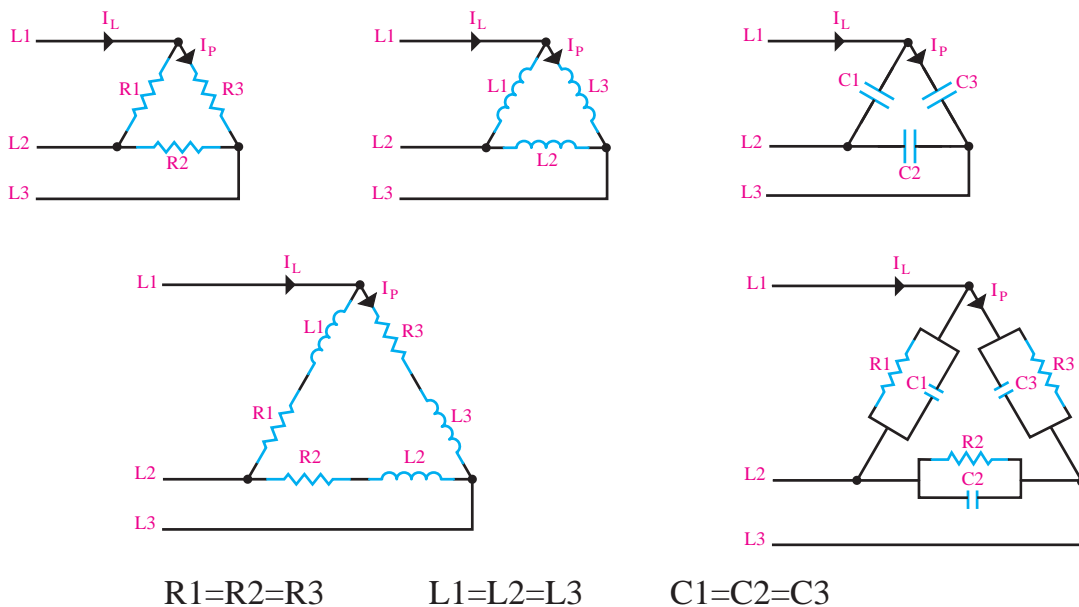
توان مصرفی هر فاز و توان مصرفی کل مدار های سه فازه با اتصال ستاره را با توجه به مقادیر اندازه گیری شده در آزمایشات و به ازای  $\cos\phi = 0.99$  (ضریب قدرت تقریبی لامپ های رشته ای) به دست آورید؟

- الف) اتصال ستاره متعادل در شرایط وصل سه فاز (بر اساس مقادیر جدول ۹)
- ب) اتصال ستاره متعادل در شرایط قطع یک فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۰)
- ج) اتصال ستاره متعادل در شرایط قطع لامپ (بر اساس مقادیر جدول ۱۱)
- د) اتصال ستاره نامتعادل در شرایط وصل سه فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۲)
- ه) اتصال ستاره نامتعادل در شرایط قطع یک فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۳)
- و) اتصال ستاره نامتعادل در شرایط قطع لامپ (بر اساس مقادیر جدول ۱۴)

### اتصال مثلث

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

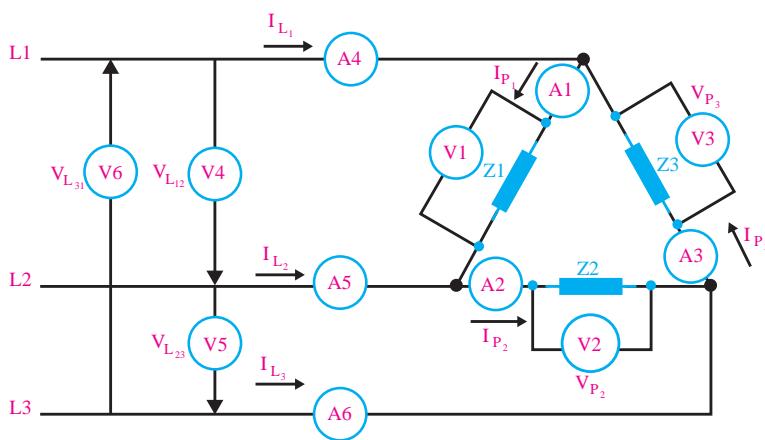
شکل (۶۸) تصویر چند نمونه بار با اتصال مثلث متعادل را نشان می دهد.



شکل ۶۸- مثلث متعادل

همان گونه 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.

- $Z_1$  - بار اهمی خالص
- $Z_2$  - بار اهمی خالص
- $Z_3$  - بار اهمی خالص
- $Z_1 = Z_2 = Z_3$



شکل ۶۹- اتصال مدار مثلث متعادل

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

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

بودمان اول: شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز

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

نکته



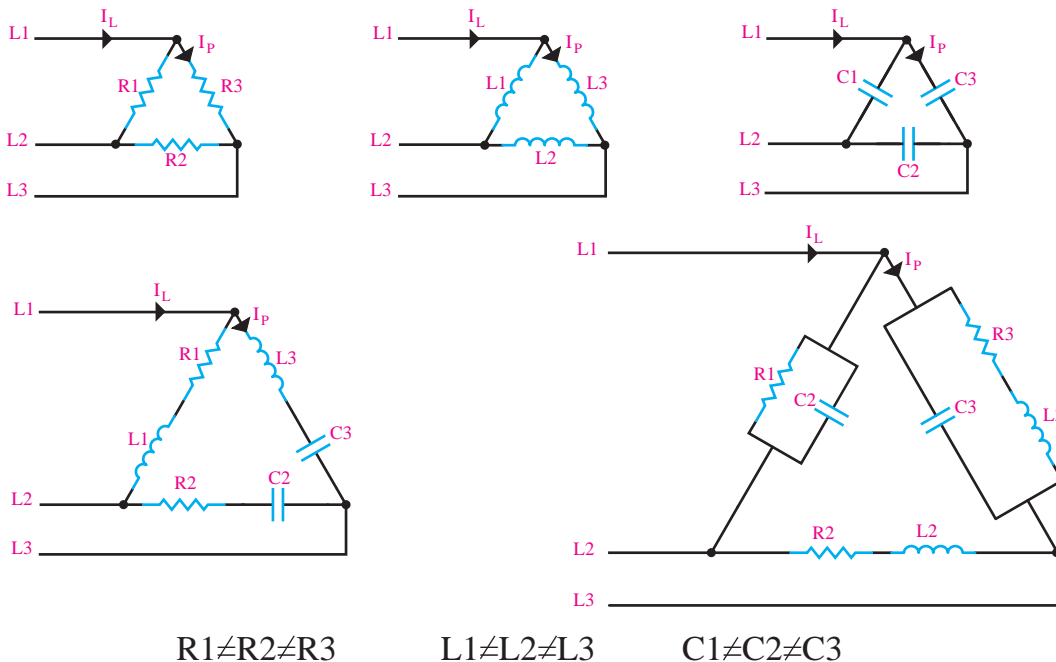
چون جریان های هر فاز دارای اندازه و زاویه اختلاف فاز هستند لذا برای جمع یا تفریق جریانی ها باید به صورت جمع و تفریق برداری آنها را محاسبه کرد.

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

$$-I_{L_r} - I_{P_1} + I_{P_r} = 0 \Rightarrow I_{L_r} = I_{P_r} - I_{P_1}$$

$$-I_{L_r} - I_{P_r} + I_{P_1} = 0 \Rightarrow I_{L_r} = I_{P_1} - I_{P_r}$$

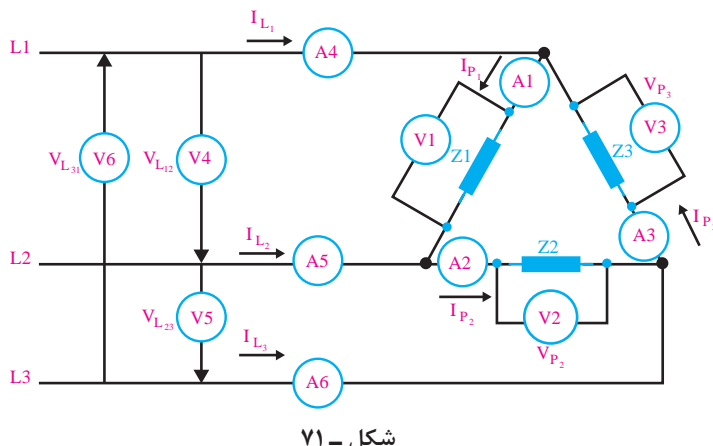
ب) بار نامتعادل: در صورتی که مشخصات هر شاخه اتصال مثلث که در مسیر سه فاز قرار می گیرند از نظر نوع، اندازه یا زاویه اختلاف فاز با یکدیگر مساوی نباشند این اتصال را «اتصال مثلث نامتعادل» گویند. شکل (۷۰) تصاویری از اتصالات مثلث نامتعادل را نشان می دهد.



شکل ۷۰- مثلث نامتعادل

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



شکل ۷۱ -

$Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3$   
 $I_{P1} \neq I_{P2} \neq I_{P3}$   
 $I_{L1} \neq I_{L2} \neq I_{L3}$

$$Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3$$

$$I_{P1} \neq I_{P2} \neq I_{P3}$$

$$I_{L1} \neq I_{L2} \neq I_{L3}$$

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

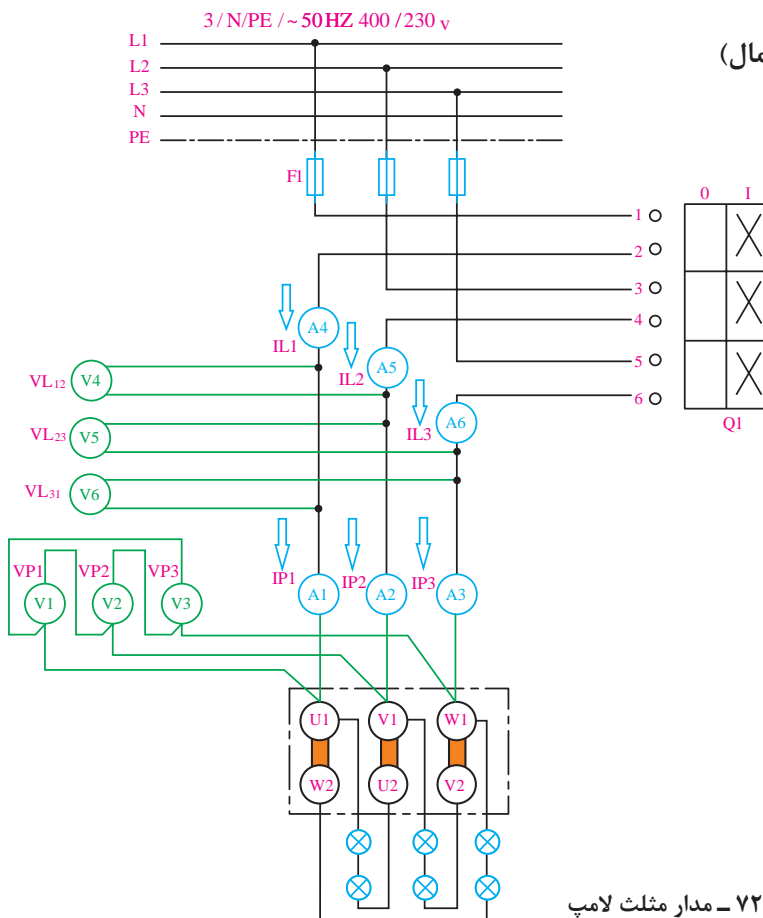
کار عملی ۱



### الف) اتصال مثلث متعادل

I - مدار در شرایط کار طبیعی (نرمال)

۱- با توجه به شکل (۷۲) مدارالکتريکی را با استفاده از فیوز مینیاتوری سه فاز، کلید قطع و وصل سه فاز، آمپرترها و ولت مترها و ۶ لامپ ۱۰۰ W روی تابلو اتصال دهید.



شکل ۷۲ - مدار مثلث لامپ

بودمان اول: شبکه برق و مصرف کننده های سه فاز

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

جدول شماره ۱۴- مثلث متعادل در شرایط کار طبیعی

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L_r}$	$V_{L_r}$	$V_{L_1}$	$I_{L_r}$	$I_{L_r}$	$I_{L_1}$	$V_{P_r}$	$V_{P_r}$	$V_{P_1}$	$I_{P_r}$	$I_{P_r}$	$I_{P_1}$	ولتاژها و جریانها
$V_\phi$	$V_\phi$	$V_\phi$	$A_\phi$	$A_\phi$	$A_\phi$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه گیری
												مقادیر اندازه گیری

۳- از مقایسه مقادیر اندازه گیری شده توسط ولت مترها و آمپرمترها چه نتیجه ای می گیرید؟ آیا با مطالب تئوری که در متن درس با آن آشنا شده اید مطابقت دارد؟ توضیح دهید.

II - مدار در شرایط قطع یک فاز شبکه

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

جدول شماره ۱۵- مثلث متعادل در شرایط قطع یک فاز

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L_r}$	$V_{L_r}$	$V_{L_1}$	$I_{L_r}$	$I_{L_r}$	$I_{L_1}$	$V_{P_r}$	$V_{P_r}$	$V_{P_1}$	$I_{P_r}$	$I_{P_r}$	$I_{P_1}$	ولتاژها و جریانها
$V_\phi$	$V_\phi$	$V_\phi$	$A_\phi$	$A_\phi$	$A_\phi$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه گیری
												مقادیر اندازه گیری

۵- مقادیر اندازه گیری شده جدول شماره ۱۵ را با جدول شماره ۱۴ مقایسه کرده و در صورت بروز اختلاف علت را توضیح دهید.

III - مدار در شرایط قطع یک فاز سیم پیچی موتور (قطع یک لامپ)

۶- یکی از لامپ های موجود در مسیر یک فاز را قطع نموده و مقادیر ولتاژ و جریان های خطی و فازی را مشاهده کرده و در جدول شماره (۱۶) یادداشت نمایید.

جدول شماره ۱۶- مثلث متعادل در شرایط قطع یک لامپ

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L_r}$	$V_{L_r}$	$V_{L_1}$	$I_{L_r}$	$I_{L_r}$	$I_{L_1}$	$V_{P_r}$	$V_{P_r}$	$V_{P_1}$	$I_{P_r}$	$I_{P_r}$	$I_{P_1}$	ولتاژها و جریانها
$V_\phi$	$V_\phi$	$V_\phi$	$A_\phi$	$A_\phi$	$A_\phi$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه گیری
												مقادیر اندازه گیری

۷- 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 - در شرایط کار طبیعی (نرمال)

۸- در مدار شکل (۷۲) لامپ‌های موجود در مدار را به صورت 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.

۹- 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 ۱۷- مثلث نامتعادل در شرایط کار طبیعی

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L_r}$	$V_{L_r}$	$V_{L_1}$	$I_{L_r}$	$I_{L_r}$	$I_{L_1}$	$V_{P_r}$	$V_{P_r}$	$V_{P_1}$	$I_{P_r}$	$I_{P_r}$	$I_{P_1}$	ولتاژها و جریان‌ها
$V_6$	$V_5$	$V_4$	$A_6$	$A_5$	$A_4$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه‌گیری
												مقادیر اندازه‌گیری

۱۰- 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 - در شرایط قطع یک فاز شبکه

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

جدول شماره ۱۸- مثلث نامتعادل در شرایط قطع یک فاز

مقادیر خطی						مقادیر فازی						
$V_{L_r}$	$V_{L_r}$	$V_{L_1}$	$I_{L_r}$	$I_{L_r}$	$I_{L_1}$	$V_{P_r}$	$V_{P_r}$	$V_{P_1}$	$I_{P_r}$	$I_{P_r}$	$I_{P_1}$	ولتاژها و جریان‌ها
$V_6$	$V_5$	$V_4$	$A_6$	$A_5$	$A_4$	$V_r$	$V_r$	$V_1$	$A_r$	$A_r$	$A_1$	وسایل اندازه‌گیری
												مقادیر اندازه‌گیری

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

### III - در شرایط قطع یک فاز سیم‌پیچی موتور (قطع یک لامپ)

۱۳- یکی از لامپ‌های موجود در مسیر یک فاز را قطع نموده و مقادیر ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی را مشاهده کرده و در جدول شماره (۱۹) یادداشت نمایید.



جدول شماره ۱۹- مثلث نامتعادل در شرایط قطع یک لامپ

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

۱۴- مقادیر اندازه گیری شده جدول شماره ۱۹ را با جدول شماره ۱۷ مقایسه کرده و در صورت بروز اختلاف علت را توضیح دهید.

تمرین



توان مصرفی هر فاز و توان مصرفی کل در مدار های سه فاز با اتصال مثلث را با توجه به مقادیر اندازه گیری شده در آزمایشات و به ازای  $\cos\phi = 0.99$  (ضریب قدرت تقریبی لامپ های رشته ای) به دست آورید؟

- الف) اتصال مثلث متعادل در شرایط وصل سه فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۵)
- ب) اتصال مثلث متعادل در شرایط قطع یک فاز (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 یک فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۹)
- و) اتصال مثلث نامتعادل در شرایط قطع لامپ (بر اساس مقادیر جدول ۲۰)

## کلید ولت متری و لامپ سیگنال

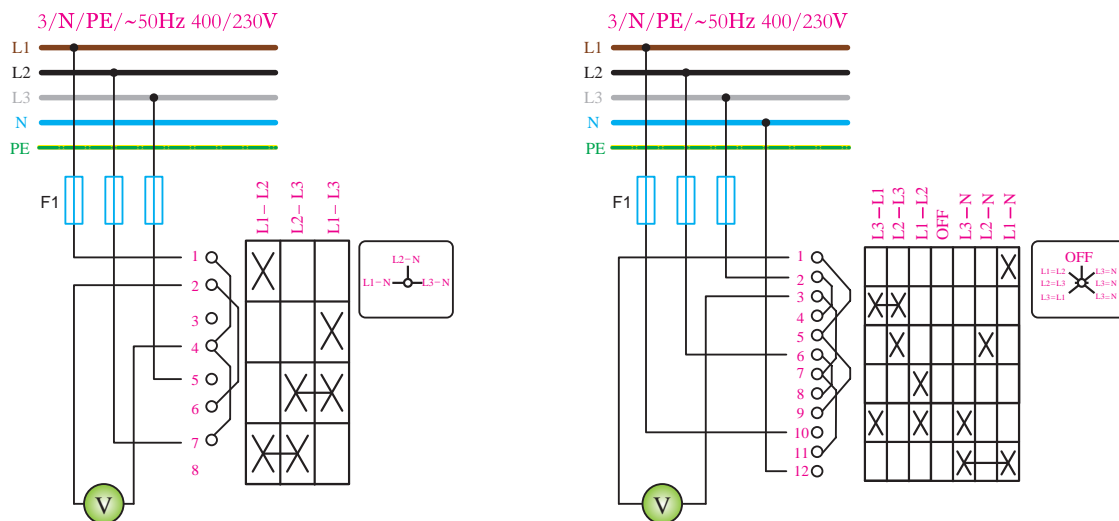


در مدارهای سه فاز یا تک فاز و تابلوهای برق کلید ولت متری و لامپ های سیگنال کاربرد زیادی دارند. شکل (۷۳) تصویر تابلو برقی را نشان می دهد که کلید ولت متری و لامپ های سیگنال در آن به کار رفته است.

**توجه:** لامپ های سیگنال در تابلوهای برق به ترتیب رنگ از سمت چپ، قرمز، زرد و سبز قرار می گیرند.

شکل ۷۳- کلید ولت متری و لامپ سیگنال معمولی

از کلید ولت متری برای اندازه گیری ولتاژهای خطی، فازی و یا هر دو در تابلوهای برق استفاده می شود که به کمک آن می توان از وجود یا عدم وجود و همچنین مناسب بودن سطح ولتاژ موجود در مولد اطلاع حاصل کرد. شکل (۷۴) نقشه اتصال دو نوع کلید ولت متری را نشان می دهد.



شکل ۷۴- مدار کلید ولت متری



شکل ۷۵- کلید ولت متری

شکل (۷۵) تصویر چند نمونه از کلیدهای ولت متر را نشان می دهد.



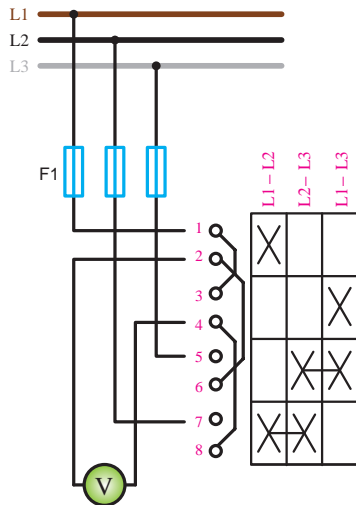
شکل ۷۶- انواع لامپ سیگنال

از لامپهای سیگنال در تابلوهای برق به عنوان نشان دهنده (هشدار دهنده)، وصل و یا قطع بودن برق تابلوها استفاده می شود. لامپهای سیگنال از نوع لامپهای گازی بوده و از ابعاد و توان مصرفی کمی برخوردار هستند. لامپهای سیگنال تک رنگ (رنگ سفید) هستند. پس از قرار دادن لامپ در پایه خود، با انتخاب طلقهای رنگی مختلفی که وجود دارند (سبز - زرد - نارنجی - قرمز) می توان لامپهای سیگنال با رنگهای مختلف را ایجاد کرده و در تابلوهای برق به کار برد.

در شکل (۷۶) تصویر چند نمونه از لامپهای سیگنال در رنگها و ابعاد مختلف مشاهده می کنید. در سالهای اخیر لامپ سیگنال با قابلیت نمایشگر ولتاژ، جریان و فرکانس در بازار وجود دارد.

## نقشه خوانی و بررسی عملکرد کلیدهای ولتمتری

همان طوری که در شکل (۷۷) مشخص است این کلید دارای سه پیچ به عنوان ورودی های برق سه فاز (پیچ های ۱، ۵، ۷) است. دو پیچ شماره ۲ و ۴ نیز به دوسر ولت متر بسته می شوند.



در داخل کلید ارتباطاتی بین پیچ ها پدید می آید تا بتواند مقدار ولتاژ بین هر دو فاز را اندازه گیری نماید. طبق استاندارد IEC در نقشه کلیدها تعداد ستون ها نشان دهنده تعداد حالات کاری آنها است.

بر همین اساس پس نتیجه می گیریم که این کلید دارای ۳ حالت کاری است. با کمی دقت می توان مشاهده کرد که در بالای هر حالت ستون نام دو فاز نوشته شده که ولت متر ولتاژ بین آن دو را اندازه گیری می کند.

حالت ۱- ولتاژ بین  $L1, L2$

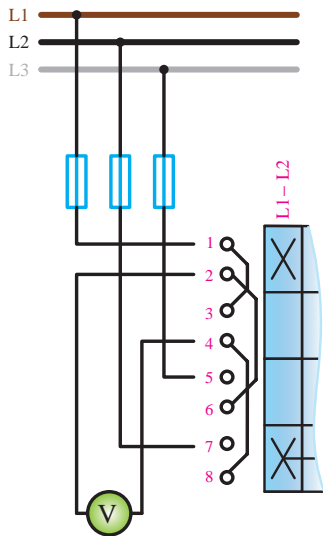
حالت ۲- ولتاژ بین  $L2, L3$

حالت ۳- ولتاژ بین  $L3, L1$

شکل ۷۷- اندازه گیری ولتاژ بین دو فاز

برای برقراری ارتباط بین سرهای ولت متر با فازها که از طریق اتصال پیچ های کلید صورت می گیرد از علامت **X** استفاده می شود. در هر حالت کلید (ستون مستقل) به صورت جداگانه علامت **X** قرار می گیرد.

### حالت ۱- اندازه گیری ولتاژ بین $L2, L1$



در شکل (۷۸) مشاهده می شود 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 می کند فاز اول به یک سمت ولت متر اتصال داده می شود و در سطر چهارم کلید که علامت **X** وجود دارد، اولاً فاز  $L2$  به پیچ ۷ کلید وارد شده و با ارتباطی که علامت **X** با پیچ ۸ ایجاد می کند از طریق ارتباط داخلی کلید (پیچ ۸ به پیچ ۴) فاز دوم به سر دیگر ولت متر اتصال داده می شود و ولت متر ولتاژ  $V_{۱۲}$  را اندازه گیری می کند.

شکل ۷۸- اندازه گیری ولتاژ بین  $L_2$  و  $L_1$

### حالت ۲ - 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).

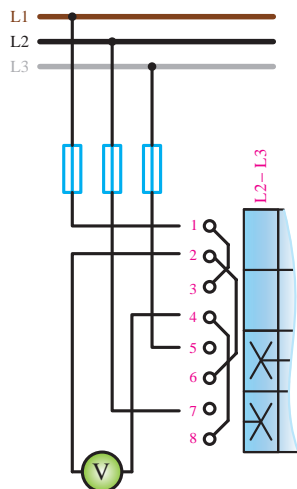
در سطر سوم که علامت **X** وجود دارد اولاً فاز L3 به پیچ ۵ وارد شده و از طریق ارتباطی که علامت **X** با پیچ ۶ ایجاد می‌کند از طریق سیم رابط داخلی کلید پیچ ۶ به پیچ ۲ متصل شده و در نهایت فاز سوم به یک سمت ولت‌متر متصل می‌شود.

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 داخلی 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.

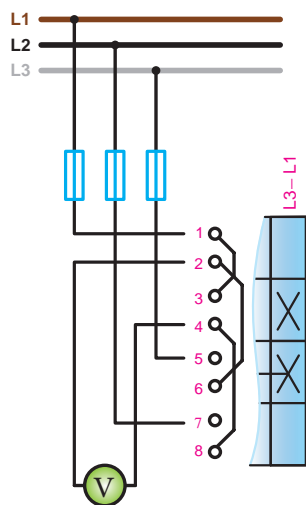
### حالت ۳ - اندازه‌گیری ولتاژ بین L1, L3

در ستون 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 طریق 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 در سطر سوم کلید که علامت **X** دارد فاز L3 به پیچ ۵ وارد شده و با ارتباطی که علامت **X** با پیچ ۶ ایجاد می‌کند و همچنین از طریق سیم رابط داخلی کلید، پیچ ۶ با پیچ ۲ متصل شده و فاز سوم به سر دیگر ولت‌متر اتصال داده می‌شود و ولت‌متر ولتاژ  $V_{۲۳}$  را اندازه‌گیری می‌کند.



شکل ۷۹- اندازه‌گیری ولتاژ بین  $L_۲$  و  $L_۳$



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

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

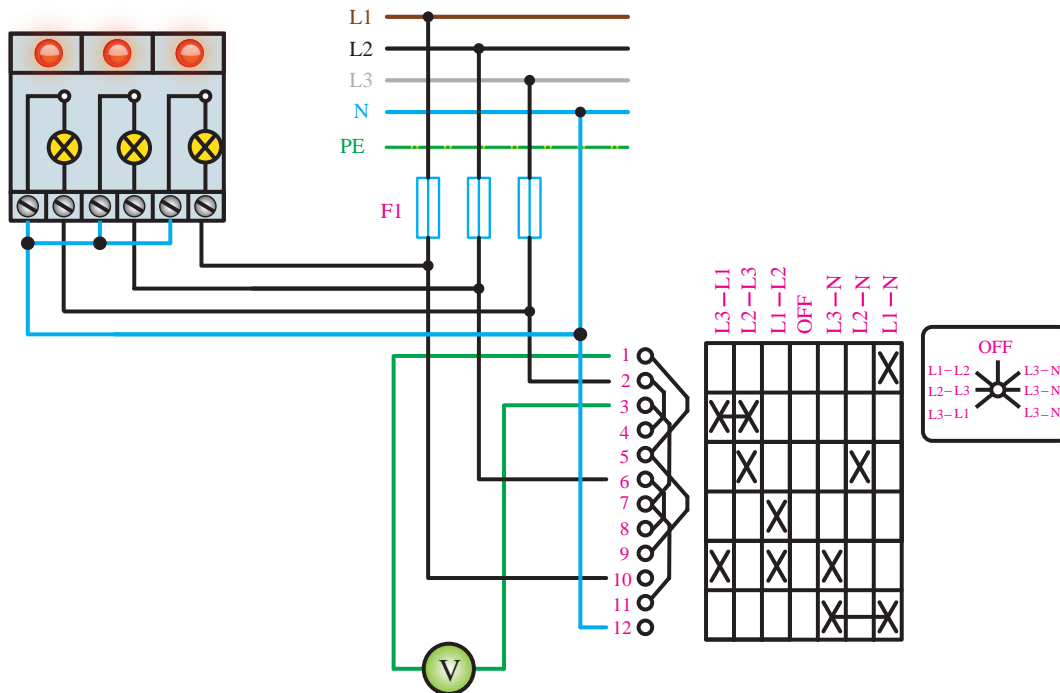
تمرین





هدف: اتصال کلید ولت متری تابلویی و چراغ سیگنال

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



شکل ۸۱ - اتصال کلید ولت متری

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

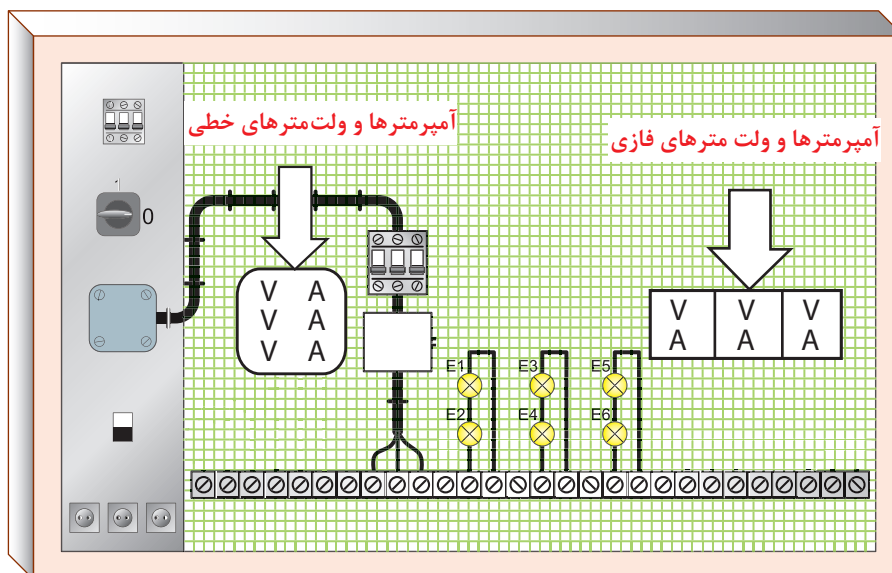
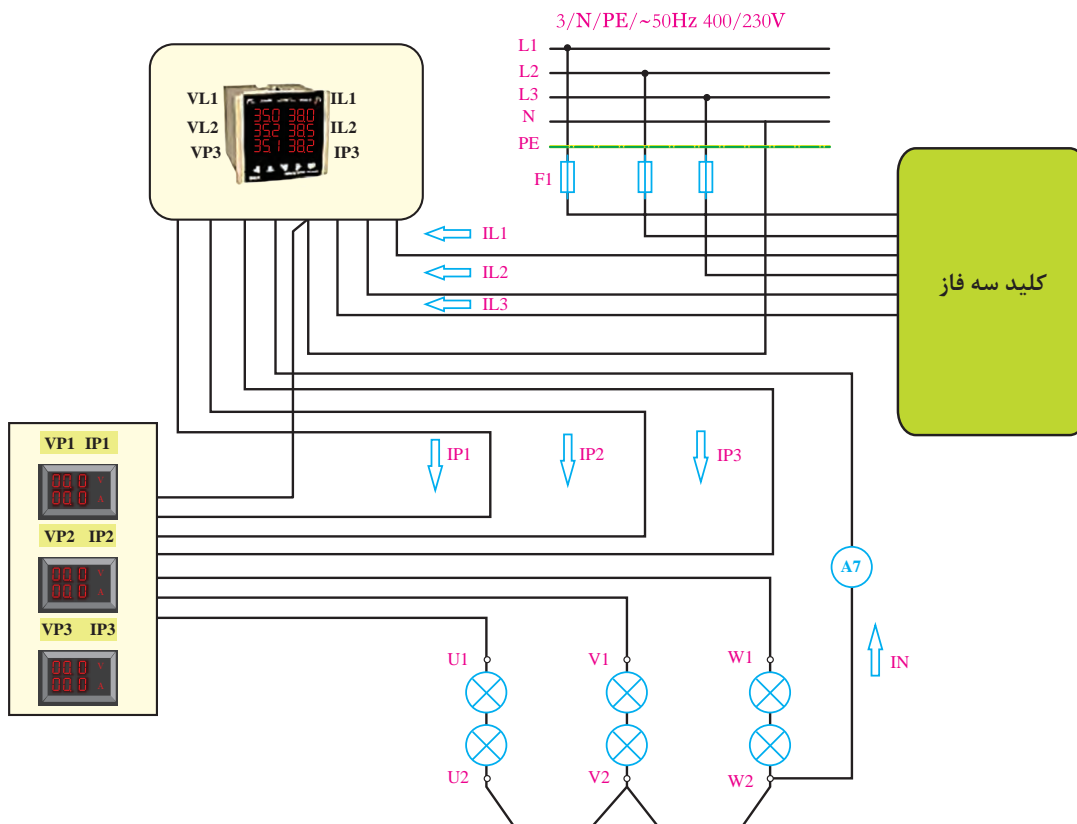
مقادیر اندازه گیری شده توسط ولت متر	
$V_{12} =$	$V_{1N} =$
$V_{23} =$	$V_{2N} =$
$V_{31} =$	$V_{3N} =$

در صورت وجود اختلاف بین مقادیر ولتاژهای اندازه گیری شده توسط ولت متر 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 مصرف کننده های سه فاز

<p><b>شرح کار:</b>                  شبکه سه فاز                  راه اندازی الکتروموتور سه فاز با انواع کلیدها                  بار متعادل و نامتعادل                  کلید ولت متر</p>			
<p><b>استاندارد عملکرد:</b> انجام کار روی برد کارگاهی با رعایت موارد ایمنی در کار و استفاده از ابزار</p>			
<p><b>شاخص ها:</b>                  - تسلط بر مدارات الکتریکی سه فاز ستاره و مثلث                  - بارهای متعادل و نامتعادل لامپی                  - اتصالات انواع کلیدهای راه اندازی سه فاز                  - استفاده صحیح از ابزار برای اتصالات و رعایت ایمنی</p>			
<p><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b></p>			
<p><b>شرایط:</b> فضای مناسب - ابزار مناسب - مدت زمان متناسب با حجم کار  <b>ابزار و تجهیزات:</b> ابزار عمومی سیم کشی برق - انواع کلیدهای راه اندازی سه فاز - الکتروموتور سه فاز - لامپ های رشته ای - لباس کار</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	راه اندازی الکتروموتورهای سه فاز با کلیدهای راه اندازی	۲	
۲	تحلیل بار متعادل و نامتعادل	۲	
۳	شبکه سه فاز	۱	
۴	ولتاژ و جریان خط و فاز	۱	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: کسب اطلاعات کار تیمی مستندسازی ویژگی شخصیتی	۲	
	میانگین نمرات		*

\* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.







# پودمان ۲

## کابل کشی

## واحد یادگیری ۲

### کابل کشی

#### آیا می‌دانید:

- ضرورت کابل کشی در تأسیسات الکتریکی چیست؟
- مزایای کابل کشی و تفاوت قیمت آن با سیم کشی چیست؟
- کابل کشی روی دیوار چگونه انجام می‌شود؟
- سینی کابل و نردبان کابل چه تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند؟
- جداکننده در سینی کابل و نردبان کابل چه وظیفه‌ای دارند؟
- وظیفه ساپورت (نگهدارنده) سینی کابل چیست؟
- کابل کشی دفنی و مفصل بندی کابل‌ها چگونه انجام می‌شود؟

#### استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود کابل کشی روی دیوار را انجام داده و با اتصالات سینی کابل و نردبان کابل آشنا شوند. همچنین آنها قادر به انجام اتصال سینی کابل و ساخت تبدیل، ساپورت و انجام مفصل بندی کابل خواهند بود.

## مقدمه

یکی از مواردی که در طراحی و اجرای تأسیسات برقی باید در نظر گرفته شود نحوه برق‌رسانی است. یکی از کاربردهای متداول کابل کشی در برقراری انشعاب برق منازل است، کابل باعث می‌شود تا انشعاب برق کمتر در معرض آسیب توسط عوامل خارجی قرار گیرد، در سال دهم با تفاوت کابل و سیم آشنا شده‌اید.



شکل ۱- کابل کشی روی دیوار

از نظر قیمت هر متر کابل تفاوت قابل توجهی نسبت به سیم دارد. بنابراین همیشه سعی شده تا آنجا که ممکن است از سیم برای برق‌رسانی استفاده شود و حتی اگر کابل کشی انجام شود، نوعی از کابل کشی در اولویت قرار گیرد که هزینه کمتری را به لحاظ نصب به عهده مشتری گذارد. البته نباید ایمنی برای کابل کشی و احتمال آسیب دیدگی کابل را فدای هزینه کمتر و نصب ساده‌تر آن کرد (شکل ۱).

## کابل



شکل ۲- کابل خود نگهدار

اندازه و سطح مقطع کابل به مقدار جریان عبوری از کابل بستگی دارد. برخی از کابل‌ها به دلیل جریان الکتریکی بالایی که از آنها می‌گذرد سطح مقطع بالایی دارند. در نتیجه عبور جریان بیش از ظرفیت، کابل گرم خواهد شد که در برخی مواقع برای خنک شدن کابل در داخل آن از روغن استفاده می‌شود. گاهی هم چندین لایه حفاظتی دارد. نوعی از کابل کشی در برق شهری و روستایی استفاده می‌شود که روی پایه‌های بتنی و فلزی تحت فشار کششی قرار دارد و در داخل آن برای این منظور سیم بکسل استفاده می‌شود، به این کابل خود نگهدار می‌گویند (شکل ۲).

اما در این درس فقط به کابل‌های معمولی پرداخته

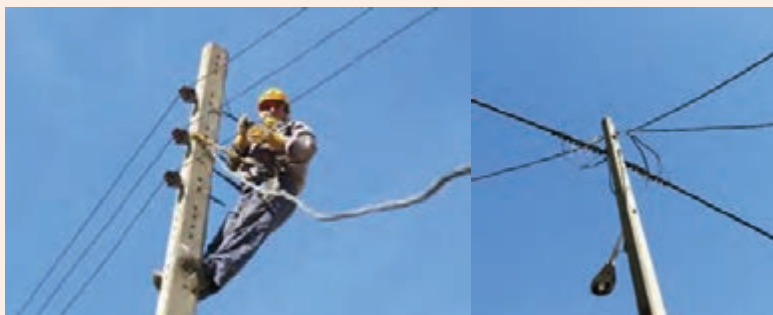
می‌شود. هر هادی روکش دار با مقطع ۱۰ میلی‌متر کابل نامیده می‌شود. البته اگر یک یا چند سیم هم در یک غلاف قرار گرفته و روکش دیگری داشته باشند صرف نظر از سطح مقطع هادی، کابل محسوب می‌شود در این صورت اندازه کابل، اندازه سطح مقطع هر یک از هادی‌ها خواهد بود (شکل ۳).



شکل ۳- دو نوع کابل



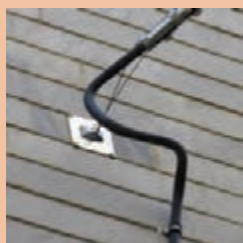
خطوط کابل هوایی چند سیمه با کابل خود نگهدار چه تفاوتی دارد؟



شکل ۴- کابل هوایی و خودنگهدار



اتصال نشان داده شده در شکل ۵ چه کاربردی دارد؟



شکل ۵- نصب کابل به دیوار

## کابلشو

برای اتصال هادی‌های فشار ضعیف به کلید، فیوز یا در تابلوها و یا موتورها و تجهیزات باید از کابلشو استفاده شود. کابلشو ارتباط‌دهنده میان هادی کابل و محل اتصال هست و باید ظرفیت جریانی مطابق با هادی کابل را دارا باشد. کابلشو در اندازه‌های مختلف از ۶ میلی‌متر مربع تا ۱۰۰۰ میلی‌متر مربع تولید می‌شوند (شکل ۶).



شکل ۶- انواع کابلشو

برای اتصال کابل‌های افشان از مقطع یک میلی‌متر به بالا و کابل‌های مفتولی از مقطع ۱۰ میلی‌متر به بالا از کابلشو استفاده می‌شود. کابلشوها از نظر برقراری نوع اتصال به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- پرس
- ۲- پیچی
- ۳- لحیمی.

### مقایسه انواع کابلشو

از نظر فنی و استقامت استفاده از کابلشوه‌های پرسی نسبت به کابلشوه‌های پیچی و کابلشوه‌های پیچی نسبت به کابلشوه‌های لحیمی ارجحیت دارد. کابلشوه‌های پرسی انواع مختلفی دارند:

۱- کابلشو بی متال

۲- کابلشو تک فاز

**۱- کابلشو بی متال:** هنگامی که جنس هادی و محل اتصال متفاوت باشد به منظور جلوگیری از عمل خوردگی در اتصال الکتریکی از این کابلشوی با دو جنس فلزی مختلف استفاده می‌شود. برای اتصال کابل آلومینیوم به شینه مس و یا بالعکس از این کابلشو استفاده می‌شود. جنس این کابلشو از آلومینیوم و مس است. و از نظر قیمت گران تر از انواع دیگر کابلشو است. این دو نوع کابلشو در دو مدل برای انتقال جریان از کابل‌ها و سیم‌های آلومینیومی دارای سطح مقطع نیم‌دایره در شبکه‌ها و ابزارهای الکتریکی انتقال مناسب است و خلوص مس و آلومینیوم به کار رفته در آنها  $99/5\%$  می‌باشد. این کابلشوها در اندازه‌های ۱۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر مربع تولید می‌شود. این کابلشو بی متال در دو نوع ساخته می‌شود:

**الف) کابلشو بی متال ۱- DTL:** استوانه کابلشو تا قبل از اتصال پیچ به شینه از جنس آلومینیوم بوده و قسمت اتصال کابلشو به شینه که با پیچ و مهره بسته می‌شود، نیمه‌ای مسی و نیمه‌ای آلومینیوم می‌باشد.

**ب) کابلشو بی متال ۲- DTL:** استوانه کابلشو تا قبل از اتصال پیچ به شینه از جنس آلومینیوم بوده و قسمت اتصال کابلشو به شینه که با پیچ و مهره بسته می‌شود، کاملاً مسی می‌باشد.



شکل ۷- انواع کابلشو بی متال

چه عاملی مانع از خوردگی در کابلشو بی متال می‌شود؟

تحقیق



**۲- کابلشو تک فلز (مسی):** کابلشو تک فلز از یک فلز ساخته می‌شود، کابلشو مسی متداول‌ترین نوع کابلشو تک فلز است و در چند مدل استاندارد، دو سوراخه و زاویه‌دار ساخته می‌شود.

**الف) کابلشو مسی استاندارد:** مواد اولیه لوله مسی بدون درز با خلوص  $99/5\%$  و پوشش لایه قلع می‌باشد. در

اندازه‌های مختلف تولید می‌شود و در اثر پرس هیچ‌گونه ترک یا شکاف مویی در آنها ایجاد نمی‌شود.  
 (ب) کابلشو مسی دوسوراخه: از لوله مسی بدون درز با خلوص ۹۹/۵٪ با پوشش لایه قلع تولید می‌شود. این کابلشو از اندازه ۶ تا ۴۰۰ میلی‌متر ساخته می‌شود (شکل ۸).



شکل ۸- کابلشو دو سوراخه

(ج) کابلشو مسی زاویه‌دار: از لوله مسی بدون درز با خلوص ۹۹/۵٪ با پوشش لایه قلع تولید می‌شود. این کابلشو از اندازه ۶ تا ۴۰۰ میلی‌متر ساخته می‌شود (شکل ۹).



کابلشو مسی پیچی

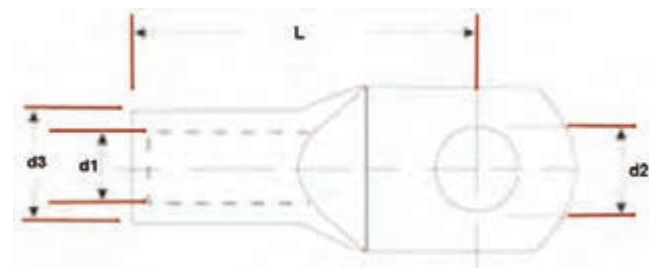
کابلشو مسی چهار سوراخه

شکل ۹- انواع کابلشو مسی

### اتصال کابلشو پیچی به کابل

۱- کابلشو انتخابی باید با سطح مقطع کابل انتخاب شود.  
 ۲- پیچ‌ها یکنواخت و به نحوی محکم شود که سیم تغییر شکل ندهد و فاصله بین بست‌های بالا و پایین باید در هر دو طرف یکسان باشد.

۳- حداکثر سائز کابلشو از نوع پیچی برای کابل‌های مقاطع بزرگ یک لایه تا ۱۲۰ میلی‌متر مربع و سیم‌های چندلایه تا ۱۵۰ میلی‌متر مربع وجود دارد.

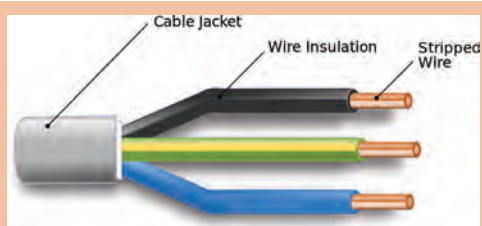


شکل ۱۰- اندازه‌های مهم در کابلشو

به‌عنوان مثال اگر کابل دارای سطح مقطع  $300 \text{ mm}^2$  باشد باید کابلشو ۳۰۰ انتخاب شود. لازم به ذکر است که روی کابلشو غیر از عدد متناسب با سطح مقطع هادی، قطر سوراخ متناسب با پیچ آن نیز قید می‌شود (شکل ۱۰).

در جدول ۱- مشخصات و ابعاد کابلشو به تفکیک اندازه کابلشو ذکر شده است.  
جدول ۱- طول، قطر و ابعاد کابلشو

طول (mm) L	قطر خارجی d <sub>3</sub> (mm)	قطر داخلی d <sub>1</sub> (mm)	پیچ خور d <sub>2</sub> (mm)	سطح مقطع هادی (mm <sup>2</sup> )
۲۴	۵/۵	۳/۸	۶	۶
۲۷	۶	۴/۵	۶	۱۰
۳۶	۸/۵	۵/۵	۸	۱۶
۳۸	۱۰	۷	۸	۲۵
۴۲	۱۲/۵	۸/۲	۱۲	۳۵
۵۲	۱۴/۵	۱۱/۹	۱۲	۵۰
۵۵	۱۶/۵	۱۱/۵	۱۲	۷۰
۶۵	۱۹	۱۳/۵	۱۲	۹۵
۷۰	۲۱	۱۵/۵	۱۲	۱۲۰
۷۸	۲۳/۵	۱۷	۱۲	۱۵۰
۸۲	۲۵/۵	۱۹	۱۲	۱۸۵
۹۲	۲۹	۲۱/۵	۱۶	۲۴۰
۱۰۰	۳۲	۲۴/۵	۱۶	۳۰۰
۱۱۵	۳۸/۵	۲۷/۵	۲۰	۴۰۰
۱۲۵	۴۲	۳۱	۲۰	۵۰۰
۱۳۵	۴۴	۳۴/۵	۲۰	۶۳۰



شکل ۱۱- اجزای کابل

اجزاء نشان داده شده کابل را شرح دهید.

فعالیت



## کابل لخت کن



شکل ۱۲- کابل لخت کن دستی

ابزاری است که از آن برای روکش برداری عایق روی کابل استفاده می‌گردد و برای کابلشو زدن آماده می‌شود (شکل ۱۲). این ابزار دارای پیچ تنظیمی در قسمت انتهایی است که به وسیله آن می‌توان ارتفاع تیغه روکش بردار کابل (لبه برنده) را با توجه به ضخامت عایق کابل تنظیم نمود. بازوی فنی که برای نگهداری کابل روی تیغه می‌باشد، برای حرکت دورانی به دور کابل نیز تکیه‌گاه مناسبی است. مراحل روکش برداری کابل به اختصار شرح داده شده است.

فعالیت



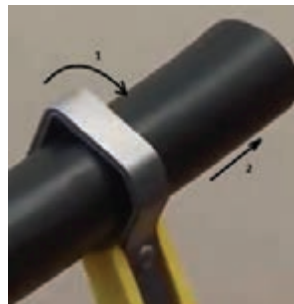
روکش برداری کابل و انجام اتصال کابلشو

**توضیح مراحل کار:** ۱- ابتدا لبه برنده بین فک متحرک و بدنه اصلی قرار گرفته و در روکش کابل فرو می‌رود. سپس مطابق شکل ۱۳ کابل لخت کن را روی کابل قرار دهید.



شکل ۱۳

۲- در ادامه ابتدا کابل را در جهت عرضی برش داده (شماره ۱۳) و سپس در جهت طولی اقدام به روکش برداری کنید (شماره ۱۴).



شکل ۱۴



## پرس کابلشو

این وسیله برای اتصال کابلشو به کابل استفاده می‌شود. این کابلشو در دو نوع دستی و هیدرولیکی در بازار موجود است. نوع هیدرولیکی آن خود به دو نوع دستی و برقی تقسیم می‌شود (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- کابلشو هیدرولیکی و دستی

برای انجام کابلشو زن، ابتدا روکش کابل به اندازه استوانه کابلشو برداشته می‌شود، به صورتی که بعد از قرار گرفتن قسمت روکش برداری شده کابل (هادی کابل) در کابلشو، هیچ قسمتی از هادی معلوم نباشد. در ادامه با استفاده از عایق حرارتی، محل اتصال کابل به کابلشو را عایق کاری کنید (شکل ۱۶).



شکل ۱۶- عایق حرارتی

## عایق حرارتی

عایق حرارتی نوعی عایق است که تحت تأثیر حرارت منقبض شده و یک لایه خارجی روی اجسام هادی ایجاد می‌کند. عایق در سایزهای مختلفی برای مصارف مختلف مانند عایق کاری شینه‌ها در تابلوهای برق، کابلشوها و غیره تولید می‌شود. در رنگ‌های مشکی، قرمز، شفاف، زرد، آبی، سبز، سفید و سبز زرد در بازار موجود می‌باشد. اندازه‌های آن عبارت‌اند از ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵، ۴/۵ و... (در اصطلاح بازار به این عایق حرارتی، شیرینگ گفته می‌شود).

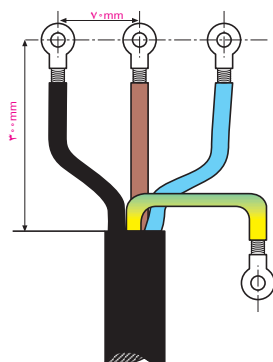


شکل ۱۷- عایق حرارتی کابلشو

از سشوار صنعتی که در سال دهم با این ابزار آشنا شدید، برای حرارت دادن عایق حرارتی استفاده شود (شکل ۱۷).



کابل  $3 \times 25 + 16 \text{ mm}^2$  نوع NYY را انتخاب کرده و با کابل لخت کن روکش آن را متناسب با ورودی کابلشو برداشته و توسط پرس کابلشو عملیات پرس را شبیه شکل ۱۸ انجام دهید.



شکل ۱۸- کار عملی ۱

### وسایل مورد نیاز:

کابلشو ۲۵ سه عدد

کابلشو ۱۶ یک عدد

کابل  $3 \times 25 + 16$  یک متر

عایق حرارتی به عرض یک سانتی متر و طول ۲۰ سانتی متر

ابزار مورد نیاز: پرس کابلشو، کابل لخت کن، سشوار صنعتی، کاتر

### کابل کشی



شکل ۱۹- انواع کابل کشی

انواع کابل کشی را با توجه به سطحی که کابل کشی روی آن انجام می شود به صورت زیر می توان تقسیم بندی کرد:

۱- کابل کشی روی دیوار

۲- کابل کشی در ترانکینگ فلزی

۳- کابل کشی با سینی کابل

۴- کابل کشی با نردبان کابل

۵- کابل کشی زمینی

انتخاب کوتاه ترین مسیر برای اتصال به مصرف کننده ها در سطح مقطع کابل و طول کابل مؤثر است، با کوتاه تر شدن مسیر کابل کشی طول کابل نیز کوتاه تر می شود و با کوتاه تر شدن طول کابل سطح مقطع کمتری برای کابل مورد نیاز است. در این صورت کابل کشی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر خواهد بود.



شکل ۲۰- کابل کشی

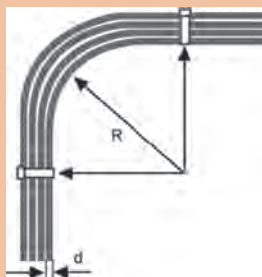


در مورد کابل کشی دیده شده در شکل ۲۰ بحث کنید.



شکل ۲۱- خمش کابل

حمل و نقل و تخلیه قرقه کابل از مسائلی است که در صورت بی‌توجهی به آن ممکن است به کابل آسیب برسد و کابل کشی را با مشکل مواجه سازد. رعایت حداقل دمای زمان نصب کابل و حداقل شعاع خمش کابل از دیگر نکات ایمنی نصب کابل است (شکل ۲۱).



شکل ۲۲- شعاع خمش کابل

اگر  $R$  شعاع خمش و  $D$  قطر کابل باشد مقدار شعاع خمش چند برابر قطر کابل است؟

## زاویه خمش کابل

در کابل کشی بر روی دیوار باید به شعاع خمش کابل در زاویه‌ها و سرپیچ‌ها برای کابل‌های PVC دقت کرد. همچنین در صورتی که چند کابل کنار هم قرار می‌گیرند حداقل اندازه قطر کابل بین آنها فاصله داشته باشد. فاصله بست‌ها باید به گونه‌ای باشد که کابل انحنای پیدا نکند و اصطلاحاً شکم ندهد. در موقع کابل کشی در داخل یا روی دیوار باید دقت شود که کابل پیچیده نشود، تا نشود، جمع نشود و در ضمن بیش از حد تحت فشار کششی قرار نگیرد. برای محافظت بیشتر کابل در مقابل خم شدن و فشار باید شعاع خمش کابل‌های مختلف مطابق جدول زیر باشد.

جدول ۲- شعاع حداقل خمش کابل در دمای  $10 \pm (20)^\circ C$  مطابق استاندارد IEC 62440

حداقل شعاع خمش				نوع کابل
قطر کابل کوچک‌تر از ۸ mm	قطر کابل بین ۸ تا ۱۲ mm	قطر کابل بین ۱۲ تا ۲۰ mm	قطر کابل بزرگ‌تر از ۲۰ mm	
				کابل برای تأسیسات نصب ثابت
۴D	۵D	۶D	۶D	استفاده عادی
۲D	۳D	۴D	۶۴D	در هنگام سربندی

توجه

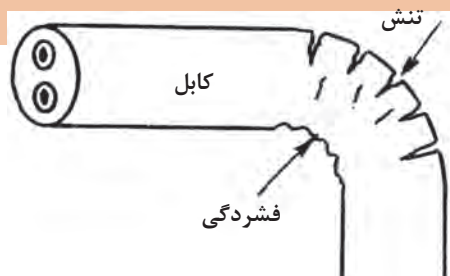


کابل‌های با غلاف و عایق پلاستیکی را نباید هیچ‌گاه در درجه حرارت زیر ۵- درجه سانتی‌گراد نصب و کابل‌کشی کرد، چون عایق و غلاف خارجی کابل در حال خم شدن صدمه خواهد دید. در ضمن باید به تناوب قرقره در جهت نشانگر مشخص شده جهت چرخش، گردانده شود تا تمام قسمت‌های کابل گرم شود. دمای کابل نباید از ۴۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر شود.

فعالیت



تنش فشردگی در صورت خمش نامناسب چه پیامدی برای کابل دارد؟



شکل ۲۳- تنش فشردگی خمش کابل

فعالیت



در صورت انجام کابل‌کشی باید جداسازی ایمن صورت گرفته و در صورت نیاز روی کلیدهای اصلی قفل و برچسب زده شود (شکل ۲۴).

شکل ۲۴- جداسازی ایمن و برچسب کابل

### کابل‌کشی روی دیوار با استفاده از بست

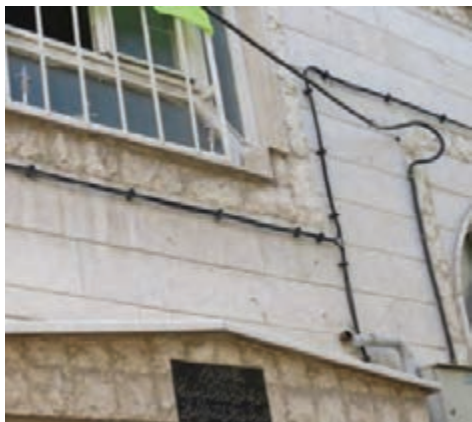


شکل ۲۵- کابل‌کشی روی دیوار

کابل‌کشی روی دیوار: کابل‌ها با توجه به پوشش بیرونی مناسبی که دارند در صورتی که در معرض ضربات مکانیکی احتمالی قرار نگیرند می‌توان آنها را به راحتی و با هزینه کم روی دیوار با بست‌های مناسب نصب کرد. به همین خاطر کابل‌کشی روی دیوار با بست یکی از روش‌های مرسوم در کابل‌کشی است. در کارگاه‌های موقت و یا اماکنی که قرار نیست برای یک بازه زمانی درازمدت چندین ساله بهره‌برداری از آنها صورت گیرد کابل‌کشی روی دیوار با بست گزینه مناسبی برای برق‌رسانی است از طرف دیگر باید توجه داشت فقط کابل‌کشی برای کابل‌های با مقاطع پایین و مسیرهای کوتاه با بست منطقی به نظر می‌رسد (شکل ۲۵).

در این روش کابل توسط بست‌های فلزی یا پلاستیکی به وسیله رول پلاک بر روی دیوار نصب می‌شود. بست کابل هم روی دیوار و هم روی سقف قابل استفاده است و فقط در این نوع کابل کشی‌ها استفاده می‌شود، برای انتخاب بست کابل باید به نکات زیر توجه شود:

- ۱- اندازه کابل (قطر خارجی کابل)
- ۲- انواع کابل کشی از نظر قابل دید (روی دیوار) و یا غیرقابل دید (بین سقف)
- ۳- موقعیت مکانی کابل کشی
- ۴- محل بست
- ۵- قیمت بست
- ۶- امکان بستن ساده کابل



شکل ۲۶ - نصب کابل روی دیوار با بست



شکل ۲۷ - فاصله بین بست‌ها

### نحوه بست زدن کابل

در مسیرهای عمودی فاصله بین دو بست کابل به نوع کابل و نوع بست کابل بستگی دارد. این مقدار نباید از ۱/۵ متر بیشتر شود. با توجه به شکل حداکثر فاصله مابین دو بست برای کابل‌های زره‌دار روی دیوار ۵۰ برابر قطر کابل و روی سقف حداکثر فاصله ۳۵ برابر قطر کابل است؛ لازم به ذکر است فاصله بست از کنج دیوار حداقل برابر ۱۰ سانتی‌متر است. (شکل ۲۶)

حداکثر فاصله مابین دو بست برای کابل‌های معمولی روی دیوار ۳۰ برابر قطر کابل و روی سقف حداکثر فاصله ۲۰ برابر قطر کابل است. لازم به ذکر است فاصله بست از کنج دیوار حداقل برابر ۱۰ سانتی‌متر است (شکل ۲۷).

حداقل فاصله مابین دو کابل مجاور هم به اندازه دو برابر قطر کابل بزرگ‌تر می‌باشد.

توجه



در کابل کشی روی دیوار با استفاده از بست پلاستیکی و بست ریلی محدودیت‌هایی وجود دارد، اگر از بست پلاستیکی استفاده شود باید به ازای هر بست روی دیوار سوراخ مجزایی تعبیه شود که این کار زمان بیشتری برای سوراخ کاری نیاز دارد. ضمناً این بست‌ها در فضای بیرونی در اثر تغییرات جوی دوام خود را از دست داده و از بین رفته و کابل کشی چهره زشتی به خود می‌گیرد. در مقابل استفاده از بست ریلی این امکان را می‌دهد تا با تعداد کمی سوراخ کاری روی دیوار حجم بیشتری از کابل را روی دیوار نصب کرد، البته در صورت معیوب شدن یکی از کابل‌ها باید کل کابل‌ها باز شود، در صورتی که روی این ریل‌ها از بست چنگالی استفاده شود، این مشکل حل شده و نیاز به باز کردن تمام کابل‌ها نمی‌باشد.



### بست کابل



شکل ۲۸

**الف) بست‌های قابل تنظیم:** بست پلاستیکی لوله و کابل برای اتصال کابل یا لوله‌های انتقال کابل به دیوار و یا سقف طراحی شده است. بست پلاستیکی از جنس پلی آمید و پلی پروپیلن (مواد ترموپلاستیک) تولید شده است (شکل ۲۸). قطر دهانه این نوع بست قابل تنظیم بوده و لوله و کابل را در خود قفل می‌نماید. از ویژگی‌های این نوع بست می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- الف) ظرفیت بارگذاری بسیار زیاد (ب) ماکزیمم پایداری
  - ج) نصب بسیار آسان (د) دهانه قفل شونده
  - ه) دارای شیارهای نصب (و) مناسب برای انتقال کابل در مسافت‌های طولانی
- در شکل انواع بست کابل متداول معرفی شده است. (شکل ۲۹)



شکل ۲۹- چند نمونه بست کابل موجود در بازار

**ب) بست کابل نایلونی:** برای بستن کابل روی دیوار و سقف استفاده می‌شود. جنس این بست پلاستیک می‌باشد. دارای یک فک پایین و یک فک بالا و یک عدد پیچ می‌باشد که فک پایین با پیچ و رول پلاک به سطح مورد نظر بسته می‌شود و فک بالایی با پیچ برای نگهداشت کابل به فک پایینی بسته می‌شود (شکل ۳۰).



شکل ۳۰- بست کابل نایلونی



شکل ۳۱- بست ریلی و ریل مربوطه

ج) بست ریلی و ریل مربوطه: این نوع بست که روی ریل بسته می‌شود برای نگهداری کابل و لوله روی سطوح مختلف بسته می‌شود. این نوع بست دارای یک پیچ تنظیم از بالا و یک مهره تثبیت کننده روی ریل در قسمت پایین آن می‌باشد. ریل این نوع بست در طول‌های یک متری عرضه می‌شود. این کار دریل کاری را کمتر می‌کند (شکل ۳۱).

کار عملی ۲



هدف: نصب کابل روی دیوار توسط بست پلاستیکی



شکل ۳۲

### تجهیزات مورد نیاز:

کابل ۲×۲/۵	۴ متر
بست کابل	۸ عدد
متر فلزی	۱ عدد
پیچ و رول پلاک	۱۲ عدد

ابزار مورد نیاز: ۱- دریل ۲- پیچ گوشتی تخت و چهارسو ۳- چکش ۴- تراز لیزری یا شیلنگ تراز و ریسمان رنگ ۵- متر اندازه‌گیری طول

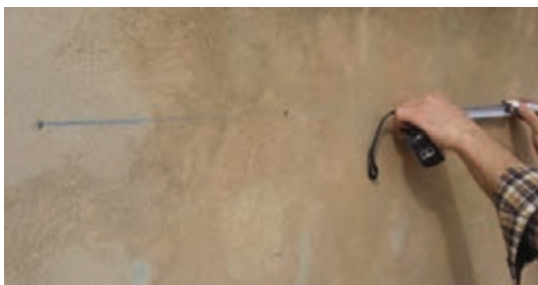
### مراحل انجام کار:

مرحله ۱- تراز و ایجاد خط تراز: برای انجام فعالیت کابل کشی از هر نوعی که باشد، در جهات عمودی یا افقی، برای زیباتر شدن ظاهر کار نیاز به عمل تراز یابی است. این عمل سبب می‌شود کابل کشی در یک راستا و به صورت منظم انجام شود. با ریسمان رنگ (نخ و لاجورد) و یا تراز لیزری یک خط در راستای کار به اندازه ۲ متر ایجاد کنید (شکل ۳۳).

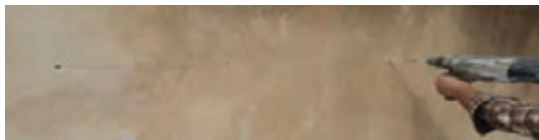


شکل ۳۳- خط افقی مسیر کابل

مرحله ۲- اندازه‌گیری و علامت‌گذاری: سپس با توجه به قطر کابل مورد نظر اقدام به جدا کردن فاصله بست‌ها روی دیوار کرده و علامت‌گذاری می‌کنیم (شکل ۳۴).



شکل ۳۴- تعیین محل نصب



**مرحله ۳- سوراخ کاری:** در این مرحله شروع به سوراخ کاری در نقاط مشخص شده با دریل روی دیوار و به دنبال آن نصب رول پلاک‌ها کنید (شکل ۳۵).



شکل ۳۵- نصب رول پلاک‌ها



**مرحله ۴- پیچ کردن:** قسمت نرینگی و زیرین بست را با پیچ در رول پلاک محکم کنید (شکل ۳۶).

شکل ۳۶- نصب اولیه بست



**مرحله ۵- محکم کردن بست و کابل:** اکنون بستر کار کابل کشی آماده است، با گذاشتن کابل در قسمت انحنای بست و بستن قسمت مادگی با پیچ مربوطه روی قسمت نرینگی (مطابق شکل ۳۷) کابل در بست محکم کنید.

شکل ۳۷- کابل نصب شده روی دیوار



البته لازم به ذکر است باید به اندازه کابل کشیده شود تا شکم کابل ایجاد نشود. این عملیات برای نصب کابل مجاور باید تکرار شود (شکل ۳۸).

شکل ۳۸- نصب کابل

کابل کشی نشان داده شده در شکل چه ایرادی دارد؟

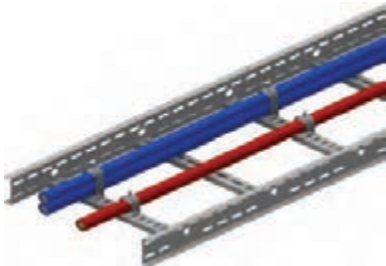
فعالیت





## کابل کشی با سینی و نردبان کابل

یکی از روش‌های کابل کشی استفاده از سینی کابل و نردبان کابل است. در تأسیسات صنعتی مانند دستگاه‌های نورد، کارخانه‌های پتروشیمی و نظایر آن سیم‌ها و کابل‌ها برای تأمین انرژی و کنترل تأسیسات بر روی سینی حمل کابل نصب می‌شود. همچنین در ساختمان‌های بلند به دلیل عدم استفاده از کابل‌های زمینی از سینی کابل استفاده می‌شود (شکل ۳۹). در مکان‌هایی که نیاز به کابل کشی دارند معمولاً استفاده از سینی اولین و بهترین گزینه است، زیرا هم تحمل وزن کابل را دارد و هم برای نظم دادن به کابل‌ها از روش‌های قدیمی بهتر است.



(ب)



(الف)

شکل ۳۹- سینی و نردبان کابل (الف و ب)



شکل ۴۰- کابل کشی

آیا نصب کابل مطابق شکل ۴۰ مجاز است؟

فعالیت



### سینی کابل

هنگام اجرای کابل کشی معمولاً اولین و بهترین گزینه استفاده از سینی کابل است. سینی کابل هم تحمل وزن کابل را دارد و هم برای نظم دادن به کابل‌ها از روش‌های قدیمی بهتر است. انواع سینی کابل عبارت است از:



شکل ۴۱- سینی کابل



شکل ۴۲- سینی کابل مشبک

۱- سینی کابل مشبک: این نوع سینی کابل دارای حفره‌هایی است که برای عبور هوا و تهویه کابل کاربرد دارد. ضمناً در صورت نفوذ غبار و رطوبت از داخل آنها عبور داده می‌شود (شکل ۴۲).

در سینی کابل یکپارچه برای جلوگیری از تجمع رطوبت و عرق کردن کابل چه پیشنهادی دارید؟

فعالیت



شکل ۴۳- سینی کابل با کف یکپارچه

۲- سینی کابل با کف یکپارچه: در محل‌هایی که حفاظت کابل‌ها اهمیت بالایی دارد و یا برای جلوگیری از تداخل امواج الکترومغناطیسی و رادیویی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۴۳).

### اتصال سربه‌سر سینی کابل

اتصال سربه‌سر سینی کابل با هدف افزایش طول سینی کابل، تغییر جهت حرکت مسیر کابل کشی و یا انشعاب مسیر کابل کشی انجام می‌شود (شکل ۴۴). سینی کابل علاوه بر پروژه‌های بسیار بزرگ که نیاز به تحمل حجم و وزن بسیار زیادی از کابل‌ها را دارد، در پروژه‌های کوچک نیز می‌تواند گزینه مناسبی برای کابل کشی بوده و به یک‌باره کل مشکلات کابل کشی را حل کند.



شکل ۴۴- اتصالات سینی کابل

اتصالات سینی کابل مطابق با جدول ۱ معرفی شده است. متداول‌ترین این اتصالات عبارت است از:





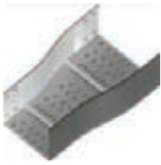
- زانوی سینی (۹۰ درجه، ۴۵ درجه)

- سه‌راهی سینی یا اتصال T

- چهارراه سینی

- تبدیل سینی

جدول ۳- انواع اتصال سینی کابل

ردیف	نام اتصال سینی	کاربرد	شکل اتصال
۱	سربه سر	افزایش طول کابل کشی	
۲	زانو سینی (۹۰ درجه و ۴۵ درجه)	تغییر زاویه مسیر کابل کشی	
۳	سه راهی	تغییر مسیر در دو جهت مختلف	
۴	چهارراهی	تقاطع مسیر کابل کشی	
۵	تبدیل سینی	تغییر عرض مسیر کابل کشی	

مراحل ساخت انواع زاویه‌های اتصال سینی کابل فیلم شماره ۰۱

فیلم



سینی کشی فیلم شماره ۰۰۱

فیلم





## ساخت سینی کابل



شکل ۴۵



شکل ۴۶

- هدف:** ساخت تبدیل سینی کابل با دو قطعه سینی کابل مختلف
- تجهیزات مورد نیاز:**
- سینی کابل دوتکه با عرض ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌متر
  - پیچ و مهره و واشر
  - اره آهن‌بر
  - جعبه‌ابزار
  - گونیا و خط‌کش

### مراحل کار:

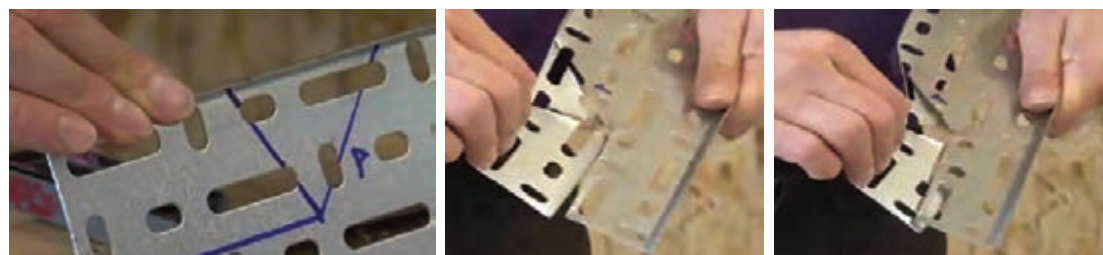
با توجه به شکل دو قطعه سینی کابل را روی همدیگر قرار داده و با کمک ماژیک محدوده قطعه سینی کوچک‌تر را علامت‌گذاری کنید.

در مرحله بعد از محل علامت‌گذاری شده با گونیای ۴۵ درجه مطابق شکل خط موربی تا لبه سینی بزرگ تر رسم کنید و آن را اندازه‌گیری کنید (حدود ۷۰ میلی‌متر). در مرحله بعد روی لبه سینی بزرگ به اندازه خط مورب انتخاب و علامت‌گذاری کنید (هر دو قسمت A نام‌گذاری شود).



شکل ۴۷- مراحل ساخت تبدیل

در ادامه ابتدا و انتهای مسیر را با خط مستقیم به هم وصل کنید و سپس هر سه پاره خط را با اره آهن‌بر ببرید.



شکل ۴۸



شکل ۴۹

و در انتها با فشار روی قطعات بریده شده، تبدیل سینی را ایجاد کنید. در ادامه با اتصال یک قطعه دیگر از سینی کوچک تر می توانید مسیر تبدیل را توسعه دهید.

برای مشاهده مراحل ساخت کار عملی، فیلم شماره ۰۲ را ملاحظه کنید.

فیلم



ایمنی



هنگام برش قفسه های فلزی از دستکش و عینک ایمنی استفاده کنید و مواظب برخورد قطعات پلیسه باشید. در هنگام برش، سنگ فرز را محکم در دست بگیرید تا در حین قلاب کردن (گیر کردن صفحه برش در سینی) دستگاه به سمت کاربر پرتاب نشود.



شکل ۵۰

با توجه به محوطه کارگاهی می توانید مسیرهای کابل کشی را مشابه شکل ۵۰ بسازید.

### مزایای استفاده از سینی کابل

- ۱- حفاظت از کابل در تمام طول مسیر کابل
- ۲- نصب آسان و سریع
- ۳- مقرون به صرفه
- ۴- کاربرد سینی کابل
- ۵- در صورت عیب به راحتی تعویض و جایگزین می شود.
- ۶- طول عمر بیشتر کابل
- ۷- تهویه مناسب
- ۸- زیبایی ظاهری
- ۹- در صورتی که پروژه در طول زمان دستخوش تغییرات شود، بستر مناسبی از قبل آماده شده و به راحتی



می‌توان کابل‌ها را کم و زیاد کرد.  
۱۰- تحمل حجم بالای کابل کشی

فیلم



برای مشاهده کاربردهای عملی و نصب سینی کابل، فیلم شماره ۰۳ را ملاحظه کنید.

## نردبان‌های کابل

نردبان کابل برای کابل کشی در محل‌های روباز کاربرد دارد. اگر گردوغبار و ریزش آب در محل کابل کشی زیاد باشد، معمولاً روی نردبان درپوش محکمی به شکل شیروانی نصب می‌شود تا برف یا ذرات گردوغبار روی نردبان باقی نماند (شکل ۵۱).



شکل ۵۱- نردبان کابل

نردبان کابل معمولاً به‌عنوان حفاظ کابل نیز شناخته می‌شود. این حفاظ‌ها از آلومینیوم یا فولاد یا FRP (فیبر پلیمری تقویت شده) ساخته می‌شود و برای جابه‌جایی حجم بالای کابل در فواصل طولانی مناسب است. این سیستم برای کابل کشی‌هایی که به اجبار تغییر جهت یا ارتفاع می‌دهند، به کار می‌رود. نردبان کابل به دلیل سبک‌تر بودن و نصب راحت‌تر بیشتر از سینی کابل مورد استفاده قرار می‌گیرد و عموماً در مسیرهای عمودی بیشتر از نردبان کابل به‌جای سینی کابل استفاده می‌شود.

### مزایا و ویژگی‌های نردبان کابل



شکل ۵۲- اتصال کابل به نردبان

۱- در نوع بدون درپوش، بیشترین میزان جریان هوا را از خود عبور می‌دهد. این کار سبب پایین آمدن دمای کابل‌های موجود در نردبان می‌شود. در نتیجه به عمر کابل افزوده می‌شود (شکل ۵۲).

۲- در کابل کشی روی نردبان ضروری است کابل‌ها را با بست محکم کرد. این کار روی نردبان به سهولت امکان‌پذیر است. با بستن کابل‌ها امکان پرتاب کابل‌ها به بیرون در اثر بروز خطا یا اتصال کوتاه از بین می‌رود.



شکل ۵۳- مسیر عمودی



شکل ۵۴- مسیر مستقیم



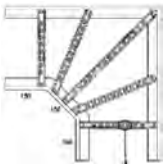
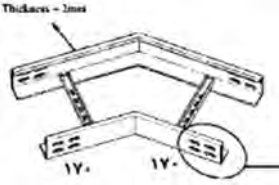
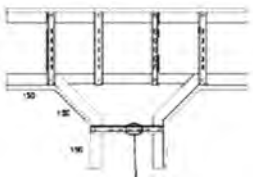
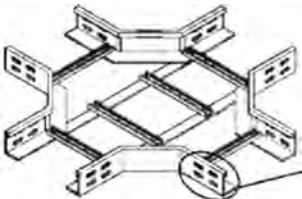
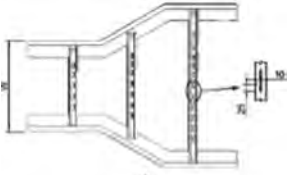
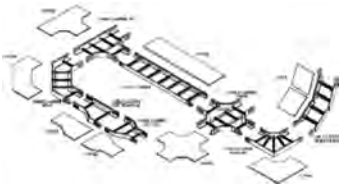

شکل ۵۵- مقایسه سینی و نردبان کابل

- ۳- عدم وجود رطوبت در نردبان کابل به دلیل گردش حجم بالای هوای اطراف کابل ها
- ۴- به دلیل فضای باز داخل نردبان ورود و خروج کابل به راحتی امکان پذیر است.
- ۵- در محیطی که محدودیت فضای نصب وجود دارد در صورت استفاده از نردبان می توان از زیر نیز به کابل های داخل نردبان دسترسی داشته و عیب یابی راحت تر انجام می شود (شکل ۵۳).
- ۶- فاصله مابین پله های نردبان به طور معمول ۲۵ سانتی متر است. این فاصله برای کابل های ریز امکان بست زنی در فواصل ۲۵ سانتی متری را می دهد، این ویژگی مناسب برای کابل کشی های ابزار دقیق باعث می شود کابل ها در طول نردبان دچار افتادگی و بیرون زدگی از نردبان نشوند.
- ۷- از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر است.
- ۸- محدودیتی بابت محل نصب ندارد.
- ۹- ضمن راحتی نصب در مسیرهای مستقیم، انعطاف خوبی در برخورد با موانع را دارا می باشد (شکل ۵۴).
- ۱۰- از آنجا که اتصالات نردبان کابل روی بدنه خود نردبان قرار می گیرند، نیاز به اتصال جانبی نیست. که این امر هزینه نصب و اتصالات نردبان کابل را کاهش می دهد (شکل ۵۵).
- ۱۱- سرعت اجرای آن بالا می باشد.

### اتصالات مورد استفاده در نردبان کابل

اتصالات نردبان کابل مطابق با جدول ۴ معرفی شده است. متداول ترین این اتصالات عبارت است از:

جدول ۴- انواع اتصالات نردبان

ردیف	نام نردبان کابل	کاربرد	شکل نردبان کابل
۱	زانوی نردبان ۹۰ درجه	تغییر زاویه ۹۰ درجه	
۲	زانوی نردبان ۴۵ درجه	تغییر زاویه ۴۵ درجه	
۳	سه راه نردبان کابل	تغییر مسیر در دو جهت مختلف	
۴	چهارراه نردبان کابل	تقاطع مسیر کابل کشی	
۵	تبدیل نردبان کابل	تغییر عرض مسیر نردبان	
۶	درپوش نردبان کابل	حفاظت کابل نصب شده روی نردبان	
۷	سینی کابل کش	انتقال حجم زیاد کابل های مخابراتی	



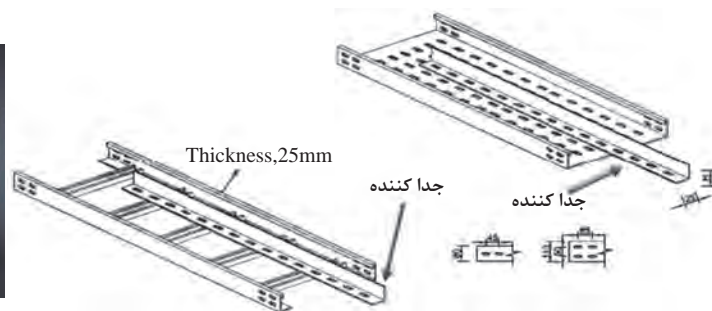
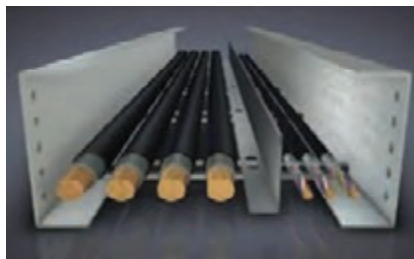


چه مهارت‌های کابل کشی در شکل ۵۶ به کار گرفته شده است؟

شکل ۵۶- نمونه کابل کشی

## جداکننده سطح سینی کابل و نردبان کابل

هرگاه چند کابل با ولتاژهای مختلف در یک سینی کابل یا نردبان کابل قرار گیرند (مانند: کابل‌های شبکه‌های کامپیوتری و کابل‌های توزیع برق) جهت جداسازی سطح داخلی سینی از این وسیله استفاده می‌شود (شکل ۵۷).



شکل ۵۷- جدا کننده کابل

## کلمپ نردبان

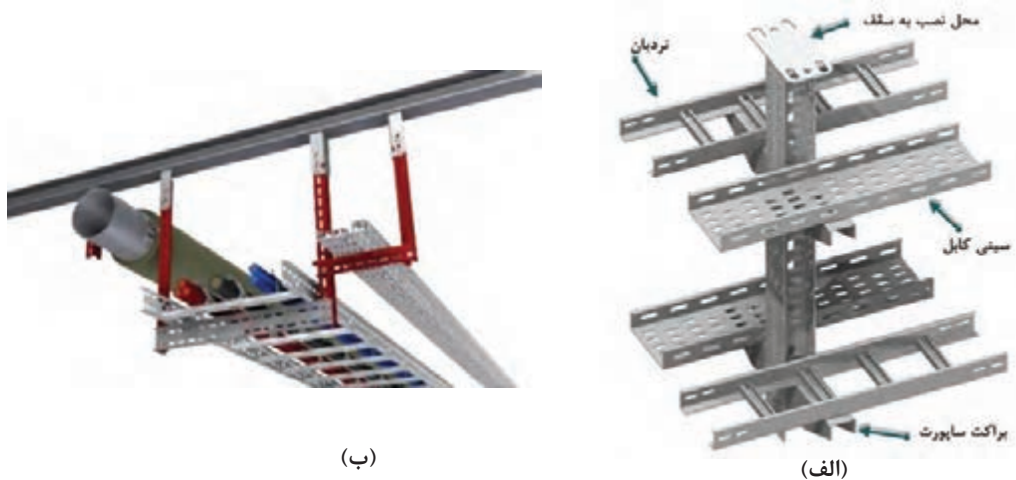


کلمپ برای محکم نگه‌داشتن نردبان روی دسته (براکت) ساپورت مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساپورت، تکیه‌گاه و محل نصب نردبان است (شکل ۵۸).

شکل ۵۸- کلمپ نردبان

## سایپورت‌ها (نگهدارنده‌ها)

برای نگهداری سینی کابل زیر سقف و یا روی دیوار یا در رایزرها از سایپورت استفاده می‌شود. اندازه نگهدارنده‌ها با توجه به عرض سینی و شرایط نصب، متفاوت است. سایپورت‌ها در انواع زیر سقفی، دیواری و زمینی ساخته و با استفاده از پیچ و مهره محکم به بدنه بسته می‌شوند. معمولاً ضخامت آنها از ورق ۲ میلی‌متر بوده و به شکل یک طبقه، دو طبقه، سه طبقه و چهار طبقه ساخته می‌شوند. در شکل ۵۹(الف) یک نمونه سایپورت چهار طبقه و شکل ۵۹(ب) یک نمونه سینی زیر سقفی نشان داده شده است.



شکل ۵۹- سایپورت

### انواع سایپورت‌ها

انواع و کاربرد سایپورت‌ها بستگی به محل قرارگیری کابل و موقعیت مسیر کابل کشی دارد (شکل ۶۰).



شکل ۶۰- پایه نگهدارنده کشویی، براکت، سایپورت سقفی یا زمینی مدل L، نبشی مشبک یا سایپورت L، ناودانی مشبک، سایپورت قابل تنظیم.

## پیچ و مهره



شکل ۶۱- رول پلاک و رول بولت

این پیچ و مهره‌ها برای اتصال تجهیزات به همدیگر و به سایر اتصالات، مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که رول پلاک تحمل وزن زیاد را ندارد، برای نصب ساپورت‌های نگهدارنده سینی و نردبان روی دیوار یا سقف از رول بولت استفاده می‌شود (شکل ۶۱).



شکل ۶۲- اتصال سینی به ساپورت

در برخی موارد برای نصب ساپورت روی دیوار و سقف از قبل صفحات ورق فلزی را در داخل دیوار و سقف نصب می‌کنند تا ساپورت‌ها جهت تحمل وزن سینی یا نردبان به این صفحات جوش داده شود یا پیچ شود (شکل ۶۲).

### هدف: ساخت ساپورت L

کار عملی ۴



ساپورت L دارای دو بازو برای نصب روی دیوار و سقف مطابق شکل ۶۳ است.

### ابزارهای مورد نیاز:

ابزارهایی که در سینی کاری مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارت‌اند از:

سنگ فرز، دریل، آچار، دریل شارژی، پیچ‌گوشتی، گونیا، مداد.

### تجهیزات ایمنی مورد نیاز:

ماسک، عینک محافظ، دستکش ضد برش، کفش ایمنی

### مراحل انجام کار:

الف) برش بازوها

این ساپورت دارای دو بازو، یکی متصل به سقف و دیگری متصل به دیوار است.



شکل ۶۳- ساپورت L

هنگام ساخت سینی بیشتر از ابزارهای برش استفاده می‌شود. هنگام برش حتماً از عینک محافظ استفاده شود تا از ورود پلیسه به چشم در حین برشکاری و برای جلوگیری از برخورد دست به لبه‌های تیز سینی از دستکش استفاده شود. هیچ‌گاه از صفحه سنگ‌های آسیب‌دیده برای برش استفاده نکنید زیرا ضمن پرتاب تکه‌های صفحه برش به سمت کاربر، موجب آسیب دیدن خود دستگاه نیز می‌شود (شکل ۶۴).

ایمنی



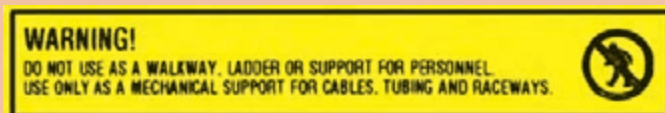


از کفش ایمنی استفاده شود تا در اثر افتادن اجسام پا آسیب نبیند، ضمناً برای پایین آوردن احتمال آسیب به پا در حین برش کاری استفاده از کفش ایمنی ضروری است چون در عملیات برشکاری سینی، پا بیشتر در معرض آسیب است.

در هنگام سوراخ کاری برای برقراری اتصالات سینی مراقب باشید دست خود را جلوی مته قرار ندهید.

اگر عملیات سینی کاری در ارتفاع قرار داشت، از صحت اجرای داربست و تخته‌های مورد استفاده اطمینان حاصل کنید. با توجه به اینکه کابل‌ها در دسته‌های مختلفی شامل سبک، متوسط و سنگین تولید می‌شوند، پس در انتخاب نردبان کابل مناسب خود، بار وارد به نردبان را همیشه مدنظر قرار دهید.

برچسب شکل ۶۵ چه نکاتی در مورد نردبان کابل هشدار می‌دهد؟

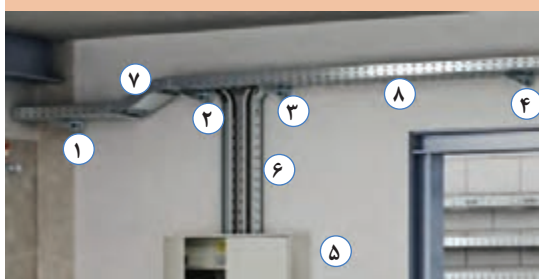


شکل ۶۵- برچسب نردبان کابل

در هنگام کابل کشی روی سینی در فواصل ۲ تا ۴ متری در طول کابل تگ‌های آدرس نصب شود تا منجر به سهولت عیب‌یابی کابل شود.

کدام شرکت‌ها در داخل یا خارج از کشور مشغول به تولید سینی کابل، نردبان کابل و متعلقات آنها هستند؟ کاتالوگ‌های آنها را دانلود کنید و در مورد تولیدات آنها در کلاس بحث کنید.

با توجه به شکل زیر محل هر اتصال را در جدول مشخص کنید.  
 ۱ و ۲ و ۳ و ۴ ساپورت سینی - ۵ تابلو برق - ۶ و ۸ سینی کابل - ۷ اتصال خیزشی



شکل ۶۶- قطعات سینی کشی افقی و عمودی

نوع اتصال				محل اتصال
خیزشی	ساپورت	نردبان	سینی	

فعالیت



تذکر



تحقیق



فعالیت





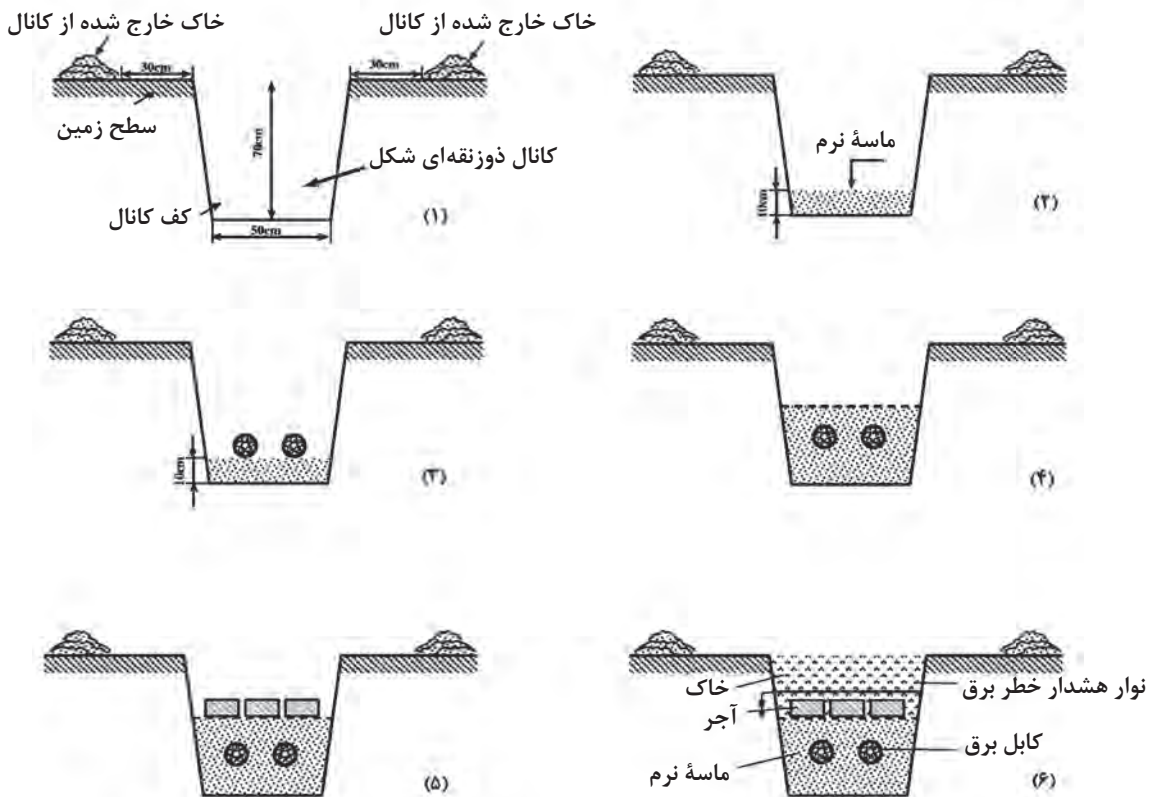
برای مشاهده نحوه اجرای عملیات کار با نگه‌دارنده و ساپورت به فیلم شماره ۰۴ مراجعه شود.

## کابل کشی زمینی



شکل ۶۷

کابل کشی زمینی نوعی از کابل کشی است که در آن کابل‌ها از کف و داخل زمین عبور داده می‌شود (شکل ۶۷). به‌طور کلی اگر در جایی بتوان از کابل کشی هوایی استفاده نمود کمتر از کابل کشی زمینی استفاده می‌شود زیرا کابل کشی زمینی ۵ تا ۷ برابر گران‌تر از کابل کشی هوایی تمام می‌شود. در شکل ۶۸ مراحل انجام کابل کشی زیرزمینی (دفنی) نشان داده شده است.



شکل ۶۸- کابل کشی زمینی



فیلم



برای آشنایی با کابل کشی زمینی به فیلم شماره ۵۰ مراجعه شود.

فیلم



برای آشنایی با تجهیزات روز دنیا در زمینه کابل کشی زمینی به فیلم شماره ۶۰ مراجعه شود.

## مفصل (Cable joint)

اتصالاتی که در کابل‌ها بیشتر با آن روبه‌رو می‌شویم عبارت است از اتصال انتهایی، اتصال سربه‌سر، اتصال سه‌راهی و اتصال چهارراهی. به منظور اتصال کابل‌ها از ابزارآلات مختلفی استفاده می‌شود که محل اتصال در برابر رطوبت و انواع فشارهای مکانیکی و الکتریکی از حفاظت کافی برخوردار شود، به این وسایل اصطلاحاً مفصل و سرکابل گفته می‌شود. در زیر، شکل یک نمونه مفصل آورده شده است. این نوع مفصل دارای یک قالب پلاستیکی دو تکه و مقداری ماده رزین ریختگی می‌باشد و نوار عایق‌بندی و موف می‌باشند. مفصل‌های رزینی یکی از ایمن‌ترین عایق‌های کابل محسوب می‌شوند. برای اتصال دو سرکابل به یکدیگر، دو نوع مایع را با یکدیگر مخلوط می‌کنند که بعد از ۱۰ الی ۱۵ دقیقه مواد حاصل سخت می‌شود و ضد آب و ضد ضربه می‌گردد. به همین دلیل از این نوع مفصل بیشتر در زیرزمین و دریا استفاده می‌شود.



شکل ۶۹

به‌طور کلی مفصل‌ها را از جنس فولاد و چدن و در برخی موارد از مواد عایقی از جنس PVC پرواتیلن می‌سازند. مفصل‌ها با توجه به کاربردهایی که دارند در اندازه‌های مختلفی ساخته می‌شوند و با توجه به نوع جنسشان به وسیله علائم مخصوصی نیز مشخص می‌شوند. مشخصات داخلی هر مفصل در بروشورهایی توسط کارخانه سازنده ثبت می‌شود.

### انواع مفصل‌های رزینی

۱- مفصل‌های دوراهه

مفصل دوراهه در شکل ۷۰ نشان داده شده است.



شکل ۷۰- مفصل دوراهه کابل

پودمان دوم: کابل کشی



شکل ۷۱- مفصل T شکل کابل

۲- مفصل‌های T شکل، که در شکل ۷۱ نشان داده شده است.

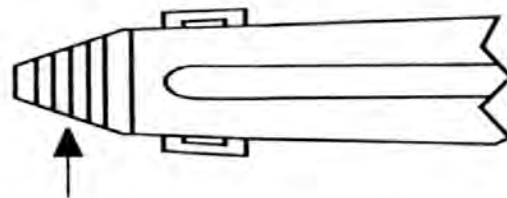


شکل ۷۲- مفصل Y شکل کابل

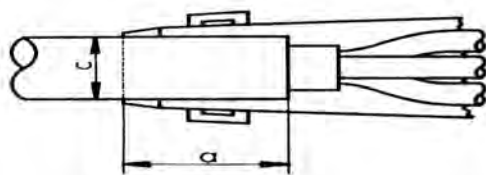
۳- مفصل‌های Y شکل کابل، که در شکل ۷۲ نشان داده شده است.

نحوه انجام مفصل رزینی برای کابل‌های PVC

۱- بریدن گام‌ها (پله‌ها) از آخر بدنه، باز کردن باید کمی بزرگ‌تر از قطر کابل باشد (تقریباً ۱ تا ۲ میلی‌متر)

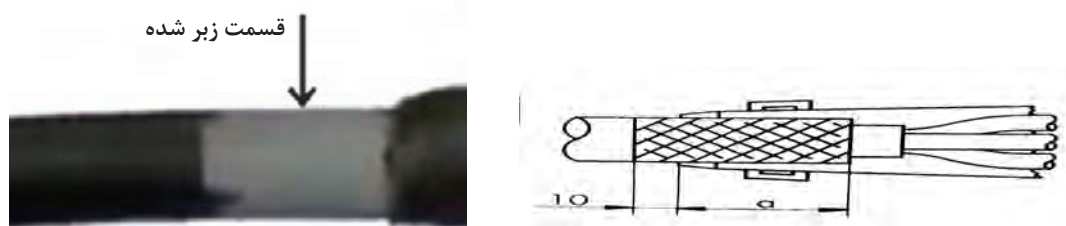


شکل ۷۳



شکل ۷۴

۲- زبر کردن سطح کابل با سنباده P۴۰ در صورتی که قطر خارجی کابل کوچک‌تر از  $20 \text{ mm}^2$  باشد  $a=2 \times c$  و در صورتی که قطر خارجی کابل از  $20 \text{ mm}^2$  بیشتر باشد  $a=40 \text{ mm}$



شکل ۷۵- زبر کردن، پاک کردن و تمیز کردن روغن قسمت زبر کابل

۳- لخت کردن کابل‌های مورد اتصال به اندازه کمتر از نصف مفصل به صورتی که لبه‌های مفصل روی نصف قسمت زبر شده قرار گیرد. سپس رشته‌های کابل را به صورت پلکانی قطع کرده تا اتصالات کنار هم نباشند.



شکل ۷۶- موف

۴- هادی هر رشته از کابل‌ها را به اندازه نصف موف لخت کنید.



شکل ۷۷

۵- هادی لخت شده کابل را در داخل موف قرار داده و آن را پرس کنید.



شکل ۷۸- کاربرد موف

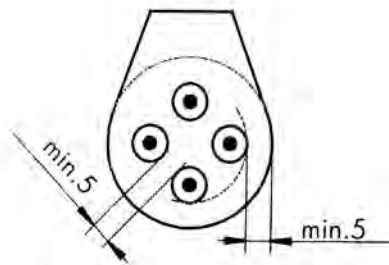


۶- موف‌های اتصال داده شده را با نوارچسب PVC عایق بندی کنید.



شکل ۷۹- عایق کاری موف

۷- فاصله مابین موف‌ها و فاصله هادی‌ها از خودشان و نسبت به بدنه مفصل نباید کمتر از ۵ mm باشد.

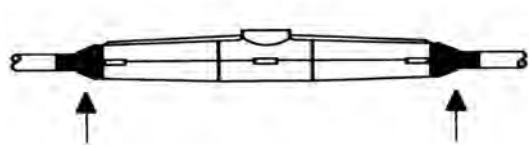


شکل ۸۰



شکل ۸۱

۸- دونیمه بدنه اصلی مفصل را به هم وصل کرده و گیره‌ها را چفت کنید.  
۹- با نوارچسب PVC دو طرف بدنه مفصل را در محل ورود کابل به‌طور کامل آب‌بندی کنید.



شکل ۸۲

۱۰- با برداشتن نوار جداکننده پاکت رزین، مواد را باهم مخلوط کرده و سپس مطابق دستورالعمل تا ۳ mm بالاتر از لبه دهانه ورودی مفصل را پر کنید.



۱۱- درپوش بدنه اصلی مفصل را بر روی آن قرار دهید.

شکل ۸۳



شکل ۸۴

۱۲- پس از سخت شدن و گرفتن مواد رزینی، به جریان وصل کردن کابل امکان پذیر است.

حداکثر زمان نگهداری مخلوط رزین برای نیم لیتر در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد ۱۵ تا ۲۰ دقیقه است و زمان ژل شدن برای نیم لیتر در همین دما ۲۰ تا ۲۵ دقیقه است. مدت زمان برای سخت شدن کامل ۴۸ ساعت می باشد.



شکل ۸۵

لازم با ذکر است که زمان ژل شدن، به دمای محیط و مدت زمان مخلوط شدن بستگی دارد.

جهت آشنایی بهتر با نحوه مفصل زنی به فیلم مراجعه شود.



شکل ۸۶

کاتالوگ مقابل مربوط به یک مفصل است. در مورد آن تحقیق کنید.

نکته



فیلم



تحقیق

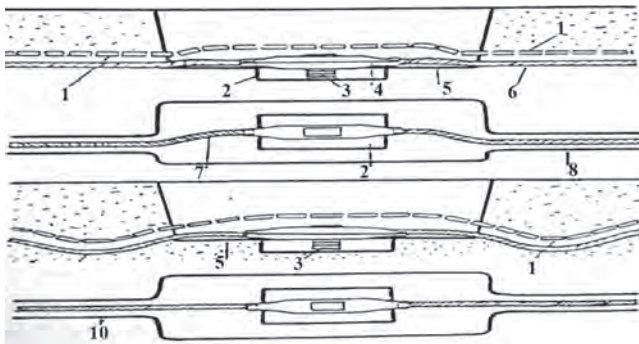


در مورد انواع دیگر مفصل و اینکه برای چه نوع کابلی مناسب هستند، تحقیق کنید.



### چگونگی نصب و قرار دادن مفصل در داخل کانال

قبل از اینکه مفصل را در داخل کانال، در زمین قرار دهیم باید زیر آن آجر گذاشته و مفصل را به صورت کاملاً مستقیم و در جهت مسیر کابل بخوابانیم. سپس بر روی مفصل مقداری شن یا ماسه نرم ریخته و به منظور حفاظت بیشتر روی آن را آجر می‌چینیم. سپس روی آجر را نیز با خاک می‌پوشانیم. شکل زیر چگونگی نصب و قرار دادن مفصل را در کانال نشان می‌دهد.



شکل ۸۷

- ۱- آجر جهت حفاظت
- ۲- چاله (تورفتگی داخل زمین)
- ۳- ستون نگه‌دارنده از آجر
- ۴- مفصل
- ۵- بعد از قرار دادن مفصل در این منطقه خاک را محکم بکوبید.
- ۶- کانال
- ۷- طول اضافی (انحنای کابل)
- ۸- کانال کابل
- ۹- انحنای در جهت پایین
- ۱۰- کانال کابل

در صورت قرارگیری مفصل در کانال دفنی حتماً باید نقشه نهایی از محل دقیق مفصل در اختیار استفاده‌کننده قرار گیرد.



### اتصال کابل با مفصل رزینی

با انتخاب دوتکه کابل  $4 \times 16 \text{ mm}^2$  با استفاده از مفصل رزینی مناسب کابل ذکر شده آنها را با مفصل به هم وصل کنید.

#### وسایل مورد نیاز:

مفصل رزینی برای کابل  $4 \times 16$

دو تکه کابل  $4 \times 16$

چهار عدد موف ۱۶

یک ورق سنباده P۴۰

#### ابزار مورد نیاز:

پرس کابلشو، لخت‌کن، قیچی

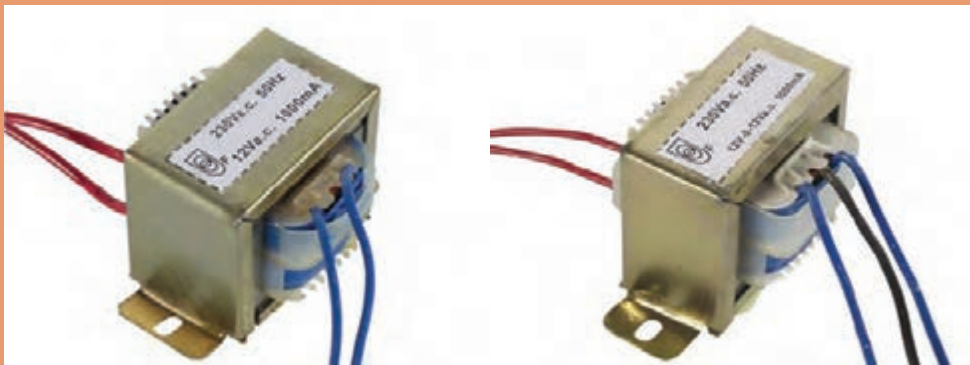
## ارزشیابی شایستگی کابل کشی

<p style="text-align: right;"><b>شرح کار:</b> کابل کشی روی دیوار و انجام کابل شو نصب سینی و نردبان کابل و اتصالات آن ساخت ساپورت (نگهدارنده) کابل مفصل بندی کابل و کابل دفنی</p>			
<p>استاندارد عملکرد: انجام کابل کشی روی دیوار، کابلشو زنی و اتصالات سینی و نردبان کابل و مفصل بندی در کارگاه با رعایت موارد ایمنی در کار و استفاده از ابزار</p>			
<p style="text-align: right;"><b>شاخص‌ها:</b> انتخاب صحیح کابل و کابل شو و اتصال آن کابل کشی صحیح روی دیوار استفاده صحیح از ابزار برای اتصالات سینی و نردبان و مفصل و رعایت نکات ایمنی</p>			
<p style="text-align: right;"><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b> شرایط: فضای مناسب - ابزار مناسب - مدت زمان متناسب با حجم کار ابزار و تجهیزات: ابزار عمومی کابل کشی برق - سینی و نردبان کابل - کابلشو و پرس کابلشو - نگهدارنده - مفصل کابل - لباس کار</p>			
<p style="text-align: right;"><b>معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	کابل کشی روی دیوار (بست و خمش کابل)	۲	
۲	اتصالات سینی و نردبان	۱	
۳	ساپورت کابل	۱	
۴	مفصل بندی کابل	۲	
	۲		
<p>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: کسب اطلاعات کار تیمی مستند سازی ویژگی شخصیتی</p>			
<b>میانگین نمرات</b>			*
<p style="text-align: center;">* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.</p>			



## پودمان ۳

### سیم پیچی ترانسفورماتور



## واحد یادگیری ۳

### سیم‌پیچی ترانسفورماتور

#### آیامی دانید:

- اساس کار ترانسفورماتور چیست؟
- اجزای تشکیل دهنده ترانسفورماتور کدام است؟
- تفاوت ترانسفورماتور ایده‌آل و واقعی چیست؟
- آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه چه خصوصیتی از ترانسفورماتور را بیان می‌کند؟
- محاسبات و سیم‌پیچی ترانسفورماتور چگونه است؟
- اتوترانسفورماتور با ترانسفورماتور معمولی چه تفاوت‌هایی دارد؟

#### استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود محاسبه و سیم‌پیچی انواع ترانسفورماتورهای کوچک و آزمایش‌های بی‌باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور را انجام دهند. همچنین آنها قادر به محاسبه و سیم‌پیچی اتوترانسفورماتور خواهند بود.

### \*مقدمه

ترانسفورماتورها مبدل‌هایی هستند، که انرژی الکتریکی را بدون تغییر نوع انرژی، با مقادیر مختلف در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهند. این خصوصیت به مهندسين برق این امکان را می‌دهد تا وسایل الکتریکی را در انواع مختلف با جریان‌ها و ولتاژهای گوناگون طراحی کنند. بدین طریق در مواقعی که احتمال خطر برق‌گرفتگی وجود داشته باشد وسایلی را با ولتاژ کم طراحی کنند که خطر برق‌گرفتگی نداشته باشد. در مواقعی مانند «جوشکاری» که نیاز به جریان زیاد است، با تغییر در مقدار ولتاژ، می‌توان جریان زیادی برای جوشکاری فراهم کرد.

ترانسفورماتورها در انتقال توزیع انرژی الکتریکی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند. معمولاً در ابتدای خطوط ولتاژ افزایش داده می‌شود که به‌واسطه آن اولاً: امکان انتقال را با ولتاژ بالا ممکن می‌سازند. ثانیاً: به دلیل افزایش ولتاژ جریان عبوری از خطوط انتقال کاهش یافته و در نتیجه تلفات خطوط انتقال بسیار کاهش می‌یابد. در انتهای خطوط که محل توزیع برق است با کاهش ولتاژ به اندازه‌ای که برای مصرف مناسب باشد، در نتیجه میزان جریان افزایش یافته و این امکان را فراهم می‌آورد تا جریان دهی به تعداد زیادی مصرف‌کننده افزایش یابد. ضمناً ترانسفورماتورها در موارد دیگری همچون صنعت خودروسازی، کوره‌های القایی، وسایل روشنایی و روشنایی‌های تزئینی، اندازه‌گیری‌ها و حفاظت‌های الکتریکی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### سؤال

حداقل ولتاژ برای ترانسفورماتور جوشکاری چند ولت است؟  
در شکل ۱ تصویر یک نمونه ترانسفورماتور سه فاز و تک فاز را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱- ترانسفورماتورهای سه فاز و تک فاز

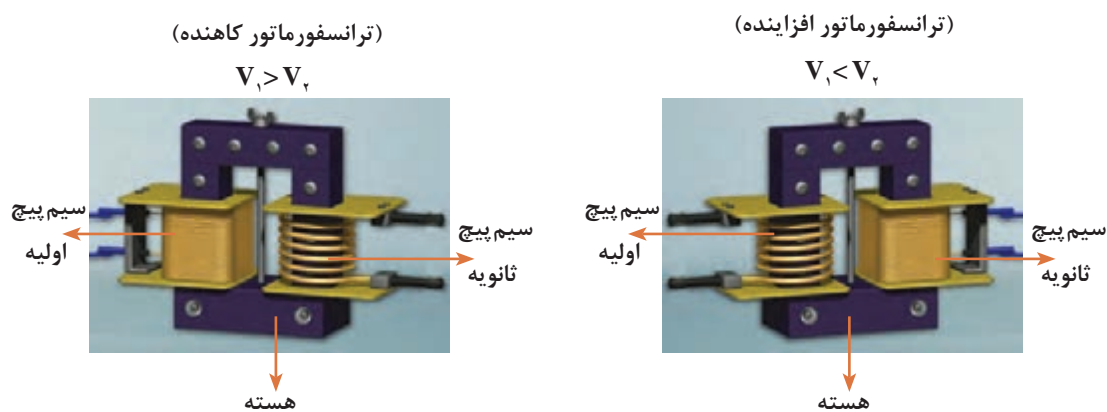
تعریف ترانسفورماتور (دو دقیقه اول فیلم)

فیلم



## ساختمان ترانسفورماتورها

ترانسفورماتور از دو قسمت تشکیل شده است. ۱- هسته آهنی ۲- سیم پیچی  
سیم پیچی ترانسفورماتورها در ساده ترین حالت به دو دسته تقسیم می شوند. به سیم پیچی که به ولتاژ ورودی متصل می شود اصطلاحاً «سیم پیچی اولیه» و به سیم پیچی که از آن ولتاژ مورد نظر (پس از عمل تبدیل ترانسفورماتور) به دست می آید «سیم پیچی ثانویه» گفته می شود. تمامی کمیت های الکتریکی و فیزیکی اولیه با اندیس (۱ یا P) و کمیت های ثانویه با اندیس (۲ یا S) نشان داده می شود.  
با توجه به توضیحات داده شده پس می توان نتیجه گرفت که ترانسفورماتورها به دو صورت تقسیم بندی می شوند. در شکل ۲ تصویر ترانسفورماتورهای تک فاز در دو حالت کاهنده و افزایشنده نشان داده شده است.



شکل ۲- ساختمان یک ترانسفورماتور

در مباحث الکتریکی از تصاویر شکل ۳ برای نشان دادن ترانسفورماتورها استفاده می شود.



شکل ۳- علائم اختصاری ترانسفورماتور با هسته های مختلف

چند نمونه کاربرد ترانسفورماتور افزایشنده و کاهنده در صنعت و برق و لوازم برقی اشاره کنید.

فعالیت



فعالیت



یک ترانسفورماتور کاهنده مثلاً  $\frac{220}{12}V$  تهیه کنید. با استفاده از اهم متر مقاومت اهمی سیم پیچ اولیه و ثانویه آن را اندازه گیری کنید. چه تفاوتی می بینید؟ چرا؟



برای آشنایی با طرز کار و چگونگی عملکرد ترانسفورماتورها لازم است تا ابتدا مباحث القای مغناطیسی ارائه شود.

## القای مغناطیسی دو سیم‌پیچ

اگر دو سیم‌پیچ در مجاورت هم قرار بگیرد، چنانچه به یکی از آنها (اولیه) ولتاژ متناوب وصل شود، جریان متناوب متغیر در داخل سیم‌پیچ اولیه جاری می‌شود. این جریان، بر اساس قانون اورستد شار مغناطیسی متغیر تولید می‌کند و شار مغناطیسی متغیر، مدار خود را از درون و اطراف سیم‌پیچ اولیه می‌بندد. اگر همه یا قسمتی از این شار از سیم‌پیچ دومی (ثانویه) عبور کند، به علت متغیر بودن شار، بر اساس قانون فاراده، در این سیم‌پیچ نیروی محرکه الکتریکی القا خواهد شد، که با آهنگ تغییر شار و تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه متناسب خواهد بود. شار متغیر در سیم‌پیچ اولیه نیز، نیروی محرکه القا می‌کند. این نیروی محرکه بر اساس قانون لنز با عامل به وجود آورنده آن، یعنی تغییرات شار مخالفت می‌کند. علامت منفی در روابط ۳-۱ و ۳-۲ به خاطر قانون لنز است.

$$E_2 = -N_2 \frac{\Delta\phi_2}{\Delta t} \quad (3-1)$$

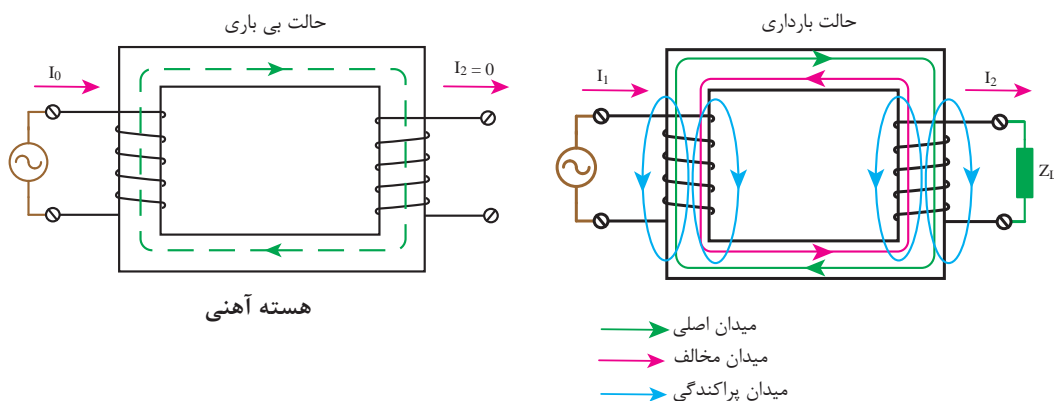
$$E_1 = -N_1 \frac{\Delta\phi_1}{\Delta t} \quad (3-2)$$

$E_1$  نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه،  $E_2$  نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ ثانویه،  $N_1$  تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه و  $N_2$  تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه است. آهنگ تغییر شار در سیم‌پیچ اولیه و  $\frac{\Delta\phi_2}{\Delta t}$  آهنگ تغییر شار در سیم‌پیچ ثانویه می‌باشد.

قسمتی از شار مغناطیسی تولیدشده فقط از سیم‌پیچ اولیه عبور می‌کند و از سیم ثانویه عبور نمی‌کند و در تولید نیروی محرکه  $E_1$  مؤثر است ولی در تولید  $E_2$  بی‌تأثیر است. به این مقدار شار، «شار پراکندگی» می‌گویند.

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 \quad (3-3)$$

$\phi_1$  مقدار شار تولید در سیم‌پیچ اولیه و  $\phi_2$  مقدار شار سیم‌پیچ ثانویه است.



شکل ۴- القای مغناطیسی در دو سیم‌پیچ

## سؤال

تصور کنید یک وسیله برقی دارید که با ولتاژ ۱۱۰ ولت کار می‌کند با توجه به ولتاژ شبکه برق ۲۲۰ ولت چگونه می‌توان از آن استفاده کرد.

## ضریب کوپلینگ

در شکل ۳ از مقدار شار تولیدشده  $\Phi_1$ ، در سیم‌پیچ اولیه به اندازه  $\Phi_2$ ، از سیم‌پیچ ثانویه عبور می‌کند، طبق تعریف :

نسبت  $K = \frac{\Phi_2}{\Phi_1}$  را ضریب کوپلینگ می‌گویند و چون همواره  $\Phi_2 \leq \Phi_1$  می‌باشد لذا ضریب کوپلینگ  $K \leq 1$  می‌باشد. اگر همه شار تولیدشده در سیم‌پیچ اولیه از سیم‌پیچ ثانویه عبور کند ( $\Phi_2 = \Phi_1$  و  $K=1$ ) در این صورت کوپلینگ کامل است. با روی هم قرار گرفتن دو سیم‌پیچ روی یک بازوی هسته تا حدودی کوپلینگ کامل اتفاق می‌افتد.

عملکرد ترانسفورماتور (بخش اول)

فیلم



## اساس کار ترانسفورماتورها

اگر سیم‌پیچ اولیه یک ترانسفورماتور، با جریان متناوب سینوسی تغذیه کند، جریان متناوب سینوسی در سیم‌پیچ اولیه برقرار می‌شود. این جریان بر اساس قانون اورستد شار مغناطیسی متغیری در سیم‌پیچ اولیه ایجاد می‌کند. به علت مقاومت مغناطیسی کم هسته، شار مغناطیسی، مدار خود را از طریق هسته می‌بندد. در شکل ۵ این شار با  $\Phi$  نشان داده شده است. دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه ترانسفورماتور با شار متغیر  $\Phi$  مواجه می‌شوند. در سیم‌پیچ اولیه نیروی محرکه  $E_1$  و در سیم‌پیچ ثانویه نیروی محرکه  $E_2$ ، بر اساس قانون فارادی القا می‌شود.

$$E_1 = 4/44 \times f \times \Phi \times N_1 = 4/44 \times f \times B \times A \times N_1 \quad (3-4)$$

$$E_2 = 4/44 \times f \times \Phi \times N_2 = 4/44 \times f \times B \times A \times N_2 \quad (3-5)$$

$E_1$  - نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه بر حسب ولت

$E_2$  - نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ ثانویه بر حسب ولت

$N_1$  - تعداد دور سیم‌پیچ اولیه

$N_2$  - تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه

$\Phi$  - برآیند شارهای مغناطیسی متغیر هسته بر حسب وبر

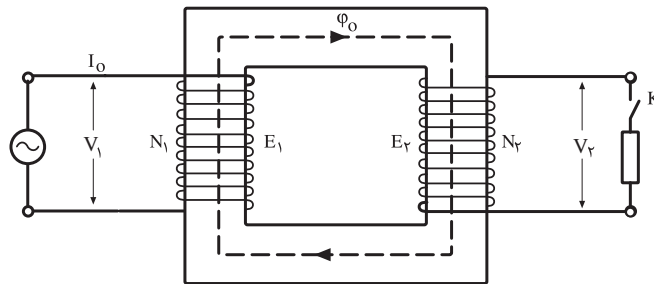
$B$  - چگالی میدان در هسته بر حسب تسلا

$f$  - فرکانس ولتاژ تغذیه بر حسب هرتز



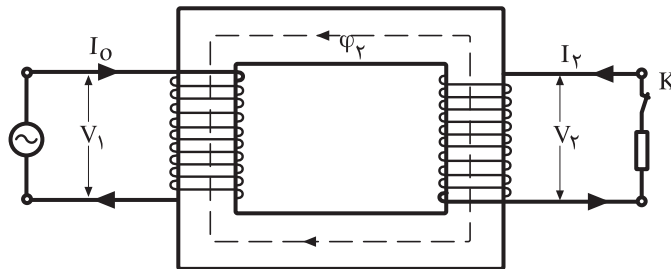
ترانسفورماتوری که تعداد دور اولیه و ثانویه آن برابر باشد ( $N_1 = N_2$ ) چه کاربردی دارد؟

در این حالت با توجه به آنکه هنوز بار ثانویه وارد مدار نشده است، در سیم‌پیچ اولیه جریان الکتریکی جاری می‌شود که به آن جریان بی‌باری گفته می‌شود و با  $I_0$  نشان داده می‌شود. در رابطه اخیر  $V_1$  ولتاژ تغذیه سیم‌پیچ اولیه و  $E_1$  نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه و  $Z_1$  امپدانس سیم‌پیچ اولیه می‌باشند.



شکل ۵- جریان بی‌باری  $\phi_0$  را تولید می‌کند.

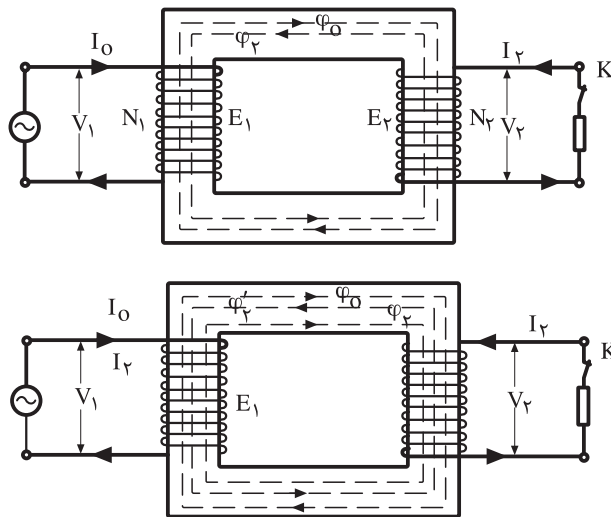
اگر کلید بار را در طرف ثانویه بسته شود نیروی محرکه القایی  $E_2$  در بار جریان الکتریکی  $I_2$  برقرار شده و در دو سر بار اختلاف پتانسیل  $V_2$  ایجاد می‌شود و براساس رابطه  $I_2 = \frac{E_2 - V_2}{Z_2}$  اندازه جریان ثانویه معین می‌شود.  $V_2$  ولتاژ دو سر سیم‌پیچ ثانویه و  $E_2$  نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ ثانویه و  $Z_2$  امپدانس سیم‌پیچ ثانویه می‌باشند. جریان  $I_2$ ، جریان متناوب سینوسی است، به نوبه خود در سیم‌پیچ ثانویه شارمغناطیسی  $\phi_2$  ایجاد کرده که مدار خود را از طریق هسته بسته و با شارمغناطیسی  $\phi_0$  براساس قانون لنز مخالفت کرده و موجب کاهش شار در هسته می‌شود.



شکل ۶- جریان بار، شار  $\phi_2$  را تولید می‌کند.

با کاهش شار مغناطیسی در هسته، مقدار  $E_1$  کاهش یافته و با کاهش  $E_1$  با توجه به رابطه  $I_0 = \frac{V_1 - E_1}{Z_1}$  مقدار  $I_0$  به مقدار  $I_1$  افزایش می‌یابد و شارمغناطیسی  $\phi_2'$  تولید می‌کند که  $\phi_2$  را خنثی کرده و دوباره  $\phi_0$  را در هسته برقرار می‌کند (شکل ۶).

با بررسی مطالب فوق مشاهده می‌شود تغییرات جریان از  $I_1$  به  $I_2$  متناسب با  $\varphi_1$  می‌باشد از آنجایی که  $\varphi_1$  را  $I_1$  به وجود آورده بود و  $I_2$  با امیدانس بار متناسب است. نتیجه می‌گیریم که افزایش  $I_1$  به  $I_2$  متناسب با بار ترانسفورماتور می‌باشد، که این فرایند را خود تنظیمی ترانسفورماتورها می‌گویند (شکل ۷).



شکل ۷- خود تنظیمی ترانسفورماتور

اجزای ترانسفورماتور از لحظه ۲ تا ۱۳:۵

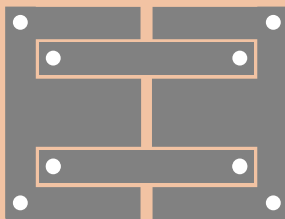
فیلم



فعالیت



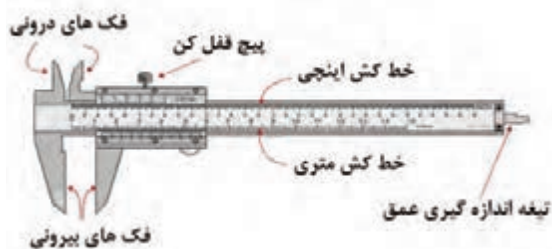
چرا هسته ترانسفورماتور با توجه به شکل ۸ به شکل EI ساخته می‌شود؟



شکل ۸- ساخت ورق هسته EI

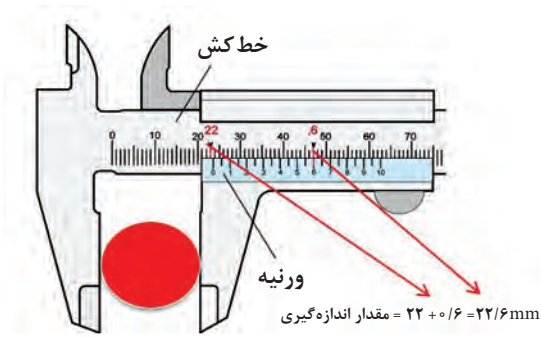
**توضیح:** برای اینکه بتوان کارهای عملی ساده و متناسب با بحث ترانسفورماتورها را در کارگاه انجام داد، لازم است تا با یکسری وسایل و ابزار مرتبط آن آشنا شد که در ادامه به بررسی و معرفی آنها پرداخته می‌شود.

## کولیس



شکل ۹- اجزای تشکیل دهنده کولیس

کولیس وسیله اندازه گیری، فاصله بین دو نقطه، با دقت اندازه گیری یک دهم میلی متر می‌باشد. کولیس از یک خط کش مدرج، یک ورنیه، دوفک بیرونی، دوفک درونی و یک تیغه تشکیل می‌شود (شکل ۹).

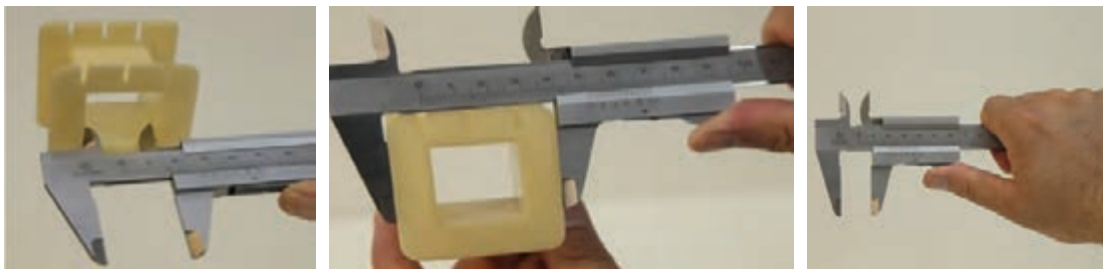


شکل ۱۰- اندازه گیری قطر خارجی با کولیس

### روش اندازه گیری با کولیس

قطعه‌ای بین دو فک قرار داده شود (سنجش قطر خارجی). قسمت صحیح را قبل از صفر ورنیه، از خط کش بر حسب میلی متر خوانده می‌شود. قسمت اعشاری را از ورنیه جدا ساخته، در این حالت یکی از اعداد ورنیه، با یکی از اعداد خط کش در امتداد هم قرار می‌گیرند، این عدد قسمت اعشاری اندازه گیری را نشان خواهد داد. بنابراین، دقت اندازه گیری دهم میلی متر خواهد بود.

با کولیس می‌توان اندازه داخلی و خارجی و عمق اجسام را اندازه گیری نمود (شکل ۱۱).



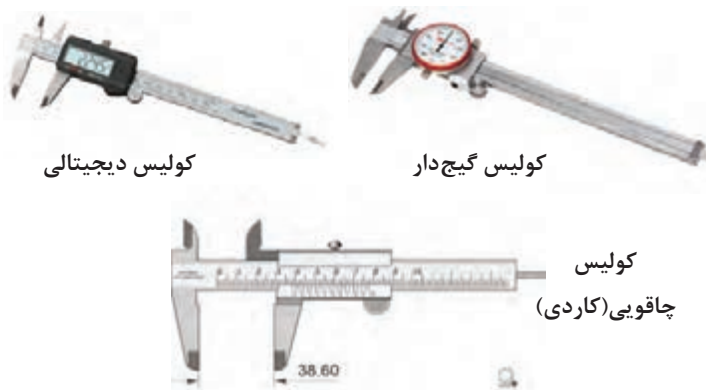
شکل ۱۱- نحوه اندازه گیری با کولیس

### سؤال

چه تفاوتی در انواع کولیس در شکل ۱۲ دیده می‌شود؟

مقدار نشان داده شده توسط کولیس در شکل ۱۳ چقدر است؟

فعالیت

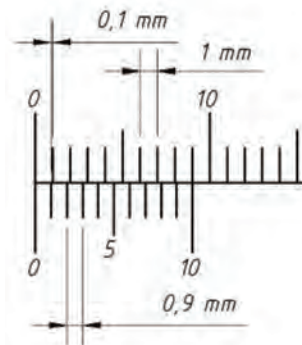


کولیس دیجیتالی

کولیس گیج دار

کولیس  
چاقویی (کاردی)

شکل ۱۲- انواع کولیس‌ها



شکل ۱۳

## میکرومتر (ریزسنج)

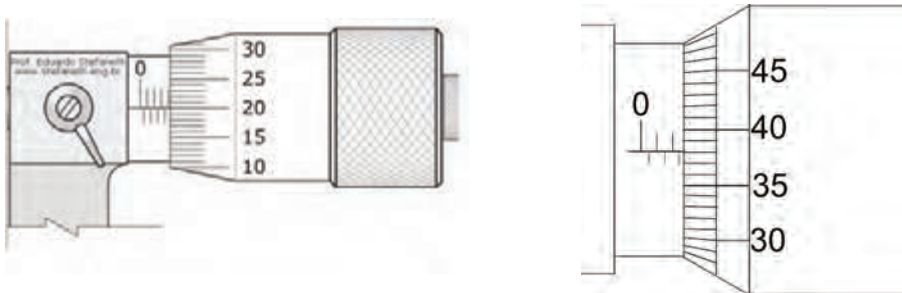
از میکرومتر معمولاً برای اندازه‌گیری قطر سیم‌های با روکش لاک استفاده می‌شود. دقت اندازه‌گیری آن تا  $0.01$  میلی‌متر می‌باشد. روش اندازه‌گیری و قرائت مقدار اندازه‌گیری شده در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۴- اندازه‌گیری قطر اجسام با میکرومتر

مقدار نشان داده شده در شکل توسط میکرومتر چقدر است؟

فعالیت



شکل ۱۵- اندازه‌گیری با میکرومتر

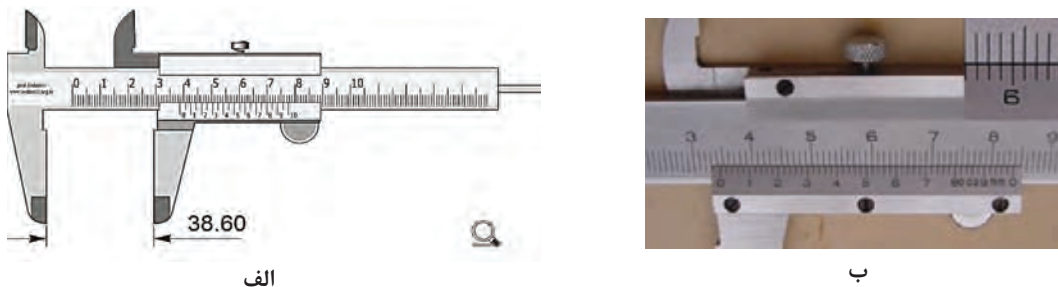
از ضربه زدن به کلیه اجزای میکرومتر خودداری کنید و بعد از هرزگردی مهره را بیشتر نچرخانید.

ایمنی



مقادیری را که دستگاه‌های کولیس در شکل‌های زیر نشان می‌دهند، مشخص کنید.

فعالیت



الف

ب



پ

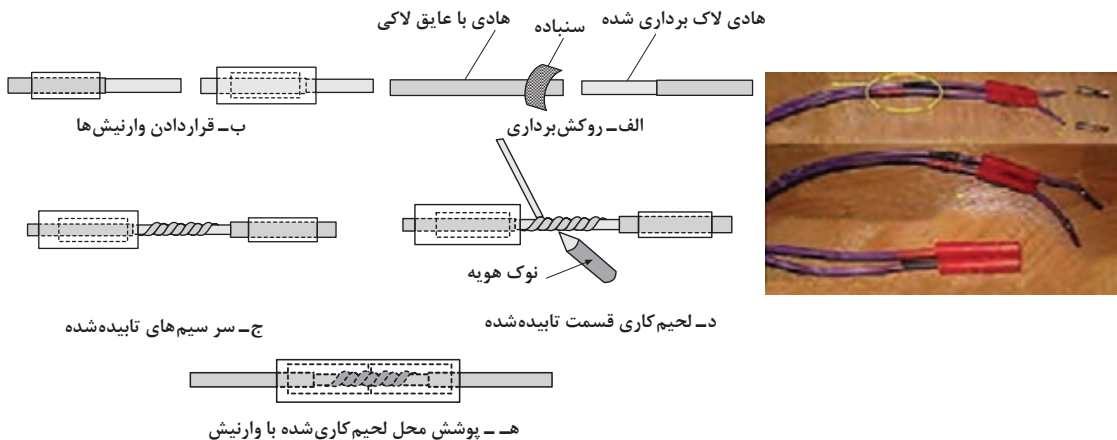


ت

شکل ۱۶- مقادیر مختلف اندازه گیری شده با کولیس

## وارنیش

معمولاً برای محکم کردن اتصال سیم‌های لاک‌ی با یکدیگر و یا اتصال سیم‌های لاک‌ی با سیم‌های افشان که از داخل وسیله سیم‌پیچی شده مانند ترانسفورماتورها و الکتروموتورها خارج می‌شود از روش لحیم کاری استفاده می‌شود. برای عایق کاری این نقاط اتصال از عایق‌های حرارتی به نام وارنیش (ماکارونی) استفاده می‌شود. در زمان سیم‌پیچی یک طرف این روکش‌ها باید در داخل قرقره و زیر سیم‌پیچ‌ها قرار گرفته و محکم شود. وارنیش‌ها به صورت لوله‌ای در قطرهای مختلف و با طول‌های یک متر وجود دارند که می‌توان متناسب با ضخامت محل اتصال دو سیم شماره وارنیش را انتخاب کرد.



شکل ۱۷- کاربرد وارنیش

## کاغذ پرشمان

کاغذهای عایقی الکتریکی هستند که از آنها در بین طبقات سیم‌پیچی‌ها و روی سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه برای جدا کردن این سیم‌پیچی‌ها از یکدیگر و همچنین حفاظت از سیم‌پیچی در مقابل ضربات خارجی استفاده می‌شود.



شکل ۱۸- کاغذ پرشمان



برای اتصال سیم‌های ترانسفورماتور به شبکه یا مصرف‌کننده می‌توان از سر سیم استفاده کرد که در شکل ۱۹ با تصویر چند نمونه از آنها آشنا می‌شویم.



شکل ۱۹- سرسیم

ترانسفورماتور (بخش سوم)

فیلم



فعالیت



مقاومت عایقی بین سیم‌پیچ اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور یک‌فاز را به کمک مگر اندازه‌گیری کنید.

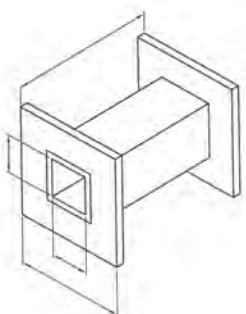
### سؤال

اگر سیم‌پیچ اولیه با سیم‌پیچ ثانویه اتصال الکتریکی پیدا کند چه اتفاقی در عملکرد ترانسفورماتور رخ می‌دهد؟

کار عملی ۱



**هدف:** آشنایی و کار با کولیس، میکرومتر، سیم لاکه، وارنیش، قرقره ترانسفورماتور، ورق‌های هسته ترانسفورماتور



شکل ۲۰- ابعاد قرقره ترانسفورماتور

**وسایل و مواد لازم:** کولیس، میکرومتر، سیم لاکه،

وارنیش، قرقره ترانسفورماتور، انواع ورق‌های EI

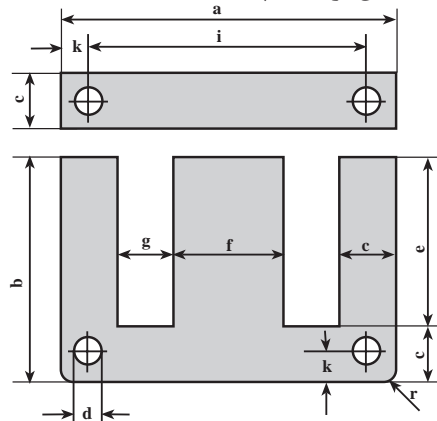
۱- دو اندازه مختلف از قرقره‌های آماده ترانسفورماتورها را در اختیار گرفته و مقادیر نشان داده شده در شکل ۲۰ را با کولیس اندازه‌گیری کنید.

۲- دو اندازه مختلف از ورق‌های EI ترانسفورماتورها را در اختیار گرفته و مقادیر نشان داده شده در



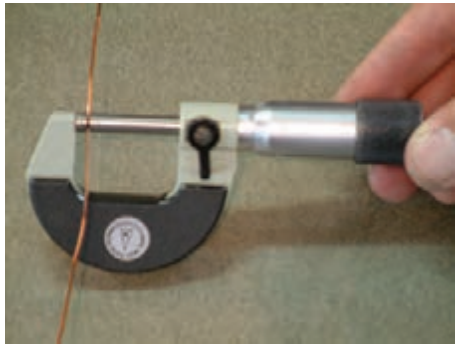
بودمان سوم: سیم پیچی ترانسفورماتور

شکل ۲۱ را با کولیس اندازه گیری کنید. چه ارتباطی بین مقدار وسط هسته (f) با دو ضلع کناری (C) وجود دارد؟ علت این ارتباط چیست؟



شکل ۲۱- ابعاد هسته EI

۳- چند نمونه قرقره سیم لاکه مختلف را در اختیار گرفته و با میکرومتر قطر سیم لاکه آنها را اندازه گیری کنید و جدول ۱ را تکمیل کنید (شکل ۲۲).

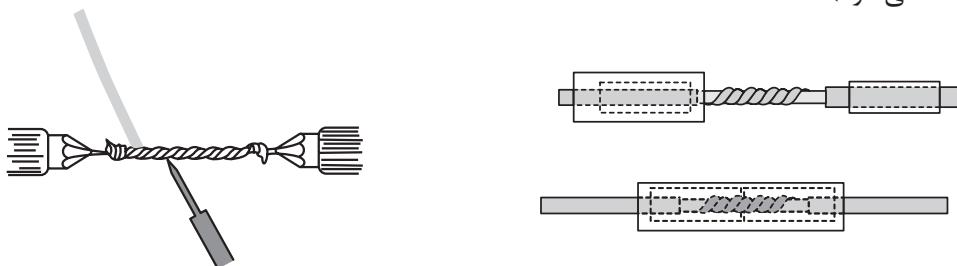


شکل ۲۲- اندازه گیری قطر سیم لاکه

جدول ۱- مقادیر اندازه گیری شده

شماره سیم	قطر سیم اندازه گیری شده	ضخامت لاک سیم	$\frac{\pi d^2}{4}$ اندازه گیری سطح مقطع سیم (A)
۰/۵۰			
۰/۶۰			
۰/۸۰			
۰/۸۵			
۱			

۴- چند رشته سیم لاکه را مطابق شکل ۲۳ به یکدیگر اتصال داده و پس از لحیم کاری مناسب روی اتصال‌ها را با وارنیش پلاستیکی بیوشانید (اندازه روکش برداری و وارنیش‌ها توسط هنرآموز (استادکار) در اختیار شما گذاشته می‌شود).



شکل ۲۳- لحیم کاری

## ترانسفورماتور ایده آل

ترانسفورماتوری که تمام شار مغناطیسی تولیدشده در سیم‌پیچ اولیه از سیم‌پیچ ثانویه عبور می‌کند ایده آل نامیده می‌شود. در این ترانسفورماتورها هیچ گونه تلفات وجود ندارد و راندمان آن صددرصد می‌باشد. این نوع ترانسفورماتورها یک تعریف ذهنی است و در عمل امکان دستیابی به چنین ترانسفورماتورهایی امکان‌پذیر نیست.

### روابط اساسی ترانسفورماتورهای ایده آل

در ترانسفورماتورهای ایده آل به علت نادیده گرفتن مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌ها و تلفات پراکندگی می‌توان نوشت:

$$E_1 = V_1, \quad E_2 = V_2 \quad (3-4), \quad P_1 = P_2 \quad (3-5)$$

با توجه به روابط ۳-۴ و ۳-۵ می‌توان نوشت:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{4/44 \times f \times B \times A \times N_1}{4/44 \times f \times B \times A \times N_2} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (3-6)$$

$$P_1 = V_1 \times I_1, \quad P_2 = V_2 \times I_2, \quad P_1 = P_2$$

$$V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (3-7)$$

در ترانسفورماتورهای ایده آل نسبت دورها با نسبت ولتاژها و عکس نسبت جریان‌ها برابر است و  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = a$  را ضریب تبدیل ترانسفورماتور می‌گویند.

### مثال ۱

تعداد دور سیم‌پیچ اولیه یک ترانسفورماتور ایده‌آل ۱۰۰۰ دور و تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه آن ۴۰۰ دور می‌باشد این ترانسفورماتور در ثانویه بار ۲۰ اهمی را با ولتاژ ۲۰۰ ولت تغذیه می‌کند. ولتاژ و جریان اولیه و توان ورودی ظاهری آن را به دست آورید.

حل:

$$N_1 = 1000 \text{ دور}, N_2 = 400 \text{ دور}, R = 20 \Omega, V_2 = 200 \text{ V} \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{V_1}{200} = \frac{1000}{400} \rightarrow V_1 = 500 \text{ V} \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}, I_2 = \frac{V_2}{R} = \frac{200}{20} = 10 \text{ A}, \frac{1000}{400} = \frac{10}{I_1} \rightarrow I_1 = 4 \text{ A}$$

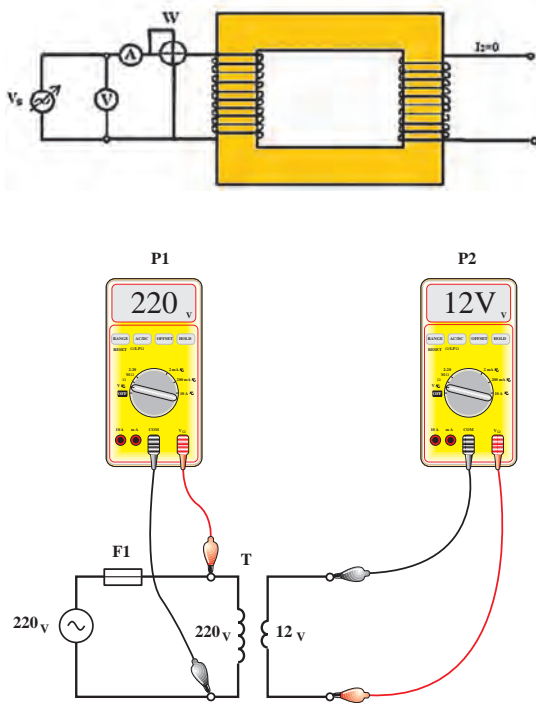
$$S_1 = V_1 \times I_1 = 1000 \times 4 = 4000 \text{ VA}$$

### سؤال

تفاوت ترانسفورماتور ایده‌آل و واقعی چیست؟ چرا در عمل ترانسفورماتور ایده‌آل وجود ندارد؟

## آزمایش بی‌باری

در آزمایش بی‌باری هدف تعیین تلفات هسته و مشخص نمودن عناصر معادل هسته می‌باشد. در این آزمایش، ثانویه بدون بار بوده و در فرکانس نامی مطابق شکل ۲۴ منبع ولتاژ متغیر را آن قدر تغییر می‌دهیم تا ولت‌متر ولتاژ اسمی ترانسفورماتور را نشان دهد. در این حالت وات‌متر تلفات بی‌باری یا تقریباً تلفات هسته که برابر  $P_{Fe} = \frac{V_1^2}{R_c}$  است را نشان خواهد داد. مقداری که آمپر‌متر نشان می‌دهد جریان بی‌باری ترانسفورماتور  $I_0$  می‌باشد (با چگونگی محاسبه عناصر مدار معادل در سال‌های بعد آشنا خواهید شد).



شکل ۲۴ - مدار آزمایش بی‌باری

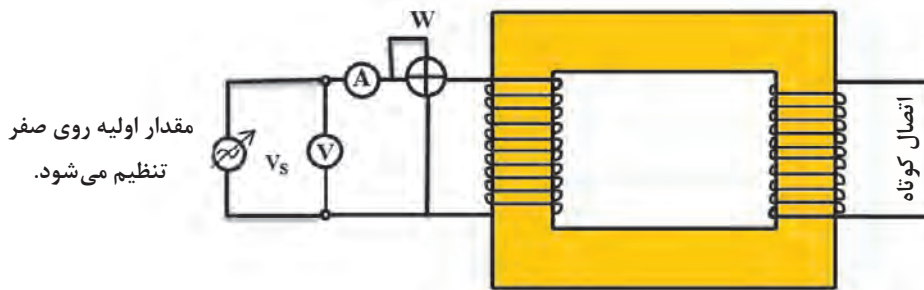
فعالیت

چرا ولتاژ بی‌باری ترانسفورماتور از مقدار محاسبه شده بیشتر است؟



## آزمایش اتصال کوتاه

هدف از آزمایش اتصال کوتاه برآورد تقریبی تلفات سیم‌پیچی و عناصر معادل سیم‌پیچی ترانسفورماتور است. این آزمایش به جهت اشباع مغناطیسی هسته، باید با احتیاط صورت گیرد. برای این منظور ابتدا منبع ولتاژ را در مقدار صفر قرار داده، سپس ثانویه را مانند شکل ۲۵ اتصال کوتاه کرده و سپس منبع ولتاژ متغیر را آهسته آهسته افزایش داده تا از آمپرتر، جریان نامی اولیه ترانسفورماتور عبور کند در این حالت مقداری که وات‌متر نشان می‌دهد گویای تلفات مسی  $P_{Cu} = I_1^2 \times R_e$  می‌باشد و مقداری که ولت‌متر نشان می‌دهد ولتاژ اتصال کوتاه  $V_{sc}$  است.



شکل ۲۵- مدار آزمایش اتصال کوتاه

### تلفات ترانسفورماتور

به مجموع تلفات آهنی ( $P_{Fe}$ ) و تلفات مسی ( $P_{Cu}$ ) تلفات ترانسفورماتور گفته می‌شود.

$$\Delta P = P_{Fe} + P_{Cu} \quad (3-8)$$

آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه از لحظه ۲۱:۴۵ تا ۲۳:۵۵

فیلم



### راندمان ترانسفورماتور

نسبت توان خروجی  $P_{out}$  به توان ورودی  $P_{in}$  راندمان گفته می‌شود و با  $\eta$  نشان داده می‌شود.

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (3-10) \quad P_{in} = P_{out} + \Delta P \quad (3-9)$$

سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای وسایل زیر روی یک بازو یا دو بازوی مختلف هسته پیچیده شده است؟  
 الف) ترانسفورماتور هویه تفنگی  
 ب) ترانسفورماتور جوشکاری مدل پله‌ای  
 ج) ترانسفورماتور جوشکاری مدل هسته متحرک

تحقیق



## ولتاژ اتصال کوتاه

اگر سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور اتصال کوتاه شود، و از سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور جریان نامی عبور کند، در این حالت ولتاژی که در اولیه ترانسفورماتور اعمال شده است ولتاژ اتصال کوتاه گفته و آن را با  $V_{sc}$  (VShort Circuit) نشان می‌دهند.

## ولتاژ اتصال کوتاه نسبی

نسبت ولتاژ اتصال کوتاه به ولتاژ نامی اولیه را «ولتاژ اتصال کوتاه نسبی» می‌گویند و آن را با  $U_k$  نشان می‌دهند. معمولاً آن را به درصد بیان می‌کنند و یکی از مشخصات ترانسفورماتور می‌باشد و معمولاً در پلاک ترانسفورماتور آورده می‌شود.

$$U_k \% = \frac{V_{SC}}{V_{1n}} \times 100 \quad (3-11)$$

ولتاژ اتصال کوتاه معیاری برای اندازه‌گیری مقدار امپدانس ترانسفورماتورها است. هرچقدر ولتاژ اتصال کوتاه بیشتر باشد امپدانس ترانسفورماتور زیادتر، تلفات آن بیشتر و راندمان کمتری دارد اما در مقابل اتصال کوتاه مقاوم‌تر است.

برای کاهش ولتاژ اتصال کوتاه، سیم‌های سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه را روی هم می‌پیچند.

مقدار ولتاژ اتصال کوتاه یک ترانسفورماتور سیم پیچی شده را اندازه‌گیری کنید و در مورد امپدانس داخلی آن بحث کنید.

فعالیت



## جریان اتصال کوتاه

چنانچه ترانسفورماتور با مقادیر نامی، باری را تغذیه کند و دوسر بار اتصال کوتاه شود جریان شدیدی (حدوداً تا ۲۰ برابر جریان نامی) از ترانسفورماتور عبور می‌کند که به آن جریان ضربه‌ای یا جریان هجومی گفته می‌شود این جریان پس از چند سیکل تقریباً به نصف مقدار اولیه کاهش پیدا کرده و مقدار ثابت پیدا می‌کند، به این جریان، جریان اتصال کوتاه گفته و با  $I_{SC}$  نمایش داده می‌شود.

$$I_{SC} = \frac{I_n}{u_k} \quad (3-12)$$

$I_{SC}$  - جریان اتصال کوتاه       $I_n$  - جریان نامی       $u_k$  - ولتاژ اتصال کوتاه نسبی

### مثال ۲

ولتاژ نامی یک ترانسفورماتور ۲۲۰ ولت و جریان نامی آن ۱۰ آمپر است. اگر ولتاژ اتصال کوتاه آن ۴۴ ولت باشد، جریان اتصال کوتاه آن چند آمپر است؟

حل

$$V_{1n} = 220 \text{ V}, \quad I_n = 10 \text{ A}, \quad V_{SC} = 44 \text{ V}$$

$$u_k = \frac{V_{SC}}{V_{1n}} = \frac{44}{220} = 0.2$$

$$I_{SC} = \frac{I_n}{u_k} = \frac{10}{0.2} = 50 \text{ A}$$

## سؤال

چه ارتباطی بین مقدار جریان اتصال کوتاه یک ترانسفورماتور و ولتاژ اتصال کوتاه آن وجود دارد؟

هنگامی که ترانسفورماتور به ولتاژ اولیه نامی برق شهر متصل است ثانویه را برای مدت طولانی اتصال کوتاه نکنید.

ایمینی



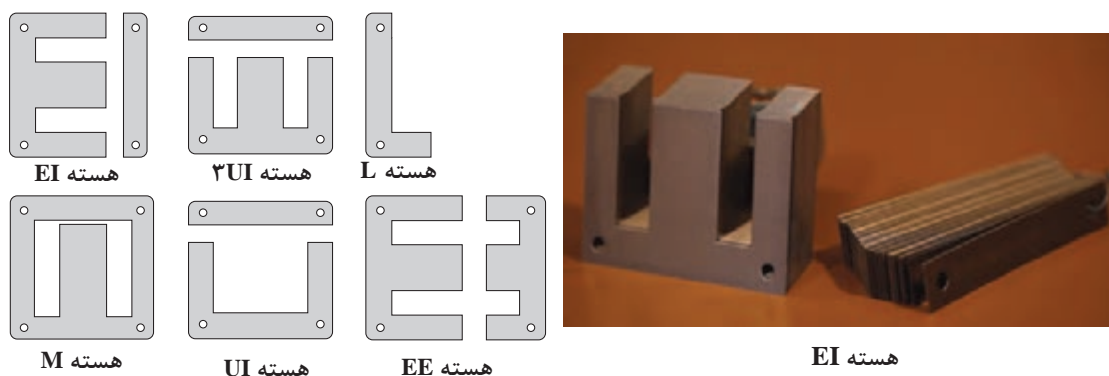
## محاسبات عملی ترانسفورماتورهای تک فاز

هسته‌های آهنی مورد استفاده در ترانسفورماتورها باید دو ویژگی بسیار مهم داشته باشند.

۱- داشتن حداقل تلفات هیستریزیس (مربوط به جنس هسته می‌شود).

۲- داشتن حداقل تلفات فوکو (مربوط به شکل هسته می‌شود).

با افزودن ناخالصی سیلیس به آهن می‌توان از هسته مرغوب با حداقل تلفات هیستریزیس بهره‌مند شد. با ورق ورق کردن هسته می‌توان تلفات فوکو را به حداقل رساند در عمل علاوه بر ورق، ورق کردن هسته، ورقه‌های هسته با افزودن روکش ورنی، آنها را نسبت به هم عایق می‌کنند. لعاب روکش ورقه جدار ۰/۰۱ میلی‌متر است که طی دو مرحله روکش و در هر مرحله ۰/۰۵ روی ورق‌ها روکش ورنی می‌دهند. ورقه‌ها در اندازه‌های ۰/۳۵ میلی‌متر و ۰/۵ میلی‌متر ساخته می‌شوند. ورقه‌های هسته به صورت  $M, L, UI, EE, ۳UI$  برش داده می‌شوند. در شکل ۲۶ نمونه‌هایی از هسته‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۲۶- انواع هسته‌های ترانسفورماتور

## محاسبه سطح مقطع هسته

مبنای تعیین سطح مقطع هسته‌های ترانسفورماتور، توان ظاهری خروجی آنها می‌باشد. چون ترانسفورماتورهای قدرت براساس القای متقابل کار می‌کنند، نقطه کار آنها در ناحیه خطی می‌باشد. می‌توان از ضریب تبدیل  $a = \frac{N_1}{N_2}$  با دقت بالا استفاده کرد. هنگام محاسبه سطح مقطع، مقدار سطح مقطع مؤثر باید در نظر گرفته شود.

بودمان سوم: سیم پیچی ترانسفورماتور

برای کاهش اثرات فوکو، هسته ترانسفورماتور را از ورقه‌های آهن سیلیس دار با ضخامت‌های ۰/۳۵ یا ۰/۵۰ میلی‌متر ساخته می‌شود. سطح مقطع ظاهری حجم بیشتری نسبت به سطح مقطع مؤثر دارد. ارتباط سطح مقطع مؤثر و سطح مقطع ظاهری را ضریب تورق (۰/۹۰ الی ۰/۹۵) مشخص می‌کند. اگر سطح مقطع مؤثر را با  $S$  و سطح مقطع ظاهری را با  $S'$  نمایش دهیم، می‌توان رابطه ۱۳-۳ را نوشت.

$$S = K\sqrt{P_r} \quad (3-13)$$

سطح مقطع ظاهری هسته‌های ترانسفورماتور از رابطه ۱۴-۳ تعیین می‌شود.

$$S' = \frac{S}{\text{ضریب تورق}} \approx 1/1 \times S \quad (3-14)$$

کاهش یافته  $K$  بین ۰/۸ تا ۱/۲۱ متغیر است هر چقدر توان ترانسفورماتور بیشتر باشد، مقدار  $K$  ضریب به مقدار ۰/۸ نزدیک‌تر می‌شود.

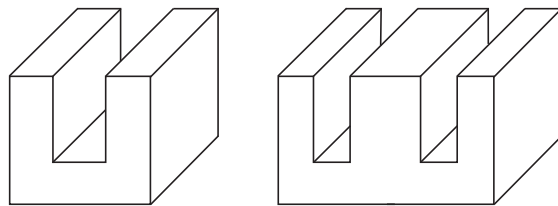
چه تفاوتی بین راندمان ترانسفورماتورهای قدرت و ترانسفورماتورهای کوچک آزمایشگاهی وجود دارد؟

تحقیق



در دو مدل هسته  $E$  و  $U$  شکل ۲۷ چه ارتباطی بین سطح مقطع هسته وجود دارد؟ در مورد آن بحث کنید.

فعالیت

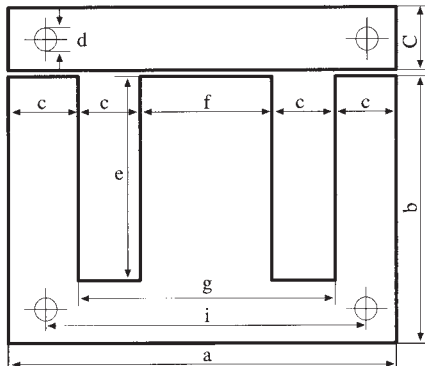


شکل ۲۷- سطح مقطع هسته  $EI$  و  $U$

ابعاد ورق‌های هسته  $EI$  و  $UI$  اندازه و ابعاد برش هسته‌های  $EI$  و  $UI$  با یکدیگر متفاوت است. در شکل ۲۸ ابعاد و روابط آن در هسته  $EI$  نشان داده شده است، ابعاد هسته  $UI$  در شکل ۲۹ نشان داده شده است.

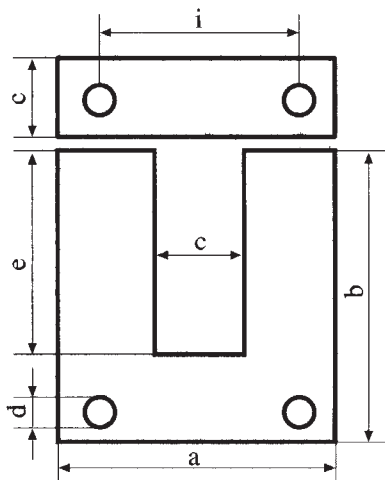
سؤال

اندازه برش  $f$  چند برابر  $C$  در هسته  $EI$  است؟ چرا؟



$$b = \frac{2}{3}a, \quad c = \frac{1}{6}a, \quad e = \frac{1}{2}a, \quad f = \frac{1}{3}a, \quad g = \frac{2}{3}a$$

شکل ۲۸- ابعاد هسته



$$b = \frac{4}{3}a$$

$$c = \frac{1}{3}a$$

$$e = a$$

شکل ۲۹- ابعاد ورق

## تعیین نوع ورق با استفاده از جداول

با مشخص شدن سطح مقطع ظاهری هسته و استفاده از روابط ۱۵-۳ و جدول ۲ می‌توان ابعاد هسته را معین کرد. در تعیین ابعاد هسته، ضخامت هسته کمی بیشتر از عرض هسته در نظر گرفته می‌شود. جدول ابعاد هسته UI در کتاب همراه هنرجو قابل استفاده است.

$$\text{نوع هسته EI یا UI} \leq 30 \times \sqrt{S} \quad (3-15)$$

جدول ۲- استاندارد ابعاد ورق‌های EI

اندازه	a	b	c	d	e	f	g	i	ضخامت
EI۳۰	۳۰	۲۰	۵	-	۱۵	۱۰	۲۰	-	۰/۰-۰/۵
EI۳۸	۳۸/۴	۲۵/۶	-	-	۱۹/۲۱	۱۲/۸	۲۵/۵	-	"
EI۴۲	۴۲	۲۸	۷	۳/۵	۲۱	۱۴	۲۸	۳۵	۰/۲۷-۶۵
EI۴۸	۴۸	۳۲	۸	۳/۵	۲۴	۱۶	۳۲	۴۰	"
EI۵۴	۵۴	۳۶	۹	۳/۵	۲۷	۱۸	۳۶	۴۵	"
EI۶۰	۶۰	۴۰	۱۰	۳/۵	۳۰	۲۰	۴۰	۵۰	"
EI۶۶	۶۶	۴۴	۱۱	۴/۵	۳۳	۲۲	۴۴	۵۵	"
EI۷۵	۷۵	۵۰	۱۲/۵	۴/۵	۳۷/۵	۲۵	۵۰	۶۲/۵	"
EI۷۸	۷۸	۵۲	۱۳	۴/۵	۳۹	۲۶	۵۲	۶۵	"
EI۸۴	۸۴	۵۶	۱۴	۴/۵	۴۲	۲۸	۵۶	۷۰	"
EI۹۶	۹۶	۶۴	۱۶	۵/۵	۴۸	۳۲	۶۴	۸۰	"
EI۱۰۵	۱۰۵	۷۰	۱۷/۵	۵/۵	۵۲/۵	۳۵	۷۰	۸۷/۵	"
EI۱۰۸	۱۰۸	۷۲	۱۸	۵/۵	۵۴	۳۶	۷۲	۹۰	"
EI۱۲۰	۱۲۰	۸۰	۲۰	۷	۶۰	۴۰	۸۰	۱۰۰	"
EI۱۵۰N	۱۵۰	۱۰۰	۲۵	۸	۷۵	۵۰	۱۰۰	۱۲۵	"



### سؤال

اگر سیم پیچ ترانسفورماتور به ولتاژ DC متصل شود، مقدار ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور چقدر خواهد بود؟ چرا؟

### مثال ۳

نوع ورق مناسب برای هسته ترانسفورماتور با ولتاژ  $U_p = 12V$  و جریان  $I_p = 4A$  تعیین کنید.

$$P_p = U_p \times I_p = 12 \times 4 = 48 \text{ W}$$

$$S = 1/2 \sqrt{P_p} = 1/2 \sqrt{48} = 8/31 \text{ cm}^2$$

$$EI \text{ نوع هسته} \leq 30 \times \sqrt{S}$$

$$EI \text{ نوع هسته} \leq 30 \times \sqrt{8/31} = 86/48$$

ورق استاندارد مربوط به مقدار محاسبه شده ورق  $EI 84$  می باشد. در این ورق  $f = \frac{1}{3} a = 28 \text{ mm}$  می باشد. ضخامت هسته از  $\frac{S}{f}$  به دست می آید.

$$\text{ضخامت هسته} = \frac{S}{f} = \frac{8/31}{28 \times 10^{-1}} = 2/967 \text{ cm} = 29/67 \text{ mm}$$

اگر ورق ها را از نوع  $35/0$  میلی متری انتخاب کنیم در این حالت تعداد ورق ها برابر است با :

$$\text{تعداد ورق ها} = \frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت هر ورق}} = \frac{29/67}{0/35} = 84 \text{ عدد}$$

اگر ورق ها از نوع  $50/0$  میلی متری انتخاب کنیم در این حالت تعداد ورق ها برابر است با :

$$\text{تعداد ورق ها} = \frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت هر ورق}} = \frac{29/67}{0/50} = 59 \text{ عدد}$$

### محاسبه تعداد دور سیم پیچ اولیه و ثانویه

مبنای محاسبات تعداد دورهای سیم پیچ اولیه و ثانویه رابطه  $E = 4/44 \times f \times B_m \times S \times N$  می باشد. عملاً در محاسبات برای سادگی عمل  $E$  را یک ولت در نظر می گیرند و تعداد دور را برای یک ولت به دست می آورند که آن را دور بر ولت می گویند و با  $N_v$  نشان می دهند. پس از تعیین  $N_v$ ، براساس ولتاژهای سیم پیچ های اولیه و ثانویه و در نظر گرفتن افت ولتاژها، تعداد دورهای اولیه و ثانویه را تعیین می کنند.

$$E = 4/44 \times f \times B_m \times S \times N$$

$$E = 1V \rightarrow N_v = \frac{1}{4/44 \times f \times B_m \times S} \quad (3-16)$$

اگر  $S$  را برحسب سانتی مترمربع و  $B_m$  را برحسب گوس در نظر بگیریم دور بر ولت به صورت رابطه ۳-۱۶ بیان خواهد شد.

$$N_V = \frac{10^8}{4/44 \times f \times B_m \times S} \quad (3-15)$$

اگر  $f=50 \text{ Hz}$  و گوس  $=12000$  تسلا  $B_m = 1/2$  باشد دور بر ولت  $N_V$  به صورت زیر بیان می‌شود.

$$N_V = \frac{37/5}{S [\text{Cm}^2]} \quad \text{هسته مرغوب}$$

اگر  $f=50 \text{ Hz}$  و گوس  $=10000$  تسلا  $B_m = 1$  باشد دور بر ولت  $N_V$  به صورت زیر بیان می‌شود.

$$N_V = \frac{45}{S [\text{Cm}^2]} \quad \text{هسته معمولی}$$

فعالیت

مقدار دور بر ولت به چه عواملی بستگی دارد؟ اگر فرکانس افزایش یابد دور بر ولت چه تغییری می‌کند؟



برای محاسبه تعداد دور اولیه و ثانویه دو حالت زیر را می‌توان در نظر گرفت.

۱- تعداد دور سیم‌پیچ اولیه را متناسب با نصف درصد افت ولتاژ، کاهش و تعداد دور ثانویه متناسب با نصف درصد افت ولتاژ افزایش می‌دهند.

$$N_1 = N_V \times V_1 \times \left(1 - \frac{\% \Delta V}{2}\right)$$

$$N_2 = N_V \times V_2 \times \left(1 + \frac{\% \Delta V}{2}\right)$$

۲- تعداد دور سیم‌پیچ اولیه را تغییر نداده و تعداد دور ثانویه را متناسب با درصد افت ولتاژ کل افزایش می‌دهند.

$$N_1 = N_V \times V_1$$

$$N_2 = N_V \times V_2 \times (1 + \% \Delta V)$$

میزان افت ولتاژ با توجه به توان ترانسفورماتور تغییر می‌کند. افت ولتاژ در جدول شکل ۳ بر حسب توان خروجی نشان داده شده است.

جدول ۳- افت ولتاژ ترانسفورماتورها بر حسب قدرت آن

قدرت ترانس VA	5	10	25	50	75	100	150	200	300	400	750	1000	1500	2000	3000	3500
درصد افت ولتاژ $\Delta U$	20	17	14	12	10	9	8	7/5	7	6/5	5	4	3	2	5	1

سؤال

چرا با افزایش قدرت ترانسفورماتور مقدار درصد افت کمتر می‌شود؟

#### مثال ۴

ترانسفورماتوری با مشخصات VA ۲۰۰ با ولتاژ اولیه ۲۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه ۱۲ ولت مورد نیاز است. هسته این ترانسفورماتور از نوع مرغوب با چگالی  $B_m = 12000 \text{ GS}$ ، ضخامت هر ورق  $0.5 \text{ mm}$  و فرکانس شبکه ۵۰ هرتز می باشد. تعداد دور سیم پیچ اولیه و ثانویه و تعداد ورق های هسته را با شرایط زیر مشخص کنید.

- ۱- بدون در نظر گرفتن افت ولتاژ، در اولیه
  - ۲- با در نظر گرفتن افت ولتاژ اولیه
- حل:

#### ۱- بدون در نظر گرفتن افت ولتاژ در سیم پیچ اولیه

از جدول شکل ۳-۶۵ برای  $P = 200 \text{ VA}$  اندازه افت ولتاژ برابر  $7.5\%$  تعیین می شود و از رابطه برای هسته مرغوب می توان نوشت:

$$N_V = \frac{37/5}{S [Cm^2]}$$

$$S = 1/2 \sqrt{P_r} = 1/2 \sqrt{200} = 16/97 Cm^2$$

$$N_V = \frac{37/5}{16/97} = 2/21 \text{ دور در هر ولت}$$

$$N_V = \frac{10^8}{4/44 \times f \times B_m \times S}$$

$$N_V = \frac{10^8}{4/44 \times 50 \times 12000 \times 16/97} = 2/21$$

$$N_1 = N_V \times V_1 = 2/21 \times 220 = 486 \text{ دور}$$

$$N_r = N_V \times V_r \times (1 + \% \Delta V) = 2/21 \times 12 \times (1 + 0.075) \approx 29$$

#### ۲- با در نظر گرفتن افت ولتاژ در سیم پیچ اولیه

$$N_1 = N_V \times V_1 \times \left(1 - \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 2/21 \times 220 \times \left(1 - \frac{0.075}{2}\right) = 468 \text{ دور}$$

$$N_r = N_V \times V_r \times \left(1 + \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 2/21 \times 12 \times \left(1 + \frac{0.075}{2}\right) = 28 \text{ دور}$$

$$EI \text{ نوع} \leq 30 \sqrt{S} = 30 \sqrt{16/97} = 123/58$$

نوع ورق استاندارد نزدیک به  $EI = 123/58$ ، ورق ۱۲۰ EI می باشد. در این حالت، اندازه  $f = 40$  میلی متر به دست می آید از رابطه مقابل می توان نوشت:

$$S' = 1/1 \times S = 1/1 \times 1697 mm^2 = 1866/2 mm^2$$

$$\text{ضخامت هسته} = \frac{S'}{f} = \frac{1866/2}{40} = 46/66 mm$$

$$n = \frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت هر ورق}} = \frac{46/66}{0.5} \approx 94$$

## تعیین قطر سیم مربوط به سیم پیچ اولیه و ثانویه

قطر سیم در سیم پیچ‌های ترانسفورماتور باید به گونه‌ای انتخاب شود، که حداقل بتواند اهداف زیر را برآورده کند.

(الف) حداقل تلفات مسی را داشته باشد.

(ب) حداقل وزن را داشته باشد.

(ج) جریان مدار را به راحتی تحمل کند.

با توجه به ویژگی‌های فوق پس می‌توان نتیجه گرفت که قطر سیم متأثر از توان ترانسفورماتور و چگالی جریان می‌باشد.

محاسبه ترانسفورماتور و مقدار افت ولتاژ از لحظه ۵:۱۵ تا ۹:۱۰

فیلم



## چگالی جریان

چگالی جریان، بزرگی شدت جریانی است که هر میلی‌متر مربع از یک سیم، آن را تحمل می‌کند. واحد آن آمپر بر میلی‌متر مربع است و آن را با  $J$  نشان می‌دهند. در شکل مفهوم چگالی با شکل ۳۰ نشان داده شده است.

$$\text{سطح مقطع سیم} = A = \frac{I}{J} \quad \frac{\text{جریان سیم}}{\text{چگالی جریان}} \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = 1.13 \sqrt{A}$$

قطر سیم اولیه  $A_1 = \dots \Rightarrow d_1 = 1.13 \sqrt{A_1}$

قطر سیم ثانویه  $A_2 = \frac{I_2}{J} \Rightarrow d_2 = 1.13 \sqrt{A_2}$

شکل ۳۰- چگالی جریان و تعیین سطح مقطع سیم پیچ اولیه و ثانویه

چگالی جریان با افزایش توان ترانسفورماتورها کاهش می یابد. در جدول ۴ محدوده چگالی جریان ترانسفورماتورها را متناسب با توان های مختلف مشاهده می کنید. جدول ۴، مقدار چگالی جریان بر حسب محدوده قدرت ترانسفورماتور را نشان می دهد.

جدول ۴- چگالی جریان در ترانسفورماتور

قدرت VA	۰-۵۰	۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰۰-۴۰۰۰
چگالی جریان $\frac{A}{mm^2}$	۴	۳/۵	۳	۲/۵	۲	۱/۷۵	۱/۵	۱

### مثال ۵

یک ترانسفورماتور یک فاز با ولتاژ اولیه ۲۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه ۶ ولت و جریان ثانویه ۴ آمپر مورد نیاز است. چگالی هسته ۱۲۰۰۰ گوس و فرکانس شبکه برق ۵۰ هرتز است. محاسبات لازم برای ساخت این ترانسفورماتور را، از قبیل انتخاب ورق ها، تعداد دور سیم پیچ اولیه و ثانویه و قطر سیم پیچ اولیه و ثانویه انجام دهید.

حل:

$$V_1 = 220 \text{ V}, \quad V_2 = 6 \text{ V} \rightarrow P_2 = V_2 \times I_2 = 6 \times 4 = 24 \text{ V.A}$$

$$S = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{P_2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{24} = 5/9 \text{ Cm} \quad \text{سطح حقیقی آهن}$$

$$N_V = \frac{37/5}{S} = \frac{37/5}{5/9} = 6/36 \quad \text{دور بر ولت}$$

$$N_1 = V_1 \times N_V = 220 \times 6/36 = 1400 \quad \text{دور}$$

$$N_2 = V_2 \times N_V \times (1 + \Delta\%)$$

از جدول شکل ۶۸-۳ افت ولتاژ تقریباً ۱۴٪ می باشد.

$$N_2 = 6 \times 6/36 \times (1 + 0/014) = 37 \quad \text{دور}$$

$$A_1 = \frac{I_1}{J}, \quad I_1 = \frac{P_1}{V_1}, \quad P_1 = \frac{P_2}{\eta}$$

راندمان ( $\eta$ ) را به طور متوسط ۹۰٪ در نظر می گیرند.

$$P_1 = \frac{24}{0/9} = 26/6 \text{ VA} \rightarrow I_1 = \frac{26/6}{220} = 0/12 \quad A \rightarrow A_1 = \frac{I_1}{J}$$

از جدول ۴ چگالی جریان برابر  $J = 4 \text{ A/mm}^2$  است.

$$A_1 = \frac{I_1}{J} = \frac{0/12}{4} = 0/03 \text{ mm}^2 \rightarrow d_1 = \frac{1}{\sqrt{13}} \sqrt{A_1} = \frac{1}{\sqrt{13}} \sqrt{0/03} = 0/20 \text{ mm}$$

$$A_r = \frac{I_r}{J} = \frac{4}{4} = 1 \text{ mm}^2 \rightarrow d_r = 1/13 \sqrt{A_r} = 1/13 \sqrt{1} = 1/13 \text{ mm}$$

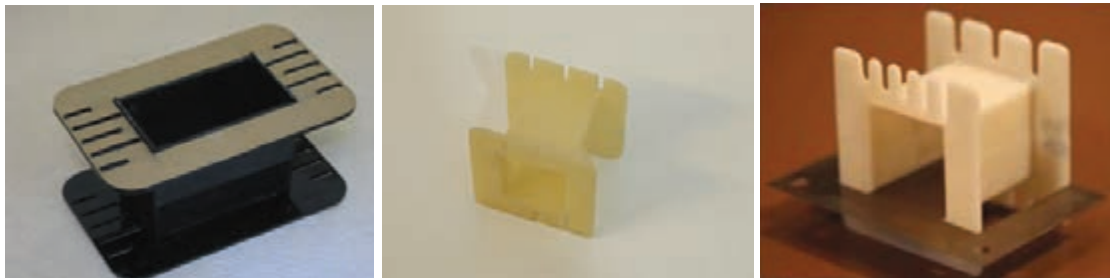
$$\text{نوع EI} \leq 30 \sqrt{S} \leq 30 \sqrt{5/9} = 73$$

نوع EI استاندارد از جدول شکل ۶۶-۳، EI۶۶ می باشد که در آن  $f = 22 \text{ mm}$  است و ضخامت هسته برابر است با:

$$\text{عدد EI} = \frac{26/81}{0/5} \approx 54 \rightarrow \text{تعداد ورق} = \frac{S}{f} = \frac{5/9 \times 10^2 \text{ mm}}{22 \text{ mm}} = 26/81 \text{ mm}$$

## طراحی قرقه ترانسفورماتور تک فاز

سیم پیچ‌های هر ترانسفورماتور، ابتدا روی یک قرقه پیچیده می‌شود. پس از آماده شدن سیم پیچی‌ها، ورق‌های هسته در درون قرقه‌ها قرار داده می‌شوند. قرقه‌ها متناسب با ابعاد هسته انتخاب می‌شوند. این قرقه‌ها در توان‌های پایین، از مواد ترموپلاست به صورت یک پارچه در قالب‌های استاندارد ساخته می‌شوند، یا از برش و مونتاژ کاغذهای برشمان درست می‌شوند. در توان‌های بالا و دمای کار زیاد قرقه‌ها را از فیبرهای استخوانی می‌سازند. فیبرهای استخوانی از استحکام مکانیکی بالا برخوردارند و دماهای زیادی را تحمل می‌کنند (شکل ۳۱).



شکل ۳۱- قرقه‌های ترموپلاست و فیبر استخوانی

در انتخاب ورق‌های هسته و قرقه ترانسفورماتورها دو عامل تعیین کننده باید در نظر گرفته شود.

۱- سطح کافی برای سیم پیچ اولیه و ثانویه

۲- حداکثر بهره‌برداری از فضای قرقه

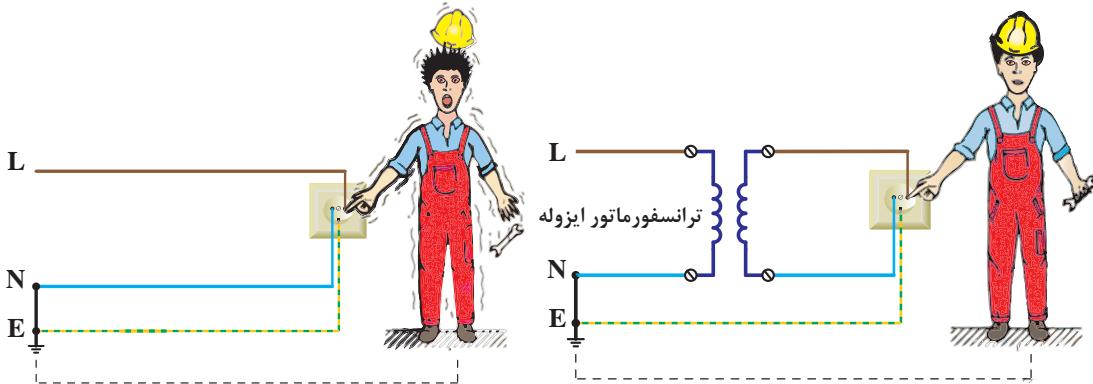
در انتخاب ورق هسته، ورقی را باید انتخاب نمود که سطح پنجره آن، سطح مورد نیاز سیم پیچ اولیه و ثانویه را کفایت کند، با مراجعه به جدول راهنمای هنرجو در تعیین قرقه کفایت سطح پنجره‌های آن اقدام کنید.

ترانسفورماتور با ولتاژ ورودی و خروجی برابر برای ایزوله و جداسازی دو بخش یک مدار الکتریکی کاربرد دارد.

فعالیت



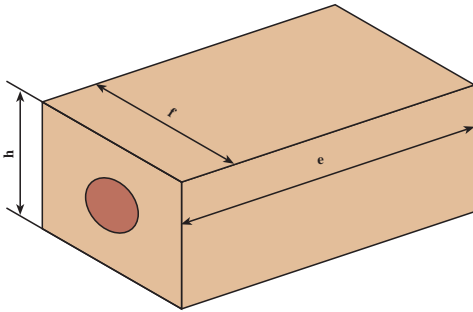
نقش ترانسفورماتور حفاظتی در شکل ۳۲ چیست؟



شکل ۳۲- ترانسفورماتور ایزوله

### تهیه مغزی قرقره

یک قطعه چوب به شکل مکعب مستطیل براساس ابعاد نشان داده شده در شکل ۳۳ تهیه کنید. چرا که در زمان سیم‌پیچی لازم است تا این قطعه چوب در داخل قرار گرفته و سپس روی بوبین پیچ بسته شود.



شکل ۳۳- ابعاد مغزی قرقره

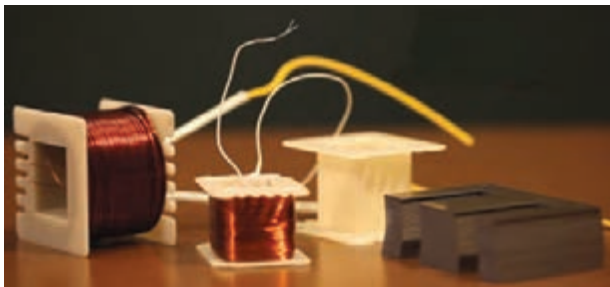
هدف: ساخت ترانسفورماتور تک فاز با یک ورودی و یک خروجی

کار عملی ۲



### وسایل و مواد لازم

- قرقره ترانسفورماتور از نوع EI۴۸ یک عدد
- ورق EI۶۶ به ضخامت ۰/۵ mm به تعداد ۶۰ عدد
- سیم لاکه ۰/۲۰ mm و ۰/۸۰ mm
- دستگاه بوبین پیچ
- سیم چین
- دم باریک
- سیم افشان ۱/۵ و ۱



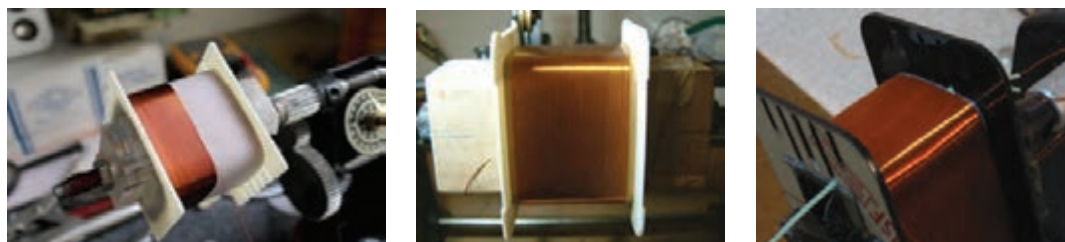
شکل ۳۴- تجهیزات سیم‌پیچی ترانسفورماتور

- وارنیش نمره ۲،۲/۵، ۱
- هویه و دریل
- لحیم و ژاک (جای فیش) چهار عدد
- کاغذ پرشمان ۰/۲۰ و ۰/۱۵
- چسب نواری
- کاغذ سنباده

۱- با توجه به مشخصات الکتریکی داده شده و بهره گرفتن از ورق هسته مرغوب با چگالی بالا و فرکانس کاری ۵۰ هرتز تعداد دورسیم پیچ ها، قطر سیم های اولیه و ثانویه، ابعاد و نوع ورق EI را با احتساب افت ولتاژ مناسب در سمت اولیه و ثانویه به دست آورده و سپس به کمک مربی خود اقدام به پیچیدن آن نمایید.

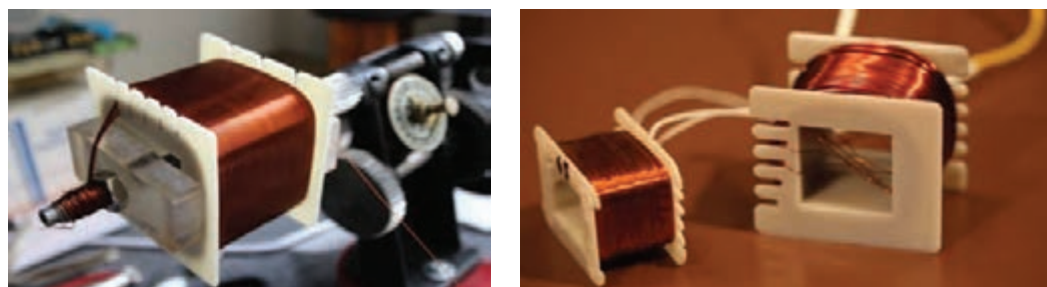
$$V_1 = 220V, \quad V_2 = 12V, \quad I_2 = 3A$$

۲- برای پیچیدن سیم روی قرقره لازم است تا ابتدا مغزی چوبی ساخته شده را به داخل قرقره هدایت کنید و سپس مجموعه را روی بوبین پیچ سوار کرده و اقدام به سیم پیچی کنید.



شکل ۳۵- مغزی قرقره

۳- سیم پیچ اولیه را مرتب روی قرقره بپیچید و پس از هدایت سرسیم ها به ژاک (جای فیش) مربوطه روی آن را با کاغذ پرشمان ۰/۱۵ یا ۰/۱ پوشانید و با چسب کاغذی محکم کنید سپس سیم ثانویه را به تعداد دور لازم بپیچید و پس از هدایت سرسیم های ثانویه به ژاک (جای فیش) مربوطه، روی سیم ها را با کاغذ پرشمان ۰/۲۰ پوشانده با چسب محکم کنید.

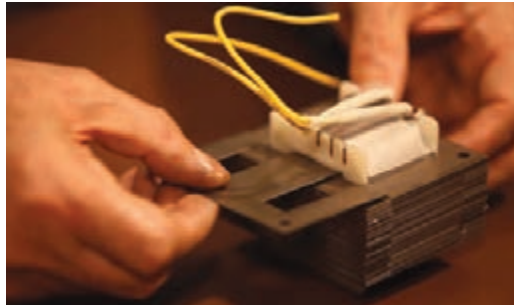
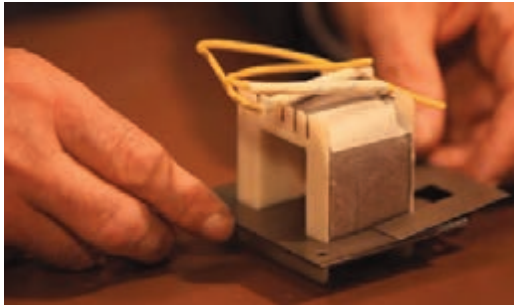


شکل ۳۶- سیم پیچی ترانسفورماتور



## بودمان سوم: سیم‌پیچی ترانسفورماتور

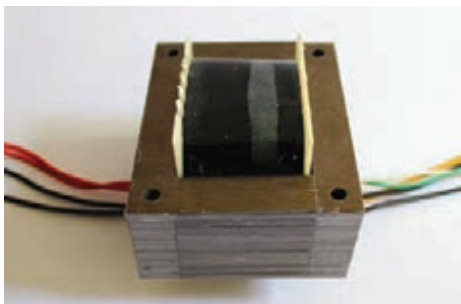
با راهنمایی مربی کارگاه ورق‌های EI را مطابق شکل ۳۷ به صورت یک در میان در داخل قرقه قرار دهید و در خاتمه پیچ ورق‌ها را محکم کنید. در نهایت ترانسفورماتور برای آزمایش بی باری و اتصال کوتاه آماده است (شکل ۳۸).



شکل ۳۷- جا زدن هسته

اگر سیم‌پیچی اولیه و ثانویه نامرتب باشد هنگام جا زدن هسته چه مشکلی پیش می‌آید؟

فعالیت



شکل ۳۸- ترانسفورماتور آماده شده

۵- پس از سیم‌پیچی با نظارت مربی خود اولاً: ولتاژ اولیه و ثانویه را به ازای یک بار مناسب اندازه‌گیری کنید.  
۶- آزمایش بی باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور ساخته شده را انجام داده و تعیین مقدار تلفات هسته و سیم‌پیچی راندمان ترانسفورماتور را نیز محاسبه کنید.

هنگام جا زدن هسته ترانسفورماتور مراقب نوک تیز گوشه هسته باشید.

ایمنی



بسیاری از مواقع هنگام سیم‌پیچی اولیه ترانسفورماتور در اثر عجله، یا بی‌دقتی سر سیم اولیه قطع می‌شود. پیدا کردن مجدد سرسیم و اتصال مجدد آن وقت‌گیر است برای جلوگیری از این اتفاق سرسیم اولیه را با سیم افشان اتصال دهید و از شیار قرقه بیرون بیاورید.

تذکر



مراحل عملی سیم‌پیچی ترانسفورماتور از لحظه ۱۱:۴۰ تا ۲۰

فیلم



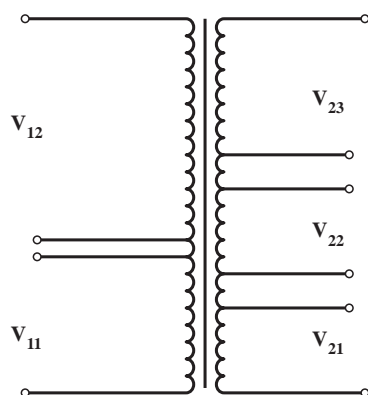
## ترانسفورماتورهای با چند ورودی و خروجی

سیم پیچ اولیه ترانسفورماتورها ممکن است در شبکه‌های مختلف به ولتاژهای مختلف متصل شود. مثلاً در ولتاژهای  $V_{380}$ ،  $V_{220}$ ،  $V_{110}$  به کار گرفته می‌شود. همچنین ممکن است ولتاژهای مختلف  $V_{115}$ ،  $V_{137}$ ،  $V_{157}$ ،  $V_{177}$ ،  $V_{197}$ ،  $V_{247}$ ،  $V_{487}$  و  $V_{110}$  از خروجی ترانسفورماتورها دریافت شود. سیم پیچ‌های ثانویه ممکن است مستقل از هم یا مشترک باشند. (شکل ۳۹ و ۴۰)

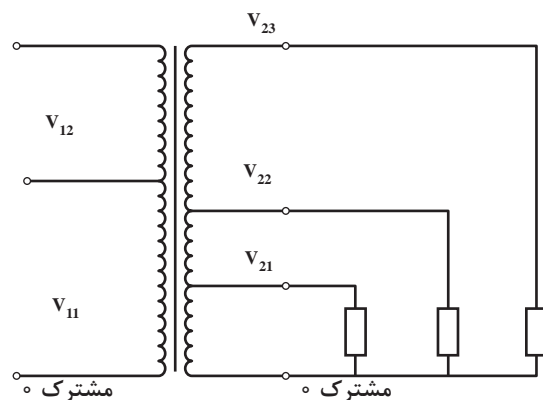
فیلم



ترانسفورماتورهای چند سر از لحظه ۲۴ تا ۲۶:۴۰



شکل ۳۹- ترانسفورماتور با سیم پیچ‌های مجزا در اولیه و ثانویه



شکل ۴۰- ترانسفورماتور با سیم پیچ‌های مشترک در اولیه و ثانویه

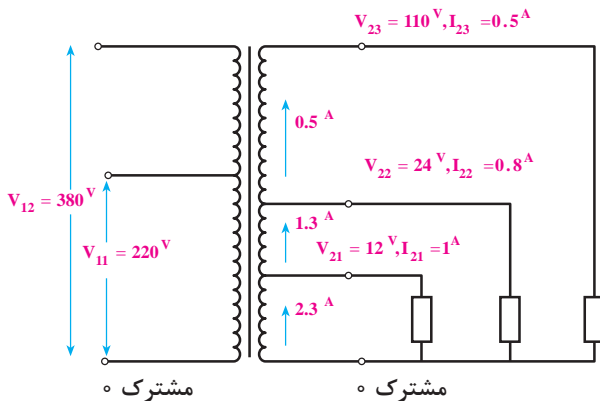
معمولاً از روش سیم پیچ‌های مشترک در ترانسفورماتورهای با ولتاژهای پایین کمتر استفاده می‌شود. همچنین ممکن است در یک ترانسفورماتور از سیم پیچ‌های ثانویه به صورت هم‌زمان و یا غیر هم‌زمان استفاده شود که این مسئله در محاسبات عملی ترانسفورماتور مؤثر است. به کارگیری روش سیم پیچی مستقل باعث افزایش حجم ترانسفورماتور می‌شود و بنابراین صرفه اقتصادی نیست (شکل ۳۹).

می‌توان تعداد دور سیم پیچ اولیه را برای بالاترین ولتاژ در اولیه و تعداد دور سیم پیچ ثانویه را نیز برای بیشترین ولتاژ ثانویه پیچیده و برای ولتاژهای دیگر، در دورهای معین سرسیم پیچ‌ها را خارج کرد (شکل ۳۶).

قطر سیم پیچ را نیز می‌توان بر مبنای بیشترین جریانی که از سیم پیچ عبور می‌کند، انتخاب کرد و برای همه سیم پیچ‌های ثانویه یا اولیه یکی باشد اما چون جریان هر قسمت از سیم پیچ‌ها با قسمت‌های دیگر تفاوت دارد، بهتر است برای هر قسمت سیمی با قطر متفاوت پیچیده شود؛ مگر اینکه جریان‌ها بسیار نزدیک به هم باشند.

برای محاسبه قدرت ترانسفورماتورهایی که دارای

چندین ولتاژ در ثانویه هستند، در صورتی که از همه خروجی‌ها به طور هم‌زمان استفاده می‌شود، می‌توان از جمع همه قدرت‌های خروجی، قدرت ثانویه و از روی آن قدرت اولیه را به دست آورد. اما اگر از همه ولتاژهای ثانویه به طور هم‌زمان استفاده نشود، باید با بررسی حالت‌های ممکن بیشترین توان خروجی را انتخاب کرد و محاسبات را بر مبنای آن انجام داد.



شکل ۴۱- ترانسفورماتور چندسر

**مثال ۶:** شکل ۴۱ را در نظر بگیرید اگر از مصرف کننده ۱۲ ولتی، جریان یک آمپر و از مصرف کننده ۲۴ ولتی، جریان ۰/۸ آمپر و از مصرف کننده ۱۱ ولتی، جریان ۰/۵ آمپر عبور کند و تمام مصرف کننده ها نیز همزمان به ترانسفورماتور وصل شوند، توان کل خروجی برابر است با:

$$P_r = V_{r1} \times I_{r1} + V_{r2} \times I_{r2} + V_{r3} \times I_{r3}$$

$$P_r = 12 \times 1 + 24 \times 0.8 + 110 \times 0.5 = 86.2 \text{ W}$$

قدرت سیم ها نیز برای قسمت اول (از صفر تا ۱۲ ولت) بر مبنای جریان  $(1 + 0.8 + 0.5) = 2.3$  آمپر و برای قسمت دوم (از ۱۲ تا ۲۴ ولت) برای جریان  $(0.8 + 0.5) = 1.3$  آمپر و برای قسمت سوم (از ۲۴ تا ۱۱۰ ولت) بر مبنای جریان ۰/۵ آمپر حساب می شود.

پیچیده شده و پس از بیرون آوردن یک سر خروجی، مجدداً برای دومین ولتاژ یعنی  $U_{12}$  سیم با قطر  $d_{12}$  و به اندازه  $N_{12}(N_{11})$  دور پیچیده شود تا در هنگام وصل شدن به ولتاژ بیشتر، هر دو سیم پیچ  $(N_{11})$  و  $N_{12}(N_{11})$  با یکدیگر سری شوند و مجموع حلقه های آنها برابر با  $N_{12}$  شود. بدون ترتیب در مرحله قطر سیم نیز کمتر می شود. برای سیم پیچ ثانویه، ابتدا ولتاژها را از کم به زیاد مرتب کرده و برای ولتاژ  $U_{21}$  تعداد دور  $N_{21}$  و برای ولتاژ  $U_{22}$  و  $U_{23}$  ... تعداد دورهای  $N_{22}$  و  $N_{23}$  ... را محاسبه می کنیم و سپس، مانند طرف اولیه عمل می نماییم.

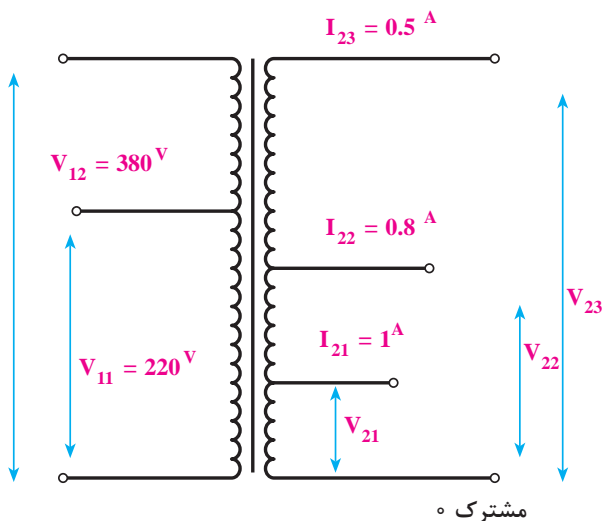
در عمل باید دقت کنیم که سیم پیچ های ثانویه همه در یک جهت پیچیده شوند تا ولتاژ آنها با یکدیگر جمع شوند.

برای توضیح بیشتر به بررسی و حل کامل مثال ذکر شده می پردازیم. سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور مورد نظر باید به ولتاژ ۲۲۰ ولت با ۳۸۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز اتصال یابد و ثانویه آن نیز دارای سه خروجی ۱۲ ولت با جریان یک آمپر، ۲۴ ولت با جریان ۰/۸ آمپر و ۱۱۰ ولت با جریان ۰/۵ آمپر باشد. فرض می کنیم که از هر سه خروجی به طور

در این مثال، اگر فرض کنیم که از سه خروجی، تنها دو خروجی بتوانند به طور همزمان کار کنند، باید قدرت های خروجی را دو به دو با یکدیگر جمع کنیم و مقدار بزرگ تر را برای قدرت خروجی ترانسفورماتور منظور، در نظر بگیریم. بنابراین برای این ترانسفورماتور قدرت ثانویه  $P_r = 74.278$  به دست می آید. قطر سیم نیز با بررسی جریان ها در شرایط مختلف پیدا می شود. به طوری که از قسمت اول سیم پیچ، حداکثر ۱/۸ آمپر و از قسمت دوم آن حداکثر جریان ۱/۳ آمپر و از قسمت سوم نیز جریان ۰/۵ آمپر عبور می کند. با توجه به چگالی جریان، می توان قطر سیم ها را مشخص کرد.

سطح مقطع آهن خالص و دور بر ولت را می توان پس از محاسبه قدرت ترانسفورماتور از طریق روابط قبلی به دست آورد.

تعداد دورهای اولیه و ثانویه به همان روش قبلی محاسبه می شود. لیکن در هنگام به دست آوردن درصد افت ولتاژ باید برای قسمت خروجی، قدرت همان قسمت را در جدول قرار دهیم و افت ولتاژ را پیدا کنیم. در هنگام سیم پیچی، ابتدا سیم با قطر  $d_{11}$  برای ولتاژ کمتر (یعنی  $U_{11}$ ) و به اندازه  $N_{11}$  دور



شکل ۴۲- مقادیر ترانسفورماتور چندسر

همزمان استفاده شود.

حل این مثال را در ۹ مرحله توضیح می دهیم.

**راه حل**

**مرحله اول :** در این مرحله، معلومات مورد نیاز را مرتب کرده و شکل آن را رسم می کنیم (شکل ۴۲).

$$V_{11} = 220V \quad , \quad V_{12} = 380V$$

$$V_{21} = 12V \quad , \quad I_{21} = 1A$$

$$V_{22} = 24V \quad , \quad I_{22} = 0.8A$$

$$V_{23} = 110V \quad , \quad I_{23} = 0.5A$$

**مرحله دوم :** قدرت اولیه ترانسفورماتور را با توجه به اینکه خروجی ها به طور همزمان مورد استفاده قرار می گیرند، محاسبه می کنیم.

$$P_r = V_{21} \times I_{21} + V_{22} \times I_{22} + V_{23} \times I_{23}$$

$$P_r = 12 \times 1 + 24 \times 0.8 + 110 \times 0.5 = 86.2VA$$

همان طور که قبلاً گفتیم، ضریب بهره برای یک ترانسفورماتور با قدرت از ۲۰ ولت آمپر تا ۱۲۵ ولت آمپر حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد است. پس می توانیم برای این ترانسفورماتور ضریب بهره ۸۹ درصد انتخاب کنیم.

$$P_1 = \frac{P_r}{\eta}$$

هرگاه  $P_{S1} = P_1$  و  $P_{S2} = P_1$  در نظر گرفته شود، می توان نوشت :

$$P_{S1} = \frac{P_{S2}}{\eta}$$

$$P_{S2} = \frac{86.2}{0.89} = \frac{96}{0.85} = 97 \text{ ولت آمپر}$$

**مرحله سوم :** سطح مقطع واقعی هسته را با توجه به قدرت  $P_{S1}$  به دست می آوریم.

$$S_{Fe} = 1/2 \sqrt{P_{S1}} = 1/2 \sqrt{97} = 11.8 \text{ cm}^2$$

سطح مقطع ظاهری هسته برابر است با :

$$S'_{F_e} = \frac{S_{F_e}}{K_{F_e}} = \frac{11/8}{0.9} = 13/11 \text{ cm}^2$$

مرحله چهارم : دور بر ولت برای این ترانسفورماتور برابر است با :

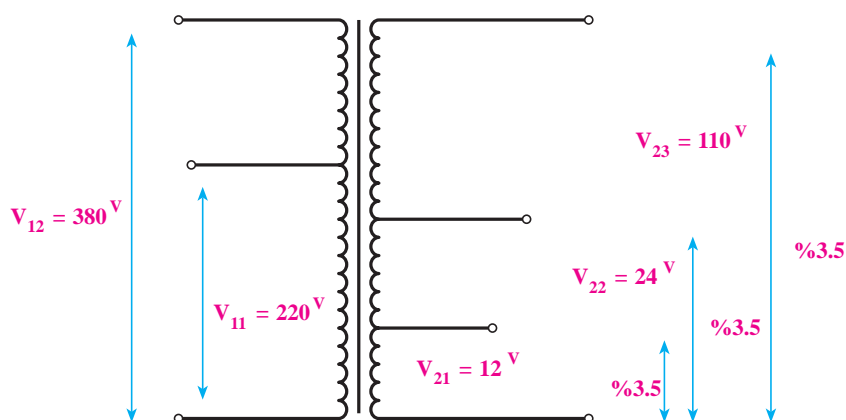
$$N_V = \frac{37/54}{S} = \frac{37/54}{11/8} = 3/18 \frac{\text{دور}}{\text{ولت}}$$

**مرحله پنجم :** برای تعیین دوره‌های اولیه، باید ابتدا درصد افت ولتاژ را به دست آوریم. در جدول ۲ درصد افت ولتاژ برای قدرت ۷۵ ولت آمپر ۱۰ درصد و برای قدرت ۱۰۰ ولت آمپر ۹ درصد است؛ یعنی با افزایش ۲۵ ولت آمپر به قدرت ترانسفورماتور یک درصد از افت ولتاژ کاسته شده است. قدرت خروجی ترانسفورماتور مورد نظر ۸۶ ولت آمپر است، یعنی، از ۷۵ ولت آمپر ۱۱ = (۸۶ - ۷۵) ولت آمپر بیشتر است. با یک تناسب ساده، می توان مقدار کاهش افت ولتاژ را از ۱ درصد به دست آورد که برابر با  $\frac{11 \times 1}{25} = 0.44\%$  می شود. بنابراین، افت ولتاژ برای این ترانسفورماتور برابر با  $9/56 = (10 - 0.44)\%$  درصد می شود. از این مقدار با توجه به نسبت تقریبی مقاومت سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه، حدود ۶ درصد برای اولیه و ۳/۵ درصد برای ثانویه منظور می کنیم. بنابراین، تعداد دور اولیه برای هر ولتاژ جداگانه برابر است با :

$$N_{11} = n \times V_{11} (1 - \% \Delta V_1) = 3/18 \times 220 (1 - 0.06) = 658 \text{ دور}$$

$$N_{12} = n \times V_{12} (1 - \% \Delta V_1) = 3/18 \times 380 (1 - 0.06) = 1135/9 \cong 1136 \text{ دور}$$

سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور دارای دو سیم پیچ سری است که قسمت اول ۶۵۸ دور و قسمت دوم ۴۷۸ = (۱۱۳۶ - ۶۵۸) دور می باشد.



شکل ۴۳- درصد افت ولتاژ در ترانسفورماتور

**مرحله ششم:** چون از هر سه خروجی ترانسفورماتور به طور هم زمان استفاده می شود، درصد افت ولتاژ برای هر سه ولتاژ از سیم مشترک تا هر یک از خروجی های ۱۲ و ۲۴ و ۱۱۰ ولت، ۳/۵ درصد برآورد می شود که در شکل ۳۹ مشخص شده است بنابراین، تعداد دور ثانیه برای هر ولتاژ جداگانه برابر است با:

$$N_{11} = n \times V_{11} (1 - \% \Delta V_1) = 3/18 \times 12 \times (1 + \frac{3/5}{100}) = 38$$

$$N_{22} = n \times V_{22} (1 - \% \Delta V_2)$$

$$N_{22} = 3/18 \times 24 \times (1 + \frac{3/5}{100}) \cong 77 \text{ دور}$$

$$N_{33} = n \times V_{33} (1 - \% \Delta V_3) = 3/18 \times 110 \times (1 + \frac{3/5}{100}) = 362 \text{ دور}$$

بدین ترتیب، برای ۱۲ ولت باید ۳۸ دور و برای ۲۴ ولت ۳۹ دور و برای ۱۱۰ ولت = (۷۷-۳۸) دور و برای ۱۱۰ ولت = (۳۶۲-۷۷) دور ۲۸۵ دور سیم به صورت سری پیچیده شود.

**مرحله هفتم:** ابتدا قطر سیم را برای سیم های اولیه حساب می کنیم. اگر اولیه را به ۲۲۰ ولت وصل کنیم، جریان آن برابر است با:

$$I_{11} = \frac{P_1}{V_{11}} = \frac{97}{220} = 0/44 \text{ A}$$

و اگر آن را به ۳۸۰ ولت وصل کنیم، جریان آن برابر خواهد شد با:

$$I_{12} = \frac{P_1}{V_{12}} = \frac{97}{380} = 0/25 \text{ A}$$

چگالی جریان برای قدرت ۵۰ تا ۱۰۰ ولت آمپر برابر با  $I = 3/5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$  است. لذا قطر سیم قسمت اول برابر می شود با:

$$d_{11} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{11}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{0/44}{3/5}} = 0/40 \text{ mm}$$

$$d_{12} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{12}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{0/25}{3/5}} = 0/30 \text{ mm}$$

بنابراین، با توجه به تعداد دورهای اولیه باید ۶۵۸ دور از سیم ۰/۴۰ و به دنبال آن ۴۷۸ دور سیم ۰/۳۰ پیچیده شود.

**مرحله هشتم:** چگالی جریان برای ثانویه نیز برابر با  $\frac{A}{\text{mm}^2}$   $\frac{3}{5}$  است؛ بنابراین، قطر سیم برای قسمت اول سیم پیچ که هر سه جریان از آن عبور می کند، برابر است با:

$$d_{r1} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{r1} + I_{r2} + I_{r3}}{J}}$$

$$d_{r1} = 1/13 \sqrt{\frac{1 + 0/8 + 0/5}{3/5}} = 0/91 \text{ mm}$$

در اینجا نیز با تقریب سیم  $0/90$  را انتخاب می کنیم. از قسمت دوم سیم پیچ ثانویه مجموع جریان  $I_{r2}$  و  $I_{r3}$  عبور می کند. بنابراین قطر آن برابر است با:

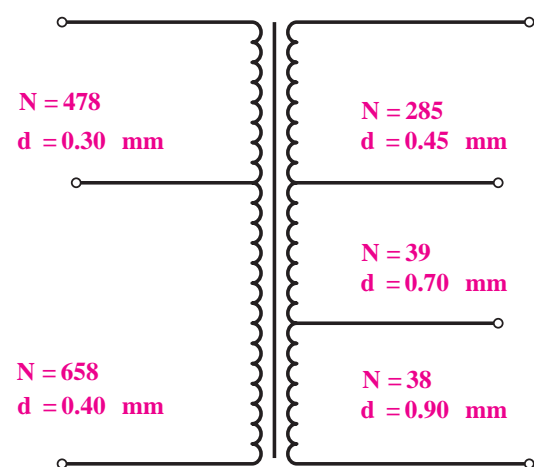
$$d_{r2} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{r2} + I_{r3}}{J}}$$

$$d_{r2} = 1/13 \sqrt{\frac{0/8 + 0/5}{3/5}} = 0/68 \text{ mm}$$

برای این قسمت نیز با توجه به جدول اندازه های قطر سیم استاندارد  $0/70$  را انتخاب می کنیم. از قسمت سوم سیم پیچ ثانویه، فقط جریان  $I_{r3}$  عبور می کند. بنابراین قطر آن برابر است با:

$$d_{r3} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{r3}}{J}}$$

$$d_{r3} = 1/13 \sqrt{\frac{0/5}{3/5}} = 0/43 \text{ mm}$$



شکل ۴۴- ترانسفورماتور با چند سر ورودی و

چند سر خروجی

این مقدار از جدول  $0/45$  mm به دست می آید.  
**مرحله نهم:** در این مرحله، بهتر است برای کاهش خطا در محاسبه، نتایج به دست آمده را برای پیچیدن ترانسفورماتور بر روی شکل بنویسیم و با توجه به آن، نوع ورق ترانسفورماتور را انتخاب کنیم.  
 نتایج محاسبات لازم برای سیم پیچی هر قسمت از ترانسفورماتور مورد نظر، در شکل ۴۴ نشان داده شده است.

پس از مشخص کردن کامل تعداد دور سیم ها و قطر آن، باید سطح پنجره لازم برای آنها را به دست آورد و ورق ترانسفورماتور استاندارد را انتخاب کرد. سطح

مورد نیاز برای هر سیم پیچ به قرار زیر است.

$$d_{11} = 0/40 \xrightarrow{\text{از جدول}} 450 \frac{\text{دور}}{\text{cm}^2} \Rightarrow F_{11} = \frac{658}{450} = 1/46 \text{cm}^2$$

$$d_{12} = 0/30 \xrightarrow{\text{از جدول}} 770 \frac{\text{دور}}{\text{cm}^2} \Rightarrow F_{12} = \frac{478}{770} = 0/62 \text{cm}^2$$

به همین ترتیب  $F_{21}$  و  $F_{22}$  و  $F_{23}$  به دست می آید و در نتیجه سطح کل مورد نیاز برابر است با

$$F_T = 1/35 \times F$$

$$F = F_{11} + F_{12} + F_{21} + F_{22} + F_{23}$$

$$F = 1/46 + 0/62 + 0/38 + 0/24 + 0/77 = 3/47 \text{cm}^2$$

$$F_T = 1/35 \times 3/47 = 4/68 \text{cm}^2$$

با مراجعه به جدول ابعاد هسته ورق (EIV8) که پنجره آن دارای ابعاد  $e = 3/9$  و  $g = 1/3$  سانتی متر است، به دست می آید.

$$g \times e \geq 4/68$$

$$3/9 \times 1/3 = 5/07 > 4/68 \text{cm}^2$$

پس از پیدا کردن نوع ورق، باید قرقره را مطابق روش های گذشته طراحی کرد.

### مثال ۶:

ترانسفورماتور تک فاز با ولتاژهای اولیه  $380V$  و  $220V$  و ولتاژهای ثانویه  $12V$  و  $5A$  و  $6$  ولت  $1A$  که سیم پیچ های آن مستقل از هم بوده و هم زمان مورد استفاده قرار می گیرد، مورد نیاز است. هسته این ترانسفورماتور از ورق های آب دیده با چگالی  $10000$  گوس و ضخامت ورق ها  $0/5$  میلی متر ساخته می شود. فرکانس شبکه  $50$  هرتز است. تمام مراحل طرح این ترانسفورماتور را انجام دهید.

حل:

$$P_{21} = 12 \times 5 = 60 \text{V.A} \quad , \quad P_{22} = 6 \times 1 = 6 \text{V.A}$$

$$P_T = 60 + 6 = 66 \text{ کار هم زمان سیم های ثانویه}$$

$$S = 1/2 \sqrt{66} = 9/75 \text{cm}^2$$



یودمان سوم: سیم پیچی ترانسفورماتور

$$N_V = \frac{45}{S} = \frac{45}{9/75} = 4/62$$

$$N_{11} = 220 \times 4/62 = 10.16 \text{ دور} \rightarrow N_{12} = N_{11} + (380 - 220) \times 4/62 = 10.16 + 739/2 = 1755 \text{ دور}$$

$$P = 5 \rightarrow \Delta V = 0/2$$

$$P = 10 \rightarrow \Delta V = 0/17$$

چون  $P = 6V.A$  در جدول نیست از تناسب افت ولتاژ آن را به دست می آوریم:

$$10 - 5 = 5 \rightarrow 0/2 - 0/17 = 0/03$$

$$6 - 5 = 1 \rightarrow \frac{5}{1} = \frac{0/3}{x} \rightarrow X = \frac{1 \times 0/03}{5} = 0/006 \rightarrow \Delta V = 0/2 - 0/006 = 0/194$$

$$P = 10 \rightarrow \Delta V = 0/12$$

$$P = 25 \rightarrow \Delta V = 0/10$$

$$75 - 50 = 25 \rightarrow \Delta V = 0/12 - 0/10 = 0/02$$

$$66 - 50 = 16 \rightarrow \Delta V = X \rightarrow \frac{25}{16} = \frac{0/02}{X} \rightarrow X = \frac{16 \times 0/02}{25} = 0/0128$$

$$\Delta V = 0/12 - 0/0128 = 0/1072$$

$$N_{r1} = 6 \times 4/62 \times (1 + 0/194) = 33 \text{ دور}$$

$$N_{r2} = 12 \times 4/62 \times (1 + 0/1072) = 62 \text{ دور}$$

$$P_r = 66V.A \rightarrow P_1 = \frac{P_r}{\eta} = \frac{66}{0/9} = 73V.A \rightarrow I_1 = \frac{73}{220} = 0/33A \text{ حداکثر جریان}$$

$$J = 3/5 \frac{A}{mm^2} \rightarrow A_{11} = \frac{0/33}{3/5} = 0/09mm^2 \rightarrow d_{11} = 1/13 \sqrt{0/09} = 0/34mm$$

$$EI84 \text{ فضای موجود در} = \frac{51/1 - 32/6}{2} \times 41 = 3/79$$

بنابراین  $EI84$  برای ترانسفورماتور فوق مناسب نمی باشد و فرقه مناسب  $EI96a$  می باشد که دارای ابعاد زیر است.

$$a = 62/4mm \quad b = 32/6mm \quad h = 37/5mm \quad L = 50mm$$

$$A_F = \frac{62/4 - 32/6}{2} \times 50 = 745mm^2 = 7/45cm^2 > 6/25 \text{ کفایت سطح را دارد}$$



**هدف:** ساخت ترانسفورماتور تک فاز دارای چند خروجی با سیم پیچ مشترک

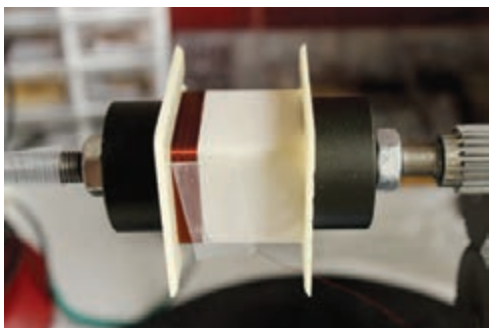
### وسایل و مواد لازم

- قرقره ترانسفورماتور از نوع EI۴۸ یک عدد
- ورق EI۶۶ به ضخامت ۰/۵ mm به تعداد ۶۰ عدد
- سیم لاکه ۰/۲۰ mm و ۰/۸۰ mm
- دستگاه بوبین پیچ
- سیم چین
- دم باریک
- سیم افشان ۱/۵ و ۱
- وارنیش نمره ۱،۲،۲/۵
- هویه و دریل
- لحیم و ژاک ( جای فیش ) چهار عدد
- کاغذ پرشمان ۰/۲۰ و ۰/۱۵
- چسب نواری
- کاغذ سنباده

۱- با توجه به مشخصات الکتریکی داده شده و بهره گرفتن از ورق هسته مرغوب با چگالی بالا و فرکانس کاری ۵۰ هرتز تعداد دور سیم پیچ ها، قطر سیم های اولیه و ثانویه، ابعاد و نوع ورق EI را با احتساب افت ولتاژ مناسب در سمت اولیه و ثانویه به دست آورده و سپس به کمک مربی خود اقدام به پیچیدن آن نمایید.

$$V_{11} = 220V, \quad V_{12} = 110V, \quad V_{21} = 6V, \quad V_{22} = 9V, \quad V_{23} = 12V$$

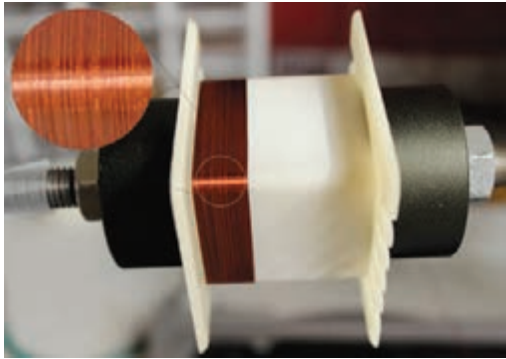
$$I_{21} = 5A, \quad I_{22} = 4A, \quad I_{23} = 3A, \quad f = 50Hz, \quad B = 12000Gs$$



شکل ۴۵- سیم پیچی اولیه

۲- برای پیچیدن سیم روی قرقره لازم است تا ابتدا مغزی چوبی ساخته شده را به داخل قرقره هدایت کنید و سپس مجموعه را روی بوبین پیچ سوار کرده و اقدام به سیم پیچی کنید.

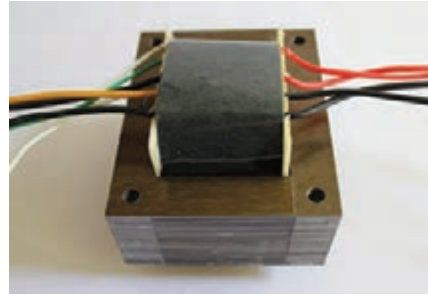
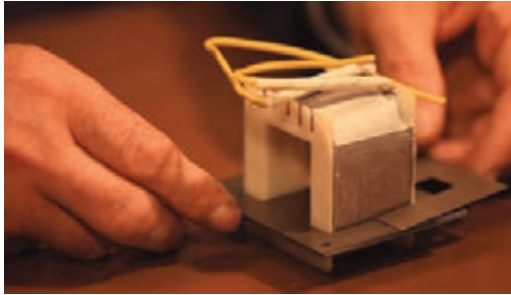
۳- سیم پیچ اولیه را مرتب روی قرقره ببیچید و پس از هدایت سرسیم ها به ژاک مربوطه روی آن را با کاغذ پرشمان ۰/۱۵ یا ۰/۱۵ بیوشانید و با چسب کاغذی محکم کنید سپس سیم ثانویه را با تعداد



شکل ۴۶- سیم پیچی منظم

دور لازم بپیچید و پس از هدایت سرهای سیم ثانویه ژاک مربوطه، روی سیم‌ها را با کاغذ پرشمان  $0/20$  پوشانده با چسب محکم کنید.  
۴- با راهنمایی مربی کارگاه ورق های EI را مطابق شکل ۴۷ به صورت یک در میان در داخل قرقره قرار دهید و درخاتمه پیچ ورق‌ها را محکم کنید.

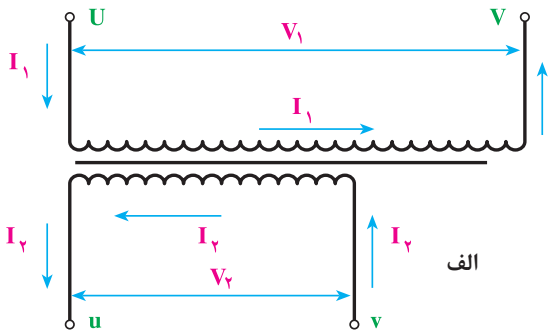
۵- پس از سیم‌پیچی با نظارت مربی خود اولاً: ولتاژ اولیه و ثانویه را به‌ازای یک بار مناسب اندازه‌گیری کنید.



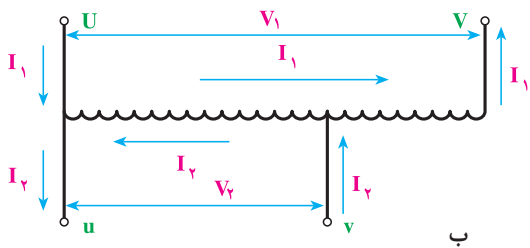
شکل ۴۷- هسته چینی

۶- آزمایش بی باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور ساخته شده را انجام داده و تعیین مقدار تلفات هسته و سیم‌پیچی راندمان ترانسفورماتور را نیز محاسبه کنید.

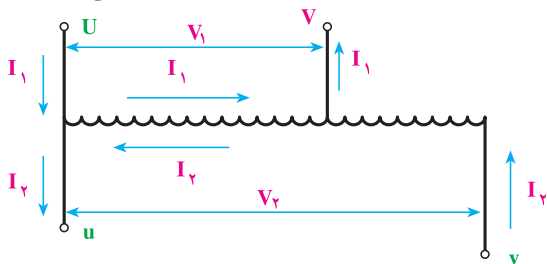
## اتوترانسفورماتور



در مواردی که از ترانسفورماتور به‌عنوان وسیله‌ای حفاظتی (ترانسفورماتور جداکننده و ترانسفورماتور ولتاژ کم) استفاده نمی‌شود یا اصولاً الزامی برای جدا بودن سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه آن وجود ندارد، مانند ترانسفورماتورهای راه‌اندازی موتورهای آسنکرون می‌توان از اتوترانسفورماتور استفاده کرد. به‌علت صرفه‌جویی در حجم آهن هسته و همچنین مقدار سیم مصرفی، به این ترانسفورماتورها، ترانسفورماتور صرفه‌ای نیز گفته می‌شود.  
تفاوت ترانسفورماتورهای معمولی با اتوترانسفورماتور



شکل ۴۸- ترانسفورماتور معمولی



شکل ۴۹- اتو ترانسفورماتور و ترانسفورماتور

در این است که ترانسفورماتورهای معمولی دو سیم پیچ اولیه و ثانویه مجزا از یکدیگر دارند اما در اتوترانسفورماتور سیم پیچ مربوط به ولتاژ کمتر حذف شده است و به جای آن از قسمتی از سیم پیچ مربوط به ولتاژ بیشتر استفاده می شود.

در شکل ۴۸ (الف) یک ترانسفورماتور با دو سیم پیچ جداگانه و در شکل ۴۸ (ب) همان ترانسفورماتور با سیم پیچ های مشترک نشان داده شده است. در این شکل، ولتاژ اولیه از ولتاژ خروجی بیشتر است. در شکل ۴۹ (پ) اتوترانسفورماتوری دیده می شود که ولتاژ ثانویه آن از ولتاژ اولیه اش بیشتر است. در ترانسفورماتورهای صرفه ای، دو سیم پیچ از نظر الکتریکی با یکدیگر در ارتباط هستند و لذا نمی توان

از آنها به عنوان ترانسفورماتور حفاظت حتی در ولتاژهای کم استفاده کرد.

قدرتی که هسته آهن ترانسفورماتورهای صرفه ای بر مبنای آن حساب می شود با قدرت خروجی یا ورودی تفاوت دارد و از آنها کمتر است. محاسباتی که در اینجا بیان می شود تنها برای به دست آوردن قدرتی است که برای محاسبه هسته باید از آن استفاده کرد. به این قدرت در اصطلاح «قدرت تیپ» ترانسفورماتور می گویند و آن را با  $P_T$  یا  $P_{ST}$  نشان می دهند. قدرت خروجی ترانسفورماتور صرفه ای برابر است با  $P_2 = V_2 \times I_2$  که آن را می توان با قدرت ورودی تقریباً برابر گرفت.

همان طور که در شکل ۴۸ (ب) مشاهده می شود، از قسمت  $v-u$  سیم پیچ که به بار وصل می شود و دارای اختلاف پتانسیل  $V_2$  است جریان  $I_2 - I_1$  و در جهت  $I_2$  عبور می کند. در حالی که از قسمت  $v - V$  که دارای اختلاف پتانسیل  $V_1 - V_2$  است، جریان  $I_1$  عبور می کند.

بنابراین قسمت  $v-u$  سیم پیچ که از آن به عنوان ثانویه نیز استفاده می شود، دارای ظاهری  $V_2 I_2 - I_1$  و باقی مانده سیم پیچ یعنی قسمت  $u-V$  دارای قدرت ظاهری  $(V_1 - V_2) \times I_1$  است. این دو قدرت با یکدیگر برابرند و هسته آهن ترانسفورماتور بر مبنای یکی از آنها محاسبه می شود. بنابراین :

$$P_{ST} = V_2(I_2 - I_1) = I_1(V_1 - V_2)$$

$$P_{S2} = V_2 \times I_2$$

$$\frac{P_{ST}}{P_{S2}} = \frac{V_2(I_2 - I_1)}{V_2 \times I_2} \Rightarrow P_{ST} = P_{S2} \frac{(I_2 - I_1)}{I_2}$$

با استفاده از رابطه  $P_2 \cong P_1 = V_1 \times I_1$  نیز می توان نوشت:

$$\frac{P_{ST}}{P_{S2}} = \frac{I_1(V_1 - V_2)}{V_1 \times I_1} \Rightarrow P_{ST} = P_{S2} \frac{(V_1 - V_2)}{V_1}$$

اگر  $V_1$  از  $V_2$  بزرگتر باشد (مانند شکل الف) رابطه بالا را به صورت زیر می توان نوشت.

$$P_{ST} = P_{S2} \frac{(V_1 - V_2)}{V_1} \Rightarrow P_{ST} = P_{S2} \frac{(V_H - V_L)}{V_H}$$

اگر  $V_1$  از  $V_2$  کوچک تر باشد (مانند شکل ب) رابطه بالا به صورت زیر درمی آید.

$$P_{ST} = P_{S2} \frac{V_2 - V_1}{V_2} \Rightarrow P_{ST} = P_{S2} \frac{V_H - V_L}{V_H}$$

یعنی در ترانسفورماتور صرفه ای، نسبت قدرت تیپ به قدرت ورودی برابر نسبت تفاوت اختلاف سطحها به اختلاف سطح بزرگتر است. بنابراین، هرچه تفاوت دو ولتاژ کمتر باشد، قدرت تیپ نیز کاهش می یابد. در نتیجه، برای ساختن ترانسفورماتورهایی که تفاوت ولتاژ اولیه و ثانویه آنها کم است، استفاده از این روش بسیار باصرفه خواهد بود؛ زیرا علاوه بر قیمت ارزان، تلفات الکتریکی آن نیز از ترانسفورماتور با دو سیم پیچ جداگانه کمتر خواهد شد.

با مشخص کردن قدرت تیپ ترانسفورماتور و محاسبه سطح مقطع آهن از روی آن، سایر محاسبات را می توان براساس روش گذشته انجام داد. با این تفاوت که در اینجا برای پیدا کردن چگالی جریان از جدول توان به جای  $P_2$ ، قدرت تیپ  $P_T$ ، در نظر گرفته می شود.

**مثال ۷:** در یک اتو ترانسفورماتور با ولتاژ خروجی  $150$  ولت قدرت  $3$  کیلوولت آمپر و ولتاژ ورودی  $220$  ولت، قدرتی که باید برای محاسبه سطح مقطع آهن (قدرت تیپ) به دست آید برابر است با:

$$P_{S2} = 3 \text{ KVA} = 3000 \text{ VA}$$

$$P_{ST} = P_{S2} \left( \frac{V_1 - V_2}{V_1} \right) \Rightarrow P_{ST} = 3000 \left( \frac{220 - 150}{220} \right) = 954$$

جریان های اولیه و ثانویه آن نیز با فرض  $P_{S1} = P_{S2}$  برابر است با:

$$I_1 = \frac{P_{S1}}{V_1} = \frac{3000}{220} = 13.63 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{P_{S2}}{V_2} = \frac{3000}{150} = 20 \text{ A}$$

$$S_{fe} = S = 1/2 \sqrt{954} = 37 \text{ cm}^2$$

بدین ترتیب، این اتو ترانسفورماتور دارای سطح مقطع آهن

است و سطح مقطع سیم قسمت مشترک سیم پیچ اولیه و ثانویه باید بر مبنای جریان  $(6/37) = (13/63 - 20)$  آمپر و قسمت بعدی که فقط جریان اولیه از آن عبور می کند بر مبنای  $13/63$  آمپر محاسبه می شود. با دقت در این مثال، متوجه می شوید که استفاده از این نوع ترانسفورماتور خصوصاً در حالتی که اختلاف ولتاژ

اولیه و ثانویه کم باشد، تا چه حد مقرون به صرفه است. برای ساختن ترانسفورماتورهای قابل تنظیم نیز از این روش استفاده می شود.

فیلم



نمایش اتو ترانسفورماتور از لحظه "۲۶:۴۵" تا "۲۸:۲۳"

## تعیین دور سیم پیچ اولیه و ثانویه

برای محاسبه تعداد دور سیم پیچ های اولیه و ثانویه در اتوترانسفورماتورها مشابه ترانس های معمولی از همان روابط قبلی می توان استفاده کرد.

**مثال ۸:** اتوترانسفورماتوری به مشخصات  $V_1 = 220V$  -  $V_2 = 110V$  به جریان خروجی  $10A$  آمپر مورد نیاز است این دستگاه در شبکه با فرکانس  $50Hz$  هرگز کار می کند و هسته آن از جنس مرغوب با چگالی میدان  $12000$  گوس ساخته می شود، مراحل طراحی آن را انجام دهید.

حل:

$$V_1 = 220V, \quad V_2 = 110V, \quad B_m = 12000Gs, \quad f = 50Hz$$

$$P_2 = V_2 \times I_2 = 110 \times 10 = 1100 \quad VA$$

$$P_T = \frac{V_H - V_L}{V_H} \times P_2 = \frac{220 - 110}{220} \times 1100 = 550 \quad VA$$

$$S = 1/2 \sqrt{P_T} = 1/2 \sqrt{550} = 28/14 cm^2$$

$$N_V = \frac{37/5}{S} = \frac{37/5}{28/14} = 1/332 \quad \text{دور بر ولت}$$

$$N_1 = V_1 \times N_V = 220 \times 1/332 = 293 \quad \text{دور}$$

جدول افت ولتاژ در اتوترانسفورماتورها

توان تیپ VA	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
$\Delta V$ به درصد	۱۰	۸/۵	۷/۵	۶	۵	۴/۵	۴	۳/۷۵	۳/۵	۳/۲۵	۳	۲	۱

$\Delta V = 3\%$  از جدول

$$N_r = V_r \times N_v \times (1 + \Delta V) = 110 \times 1 / 332 \times (1 + 0.03) = 151 \text{ دور}$$

$$N_s = N_1 - N_r = 293 - 151 = 142 \text{ سیم پیچ سری}$$

### محاسبه قطر سیم

$$J = 2 \frac{A}{\text{mm}^2}$$

به علت ناچیز بودن افت ولتاژ در اتوترانسفورماتورها آنها را تقریباً ایده آل فرض می کنند.

$$I_r = 10 \text{ A} \rightarrow \frac{I_1}{I_r} = \frac{V_r}{V_1} \rightarrow I_1 = \frac{V_r}{V_1} \times I_r = \frac{110}{220} \times 10 = 5 \text{ A}$$

$$I_c = I_r - I_1 = 10 - 5 = 5 \text{ A}$$

$$P_1 = P_r = 1100 \text{ V.A}$$

جریان سیم مشترک و سیم پیچ سری با هم برابر هستند؛ بنابراین قطر سیم آنها برابر است.

$$A_s = A_c = \frac{5}{J} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ mm}^2 \rightarrow d_s = d_c = 1/13 \sqrt{2/5} = 1/78 \text{ mm} = 1/80 \text{ mm}$$

### تعیین ابعاد قرقره

$$EI = EI_{50} \rightarrow f = 50 \text{ mm} \quad EI = 30 \sqrt{S} = 30 \sqrt{28/14} = 159 \text{ mm}$$

$$\text{ضخامت هسته} \frac{S}{f} = \frac{2814}{50} = 56/28 \rightarrow \text{ضخامت ظاهری هسته} = 1/1 \times 56/28 = 62/9 \text{ mm}$$

### بررسی فضای لازم

از جدول مشخصات سیم های لاکه مشخص است که در سانتی متر مربع 18 دور سیم 1/80 جای می گیرد.

$$A_1 = \frac{151}{18} = 8/39 \text{ cm}^2 \rightarrow A_r = \frac{141}{18} = 7/83 \text{ cm}^2 \rightarrow A_F = 1/35 (8/39 + 7/83) = 21/9 \text{ cm}^2$$



## نیمه تجویزی

هدف : ساخت اتوترانسفورماتور تک فاز

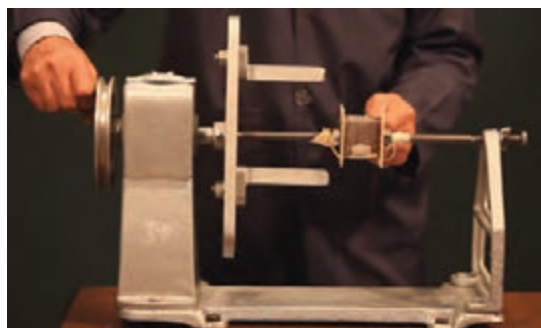
### وسایل و مواد لازم

- قرقره ترانسفورماتور از نوع EI۴۸ یک عدد
- ورق EI۶۶ به ضخامت ۰/۵ mm به تعداد ۶۰ عدد
- سیم لاکه ۰/۰۲mm و ۰/۸۰mm
- دستگاه بوبین پیچ
- سیم چین
- دم باریک
- سیم افشان ۱/۵ و ۱
- وارنیش نمره ۲/۵، ۲، ۱
- هویه و دریل
- لحیم و ژاک (جای فیش) چهار عدد
- کاغذ پرشمان ۰/۲۰ و ۰/۱۵
- چسب نواری
- کاغذ سنباده

۱- با توجه به مشخصات الکتریکی داده شده و بهره گرفتن از ورق هسته مرغوب با چگالی بالا و فرکانس کاری ۵۰ هرتز تعداد دورسیم پیچها، قطر سیمهای اولیه و ثانویه، ابعاد و نوع ورق EI را با احتساب افت ولتاژ مناسب در سمت اولیه و ثانویه به دست آورده و سپس به کمک مربی خود اقدام به پیچیدن آن نمایید.

$$V_{11} = 110V \quad , \quad V_{12} = 220V \quad , \quad I_r = 8A$$

$$V_{21} = 220V \quad , \quad V_{22} = 240V \quad , \quad f = 50Hz \quad , \quad B = 12000Gs$$

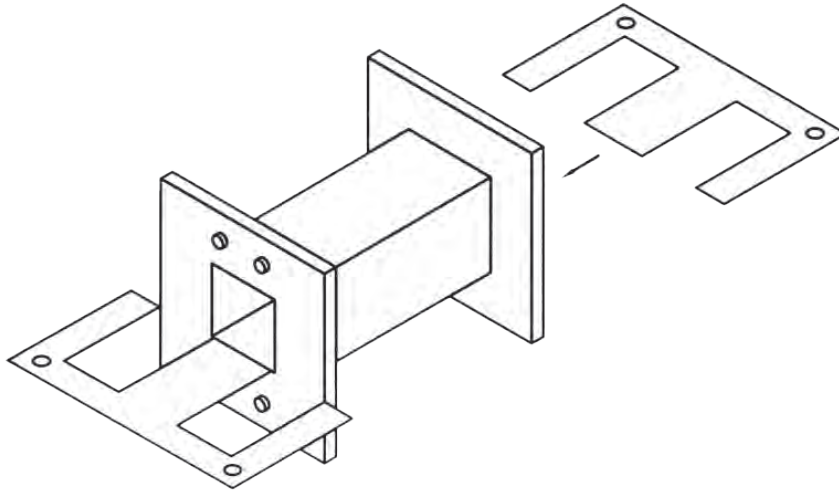


۲- برای پیچیدن سیم روی قرقره لازم است تا ابتدا مغزی چوبی ساخته شده را به داخل قرقره هدایت کنید و سپس مجموعه را روی بوبین پیچ سوار کرده و اقدام به سیم پیچی کنید.

شکل ۵۰- سیم پیچی با نوع دیگر بوبین پیچ



۳- سیم پیچ اولیه را مرتب روی قرقره بپیچید و پس از هدایت سرسیم‌ها به ژاک مربوطه روی آن را با کاغذ پرشمان ۰/۱۵ یا ۰/۱ پوشانید و با چسب کاغذی محکم کنید سپس سیم ثانویه را با تعداد دور لازم بپیچید و پس از هدایت سرهای سیم ثانویه ژاک مربوطه، روی سیم‌ها را با کاغذ پرشمان ۰/۲۰ پوشانده با چسب محکم کنید.



شکل ۵۱- جازدن هسته

- ۴- با راهنمایی مربی کارگاه ورق‌های EI را مطابق شکل به صورت یک در میان در داخل قرقره قرار دهید و در خاتمه پیچ ورق‌ها را محکم کنید.
- ۵- پس از سیم پیچی با نظارت مربی خود ولتاژ اولیه و ثانویه را به ازای یک بار مناسب اندازه گیری کنید.
- ۶- آزمایش بی باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور ساخته شده را انجام داده و تعیین مقدار تلفات هسته و سیم پیچی راندمان ترانسفورماتور را نیز محاسبه کنید.

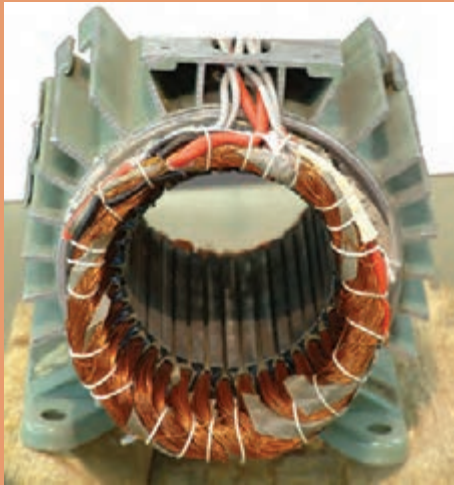
## ارزشیابی شایستگی سیم پیچی ترانسفورماتور

<p style="text-align: right;"><b>شرح کار:</b> محاسبات ترانسفورماتور یک فاز سیم پیچی ترانسفورماتور یک فاز یک ورودی، یک خروجی سیم پیچی ترانسفورماتور یک فاز یک ورودی، چند خروجی سیم پیچی اتوترانسفورماتور</p>			
استاندارد عملکرد: سیم پیچی ترانسفورماتور با رعایت موارد ایمنی در کار و استفاده از ابزار			
<p style="text-align: right;">شاخص ها: سیم پیچی ترانسفورماتور یک فاز (دو سر و چند سر خروجی) سیم پیچی اتوترانسفورماتور استفاده صحیح از ابزار برای اتصالات و رعایت ایمنی</p>			
شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:			
<p style="text-align: center;">شرایط: فضای مناسب - ابزار مناسب - مدت زمان متناسب با حجم کار ابزار و تجهیزات: ابزار سیم پیچی - سیم لاکه - قرقره وهسته - کولیس ومیکرومتر- مولتی متر- میز تست و اندازه گیری</p>			
معیار شایستگی:			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	سیم پیچی ترانسفورماتور یک فاز یک ورودی - یک خروجی	۲	
۲	سیم پیچی ترانسفورماتور یک فاز یک ورودی - چند خروجی	۱	
۳	سیم پیچی اتوترانسفورماتور	۱	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: کسب اطلاعات کارتیمی مستند سازی ویژگی شخصیتی		۲
میانگین نمرات			*
* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.			



## پودمان ۴

### سیم پیچی الکتروموتور سه فاز



## واحد یادگیری ۴

### سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز

#### آیامی‌دانید:

- کاربرد الکتروموتورهای سه‌فاز چیست؟
- اجزای الکتروموتورهای سه‌فاز کدام‌اند؟
- میدان دوّار چگونه تشکیل می‌شود؟
- اساس کار موتورهای آسنکرون چیست؟
- بازپیچی الکتروموتورهای سه‌فاز از چه مراحل تشکیل شده است؟
- تفاوت سیم‌پیچی گام کامل و کسری چیست؟

#### استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود پس از شناسایی اجزای الکتروموتور سه‌فاز بازپیچی الکتروموتور را به‌طور کامل انجام دهند. همچنین آنها قادر خواهند بود محاسبه و رسم دیاگرام و سیم‌پیچی برای الکتروموتور سه‌فاز یک طبقه و دو طبقه را انجام دهند.

## \* مقدمه

موتورهای آسنکرون سه فاز القایی، بخش اعظم انرژی مکانیکی کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی را تأمین می‌کنند، بالابرها، آسیاب‌ها، تسمه‌نقاله‌ها، فن‌ها و نظایر آن از این دسته است، الکتروموتورها از دو جزء اصلی ساکن (استاتور) و متحرک (روتور) تشکیل می‌شوند. این الکتروموتورها براساس تولید حوزه دوار مغناطیسی در سطح استاتور و القای جریان الکتریکی، در مفتول‌های روتور توسط حوزه دوار ایجاد شده با برق سه فاز، در سطح استاتور کار می‌کنند. در این الکتروموتورها جریان مفتول‌ها از طریق القای الکترومغناطیسی تأمین می‌شود، به این علت به آنها موتورهای القایی گفته می‌شود. برای تأمین جریان لازم است گردش روتور کمی به تأخیر افتد، تا تغییر شار مغناطیسی در مفتول‌ها امکان‌پذیر شود. لذا سرعت روتور کمی از سرعت حوزه دوار عقب می‌افتد به این علت به این الکتروموتورها، الکتروموتورهای آسنکرون (غیر هم‌زمان) گفته می‌شود.

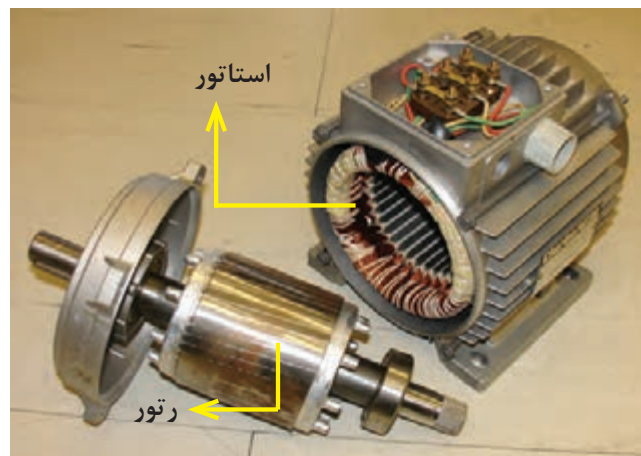
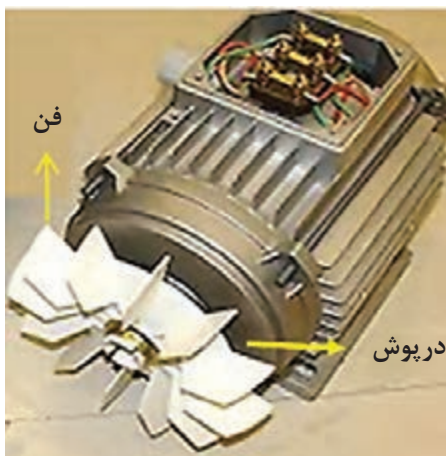
مقدمه آشنایی الکتروموتورها از لحظه ۳۰:۳۰" تا ۳۱:۳۰"

فیلم



## ساختمان داخلی موتورهای آسنکرون

قسمت متحرک یا روتور با یک فاصله هوایی کم توسط در پوش‌ها و یاتاقان‌ها در درون قسمت ثابت یا استاتور نصب می‌شود. (شکل ۱)



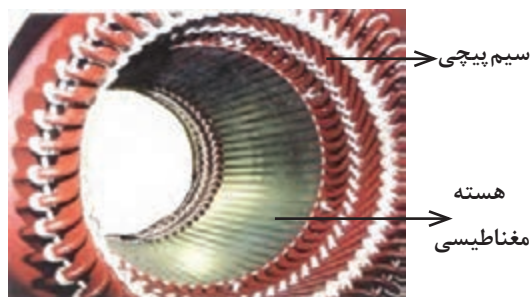
شکل ۱- ساختمان یک موتور آسنکرون

## استاتور

استاتور از ورقه‌های آهن سیلیس دار ساخته می‌شود (اصطلاحاً به این نوع ورق‌ها دیناموبلش گفته می‌شود). این



شکل ۲



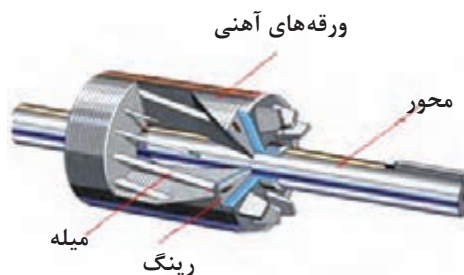
شکل ۳- استاتور موتورهای سه فاز

ورقه‌ها وقتی روی هم قرار می‌گیرند، شیارهایی را پدید می‌آورند (شکل ۲).

در داخل شیارهای استاتور، سیم‌پیچ‌های مسی با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه مکانی، سیم‌پیچی می‌شوند. با عبور جریان از داخل این سیم‌پیچ‌ها، چون جریان‌های الکتریکی سه‌فازه خود دارای اختلاف فاز الکتریکی ۱۲۰ درجه بوده و دائماً در حال تغییر هستند، به همین دلیل یک میدان مغناطیسی در حال چرخش در سطح داخلی استاتور پدید می‌آید که اصطلاحاً به آن میدان «مغناطیسی دوار» می‌گویند. سرعت چرخش میدان مغناطیسی دوار با فرکانس شبکه و قطب‌های موتور، متناسب است. در شکل کلی به قسمت تولیدکننده میدان مغناطیسی دوار در موتورهای الکتریکی، القاکننده می‌گویند. در شکل ۳ یک استاتور سیم‌پیچی شده دیده می‌شود.

### روتور

روتور موتورهای القایی از میله‌ها یا کلاف‌هایی از جنس مس یا آلومینیوم تشکیل می‌شود. این میله‌ها یا کلاف‌ها در داخل شیارهای ایجاد شده با ورقه‌های دیناموبلش، قرار می‌گیرد. میله‌ها یا کلاف‌های روتور وقتی در داخل تغییر شار مغناطیسی، میدان دوار استاتور قرار می‌گیرند. براساس قانون فارادی در آنها جریان القایی جاری می‌شود، به این علت، این موتورها را موتورهای القایی می‌گویند. از آنجایی که برای تغییر شار در مفتول‌های روتور لازم است تا اختلاف سرعت بین میدان دوار و سرعت حرکت روتور وجود داشته باشد (معمولاً سرعت روتور از سرعت میدان دوار کمتر است) به همین دلیل به این موتورها «آسنکرون (غیرهم‌زمان)» می‌گویند. در واقع روتور، قسمت القاشونده موتور آسنکرون است. روتورهای موتورهای القایی آسنکرون به صورت یک پارچه (روتور قفسی) یا روتور سیم‌پیچی شده (روتور رینگ) ساخته می‌شوند (شکل ۴).



روتور قفسی

اجزای داخلی روتور قفسی

شکل ۴- انواع روتور موتورهای سه فاز

تحقیق کنید فرایند ساخت روتور قفسی چگونه است؟

تحقیق



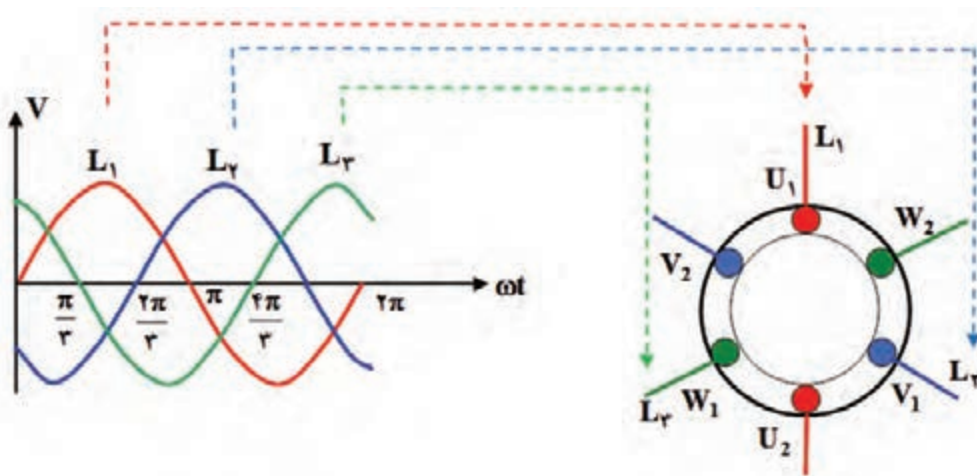
فیلم



اجزای موتور از "۳۱:۳۰" تا "۳۲:۴۵"

## چگونگی ایجاد میدان دوار مغناطیسی در استاتور موتورهای سه فاز آسنکرون

استاتور موتورهای سه فاز با برق متناوب سه فاز تغذیه می‌شوند. فازهای شبکه سه فاز متناوب با یکدیگر ۱۲۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز دارند. نمودار فازهای  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  در شکل ۵ نشان داده شده است. فرض کنید فاز  $L_1$  سیم پیچ  $U_1$ ,  $U_2$ ، فاز  $L_2$  سیم پیچ  $V_1$ ,  $V_2$  و فاز  $L_3$  سیم پیچ  $W_1$ ,  $W_2$  را تغذیه می‌کنند. در چند موقعیت برق متناوب سه فاز، جهت جریان سیم پیچ‌ها را با توجه به وضعیت فازهای تغذیه در نظر بگیرید و با استفاده از قاعده دست راست، مکان قطب‌ها را در سطح استاتور مشخص کنید.



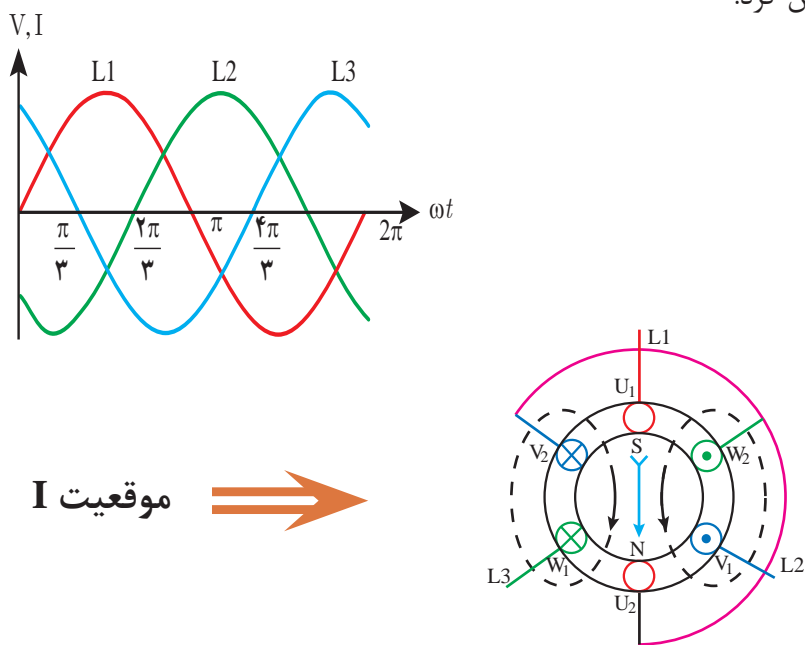
شکل ۵- تغذیه موتور سه فاز با برق سه فاز

در زمان‌هایی که ولتاژ یا جریان متناوب در نیم‌سیکل مثبت است جریان از فاز مربوطه خارج شده و به سر سیم موتور وارد می‌شود که ما طبق قاعده دست راست آن را با علامت  $\otimes$  نشان داده و در زمان‌هایی که جریان در نیم‌سیکل منفی است جریان به فاز مربوطه وارد شده و در واقع از سر سیم موتور خارج می‌شود که طبق قاعده دست راست باید آن را با علامت  $\odot$  نشان داد.

در موقعیت  $I$  ( $\omega t = 0^\circ$ )، مقدار جریان فاز  $L_1$  برابر صفر در نتیجه از سیم پیچ  $U_1$ ,  $U_2$  جریانی عبور نمی‌کند. جریان فاز  $L_2$  در نیم‌سیکل مثبت بوده و جریان از سر سیم پیچ سوم یعنی وارد ( $W_1$ ) و از انتهای سیم پیچ ( $W_2$ ) خارج می‌شود. پس ورودی  $W_1$  علامت  $\otimes$  و خروجی  $W_2$  علامت  $\odot$  خواهد داشت. در همین موقعیت فاز  $L_3$  در نیم‌سیکل منفی است، در نتیجه جریان الکتریکی از سر سیم پیچ دوم ( $V_1$ ) خارج شده و

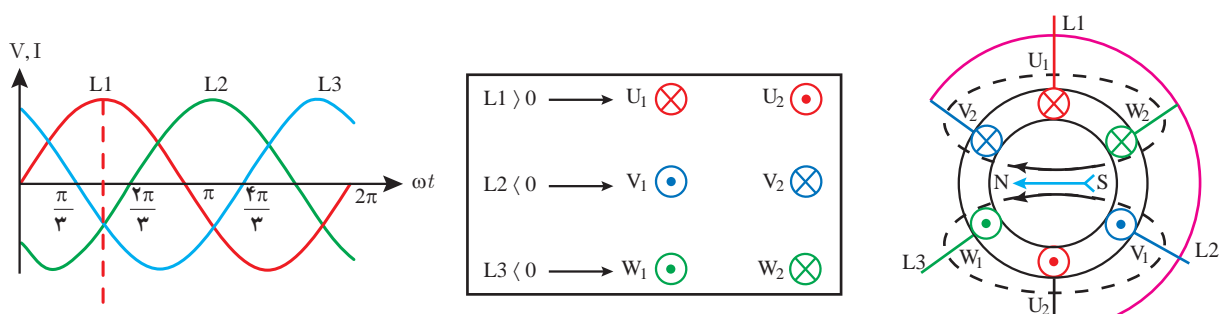


از انتهای سیم پیچ ( $V_p$ ) وارد می‌شود، پس ورودی  $V_1$  علامت  $\odot$  و خروجی  $V_p$  علامت  $\otimes$  خواهد داشت. در انتها باید با توجه به قاعده دست راست جهت میدان مغناطیسی در اطراف سیم‌هایی که دارای یک جهت جریان هستند را مشخص کرده و مطابق شکل ۶ میدان مغناطیسی پدید آمده در فضای داخلی استاتور را تعیین کرد.



شکل ۶- تشکیل قطب‌ها در موقعیت I

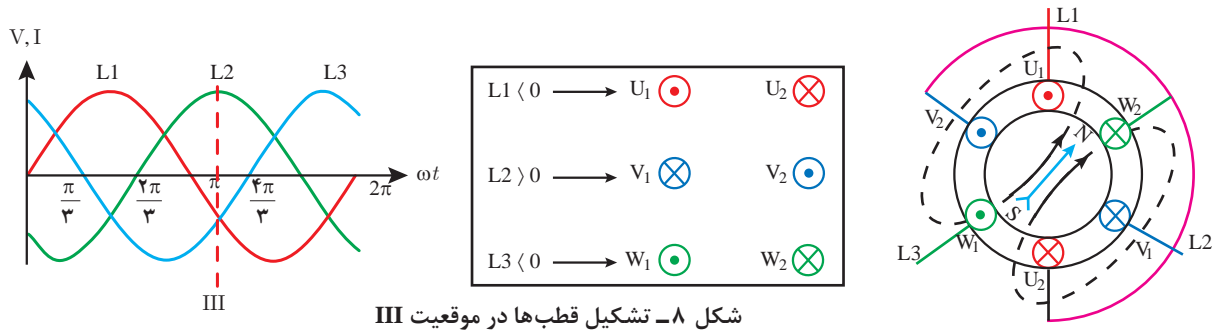
برای خلاصه‌نویسی تحلیل وضعیت میدان مغناطیسی در موقعیت‌های مختلف این تحلیل را به شکل خلاصه‌تری نیز می‌توان نوشت. در اینجا سایر موقعیت‌ها به این شکل بیان شده است. موقعیت II ( $\omega t = 90^\circ$ ) در شکل ۷ نشان داده شده است.



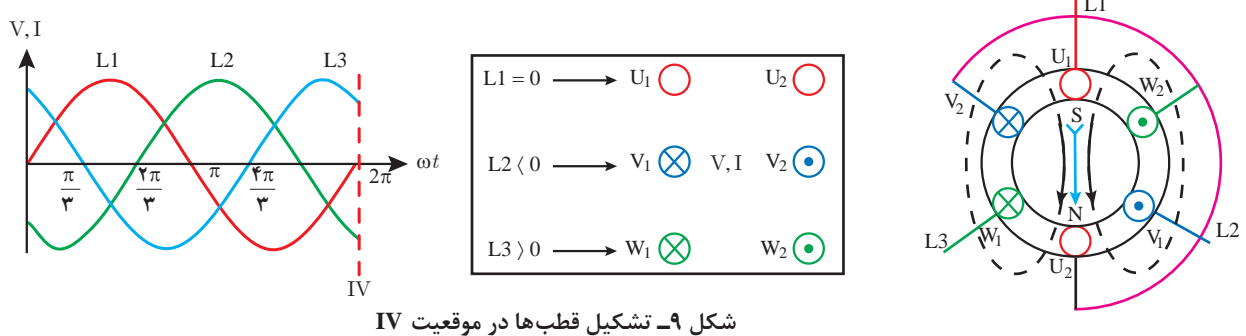
شکل ۷- تشکیل قطب‌ها در موقعیت II



موقعیت III ( $\omega t = 210^\circ$ ) در شکل ۸ نشان داده شده است.



موقعیت IV ( $\omega t = 360^\circ$ ) در شکل ۹ نشان داده شده است.



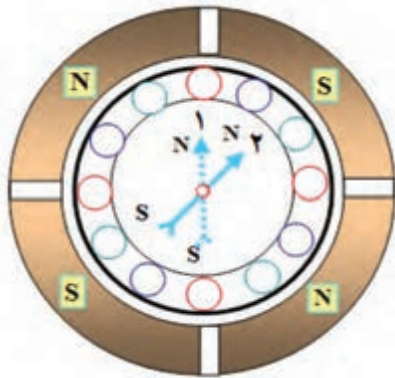
### سؤال

جابه‌جایی جریان فازها چند بار در ثانیه اتفاق می‌افتد؟

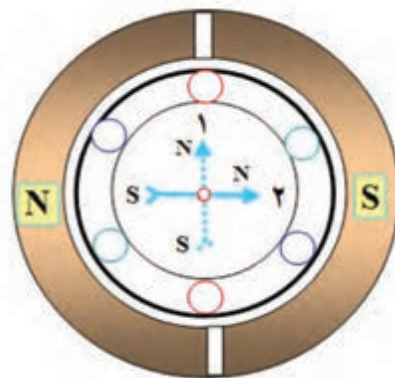
## سرعت میدان دوار (سرعت سنکرون)

هنگام بررسی وضعیت قطب‌ها، با تغییر موقعیت فازها مشخص شد که در یک سیکل کامل تغییرات هر فاز، قطب‌ها یک دور کامل سطح استاتور را می‌پیمایند. با توجه به فرکانس جریان متناوب، که در هر ثانیه  $f$  سیکل کامل دارد، میدان مغناطیسی دوار نیز در هر ثانیه  $f$  بار سطح استاتور را خواهد پیمود. به عبارت دیگر سرعت گردش میدان مغناطیسی دوار با فرکانس  $f$  رابطه مستقیم دارد.

از طرف دیگر بین دو قطب متوالی  $N, S$  اختلاف فاز الکتریکی  $180^\circ$  درجه الکتریکی وجود دارد اگر موتور دو قطب داشته باشد قطب‌های  $N, S$  در یک سیکل یک دور کامل سطح استاتور را می‌پیمایند و اگر موتور چهار قطب داشته باشد با وجود  $360^\circ$  درجه الکتریکی قطب‌های  $N, S$  در سطح استاتور نیم‌دور یعنی  $180^\circ$  درجه مکانیکی جابه‌جا می‌شوند و هر چه تعداد قطب‌ها بیشتر شود جابه‌جایی مکانیکی کمتر خواهد شد. به عبارت دیگر سرعت میدان مغناطیسی دوار با تعداد نصف قطب‌ها رابطه معکوس دارد (شکل ۱۰).



موتور چهار قطب جابه جایی الکتریکی  
۹۰ درجه و جابه جایی مکانیکی ۴۵ درجه



موتور دو قطب جابه جایی الکتریکی  
۹۰ درجه و جابه جایی مکانیکی ۹۰ درجه

شکل ۱۰- با افزایش قطبها سرعت موتور کاهش می یابد.

دو نفر روی دو صندلی مقابل هم قرار گیرید و به تناوب جای خود را با هم عوض کنید. حالا این کار را با چهار صندلی و چهار نفر انجام دهید و به ترتیب جای خود را در یک جهت عوض کنید در کدام حالت زودتر به صندلی قبلی بر می گردید؟ چرا؟ اگر تعداد صندلی و افراد بیشتر شود چه اتفاقی در زمان این جابه جایی رخ می دهد؟

فعالیت



با توجه به بررسی مطالب اشاره شده می توان نتیجه گرفت که سرعت میدان مغناطیسی دوار در هر ثانیه از رابطه  $N_S = \frac{f}{p}$  به دست می آید.  $N_S$  را سرعت سنکرون نیز می گویند. در صنعت سرعت سنکرون بر حسب دقیقه بیان می شود لذا رابطه آن را به صورت  $N_S = \frac{f \times 60}{p}$  دور در دقیقه بیان می کنند.

f - فرکانس

p - تعداد نصف قطبها (تعداد زوج قطب)

$$N_S = \frac{f \times 60}{p} \text{ r.p.m} \quad \text{سرعت سنکرون}$$

**مثال ۱-۴** استاتور موتور سه فاز آسنکرون ۶ قطب دارد. سرعت سنکرون آن در فرکانسهای ۵۰ هرتز و ۶۰ هرتز چند دور در دقیقه است؟

حل :

$$2p = 6 \rightarrow p = 3, \quad N_S = \frac{f \times 60}{p}$$

$$f = 50 \text{ Hz} \rightarrow N_S = \frac{50 \times 60}{3} = 1000 \text{ r.p.m}$$

$$f = 60 \text{ Hz} \rightarrow N_S = \frac{60 \times 60}{3} = 1200 \text{ r.p.m}$$

۱- round per minute



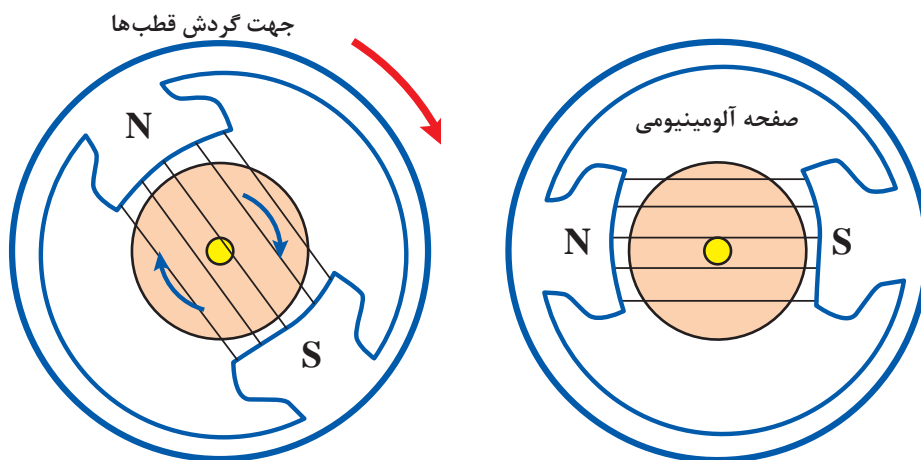
سرعت میدان دوار مولدهای نیروگاه آبی کارون سه استان خوزستان ۱۸۷/۵ r.p.m است. این مولد نیروگاهی چند قطب است؟

## اساس کار موتورهای آسنکرون

تصور کنید یک صفحه آلومینیومی قادر است حول محور خود گردش کند، این صفحه در داخل دو قطب مغناطیسی مطابق شکل ۱۱ قرار داده شده و قطب‌های مغناطیسی به گردش درآورده می‌شود. مشاهده می‌شود صفحه آلومینیومی، نیز به دنبال قطب‌ها، ولی با سرعت کمتر از سرعت قطب‌ها به گردش می‌آید. سرعت کم صفحه آلومینیومی باعث می‌شود تا صفحه آلومینیومی با تغییر شار مغناطیسی مواجه شود و در آن جریان القا شود. جریان القا شده در صفحه آلومینیومی در میدان حوزه دوار گشتاور ایجاد نموده و صفحه حول محور خود به گردش درمی‌آید. پس می‌توان نتیجه گرفت :

۱- جریان داخل صفحه آلومینیومی از طریق القای مغناطیسی تأمین می‌شود به همین دلیل این موتورها راه، موتورهای القایی می‌گویند.

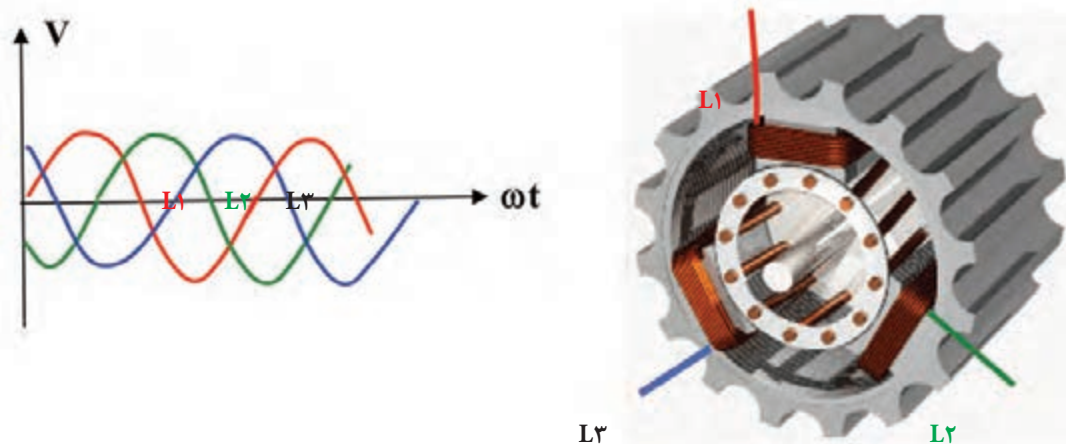
۲- صفحه آلومینیومی لازم است اندکی از حوزه دوار عقب بیفتد تا با تغییر شار مواجه شود، در آن جریان القا شود بنابراین سرعت صفحه آلومینیومی با سرعت حوزه دوار برابر نیست به این نوع موتورها موتورهای آسنکرون (غیر هم زمان) می‌گویند.



شکل ۱۱- صفحه آلومینیومی

در موتورهای صنعتی جریان متناوب سه فاز به سه سیم پیچ سه فاز متصل می‌شود و یک حوزه دوار در سطح استاتور با سرعت سنکرون  $N_s = \frac{f \times 60}{p}$  به وجود می‌آید. این میدان مغناطیسی دوار مفتول‌های روتور را

قطع کرده و در آنها جریان القا می‌کند و مفتول‌های جریان‌دار در میدان دوار ایجاد گشتاور نموده و مجموعه روتور را حول محورش به گردش درمی‌آورد و روتور نیز با سرعت  $N_r$  به گردش درمی‌آید (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- حوزه دوار در سطح استاتور

## سرعت لغزش

اختلاف سرعت حوزه دوار ( $N_s$ ) با سرعت روتور ( $N_r$ ) را سرعت لغزش می‌گویند و با  $\Delta n$  نشان می‌دهند.

$$\Delta n = N_s - N_r$$

## لغزش

نسبت سرعت لغزش به سرعت سنکرون را لغزش یا ضریب لنگی می‌گویند و آن را با  $S$  نشان داده و برحسب درصد بیان می‌کنند.

$$\%S = \frac{\Delta n}{N_s} \times 100 = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$$

### مثال ۲-۴

موتور سه‌فاز آسنکرون ۲ قطب در هر دقیقه ۲۸۵۰ دور می‌زند. لغزش موتور در فرکانس ۵۰ هرتز شبکه چند درصد است؟ در لغزش ۸ درصد سرعت روتور چند دور در دقیقه خواهد شد؟

حل:

$$2p = 2, \quad f = 50 \text{ Hz}, \quad N_r = 2850 \text{ r.p.m}$$

$$N_s = \frac{f \times 60}{P} = \frac{50 \times 60}{2} = 1500 \text{ r.p.m}$$

$$\%S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 = \frac{1500 - 2850}{1500} \times 100 \rightarrow \%S = \%5$$

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \rightarrow SN_s = N_s - N_r \rightarrow N_r = N_s(1 - S)$$

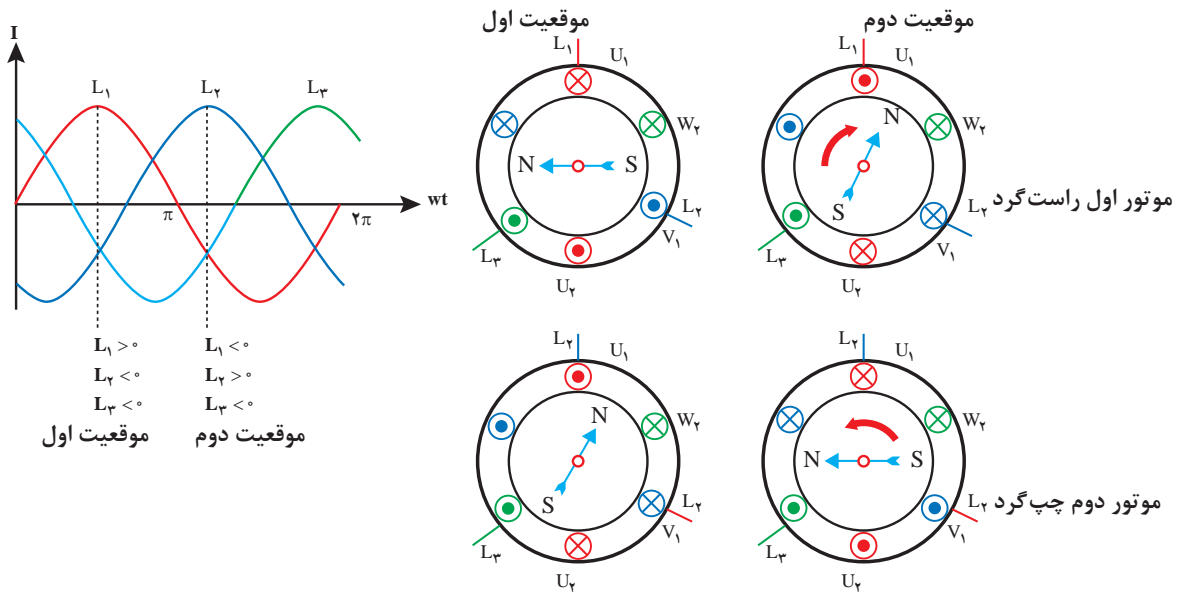
$$N_r = 1500(1 - 0.05) = 1425 \text{ r.p.m}$$



تغییرات لغزش (S) و سرعت لغزش ( $\Delta n$ ) به چه عاملی بستگی دارد؟

### بررسی اثر میدان مغناطیسی دوار در تغییر جهت گردش موتورهای آسنکرون

دو الکتروموتور مشابه دو قطب مانند شکل ۱۳ را در نظر گرفته می‌شود. اگر سیم پیچ‌های  $U_1, V_1, W_1$  موتور اول به ترتیب فازهای  $L_1, L_2, L_3$  و سیم پیچ‌های  $U_2, V_2, W_2$  موتور دوم به ترتیب فازهای  $L_1, L_2, L_3$  را تغذیه کند و دو موقعیت وضعیت قطب‌ها در سطح استاتور آنها تعیین شود. مشاهده می‌شود که در موتور اول جابه‌جایی قطب‌ها راست‌گرد و در موتور دوم جابه‌جایی قطب‌ها چپ‌گرد می‌باشد. از آنجایی که گردش روتور در جهت جابه‌جایی قطب‌ها انجام می‌شود بنابراین در موتورهای سه‌فاز آسنکرون با تعویض جای دوفاز در سیم پیچ موتورها، جهت گردش موتورها عوض می‌شود.



شکل ۱۳- تغییر جهت گردش موتور سه‌فاز با تعویض دوفاز

### سؤال

تغییر جهت چرخش روتور چه کاربردهایی دارد؟ نام ببرید.

### باز کردن الکتروموتورها و استخراج اطلاعات سیم پیچی

برای بازکردن الکتروموتورها، استخراج اطلاعات، سیم پیچی مجدد و نصب مجدد قطعات آن به ابزارهای خاصی نیاز است که در شکل ۱۴ تصویر چند نمونه از آنها مشاهده می‌شود.



انواع پیچ گوشتی



انواع سنبه نشان



آچار فرانسه و بکس زاویه دار



انواع چکش پلاستیکی



آچار تخت و رینگ



انواع پولی کش و بلبرینگ کش



میکرومتر (ریزسنج)



کولیس ورنیه

شکل ۱۴- ابزار مورد نیاز باز کردن الکتروموتورها

## خارج کردن و مونتاژ کردن قطعات الکتریکی و مکانیکی در موتورهای الکتریکی

قطعات الکتریکی و مکانیکی ماشین های الکتریکی، بیشتر به سه طریق از هم جدا و سپس به همدیگر مونتاژ می شوند.

۱- روش گرم کردن

۲- روش بریدن سیم پیچ ها و پرچ ها

۳- روش پرس کردن

علامت گذاری قطعات هنگام پیاده کردن قطعات مکانیکی توصیه می شود، بهتر است بین قسمت های جداشونده و

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

قسمت اصلی مشابه شکل ۱۵ علامت گذاری شود تا در مونتاژ این قطعات با تطبیق علائم مشابه بین قسمت اصلی و قطعات جدا شده، سرعت عمل بالا رفته و از جای گذاری اشتباه قطعات جلوگیری شود. برای علامت گذاری بیشتر از سنبه نشان استفاده می شود.



شکل ۱۵- علامت گذاری قطعات جداشونده موتور با سنبه نشان

برای دسترسی به اطلاعات الکتروموتور برای سیم پیچی موجود یا تغییر در وضعیت سیم پیچی یا طراحی سیم پیچی جدید، بهتر است برای الکتروموتور یک شناسنامه تهیه کرد و اطلاعات را در آن ثبت کرد و نقشه موتور را از سیم پیچی موجود، در شناسنامه موتور پیاده کرد.

شناسنامه موتور			
Style:	Frame:	kw یا Hp	Ph
R.P.M یا NO.Poles	Cycles یا c.p.s	Volts	Amps
T یا Deg c Rise	Tim یا Hours	Code:	S.F(Amps)
Service Factor	Housing	Type	Serial
Type	Z.S (تعداد شیارها)	کارخانه سازنده	تعداد دور هر کلاف
pitch گام هر کلاف	حفاظت	قطر سیم	$\cos\phi =$
رسم نقشه موتور			
شکل ۱۶- تشکیل شناسنامه موتور			

برای بازپیچی موتورهای الکتریکی لازم است تا کارهای مختلف (مکانیکی و الکتریکی) را انجام دهید. در این کتاب مراحل مورد نظر طی چند مرحله توضیح داده شده است.



## مرحله ۱: بازیچی موتور

مرحله اول: باز کردن قطعات مکانیکی و آماده کردن استاتور  
۱- ابتدا با پولی کش، پولی موتور را از محور جدا کنید (شکل ۱۷).

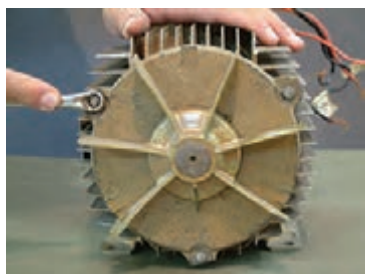


شکل ۱۷- در آوردن پولی از محور موتور

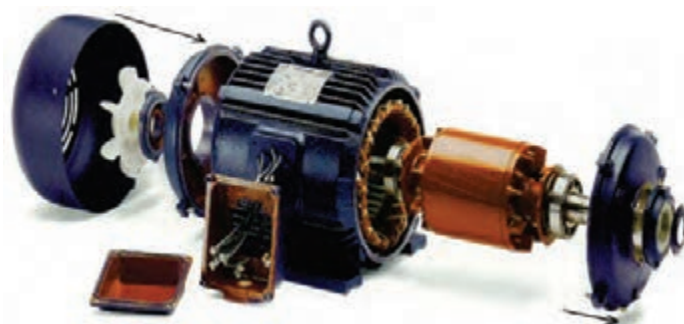
۲- بعد با سنبه درپوش بدنه را علامت گذاری کنید. سپس پیچ‌های موتور را با انتخاب آچار مناسب باز کرده و پس از باز کردن جعبه اتصالات با قلم درپوش‌ها را جدا کنید (شکل ۱۸).

هنگام استفاده از قلم و چکش مراقب انگشتان دست خود باشید. بدنه استاتور را از گرد و خاک و چربی کاملاً پاک کنید.

ایمنی



شکل ۱۸- باز کردن پیچ‌های موتور و درپوش‌ها



شکل ۱۹- ترتیب و توالی باز کردن قطعات موتور



بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

۳- قطعات باز شده را، در یک وان آب گرم قرار داده و آنها را کاملاً شست و شو دهید. پس از باز کردن و شست و شوی قطعات، قطعات باز شده را مطابق شکل جمع آوری کنید، مجموعه را تا وصل مجدد آنها، به استاتور، در یک محل امن قرار دهید، تا از آسیب دیدن قطعات و گم شدن آنها جلوگیری شود (شکل ۲۰).



شکل ۲۰- شست و شو و جمع کردن قطعات باز شده



شکل ۲۱- بریدن سیم‌ها توسط قلم

۴- در این مرحله باید با قلم و چکش سیم‌های داخل استاتور را از یک سمت ببرید تا آماده خارج شدن از داخل شیار باشد. در زمان ضربه به قلم دقت کنید تا نوک قلم به ورق دیناموبلش استاتور صدمه وارد نکند (شکل ۲۱).



شکل ۲۲- گرم کردن سیم پیچ

۵- برای خارج کردن راحت‌تر سیم پیچی و عایق روی شیارها، بهتر است استاتور را به مدت لازم در داخل کوره حرارتی قرار دهید یا اینکه آن را در داخل وان حلال لاک سیم پیچی غوطه‌ور کنید تا سیم‌ها و عایق‌های داخل استاتور نرم شده و به راحتی از داخل شیار خارج شوند (شکل ۲۲).

### سؤال

آیا ضربه و حرارت بیش از حد روی مشخصه مغناطیسی ورقه دیناموبلش تأثیر منفی دارد؟

۶- چون سیم پیچی گرم و انعطاف پذیر شده است. حالا می توانید مطابق شکل ۲۳ عایق روی سیم پیچی ها را خارج کنید.



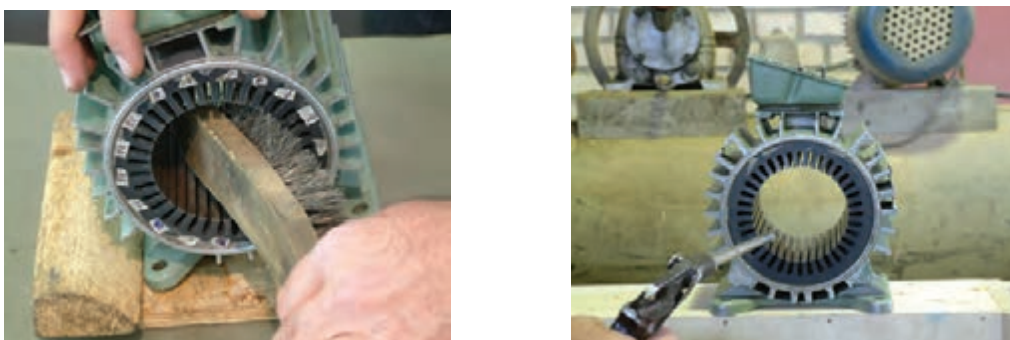
شکل ۲۳- خارج کردن پرسیان از شیار

۷- پس از خارج کردن عایق ها می توانید سیم پیچ های سوخته داخل موتور را مطابق شکل ۲۴ از داخل استاتور خارج کنید.



شکل ۲۴-سیم های خارج شده از شیارها

۸- برای سیم پیچی مجدد داخل استاتور لازم است تا داخل آن را به طور کامل تمیز کرد. (شکل ۲۵)

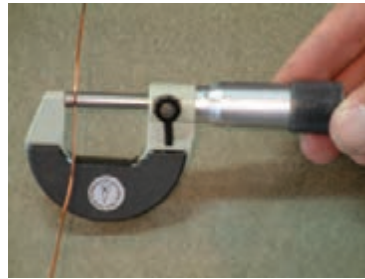


شکل ۲۵-۱ داخل شیارها را با برس تمیز کنید

شکل ۲۵-۲ داخل شیارها را با هوای متراکم بادگیری کنید

۹- در این مرحله باید اولاً: قطر سیم های خارج شده از استاتور را توسط میکرومتر اندازه گیری کرده و ثانیاً: تعداد دور یک بازو از پیچکی را شمارش نموده و سپس مقدار آنها را به پرونده موتور انتقال دهید.

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز



شکل ۲۶- اندازه گیری قطر سیم و شمارش تعداد دور یک بازو

۱۰- در این قسمت مطابق شکل ۲۷ طول و قطر داخلی استاتور را اندازه گیری کرده و در شناسنامه موتور ثبت کنید.



شکل ۲۷- اندازه گیری طول و قطر داخلی استاتور

بازپیچی الکتروموتور از لحظه "۳۲:۵۰" تا "۳۸:۳۰"

فیلم



۱۱- داخل شیارهای استاتور را باید با کاغذ عایق (کاغذ پرشمان یا پرسپان) متناسب با ولتاژ فازی موتور و براساس جدول ۱ انتخاب کرده و عایق بندی کنید.  
با توجه به اینکه ولتاژ خطی شبکه ایران ۴۰۰ ولت و ولتاژ فازی ۲۳۰ ولت است لذا ضروری است شیارها را با کاغذ به ضخامت ۰/۳ یا ۰/۵ عایق بندی کرد تا سیمها در داخل استاتور با هسته استاتور تماس نداشته باشند. این مرحله باید با دقت کافی انجام شود تا فضای کامل داخل شیارها برای جا زدن سیمها به کار گرفته شود.

جدول ۱- ضخامت عایق مناسب با ولتاژ فازی

ولتاژ فازی [V]	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۵۰	۴۵۰-۶۰۰	۶۰۰-۸۰۰	۸۰۰-۱۰۰۰
ضخامت عایق [mm]	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۱

۱۲- نحوه تهیه و جا زدن کاغذهای پرشمان را در تصاویر شکل (۲۸) مشاهده می‌کنید.



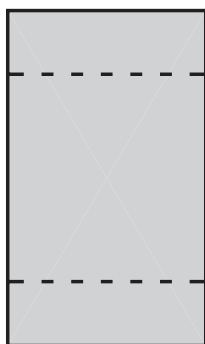
(ب) برش کاغذ پرشپان با کاتر



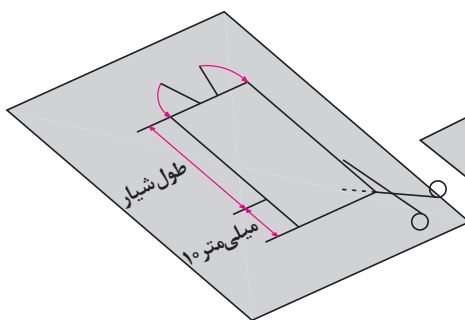
(الف) اندازه‌گیری سطح داخل شیار

هنگام کار از صندلی، سیستم تهویه و نور مناسب استفاده کنید و هنگام تمیز کردن شیارها از ماسک برای جلوگیری از تنفس غبار استفاده کنید. موقع استفاده از کاتر و گیوتین مراقب انگشتان خود باشید.

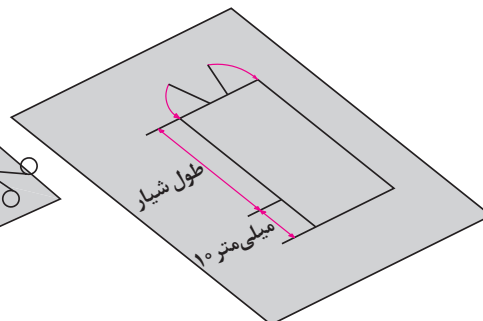
ایمنی



(ث) از هر طرف ۵ میلی‌متر علامت‌گذاری شود



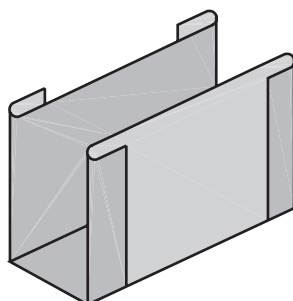
(ت) برش کاغذ پرشپان



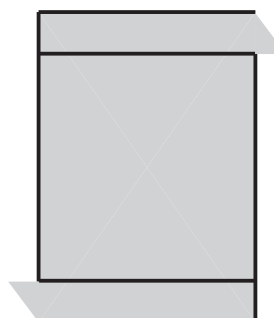
(پ) اندازه‌گذاری کاغذ پرشپان با ۱۰ میلی‌متر اضافی



(ح) عایق آماده شده



(چ) شکل عایق پس از تا شدن

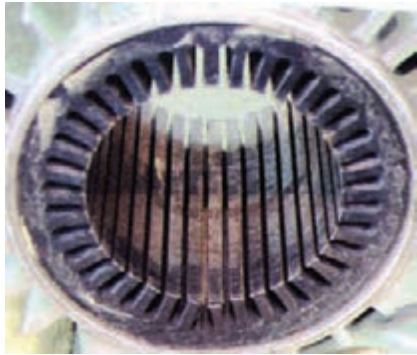


(ج) از محل علامت‌گذاری تا می‌شود

شکل ۲۸- عایق کاری داخل شیارها



۱۳- مطابق الگوی نشان داده شده در مرحله قبل باید برای تمامی شیارهای موتور عایق کاغذی (کاغذ پرشمان) را ساخته و در شیارها قرار دهید (شکل ۲۹).



۲۹-۱- عایق در داخل شیار قرار می گیرد



۲۹-۲- استاتور عایق کاری شده

عایق کاری داخل شیارهای استاتور از لحظه ۳۸':۴۰" تا ۴۱':۴۵"

فیلم



ایمنی



هنگام کار از صندلی، سیستم تهویه و نور مناسب استفاده کنید و هنگام تمیز کردن شیارها از ماسک برای جلوگیری از تنفس غبار استفاده کنید. موقع استفاده از کاتر و گیوتین مراقب انگشتان خود باشید.

کار عملی ۱



**هدف:** خارج کردن سیم پیچی سوخته از داخل استاتور، تهیه شناسنامه مشخصات، عایق کاری شیارها موتور

۱- تحت نظارت مربی خود موتور سیم پیچی شده ای را تحویل گرفته و براساس مراحل و نکاتی که فراگرفته اید سیم های سوخته را از داخل شیارها خارج کنید.

۲- استاتور الکتروموتور را تمیز کنید.

۳- با اندازه گیری طول و اندازه دهانه شیار عایق های کاغذی (کاغذ پرشمان) شیارهای موتور را با راهنمایی مربی خود بسازید.

۴- عایق تمامی شیارهای موتور را در شیارها جا زده و سپس روتور را در داخل آن جا زده و با دست یک دور بچرخانید تا در صورت تماس هر یک از عایق ها با روتور، آن را بررسی کرده و رفع عیب نمایید.

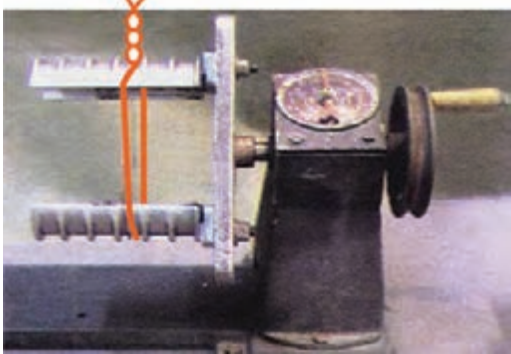
۵- موارد ایمنی مانند برخورد قلم و چکش به انگشتان دست، حفاظت دست از نوک سیم لاکه بریده شده و برس سیمی را به کار گیرید.

۶- مس فلزی گرانبها و ارزشمند است. برای بازیافت و برگشت مجدد سیم های لاکه مستعمل به صنعت، آنها را در یک مخزن جمع آوری کنید و به هیچ وجه دور نریزید.

## مرحله ۲: بازیچی موتور



شکل ۳۰- روش تجربی تهیه قالب



شکل ۳۱- تنظیم فک‌های کلاف پیچ  
بر اساس قالب تهیه شده



شکل ۳۲- کلاف الگو و کلاف پیچی

۱۴- در این مرحله باید اقدام به تهیه اندازه کلاف الگو برای تنظیم دستگاه کلاف پیچ نمود. به همین خاطر براساس اطلاعاتی که از روی سیم پیچی سوخته برداشته شده یا بر پایه محاسباتی که با آنها آشنا خواهیم شد گام سیم پیچی را مشخص کرده و به دست آورید. سپس از یک روش تجربی که توصیه شده است کمک بگیرید تا بین سیم اندازه و هسته دو انگشت فاصله باشد، ابتدا با سیم‌های مستعمل یک اندازه کلاف تهیه و در داخل شیارهای استاتور قرار دهید. با بررسی اندازه کلاف و کم یا زیاد کردن آن (در صورت نیاز)، اندازه کلاف مناسب برای تنظیم قالب را به دست آورید (شکل ۳۰).

۱۵- پس از تهیه اندازه مناسب کلاف، باید قالب‌ها را به اندازه تهیه شده، بر روی دستگاه کلاف پیچ تنظیم کرده و سپس فک‌ها را با پیچ مهره روی بدنه محکم کنید تا تنظیم قالب‌ها به هم نخورد (شکل ۳۱).

۱۶- پس از مشخص شدن اندازه کلاف الگو و تنظیم کلاف پیچ می‌توانید اقدام به پیچیدن کلاف‌های موتور کنید. با توجه به تعداد دور شمارش شده، شکل سیم پیچی و به تعداد  $q$  که در مورد آن صحبت خواهد شد باید اقدام به پیچیدن کلاف‌ها کنید.



هنگام سیم پیچی باید دقت کنید که سیم‌ها به موازات یکدیگر پیچیده شوند و از روی هم عبور نکنند؛ چون در این صورت جا زدن آنها در داخل شیار دشوار است. علاوه بر این، احتمال ساییدگی سیم‌ها بر هم افزایش می‌یابد و در اثر از بین رفتن عایق، خطر اتصال کوتاه حلقه‌ها به یکدیگر نیز وجود دارد.

ایمنی



بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

در شکل ۳۳ یک کلاف که به طور صحیح پیچیده شده و یک کلاف که به طور غلط پیچیده شده و حلقه‌های آن در هم است، مشاهده می‌کنید.



۳۳-۲- کلاف غلط



۳۳-۱- کلاف صحیح



شکل ۳۴- بستن کلاف‌های پیچیده شده روی قالب

۱۷- پس از اتمام کار سیم پیچی کلاف‌ها باید بازوهای کلاف‌ها را، با نخ یا سیم‌های مستعمل بست تا در هنگام جا زدن بازوها در داخل شیارها، رشته سیم‌های کلاف باز نشده و مزاحمتی ایجاد نکنند (شکل ۳۴).

۱۸- در این مرحله مهره کلاف پیچ را شل نموده و فک‌های کلاف پیچ را جمع کنید تا کلاف‌ها آزاد شوند سپس کلاف‌ها را به گونه‌ای تقسیم کنید که هر کلاف q پیچک داشته باشد و از کلاف پیچ جدا کنید.



شکل ۳۵



شکل ۳۶- کلاف مناسب

به این ترتیب که هر سمت کلاف را بین انگشت شست و انگشت نشانه دو دست قرار دهید و با حرکت انگشتان نشانه دو دست به طور متناوب به بالا و آن را در درون شیار قرار می‌دهیم. در ضمن باید با انگشت شست فشار بسیار کمی بر روی سیم‌ها وارد کرد. برای تمرین کردن شیوه انجام این کار ابتدا انگشتان خود را مطابق شکل ۳۷ طوری قرار دهید که انگشتان اشاره (سبابه) بر روی شست قرار گیرد و سه انگشت دیگر به کف دست بچسبند.



شکل ۳۷-۲ حالت دست در کلاف گذاری (۲)

۱۹- پس از سیم‌پیچی کلاف موتور مرحله جا زدن کلاف‌ها در شیارهای موتور است. جا زدن کلاف‌ها باید به ترتیب خاص و با حوصله و دقت کافی انجام شود تا سیم‌ها زخمی نشوند و کلاف‌ها در درون شیارها جای گیرند.

برای این کار باید استاتور را بر روی یک پایه مناسب قرار دهیم. سپس یکی از کلاف‌ها را طوری در دست بگیریم که دو سر کلاف به طرف راست باشد (شکل ۳۶).

پس از آن نوار با سیم نگهدارنده یک بازوی کلاف را به سمت چپ یا راست حرکت دهید تا تمام سیم‌های یک بازوی کلاف آزادانه در بین انگشتان قرار گیرند. آنگاه کلاف را به دقت به داخل استاتور می‌بریم و به آرامی شروع به قرار دادن سیم‌ها در داخل شیار استاتور کنید. معمولاً ضخامت یک کلاف از دهانه یک شیار بیشتر است. بازوی کلاف را نمی‌توان یک‌باره درون شیار قرار داد. به همین دلیل هادی‌های بازوی کلاف در دسته‌های چندتایی در درون شیار جای می‌گیرند.



شکل ۳۷-۱ حالت دست در کلاف گذاری (۱)

سپس مطابق شکل ۳۸ دو انگشت نشانه را به آهستگی به طرف پایین حرکت دهد. این حرکت برای تخت و صاف کردن بازویی از کلاف است که باید درون شیار جای گیرد و در شکل ۳۸ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که این عمل به همراه کلاف در داخل استاتور انجام گیرد.



بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز



شکل ۳۸-۲ مرتب کردن سیم‌ها جهت کلاف گذاری



شکل ۳۸-۱ طریقه در دست گرفتن کلاف

۲۰- جا زدن کلاف‌های موتور را خود تا تکمیل شدن تمامی شیارها باید ادامه داده و تمامی شیارهای استاتور را کامل کنید شکل (۳۹).



شکل ۳۹- جا زدن سیم پیچ

۲۱- هنگام جا زدن، با قرار دادن سیم‌ها در درون شیار استاتور، باید دقت داشت که مانند شکل ۴۰ الف یک یا چند حلقه از کلاف کشیده نشود یا به صورت متقاطع قرار نگیرد، زیرا در این صورت، علاوه بر اینکه زیبایی سیم پیچ از بین می‌رود، خطر پاره شدن یا اتصال کوتاه بین سیم‌ها نیز وجود دارد. در عین حال، زمان بیشتری صرف جا زدن بازوها در داخل شیار خواهد شد.



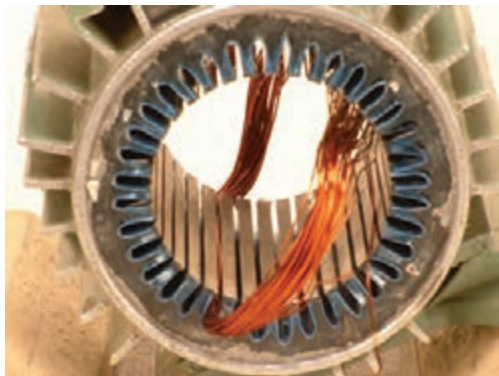
(ب) صحیح



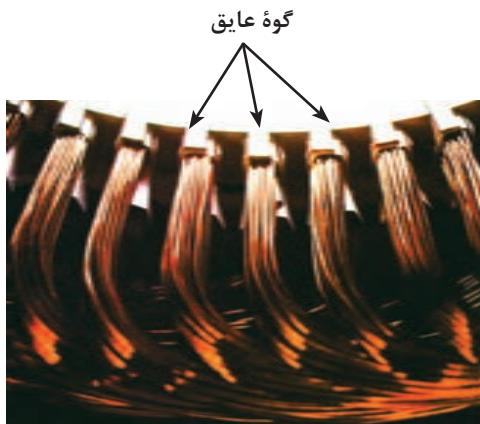
(الف) غلط

شکل ۴۰- جا زدن کلاف

۲۲- پس از جا زدن هر کلاف، برای اینکه برای کلاف‌های بعدی جا باشد و علاوه بر آن، در هنگام جا زدن و چرخیدن موتور نیز به سیم‌ها صدمه‌ای وارد نشود باید به کمک انگشتان شست و سبابه مانند شکل ۴۱ در دو محلی که کلاف از شیار خارج می‌شود، کلاف را به سمت خارج از استاتور فشار دهید تا کلاف در دو لبه شیار، تا خورده و فضای خالی مناسب برای کلاف‌های بعدی ایجاد شود.



شکل ۴۱- طریقه کلاف‌گذاری



شکل ۴۲- محکم کردن سیم‌ها در داخل شیار با گوه عایق

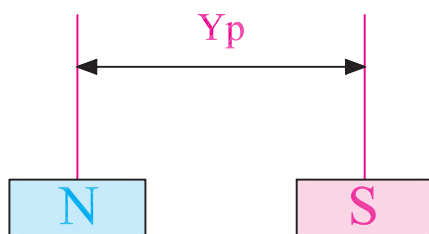
۲۳- پس از جا زدن کلاف‌ها در شیارهای استاتور باید روی سیم‌ها را با عایق‌های کاغذی یا گوه چوبی که به فرم فضای داخلی شیار در آمده پوشانده شود تا سیم‌ها در داخل شیار موتور کاملاً محکم شوند و از ارتعاش یا خارج شدن آنها جلوگیری شود (شکل ۴۲).

ادامه بازیچی سیم‌پیچی الکتروموتور از لحظه "۵۰:۴۲" تا "۰۱:۰۰:۰۶"

فیلم



## آشنایی با محاسبات، ترسیم دیاگرام و جداول سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز



شکل ۴۳- گام قطبی

برای اجرای سیم‌پیچی موتورهای سه‌فاز لازم است تا تعاریف و محاسبات اولیه آورده شود.

الف) تعداد شیار ( $Z$ ): تعداد شیارهای داخل پوسته موتور که قابل شمارش است.

ب) تعداد فازها ( $m$ ): تعداد فازهای شبکه برق

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

جدول ۲- تعداد قطب برای فرکانس ۵۰ Hz

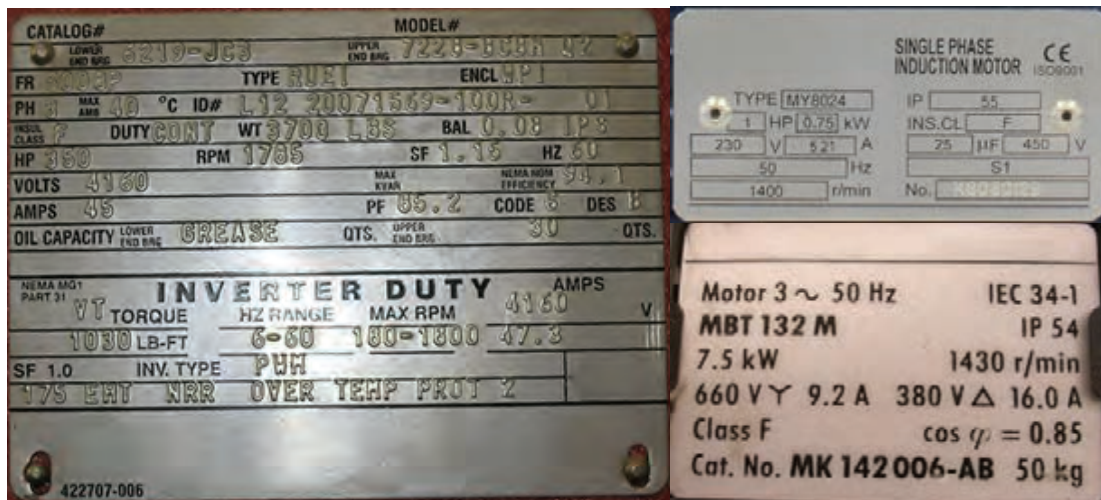
تعداد قطب (۲P)	سرعت سنکرون (rpm)
۲	۳۰۰۰ rpm
۴	۱۵۰۰ rpm
۶	۱۰۰۰ rpm
۸	۷۵۰ rpm
۱۰	۶۰۰ rpm
۱۲	۵۰۰ rpm

که به الکتروموتور اتصال داده می‌شود و اغلب برای تک‌فاز  $m=1$  و سه‌فاز  $m=3$  است.

(پ) **تعداد قطب‌های موتور (۲P):** تعداد قطب‌های الکتروموتور موتور معمولاً به صورت از پیش تعیین شده است. اما اگر مشخص نباشد می‌توان از روی سرعت روتور که روی پلاک حک شده است آن را تعیین کرد. همیشه از روی مقدار سرعت روتور که کمتر از سرعت سنکرون است می‌توان تعداد قطب موتور را به دست آورد (جدول ۲).

فعالیت

تعداد قطب الکتروموتورهای شکل ۴۴ را تعیین کنید.



شکل ۴۴- پلاک چند الکتروموتور

(ت) **گام قطبی ( $Y_p$ ):** تعداد شیارهایی از سطح استاتور که توسط یک قطب پوشانده می‌شود را گام قطبی گویند و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Y_p = \frac{Z}{2P}$$

(ث) **گام سیم پیچی ( $Y_z$ ):** عبارت است از فاصله بین دو بازوی یک کلاف برحسب تعداد شیار را گام سیم پیچی گویند.

روش به دست آوردن گام سیم پیچی در سیم بندی های مختلف متفاوت است. در قسمت های بعد با آن آشنا خواهید شد.

هـ) تعداد شیار در هر قطب از هر فاز (q): اصطلاحاً به حداقل تعداد کلاف ها برای ایجاد یک جفت قطب متناسب با تعداد فازهای جریان متناوب را گویند و از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$q = \frac{z}{2p.m}$$

د) زاویه الکتریکی بین دو شیار مجاور هم ( $\alpha_{ez}$ ): اختلاف فاز الکتریکی هر شیار با شیار مجاور را زاویه الکتریکی شیارها گفته و از رابطه زیر تعیین می شود.

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 360}{z}$$

ذ) شیار شروع فازها: چون شروع فازها نسبت به هم  $120^\circ$  درجه الکتریکی اختلاف فاز دارند لذا شروع کلاف های هر فاز نسبت به فاز دیگر  $120^\circ$  درجه اختلاف فاز مکانی دارند که بر اساس روابط زیر می توان محاسبه کرد.

۱ = شروع فاز اول

$$1 + \frac{120}{\alpha_{ez}} = \text{شروع فاز دوم}$$

$$1 + \frac{240}{\alpha_{ez}} = \text{شروع فاز سوم}$$

ر) تعداد کلاف های هر فاز ( $\gamma_m$ ): تعداد کلاف ها در هر فاز را با  $\gamma_m$  نشان می دهند و به صورت زیر می توان محاسبه کرد.

$$\gamma_m = \frac{Z \times t}{2m}$$

t- تعداد طبقات سیم پیچی (سیم پیچی موتورهای سه فاز به صورت یک یا دو طبقه هستند).

محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم پیچی از لحظه  $41':50''$  تا  $44':55''$

فیلم

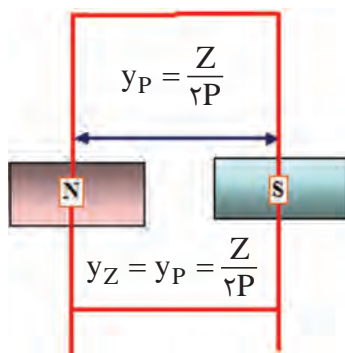


## انواع روش های سیم پیچی موتورهای سه فاز

موتورهای الکتریکی سه فاز در قالب یکی از دو نوع ۱- گام کامل و ۲- گام کسری سیم پیچی می شوند که در اینجا به تفکیک هر یک مورد بررسی قرار می گیرد.

### سیم پیچی گام کامل

اگر در سیم پیچی ابتدا و انتهای یک کلاف  $180^\circ$  درجه الکتریکی اختلاف فاز رعایت شود و نیروی محرکه القایی بازوهای رفت و برگشت کلافها جمع جبری شوند سیم بندی را گام کامل گویند. در این سیم بندی تعداد شیارهای موجود بین رفت و برگشت هر کلاف  $y_p$  شیار خواهد بود. در این سیم پیچی گام سیم پیچی



شکل ۴۵- گام قطبی (گام کامل)

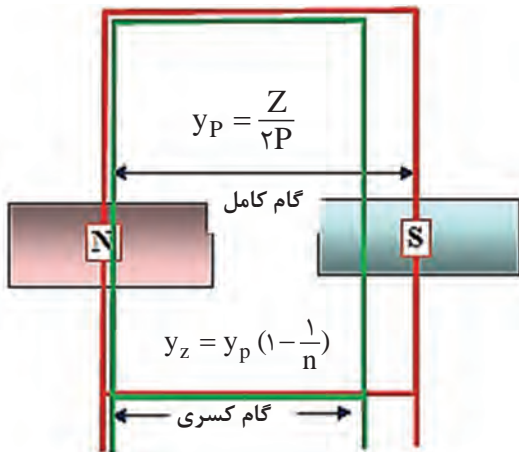


$$y_z = y_p = \frac{Z}{2P}$$

با گام قطبی برابر است و از رابطه روبه‌رو می‌توان محاسبه کرد. در موتورهای الکتریکی اگر شار مغناطیسی در سطح استاتور به طور سینوسی و یکنواخت توزیع شود کارکرد موتور بسیار مطلوب خواهد شد ولی در عمل به علت‌های مختلف از قبیل عکس‌العمل میدان روتور، پسماند مغناطیسی و تجمع خطوط میدان در نوک تیز شیارها، باعث می‌شود که شار مغناطیسی در سطح استاتور از حالت سینوسی و یکنواخت خارج و کارکرد موتور از یکنواختی خارج شده و ضمن لرزش، با سروصدا همراه شود. به این دلیل راندمان و عمر موتور کاهش می‌یابد. هر موج سینوسی متناوب از یکسری ریزموج‌ها تشکیل شده است که اصطلاحاً به این ریزموج‌ها «هارمونی - هارمونیک» گفته می‌شود. بر پایه تحقیقات به عمل آمده مشخص شده که دلیل عدم کارکرد یکنواخت و دارای سروصدا بودن موتورهای سه‌فاز در برخی موتورهای هارمونی‌ها هستند. ریزموج‌ها مضارب زوج و فرد از موج اصلی است. ریزموج‌های فرد که فرکانس آنها مضربی از موج اصلی است مانند هارمونی سوم و پنجم و هفتم و ... در موتورهای الکتریکی بیشتر باعث غیریکنواختی میدان مغناطیسی می‌شود.

### سیم پیچی گام کسری

اگر در سیم پیچی ابتدا و انتهای یک کلاف کمتر از  $180^\circ$  درجه الکتریکی اختلاف فاز داشته باشد سیم‌بندی با «گام کسری» گفته می‌شود. در گام کسری نیروی محرکه‌های الکتریکی بازوی‌های کلاف‌ها جمع‌برداری می‌شوند (شکل ۴۶). چون جمع‌برداری از جمع جبری کمتر است بنابراین نیروی محرکه موتور در سیم‌بندی گام کسری کاهش می‌یابد و توان موتور کمتر می‌شود. به همین خاطر برای جبران کاهش نیروی محرکه، تعداد دور کلاف‌های موتور را به تناسب کوتاهی گام تقویت می‌کنند. در این سیم پیچی گام سیم پیچی را از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد.



شکل ۴۶- مقایسه سیم‌بندی گام کامل و گام کسری

$$y_z = y_p \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

### خصوصیات سیم پیچی گام کسری

در کنار معایبی که برای سیم‌بندی گام کسری بیان شد، می‌توان به مزایای این نوع سیم پیچی اشاره کرد که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

#### ۱- امکان حذف هارمونی مزاحم

برای حذف هارمونی سوم گام سیم پیچی یک سوم و برای حذف هارمونی پنجم سیم پیچی یک پنجم و برای حذف هارمونی  $n$ ام،  $\frac{1}{n}$  گام را کسری می‌پسند.

$n$ - شماره هارمونی است که در سیم پیچی گام کسری هدف حذف آن است.

#### ۲- کاهش تلفات و هزینه ساخت موتور

در سیم‌بندی گام کسری پیشانی کلاف‌ها کوتاه‌تر می‌شود در نتیجه سیم مصرفی کاهش یافته، موتور سبک‌تر

شده، تلفات حرارتی کاهش یافته و هزینه ساخت موتور کاهش می‌یابد.

### ۳- افزایش راندمان موتور

همان‌گونه که اشاره شد در سیم‌پیچی، صرف سیم کاهش می‌یابد و در نتیجه با کاهش تلفات حرارتی راندمان موتور افزایش می‌یابد.

### ۴- افزایش عمر موتور

با کاهش گام سیم‌پیچی و حذف هارمونیک‌های مزاحم، لرزش‌های موتور کاهش یافته و عمر موتور افزایش می‌یابد.

## جدول سیم‌پیچی

ترسیم جدول سیم‌پیچی، رسم دیاگرام سیم‌پیچی را ساده‌تر می‌کند و نشان می‌دهد که در هر شیار سیم‌های کدام فاز قرار گرفته است و کدام شیارها توسط یک فاز اشغال می‌شوند. تعداد ستون‌های جدول، برابر تعداد فازها و تعداد سطرهای جدول برابر تعداد قطب‌ها است. هر ستون جدول به  $q$  قسمت تقسیم می‌شود و شروع

فاز اول از شیار ۱، شروع فاز دوم از شیار  $1 + \frac{120}{\alpha_{ez}}$  و شروع فاز سوم از شیار  $1 + \frac{240}{\alpha_{ez}}$  انجام می‌شود.

جدول سیم‌پیچی به دو صورت جدول عملی و جدول علمی ترسیم می‌شود.

در جدول علمی حروف سرهای موتور در فاز دوم و سوم جابه‌جا شده و طبق توضیحات داده شده و براساس مقادیر محاسبه شده برای  $q$  و  $Y_p$  و  $Y_z$  از عدد یک تا آخرین شماره شیار در داخل ستون‌های جدول به‌طور متوالی پشت سر هم نوشته می‌شوند. اعداد هر سطر با اعداد سطر بالایی به اندازه  $Y_p$  یعنی یک گام قطبی فاصله دارند (شکل ۴۷).

m \ $\tau_p$	$U_1, U_r$	$W_1, W_r$	$V_1, V_r$
N			
S	$Y_p$		$Y_p$
N		$Y_p$	
S			

$q=2, \tau_p=4, m=3$

m \ $\tau_p$	$U_1, U_r$	$V_1, V_r$	$W_1, W_r$
N			
S	$Y_p$		$Y_p$
N		$Y_p$	
S			

$q=3, \tau_p=4, m=3$

شکل ۴۷- تشکیل جدول علمی و عملی

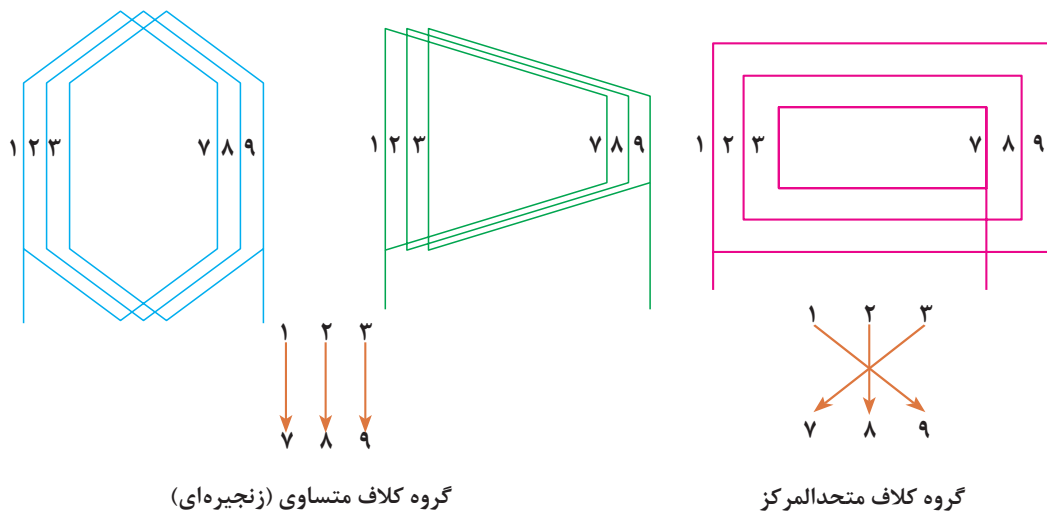
## دیاگرام سیم‌پیچی

دیاگرام سیم‌پیچی نقشه و مسیر سیم‌پیچی الکتروموتور است که به شکل‌های مدور (دایره‌ای) یا گسترده رسم می‌شود. این دیاگرام‌ها ممکن است به صورت کلاف مساوی یا متحدالمرکز باشند، در سیم‌بندی کلاف

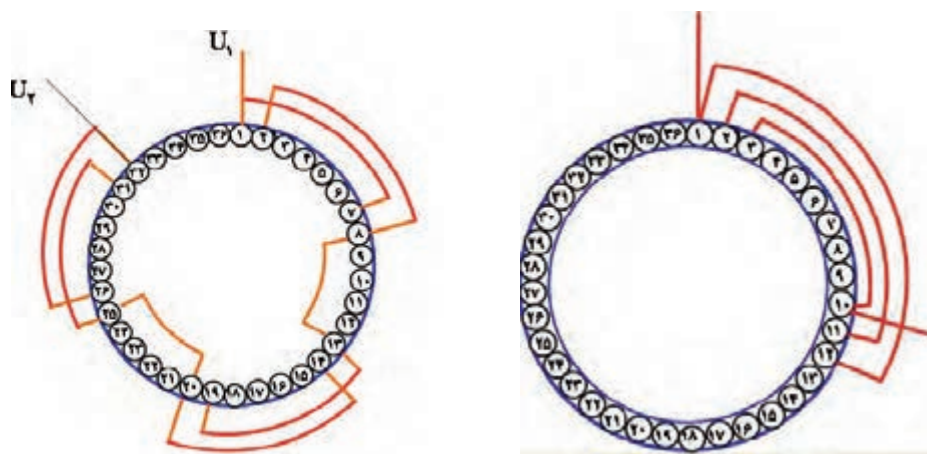
بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

مساوی گام سیم بندی همه کلاف ها یکسان هستند ولی گام کلاف های سیم پیچی متحدالمرکز برابر نیستند (شکل ۴۸).

**توجه:** معمولاً سیم پیچی متحدالمرکز برای الکتروموتورهای یک فاز استفاده می شود.



شکل ۴۸- دیاگرام گسترده کلاف مساوی



شکل ۴۹- دیاگرام مدور کلاف مساوی و متحدالمرکز

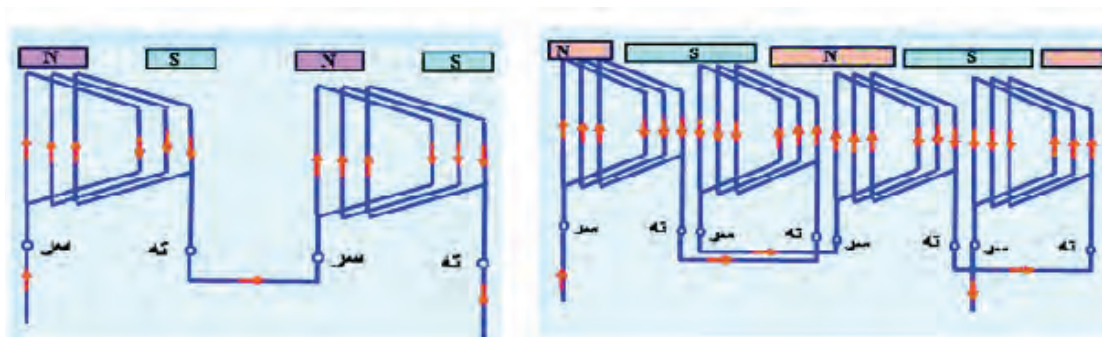
حالت و فرم کلاف سیم پیچی از لحظه "۴۵':۰۰" تا "۴۶':۴۰"



### سیم پیچی موتورهای یک طبقه

در سیم پیچی یک طبقه در هر شیار یک بازو از هر گروه کلاف مربوط به هر فاز قرار می گیرد. سیم پیچی موتورهای الکتریکی تعداد گروه کلاف های هر فاز با G نشان داده می شود. نوع سیم پیچی ها دو حالت در نظر

گرفته می‌شود. در حالت اول تعداد گروه کلاف‌ها در هر فاز برابر تعداد نصف قطب‌ها می‌باشد. این نوع سیم‌پیچی را سیم‌پیچی به ازای زوج قطب ( $G=P$ ) می‌گویند. در این حالت سربندی کلاف‌ها با اتصال نزدیک صورت می‌گیرد، به این نوع اتصال اصطلاحاً اتصال **سر به ته یا ته به سر** گفته می‌شود. بیشتر موتورها در سیم‌پیچی یک طبقه به ازای زوج قطب سیم‌پیچی می‌شوند. در حالت دوم تعداد گروه کلاف‌ها در هر فاز برابر تعداد قطب‌ها می‌باشد، این نوع سیم‌پیچی، سیم‌پیچی به ازای قطب ( $G=2P$ ) گفته می‌شود. در این حالت سربندی کلاف‌ها با اتصال دور صورت می‌گیرد، به این نوع اتصال اصطلاحاً اتصال **سر به سر یا ته به ته** گفته می‌شود. بیشتر موتورها در سیم‌پیچی دو طبقه به ازای قطب سیم‌پیچی می‌شوند. در شکل‌های ۵۰ به ازای زوج قطب و به ازای قطب و طریقه سربندی آنها نشان داده شده است.



$G=P$  سیم‌بندی به ازای زوج قطب، اتصال نزدیک  
(سر به ته، ته به سر)

$G=2P$  سیم‌بندی به ازای قطب، اتصال نزدیک  
(سر به سر، ته به ته)

شکل ۵۰- سیم‌بندی به ازای قطب و زوج قطب اتصال دور و نزدیک

**مثال** - استاتور یک موتور ۳۶ شیار ۴ قطب را در نظر گرفته و محاسبات رسم دیاگرام موتور به صورت یک طبقه گام کامل را نوشته و رسم کنید.

$$Z=36, 2P=4, Y_Z=Y_P$$

$$Y_P = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{4} = 9$$

$$Y_Z = Y_P = 9$$

$$\alpha_{eZ} = \frac{P \times 360}{Z} = \frac{2 \times 360}{36} = 20$$

$$q = \frac{Z}{2P \times m} = \frac{36}{4 \times 3} = 3$$

$$1 = \text{شروع فاز اول}$$

$$1 = \text{شروع فاز دوم} = 1 + \frac{120}{\alpha_{eZ}} = 1 + \frac{120}{20} = 7$$

$$13 = \text{شروع فاز سوم} = 1 + \frac{240}{20}$$



بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

جدول سیم پیچی: برای ترسیم جدول سیم پیچی باید به تعداد فازها ستون و به تعداد قطبها ردیف باز کنید و هر ستون را به  $q$  قسمت تقسیم کرد.

جدول عملی سیم پیچی

$m$ $2p$	$U_1, U_2$	$W_1, W_2$	$V_1, V_2$
N			
S			
N			
S			

$m$ $2p$	$U_1, U_2$	$W_1, W_2$	$V_1, V_2$
N	۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹		
S			
N			
S			

اعداد را از شروع فازها به اندازه  $q$  پشت سر هم می نویسیم.

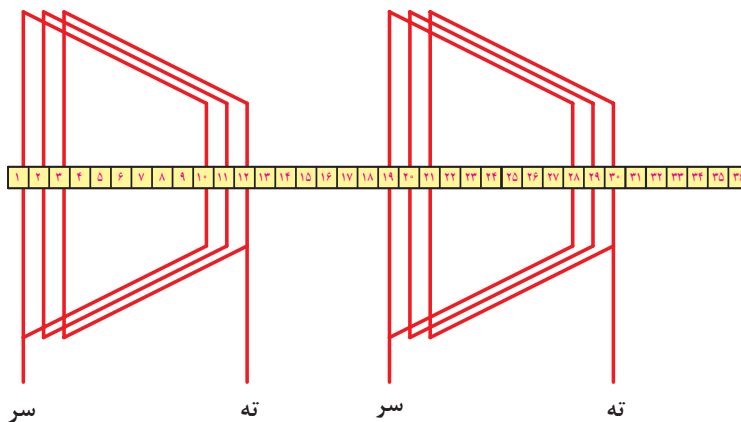
$m$ $2p$	$U_1, U_2$	$w_1, w_2$	$V_1, V_2$
N	۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹		
$yp_s$	۱۰ ۱۱ ۱۲ ۱۳ ۱۴ ۱۵ ۱۶ ۱۷ ۱۸		
N	۱۹ ۲۰ ۲۱ ۲۲ ۲۳ ۲۴ ۲۵ ۲۶ ۲۷		
S	۲۸ ۲۹ ۳۰ ۳۱ ۳۲ ۳۳ ۳۴ ۳۵ ۳۶		

خانه های جدول را تا آخرین شماره شیار به ترتیب کامل می کنیم.

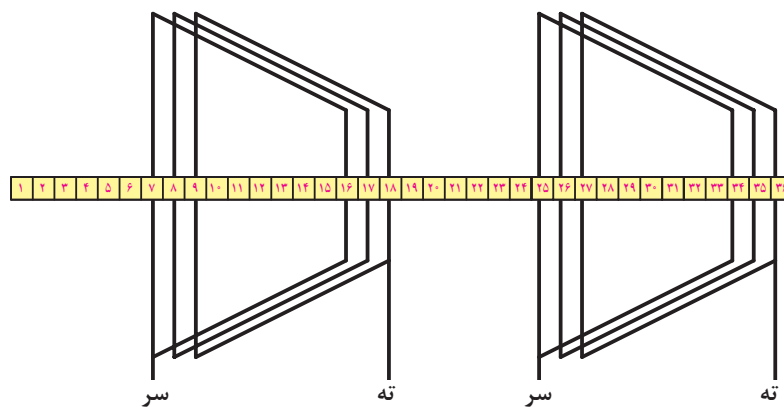
شکل ۵۱- تکمیل جدول سیم بندی

خانه های ردیف های پایین را به فاصله یک گام قطبی کامل کنید.

بر پایه اعداد محاسبه شده در جدول سیم پیچی، دیاگرام گسترده کلاف های فاز اول موتور به صورت شکل ۵۲ رسم می شود.

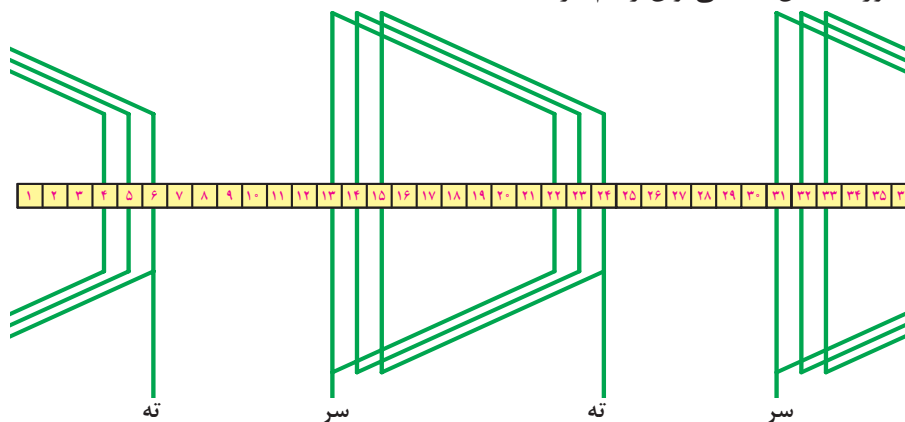


به همین ترتیب با توجه به اعداد محاسبه شده در جدول سیم‌پیچی، دیاگرام گسترده کلاف‌های فاز دوم موتور را به صورت شکل ۵۳ می‌توان رسم کرد.



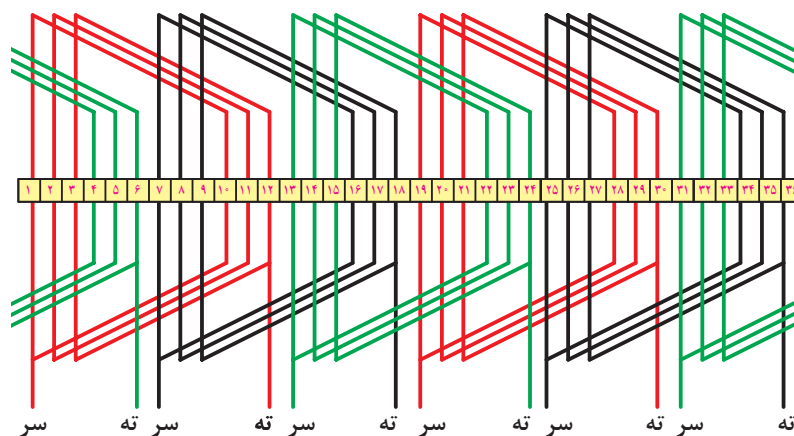
شکل ۵۳- فاز دوم

به همین ترتیب با توجه به اعداد محاسبه شده در جدول سیم‌پیچی، دیاگرام گسترده کلاف‌های فاز سوم موتور را به صورت شکل ۵۴ می‌توان رسم کرد.



شکل ۵۴

در شکل ۵۵ دیاگرام گسترده تکمیل شده موتور مشاهده می‌شود.



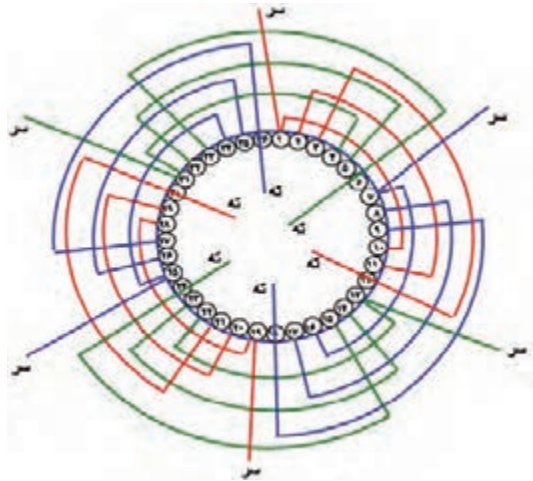
شکل ۵۵

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

شکل ۵۵ دیاگرام گسترده، کلاف مساوی با گام کامل سیم‌بندی، در هر فاز دو گروه کلاف ۳ پیچکی قرار دارد  $q=3$

### دیاگرام مدور (دایره‌ای):

دیاگرام دایره‌ای در شکل ۵۶ نشان داده شده است.



استفاده از جدول برای ترسیم دیاگرام از لحظه  $46:40''$  تا  $48:42''$

فیلم



ترسیم نقشه‌های سیم‌پیچی سه‌فاز از لحظه  $48:44''$  تا  $50:40''$

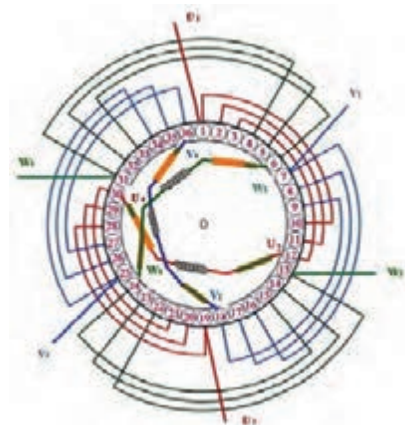
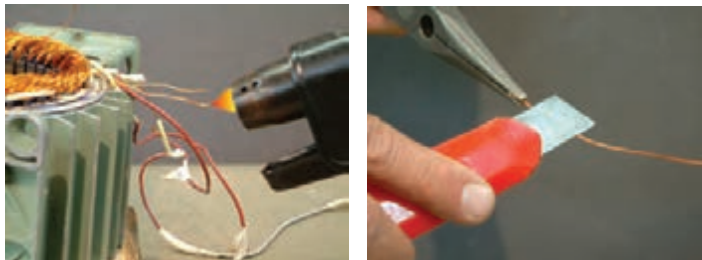
فیلم



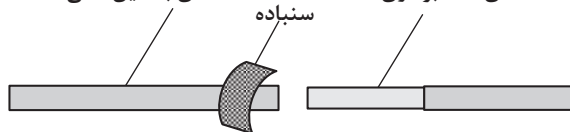
شکل ۵۶- دیاگرام مدور، کلاف مساوی با گام کامل سیم‌بندی

## مرحله ۳: بازپیچی موتور

۲۴- با توجه به نقشه سربندی سر و ته کلاف‌ها را در هر فاز پیدا کرده و لاک سرسیم‌ها را به اندازه ۲ سانتی‌متر پاک کنید. این کار را می‌توان با کاتر تراش داد یا در حلال لاک قرار داد یا با شعله سوزاند. سپس یک سر را از وارنیش عبور دهید. با دقت زیاد محل لاک‌برداری شده، سرسیم‌ها به اندازه ۱ الی ۱/۵ سانتی‌متر روی هم بپیچید و لحیم‌کاری کنید و وارنیش را به محل لحیم‌کاری هدایت کنید تا وارنیش کاملاً محل لحیم‌کاری را بپوشاند. ابتدا و انتهای هر فاز را به سیم افشان اتصال داده و پس از لحیم‌کاری و گذراندن آنها از وارنیش به جعبه اتصال (تخته کلم) هدایت کنید. مراحل انجام کار مطابق شکل ۵۷ است.



سنباده هادی با عایق لاک



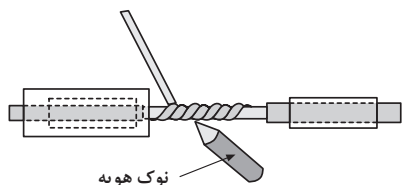
روکش برداری



قرار دادن وارنیش‌ها

سرسیم‌های تابیده شده



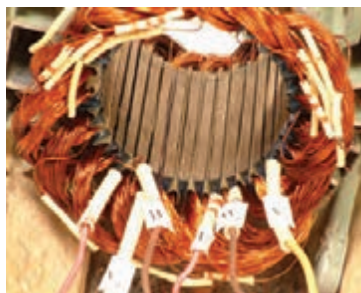


نوک هویه

لحیم کاری قسمت تابیده شده



پوشش محل لحیم کاری شده با وارنیش



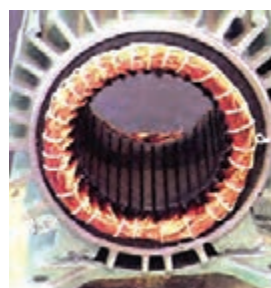
اتصال سیم افشان به سرفازها  
و نام گذاری آنها



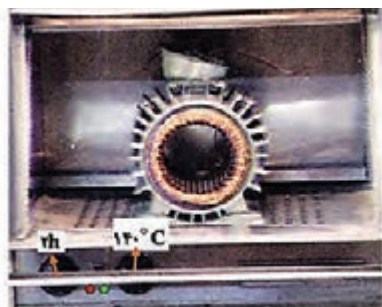
هدایت سیم فازها به تخته کلم

شکل ۵۷- عایق برداری، سربندی، وارنیش گذاری، لحیم کاری و هدایت سیمها به تخته کلم

۲۵- برای جمع بندی سیمها و محکم کردن آنها را نخ بندی می کنند. در نخ بندی از نخ مخصوص سیم پیچی یا کنف استفاده می شود (شکل ۵۸).



شکل ۵۸- نخ بندی سیم پیچی موتور



شکل ۵۹- قرار دادن استاتور در کوره حرارتی برای گرفتن  
رطوبت سیمها

۲۶- پس از نخ بندی استاتور در کوره حرارتی قرار می دهیم تا به مدت حدود ۲ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس رطوبت سیمها گرفته شود (شکل ۵۹).

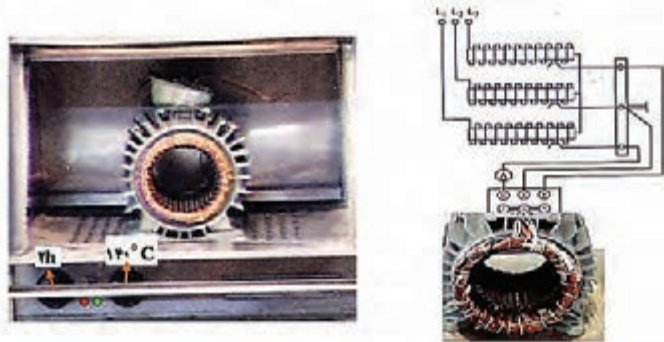


شکل ۶۰- شارلاک زدن سیم پیچی استاتور

۲۷- برای افزایش خاصیت عایقی سیمها و یک پارچه شدن آنها، روی سیمها شارلاک می ریزند. شارلاک باید به اندازه رقیق باشد، که بتواند در داخل سیمها کاملاً نفوذ کند. ضمناً از خاصیت عایقی خوب برخوردار باشد. برای شارلاک زدن بهتر است استاتور را بر روی یک وان مطابق شکل ۶۰ قرار داده، سپس شارلاک را از هر دو طرف بر روی سیمها ریخته تا از هر قسمت موتور، سیمها به حد کافی شارلاک دریافت کنند.

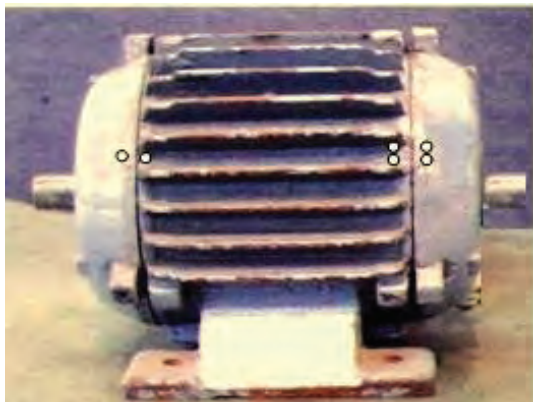
بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

۲۸- با قرار دادن استاتور شارلاک خورده در کوره حرارتی یا با اتصال سیم‌ها خروجی به ولتاژ حدود نصف ولتاژ نامی و عبور جریان الکتریکی و گرم شدن سیم‌ها، شارلاک را خشک می‌کنند (شکل ۶۱).



شکل ۶۱- خشک کردن شارلاک سیم پیچی استاتور

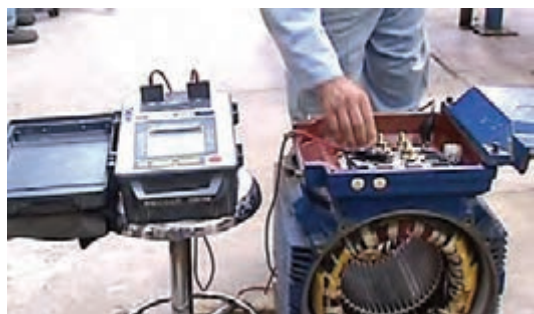
۲۹- پس از خشک شدن شارلاک سیم پیچی، روتور و درپوش‌ها را بر روی استاتور سوار کنید و با توجه به نوع اتصال که در پلاک موتور نوشته شده، اتصال ستاره یا مثلث را برقرار کنید ابتدا اتصال بدنه موتور را آزمایش کنید. در صورت نداشتن اتصال بدنه، موتور را به تابلوی برق وصل کنید. سپس جریان و دور موتور را اندازه‌گیری کنید (شکل ۶۲).



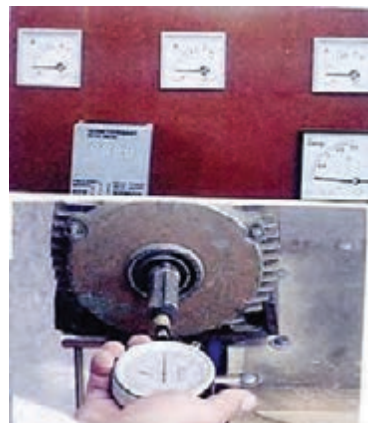
جمع کردن موتور



اتصال ستاره موتور



آزمایش تست بدنه موتور با دستگاه میگر



اتصال موتور به تابلو برق و اندازه‌گیری جریان فازها و دور موتور

شکل ۶۲- آزمایش موتور سیم پیچی شده



فیلم



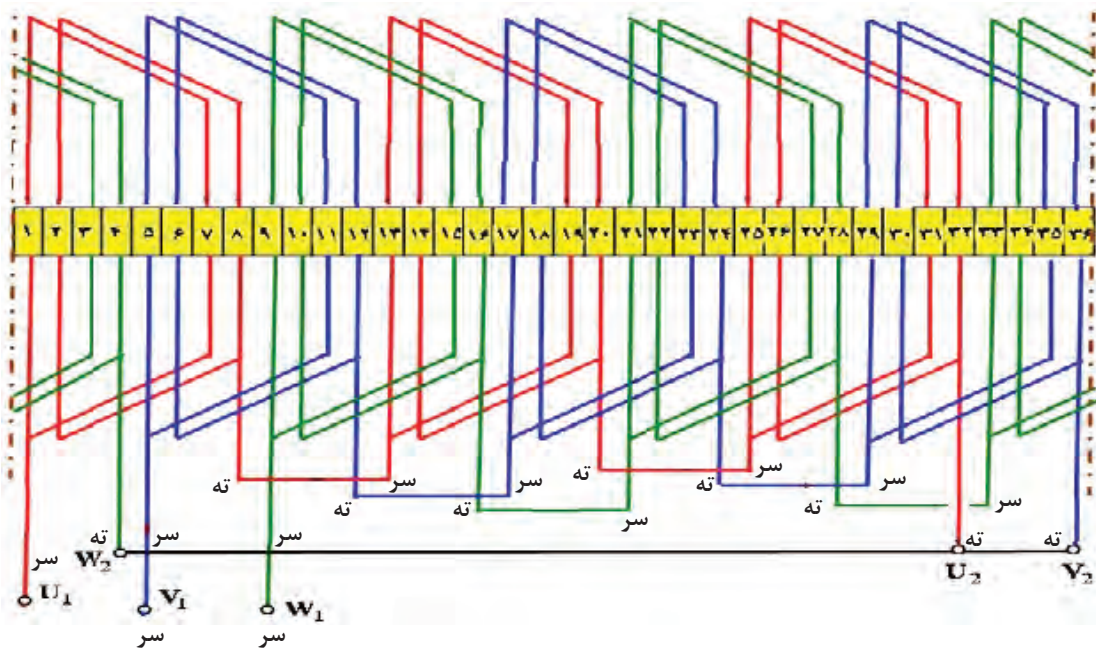
فیلم



سربندی کلاف‌ها از لحظه  $01:00:12''$  تا  $01:07:50''$

مراحل نهایی سیم‌پیچی از لحظه  $01:08:43''$  تا  $01:12:13''$

پس از جا زدن همه سیم‌پیچ‌ها باید کلاف‌ها را سربندی کرد. چون سیم‌بندی موتور به ازای جفت قطب است ( $G=P$ )، لذا سربندی موتور باید به صورت اتصال نزدیک انجام شود (ته به سر، سر به ته) این سربندی در دیاگرام شکل ۶۳ نشان داده شده است.



شکل ۶۳- دیاگرام سربندی کلاف‌ها

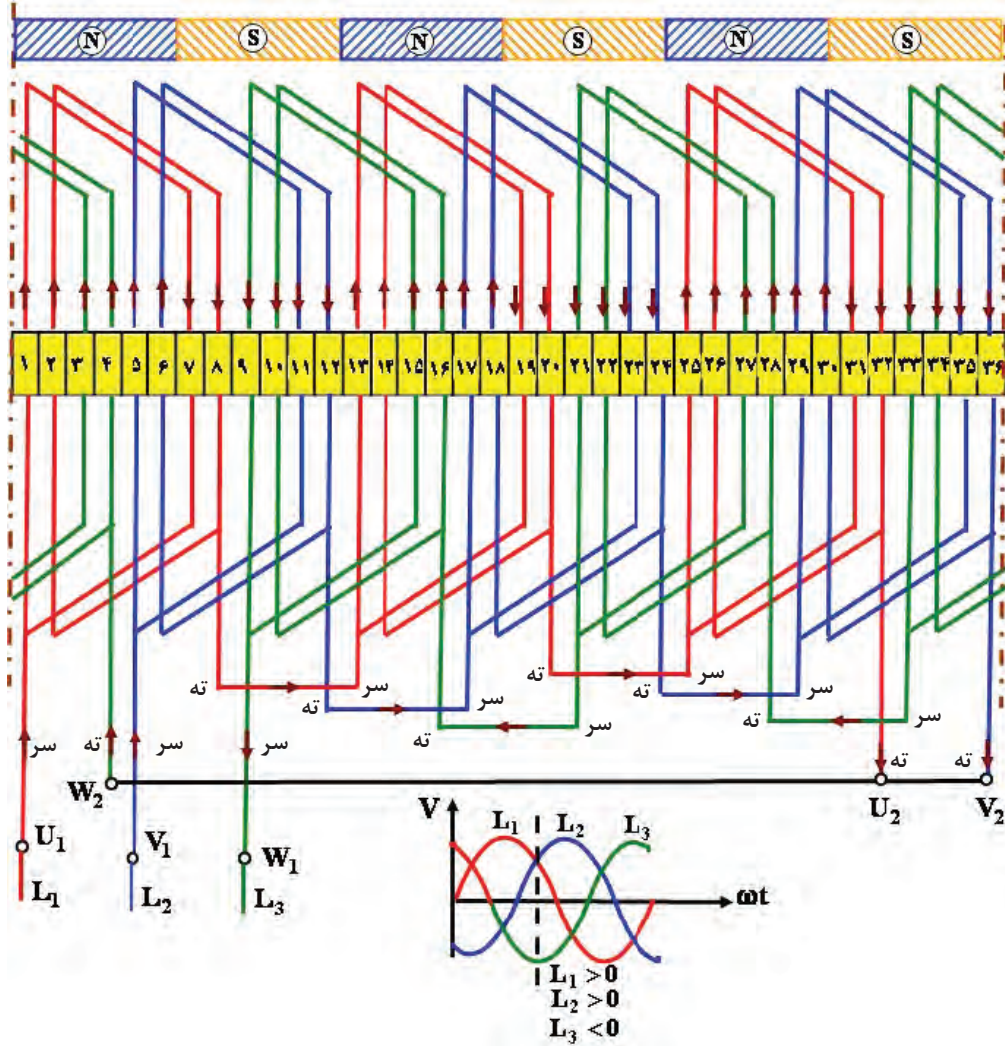
همان‌گونه که اشاره شده است زمانی می‌توان سربندی را درست دانست که با اعمال فازها و تحلیل جریانی مدار سیم‌پیچ‌ها در یک لحظه خاص از موج سه‌فاز، قطب‌سازی موتور به همان تعداد قطب تعریف شده در موتور برسد.

تشکیل قطب در لحظه‌ای که فاز اول و دوم مثبت و فاز سوم منفی است در شکل ۶۴ ترسیم شده است و در شکل ۶۵ دیاگرام دایره‌ای ترسیم شده است.

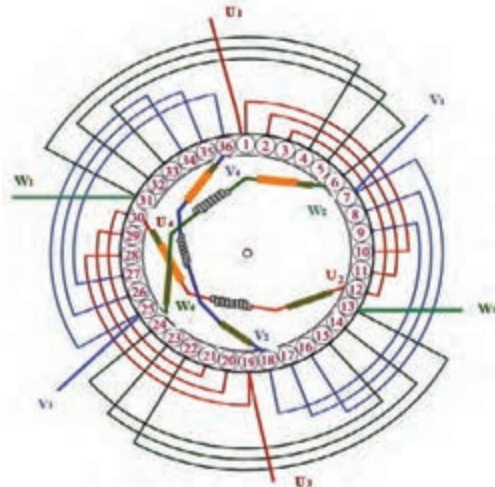
### سؤال

سیم‌پیچی الکتروموتور از روی دیاگرام چند قطب است؟

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز



شکل ۶۴- سربندی کلاف‌ها در دیاگرام گسترده و تشکیل قطب‌ها در موقعیت  $L_1 > 0$  ,  $L_2 > 0$  ,  $L_3 < 0$



شکل ۶۵- سربندی کلاف‌ها در دیاگرام مدور



شکل ۶۶- قرار گرفتن اولین گروه کلاف در شیارهای استاتور

در تصاویر شکل‌های ۶۶ تا ۷۱ مراحل جا زدن گروه کلاف‌های موتور نشان داده شده است. اولین گروه کلاف را در داخل شیارهای ۱،۲،۳ و ۱۰،۱۱،۱۲ قرار دهید (شکل ۶۶).



شکل ۶۷- قرار گرفتن دومین گروه کلاف در شیارها

گروه کلاف دومی را در شیارهای ۷،۸،۹ و ۱۶،۱۷،۱۸ قرار دهید (شکل ۶۷).



شکل ۶۸- قرار گرفتن سومین گروه کلاف در شیارها

گروه کلاف سومی را در شیارهای ۱۳،۱۴،۱۵ و ۲۲،۲۳،۲۴ قرار دهید (شکل ۶۸).



پودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز



باتوجه به دیاگرام سیم‌بندی، گروه کلاف‌های بعدی را مطابق روال فوق در داخل شیارها قرار دهید تا به آخرین گروه کلاف برسید. در این حالت بازوهای قرارگرفته شده در شیارهای ۱،۲،۳ را درآورده و به روی سیم‌ها خم کنید (شکل ۶۹).

شکل ۶۹- درآوردن بازوهای ۱،۲،۳ برای قرار دادن کلاف آخر



گروه کلاف آخر در شیارهای ۳۳،۳۲، ۳۱ و ۶، ۵، ۴ قرار دهید.

شکل ۷۰- قرار گرفتن آخرین گروه کلاف در شیارهای استاتور



پس از جا زدن بازوهای کلاف آخر حال بازوهای ۱،۲،۳ را به جای اولیه برگردانید.

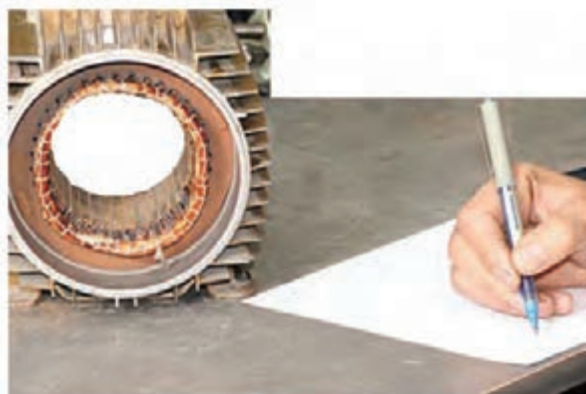
شکل ۷۱- برگرداندن بازوهای ۱،۲،۳ به جای اول خود



**هدف:** محاسبه، ترسیم دیاگرام و سیم‌پیچی موتور آسنکرون سه‌فاز (۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب) به‌ازای جفت قطب به‌صورت یک طبقه زنجیری

### وسایل مورد نیاز:

- پوسته استاتور ۲۴ شیار یا ۳۶ شیار یک عدد خالی از سیم‌پیچی
- استاتور نگهدار یک عدد
- کلاف پیچ یک عدد
- قالب کلاف مساوی یک عدد
- سیم لاکه با قطر مورد نیاز موتور
- سیم افشان نمره ۱ یا ۱/۵، ۲ متر
- هویه یک عدد
- روغن لحیم
- سیم لحیم با قلع ۵۰٪ یا ۶۰٪
- عایق پرشمان ۵/۰ و ۳۵/۰ از هر کدام یک برگ
- وارنیش با نمره‌های مورد نیازسیم‌ها
- تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی
- آچار تخت و آچار رینگی و آچار بوکس هر کدام یک ست کامل
- انبر دست یک عدد
- پیچ‌گوشتهی تخت و چارسو کوچک متوسط و بزرگ هر کدام یک عدد
- دم‌باریک یک عدد
- سیم‌چین یک عدد
- سیم‌لخت‌کن یک عدد
- چاقو یا کاتر یک عدد
- سنباده نرم یک برگ
- نخ موتور پیچی یا کنف یک کلاف
- خط‌کش یک عدد
- کولیس یک عدد
- میکرومتر یک عدد
- چکش پلاستیکی یک عدد
- دورسنج موتور یک عدد
- رعایت نکات ایمنی و بهداشتی:**
- صندلی و میز کار مناسب
- لباس کار سالم
- کفش ایمنی



- پاک بودن محیط کار و بدنه استاتور از هرگونه چربی، روغن و سایر آلاینده‌ها
- دستکش یک دست کامل.
- دقت کافی و حوصله زیاد.
- نبودن ابزار و وسایل غیرضروری در روی میز کار.
- استاتور یک موتور ۳۶ شیار یا ۲۴ شیار را تحویل گرفته و تحت نظارت مربی خود محاسبات، رسم دیاگرام موتور به صورت یک طبقه گام کامل (به‌ازای جفت قطب) ۴ قطب نوشته و رسم کنید.

### سیم پیچی یک طبقه به ازای قطب (G=۲P)

در سیم‌پیچی یک طبقه به ازای قطب که با گام کسری پیچیده می‌شوند سیم‌پیچی هر فاز در سطح استاتور پخش می‌شود و وضعیت خوبی از نظر تهویه حاصل می‌شود چون در این سیم‌پیچی  $G=۲P$  می‌باشد اتصال کلاف‌ها اتصال دور خواهد بود. این سیم‌پیچی با یک موتور ۲۴ شیار که پلاک آن مطابق شکل ۷۲ است. لغزش ۴٪ کار می‌کند ( $S=۴\%$ ) شروع می‌کنیم.

<b>Style: AE-507-2</b>	<b>Frame : B3-12346</b>	<b>kw یا Hp 2Hp</b>	<b>Ph 3~</b>
<b>R.P.M 1440</b> یا <b>NO.Poles</b>	<b>Cycles 50Hz</b> یا <b>c.p.s</b>	<b>Volts 380/220</b>	<b>Amps 4A</b>
<b>Deg c یا T 50 ° C</b> <b>Rise</b>	<b>Hours 8 h</b> <b>Time</b>	<b>Code:12T-7KGH</b>	<b>S.F(Amps)</b>
<b>Service Factor</b>	<b>Housing</b>	<b>Type SHAHIN</b>	<b>Seria 10-21-15678</b>
<b>Type CLASS :F</b>	<b>Z.S 24</b>	<b>MOTEG</b>	<b>η=%80</b>
<b>Pitch 1-6</b>	<b>IP44 حفاظت</b>	<b>0.80 قطر سیم</b>	<b>.COSφ : 0.78</b>

شکل ۷۲- پلاک موتور ۲۴ شیار

### ۱- محاسبات سیم‌پیچی

$$Z = ۲۴, n_r = ۱۴۴۰ \text{ R.P.M}, f = ۵۰ \text{ Hz}, I = ۴ \text{ A}, \frac{۳۸۰ \text{ V}}{۲۲۰ \text{ V}}$$

$$P_r = ۲ \text{ HP} = ۲ \times ۷۴۶ = ۱۴۹۲ \text{ W}, m = ۳, \eta = ۸۰\% \quad d = ۰/۸۰ \text{ mm}, \text{COS}\phi = ۰/۷۸$$

$$N_r = N_s(1-S) \rightarrow N_s = \frac{N_r}{1-S} = \frac{۱۴۴۰}{1-۰/۰۴} = ۱۵۰۰ \text{ R.P.M}$$

$$N_s = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P} \rightarrow ۲P = \frac{f \times ۱۲۰}{N_s} = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۱۵۰۰} = ۴$$

$$Y_p = \frac{Z}{۲P} = \frac{۲۴}{۴} = ۶$$

در موتورهای یک طبقه به ازای قطب، کسری گام اغلب برابر نصف  $q$  می باشد.

$$q = \frac{Z}{2P \times m} = \frac{24}{4 \times 3} = 2$$

$$\alpha_{eZ} = \frac{p \times 36^\circ}{Z} = \frac{2 \times 36^\circ}{24} = 3^\circ$$

$$Y_Z = Y_P - \frac{q}{2} = 6 - \frac{2}{2} = 5$$

شروع فاز اول = ۱

$$\text{شروع فاز دوم} = 1 + \frac{12^\circ}{\alpha_{eZ}} = 1 + \frac{12^\circ}{3^\circ} = 5$$

$$\text{شروع فاز سوم} = 1 + \frac{24^\circ}{3^\circ} = 9$$

$2p$ \ m	$U_1, U_2$		$w_1, w_2$		$V_1, V_2$	
N	1	24	3	2	5	4
$Y_P$						
S	7	6	9	8	11	10
N	13	12	15	14	17	16
S	19	18	21	20	23	22

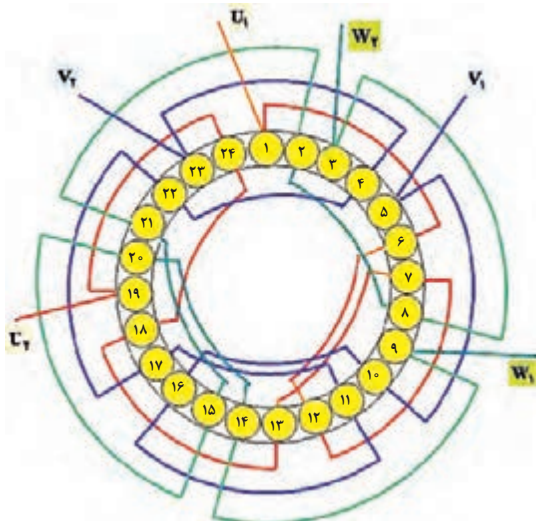
شکل ۷۳- تشکیل جدول

## ۲- تشکیل جدول

تشکیل جدول در سیم بندی به ازای قطب یک طبقه اعداد متوالی در شروع فازها به اندازه نصف  $q$  می باشد (شکل ۷۳). در پر کردن خانه های جدول از شماره شروع هر فاز خانه های کج را با  $Y_Z$  و خانه عمودی را با فاصله پر می کنیم. مثلاً در فاز اول که از شیار ۱ شروع می شود خانه کج  $1+5=6$  و خانه عمودی  $1+6=7$  پر می شود.

## ۳- رسم دیاگرام مدور

ترسیم دیاگرام مدور طبق جدول ترسیم شده مطابق شکل ۷۴ است.

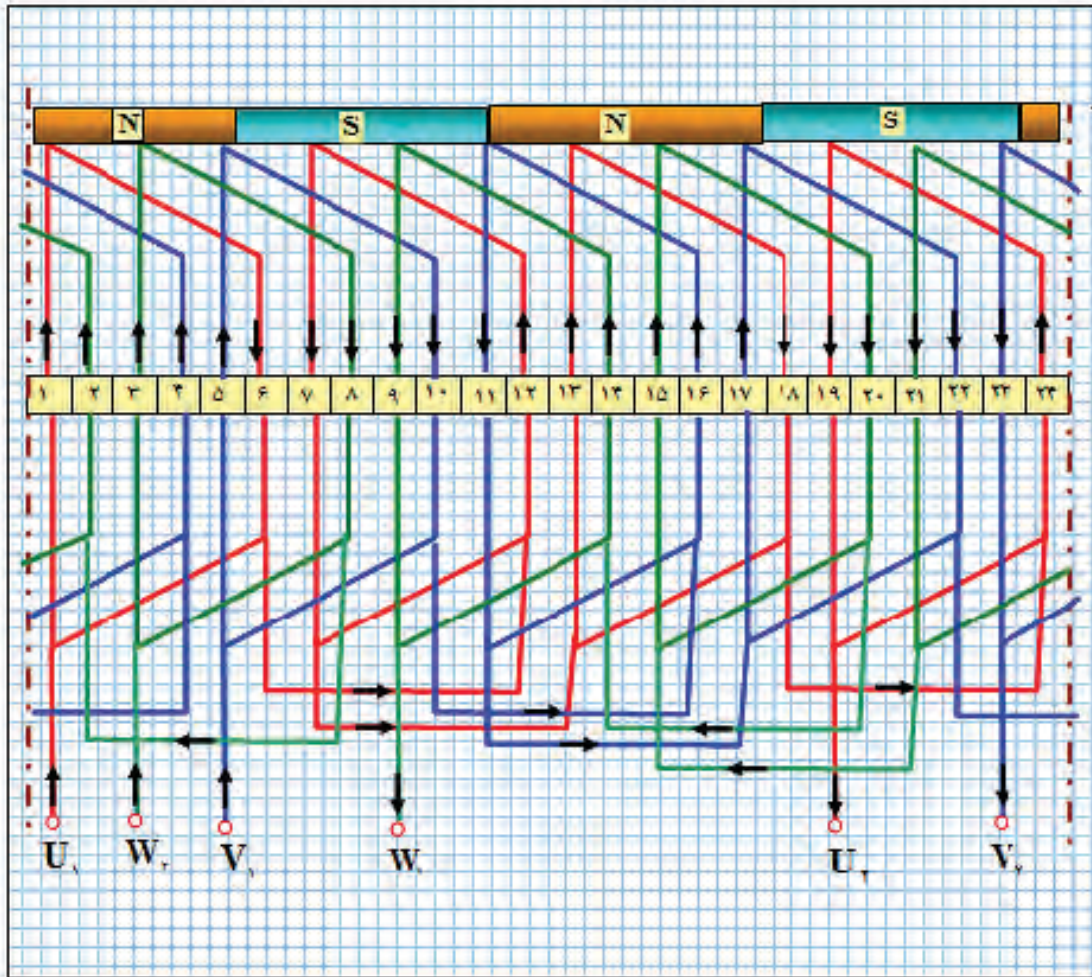


شکل ۷۴- دیاگرام مدور موتور ۲۴ شیار چهار قطب یک طبقه

به ازای قطب

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

رسم دیاگرام گسترده با دیاگرام گسترده مطابق با شکل ۷۵ است.



شکل ۷۵- دیاگرام گسترده موتور ۲۴ شیار چهارقطب یک طبقه به ازای قطب

هدف: محاسبه، ترسیم دیاگرام و سیم پیچی موتور آسنکرون سه فاز (۲۴ یا ۳۶ شیار ۶ قطب) به ازای قطب به صورت یک طبقه زنجیری

کار عملی ۳



#### وسایل مورد نیاز :

- پوسته استاتور ۲۴ شیار
- کلاف پیچ یک عدد
- قالب کلاف مساوی یک عدد
- سیم لاکه با قطر مورد نیاز موتور
- سیم افشان نمره ۱ یا ۱/۵ به طول ۲ متر



- هویه یک عدد
- روغن لحیم
- سیم لحیم با قلع ۵۰٪ یا ۶۰٪
- عایق پرشمان ۵/۰ و ۳۵/۰ از هر کدام یک برگ
- وارنیش با نمره‌های مورد نیاز سیم‌ها
- تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی
- آچار تخت و آچاررینگی و آچاربوکس هر کدام یک ست کامل
- انبر دست یک عدد
- پیچ گوشتی تخت و چارسو کوچک متوسط و بزرگ هر کدام یک عدد
- دم‌باریک یک عدد
- سیم‌چین یک عدد
- سیم‌لخت‌کن یک عدد
- چاقو یا کاتر یک عدد
- سنباده نرم یک برگ
- نخ موتور پیچی یا کنف یک کلاف
- خط‌کش یک عدد
- کولیس یک عدد
- میکرومتر یک عدد
- چکش پلاستیکی یک عدد
- دورسنج موتور یک عدد

## سیم‌پیچی دو طبقه

سیم‌پیچی دو طبقه مانند سیم‌پیچ یک طبقه با گام کامل و گام کسری اجرا می‌شود. اغلب موتورهای صنعتی به صورت دو طبقه با گام کسری اجرا می‌شود و این به خاطر مزایایی است که سیم‌پیچی دو طبقه با گام کسری دارد این مزایا را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود.

- ۱- در سیم‌پیچی دو طبقه سیم‌های هر فاز در سطح استاتور به‌طور یکنواخت توزیع می‌شود.
  - ۲- میدان مغناطیسی یکنواخت‌تر نسبت به سیم‌پیچی یک طبقه در سطح استاتور ایجاد می‌شود.
  - ۳- تهویه سیم‌ها بهتر شده و موتور کمتر گرم می‌شود.
  - ۴- با وجود میدان یکنواخت موتور نرم‌تر کار می‌کند و عمر موتور بیشتر می‌شود.
  - ۵- با کاهش دمای موتور، راندمان موتور افزایش می‌یابد.
  - ۶- با انتخاب کسری گام مناسب هارمونی مزاحم حذف شده و کارکرد موتور ملایم و لرزش‌های آن گرفته می‌شود.
- محاسبات و رسم دیاگرام سیم‌پیچی و سایر مشخصات موتور در سیم دو طبقه تقریباً با موتورهای یک طبقه مشابه است این قسمت با مثال همراه با کار عملی معرفی می‌شود.



سیم پیچی دو طبقه

در شکل روبه‌رو یک نمونه سیم‌پیچی دو طبقه نشان داده شده است.

سیم‌پیچی دو طبقه از لحظه ۰۱:۱۲:۱۳ تا ۰۱:۱۴:۵۲

فیلم



**مثال -** استاتور یک موتور ۳۶ شیار ۶ قطب را در نظر گرفته و سیم‌پیچی دو طبقه شامل محاسبات، رسم دیاگرام موتور به صورت دو طبقه برای حذف هارمونیک سوم را نوشته و رسم کنید.  
**حل:** محاسبات سیم‌پیچی

$$Z = 36, N_r = 940 \text{ R.P.M}, f = 50 \text{ Hz}, \frac{380 \text{ V}}{220 \text{ V}}$$

$$P_r = 1/5 \text{ KW} = 1500 \text{ W}, m = 3, \eta = 80\%$$

$$N_r = N_s(1-S) \rightarrow N_s = \frac{N_r}{1-S} = \frac{940}{1-0.04} = 1000 \text{ R.P.M}$$

$$N_s = \frac{f \times 120}{2P} \rightarrow 2P = \frac{f \times 120}{N_s} = \frac{50 \times 120}{1000} = 6$$

$$Y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{6} = 6$$

$$q = \frac{Z}{2P \times m} = \frac{36}{6 \times 3} = 2$$

$$\alpha_{eZ} = \frac{P \times 360}{Z} = \frac{3 \times 360}{36} = 30^\circ$$

$$Y_Z = Y_p \left(1 - \frac{1}{3}\right) = 6 \times \left(1 - \frac{1}{3}\right) = 4$$

$$\text{شروع فاز سوم} = 1 + \frac{240}{30} = 9 \quad \text{شروع فاز دوم} = 1 + \frac{120}{30} = 5 \quad \text{شروع فاز اول} = 1$$

### تشکیل جدول سیم‌پیچی موتورهای دو طبقه

در سیم‌بندی دو طبقه، مانند سیم‌پیچی یک طبقه، به تعداد هر فاز، ستون و به تعداد هر قطب، ردیف باز می‌شود. سپس هر ستون به دو قسمت تقسیم می‌شود و قسمت چپ، هر ستون را در هر فاز، به طبقه اول (رویی) و سمت راست هر ستون را به طبقه دوم (زیرین) منظور می‌کنیم. ستون‌های ایجاد شده در هر قسمت فازها را به  $q$  قسمت تقسیم می‌شود. شماره‌هایی که در ستون‌ها، در سمت چپ قرار گرفته‌اند بازوهای طبقه رویی را نشان می‌دهند و ستون‌هایی که، در قسمت سمت راست قرار گرفته‌اند بازوهای طبقه زیرین را نشان می‌دهند. برای تفکیک شماره‌ها و بازوهای طبقه رویی با طبقه زیرین، شماره‌های طبقه زیرین را با پریم و

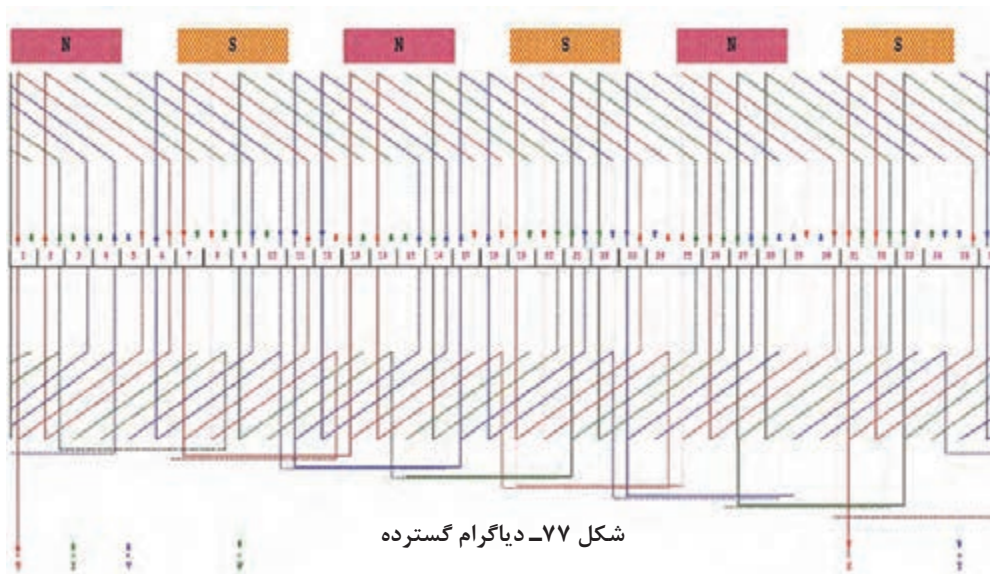
بازوهای طبقه زیرین را با خط چین نشان می‌دهند. با توجه به شروع فازها، شماره شروع فازها در قسمت سمت چپ نوشته می‌شود و به تعداد  $q$  عدد در خانه‌های طبقه رویی نوشته می‌شود. بازوی‌های طبقه رویی به بازوهای طبقه زیرین با فاصله گام سیم‌بندی مرتبط می‌شوند. بنابراین از اعداد طبقه رویی با گام  $Y_Z$  به اعداد طبقه زیرین فاصله خواهد بود. فاصله اعداد خانه‌های طبقه رویی با اعداد خانه‌های بالایی همان طبقه گام قطبی  $Y_p$  می‌باشد. با توجه به شروع فازها جدول تشکیل می‌شود (شکل ۷۶).

$$\text{شروع فاز سوم} = 1 + \frac{240}{30} = 9 \quad \text{شروع فاز دوم} = 1 + \frac{120}{30} = 5 \quad \text{شروع فاز اول} = 1$$

m ۲P	$U_1, U_2$				$W_1, W_2$				$V_1, V_2$			
	N	۱	۲	۳۵'	۳۶'	۳	۴	۱'	۲'	۵	۶	۳'
S	۷	۸	۵'	۶'	۹	۱۰	۷'	۸'	۱۱	۱۲	۹'	۱۰'
N	۱۳	۱۴	۱۱'	۱۲'	۱۵	۱۶	۱۳'	۱۴'	۱۷	۱۸	۱۵'	۱۶'
S	۱۹	۲۰	۱۷'	۱۸'	۲۱	۲۲	۱۹'	۲۰'	۲۳	۲۴	۲۱'	۲۲'
N	۲۵	۲۶	۲۳'	۲۴'	۲۷	۲۸	۲۵'	۲۶'	۲۹	۳۰	۲۷'	۲۸'
S	۳۱	۳۲	۲۹'	۳۰'	۳۳	۳۴	۳۱'	۳۲'	۳۵	۳۶	۳۳'	۳۴'

شکل ۷۶- جدول موتور ۳۶ شیار ۶ قطب دو طبقه با گام کسری حذف هارمونی سوم

رسم دیاگرام گسترده: چنان که دیاگرام گسترده دیده می‌شود در هر شیار دو بازوی کلاف قرار گرفته است. بازوی رفت با خط پرو بازوی برگشت با خط چین در شکل ۷۷ نشان داده شده است.



شکل ۷۷- دیاگرام گسترده





**هدف:** محاسبه، ترسیم دیاگرام و سیم پیچی موتور آسنکرون سه فاز (۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب) برای حذف هارمونیک سوم به صورت دوطبقه زنجیری

الکتروموتور سه فاز که طول استاتور آن ۱۰۰ mm و قطر استاتور آن ۱۲۰ mm است مورد نظر است. این موتور با حذف هارمونی سوم، با لغزش ۶٪ کار می کند و اطلاعات رو پلاک آن مطابق شکل ۷۸ است.

شناسنامه موتور			
Style	Frame:	1.5 KW	Ph3
R.P M = 940	Cycles = 50 Hz یا c.p.s	Volts 380v/220v $\Delta / \lambda$	Amps $\eta = \% 80$
Deg c یا T 50C Rise	Time یا Hours	Code:	S.F(Amps)
Service Factor	Housing	Type	Serial
Type □ CLASS C	Z.S = 36 WEIGHT	کارخانه سازنده	تعداد دور هر کلاف
Pitch گام هر کلاف	حفاظت = IP44	قطر سیم =	Cos $\phi = 0.8 =$

شکل ۷۸- پلاک موتور

محاسبات مورد نیاز را انجام داده، سیم پیچی آن را در کارگاه اجرا کنید. سپس آن را به شبکه برق اتصال داده، جریان بی باری و تعداد دور آن را مشخص کرده، در گزارش کار یادداشت کنید.

## تعیین معادل سیم ها

بعضی مواقع ممکن است که سیم مورد نیاز در کارگاه موجود نباشد یا برای راحت قرار دادن سیم ها در داخل شیارها از سیم های با مقطع پایین و قابل انعطاف استفاده می شود. در این حالت ممکن است از چند رشته سیم یکسان با مقطع پایین نیز استفاده شود یا از سیم های با مقاطع مختلف معادل سیم مورد نیاز به کار برده شود.

### تعیین معادل یک سیم از چند رشته سیم مشابه

اگر قطر سیم مورد نیاز را با  $D$ ، قطر سیم معادل را با  $d$  و تعداد رشته های سیم معادل را با  $n$  نشان دهیم از رابطه زیر قطر سیم معادل با دانستن تعداد رشته آن به دست می آید.

$$d = \frac{D}{\sqrt{n}}$$

در صورتی که بخواهیم تعداد رشته سیم های موازی شده با هم را به دست آوریم بر اساس رابطه فوق می توان چنین نوشت:

$$n = \left(\frac{D}{d}\right)^2$$

مثال ۴-۸

چند رشته سیم ۰/۸۰ mm معادل سیم ۱/۳۷ mm می باشد.

حل:

$$n = \left(\frac{D}{d}\right)^2 = \frac{1/37^2}{0/80^2} \cong 3 \text{ رشته}$$

تعیین معادل یک سیم از چند رشته سیم غیرمشابه

رابطه بین قطر سیم‌های غیرمشابه، معادل سیم مورد نظر به صورت زیر بیان می شود.

$$D = \sqrt{n_1 d_1^2 + n_2 d_2^2 + n_3 d_3^2 + \dots + n_n d_n^2}$$

D قطر سیم مورد نیاز، n تعداد رشته‌ها و d قطرهای سیم‌های غیرمشابه می باشد.

مثال ۴-۹

چند رشته سیم ۰/۵۰ mm را با دو رشته سیم ۰/۸۰ mm موازی کنیم تا معادل سیم ۱/۳۷ mm شود؟

$$1/37 = \sqrt{n_1 \times (0/45)^2 + 2 \times (0/80)^2} \rightarrow 1/37^2 = 0/2025 \times n_1 + 2 \times 0/64$$

رشته  $n_1 \cong 3$

استخراج مشخصات از پلاک موتور

سازندگان موتورهای الکتریکی، مشخصات موتورها را روی پلاک موتورها درج می کنند. در اینجا یک نمونه پلاک موتور را در نظر گرفته و با شماره گذاری هر قسمت آن مطابق شکل ۷۹ اطلاعات مربوط به آن مورد بررسی قرار گرفته است.

۱۸			
AC Motor			
Type <input type="checkbox"/> ۱۷			
style ۱	Serial ۱۶		
Frame ۲	Type ۱۵		
HP ۴	Ph ۳	Housing ۱۴	
RPM ۵	۱۳		
Cycles ۶	۱۲		
Volts ۷			
Amps ۸	Code ۱۱		
Drg <sup>c</sup> Rise ۹	Hours ۱۰		
IP۴۴ ۱۹	S۵ ۲۰		

شکل ۷۹- پلاک الکتروموتور

### شرح پلاک موتور

۱- **style**: سبک تولید موتور که شامل مشخصات مکانیکی و الکتریکی می باشد، با شماره یا علائمی که در این قسمت نوشته می شود برای کارخانه سازنده قابل شناسایی است. در صورت سفارش خاص یا تولید مجدد این نوع موتور کارخانه سازنده قادر به ساخت آن خواهد شد.

۲- **frame**: چهارچوبی است که موتور توسط انجمن ملی تولیدکنندگان، شناسایی می شود. برای موتورهای کوچک فرم های ۴۲، ۴۸، ۵۶ و ... را می توان نام برد.

۳- **ph**: تعداد فازهای موتور در این قسمت نوشته می شود. تک فاز، دو فاز و سه فاز .

۴- **Hp**: توان خروجی موتور که توان مفید مکانیکی موتور است، به اسب بخار نوشته می شوند یک اسب بخار انگلیسی ۷۳۶ وات و یک اسب بخار امریکایی ۷۴۶ وات می باشد.

۵- **R.P.M**: سرعت گردش روتور را در هر دقیقه بیان می کند.

۶- **cycles**: فرکانس کار موتور را نشان داده در بعضی موارد به جای frequency, cycles نوشته می شود.

۷- **volt**: ولتاژ کاری موتور را نشان می دهد.

**توضیح -** در انتخاب ولتاژ کاری، نحوه اتصال موتورها به منابع تغذیه، لازم است دقت کافی نمود. اگر غیر از ولتاژ نامی، سیم پیچ های موتور تغذیه شوند، احتمال سوختن سیم پیچ الکتروموتور وجود دارد. اگر روی پلاک موتور ۳۸۰۷ / ۲۲۰۷ نوشته شود این موتور الزاماً در شبکه ایران اتصال ستاره خواهد داشت و اگر روی پلاک موتور ۶۶۰۷ / ۳۸۰۷ نوشته شود، اتصال موتور برای تحویل توان نامی، باید با اتصال مثلث به شبکه وصل شود ولی برای دریافت یک سوم توان نامی، می توانیم آن را با اتصال ستاره به شبکه ایران وصل کنیم ولی راندمان کار کم است.

۸- **Amps**: جریان نامی موتور را، در ولتاژ نامی و فرکانس نامی نشان می دهد.

۹- **Deg C Rise**: درجه حرارت بدنه موتور را در زمان کار موتور نشان می دهد. دمای بدنه موتورها نباید بیش از ۷۰ درجه سانتی گراد افزایش یابد، دمای کار بدنه موتورها در اندازه ۴۰ الی ۵۰ درجه سانتی گراد معمولی است. دمای بدنه موتورها در کلاس های متفاوت با استانداردهای متفاوت ارائه می شود.

۱۰- **Hours**: مدت زمان کار موتور را، در حالت نرمال نشان می دهد.

۱۱- **Code**: حروف نوشته شده در این قسمت بیانگر آن است که، موتور برای هر اسب بخار چند کیلو ولت آمپر توان راکتیو (در حالت روتور قفل شده) از شبکه دریافت می کند. معروف ترین استانداردهای مربوط به این قسمت N.E.M.A می باشد. به عنوان مثال برای حرف M در محدوده ۵/۵ الی ۱۰ کیلو ولت آمپر راکتیو برای هر اسب بخار، در حالت روتور قفل شده، توان راکتیو از شبکه دریافت می کند.

۱۲- **(Amps) s.f**: جریان مجاز موتور در بار کامل موتور است.

۱۳- **Service Factor**: ضریب حداکثر بار مجاز را نشان می دهد. به عبارت دیگر اگر بار نامی به این ضریب ضرب شود، حداکثر باری که موتور برای مدت کوتاه تحمل می کند، مشخص خواهد کرد.

۱۴- **Housing**: محیط کار موتور را از نظر فضای باز یا سر پوشیده نشان می دهد.

۱۵- **Type**: حروف نوشته شده برای کارخانه سازنده نوع (تک فاز، سه فاز، موتور خازنی و ...) ساختمان، قدرت موتور، دور موتور را مشخص می کند.

۱۶- **Serial**: تاریخ تولید، نوع تولید، شماره تولید و ... در این قسمت برای کارخانه سازنده معلوم می شود.

۱۷- **Type**: نوع نگهداری و نصب موتور را مشخص می کند. (در داخل  حروفی نوشته می شود) به عنوان

مثال:

حرف A - نشان دهنده تنظیم اتوماتیک موتور است.

حرف D - نشان دهنده تنظیم اتوماتیک موتور با تأخیر زمانی است.

حرف M - نشان دهنده تنظیم مجدد موتور با دست است.

حرف X - نشان دهنده تنظیم مجدد موتور با دست یا اتوماتیک است.

۱۸- برچسب و مارک کارخانه سازنده نصب می شود.

۱۹- در پلاک موتورها علاوه بر اطلاعات فوق علائم حفاظتی با حروف IPXX را نشان می دهند. در علامت

مشخصه IPXX، اولین رقم X پس از IP مشخصه کننده درجه حفاظت موتور در مقابل اجسام خارجی و

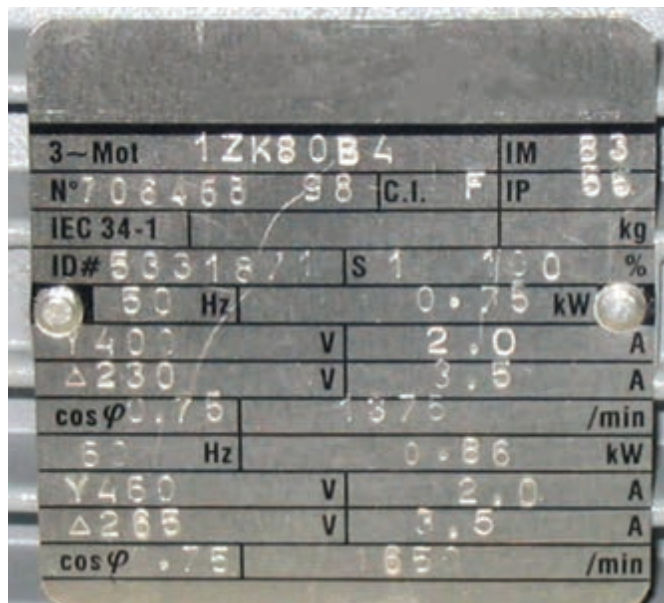
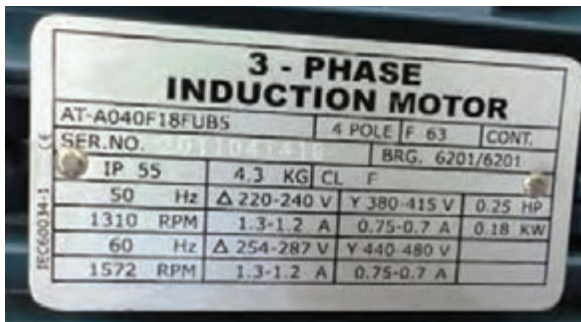
دومین رقم X مشخصه کننده درجه حفاظت موتور در مقابل ایمنی آب می باشد. جدول (IP) در کتاب هنرجو

آورده شده است.

۲۰- زمان کار ماشین را نشان می دهد.

مشخصات پلاک های الکتروموتور داده شده در شکل ۸۰ را استخراج کنید.

فعالیت



شکل ۸۰- چند نمونه پلاک الکتروموتور

## عیب‌یابی الکتروموتور

برای تشخیص و رفع عیوب احتمالی در راه‌اندازی الکتروموتورها می‌توان از جدول ۳، انواع معیوب و علت و رفع آنها را مورد بررسی قرار داد.

جدول ۳- عیب‌یابی موتورهای القایی			
علایم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب
	برق به موتور نمی‌رسد	فیوز سوخته است	آمپراژ، فیوزها بررسی شود که نباید کمتر از ۱۲۵٪ جریان نامی بار کامل موتور باشد. موتور را از شبکه قطع کنید. فیوزها را تعویض کنید. موتور را به شبکه مجدداً وصل کنید. اگر فیوزها نسوزند خرابی از فیوزها است.
		وسیله حفاظتی اضافه بار قطع کرده است	وسیله حفاظتی اضافه بار (بی‌متال) را وصل کنید اگر دوباره قطع شد مدار الکتریکی را بررسی کنید.
موتور راه‌اندازی نمی‌شود	ولتاژ کافی نیست	تغییر ولتاژ شبکه ولتاژ شبکه با ولتاژ نامی موتور یکی نیست.	مشخصات موجود در پلاک موتور را از قبیل ولتاژ، فرکانس و تعداد فازها را، با مشخصات شبکه، مطابقت دهید. در صورت مشاهده تفاوت‌ها در صدد هماهنگی تلاش شود. مثلاً موتور ac در جریان dc راه‌اندازی نمی‌شود. موتور تک‌فاز با شبکه سه فاز از طریق فاز و نول راه‌اندازی می‌شود موتورهای سه‌فاز با برق تک‌فاز راه‌اندازی نمی‌شوند مگر به کمک خازن‌ها.
		قطع یا تغییر ولتاژ شبکه	ولتاژ ترمینال‌های موتور را با بستن کلید اصلی اندازه‌گیری کنید. مقدار ولتاژ با ۱۰٪ اختلاف باید برابر ولتاژ اسمی موتور باشد، در غیر این صورت شبکه تغذیه مناسب یا تغییر اتصالات موتور لازم است.
		سرسیم‌ها جابه‌جا شده است	اتصالات موتور را با نقشه موتور تطبیق دهید. دیاگرام‌ها را از کتاب‌های مطالعه شده، در اختیار بگیرید و طریقه اتصال را با اتصال موتور تطبیق دهید. ممکن است سرسیم‌ها مطابق نقشه به تخته کلم هدایت نشده باشد. هدایت سرسیم‌ها را در تخته کلم تصحیح کنید. سر کلاف‌ها را با اهم‌تر پیدا کنید و محل اتصال صحیح را بررسی کنید و اصلاح کنید.

جدول عیب یابی موتورهای القایی

علائم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب
موتور داغ می کند	موتور راه اندازی نمی شود	کنترل کننده معیوب است	کنترل کننده های خارجی موتور را بررسی کنید و عیب را رفع کنید.
		کلید راه انداز معیوب است	تعمیر کلید راه انداز، مناسب است کلید راه انداز عوض شود.
موتور به هنگام کار سروصدا می کند	ساییدگی یاتاقان ها و یا دنده ها	کشش تسمه خیلی زیاد و یا عدم انطباق تسمه	عیب مکانیکی را رفع کنید. تسمه ها جایی که مسطح یا V شکل باشند باید دارای کشش کافی برای جلوگیری از لغزش باشد.
		اتصال نامتعادل دنده های درگیر	دنده ها را از نظر اندازه کنترل کنید.
		سنگینی بیش از حد چرخ تایر یا بارها	انتخاب موتور مناسب با بار
		محور از مرکز خارج شده	درپوش را بردارید و محور را در مرکز تقارن تنظیم کنید.
		محیط کثیف و ذرات معلق زیاد است	اگر شرایط بد باشد حفاظی برای جلوگیری از ورود مواد زائد به موتور تهیه گردد یا موتور مناسب موقعیت مکان تهیه شود.
موتور داغ می کند	جریان زیاد می کشد یا جریان فازها با هم برابر نیستند	_____	یاتاقان های استوانه ای در شرایط کار عادی سالی یک بار با روغن ماشین سبک و خوب روانکاری شود و در شرایط کار دائم باید دفعات روانکاری بیشتر شود.
		اتصالات شبکه صحیح نیست	اتصالات را یک بار دیگر کنترل کنید
			ابزار محرکه، تسمه (اتصالات مکانیکی) بین موتور و بار بررسی شود که موتور با قدرت مناسب به کار گرفته شده یا نه، بار اضافی عمر موتور را به شدت کاهش می دهد.

جدول عیب یابی موتورهای القایی			
علائم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب
موتور سوخته است	یاتاقان‌ها گیر کرده است	کاربرد غلط	تجدید سیم‌بندی و آزمایشات لازم
سروصدای موتور خیلی زیاد است	روتور نامتعادل	نامتعادل شدن یا کج شدن موتور	روتور نامتعادل سبب ایجاد لرزش می‌شود که می‌توان آن را به سادگی احساس کرد. برای رفع آن بایستی روتور را به طور دینامیکی با وسایل موجود متعادل کرد. همچنین محور کمی تاب برداشته باشد باید صاف شود.
		ساییدگی یاتاقان‌ها	در موتورهای تک‌فاز یاتاقان‌های ساییده و خشک شده سبب افزایش سروصدا می‌شود. سروصدا با فرکانس لغزش ترکیب شده در بی‌باری صدای خرخرگره را می‌دهد. روغن کاری سروصدا را کم می‌کند و گرنه یاتاقان‌ها باید تعویض شوند.
	کلید تلق می‌کند	کلید از جای خود باز شده	کلید بررسی شود در صورت شکستن باید تعویض شود.
	لقی بیش از حد دو سر موتور	جابه‌جا شدن بوش‌ها یا بلبرینگ‌ها	موتور را پیاده کرده، واشرهای مناسب برای رفع لقی در طرف کلید گریز از مرکز اضافه شود اگر موتور در دو طرف محور، جا داشته باشد واشرها را در دو طرف برای رفع لقی اضافه می‌کنند.
	بار با ماشین تطابق کامل ندارد	موتور مناسب انتخاب نشده است	شرایط مکانیکی بار اصلاح شود.
	موتور در جای خود لرزش بیشتری دارد	اتصال موتور به پایه‌ها کامل نیست	شرایط مکانیکی نصب اصلاح شود.
		وسایل یدکی روی موتور خوب بسته نشده	درپوش‌های خود موتور و جعبه اتصالات درپوش روغن، درپوش خازن و لوله روغن محکم شوند.

### جدول عیب یابی موتورهای القایی

علائم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب	
موتور داغ می‌کند	موتور جریان زیاد می‌کشد یا جریان فازها یکسان نیست	ولتاژ مدار زیاد است	ولتاژ ترمینال‌های موتور در حالت بار داری و حین کار، اندازه‌گیری شود. اگر ولتاژ اندازه‌گیری شده بیش از ۱۰٪ ولتاژ نامی باشد ولتاژ تغذیه اصلاح شود و گرنه آزمایش اشباع بار کامل را انجام دهید اگر توان ورودی بیش از توان نامی باشد به احتمال زیاد ولتاژ شبکه درست نیست.	
		فرکانس شبکه با فرکانس نامی موتور یکسان نیست	فرکانس شبکه را با فرکانس موجود در پلاک موتور مقایسه نموده و هماهنگی لازم به عمل آید.	
		راه اندازی به دفعات زیاد	در صورت کنترل اتوماتیک موتور ممکن است. این شرایط به وجود آید در صورت امکان کنترل را برای طولانی کردن سیکل تنظیم کنید.	
	اشکال در تهویه	مسیر تهویه مسدود شده یا کامل نیست	مسیر تهویه را کاملاً تمیز کنید. هدایت هوای خنک‌کننده را با سیستم موجود اصلاح کنید و اطمینان حاصل کنید که در مسیر هوای خنک مانعی وجود ندارد.	
	یاتاقان‌های معیوب	دمای بدنه خیلی زیاد است	دمای بدنه بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد یا ۱۰۴ درجه فارنهایت، برای موتورهای استاندارد، خیلی زیاد است اگر موتور در داخل محفظه از دمای محیط کار می‌کند دمای این محفظه از دمای محیط کار چند درجه بالاتر است معمولاً دماهای اطراف زیاد تعیین‌کننده نیستند.	
	اتصال کوتاه کلاف‌ها	یاتاقان‌ها	ساییدگی یاتاقان‌ها	تعویض یاتاقان‌ها
	سیم‌پیچ با کلید راه‌انداز زمین شده است	سوختن سیم‌ها	این حالت توسط سروصدای مغناطیسی غیرعادی با قدرت بی‌باری بیش از حد مشخص می‌شود.	
	کلید راه‌انداز عمل نمی‌کند	خرابی عایق	اگر محل زمین شدن قابل تشخیص نیست موتور باید دوباره سیم‌پیچ شود.	
	خرابی کلید راه‌انداز	تعویض کلید راه‌انداز (تعمیر توصیه نمی‌شود)		



جدول عیب یابی موتورهای القایی			
علائم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب
سر و صدای موتور خیلی زیاد است	فاصله هوایی غیر یکنواخت است	کجی محور	محور موتور خم شده، محور را صاف کنید و مواد زائد روی محور را پاک کنید یا باربرداری کنید.
		مواد زائد در فاصله هوایی	سروصدای بی‌قاعده، متناوبی و خراشیده می‌باشد موتور را پیاده و تمیز کنید.
	سروصدای موتور تقویت می‌شود.	متعلقات نصب فرسوده شده‌اند	در چنین شرایطی موتور را از بار جدا کرده و آن را بدون بار بچرخانید. اگر سروصدا پا برجا باشد پیچ‌ها را شل کرده و موتور را در حالی که کار می‌کند به آرامی بلند کنید اگر موتور آرام گرفت پایه‌های نصب تشدیدکننده صدا عمل می‌کنند با روش نصب فنری می‌توان سروصدا را از بین برد.
	زوزه در تکیه‌گاه‌های محور شکستگی محور	نامناسب بودن شرایط نصب بار	محور را بررسی کنید و نارسایی‌های مکانیکی را برطرف کنید.

## ارزشیابی شایستگی سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز

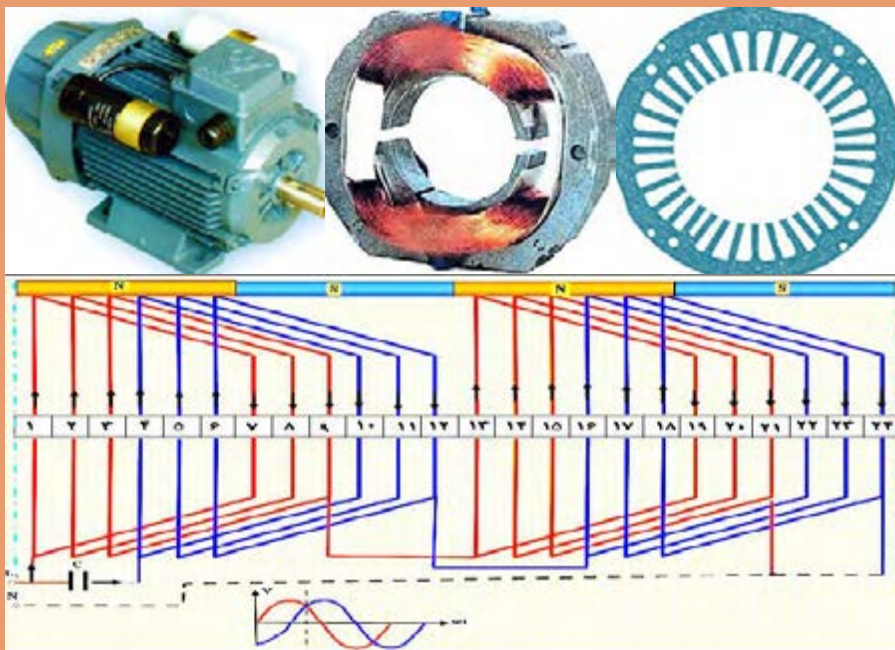
<b>شرح کار:</b>		
شناسایی قطعات ساختمان الکتروموتور باز کردن الکتروموتور محاسبه و رسم دیاگرام	تئوری میدان دوار بازپیچی الکتروموتور	
<b>استاندارد عملکرد:</b> بازپیچی و سیم‌پیچی الکتروموتور سه‌فاز در کارگاه سیم‌پیچی با رعایت موارد ایمنی		
<b>شاخص‌ها:</b>		
شناسایی قطعات الکتروموتور مراحل بازپیچی	آشنایی با میدان دوار رسم دیاگرام	
<b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b>		
شرایط: فضای مناسب - ابزار مناسب - مدت زمان متناسب با حجم کار ابزار و تجهیزات: بوبین پیچ - الکتروموتور شیار خالی و سوخته - میز تست الکتروموتور - لباس کار - دستکش		
<b>معیار شایستگی:</b>		
<b>ردیف</b>	<b>مرحله کار</b>	<b>حداقل نمره قبولی از ۳ نمره هنرجو</b>
۱	بازپیچی الکتروموتور سه‌فاز	۲
۲	سیم‌پیچی و رسم دیاگرام	۲
۳	بازکردن ۱	۱
۴	بازکردن ۲	۱
	شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: کسب اطلاعات کارتیمی مستندسازی ویژگی شخصیتی	
*	<b>میانگین نمرات</b>	

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



## پودمان ۵

### سیم‌پیچی الکتروموتورهای تک‌فاز



## واحد یادگیری ۵

### سیم پیچی الکتروموتور تک فاز

#### آیامی دانید:

- کاربردهای الکتروموتورهای تک فاز کجاست؟
- انواع الکتروموتور تک فاز کدام اند؟
- تشکیل میدان دوآر در الکتروموتور تک فاز با سه فاز چه تفاوتی دارند؟
- چرا از سیم پیچی متحدالمرکز در این الکتروموتورها بیشتر استفاده می شود؟
- سیم پیچ راه انداز و کمکی چه تفاوتی دارد؟
- سیم پیچی الکتروموتور کولر از نوع سیم پیچ راه انداز است یا کمکی؟

#### استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری، هنرجویان قادر خواهند بود دیاگرام انواع الکتروموتورهای تک فاز را ترسیم کرده و سیم پیچی آن را انجام دهند. همچنین آنها قادر به سیم پیچی الکتروموتور کولر آبی و عیب یابی آن خواهند بود.

## \*مقدمه

الکتروموتورهای تک‌فاز برای تغذیه با منبع AC تک‌فاز طراحی و ساخته می‌شدند. این نوع از الکتروموتورها در وسایل الکتریکی مختلفی از قبیل ماشین‌های مته، خیاطی، جاروبرقی، تهویه، خدمات خانگی، اداری، کارخانجات، فروشگاه‌ها، ماشین‌های حسابگر، وسایل نقلیه فضایی، هواپیما و غیره استفاده می‌شود. اغلب موتورهای تک‌فاز با قدرت کسری از اسب بخار ساخته می‌شود. اندازه‌های بزرگ‌تر  $1/5$ ،  $2$ ،  $3$  و  $5$  اسب بخار برای ولتاژهای  $115$  و  $220$  و حتی برای  $440$  ولت در اندازه‌های  $7/5$  و  $10$  اسب بخار نیز ساخته می‌شود. اصول کار موتورهای تک‌فاز اغلب براساس اصول القایی که در موتورهای سه‌فاز شرح داده شده استوار است. اصولاً مشخصه سرعت گشتاور، قیمت مناسب، سرویس آسان‌تر، کنترل دور و امکان تغییر جهت چرخش موتور تک‌فاز است که مصرف‌کننده را در انتخاب و خرید آن کمک می‌نماید.

راندمان و ضریب توان این موتورها کمتر از موتورهای سه‌فاز است. به همین دلیل این موتورها کاربرد صنعتی ندارند. از آنجایی که برق خانگی، تک‌فاز است، لذا از این موتورها بیشتر در مصارف خانگی استفاده می‌شود.

## ساختمان داخلی موتورهای تک‌فاز

ساختمان موتورهای تک‌فاز القایی مشابه موتورهای سه‌فاز القایی آسنکرون است با این تفاوت که برخی موتورهای تک‌فاز دارای ساختمان پیچیده‌تر و تأسیسات بیشتری هستند. از جمله وسایل اضافی این موتورها می‌توان به کلیدهای گریز از مرکز، سیم‌پیچ استارت، خازن‌های راه‌انداز و تصحیح‌کننده ضریب قدرت اشاره کرد (شکل ۱).



شکل ۱- کاربرد موتور تک‌فاز در لوازم خانگی

**سؤال:** چند نمونه از دیگر کاربردهای الکتروموتورهای تک‌فاز را نام ببرید.

## انواع موتورهای تک‌فاز

موتورهای آسنکرون تک‌فاز را از دیدگاه‌های مختلف می‌توان دسته‌بندی کرد که در اینجا یک نمونه آن بیان شده است.

الف) موتور القایی با فاز شکسته

ب) موتور تک‌فاز با خازن دائم کار

پ) موتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز  
 ت) موتور دو‌خازنی (دائم کار و راه‌انداز)  
 ث) موتور اونیورسال  
 ج) موتور با قطب چاکدار  
 در این فصل طرز کار و نحوه سیم‌پیچی تعدادی از الکتروموتورهای تک‌فاز ارائه شده است و اطلاعات بیشتر در کتب تخصصی سال‌های آینده آورده خواهد شد.

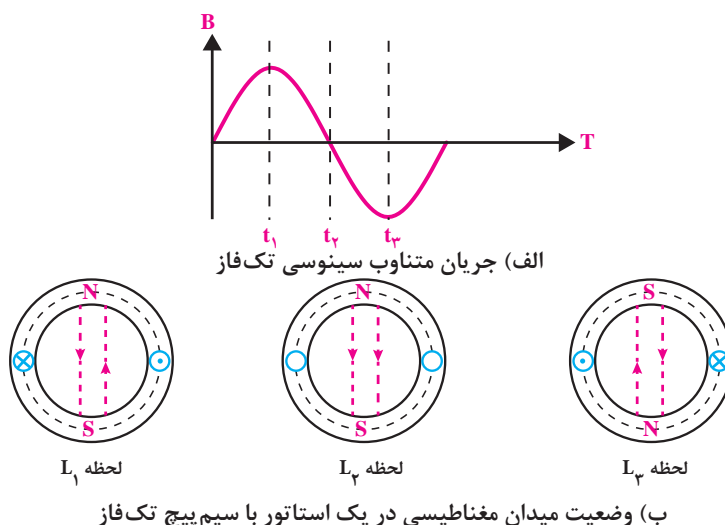
معرفی اجزا و عملکرد الکتروموتور تک‌فاز از لحظه  $0^\circ: 50'$  تا  $0^\circ: 30'$ : ۱

فیلم



## اساس کار موتورهای تک‌فاز

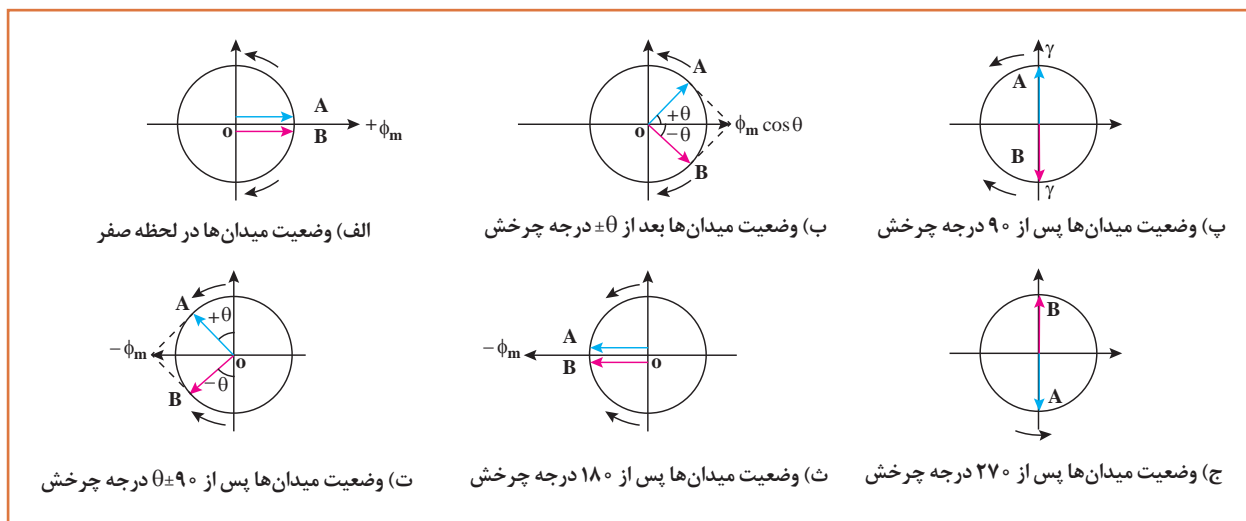
اساس کار موتورهای القایی سه‌فاز را میدان دوار تشکیل می‌دهد. به طوری که این میدان دوار نیز به دلیل خاصیت ذاتی تغییرات متناوب شبکه سه‌فاز در اطراف سیم‌پیچی‌های موتور سه‌فاز پدید می‌آید. در موتورهای تک‌فاز چون یک گروه سیم‌پیچی در استاتور قرار دارد. با اتصال این یک گروه سیم‌پیچی به شبکه تک‌فاز در فضای داخلی استاتور میدان دوار پدید نمی‌آید و امکان چرخش موتور وجود نخواهد داشت. اگر استاتور یک موتور القایی را به جریان متناوب وصل کند ملاحظه می‌شود که با عبور جریان از یک سیم‌پیچ در نیم سیکل مثبت یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود که ساکن است و فقط دامنه آن کم و زیاد می‌شود و در نیم سیکل منفی نیز به همین ترتیب با عبور جریان از داخل سیم‌پیچ یک میدان مغناطیسی ساکن ایجاد می‌شود که فقط دامنه آن کم و زیاد می‌شود اما نسبت به نیم سیکل مثبت این تفاوت را دارد که جای قطب‌های مغناطیسی عوض شده است. منظور از ساکن بودن میدان مغناطیسی این است که محل قرارگرفتن قطب‌های مغناطیسی در هر دو نیم‌سیکل روی استاتور در یک نقطه است (شکل ۲).



شکل ۲- میدان مغناطیسی ساکن

در حالت فوق اگر در داخل استاتور یک رتور قفسی قرار داشته باشد در هادی‌های آن جریان القایی به وجود می‌آید ولی گشتاور چرخشی تشکیل نمی‌شود. چنانچه رتور را به وسیله دست با هر عامل دیگری در جهتی به چرخش درآید، ملاحظه می‌شود که با حذف عامل گرداننده (مثلاً نیروی دست) رتور همچنان در جهت گرداننده شده به چرخش ادامه می‌دهد.

این پدیده را دانشمندی به نام لبلان تحت عنوان تئوری دو میدان گردان به این شرح بیان می‌کند. میدان مغناطیسی ناشی از جریان متناوب تک فاز در داخل استاتور با یک سیم پیچ از دو میدان با دامنه برابر تشکیل می‌شود که با سرعت مساوی در خلاف یکدیگر گردش می‌کنند. نتیجه این دو میدان در هر لحظه از زمان دارای دامنه‌ای متغیر ولی بر روی یک محور ثابت است (شکل ۳).



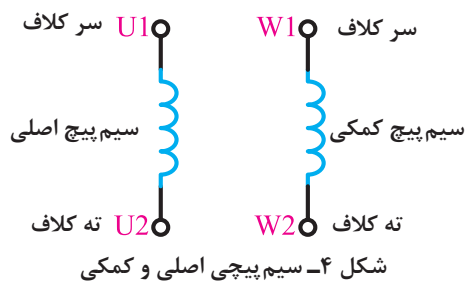
شکل ۳- میدان ناشی از دو میدان دوار  $\Phi_B$  و  $\Phi_A$  در شرایط مختلف (تئوری لبلان)

به همین خاطر در موتورهای تک فاز در کنار سیم پیچ اصلی از یک گروه سیم پیچی دیگر تحت عنوان «سیم پیچ کمکی» استفاده می‌شود. این سیم پیچی کمکی با اختلاف فاز  $90^\circ$  درجه‌ای نسبت به سیم پیچی اصلی در شیارهای موتور قرار داده می‌شود. در برخی موتورهای تک فاز سیم پیچ کمکی از ابتدای وصل موتور به برق تا انتهای کار موتور به همراه سیم پیچ اصلی به شبکه متصل است. اما در انواع دیگر پس از راه اندازی موتور، سیم پیچ کمکی به واسطه تجهیزات اضافی از شبکه جدا شده و برق آن قطع می‌شود، در چنین مواردی به این سیم پیچ کمکی که فقط در ابتدای راه اندازی موتور مورد استفاده قرار می‌گیرد «سیم پیچ راه انداز» گفته می‌شود. در بخش‌های بعد با جزئیات و نحوه سیم پیچی این موتورها آشنا خواهید شد. در شکل ۴ تصویر سیم پیچی‌های اصلی و کمکی موتورهای تک فاز مشاهده می‌شود.

با توجه به شکل‌های فوق ملاحظه می‌شود چنانچه میدان‌های  $\Phi_B$  و  $\Phi_A$  به اندازه  $360^\circ$  بچرخند و به جای اول خود برسند مجدداً وضعیت میدان‌ها به صورت شکل (الف) خواهد بود. پس تئوری دو میدان گردان نتیجه‌ای مشابه بررسی شکل ۳ دارد. به این ترتیب در مجموع میدان دواری وجود ندارد تا روی رتور گشتاور چرخشی لازم را ایجاد کند. اما اگر رتور در جهتی گرداننده شود، در همان جهت به حرکت خود ادامه خواهد داد.

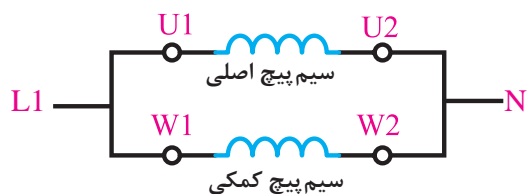
بنابراین اگر رتور به گونه‌ای راه اندازی شود، مثلاً در جهت عقربه‌های ساعت چرخانده شود، گشتاور موجود در جهت عقربه‌های ساعت شروع به زیاد شدن کرده و در همان موقع، گشتاور موجود در جهت عکس عقربه‌های





ساعت شروع به کم شدن می کند. بنابراین یک مقدار معینی گشتاور خالص در جهت عقربه های ساعت وجود دارد که به موتور شتاب داده و سرعت آن را به سرعت کامل می رساند. بنابراین برای راه اندازی موتورهای تک فاز احتیاج به یک راه اندازی اولیه است.

نحوه اتصال سیم پیچ های اصلی و کمکی موتورهای تک فاز به صورت موازی و مطابق شکل ۵ است.



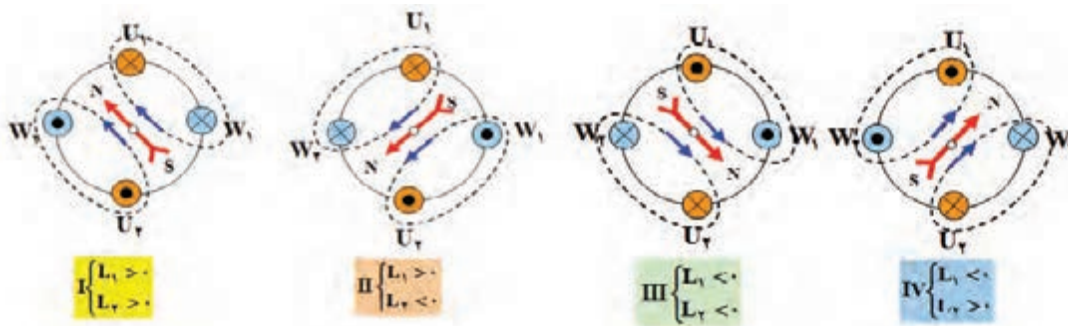
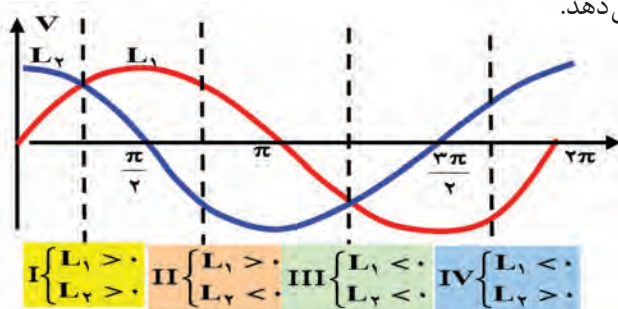
تحقیق

آیا سیم پیچ کمکی از نظر ضخامت و تعداد دور با سیم پیچ اصلی برابر است؟



در این گروه از سیم پیچ های موتور تک فاز چون سیم فاز به دو شاخه موازی تقسیم شده و جریان را به دو مسیر سیم پیچ اصلی و کمکی می فرستد. لذا به این گروه از موتورهای تک فاز «موتورهای طرح دو فاز» یا «موتورهای با فاز شکسته» گفته می شود. در این موتورها که اغلب توان کمتر از  $\frac{1}{4}$  اسب بخار دارند، اختلاف فاز بین سیم پیچ اصلی و استارت را از طریق افزایش مقاومت اهمی سیم پیچ استارت تأمین می کنند. به این موتورها موتورهای با راه انداز مقاومتی نیز می گویند.

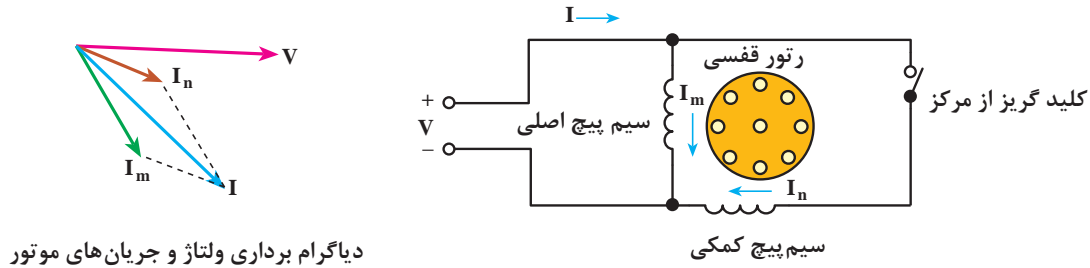
شکل (۶) وضعیت شکل موج جریان های جاری در دو سیم پیچی را به همراه وضعیت میدان مغناطیسی فضای داخلی استاتور نشان می دهد.



شکل ۶- وضعیت حوزه دوار در سطح استاتور موتور تک فاز از نوع طرح دو فاز

بودمان پنجم: سیم پیچی الکتروموتورهای تک فاز

شکل دیگری از این موتورها بدین صورت است که در مسیر سیم پیچی کمکی آنها از یک کلیدی به نام کلید گریز از مرکز استفاده می شود. از آنجایی که موتورهای تک فاز پس از راه اندازی می توانند به حرکت دورانی خود ادامه دهند لذا می توان پس از راه اندازی، سیم پیچی های کمکی را از مدار خارج کرد (شکل ۷).



شکل ۷- محل قرار گرفتن کلید گریز از مرکز در مدار

این کلید روی محور موتور قرار می گیرد و با سرعت رتور می چرخد. عملکرد کلید بدین صورت است که وقتی سرعت موتور به ۷۵٪ سرعت نامی خود رسید کلید گریز از مرکز تغییر حالت داده و سیم پیچی کمکی را از مدار خارج می کند (شکل ۸).



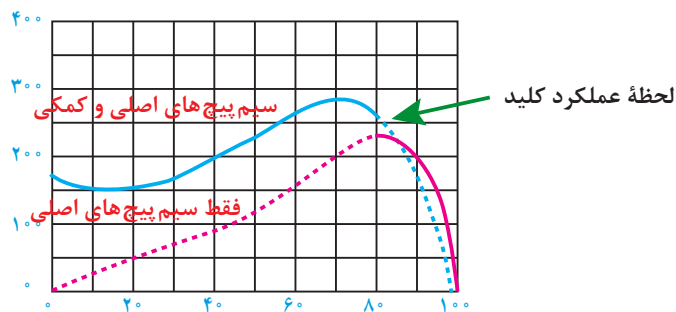
شکل ۸- کلید گریز از مرکز

شکل (۹) تصویر دیگری از این کلید را که روی رتور موتور تک فاز نصب شده است نشان می دهد.



شکل ۹- محل قرار گرفتن کلید گریز از مرکز

منحنی مشخصه عملکرد موتورهای تک فاز با کلید گریزاز مرکز را در شکل (۱۰) مشاهده می کنید.



شکل ۱۰- منحنی مشخصه عملکرد موتور تک فاز

تحقیق

اگر کلید گریزاز مرکز به هر دلیلی تغییر حالت ندهد چه پیامدی برای الکتروموتور خواهد داشت؟



## سیم پیچی موتورهای تک فاز طرح دوفاز

الکتروموتورهای تک فاز، با راه انداز دائم، به صورت طرح دوفاز، سیم پیچی می شوند. در این حالت نصف شیارها را سیم پیچ اصلی و نصف دیگر را، سیم پیچ راه انداز (سیم پیچ کمکی)، اشغال می کند. سیم پیچ کمکی، یا سیم پیچ استارت با سیم پیچ اصلی، ۹۰ درجه الکتریکی، اختلاف فاز دارد. برای سیم پیچی موتورهای تک فاز مانند موتورهای سه فاز، در سه مرحله باید آن را طراحی و ترسیم کرد.

۱- انجام محاسبات سیم پیچی

۲- تشکیل جدول سیم پیچی

۳- رسم دیاگرام و سربندی

لازم به ذکر است سیم پیچی موتورهای طرح دوفاز را به دو صورت گام کامل و گام کسری سیم پیچی می کنند که در این فصل به هر دو مورد اشاره شده است. چند مثال در مورد نحوه سیم پیچی این گروه از موتورهای تک فاز ارائه شده است.

تحقیق

آیا ممکن است الکتروموتور سه فاز را با اتصال به شبکه برق شهر (تک فاز) راه اندازی کرد؟



### سیم پیچی موتورهای تک فاز با سیم پیچ کمکی دائم در مدار یک طبقه به صورت گام کامل

**مثال ۱-۵:** الکتروموتور تک فاز ۲۴ شیار ۴ قطب مفروض است. دیاگرام سیم بندی این موتور را به صورت

سیم پیچ کمکی دائم در مدار، یک طبقه با گام کامل به ازای جفت قطب، طرح و رسم کنید.

**حل:** برای موتورهای با سیم پیچ کمکی دائم، محاسبات طرح دوفاز دنبال می شود. در این حالت تعداد فازها برابر

$m=2$  در نظر گرفته می شود. اختلاف بین دوفاز، ۹۰ درجه الکتریکی می باشد. اگر فاز  $U_1$ ، از شیار شماره ۱،

شروع شود، فاز  $W_1$  از شیار  $1 + \frac{90}{\alpha_{ez}}$  شروع خواهد شد.

محاسبات سیم پیچی

$$Z = 24, m = 2, Y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{4} = 6$$

$$q = \frac{Z}{2P \cdot m} = \frac{24}{4 \times 2} = 3, Y_p = Y_z = 6$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z} = \frac{2 \times 36^\circ}{24} = 3^\circ$$

$$W_1 = 1 + \frac{9^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{9^\circ}{3^\circ} = 4 \Rightarrow U_1 \text{ شروع}$$

تشکیل جدول

جدول سیم پیچی ۴ ردیف (به تعداد قطبها) و ۲ ستون (به تعداد فازها) تشکیل می شود و هر ستون به q قسمت تقسیم می شود. موتورهای الکتریکی تک فاز بیشتر به صورت متحدالمرکز، سیم پیچی می شوند. انتخاب سیم پیچ متحدالمرکز، امکان جداسازی سیم پیچها را از همدیگر، فراهم می سازد. بدین ترتیب، سیم پیچ راه انداز که، از قطر سیم کمتر تشکیل می شود، آسیب پذیری بیشتری دارد و روی سیم پیچ اصلی قرار می گیرد. در صورت سوختن یا قطع مدار، می توان آن را به سادگی تعویض یا تعمیر کرد. بدون آنکه به سیم پیچ اصلی صدمه ای وارد شود. در سیم پیچی متحدالمرکز، به سبب تغییر گام سیم بندی در کلافها، ضریب کوتاهی گام سیم پیچها، تغییر می کند. در این صورت تعداد دور کلافها، در هر گروه کلاف، متفاوت خواهد بود. دور کلافها در هر گروه کلاف، به نسبت ضریب کوتاهی گام کلافها محاسبه می شود. در سیم بندی طرح دو فاز، مانند موتورهای سه فاز، سیم پیچی در هر دو حالت، کلاف مساوی و متحدالمرکز اجرا می شود. در این مثال هر دو مورد سیم پیچی کلاف مساوی و متحدالمرکز را دنبال کنید (شکل ۱۱).

$\frac{m}{2P}$	$U_1, U_2$			$W_1, W_2$		
N	۱	۲	۳	۴	۵	۶
S	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
N	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۸	۱۹
S	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴

تشکیل جدول

$\frac{m}{2P}$	$U_1, U_2$			$W_1, W_2$		
N	۱	۲	۳	۴	۵	۶
S	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
N	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۸	۱۹
S	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴

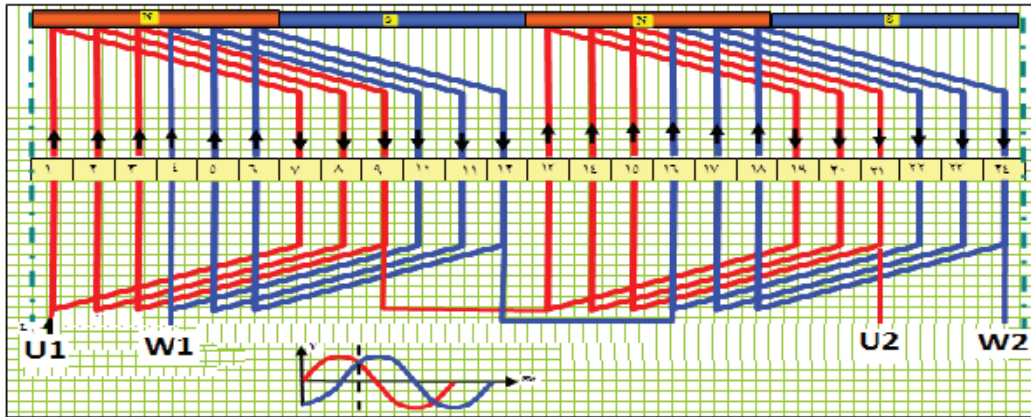
آرایش کلافها در سیم بندی (کلاف مساوی)

$\frac{m}{2P}$	$U_1, U_2$			$W_1, W_2$		
N	۱	۲	۳	۴	۵	۶
S	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
N	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۸	۱۹
S	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴

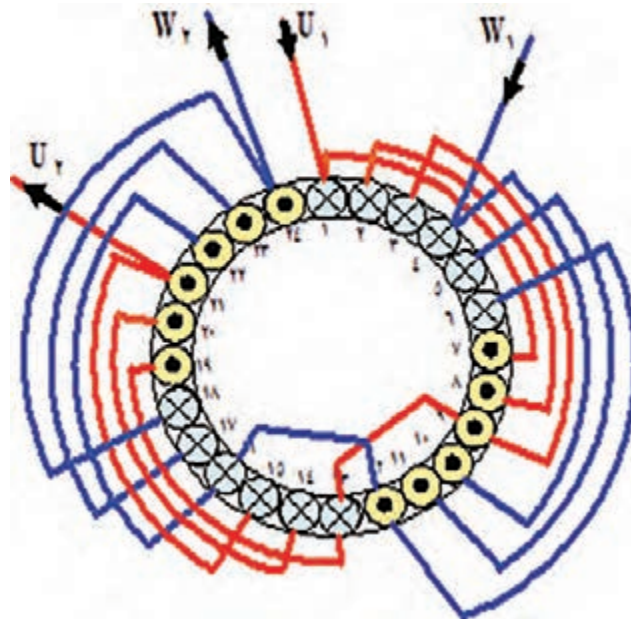
آرایش کلافها در سیم بندی (متحدالمرکز)

شکل ۱۱- تشکیل جدول و آرایش کلافها در سیم بندی کلاف مساوی و متحدالمرکز

ترسیم دیاگرام گسترده سیم‌پیچی به صورت کلاف مساوی (زنجیری) و مدور دیاگرام گسترده کلاف مساوی در شکل ۱۲ و دیاگرام دایره‌ای (مدور) در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



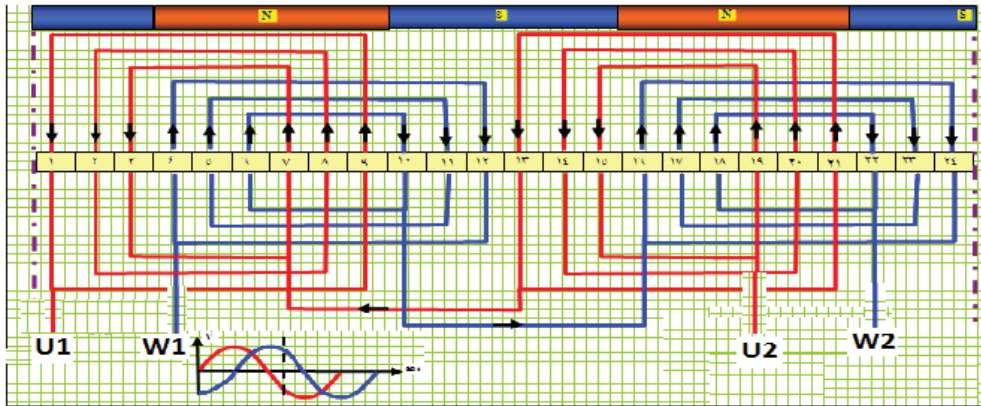
شکل ۱۲- دیاگرام گسترده کلاف مساوی و یک طبقه موتور تک فاز ۲۴ شیار ۴ قطب طرح دوفاز



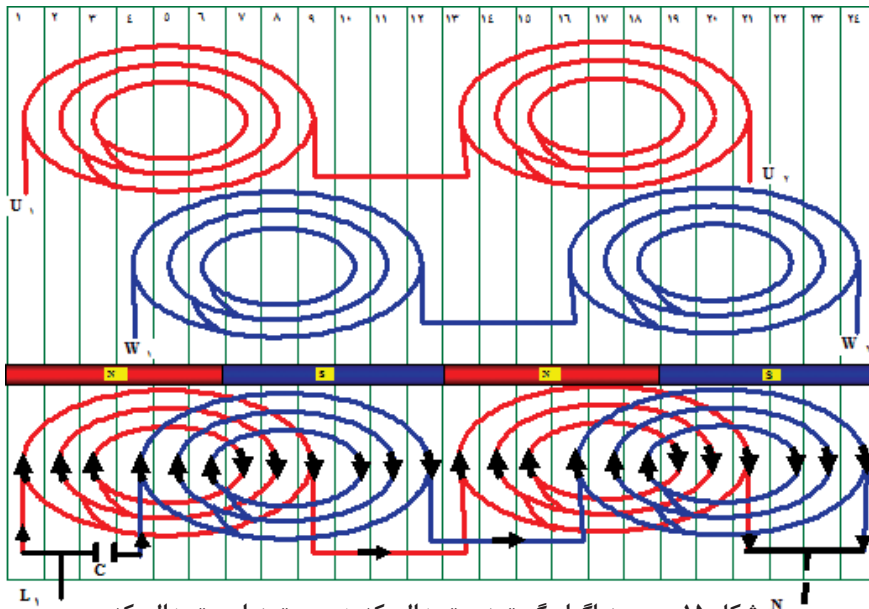
شکل ۱۳- دیاگرام دایره‌ای (مدور) کلاف مساوی و یک طبقه موتور تک فاز، ۲۴ شیار ۴ قطب، طرح دوفاز

ترسیم دیاگرام گسترده سیم‌پیچی به صورت متحدالمرکز و مدور متحدالمرکز دیاگرام گسترده متحدالمرکز و یک طبقه موتور تک فاز، ۲۴ شیار ۴ قطب طرح دوفاز در شکل ۱۴ نشان داده شده است. برخی موارد دیاگرام‌های گسترده متحدالمرکز موتورهای تک فاز را به صورت شکل ۱۵ نیز رسم می‌کنند. دیاگرام مدور متحدالمرکز در شکل ۱۶ آورده شده است.

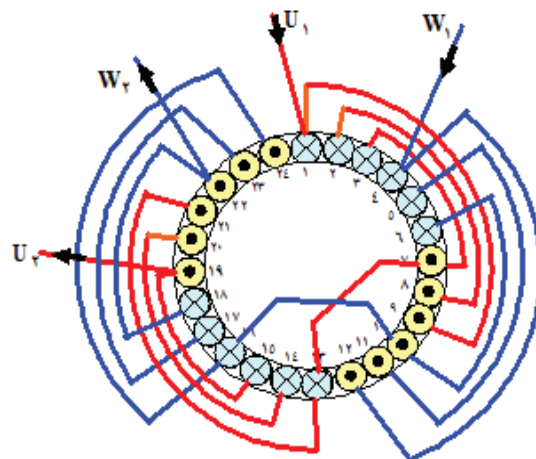
بودمان پنجم: سیم پیچی الکتروموتورهای تک فاز



شکل ۱۴- دیاگرام متحدالمرکز



شکل ۱۵- رسم دیاگرام گسترده متحدالمرکز به صورت دایره متحدالمرکز



شکل ۱۶- دیاگرام دایره‌ای (مدور) سیم پیچی متحدالمرکز



**سؤال:** دیاگرام گسترده و دایره‌های هر کدام از چه نمایی سیم‌پیچی الکتروموتور را نشان می‌دهد؟  
 تمرین: دیاگرام‌های گسترده شکل ۱۲ و ۱۴ را در یک کاغذ شطرنجی ترسیم کنید.  
**مثال ۲-۵:** الکتروموتور تک فاز ۳۶ شیار ۶ قطب مفروض است. دیاگرام سیم‌بندی این موتور را به صورت سیم‌پیچ کمکی دائم کار، یک طبقه با گام کامل به‌ازای جفت قطب، طرح و رسم کنید.  
 ✓ محاسبات سیم‌پیچی

$$Z = 36, m = 2, Y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{6} = 6 \quad q = \frac{Z}{2p.m} = \frac{36}{6 \times 2} = 3$$

$$Y_p = Y_z = 6, \alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z} = \frac{3 \times 36^\circ}{36} = 3^\circ$$

$$U_1 \Rightarrow 1 \text{ شروع} \quad W_1 = 1 + \frac{9^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{9^\circ}{3^\circ} = 4$$

✓ تشکیل جدول

m r P	U <sub>1</sub> , U <sub>r</sub>			W <sub>1</sub> , W <sub>r</sub>		
	N	۱	۲	۳	۴	۵
S	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
N	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۸	۱۹
S	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
N	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
S	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶

شکل ۱۷- جدول سیم‌پیچی موتور تک فاز ۳۶ شیار یک طبقه ۶ قطب با گام کامل (G = P) طرح دوفاز

m r P	U <sub>1</sub> , U <sub>r</sub>			W <sub>1</sub> , W <sub>r</sub>		
	N	U <sub>1</sub>	۲	۳	W <sub>1</sub>	۵
S	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
N	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۸	۱۹
S	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
N	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
S	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶

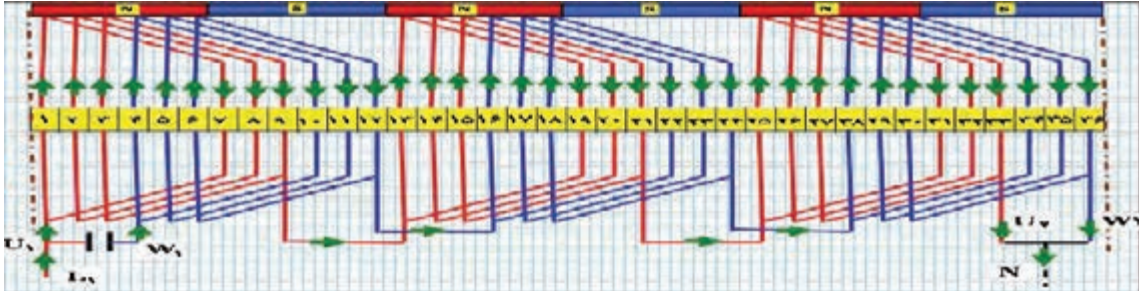
m r P	U <sub>1</sub> , U <sub>r</sub>			W <sub>1</sub> , W <sub>r</sub>		
	N	U <sub>1</sub>	۲	۳	W <sub>1</sub>	۵
S	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
N	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۸	۱۹
S	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
N	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
S	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶

جدول کلاف متحدالمرکز موتور ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه طرح دوفاز جدول کلاف مساوی موتور ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه طرح دوفاز

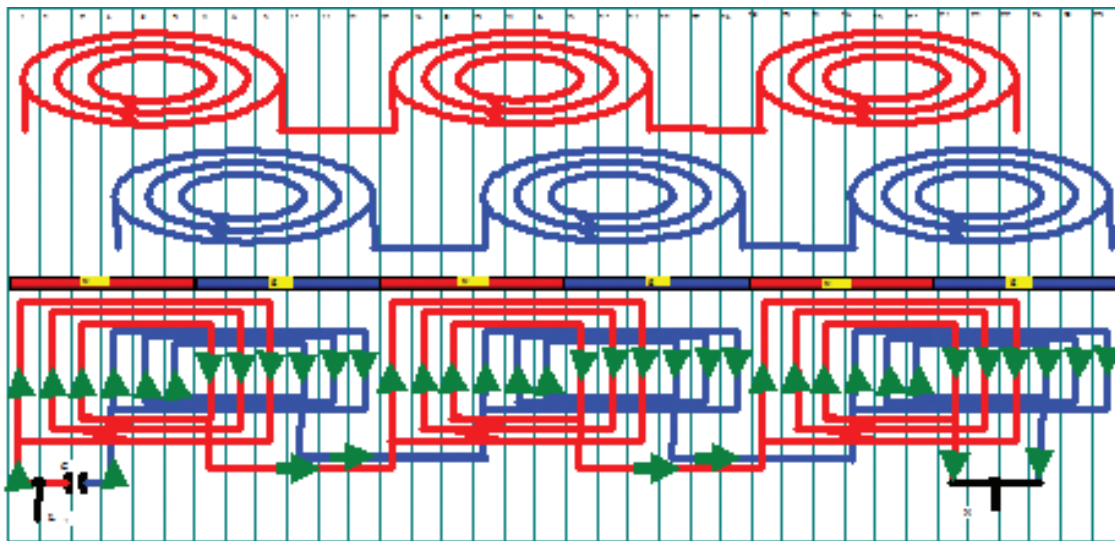
شکل ۱۸- جدول کلاف مساوی و متحدالمرکز موتور ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه طرح دوفاز



ترسیم دیاگرام سیم بندی



شکل ۱۹- دیاگرام گسترده کلاف مساوی، موتور تک فاز ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه با گام کامل طرح دوفاز (راه انداز دائم)



شکل ۲۰- دیاگرام گسترده متحدالمرکز، موتور تک فاز ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه با گام کامل طرح دوفاز (راه انداز دائم)

دیاگرام گسترده کلاف مساوی (شکل ۱۹) و متحدالمرکز (شکل ۲۰) سیم پیچی مثال ۲-۵ را در کاغذ شطرنجی ترسیم کنید.

فعالیت



**سیم پیچی موتورهای تک فاز با سیم پیچ کمکی دائم در مدار یک طبقه گام کسری**

برای توزیع سیم پیچی در سطح استاتور، موتورهای تک فاز با طرح دوفاز، نظیر موتورهای سه فاز، به صورت گام کسری (کوتاه شده) سیم پیچی می شوند. در حالت هایی که  $q$  فرد یا زوج است، مطابق دستورالعمل های موتورهای سه فاز، سیم بندی اجرا می شود. با این تفاوت که در الکتروموتورهای طرح دوفاز، دوستون برای دوفاز ترسیم می شود. اختلاف فاز بین فازها،  $90^\circ$  درجه الکتریکی می باشد.

**مثال ۳-۵:** الکتروموتور تک فاز ۲۴ شیار ۴ قطب مفروض است. دیاگرام سیم بندی این موتور را به صورت استارت دائم، یک طبقه با گام کسری (کوتاه شده) به ازای قطب، طرح و رسم کنید.

$$Z = 24, m = 2, Y_P = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{4} = 6, q = \frac{Z}{2P \cdot m} = \frac{24}{4 \times 2} = 3$$

$$Y_{Z1} = Y_P - \left(\frac{q}{2} - \frac{1}{2}\right) = 6 - \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right) = 5$$

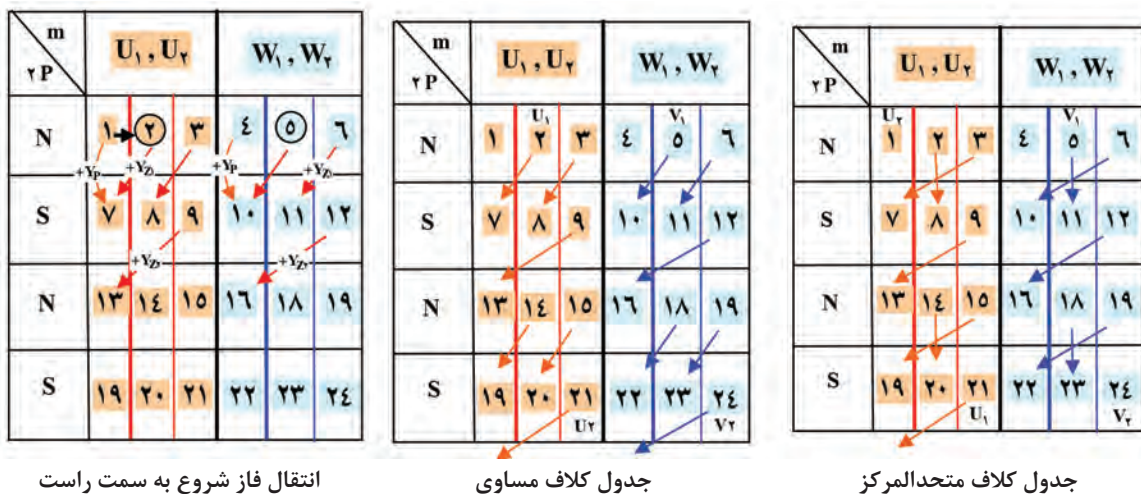
$$Y_{Z2} = Y_P - \left(\frac{q}{2} + \frac{1}{2}\right) = 6 - \left(\frac{3}{2} + \frac{1}{2}\right) = 4$$

$$\alpha_{ez} = \frac{q \times 36^\circ}{Z} = \frac{3 \times 36^\circ}{24} = 3^\circ$$

$$U_1 \text{ شروع} \Rightarrow 1 \quad W_1 = 1 + \frac{9^\circ}{3^\circ} = 1 + 3 = 4$$

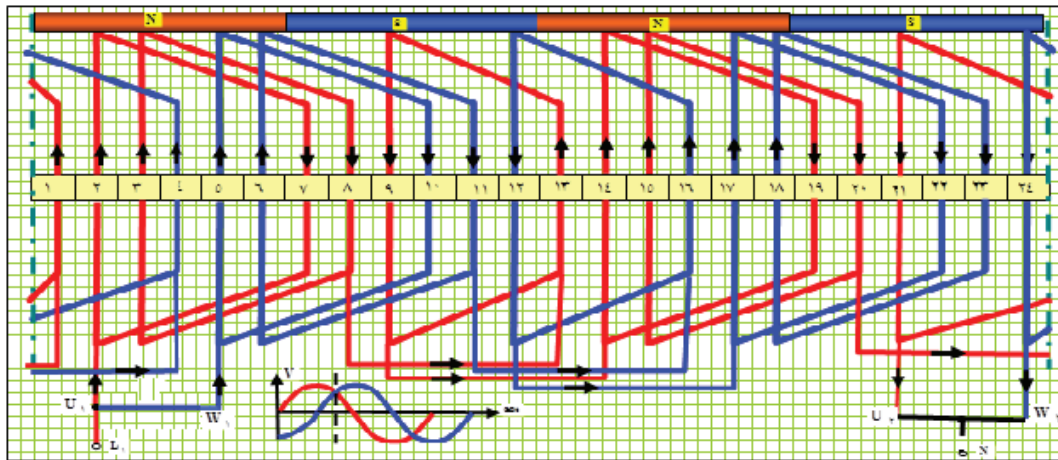
تشکیل جدول

برای تشکیل جدول، چون  $q$  فرد است، قواعد انتقال شروع فازها به اندازه  $\frac{q}{2} - \frac{1}{2}$  به سمت راست انتقال داده می‌شود. بنابراین شروع فازها به اندازه  $\frac{q}{2} - \frac{1}{2} = \frac{3}{2} - \frac{1}{2} = 1$  شیار، به سمت راست منتقل می‌شوند. به عبارت دیگر فاز  $U_1, U_2$  از شیار ۲ و فاز  $V_1, V_2$  از شیار شماره ۵ (به جای شیار ۴) شروع خواهد شد. براساس مطالب فوق جدول سیم‌پیچی مطابق شکل ۲۱ تشکیل می‌شود.



شکل ۲۱- جدول موتور ۲۴ شیار ۴ قطب طرح دوفاز یک طبقه با گام کسری

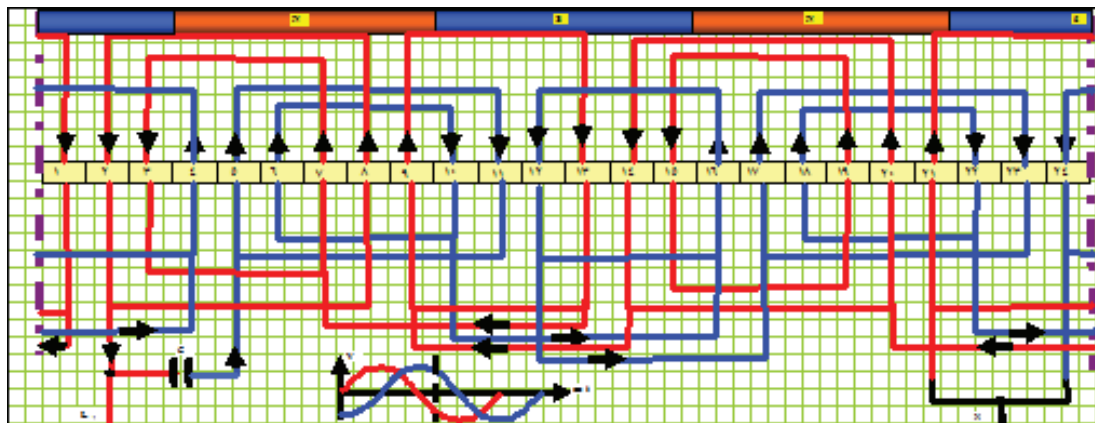
بودمان پنجم: سیم‌پیچی الکتروموتورهای تک‌فاز



شکل ۲۲- دیاگرام گسترده کلاف مساوی و یک طبقه موتور تک فاز، ۲۴ شیار ۴ قطب، گام کوتاه طرح دوفاز

دیاگرام‌های گسترده سیم‌پیچی کلاف مساوی و متحدالمركز، مثال ۳-۵ را در کاغذ شطرنجی ترسیم نمایید.

فعالیت



شکل ۲۳- دیاگرام گسترده متحدالمركز و یک طبقه موتور تک فاز، ۲۴ شیار ۴ قطب طرح دوفاز، گام کسری

هدف: سیم‌پیچی موتورهای طرح دو فاز

کار عملی ۱



وسایل و تجهیزات:

- پوسته استاتور ۳۶ شیار یک عدد
- استاتور نگهدار یک عدد.
- کلاف پیچ یک عدد.
- قالب کلاف متحدالمركز یک عدد.

- سیم لاکه با قطر مورد نیاز موتور.
- سیم افشان نمره ۱ یا ۱/۵، ۲ متر.
- هویه یک عدد.
- روغن لحیم.
- سیم لحیم با قلع ۵۰٪ یا ۶۰٪.
- عایق پرشمان ۵/۰ و ۳۵/۰ از هر کدام یک برگ.
- وارنیش با نمره‌های مورد نیاز سیم‌ها.
- تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی.
- آچار تخت و آچارپینگی و آچاربوکس هر کدام یک ست کامل.
- انبردست یک عدد.
- شارلاک.
- کوره حرارتی یک عدد
- پیچ‌گوشتی تخت و چارسو کوچک، متوسط و بزرگ هر کدام یک عدد.
- دم باریک یک عدد.
- سیم‌چین یک عدد.
- سیم لخت‌کن یک عدد.
- چاقو یا کاتر یک عدد.
- سنباده نرم یک برگ.
- نخ موتور پیچی یا کنف یک کلاف.
- میکرومتر یک عدد.
- چکش پلاستیکی یک عدد.
- دورسنج موتور یک عدد.

استاتور یک موتور ۳۶ شیار یا ۲۴ شیار را تحویل گرفته و تحت نظارت مربی خود محاسبات، رسم دیاگرام موتور به صورت طرح دوفاز ۶ قطب با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار را به صورت متحدالمرکز ترسیم و سیم‌پیچی کنید.

### مراحل اجرای کار عملی باید به صورت زیر باشد:

- پیچیدن ۶ گروه کلاف دوپیچکی متحدالمرکز و ۶ گروه کلاف یک پیچکی تهیه کنید (شکل ۲۴).



شکل ۲۴- ۶ گروه کلاف دو پیچکی و ۶ کلاف تکمی

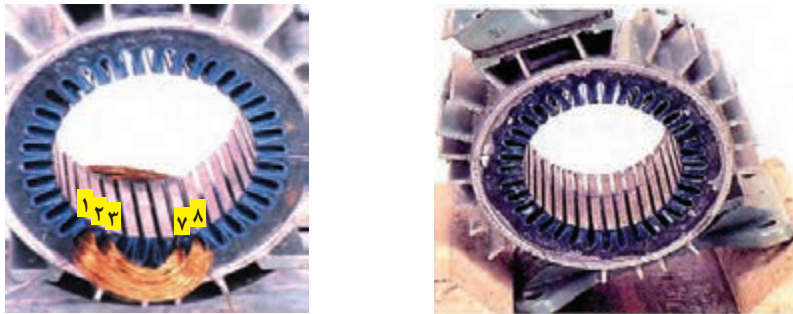
بودمان پنجم: سیم‌پیچی الکتروموتورهای تک‌فاز

- عایق‌بندی استاتور را با کاغذهای پرشمان انجام دهید (شکل ۲۵).

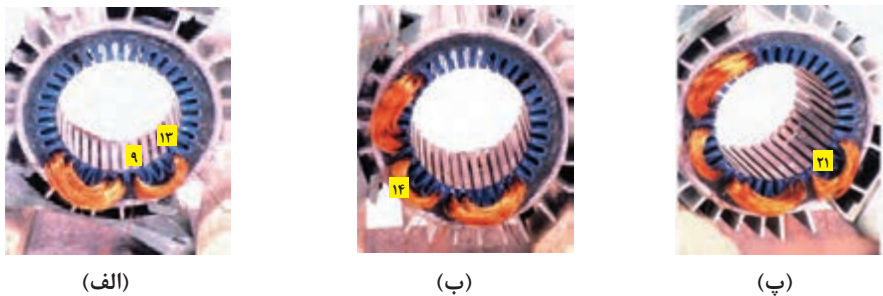


شکل ۲۵- ۶ گروه کلاف دو پیچکی و ۶ کلاف تکی

- با توجه به جدول متحدالمرکز شکل ۲۶ اولین گروه کلاف را با گام‌های ۲ به ۸ و ۳ به ۷، در شیارهای استاتور قرار دهید.



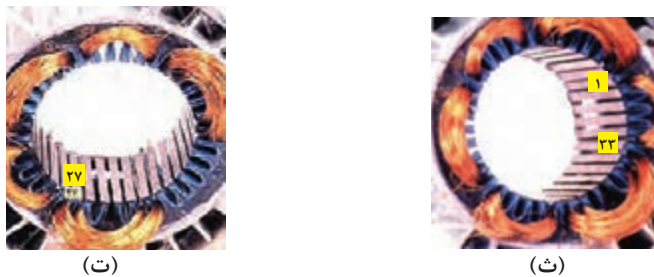
شکل ۲۶- جای‌گذاری گروه کلاف شماره ۱ در شیارهای ۲ به ۸ و ۳ به ۷



(الف)

(ب)

(پ)



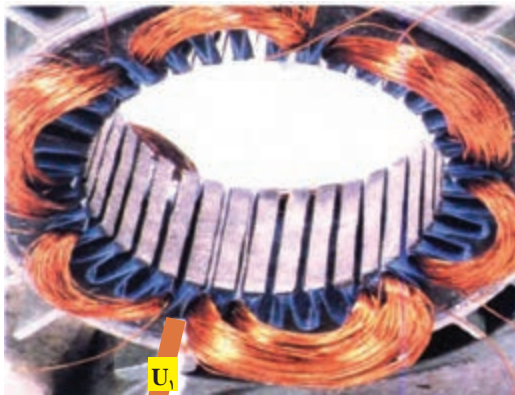
(ت)

(ث)

شکل ۲۷- تکمیل سیم‌بندی فاز اول  $U_1, U_2$

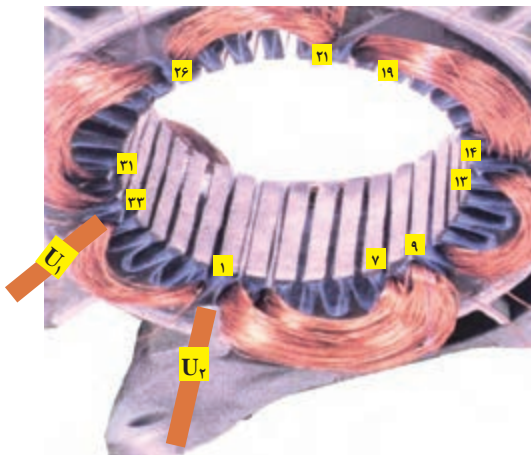
سرسیمی که از شیار شماره ۲ خارج شده و مربوط به گروه کلاف شماره ۱ می‌باشد پس از عبور از وارنیش، به





سیم افشان با قطر مناسب اتصال دهید. وارنیش را مطابق شکل ۲۸ روکش آن قرار دهید و به آن برجسب  $U_1$  بزینید.

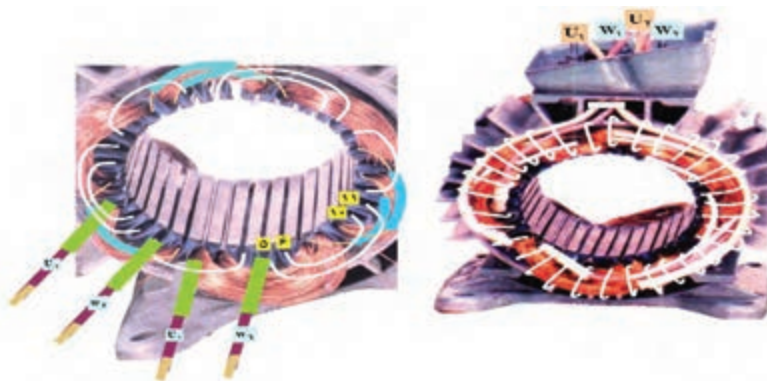
شکل ۲۸- هدایت فاز  $U_1$  به سیم افشان



گروه کلافها را مطابق شکل ۲۹ سربندی کنید. سربندی با اتصال دور انجام می شود و سرسیم هایی که از شیار ۷ خارج شده به سرسیم شیار ۱۳، ۹ به ۱۴، ۱۹ به ۲۵، ۲۱ به ۲۶، ۳۱ به ۱ اتصال می یابند و  $U_2$  از شیار ۳۳ به سیم افشان پس از عبور از وارنیش اتصال داده می شود.

شکل ۲۹- سربندی کلاف های فاز  $U_1, U_2$

فاز دوم  $W_1, W_2$  را با یک گروه کلاف دو پیچی از شیار ۵ شروع کنید و کلاف کوچک آن را در شیارهای ۶، ۱۰ و کلاف بزرگ آن را در شیارهای ۵، ۱۱ قرار دهید. و سیم پیچی را شبیه فاز  $U_1, U_2$  مطابق مسیرهای سفید رنگ کامل کنید. سراتصالات را به تخته کلم هدایت و سیم پیچی را نخ بندی کنید (شکل ۳۰).



شکل ۳۰- سیم پیچ فاز دوم هدایت سراتصالات به تخته کلم و نخ بندی سیم پیچی



## سیم پیچی موتورهای تک فاز خازن دار

موتورهای تک فاز با توان های کمتر از یک اسب بخار، بیشتر با راه انداز لحظه ای طراحی می شوند. سیم پیچ راه انداز این موتورها، پس از آنکه سرعت گردش موتور به ۷۵٪ دور نامی می رسد توسط کلیدهای گریز از مرکز یا رله های مغناطیسی از منبع تغذیه گرفته می شوند و موتور با سیم پیچ اصلی بار را به گردش درمی آورد. چون نقش سیم پیچ استارت، در موتورهای تک فاز، راه اندازی موتور می باشد، زمان اتصال آن به شبکه برق، خیلی کوتاه است. از طرف دیگر هر چقدر مقاومت اهمی سیم پیچ راه انداز بیشتر باشد، گشتاور راه اندازی زیاد خواهد بود. برای افزایش مقاومت سیم پیچ استارت، قطر سیم آن را کمتر در نظر می گیرند. در عمل قطر سیم استارت در محدوده ۴۰ الی ۶۰ درصد قطر سیم پیچ اصلی انتخاب می شود. در محاسبه تعداد دور سیم پیچ استارت ولتاژ را حدود ۲۰٪ کمتر از ولتاژ سیم اصلی در نظر می گیرند. این عوامل باعث می شود که سیم پیچ استارت نسبت به سیم پیچ اصلی آسیب پذیرتر باشد. بدین علت موتورهای تک فاز را متحدالمرکز سیم پیچی می کنند، سیم پیچ استارت را در روی سیم های اصلی در داخل شیارها قرار می دهند تا در صورت آسیب دیدن سیم پیچ بتوانند سیم پیچ استارت را تعویض کنند. مدت زمان کوتاه اتصال سیم پیچ استارت به منبع تغذیه سبب می شود که بیشتر شیارهای استاتور را به سیم اصلی اختصاص دهند. بدین منظور  $\frac{2}{3}$  شیارهای استاتور به سیم پیچ اصلی و  $\frac{1}{3}$  بقیه را به سیم پیچ استارت منظور می کنند، تا در زمان کار موتور از قسمت زیاد هسته در تولید قدرت بهره برداری شود. در سیم پیچی موتورهای تک فاز با استارت موقت، برای ایجاد گشتاور قوی و برقراری حوزه دوار، اختلاف فاز الکتریکی سیم پیچ اصلی و استارت را، از نظر موقعیت مکانی، ۹۰ درجه الکتریکی در نظر می گیرند. در عمل برای تأمین اختلاف فاز مناسب بین سیم پیچ های اصلی و استارت روش های متفاوتی وجود دارد. از این لحاظ موتورهای تک فاز را، طبقه بندی می کنند.

در تعدادی از موتورهای تک فاز برای ایجاد اختلاف فاز بیشتر بین ولتاژ و جریان سیم پیچی های اصلی و کمکی از خازن در مسیر سیم پیچ کمکی به صورت سری استفاده می شود که این کار معمولاً در قالب سه شکل انجام می شود.

چگونه می توان از صحت خازن اطمینان حاصل کرد؟



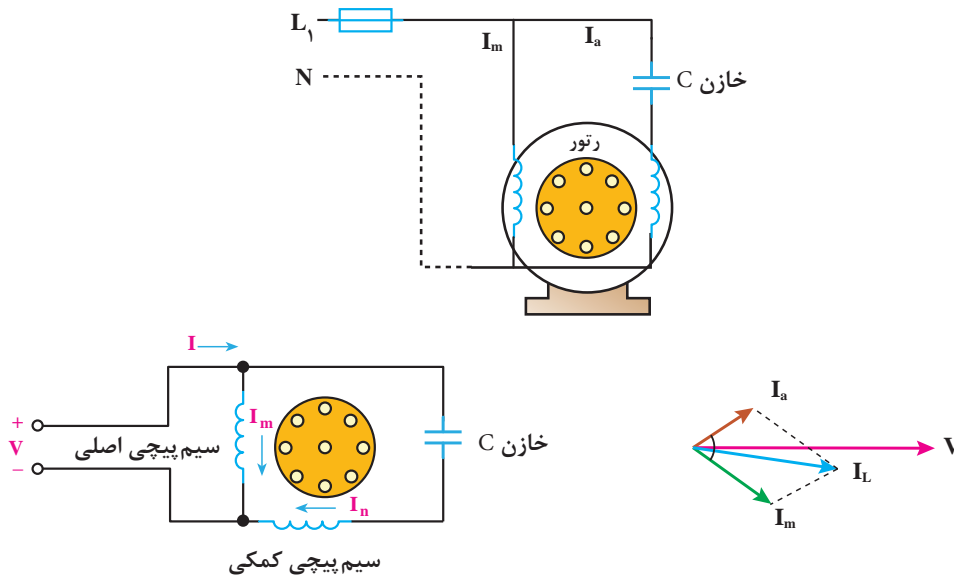
خازن ها، در انواع دینامیکی و الکترولیتی، در راه اندازی موتورهای تک فاز، به کار گرفته می شوند. خازن های الکترولیتی، در راه اندازهای لحظه ای، کاربرد دارند. این خازن ها در ظرفیت های تا ۲۰۰ میکروفاراد، مورد استفاده قرار می گیرند.

### الف) موتور تک فاز با خازن دائم کار

در موتورهای تک فاز، با راه اندازی دائم، از خازن های دینامیکی، که به خازن های خشک نیز، معروف هستند،



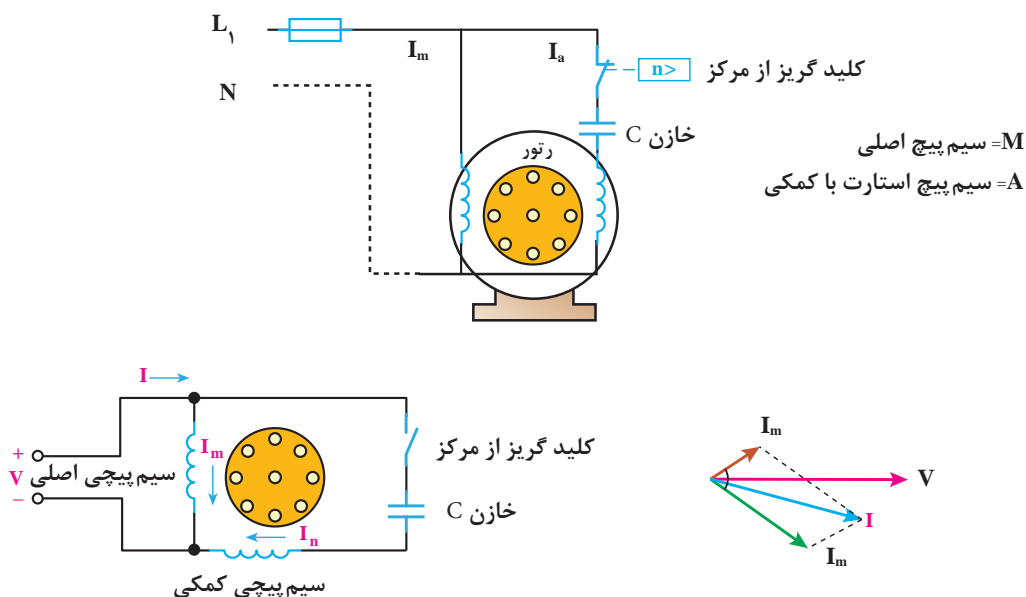
استفاده می‌شود. ظرفیت این خازن‌ها، تقریباً یک سوم خازن‌های الکترولیتی می‌باشند (شکل ۳۱).



شکل ۳۱- اتصال سیم پیچی‌های اصلی و کمکی با دیگرام برداری موتور تک‌فاز با خازن دائم کار

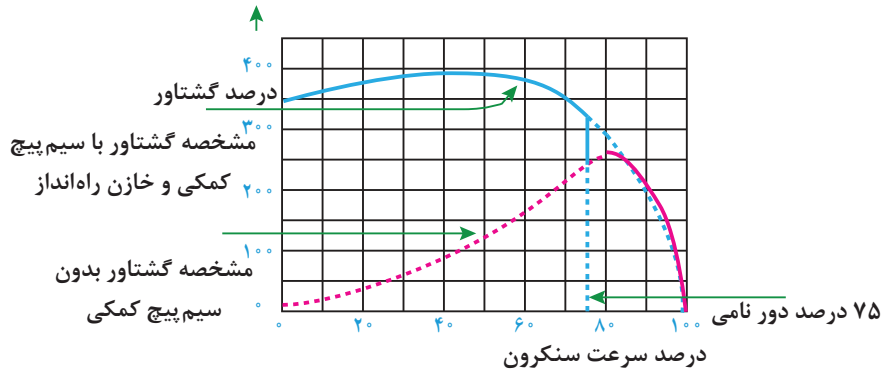
### ب) موتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز

در موتورهای تک‌فاز با راه‌انداز خازنی، که سیم‌پیچ راه‌انداز موقت نام دارند از خازن‌های الکترولیتی استفاده می‌شود که اغلب دارای ظرفیت زیادی هستند تا در شروع راه‌اندازی اختلاف فاز لازم را برای گردش موتور را ایجاد کنند (شکل ۳۲).



شکل ۳۲- اتصال سیم پیچی‌های اصلی

منحنی مشخصه عملکرد موتورهای تک فاز با کلید گریز از مرکز و خازن راه انداز را در شکل (۳۳) مشاهده می کنید.



شکل ۳۳- موتور تک فاز با خازن راه انداز و کلید گریز از مرکز

همان طوری که در منحنی مشخصه مشاهده می شود گشتاور راه اندازی موتورهای با خازن راه انداز نسبت به موتورهای با سیم پیچ کمکی دائم کار افزایش می یابد و در نتیجه موتور به صورت قوی تر اما با صدای کمتر و نرم تر راه اندازی می شود.

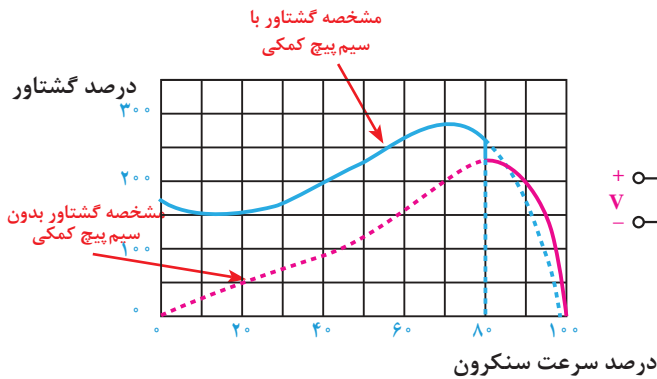
محاسبات سیم پیچی الکتروموتور تک فاز لحظه ۰:۲۴:۰۱ تا ۰:۲۵:۵۶

فیلم

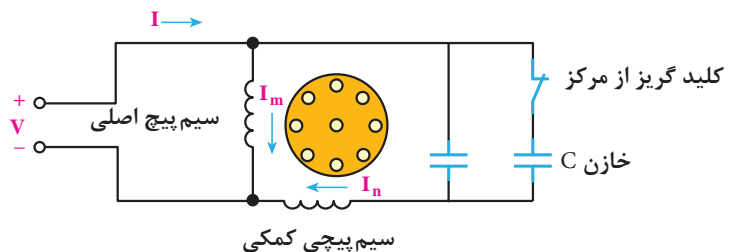


### پ) موتور تک فاز با خازن راه انداز و دائم کار (موتورهای دو خازنی)

در بعضی از موتورها، از هر دو نوع خازن، خشک و الکتrolیتی استفاده می شود. خازن الکتrolیتی پس از راه اندازی، توسط کلید گریز از مرکز از مدار الکتریکی، خارج می شود و خازن دائم کار (دینامیکی) تا زمانی که موتور کار می کند در مدار باقی خواهد ماند (شکل ۳۴).



ب) مشخصه گشتاور سرعت



الف) مدار الکتریکی

شکل ۳۴- مشخصه گشتاور دور

همان گونه که در ابتدا اشاره شد  $\frac{2}{3}$  از شیارهای استاتور به سیم پیچ اصلی و  $\frac{1}{3}$  بقیه را به سیم پیچ استارت اختصاص داده می شود. پس از راه اندازی، سیم پیچی کمکی در شرایط سیم پیچ استارت در داخل شیارها، بدون آنکه خاصیتی داشته باشد، غیر فعال باقی می ماند. بنابراین از  $\frac{1}{3}$  قدرت استاتور موتور، استفاده نمی شود. این خاصیت به نوبه خود، بازده ماشین های تک فاز را کاهش می دهد.

مثال زیر نحوه محاسبه، ترسیم دیاگرام و سیم پیچی موتورهای تک فاز دارای خازن راه انداز را ارائه می دهد.  
**مثال ۴-۵:** محاسبات سیم پیچی و دیاگرام سیم پیچی موتور تک فاز ۲۴ شیار ۲ قطب را با راه انداز لحظه ای انجام داده و دیاگرام آن را ترسیم کنید.

**حل:** ابتدا  $\frac{2}{3}$  شیارها را برای سیم پیچ اصلی و  $\frac{1}{3}$  بقیه شیارهای استاتور را برای سیم پیچ راه انداز منظور می شود. محاسبات سیم پیچی به شکل زیر دنبال می شود.

$$Z = 24, \quad 2P = 2, \quad m = 1$$

$$Z_m = \frac{2}{3}Z = \frac{2}{3} \times 24 = 16 \quad \text{شیارهای اصلی}$$

$$Z_a = \frac{1}{3}Z = \frac{1}{3} \times 24 = 8 \quad \text{شیارهای استارت}$$

$$q_m = \frac{Z_m}{2P \times m} = \frac{16}{2 \times 1} = 8 \rightarrow q'_m = \frac{q_m}{2} = \frac{8}{2} = 4$$

$$q_a = \frac{Z_a}{2P \times m} = \frac{8}{2 \times 1} = 4 \rightarrow q'_a = \frac{q_a}{2} = \frac{4}{2} = 2$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z} = \frac{1 \times 36^\circ}{24} = 1.5^\circ$$

$$Y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{2} = 12 \rightarrow y_{Zm} = Y_p - q'_m = 12 - 4 = 8$$

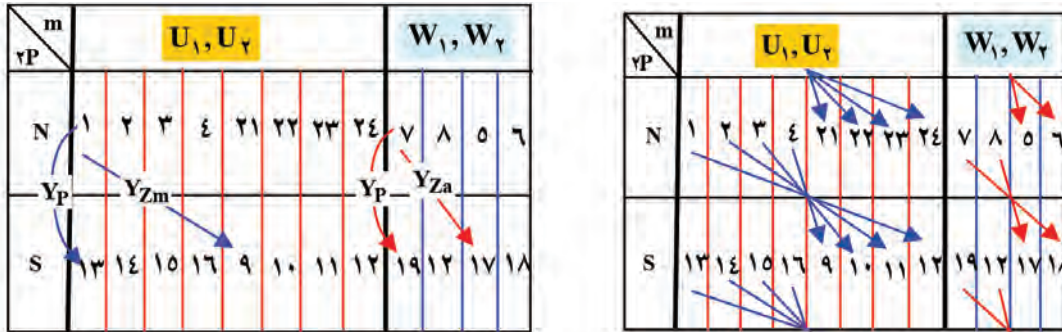
$$Y_{Za} = Y_p - q'_a = 12 - 2 = 10$$

### تشکیل جدول

جدول سیم پیچی مطابق شکل ۳۵ تشکیل می شود. ستون  $U_1, U_2$  براساس  $q'_m, Y_p, Y_{Zm}$  و ستون مربوط به فاز  $W_1, W_2$  را براساس  $q'_a, Y_p, Y_{Za}$  کامل می شود. در فاز  $U_1, U_2$ ، ستون به دو قسمت تقسیم شده و هر قسمت نیز به  $q'_m$  تقسیم می شود. از شروع فاز  $q'_m$ ، عدد متوالی درخانه های جدول ثبت می شود. در فاز  $W_1, W_2$ ، ستون مربوطه به دو قسمت تقسیم شده و هر قسمت به  $q'_a$  تقسیم می شود، از شروع فاز  $W_1$ ، اعداد متوالی، به تعداد  $q'_a$ ، در

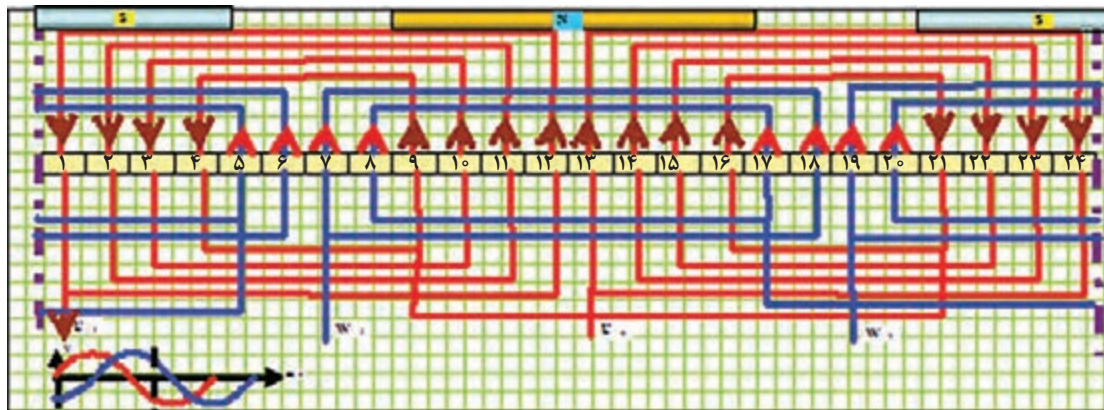
بودمان پنجم: سیم پیچی الکتروموتورهای تک فاز

خانه‌های مربوطه نوشته می‌شود. در فاز  $U_1, U_2$  گام سیم پیچی  $Y_{Zm}$  و در فاز  $W_1, W_2$   $Y_{Za}$  در نظر گرفته می‌شود. دیاگرام گسترده مطابق شکل ۳۶ و دیاگرام مدور مطابق شکل ۳۷ خواهد بود.

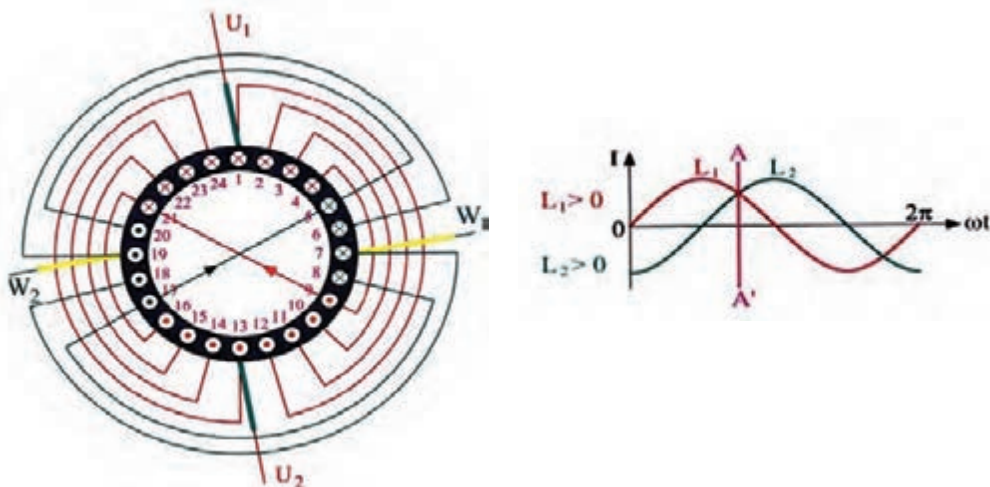


شکل ۳۵- تنظیم جدول موتور ۲۴ شیار ۲ قطب با استارت موقت بر اساس سیم پیچی متحدالمرکز

رسم دیاگرام گسترده



شکل ۳۶- دیاگرام گسترده متحدالمرکز موتور ۲۴ شیار ۲ قطب با راه انداز لحظه‌ای



شکل ۳۷- دیاگرام مدور سیم پیچی موتور تک فاز ۲۴ شیار ۲ قطب با راه انداز لحظه‌ای



تبدیل الکتروموتور سه فاز به صورت تک فاز از لحظه ۵۵:۲۱:۰۱ تا لحظه ۶۲:۲۱:۰۱

### هدف: سیم پیچی موتور با سیم پیچ کمکی (راه انداز خازنی)

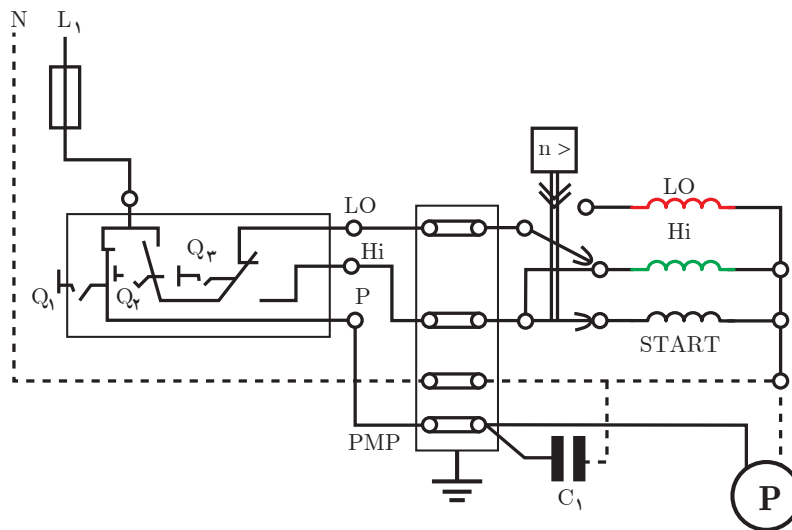
#### وسایل و تجهیزات:

- پوسته استاتور ۳۶ شیار یک عدد
- استاتور نگهدار یک عدد.
- کلاف پیچ یک عدد.
- قالب کلاف متحدالمرکز یک عدد.
- سیم لاکه با قطر مورد نیاز موتور.
- سیم افشان نمره ۱ یا ۱/۵، ۲ متر.
- هویه یک عدد.
- روغن لحیم.
- سیم لحیم با قلع ۵۰٪ یا ۶۰٪.
- عایق پرشمان ۵/۰ و ۳۵/۰ از هر کدام یک برگ.
- وارنیش با نمره های مورد نیاز سیم ها.
- تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی.
- آچار تخت و آچاررینگی و آچاربوکس از هر کدام یک ست کامل.
- انبردست یک عدد.
- شارلاک.
- کوره حرارتی یک عدد
- پیچ گوشتی تخت و چارسو کوچک متوسط و بزرگ هر کدام یک عدد.
- دم باریک یک عدد.
- سیم چین یک عدد.
- سیم لخت کن یک عدد.
- چاقو یا کاتر یک عدد.
- سنباده نرم یک برگ.
- نخ موتور پیچی یا کنف یک کلاف.
- میکرومتر یک عدد.
- چکش پلاستیکی یک عدد.
- دورسنج موتور یک عدد.

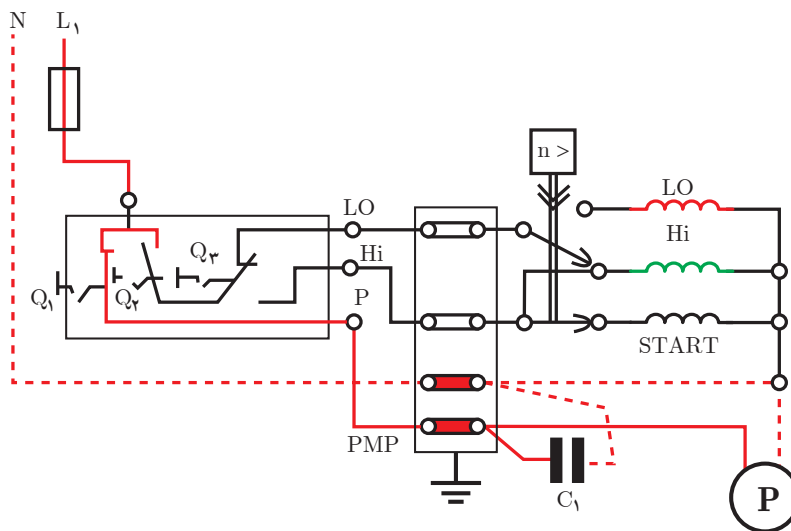
استاتور یک موتور ۳۶ شیار یا ۲۴ شیار را تحویل گرفته و تحت نظارت مربی خود محاسبات را انجام دهید و دیگرام موتور به صورت تک فاز ۶ قطب را با سیم پیچ کمکی راه انداز خازنی به صورت متحدالمرکز رسم و سیم پیچی کنید.

## سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز دوسرعه با یک سیم‌پیچ راه‌انداز

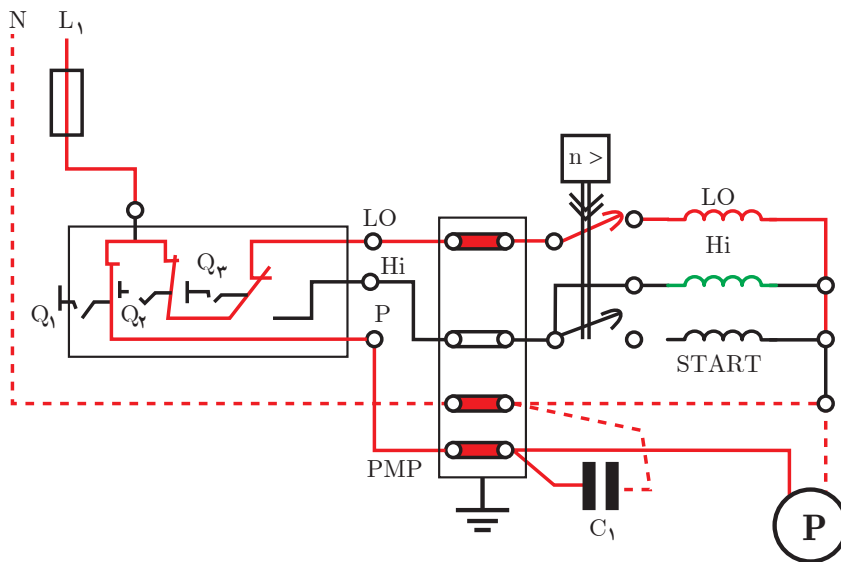
در موتورهای دوسرعه با یک سیم‌پیچ راه‌انداز، عملکرد کلید گریز از مرکز روی کلید تبدیل، موجب حذف سیم‌پیچ راه‌انداز می‌شود. به علت اهمیت کلید تبدیل و کارایی عمده آن در صنعت موتور کولرهای آبی، ساختمان و عملکرد این کلید، در چند مدار الکتریکی بررسی می‌شود (شکل ۳۸).



شکل ۳۸- کلید در حالت خاموش

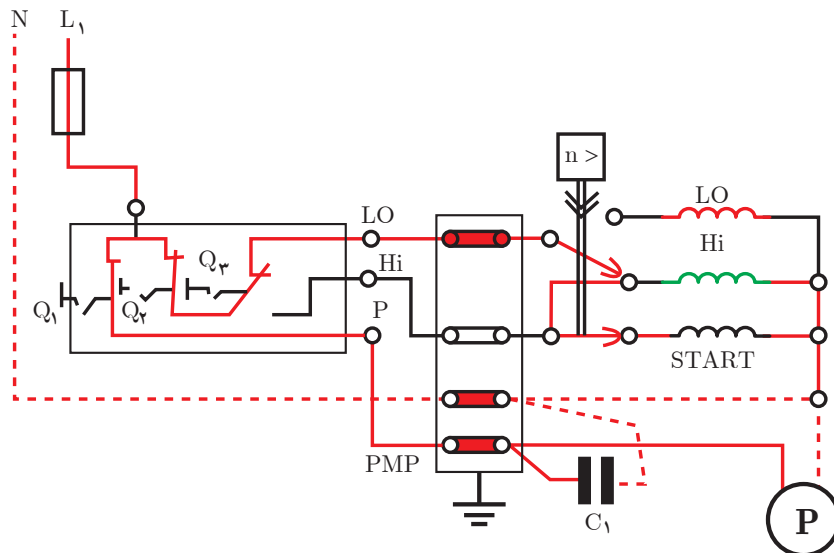


شکل ۳۹- اگر کلید  $Q_1$  به وضعیت اتصال برود و کلیدهای  $Q_2$  و  $Q_3$  تغییر نکند، فقط پمپ آب وارد مدار شده و با ریختن آب روی پوشال‌ها، آنها را خیس خواهد کرد



شکل ۴۰- موتور در حالت دور کند

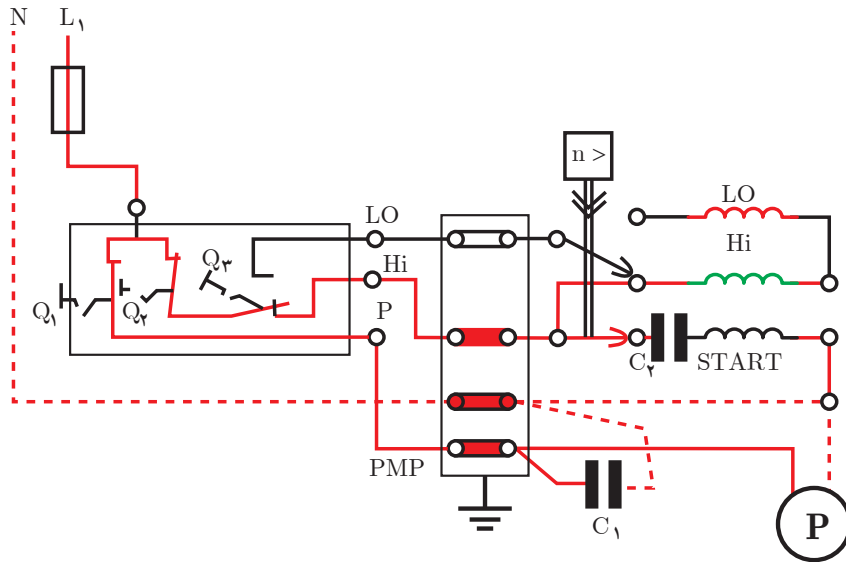
اگر کلید  $Q_1$  و  $Q_2$  روشن و کلید  $Q_3$  تغییر نکند از کولر دور کمتر درخواست شده است. شکل ۴۰، در این حالت مدار جریان الکتریکی قبل از عملکرد کلید مطابق شکل ۴۱ (راه اندازی با دور تند) می باشد. توجه شود سیم پیچ راه انداز این موتورها بدون خازن و از نوع راه انداز مقاومتی است. خازن C در مدار که با پمپ آب همواره موازی کار می کند، برای اصلاح ضریب توان شبکه به کار می رود.



شکل ۴۱- موتور در حالت دور تند



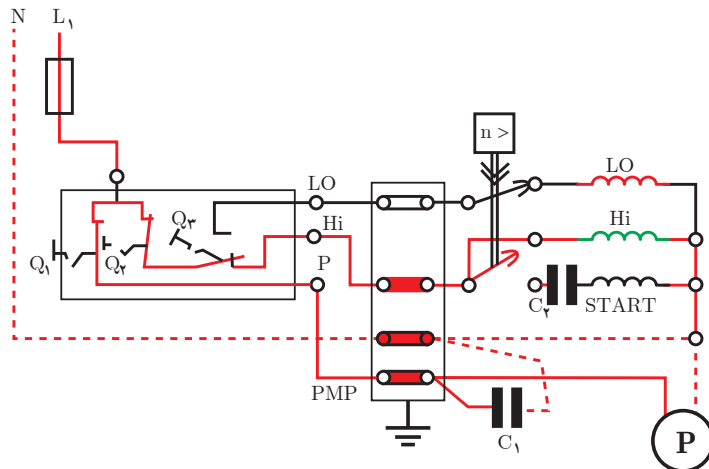
پس از تغییر حالت کلید گریز از مرکز، جریان الکتریکی در سیم‌پیچ اصلی و استارت قطع شده، مدار سیم‌پیچ دور کند برق دار می‌شود (شکل ۴۲). موتور با دور کند به کار خود ادامه خواهد داد.



شکل ۴۲- موتور در حالت دور کند

**سؤال:** پس از تغییر وضعیت کلید کولر از حالت خاموش به حالت روشن کولر راه‌اندازی نمی‌شود. به علت آن در کدام مورد اشاره شده است؟

الف) سیم‌پیچ راه‌انداز سوخته است  
ب) کلید گریز از مرکز به حالت اولیه برنگشته است.  
اگر هر سه کلید وضعیت خود را نسبت به حالت خاموش تغییر دهند. از موتور دور تند درخواست می‌شود. این مدار الکتریکی برای موتورهای کولر با راه‌انداز خازنی می‌باشد قبل از عمل کلید گریز از مرکز خازن  $C_2$  برای راه‌اندازی است و با سیم‌پیچ استارت سری می‌شود و از نوع خازن‌های الکترولیتی می‌باشد و در ۷۵٪ دور نامی همراه با سیم‌پیچ استارت از مدار خارج می‌شود (شکل ۴۳).



شکل ۴۳- وضعیت دور تند پس از عمل کلید گریز از مرکز خواهد بود

### ✓ محاسبات سیم پیچی

محاسبات سیم پیچی برای دور تند و سیم پیچ راه انداز مربوط به آن ارائه می شود. سیم پیچ استارت در بعضی مواقع چهار بوبینه و برخی سه بوبینه، مانند سیم پیچ کلاف های اصلی دور تند پیچیده می شود. برای این منظور سیم پیچ استارت سه بوبینه نظیر کلاف های سیم پیچ اصلی در نظر گرفته می شود.

$$Z = 36, \quad 2P = 4, \quad m = 1$$

$$Z_m = \frac{2}{3}Z = \frac{2}{3} \times 36 = 24 \text{ شیارهای سیم پیچ اصلی}$$

$$Z_a = \frac{2}{3}Z = \frac{2}{3} \times 36 = 24 \text{ شیارهای سیم پیچ استارت}$$

$$q_m = \frac{Z_m}{2P \times m} = \frac{24}{4 \times 1} = 6 \rightarrow q'_m = \frac{q_m}{2} = 3$$

$$q_a = \frac{Z_a}{2P \times m} = \frac{24}{4 \times 1} = 6 \rightarrow q'_a = \frac{q_a}{2} = \frac{6}{2} = 3$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z} = \frac{2 \times 36^\circ}{36} = 2^\circ$$

$$Y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{4} = 9 \rightarrow y_{Zm} = Y_p - q'_m = 9 - 3 = 6 \rightarrow y_{Za} = Y_p - q'_a = 9 - 3 = 6$$

$$U_1 = 1 \rightarrow W_1 = 1 + \frac{9^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{9^\circ}{2^\circ} = 5.5 \rightarrow \text{گام با کسری گام } W_1 = 5$$

### محاسبات دور کند

$$Z = 36, \quad 2P = 6, \quad m = 1$$

$$Z_m = \frac{2}{3}Z = \frac{2}{3} \times 36 = 24 \text{ شیارهای سیم پیچ اصلی}$$

$$q_m = \frac{Z_m}{2P \times m} = \frac{24}{6 \times 1} = 4 \rightarrow q'_m = \frac{q_m}{2} = \frac{4}{2} = 2$$

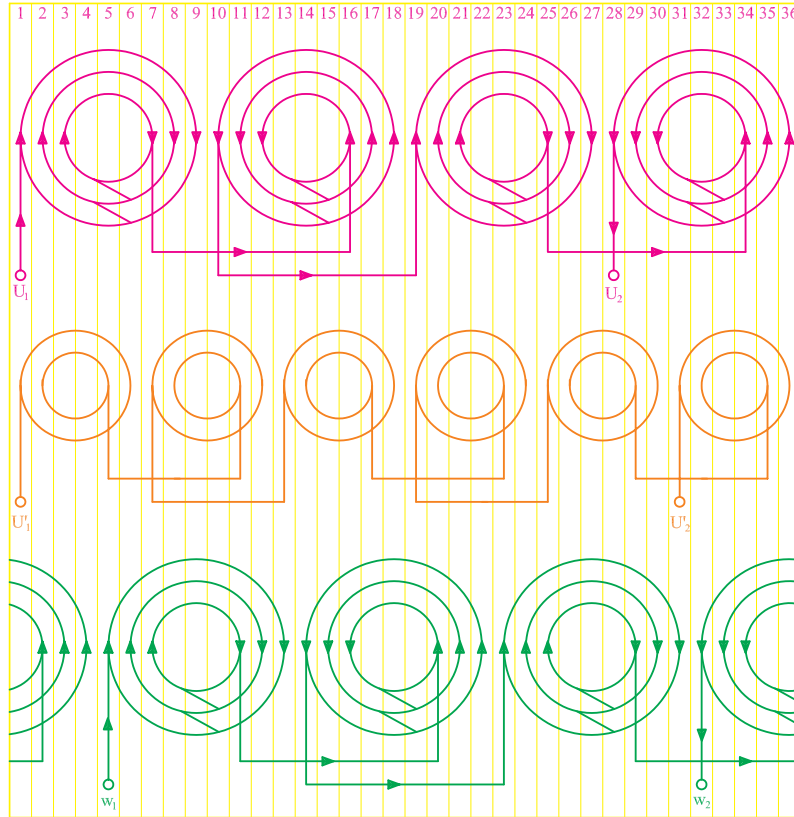
$$Y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{6} = 6 \rightarrow y_{Zm} = Y_p - q'_m = 6 - 2 = 4, \quad U_1 = 1 \text{ شروع سیم پیچ اصلی}$$

تشکیل جدول

$\begin{matrix} m \\ \nu P \end{matrix}$	$U_1, U_2$						$W_1, W_2$					
N	1	2	3	34	35	36	5	6	7	2	3	4
S	10	11	12	7	8	9	14	15	16	11	12	13
N	19	20	21	16	17	18	23	24	25	20	21	22
S	28	29	30	25	26	27	32	33	34	29	30	31

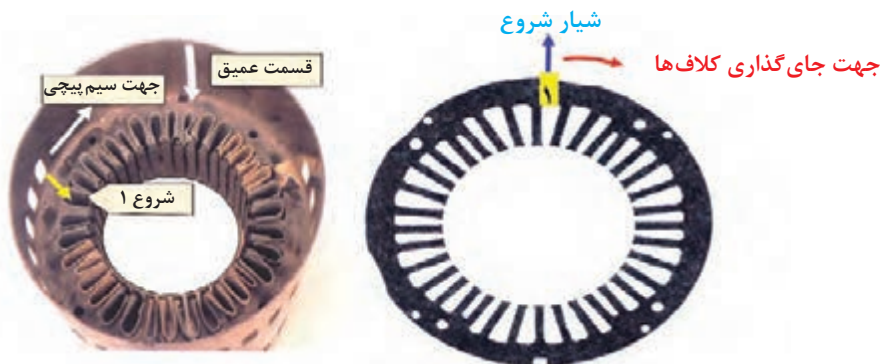
$\begin{matrix} m \\ \nu P \end{matrix}$	$U_{21}, U_{22}$			
N	1	2	35	36
S	7	8	5	6
N	13	14	11	12
S	19	20	18	19
N	25	26	23	24
S	31	32	29	30

شکل ۴۴- تنظیم جدول سیم پیچی دور تند (۴ قطب) و دور کند (۶ قطب) موتور دو سرعت ۳۶ شیار با یک سیم پیچ راه انداز، براساس سیم پیچی متحدالمرکز



شکل ۴۵- دیاگرام گسترده موتور شیار ۳۶ و ۴ قطب

استاتورهای کولرهای آبی طراحی خاصی دارد، عمق شیارها براساس مقدار سیمی که در خود جای می دهند، طرح می شود. در بعضی از شیارها، سه بازو یا دو بازو یا یک بازو قرار می گیرد. بنابراین بعضی شیارها عمیق، نیمه عمیق و کم عمق هستند. لازم است شیار شروع صحیح انتخاب شود و گرنه سیم پیچی به نتیجه نخواهد رسید. یک ورق از مجموعه استاتور با عمق های متفاوت و شیار شروع در شکل ۴۶ نشان داده شده است. در عمل برای انتخاب شیار شروع، طرف عمیق استاتور را به طرف بالا قرار می دهند. پوسته را آن چنان می چرخانند که پنجره ها به طرف سیم پیچ، و قسمت بدون پنجره، به طرف بیرون باشد. مطابق شیار که در امتداد اولین پنجره سمت چپ قرار می گیرد. شیار شروع سیم بندی خواهد بود.



شکل ۴۶- عمق متفاوت شیارها و روش انتخاب شیار شروع سیم پیچی

یک پوسته استاتور موتور کولر را به کمک مربی کارگاه انتخاب کنید و قطر داخلی استاتور و طول هسته را با کولیس به دقت اندازه بگیرید. به جدول ۱ تا ۴ مراجعه نموده، مشخصات سیم پیچی را تعیین کنید. تعداد هر بوبین و قطر سیم و طول قالب های مورد نیاز را به دست آورید.

فعالیت



جدول ۱- مشخصات سیم پیچی دور زیاد کولر آبی

قدرت استاتور بر حسب اسب بخار	قطر سیم مسی به mm	گام بوبین بزرگ	گام بوبین متوسط	گام بوبین کوچک	تعداد دور بوبین بزرگ	تعداد دور بوبین متوسط	تعداد دور بوبین کوچک	طول بوبین بزرگ به cm	طول بوبین متوسط به cm	طول بوبین کوچک به cm	طول هسته به cm	قطر داخلی استاتور به cm
۱/۴	۰/۶۵	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۶۰	۵۵	۴۵	۲۸/۵	۲۳/۵	۱۹/۵	۳/۷۵	۸/۹
۱/۳	۰/۷۰	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۵۵	۵۰	۴۰	۳۰	۲۵	۲۱	۴/۳	۸/۹
۱/۲	۰/۸۰	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۴۴	۴۰	۳۳	۳۲	۲۷	۲۳	۵/۴	۸/۹
۳/۴	۰/۹۵	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۴۲	۴۰	۳۲	۳۲/۵	۲۷	۲۳	۵/۴	۸/۹

جدول ۲- مشخصات سیم پیچی دور کم کولر آبی

قدرت استاتور بر حسب اسب بخار	قطر سیم مسی به mm	گام بوبین بزرگ	گام بوبین کوچک	تعداد دور بوبین بزرگ	تعداد دور بوبین کوچک	طول بوبین بزرگ به cm	طول بوبین کوچک به cm	طول هسته به cm	قطر داخلی استاتور به cm
$\frac{1}{4}$	۰/۴۵	۱-۶	۲-۵	۹۰	۹۰	۲۲	۱۸	۳/۷۵	۸/۹
$\frac{1}{3}$	۰/۵۰	۱-۶	۲-۵	۸۴	۸۴	۲۳/۵	۲۰	۴/۳	۸/۹
$\frac{1}{2}$	۰/۵۵	۱-۶	۲-۵	۷۰	۷۰	۲۵/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹
$\frac{3}{4}$	۰/۶۰	۱-۶	۲-۵	۶۵	۶۵	۲۵/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹

جدول ۳- مشخصات سیم پیچی راه انداز موقت سه بوبینه موتور کولر آبی

قدرت استاتور بر حسب اسب بخار	قطر سیم مسی به mm	گام بوبین بزرگ	گام بوبین متوسط	گام بوبین کوچک	تعداد دور بوبین بزرگ	تعداد دور بوبین متوسط	تعداد دور بوبین کوچک	طول بوبین بزرگ به cm	طول بوبین متوسط به cm	طول بوبین کوچک به cm	طول هسته به cm	قطر داخلی استاتور به cm
$\frac{1}{4}$	۰/۴۰	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۳۵	۳۵	۲۰	۲۶	۲۲/۵	۱۸/۵	۳/۷۵	۸/۹
$\frac{1}{3}$	۰/۵۰	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۳۴	۳۵	۱۸	۲۸	۲۴	۲۰	۴/۳	۸/۹
$\frac{1}{2}$	۰/۵۰	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۳۴	۳۵	۲۱	۲۹	۲۲/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹
$\frac{3}{4}$	۰/۵۵	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۲۰	۲۰	۲۴	۲۹	۲۵/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹

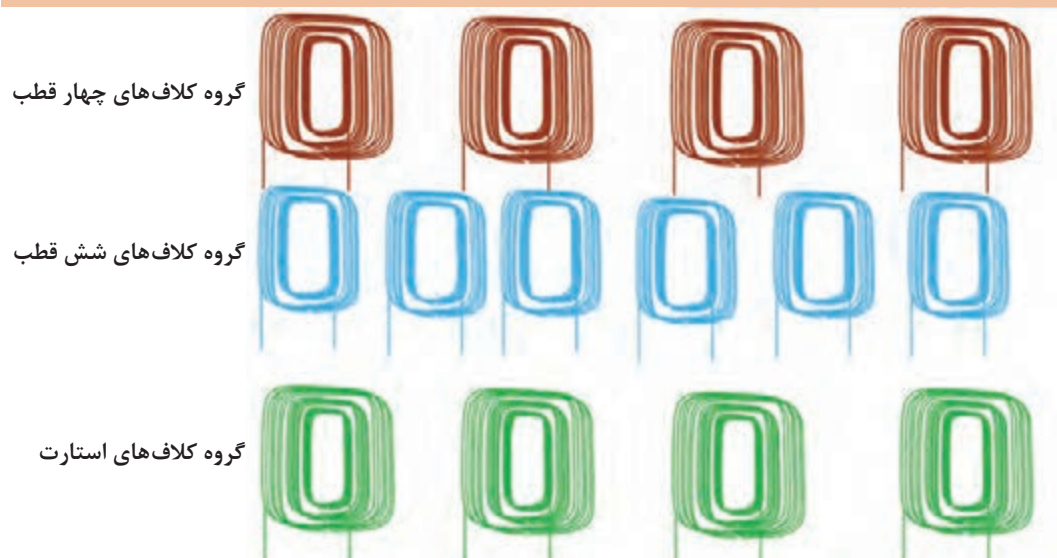
جدول ۴- مشخصات سیم پیچی راه انداز موقت چهار بوبینه موتور کولر آبی

قدرت استاتور بر حسب اسب بخار	قطر سیم مسی به mm	گام بوبین ۱	گام بوبین ۲	گام بوبین ۳	گام بوبین ۴	تعداد دور بوبین ۱	تعداد دور بوبین ۲	تعداد دور بوبین ۳	تعداد دور بوبین ۴	طول بوبین ۱ به cm	طول بوبین ۲ به cm	طول بوبین ۳ به cm	طول بوبین ۴ به cm
$\frac{1}{4}$	۰/۴۰	۱-۱۰	۲-۹	۳-۸	۴-۷	۳۶	۳۵	۳۵	۲۰	۳۱	۲۶	۲۲/۵	۱۸/۵
$\frac{1}{3}$	۰/۴۵	۱-۱۰	۲-۹	۳-۸	۴-۷	۳۲	۳۴	۳۵	۲۲	۳۲	۲۸	۲۴	۲۰
$\frac{1}{2}$	۰/۵۰	۱-۱۰	۲-۹	۳-۸	۴-۷	۳۱	۳۲	۳۷	۲۰	۳۴	۲۹	۲۵/۵	۲۲/۵
$\frac{3}{4}$	۰/۵۵	۱-۱۰	۲-۹	۳-۸	۴-۷	۲۰	۲۰	۲۰	۱۲	۳۴	۲۹	۲۵/۵	۲۲/۵

### تهیه گروه کلاف های سیم پیچی

چهار گروه کلاف ۳ بوبینه برای سیم پیچی ۴ قطب، ۶ گروه کلاف ۲ بوبینه برای سیم پیچی ۶ قطب و چهار گروه کلاف ۳ بوبینه برای استارت سیم پیچ ۴ قطب تهیه کنید (شکل ۴۷).

فعالیت

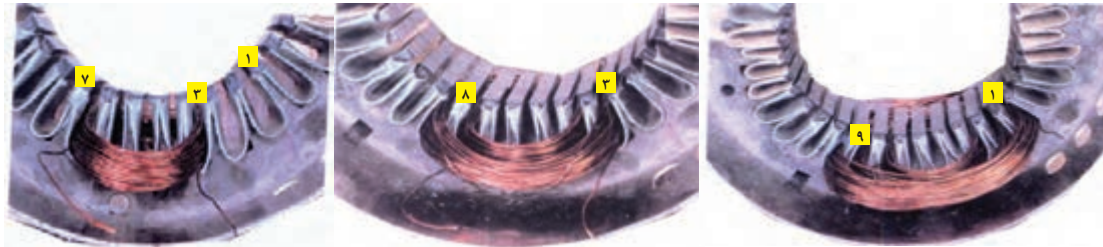


شکل ۴۷- تهیه گروه کلاف های سیم پیچی

بودمان پنجم: سیم پیچی الکتروموتورهای تک فاز

**سؤال:** با توجه به تعداد قطب حالت های دور کند و تند کولر در هر حالت دور نامی کولر چند دور در دقیقه است؟

یک گروه کلاف ۳ بوبینه سیم پیچ اصلی ۴ قطب را انتخاب کنید و بازوهای آن را به ترتیب در گام ها ۳ به ۷، ۲ به ۸ و ۱ به ۹ قرار دهید (شکل ۴۸).

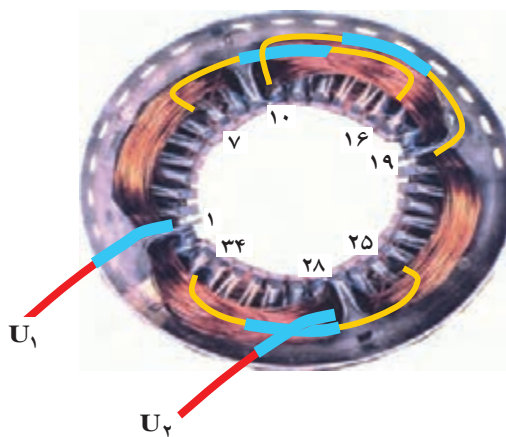


شکل ۴۸- قرار دادن گروه کلاف شماره یک از سیم پیچی دور تند در شیارهای استاتور

سه گروه کلاف بعدی مطابق دستورالعمل گروه کلاف شماره ۱ در شیارهای استاتور قرار دهید (شکل ۴۹).



شکل ۴۹- قرار دادن گروه کلاف های دور تند در شیارهای استاتور

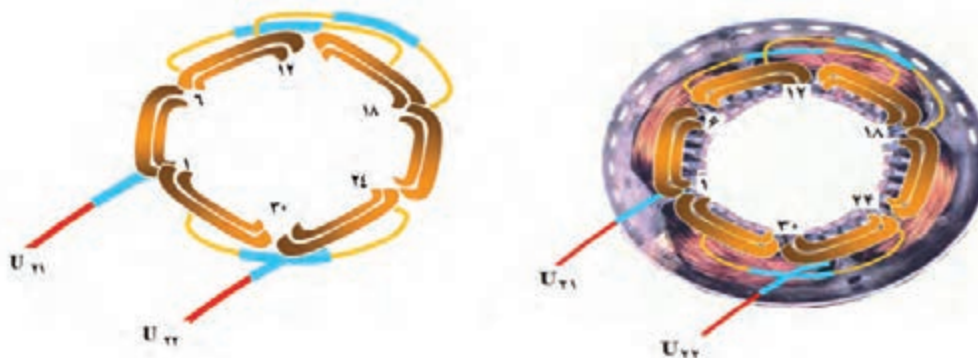


شکل ۵۰- سربندی کلاف های دور تند

با اتصال ته گروه کلاف اول در شیار شماره ۷، به ته گروه کلاف دوم در شیار ۱۶، سر گروه کلاف دوم در شیار ۱۰، به سر گروه کلاف سوم در شیار ۱۹، ته گروه کلاف سوم در شیار ۲۵، به ته گروه کلاف چهارم در شیار ۳۴، دور تند سیم پیچی را سربندی کنید محل اتصال ها را پس از عبور از وارنیش، لحیم کاری کنید. ابتدای دور تند در شیار ۱، انتهای آن را در شیار ۲۸، پس از عبور از وارنیش به سیم افشان اتصال دهید و با برچسب های  $U_1, U_2$  آنها را مشخص کنید (شکل ۵۰).

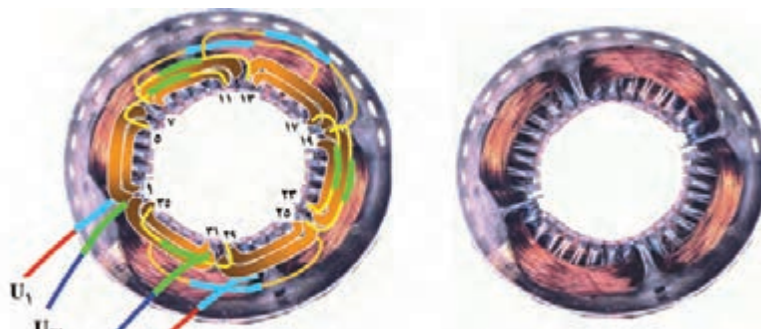


سیم پیچ دور کند را در شیارهای ۵۲ - ۶۱ و ۸ - ۱۱ و ۱۲ و ۱۴ و ۱۷ و ۱۳ - ۱۸ و ۲۰ و ۲۳ - ۱۹ و ۲۴ و ۲۶ و ۲۹ - ۳۰ و ۳۲ و ۳۵ - ۳۰ قرار دهید (شکل ۵۱).



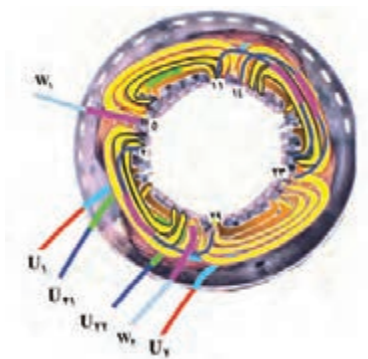
شکل ۵۱ - موقعیت گروه کلاف‌های دور کند

از طریق اتصال، ته کلاف اول در شماره ۵، به ته کلاف دوم در شماره ۱۱، سر کلاف دوم در شماره ۷، به سر کلاف سوم در شماره ۱۳، ته کلاف سوم در شماره ۱۷، به ته کلاف چهارم در شماره ۲۳، سر کلاف چهارم در شماره ۱۹، به سر کلاف پنجم در شماره ۲۵، ته کلاف پنجم در شماره ۲۹، به ته کلاف ششم در شماره ۳۵، دور کند را سربندی کنید و پس از عبور از وارنیش، محل اتصال‌ها را لحیم کار کنید. وارنیش‌ها را به محل اتصالات روکش کنید. سروه دور کند را واقع در شیار شماره ۳۱ و ۳۱ پس از عبور از وارنیش، به سیم افشان اتصال دهید، آنها را با برچسب‌های  $U_{22}, U_{21}$  مشخص کنید (شکل ۵۲).



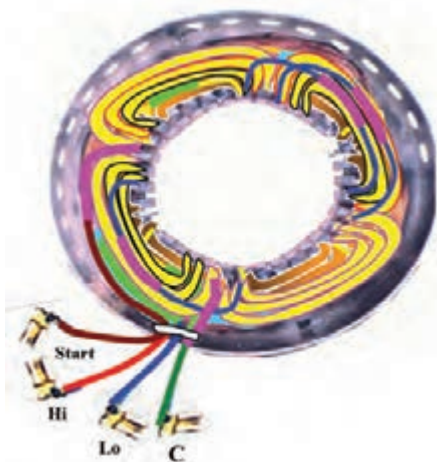
شکل ۵۲ - سربندی گروه کلاف‌های دور کند

سیم پیچ استارت را از شیار شماره ۵ شروع کنید و مطابق شکل ۵۳ سربندی آن را انجام دهید. خروجی‌های آن را با برچسب‌های  $W_2, W_1$  مشخص کنید.



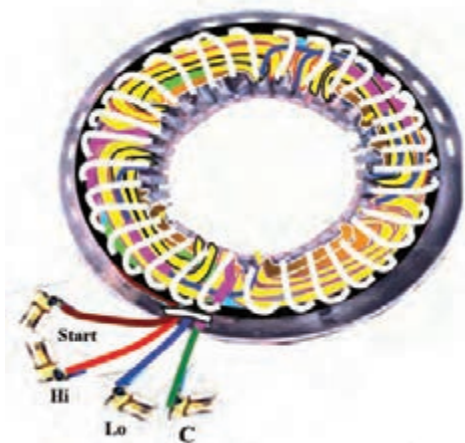
شکل ۵۳ - سیم پیچی استارت و سربندی آن

بودمان پنجم: سیم‌پیچی الکتروموتورهای تک‌فاز



شکل ۵۴- سربندی دور کند و تند

خروجی‌های با برجسب‌های  $U_2, W_2, U_2$  را به هم اتصال دهید و مجموعه را به سرسیم C اتصال دهید  $U_1$  را به سرسیم Hi و  $U_2$  را به سرسیم Lo و  $W_1$  را به سرسیم Start هدایت کنید (شکل ۵۴).



شکل ۵۵- نخ‌بندی موتور کولر

سیم‌پیچی را مطابق شکل ۵۵ نخ‌بندی کنید و با راهنمایی مربی کارگاه موتور را جمع‌آوری نموده و صحت عملکرد موتور را با اتصال به شبکه برق با رعایت موارد ایمنی بررسی کنید.

قبل از اتصال الکتروموتور از عدم اتصال بدنه سیم‌پیچ‌ها مطمئن شوید.

ایمنی



فیلم



کار عملی ۳



کار عملی شماره ۳

### وسایل مورد نیاز

- پوسته استاتور ۳۶ شیار یک عدد
- استاتور نگهدار یک عدد.
- کلاف پیچ یک عدد.
- قالب کلاف متحدالمرکز یک عدد.

- سیم لاکه با قطر مورد نیاز موتور.
- سیم افشان نمره ۱ یا ۱/۵، ۲ متر.
- هویه یک عدد.
- روغن لحیم.
- سیم لحیم با قلع ۵۰٪ یا ۶۰٪.
- عایق پرشمان ۰/۵ و ۰/۳۵ از هر کدام یک برگ.
- وارنیش با نمره‌های مورد نیاز سیم‌ها.
- تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی.
- آچار تخت و آچار رینگ و آچار بوکس از هر کدام یک ست کامل.
- انبردست یک عدد.
- شارلاک.
- کوره حرارتی یک عدد
- پیچ گوشتی تخت و چارسو کوچک، متوسط و بزرگ، هر کدام یک عدد.
- دم باریک یک عدد.
- سیم چین یک عدد.
- سیم لخت کن یک عدد.
- چاقو یا کاتر یک عدد.
- سنباده نرم یک برگ.

کار عملی ۴



یک موتور ۳۶ شیار تک فاز کولری از انبار تحویل بگیرید. این موتور را، به صورت ۴ و ۶ قطب با راه‌انداز لحظه‌ای با یک سیم پیچ راه‌انداز سیم پیچی کنید. دیاگرام سیم پیچی آن را ترسیم و سیم پیچی کامل آن را اجرا کنید (شکل ۵۶).



شکل ۵۶- موتور کولر با راه‌انداز خازنی

## ارزشیابی شایستگی سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز

<b>شرح کار:</b>			
تفاوت سیم‌پیچی راه‌انداز و کمکی سیم‌پیچی و رسم دیاگرام الکتروموتور تک‌فاز		شناسایی انواع الکتروموتور تک‌فاز کاربرد کلید گریز از مرکز	
<b>استاندارد عملکرد:</b> محاسبه، ترسیم دیاگرام از روی جدول، سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز و راه‌اندازی آن به کمک ابزار مناسب			
<b>شاخص‌ها:</b>			
محاسبات و رسم جدول ترسیم دیاگرام گسترده و مدور سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز به صورت متحدالمرکز و زنجیره‌ای			
<b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b>			
شرایط: فضای مناسب - ابزار مناسب - مدت زمان متناسب با حجم کار ابزار و تجهیزات: ابزار مربوط به کارگاه سیم‌پیچی شامل: بوبین پیچ، پوسته خالی الکتروموتور، سیم لاکه و ... آچار تخت و پیچ‌گوشتی، دورسنج، میز تست الکتروموتور - لباس کار			
<b>معیار شایستگی:</b>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	ترسیم جدول شیارها	۱	
۲	رسم دیاگرام گسترده و مدور	۱	
۳	سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز	۲	
۴	سیم‌پیچی الکتروموتور کولر آبی	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: کسب اطلاعات کار تیمی مستند سازی ویژگی شخصیتی		۲
<b>میانگین نمرات</b>			*

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



سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانه تعاملی بر خط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد تا با دریافت نظرات معلمان درباره کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانه راهبری دروس و مدیریت محترم پروژه آقای محسن باهو نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائه نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

### کتاب کابل کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی – کد ۲۱۱۲۶۴

ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت	ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت
۱	رضا پورمراد	آذربایجان شرقی	۱۲	حمیدرضا طوفانی‌نژاد	خراسان جنوبی
۲	مصطفی حق‌مرادی‌نیا	همدان	۱۳	احمد ابوالحسن‌زاده	یزد
۳	علی محمدی	کردستان	۱۴	رضا سیستانی	کرمان
۴	حسین علی قاسمی دشتی	قم	۱۵	مقصود آشیان	اردبیل
۵	علی نیکزاد	شهرتپهران	۱۶	بابک لرستانی	کرمانشاه
۶	محسن مروتی	ایلام	۱۷	یوسف رضایی	هرمزگان
۷	عبدالعلی نصیری	اصفهان	۱۸	رحیم اسعدی	آذربایجان غربی
۸	سید رسول آقا سید هاشم	قم	۱۹	محسن محسنی	شهرستان‌های تهران
۹	حسن کریمی	زنجان	۲۰	اصغر باقری روشتی	البرز
۱۰	مجید روغنی	خراسان شمالی	۲۱	حسن دانش پناه	کهگیلویه و بویراحمد
۱۱	محمد کاظمی	مازندران	۲۲	رضا خانه زرین	گیلان

### منابع

- ۱- برنامه درسی «کابل کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی» دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
- ۲- تکنولوژی و کارگاه برق صنعتی، اعتضادی محمود و دیگران، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵
- ۳- برشور و کاتالوگ شرکت‌های سازنده کابل، سینی کابل، نردبان کابل و مفصل
- ۴- سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز، تک‌فاز و بازپیچی الکتروموتورها، علی عراقی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۷
- ۵- محاسبه و طراحی موتورهای الکتریکی سه‌فاز، علی عراقی و دیگران، شرکت سیم لاک‌ی فارس، ۱۳۷۳
- ۶- برشورهای دستگاه‌های اندازه‌گیری تابلویی